



COMUNE DI GERMIGNAGA  
PROVINCIA DI VARESE

RIPERIMETRAZIONE DELLA CONOIDE A VINCOLO PAI DEI  
TORRENTI VALLE DEL SASSO E VALLE DELLA MORTE E  
PROPOSTA DI AGGIORNAMENTO DELLA CARTA DI FATTIBILITÀ  
GEOLOGICA

## RELAZIONE GEOLOGICA-TECNICA

*DGR IX/2616/2011*

ELLEPI IMMOBILIARE SRL



GIUGNO 2020

**STUDIO DI CONSULENZE GEOLOGICO-TECNICHE**  
**DOTT. FABIO MELONI**  
VIA UGO FOSCOLO 1 – 21016 LUINO (VA)  
TEL. 3479414682

## **SOMMARIO**

<b>1. PREMESSA.....</b>	<b>2</b>
<b>2. ANALISI DELLO STATO DI FATTO .....</b>	<b>2</b>
<b>3. ANALISI STORICA .....</b>	<b>5</b>
<b>4. RIPERIMETRAZIONE MORFOLOGICA DELLA CONOIDE .....</b>	<b>11</b>
<b>5. STUDIO DEL BACINO IDROGRAFICO .....</b>	<b>15</b>
5.1. <i>Bacino idrografico del torrente valle del sasso.....</i>	<i>15</i>
5.2. <i>Bacino idrografico del torrente valle della morte.....</i>	<i>17</i>
<b>6. ANALISI PLUVIOMETRICA DELL'AREA .....</b>	<b>19</b>
6.1. <i>Previsione quantitativa delle piogge intense.....</i>	<i>19</i>
6.2. <i>Calcolo delle altezze di pioggia.....</i>	<i>21</i>
<b>7. VALUTAZIONE DELLA PORTATA LIQUIDA .....</b>	<b>24</b>
<b>8. VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ DI TRASPORTO SOLIDO .....</b>	<b>25</b>
8.1. <i>Verifica della possibilità di formazione di colate detritiche .....</i>	<i>25</i>
8.2. <i>Valutazione della possibile magnitudo.....</i>	<i>26</i>
<b>9. VALUTAZIONE DELLA PORTATA DI PICCO DELLA COLATA.....</b>	<b>27</b>
<b>10. ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ DELLA CONOIDE.....</b>	<b>28</b>
10.1. <i>Risultato della simulazione.....</i>	<i>28</i>
10.2. <i>Pericolosità su conoide .....</i>	<i>31</i>
10.3. <i>Proposta di ripermetrazione degli scenari di dissesto PAI - PGRA .....</i>	<i>33</i>
<b>11. PROPOSTA DI RIDEFINIZIONE DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA E DELLE NORME GEOLOGICHE DI PIANO .....</b>	<b>35</b>

## **1. PREMESSA**

Su incarico della Committenza è stato eseguito uno studio di dettaglio a supporto della proposta di ripermetrazione e valutazione della pericolosità e del rischio, per trasporto solido, della conoide, soggetta a vincolo PAI, dei torrenti denominati Valle del Sasso e Valle della Morte (cfr. mappa catastale) in comune di Germignaga (VA).

Lo studio, svolto secondo quanto definito dalla legge Regionale n. 12/2005 “ Legge per il Governo del territorio”, di cui alla d.g.r. n. IX/2616 del 30 novembre 2011 “Aggiornamento dei Criteri ed Indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell’art. 57, comma 1, della l. r. 11marzo 2005, n.12”, ha lo scopo di elaborare una ripermetrazione dell’area in dissesto, ai sensi dell’art. 18 delle N.d. A. del PAI, e proporre una declassazione di ambiti precedentemente inseriti in classe 4 di fattibilità geologica seguendo gli indirizzi dell’Allegato 2 della d.g.r. n. IX/2616 del 30 novembre 2011.

Le finalità di questo studio sono quelle qui di seguito riassunte:

- Analizzare le caratteristiche geologiche – geomorfologiche dei bacini idrografici a monte della conoide e della conoide stessa;
- Effettuare un’analisi idrologica al fine di stimare le portate di massima piena per differenti tempi di ritorno;
- Valutare la capacità di trasporto solido e la predisposizione dei bacini idrografici alla formazione di colate detritiche;
- Valutazione di alcune sezioni critiche;
- Valutare la pericolosità ed il rischio su tutta l’area interessata dalla conoide al fine di effettuare una ridefinizione della fattibilità geologica.

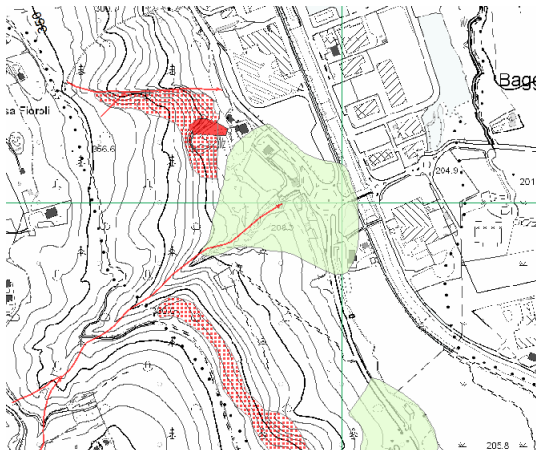
Nel presente studio si è fatto uso dei seguenti strumenti:

- Dati di precipitazioni messi a disposizione da Arpa Lombardia;
- Modello Digitale del Terreno di dettaglio (LIDAR, passo 1x1m);
- Software Adb-Toolbox, estensione IDRA2D Debris Flow, sviluppato nell’ambito del Geoportale Nazionale

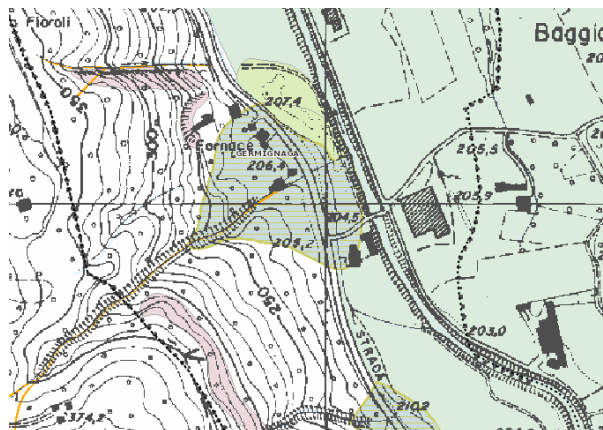
## **2. ANALISI DELLO STATO DI FATTO**

In sede di redazione dello Studio Geologico, Idrogeologico e Sismico (redatto per il Comune di Germignaga dal dott. geol. De Dominicis, nel novembre 2010) di supporto alla pianificazione comunale, la conoide in oggetto viene riconosciuta e delimitata partendo dall’analisi della cartografia GeoIFFI (Inventario dei

Fenomeni Franosi in Italia: Regione Lombardia). In tale censimento la conoide è classificata come detritico-alluvionale in stato quiescente. Tale forma è stata anche recepita nel PTCP di Varese nel quadro di censimento dei dissesti provinciali.



**Figura 1** – stralcio (non in scala) GEOIFFI Regione Lombardia, in cui è riportata, tra l'altro, la conoide in oggetto



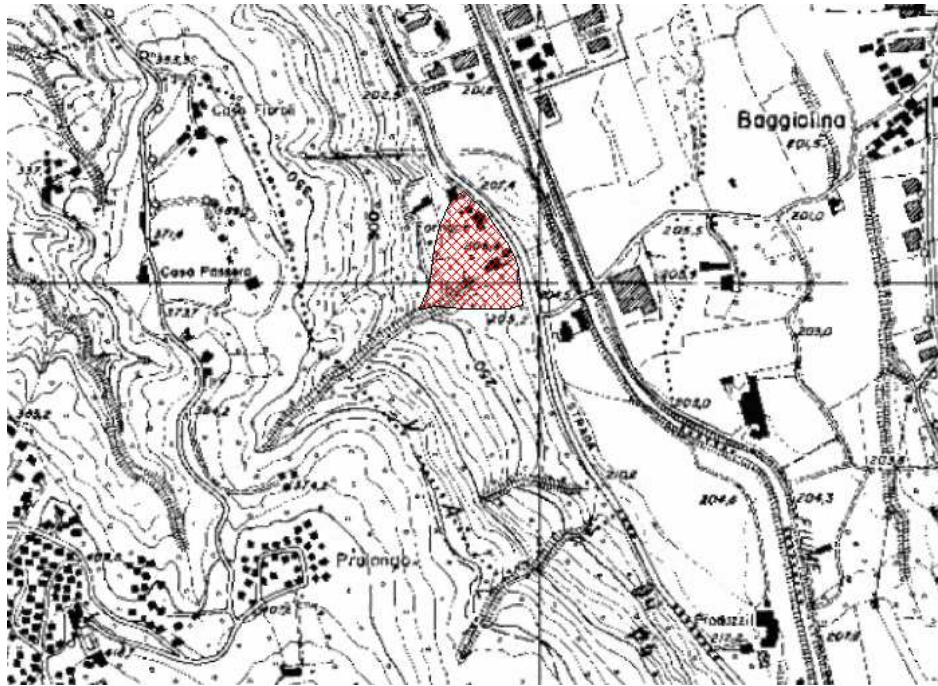
**Figura 2** – stralcio (non in scala) della Tavola RIS2 Censimento dei dissesti (PTCP Varese), in cui è ripresa, da GEOIFFI, la perimetrazione della conoide

Il dott. geol. De Dominicis, con specifica analisi morfometrica, stabilisce che la conoide non sia sufficientemente protetta in relazione alle potenziali portate liquide ed all'assetto geomorfologico dell'area apicale e che, pertanto, può rappresentare un elemento di pericolo. In conseguenza di tali aspetti propone una zonazione della pericolosità di grado elevato (H5) su tutto l'edificio morfologico oggetto di studio.

Di seguito si riportano i parametri morfometrici della conoide, così come mappato dal dott. De Dominicis nello Studio Geologico, Idrogeologico e Sismico del PGT vigente.

Parametri principali conoide	
Superficie (km <sup>2</sup> )	0,015
Lunghezza max (m)	150
Quota massima (m slm)	250
Quota minima (m slm)	205,2
Larghezza massima (m)	200
Pendenza media conoide (%)	29,86
Pendenza media alveo (%)	31,05
Lunghezza alveo (m)	550
Indice di Melton	0,48
Magnitudo (Tropeano e Turconi, 1999)	507,40 m <sup>3</sup>
Magnitudo (Crosta, Ceriani, Frattini & Quattrini, 2000)	3.691,47 m <sup>3</sup>

Partendo da questa base di analisi propone quindi di aggiornare, come previsto dall'art. 18 delle N.d.A. del PAI, il quadro del dissesto originario, classificando l'area come “aree di conoidi attivi o potenzialmente attivi non protette da opere di difesa e di sistemazione a monte (pericolosità molto elevata) – Ca”, con attribuzione di una fattibilità geologica con gravi limitazioni (classe 4), con norma d'uso delle aree come da art. 9 comma 7 delle N.d.A. del PAI.



*Figura 3 – rappresentazione (non in scala) dell'attuale area di conoide, perimetrata come previsto dall'art. 18 delle N.d.A. del PAI come aggiornamento del quadro del dissesto originario di cui all'Elaborato 2 del PAI, in sede di formazione e adozione del P.G.T (marzo 2012).*

### **3. ANALISI STORICA**

La ricerca di informazioni storiche documentate, in merito ad eventi alluvionali verificatisi in passato sulla conoide, non ha dato esito positivo. Si è optato quindi di intervistare i locali; infatti sulla conoide insistono un'azienda agricola e un'abitazione. A memoria degli abitanti non è sono mai successi eventi alluvionali.

In assenza di informazioni si è operata un'analisi cartografica, mettendo a confronto foto aeree storiche, al fine di riconoscere un'evoluzione morfologica della conoide e di divagazione dell'alveo. A tale scopo sono state consultate le foto aeree riportate sul portale swisstopo.

#### *FOTO AEREA, VOLO LUGLIO 1945*

Nella parte centrale della figura sottostante è riconoscibile (assenza di vegetazione) quello che dovrebbe essere l'edificio di conoide oggetto di studio, lateralmente confinato tra due torrenti (Valle del Sasso a Nord e Valle della Morte a Sud). Sono chiaramente visibili dei terrazzamenti, posti trasversalmente, segno di attività antropica. Gli insediamenti sono rari: nel riquadro rosso è identificata l'area estrattiva e la sottostante fornace, mentre con la freccia azzurra è indicata l'azienda agricola tutt'ora esistente. L'alveo del torrente Valle della Morte è ben riconoscibile da una striscia vegetata. Da notare la curvatura data alla strada (SS n. 394) e del torrente presente tra questa e il fiume Margorabbia, che danno l'impressione di adattarsi alla parte frontale di un corpo di conoide.



*Figura 4 – estratto foto aerea (swisstopo), anno 1945*

*FOTO AEREA, VOLO AGOSTO 1946*

La foto aerea sottostante, ripresa l'anno successivo, non mostra particolari differenze. L'unica osservazione, anche se la risoluzione dell'immagine non è ottimale, può essere fatta sul tratto di alveo cerchiato in arancione, che appare più rettilineo rispetto allo scatto del 1945.



*Figura 5 - estratto foto aerea (swisstopo), anno 1946*

*FOTO AEREA, VOLO SETTEMBRE 1950*

Anche dalla foto aerea del settembre 1950 non si osservano differenze o modifiche che fanno presupporre una evoluzione della conoide. Evidenti i terrazzamenti che denotano l'uso dell'area per attività agricola.



*Figura 6 - estratto foto aerea (swisstopo), anno 1950*

*FOTO AEREA, VOLO GIUGNO 1958*

Anche dalla foto aerea del giugno 1958 non si osservano differenze o modifiche che fanno presupporre una evoluzione della conoide.



*Figura 7 - estratto foto aerea (swisstopo), anno 1958*

*FOTO AEREA, VOLO GIUGNO 1995*

Anche dalla foto aerea del giugno 1995 non si osservano differenze o modifiche che fanno presupporre una evoluzione della conoide. Si evidenzia la presenza di una nuova abitazione (cerchio arancione) che si aggiunge alla già presente azienda agricola.



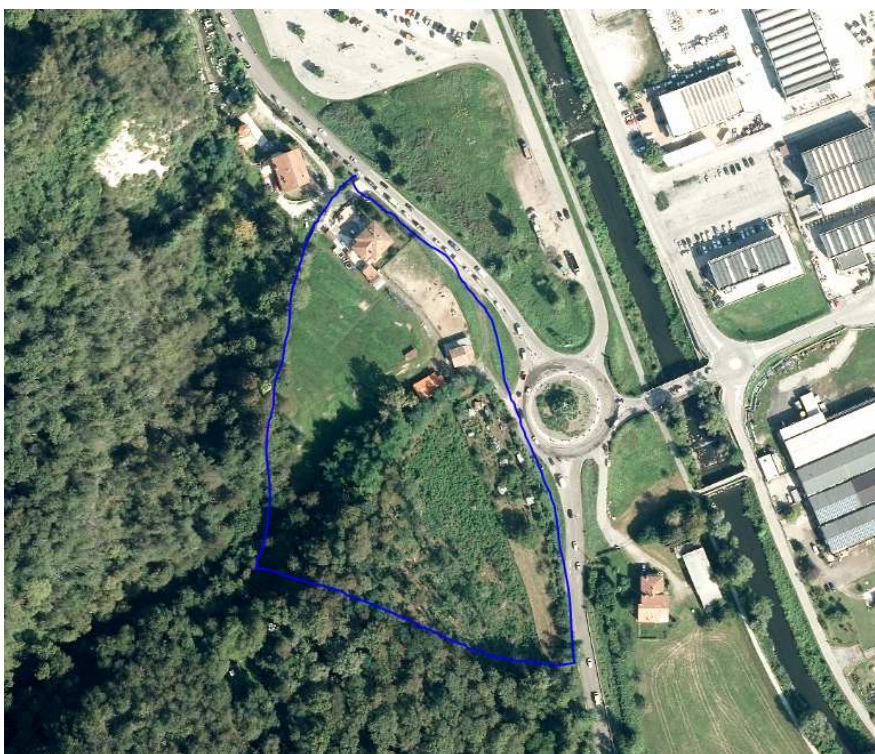
*Figura 8 - estratto foto aerea (swisstopo), anno 1995*

#### *ORTOFOTO AGEA 2018, REGIONE LOMBARDIA*

Eseguendo un'analisi multitemporale delle immagini ortofoto di Regione Lombardia, con ultima quella del 2018, appare chiara un'evoluzione antropica dell'area e del suo immediato intorno. Rifacendosi solo alla lettura dell'immagine l'impressione è che esista un edificio di conoide, anche bene delineato nella forma come perimetrato nel GEOIFFI, complice anche il taglio della vegetazione per liberare aree al piede del versante per scopi agricoli e/o di pascolo. In realtà, come poi descritto nel seguente capitolo, la situazione morfologica rilevata non si mostra così come interpretabile da foto aerea.

Quindi, riassumendo, si può affermare che, nell'ottica della presenza di un edificio di conoide, trattasi di una situazione stabile almeno negli ultimi 70 anni, anche come testimoniato dai locali o dall'assenza di eventi alluvionali documentati.

Ciò fa pensare che si tratti di una paleoconoide principalmente edificata allo sbocco della Valle della Morte, in coalescenza con una piccola conoide posta allo sbocco della Valle del Sasso. La conoide è "stretta" tra l'acclive versante e le falde detritiche di raccordo con la piana alluvionale del Margorabbia.



*Figura 9 - estratto ortofoto Regione Lombardia, AGEA 2018*

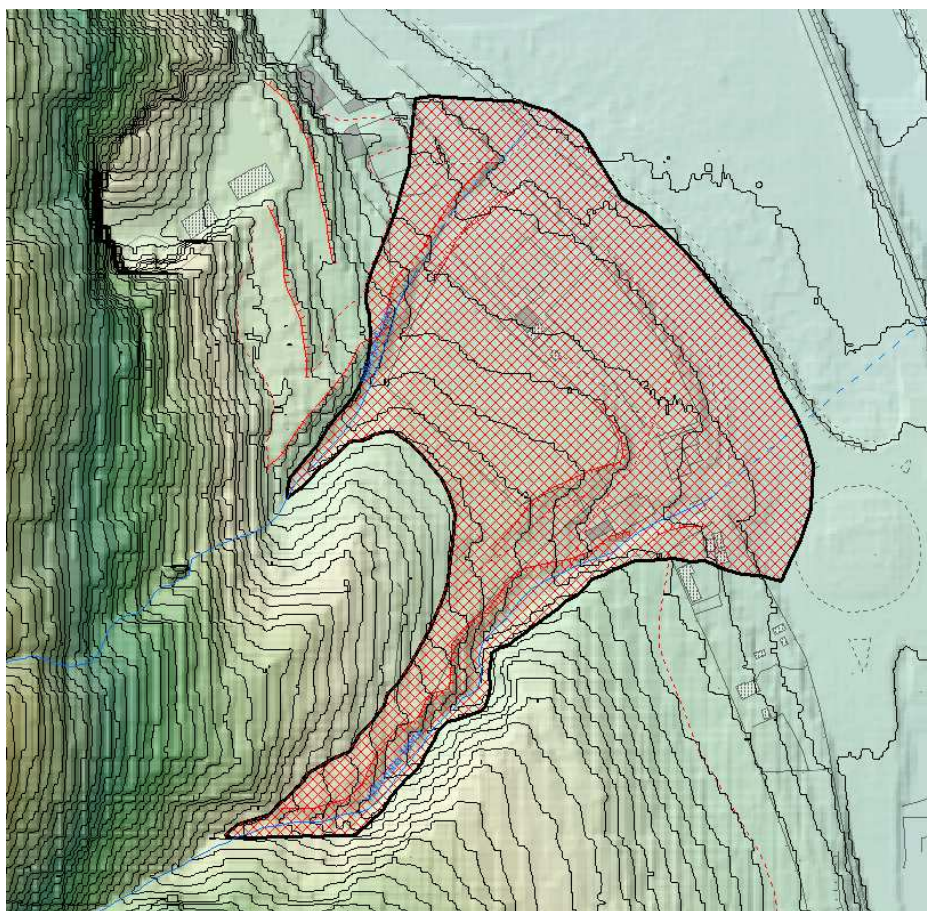
#### **4. RIPERIMETRAZIONE MORFOLOGICA DELLA CONOIDE**

Il primo passo, utile alle successive fasi di analisi, è stato quello di effettuare un rilevamento geomorfologico di dettaglio dell'area, al fine di dare una conformazione più corretta possibile del perimetro della conoide, ritenendo non adeguato quanto mappato nella cartografia GEOIFFI e poi ripreso nello studio geologico comunale. Si ricorda infatti che gli elementi in dissesto censiti nel GEOIFFI derivano principalmente da fotointerpretazione e solo puntualmente supportati da rilievo a terra, specie in contesti molto più "importanti" di quello in oggetto.

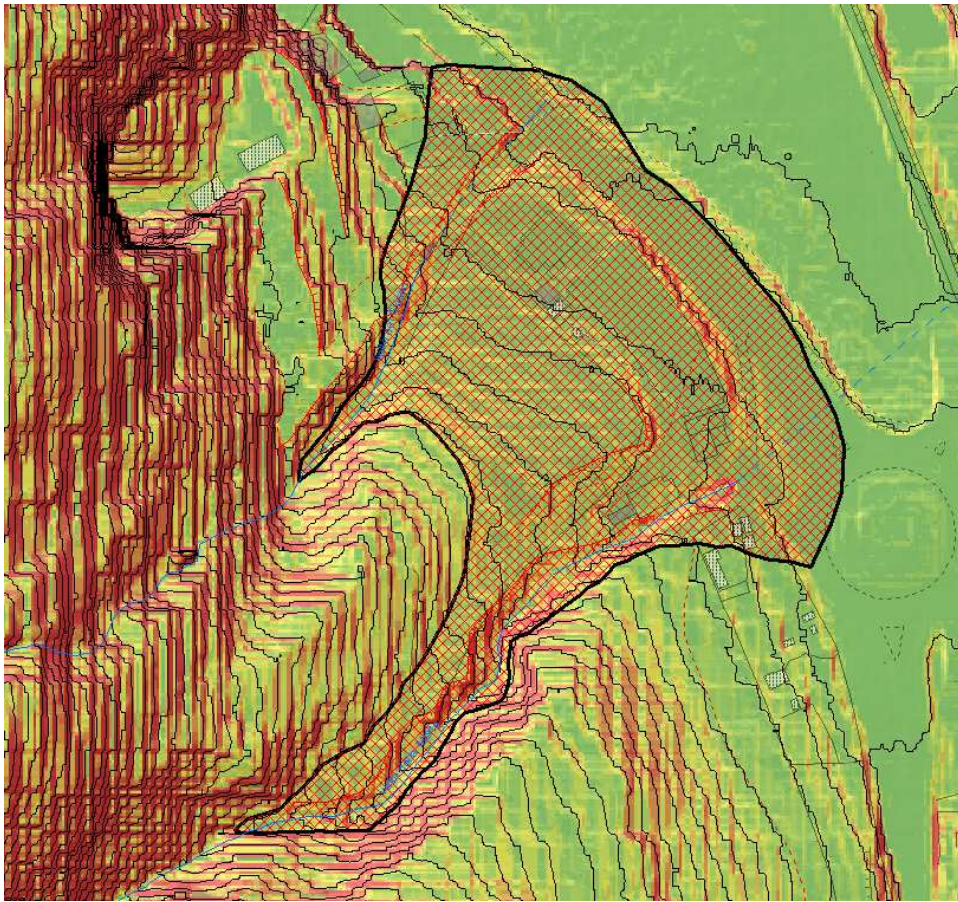
Il rilievo geomorfologico è stato poi affinato utilizzando il Modello Digitale del Terreno LIDAR, costituito da una maglia altimetrica con passo di 1x1 metro; l'uso del LIDAR è stato utile anche per la parametrizzazione morfometrica della conoide e dei bacini idrografici sottesi.

Il rilievo di terreno ha permesso di identificare una conoide (**Figura 10**), data dalla coalescenza di due piccole conoidi formatesi allo sbocco, nella piana del Margorabbia, di due torrenti minori (Valle del Sasso a Nord; Valle della Morte a Sud). Risulta difficile riconoscere le singole conoidi, complice anche l'intervento antropico con oblitterazione delle originarie morfologie, a seguito dell'utilizzo delle aree ai fini agricoli/pascolo e viabilistici (la parte frontale della conoide infatti è attraversata dalla SS n. 394).

La conoide così riperimetrata risulta avere una superficie di 0,015 km<sup>2</sup>, del tutto uguale a quella mappata nel vigente studio geologico, anche se di forma differente.

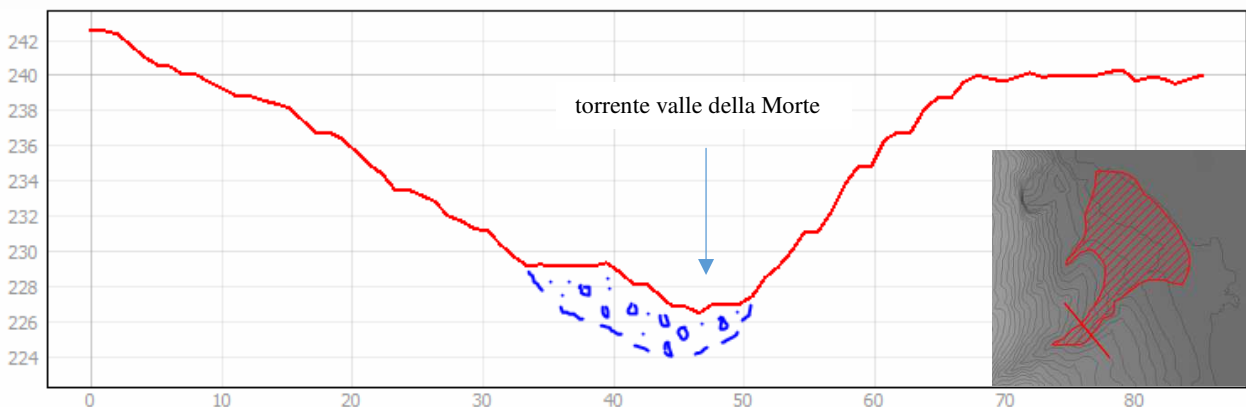


**Figura 10** – Riperimetrazione della conoide a seguito di rilievo geomorfologico di dettaglio. Come base di rappresentazione è stato utilizzato il Modello Digitale del Terreno (LIDAR) da cui sono state estrapolate curve di livello con equidistanza di 2 metri. La linea rossa a “barbette” indica l’orlo di terrazzo che delimita l’incisione della conoide operata dai torrenti valle della Morte e valle del Sasso

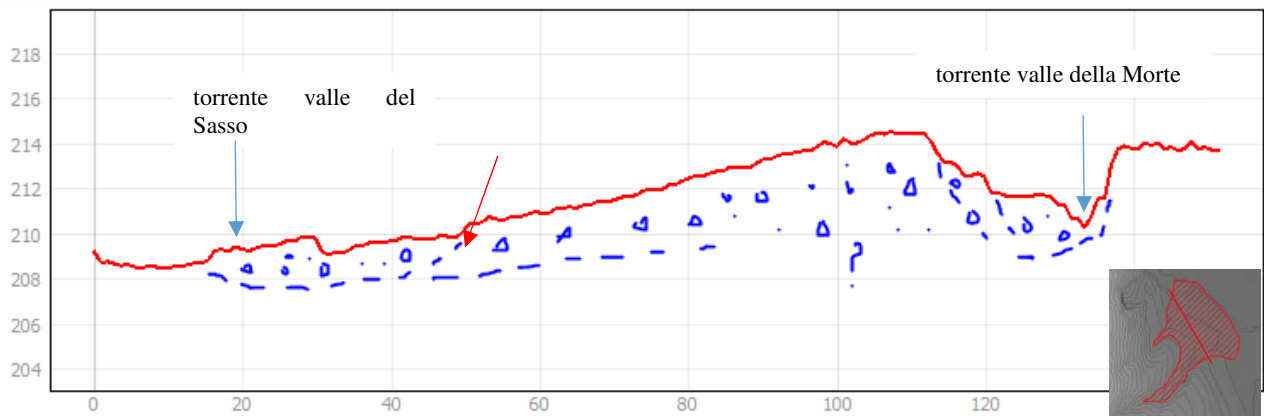


**Figura 11** - Riperimetrazione della conoide a seguito di rilievo geomorfologico di dettaglio. Come base di rappresentazione è stata utilizzata la clivometria del terreno come ricavata da elaborazione del Modello Digitale del Terreno (LIDAR). Curve di livello con equidistanza di 2 metri

Nella **Figura 12** è rappresentata una sezione tracciata in prossimità dell'apice della conoide nella porzione di competenza del torrente Valle della Morte. In questo settore la conoide risulta ben confinata dai fianchi del versante.



**Figura 12** – Sezione apicale (valle della Morte) trasversale della conoide



**Figura 13** - Sezione quasi frontale, trasversale, della conoide (la freccia rossa indica la zona di erosione operata dalla piccola conoide del torrente valle del Sasso a discapito della più importante conoide del torrente valle della Morte)

La sezione di **Figura 13** mostra la conoide in prossimità della parte frontale. Si nota che principalmente la conoide è stata edificata da apporti detritici del torrente valle della Morte e solo successivamente è arrivato un debole contributo dalla valle del Sasso, infatti questa erode la precedente (come indicato dalla freccia rossa).

## **5. STUDIO DEL BACINO IDROGRAFICO**

La conoide, come in precedenza descritto, è formata dalla coalescenza di due conoidi minori edificate dai torrenti Valle del Sasso e Valle della Morte. Le caratteristiche morfometriche dei bacini sottesi ai due torrenti, a monte dell'individuato apice di conoidi, sono state ricavate dall'elaborazione, con opportuni algoritmi di calcolo, del Modello Digitale del Terreno LIDAR, mentre le informazioni di carattere geologico e di uso del suolo sono state desunte da bibliografia esistente e da rilievi in sito.

### **5.1. BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE VALLE DEL SASSO**

Il torrente Valle del Sasso scorre quasi interamente nel comune di Germignaga ed è costituito da un'unica asta principale caratterizzata da un andamento quasi rettilineo, a regime torrentizio temporaneo. L'asta principale si sviluppa su una lunghezza totale (fino al margine della conoide) di 423 metri, di cui il tratto su conoide ha lunghezza di 130 metri, di cui 44 metri intubati. La pendenza media di tutto l'alveo, del 30% circa, si suddivide in pendenza del 12% circa per il tratto di alveo su conoide e del 44% circa per il tratto non in conoide.

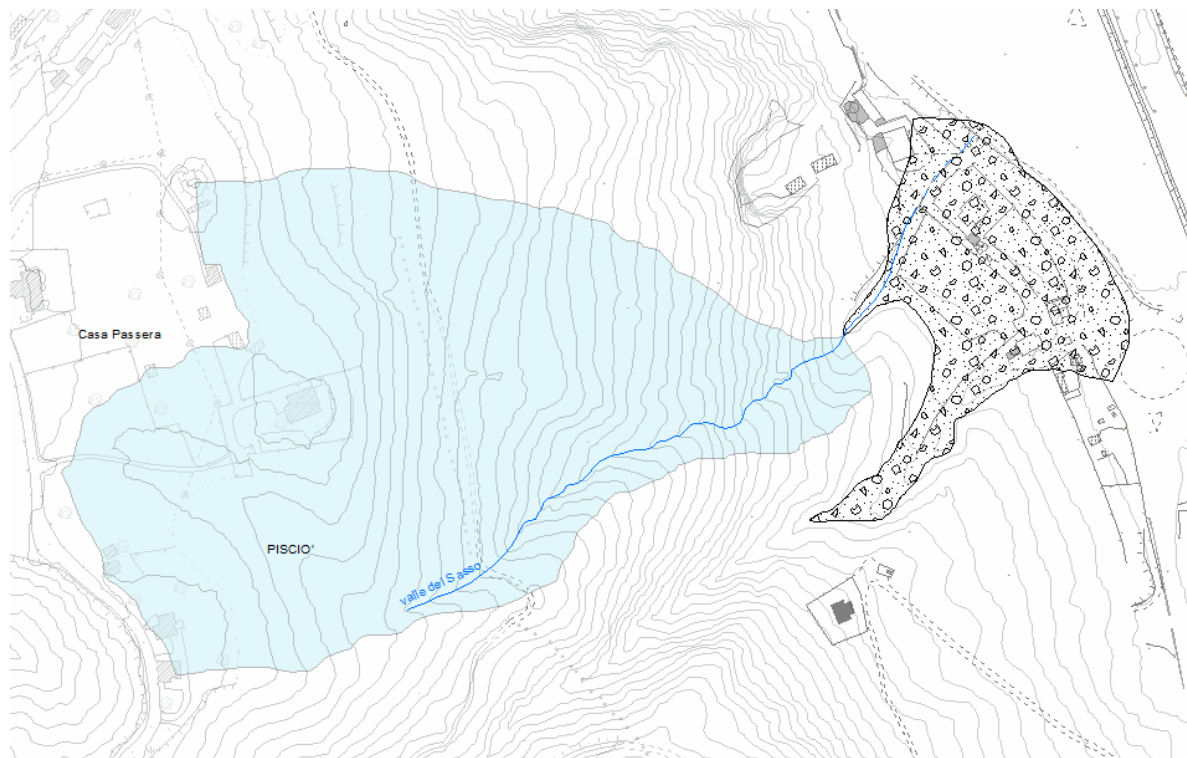
Il bacino idrografico del torrente Valle del Sasso (a monte del punto di chiusura posto all'apice della relativa conoide) si sviluppa in direzione Ovest-Est con superficie di 0,069 km<sup>2</sup>, a partire dalle località Casa Passera-Pisciò, in comune di Brezzo di Bedero, fino alle abitazioni presso la vecchia Fornace in Comune di Germignaga. L'altitudine massima è di 385,34 m slm, la minima (alla chiusura) è di 220,38 m slm, con pendenza media dei versanti pari al 44,2%.

L'area interessata dal bacino idrografico, dal punto di vista geologico, è caratterizzata dalla presenza del substrato roccioso carbonatico costituito dal Calcare di Cunardo e marginalmente dalla Dolomia di San Salvatore. Il substrato roccioso è generalmente coperto da coltri detritiche di versante e da copertura di depositi glaciali nella sua porzione di monte (loc. Casa Passera).

La superficie del bacino idrografico è per il 90% occupata da copertura boschiva; solo nella parte di monte sono presenti aree prative e sparse abitazioni.

Nella tabella seguente si riportano le principali caratteristiche morfometriche del bacino idrografico del torrente valle del Sasso (cfr. **Figura 14**) all'apice della conoide.

Superficie [km <sup>2</sup> ]	H massima [m slm]	H minima [m slm]	H media [m slm]	Pendenza media [%]	Lunghezza asta principale [m]	Lunghezza asta principale su conoide [m]
0,069	385,34	220,38	344,18	44,2	423	130



*Figura 14 – Bacino idrografico (in azzurro) del torrente valle del Sasso*

## 5.2. BACINO IDROGRAFICO DEL TORRENTE VALLE DELLA MORTE

Il torrente Valle della Morte ha origine in prossimità della località Pralongo in comune di Brezzo di Bedero, dove scorre per circa metà del suo tracciato, per poi attraversare il territorio di Germignaga fino alla confluenza con il Margorabbia. L'asta principale è caratterizzata da andamento prettamente rettilineo a regime torrentizio semi permanente. Il torrente scorre in direzione Nord-Sud nel suo tratto di monte, per poi piegare verso NNE, mantenendo questa direzione per tutto il resto del tracciato. Tra le quote di 340 m slm e 335 m slm confluiscono due piccoli rii secondari.

L'asta principale si sviluppa su una lunghezza totale (fino al margine della conoide) di 780 metri, di cui il tratto su conoide ha lunghezza di 215 metri, dei quali 33 metri intubati. La pendenza media di tutto l'alveo è di circa il 25%;. Pendenza del 14% circa per il tratto di alveo su conoide e del 29% circa per il tratto non in conoide.

Il bacino idrografico del torrente Valle della Morte (a monte del punto di chiusura posto all'apice della relativa conoide) si sviluppa, con superficie di 0,095 km<sup>2</sup>, sul versante che delimita, in sponda sinistra, la Valtravaglia, a partire dalla località Pralongo in comune di Brezzo di Bedero. L'altitudine massima è di 439,29 m slm, la minima (alla chiusura) è di 237,24 m slm, con pendenza media dei versanti pari al 59,8%.

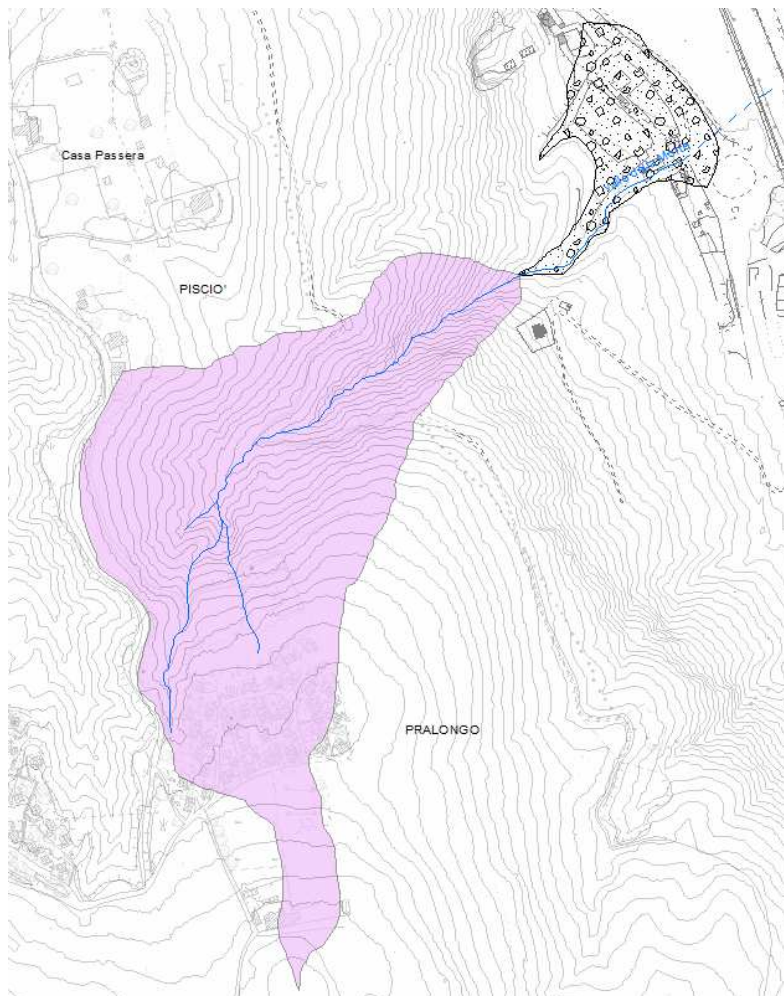
L'area interessata dal bacino idrografico, dal punto di vista geologico, è caratterizzata dalla presenza del substrato roccioso in parte costituito dal Calcarea di Cunardo e in parte da rocce metamorfiche della Serie dei Laghi; la valle infatti si imposta circa in corrispondenza del contatto tettonico, lungo faglia, tra il basamento metamorfico e la scaglia carbonatica costituita appunto dal Calcarea di Cunardo e dalla Dolomia di San Salvatore.

Il substrato roccioso è generalmente coperto da coltri detritiche di versante e da copertura di depositi glaciali nella sua porzione di monte (loc. Pralongo).

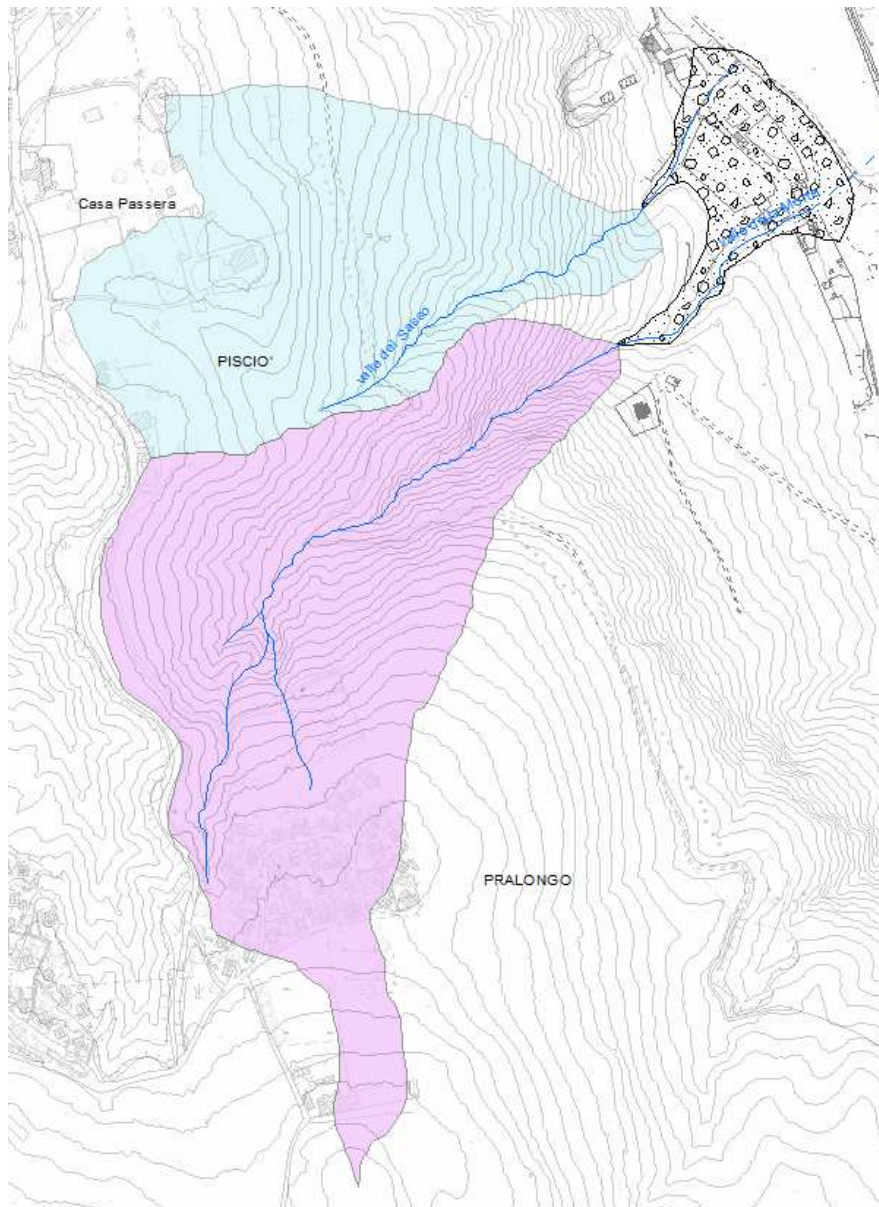
La superficie dal bacino idrografico è principalmente occupata da copertura boschiva; solo nella parte di monte sono presenti aree prative e il nucleo urbanizzato di Pralongo.

Nella tabella seguente si riportano le principali caratteristiche morfometriche del bacino idrografico del torrente valle della Morte (cfr. **Figura 15**) all'apice della conoide.

Superficie [km <sup>2</sup> ]	H massima [m slm]	H minima [m slm]	H media [m slm]	Pendenza media [%]	Lunghezza asta principale [m]	Lunghezza asta principale su conoide [m]
0,095	439,29	237,24	363,77	59,83	780	215



*Figura 15 - Bacino idrografico (in rosa) del torrente valle della Morte*



*Figura 16 – Rappresentazione combinata dei bacini idrografici sottesi ai torrenti valle del Sasso e della Morte*

## **6. ANALISI PLUVIOMETRICA DELL'AREA**

### **6.1. PREVISIONE QUANTITATIVA DELLE PIOGGE INTENSE**

All'interno dei bacini idrografici in esame non sono presenti stazioni di misura delle piogge, di conseguenza si è optato di fare riferimento alle elaborazioni messe a punto da ARPA Lombardia nell'ambito del progetto STRATA. Il calcolo delle precipitazioni viene eseguito assumendo, attraverso la cosiddetta Linea Segnalatrice di Possibilità Pluviometrica (L.S.P.P.) caratteristica del sito in esame, una relazione tra la durata e l'altezza di pioggia ragguagliata all'area del bacino considerato, per un assegnato tempo di ritorno.

L'assunzione di base del modello è che la L.S.P.P. possa essere espressa con ragionevole approssimazione da una relazione monomia del tipo:

$$h_d(T) = a \cdot d^n$$

Ove:  $\underline{a}$  (normalmente espresso in mm) è l'altezza di pioggia di durata oraria mediamente attesa;  $\underline{T}$  è il tempo di ritorno assunto;  $\underline{n}$  (fattore di scala) è un esponente che viene considerato indipendente da  $T$ , nell'ipotesi che per tutte le diverse durate di precipitazione la variabile casuale costituita dalla corrispondente massima altezza annua di precipitazione sia distribuita secondo un'unica legge e con un unico valore del coefficiente di variazione.

La caratterizzazione idrologica del sito viene operata ricorrendo alle analisi condotte sull'intero territorio regionale a cura di ARPA Lombardia, che individuano per le curve di possibilità climatica due differenti formati, rispettivamente per durate di pioggia comprese tra 1h e 24h, e per durate comprese tra un giorno e cinque giorni.

Per il caso di durate di pioggia inferiori a 24h (per la situazione oggetto del presente studio), la curva viene espressa con la seguente espressione:

$$h_T(D) = a_1 w_T D^n$$

Nella quale il termine generico  $a$  della formulazione generale in precedenza illustrata è espresso come prodotto fra due fattori:

$a_1$  (coefficiente pluviometrico orario) è un parametro di intensità, caratteristico del sito, che in maniera indipendente dal tempo di ritorno dà indicazione della sua piovosità oraria;

$w_T$  è un fattore di moltiplicazione del coefficiente pluviometrico orario, dipendente dal tempo di ritorno assunto ( $T$ , espresso in anni) attraverso la relazione che segue:

$$w_T = \varepsilon + \frac{\alpha}{k} \left\{ 1 - \left[ \ln \left( \frac{T}{T-1} \right) \right]^k \right\}$$

ove  $\alpha$ ,  $k$ ,  $\varepsilon$  sono i parametri della distribuzione probabilistica G.E.V (*Generalized Extreme Value*) che descrive la distribuzione statistica degli eventi di pioggia più intensi rilevabili nel sito.

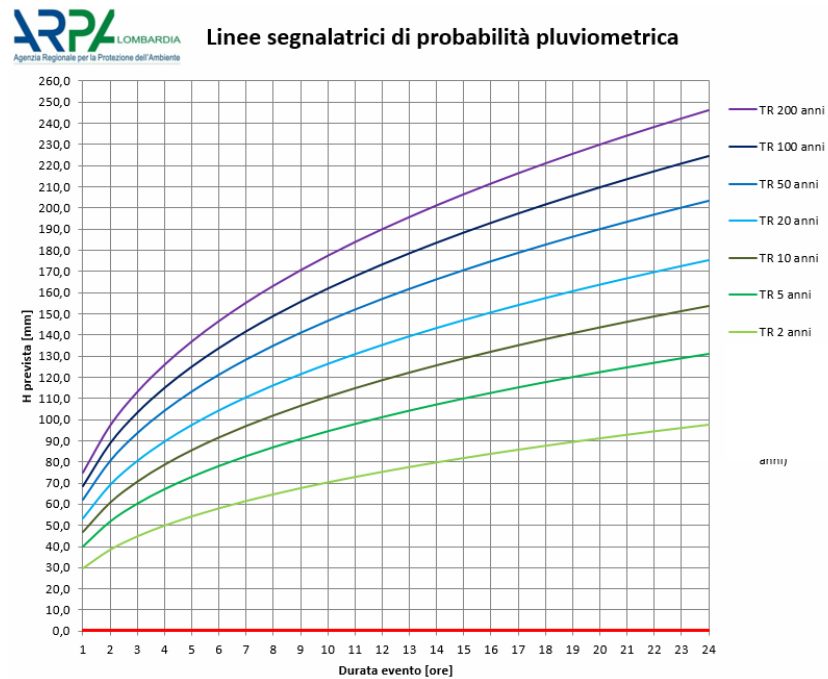
Al fine di avere una corretta valutazione di tali parametri, per il territorio in esame, si è operata una verifica direttamente nel sito di ARPA Lombardia.

#### **L.S.P.P. con durata da 1h a 24h**

I valori determinati per la porzione di territorio in cui ricadono i bacini idrografici di interesse sono riportati nella tabella seguente, sulla base dei quali sono definibili le linee segnalatrici di probabilità pluviometrica come riportato in **Figura 17**.

Parametro				
$a_1$ [mm]	$n$	$\alpha$	$k$	$\epsilon$
31,76	0,3739	0,2792	-0,012	0,8354

Per la descrizione delle piogge caratterizzate da durate inferiori ad un'ora, in assenza di indicazioni di dettaglio, si assumono i medesimi parametri relativi a piogge di durata superiori, variando il solo esponente  $n$ , cui viene attribuito il valore di 0,5.



**Figura 17** – Linee segnalatrici di probabilità pluviometrica per l'area in cui ricadono i bacini idrografici di interesse

## 6.2. CALCOLO DELLE ALTEZZE DI PIOGGIA

Sulla base delle relazioni di calcolo e dei valori delle L.S.P.P., di cui al precedente paragrafo, sono state determinate le altezze di pioggia attese nell'area di interesse, per i diversi tempi di ritorno e per alcune durate di pioggia significative.

Durata pioggia		Tempo di ritorno $Tr$			
		20 anni	50 anni	100 anni	200 anni
ore	minuti	mm di pioggia			
00	10	21,8	25,3	28,0	30,6
00	20	30,8	35,8	39,5	43,3
00	30	37,7	43,8	48,4	53,0
00	40	43,6	50,6	55,9	61,3
00	50	48,7	56,6	62,5	68,5
1	00	53,3	62,0	68,5	75,0
2	00	69,1	80,3	88,7	97,2
3	00	80,4	93,4	103,3	113,1
4	00	89,6	104,0	115,0	126,0
5	00	97,4	113,1	125,0	136,9
6	00	104,2	121,1	133,8	146,6

7	00	110,4	128,3	141,7	155,3
8	00	116,1	134,8	149,0	163,2
9	00	121,3	140,9	155,7	170,6
10	00	126,2	146,5	162,0	177,4
11	00	130,8	151,9	167,8	183,9
12	00	135,1	156,9	173,4	190,0
13	00	139,2	161,7	178,7	195,7
14	00	143,1	166,2	183,7	201,2
15	00	146,8	170,5	188,5	206,5
16	00	150,4	174,7	193,1	211,5
17	00	153,9	178,7	197,5	216,4
18	00	157,2	182,6	201,8	221,1
19	00	160,4	186,3	205,9	225,6
20	00	163,5	189,9	209,9	229,9
21	00	166,5	193,4	213,7	234,2
22	00	169,4	196,8	217,5	238,3
23	00	172,3	200,1	221,1	242,3
24	00	175,0	203,3	224,7	246,2

Al fine però di ragguagliare i dati sopra esposti allo specifico dell'area occupata dai bacini idrografici di interesse, è necessario definire prima il *tempo di corrivazione* dei bacini, definito come il tempo impiegato dall'acqua per giungere alla sezione di chiusura secondo il percorso idraulicamente più lungo. Diverse sono le formule empiriche, diffuse in letteratura, per il calcolo del tempo di corrivazione, funzione della superficie del bacino idrografico, del percorso idraulico più lungo, della quota media del bacino alla sezione di chiusura, della pendenza media dell'asta principale e del bacino, nonché funzione del tipo di suolo.

Di seguito si riportano i valori del tempo di corrivazione ricavate da diverse formule note:

Bacino idrografico torrente valle del Sasso							
Parametri morfometrici							
A [km <sup>2</sup> ]	L [km]	Hm [m slm]	H0 [m slm]	I [m/m]	M	d	Im [m/m]
0,069	0,5396	344,18	220,38	0,10	0,2	0,96	0,44

*A* superficie del bacino; *L* lunghezza del percorso idraulico più lungo; *Hm* altezza media del bacino; *H0* quota della sezione di chiusura; *I* pendenza media asta principale; *M* costante funzione del tipo di copertura (0,2=terreni coperti da bosco); *d* costante funzione della permeabilità (0,96=terreni poco permeabili); *Im* pendenza media del bacino

Bacino idrografico torrente valle della Morte							
Parametri morfometrici							
A [km <sup>2</sup> ]	L [km]	Hm [m slm]	H0 [m slm]	I [m/m]	M	d	Im [m/m]
0,957	0,9045	363,77	237,24	0,22	0,2	0,96	0,59

*A* superficie del bacino; *L* lunghezza del percorso idraulico più lungo; *Hm* altezza media del bacino; *H0* quota della sezione di chiusura; *I* pendenza media asta principale; *M* costante funzione del tipo di copertura (0,2=terreni coperti da bosco); *d* costante funzione della permeabilità (0,96=terreni poco permeabili); *Im* pendenza media del bacino

Bacino idrografico torrente valle del Sasso			
Autore	Formula empirica	Tempo di corrivazione [ore]	Tempo di corrivazione [min]
Giandotti	$t_c = (4 \sqrt{A} + 1,5 L) / (0,8 \sqrt{(H_m - H_0)})$	0,21	12,6
Giandotti modificata	$T_c = \frac{1}{M \cdot d} \cdot \frac{\sqrt{A_b} + 1,5 \cdot L_b}{0,8 \cdot \sqrt{H_m}}$	0,24	14,7
Pezzoli	$T_c = 0,055 \cdot \frac{L}{i^{0,5}}$	0,09	5,5

Viparelli	$T_c = \frac{L}{3.6}$	0,15	9,0
Merlo-Tourmon	$T_c = 0.396 \cdot \frac{L}{\sqrt{i}} \cdot \left( \frac{A \cdot \sqrt{i}}{L^2 \cdot \sqrt{i_m}} \right)$	0,08	4,6
Pasini	$T_c = \frac{24 \cdot 0.045 \cdot \sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{i} \cdot 100}$	0,11	6,7
Kirpich	$T_c = \frac{0.95 \cdot L^{1.155}}{(H_{MAX} - H_{MIN})^{0.385}}$	0,07	4,4
Ventura	$T_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i}}$	0,10	6,2

Bacino idrografico torrente valle della Morte			
Autore	Formula empirica	Tempo di corrivazione [ore]	Tempo di corrivazione [min]
Giandotti	$t_c = (4 \sqrt{A} + 1,5 L) / (0,8 \sqrt{(H_m - H_0)})$	0,29	17,3
Giandotti modificata	$T_c = \frac{\frac{1}{M \cdot d} \cdot \sqrt{A_b} + 1.5 \cdot L_b}{0.8 \cdot \sqrt{H_m}}$	0,33	19,8
Pezzoli	$T_c = 0.055 \cdot \frac{L}{i^{0.5}}$	0,11	6,3
Viparelli	$T_c = \frac{L}{3.6}$	0,25	15,1
Merlo-Tourmon	$T_c = 0.396 \cdot \frac{L}{\sqrt{i}} \cdot \left( \frac{A \cdot \sqrt{i}}{L^2 \cdot \sqrt{i_m}} \right)$	0,05	3,2
Pasini	$T_c = \frac{24 \cdot 0.045 \cdot \sqrt[3]{A \cdot L}}{\sqrt{i} \cdot 100}$	0,10	6,1
Kirpich	$T_c = \frac{0.95 \cdot L^{1.155}}{(H_{MAX} - H_{MIN})^{0.385}}$	0,13	7,9
Ventura	$T_c = 0.1272 \cdot \sqrt{\frac{A}{i}}$	0,08	5,0

I valori del tempo di corrivazione ricavati, per i rispettivi bacini idrografici, applicando diverse formule empiriche, mostrano variabilità dei risultati. Per il bacino idrografico del torrente Valle del Sasso si ricavano valori variabili tra un massimo di quasi 15 minuti ad un minimo di circa 4 minuti. Mentre per il bacino idrografico del torrente Valle della Morte i valori variano tra un massimo di quasi 20 minuti ad un minimo di circa 3 minuti.

Pertanto, al fine di ottenere un valore del tempo di corrivazione univoco e caratteristico per i bacini idrografici, è stata operata una media dei valori ottenuti escludendo però dal calcolo il termine maggiore e minore, con il risultato di seguito riportato.

Bacino idrografico torrente valle del Sasso		Bacino idrografico torrente valle della Morte	
Tempo di corrivazione [ore]	Tempo di corrivazione [min]	Tempo di corrivazione [ore]	Tempo di corrivazione [min]
0,12	7,4	0,16	9,6

È stata, quindi, determinata la pioggia intensa ragguagliata al bacino idrografico, assumendo la durata di pioggia uguale al tempo di corrivazione sopra ricavato, assumendo 0,5 il coefficiente di scala N in quanto la durata di pioggia=tempo di corrivazione è inferiore all'ora.

Bacino idrografico torrente valle del Sasso				
Durata pioggia=tempo di corrivazione	Tempo di ritorno Tr			
	20 anni	50 anni	100 anni	200 anni
ore	mm di pioggia			
0,12	18,8	21,8	24,1	26,4

Bacino idrografico torrente valle della Morte				
Durata pioggia=tempo di corrivazione	Tempo di ritorno Tr			
	20 anni	50 anni	100 anni	200 anni
ore	mm di pioggia			
0,16	21,3	24,8	27,4	30,0

## 7. VALUTAZIONE DELLA PORTATA LIQUIDA

La portata liquida di massima piena, prevedibile alla chiusura dei singoli bacini idrografici, è stata valutata applicando il metodo razionale (Durazza D., 1880) mediante la relazione  $Q_c = \epsilon I C A$

In cui  $A$  (km<sup>2</sup>) è l'area del bacino,  $C$  è il coefficiente di deflusso,  $I$  è l'intensità di pioggia che provoca la piena, cioè l'altezza critica di pioggia caduta nel tempo di corrivazione del bacino ed  $\epsilon$  è un fattore di riduzione areale ( $\epsilon=1-0,17A^{1/4}$ ) (Fruhling, 1894).

Applicando alla formula del metodo razionale i dati esposti nei capitoli precedenti e assumendo un coefficiente di deflusso pari a 0,3 (rif. *Handbook of Applied Hydrology*, Ven Te Chow, 1954), si ottengono i seguenti valori di portata liquida di picco.

Bacino idrografico torrente valle del Sasso			
Tempo di ritorno Tr			
20 anni	50 anni	100 anni	200 anni
Qc [mc/s]			
0,80	0,93	1,03	1,13

Bacino idrografico torrente valle della Morte			
Tempo di ritorno Tr			
20 anni	50 anni	100 anni	200 anni
Qc [mc/s]			
0,97	1,13	1,25	1,36

## 8. VALUTAZIONE DELLA CAPACITÀ DI TRASPORTO SOLIDO

### 8.1. VERIFICA DELLA POSSIBILITÀ DI FORMAZIONE DI COLATE DETRITICHE

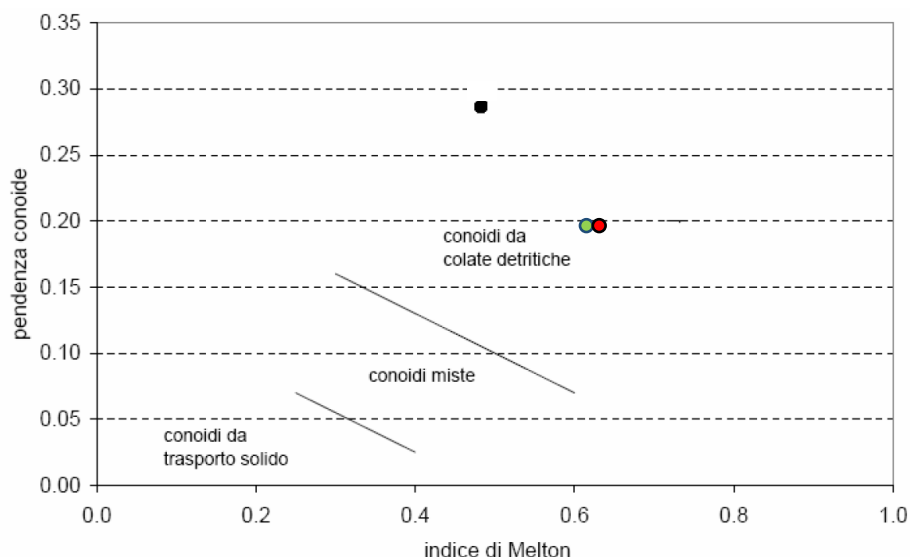
Nell'area di interesse, come detto in precedenza, non sono noti e documentati fenomeni di trasporto solido su conoide, di conseguenza è ragionevole valutare la predisposizione dei due bacini a monte della conoide in esame alla formazione di colate detritiche. In particolare, per valutare preliminarmente il tipo di processi torrentizi sulla conoide, si è applicato il metodo basato sull'indice di Melton. L'indice di Melton è un parametro adimensionale definito in funzione di alcune caratteristiche morfologiche del bacino, secondo la seguente relazione:

$$Mel = \frac{H_{\max} - H_{\min}}{\sqrt{A}}$$

In cui  $H_{\max}$  ed  $H_{\min}$  sono rispettivamente l'altitudine massima e minima del bacino idrografico in m slm, mentre  $A$  è la superficie in  $m^2$  del bacino idrografico.

Bacino idrografico torrente valle del Sasso	Bacino idrografico torrente valle della Morte
Indice di Melton	Indice di Melton
0,628	0,653

Il metodo è basato sul confronto tra l'indice di Melton e la pendenza della conoide, pari a 0,18; inserendo la coppia di valori nel grafico seguente è possibile ricavare delle informazioni qualitative relativamente al tipo di trasporto prevalente a cui può essere soggetta la conoide.



**Figura 18** – valutazione qualitativa della predisposizione alla formazione di colate detritiche mediante il metodo basato sull'indice di Melton (il pallino verde indica il contributo del bacino della Valle del Sasso, mentre il pallino rosso quello della Valle della Morte)

Dal grafico è evidente come i bacini idrografici considerati sono potenzialmente predisposti alla formazione di colate detritiche. Tuttavia la metodologia non valuta la probabilità di accadimento piuttosto che l'entità/intensità del fenomeno.

## 8.2. VALUTAZIONE DELLA POSSIBILE MAGNITUDO

Accertata la potenziale predisposizione dei bacini idrografici in esame alla formazione di colate detritiche, si procede con la valutazione della magnitudo, ovvero della quantità di materiale solido movimentabile, mediante l'applicazione di differenti metodologie in quanto, purtroppo, non esiste una metodologia univoca e ben definita per questo tipo di analisi. Di seguito si riportano i risultati ottenuti applicando una serie di formule empiriche che valutano la magnitudo in funzione delle caratteristiche morfometriche e geologiche dei bacini idrografici.

<b>Bacino idrografico torrente Valle del Sasso</b>	
<b>Metodologia applicata</b>	<b>Magnitudo [m<sup>3</sup>]</b>
D'Agostino et al. (1996)	89,17
Bottino et al. (1996)	10.046,65
Bianco (1999)	2.613,28
Crosta, Ceriani (2000)	849,90

<b>Bacino idrografico torrente Valle della Morte</b>	
<b>Metodologia applicata</b>	<b>Magnitudo [m<sup>3</sup>]</b>
D'Agostino et al. (1996)	394,03
Bottino et al. (1996)	11.010,78
Bianco (1999)	3.180,27
Crosta, Ceriani (2000)	1.365,54

È evidente la marcata differenza tra i valori calcolati per lo stesso bacino idrografico; ciò indica che tali formulazioni, come in generale tutte le metodologie empiriche basate semplicemente sulle caratteristiche morfologiche del bacino, della rete idrografica e della conoide nel loro complesso, forniscono delle stime indicativa ed approssimative. Inoltre le metodologie qui applicate valutano la magnitudo di una possibile colata detritica in funzione solamente di alcune caratteristiche morfologiche del bacino, senza considerare le caratteristiche pluviometriche dell'evento meteorico o della probabilità di accadimento e dell'effettiva disponibilità di materiale detritico ipoteticamente mobilizzabile.

## 9. VALUTAZIONE DELLA PORTATA DI PICCO DELLA COLATA

Un altro parametro da valutare è la portata di picco della colata, qui calcolata applicando il metodo indiretto proposto da Armanini (1996) secondo la seguente formula:

$$Q_{df} = Q_l * (C^x / C^x - C_{df})$$

Dove  $Q_{df}$  = portata della colata;  $Q_l$  = portata massima liquida;  $C_{df}$  = concentrazione della colata e  $C^x = 0,65 \div 0,75$ . La concentrazione della colata ( $C_{df}$ ) può, secondo Takahashi (1991), essere calcolata assumendo che per pendenze elevate la concentrazione della colata sia  $C_{df} \approx 0,9 * C_x$ .

Nelle tabelle seguenti si riportano i valori di portata della colata, calcolati per i bacini idrografici in esame:

Bacino idrografico torrente Valle del Sasso									
$Q_l$ [mc/s]				$C^x$	$C_{df}$	$Q_{df}$ [mc/s]			
Tr20	Tr50	Tr100	Tr200	0,65	0,585	Tr20	Tr50	Tr100	Tr200
0,80	0,93	1,03	1,13			<b>8,03</b>	<b>9,32</b>	<b>10,30</b>	<b>11,29</b>

Bacino idrografico torrente Valle della Morte									
$Q_l$				$C^x$	$C_{df}$	$Q_{df}$			
Tr20	Tr50	Tr100	Tr200	0,65	0,585	Tr20	Tr50	Tr100	Tr200
0,97	1,13	1,25	1,36			<b>9,70</b>	<b>11,27</b>	<b>12,46</b>	<b>13,65</b>

## 10. ANALISI DELLA PERICOLOSITÀ DELLA CONOIDE

La zonazione della pericolosità su conoide è stata definita utilizzando una modellazione numerica con l'uso dell'estensione IDRA2D Debris Flow dell'applicativo AdbToolBox. L'applicativo è stato sviluppato nell'ambito del Geoportale Nazionale Ministero dell'Ambiente e ulteriormente evoluto all'interno del progetto PON Sicurezza per il Monitoraggio dell'Impatto Ambientale dovuto a Reati Ambientali (PON-MIADRA).

Le valutazioni descritte nei capitoli precedenti sono state impiegate come dati di input per la modellazione numerica, non avendo a disposizione dati di partenza, tarati su precedenti eventi verificatisi, per mancanza, come precedentemente descritto, di documentazione e memoria storica.

Per consentire una migliore precisione della delimitazione delle aree che possono essere invase da colate detritiche, è stato utilizzato un Modello Digitale del Terreno di dettaglio (LIDAR) con maglia altimetrica di 1x1 metri. L'uso del LIDAR ha permesso anche di estrarre l'asse quotato delle aste torrentizie che originano il conoide e definire delle sezioni ortogonali al thalweg.

La simulazione è stata fatta considerando 100 anni come tempo di ritorno e impostando opportuni parametri di calcolo della colata, come di seguito, che si è reputato meglio adattarsi alla situazione locale in studio.

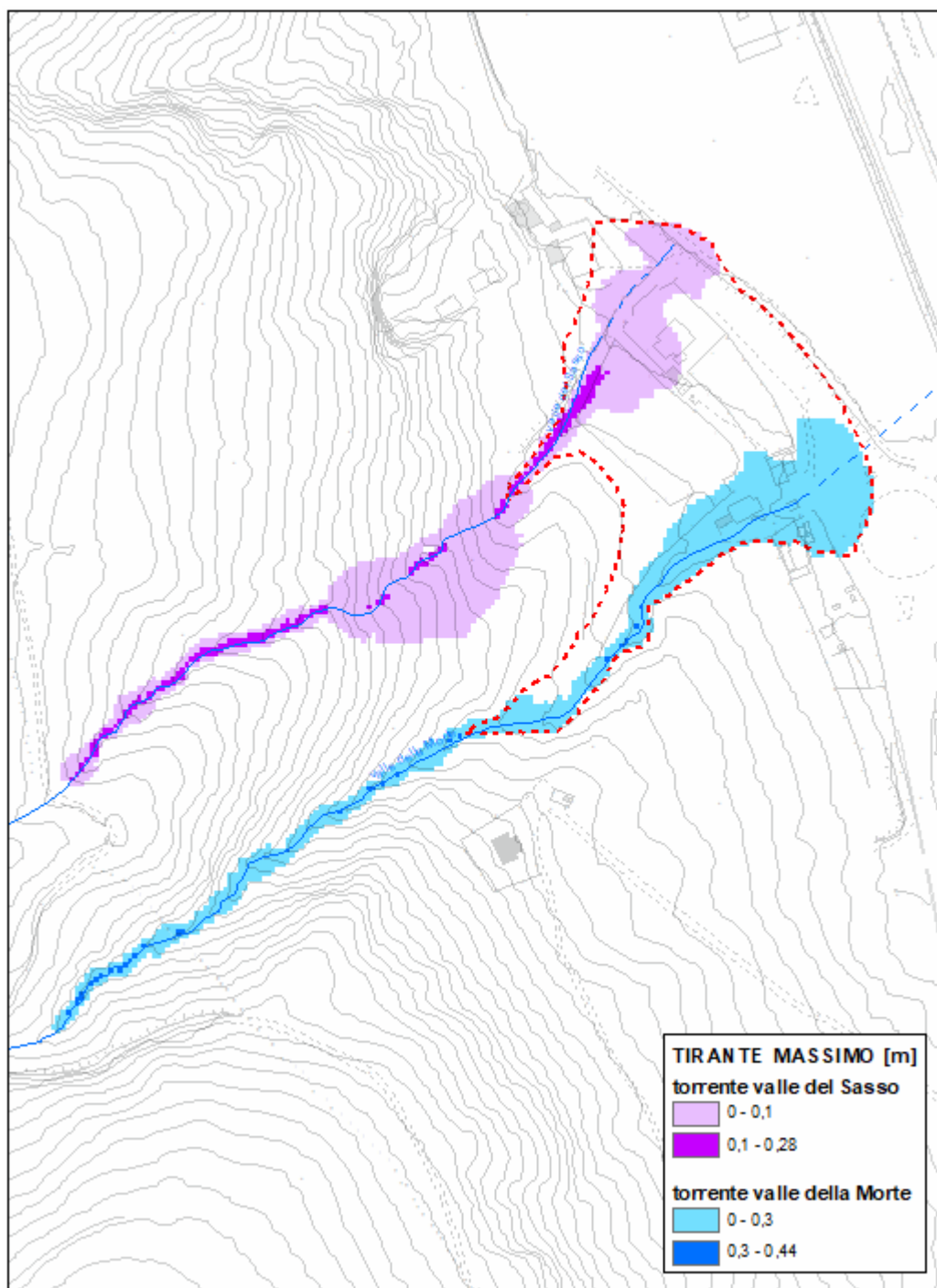
Parametri numerici della colata						
Coeff. di deposizione alla soglia angolare	Angolo limite inferiore [°]	Coeff. Egashira di erosione	Coeff. Egashira di deposizione	Velocità di deposizione superiore [m/s]	Angolo di deposizione superiore [°]	Minimo tirante angolare di erosione/deposizione [m]
5	5	0,5	1	1	14	0,1

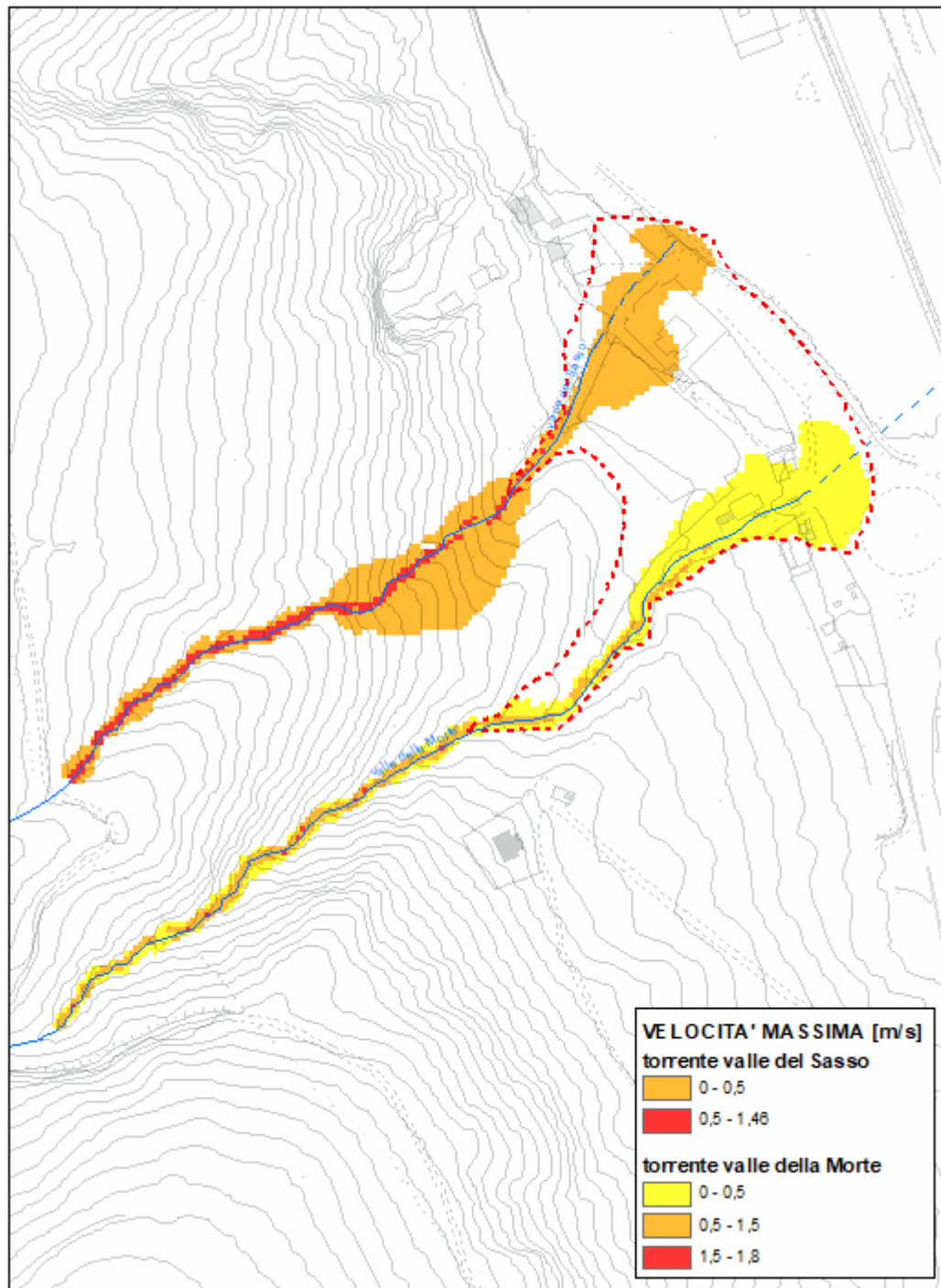
Parametri dipendenti dalla scabrezza (assunta pari a 2, rif. Chèzy)	
Velocità inferiore di erosione [m/s]	Angolo di erosione inferiore [°]
2	20

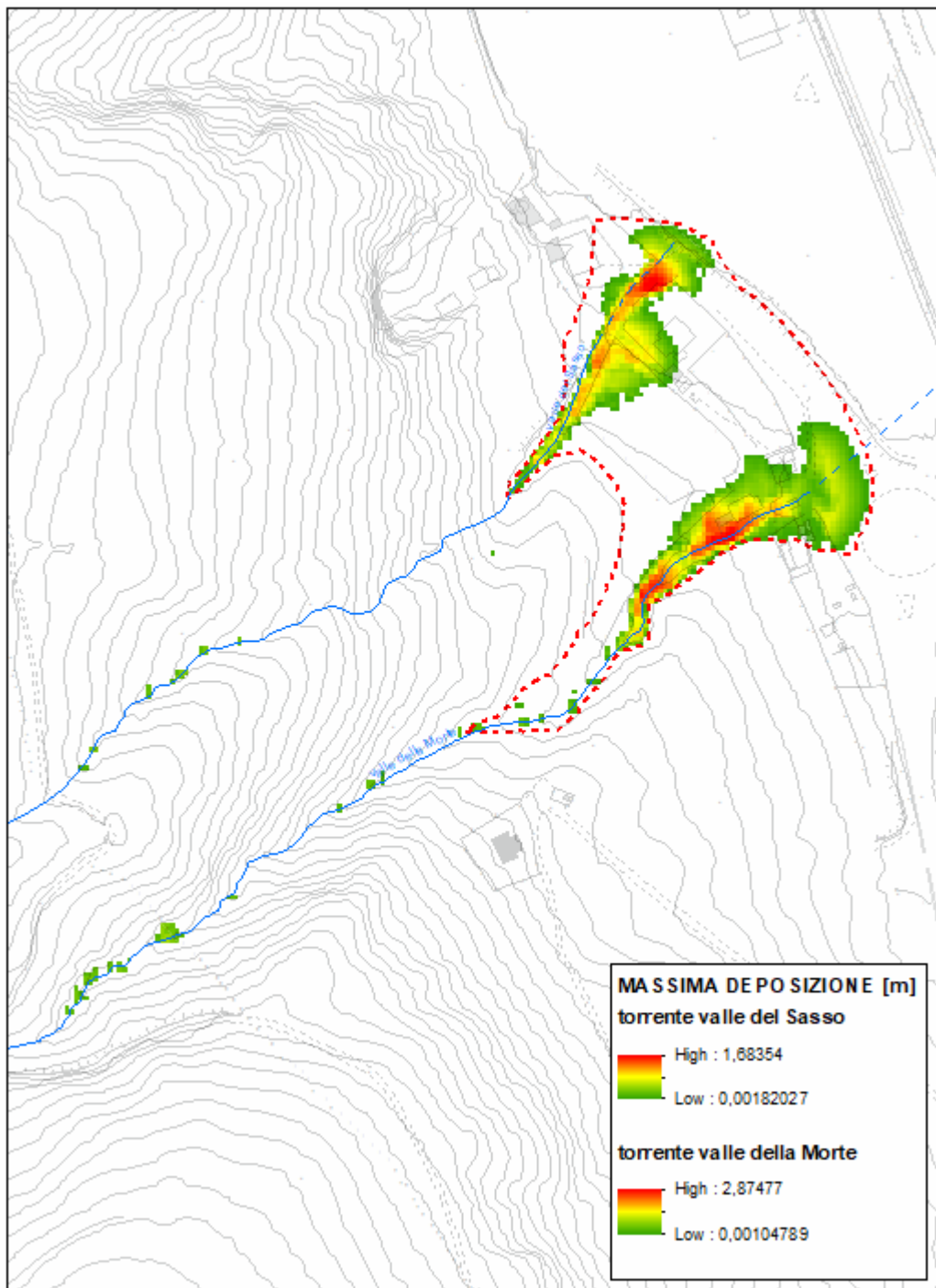
Parametri numerici di simulazione			
Tempo di simulazione [h]	Numero di Courant	Tirante minimo [m]	Step di output [min]
5	0,950	0,01	10

### 10.1. RISULTATO DELLA SIMULAZIONE

La simulazione ha dato come risultato una serie di mappe, relative al tirante massimo, alla velocità massima e la mappa di massima deposizione.



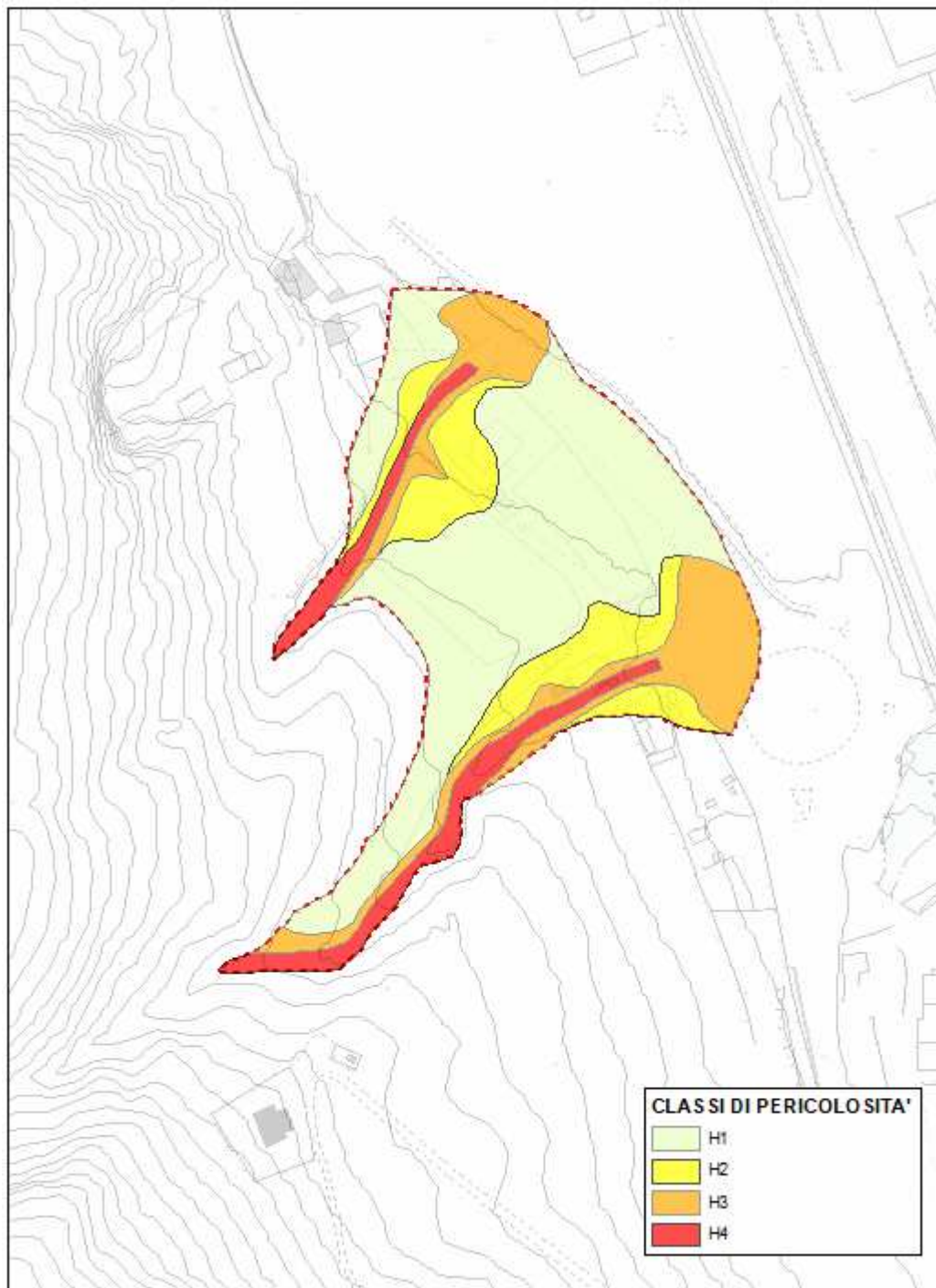




#### 10.2. PERICOLOSITÀ SU CONOIDE

In considerazione dei risultati ottenuti dalla simulazione, relazionando i valori di tirante, velocità e massimo spessore di deposizione, viene formulata una nuova perimetrazione della conoide in termini di pericolosità di

accadimento di un potenziale evento di colata detritica, dal contributo di entrambe i bacini idrografici considerati. Si fa presente e si ricorda che non sono noti e documentati fenomeni alluvionali accorsi in passato.



Le classi di pericolosità riconosciute sono così caratterizzate:

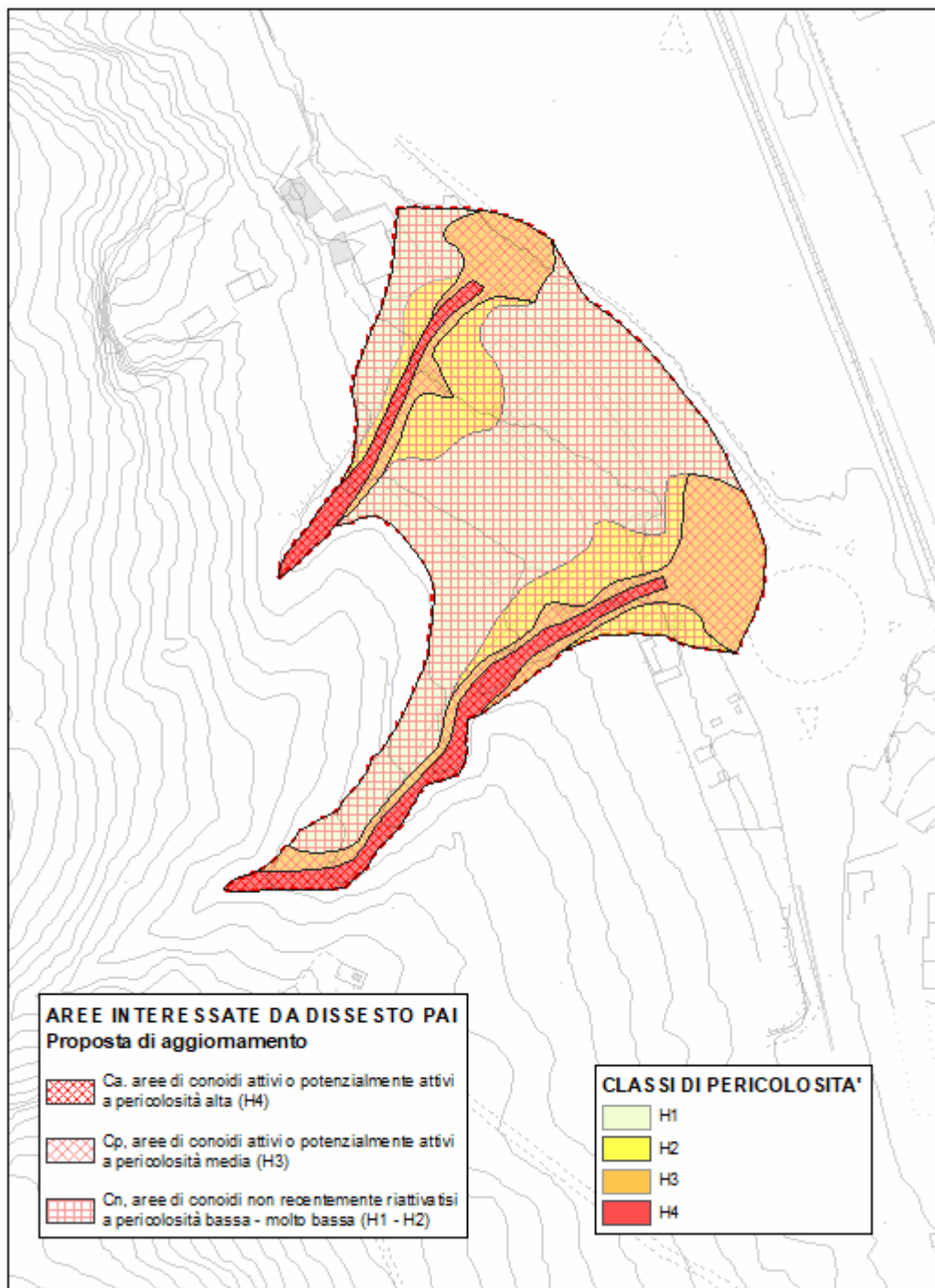
- **Pericolosità molto bassa (H1)** – area che per caratteristiche morfologiche ha basse o nulle probabilità di essere interessata dai fenomeni di dissesto;
- **Pericolosità bassa (H2)** – area con bassa probabilità di essere interessata da fenomeni di dissesto, con altezze idriche inferiori a 30 cm, velocità inferiore a 0,5 m/s e massima deposizione attesa non superiore a 1,2 m;
- **Pericolosità media (H3)** – area con moderata probabilità di essere esposta a fenomeni alluvionali. Con deflusso con altezze idriche massimo 30 cm, velocità non superiore a 0,5 m/ e massima deposizione attesa di 1,2-1,8 m;
- **Pericolosità alta (H4)** – area con alta probabilità di essere interessata da fenomeni di erosione e di trasporto in massa e/o di trasporto solido con deposizione attesa massima di 1,68-2,8 m, velocità tra 0,5 e 1,5 e altezze idriche massimo 30 cm.

#### 10.3. PROPOSTA DI RIPERIMETRAZIONE DEGLI SCENARI DI DISSESTO PAI - PGRA

Il quadro dei dissesti PAI vigente classifica, uniformemente, l'ambito in oggetto come *“aree di conoidi attivi o potenzialmente attivi non protette da opere di difesa e di sistemazione a monte (pericolosità molto elevata) – Ca”*.

Alla luce dei risultati della simulazione, considerando che la perimetrazione della conoide riportata nel PAI è stata modificata a seguito di un rilievo geomorfologico di dettaglio, e conseguente zonazione della pericolosità, si propone un'aggiornamento/modifica al quadro del dissesto PAI vigente, come di seguito descritto e cartograficamente evidente in figura.

- Alle aree a pericolosità H1 e H2 è stato attribuito l'ambito **Cn**, a cui equivalgono aree potenzialmente interessate da alluvioni rare (P1/L) del PGRA (ambito territoriale RSCM);
- Alle aree a pericolosità H3 è stato attribuito l'ambito **Cp**, a cui equivalgono aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti (P2/M) del PGRA (ambito territoriale RSCM);
- Alle aree a pericolosità H4 è stato attribuito l'ambito **Ca**, a cui equivalgono aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (P3/H) del PGRA (ambito territoriale RSCM).



## 11. PROPOSTA DI RIDEFINIZIONE DELLA FATTIBILITÀ GEOLOGICA E DELLE NORME GEOLOGICHE DI PIANO

Allo stato attuale, in riferimento al P.G.T. vigente, l'area è classificata in fattibilità geologica a gravi limitazioni (4, sottoclasse 4a), la quale *“non possono essere interessata da interventi edificatori. Per gli interventi esistenti sono consentite esclusivamente le opere relative ad interventi di demolizione senza ricostruzione, manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo, senza aumento di superficie o volume e senza aumento del carico insediativo. Sono consentite le innovazioni necessarie per l'adeguamento alla normativa antisismica”*.

Alla luce di quanto esposto nel capitolo precedente, a conclusione del presente studio, è proposta, quindi, la ridefinizione della fattibilità geologica e della relativa normativa geologica, come di seguito specificato:

- Aree a pericolosità H4, ambito **Ca** PAI, a cui equivalgono aree potenzialmente interessate da alluvioni frequenti (P3/H) del PGRA (ambito territoriale RSCM) – **FATTIBILITÀ GEOLOGICA CON GRAVI LIMITAZIONI (CLASSE 4)**. In tali aree si applica la norma d'uso di cui all'art. 9 comma 7 delle N.d.A. del PAI
- Aree a pericolosità H3, ambito **Cp** PAI, a cui equivalgono aree potenzialmente interessate da alluvioni poco frequenti (P2/M) del PGRA (ambito territoriale RSCM) – **FATTIBILITÀ GEOLOGICA CON CONSISTENTI LIMITAZIONI (CLASSE 3)**. In tali aree si applica la norma d'uso di cui all'art. 9 comma 8 delle N.d.A. del PAI
- Aree a pericolosità H1 e H2, ambito **Cn** PAI, a cui equivalgono aree potenzialmente interessate da alluvioni rare (P1/L) del PGRA (ambito territoriale RSCM) – **FATTIBILITÀ GEOLOGICA CON MODESTE LIMITAZIONI (CLASSE 2)**. In tali aree si applica la seguente norma:  
*Tipo di intervento ammissibile:* sono ammessi gli interventi di nuova costruzione così come definiti all'art. 3 comma 1, lettera e) del d.p.r. 380/01 e s.m.i. Le superfici abitabili e le aree sede dei processi industriali e degli impianti tecnologici dovranno essere realizzate con piano calpestio innalzato di almeno 50 cm per garantire un franco di sicurezza rispetto alla quota locale di allagamento. È comunque vietata la realizzazione di piani interrati.  
Per le opere esistenti sono ammessi gli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria, restauro, risanamento conservativo e di ristrutturazione edilizia così come definiti all'art. 3 comma 1, lettere a), b), c), d) del d.p.r. 380/01 e s.m.i..

Gli interventi consentiti dovranno in ogni caso essere subordinati ad una verifica tecnica, anche tenendo conto dei dati di analisi del presente studio, volta a valutare la compatibilità tra l'intervento, le condizioni di

dissesto e il livello di rischio esistente, sia per quanto riguarda possibili aggravamenti delle condizioni di instabilità presenti, sia in relazione alla sicurezza dell'intervento stesso, nonché al dimensionamento degli interventi di sistemazione e ripristino. Tale verifica, redatta e firmata da un tecnico abilitato, deve essere allegata al progetto dell'intervento e validata dall'Autorità competente.

Luino, giugno 2020

*Dott. geol.  
Fabio Meloni*