

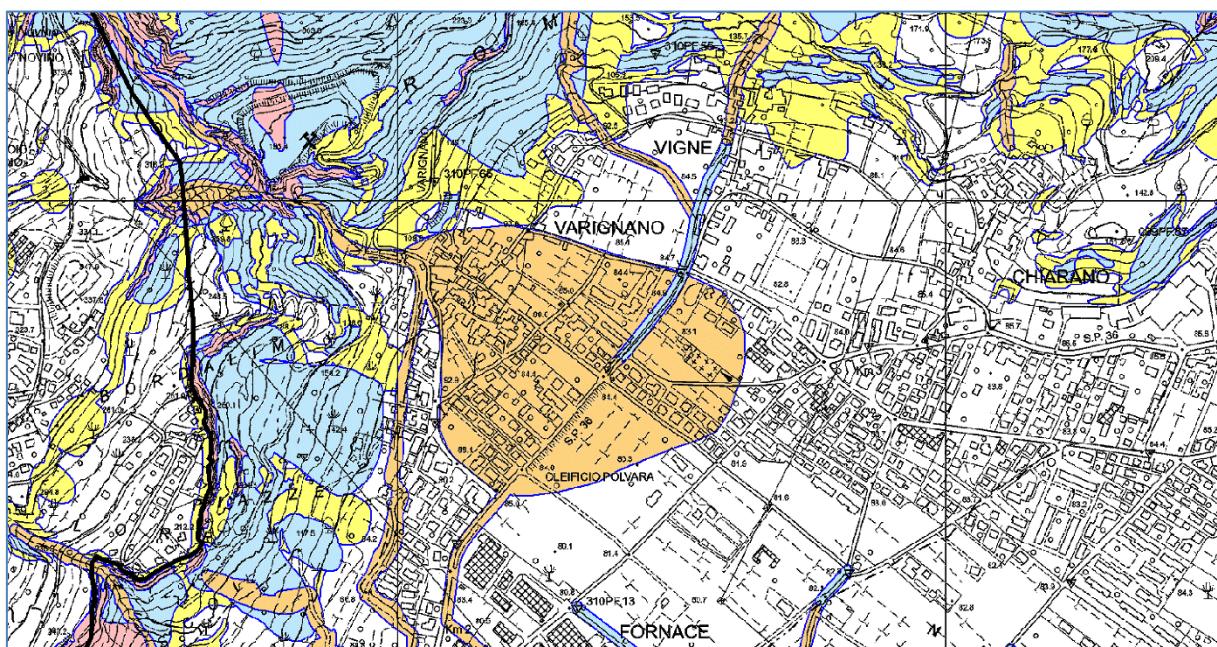
COMUNE DI ARCO

# **STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA**

## **RELAZIONE TECNICA**

### **VARIGNANO**

**CARATTERIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA DELL'AREA IN LOC.  
VARIGNANO INDIVIDUATA COME "APP – AREA DA APPROFONDIRE" NELLA  
CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ E DI STUDI DI COMPATIBILITÀ DI  
SUPPORTO ALLA VARIANTE N.15 AL PRG DI ARCO**



**Committente: COMUNE DI ARCO (TN)**

**STUDIO DI PROGETTAZIONE PER  
L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

*Dott. Forestale ed Ambientale*

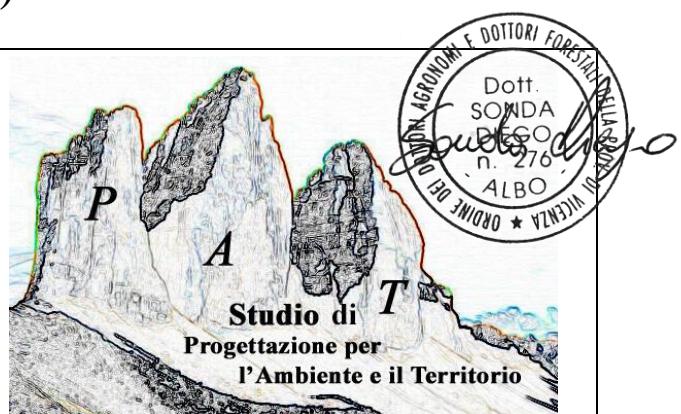
*Diego Sonda*

Via Lanzarini, 55 - 36060 Romano d'Ezzelino (VI)

Tel.: 0424 572516 - Cell. 347 1245729

e-mail: [diego.sonda@studiopat.it](mailto:diego.sonda@studiopat.it)

web: [www.studiopat.it](http://www.studiopat.it)



*Maggio 2021*

---

## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>4</b>
<b>2. LA CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITA' .....</b>	<b>5</b>
2.1 Il Rio Bordellino di Varignano .....	6
2.2 Varianti al PRG .....	7
2.2.1 Variante 3.3.7 – Ampliamento parcheggio pubblico Via Frisoni.....	7
2.2.2 Variante 5.1.1.1 – Verde pubblico Via Dante Alighieri.....	8
2.2.3 Variante 5.1.2.2 – Verde pubblico Via Vittorio Veneto.....	9
<b>3. APPROCCIO METODOLOGICO .....</b>	<b>10</b>
<b>4. DESCRIZIONE DELL'AREA DI ANALISI .....</b>	<b>12</b>
4.1 Uso del suolo .....	14
4.2 Geologia .....	17
<b>5. ANALISI STORICA DEGLI EVENTI ALLUVIONALI .....</b>	<b>19</b>
<b>6. ANALISI STORICA DEGLI INTERVENTI DI SISTEMAZIONE.....</b>	<b>20</b>
<b>7. ANALISI DELLA RETE IDROGRAFICA.....</b>	<b>22</b>
<b>8. FENOMENI FRANOSI ED EROSIVI RILEVATI LUNGO L'ASTA TORRENTIZIA E SUI VERSANTI.....</b>	<b>28</b>
<b>9. ANALISI MORFOMETRICA .....</b>	<b>29</b>
9.1 Bacino idrografico .....	29
9.2 Conoide.....	33
<b>10. DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA.....</b>	<b>34</b>
10.1 Curva delle possibilità pluviometriche .....	39
10.2 Stima delle portate liquide.....	40
<b>11. ANALISI DEGLI ATTRAVERSAMENTI E DELLE SEZIONI CRITICHE ....</b>	<b>44</b>
11.1 Modello matematico di calcolo monodimensionale HEC-RAS.....	44
11.2 Applicazione al Rio Bordellino di Varignano .....	46
11.3 Analisi dei risultati .....	48
<b>12. MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE .....</b>	<b>50</b>
12.1 Il modello numerico FLO – 2D .....	50
12.2 Ipotesi di modellazione e condizioni al contorno.....	52
<b>13. CRITERI PER LA STIMA DEL GRADO DI PERICOLO .....</b>	<b>56</b>
<b>14. DESCRIZIONE SCENARI .....</b>	<b>57</b>
14.1 Scenario n. 1 .....	57

---

14.2	Scenario n. 2 .....	58
14.3	Scenario n. 3 .....	59
14.4	Scenario n. 4 .....	59
<b>15.</b>	<b>MAPPE DI SINTESI.....</b>	<b>60</b>
<b>16.</b>	<b>GRADO DI PERICOLO NELL'INTORNO DELLE AREE OGGETTO DI VARIANTE.....</b>	<b>61</b>
16.1	Scheda di variante 3.3.7.....	61
16.2	Scheda di variante 5.1.2.2.....	62
16.3	Scheda di variante 5.1.1.1.....	64
<b>17.</b>	<b>SITUAZIONE ATTUALE E PROPOSTE DI MITIGAZIONE.....</b>	<b>65</b>
17.1	Scheda di variante 3.3.7.....	65
17.2	Scheda di variante 5.1.1.1.....	66
17.3	Scheda di variante 5.1.2.2.....	67
<b>18.</b>	<b>CONCLUSIONI .....</b>	<b>69</b>
<b>19.</b>	<b>ALLEGATO 1: RISULTATI APPLICAZIONE HEC-RAS .....</b>	<b>70</b>
<b>20.</b>	<b>ALLEGATO 2: RISULTATI APPLICAZIONE FLO2D .....</b>	<b>71</b>
<b>21.</b>	<b>ALLEGATO 3: RISULTATI APPLICAZIONE FLO2D – VALORI MASSIMI..</b>	<b>72</b>

## 1. INTRODUZIONE

Il sottoscritto, dott. for. Diego Sonda, iscritto all’Ordine dei dottori Agronomi e dei dottori Forestali della Provincia di Vicenza al n. 276, è stato incaricato dall’Amministrazione comunale di Arco (TN) di eseguire la caratterizzazione di dettaglio del pericolo di tipo torrentizio dell’area cartografata come “Da approfondire (art. 18)”, nella Carta di Sintesi della Pericolosità della Provincia Autonoma di Trento, in località Varignano in Comune di Arco (TN).

L’incarico, oltre ad essere finalizzato alla caratterizzazione del pericolo sull’intera area delimitata come APP, prevede di valutare la compatibilità idraulica di alcune aree, che cambieranno destinazione d’uso con l’approvazione della Variante n. 15 al Piano Regolatore Generale (PRG) comunale.

L’analisi della cartografia, in particolare la morfometria dell’area, evidenzia che le maggiori criticità idrauliche possono essere indotte dal Rio Bordellino, che scende dalla Valle del Tovo (detto anche Rio Bordellino di Varignano). Il manifestarsi di eventuali ostruzioni in corrispondenza degli attraversamenti posti in apice al conoide potrebbe indurre una generale fuoriuscita della corrente, con interessamento del centro abitato, come già accaduto in passato.

L’alveo del Rio Bordellino di Varignano, a partire dall’apice del conoide fino alla zona agricola di Ceole, in comune di Riva del Garda, si presenta fortemente regimato. Nel tratto analizzato la corrente defluisce all’interno di un cunettone, con diversi attraversamenti di accesso alle abitazioni o ponti stradali, la cui livelletta di fondo e sezione si riduce progressivamente procedendo da monte verso valle. L’intero tratto è stato oggetto di un rilievo topografico di dettaglio e successiva verifica idraulica per individuare eventuali sezioni critiche.

La parte inferiore dell’abitato di Varignano è attraversata dal Rio Bordellino di Vigne. La presente analisi non considera eventuali criticità per insufficienze della sezione di deflusso, in quanto non si dispongono di informazioni sulle portate attese per assegnati tempi di ritorno. Qualora sia condotta una analisi idrologica di dettaglio i risultati finali potranno essere utilizzati per aggiornamento dello studio condotto in questa sede.

Partendo da questi presupposti è stata condotta un’indagine sulla tipologia di fenomeno atteso per il bacino idrografico del Rio Bordellino di Varignano, chiuso a monte del centro abitato in corrispondenza del ponte posto a quota 120 m s.l.m. circa, e la successiva applicazione di modelli matematici monodimensionali e bidimensionali per valutare il grado di pericolo di tipo idraulico dell’area analizzata.

## 2. LA CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ'

A partire dal 2 ottobre 2020 è entrata in vigore, su tutto il territorio provinciale trentino, la Carta di Sintesi della Pericolosità, che sostituisce le precedenti cartografie di riferimento per la gestione della mappatura del pericolo e introduce nuove disposizioni obbligatorie. Con l'entrata in vigore di questo strumento del Piano Urbanistico Provinciale cessano di applicarsi le disposizioni della Carta di Sintesi Geologica e le disposizioni in materia di uso del suolo del Piano Generale di Utilizzazione delle Acque Pubbliche.

La Carta di Sintesi della Pericolosità è uno degli elementi costituenti il Piano Urbanistico Provinciale e ha il compito di individuare le aree caratterizzate da diversi gradi di penalità ai fini dell'uso del suolo, in ragione della presenza dei pericoli idrogeologici, valanghivi, sismici e d'incendio boschivo, descritti nelle Carte della Pericolosità.

Le Carte della Pericolosità rappresentano gli strumenti di base per le attività di prevenzione e protezione, intese come attività dirette per l'eliminazione o la riduzione dei rischi, sia mediante misure di carattere prescrittivo e vincolistico, per un corretto uso del territorio, sia mediante interventi strutturali, ma anche attività prevalentemente di carattere pianificatorio, organizzativo, culturale e formativo, oltre ad interventi gestionali diretti, intesi a mitigare gli effetti dannosi derivanti dai rischi non eliminabili con l'attività di prevenzione.

A seguito dell'entrata in vigore della Carta di Sintesi della Pericolosità il territorio provinciale è stato suddiviso in tre classi di penalità ordinarie e altri tipi di penalità (vedi Figura 1), in cui devono essere applicate le disposizioni previste negli articoli di riferimento (Allegato C - *Indicazioni e precisazioni per l'applicazione delle disposizioni concernenti le aree con penalità elevate, medie o basse e le aree con altri tipi di penalità*”).

L'analisi della Carta di Sintesi della Pericolosità consente di verificare rapidamente la classe di penalità più gravosa (sintesi finale), ma anche di individuare le altre tipologie di penalità determinate da fenomeni diversi per una specifica area. Le disposizioni contenute nella Carta di Sintesi della Pericolosità e nei suoi aggiornamenti prevalgono sugli strumenti di pianificazione territoriali vigenti e adottati.

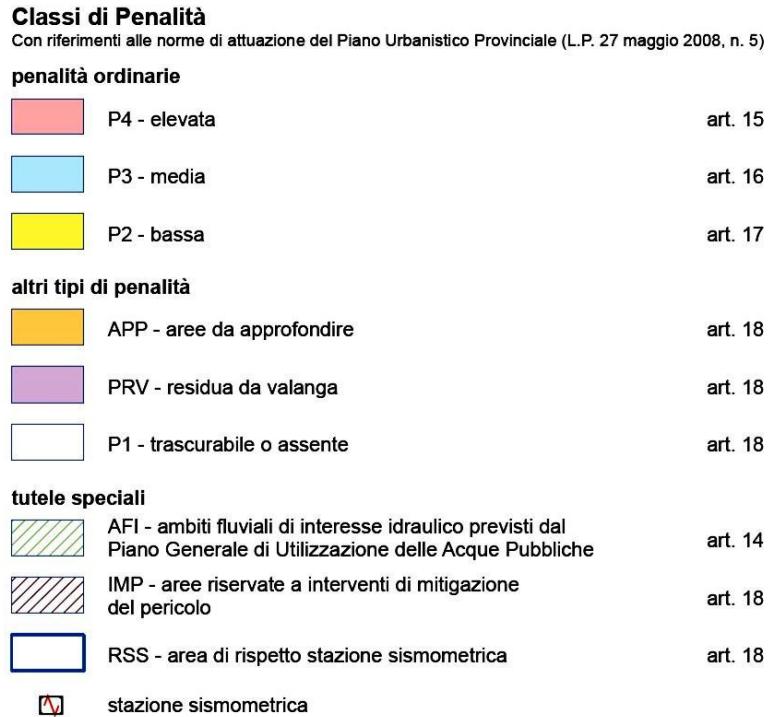


Figura 1 – Classi di penalità della Carta di Sintesi della Pericolosità

## 2.1 Il Rio Bordellino di Varignano

Il Rio Bordellino di Varignano (acqua pubblica n. 2319) nasce ai piedi della Cima Nanzone, percorre tutta la valle del Tovo, raccogliendo le acque della sorgente Novino (382.7 m s.l.m.), per poi immettersi nella fitta di Arco, dopo aver attraversato l’abitato di Varignano e la zona industriale e agricola di Ceole.

La presente analisi intende approfondire le conoscenze di tipo idrologico sul bacino idrografico chiuso in apice al conoide del Rio Bordellino di Varignano, poco a monte del centro abitato, al fine di stimare la portata attesa per diversi tempi di ritorno, la tipologia di fenomeno in relazione alla disponibilità di sedimento disponibile al trasporto e quindi il grado di pericolo, a cui è esposta l’area edificata in relazione al verificarsi di scenari ritenuti probabili nella dinamica di un evento di piena con tempo di ritorno bicentenario.

Gran parte del centro abitato di Varignano è identificata nella Carta di Sintesi della Pericolosità come area “Da approfondire (art. 18)” e così pure l’area prossima al corso d’acqua del Rio Bordellino di Varignano, posta al margine dell’area edificata. Questa rappresentazione cartografica, indice di conoscenze non sufficientemente dettagliate sotto il profilo idrologico-idraulico, rende necessario uno studio di dettaglio per eseguire una caratterizzazione del

pericolo di tipo idraulico esteso all'intera area, in particolare in corrispondenza delle aree oggetto di variante al PRG.

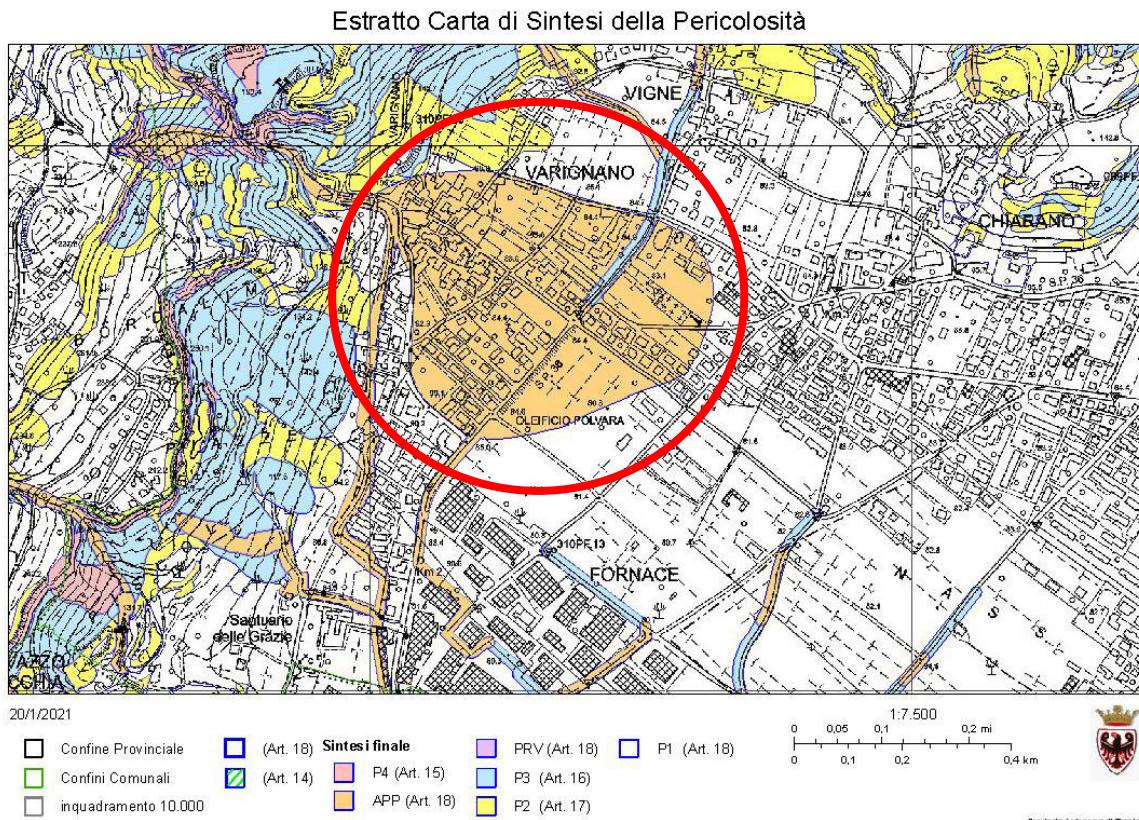


Figura 2 – Estratto dalla carta di Sintesi della pericolosità per l'area oggetto di indagine (cerchio rosso)

## 2.2 Varianti al PRG

Nella Frazione di Varignano sono previste tre (3) varianti al PRG, le quali sono oggetto di valutazione di compatibilità sotto il profilo idraulico in merito al cambiamento di destinazione d'uso.

### 2.2.1 Variante 3.3.7 – Ampliamento parcheggio pubblico Via Frisoni

La variante prevede di realizzare un parcheggio pubblico al servizio della Frazione di Varignano. L'intenzione dell'Amministrazione comunale è l'acquisto al patrimonio pubblico di una parte delle PP.FF. 815/2, 816 e 817, che consentirebbe di ampliare l'area di sosta esistente. L'area oggetto di variante era dal PGR destinata ad “Area agricola di interesse locale”, ma è stato individuato l'ambito perequativo TP 7, che prevede la possibilità di concentrare

l'edificabilità residenziale generata dall'applicazione dell'indice perequativo nella parte nord-ovest, a fronte della cessione della porzione dell'area posta a sud-est, per la realizzazione di un "parcheggio pubblico".

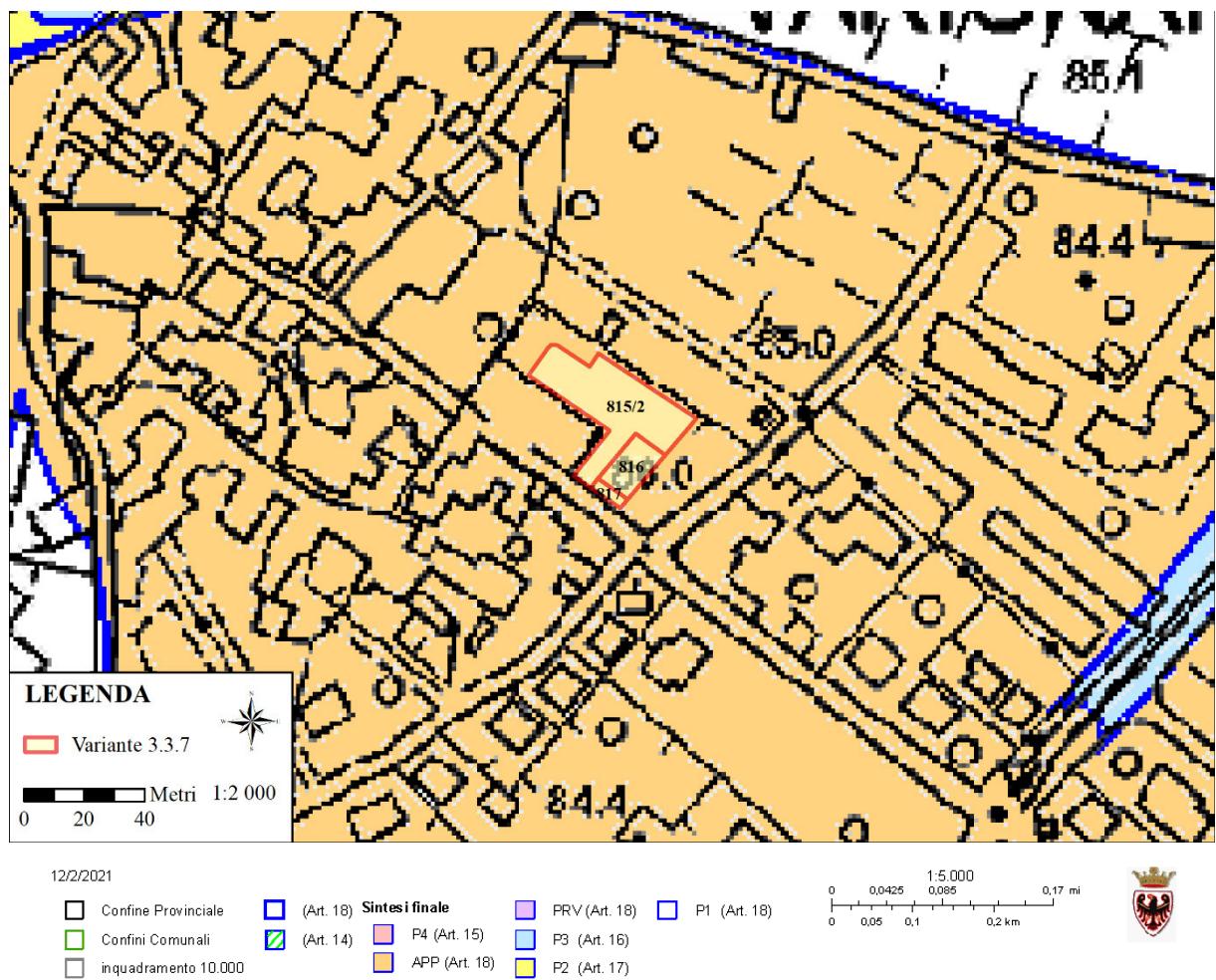


Figura 3 – Estratto della Carta di Sintesi della Pericolosità con localizzata la variante.

### 2.2.2 Variante 5.1.1.1 – Verde pubblico Via Dante Alighieri

L'area è localizzata a Ceole, identificata catastalmente con la P.F. 27/1, 28, 29, 30, 8/2 (parte), 9, 10/1 e 10/2 C.C. Romarzollo, in adiacenza al parcheggio privato di uso pubblico del Santuario della Madonna delle Grazie. La parte posta a nord è utilizzata come viabilità di accesso al parcheggio, mentre la parte posta a sud è un'area a verde attrezzato di proprietà del Santuario fruibile liberamente. Nel Piano Regolatore Generale vigente l'area è individuata

come area a verde pubblico (Art. 32 delle N.T.A.), ma considerati gli usi in atto è prevista la modifica della destinazione urbanistica delle P.F. 29, 30, 8/2 (parte), 9, 10/1, 10/2 in “verde privato” e per la P.F. 27/1 e 28 in parcheggio pubblico.

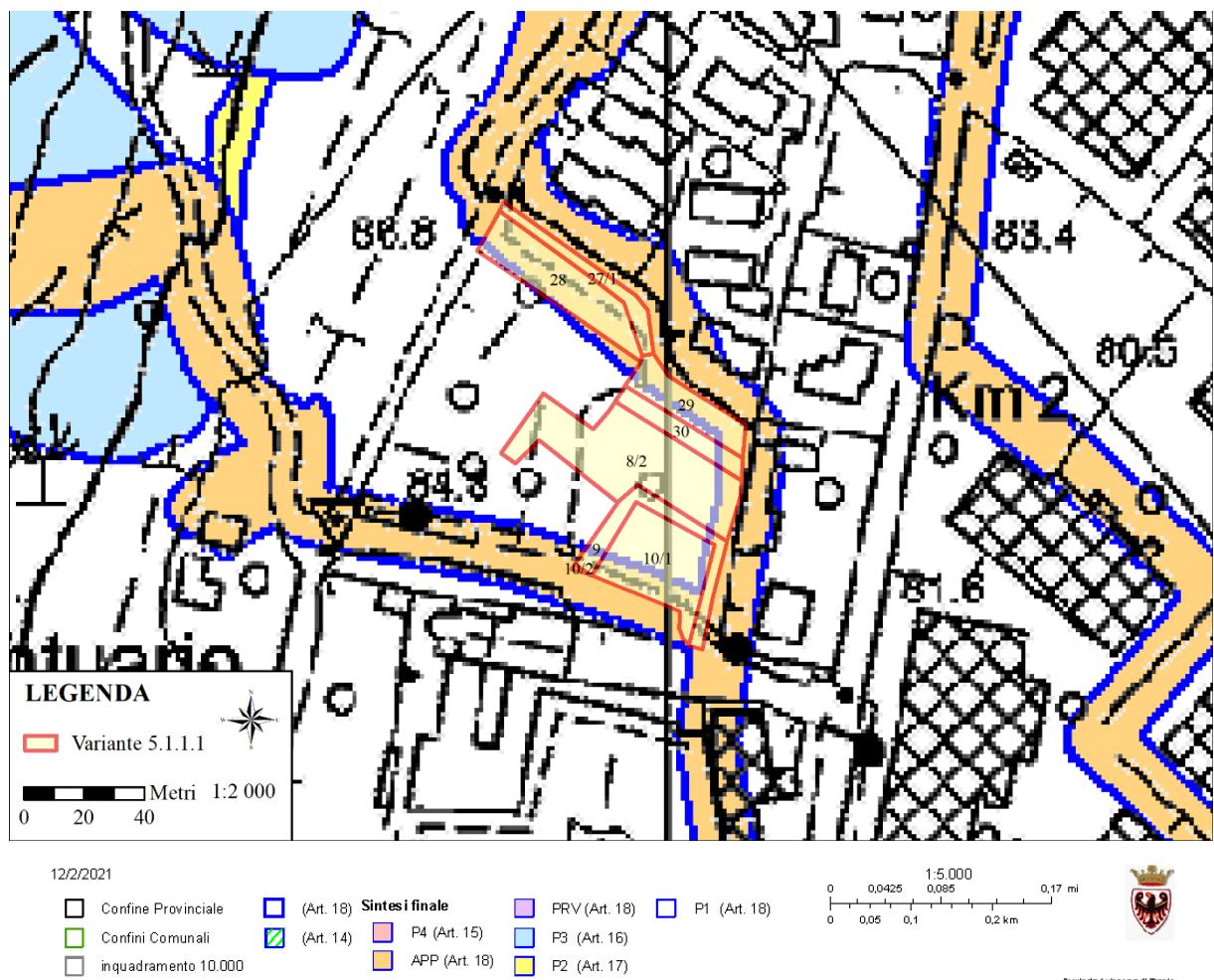


Figura 4 – Estratto della Carta di Sintesi della Pericolosità con localizzata la variante.

### 2.2.3 Variante 5.1.2.2 – Verde pubblico Via Vittorio Veneto

La P.F. 840/1 C.C. Romarzollo è individuata dal Piano Regolatore Generale vigente come area a verde pubblico di completamento all’area a verde realizzata sulla P.F. 840/5 (Art. 32 N.T.A.). Nel breve periodo, non è di interesse per l’Amministrazione l’acquisizione della P.F. 840/1 al patrimonio pubblico, per cui, considerata anche la destinazione attuale (coltivazione

ad olivi) e il suo inserimento in un contesto residenziale, la variante prevede la variazione urbanistica da area a verde pubblico ad area a verde privato (Art.17 N.T.A.).

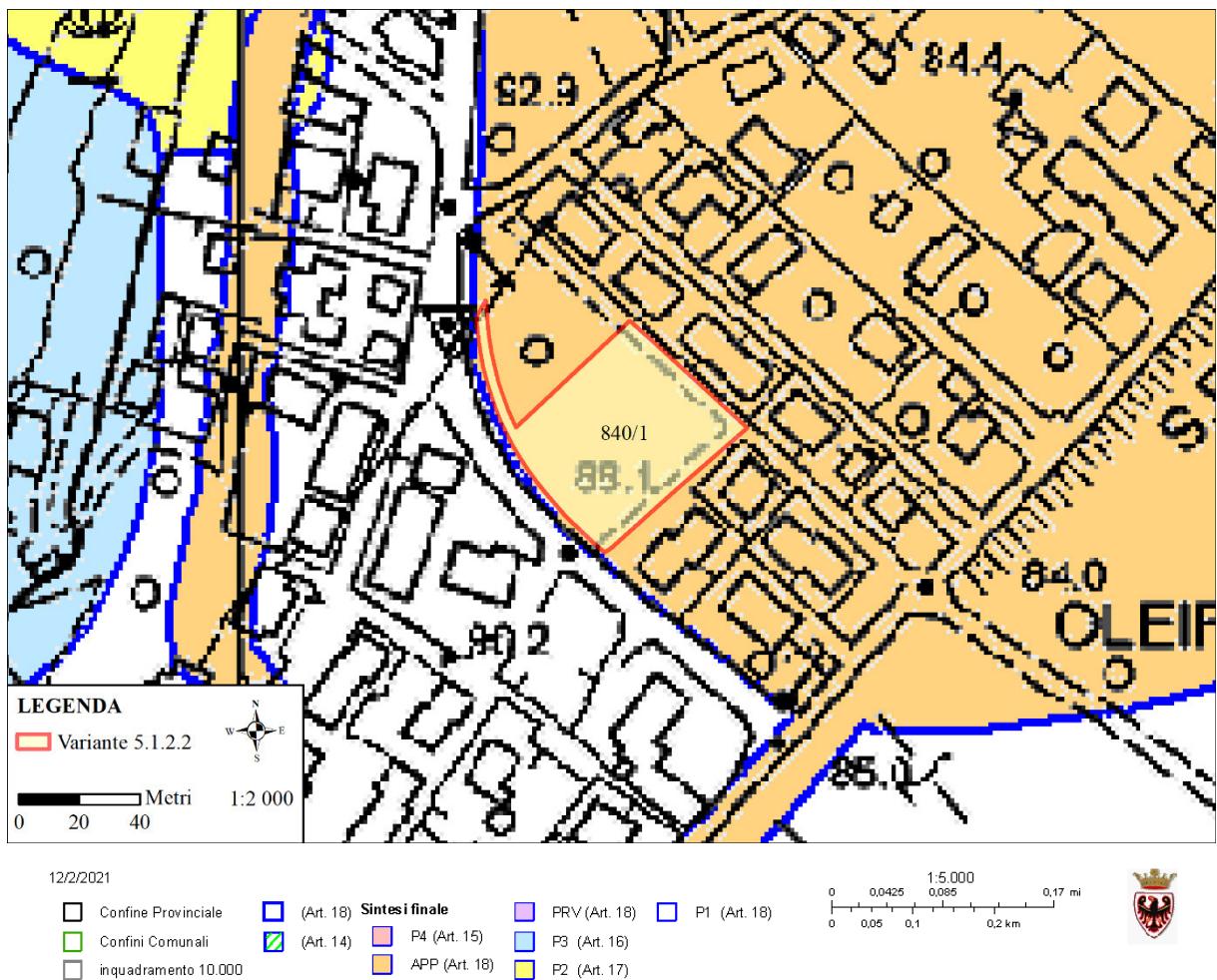


Figura 5 – Estratto della Carta di Sintesi della Pericolosità con localizzata la variante.

### 3. APPROCCIO METODOLOGICO

Per l'area in esame è disponibile uno studio di bacino, redatto a fine anni '90, il quale è stato oggetto di consultazione per un primo inquadramento dell'area e ha fornito utili informazioni per i successivi sopralluoghi e indagini di carattere idrologico-idraulico.

Un aspetto che si è ritenuto di indagare con maggiore attenzione, in virtù anche delle maggiori conoscenze e mezzi a disposizione, sono state le portate liquide attese per assegnati tempi di ritorno. Seppure nello studio consultato sia stato eseguito un calcolo della portata

liquida, alla sezione di chiusura posta in corrispondenza della cava di Galaverna, nel presente studio si è preferito condurre una analisi ex novo, spostando la sezione di chiusura in apice al conoide (ponte posto a quota 120 m s.l.m. circa) e adottando i nuovi approcci metodologici e modelli idrologici, resi disponibili negli ultimi decenni per l'applicazione ai bacini idrografici montani.

Partendo dai dati Lidar, previa individuazione dello spartiacque, è stata eseguita l'analisi morfometrica del bacino idrografico, al fine di caratterizzare il grado evolutivo e la tipologia di fenomeni attesi sulla base di alcuni parametri descrittivi relativi al bacino e al conoide, mentre per determinare la portata liquida, al verificarsi di un evento intenso, si è fatto ricorso ai dati disponibili presso il Servizio Bacini Montani (Carta CN, Area Drenata, Direzione deflussi).

Il modello afflussi-deflussi, impiegato per le simulazioni, considera la capacità di produrre deflusso localizzato in funzione dell'uso del suolo e la permeabilità dei terreni. Nella ricerca del valore di piena più probabile, per un assegnato tempo di ritorno, sono stati fatti variare alcuni parametri per l'area in esame (area soglia, pluviogramma, ecc.), in modo da cogliere il valore massimo.

All'indagine documentale sono seguiti dei sopralluoghi condotti lungo il corso d'acqua, che hanno permesso di verificare la reale capacità di produzione di sedimento, il quantitativo di sedimento a disposizione per il trasporto, la presenza di opere di sistemazione idraulico – forestali e l'individuazione di ipotetiche sezioni critiche.

Per le verifiche di tipo idraulico sono stati utilizzati dei modelli matematici di propagazione della corrente, di tipo monodimensionale (HecRas) e di tipo bidimensionale (Flo2D), rispettivamente per analizzare la propagazione della corrente lungo il cunettone e per la mappatura del grado di pericolo per le aree investite dalla corrente in caso di ostruzione accidentale di alcune sezioni ritenute critiche oppure che il modello monodimensionale individua come non sufficienti.

La determinazione del grado di esposizione al pericolo è stata dedotta partendo dai risultati ottenuti dall'applicazione del modello bidimensionale, relativamente alla stima del tirante della corrente e della velocità per ciascuna cella descrittiva dell'area analizzata investita dalla corrente.

L'implementazione del modello è avvenuta sulla base topografica dedotta dai dati Lidar (anno 2014). Il modello altimetrico, prima del suo utilizzo a fini idraulici, è stato oggetto di riscontro sul campo per valutare l'attendibilità. L'esito finale di tale analisi ha evidenziato come il modello Lidar sia in grado di descrivere, nei limiti della dimensione della cella descrittiva,

anche le piccole variazioni topografiche. A tal proposito si vuole ricordare che l'applicazione di un qualsiasi modello idraulico, sia esso mono o bidimensionale, richiede la conoscenza della micro topografia dei luoghi; sottovalutare l'aspetto topografico o utilizzare dati non precisi significa ottenere dei risultati poco attendibili e spesso forvianti.

La rappresentazione dei risultati ottenuti è avvenuta in ambiente GIS; le mappe dell'altezza del tirante idrico e della velocità hanno permesso di caratterizzare il grado di pericolo, a cui è affetto il conoide.

#### 4. DESCRIZIONE DELL'AREA DI ANALISI

Il Rio Bordellino di Varignano drena le acque della Valle del Tovo, caratterizzata da numerosi depositi detritici alla base dei ripidi versanti (sinistra orografia) o delle imponenti pareti subverticali rocciose (destra orografica).

Il Rio Bordellino di Varignano prende origine dalle pendici sottostanti alla Cima Nanzone, ma l'elevata permeabilità del substrato litologico non evidenzia segni di deflusso superficiale, fatto salvo brevi tratti, che poi si esauriscono per progressiva infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo.

Adottando come sezione di chiusura il ponte localizzato in apice del conoide (quota 120 m s.l.m.), lo spartiacque risale il versante in destra idrografica con direzione prevalente sud -est nord ovest, attraversando loc. Serbatoio Novino e loc. Calino, fino ad arrivare al Rifugio San Pietro. Nel tratto successivo la displuviale si orienta verso nord, passa per il Monte San Pietro, per poi proseguire seguendo la linea di cresta, a tratti poco pronunciata, sulla sommità di una dorsale dalle morfologie dolci. Poco a sud della loc. Treni la displuviale si orienta prima verso est, per poi dirigersi verso nord est, passare per loc. Tovo, fino ad arrivare alla sommità di un monte anonimo (quota 1302 m s.l.m. circa), dove cambia bruscamente direzione disponendosi verso sud. Dopo essere passata in corrispondenza di Cima Nanzone, lo spartiacque segue la cresta alla sommità del versante Piazzo. A quota 540 m s.l.m., la linea di cresta si viene a perdere per la presenza di una sella, da dove lo spartiacque cambia direzione disponendosi prima verso sud est e poi verso sud, lambire l'area dell'ex cava Galaverna e da qui ricongiungersi con la sezione di chiusura (coordinate UTM 643928E – 5086908N).

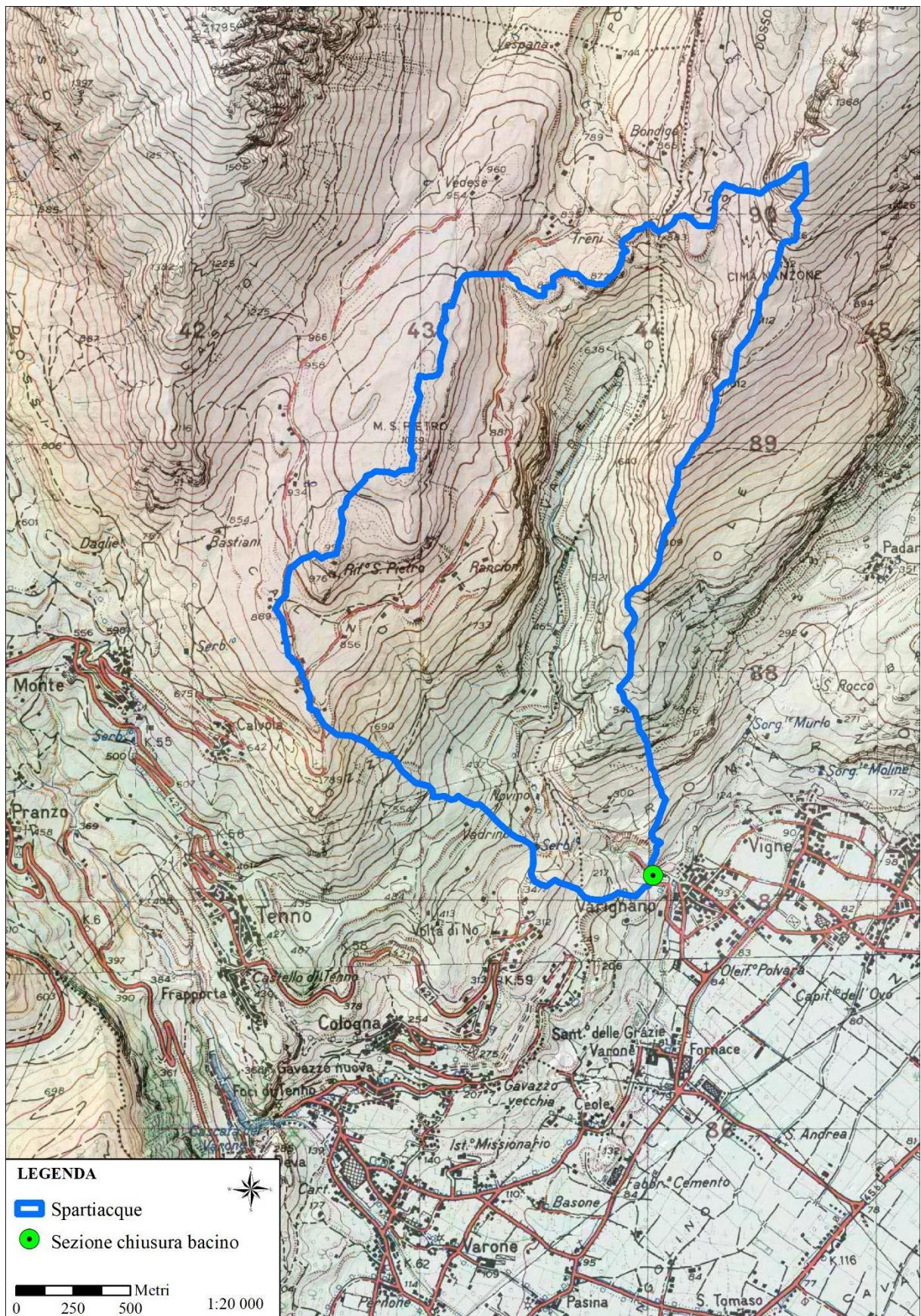


Figura 6 – Inquadramento del bacino idrografico del Rio Bordellino di Varignano

## 4.1 Uso del suolo

La zona montana del bacino idrografico del Rio Bordellino di Varignano è scarsamente antropizzata, occupata prevalentemente da cedui e fustaie, che insistono su terreni ad elevate pendenza ed alta permeabilità. Alla parte montana, si contrappone la piana di Riva, che presenta uno dei più alti tassi di sviluppo urbano della provincia di Trento; le aree destinate all'agricoltura sono frammentate, di piccole dimensioni e in forte contrazione a causa dell'espansione delle zone residenziali, artigianali ed infrastrutture.

I boschi, che si osservano nella parte montana, sono governati a ceduo o fustaia, spesso compenetrati fra di loro, in generale caratterizzati da scarse provvigioni a causa della scarsa fertilità dei suoli e carenza idrica per l'elevata permeabilità. Le specie prevalenti sono ascrivibili al carpino nero (*Ostrya carpinifolia*), pino silvestre (*Pinus sylvestris*), con qualche sporadica presenza di abete rosso (*Picea abies*). Nelle zone in ombra e maggiore umidità si osserva anche una discreta presenza di faggio (*Fagus sylvatica*).

Le formazioni boscate dominano l'intero versante in sinistra orografica, mentre sul lato opposto, complice la maggiore insolazione, sono presenti ampie zone con coltivazioni terrazzate e zone a prato, in particolare nelle zone a minore pendenza, in corrispondenza della fascia altimetrica fra gli 800 e 850 m s.l.m. e poi, più in basso, al di sotto della curva di livello dei 460 m s.l.m.. In corrispondenza delle aree agricole di maggiore estensione si osservano dei piccoli centri abitati, serviti da viabilità ordinaria.

Nella fascia pedemontana, in parte inclusi all'interno dello spartiacque, si osservano aree coltivate soprattutto a frutteto, oliveto e vigneto.

<i>Descrizione categorie</i>	<i>Rio Bordellino</i>	
	<i>Area [ha]</i>	<i>%</i>
<i>Aree a bosco</i>	303.49	85.23
<i>Rocce nude</i>	0.57	0.16
<i>Rupi boscate</i>	10.15	2.85
<i>Urbanizzato</i>	2.87	0.81
<i>Colture agricole e seminativi</i>	26.98	7.58
<i>Corsi d'acqua</i>	2.99	0.84
<i>Oliveti e vigneti</i>	6.12	1.72
<i>Prati stabili</i>	2.50	0.70
<i>Reti stradali</i>	0.40	0.11
<b><i>Area [ha]</i></b>	<b>356.07</b>	<b>100.00</b>
<b><i>Coefficiente di boscosità</i></b>	<b>88%</b>	

Tabella 1 – Estensione delle categorie di uso de suolo del bacino idrografico

Le aree a bosco si estendono su una superficie pari all'88%, includendo anche le rupi boscate (pari a quasi il 3% della superficie del bacino), mentre la parte restante è rappresentata prevalentemente da colture agrarie, oliveti, vigneti e prati stabili. La parte urbanizzata e le infrastrutture occupano poco più di 3 ettari ad indicare un elevato grado di naturalità dell'area analizzata.

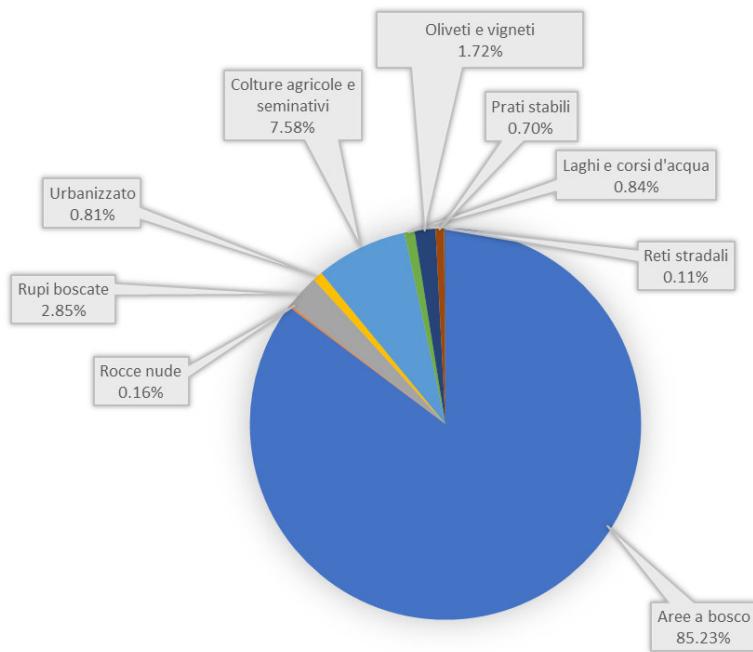


Figura 7 – Grafico dell'estensione delle categorie di uso del suolo del bacino idrografico

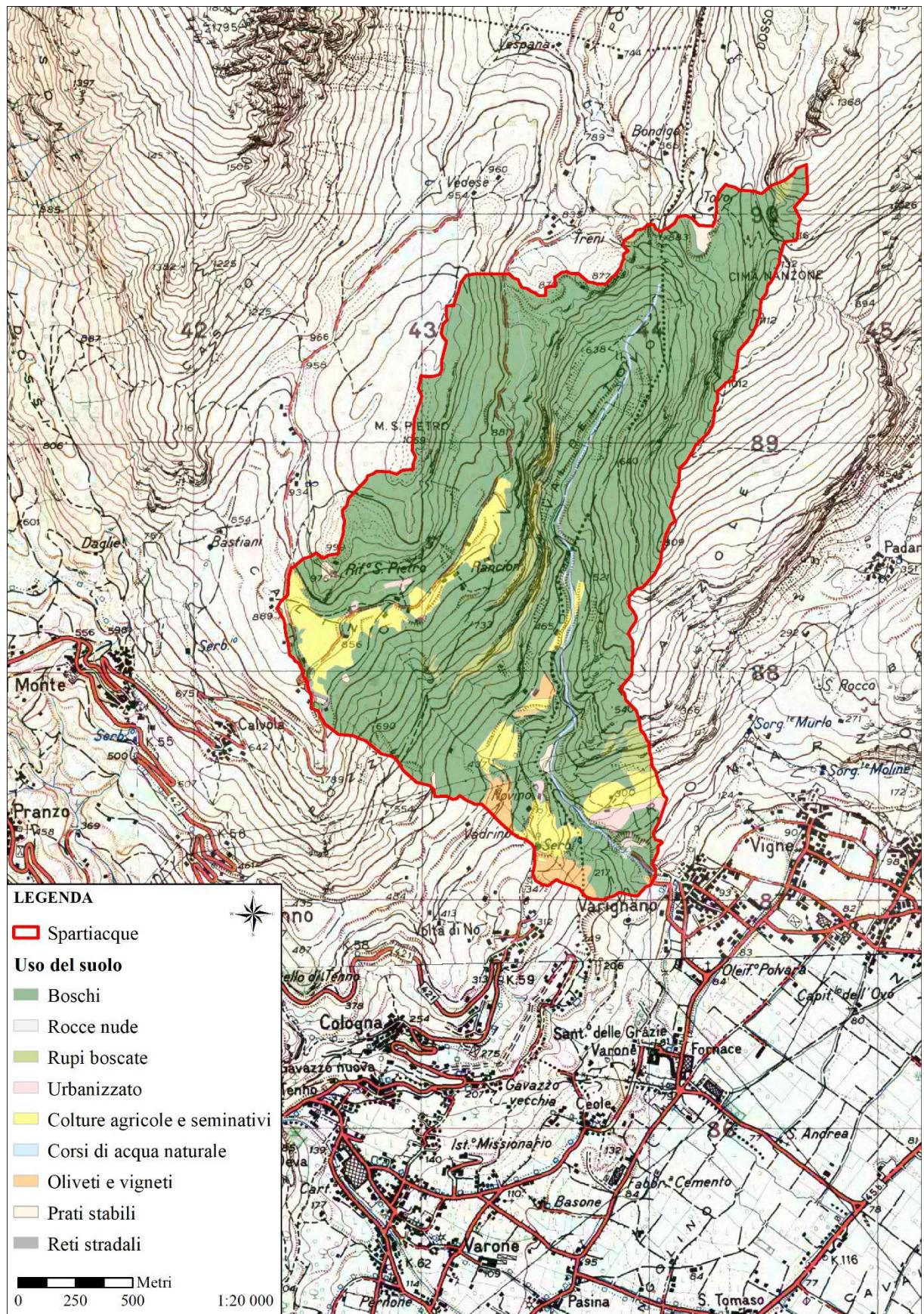


Figura 8 – Uso del suolo del bacino idrografico oggetto di analisi

## 4.2 Geologia

Il bacino idrografico si compone di alcune tipologie litologiche, che si estendono in modo eterogeneo, ma che principalmente si possono ricondurre ai *Calcari (Lias)*, che formano le pareti rocciose e le aree poste a quota maggiore. La parte alta del corso d'acqua invece si compone prevalentemente di falda di detrito a prevalenza di ghiaia, con un'elevata permeabilità, tanto da rendere effimera la presenza d'acqua.

<i>Descrizione categorie</i>	<i>Rio Bordellino</i>	
	<i>Area [ha]</i>	<i>%</i>
<i>Alluvioni ghiaiose</i>	2.398	0.67
<i>Morene grossolane</i>	80.226	22.53
<i>Terza unità carbonatica incompetente (Giurassico Cretaceo)</i>	51.558	14.48
<i>Intervallo clastico carbonatico incompetente (Cretacico sup.)</i>	5.026	1.41
<i>Terza unità carbonatica competente (lias)</i>	148.827	41.80
<i>Detriti di falda a ghiaia</i>	68.033	19.11
<b>Area [ha]</b>	<b>356.07</b>	<b>100.00</b>

Tabella 2 – Estensione delle categorie litologiche

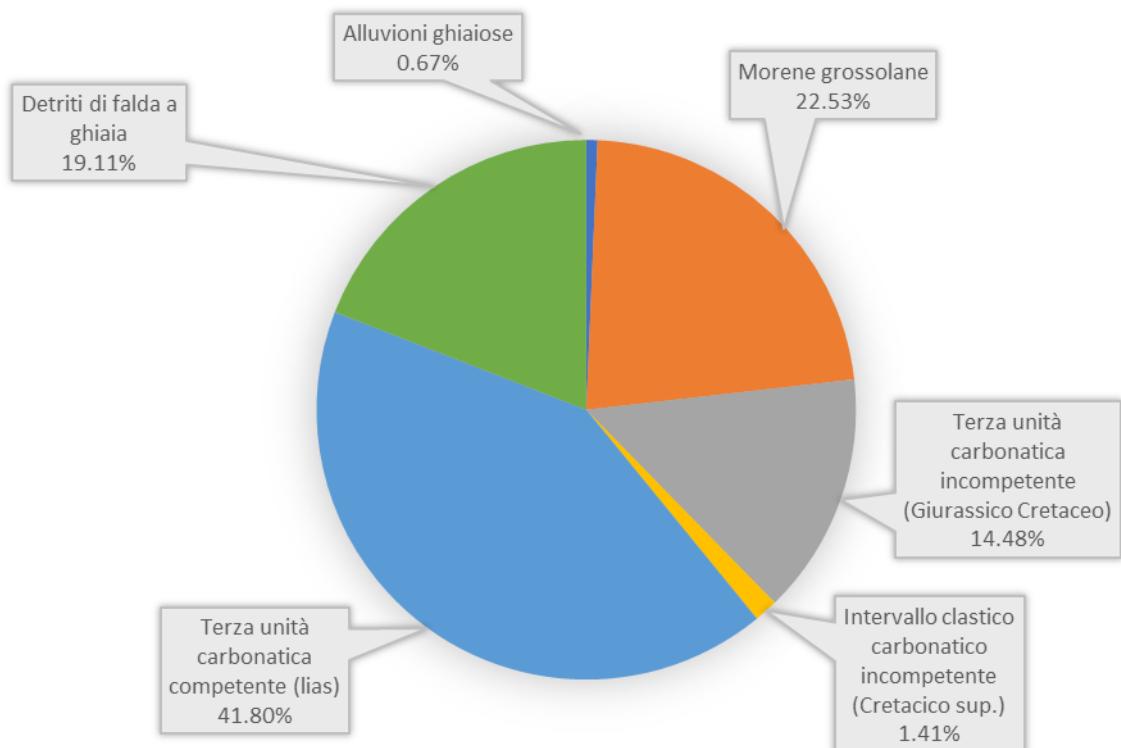


Figura 9 – Grafico dell'estensione delle categorie litologiche presenti all'interno del bacino

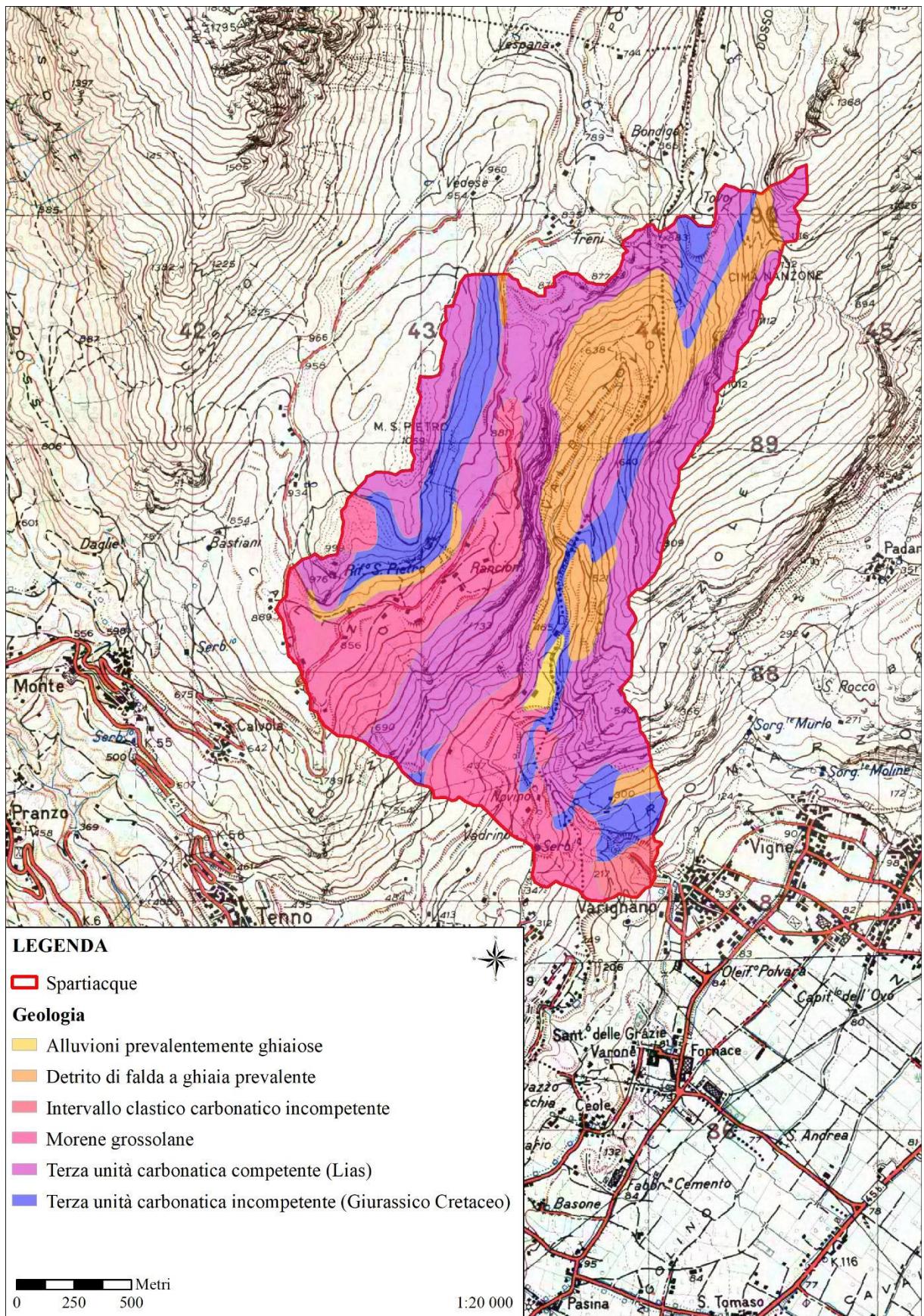


Figura 10 – Tipologie geologiche nel bacino idrografico oggetto di analisi

## 5. ANALISI STORICA DEGLI EVENTI ALLUVIONALI

Le notizie di alluvioni e straripamenti del Rio Bordellino risalgono al decennio 1966 – 1976, in corrispondenza dell’area edificata di Varignano.

Di seguito si riportano alcuni estratti relativi agli eventi più significativi:

- 4 novembre 1966: *“La situazione più grave si presenta a Varignano, per la piena del torrente Bordellino, un fosso non più largo di un metro e mezzo, ma pericolosissimo per la velocità dello scorrimento delle sue acque. Infatti, in un’ansa poco sotto la filanda un alto argine che protegge le campagne, mostra delle profonde screpolature, minaccia di cedere e provocare lo straripamento con le conseguenze che si possono immaginare. ...”* (Fonte L’Adige 05/11/1966)
- 13 settembre 1976: *“il “Bordellino” di Varignano “è straripato verso le 23,15 dell’altra notte ... Il Bordellino, portando con sé una grande quantità di sassi e detriti, raccolti da una vicina cava, ha fatto irruzione nel cortile della canonica e si è scaricato lungo le strade vicine trasformandole, ben presto, in limacciosi torrenti. Ovviamente ne hanno fatto le spese gli scantinati delle case interamente allagati, mentre in certi casi l’acqua è penetrata anche nei piani terreni. I danni sono ovviamente ingenti ... Vengono usati alcuni escavatori per consentire al torrente, bloccato in più punti dai detriti, di fluire regolarmente, ma nonostante questo il Bordellino straripa ancora in più punti allagando intere campagne. La tempestiva opera dei vigili del fuoco ha comunque evitato che il torrente impazzito giungesse ad allagare, come ha fatto in più riprese in tempi più o meno recenti, le vicine fabbriche Carloni e della Cementi Riva. Anche nell’abitato di Vigne lo straripamento di un torrentello”* (Bordellino di Vigne) *“ha recato danni ai campi ed agli scantinati, sebbene in misura minore di quanto non sia successo a Varignano”* (Fonte L’Adige, 15/09/1976)

Dal 1976 ad oggi non si ha documentazione scritta di altri eventi calamitosi; anche in concomitanza di eventi particolarmente intensi, che hanno interessato in modo generalizzato la Provincia Autonoma di Trento, non sono stati segnalate situazioni critiche. A creare una condizione di maggiore sicurezza idraulica hanno contribuito i numerosi interventi di sistemazione idraulica realizzati dal Servizio Bacini Montani.

## 6. ANALISI STORICA DEGLI INTERVENTI DI SISTEMAZIONE

Gli interventi di sistemazione attuati dalla Provincia e dalle Amministrazioni locali si sono concentrati dopo gli eventi alluvionali riportati nel paragrafo precedente. Gli interventi hanno avuto lo scopo di controllare il deflusso del corso d'acqua nel tratto mediano, in corrispondenza di infrastrutture o centri abitati, e nella zona pedemontana, in corrispondenza del cambio di pendenza verso la zona pianeggiante.

All'uscita del tratto vallivo il corso d'acqua è convogliato in un cunettone che lo conduce fino al bacino di invaso realizzato poco a valle, per la sedimentazione della frazione solida, in modo tale da presentare nel tratto successivo una corrente priva di sedimenti.

In apice al conoide il corso d'acqua è delimitato verso valle da una briglia di consolidamento (realizzata nel 1988) e dal ponte sulla strada di accesso alla cava. Allo stato attuale, la costante permanenza di acqua, a causa della maggiore quota a cui è posta la soglia della briglia rispetto al fondo, e la naturalità delle sponde hanno favorito l'espansione della vegetazione, tanto da ridurre parzialmente la capacità di invaso e la visibilità delle opere.



Figura 11 – Cunettone appena a valle dell'uscita del tratto vallivo (sinistra); bacino di deposito a monte della strada che conduce alla ex cava (destra).

Nel tratto a valle l'alveo è stato completamente regimato. Per un primo tratto, di circa 70 m, l'alveo presenta una sezione tendenzialmente rettangolare, con muri e fondo in calcestruzzo. In sponda destra, il muro si presenta piuttosto alto, fungendo anche da sostegno alla strada, mentre in sponda sinistra l'altezza è variabile e a tratti assente per la presenza del poggio del fabbricato o del muro perimetrale del fabbricato, che funge da sponda. In questo tratto il fondo presenta una larghezza variabile da 1.80 a 3.2 m e una pendenza di circa il 11%. Per queste opere non sono state trovate delle indicazioni circa l'anno di costruzione, ma si presuppone che

siano state realizzate in concomitanza della realizzazione delle sistemazioni condotte a monte o a valle.



Figura 12 – Tratto in apice al conoide delimitato da muri di sponda (sinistra) e dal muro perimetrale del fabbricato in sponda sinistra (destra).

Per il successivo tratto, di circa 750 metri, le acque sono condotte verso valle a margine del centro abitato, con un cunettone realizzato dal Servizio Bacini Montani negli anni 1977-79; la sezione del cunettone ha una forma trapezoidale, con fondo in calcestruzzo e una larghezza alla base di 1.10 metri, sponde sub verticali in pietrame e malta e una larghezza in sommità pari a 1.65 m, con una livelletta al fondo che si riduce progressivamente passando dal 10% al 2%



Figura 13 – Tratto di cunettone in apice al conoide (sinistra); tratto a valle in prossimità del piazzale del Santuario delle Grazie (destra).

In corrispondenza del piazzale del Santuario delle Grazie è presente una vasca di laminazione del sedimento, con lo scopo di trattenere l'eventuale frazione solida non intercettata a monte. Essa rappresenta una discontinuità sia in termini idraulici sia in termini geometrici. Infatti, a valle di quest'opera la sezione assume sempre una forma trapezoidale, ma

si osserva una progressiva riduzione dell'altezza delle sponde, fino ad assumere valori di circa 1.50 m in corrispondenza dell'imbocco del tratto di attraversamento della strada in prossimità del Santuario delle Grazie.



Figura 14 – Vasca posta sul lato nord del parcheggio del Santuario delle Grazie (sinistra); tratto immediatamente a monte dell'attraversamento stradale in corrispondenza del Santuario delle Grazie (destra).

Le opere, che si possono osservare, sono state realizzate a seguito dei gravi danni provocati dall'esondazione del Rio Bordellino negli anni '70, quando l'assetto del bacino idrografico era diverso rispetto a quello attuale. Nello studio di bacino, redatto negli anni '90, la situazione descritta è diversa da quella attuale, in particolare la sistemazione della cava ha indotto un minore trasporto solido e di conseguenza una maggiore efficienza idraulica delle opere presenti.

## 7. ANALISI DELLA RETE IDROGRAFICA

La consultazione delle cartografie relative all'area del bacino idrografico del Rio Bordellino indica la presenza di un'asta torrentizia fin dalla testata, poco a valle della loc. Tovo. I sopralluoghi condotti sul posto hanno evidenziato la presenza del solco vallivo, ma l'assenza di segni di scorrimento d'acqua in superficie. La zona si presenta piuttosto arida, priva di sorgenti per l'elevata permeabilità dei suoli, fatto salvo una piccola venuta d'acqua in corrispondenza del sentiero n. 409 (Val di Tovo), la cui acqua poi si infiltrà poco a valle.



Figura 15 – Versanti alla testata del bacino caratterizzati da depositi detritici grossolani altamente permeabili.

Una seconda sorgente d'acqua è stata rinvenuta a quota 670 m s.l.m., lungo la pista forestale, che risale il fondo valle. Anche in questo caso, dopo una decina di metri, l'acqua si infiltra, ancor prima di raggiungere quello che potrebbe essere indentificato come alveo, che si presenta privo di segni di scorrimento d'acqua, con matrice grossolana, altamente permeabile.



Figura 16 – Alveo con assenza di segni di scorrimento d'acqua, altamente permeabile.

Nella parte mediana del bacino, il versante destro della Val di Tovo presenta un salto di roccia a tratti imponente, con continua attività di scarico materiale per distacco dalle pareti subverticali. Questa attività di rilascio di materiale lapideo ha edificato al piede del salto di roccia un imponente deposito detritico, a tratti privo di vegetazione nelle parti ancora attive. Anche sul versante sinistro si possono osservare dei depositi detritici, tendenzialmente a granulometria più ridotta. In entrambi i casi essi esercitano un “effetto spugna” in caso di precipitazioni, impedendo un deflusso superficiale e favorendo l'infiltrazione dell'acqua nel sottosuolo per poi restituirla più a valle. Non si esclude che la restituzione avvenga anche esternamente al bacino idrografico analizzato.

Nonostante la presenza di un substrato piuttosto arido si osserva una copertura forestale continua, fatto salvo i ghiaioni di recente formazione, dove le specie prevalenti sono rappresentate dal carpino nero, pino silvestre, sporadica presenza di abete rosso, e dove maggiore è l'umidità dell'aria e minore l'insolazione si osserva anche una discreta presenza del faggio (soprattutto versante sinistro).



Figura 17 – Depositi detritici alla base del versante destro (sinistra) e sinistro (destra).

L'attività di produzione di materiale lapideo in alcuni casi ha generato una parziale ostruzione della valle con un profilo di fondo in contropendenza. Questa particolare situazione si osserva a quota 530 m s.l.m. circa e a quota 500 m s.l.m.



Figura 18 – Tratti in contropendenza sul fondo della valle localizzati a quota 530 m s.l.m. (sinistra) e 500 m s.l.m. (destra).

A valle dell'intersezione dell'asse vallivo con la pista forestale (quota 490 m s.l.m.) l'alveo non evidenzia ancora segni recenti di passaggio d'acqua. La presenza di una matrice

molto grossolana, a tratti con falde detritiche, che arrivano fino al fondo valle, impedisce di fatto uno scorrimento in superficie dell’acqua, anche in caso di evento particolarmente intenso.



Figura 19 – Tratto a valle dell’intersezione con la pista forestale (quota 490 m s.l.m.) (sinistra); falde detritiche estese fino al fondovalle (destra).

A quota 470 m s.l.m. l’assenza di un deflusso costante o saltuario ha portato ad una bonifica del fondo valle e la coltivazione a prato.



Figura 20 – Tratto di fondovalle recuperato a fini agricoli (quota 470 m s.l.m.).

A valle dell’area coltivata (quota 445 m s.l.m.) si osserva un canale scavato dall’acqua, a tratti con sponde in pietrame a secco, indice di un deflusso per lo meno saltuario. In occasione del sopralluogo condotto (metà aprile 2021) l’acqua affiora in modo improvviso e con una discreta portata a quota 425 m s.l.m.



Figura 21 – Sponde in pietrame a secco a delimitare il sedime dell’alveo (sinistra); tratto in cui emerge l’acqua generando una discreta portata (destra).

Nel successivo tratto, da quota 425 a quota 310 m s.l.m. l’alveo si presenta a tratti confinato e in altri tratti meno, con possibilità per la corrente di divagare lungo il sentiero lastricato, che risale la valle (pendenza media del tratto 25%).

La presenza in alveo di elementi lapidei ricoperti da abbondante muschio indica un deflusso regolare, senza trasporto solido e una corrente non eccessivamente impetuosa, neppure in occasione di lunghe precipitazioni o eventi temporaleschi, a testimonianza che l’acqua infiltrata a monte tende ad essere restituita in modo graduale a valle. La stabilità del fondo dell’alveo è inoltre confermata dalla presenza di strutture a step-pool.



Figura 22 – Alveo con elementi lapidei in loco da lunga data ricoperti da muschio (sinistra); alveo strutturato con sequenze a step-pool (destra).

Nei tratti a maggiore pendenza si osserva una minore stabilità del letto del corso d’acqua, con sacche di sedimento di recente formazione. Questa è la caratteristica del settore a monte della confluenza con l’affluente, che scende in destra idrografica, alimentato dalla sorgente

Novino. Anche nel successivo settore a valle della confluenza si osservano le medesime caratteristiche.

A chiusura di questo tratto è stata rinvenuta una briglia in pietrame, probabilmente eretta ancora ad inizio secolo scorso.



Figura 23 – Alveo con elementi lapidei disponibili al trasporto (sinistra); briglia in pietrame (destra).

Il tratto, che si estende da quota 310 m s.l.m. alla ex cava, è caratterizzato da diversi affioramenti di roccia, e sponde piuttosto pendenti, a tratti di difficile percorrenza; il primo settore presenta una pendenza del 21%, seguito da un tratto più acclive al 49% circa (pendenza media del tratto 31%). In questo settore sono stati osservati dei depositi localizzati di sedimento, ma nel complesso di poco conto.

Ai salti di roccia spesso si accompagnano tratti a minore pendenza, quasi pianeggianti, con una strutturazione morfologica.



Figura 24 – Affioramento di roccia in alveo (sinistra); cascata seguita da tratto a scarsa pendenza (destra).

Il corso d'acqua si immette sulla cava dopo un salto di roccia di una decina di metri. L'assenza di un accumulo di sedimento alla base, suggerisce che la frazione solida trasportata dal corso d'acqua è minimale e prontamente rimosso dalla corrente.

Il flusso è intercettato all'interno di un ampio cunettone con fondo in calcestruzzo e pendenza media al fondo del 17%, che si raccorda con il tratto sistemato posto più a valle.



Figura 25 – Immissione del corso d'acqua in corrispondenza dell'area dell'ex cava (sinistra); inizio del cunettone con cui l'acqua è condotta a valle (destra).

## **8. FENOMENI FRANOSI ED EROSIVI RILEVATI LUNGO L'ASTA TORRENTIZIA E SUI VERSANTI**

Il sopralluogo condotto lungo l'asta torrentizia ha evidenziato l'assenza di fenomeni franosi o erosivi in atto. I depositi detritici, presenti alla base dei ripidi versanti, sono caratterizzati da una pezzatura tale per cui non possono essere rimossi dalla scarsa circolazione idrica superficiale.

Il tratto, che potrebbe alimentare il trasporto solido, è il settore che si estende da quota 425 a quota 310 m s.l.m., con una lunghezza complessiva di 470 metri, il cui contributo specifico è stato valutato variabile fra 0.5 e 1.0 m<sup>3</sup>/m. L'alveo in questo settore presenta una larghezza massima di 3 metri, mediamente sui 2 metri, per cui la volumetria massima di sedimenti, che possono essere mobilizzati, non supera il migliaio di metri cubi.

Volendo sommare anche il contributo delle sacche presenti nel tratto con affioramenti rocciosi, l'ordine di grandezza rimane invariato, arrivando al massimo a 1500-2000 m<sup>3</sup>.

Nota la volumetria, che può essere mobilizzata, il fenomeno atteso in apice al conoide è inquadrabile come un evento di piena liquida, con una frazione del tutto trascurabile di sedimento.

## 9. ANALISI MORFOMETRICA

### 9.1 Bacino idrografico

Con riferimento al bacino idrografico sotteso alla sezione di chiusura posta in corrispondenza del ponte sulla strada che conduce alla ex cava (quota 120 m s.l.m.), localizzato appena a monte dell'abitato di Varignano, è stata condotta una analisi di tipo morfometrico.

Le informazioni di carattere altimetrico sono rappresentate graficamente attraverso la curva ipsometrica dimensionale (Figura 26) ed adimensionale (Figura 27). La distribuzione delle superfici rispetto alle classi di dislivello, ovvero l'andamento della curva ipsometrica, denota un andamento convesso della curva per la parte superiore del bacino e concavo per quella inferiore. Il grado di evoluzione del bacino analizzato è meglio descritto dalla curva ipsometrica espressa in forma adimensionale. Nel caso specifico la curva ipsometrica si colloca al di sotto della bisettrice, dove maggiori sono stati i processi erosivi, mentre nella parte medio-bassa prevalgono depositi potenzialmente erodibili.

Oltre all'analisi dell'estensione delle singole fasce altimetriche (Figura 28) è stata analizzata la pendenza delle stesse. Ciò ha portato ad elaborare il grafico riportato in Figura 29, dove si evidenzia un andamento della pendenza variabile, con superamento del valore medio in corrispondenza di quelle fasce altimetriche che includono salti di roccia più o meno importanti.

La Figura 30, invece, rappresenta la distribuzione delle classi di pendenza (ampiezza della classe 10%); il valore massimo, pari al 15 % circa, corrisponde alla fascia del 60 % di pendenza.

Oltre alla rappresentazione grafica dei parametri morfometrici è stata redatta una tabella di sintesi (Tabella 3); il fattore di forma classico e quello di Gravellius assumono valori molti simili ad indicare una forma del bacino ovoidale-allungata.

Area topografica del bacino	3.56 km <sup>2</sup>
Area effettiva (3D)	4.44 km <sup>2</sup>
Quota minima	120.57 m s.l.m.
Quota media	708.09 m s.l.m.
Quota massima	1300.57 m s.l.m.
Pendenza media	67.41 %
Fattore di forma	1.58
Fatt. di forma di Gravelius	1.51

Tabella 3 – Alcuni dei principali parametri morfometrici del bacino idrografico del Rio Bordellino.

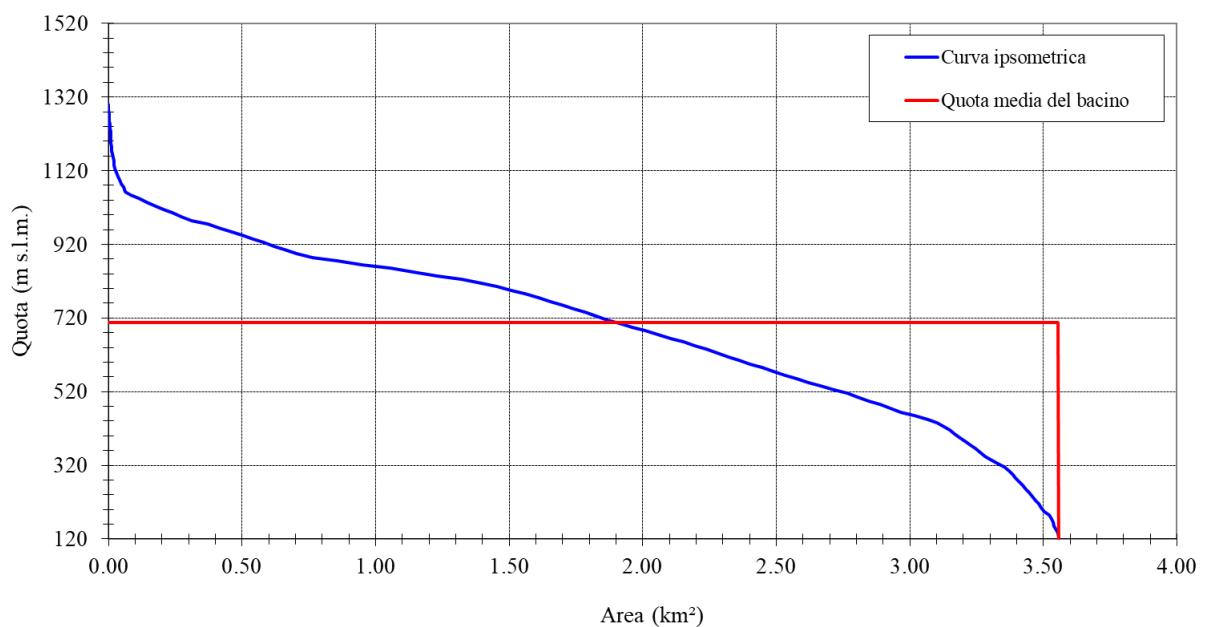


Figura 26 – Curva ipsometrica dimensionale.

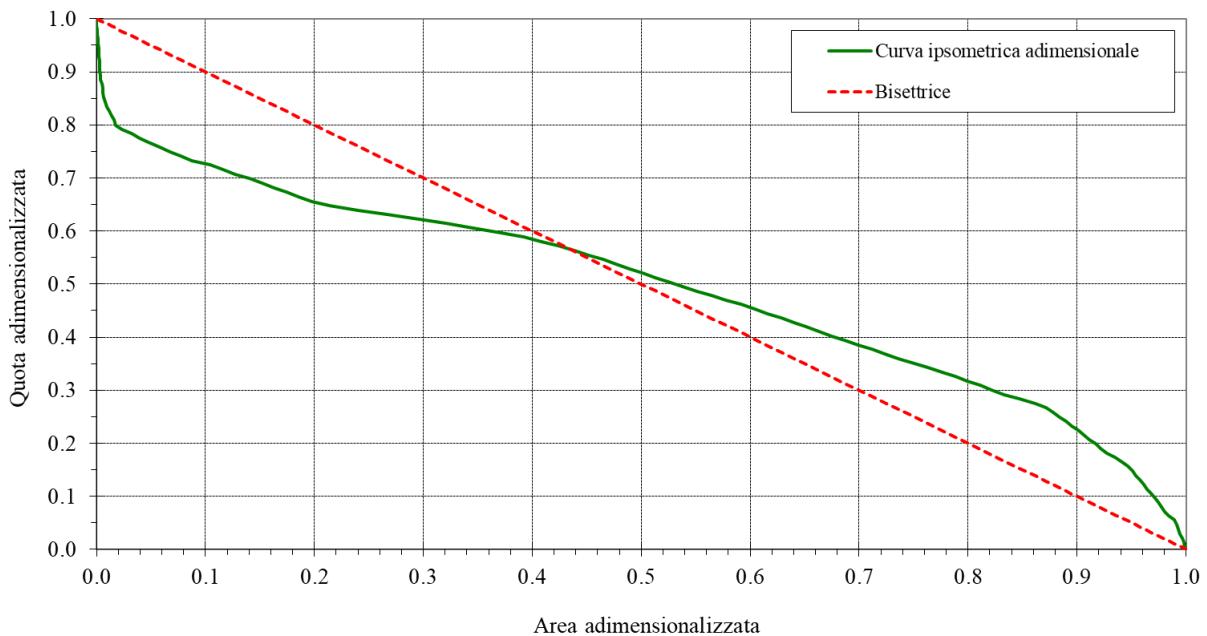


Figura 27 – Curva ipsometrica adimensionale.

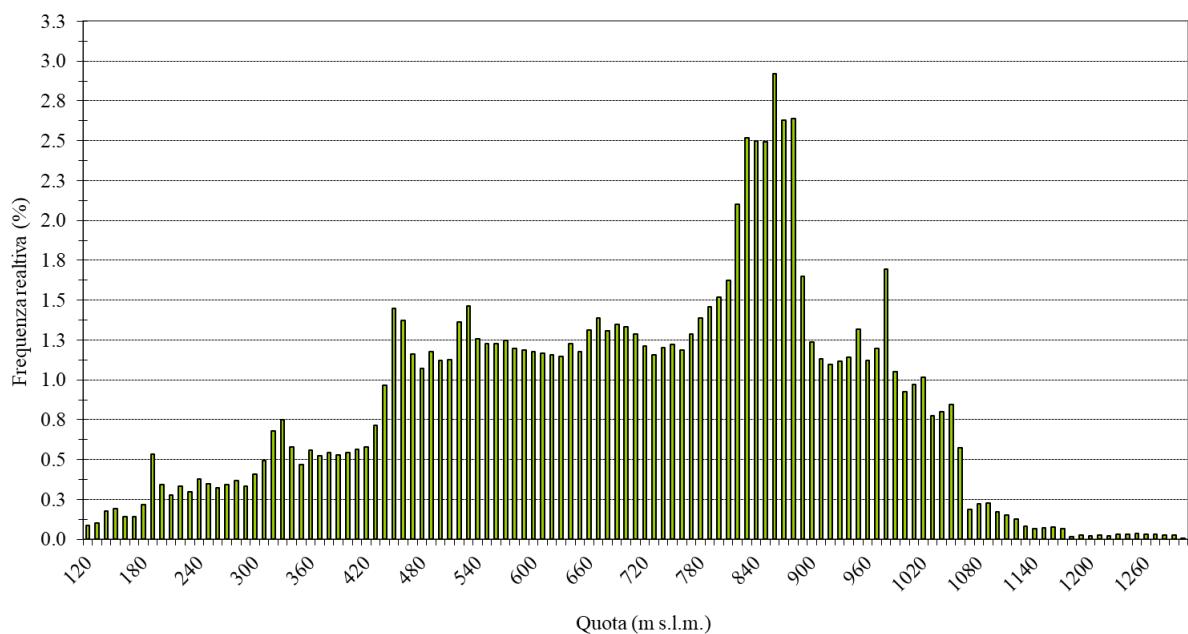


Figura 28 – Distribuzione relativa delle singole fasce altimetriche.

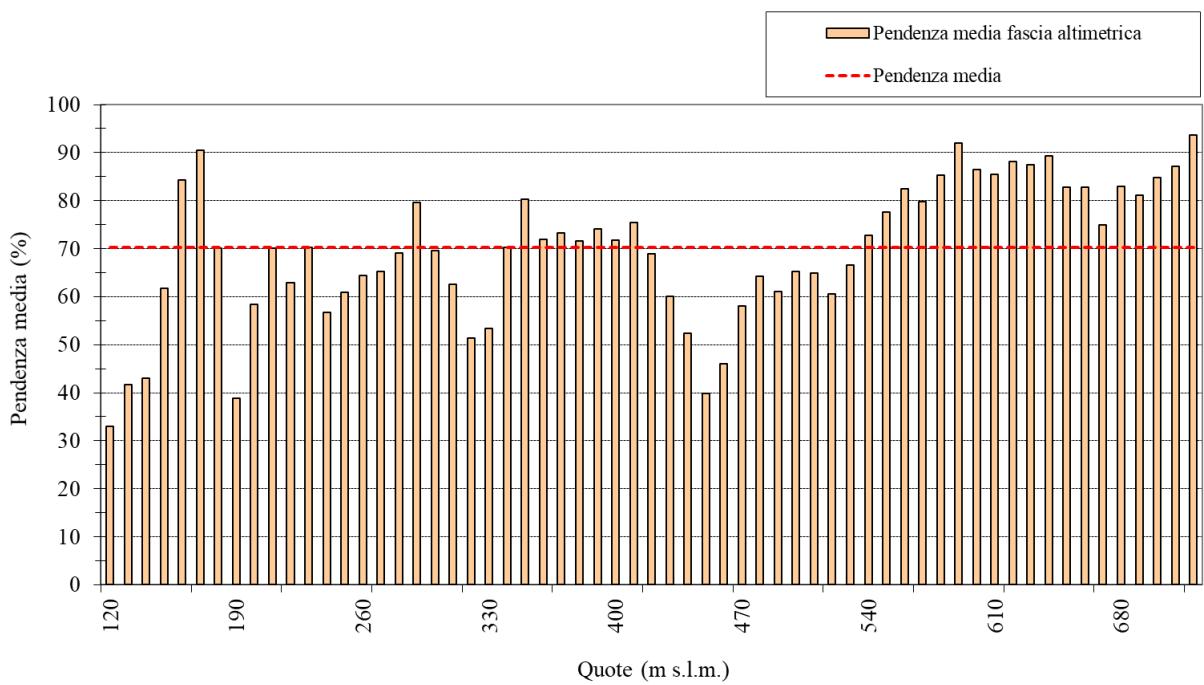


Figura 29 – Pendenza delle singole fasce altimetriche.

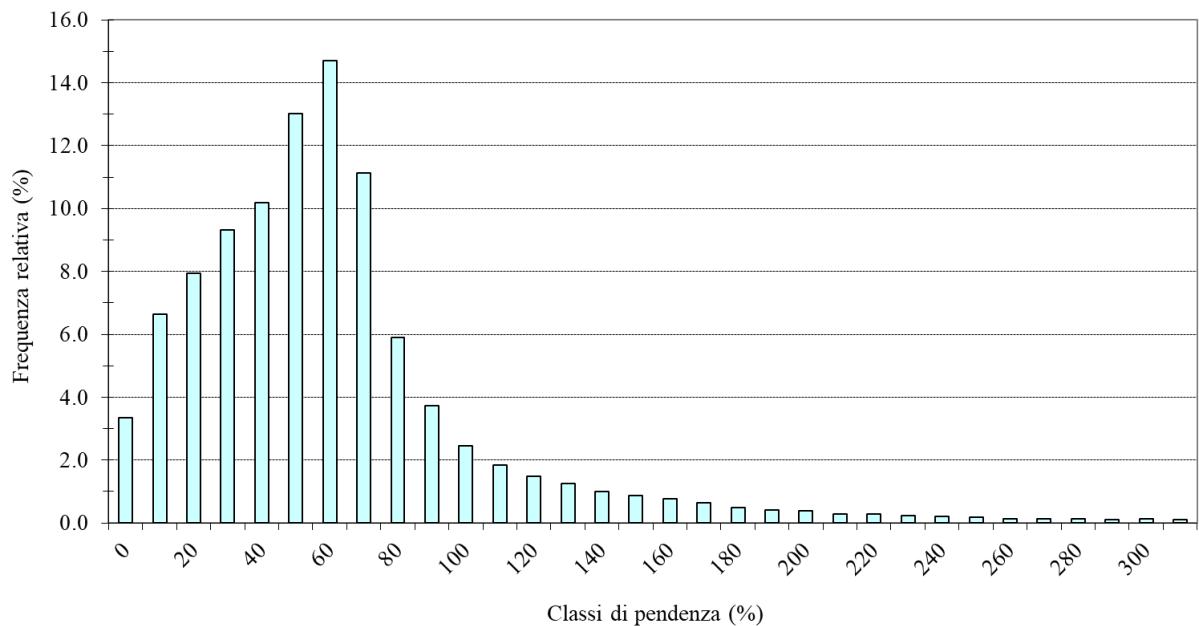


Figura 30 – Frequenza delle singole fasce di pendenza.

## 9.2 Conoide

L’analisi del conoide può fornire indicazioni preziose sulla dinamica di formazione e sulla tipologia di fenomeni torrentizi attesi da un corso d’acqua. Nel caso specifico la modellazione del terreno a scopi agricoli e l’elevato grado di urbanizzazione rendono difficile l’analisi delle evidenze geomorfologiche, che consentono di individuare i processi di formazione avvenuti in passato.

L’estensione del conoide è di 0.16 km<sup>2</sup> circa ed il rapporto fra la superficie del conoide e quella del bacino idrografico sotteso fornisce un valore pari a circa il 4.5%. I principali parametri, che descrivono il conoide in questione, sono riportati nella Tabella 4, dove è riportato anche il valore dell’indice di Melton. Tale parametro, se messo in relazione con la pendenza del conoide espressa in gradi, è in grado di fornire delle indicazioni sulla tipologia dei fenomeni, che hanno generato il conoide. Questo tipo di analisi classifica il conoide in esame fra quelli edificati da eventi con trasporto di massa; infatti, la rappresentazione dei risultati ottenuti sullo scartogramma (Marchi, 1993) evidenzia una collocazione nella fascia medio (Figura 31).

A fronte di questa indicazione è stata verificata la sussistenza delle potenzialità per il ripetersi di eventi simili. Sulla base delle evidenze di campo e capacità di trasporto solido si ritiene che l’indicazione sulla tipologia di fenomeni, che hanno edificato il conoide di Varignano, fornisca utili informazioni per un inquadramento storico sull’origine del conoide e che non possa ritenersi indicatore dei fenomeni attesi in apice al conoide allo stato attuale. Le osservazioni raccolte durante i sopralluoghi indicano una scarsa disponibilità di sedimento e soprattutto la presenza di opere antropiche, in particolare il bacino di sedimentazione chiuso dal ponte di accesso alla ex cava, contribuisce a laminare o disperdere l’eventuale sedimento trasportato dalla corrente, presentando in apice al conoide una corrente di tipo liquida.

Parametri	Valore
Superficie	0.16 Km <sup>2</sup>
Lunghezza lungo la bisettrice	385 m
Pendenza media del conoide	10.62 %
Quota massima	115.58 m s.l.m.
Quota minima	79.87 m s.l.m.
Lunghezza del collettore	493 m
Numero di Melton	0.63 -
Numero degli attraversamenti	6 -

Tabella 4 – Principali parametri morfometrici riferiti al conoide.

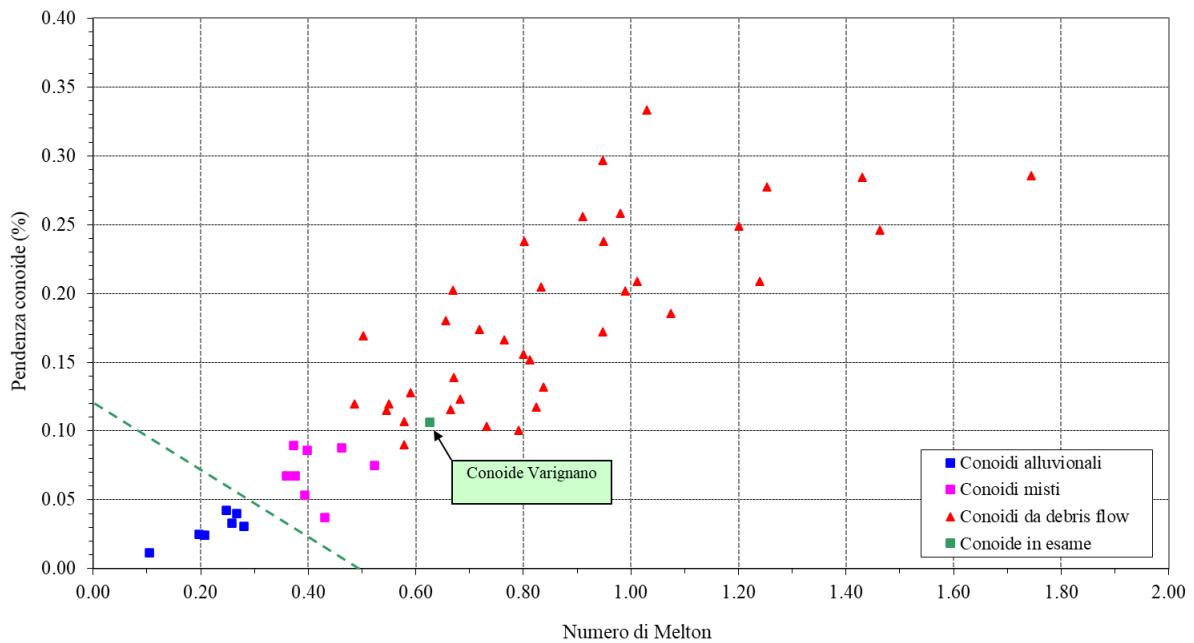


Figura 31 – Scatergramma Numero di Melton – Pendenza conoide (Marchi, 1993).

## 10. DETERMINAZIONE DELLA PORTATA DI MASSIMA PIENA

La determinazione della portata non è immediatamente stimabile, in quanto le caratteristiche geomorfologiche e tettoniche, il tipo di suolo e di vegetazione rappresentano una serie di variabili in grado di influenzare il valore stimato. Nel caso specifico, l'assenza di una rete ben articolata del corso d'acqua nella parte superiore, suggerisce che tali zone sono molto permeabili con presenza di fenomeni di infiltrazione in profondità delle acque meteoriche, che potrebbero allontanarsi e defluire anche esternamente al bacino idrografico, seguendo percorsi carsici e faglie sotterranee.

Il calcolo dell'idrogramma di piena per diversi tempi di ritorno è stato eseguito utilizzando un modello di simulazione afflussi-deflussi, il quale utilizza le equazioni proposte dal Soil Conservation Service (1972), consentendo di calcolare la pioggia efficace o volume di deflusso. Il software utilizzato è stato AdBToolBox (Ministero dell'Ambiente), che rappresenta l'evoluzione del già collaudato software idrologico Woditem<sup>1</sup> (Cazorzi, 1996) e Hygrid2k2 (Cazorzi, 2002). Ai fini della stima della portata di piena il modello prevede l'applicazione

<sup>1</sup> Software G.I.S. che include una serie di moduli idrologici sviluppati presso il Dipartimento Territorio e Sistemi Agro-Forestali dell'Università di Padova.

distribuita dell'approccio geomorfologico, combinando le equazioni del Soil Conservation Service (SCS) per il calcolo della pioggia efficace, il metodo cinematico per la propagazione del deflusso superficiale alla sezione di chiusura ed un serbatoio lineare per la simulazione del deflusso di base, mentre la capacità a produrre deflusso superficiale è funzione della permeabilità del terreno, espressa attraverso i gruppi idrologici e dell'uso del suolo.

A partire da informazioni morfometriche, idrologiche e climatiche per una determinata zona (DEM, area drenata, direzioni di deflusso, CN e probabilità di precipitazioni), e determinata la sezione di chiusura di un bacino, il software calcola l'idrogramma di progetto per il bacino di interesse.

La capacità a produrre deflusso superficiale è funzione della permeabilità del terreno, espressa attraverso i gruppi idrologici e dell'uso del suolo. Il metodo proposto dal S.C.S. sintetizza la propensione a produrre deflusso superficiale attraverso un parametro numerico CN (numero di curva) variabile da 0 a 100, rispettivamente per condizioni di perfetta permeabilità a condizioni di impermeabilità. L'attribuzione del valore di CN alle singole combinazioni di suolo – soprassuolo è avvenuto utilizzando i dati resi disponibili dal Servizio Bacini Montani (Figura 32).

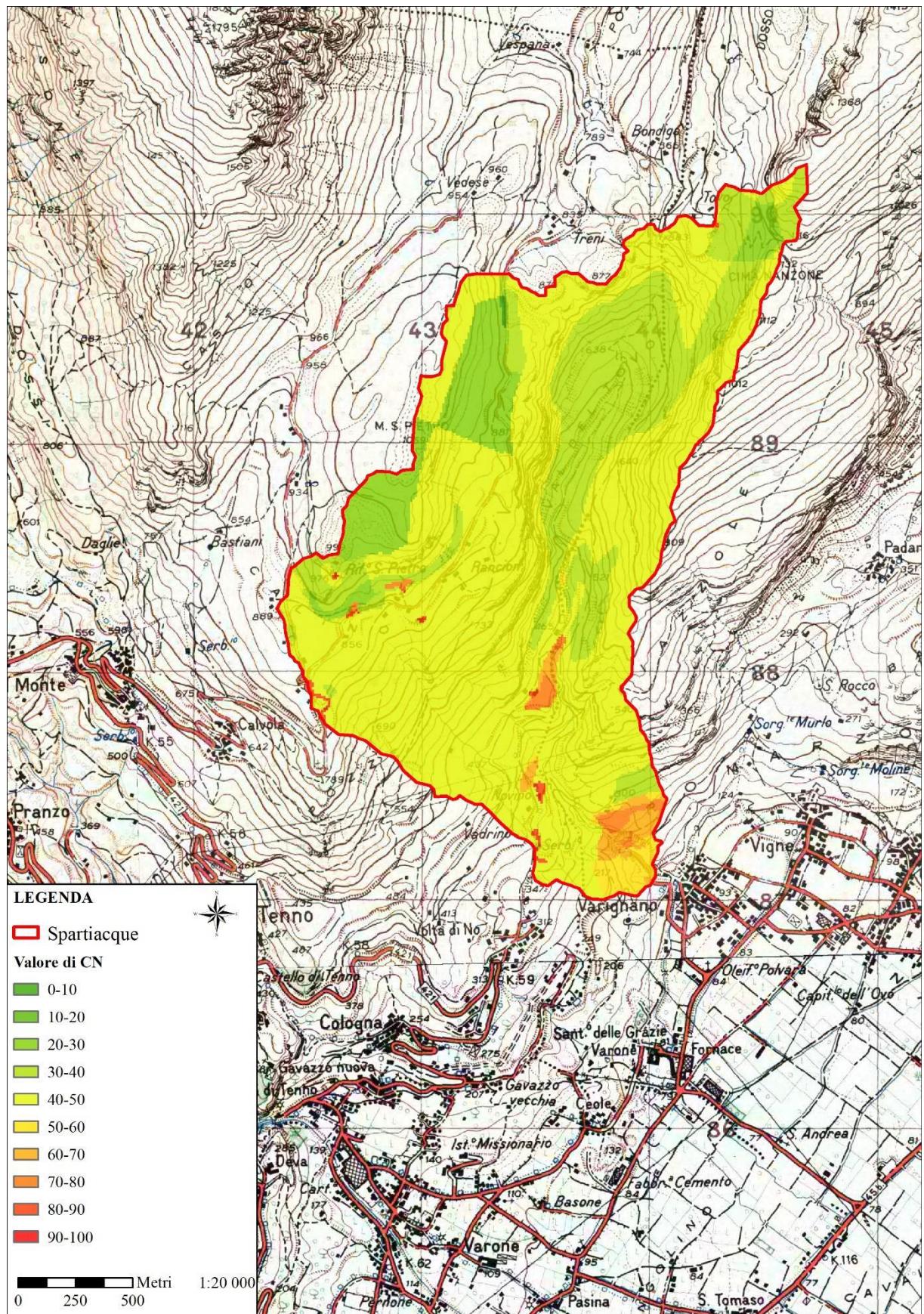


Figura 32 – Mappa del CN messa a disposizione dal Servizio Bacini Montani per il calcolo dell'idrogramma per assegnati tempi di ritorno

La mappa del valore di CN è riferita ad una condizione media di umidità del terreno all'inizio della precipitazione. È possibile prendere in considerazione anche situazioni diverse da quelle medie attraverso un parametro correttivo (AMC, Antecedent Moisture Condition), che esprime il diverso stato idrico del terreno. In relazione al parametro AMC il valore di CN, espresso per una condizione media, può essere aumentato o diminuito, ossia varia la capacità di produrre deflusso superficiale. Secondo la formulazione originaria il parametro AMC può assumere valori discreti variabili da 1 a 3 rispettivamente per una capacità di deflusso superficiale bassa (1), media (2) od elevata (3). In realtà il contenuto idrico del suolo presenta un comportamento continuo e quindi si ammette anche l'uso di valori intermedi. Si può prevedere poi una variabilità del parametro AMC anche al di fuori dei valori originariamente previsti, ovvero, talvolta il valore 3 non è in grado di esprimere in modo completo la massima capacità di produzione di deflusso del bacino idrografico (stato di saturazione). La correzione dei valori di CN in funzione del parametro AMC interviene a livello di applicazione del modello distribuito (Cazorzi, 1996; Cazorzi, 2002).

Un altro aspetto insito nell'applicazione del metodo del S.C.S. è la quantificazione delle perdite iniziali. Il modello idrologico adottato quantifica le perdite iniziali pari al 10% del contenuto idrico del suolo sulla base delle numerose esperienze condotte in ambiente alpino, documentate in letteratura tecnica.

Il tempo di propagazione è funzione sia della distanza sia della velocità. Fissata la distanza in base alla morfologia e alla geometria del bacino e dei percorsi, la velocità potrebbe essere influenzata da numerosi fattori quali il tipo di moto, la pendenza, il tirante idrico, la scabrezza, ecc. Il modello idrologico applicato, al fine di non introdurre troppi parametri di difficile controllo, considera solo l'aspetto macroscopico del tipo di moto, distinguendo fra moto lungo il versante e moto in alveo. Elemento chiave per la qualità della simulazione sono la definizione dell'area di soglia per la distinzione tra versante e reticolo e la scelta delle relative velocità di scorrimento. Da ciò dipende il calcolo del tempo di risposta del sistema che, in un meccanismo cinematico, riveste un ruolo di estrema importanza.

La scelta del valore soglia oltre a dipendere dalle caratteristiche morfologiche (pendenza) e di permeabilità del substrato è influenzato anche dall'intensità dell'evento. Per la scelta dell'area di soglia sarebbe opportuno far riferimento alla magnitudo del fenomeno e quindi, indirettamente all'intensità e all'altezza della precipitazione. Lo scorrimento sul versante ha una componente ipodermica ed una componente superficiale, dove con l'aumento della precipitazione è ragionevole supporre che, a seguito di progressiva saturazione degli strati

---

superficiali del suolo, la quota di deflusso superficiale, più rapido, sia via via crescente. La progressiva saturazione del suolo corrisponde, nei modelli ad “area sorgente variabile”, ad una estensione del reticolo e, di conseguenza, ad una riduzione dell’area di soglia.

In attesa di disporre di una base di dati sperimentali sufficiente a definire correttamente una funzione di diminuzione dell’area soglia in funzione all’intensità dell’evento e quindi al tempo di ritorno, è stata adottata un’area soglia fissa.

L’applicazione del modello idrologico con parametri di area soglia standard (pari a 10.000 m<sup>2</sup>, 1 ettaro) ha fornito dei valori di portata ritenuti eccessivi per il bacino in esame e non supportati da osservazioni di campo. L’elevata permeabilità del terreno, spesso ricoperto da falde detritiche anche di notevole spessore, favorisce un deflusso sotto superficiale a scapito di quello superficiale. Tale condizione non può essere trascurata nell’affrontare una indagine idrologica a scala di bacino al fine di fornire dei valori più vicini alla realtà e non sovrastimati.

Mantenendo la logica idrologica del modello, l’area soglia è stata elevata a 10 ettari (0.1 km<sup>2</sup>). Ciò ha comportato un sensibile allungamento dei tempi di corrievazione, con un allungamento della coda destra della curva area-tempi. A causa dell’elevata permeabilità dei terreni, l’apporto delle porzioni più distali dalla sezione di chiusura contribuiscono in modo nullo o marginale alla formazione del picco di piena, tanto da poter ipotizzare una loro esclusione, senza alterare la bontà del risultato finale. Dall’analisi della curva area tempi si ritiene che escludendo il 5% dell’area del bacino i risultati ottenuti non subiscano variazioni apprezzabili. La parte restante, pari al 95%, è percorsa nel 70 % del tempo di corrievazione per cui è stato modificato il parametro di riduzione del tempo di corrievazione FRPM-TC ed impostato pari a 0.7.

La velocità nel reticolo idrografico può essere ragionevolmente approssimata da un unico valore medio, tenuto conto che, da monte verso valle, diminuisce la pendenza, ma aumenta il tirante, con effetti di segno opposto. La velocità di scorimento sul versante dipende da una serie di fattori legati alla variabilità delle caratteristiche topografiche, pedologiche e vegetazionali; anche in questo caso è possibile ipotizzare un unico valore medio, dato che per considerare la variabilità dei parametri locali sarebbe necessario introdurre una serie di complessità che non paiono giustificate, alla luce di una serie di test effettuati, dal modesto miglioramento apparente dei risultati.

Per le simulazioni condotte per il bacino idrografico in esame i parametri utilizzati nelle simulazioni idrologiche sono riassunti nella Tabella 5, di seguito riportata.

Parametri	Tr 30 anni	Tr 100 anni	Tr 200/300 anni
Velocità sul versante	0.02 m/s	0.025 m/s	0.03 m/s
Velocità sulla rete idrografica	2.00 m/s	2.500 m/s	3.00 m/s
Area soglia	1.00 ha	1.00 ha	1.00 ha

Tabella 5 – Valori di velocità e area soglia assunti per le simulazioni idrologiche

## 10.1 Curva delle possibilità pluviometriche

Le curve di possibilità pluviometrica sono state determinate a partire dai parametri ottenuti mediante regolarizzazione statistica delle piogge intense della Provincia Autonoma di Trento. L'individuazione dei tre parametri statistici fondamentali ( $a_1$ ,  $C_v$  e  $n_2$ ) consente di determinare la curva delle possibilità pluviometriche e quindi l'altezza di pioggia per assegnati tempi di ritorno per piogge di durata superiore all'ora. Per piogge di durata inferiore all'ora il parametro  $n_2$  assume un valore fisso pari a 0.366 (AIDI, 2003).

Bacino	a1	c <sub>v</sub>	n <sub>2</sub>
Bacino idrografico (chiusura in apice al conoide)	20.316	0.282	0.367

Tabella 6 – Valori medi assunti dai parametri statistici necessari alla definizione della curva delle possibilità pluviometriche per piogge superiori all'ora.

I parametri sopra riportati consentono di ricondurre la formula per il calcolo delle precipitazioni alla più nota espressione esponenziale  $h = a t^n$ , adottando la formulazione di seguito riportata:

$$h_T(d) = a_1 \left\{ \frac{\exp \left[ \sqrt{\ln(1 + C_v^2)} z_T \right]}{\sqrt{1 + C_v^2}} \right\} d^n$$

dove  $h_T(d)$  indica il quantile T-ennale dell'altezza di pioggia per la durata di riferimento  $d$ , e  $z_T$  il quantile T-ennale della variabile normale standardizzata.

Nella Tabella 7 sono riportate le varie curve di possibilità pluviometrica per la sezione di chiusura adottata, per la quale è poi stata sviluppata l'analisi idrologica.

<b>Bacino idrografico</b>	<b>T 30</b>		<b>T 100</b>		<b>T 200</b>		<b>T 300</b>	
	<b>a</b>	<b>n</b>	<b>a</b>	<b>n</b>	<b>a</b>	<b>n</b>	<b>a</b>	<b>n</b>
Bacino Rio Bordellino (3.56 km <sup>2</sup> ) (chiusura in apice al conoide)	32.84	0.368	38.265	0.368	41.369	0.368	43.182	0.368

Tabella 7 – Curve delle possibilità pluviometriche per il bacino idrografico preso in esame.

## 10.2 Stima delle portate liquide

L'estensione ridotta del bacino sotteso alla sezione di chiusura ha suggerito di non procedere con tecniche di correzione areale delle altezze di pioggia; l'introduzione di un fattore correttivo avrebbe indotto a ridurre la portata al picco di valori molto contenuti, in ogni caso inferiori all'errore, che si commette con l'applicazione dei metodi di valutazione delle portate di progetto. Le altezze di piogge, invece, sono state distribuite secondo profili cronologici diversi in modo tale da cogliere eventuali variazioni sulle portate in relazione alla diversa distribuzione temporale della precipitazione.

L'individuazione della pioggia di durata critica è avvenuta facendo variare la durata dello ietogramma e ricercando quella che massimizza la portata. Questa operazione è stata condotta per i vari tempi di ritorno presi in considerazione e per una specifica ipotesi di saturazione del terreno.

Secondo gli studi condotti presso il dipartimento Territorio e Sistemi Agroforestali (TESAF) dell'Università degli Studi di Padova la portata massima così individuata e quindi la durata della pioggia, non rappresenta lo scenario più severo per il bacino preso in esame. La durata di pioggia da considerare è da individuare nella durata di pioggia che genera il 95% della portata al picco, ottimizzata sullo ietogramma costante. Sull'intervallo di pioggia così individuato sono state generate delle piogge con un profilo cronologico diverso.

Un parametro in grado di condizionare la forma e la durata dell'idrogramma di piena è il livello di saturazione del terreno; tanto più elevato è il grado di saturazione tanto più accentuato sarà il picco di piena e più lunga la fase di esaurimento della coda di piena. Le simulazioni condotte hanno evidenziato che un valore di AMC pari a 3, induce un grado di saturazione compatibile con la tipologia di bacino analizzato.

Di seguito sono riportati i principali parametri idrologici e le durate di pioggia critica, le portate calcolate alle sezioni di chiusura e le portate specifiche. Tali tabelle sono accompagnate

dallo ietogramma e il relativo idrogramma di piena ottenuto, assumendo come ietogramma di progetto quello adimensionale di Wallingford.

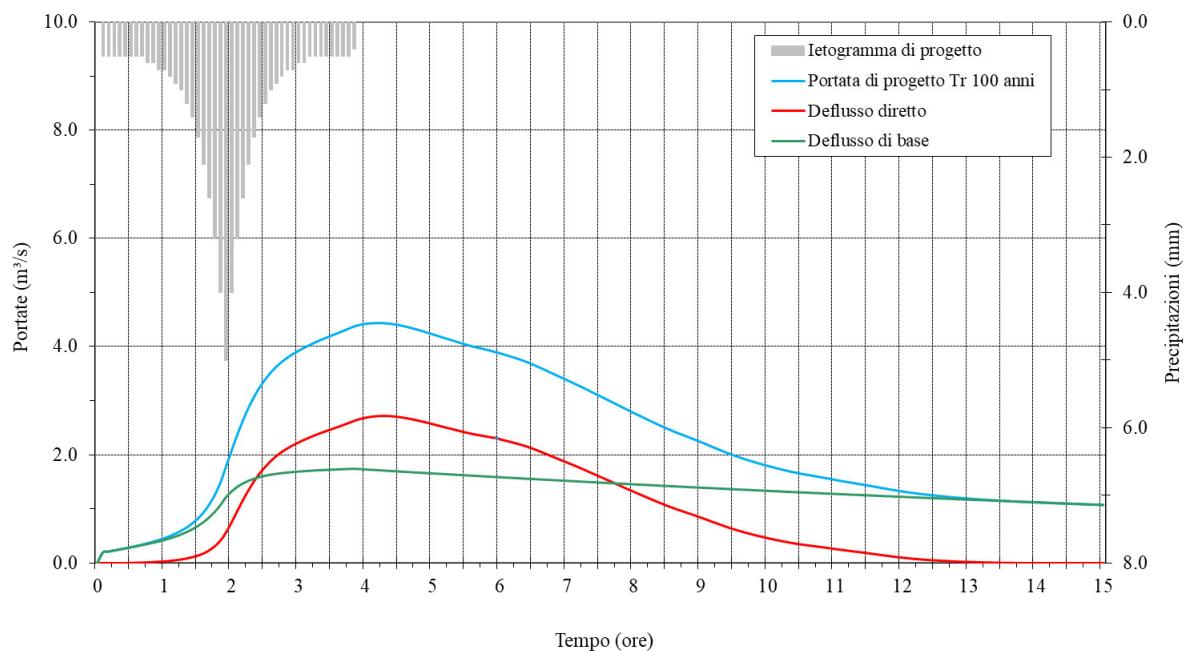
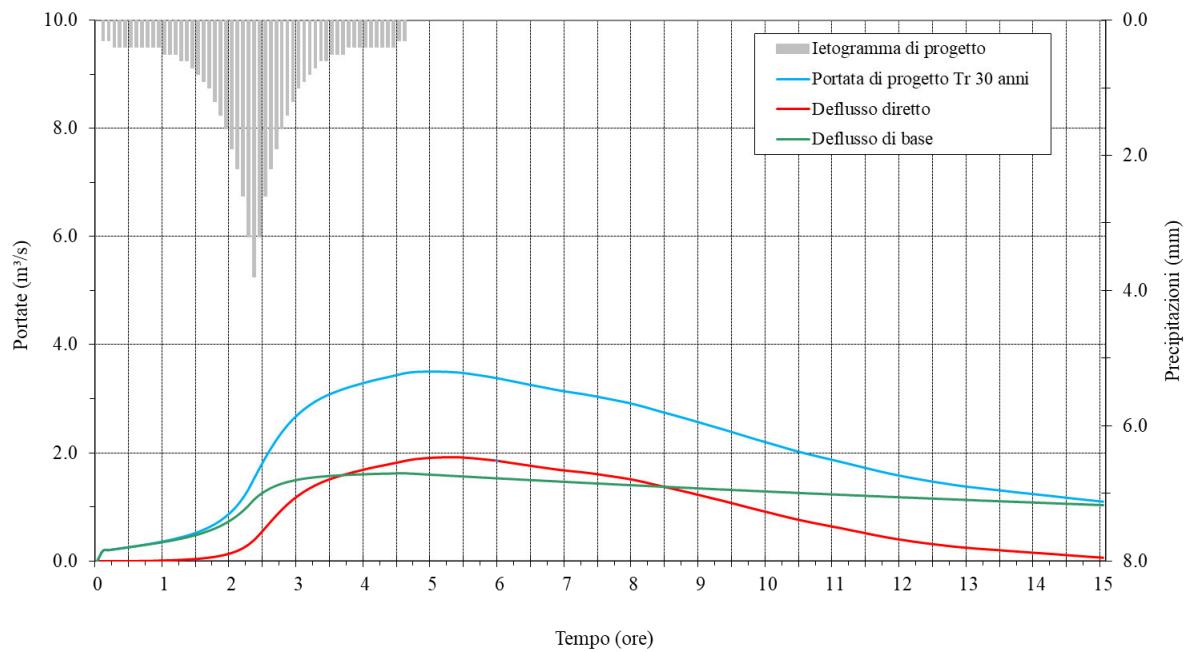
Gli idrogrammi di piena così calcolati possono essere assunti come riferimento anche per le successive verifiche idrauliche delle sezioni in corrispondenza dei ponti e come idrogramma di riferimento per la propagazione dell'onda di piena nell'ambito dell'applicazione di modelli mono o bidimesionali, considerato l'apporto quasi trascurabile del trasporto solido.

PARAMETRI INPUT	Tr 30 anni	Tr 100 anni	Tr 200 anni	Tr 300 anni
<i>Portata iniziale (m<sup>3</sup>/s)</i>	0.0	0.0	0.0	0.0
<i>Avanzamento al picco</i>	0.5	0.5	0.5	0.5
<i>Intervallo precipitazione di input (min)</i>	5	5	5	5
<i>Intervallo portata output (min)</i>	5	5	5	5
<i>AMC (costante)</i>	3	3	3	3
<i>Cost. Esaurim. Deflusso Base</i>	12*10 <sup>-6</sup>	12*10 <sup>-6</sup>	12*10 <sup>-6</sup>	12*10 <sup>-6</sup>

VALORI SINTETICI SIMULAZIONI	Tr 30 anni	Tr 100 anni	Tr 200 anni	Tr 300 anni
<i>CN apparente</i>	73.796	73.368	73.33	73.09
<i>Area del bacino (km<sup>2</sup>)</i>	3.56	3.56	3.56	3.56
<i>Area contribuente (%)</i>	100	100	100	100
<i>Durata precipitazione critica (h)</i>	4.6	3.8	3.2	3.2

PORTATE ASSOLUTE (m <sup>3</sup> /s)							
Tipo di ietogramma	Tr 30 anni		Tr 100 anni		Tr 200 anni		Tr 300 anni
Blocchi alterni	3.500	m <sup>3</sup> /s	4.424	m <sup>3</sup> /s	5.058	m <sup>3</sup> /s	5.355 m <sup>3</sup> /s
Intensità costante	3.463	m <sup>3</sup> /s	4.353	m <sup>3</sup> /s	4.964	m <sup>3</sup> /s	5.255 m <sup>3</sup> /s
Intensità istantanea	3.494	m <sup>3</sup> /s	4.415	m <sup>3</sup> /s	5.038	m <sup>3</sup> /s	5.334 m <sup>3</sup> /s
Triangolare	3.504	m <sup>3</sup> /s	4.409	m <sup>3</sup> /s	5.022	m <sup>3</sup> /s	5.316 m <sup>3</sup> /s
Adimen. di Wallingford	3.510	m <sup>3</sup> /s	4.432	m <sup>3</sup> /s	5.057	m <sup>3</sup> /s	5.354 m <sup>3</sup> /s
PORTATE UNITARIE (m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup> )							
Tipo di ietogramma	Tr 30 anni		Tr 100 anni		Tr 200 anni		Tr 300 anni
Blocchi alterni	1.002	m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>	1.266	m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>	1.447	m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>	1.532 m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>
Intensità costante	0.991	m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>	1.246	m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>	1.420	m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>	1.503 m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>
Intensità istantanea	1.000	m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>	1.263	m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>	1.441	m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>	1.526 m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>
Triangolare	1.003	m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>	1.261	m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>	1.437	m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>	1.521 m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>
Adimen. di Wallingford	1.004	m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>	1.268	m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>	1.447	m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>	1.532 m <sup>3</sup> /s km <sup>2</sup>

Tabella 8 – Valori di portata stimata: nella parte superiore i valori assoluti, nella parte inferiore i valori unitari.



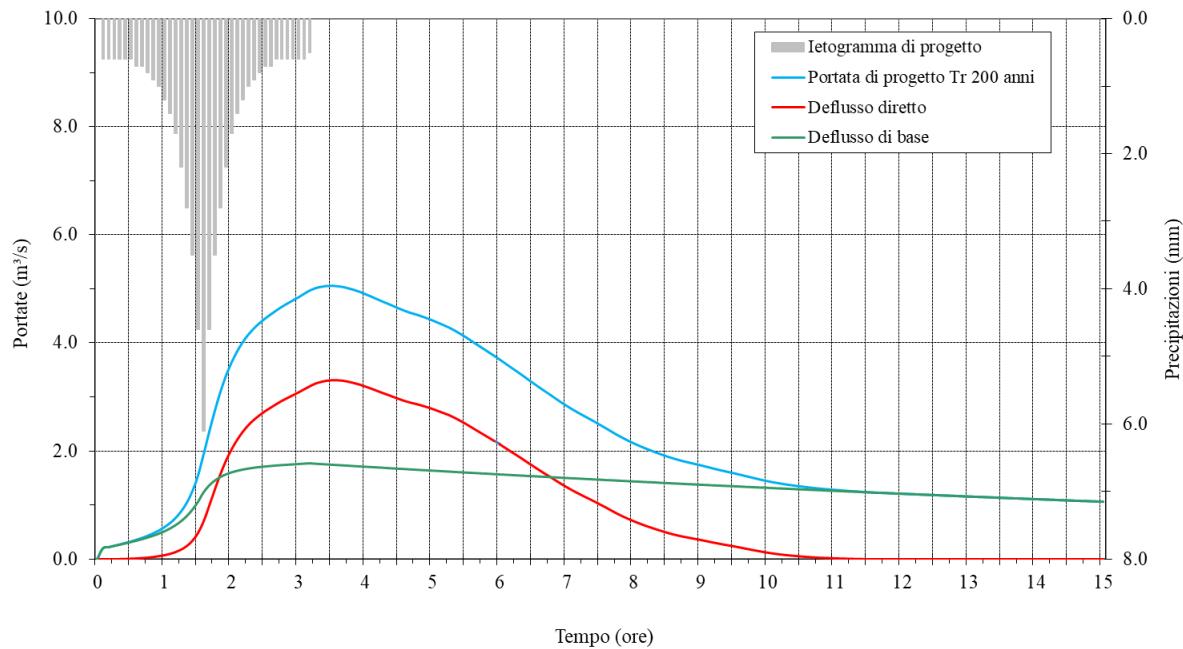


Figura 35 – Idrogramma di piena per Tr 200 anni

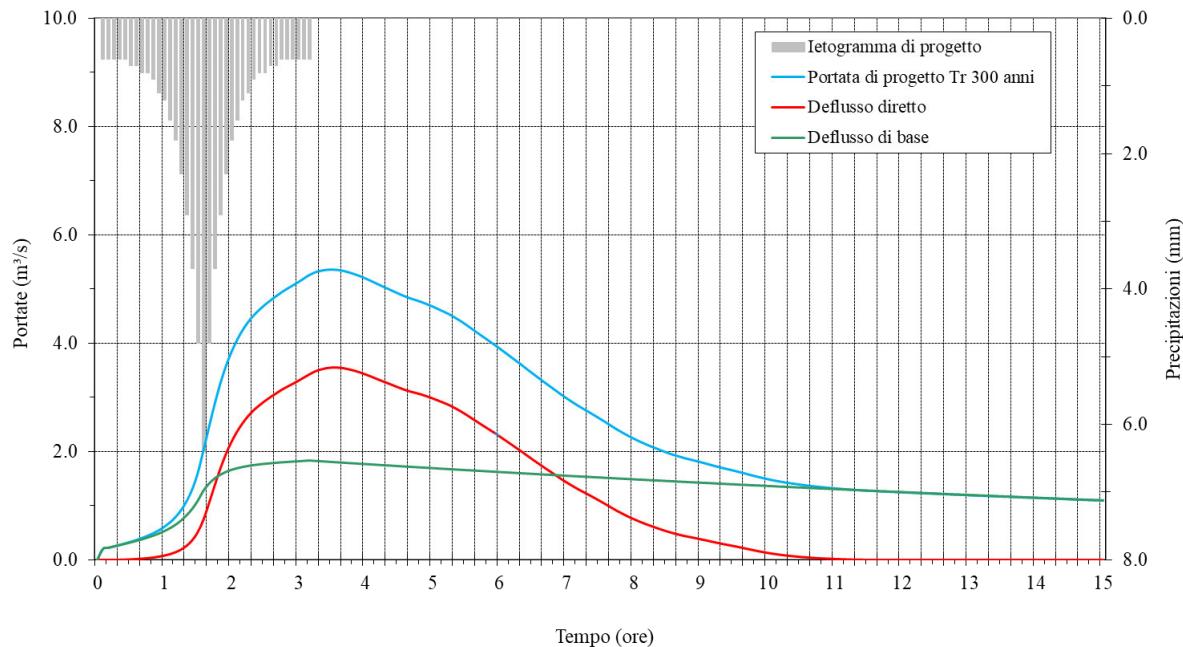


Figura 36 – Idrogramma di piena per Tr 300 anni

## 11. ANALISI DEGLI ATTRAVERSAMENTI E DELLE SEZIONI CRITICHE

L'applicazione di un qualsiasi modello idraulico, sia esso mono o bidimensionale, richiede la conoscenza della micro topografia dei luoghi; sottovalutare l'aspetto topografico o utilizzare dati altimetrici non precisi equivale ad ottenere dei risultati poco attendibili e spesso forvianti.

Nel caso specifico non erano disponibili dati topografici, che descrivono la geometria del cunettone, nel tratto compreso fra l'apice del conoide e l'imbocco del tratto coperto, in corrispondenza del Santuario delle Grazie. Ciò ha reso necessario provvedere con un rilievo topografico di dettaglio, con il quale è stata acquisita la forma della sezione, eventuali riduzioni dell'area utile al deflusso in corrispondenza dei ponti e la variazione della livelletta di fondo da monte verso valle. Oltre alla quota della testa dei muri sono stati acquisiti dei punti nelle immediate vicinanze, per descrivere condizioni di eventuale confinamento in caso di fuoriuscita (es. muretti di cinta, fabbricati, ecc.) oppure condizioni di libero deflusso (es. aree poste a quote più basse).

Il rilievo topografico è stato condotto in modo continuo lungo l'intero tratto e poi in sede di restituzione sono state estratte 85 sezioni rappresentative, utilizzate come dato geometrico di base nel modello monodimensionale per la successiva verifica idraulica.

### 11.1 Modello matematico di calcolo monodimensionale HEC-RAS

La verifica idraulica delle sezioni in corrispondenza del ponte oggetto di rifacimento, e del tratto immediatamente a monte e a valle, è stata effettuata utilizzando il software Hec-Ras versione 5.0.7.

Il software di simulazione HEC-RAS (River Analysis System) è un modello unidimensionale, che è stato inizialmente sviluppato dall'US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center, di Davis (USA) per lo studio idrodinamico nelle reti di canali aperti, attraverso la ricostruzione dei profili idraulici di moto permanente in regime subcritico e supercritico, operando nell'ipotesi di mono dimensionalità del flusso. Fino alla versione 2.x HEC-RAS rappresentava l'evoluzione del noto modello HEC-2 con l'aggiunta di numerose funzioni e strumenti di analisi, nonché di un'interfaccia grafica operante in ambiente Windows.

In seguito, a partire dalla versione 3.0 (marzo 2000), HEC-RAS è stato integrato con gli algoritmi di calcolo del modello idraulico *UNET One-Dimensional Unsteady Flow Through a*

*Full Network of Open Channels* (Robert L. Barkau, 1992 and HEC, 1997), che consentono di simulare il comportamento della corrente in moto vario per il solo regime subcritico.

Fino alla versione 3.x, il modello lavorava a fondo fisso, pur essendo dotato di una libreria di equazioni con le quali era possibile la valutazione del trasporto solido. Queste potevano essere utilizzate unicamente per valutazioni in post-processing, ovvero valutazioni basate sui parametri idraulici pre - calcolati a fondo fisso e regime di moto permanente. Nel novembre del 2006 è stata distribuita, come versione sperimentale la versione 4.0 (beta), dotata della capacità di realizzare simulazioni in presenza di fondo mobile.

Le versioni attuali del modello (vers. 5.x) costituiscono un sistema integrato per l'analisi idraulica di reti di canali a maglie aperte e chiuse, operante in regime di moto permanente o vario, che sfrutta le medesime informazioni relative alla geometria dei corsi d'acqua e dei manufatti idraulici presenti. Il modello può essere applicato per la soluzione di sistemi dalla geometria complessa, che includono congiunzioni, biforcazioni e reti chiuse, con la possibilità di simulare gli effetti dovuti alla presenza di strutture, quali paratoie, sistemi di pompaggio, ponti, salti di fondo, ecc. Inoltre, il modello è dotato di ulteriori algoritmi che permettono di indagare in dettaglio alcuni fenomeni di interesse nell'ingegneria idraulica, quali ad esempio fenomeni erosivi intorno alle pile ed alle spalle dei ponti senza platea ed effetti causati dalla parziale ostruzione di una sezione di deflusso a causa dei depositi alluvionali, oppure tenere in conto gli effetti dell'eventuale formazione di ghiaccio sulla superficie libera.

L'utilizzo del modello nell'ipotesi di moto vario aggiunge la capacità di analizzare i fenomeni di propagazione di un'onda di piena e valutare gli effetti di laminazione dovuti alla naturale conformazione del corso d'acqua o alla presenza di dispositivi artificiali.

Obiettivo principale dell'utilizzo del modello è quello di correlare l'entità della portata liquida in arrivo dal bacino di monte con le velocità e con le altezze idrometriche raggiunte nell'alveo principale e nelle golene in un determinato tratto fluviale. Il suo utilizzo nell'ipotesi di moto vario aggiunge la capacità di analizzare i fenomeni di propagazione di un'onda di piena e valutare gli effetti di laminazione dovuti alla naturale conformazione del corso d'acqua o alla presenza di opere idrauliche artificiali.

La determinazione dei parametri fisici che descrivono il deflusso all'interno di una sezione d'alveo in HEC-RAS è basata sulle seguenti ipotesi semplificative:

- moto monodimensionale;
- moto gradualmente variato;

- distribuzione idrostatica delle pressioni in ciascuna sezione (linee di corrente rettilinee e parallele);
- alvei a debole pendenza ( $i < 10\%$ ), anche se può essere applicato per valori leggermente superiori adottando i dovuti accorgimenti;
- perdite di carico continue mediamente costanti fra due sezioni trasversali adiacenti;
- sponde e fondo delle sezioni fisse (no erosione);

Nonostante l'ipotesi del moto gradualmente variato, è possibile valutare anche i fenomeni di moto rapidamente variato, a condizione di inserire opportune condizioni al contorno interne. L'errore, dovuto all'imposizione di una perdita di fondo costante nel tratto compreso tra due sezioni adiacenti, può essere limitato con l'introduzione di ulteriori sezioni ottenute per interpolazione.

Per maggiori informazioni sul modello HEC-RAS e sugli algoritmi di calcolo utilizzati si rinvia al manuale distribuito assieme al software.

## 11.2 Applicazione al Rio Bordellino di Varignano

La simulazione a moto permanente con il modello Hec-Ras consente di calcolare la variazione del pelo libero in presenza di una rete di canali, un sistema endoreico e infine un singolo corso d'acqua; tale modellazione, indipendentemente dalla conformazione fisica, può avvenire sia con ipotesi di corrente lenta, veloce e mista.

La procedura di calcolo è basata sulla soluzione delle equazioni dell'energia secondo lo schema monodimensionale, dove le perdite di energia sono dovute alla scabrezza (eq. di Manning) ed alla contrazione e/o espansione della vena fluida, attraverso un coefficiente moltiplicatore della variazione dell'energia cinetica. L'equazione dei momenti è utilizzata nelle situazioni in cui il pelo libero dell'acqua subisce variazioni repentine, ossia la valutazione in corrente mista (es. risalto idraulico), dell'idraulica dei ponti e dei profili in corrispondenza della confluenza tra diversi corsi d'acqua.

Nel caso specifico il tratto d'alveo analizzato ha uno sviluppo di 850 metri circa, descritto con 85 sezioni; un così elevato numero di sezioni si è reso necessario per descrivere i tratti curvilinei e i numerosi attraversamenti. In corrispondenza dei ponti o passerelle è stata estratta una sezione a monte e una valle, per descrivere la quota di imposta dell'impalcato.

La pendenza media della livelletta a monte del ponte, posto a quota 110 m s.l.m., si attesta sul 11%, mentre verso valle si osserva una progressiva riduzione, fino ad arrivare al 1.8%, in corrispondenza dell'ultimo tratto prima del tombotto di attraversamento della strada in prossimità del Santuario delle Grazie.

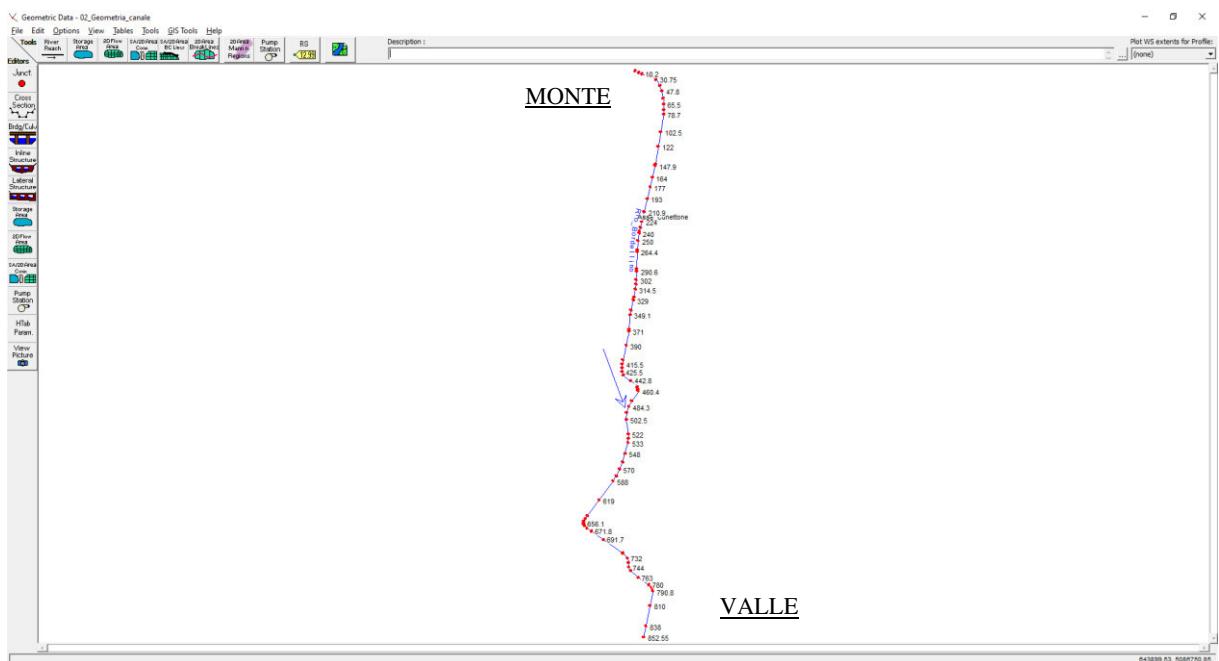


Figura 37 – Inserimento delle sezioni descrittive del tratto oggetto di analisi.

La propagazione di una corrente fluida all'interno di un alveo è influenzata dalla scabrezza del fondo e delle sponde. Per l'assegnazione della scabrezza in Hec - Ras vi sono due modalità; la prima prevede di assegnare all'alveo un valore medio di scabrezza e così pure per la parti esterne in sponda destra e sinistra; secondo questo approccio la scabrezza lungo una sezione è descritta da soli tre valori medi. Una seconda modalità è quella di prevedere una variabilità lungo la sezione in modo tale da considerare varie scabrezze in relazione all'area impegnata dalla corrente. Questa seconda ipotesi si presta ad essere utilizzata quando si è in presenza di alvei molto ampi, con differenti scabrezze per la presenza di aree con vegetazione arborea o arbustiva, zone prive di vegetazione, ecc. oppure si prevede che vi sia esondazione del corso d'acqua, ossia che le sponde non siano in grado di contenere il picco di piena, per cui è necessario descrivere la variabilità dell'uso del suolo delle aree contermini.

Nel caso specifico, considerata la larghezza limitata del corso d'acqua e una scabrezza uniforme sia in alveo, sia all'esterno, si è optato per attribuire un valore medio ai singoli segmenti. Al tratto di sezione rappresentativa dell'alveo è stato assegnato un valore di scabrezza

pari a  $0.025 \text{ m}^{-1/2}$  s espresso secondo Manning (equivalente a  $40 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ , espresso secondo Gauckler-Strickler), mentre per la parte esterna, un valore pari a  $0.033 \text{ m}^{-1/2}$  s espresso secondo Manning (equivalente a  $30.0 \text{ m}^{1/3} \text{ s}^{-1}$ , espresso secondo Gauckler-Strickler). Il valore di scabrezza assegnato alle porzioni esterne all'alveo considera la macro scabrezza, che si viene a generare in condizioni di deflusso con basso tirante in aree fortemente antropizzate, per la presenza di muretti, cordoli, aree verdi, ecc., con andamento non parallelo dei “filetti” fluidi.

Per eseguire il calcolo il modello ha bisogno di conoscere anche le condizioni al contorno del moto permanente, le quali sono state impostate come “tirante critico”, sia per la prima sezione sia per l’ultima sezione; tale ipotesi si è dimostrata realistica osservando i risultati ottenuti.

La verifica idraulica delle singole sezioni è stata eseguita considerando i valori di portata dedotti dall’analisi idrologica (Tabella 8), mentre la quota raggiunta dal pelo libero della corrente è stato utilizzato per definire il franco idraulico rispetto alla testa del muro del cunettone o, nel caso delle sezioni descrittive dei ponti / passerelle, alla quota inferiore della soletta.

### 11.3 Analisi dei risultati

Eseguendo una valutazione sull’efficienza idraulica del cunettone, secondo il criterio riportato nella Tabella 9, il tratto analizzato si dimostra in grado di convogliare a valle la portata liquida, anche per tempi di ritorno centenari, anche se localmente si osservano delle situazioni di scarsa efficienza, con tiranti inferiori ai 50 cm.

<b>Franco idraulico</b>	<b>Valutazione</b>
Franco idraulico > 0.5 m	Efficiente (colore nero)
$0 < \text{Franco idraulico} \leq 0.5 \text{ m}$	Poco efficiente (colore blu)
$\text{Franco idraulico} \leq 0$	Inefficiente (colore rosso)

Tabella 9 – Valori di franco idraulico utilizzati per definire l’efficienza delle opere di sponda e il margine di sicurezza in corrispondenza del ponte.

Il tratto, che si dimostra incapace di contenere la portata con tempo di ritorno di 200 anni, è il settore a valle della vasca di sedimentazione, dove i muri di sponda del cunettone sono leggermente più bassi e così pure la pendenza è inferiore rispetto al tratto a monte. Per questo

tratto è da segnalare come la sponda sinistra sia più bassa di quella in destra, per assecondare la quota delle finestre dell'edificio, che si affaccia sul cunettone, esponendo il fabbricato a potenziali infiltrazione d'acqua in caso di piena.

La sezione, che si dimostra insufficiente, anche per tempi di ritorno di 30 anni, è quella posta in corrispondenza dell'imbocco del tratto coperto di attraversamento di Via Dante Alighieri, in prossimità del Santuario delle Grazie. Tale situazione ha suggerito l'implementazione di uno scenario specifico, funzionale ad individuare l'area interessata dalla corrente in caso di esondazione.



Figura 38 – Finestre dell'edificio in sinistra idrografica con affaccio sul cunettone (sinistra); imbocco del tratto coperto in corrispondenza di Via Dante Alighieri (destra).

Il riepilogo dei risultati ottenuti sono rappresentati nell'Allegato n. 1, dove si antepone ai risultati numerici una planimetria con indicata la localizzazione delle sezioni. Le sezioni relative ai ponti o passerelle sono indicate con sfondo griglio.

## 12. MODELLAZIONE IDRAULICA BIDIMENSIONALE

La modellazione idraulica bidimensionale è stata condotta utilizzando il software FLO-2D, il quale ha permesso di rappresentare la propagazione del flusso nel dominio di calcolo, descrivendo l'andamento dei tiranti idrici e delle relative velocità; tali valori sono stati presi a riferimento per stimare il grado di pericolo presente lungo l'asta torrentizia analizzata e aree limitrofe.

### 12.1 Il modello numerico FLO – 2D

Il modello numerico bidimensionale FLO-2D (versione 2009; O'Brien et al., 1993; O'Brien, 2009) è un programma di calcolo per simulazioni idrauliche bidimensionali, certificato dall'agenzia FEMA (Federal Emergency Management Agency, USA) ed è utilizzato in tutto il mondo per l'analisi degli effetti della propagazione di onde di piena in ambito fluviale, perifluviale e sui conoidi. Il software è in grado di simulare l'innondabilità di canali e conoidi, la trasformazione afflussi-deflussi, propagazione di colate detritiche e l'allagamento di aree costiere per effetto di mareggiate e tsunami. In Figura 39 sono schematizzati i principali processi fisici simulabili attraverso il programma.

I risultati ottenibili dalle simulazioni consentono l'individuazione delle zone soggette ad erosione o deposizione, la definizione delle aree raggiunte dal flusso con la stima delle altezze e velocità massime della corrente durante la propagazione su ognuna delle celle, con cui la topografia locale è stata discretizzata.

Il software è composto da un modello numerico di propagazione idrodinamica, che lavora su di una griglia a celle quadrate, accoppiando l'equazione dinamica completa (De Sant Venànt) applicata in ciascuna delle 8 direzioni cardinali ad un'equazione di conservazione della massa. La risoluzione alle differenze finite dell'equazione dinamica determina le portate scambiate da ciascuna cella ad ogni intervallo temporale; l'equazione di continuità aggiorna quindi il livello idrometrico di ciascuna cella alla fine dell'intervallo di calcolo (conservazione della massa liquida e solida), per poi preparare il modello all'applicazione dell'equazione dinamica all'intervallo temporale successivo.

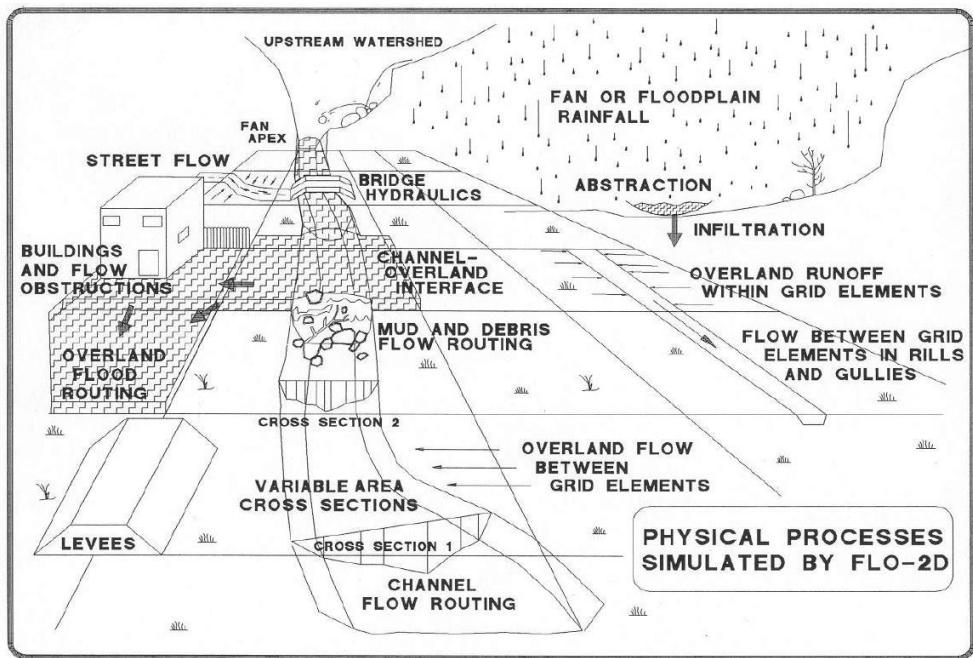


Figura 39 – Processi fisici simulati da FLO-2D (O'Brien, 2003).

Le caratteristiche fondamentali, che governano il modello di propagazione bidimensionale, sono essenzialmente:

- la dimensione della cella quadrata ( $L$ ), con la quale si rappresenta il terreno (floodplain) e mediante la quale è simulata la propagazione del flusso;
- la quota altimetrica ed il coefficiente di scabrezza di Manning ( $n$ ), che caratterizza ciascuna cella della floodplain;
- l'idrogramma (inflow) sono assegnati, come condizione al contorno, ad una o più celle appartenenti alla floodplain di calcolo.

## 12.2 Ipotesi di modellazione e condizioni al contorno

Anche per l'applicazione del modello bidimensionale si è prestata particolare attenzione alla descrizione della topografia. Nel caso specifico, fatte le dovute verifiche di campo, si è ritenuto che la base topografica dedotta dai dati Lidar (edizione 2014) descriva in modo sufficiente l'area di indagine, senza necessità di ricorrere ad integrazioni specifiche.

Ai fini dell'applicazione del modello bidimensionale Flo2D sono stati implementati due domini di calcolo: il primo per descrivere l'area edificata in corrispondenza del centro abitato di Varignano e il secondo quale approfondimento dell'area, in cui il modello monodimensionale indica l'insufficienza della sezione di deflusso (Figura 40).

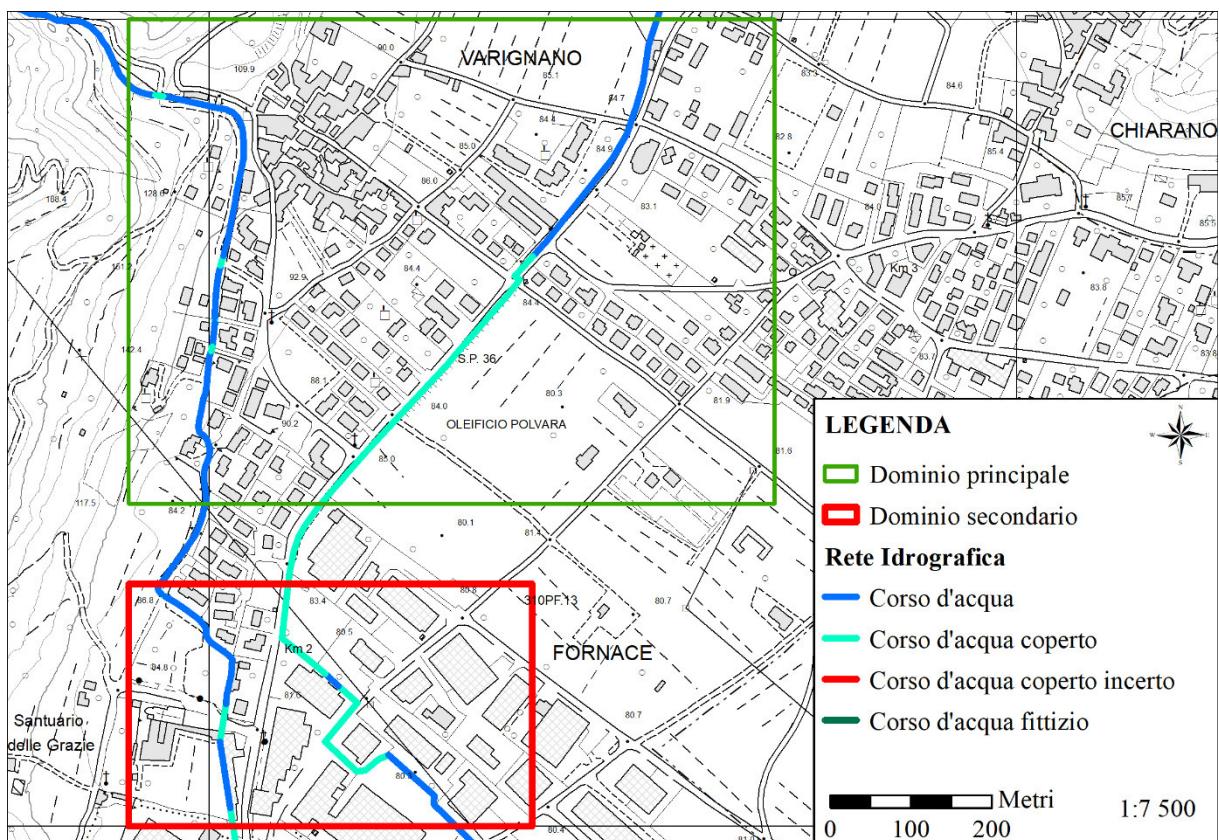


Figura 40 – Delimitazione dei domini di calcolo.

Il dominio di calcolo per la mappatura del grado di pericolo, che insiste sull'abitato di Varignano, è stato discretizzato con celle di dimensioni di 2x2 metri, mentre per l'area in prossimità del Santuario delle Grazie è stato implementato un dominio di calcolo con celle 1x1. La differente risoluzione è stata imposta dalle diverse dimensioni dell'area indagata al fine di

ottimizzare i tempi di calcolo; nel primo caso aver scelto una cella di dimensioni minori (es. 1x1) avrebbe comportato un aumento più che proporzionale dei tempi di calcolo, senza ottenere dei reali benefici in termini di risultato finale. Per contro celle di dimensioni maggiori, per entrambi i casi, avrebbe dimezzato i tempi di calcolo, ma con un'eccessiva semplificazione della topografia di dettaglio.

La propagazione di una corrente è influenzata dalla scarezza della superficie di scorrimento, per cui sono state redatte delle mappe di dettaglio dell'uso del suolo, assegnando i valori più probabili di scarezza (Tabella 10 e Figura 41).

Descrizione	Ks	n
Corso d'acqua	20	0.050
Bosco latifoglie	8	0.125
Prati e colture agrarie	25	0.040
Strada asfaltata	70	0.010
Strada sterrata	50	0.020
Piazzale in terra	50	0.020
Urbanizzato	30	0.035

Tabella 10 – Valori di scarezza assegnati alle varie categorie di uso del suolo osservate nel tratto di conoide.

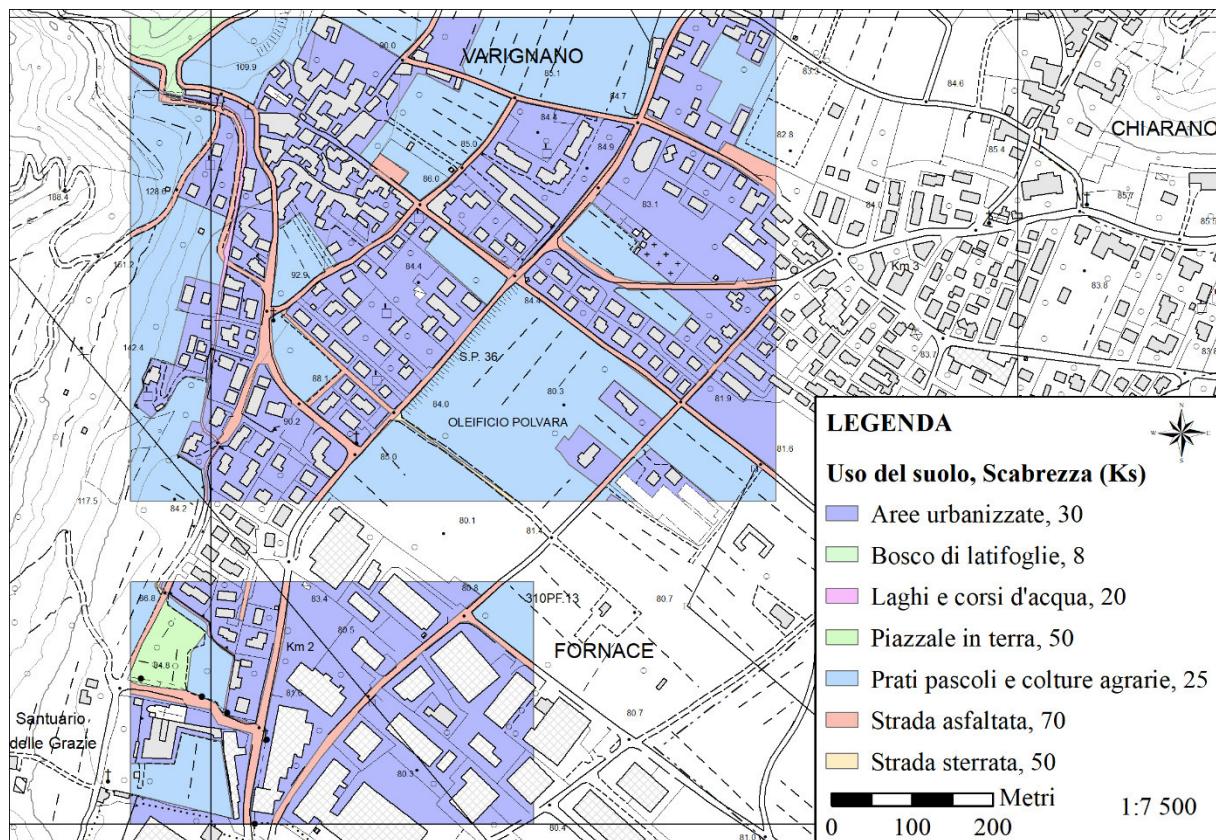


Figura 41 – Uso del suolo dello stato attuale con indicato valore di scarezza attribuito a ciascuna classe (valore espresso Ks di Strickler).

Oltre ad assegnare il più probabile valore di scabrezza sono state mappate, come ostacolo al moto della corrente, le celle in corrispondenza degli edifici.

In ambito urbano la presenza di innumerevoli ostacoli al flusso, quali muretti, salti di quota, ecc. spesso rendono difficile la modellazione al fine di una corretta previsione delle direttive di deflusso. A questo si aggiunge il fatto che le dimensioni delle celle non sempre colgono la micro topografia, per cui si ha un effetto “arrotondamento” della superficie di scorrimento. Nel caso specifico, dove la base topografica non coglieva la presenza di muretti significativamente alti (es. muri di cinta, ecc.) sono stati implementati come ostacolo al flusso al fine di descrivere in modo più realistico i vincoli locali alla propagazione della corrente.

Al fine di valutare le potenziali aree interessate dalla corrente è stato considerato come idrogramma di piena quello dedotto dall’analisi idrologica con tempo di ritorno pari a 200 anni, considerata la tipologia di fenomeno atteso, ascrivibile ad una piena liquida con scarsa presenza di trasporto solido

Nell’applicazione del modello bidimensionale l’idrogramma con tempo di ritorno di 200 anni è stato impiegato nella sua interezza per la valutazione del grado di pericolo relativo al centro abitato di Varignano (Figura 42), mentre per il dominio di calcolo implementato in prossimità del Santuario delle Grazie è stata considerata solo la parte di idrogramma che non riesce a transitare nel tratto coperto e quindi destinata a fuoriuscire, invadendo la sede stradale o area verde circostante (Figura 43).

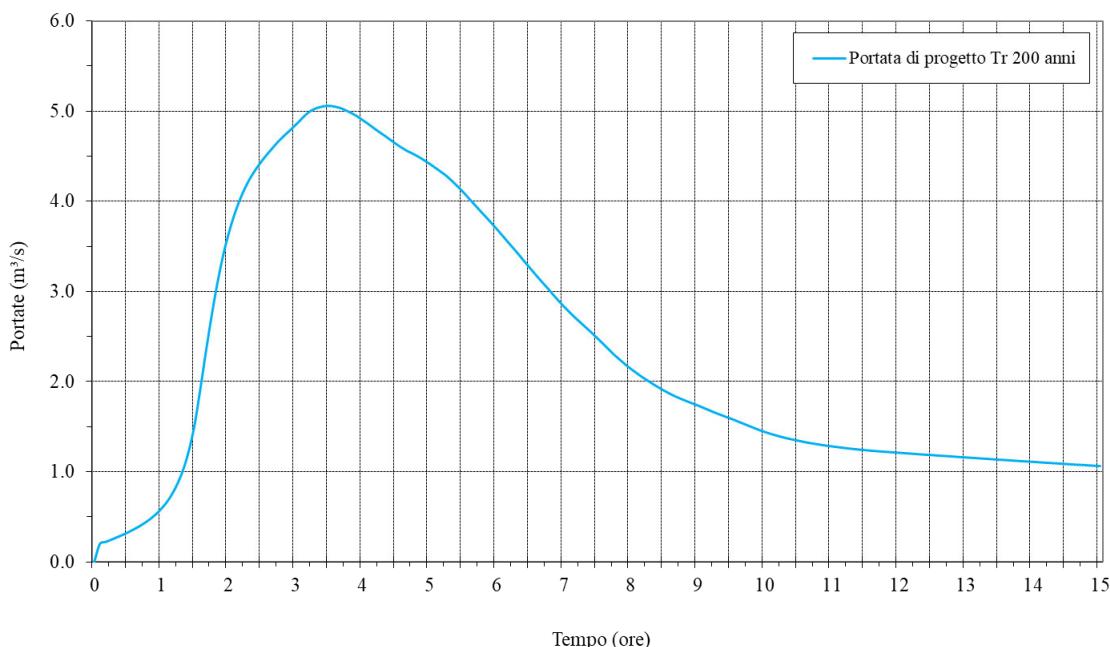


Figura 42 – Idrogramma di piena stimato per TR 200 anni utilizzato per il dominio di calcolo relativo al centro abitato di Varignano.

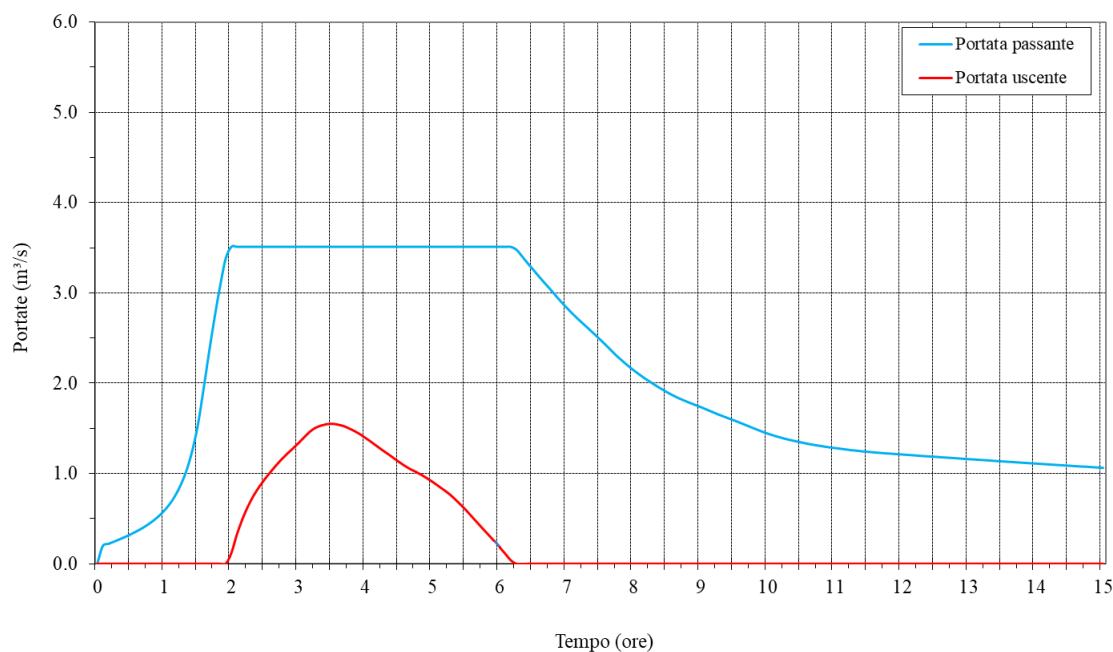


Figura 43 – Idrogramma di piena stimato per TR 200 anni utilizzato per il dominio di calcolo relativo all'area in prossimità del Santuario delle Grazie

### 13. CRITERI PER LA STIMA DEL GRADO DI PERICOLO

La pericolosità è intesa come la possibilità che si verifichi un evento di una data intensità (I) per un assegnato tempo di ritorno (T); anche se per alcune tipologie di pericolo non è applicabile tale concetto, e quindi c'è la necessità di ricercare altri indicatori, al fine di attribuire un grado di pericolo ad un determinato fenomeno, è necessario stabilire uno o più valori soglia, da associarsi, ove possibile, ad un determinato tempo di ritorno o ad indicatori affini.

La L.P. n. 9 del 1 Luglio 2011 e ss.mm.ii., all'art. 10 prevede la redazione delle carte della pericolosità, i cui valori soglia sono descritti in un documento collegato dove, con riferimento ad eventi di carattere alluvionale, ed in particolare a fenomeni di piene liquide, sono stabiliti i seguenti valori (Tabella 11).

<b>Intensità</b>	<b>Profondità della corrente – <math>h</math> (m)</b>		<b>Prodotto tra la profondità e la velocità della corrente – <math>vh</math> (m<sup>2</sup>/s)</b>
Elevata	$h > 2$	oppure	$v h > 2$
Media	$0,5 < h < 2$	oppure	$0,5 < v h < 2$
Bassa	$H < 0,5$	oppure	$v h < 0,5$

Tabella 11 – Intensità dell'evento per inondazione da piena.

Nella presente relazione, al fine di valutare il grado di esposizione al pericolo attuale si farà riferimento ai criteri indicati nella Tabella 11.

## 14. DESCRIZIONE SCENARI

I sopralluoghi condotti hanno permesso di appurare una scarsa propensione alla produzione di sedimento, da cui l'assunzione dell'idrogramma liquido senza maggiorazione della frazione solida.

L'idrogramma con tempo di ritorno di 200 anni è stato rilasciato in apice al conoide prevedendo due diverse ipotesi, che hanno portato alla definizione di altrettanti scenari.

In allegato alla relazione sono riportati i risultati ottenuti dall'applicazione del modello bidimensionale, dove sono riportate le mappe di tirante, velocità e pericolo per ogni scenario indagato (Allegato n. 2).

I risultati finali sono poi stati integrati in una mappa di sintesi (Allegato n. 3), dove, per ciascuna cella descrittiva del dominio di calcolo, è stato considerato il valore massimo nell'ambito degli scenari indagati. A partire dalla mappa di sintesi dei tiranti massimi e delle velocità massime è stata prodotta una mappa di sintesi del pericolo. Quest'ultima è poi stata impiegata per valutare la compatibilità idraulica e definire eventuali interventi di mitigazione per le aree oggetto di variante urbanistica.

### 14.1 Scenario n. 1

Lo scenario n. 1 prevede un rilascio dell'idrogramma di piena in apice al conoide, a monte dell'attraversamento sulla strada, che conduce alla ex cava (quota 120 m s.l.m.). Nonostante il fenomeno atteso sia inquadrabile come piena liquida, si ritiene realistico ipotizzare che, in concomitanza di un evento alluvionale, possa essere trasportato a valle del legname generato da locali erosioni di sponda o legname già accidentalmente presente in alveo, favorendo l'ostruzione della luce utile in corrispondenza del ponte. Tale ostruzione porterebbe ad un rapido esaurimento del volume utile in corrispondenza della vasca di trattenuta del sedimento con successiva esondazione lungo le linee di massima pendenza.

Secondo questa ipotesi la corrente defluisce prevalentemente in destra idrografica, lungo la strada che conduce alla ex cava, per poi impegnare l'area compresa fra le due strade in apice al conoide. Nella parte storica dell'abitato di Varignano la corrente rimane confinata fra i muri perimetrali dei fabbricati oppure fra i muri che delimitano le varie proprietà private. I tiranti sono contenuti, mentre le velocità assumono valori anche significativi per la pendenza locale e scarsa resistenza al moto delle superfici di scorrimento. Per i fabbricati posti lungo la viabilità,

con la presenza di finestre a piano stradale o porte di ingresso, possono sussistere delle condizioni di pericolo in relazione alla destinazione dei locali in caso di infiltrazione d'acqua dalle aperture sui muri perimetrali (porte o finestre).

Dove manca il confinamento la corrente tende ad impegnare le aree contermini alle strade, andando a colmare eventuali depressioni naturali o artificiali (es. rampe di accesso a piani interrati). In corrispondenza di queste aree si osservano tiranti più sostenuti, con velocità massime che possono assumere valori anche significativi, specie nelle prime fasi allagamento.

La presenza del rilevato arginale del Rio Bordellino di Vigne, impedisce alla corrente di defluire verso sud, favorendo un ristagno della corrente in corrispondenza dei fabbricati fra Via Filippo Serafini e Via Giuseppe Verdi, oltre a forzare un deflusso verso nord, in corrispondenza dell'area agricola posta oltre Via Nicola Bresciani.

Il flusso, che scende lungo Via Guglielmo Frisoni e Via Vittorio Veneto, contribuisce ad allagare l'area residenziale edificata a valle del centro storico, oltre all'area agricola posta oltre Via Giuseppe Verdi. Anche in questi settori si osservano tiranti significativi solo dove ci sono delle depressioni naturali (es. aree agricole) oppure artificiali (accesso gli interrati).

La corrente, che scende da Via Guglielmo Frisoni, alimenta anche l'area delimitata fra Via Giuseppe Verdi e Via Gobbi. Anche in questo settore si osservano tiranti più sostenuti in corrispondenza delle aree depresse o in prossimità dei fabbricati in corrispondenza delle rampe di accesso agli interrati.

La mappa delle velocità evidenzia valori sostenuti lungo le direttive caratterizzate da una scarsa resistenza al moto (strade), talvolta amplificati dalla pendenza locale per particolari condizioni legate alla topografia locale. Nonostante i valori di velocità osservati localmente siano anche significativi, i tiranti sono bassi, tanto da delineare una generale condizione di scarso pericolo per l'intero conoide. Condizioni di pericolo medio o elevato si osservano solo dove c'è un ristagno idrico, per impossibilità della corrente di defluire liberamente, per cui la pericolosità è legata non tanto alla velocità della corrente, quanto al tirante assunto dalla corrente.

## 14.2 Scenario n. 2

Lo scenario n. 2 prevede l'ostruzione del ponte posto a quota 110 m s.l.m., appena a monte del centro storico di Varignano, ossia nel punto in cui il corso d'acqua è esondato nel corso dell'evento alluvionale del 1976. Rispetto al tratto appena a monte, approssimandosi al

ponte si osserva una progressiva riduzione della larghezza della sezione di deflusso, che potrebbe favorire una ipotetica ostruzione del ponte in caso di materiale vegetale che riesca a transitare oltre il ponte della strada di accesso alla ex cava. Si tratta di uno scenario di rischio residuo, che si è voluto indagare per completezza di indagine.

Le considerazioni fatte per lo scenario 1 valgono anche per questo scenario. La scarsa distanza del punto di rilascio dell'idrogramma rispetto all'ipotesi precedentemente descritta non permette di osservare evidenti differenze nella mappatura dei tiranti e delle velocità. Ne consegue che anche la mappa del pericolo è sostanzialmente molto simile, caratterizzata da valori bassi per gran parte del conoide e solo dove si manifestano condizioni particolari, legati alla topografia locale, si osservano delle classi di pericolo più marcate.

### **14.3 Scenario n. 3**

L'applicazione del modello monodimensionale ha evidenziato l'insufficienza dell'imbocco del tratto coperto in corrispondenza del Santuario delle Grazie. Questo riscontro ha suggerito l'implementazione dello scenario n. 3 per indagare le direttrici prevalenti della corrente una volta fuoriuscita dal cunettone.

La topografia locale favorisce una rapida dispersione della corrente seguendo le strade per poi interessare l'area industriale posta ad est di Via delle Grazie. I tiranti si mantengono su valori inferiori ai 40 cm e solo localmente si osservano tiranti maggiori, specie in prossimità dei fabbricati, in corrispondenza delle rampe di accesso ai piani interrati.

Le velocità sono piuttosto elevate, complice la pendenza locale in alcuni punti e la scarsa resistenza al flusso. I valori maggiori si osservano lungo la viabilità ordinaria (strada comunale) oppure in corrispondenza degli accessi ai singoli capannoni.

La mappa del pericolo che ne consegue indica una condizione di basso pericolo, fatta eccezione per le aree dove si osserva un ristagno della corrente (aree a ridosso fabbricati).

### **14.4 Scenario n. 4**

Le analisi con il modello monodimensionale hanno evidenziato una certa sofferenza per le sezioni a valle della vasca di sedimentazione, in caso di evento con tempo di ritorno di 200 anni. Questa situazione ha suggerito di implementare uno scenario complementare al

precedente, ossia prevedere la fuoriuscita della corrente in corrispondenza della vasca, ripartendo equamente l'idrogramma fra sponda destra e sponda sinistra.

Per la frazione di corrente che esonda in sinistra, trovandosi la quota delle sponde ad un livello maggiore rispetto all'intorno, l'acqua defluirà fra i fabbricati, seguendo le linee di massima pendenza. Per la frazione rilasciata in sponda destra, la corrente seguirà i vialetti presenti nell'area verde; raggiuta Via Danti Alighieri, la corrente invaderà la sede stradale per poi riversarsi nella sottostante area industriale.

Le velocità assumono valori localmente sostenuti, complice la pendenza locale in alcuni punti e la scarsa resistenza al flusso. I valori maggiori si osservano lungo la viabilità ordinaria (strada comunale) oppure in corrispondenza degli accessi ai singoli capannoni.

La mappa del pericolo, che ne consegue, indica una condizione di basso pericolo, fatta eccezione per le aree dove si osserva un ristagno della corrente (aree a ridosso fabbricati).

## 15. MAPPE DI SINTESI

Al fine di produrre una mappa di sintesi è stata elaborata una cartografia in cui, per ciascuna cella descrittiva del dominio di calcolo, è stato rappresentato il valore massimo assoluto per gli scenari indagati. Tale operazione è stata effettuata per i tiranti e per la velocità e sulla base dei valori massimi assoluti è stata redatta la mappa del pericolo.

L'estrazione dei valori massimi di tirante e velocità delineano una mappatura del pericolo basso per l'intero conoide, fatta eccezione per alcune aree di limitata estensione (Allegato n. 3).

## 16. GRADO DI PERICOLO NELL'INTORNO DELLE AREE OGGETTO DI VARIANTE

### 16.1 Scheda di variante 3.3.7

Con riferimento all'area oggetto di variante, un maggiore dettaglio sui parametri idraulici evidenzia tiranti molto ridotti, prevalentemente contenuti nella classe fino a 10 cm. Circa un terzo dell'area ha un tirante fino ai 25 cm, mentre solo qualche cella ricade nella classe compresa fra 25 e 50 cm, ossia in corrispondenza di locali depressioni; l'interrogazione di queste celle ha evidenziato valori di poco superiori ai 30 cm.

L'analisi dei valori di velocità mostra una maggiore variabilità, con valori molto bassi in corrispondenza di zone pianeggiante e valori più sostenuti dove la pendenza locale assume valori più elevati.

Nonostante la corrente in forma puntuale assuma valori anche significativi la concomitanza di bassi tiranti delinea una condizione di pericolo basso per l'intera area oggetto di variante.

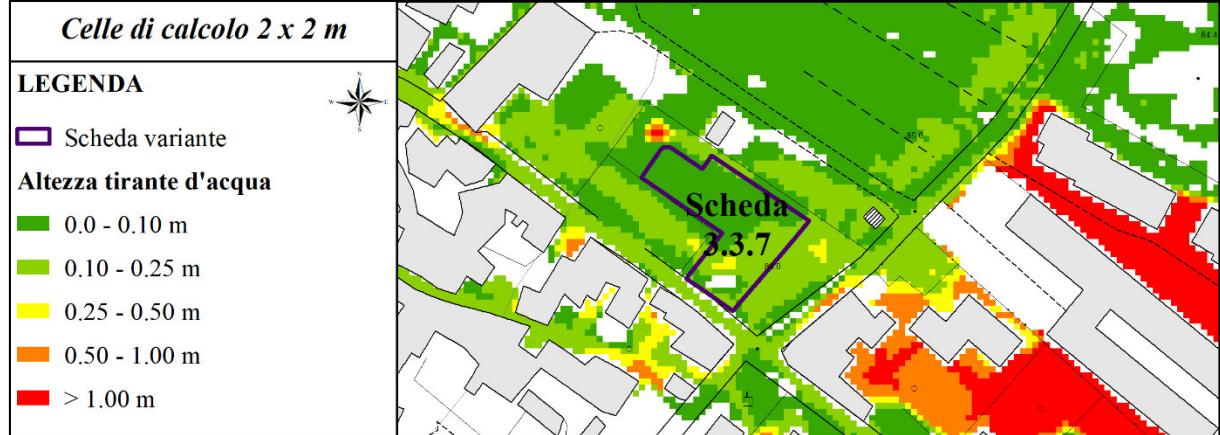


Figura 44 – Mappa di dettaglio dei tiranti nell'intorno della scheda di variante 3.3.7.

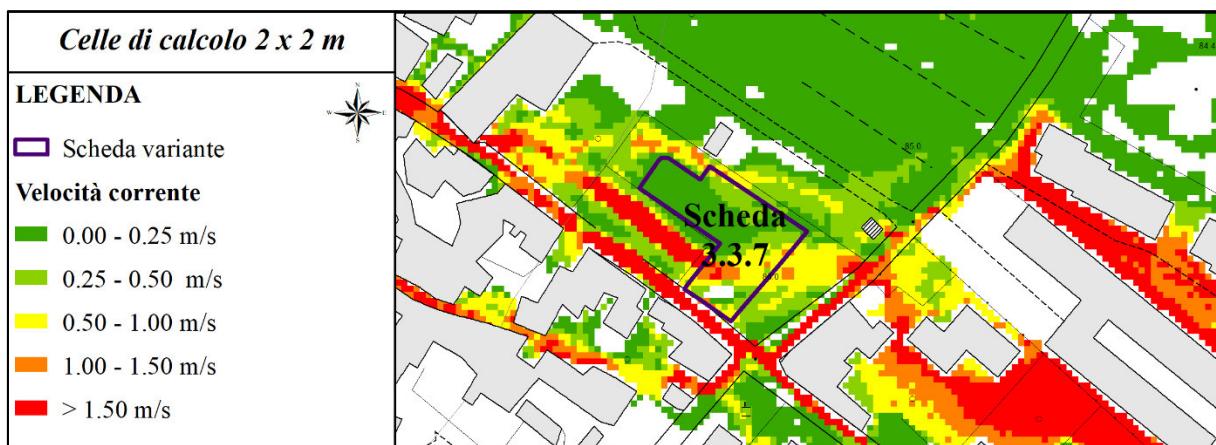


Figura 45 – Mappa di dettaglio della velocità nell'intorno della scheda di variante 3.3.7.

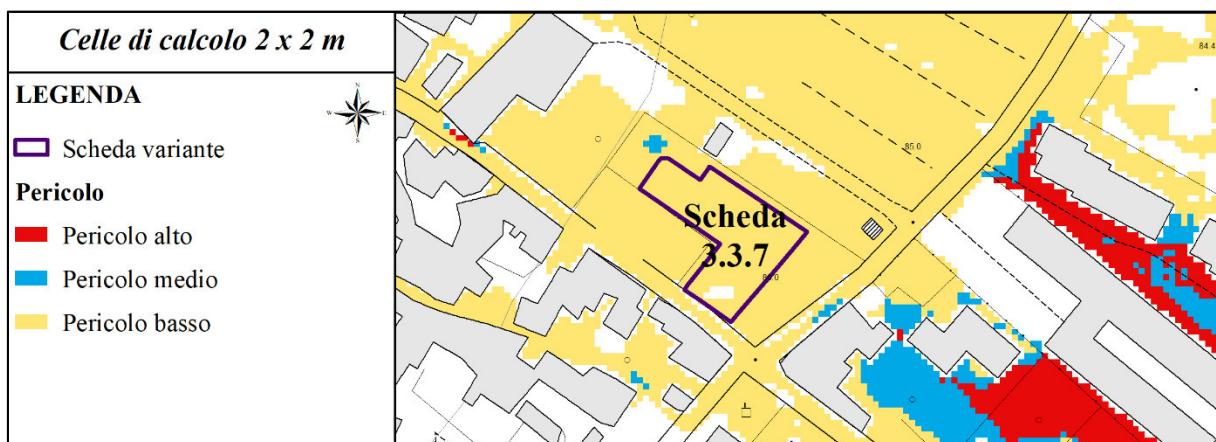


Figura 46 – Mappa di dettaglio del pericolo nell'intorno della scheda di variante 3.3.7.

## 16.2 Scheda di variante 5.1.2.2

L'analisi di dettaglio dei parametri idraulici in corrispondenza dell'area oggetto di variante evidenzia tiranti molto contenuti, prevalentemente contenuti nella classe fino a 10 cm; solo lungo il margine inferiore, si osserva un leggero incremento del tirante, non eccedente i 25 cm, mentre una piccola parte verso Via Vittorio Veneto non è neppure interessata dalla corrente.

Anche le velocità si dimostrano molto contenute, solo lungo il margine inferiore si osservano delle singole celle che indicano valori fra 0.5 e 1.0 m/s, ossia lungo la direttrice di deflusso della corrente verso l'area edificata.

I bassi valori di tirante e velocità delineano una condizione di pericolo basso per l'intera area oggetto di variante.

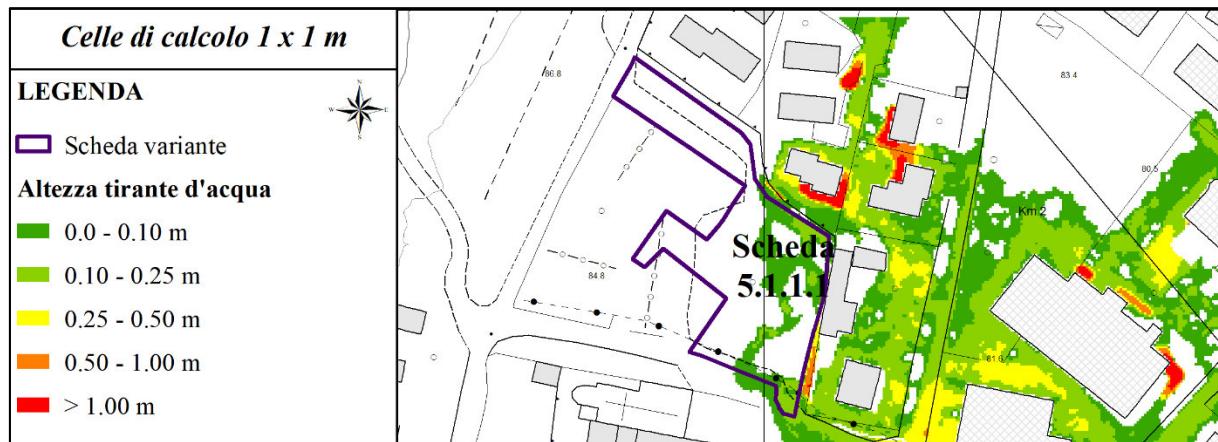


Figura 47 – Mappa di dettaglio dei tiranti nell'intorno della scheda di variante 5.1.1.1.

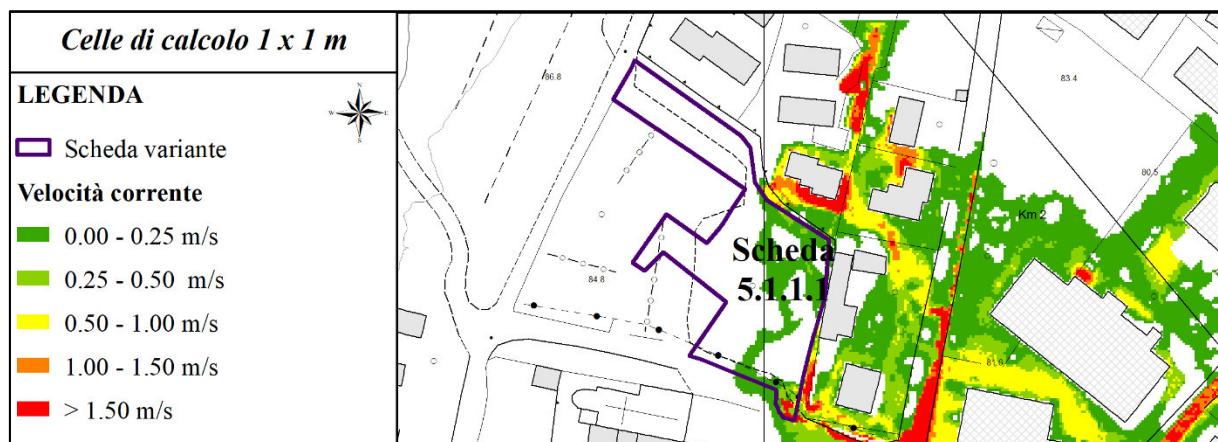


Figura 48 – Mappa di dettaglio della velocità nell'intorno della scheda di variante 5.1.1.1.

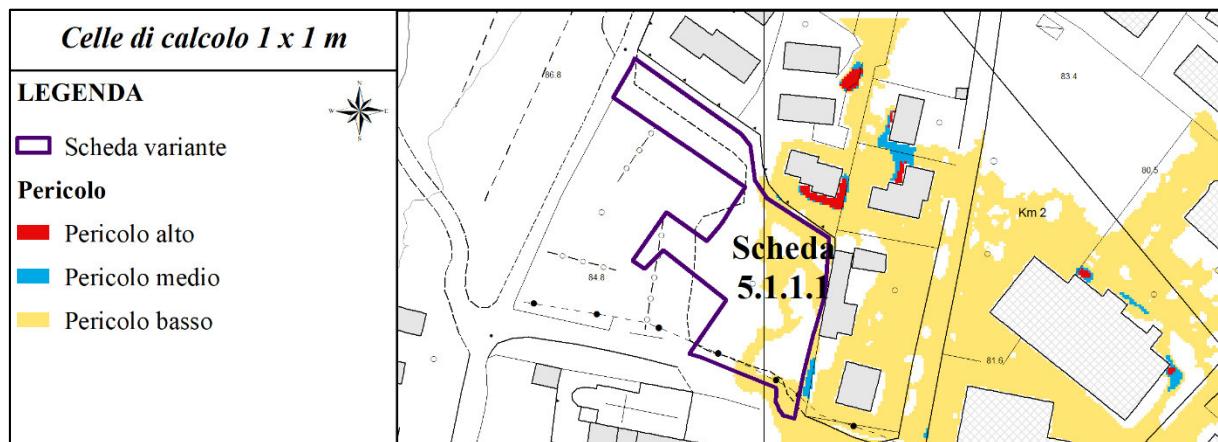


Figura 49 – Mappa di dettaglio del pericolo nell'intorno della scheda di variante 5.1.1.1.

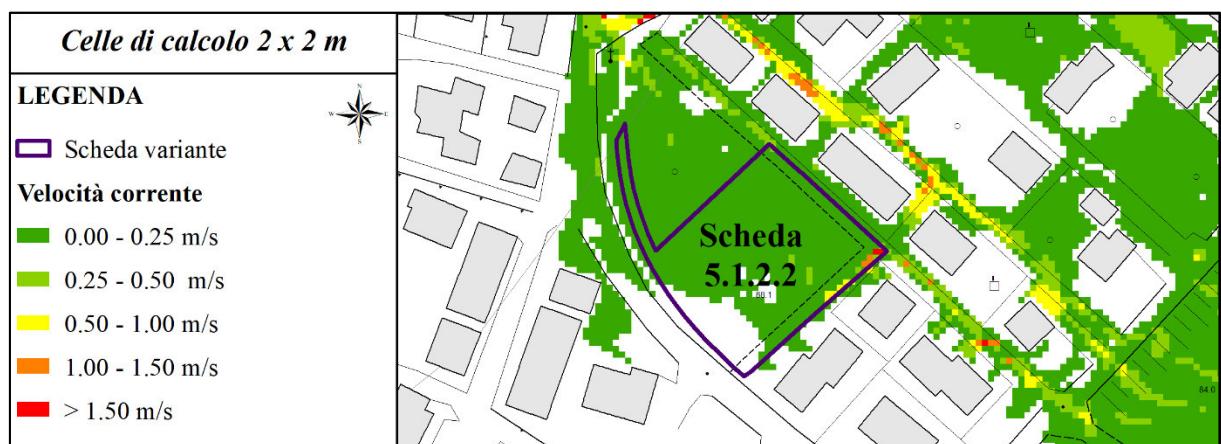
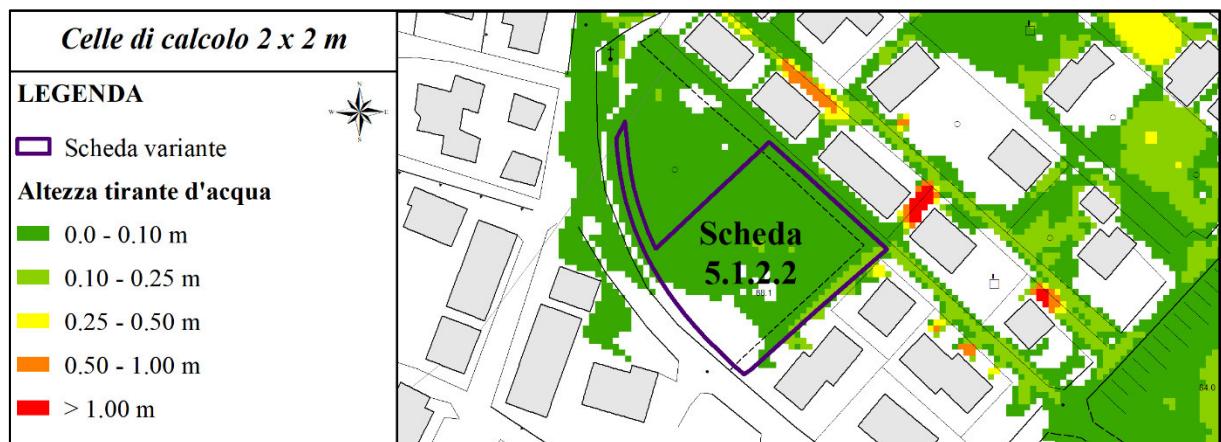
### 16.3 Scheda di variante 5.1.1.1

Un maggiore dettaglio sui parametri idraulici evidenzia come l'area oggetto di variante sia interessata solo parzialmente dalla corrente; condizione che si genera solo in caso di fuoriuscita dell'onda di piena fin dalla vasca di sedimentazione.

In questo caso la corrente segue gli attuali vialetti presenti all'interno dell'area verde per poi riversarsi su Via Danti Alighieri. I tiranti sono contenuti nella classe fino ai 10 cm e solo localmente si osservano delle celle nella classe fino ai 25 cm.

La scarsa pendenza dei luoghi e l'elevata scabrezza conseguente ai bassi tiranti, in relazione all'uso del suolo, favoriscono un movimento lento della corrente con valori contenuti entro i 0.25 m/s.

I valori di tirante e velocità delineano una condizione di pericolo molto basso per le aree interessate dalla corrente.



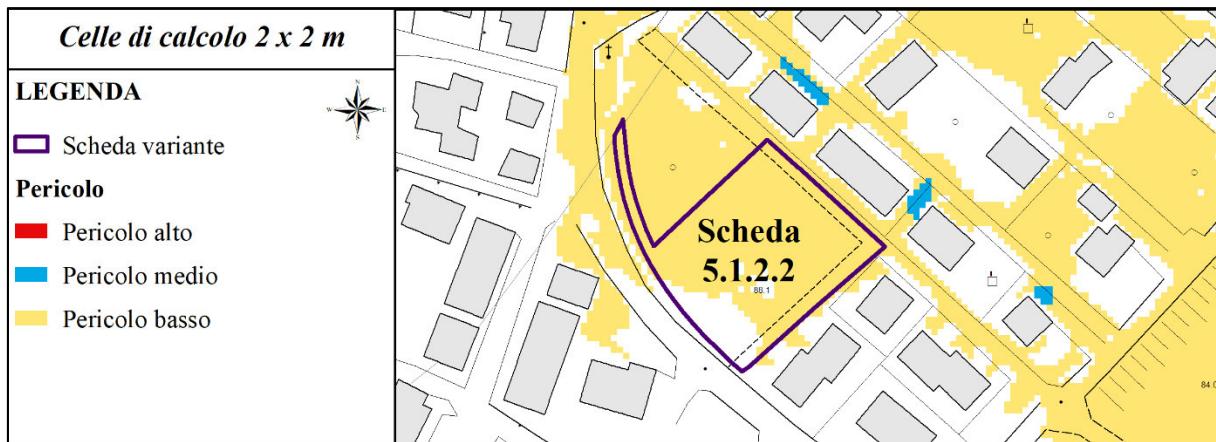


Figura 52 – Mappa di dettaglio del pericolo nell'intorno della scheda di variante 5.1.2.2.

## 17. SITUAZIONE ATTUALE E PROPOSTE DI MITIGAZIONE

Di seguito si riporta una descrizione dello stato attuale delle singole aree, accompagnate da alcune foto, e le proposte di mitigazione per ridurre ulteriormente l'esposizione al pericolo.

### 17.1 Scheda di variante 3.3.7

P.ED. 130/1 e PP.FF. 815/2, 816 (parziali), 817 C.C. Romarzollo	
DESTINAZIONE ATTUALE	AREA A PARCHEGGIO PUBBLICO – AREA AGRICOLA LOCALE
DESTINAZIONE DI VARIANTE	PARCHEGGIO PUBBLICO



Figura 53 – Localizzazione dell'area oggetto di variante.

L'area oggetto di variante si trova in adiacenza all'attuale parcheggio, a cui si accede da Via Guglielmo Frisoni, mentre l'effettiva area si presenta al momento incolta e confinata verso est con un viale di accesso in terra battuta a dei fabbricati posti più a nord.

La variante prevede la trasformazione in parcheggio pubblico le cui norme prevedono: “*... I parcheggi pubblici possono essere realizzati a livelli diversi da quello del suolo sia in interrato che fuori terra. ...*”

I tiranti hanno evidenziato valori molto contenuti, per cui la trasformazione urbanistica si ritiene compatibile, con l'accortezza di adottare delle misure di mitigazione in fase esecutiva in caso in cui si intendano realizzare dei parcheggi sotterranei. Nello specifico eventuali prese d'aria / bocche di lupo necessarie per l'aerazione dovranno essere opportunamente rialzate rispetto al piano di campagna, in modo da non fungere da “scarico di fondo” in caso di presenza di acqua fluente o stagnante nell'area adibita a parcheggio a piano campagna.

Particolare attenzione dovrà essere posta nella progettazione della rampa di accesso, che deve assicurare l'impossibilità per la corrente di defluire verso la parte interrata.

## 17.2 Scheda di variante 5.1.1.1

P.F 27/1, 28, 29, 30, 8/2 (parte), 9, 10/1 e 10/2 C.C. Romarzollo	
DESTINAZIONE ATTUALE	AREA A VERDE PUBBLICO
DESTINAZIONE DI VARIANTE	AREA A VERDE PRIVATO – AREA A PARCHEGGIO PUBBLICO

L'area oggetto di variante si trova in adiacenza all'attuale parcheggio a servizio del Santuario delle Grazie, già in parte destinata a parcheggio, mentre la parte verso est è un'area verde alberata.



Figura 54 – Localizzazione dell'area oggetto di variante.

La variante prevede la trasformazione in parcheggio pubblico e a verde privato, le cui norme prevedono: “*... I parcheggi pubblici possono essere realizzati a livelli diversi da quello del suolo sia in interrato che fuori terra. ...*”, mentre per la destinazione a verde privato “*E' consentita la realizzazione di parcheggi interrati o in superficie con pavimentazioni in grigliato inerbito a servizio degli edifici limitrofi ...*”.

I tiranti hanno evidenziato valori molto contenuti, per cui la trasformazione urbanistica si ritiene compatibile, con l'accortezza di adottare delle misure di mitigazione in fase esecutiva in caso in cui si intendano realizzare dei parcheggi sotterranei. Nello specifico eventuali prese d'aria / bocche di lupo necessarie per l'aerazione dovranno essere opportunamente rialzate rispetto al piano di campagna, in modo da non fungere da “scarico di fondo” in caso di presenza di acqua fluente o stagnante nell'area adibita a parcheggio a piano campagna. Particolare attenzione dovrà essere posta nella progettazione della rampa di accesso, che deve assicurare l'impossibilità per la corrente di defluire verso la parte interrata.

Per le altre possibilità edificatorie ammesse per le aree a verde privato, ossia “*Sulle aree inedificate con una superficie di almeno mq. 2.000, è ammessa la costruzione di piccoli manufatti in legno, di 4 mq di SUN, da destinare a deposito attrezzi*”, la presenza di piccoli manufatti si ritiene compatibile, con l'eventuale accortezza di realizzare il piano di appoggio a livello del piano campagna o leggermente rialzato.

### 17.3 Scheda di variante 5.1.2.2

P.F 27/1, 28, 29, 30, 8/2 (parte), 9, 10/1 e 10/2 C.C. Romarzollo	
DESTINAZIONE ATTUALE	AREA A VERDE PUBBLICO
DESTINAZIONE DI VARIANTE	AREA A VERDE PRIVATO



Figura 55 – Localizzazione dell'area oggetto di variante.

L'area oggetto di variante confina con l'area a verde già esistente ed è delimitata verso Via Vittorio Veneto da un muro di cinta, mentre verso sud e verso est confina con l'area edificata, separata da semplice rete metallica.

La variante prevede la trasformazione da verde pubblico e a verde privato. Per le aree destinate a verde privato “... *E' consentita la realizzazione di parcheggi interrati o in superficie con pavimentazioni in grigliato inerbito a servizio degli edifici limitrofi ...*”.

I tiranti hanno evidenziato valori molto contenuti, per cui la trasformazione urbanistica si ritiene compatibile, con l'accortezza di adottare delle misure di mitigazione in caso in cui si intendano realizzare dei parcheggi sotterranei. Nello specifico eventuali prese d'aria / bocche di lupo necessarie per l'aerazione dovranno essere opportunamente rialzate rispetto al piano di campagna, in modo da non fungere da “scarico di fondo” in caso di presenza di acqua fluente o stagnante nell'area adibita a parcheggio a piano campagna. Particolare attenzione dovrà essere posta nella progettazione della rampa di accesso, che deve assicurare l'impossibilità per la corrente di defluire verso la parte interrata.

Per le altre possibilità edificatorie ammesse per le aree a verde privato, ossia “*Sulle aree inedificate con una superficie di almeno mq. 2.000, è ammessa la costruzione di piccoli manufatti in legno, di 4 mq di SUN, da destinare a deposito attrezzi*”, la presenza di piccoli manufatti si ritiene compatibile, con l'eventuale accortezza di realizzare il piano di appoggio a livello del piano campagna o leggermente rialzato.

## 18. CONCLUSIONI

Le indagini condotte hanno permesso di caratterizzare il pericolo idraulico, a cui è esposto l'abitato di Varignano, generato dal Rio Bordellino di Varignano.

Le simulazioni idrauliche hanno evidenziato una generale condizione di pericolo basso, fatto salvo i punti in cui la corrente liquida ha difficoltà di deflusso, generando condizioni di stagnazione, oppure è richiamata ai piani interrati dalle rampe di accesso.

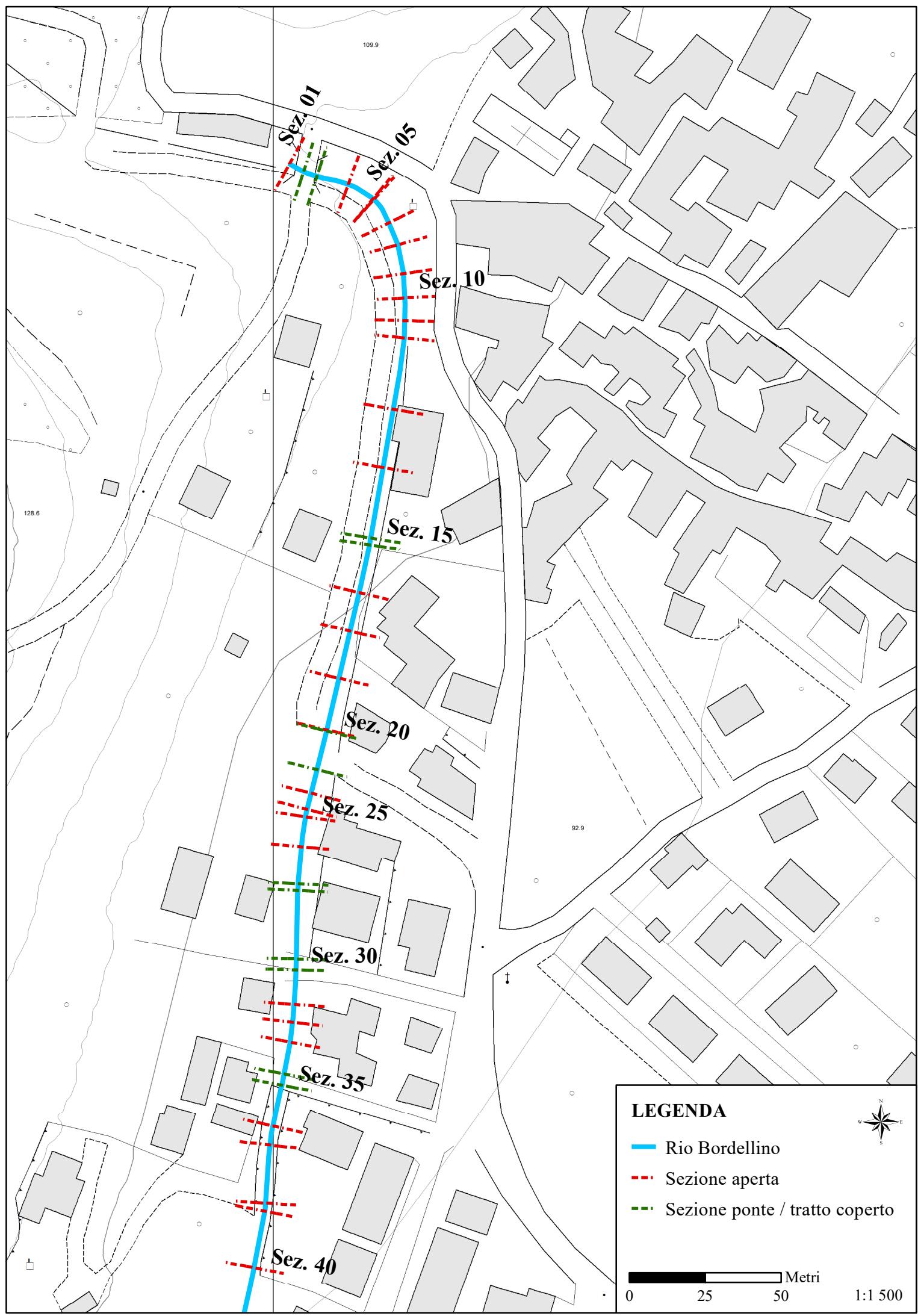
Il deflusso della corrente avviene prevalentemente lungo le strade per poi disperdersi non appena viene a mancare il confinamento laterale. Preme sottolineare come per tutti gli edifici, che si affacciano sulle strade interessate dal flusso, possono insorgere condizioni di pericolo nel caso in cui abbiano aperture poste a livello strada (porte, finestre, bocche di lupo, ecc.), da dove l'acqua può penetrare all'interno del fabbricato.

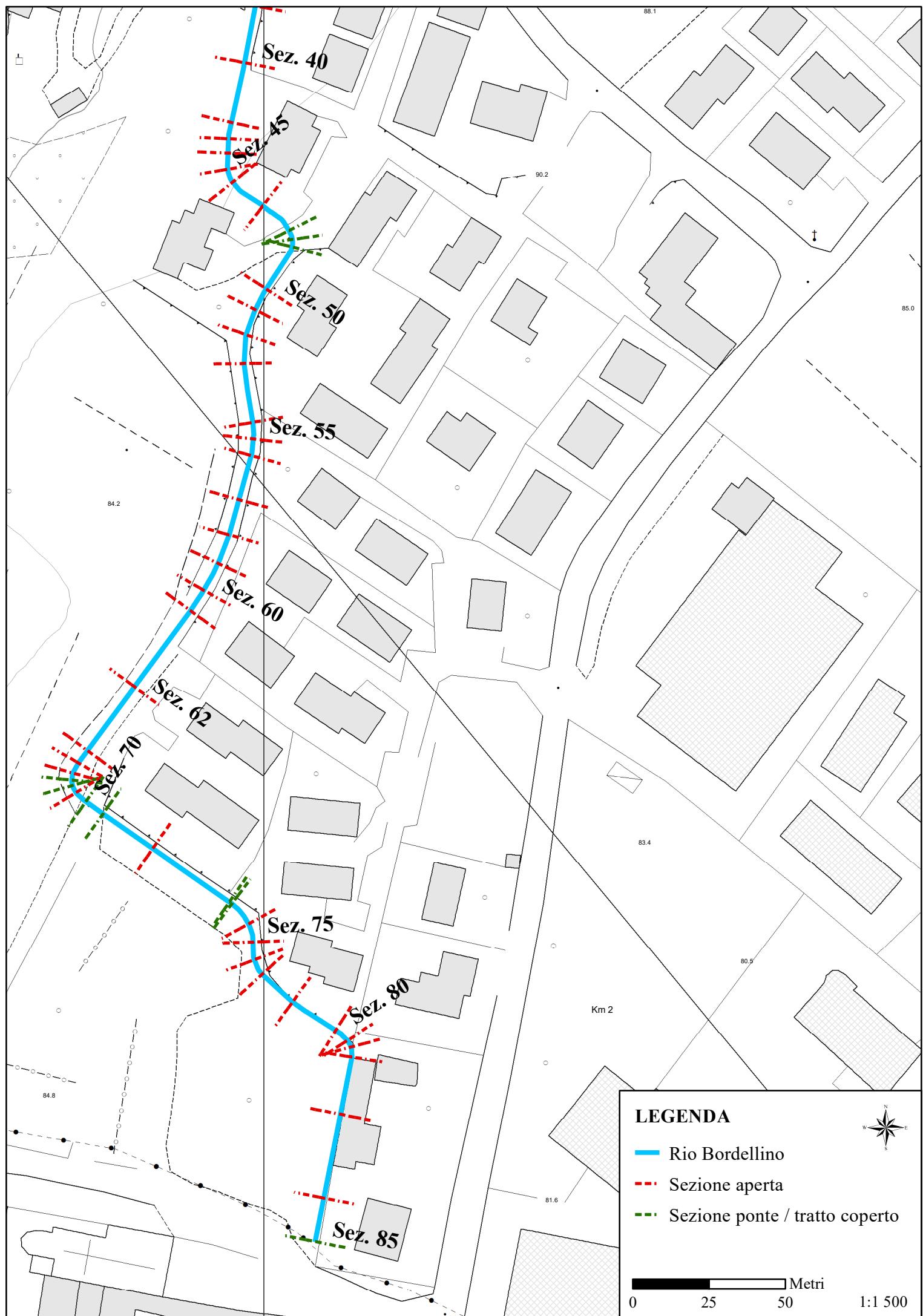
Per le aree oggetto di variante, considerati i tiranti stimati e le velocità della corrente, si ritengono compatibili fatto salvo l'adozione di particolari criteri costruttivi nell'ipotesi che si intendano sviluppare volumi utili nel sottosuolo.

## 19. ALLEGATO 1: RISULTATI APPLICAZIONE HEC-RAS

Il riepilogo dei risultati ottenuti dall'applicazione del modello monodimensionale, dove si antepone ai risultati numerici una planimetria con indicata la localizzazione delle sezioni.

Nella tabella le sezioni relative ai ponti o passerelle sono indicate con sfondo grigio.





SEZIONE	Tempo ritorno (anni)	Q. al picco (m <sup>3</sup> /s)	Quota pelo libero (m)	Velocità corrente (m/s)	Numero di Froude	Quota argine		Franco	
						Sinistro (m)	Destro (m)	Sinistro (m)	Destro (m)
Sez. 1	TR 30	3.51	110.03	2.92	1.00	111.15	111.09	1.12	1.06
	TR 100	4.43	110.19	3.14	1.00	111.15	111.09	0.96	0.90
	TR 200	5.06	110.28	3.26	1.00	111.15	111.09	0.87	0.81
Sez. 2	TR 30	3.51	109.42	2.86	1.00	110.06	110.10	0.64	0.68
	TR 100	4.43	109.57	3.06	1.00	110.06	110.10	0.49	0.53
	TR 200	5.06	109.66	3.18	1.00	110.06	110.10	0.40	0.44
Sez. 3	TR 30	3.51	108.88	2.90	1.00	109.72	109.67	0.84	0.79
	TR 100	4.43	109.03	3.10	1.00	109.72	109.67	0.69	0.64
	TR 200	5.06	109.13	3.23	1.00	109.72	109.67	0.59	0.54
Sez. 4	TR 30	3.51	108.17	2.95	1.00	109.01	108.96	0.84	0.79
	TR 100	4.43	108.33	3.15	1.00	109.01	108.96	0.68	0.63
	TR 200	5.06	108.43	3.26	1.00	109.01	108.96	0.58	0.53
Sez. 5	TR 30	3.51	107.72	2.89	1.00	108.49	108.45	0.77	0.73
	TR 100	4.43	107.87	3.09	1.00	108.49	108.45	0.62	0.58
	TR 200	5.06	107.96	3.21	1.00	108.49	108.45	0.53	0.49
Sez. 6	TR 30	3.51	106.67	2.99	1.00	108.36	108.36	1.69	1.69
	TR 100	4.43	106.83	3.20	1.00	108.36	108.36	1.53	1.53
	TR 200	5.06	106.93	3.33	1.00	108.36	108.36	1.43	1.43
Sez. 7	TR 30	3.51	105.94	2.83	1.00	106.79	106.76	0.85	0.82
	TR 100	4.43	106.08	3.04	1.00	106.79	106.76	0.71	0.68
	TR 200	5.06	106.17	3.15	1.00	106.79	106.76	0.62	0.59
Sez. 8	TR 30	3.51	105.54	2.88	1.00	106.34	106.35	0.80	0.81
	TR 100	4.43	105.69	3.09	1.00	106.34	106.35	0.65	0.66
	TR 200	5.06	105.79	3.20	1.00	106.34	106.35	0.55	0.56
Sez. 9	TR 30	3.51	105.08	2.92	1.00	105.84	105.82	0.76	0.74
	TR 100	4.43	105.24	3.12	1.00	105.84	105.82	0.60	0.58
	TR 200	5.06	105.33	3.24	1.00	105.84	105.82	0.51	0.49
Sez. 10	TR 30	3.51	104.65	2.92	1.00	105.42	105.39	0.77	0.74
	TR 100	4.43	104.80	3.11	1.00	105.42	105.39	0.62	0.59
	TR 200	5.06	104.90	3.23	1.00	105.42	105.39	0.52	0.49
Sez. 11	TR 30	3.51	104.26	2.91	1.00	105.03	105.02	0.77	0.76
	TR 100	4.43	104.42	3.11	1.00	105.03	105.02	0.61	0.60
	TR 200	5.06	104.51	3.23	1.00	105.03	105.02	0.52	0.51
Sez. 12	TR 30	3.51	103.97	2.91	1.00	104.72	104.75	0.75	0.78
	TR 100	4.43	104.13	3.10	1.00	104.72	104.75	0.59	0.62
	TR 200	5.06	104.23	3.22	1.00	104.72	104.75	0.49	0.52
Sez. 13	TR 30	3.51	102.93	2.95	1.00	103.66	103.65	0.73	0.72
	TR 100	4.43	103.09	3.15	1.00	103.66	103.65	0.57	0.56
	TR 200	5.06	103.19	3.27	1.00	103.66	103.65	0.47	0.46
Sez. 14	TR 30	3.51	102.06	2.96	1.00	102.77	102.77	0.71	0.71
	TR 100	4.43	102.23	3.14	1.00	102.77	102.77	0.54	0.54
	TR 200	5.06	102.33	3.25	1.00	102.77	102.77	0.44	0.44
Sez. 15	TR 30	3.51	100.99	2.94	1.00	101.69	101.72	0.70	0.73
	TR 100	4.43	101.16	3.12	1.00	101.69	101.72	0.53	0.56
	TR 200	5.06	101.26	3.23	1.00	101.69	101.72	0.43	0.46
Sez. 16	TR 30	3.51	100.88	2.94	1.00	101.58	101.63	0.70	0.75
	TR 100	4.43	101.04	3.14	1.00	101.58	101.63	0.54	0.59
	TR 200	5.06	101.15	3.24	1.00	101.58	101.63	0.43	0.48
Sez. 17	TR 30	3.51	100.16	3.07	1.00	100.69	100.75	0.53	0.59
	TR 100	4.43	100.33	3.28	1.01	100.69	100.75	0.36	0.42
	TR 200	5.06	100.44	3.38	1.00	100.69	100.75	0.25	0.31
Sez. 18	TR 30	3.51	99.53	3.06	1.00	100.19	100.22	0.66	0.69
	TR 100	4.43	99.70	3.25	1.00	100.19	100.22	0.49	0.52
	TR 200	5.06	99.81	3.36	1.00	100.19	100.22	0.38	0.41
Sez. 19	TR 30	3.51	98.76	3.00	1.00	99.42	99.43	0.66	0.67
	TR 100	4.43	98.92	3.18	1.00	99.42	99.43	0.50	0.51
	TR 200	5.06	99.03	3.29	1.00	99.42	99.43	0.39	0.40
Sez. 20	TR 30	3.51	97.89	2.94	1.00	98.58	98.57	0.69	0.68
	TR 100	4.43	98.05	3.13	1.00	98.58	98.57	0.53	0.52
	TR 200	5.06	98.15	3.23	1.00	98.58	98.57	0.43	0.42
Sez. 21	TR 30	3.51	97.82	3.00	1.00	98.41	98.41	0.59	0.59
	TR 100	4.43	97.99	3.17	1.00	98.41	98.41	0.42	0.42
	TR 200	5.06	98.10	3.26	1.00	98.41	98.41	0.31	0.31
Sez. 22	TR 30	3.51	97.14	2.95	1.00	97.71	97.71	0.57	0.57
	TR 100	4.43	97.30	3.14	1.00	97.71	97.71	0.41	0.41
	TR 200	5.06	97.40	3.27	1.00	97.71	97.71	0.31	0.31

SEZIONE	Tempo ritorno (anni)	Q. al picco (m³/s)	Quota pelo libero (m)	Velocità corrente (m/s)	Numero di Froude	Quota argine		Franco	
						Sinistro (m)	Destro (m)	Sinistro (m)	Destro (m)
Sez. 23	TR 30	3.51	96.87	2.90	1.00	97.49	97.59	0.62	0.72
	TR 100	4.43	97.02	3.10	1.00	97.49	97.59	0.47	0.57
	TR 200	5.06	97.12	3.22	1.00	97.49	97.59	0.37	0.47
Sez. 24	TR 30	3.51	96.64	2.91	1.00	97.35	97.41	0.71	0.77
	TR 100	4.43	96.80	3.11	1.00	97.35	97.41	0.55	0.61
	TR 200	5.06	96.89	3.23	1.00	97.35	97.41	0.46	0.52
Sez. 25	TR 30	3.51	96.55	2.93	1.00	97.29	97.31	0.74	0.76
	TR 100	4.43	96.71	3.14	1.00	97.29	97.31	0.58	0.60
	TR 200	5.06	96.81	3.25	1.00	97.29	97.31	0.48	0.50
Sez. 26	TR 30	3.51	96.16	2.90	1.00	96.94	96.92	0.78	0.76
	TR 100	4.43	96.31	3.10	1.00	96.94	96.92	0.63	0.61
	TR 200	5.06	96.41	3.22	1.00	96.94	96.92	0.53	0.51
Sez. 27	TR 30	3.51	95.68	2.90	1.00	96.08	96.08	0.40	0.40
	TR 100	4.43	95.84	3.10	1.00	96.08	96.08	0.24	0.24
	TR 200	5.06	95.93	3.22	1.00	96.08	96.08	0.15	0.15
Sez. 28	TR 30	3.51	95.61	2.91	1.00	96.08	96.08	0.47	0.47
	TR 100	4.43	95.76	3.11	1.00	96.08	96.08	0.32	0.32
	TR 200	5.06	95.86	3.24	1.00	96.08	96.08	0.22	0.22
Sez. 29	TR 30	3.51	94.73	2.92	1.00	95.55	95.56	0.82	0.83
	TR 100	4.43	94.89	3.11	1.00	95.55	95.56	0.66	0.67
	TR 200	5.06	94.99	3.23	1.00	95.55	95.56	0.56	0.57
Sez. 30	TR 30	3.51	94.60	2.89	1.00	95.41	95.43	0.81	0.83
	TR 100	4.43	94.75	3.09	1.00	95.41	95.43	0.66	0.68
	TR 200	5.06	94.85	3.20	1.00	95.41	95.43	0.56	0.58
Sez. 31	TR 30	3.51	94.21	2.89	1.00	95.00	95.02	0.79	0.81
	TR 100	4.43	94.36	3.09	1.00	95.00	95.02	0.64	0.66
	TR 200	5.06	94.46	3.20	1.00	95.00	95.02	0.54	0.56
Sez. 32	TR 30	3.51	94.02	2.89	1.00	94.80	94.80	0.78	0.78
	TR 100	4.43	94.17	3.09	1.00	94.80	94.80	0.63	0.63
	TR 200	5.06	94.27	3.21	1.00	94.80	94.80	0.53	0.53
Sez. 33	TR 30	3.51	93.77	2.88	1.00	94.57	94.56	0.80	0.79
	TR 100	4.43	93.92	3.08	1.00	94.57	94.56	0.65	0.64
	TR 200	5.06	94.02	3.20	1.00	94.57	94.56	0.55	0.54
Sez. 34	TR 30	3.51	93.36	2.86	1.00	93.76	93.76	0.40	0.40
	TR 100	4.43	93.50	3.06	1.00	93.76	93.76	0.26	0.26
	TR 200	5.06	93.60	3.17	1.00	93.76	93.76	0.16	0.16
Sez. 35	TR 30	3.51	93.25	2.89	1.00	93.64	93.64	0.39	0.39
	TR 100	4.43	93.40	3.09	1.00	93.64	93.64	0.24	0.24
	TR 200	5.06	93.50	3.20	1.00	93.64	93.64	0.14	0.14
Sez. 36	TR 30	3.51	92.76	2.89	1.00	93.52	93.54	0.76	0.78
	TR 100	4.43	92.91	3.08	1.00	93.52	93.54	0.61	0.63
	TR 200	5.06	93.01	3.21	1.00	93.52	93.54	0.51	0.53
Sez. 37	TR 30	3.51	92.56	2.90	1.00	93.29	93.32	0.73	0.76
	TR 100	4.43	92.71	3.10	1.00	93.29	93.32	0.58	0.61
	TR 200	5.06	92.80	3.23	1.00	93.29	93.32	0.49	0.52
Sez. 38	TR 30	3.51	91.90	2.95	1.00	92.65	92.64	0.75	0.74
	TR 100	4.43	92.06	3.17	1.00	92.65	92.64	0.59	0.58
	TR 200	5.06	92.16	3.28	1.00	92.65	92.64	0.49	0.48
Sez. 39	TR 30	3.51	91.80	2.95	1.00	92.56	92.56	0.76	0.76
	TR 100	4.43	91.96	3.15	1.00	92.56	92.56	0.60	0.60
	TR 200	5.06	92.06	3.27	1.00	92.56	92.56	0.50	0.50
Sez. 40	TR 30	3.51	91.23	2.95	1.00	92.03	92.03	0.80	0.80
	TR 100	4.43	91.38	3.15	1.00	92.03	92.03	0.65	0.65
	TR 200	5.06	91.48	3.28	1.00	92.03	92.03	0.55	0.55
Sez. 41	TR 30	3.51	90.66	2.96	1.00	91.50	91.51	0.84	0.85
	TR 100	4.43	90.82	3.17	1.00	91.50	91.51	0.68	0.69
	TR 200	5.06	90.92	3.29	1.00	91.50	91.51	0.58	0.59
Sez. 42	TR 30	3.51	90.50	2.96	1.00	91.36	91.35	0.86	0.85
	TR 100	4.43	90.66	3.17	1.00	91.36	91.35	0.70	0.69
	TR 200	5.06	90.76	3.29	1.00	91.36	91.35	0.60	0.59
Sez. 43	TR 30	3.51	90.36	2.95	1.00	91.21	91.21	0.85	0.85
	TR 100	4.43	90.51	3.16	1.00	91.21	91.21	0.70	0.70
	TR 200	5.06	90.61	3.28	1.00	91.21	91.21	0.60	0.60
Sez. 44	TR 30	3.51	90.19	2.95	1.00	91.05	91.05	0.86	0.86
	TR 100	4.43	90.35	3.16	1.00	91.05	91.05	0.70	0.70
	TR 200	5.06	90.45	3.29	1.00	91.05	91.05	0.60	0.60

SEZIONE	Tempo ritorno (anni)	Q. al picco (m³/s)	Quota pelo libero (m)	Velocità corrente (m/s)	Numero di Froude	Quota argine		Franco	
						Sinistro (m)	Destro (m)	Sinistro (m)	Destro (m)
Sez. 45	TR 30	3.51	90.05	2.96	1.00	90.91	90.90	0.86	0.85
	TR 100	4.43	90.21	3.16	1.00	90.91	90.90	0.70	0.69
	TR 200	5.06	90.30	3.29	1.00	90.91	90.90	0.61	0.60
Sez. 46	TR 30	3.51	89.66	2.96	1.00	90.51	90.51	0.85	0.85
	TR 100	4.43	89.81	3.18	1.00	90.51	90.51	0.70	0.70
	TR 200	5.06	89.92	3.28	1.00	90.51	90.51	0.59	0.59
Sez. 47	TR 30	3.51	89.20	3.28	1.17	90.01	90.00	0.81	0.80
	TR 100	4.43	89.33	3.56	1.21	90.01	90.00	0.68	0.67
	TR 200	5.06	89.42	3.69	1.21	90.01	90.00	0.59	0.58
Sez. 48	TR 30	3.51	89.35	2.99	1.00	89.96	89.96	0.61	0.61
	TR 100	4.43	89.46	3.36	1.08	89.96	89.96	0.50	0.50
	TR 200	5.06	89.57	3.42	1.06	89.96	89.96	0.39	0.39
Sez. 49	TR 30	3.51	89.33	3.04	1.00	89.92	89.92	0.59	0.59
	TR 100	4.43	89.50	3.22	1.00	89.92	89.92	0.42	0.42
	TR 200	5.06	89.61	3.32	1.00	89.92	89.92	0.31	0.31
Sez. 50	TR 30	3.51	88.92	2.94	1.00	89.67	89.67	0.75	0.75
	TR 100	4.43	89.08	3.14	1.00	89.67	89.67	0.59	0.59
	TR 200	5.06	89.18	3.25	1.00	89.67	89.67	0.49	0.49
Sez. 51	TR 30	3.51	88.74	2.96	1.00	89.57	89.57	0.83	0.83
	TR 100	4.43	88.90	3.15	1.00	89.57	89.57	0.67	0.67
	TR 200	5.06	89.00	3.28	1.00	89.57	89.57	0.57	0.57
Sez. 52	TR 30	3.51	88.56	2.94	1.00	89.45	89.44	0.89	0.88
	TR 100	4.43	88.72	3.14	1.00	89.45	89.44	0.73	0.72
	TR 200	5.06	88.82	3.26	1.00	89.45	89.44	0.63	0.62
Sez. 53	TR 30	3.51	88.48	2.90	1.00	89.27	89.25	0.79	0.77
	TR 100	4.43	88.63	3.10	1.00	89.27	89.25	0.64	0.62
	TR 200	5.06	88.73	3.21	1.00	89.27	89.25	0.54	0.52
Sez. 54	TR 30	3.51	88.17	2.93	1.00	88.98	88.86	0.81	0.69
	TR 100	4.43	88.32	3.14	1.00	88.98	88.86	0.66	0.54
	TR 200	5.06	88.42	3.26	1.00	88.98	88.86	0.56	0.44
Sez. 55	TR 30	3.51	88.06	2.89	1.00	88.88	88.84	0.82	0.78
	TR 100	4.43	88.21	3.09	1.00	88.88	88.84	0.67	0.63
	TR 200	5.06	88.30	3.21	1.00	88.88	88.84	0.58	0.54
Sez. 56	TR 30	3.51	87.94	2.90	1.00	88.76	88.75	0.82	0.81
	TR 100	4.43	88.09	3.10	1.00	88.76	88.75	0.67	0.66
	TR 200	5.06	88.19	3.23	1.00	88.76	88.75	0.57	0.56
Sez. 57	TR 30	3.51	87.68	2.92	1.00	88.48	88.51	0.80	0.83
	TR 100	4.43	87.84	3.13	1.00	88.48	88.51	0.64	0.67
	TR 200	5.06	87.94	3.24	1.00	88.48	88.51	0.54	0.57
Sez. 58	TR 30	3.51	87.48	2.90	1.00	88.25	88.31	0.77	0.83
	TR 100	4.43	87.63	3.12	1.00	88.25	88.31	0.62	0.68
	TR 200	5.06	87.73	3.24	1.00	88.25	88.31	0.52	0.58
Sez. 59	TR 30	3.51	87.33	2.91	1.00	88.10	88.09	0.77	0.76
	TR 100	4.43	87.49	3.10	1.00	88.10	88.09	0.61	0.60
	TR 200	5.06	87.59	3.21	1.00	88.10	88.09	0.51	0.50
Sez. 60	TR 30	3.51	87.14	2.90	1.00	87.94	87.89	0.80	0.75
	TR 100	4.43	87.29	3.10	1.00	87.94	87.89	0.65	0.60
	TR 200	5.06	87.39	3.22	1.00	87.94	87.89	0.55	0.50
Sez. 61	TR 30	3.51	87.06	2.91	1.00	87.78	87.76	0.72	0.70
	TR 100	4.43	87.22	3.10	1.00	87.78	87.76	0.56	0.54
	TR 200	5.06	87.31	3.22	1.00	87.78	87.76	0.47	0.45
Sez. 62	TR 30	3.51	86.46	2.90	1.00	87.20	87.19	0.74	0.73
	TR 100	4.43	86.61	3.10	1.00	87.20	87.19	0.59	0.58
	TR 200	5.06	86.71	3.22	1.00	87.20	87.19	0.49	0.48
Sez. 63	TR 30	3.51	85.94	2.90	1.00	86.72	86.71	0.78	0.77
	TR 100	4.43	86.09	3.11	1.00	86.72	86.71	0.63	0.62
	TR 200	5.06	86.19	3.22	1.00	86.72	86.71	0.53	0.52
Sez. 64	TR 30	3.51	85.85	2.91	1.00	86.62	86.61	0.77	0.76
	TR 100	4.43	86.00	3.11	1.00	86.62	86.61	0.62	0.61
	TR 200	5.06	86.10	3.24	1.00	86.62	86.61	0.52	0.51
Sez. 65	TR 30	3.51	85.76	2.90	1.00	86.49	86.52	0.73	0.76
	TR 100	4.43	85.91	3.11	1.00	86.49	86.52	0.58	0.61
	TR 200	5.06	86.01	3.23	1.00	86.49	86.52	0.48	0.51
Sez. 66	TR 30	3.51	85.69	2.94	1.00	86.46	86.46	0.77	0.77
	TR 100	4.43	85.85	3.14	1.00	86.46	86.46	0.61	0.61
	TR 200	5.06	85.94	3.27	1.00	86.46	86.46	0.52	0.52

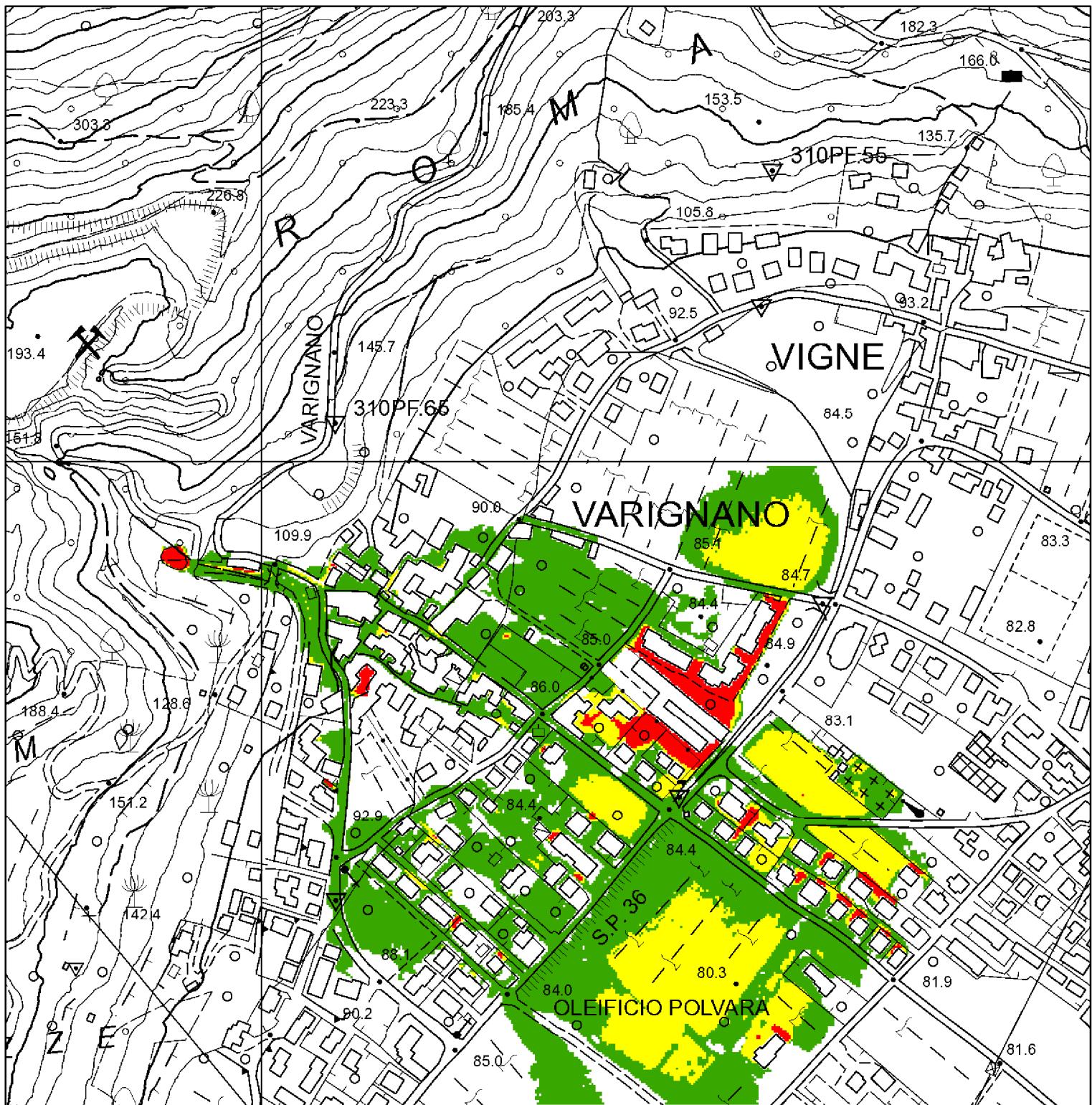
SEZIONE	Tempo ritorno (anni)	Q. al picco (m³/s)	Quota pelo libero (m)	Velocità corrente (m/s)	Numero di Froude	Quota argine		Franco	
						Sinistro (m)	Destro (m)	Sinistro (m)	Destro (m)
Sez. 67	TR 30	3.51	85.66	2.88	1.00	86.46	86.46	0.80	0.80
	TR 100	4.43	85.81	3.08	1.01	86.46	86.46	0.65	0.65
	TR 200	5.06	85.91	3.17	1.00	86.46	86.46	0.55	0.55
Sez. 68	TR 30	3.51	85.60	2.89	1.00	86.36	86.33	0.76	0.73
	TR 100	4.43	85.75	3.10	1.00	86.36	86.33	0.61	0.58
	TR 200	5.06	85.84	3.21	1.00	86.36	86.33	0.52	0.49
Sez. 69	TR 30	3.51	85.53	2.94	1.00	86.27	86.27	0.74	0.74
	TR 100	4.43	85.69	3.14	1.00	86.27	86.27	0.58	0.58
	TR 200	5.06	85.79	3.27	1.00	86.27	86.27	0.48	0.48
Sez. 70	TR 30	3.51	85.35	2.92	1.00	86.15	86.18	0.80	0.83
	TR 100	4.43	85.50	3.12	1.00	86.15	86.18	0.65	0.68
	TR 200	5.06	85.60	3.25	1.00	86.15	86.18	0.55	0.58
Sez. 71	TR 30	3.51	85.02	2.91	1.00	85.80	85.81	0.78	0.79
	TR 100	4.43	85.18	3.10	1.00	85.80	85.81	0.62	0.63
	TR 200	5.06	85.27	3.23	1.00	85.80	85.81	0.53	0.54
Sez. 72	TR 30	3.51	84.47	3.14	1.12	85.46	85.42	0.99	0.95
	TR 100	4.43	84.61	3.35	1.11	85.46	85.42	0.85	0.81
	TR 200	5.06	84.71	3.46	1.10	85.46	85.42	0.75	0.71
Sez. 73	TR 30	3.51	84.56	2.91	1.00	85.22	85.27	0.66	0.71
	TR 100	4.43	84.71	3.12	1.00	85.22	85.27	0.51	0.56
	TR 200	5.06	84.81	3.22	1.00	85.22	85.27	0.41	0.46
Sez. 74	TR 30	3.51	84.44	2.92	1.00	85.08	85.08	0.64	0.64
	TR 100	4.43	84.59	3.11	1.00	85.08	85.08	0.49	0.49
	TR 200	5.06	84.69	3.24	1.00	85.08	85.08	0.39	0.39
Sez. 75	TR 30	3.51	84.34	2.90	1.00	84.99	84.99	0.65	0.65
	TR 100	4.43	84.49	3.09	1.00	84.99	84.99	0.50	0.50
	TR 200	5.06	84.59	3.21	1.00	84.99	84.99	0.40	0.40
Sez. 76	TR 30	3.51	84.29	2.91	1.00	84.89	84.88	0.60	0.59
	TR 100	4.43	84.45	3.11	1.00	84.89	84.88	0.44	0.43
	TR 200	5.06	84.55	3.22	1.00	84.89	84.88	0.34	0.33
Sez. 77	TR 30	3.51	84.27	2.98	1.01	84.81	84.81	0.54	0.54
	TR 100	4.43	84.44	3.14	1.00	84.81	84.81	0.37	0.37
	TR 200	5.06	84.54	3.26	1.00	84.81	84.81	0.27	0.27
Sez. 78	TR 30	3.51	84.19	3.00	1.00	84.57	84.59	0.38	0.40
	TR 100	4.43	84.36	3.20	1.00	84.57	84.59	0.21	0.23
	TR 200	5.06	84.46	3.31	1.00	84.57	84.59	0.11	0.13
Sez. 79	TR 30	3.51	84.06	3.01	1.00	84.38	84.38	0.32	0.32
	TR 100	4.43	84.23	3.19	1.00	84.38	84.38	0.15	0.15
	TR 200	5.06	84.34	3.30	1.00	84.38	84.38	0.04	0.04
Sez. 80	TR 30	3.51	84.00	3.01	1.00	84.30	84.30	0.30	0.30
	TR 100	4.43	84.17	3.19	1.00	84.30	84.30	0.13	0.13
	TR 200	5.06	84.38	2.92	0.85	84.30	84.30	-0.08	-0.08
Sez. 81	TR 30	3.51	83.93	3.15	1.08	84.26	84.26	0.33	0.33
	TR 100	4.43	84.11	3.28	1.05	84.26	84.26	0.15	0.15
	TR 200	5.06	84.33	2.98	0.88	84.26	84.26	-0.07	-0.07
Sez. 82	TR 30	3.51	83.98	3.03	1.00	84.25	84.25	0.27	0.27
	TR 100	4.43	84.15	3.21	1.00	84.25	84.25	0.10	0.10
	TR 200	5.06	84.37	2.92	0.84	84.25	84.25	-0.12	-0.12
Sez. 83	TR 30	3.51	83.53	3.01	1.00	83.75	83.85	0.22	0.32
	TR 100	4.43	83.70	3.19	1.00	83.75	83.85	0.05	0.15
	TR 200	5.06	83.83	3.23	0.96	83.75	83.85	-0.08	0.02
Sez. 84	TR 30	3.51	82.88	2.98	1.00	83.03	83.25	0.15	0.37
	TR 100	4.43	83.04	3.17	1.00	83.03	83.25	-0.01	0.21
	TR 200	5.06	83.22	3.04	0.89	83.03	83.25	-0.19	0.03
Sez. 85	TR 30	3.51	82.54	2.97	1.00	82.44	82.44	-0.10	-0.10
	TR 100	4.43	82.73	3.11	0.95	82.44	82.44	-0.29	-0.29
	TR 200	5.06	82.84	3.20	0.93	82.44	82.44	-0.40	-0.40

## 20. ALLEGATO 2: RISULTATI APPLICAZIONE FLO2D

Per ciascun scenario indagato si presenta una mappa relativamente al tema Tirante, Velocità e Pericolo.

### Tempo di ritorno 200 anni

- *Scenario 1: rilascio idrogramma in corrispondenza della piazza di deposito a monte della strada di accesso alla ex cava*
- *Scenario 2: rilascio idrogramma in corrispondenza del ponte a quota 110 m s.l.m.*
- *Scenario 3: rilascio della parte di idrogramma eccedente la capacità di deflusso in corrispondenza dell'imbocco del tratto coperto*
- *Scenario 4: rilascio della parte di idrogramma eccedente la capacità di deflusso in corrispondenza della vasca di sedimentazione*



#### LEGENDA

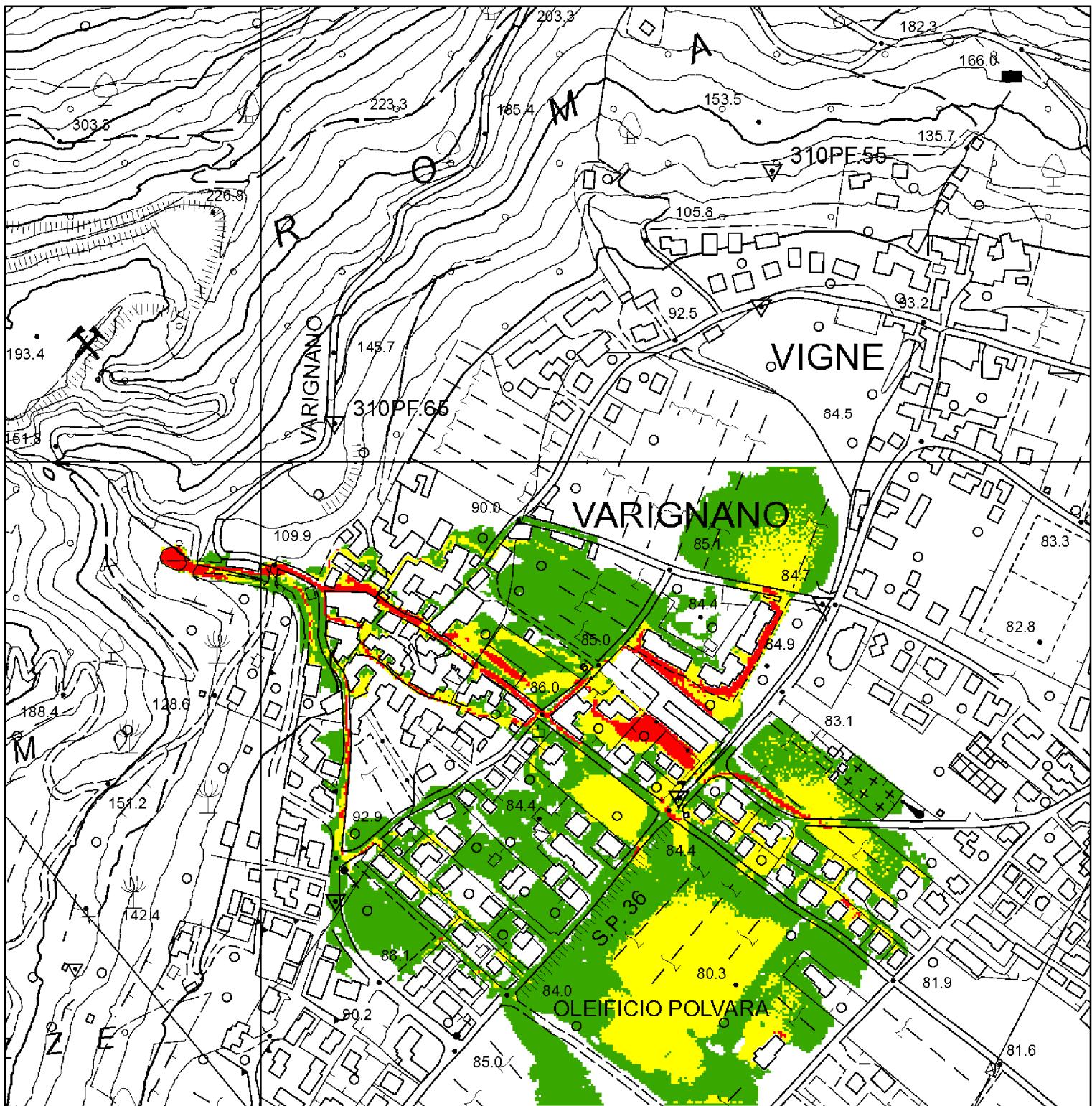
Altezza tirante d'acqua

- [Green] 0.0 - 0.4 m
- [Yellow] 0.4 - 1.0 m
- [Red] > 1.0 m

1:5 000

Metri  
0 25 50 100 150 200

**SCENARIO 1 - TR 200 anni (Piena liquida)**



## *Celle di calcolo 2 x 2 m*

## LEGENDA

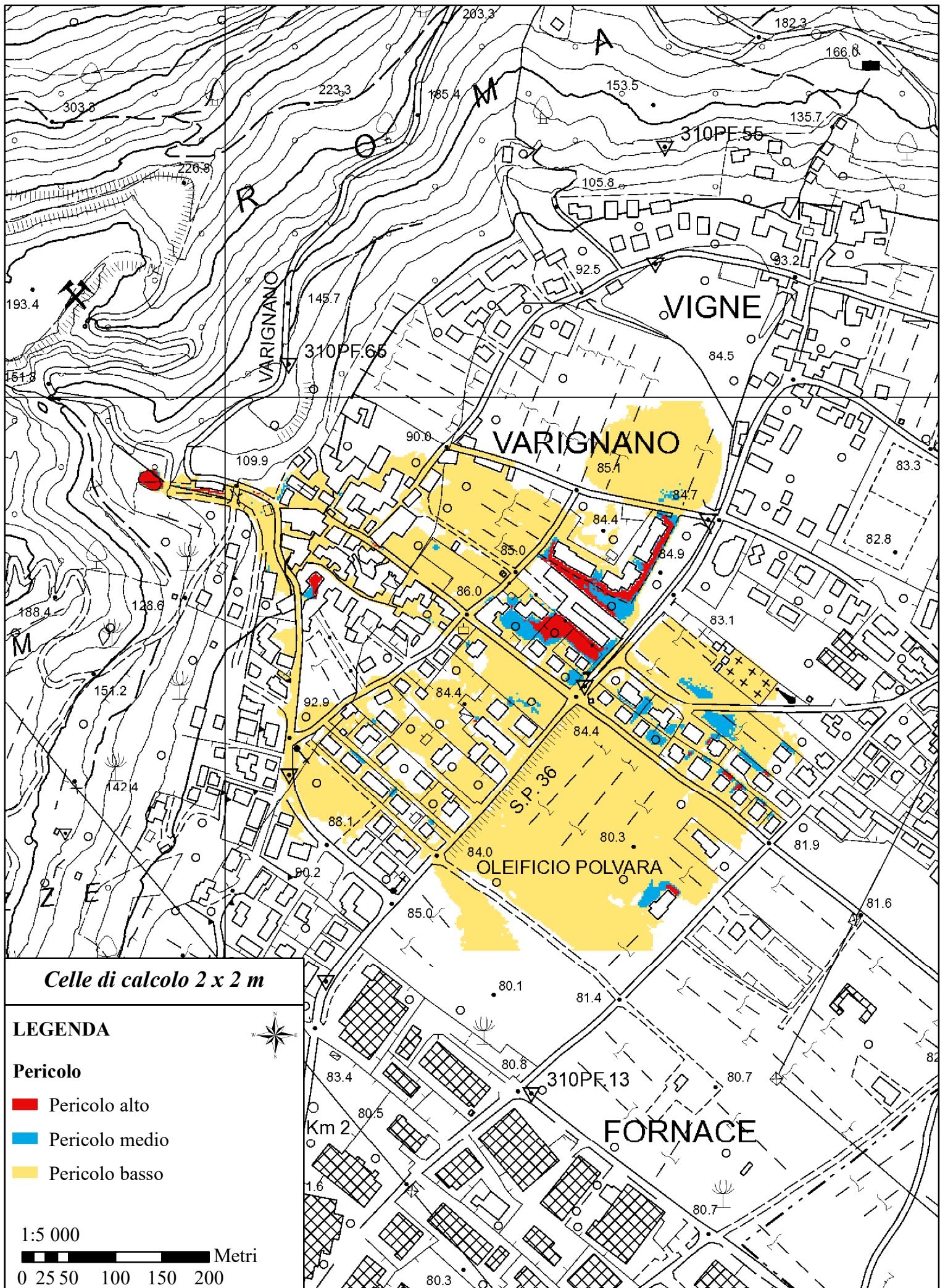
### **Velocità corrente**

- 

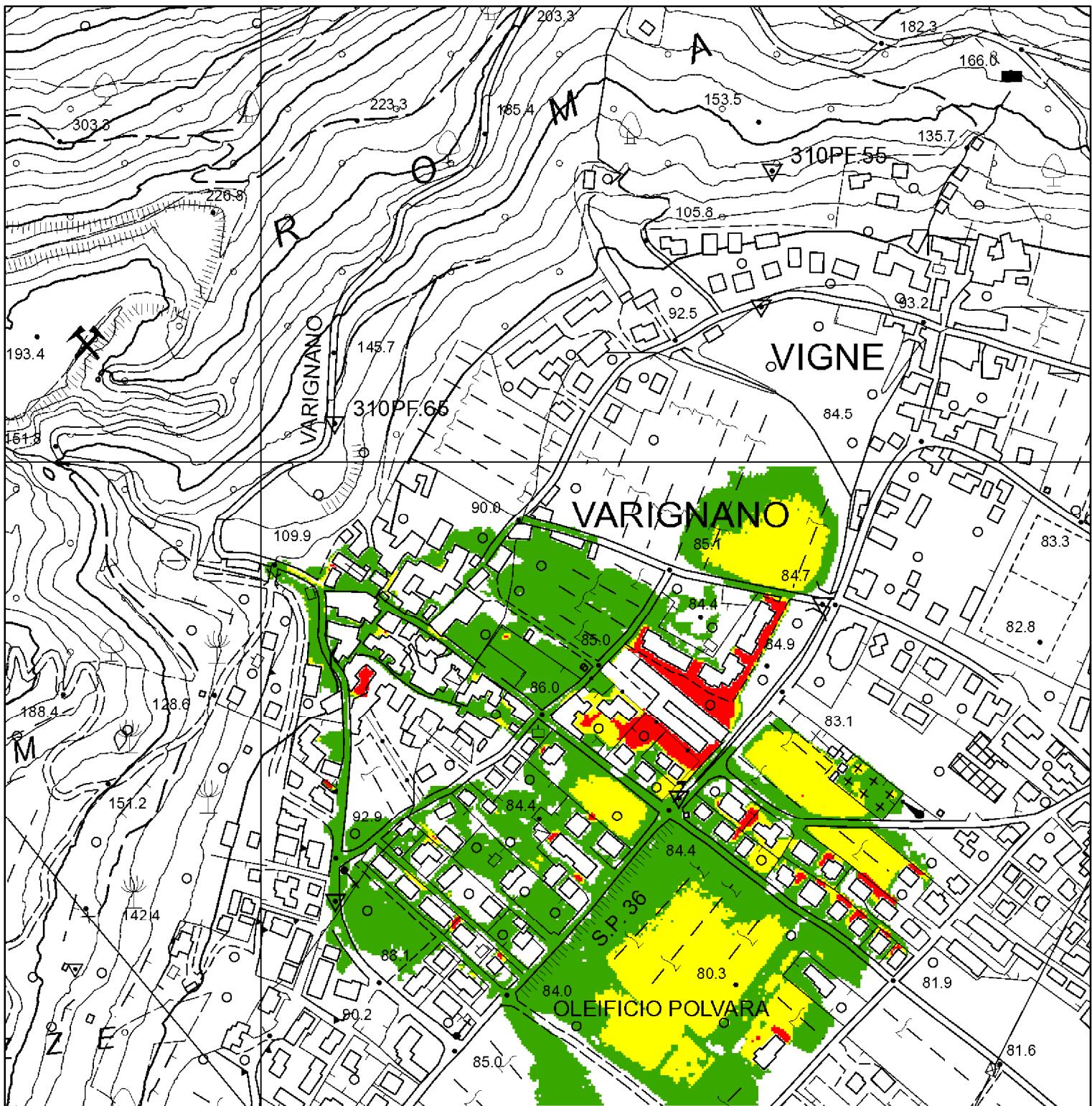
1:5 000

A scale bar consisting of a horizontal black line with white tick marks at 0, 25, 50, 100, 150, and 200. The word "Metri" is written in black text at the end of the bar.

## **SCENARIO 1 - TR 200 anni (Piena liquida)**



**SCENARIO 1 - TR 200 anni (Piena liquida)**



## *Celle di calcolo 2 x 2 m*

## LEGENDA

## Altezza tirante d'acqua

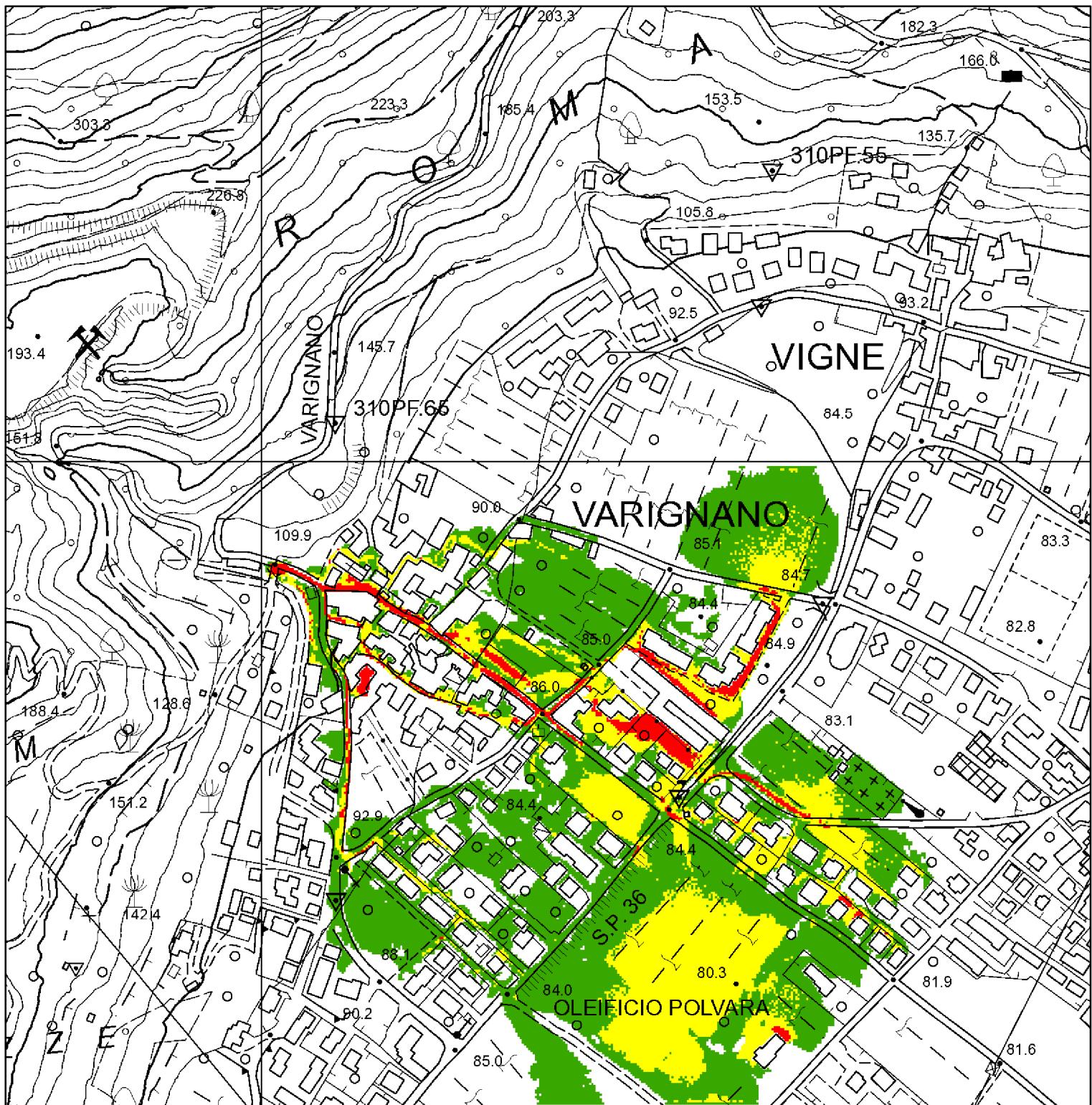
- Legend for vegetation height categories:

  - 0.0 - 0.4 m
  - 0.4 - 1.0 m
  - > 1.0 m

1:5 000

A scale bar representing distance in meters. It features a black horizontal line with numerical markings at 0, 25, 50, 100, 150, and 200. The word "Metri" is written in black capital letters to the right of the scale.

## **SCENARIO 2 - TR 200 anni (Piena liquida)**



*Celle di calcolo 2 x 2 m*

#### LEGENDA

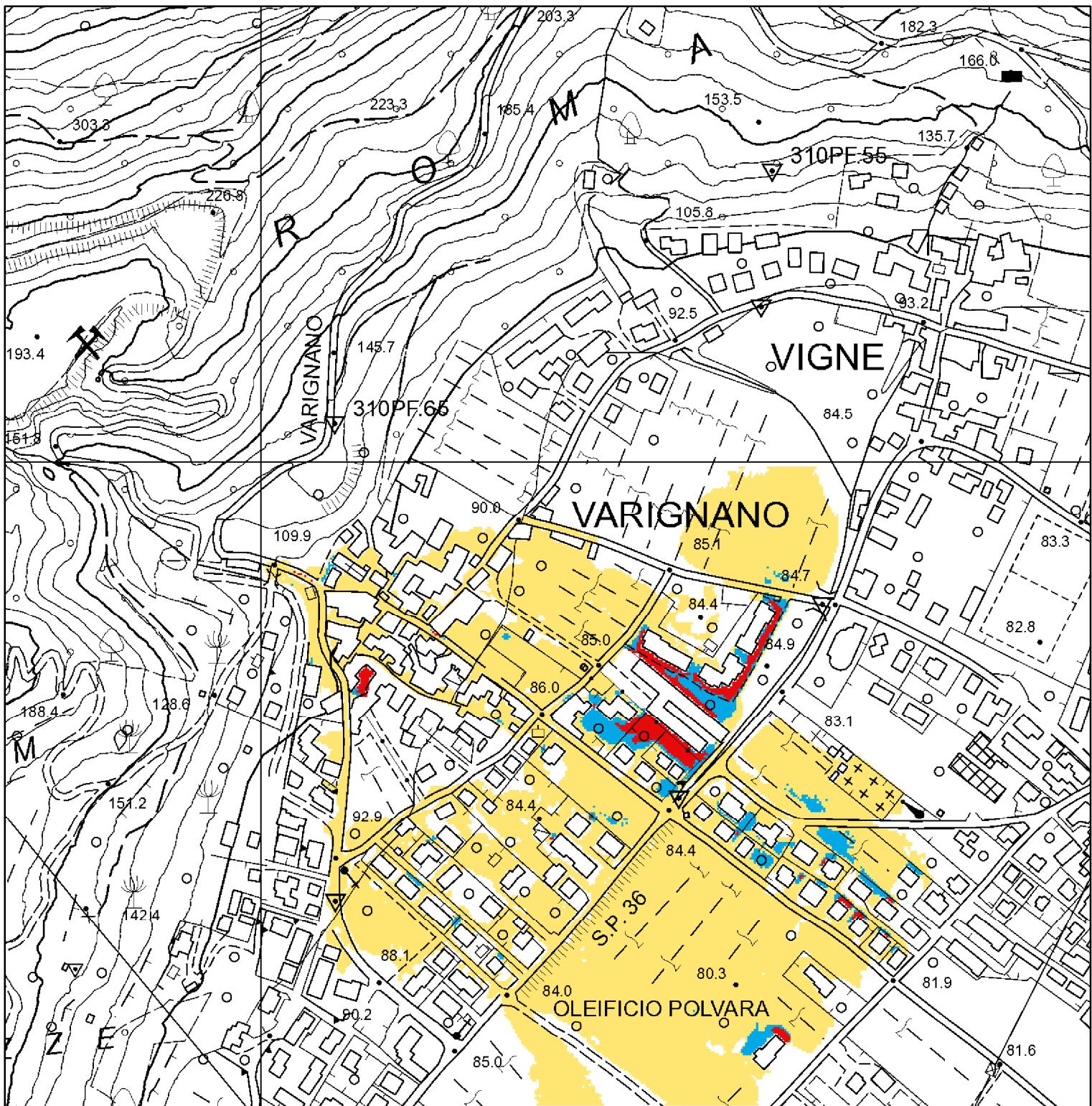
Velocità corrente

- [Green] 0.0 - 0.4 m/s
- [Yellow] 0.4 - 1.5 m/s
- [Red] > 1.5 m/s

1:5 000

Metri  
0 25 50 100 150 200

**SCENARIO 2 - TR 200 anni (Piena liquida)**



## *Celle di calcolo 2 x 2 m*

## LEGENDA

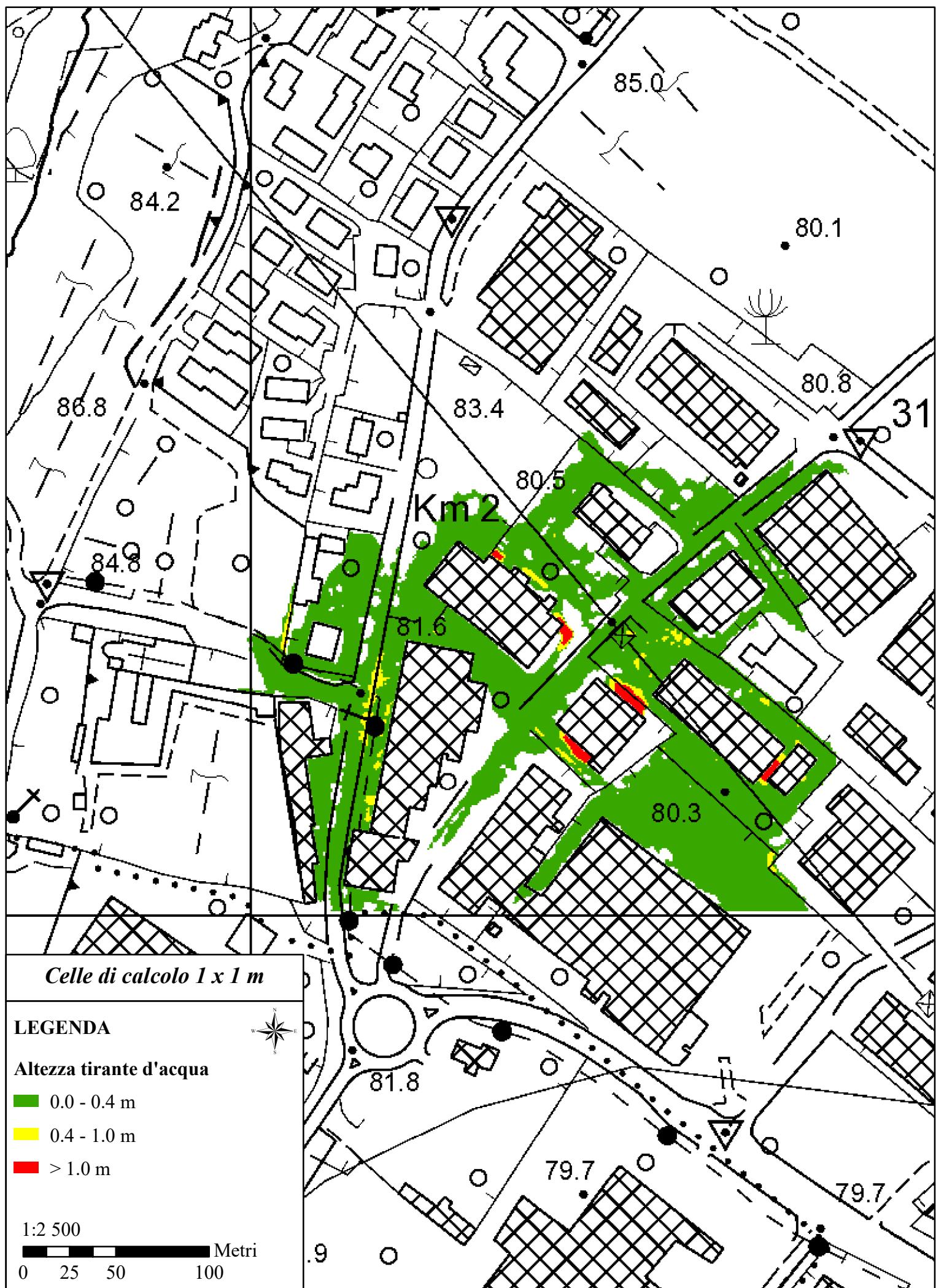
Pericolo

- Pericolo alto
  - Pericolo medio
  - Pericolo basso

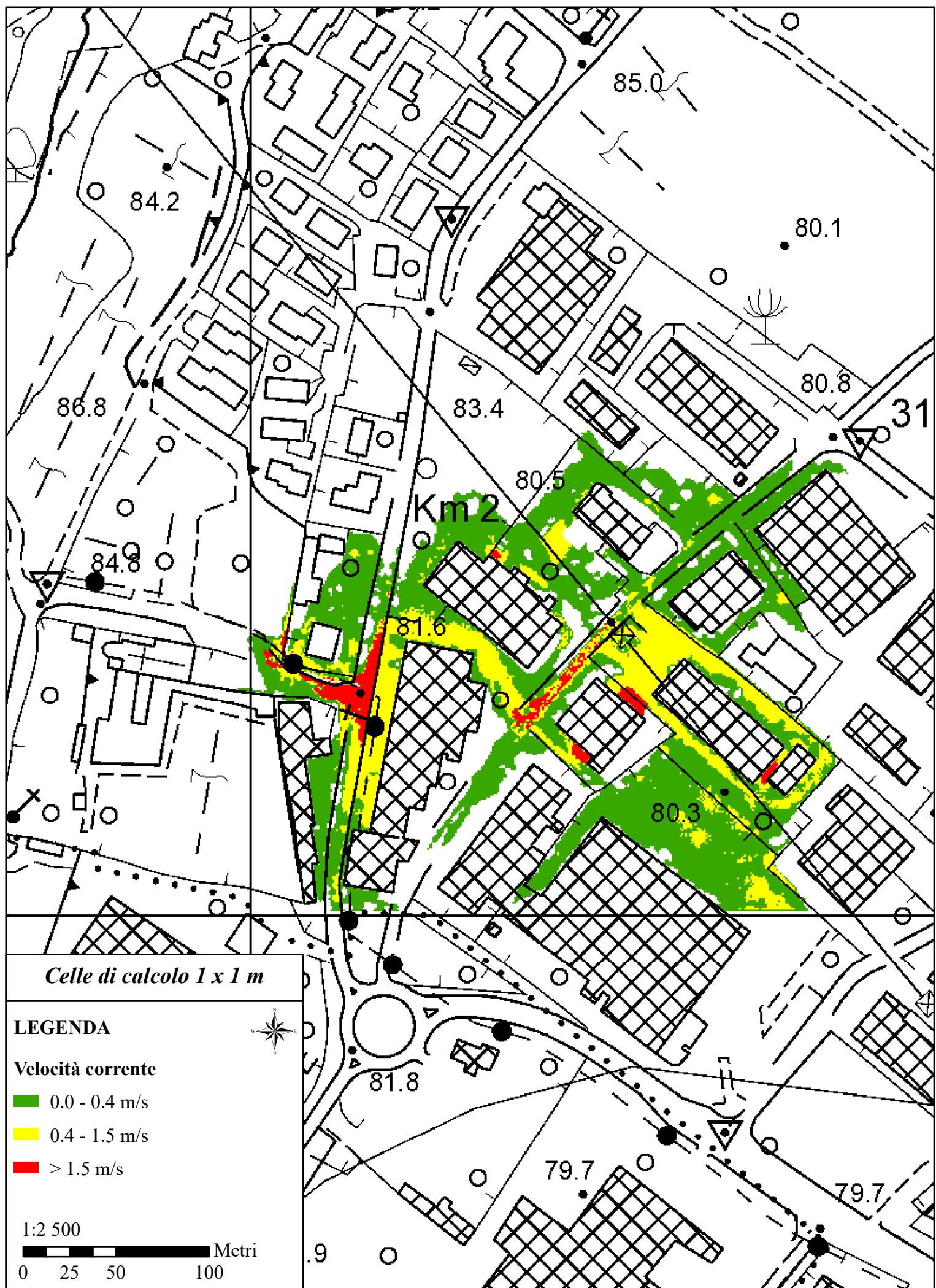
1:5 000

A scale bar consisting of a black horizontal line with white tick marks at 0, 25, 50, 100, 150, and 200. The word "Metri" is written in black text at the end of the bar.

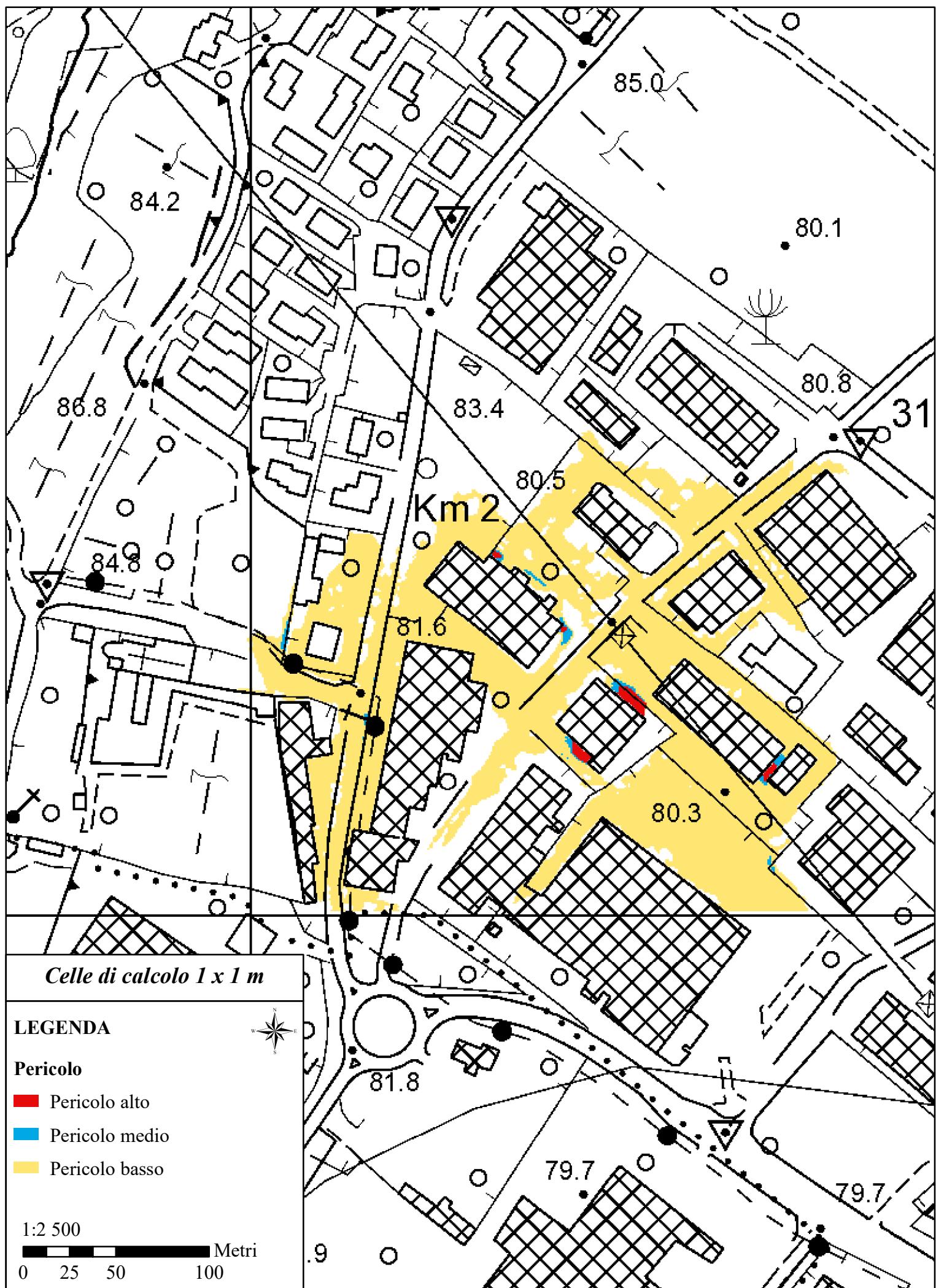
## **SCENARIO 2 - TR 200 anni (Piena liquida)**



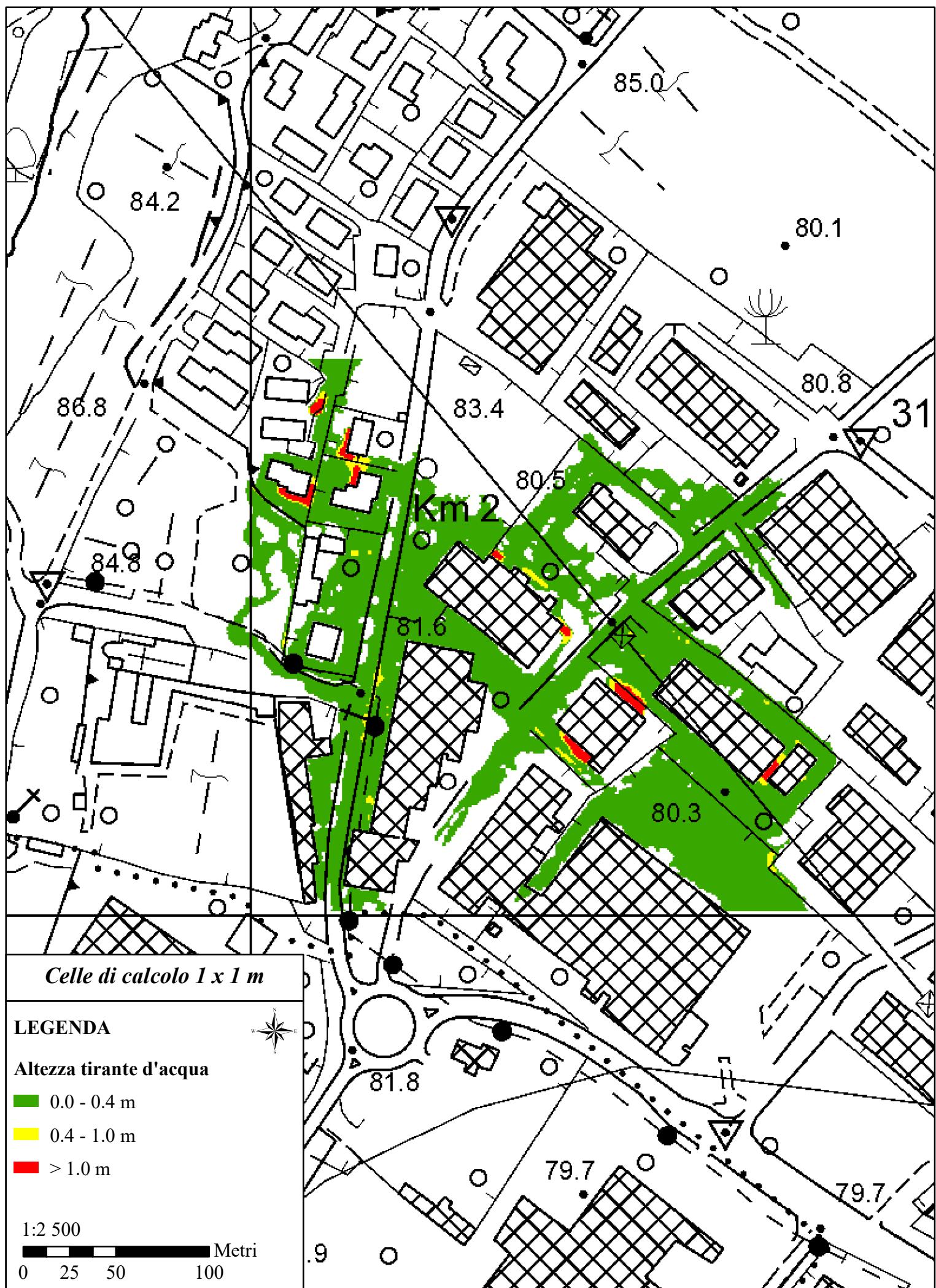
**SCENARIO 3 - TR 200 anni (Piena liquida)**

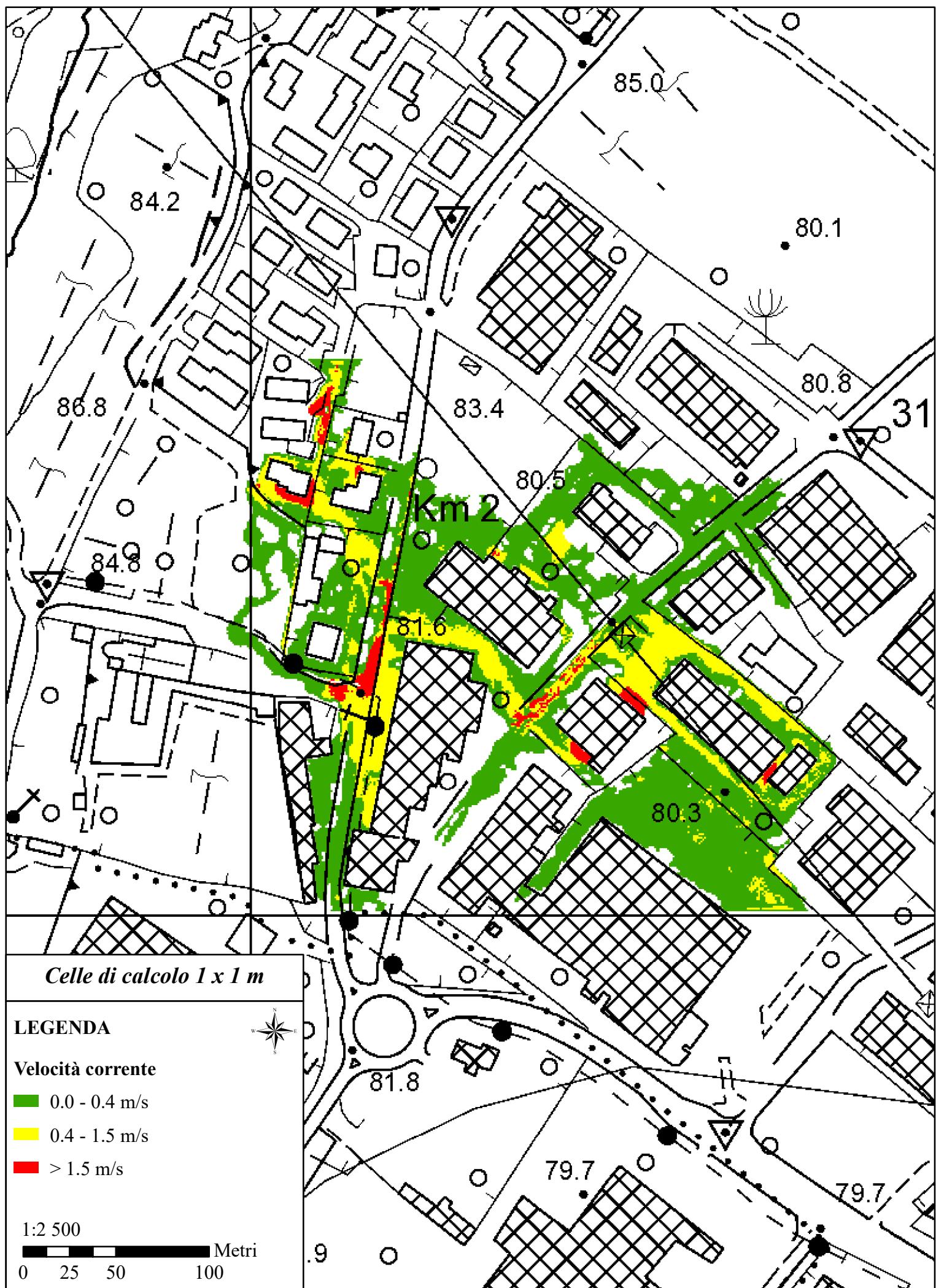


**SCENARIO 3 - TR 200 anni (Piena liquida)**

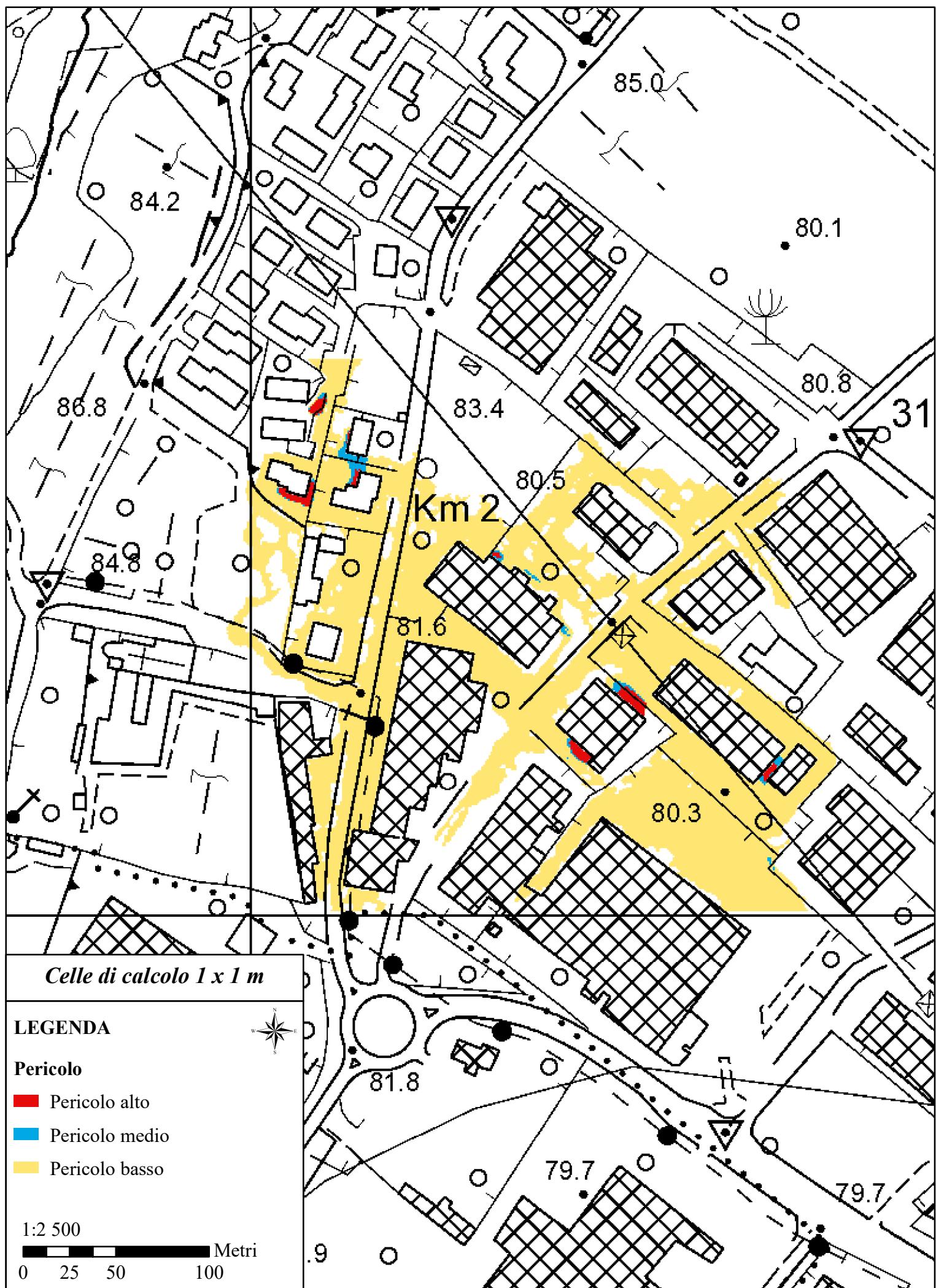


**SCENARIO 3 - TR 200 anni (Piena liquida)**





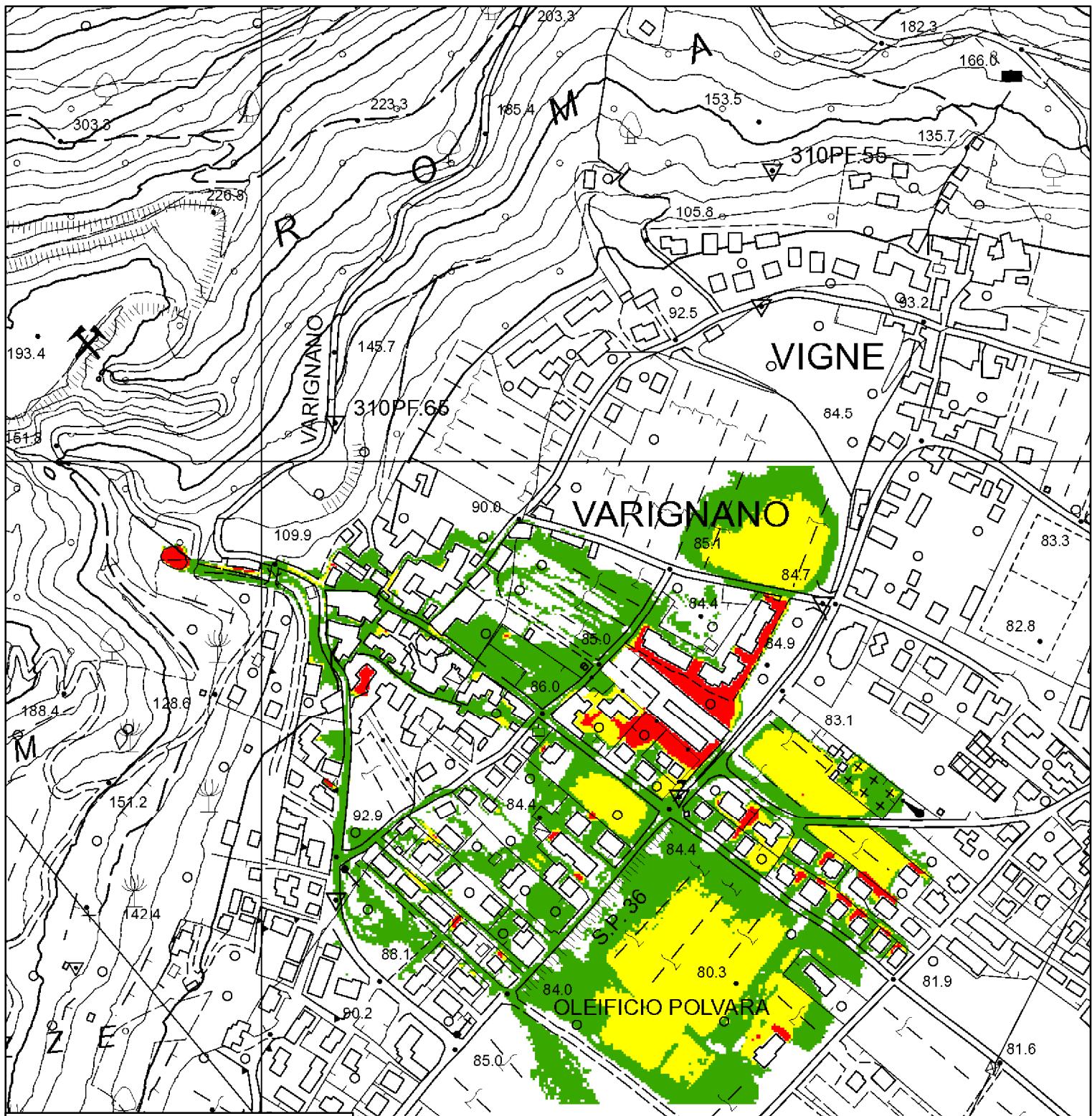
**SCENARIO 4 - TR 200 anni (Piena liquida)**



**SCENARIO 4 - TR 200 anni (Piena liquida)**

## **21. ALLEGATO 3: RISULTATI APPLICAZIONE FLO2D – VALORI MASSIMI**

Sintesi dei valori massimi osservati in corrispondenza delle singole celle del dominio di calcolo. A partire dai risultati di ciascun scenario indagato è stata elaborata una mappa di sintesi considerando i valori massimi relativamente al tema Tirante, Velocità e Pericolo.



*Celle di calcolo 2 x 2 m*

#### LEGENDA

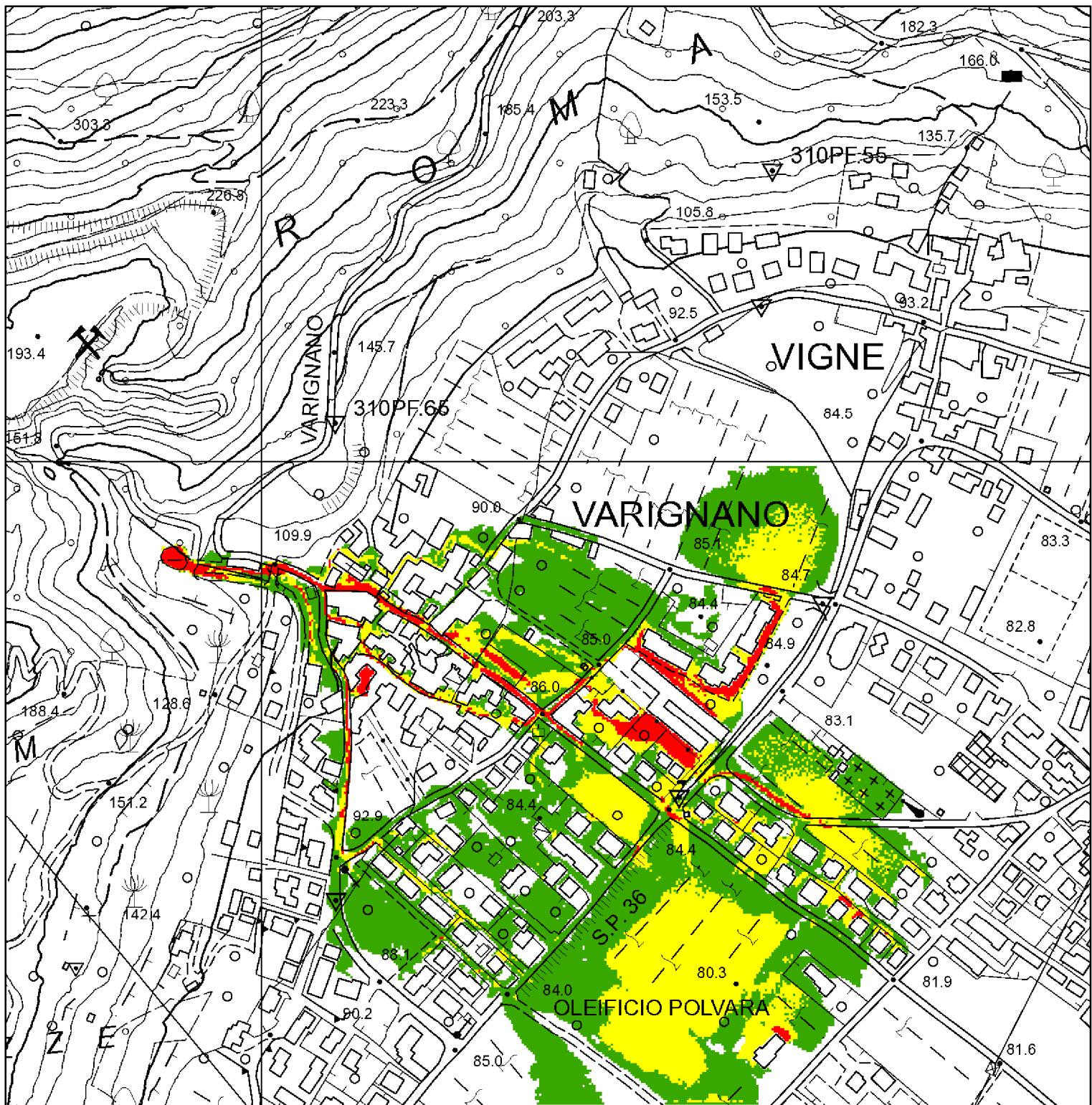
Altezza tirante d'acqua

- [Green] 0.0 - 0.4 m
- [Yellow] 0.4 - 1.0 m
- [Red] > 1.0 m

1:5 000

Metri  
0 25 50 100 150 200

**VALORI MASSIMI - TR 200 anni (Piena liquida)**



*Celle di calcolo 2 x 2 m*

#### LEGENDA

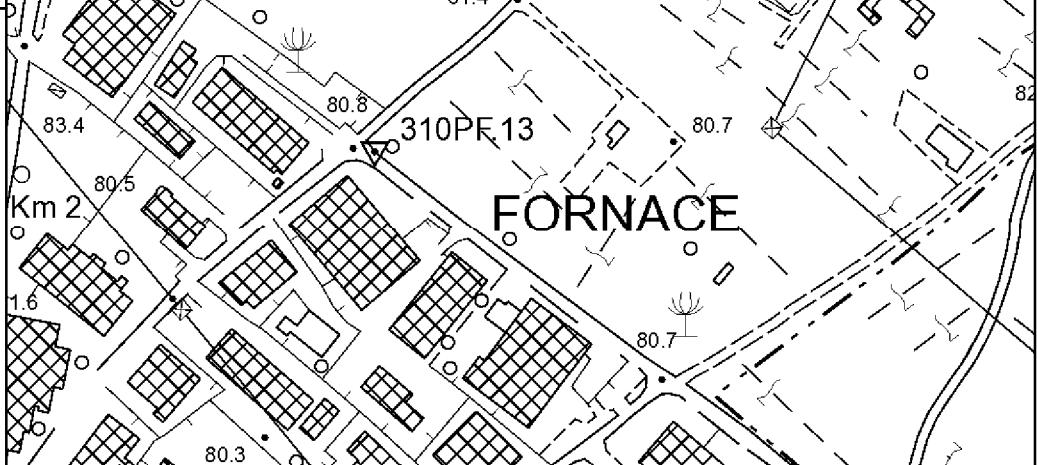
##### Velocità corrente

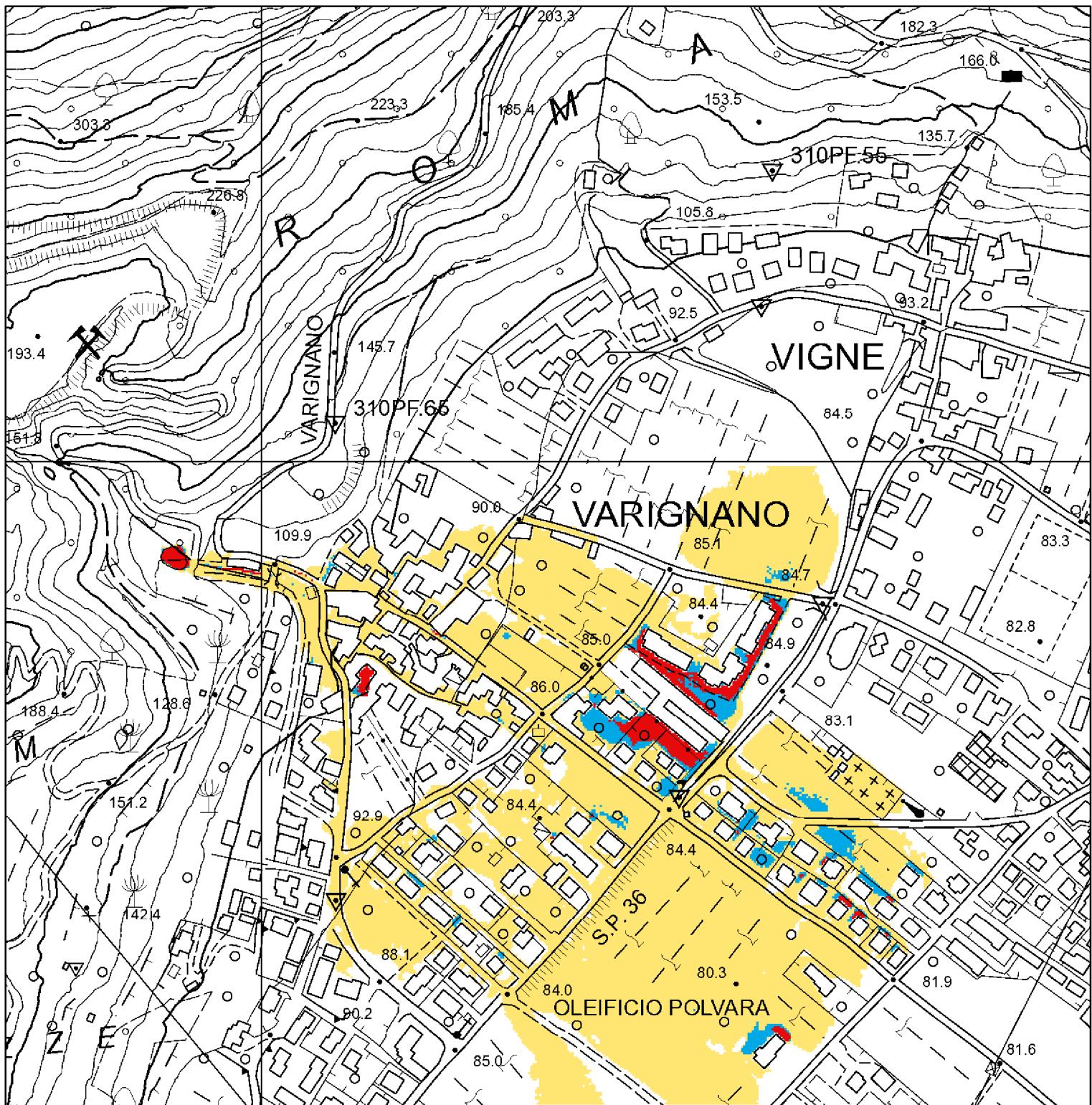
- [Green] 0.0 - 0.4 m/s
- [Yellow] 0.4 - 1.5 m/s
- [Red] > 1.5 m/s

1:5 000

Metri  
0 25 50 100 150 200

**VALORI MASSIMI - TR 200 anni (Piena liquida)**





*Celle di calcolo 2 x 2 m*

#### LEGENDA

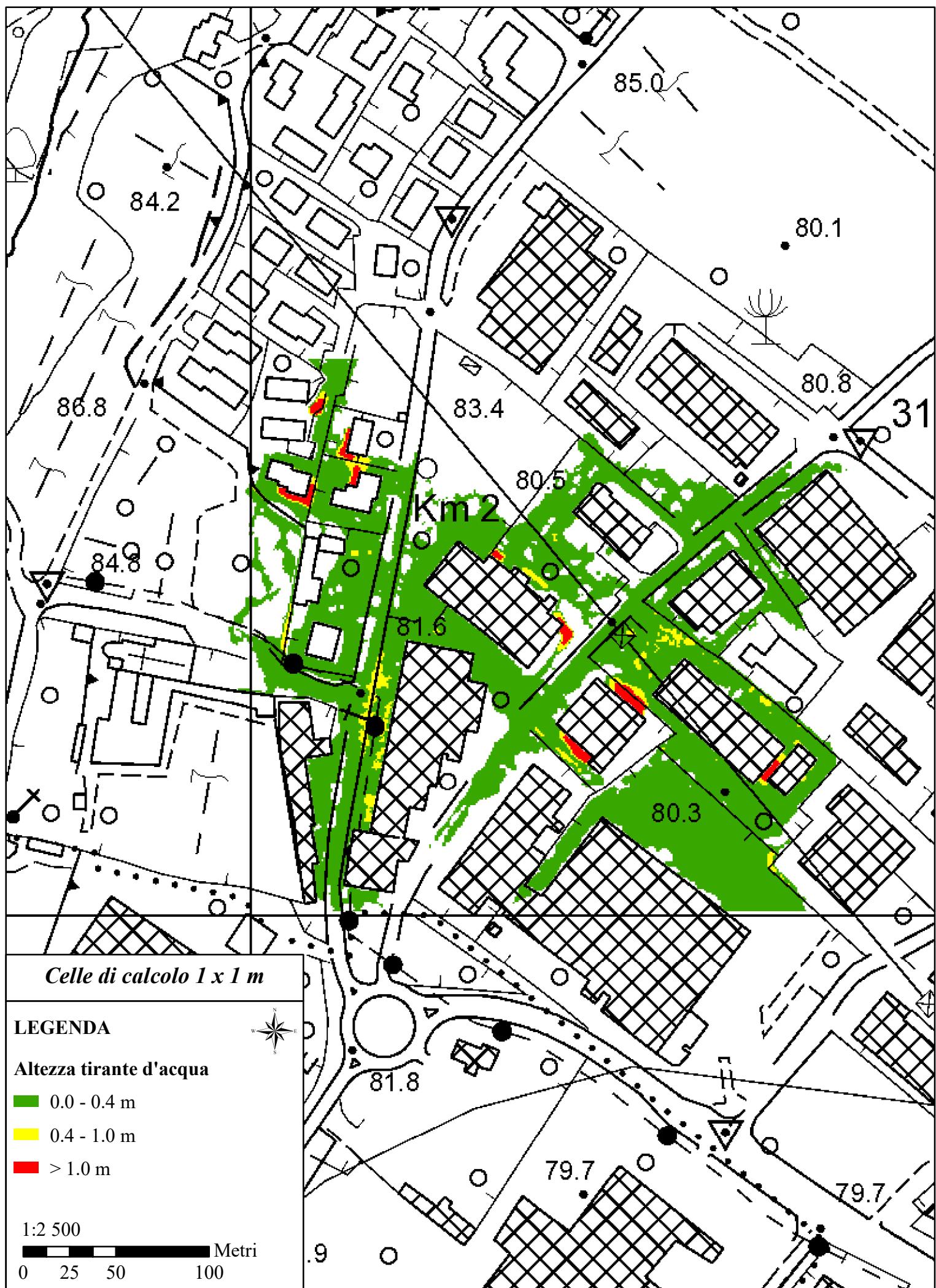
##### Pericolo

- Pericolo alto
- Pericolo medio
- Pericolo basso

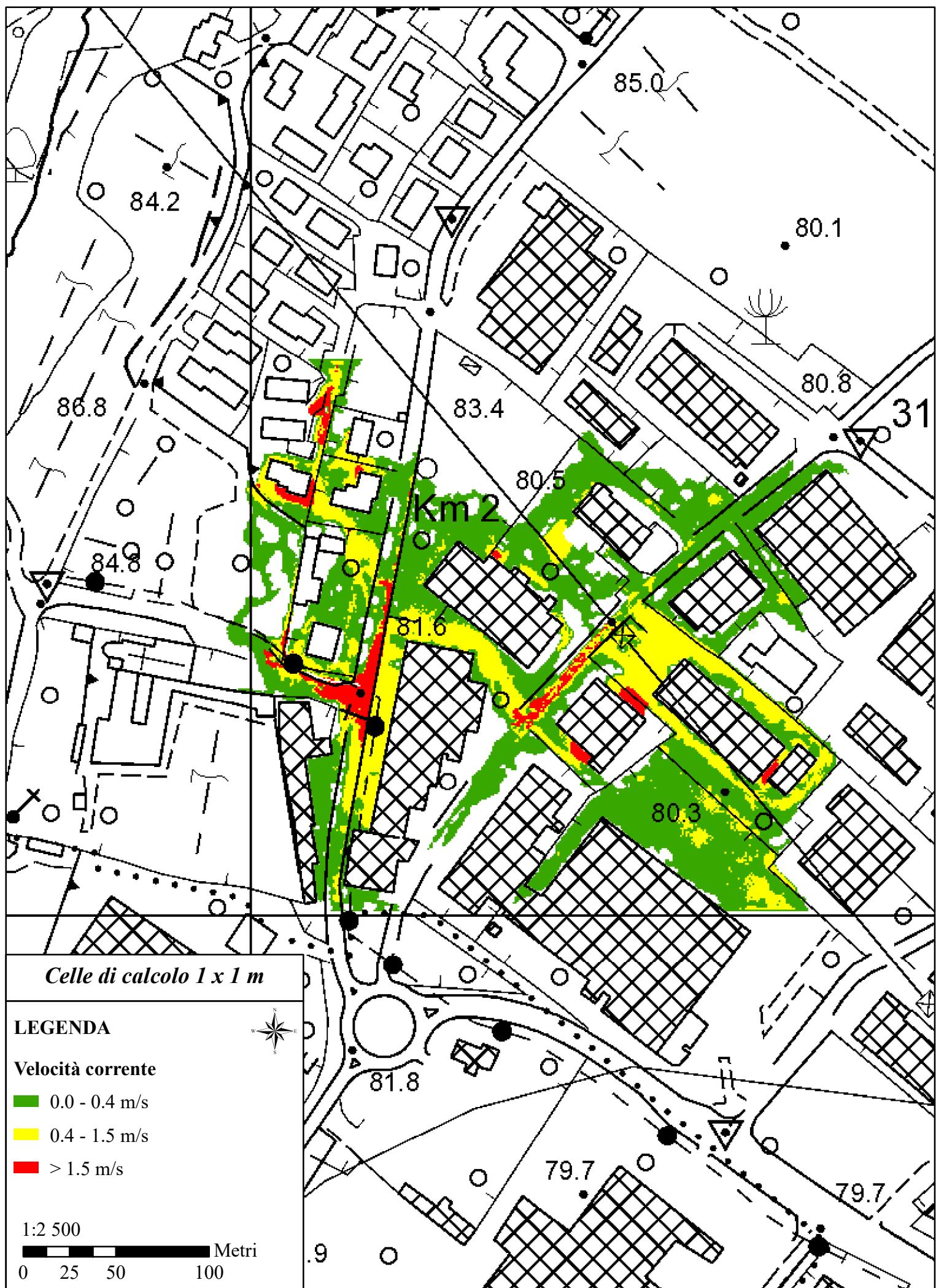
1:5 000

Metri  
0 25 50 100 150 200

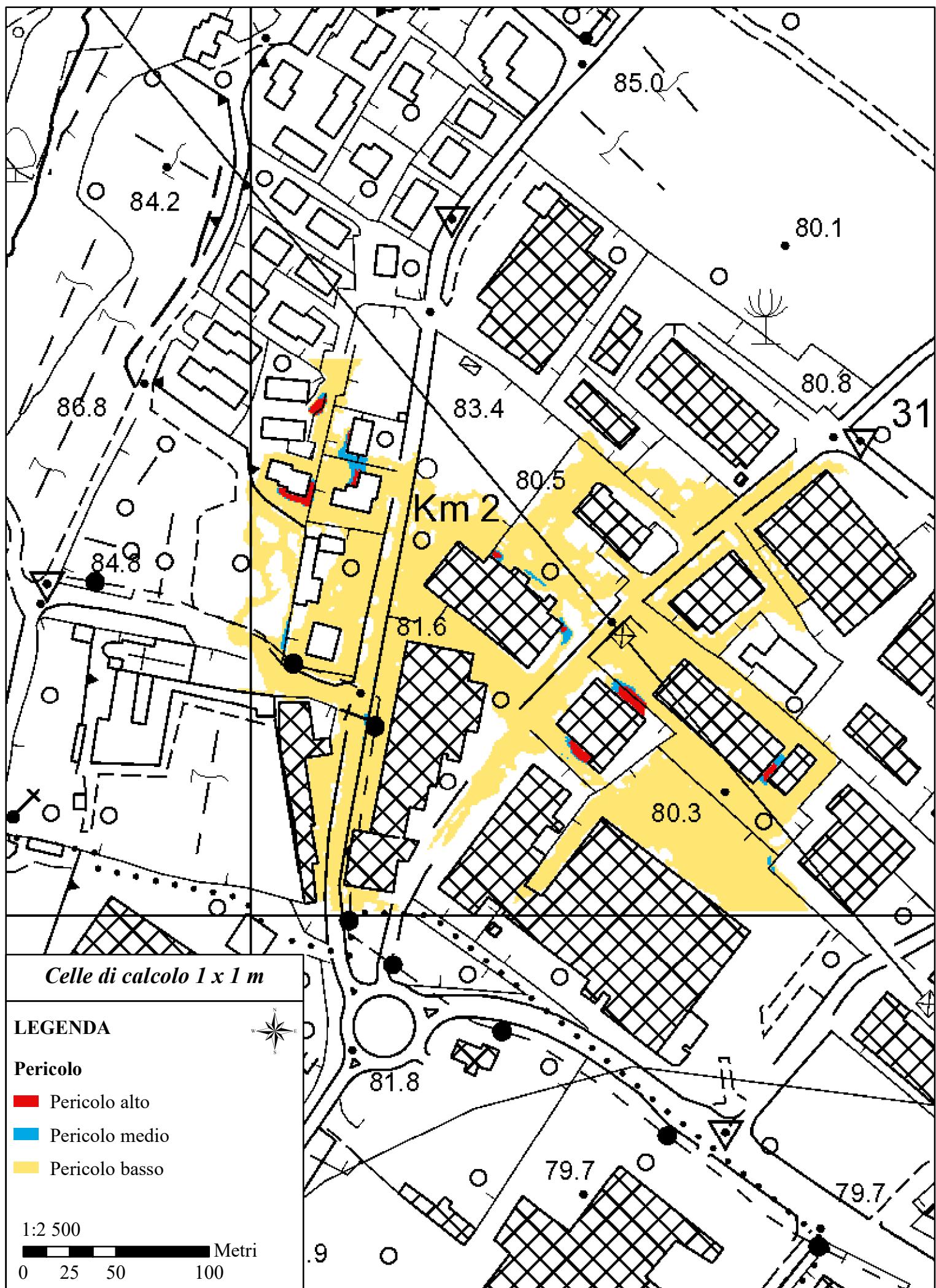
**VALORI MASSIMI - TR 200 anni (Piena liquida)**



**VALORI MASSIMI - TR 200 anni (Piena liquida)**



**VALORI MASSIMI - TR 200 anni (Piena liquida)**



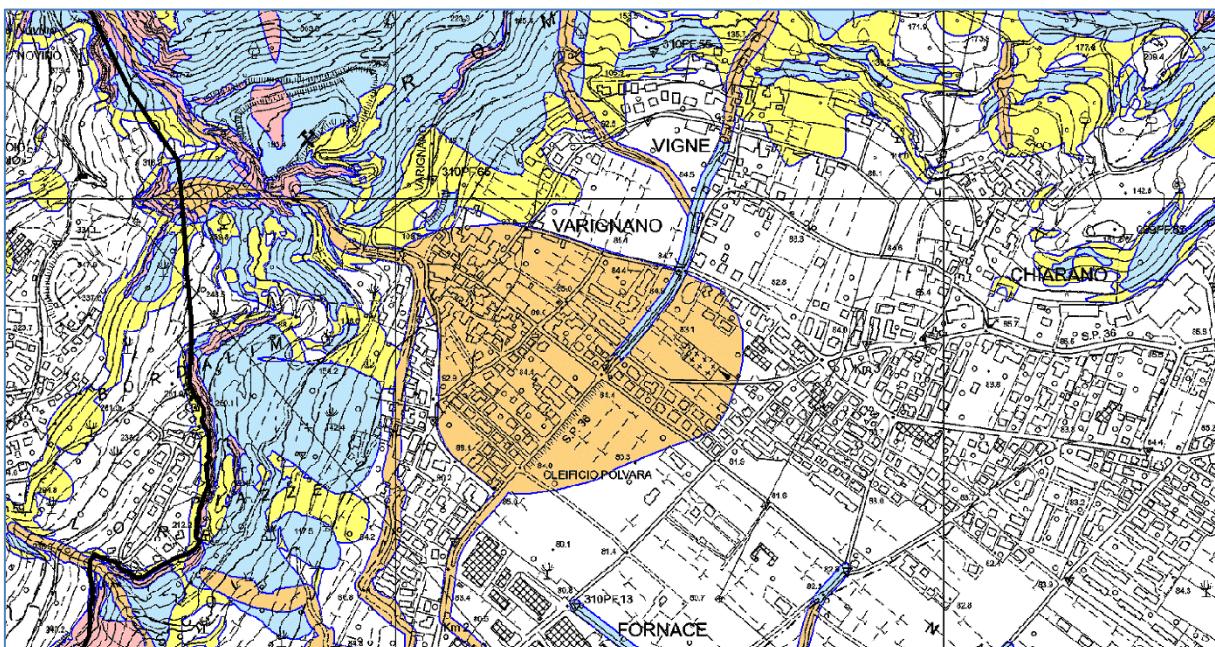
COMUNE DI ARCO

# **STUDIO DI COMPATIBILITÀ IDRAULICA**

## **RELAZIONE TECNICA - INTEGRAZIONE**

### **VARIGNANO**

CARATTERIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ IDRAULICA DELL'AREA IN LOC.  
VARIGNANO INDIVIDUATA COME "APP – AREA DA APPROFONDIRE" NELLA  
CARTA DI SINTESI DELLA PERICOLOSITÀ E DI STUDI DI COMPATIBILITÀ DI  
SUPPORTO ALLA VARIANTE N.15 AL PRG DI ARCO



**Committente: COMUNE DI ARCO (TN)**

**STUDIO DI PROGETTAZIONE PER  
L'AMBIENTE E IL TERRITORIO**

*Dott. Forestale ed Ambientale*

*Diego Sonda*

Via Lanzarini, 55 - 36060 Romano d'Ezzelino (VI)

Tel.: 0424 572516 - Cell. 347 1245729

e-mail: [diego.sonda@studiopat.it](mailto:diego.sonda@studiopat.it)

web: [www.studiopat.it](http://www.studiopat.it)



**Settembre 2021**

## INDICE

<b>1. INTRODUZIONE .....</b>	<b>3</b>
<b>2. PROPOSTA DI MODIFICA DELLA CARTA DEL PERICOLO .....</b>	<b>4</b>
<b>3. ALLEGATO 1 – RISULTATI APPLICAZIONE FLO2D .....</b>	<b>6</b>
<b>4. ALLEGATO 2 – RISULTATI APPLICAZIONE FLO2D – VALORI MASSIMI .....</b>	<b>7</b>
<b>5. ALLEGATO 3 – PROPOSTA DELLA MAPPA DEL PERICOLO .....</b>	<b>8</b>

## 1. INTRODUZIONE

Il sottoscritto, dott. for. Diego Sonda, iscritto all’Ordine dei dottori Agronomi e dei dottori Forestali della Provincia di Vicenza al n. 276, è stato incaricato dall’Amministrazione comunale di Arco (TN) di eseguire la caratterizzazione di dettaglio del pericolo di tipo torrentizio dell’area cartografata come “Da approfondire (art. 18)”, nella Carta di Sintesi della Pericolosità della Provincia Autonoma di Trento, in località Varignano in Comune di Arco (TN).

L’incarico, oltre ad essere finalizzato alla caratterizzazione del pericolo sull’intera area delimitata come APP, prevedeva di valutare la compatibilità idraulica di alcune aree, che cambieranno destinazione d’uso con l’approvazione della Variante n. 15 al Piano Regolatore Generale (PRG) comunale.

Con specifico riferimento all’area delimitata come APP, in corrispondenza dell’abitato di Varignano, le analisi idrologiche ed idrauliche hanno preso in esame il solo contributo del Rio Bordellino di Varignano, mentre la parte inferiore dell’abitato potrebbe essere interessata anche da fenomeni di esondazione causati dal Rio Bordellino di Vigne. Quest’ultima ipotesi suggerisce di ipotizzare, per una parte del conoide, un grado del pericolo da eventi alluvionali quale combinazione dell’effetto di entrambi i corsi d’acqua, mentre per la parte restante, soggetta a soli eventi causati dal Rio Bordellino di Varignano, considerare i risultati ottenuti come base per l’aggiornamento della carta del pericolo.

Di seguito si presentano le cartografie con indicata l’area per la quale i risultati ottenuti possono ritenersi esaustivi ai fini della redazione della mappa del pericolo e il settore dove invece è necessario un ulteriore approfondimento di carattere idrologico ed idraulico per eventuali fenomeni di esondazione del Rio Bordellino di Vigne.

## 2. PROPOSTA DI MODIFICA DELLA CARTA DEL PERICOLO

In riferimento alla relazione tecnica dello studio di compatibilità idraulica dell'area in località Varignano, individuata come “App – area da approfondire” nella carta di sintesi della pericolosità, si sottolinea come le indagini degli scenari indagati per una parte del conoide necessitano di un ulteriore approfondimento in merito al Rio Bordellino di Vigne, in quanto il conoide è interessato da entrambi i corsi d'acqua (Rio Bordellino di Varignano e di Vigne).

A partire dai dati idrologici ed idraulici disponibili da un precedente studio<sup>1</sup> è stato applicato il modello bidimensionale Flo2D, ipotizzando come punti di probabile esondazione l'attraversamento in corrispondenza di Via Nicola Bresciani e in corrispondenza dell'imbocco del tratto coperto, localizzato poco a monte dell'immissione di Via Guglielmo Frisoni sulla Strada Provinciale.

L'area di ipotetica sovrapposizione, dove si prevede un effetto combinato della corrente proveniente dal Rio Bordellino di Varignano e Rio Bordellino di Vigne, si sviluppa a monte e a valle della Strada Provinciale n. 36 “Grazie”.

Verso nord, l'area interessata dalla corrente proveniente dal Bordellino di Vigne si estende a monte di Via G. Verdi, tra i frutteti, interessando poi il settore compreso fra Via Filippi Serafin e la SP 36. La corrente interessa parzialmente anche il settore edificato compreso fra Via S. Giuseppe e la SP. 36.

A Sud della SP 36, l'area potenzialmente coinvolta dalla corrente del Bordellino di Vigne interessa l'ambito edificato confinato fra Via Giuseppe Verdi, Via della Fossa, Via Luigi Negrelli, Via Fornai e Via Gobbi. È interessata dalla corrente anche l'area agricola posta a valle della Strada Provinciale, delimitata fra Via Gobbi e Via Fornaci (loc. Oleificio Polvara).

Nel perimetrare l'area all'interno della quale i risultati ottenuti non possono essere assunti per la modifica della carta del pericolo, la delimitazione è stata eseguita seguendo degli elementi facilmente individuabili sul terreno (prevolentemente strade).

Per quanto sopra argomentato il grado di pericolo, delineato nello studio datato maggio 2021, relativamente agli scenari n. 1 e n. 2, descritti in relazione tecnica al paragrafo 14. DESCRIZIONE SCENARI, è da considerarsi come indicativo e non valido ai fini dell'aggiornamento della carta del pericolo, limitatamente all'area di potenziale interazione fra

---

<sup>1</sup> Relazione di compatibilità idraulica allegata al Piano a fini speciali n° 6, in loc. Fangolino (Comune di Riva del Garda) (TN)

la corrente, che prende origine dal Rio Bordellino di Varignano e quella del Rio Bordellino di Vigne.

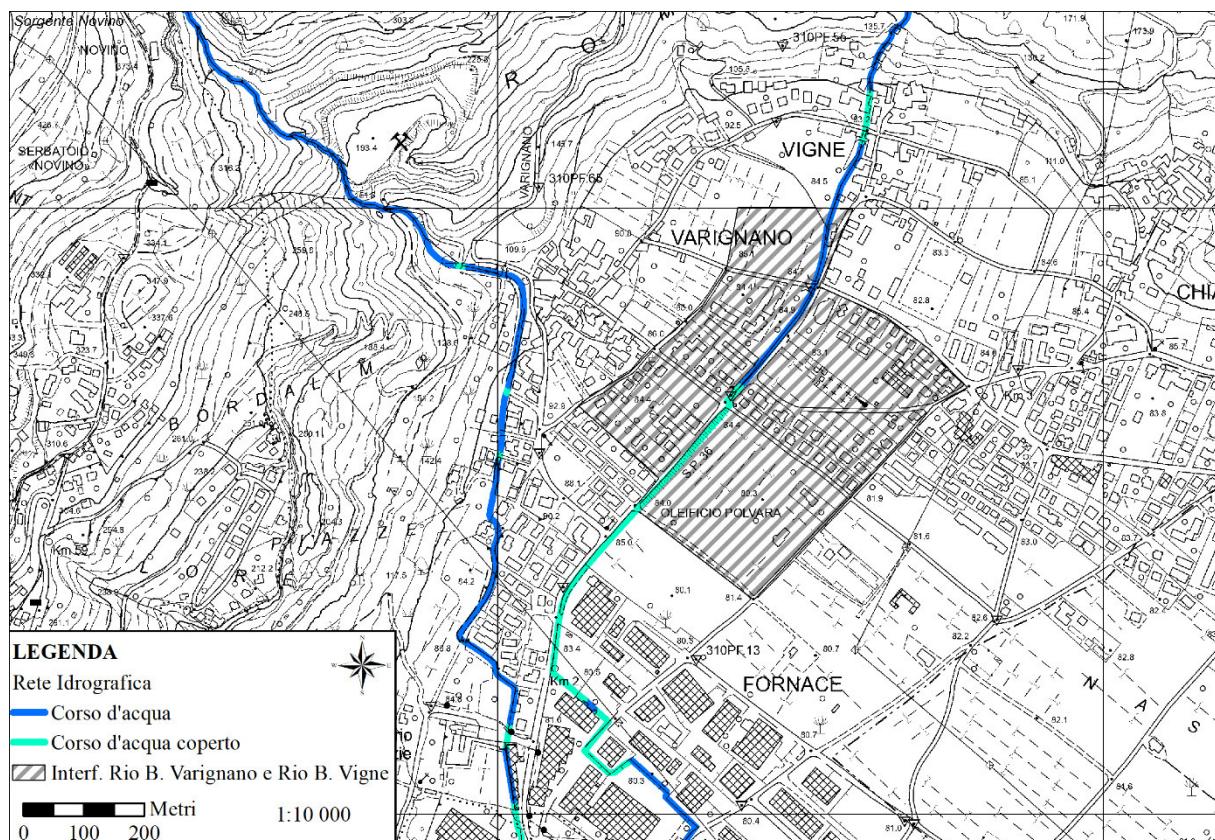


Figura 1 – Area potenzialmente interessata dalla corrente di entrambi i corsi d’acqua

In allegato al presente documento, gli allegati n. 1 e 2 riportano gli elaborati cartografici con indicata l'area, che dovrà essere oggetto di revisione dopo che sarà redatto un analogo studio di caratterizzazione come quello redatto per il Rio Bordellino di Varignano, di carattere idrologico-idraulico e mappatura dell'area potenzialmente interessata da fenomeni di esondazione causati dal Rio Bordellino di Vigne.

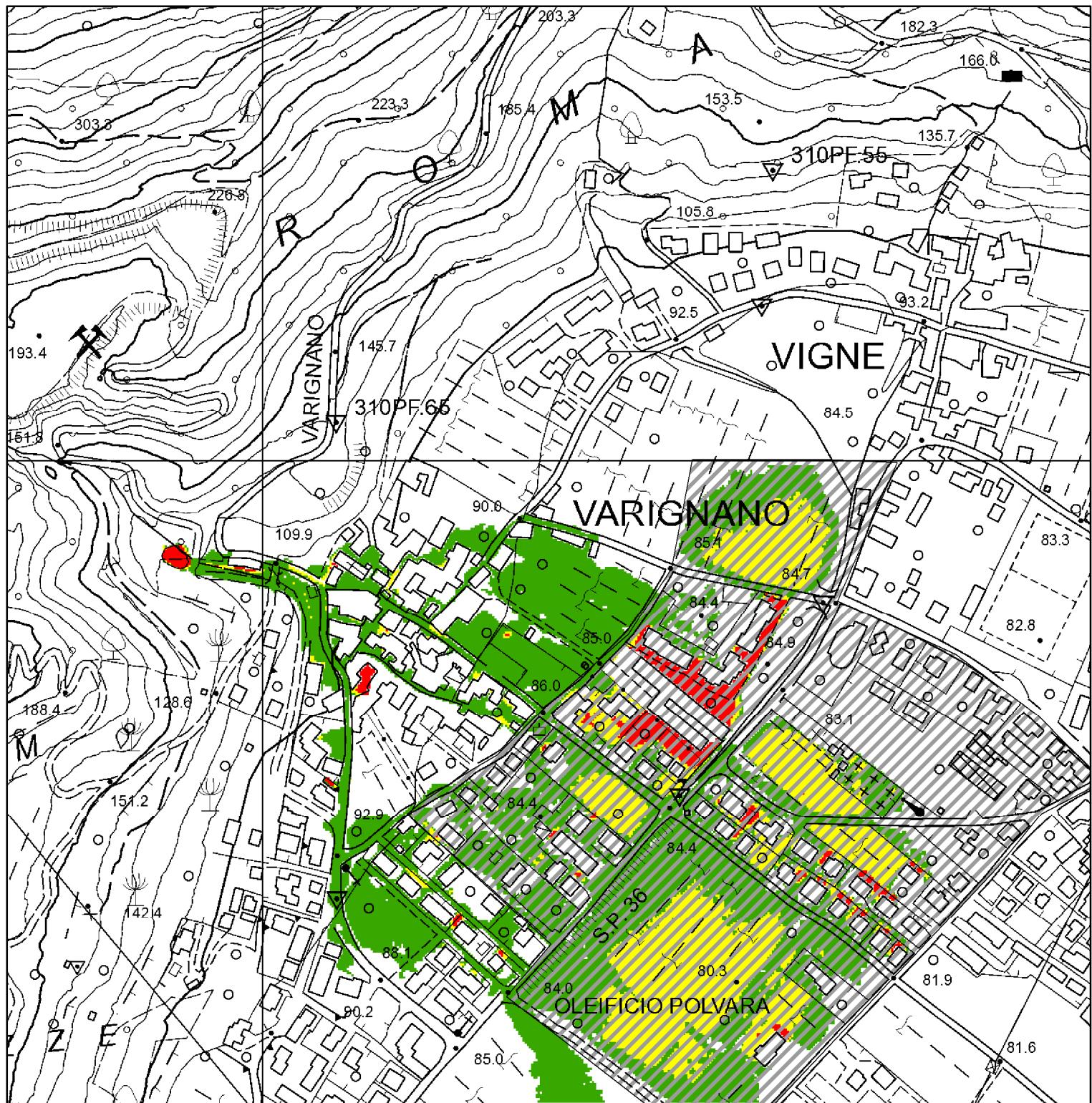
Tenendo conto dei risultati ottenuti e dell'area in cui necessitano degli ulteriori approfondimenti per l'effetto combinato della corrente esonda da Rio Bordellino di Varignano e Bordellino Vigne, nell'allegato n. 3 si propone una cartografia d'insieme di proposta di mappatura dell'area di pericolo, limitatamente all'area dove le conoscenze sui fenomeni torrentizi si possono considerare sufficientemente dettagliate. L'individuazione delle varie classi è avvenuta tenendo conto dei criteri delineati nell'allegato A approvato con deliberazione di G.P. n. 1306 del 4 settembre 2020.

### 3. ALLEGATO 1 – RISULTATI APPLICAZIONE FLO2D

Per ciascun scenario indagato si presenta una mappa relativamente al tema Tirante, Velocità e Pericolo, con indicata l'area di possibile interessamento della corrente esondata dal Rio Bordellino di Vigne.

#### Tempo di ritorno 200 anni

- *Scenario 1: rilascio idrogramma in corrispondenza della piazza di deposito a monte della strada di accesso alla ex cava*
  
- *Scenario 2: rilascio idrogramma in corrispondenza del ponte a quota 110 m s.l.m.*



*Celle di calcolo 2 x 2 m*

#### LEGENDA

■ Interf. Rio B. Varignano e Rio B. Vigne

#### Altezza tirante d'acqua

■ 0.0 - 0.4 m

■ 0.4 - 1.0 m

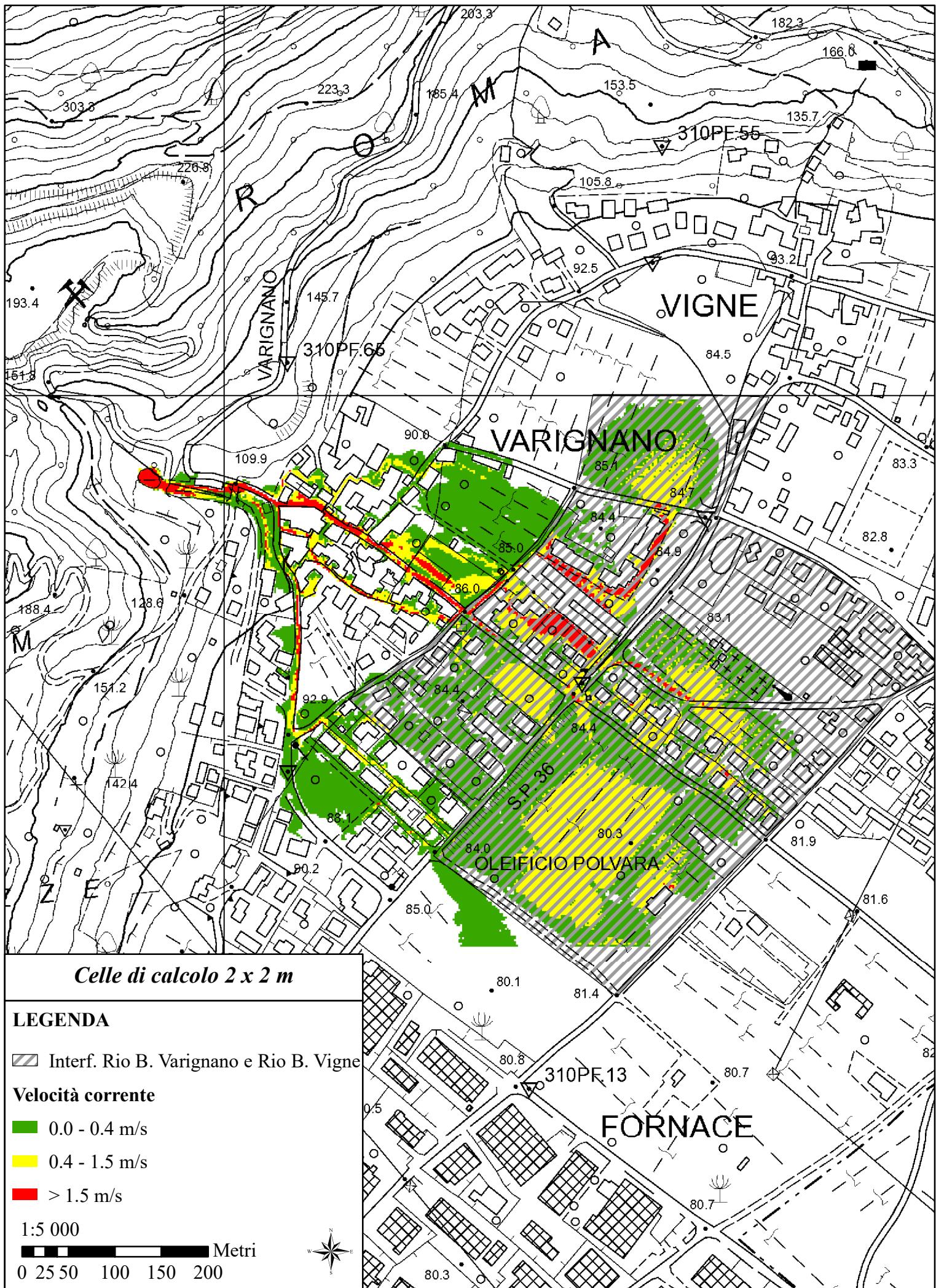
■ > 1.0 m

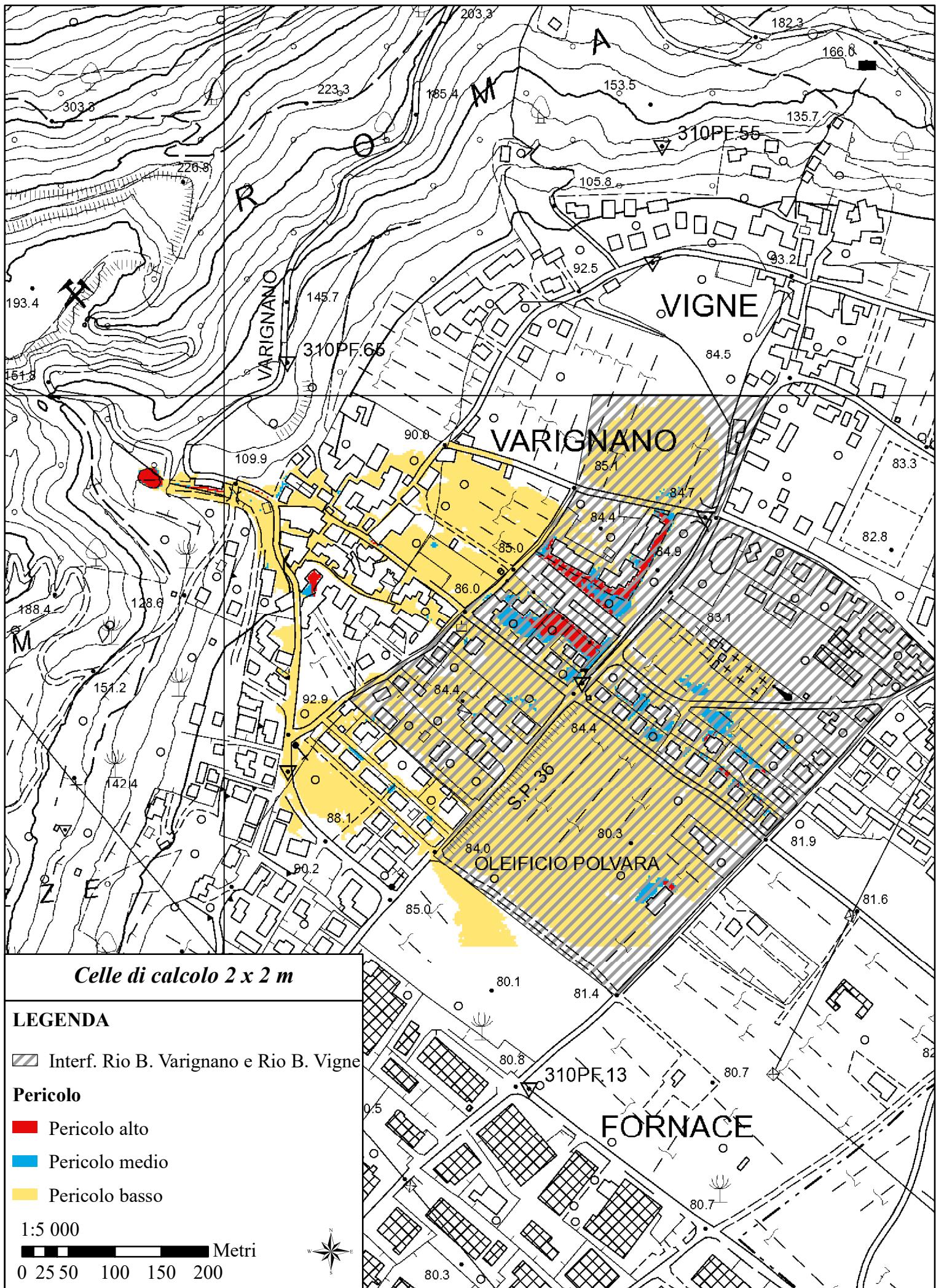
1:5 000

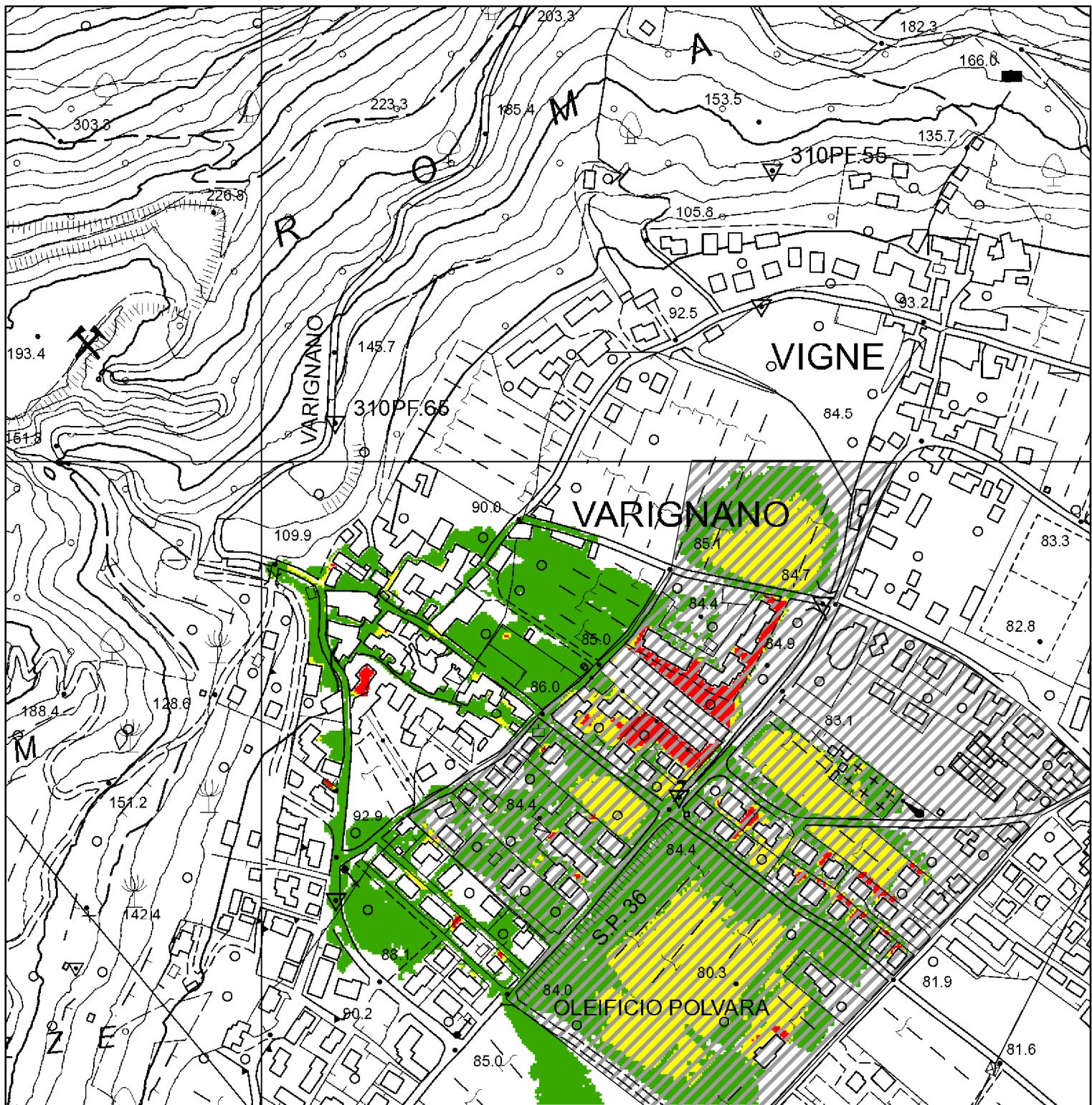
Metri  
0 25 50 100 150 200



**SCENARIO 1 - TR 200 anni (Piena liquida)**







#### LEGENDA

■ Interf. Rio B. Varignano e Rio B. Vigne

#### Altezza tirante d'acqua

■ 0.0 - 0.4 m

■ 0.4 - 1.0 m

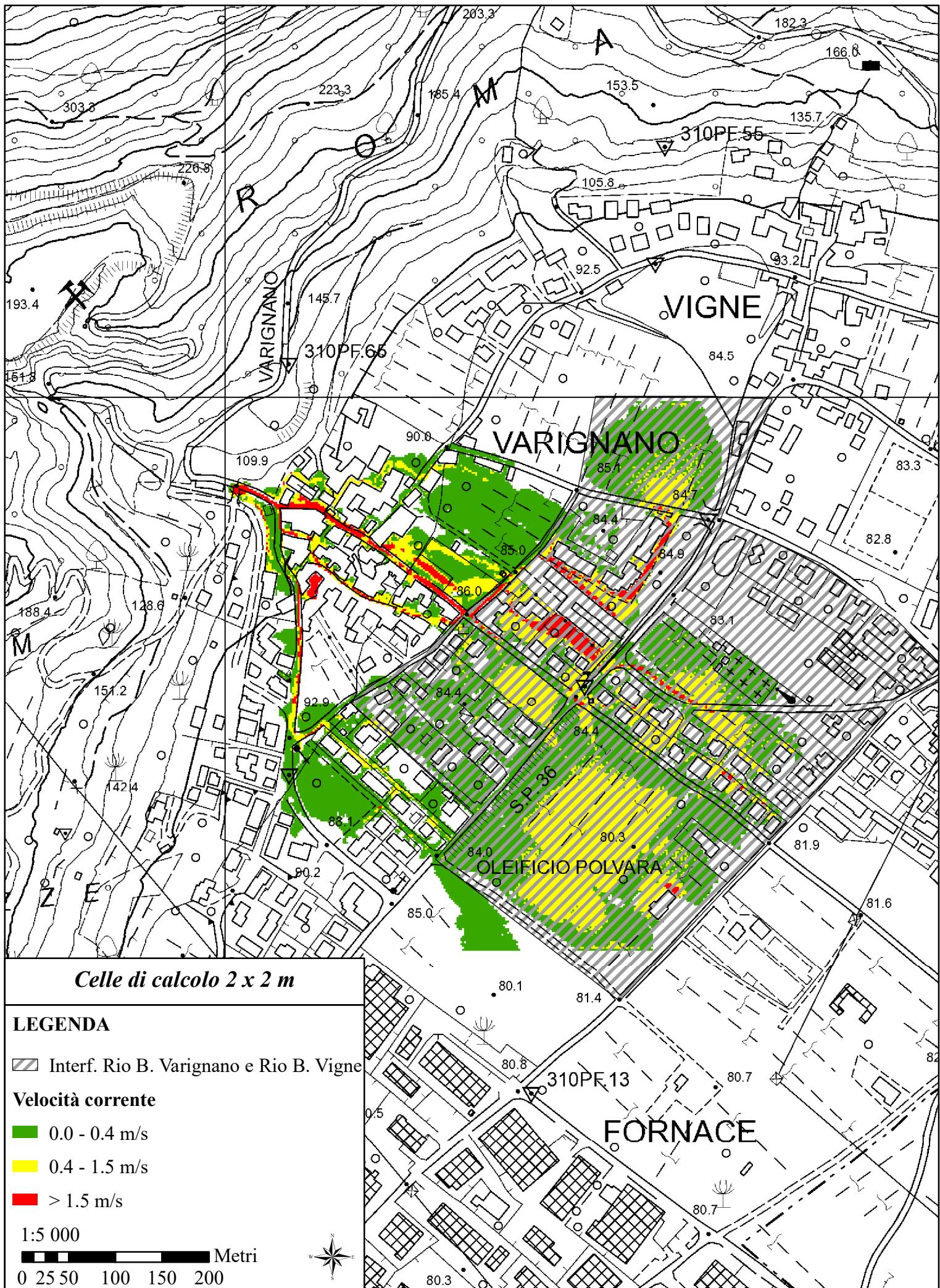
■ > 1.0 m

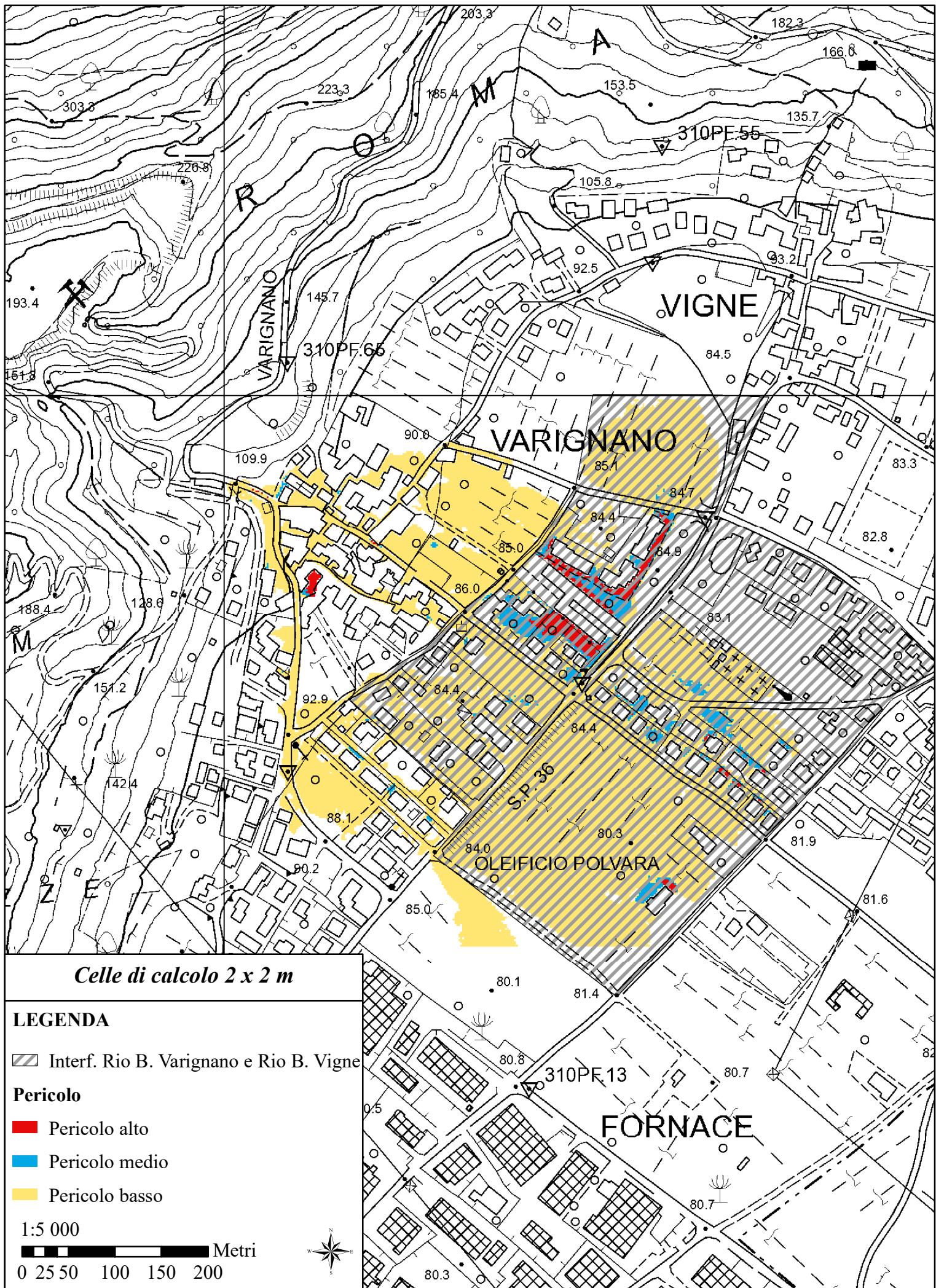
1:5 000

Metri  
0 25 50 100 150 200



**SCENARIO 2 - TR 200 anni (Piena liquida)**

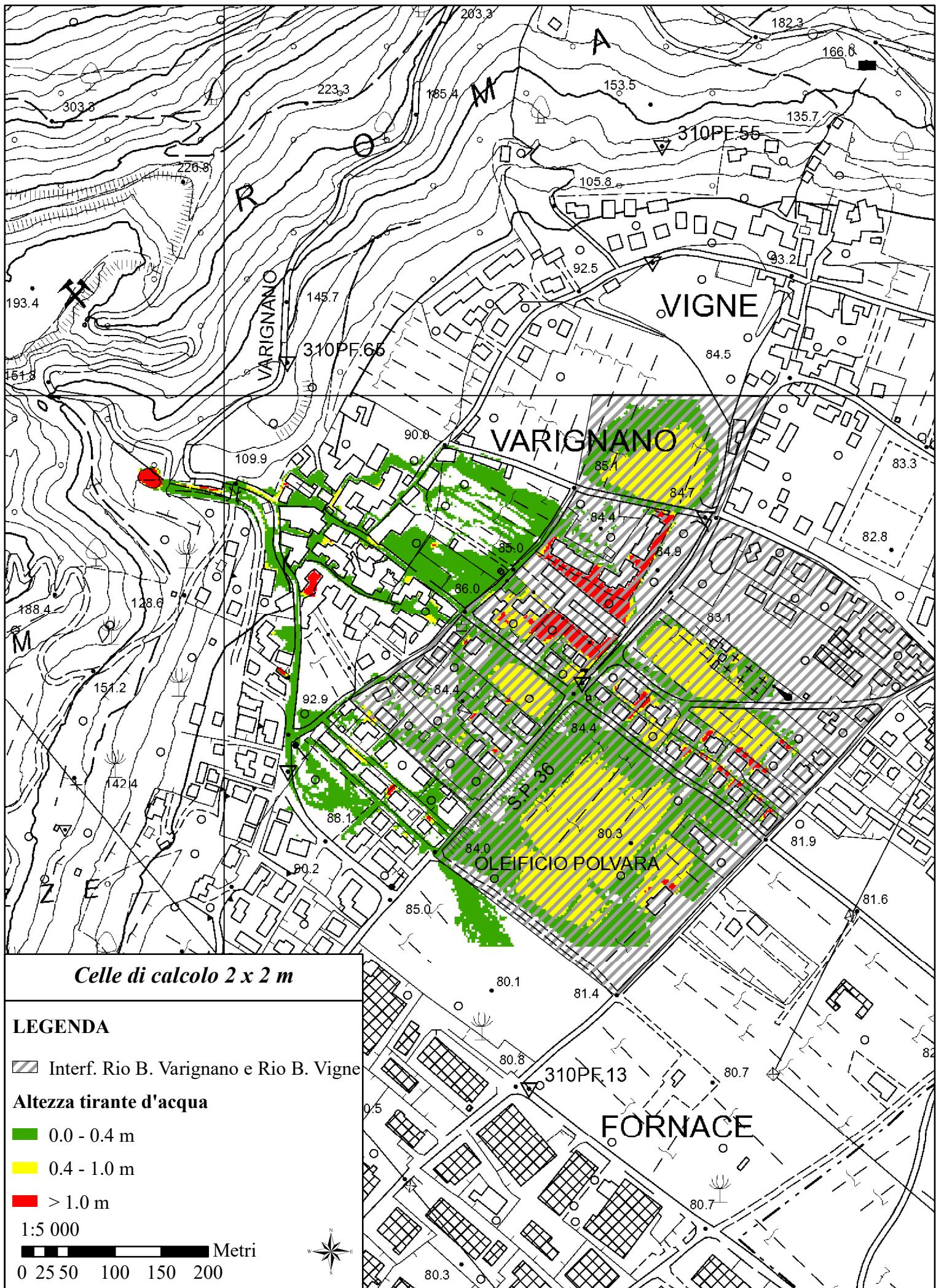


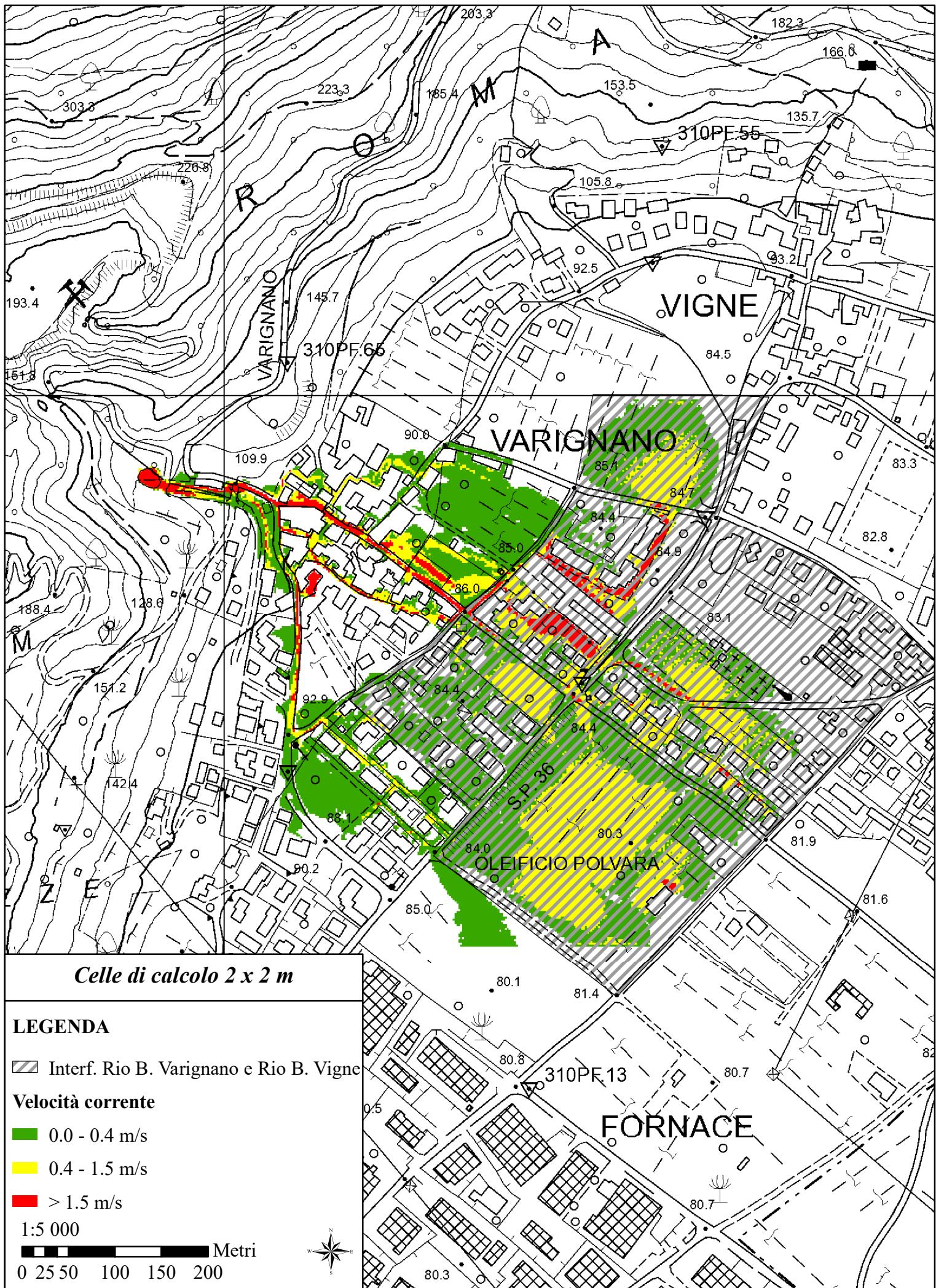


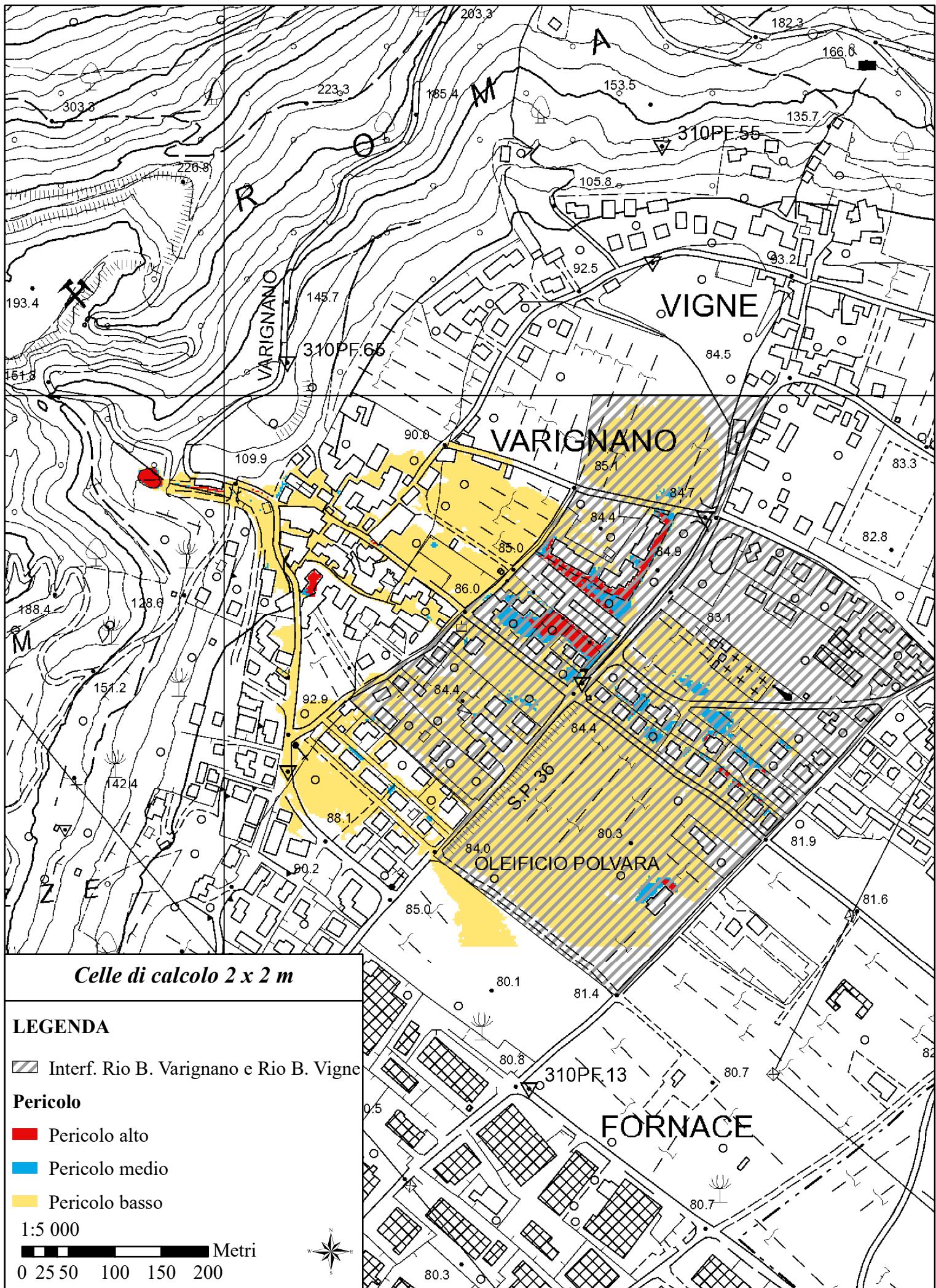
**SCENARIO 2 - TR 200 anni (Piena liquida)**

#### **4. ALLEGATO 2 – RISULTATI APPLICAZIONE FLO2D – VALORI MASSIMI**

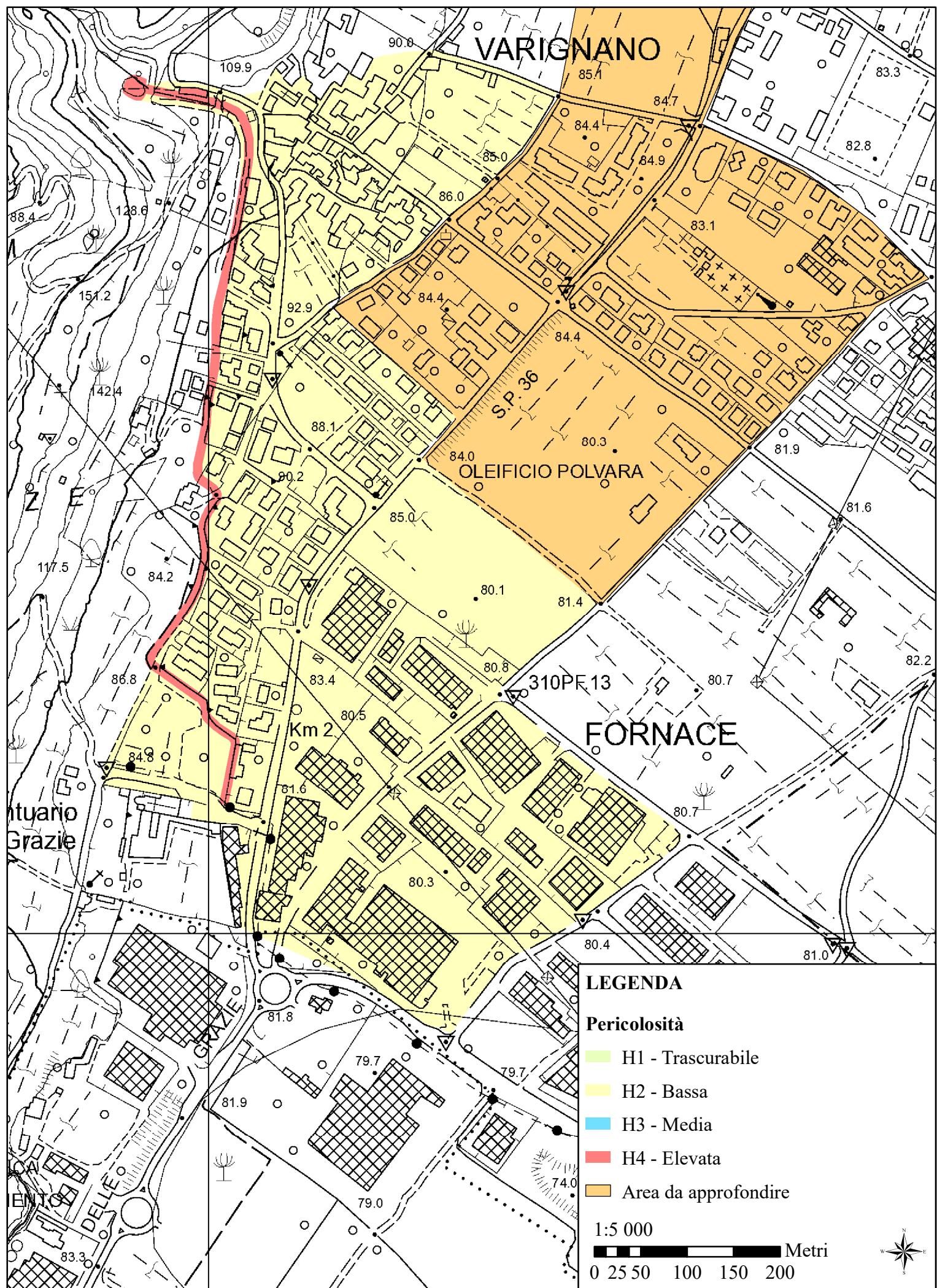
Sintesi dei valori massimi osservati in corrispondenza delle singole celle del dominio di calcolo. A partire dai risultati di ciascun scenario indagato è stata elaborata una mappa di sintesi considerando i valori massimi relativamente al tema Tirante, Velocità e Pericolo, delimitando l'area di possibile interessamento della corrente esondata dal Rio Bordellino di Vigne.







## 5. ALLEGATO 3 – PROPOSTA DELLA MAPPA DEL PERICOLO



**PROPOSTA MAPPA DEL PERICOLO FENOMENI ALLUVIONALI**