

COMUNE DI BONDONE



PROV. AUTONOMA DI TRENTO

Progetto

Progetto:

**VERIFICA DI PERICOLO IDRAULICO E DI
COMPATIBILITÀ IDRAULICA
IN RELAZIONE AL PROGETTO DI
RISTRUTTURAZIONE ED AMPLIAMENTO DELLA CA-
SERMA DEI VVF VOLONTARI DI BONDONE,
IN CORRISPONDENZA DELLA P. ED. 381
C.C. BONDONE, NELLA FRAZIONE DI BAITONI
SUPERIORE DEL COMUNE DI BONDONE (TN)**

Committente:

Comune di Bondone
Via di Mezzo, n. 10, frazione Baitoni
38080 Bondone (TN)



Vigili del Fuoco Volontari Bondone-Baitoni

Dok.-Nr.: Doc. n.:

KP-0010-r00

Proj.-Nr.: N. Prog.:

IN-21-1665.3

Relazione tecnica

| | | | | |
|--------------|---|------------|--------------|----------------|
| 4 | | | | |
| 3 | | | | |
| 2 | | | | |
| 1 | | | | |
| 0 | Erstellung – Elaborazione | 07.08.2023 | EC | ML |
| Index/Indice | Planerstellung und Änderungen – Elaborazione tavola e modifiche | Datum/Data | Bearb./Elab. | Geprüft/Contr. |

Der Planer / Il progettista

Dr. Ing. Rudi Bertagnolli



ingena

Ingenieurwesen | Geologie | Naturraumplanung
ingegneria | geologia | natura e pianificazione

Via del Macello ,57
Tel.: +39 0471 324750
e-mail: office@ingena.info

I – 39100 Bolzano
Fax.: +39 0471 051136
www.ingena.info

INDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introduzione | 3 |
| 2 | Studio di pericolo idraulico | 9 |
| 2.1 | Valutazione del pericolo idraulico torrentizio per il Rio Olte | 9 |
| 2.1.1 | Analisi delle sistemazioni esistenti | 10 |
| 2.1.2 | Dati storici, analisi dei pericoli noti e dei dissesti..... | 14 |
| 2.1.3 | Analisi idrologica..... | 17 |
| 2.1.4 | Stima dell’apporto solido e definizione del processo..... | 20 |
| 2.1.5 | Relazione idraulica | 22 |
| 2.1.5.1 | Considerazioni modellistiche e definizione degli scenari di pericolo assunti | 22 |
| 2.1.5.2 | Dominio computazionale | 22 |
| 2.1.5.3 | Risultati delle simulazioni idrauliche | 25 |
| 2.1.6 | Valutazione del pericolo per fenomeni di natura idraulica..... | 28 |
| 2.2 | Valutazione del pericolo idraulico lacuale per il Lago d’Idro | 30 |
| 2.2.1 | La regolazione del lago d’Idro allo stato di fatto | 30 |
| 2.2.2 | Analisi idraulica del lago | 32 |
| 2.3 | Risultati dell’analisi idraulica | 34 |
| 2.4 | Valutazione del pericolo per fenomeni di natura idraulica..... | 39 |
| 3 | Pericolo idraulico in corrispondenza dell’area di studio | 42 |
| 4 | Verifica di compatibilità idraulica – l.p. 5/2008 | 44 |
| 4.1 | Misure di sicurezza e accorgimenti necessari..... | 44 |
| 5 | Conclusioni | 45 |
| 6 | Bibliografia | 46 |



1 Introduzione

L'oggetto di questo studio riguarda la **verifica del pericolo idraulico**, ai sensi dell'articolo 10 del l.p. 1 luglio 2001 n. 9, e l'eventuale **studio di compatibilità idraulica**, ai sensi delle Norme di Attuazione del PUP di Trento (Allegato B - l.p. n. 5 del 2008) e dell'art.15 comma 2 della l.p. n. 15 del 2015, in relazione al progetto di **Ristrutturazione ed ampliamento della caserma dei VVF Volontari di Bondone**, in corrispondenza della p. ed. 381 C.C. Bondone, nella frazione di Baitoni Superiore del Comune di Bondone (TN).

In figura 1 mostra l'inquadramento generale dell'area oggetto di studio all'interno del territorio comunale di Bondone.



figura 1: Inquadramento generale dell'area di studio, indicata in tratteggio nero, in relazione al territorio comunale, indicato in rosso.

Il progetto, a firma del dott. ing. Luca Mezzi dello studio tecnico associato M&M, prevede la demolizione del fabbricato esistente e la ricostruzione con aumento e riposizionamento del volume all'interno della p. ed. 381 C. C. Bondone. Da figura 2 a figura 6 si riporta un estratto degli elaborati progettuali.

Il progetto prevede:

- la realizzazione di una nuova autorimessa per i veicoli in dotazione al corpo dei VVF;
- l'ampliamento dell'edificio per la realizzazione degli spazi annessi all'attività del corpo dei VVF;
- la realizzazione di parcheggi esterni.

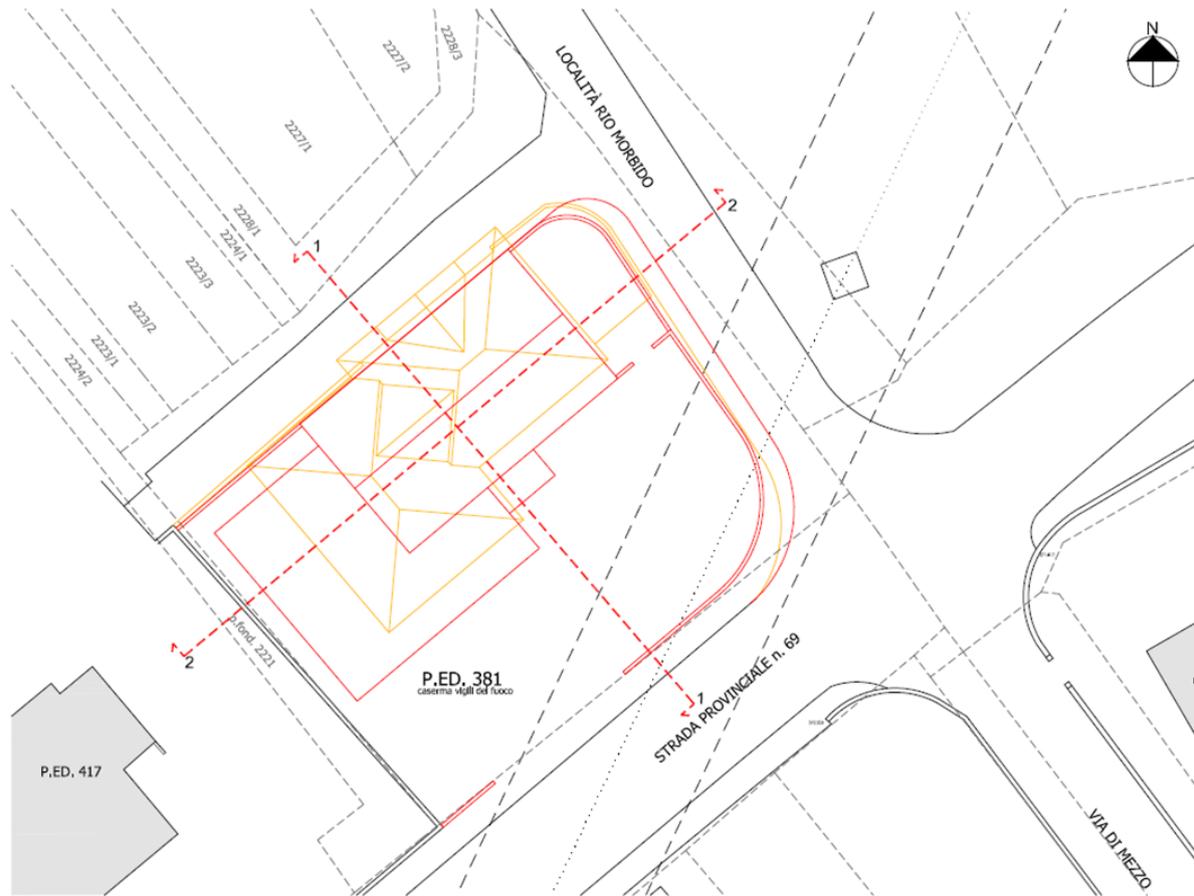


figura 2: Planimetria di raffronto.

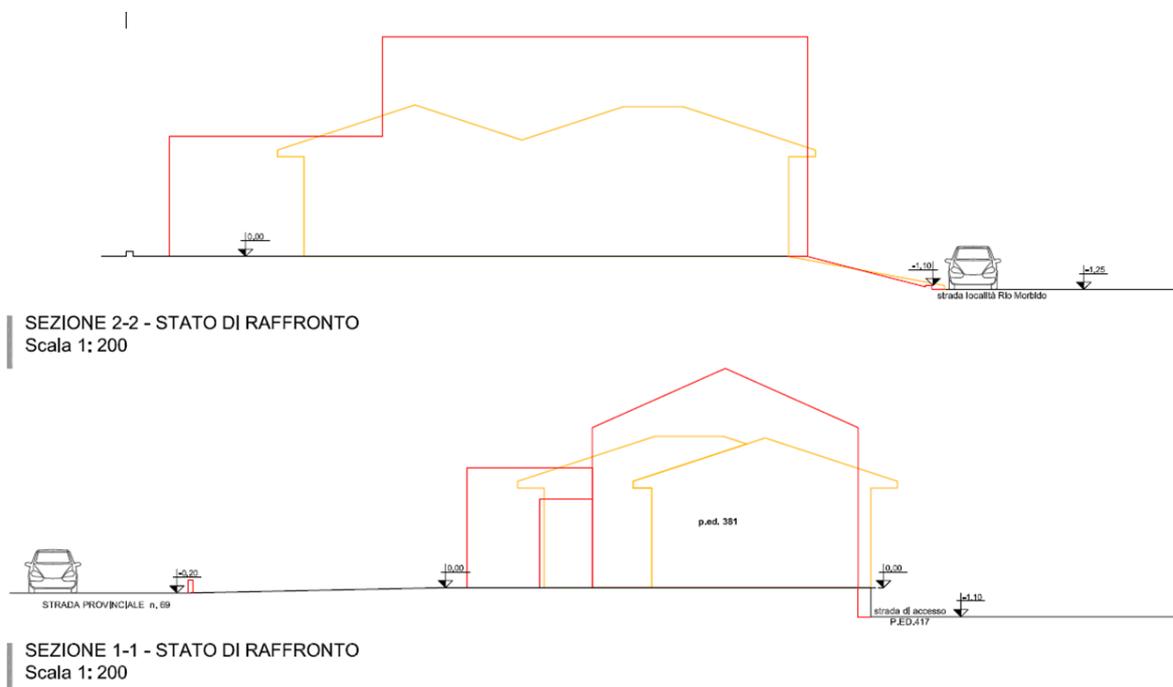


figura 3: Sezioni di raffronto.

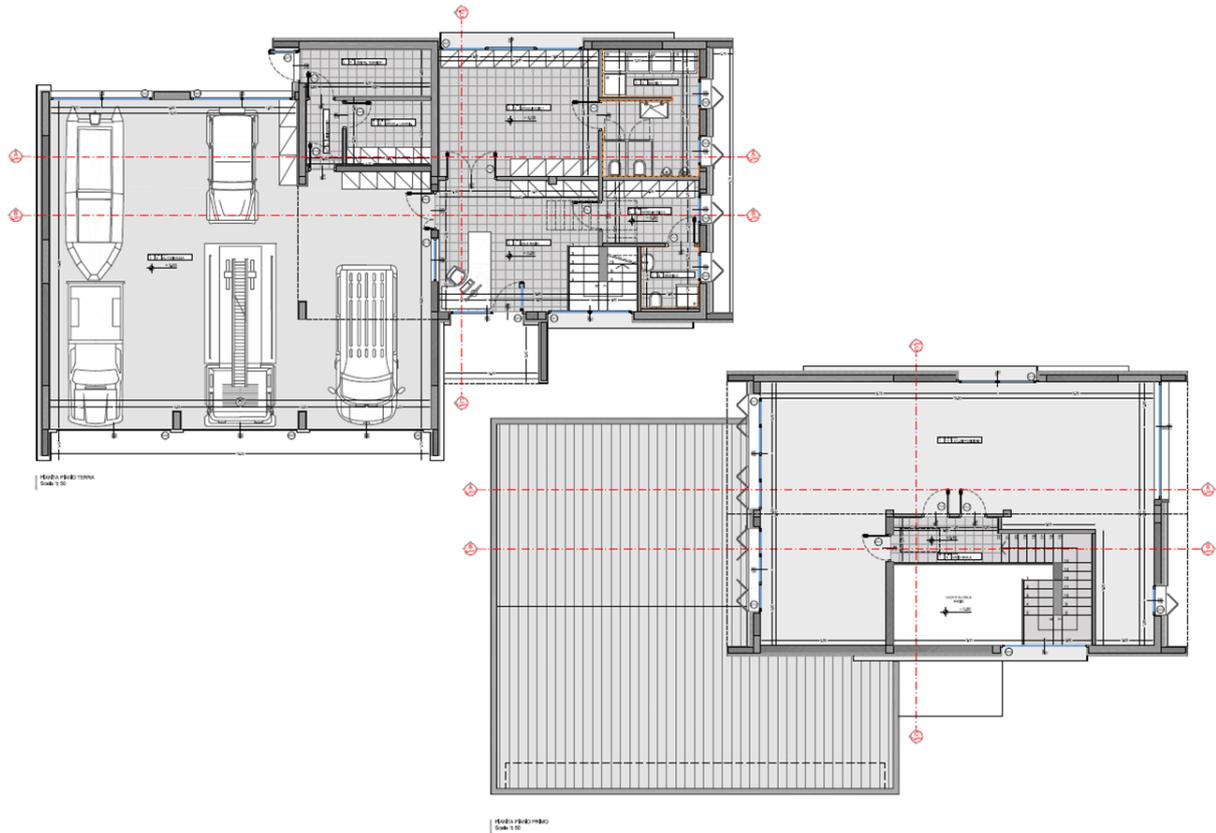


figura 4: Piante di progetto.

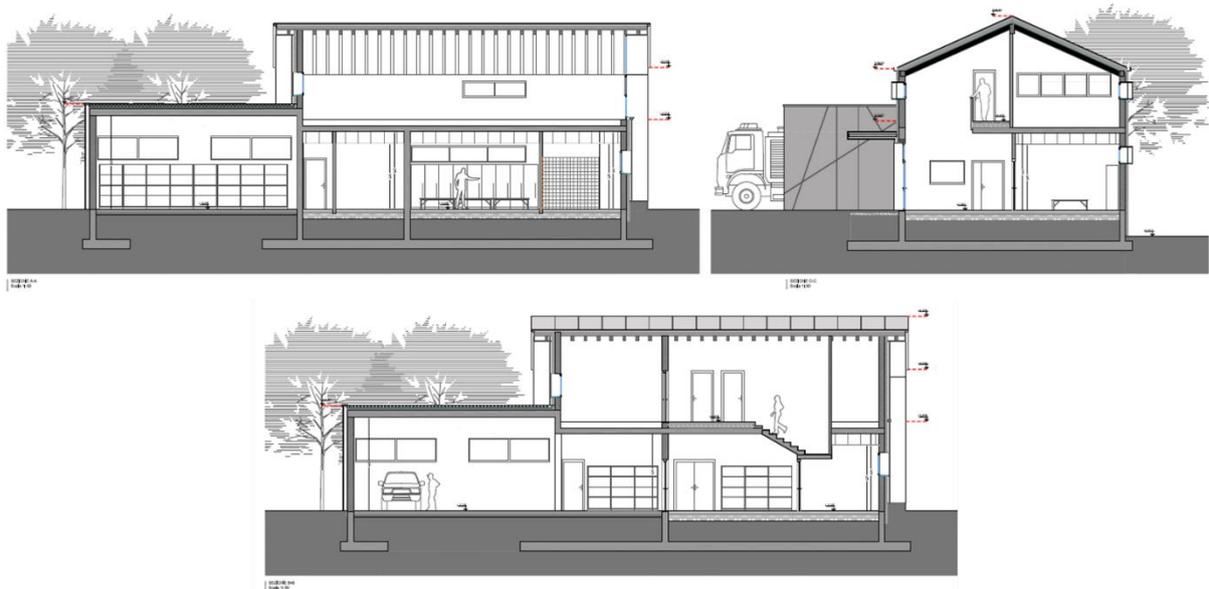


figura 5: Sezioni di progetto.



figura 6: Prospetti di progetto.

L'area oggetto di studio attualmente è inquadrata all'interno della Carta della Pericolosità della Provincia Autonoma di Trento (figura 7) in area a penalità P2 in corrispondenza al conoide del Rio Olte (art.17 Norme di Attuazione al PUP – l.p. n.5 del 2008), pertanto il progetto della nuova caserma dei VVF è stato sottoposto ad uno studio di compatibilità a firma del dott. geol. Germano Lorenzi (*"Progetto per la ristrutturazione ed ampliamento della caserma dei VV.F.F. Volontari di Bondone in località Baitoni - Relazione di compatibilità"*, giugno 2021). Tale studio prescrive come misure di sicurezza la costruzione di un muro di altezza pari a 0.5 m sul perimetro del piazzale a protezione della caserma.

Successivamente alla presentazione del progetto (novembre 2021), il territorio comunale di Bondone è stato oggetto di un'analisi dei pericoli idraulici esistenti al fine di caratterizzare in maniera approfondita i processi idraulici ed elaborare la zonazione definitiva della pericolosità in relazione alla variante al PRG comunale (***"Approfondimento della verifica dei pericoli idraulici all'interno del territorio comunale di Bondone"*** - Studio **ingena**, maggio 2022). Lo studio di aggiornamento della carta della pericolosità è stato condotto in collaborazione con il servizio Bacini Montani della Provincia Autonoma di Trento.

Il suddetto studio ha approfondito l'analisi dei seguenti pericolo idraulici (figura 8):

- rio Olte: processo di trasporto solido;
- rio Laf (fossa del Rio Morbio): processo di trasporto solido nel tratto torrentizio e di piena liquida nel tratto canalizzato a fondo valle;
- rio Val Pesena: processo di trasporto di massa;
- fiume Chiese: processo di piena liquida;
- lago di Idro: processo di esondazione.

I risultati delle analisi idrauliche effettuate hanno condotto ad una differente classificazione della pericolosità e delle penalità nell'area di studio sulla base della quale nel presente lavoro verrà effettuato un nuovo studio di compatibilità.

In figura 9 si riporta la carta della pericolosità derivante da tale studio. Dall'immagine si evince che la p. ed. 381 C. C. Bondone si trova in un'area a penalità idraulica bassa - P1 corrispondente ad una zona

di pericolo idraulico residue basso - HR2 derivante da eventi di allagamento del lago di Idro (figura 10) e di esondazione torrentizia del rio Olte (figura 11).

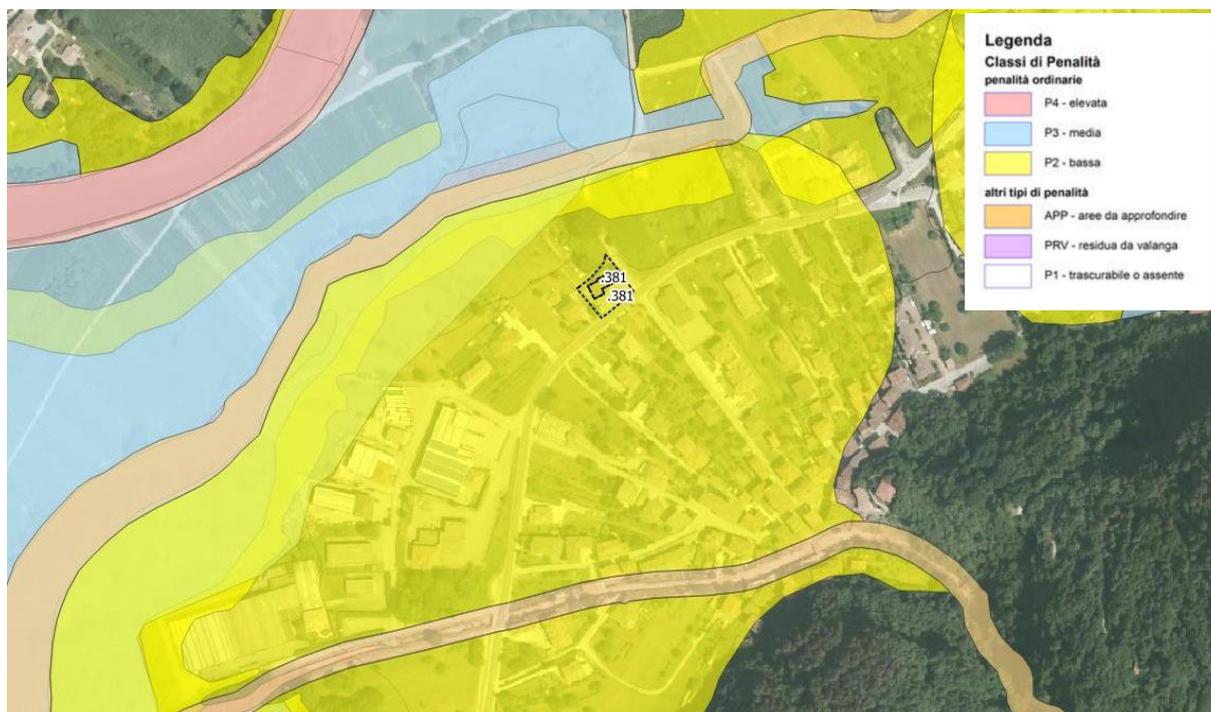


figura 7: Estratto della Carta di Sintesi della Pericolosità in prossimità della p. ed. 381 C. C. Bondone.



figura 8: Inquadramento dei pericoli idraulici presenti nel territorio comunale di Bondone.

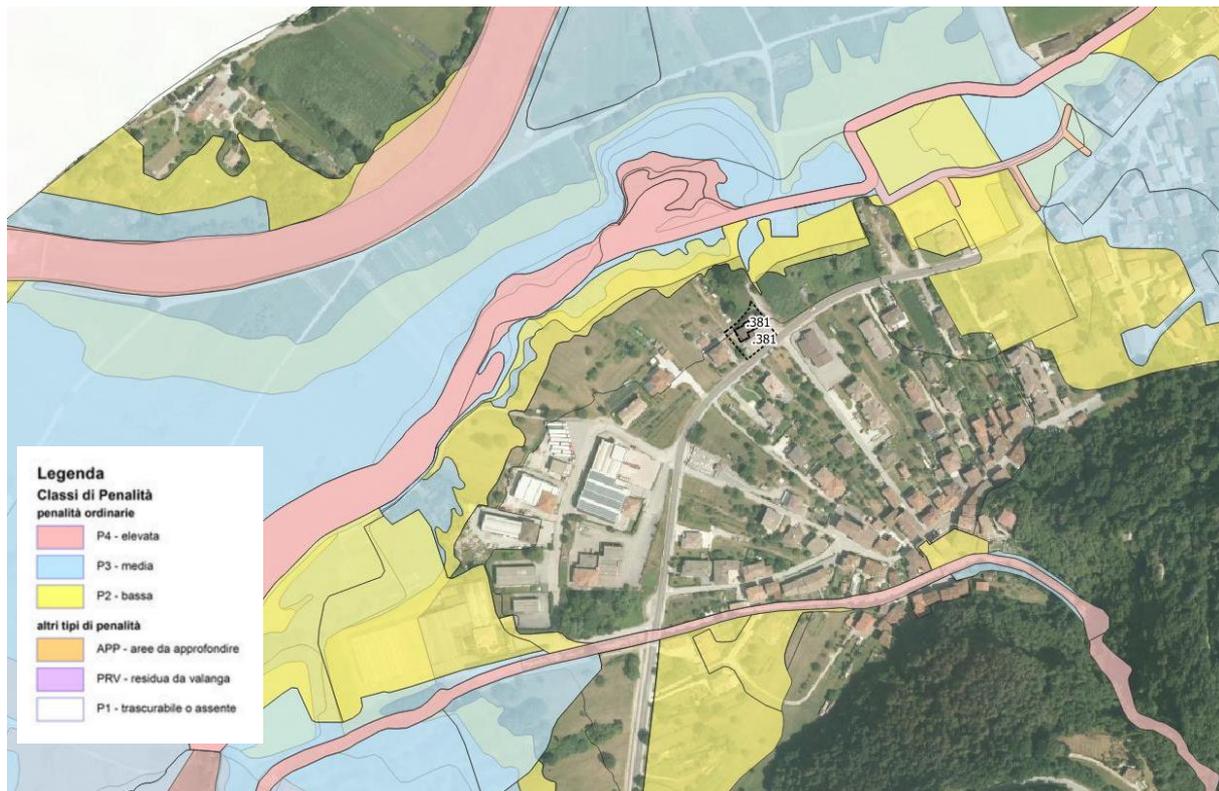


figura 9: Estratto della carta delle penalità aggiornata in prossimità della p. ed. 381 C. C. Bondone.

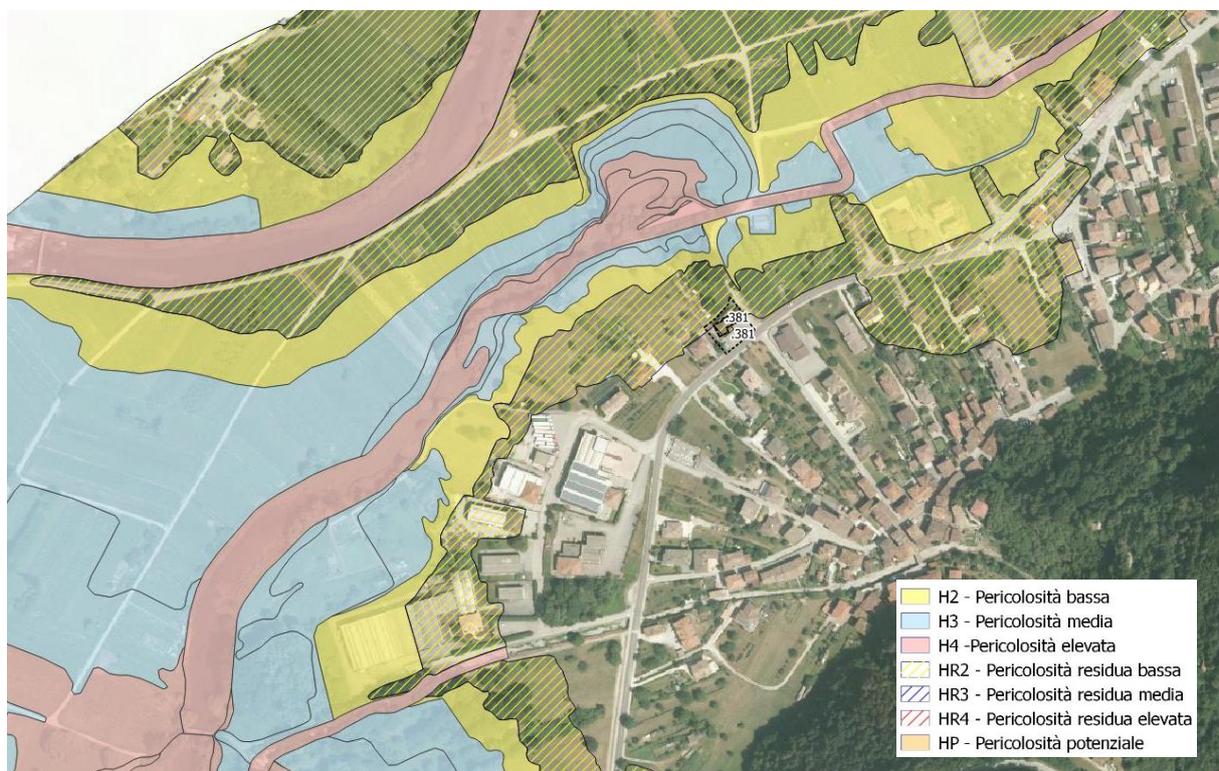


figura 10: Estratto della carta delle pericolosità aggiornata per il lago di Idro in prossimità della p. ed. 381 C. C. Bondone.

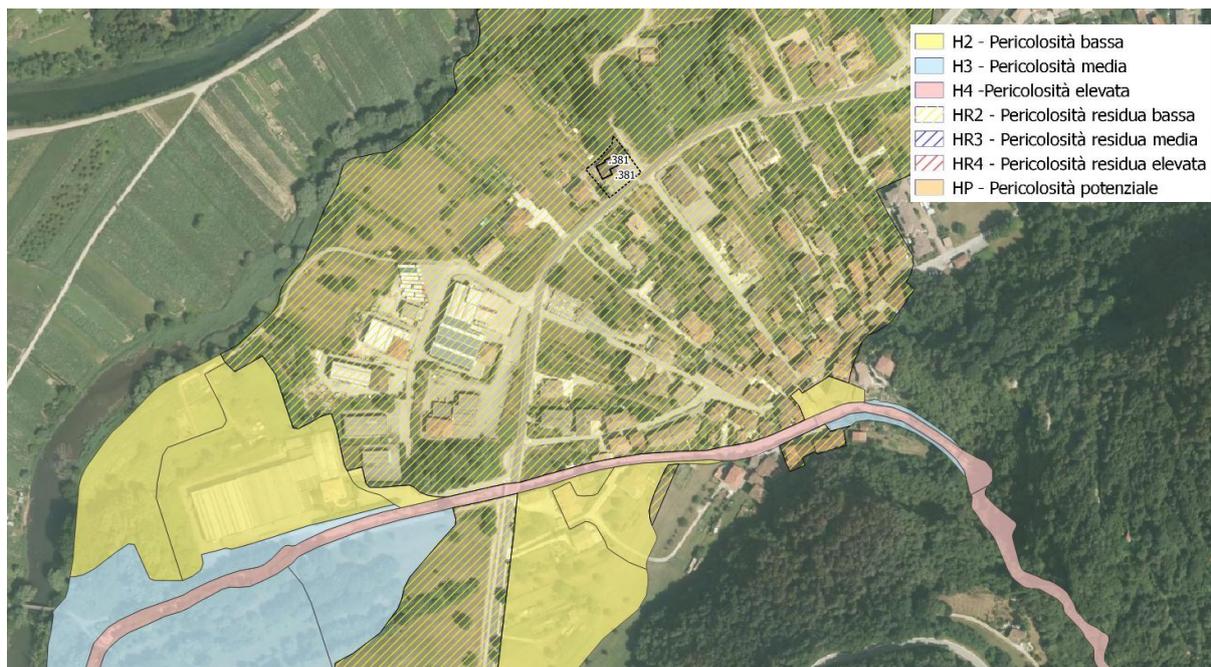


figura 11: Estratto della carta delle pericolosità aggiornata per il rio Olte in prossimità della p. ed. 381 C. C. Bondone.

2 Studio di pericolo idraulico

Nel presente capitolo si riporta un estratto dello studio di pericolo “*Approfondimento della verifica dei pericoli idraulici all’interno del territorio comunale di Bondone*” per i pericoli idraulici connessi con l’area di studio, in particolare, per il rio Olte e per il lago di Idro, dai quali deriva la zona di pericolo residuo HR2.

2.1 Valutazione del pericolo idraulico torrentizio per il Rio Olte

Il bacino idrografico del Rio Olte o Burzo (Valle Setta) si trova sul versante idrografico sinistro della Valle del Chiese, al confine con la Provincia di Brescia. Il bacino, chiuso all’apice del conoide dove si trova la frazione di Baitoni Inferiore, presenta una superficie di circa 9.8 km². A sud il bacino idrografico si estende per una piccola parte nella Provincia di Brescia, mentre a nord un lembo ricade all’interno dei confini del Comune di Storo. La testata del bacino idrografico si estende ad est fino alla Bocca di Cablone dove raggiunge la quota massima pari a circa 1794 m s.l.m. A sud-est tocca la Bocca di Valle (circa 1396 m s.l.m.), mentre a sud raggiunge la cima del Monte Cingla (circa 1669 m s.l.m.). Il margine ovest del bacino idrografico è invece delimitato dal Monte Calva (1196 m s.l.m.).

La rete idrografica del Rio Olte si presenta piuttosto ramificata con l’asta principale del Rio Olte che si origina alla quota di circa 1365 m s.l.m. e discende la Valle Setta scorrendo in direzione da est verso ovest. Alla quota di circa 875 m s.l.m. nel Rio Olte si immette in destra idrografica il Rio Val Busera che drena il settore nord-est del bacino idrografico, mentre alla quota di circa 530 m s.l.m. si innesta il Rio Valle o Rio Morbio, che rappresenta il principale affluente che drena le acque del settore meridionale del bacino idrografico. Nel settore basale del bacino idrografico, nel discendere sul fondovalle della Valle del Chiese il Rio Olte forma una cascata con un dislivello complessivo di circa 60 m. Sul fondovalle

cambia poi direzione scorrendo in direzione da est verso sudovest. In questo tratto attraversa il centro abitato di Baitoni Inferiore per poi immettersi nel Lago d'Idro alla quota di circa 365.8 m s.l.m.

| Caratteristiche morfometriche | Rio Olte | | |
|---------------------------------------|----------|------|------|
| Area del bacino [km ²] | 9.78 | | |
| Perimetro del bacino [km] | 21.17 | | |
| Indice di compattezza C_f [-] | 1.90 | | |
| Quota (min., max., media) [m s.l.m.] | 379 | 1794 | 1115 |
| Pendenze (min., max., media) [°] | 0 | 88.3 | 42.3 |
| Area della conoide (km ²) | 0.23 | | |
| Pendenza media della conoide (°) | 2° | | |
| Indice di Melton | 0.45 | | |

tabella 1: Caratteristiche generali del Rio Olte e del relativo bacino di alimentazione.

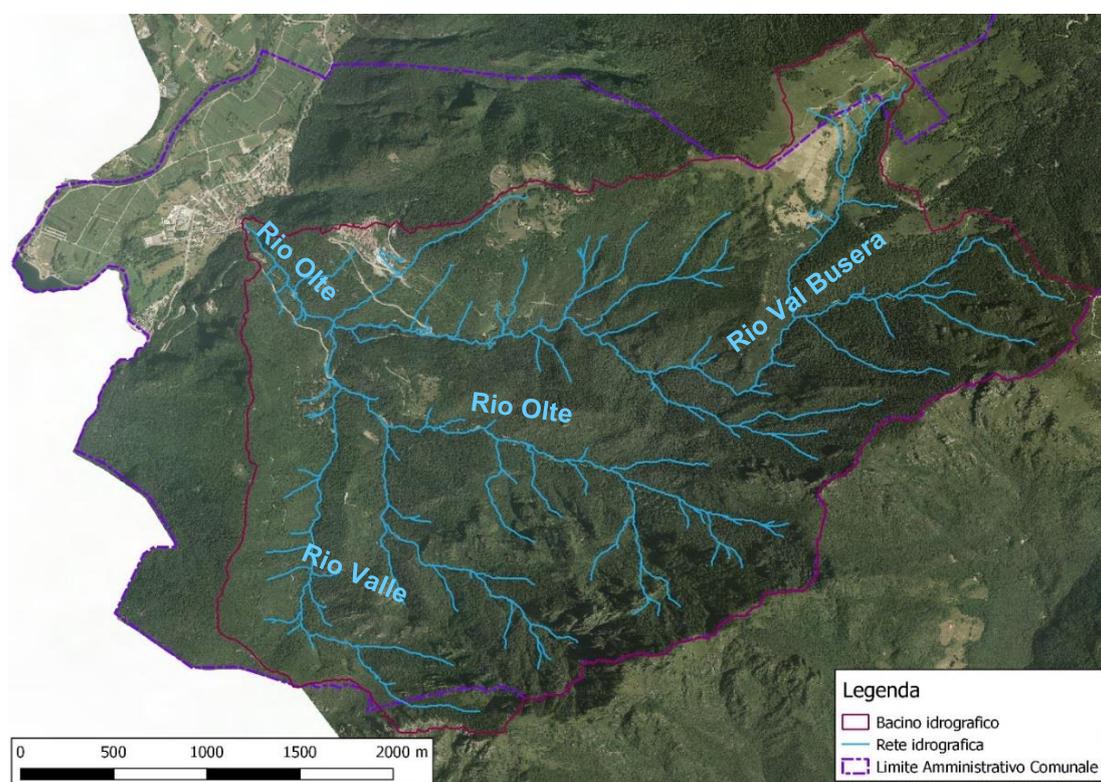


figura 12: Delimitazione del bacino idrografico del rio Olte su Ortofotocarta 2015.

2.1.1 Analisi delle sistemazioni esistenti

Il Rio Olte si presenta sistemato nella parte medio-basale del bacino idrografico con la realizzazione di alcune briglie di consolidamento. Queste sono localizzate in particolare sull'asta del Rio Olte e su quella dell'affluente Rio Valle, in corrispondenza dell'attraversamento della S.P. 69 dove si trovano anche delle opere di difesa spondale. Il tratto di fondovalle che attraversa l'abitato di Baitoni Inferiore si presenta invece sistemato nel tratto compreso tra il salto in roccia ed il ponte di via Fratì con delle murature arginali ed un primo tratto di selciato di fondo.



1 – Viste del ramo principale del Rio Olte nel tratto a monte dell'attraversamento della S.P. 69. In questo tratto l'alveo del corso d'acqua è impostato su un suolo erodibile costituito sia da materiale grossolano, ciottoli fino a grossi blocchi che da materiale più fine, come ghiaie e sabbie. Nel tratto a monte del ponte si è osservata la presenza di poca acqua. Lungo il tratto l'acqua va disperdendosi all'interno della matrice carbonatica e non è più presente nel tratto a valle del ponte.



2 – Viste del tratto del Rio Valle a monte dell'attraversamento della S.P. 69. Anche l'alveo del Rio Valle, come quello del corso d'acqua principale, il Rio Olte, è per lo più impostato su suolo erodibile costituito sia da materiale grossolano come ciottoli e massi che da materiale più fine. Talvolta si riscontrano degli affioramenti rocciosi in alveo.



3 – Viste del tratto del Rio Valle in corrispondenza dell'attraversamento della S.P.69. L'attraversamento è realizzato con un ponte in cemento armato (larghezza maggiore $L = 4.5$ m – sezione a monte; $L = 3.5$ m – sezione a valle; altezza $H = 2.6$ m). In questo tratto si trova un esteso affioramento roccioso che occupa metà dell'alveo del corso d'acqua e si estende fino a valle dell'attraversamento fino al tratto in curva. Il fondo dell'alveo dove non è presente la roccia è consolidato con massi cementati e la sponda sinistra è consolidata con un muro arginale.



4 – Viste del tratto del Rio Olte a valle dell'immissione dell'affluente Rio Valle. In questo tratto si trovano due briglie di consolidamento.



5 – Viste del tratto del Rio Olte che attraversa il centro abitato di Baitoni Inferiore. Il corso d'acqua discende inizialmente lungo una parete in roccia quasi verticale formando le Cascate di Baitoni. Da qui prosegue per un breve tratto naturale impostato su fondo erodibile alternato ad affioramenti rocciosi.





5 – Viste del tratto del Rio Olte che attraversa il centro abitato di Baitoni Inferiore. A partire da poco a monte del centro edificato il corso d'acqua è sistemato con un selciatoone di fondo realizzato con grossi massi cementati e delle murature arginali consolidate negli anni 2016-2017.



6 – Viste del tratto del Rio Olte che attraversa il centro abitato di Baitoni Inferiore. A valle del ponte di via Frati l'alveo del corso d'acqua si presenta largo e ben incassato tra le protezione spondali realizzate a ridosso delle abitazioni.



6 – Viste del tratto del Rio Olte che attraversa il centro abitato di Baitoni Inferiore. L'attraversamento della S.P. 69 avviene in questo tratto con un ponte in cemento armato (larghezza maggiore $L = 5.67$ m, altezza $H = 3.1$ m).

tabella 2: Analisi delle principali sistemazioni esistenti lungo il Rio Olte.

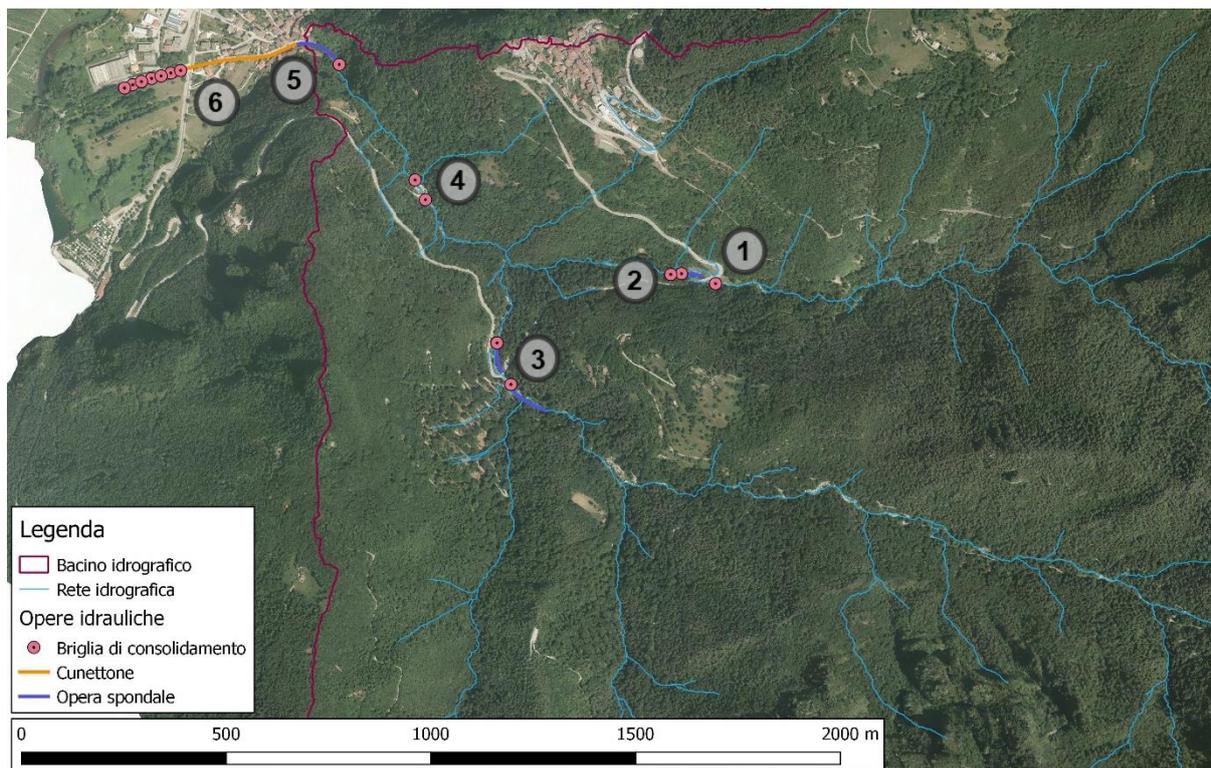


figura 13: Quadro generale delle opere di sistemazione idraulica presenti sul Rio Olte, raffigurate su ortofoto 2015.

2.1.2 Dati storici, analisi dei pericoli noti e dei dissesti

Dall'analisi della cartografia storica si può osservare come il tracciato del corso d'acqua nel tratto terminale che attraversa il centro abitato di Baitoni Inferiore, nonostante la realizzazione delle opere di sistemazione nel corso della metà del '900, ha mantenuto complessivamente lo stesso andamento mostrato nella carta del 1801 – 1805 (*Erste Landesaufnahme Tirol*). Solamente il tratto che allo stato di fatto si trova a valle della S.P.69 e l'immissione nel lago d'Idro sono stati lievemente spostati verso nordovest. Questa modifica nel tracciato si può osservare già nella carta del 1905 (*Militärkarte der südlichen Grenzgebiete Tirols*). Dalla carta del 1805 si può infine notare come all'epoca le zone edificate fossero rappresentate solo dal centro abitato di bondone e dal Castello di S. Giovanni. Le figure successive mostrano un confronto tra diverse carte storiche fino alla carta relativa allo stato attuale del territorio per il tratto del corso d'acqua in esame nel presente studio. Le carte che sono state estratte dal portale *Historische Karten Tirol* mostrano in particolare l'evoluzione del territorio a partire dal 1805. Le immagini raffigurano le carte: *Erste Landesaufnahme Tirol / Prima rilevazione nazionale del Tirolo* (1801 – 1805), *Militärkarte der südlichen Grenzgebiete Tirols / Carta militare delle zone del confine meridionale del Tirolo* (1905) e la carta allo stato di fatto.

Dalla consultazione dell'*Archivio Storico online degli Eventi Calamitosi della Provincia Autonoma di Trento (Progetto ARCA)* è emerso che in passato il Rio Olte è stato interessato da diversi fenomeni di alluvionamento torrentizio. Questi sono sintetizzati nella tabella seguente.

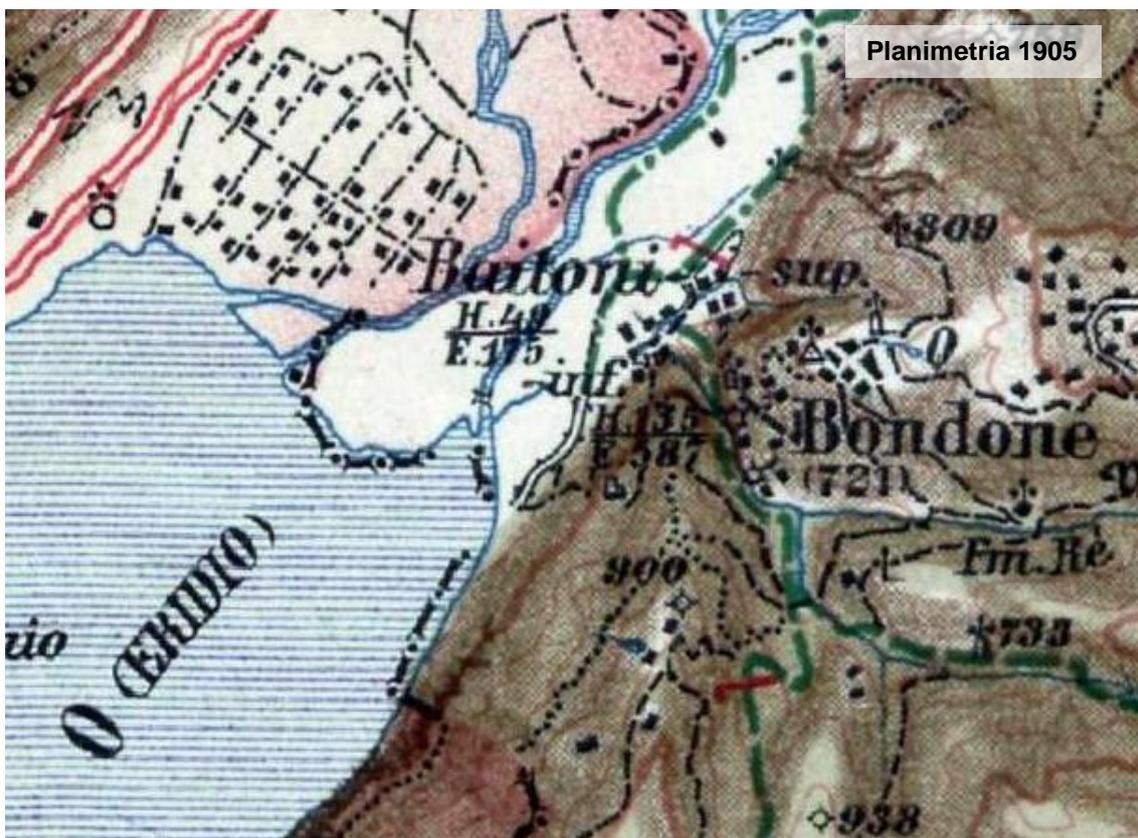


figura 14: Confronto tra la cartografia storica del 1805 (in alto) e del 1905 (in basso) nei pressi degli abitati di Bondone e di Baitoni (fonte: Historische Karten Tirol).



figura 15: Planimetria dello stato di fatto nei pressi degli abitati di Bondone e di Baitoni (fonte: Historische Karten Tirol).

In figura 16 si riportano alcune immagini fornite dai Vigili del Fuoco Volontari di Bondone che danno indicazione della piena del rio Olte avvenuta nel luglio 2017 a seguito di eventi temporaleschi.

| Torrente | Codice Evento | Tipo di Evento | Data | Zone colpite / Danni |
|--------------------------------|---------------|----------------|---------------|---|
| Rio Olte | 12919 | Alluvione | 1882 | Esondazione del corso d'acqua e allagamento delle campagne in località Camarella. |
| Rio Olte | | Alluvione | 18/09/1960 | Erosione spondale del tratto terminale del corso d'acqua. |
| Rio Olte (affluente Rio Valle) | 14657 | Alluvione | 02-03/09/1965 | Gravi danni alle sistemazioni idraulico-forestali ed erosioni di sponda nei pressi di Ponte Saltone. |
| Rio Olte | 14692 | Alluvione | 02-03/09/1965 | Gravi danni alle murature arginali per un tratto di circa 700 m presso l'abitato di Baitoni Inferiore. |
| Rio Olte | 15646 | Alluvione | 06/10/1993 | Gravi danni al ponte di via Frati in seguito a continue ed abbondanti precipitazioni che hanno provocato frane, smottamenti e l'ingrossamento dei torrenti. Il Rio Olte ha trasportato a valle una notevole quantità di materiale che ha ostruito il ponte. Lo sforzo trasmesso ha inoltre provocato delle lesioni tra le murature laterali e le spalle nonché delle fessurazioni all'esterno della trave di bordo. |
| Rio Olte | 15648 | Alluvione | 06/10/1993 | Gravi danni alla strada "Re Plaz Bondone" dove in loc. Re Plaz il Rio Olte ha provocato l'abbassamento del fondo alveo di alcuni metri mettendo a nudo un tratto di fondazione della muratura di sostegno della strada. |
| Rio Olte | | Piena | Autunno 2014 | Abbassamento del fondo dell'alveo e scalzamento degli argini nel tratto a monte del ponte di via Frati. |

tabella 3: Eventi storici di dissesto nel bacino del Rio Olte.



figura 16: Evento di piena del Rio Olte del luglio 2017 (fonte: Vigili del Fuoco Volontari di Bondone).

2.1.3 Analisi idrologica

Gli idrogrammi liquidi per il Rio Olte sono stati stimati attraverso l'applicazione del modello idrologico di trasformazione afflussi-deflussi *Peakflow* (Rigon et al., 2011), partendo dalle informazioni contenute nelle carte regionalizzate delle Linee Segnalatrici di Probabilità Pluviometrica (LSPP) fornite dalla Provincia Autonoma di Trento. Utilizzando il software AdB Toolbox, come indicato nel documento "Supporto alla Modellazione Idrologica" pubblicato dal Servizio Bacini Montani della PAT, sono stati stimati i parametri a ed n per il bacino di interesse da utilizzare poi nel modello idrologico *Peakflow*. Una breve descrizione del modello *Peakflow* è riportata nei capitoli introduttivi della presente relazione.

| Sottobacini | Rio Olte (bacino complessivo) | | | Rio Olte (sottobacino B) | | |
|--------------------------------------|-------------------------------|------|------|--------------------------|------|------|
| Area del bacino [km ²] | 9.78 | | | 4.35 | | |
| Perimetro del bacino [km] | 21.2 | | | 12.3 | | |
| Indice di compattezza C_f [-] | 1.90 | | | 1.65 | | |
| Quota (min., max., media) [m s.l.m.] | 379 | 1794 | 1115 | 580 | 1669 | 1071 |
| Pendenze (min., max., media) [°] | 0 | 88.3 | 42.3 | 0 | 88.3 | 46.7 |

tabella 4: Caratteristiche generali del Rio Olte e dei relativi bacini di alimentazione.

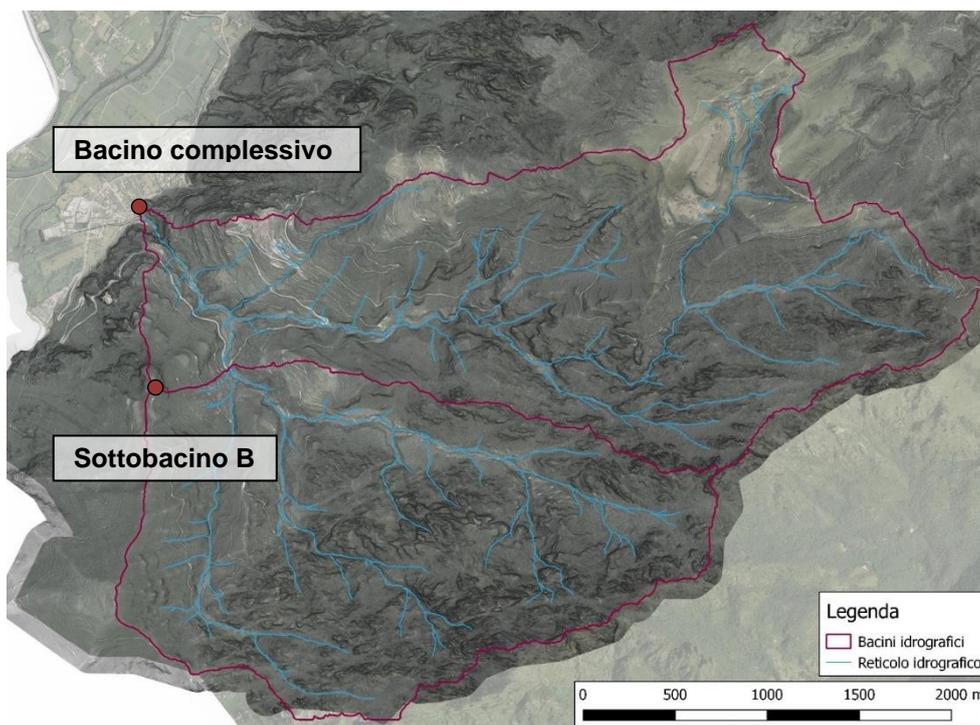


figura 17: Caratteristiche generali del Rio Olte e dei relativi bacini di alimentazione. Il bacino complessivo è estratto appena a valle del salto in roccia, in corrispondenza dell'apice del conoide dove sorge l'abitato di Baitoni Inferiore; il sottobacino B del Rio Olte è estratto invece in corrispondenza dell'attraversamento della S.P. 69 sull'affluente Rio Valle.

Gli idrogrammi liquidi sono stati stimati facendo riferimento a due diverse sezioni di chiusura del bacino idrografico. In tabella 5 sono riportati i valori assegnati ai parametri di input, mentre in tabella 6 sono riportati i parametri relativi alle linee segnalatrici di possibilità pluviometrica per i diversi tempi di ritorno.

| Parametri Peakflow | Valore |
|--|-----------------|
| % di saturazione | 18% - 20% - 25% |
| Velocità nel canale v_c [m/s] | 2 |
| Coeff. Diffusione idrodinamica D [m ² /s] | 100 |
| r_{sat} [-] | 10 |
| r_{unsat} [-] | - |

tabella 5: Parametri di input per il calcolo degli idrogrammi liquidi del bacino del Rio Olte attraverso il modello idrologico Peakflow.

| Rio Olte – $h_T(d) = \alpha_T \cdot d^n$ - WebBasin 2.0 | | | | | | | | | | |
|---|------|------|------|------|------|------|------|------|------------------------------|-------|
| Tempo di ritorno (anni) | | | | | | | | | Durata di precipitazione (h) | |
| α_T | | | | | | | | | n | |
| 2 | 5 | 10 | 20 | 30 | 50 | 100 | 200 | 300 | < 1h | > 1h |
| 22.6 | 30.3 | 35.4 | 40.2 | 43.0 | 46.5 | 51.2 | 55.9 | 58.7 | 0.366 | 0.340 |

tabella 6: Parametri delle LSPP per i diversi tempi di ritorno per precipitazioni di durata superiore ed inferiore ad 1 ora stimati con il software AdB Toolbox.

Nelle figure seguenti sono riportati gli idrogrammi liquidi calcolati con il modello *Peakflow* per i due bacini considerati per il Rio Olte per i diversi tempi di ritorno delle precipitazioni (30, 100, e 200 anni), mentre nelle tabelle sono sintetizzate le caratteristiche principali degli idrogrammi liquidi, con indicazione della portata massima Q_{max} , portata massima specifica Q_{max}/A , volume liquido nell'onda di piena V_{piena} , intensità e durata critica della precipitazione (I_{crit} , d_{crit} - i.e., valori che massimizzano il picco di piena) e rapporto tra il volume della piena ed il volume di pioggia r_V .

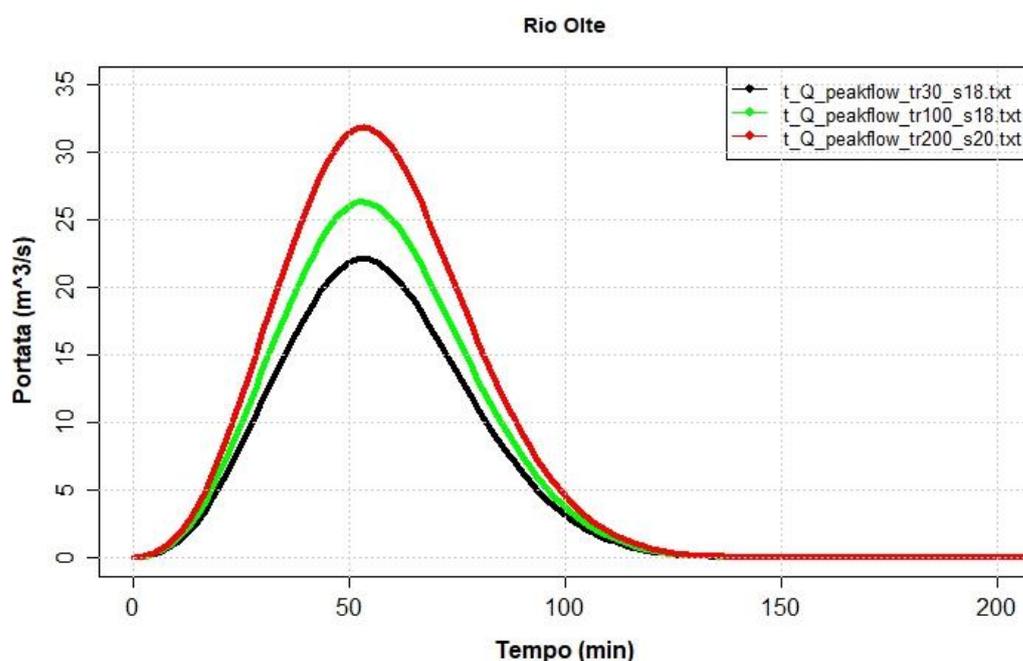


figura 18: Idrogrammi liquidi per i diversi tempi di ritorno delle precipitazioni per il bacino sotteso al rio Olte, estratto all'apice del conoide dove sorge l'abitato di Baitoni Inferiore.

| Simbolo | Unità | Sat18% | Sat18% | Sat20% |
|---------------|------------------------------------|--------|--------|--------|
| | | 30 | 100 | 200 |
| Q_{max} | m ³ /s | 22.15 | 26.38 | 31.88 |
| Q_{max}/A | m ³ /km ² •s | 2.27 | 2.70 | 3.26 |
| V_{piena} | m ³ | 70672 | 84161 | 101634 |
| I_{crit} | mm/h | 55 | 66 | 72 |
| d_{crit} | h | 0.67 | 0.67 | 0.67 |
| $V_{pioggia}$ | m ³ | 363950 | 433415 | 473021 |
| r_V | - | 0.19 | 0.19 | 0.21 |

tabella 7: Parametri riassuntivi delle simulazioni idrologiche. Bacino sotteso al Rio Olte, estratto all'apice del conoide dove sorge l'abitato di Baitoni Inferiore. Diff100, $v = 2.0$ m/s.

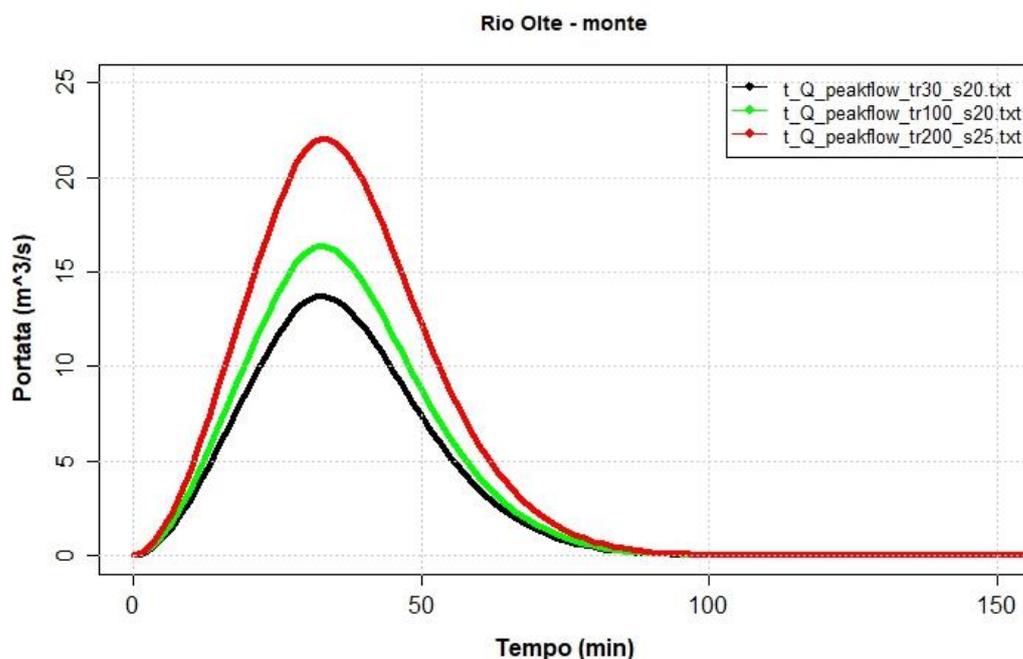


figura 19: Idrogrammi liquidi per i diversi tempi di ritorno delle precipitazioni per il bacino sotteso al Rio Olte, estratto in corrispondenza dell'attraversamento della S.P. 69 sull'affluente Rio Valle.

| Simbolo | Unità | Sat20% | Sat20% | Sat25% |
|---------------|--------------|--------|--------|--------|
| | | 30 | 100 | 200 |
| Q_{max} | m^3/s | 13.73 | 16.35 | 22.08 |
| Q_{max}/A | m^3/km^2*s | 3.15 | 3.76 | 5.07 |
| V_{piena} | m^3 | 29961 | 35679 | 48396 |
| I_{crit} | mm/h | 71 | 84 | 91 |
| d_{crit} | h | 0.46 | 0.46 | 0.46 |
| $V_{pioggia}$ | m^3 | 140720 | 167578 | 183271 |
| r_v | - | 0.21 | 0.21 | 0.26 |

tabella 8: Parametri riassuntivi delle simulazioni idrologiche. Bacino sotteso al Rio Olte, estratto in corrispondenza dell'attraversamento della S.P. 69 sull'affluente Rio Valle. Diff100, $v = 2.0$ m/s.

2.1.4 Stima dell'apporto solido e definizione del processo

La figura 20 riporta la suddivisione in tratti omogenei del reticolo idrografico principale del Rio Olte su ortofoto 2015. Dall'analisi di questa mappa, supportata dall'analisi del DTM e dalle informazioni raccolte in campo, sono state identificate delle aree caratterizzate da elevate acclività e direttamente connesse alle aste torrentizie che possono considerarsi aree sorgente di sedimento disponibile per eventuali fenomeni di trasporto di materiale solido. In tabella 9 vengono riportati i valori degli elementi distintivi di ogni tratto, con la stima del volume di sedimento disponibile V_{sed} per l'asta torrentizia. Considerata l'ampia ramificazione del reticolo idrografico del Rio Olte, la stima del materiale solido è stata effettuata considerando in primo luogo le ramificazioni principali del corso d'acqua, in modo da valutare un ordine di grandezza di riferimento.

| Tratto | Pendenza [%] | Lunghezza [m] | Larghezza [m] | Apporto minimo [m ³ /m] | Volume alveo minimo [m ³] | Apporto massimo [m ³ /m] | Volume alveo massimo [m ³] | Apporti laterali [m ³] | Volume totale massimo [m ³] |
|--------|--------------|---------------|---------------|------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------|--|------------------------------------|---|
| 1 | 55 | 740 | 2.0 | 2.0 | 1480 | 3.0 | 2220 | - | 2220 |
| 2 | 29 | 540 | 5.0 | 3.0 | 1620 | 6.0 | 3240 | - | 3240 |
| 3 | 26 | 580 | 5.0 | 3.0 | 1740 | 6.0 | 3480 | - | 3480 |
| 4 | 13 | 1060 | 6.0 | 2.5 | 2650 | 4.5 | 4770 | 12005 | 16775 |
| 5 | 21 | 160 | 5.0 | 2.5 | 400 | 5.0 | 800 | 982 | 1782 |
| 6 | 13 | 500 | 8.0 | 2.0 | 1000 | 4.0 | 2000 | - | 2000 |
| 7 | 48 | 170 | 5.0 | 0.0 | 0 | 0.5 | 85 | - | 85 |
| 8 | 33 | 400 | 3.0 | 2.0 | 800 | 3.5 | 1400 | - | 1400 |
| 9 | 20 | 900 | 4.0 | 3.0 | 2700 | 6.0 | 5400 | 5905 | 11305 |
| 10 | 18 | 825 | 4.5 | 2.5 | 2063 | 5.5 | 4538 | 6015 | 10553 |
| 11 | 16 | 125 | 6.0 | 0.5 | 63 | 1.5 | 188 | - | 188 |
| 12 | 15 | 230 | 5.0 | 5.0 | 1150 | 7.5 | 1725 | - | 1725 |
| 13 | 46 | 730 | 2.0 | 1.5 | 1095 | 2.5 | 1825 | - | 1825 |
| 14 | 18 | 770 | 4.0 | 3.0 | 2310 | 6.0 | 4620 | - | 4620 |
| 15 | 32 | 1015 | 3.5 | 1.0 | 1015 | 2.0 | 2030 | - | 2030 |
| 16 | 15 | 770 | 2.0 | 1.0 | 770 | 2.5 | 1925 | - | 1925 |
| 17 | 21 | 620 | 2.0 | 1.0 | 620 | 2.0 | 1240 | - | 1240 |
| 18 | 32 | 1205 | 3.0 | 3.0 | 3615 | 6.0 | 7230 | - | 7230 |
| 19 | 69 | 475 | 1.5 | 0.5 | 238 | 1.0 | 475 | - | 475 |
| 20 | 51 | 280 | 3.0 | 3.0 | 840 | 6.0 | 1680 | - | 1680 |
| 21 | 38 | 280 | 3.0 | 0.8 | 280 | 2.5 | 700 | - | 700 |
| 22 | 25 | 858 | 5.0 | 5.0 | 4300 | 10.0 | 8600 | 10645 | 19245 |
| 23 | 46 | 470 | 2.5 | 2.5 | 1175 | 5.0 | 2350 | - | 2350 |
| 24 | 23 | 590 | 3.0 | 2.5 | 1475 | 4.5 | 2655 | - | 2655 |
| 25 | 17 | 340 | 3.0 | 2.5 | 850 | 4.5 | 1530 | - | 1530 |
| 26 | 32 | 230 | 3.0 | 1.5 | 345 | 3.0 | 690 | - | 690 |
| 27 | 28 | 435 | 4.0 | 3.0 | 1305 | 8.0 | 3480 | - | 3480 |
| TOTALE | | 15300 | | | 35900 | | 70875 | 35550 | 106430 |

tabella 9: Suddivisione in tratti omogenei del reticolo idrografico del Rio Olte. Stima del volume di materiale solido disponibile ad essere mobilitato dalla corrente

L'ampia ramificazione del reticolo idrografico del Rio Olte e la diffusione di dissesti localizzati lungo il corso d'acqua rende difficile una stima accurata del volume totale mobilizzabile dal corso d'acqua. Considerate comunque le valutazioni fatte per i rami principali del corso d'acqua e le zone in erosione identificate dalle analisi svolte, si stima che all'interno del bacino idrografico sia presente un volume di materiale solido disponibile ad essere venire preso in carico dalla corrente del Rio Olte superiore a 100000 mc.

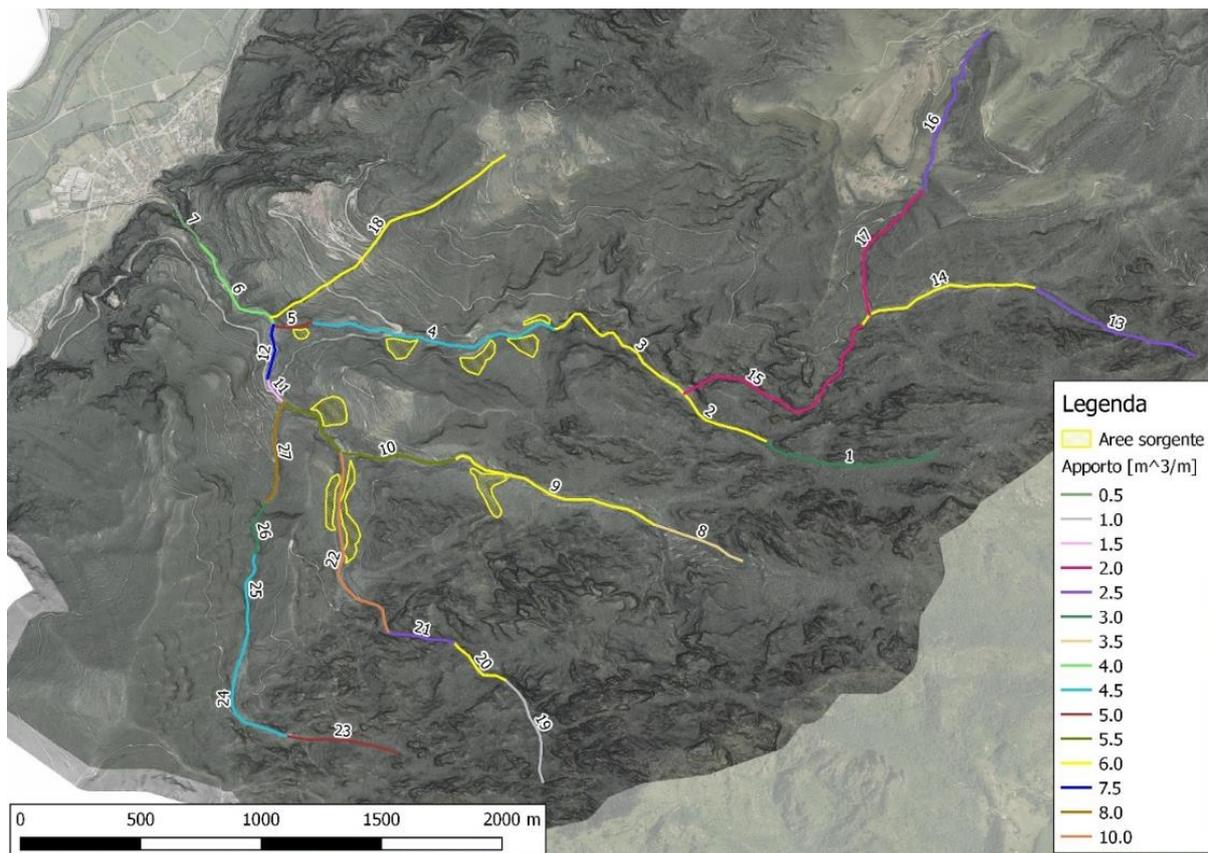


figura 20: Suddivisione del reticolo idrografico del Rio Olte in tratti omogenei. La carta riporta anche le aree sorgente di sedimento considerate per la stima degli apporti localizzati.

2.1.5 Relazione idraulica

2.1.5.1 Considerazioni modellistiche e definizione degli scenari di pericolo assunti

Le modellazioni idrauliche sono state svolte per i tre scenari ordinari (eventi con tempo di ritorno di 30, 100 e 200 anni) considerando non ostruiti entrambi i ponti presenti nel tratto analizzato (ponte di via Frati e ponte della S.P.69). È stato infine analizzato uno scenario di pericolosità residua nel quale è stato studiato un evento con tempo di ritorno maggiore di 200 anni e nel quale si considera la possibilità di completa ostruzione del ponte di via Frati.

2.1.5.2 Dominio computazionale

In figura 21 è riportato il dominio di calcolo utilizzato nelle modellazioni effettuate per le verifiche idrauliche del Rio Olte con il software BASEMENT. Il dominio è costituito da elementi triangolari con dimensione massima delle celle variabile da 0.25 m² (zone all'interno dell'alveo del Rio Olte) a 10 m² e 20 m² (zone più distanti dal corso d'acqua). Per quanto riguarda i coefficienti di scabrezza, sono stati assegnati i seguenti valori dei coefficienti di scabrezza di Strickler: 25 m^{1/3}s⁻¹ per l'alveo e le sponde del Rio Olte, 20 m^{1/3}s⁻¹ per le aree prative e con uso seminativo, 25 m^{1/3}s⁻¹ per le aree urbanizzate e 50 m^{1/3}s⁻¹ per le strade. All'interno del dominio di calcolo è stato inoltre inserito l'ingombro degli edifici. Le quote assegnate alle maglie di calcolo sono state interpolate a partire dal modello digitale del terreno

con una risoluzione di 0.5 m (LiDAR 2014) fornito dalla Provincia Autonoma di Trento. Nello scenario di ostruzione del ponte di via Frati il DTM originario è stato modificato inserendo l'ostruzione del ponte.

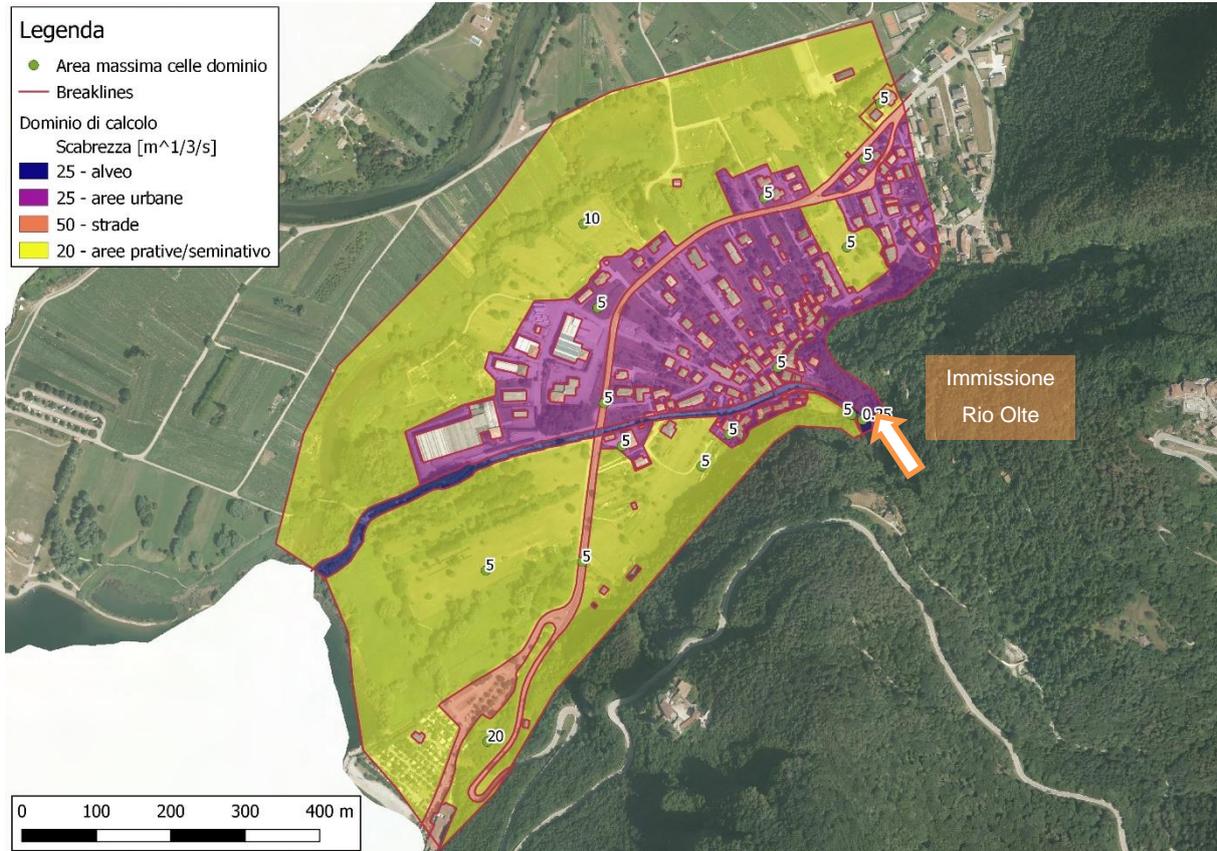


figura 21: Dominio computazionale per le modellazioni idrauliche effettuate con il software BASEMENT. Le linee delimitano i diversi settori caratterizzati da diversi valori di dimensione delle maglie (indicati dai punti verdi e dai corrispondenti valori numerici), di scabrezza o da discontinuità altimetriche. Condizioni al contorno e parametri di input per le simulazioni idrauliche

Gli idrogrammi liquidi assegnati in ingresso sono quelli che derivano dalle modellazioni idrologiche per eventi con tempi di ritorno pari a 30, 100 e 200 anni assegnando delle percentuali di saturazione del bacino pari al 18% per gli eventi con tempo di ritorno di 30 e 100 anni e del 20% per gli eventi con T_{R200} .

In tabella 10 sono riportati i dati di sintesi degli idrogrammi e dei sedimentogrammi assegnati in ingresso alle modellazioni idrauliche del Rio Olte: concentrazione volumetrica della frazione solida c , fattore di amplificazione della portata liquida $F_b = 1/(1 - c/c^*)$, volume del sedimento compreso dei suoi pori $V_{sed} = V_S + V_W$, e volume della frazione solida V_S . Dal confronto tra la tabella 10 con la tabella 9 si evince che il volume solido disponibile è maggiore rispetto al volume solido teoricamente trasportabile in condizioni di equilibrio. I sedimentogrammi di input vengono pertanto stimati considerando le condizioni di equilibrio.

Il sedimentogramma assegnato in ingresso alle modellazioni idrauliche svolte per l'analisi dello scenario di pericolo residuo è rappresentato in figura 22. In figura 23 sono invece riportati gli idrogrammi della

mistura acqua-sedimenti utilizzati come dato di input per le simulazioni idrauliche degli scenari di pericolosità ordinaria del Rio Olte.

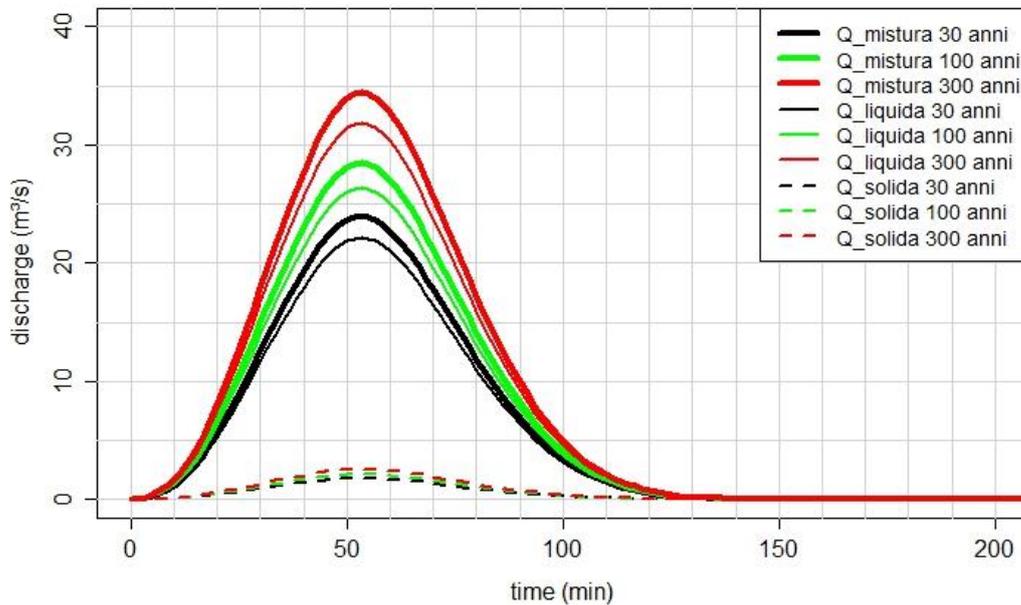


figura 22: Idrogrammi della mistura solido-liquida utilizzati come dati di input nelle simulazioni idrauliche del Rio Olte svolte con il software BASEMENT.

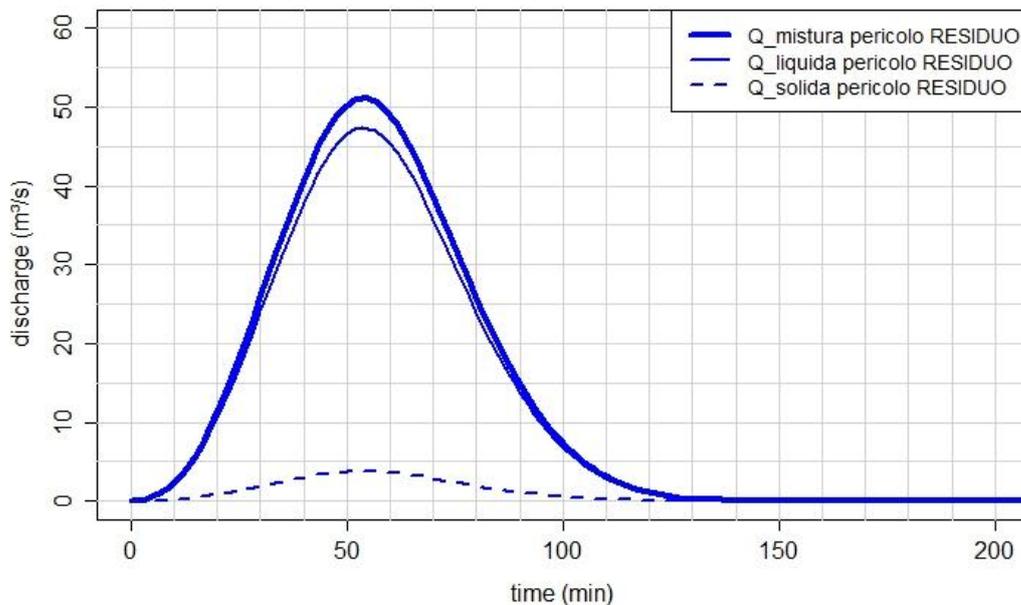


figura 23: Idrogrammi della mistura solido-liquida utilizzati come dati di input nelle simulazioni idrauliche del Rio Olte svolte con il software BASEMENT considerando un evento critico residuo (tempo di ritorno superiore a 200 anni).

| Rio Olte (Area = 9.78 km ²) | | | | | | |
|---|--|--------------------|--------------------------------------|---|------------------------------------|----------------------------------|
| Evento | Condizioni di equilibrio (i _F = 0.11) | | | | | |
| | c [-] | F _b [-] | Q _{max} [m ³ /s] | Q _{max} /A [m ³ s ⁻¹ km ⁻²] | V _{sed} [m ³] | V _s [m ³] |
| T _R 30 | 0.05 | 1.08 | 23.92 | 2.45 | 5650 | 3675 |
| T _R 100 | 0.05 | 1.08 | 28.48 | 2.91 | 6695 | 4350 |
| T _R 300 | 0.05 | 1.08 | 34.39 | 3.52 | 8030 | 5220 |
| Pericolo Residuo – condizioni di equilibrio (i _F = 0.11) | | | | | | |
| Residuo | 0.05 | 1.08 | 51.04 | 5.22 | 11650 | 7575 |

tabella 10: Dati di sintesi degli idrogrammi di mistura assegnati in ingresso alle modellazioni idrauliche del Rio Olte svolte con il software BASEMENT.

2.1.5.3 Risultati delle simulazioni idrauliche

Nelle figure seguenti sono riportate le mappe delle variabili idrauliche risultanti dalle modellazioni idrauliche svolte per il Rio Olte con il software BASEMENT (massimi valori di tirante e di velocità) per eventi di alluvionamento torrentizio caratterizzati da tempi di ritorno di 30, 100 e 200 anni, e per lo scenario di pericolo residuo.

Dall'analisi dei risultati si può osservare che la sezione trasversale del corso d'acqua nel primo tratto compreso tra la zona a valle della cascata e l'inizio del tratto rettilineo sistemato a cunettone a monte della S.P. 69 è sufficiente a fare transitare l'intera portata di piena nei tre eventi ordinari considerati (30, 100 e 200 anni). Da qui al ponte della S.P.69 la sezione del cunettone si presenta più stretta rispetto al tratto a monte e non è sufficiente a fare transitare la portata di eventi con tempo di ritorno pari a 100 anni. Il Rio Olte in questo tratto esonda in sponda sinistra all'altezza circa della p.ed. 485, C.C. Bondone. L'esondazione interessa gli edifici ubicati sulle p.ed. 485, 467 e 468 per venti con tempo di ritorno di 100 anni e per eventi più intensi si estende all'interno delle aree prative che si trovano a monte della S.P. 69. A valle del ponte della S.P. 69, a causa della graduale riduzione della profondità della sezione idraulica e della pendenza del corso d'acqua, il Rio Olte fuoriesce dal suo alveo già per eventi molto frequenti (caratterizzati da tempo di ritorno di 30 anni) a partire dal tratto a valle della quarta briglia di consolidamento. L'esondazione avviene in misura molto maggiore in sponda sinistra che in diversi punti si presenta ribassata rispetto alla sponda destra. Le acque di divagazione in sinistra vanno ad allagare le aree prative per poi immettersi nel lago d'Idro. In sponda destra invece i deflussi discendono la strada asfaltata in località Biotopo Lago d'Idro per poi discendere verso l'alveo del Rio Laf. Per eventi con tempo di ritorno di 30 anni le acque di esondazione interessano marginalmente il capannone sito sulla p.ed. 344. Con l'aumentare del tempo di ritorno e dell'intensità degli eventi il capannone viene raggiunto da maggiori quantità d'acqua che circondano l'edificio con tiranti massimi lungo il lato sud, che è quello maggiormente esposto all'alluvionamento, che non superano i 20 cm.

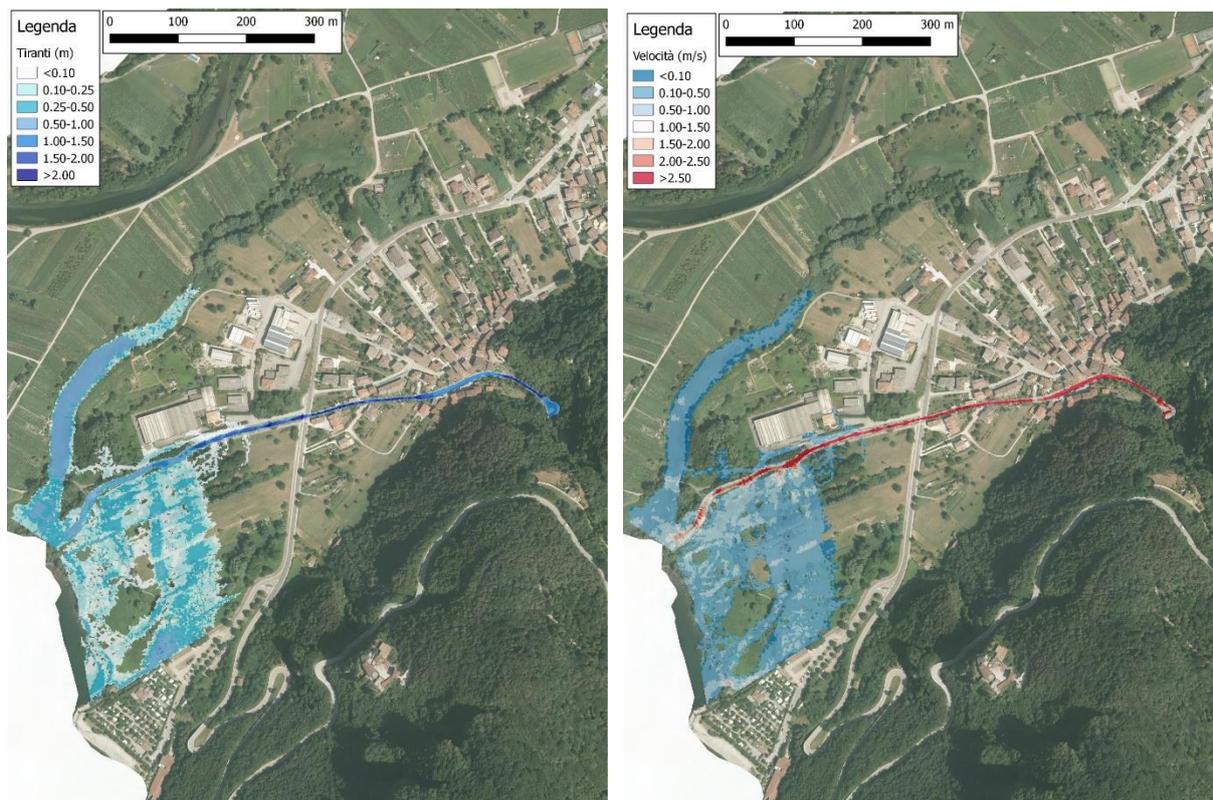


figura 24: Tiranti massimi (a sinistra) e velocità massime (a destra) risultanti dalle simulazioni del Rio Olte effettuate con il software BASEMENT per l'evento con tempo di ritorno di 30 anni.

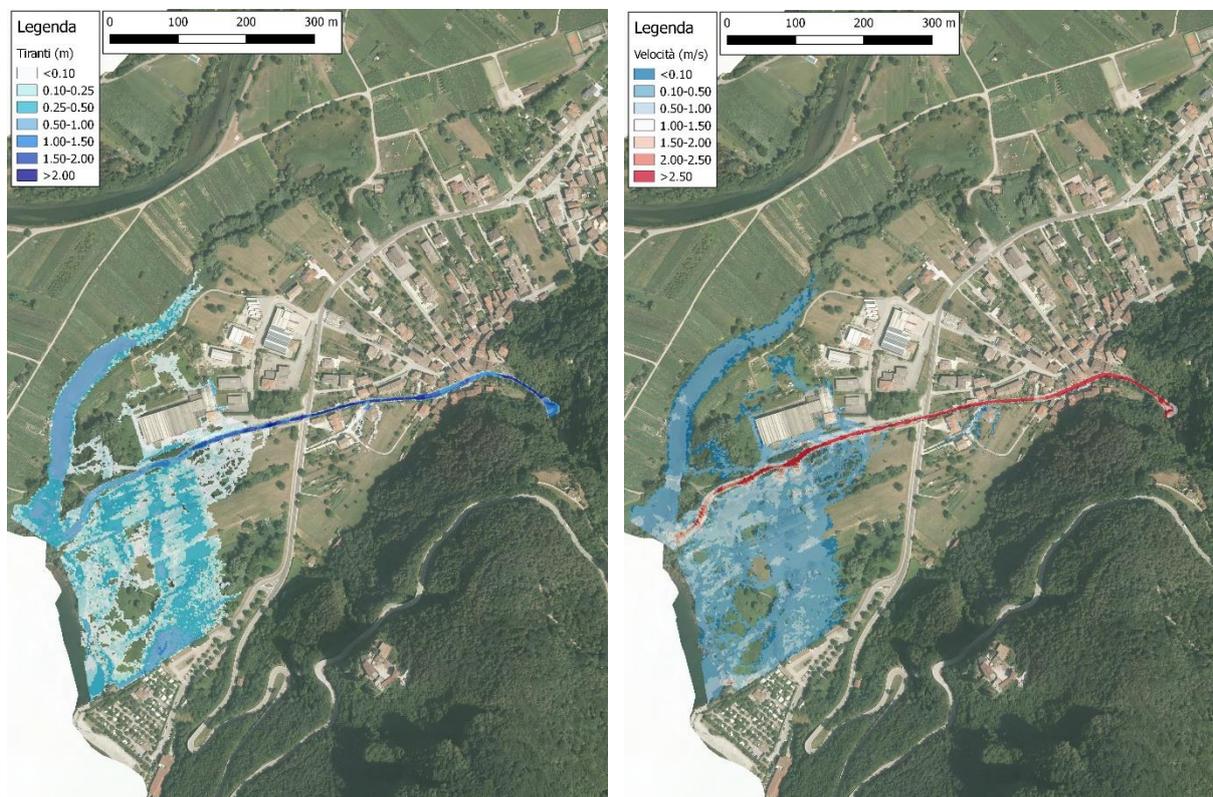


figura 25: Tiranti massimi (a sinistra) e velocità massime (a destra) risultanti dalle simulazioni del Rio Olte effettuate con il software BASEMENT per l'evento con tempo di ritorno di 100 anni.

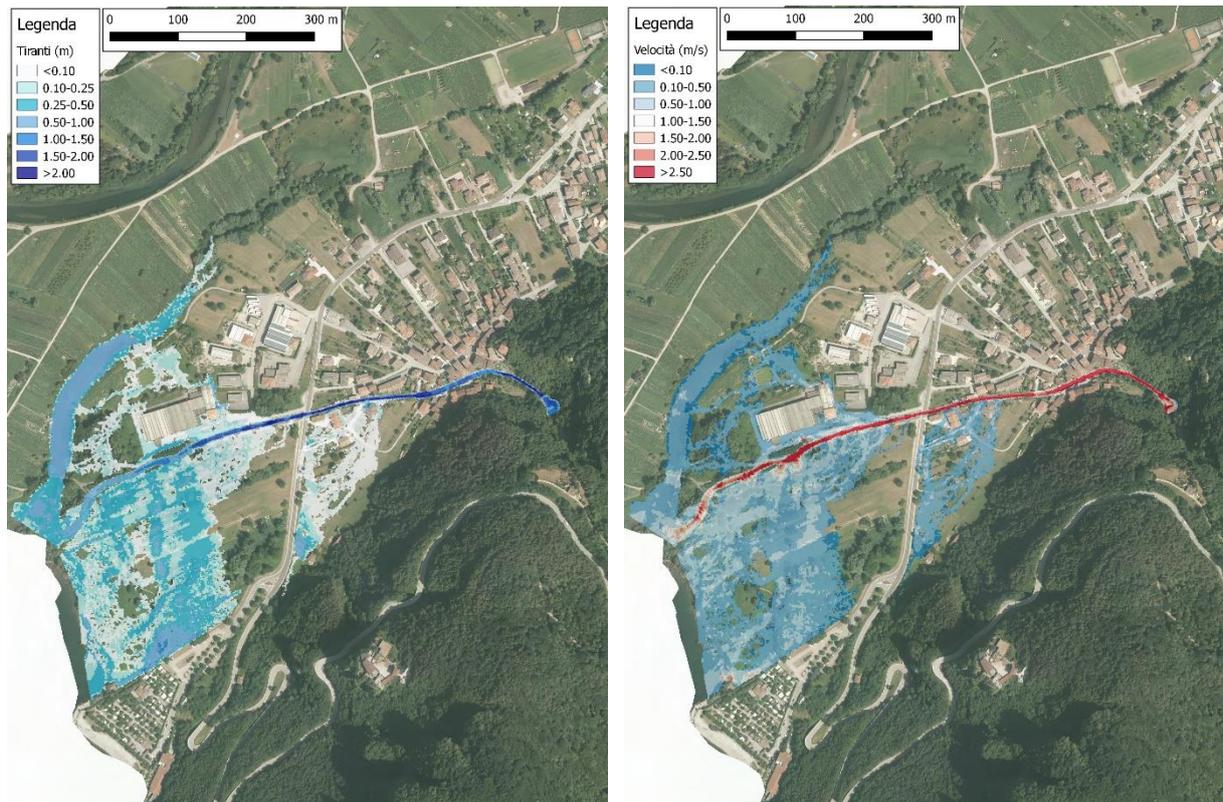


figura 26: Tiranti massimi (a sinistra) e velocità massime (a destra) risultanti dalle simulazioni del Rio Olte effettuate con il software BASEMENT per l'evento con tempo di ritorno di 200 anni.

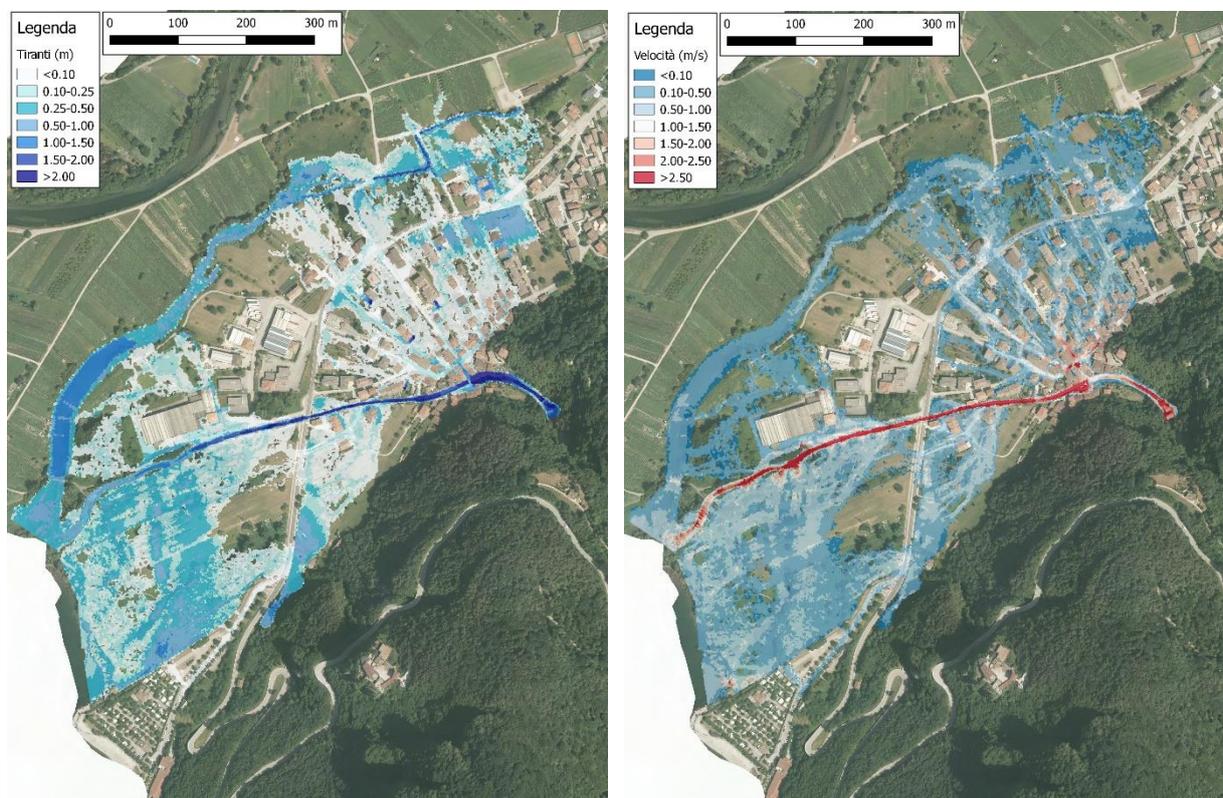


figura 27: Tiranti massimi (a sinistra) e velocità massime (a destra) risultanti dalle simulazioni del Rio Olte effettuate con il software BASEMENT per l'evento di pericolo residuo ($T_R > 200$ anni).

I risultati dello scenario di pericolosità residua analizzato che considera l'ostruzione del ponte di via Frati mostrano che questa andrebbe a bloccare la piena del corso d'acqua che andrebbe a riversarsi in parte nel centro edificato determinando l'allagamento di gran parte delle aree edificate di Baitoni Inferiore. Le acque di divagazione discenderebbero poi oltre la S.P. 69 per riversarsi infine nella fossa del Rio Laf. L'esondazione in sinistra idrografica in corrispondenza del ponte viene invece contenuta dagli edifici presenti che portano i deflussi a confluire nuovamente nell'alveo del Rio Olte. Anche in questo scenario il Rio Olte esonda nel tratto di cunettone a monte dell'attraversamento della S.P.69. A differenza degli scenari ordinari, l'esondazione in questo tratto si verifica anche in destra idrografica. A valle della S.P. 69 l'allagamento delle zone prative si presenta più esteso e con tiranti più elevati.

2.1.6 Valutazione del pericolo per fenomeni di natura idraulica

Nel presente paragrafo sono definiti i livelli di pericolosità del fenomeno idraulico in funzione dei livelli di intensità e probabilità che caratterizzano i fenomeni studiati per il Rio Olte. Le informazioni riguardanti la modalità di classificazione della pericolosità per i fenomeni di natura idraulica, eseguita secondo i criteri contenuti nella Delibera 4 Settembre 2020, n. 1306 "Criteri e metodologia per la redazione e l'aggiornamento delle carte della pericolosità (art. 10, comma 5, l. p. 1 luglio 2011, n. 9)".

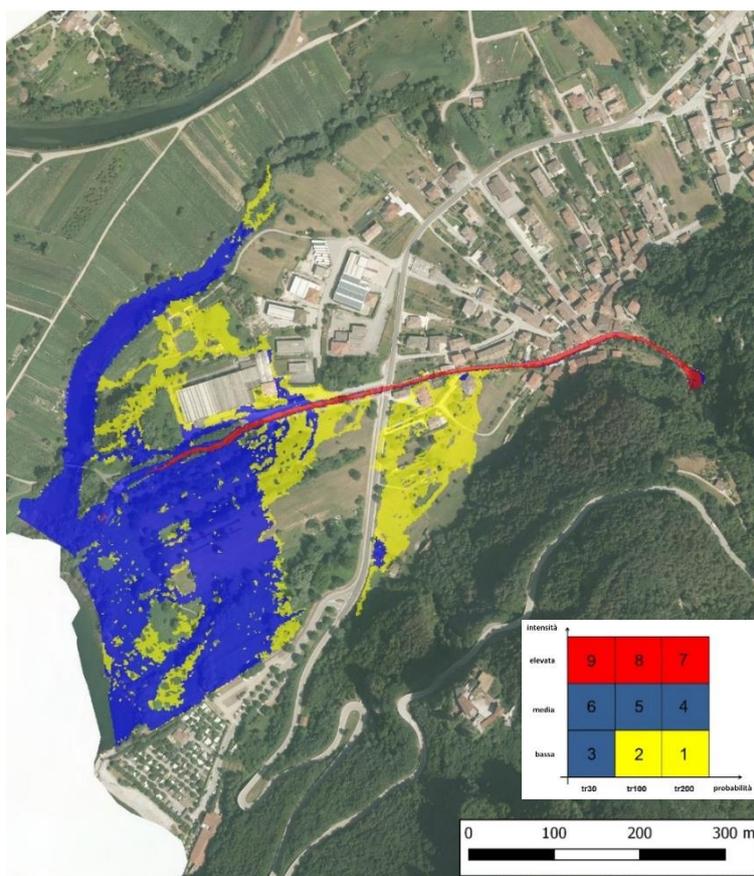


figura 28: Carta "analitica" del pericolo idraulico derivante dall'applicazione della matrice di Buwal sui risultati delle modellazioni idrauliche svolte con il software BASEMENT. Alle classi dubbie (indice 2 e 6) sono stati assegnati i colori dei livelli di pericolo più bassi, ovvero colore giallo e blu. Classificazione considerando i valori soglia per inondazioni da piena.

In figura 29 sono mostrate le carte della pericolosità idraulica ottenute attraverso l'applicazione della matrice di interazione tipo quella di BUWAL (1998) (riportata nella legenda delle figure stesse) alle carte dei risultati in termini di massimi tiranti e velocità calcolati per eventi con tempo di ritorno di 30, 100 e 200 anni.

I risultati delle simulazioni idrauliche e la carta del pericolo analitico che ne è derivata sono stati quindi rielaborati nella carta definitiva del pericolo in modo da tenere conto di eventuali discontinuità topografiche o di altri elementi che, per motivi di risoluzione o di limiti dei modelli, non possono venire ben rappresentati nelle modellazioni idrauliche, ma che possono però influenzare le direzioni di deflusso.

Si aggiunge che la zonazione definitiva della pericolosità è strettamente vincolata alle opere attualmente esistenti ed alla configurazione topografica attuale. Variazioni apportate alla geometria delle opere ed alla configurazione topografica potrebbero determinare delle variazioni anche nella zonazione del pericolo. In figura 29 è riportata la zonazione definitiva del pericolo idraulico – pericolosità torrentizia per il Rio Olte, classificata secondo il livello di pericolosità ordinaria (H2 – pericolo basso, H3 – pericolo medio, H4 – pericolo elevato) e secondo il livello di pericolosità straordinaria (HR2 – pericolo residuo basso, HR3 – pericolo residuo medio, HR4 – pericolo residuo elevato). In figura 30 è invece riportata la zonazione classificata secondo le classi di penalità.

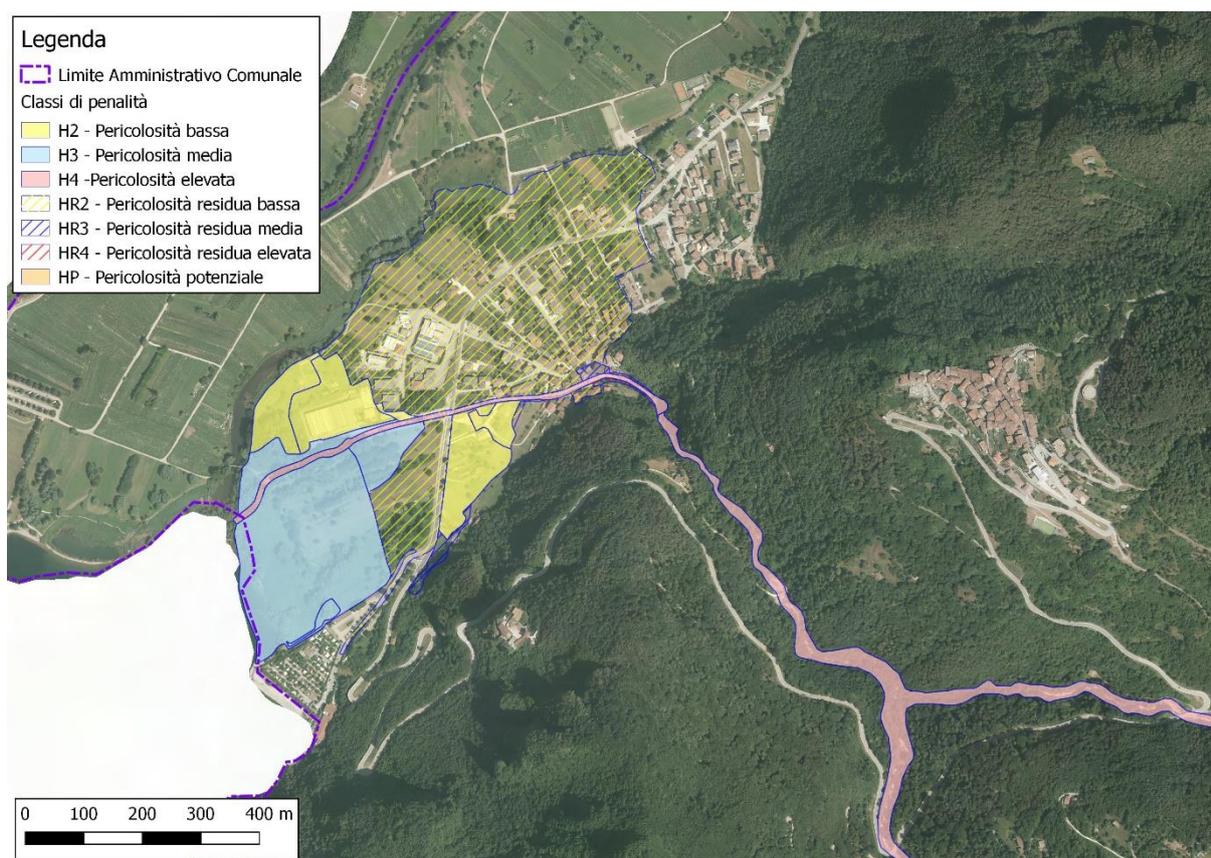


figura 29: Zonazione definitiva della carta delle pericolosità alluvionali torrentizie per il Rio Olte all'interno del territorio comunale di Bondone.

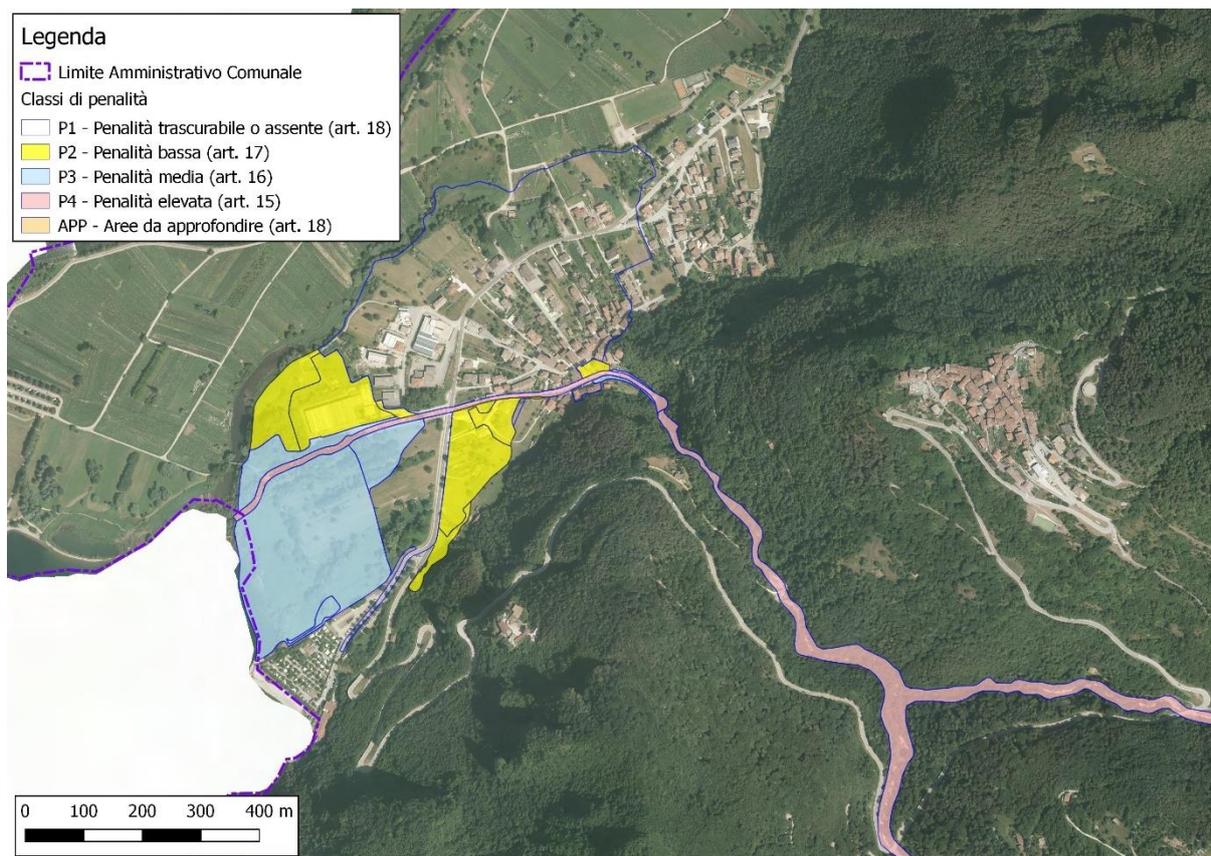


figura 30: Carta delle penalità alluvionali torrentizie per il Rio Olte all'interno del territorio comunale di Bondone.

2.2 Valutazione del pericolo idraulico lacuale per il Lago d'Idro

Le zone del pericolo riportate nella CSP legate ai fenomeni di alluvionamento del Lago d'Idro sono state perimetrate considerando i massimi livelli del lago stimati nello studio idraulico "Relazione idrologica ed idraulica per l'individuazione degli effetti di rigurgito sui fiumi Chiese e Caffaro a monte del lago d'Idro" svolto nell'ambito del progetto "Nuove opere di regolazione per la messa in sicurezza del lago d'Idro" svolto dalla Regione Lombardia nel 2014 e precisamente pari a :

- **370.07 m s.l.m.** per lo scenario di **pericolosità ordinaria** derivante da un evento con tempo di ritorno di 200 anni senza svasso preventivo del lago;
- **371.23 m s.l.m.** per lo scenario di **pericolosità residua** derivante da un evento con tempo di ritorno di 1000 anni senza svasso preventivo del lago.

2.2.1 La regolazione del lago d'Idro allo stato di fatto

Attualmente, le opere di regolazione del livello del lago di Idro sono costituite da (figura 31):

- a) Una traversa di sbarramento con paratoie mobili;
- b) Uno scarico di fondo denominato "galleria degli agricoltori";
- c) Una derivazione idroelettrica della centrale ENEL di Vobarno.

Società ITINERA S.p.a., ma l'iter di progettazione si è fermato per una serie di criticità con il passaggio finale di competenza del progetto dalla Regione Lombardia all'Agenzia Interregionale per il Fiume Po (AIPO). Nel novembre 2021 l'AIPO ha indetto una gara per la revisione e l'adeguamento del progetto esecutivo sotto il profilo tecnico ed economico.

Dal momento che il progetto delle nuove opere non è ancora stato realizzato e le attuali opere idrauliche di regolazione si presentano in condizioni precarie, la quota di massima regolazione del lago è oggetto di una limitazione imposta dal Ministero delle Infrastrutture – Ufficio Dighe di Milano. In particolare, la quota di massima regolazione del lago è limitata a 368.50 metri (quota riferite all'idrometro di Idro, corrispondente a 366.50 m s.l.m. del sistema IGM – sistema di riferimento WGS84): questo vincolo alla regolazione, imposto per tutelare la pubblica incolumità, non può essere modificato fino alla realizzazione delle nuove opere di regolazione per la messa in sicurezza del lago. L'attuazione della pianificazione regionale in materia di usi e tutela delle acque, inoltre, prevede il rilascio del Deflusso Minimo Vitale (DMV) per garantire la continuità idraulica del fiume Chiese sublacuale. La quota minima che consente di garantire il DMV (pari a 2.5 m³/s) nel Chiese a valle della traversa, è 367.20 m (quota riferita all'idrometro di Idro, corrispondente a 365.20 m s.l.m. del sistema IGM – sistema di riferimento WGS84).

La regolazione del lago può pertanto essere effettuata entro un'escursione massima di 1.30 m. Per questo i Comuni e la Regione Lombardia, in attesa della realizzazione delle nuove opere di regolazione oggetto dell'accordo di programma (art. 6), hanno concordato che **la regolazione del lago deve essere compresa tra quota 365.20 m s.l.m.** (livello minimo a cui corrisponde l'erogazione del DMV nel Chiese sublacuale) **e quota 366.50 m s.l.m.** (livello massimo autorizzato dall'Ufficio Dighe di Milano con le opere attuali).

2.2.2 Analisi idraulica del lago

L'analisi idraulica del lago è stata condotta al fine di determinare i massimi valori del livello del lago che, relativamente all'attuale configurazione degli organi di regolazione (stato di fatto), possono instaurarsi in occasione di eventi di piena. In ottemperanza alle indicazioni fornite nella delibera della Giunta Provinciale di Trento n. 2759/2006 e della più recente n.1306/2020, l'analisi idraulica del lago è stata condotta facendo riferimento ad onde di piena in ingresso al lago caratterizzate da tempi di ritorno $T_R = 30, 100$ e 200 anni.

Idrogrammi in ingresso: si è fatto riferimento agli idrogrammi sintetici calcolati nel 2006 dal Prof. Ing. Luigi Natale nello *“Studio della capacità di laminazione delle piene del lago di Idro”* commissionati dal *Consorzio del Chiese di Bonifica di Secondo Grado*. In tale studio è stata condotta un'analisi statistica per la definizione degli idrogrammi sintetici in entrata al lago al variare del tempo di ritorno.

Il Prof. Natale nello studio effettuato ha ricavato due diversi set di idrogrammi per gli eventi di piena considerati: uno a singolo colmo ottenuto imponendo la forma dell'idrogramma di piena, il valore della portata al colmo ed il volume dell'onda di piena ed un altro dedotto dalla piena a doppio colmo del 1977 che è stato valutato assegnando questa volta il volume di deflusso (anziché la portata al colmo) a determinati tempi di ritorno. Nelle immagini seguenti vengono riportati gli idrogrammi ricavati nello studio del Prof. Natale.

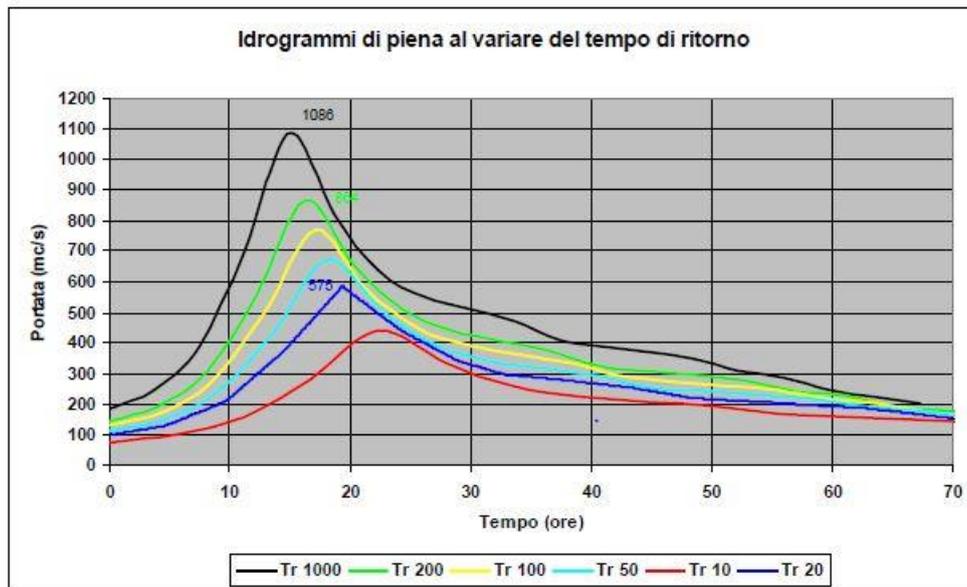


figura 32: Onde di Piena con massimizzazione della portata al colmo per diversi tempi di ritorno – fonte: Studio della capacità di laminazione delle piene del lago di Idro – Prof. Natale.

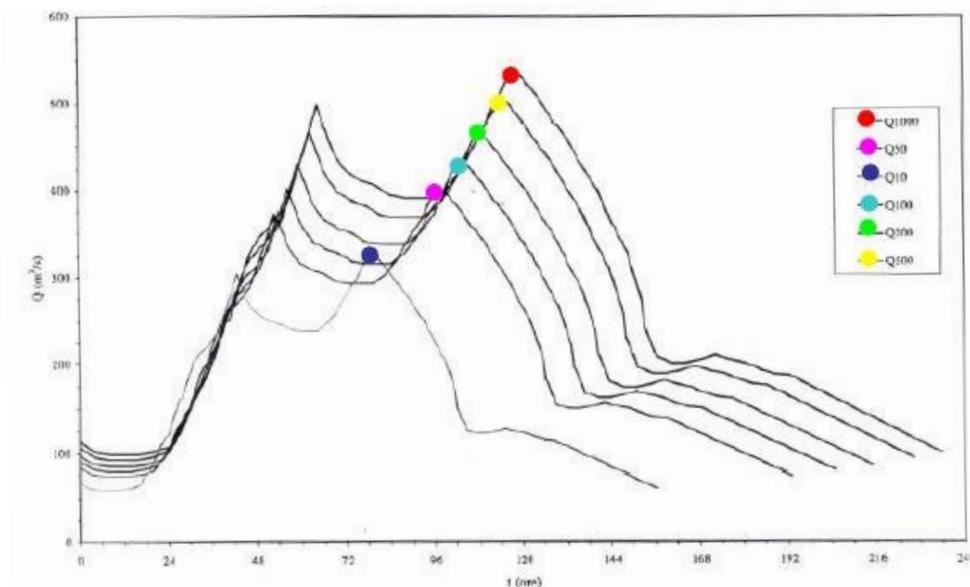


figura 33: Onde di Piena a doppio colmo per diversi tempi di ritorno – fonte: Studio della capacità di laminazione delle piene del lago di Idro – Prof. Natale.

Scenari analizzati: l’analisi idraulica per la valutazione dei livelli di innalzamento del lago in seguito ad eventi di piena è stata svolta considerando 24 diversi scenari definiti in base a:

- Tempi di ritorno delle piene $T_R = 30, 100$ e 200 anni;
- Forma dell’idrogramma di piena ad uno e due colmi;
- Livello iniziale del lago relativo alle condizioni di minimo (365.20 m s.l.m.) e massimo livello di regolazione (366.50 m s.l.m.);
- Scenario di “funzionamento” e di “non funzionamento” della galleria ENEL.

2.3 Risultati dell'analisi idraulica

I risultati delle simulazioni numeriche relative ai primi 12 sono mostrati in figura 34 (1 Colmo di piena) e figura 35 (2 Colmi di piena). Nei vari grafici è riportata l'evoluzione temporale della portata in ingresso al lago, della portata in uscita dalla traversa e del livello del lago.

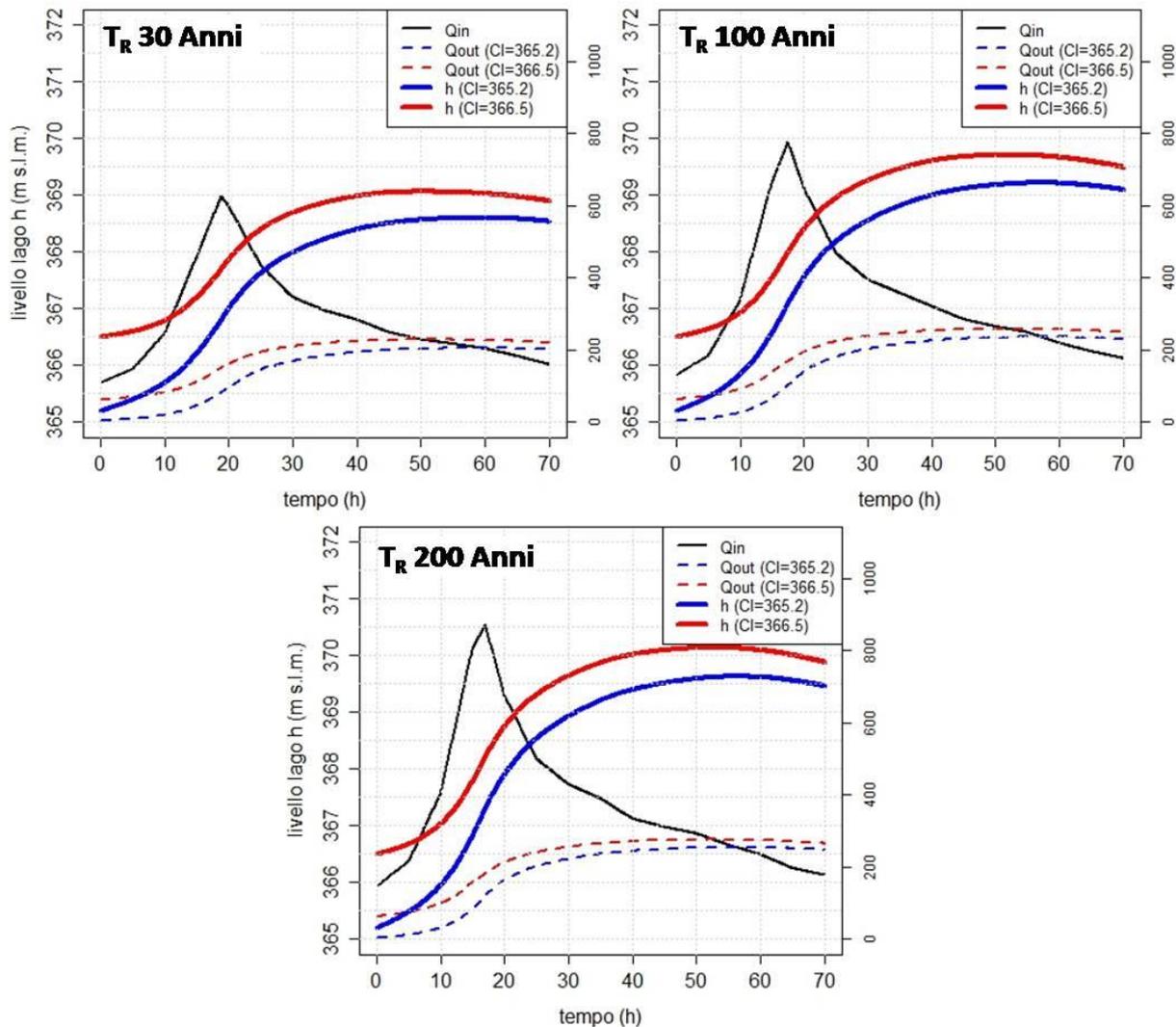


figura 34: Variazione del livello del lago (stato di fatto) – I tre grafici riportano i risultati relativi ai livelli raggiunti dal lago nel caso di livello iniziale di minima regolazione (linea blu) e di massima regolazione (linea rossa) per eventi di piena con T_R 30 (in alto, a sinistra), T_R 100 (in alto, a destra) e T_R 200 (in basso). Tali risultati si riferiscono agli scenari con idrogrammi in ingresso caratterizzati da 1 colmo di piena e non funzionamento dello scarico ENEL.

La tabella 11 riassume i valori massimi del livello del lago ottenuti per i 24 diversi scenari di simulazione. Per il caso di non funzionamento della condotta ENEL, i valori di massimo innalzamento del lago a fronte di un evento di piena trentennale risulta variabile tra 368.6 e 369.5 m s.l.m. Nel caso di evento centennale, il livello lacustre massimo raggiunto varia tra 369.2 e 370.9 m s.l.m. e, infine, nel caso di evento duecentennale varia tra 369.6 e 371.8 m s.l.m. Nel caso di funzionamento della condotta ENEL i valori massimi del livello del lago subiscono un decremento compreso tra 30 cm e 60 cm.

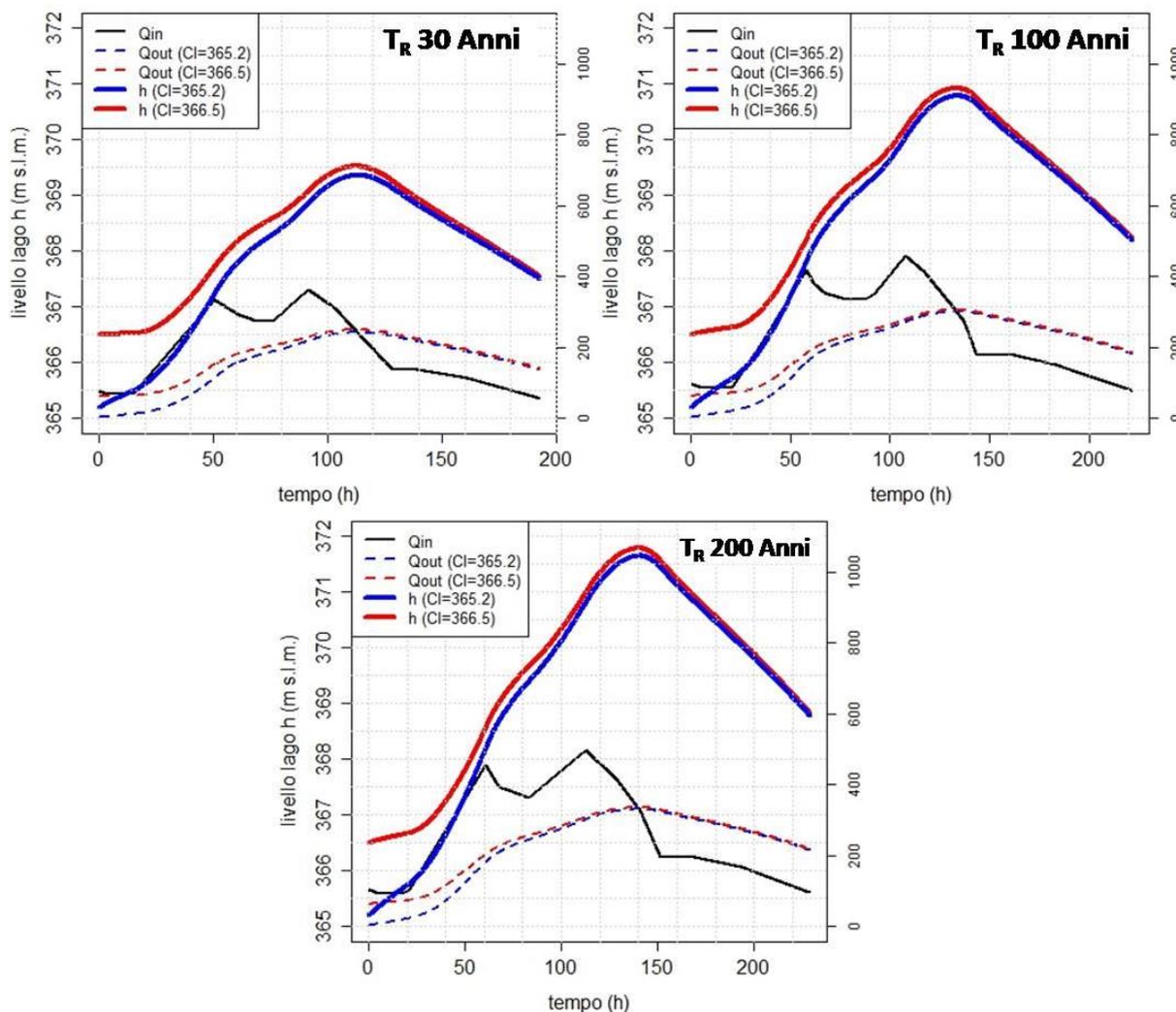


figura 35: Variazione del livello del lago (stato di fatto) – I tre grafici riportano i risultati relativi ai livelli raggiunti dal lago nel caso di livello iniziale di minima regolazione (linea blu) e di massima regolazione (linea rossa) per eventi di piena con T_R 30 (in alto, a sinistra), T_R 100 (in alto, a destra) e T_R 200 (in basso). Tali risultati si riferiscono agli scenari con idrogrammi in ingresso caratterizzati da 2 colmi di piena e non funzionamento dello scarico ENEL.

Nel presente lavoro, in particolare, per le fasi successive di valutazione della pericolosità idraulica legata ai fenomeni di innalzamento del lago d'Idro, si è fatto riferimento agli eventi con tempi di ritorno di 30, 100 e 200 anni negli scenari caratterizzati da idrogrammi in ingresso con un solo colmo di piena, non funzionamento dello scarico ENEL e livello iniziale del lago corrispondente alla quota di massima regolazione (366.50 m s.l.m.). Si sono scelti questi scenari in quanto il massimo livello del lago risultante dall'analisi dell'evento con tempo di ritorno di 200 anni è quello che si avvicina maggiormente alla quota di 370.07 m s.l.m., assunta come riferimento per lo scenario di pericolosità ordinaria con $T_R = 200$ anni nella delimitazione delle zone di pericolosità della CSP. Sulla base dei livelli massimi risultanti nell'analisi idraulica di questi tre scenari, e pari a 369.1 m s.l.m. (scenario 2 - T_R 30), 369.7 m s.l.m. (scenario 6 - T_R 100) e 370.1 m s.l.m. (scenario 10 - T_R 200), si è proceduto al calcolo dei tiranti idraulici come differenza tra il massimo livello del lago stimato e le quote del terreno rappresentate nel modello digitale del terreno con una risoluzione di 0.5 m (LiDAR 2014) fornito dalla Provincia Autonoma di Trento. Si riportano di seguito le carte dei massimi tiranti risultanti dalle analisi idrauliche dei tre eventi considerati.

| Funz. Condotta ENEL | T_R (Anni) | Idrogramma | Livello iniziale nel lago | Max Livello del lago (m s.l.m.) |
|---------------------|--|--|--|---------------------------------|
| NO | 30 | 1 COLMO | Minima regolazione (365.20 m s.l.m.) | 368.6 |
| | | | Massima regolazione (366.50 m s.l.m.) | 369.1 |
| | 2 COLMI | Minima regolazione (365.20 m s.l.m.) | 369.4 | |
| | | Massima regolazione (366.50 m s.l.m.) | 369.5 | |
| | 100 | 1 COLMO | Minima regolazione (365.20 m s.l.m.) | 369.2 |
| | | | Massima regolazione (366.50 m s.l.m.) | 369.7 |
| 2 COLMI | Minima regolazione (365.20 m s.l.m.) | 370.8 | | |
| | Massima regolazione (366.50 m s.l.m.) | 370.9 | | |
| 200 | 1 COLMO | Minima regolazione (365.20 m s.l.m.) | 369.6 | |
| | | Massima regolazione (366.50 m s.l.m.) | 370.1 | |
| 2 COLMI | Minima regolazione (365.20 m s.l.m.) | 371.6 | | |
| | Massima regolazione (366.50 m s.l.m.) | 371.8 | | |
| SI | 30 | 1 COLMO | Minima regolazione (365.20 m s.l.m.) | 368.3 |
| | | | Massima regolazione (366.50 m s.l.m.) | 368.8 |
| | 2 COLMI | Minima regolazione (365.20 m s.l.m.) | 368.9 | |
| | | Massima regolazione (366.50 m s.l.m.) | 369.1 | |
| | 100 | 1 COLMO | Minima regolazione (365.20 m s.l.m.) | 368.9 |
| | | | Massima regolazione (366.50 m s.l.m.) | 369.4 |
| 2 COLMI | Minima regolazione (365.20 m s.l.m.) | 370.2 | | |
| | Massima regolazione (366.50 m s.l.m.) | 370.4 | | |
| 200 | 1 COLMO | Minima regolazione (365.20 m s.l.m.) | 369.3 | |
| | | Massima regolazione (366.50 m s.l.m.) | 369.8 | |
| 2 COLMI | Minima regolazione (365.20 m s.l.m.) | 371.1 | | |
| | Massima regolazione (366.50 m s.l.m.) | 371.2 | | |

tabella 11: Riepilogo dei livelli calcolati di massimo invaso nel lago al variare dello scenario di evento (stato di fatto).

Dalle immagini si può osservare che nello scenario considerato con tempo di ritorno di 30 anni l'inondazione determinata dall'innalzamento del lago va ad interessare completamente le aree agricole comprese tra il fiume Chiese e l'alveo del rio Laf, compresa la zona di Idroland. In sinistra idrografica della fossa del rio Laf le aree allagate interessano le zone agricole, il campeggio e la zona del Miralago. Con l'aumentare del tempo di ritorno e della quota massima del livello del lago, si osserva l'espansione verso nord delle aree allagate con l'incremento dei valori di tirante. Nel caso di eventi con tempo di ritorno di 200 anni, nello scenario idraulico considerato, l'inondazione arriva a raggiungere alcuni edifici situati lungo la S.P. 69 ed un capannone industriale in località Biotopo.

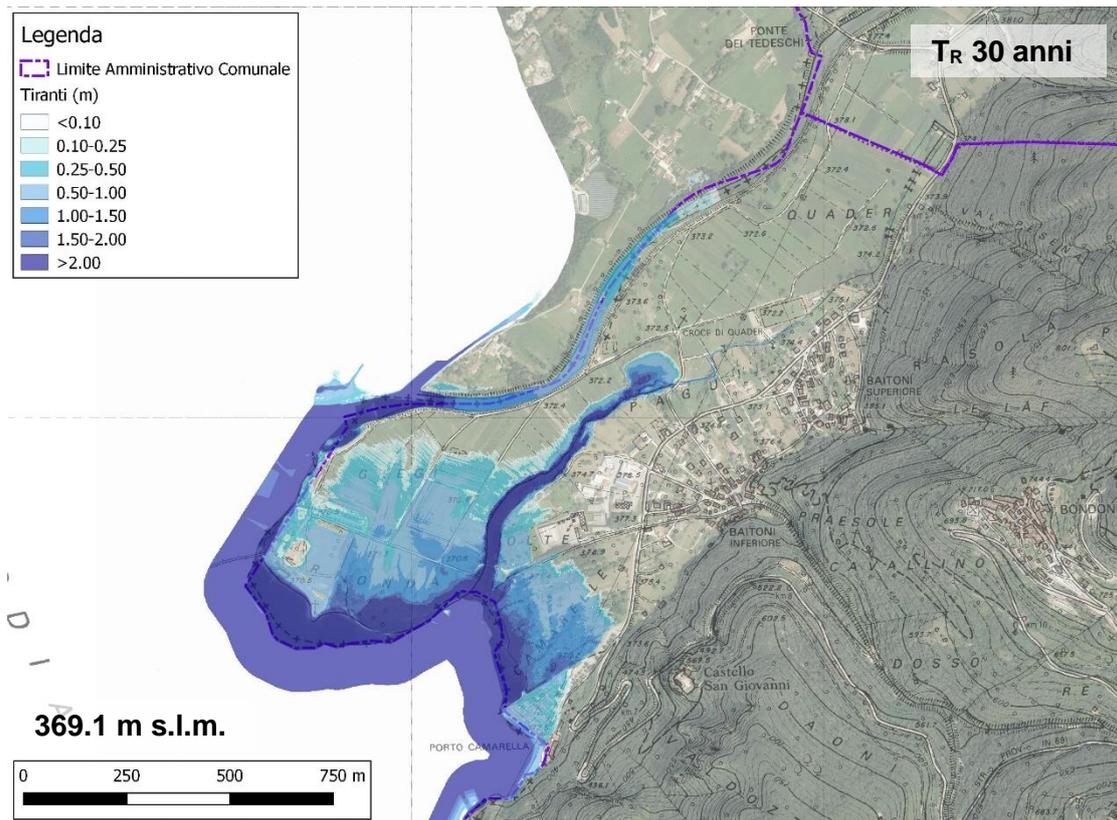


figura 36: Mappa dei tiranti nelle aree allagate corrispondenti all'evento di piena con $T_R = 30$ anni nello scenario considerato (scenario 2).

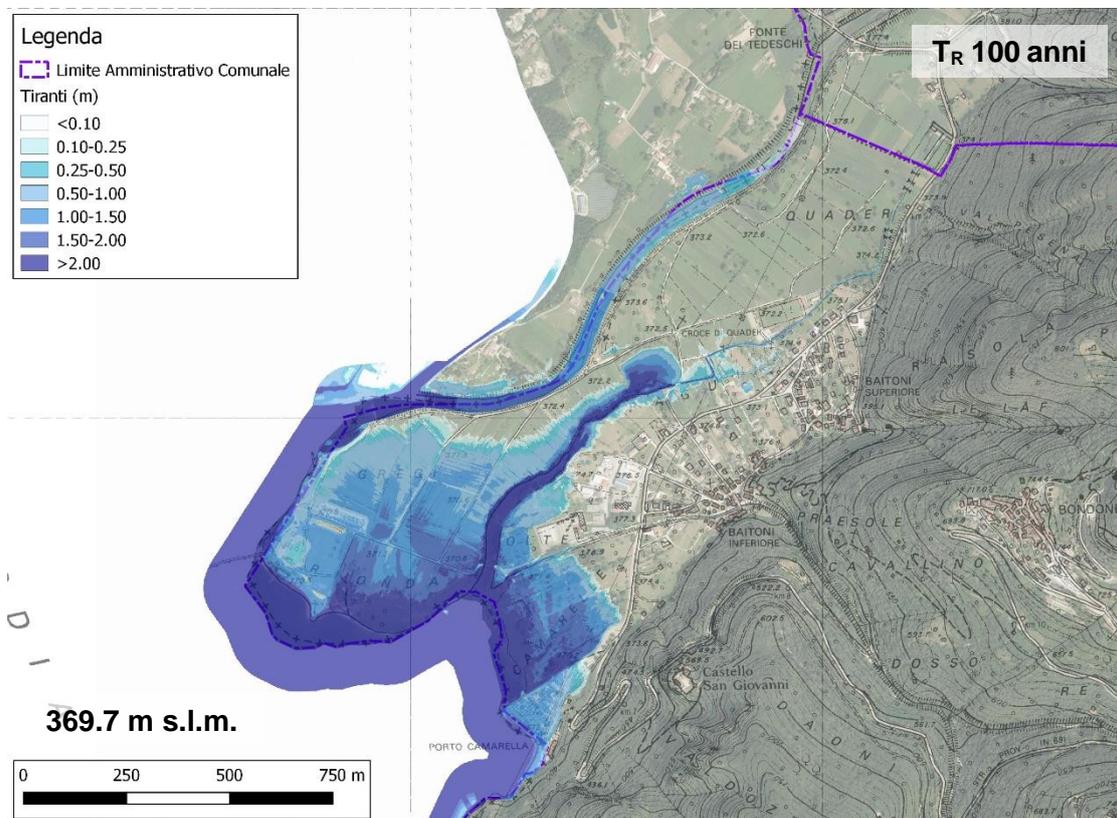


figura 37: Mappa dei tiranti nelle aree allagate corrispondenti all'evento di piena con $T_R = 100$ anni nello scenario considerato (scenario 6).

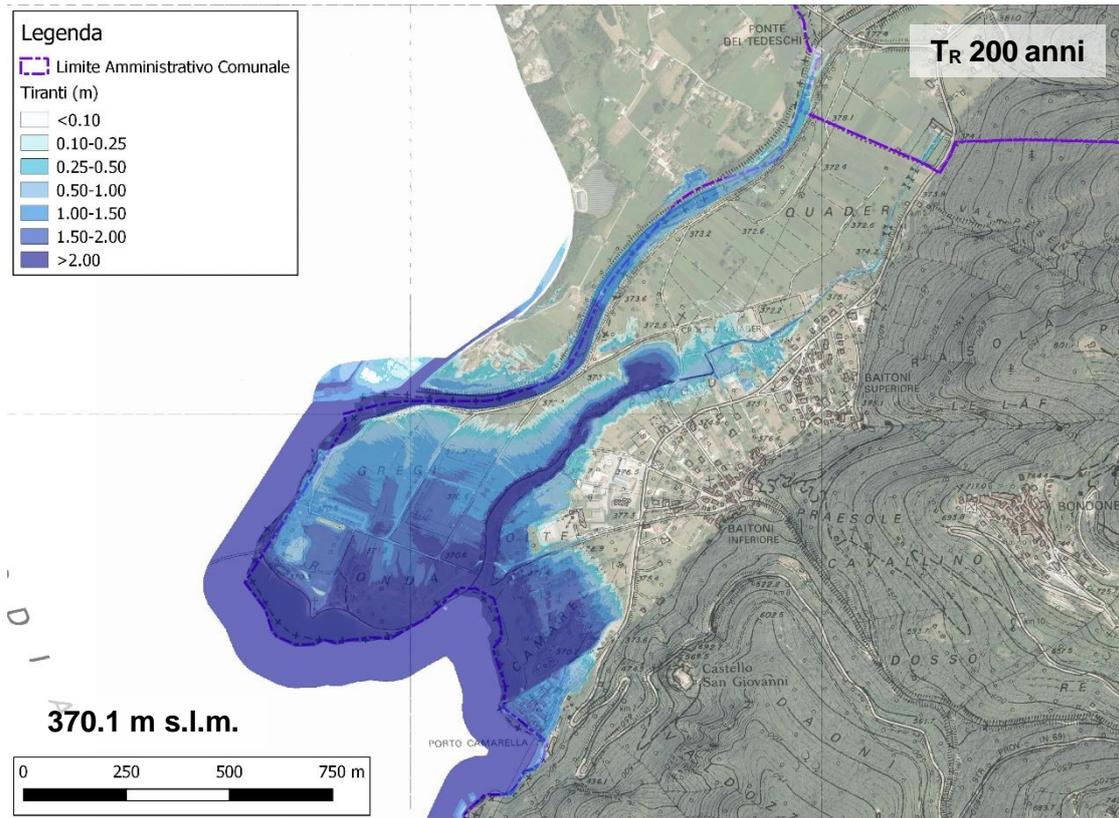


figura 38: Mappa dei tiranti nelle aree allagate corrispondenti all'evento di piena con $T_R = 200$ anni nello scenario considerato (scenario 10).

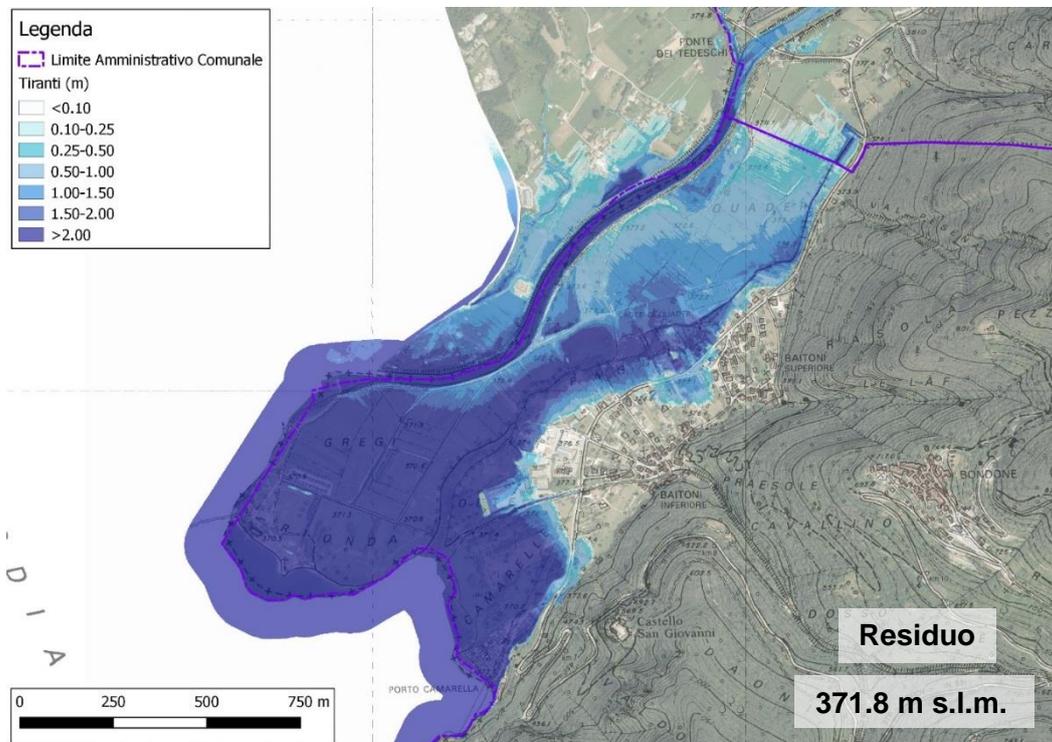


figura 39: Mappa dei tiranti nelle aree allagate corrispondenti all'evento residuo relativo allo scenario più gravoso (scenario 12).

In figura 39 è invece rappresentata la mappa dei tiranti nelle aree allagate valutata sulla base dei risultati ottenuti nella modellazione dello scenario più gravoso, ovvero il numero 12, che considera un idrogramma in ingresso al lago a doppio colmo, non funzionamento dello scarico ENEL e livello iniziale del lago corrispondente alla quota di massima regolazione (366.50 m s.l.m.). In questo scenario il livello massimo del lago è stato valutato pari a 371.8 m s.l.m. Si è fatto riferimento all'estensione delle aree allagate risultante in questo scenario per delimitare le aree a pericolosità residua.

2.4 Valutazione del pericolo per fenomeni di natura idraulica

Nel presente paragrafo vengono definiti i livelli di pericolosità del fenomeno idraulico in funzione dei livelli di intensità e probabilità che caratterizzano il fenomeno studiato. La pericolosità è intesa come la probabilità che in un certo punto del territorio si verifichi un evento di una data intensità (I) entro un assegnato tempo di ritorno (T_R). I criteri adottati per la definizione della pericolosità (H) sono contenuti nella Delibera 4 Settembre 2020, n. 1306 “*Criteri e metodologia per la redazione e l’aggiornamento delle carte della pericolosità (art. 10, comma 5, l. p. 1 luglio 2011, n. 9)*”.

Le direttive per la redazione delle carte della pericolosità stabiliscono tre livelli di intensità (Bassa, Media, ed Elevata). L’individuazione della pericolosità ordinaria viene effettuata considerando i valori soglia definiti in tabella 12 e la probabilità di accadimento degli eventi, anche attraverso l’utilizzo di matrici di interazione come quella riportata in figura 40.

| intensità | profondità della corrente - h (m) | | prodotto tra la profondità e la velocità della corrente - vh (m^2/s) |
|-----------|-------------------------------------|--------|--|
| Elevata | $h > 2$ | oppure | $vh > 2$ |
| Media | $0,5 < h < 2$ | oppure | $0,5 < vh < 2$ |
| Bassa | $h < 0,5$ | oppure | $vh < 0,5$ |

tabella 12: Tabella dei valori di soglia e delle intensità dell’evento per inondazione da piena. h = altezza dei tiranti liquidi e/o solidi e v = velocità dei deflussi liquidi e solidi.

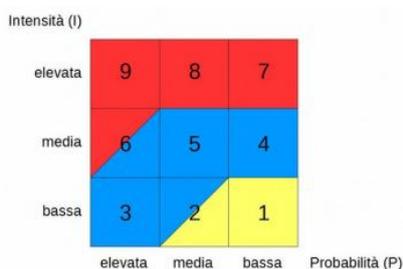


figura 40: Esempio di matrice di interazione per la determinazione della pericolosità.

In figura 41 è mostrata la carta della pericolosità idraulica ottenuta attraverso l’applicazione della matrice di interazione tipo quella di BUWAL (1998) (riportata nella legenda delle figure stesse) alle carte dei risultati in termini di massimi valori di tirante calcolati per eventi con tempo di ritorno di 30, 100 e 200 anni.

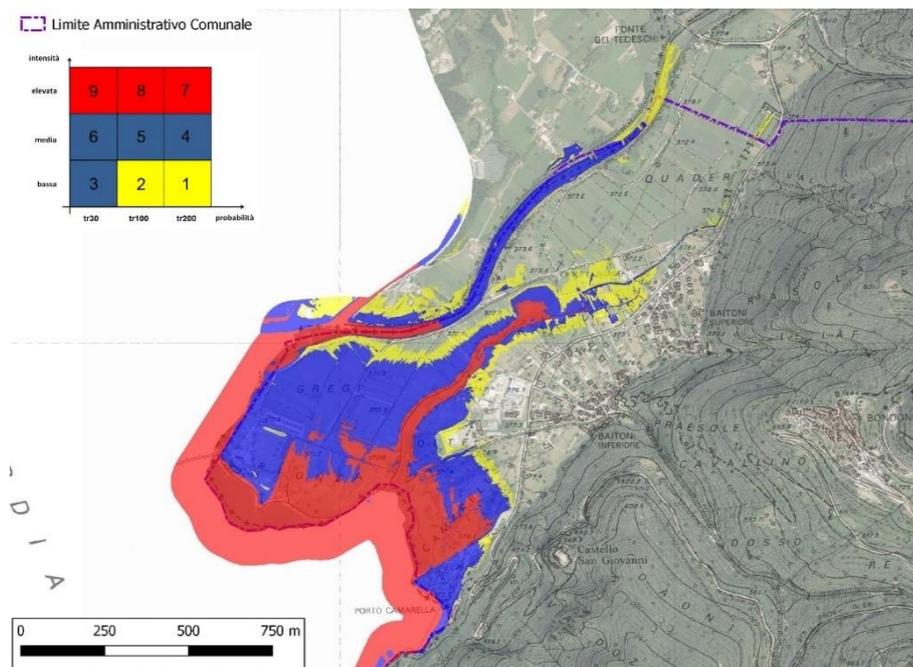


figura 41: Carta “analitica” del pericolo idraulico derivante dall’applicazione della matrice di Buwal sui tiranti nelle aree allagate valutati sulla base dei risultati delle analisi idrauliche svolte per la stima dei massimi livelli di innalzamento del lago d’Idro negli scenari considerati, per gli eventi con $T_R = 30, 100$ e 200 anni.

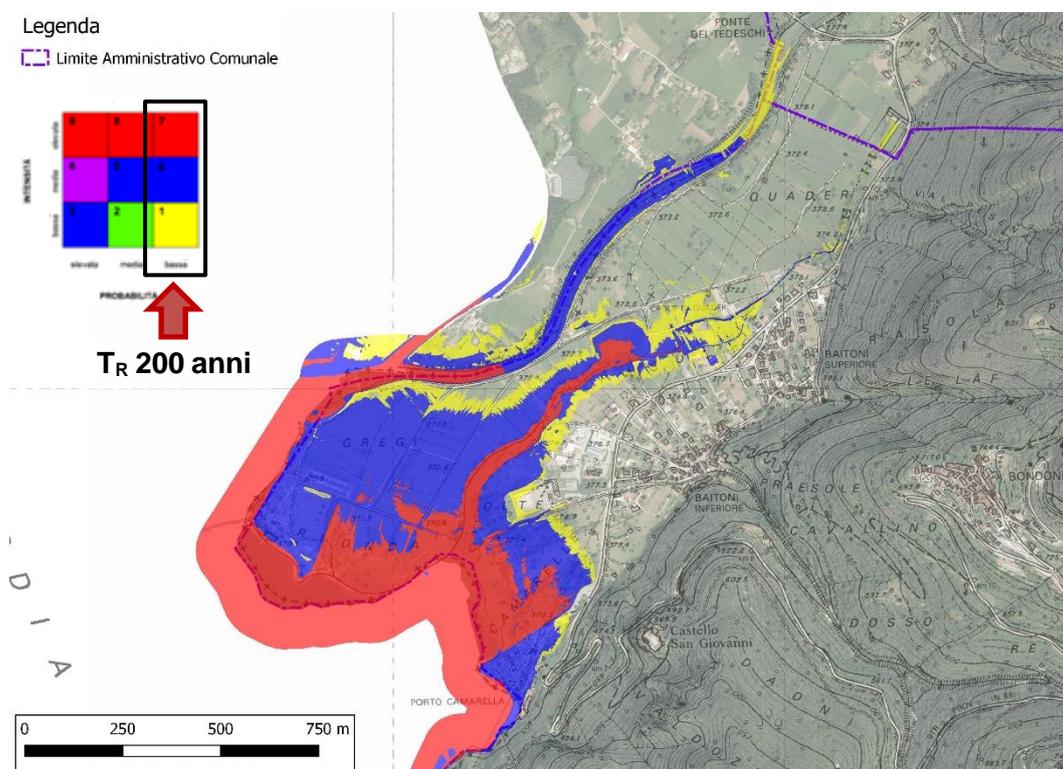


figura 42: Carta della pericolosità “analitica” per l’evento di piena con $T_R = 200$ anni elaborata a partire dai tiranti calcolati facendo riferimento alla quota di 370.07 m s.l.m. utilizzata per la definizione delle zone di pericolosità lacuale della CSP.

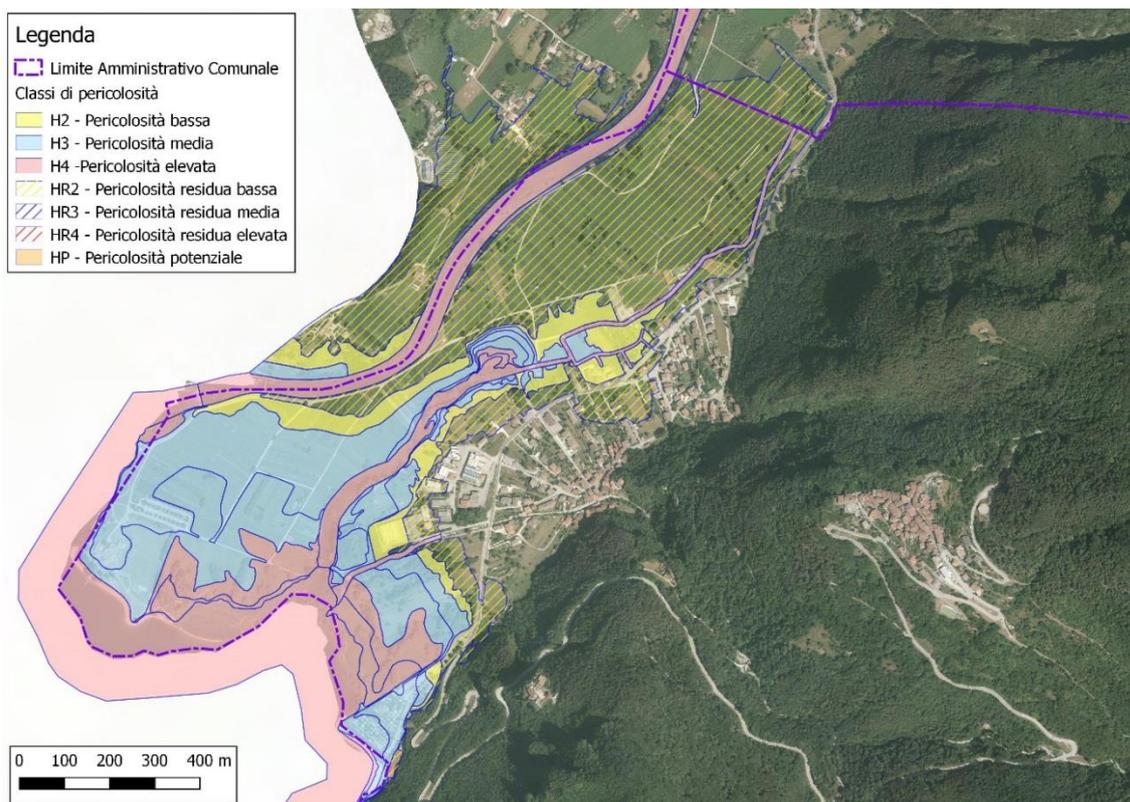


figura 43: Zonazione definitiva della carta delle pericolosità alluvionali lacuali per il Lago d'Idro all'interno del territorio comunale di Bondone.

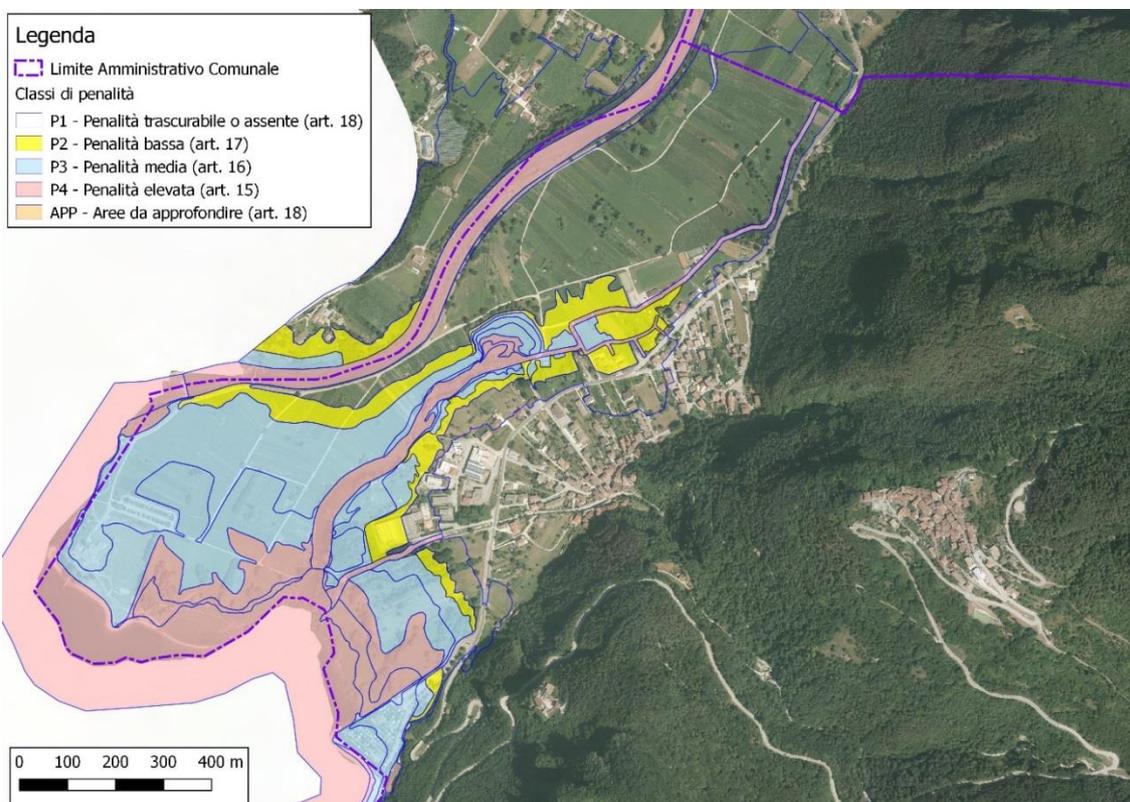


figura 44: Zonazione definitiva della carta delle penalità alluvionali lacuali per il Lago d'Idro all'interno del territorio comunale di Bondone.

Per confronto con la zonazione riportata nella CSP, si è inoltre proceduto al calcolo dei tiranti massimi che si instaurano a seguito dell'innalzamento del lago facendo riferimento alla quota di 370.07 m s.l.m. considerata nelle elaborazioni della CSP per un evento di piena con tempo di ritorno di 200 anni.

In figura 43 è riportata infine la zonazione definitiva del pericolo idraulico – pericolosità lacuale elaborata nel presente studio per la Carta della Pericolosità, mentre in figura 44 è riportata la zonazione classificata secondo le classi di penalità.

3 Pericolo idraulico in corrispondenza dell'area di studio

Nel presente paragrafo verranno presentati i risultati della modellazione in corrispondenza dell'area di studio. Dalle analisi effettuate emerge che la p. ed. 381 è interessata solamente dagli scenari di pericolo residuo per il rio Olte e per il lago di Idro. In figura 45 si riporta l'andamento dei massimi livelli di tirante e di velocità per gli scenari di pericolo residuo per il rio Olte, mentre in figura 46 si riportano i livelli di massimo tirante per lo scenario residuo per il lago di Idro.

Dalle immagini si evince che in corrispondenza della nuova caserma i livelli di tirante massimo derivanti da fenomeni di esondazione del rio Olte, per lo scenario di pericolo residuo, si mantengono in generale inferiori a 0.2 m ad eccezione di alcune aree ridotte in cui i valori sono di poco superiori a 0.2 m.

Il confronto delle quote della strada provinciale 69 in relazione a quelle della caserma, riportato in figura 47, non permette di escludere la possibilità che l'esondazione non raggiunga il nuovo edificio. In particolare, si osserva che a sud e sud -est, direzione dalla quale proviene il flusso, la strada antistante è situata ad una quota maggiore rispetto alla quota della caserma.

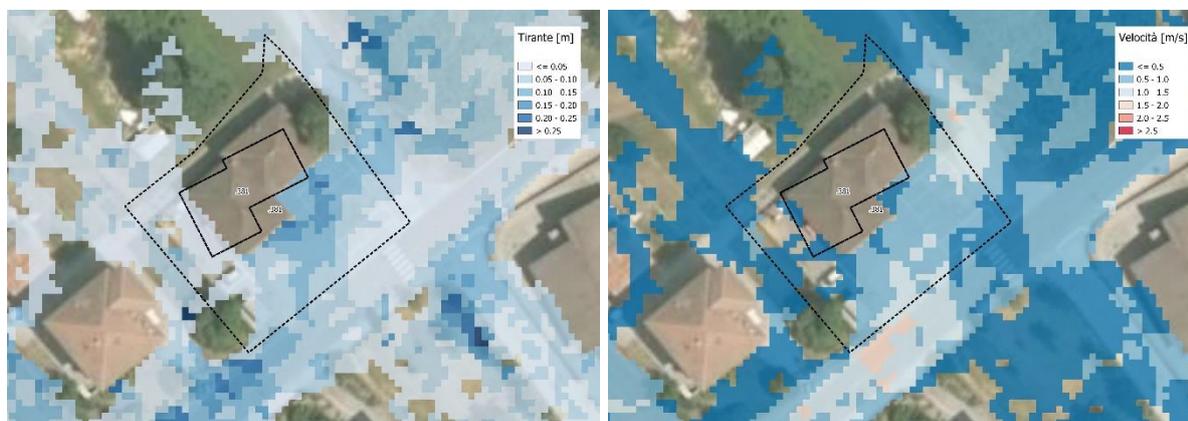


figura 45: Tiranti massimi (a sinistra) e velocità massime (a destra) risultanti dalle simulazioni del Rio Olte effettuate con il software BASEMENT per l'evento di pericolo residuo (TR > 200 anni).

Per quanto riguarda il lago di Idro le immagini evidenziano che il flusso invade la porzione a nord – ovest della particella di studio, lungo la strada di accesso all'abitazione confinante, situata ad una quota di - 1.10 m rispetto al piano di costruzione della caserma (figura 47).

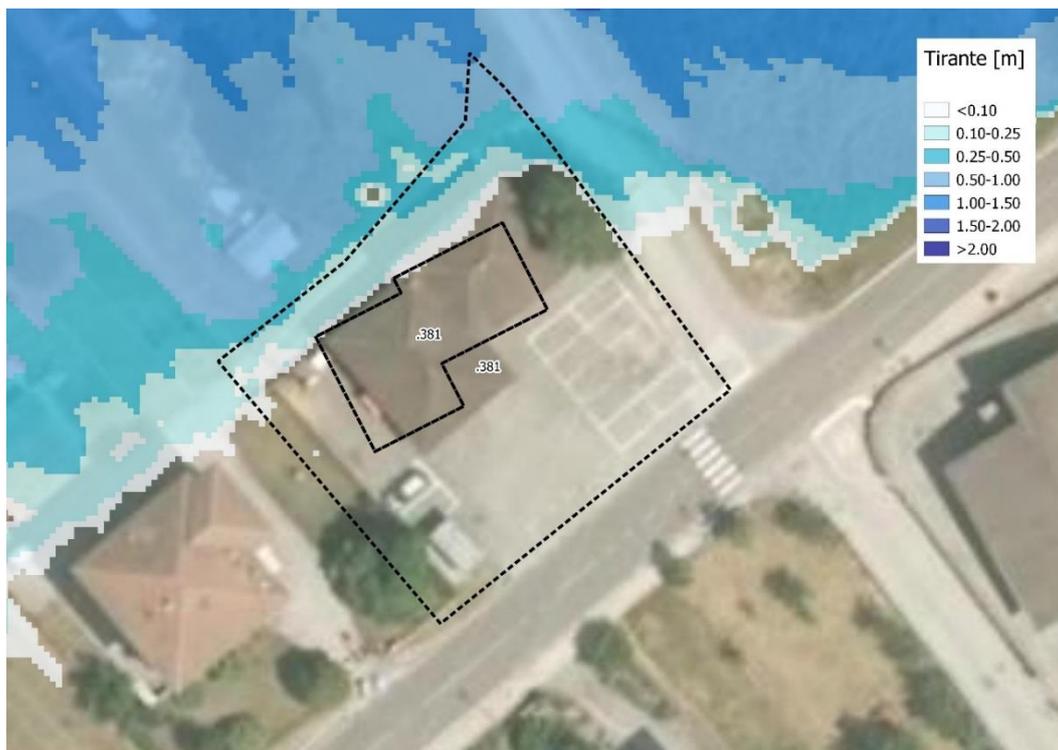


figura 46: Tiranti massimi (a sinistra) e velocità massime (a destra) risultanti dalle simulazioni del Rio Olte effettuate con il software BASEMENT per l'evento di pericolo residuo (TR > 200 anni).

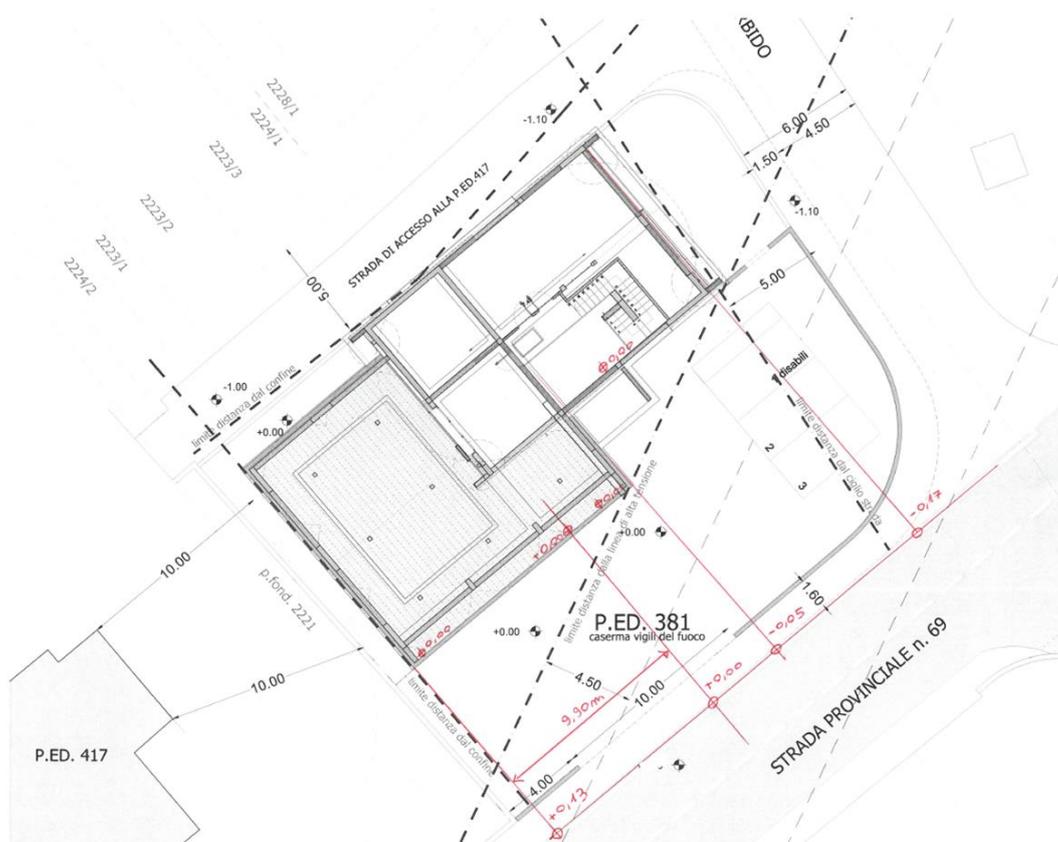


figura 47: Schema delle quote in corrispondenza della nuova caserma dei Vigili del Fuoco di Bondone.

4 Verifica di compatibilità idraulica – l.p. 5/2008

Lo studio del pericolo idraulico ha indicato che l'area oggetto di studio risulta inserita in una zona di pericolo idraulico basso – HR2 a cui corrisponde un grado di penalità idraulica trascurabile o assente – P1.

Con aree a penalità assente o trascurabile si fa riferimento, in generale, ad aree dove, anche in funzione del grado di studio, non sono state individuate condizioni favorevoli all'insorgere di eventi pericolosi. In tali aree sono comprese le aree a pericolo residuo. Le trasformazioni urbanistiche ed edilizie in tali aree sono permesse senza la necessità di misure di sicurezza

Pertanto, il progetto di **Ristrutturazione ed ampliamento della caserma dei VVF Volontari di Bondone è consentito senza la necessità di adottare misure di sicurezza**, in base all'Art 18 **Aree con altri tipi di penalità – penalità assente o trascurabile**.

In base alla nuova configurazione del pericolo le misure di sicurezza previste nello studio di compatibilità del dott. geol. Germano Lorenzi non sono più necessarie. In particolare, non sarà più necessaria la costruzione del muro di protezione di altezza di 0.5 m previsto sul perimetro del piazzale.

4.1 Misure di sicurezza e accorgimenti necessari

Considerando che l'areale oggetto di studio è interessato da pericolo residuo basso HR2, derivante da fenomeni di esondazioni del rio Olte, e considerando la necessità di proteggere un edificio strategico in caso di eventi calamitosi, come la caserma dei Vigili del Fuoco, si consiglia di adottare **una delle seguenti misure di sicurezza anche se non necessarie**.

- **Soluzione 1:** in corrispondenza degli ingressi alla caserma sul lato ad est (in verde in figura 48) potranno essere posizionate delle canalette di scolo per convogliare le eventuali acque di esondazione verso la rete di smaltimento cittadino. Questa soluzione è funzionale anche per lo smaltimento delle acque piovane.

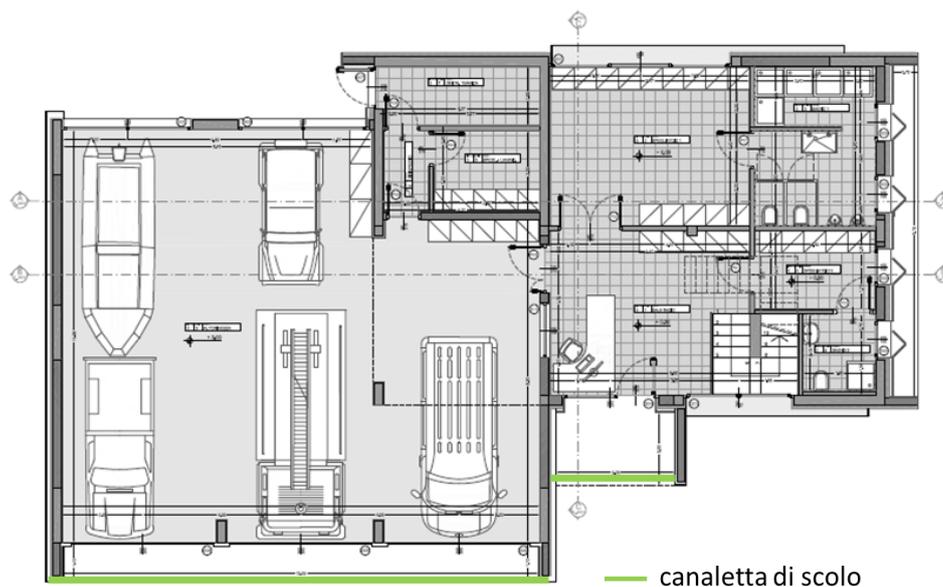


figura 48: Soluzione 1: canalette di scolo in corrispondenza degli ingressi alla caserma.

- **Soluzione 2:** in corrispondenza del piazzale, sul lato a sud est della caserma, dovrà essere realizzato un dosso (o misura simile / equivalente) che garantisca un dislivello minimo di 0.1 m, all'interno della fascia rossa riportata in figura 49, per impedire al flusso di arrivare alla caserma. L'estensione del dosso (L) non deve essere inferiore a quella segnata in planimetria (figura 49).

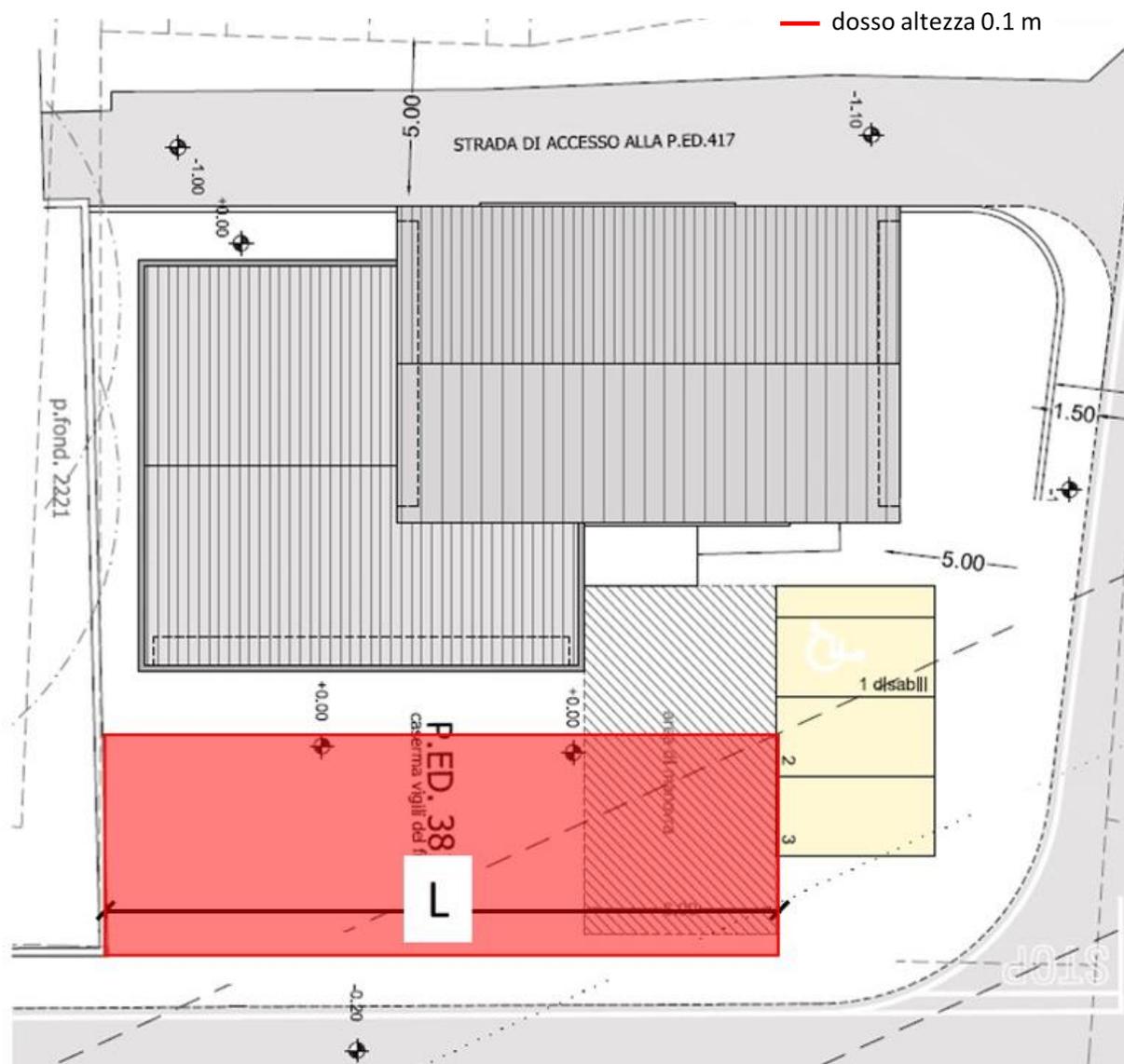


figura 49: Soluzione 2: dosso di altezza non inferiore a 0.1 m.

5 Conclusioni

L'area interessata dal progetto di **Ristrutturazione ed ampliamento della caserma dei VVF Volontari di Bondone**, in corrispondenza della p. ed. 381 C.C. Bondone, nella frazione di Baitoni Superiore del Comune di Bondone (TN) è inserita in zona a penalità idraulica P2 - bassa nella vigente Carta di Sintesi della Pericolosità. A seguito dello studio "**Approfondimento della verifica dei pericoli idraulici all'interno del territorio comunale di Bondone**" - Studio **ingena**, maggio 2022, la pericolosità dell'area è stata definita come HR2, pericolosità residua bassa, derivante da fenomeni di esondazione del rio Olte, corrispondente a ad un grado di penalità P1 - trascurabile o assente.



In base all'Art 18 **Aree con altri tipi di penalità – penalità assente o trascurabile** delle **Norme di Attuazione al Piano Urbanistico Provinciale di Trento (l.p. n. 5 del 2008)** il progetto di **Ristrutturazione ed ampliamento della caserma dei VVF Volontari di Bondone è consentito senza la necessità di adottare misure di sicurezza**. Tuttavia, considerando il fatto che la caserma è un edificio strategico proprio in occasione di eventi calamitosi, si prescrivono le misure di sicurezza di compensazione indicate nel precedente paragrafo.

6 Bibliografia

- Piano Urbanistico Provinciale – PUP - l.p. n. 5 del 27 maggio 2008 e Norme di Attuazione
- Legge provinciale per il governo del territorio – l.p. n.15 del 20155
- Piano generale di utilizzazione delle acque pubbliche - PGUAP - P. R. del 15 febbraio 2006
- Carta di Sintesi della Pericolosità – Indicazioni e precisazioni per l'applicazione delle disposizioni concernenti le aree con penalità elevate, medie e basse e le aree con altri tipi di penalità – Piano Urbanistico, norme di attuazione articoli 14, comma 3, articolo 18, comma 2 e Legge Provinciale per il governo del territorio l.p. n. 15 del 2015, articolo 22.
- “Approfondimento della verifica dei pericoli idraulici all’interno del territorio comunale di Bondone” – in.ge.na – maggio 2015.