



## PARCO REGIONALE DELLA VALLE DEL LAMBRO



### **AREE DI ESONDAZIONE CONTROLLATA DEL RIO BROVADA IN COMUNE DI BESANA IN BRIANZA E TRIUGGIO**

Convenzione tra Regione Lombardia e Parco Regionale della Valle del Lambro del 24 ottobre  
2016

### **PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

#### **RELAZIONE GEOLOGICA**

Il geologo

Dott. Geol. Daniele Battaglia

Triuggio, marzo 2017



## INDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUZIONE</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>INQUADRAMENTO GENERALE</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>IDROLOGIA E EVENTI ALLUVIONALI</b>	<b>10</b>
<b>5</b>	<b>ASSETTO GEOMORFOLOGICO</b>	<b>12</b>
<b>6</b>	<b>INQUADRAMENTO GEOLOGICO</b>	<b>18</b>
6.1	Geologia del bacino	20
6.2	Modello geologico preliminare Opera di Monte	23
6.3	Modello geologico preliminare Opera di Valle	24
<b>7</b>	<b>ASSETTO IDROGEOLOGICO</b>	<b>26</b>
<b>8</b>	<b>FATTIBILITA' GEOLOGICA E VINCOLI</b>	<b>28</b>
<b>9</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE</b>	<b>29</b>
<b>10</b>	<b>CONDIZIONI DI RISCHIO SISMICO</b>	<b>31</b>
<b>11</b>	<b>PUNTI DI CRITICITA'</b>	<b>36</b>
<b>12</b>	<b>PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE</b>	<b>39</b>
12.1	Topografia	39
12.2	Indagini geognostiche	39
12.2.1	Trincee esplorative	40
12.2.2	Sondaggi	41
12.2.3	Prove in foro	41
12.2.4	Geofisica	41
12.2.5	Laboratorio	42
12.3	Costi e tempi	43

Elaborati cartografici:

- Tavola 1: Mappa litotecnica del bacino (scala 1:10'000)
- Tavola 2: Mappa Idrogeologica (scala 1:10'000)
- Tavola 3: Sezioni geologiche del bacino (scala 1:2'000)

- Tavola 4: Mappa geologica e sezione geotecnica opera Nord (1:1'000)
- Tavola 5: Mappa geologica e sezione geotecnica opera Sud (1:1'000)
- Tavola 6: Mappa dettaglio punti critici (1:1'000)



## 1 INTRODUZIONE

La perizia è stata condotta per conto del Dipartimento di Riqualificazione Fluviale del parco Valle Lambro, secondo quanto indicato nel Disciplinare di incarico per “Affidamento incarico per la redazione di una perizia geologica propedeutica alla progettazione di fattibilità tecnica ed economica dell'intervento “Realizzazione di aree di esondazione controllata del rio Brovada in Comune di Besana Brianza e Triuggio (MB)”, CUP B48C16000130002, CIG ZDF1CF1E94, firmato in data 24 gennaio 2017.

Lo studio riguarda la determinazione delle condizioni geologiche, idrogeologiche del bacino del Rio Brovada che insiste nei comuni di Besana Brianza e di Triuggio (MB), all'interno del quale è prevista la realizzazione di 2 aree di esondazione controllata per laminare le piene che creano condizioni di criticità all'abitato di Ponte di Triuggio.

L'intervento, in fase di studio di fattibilità da parte del Dipartimento di Riqualificazione Fluviale del Parco, consiste nella costruzione di 2 opere di ritenuta in calcestruzzo e terra armata, in corrispondenza dei punti indicati in Figura 1, ortofoto sulla quale viene rappresentata l'estensione del bacino imbrifero del torrente Brovada.

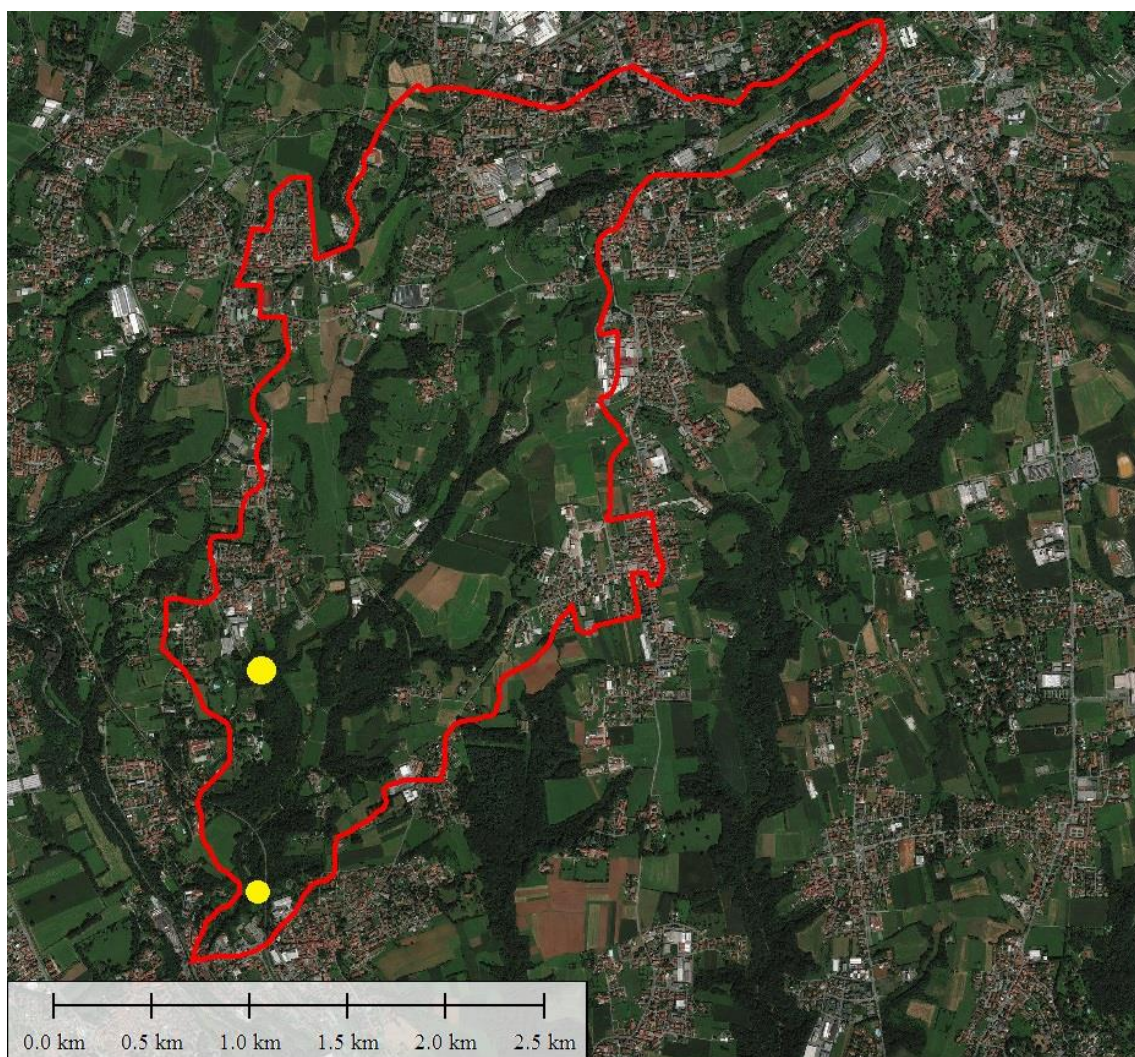


Figura 1: ubicazione del bacino del rio Brovada su immagine satellitare (Settembre 2011). In giallo l'ubicazione delle opere in progetto.

Nell'ambito della perizia sono state effettuate le seguenti attività:

- Analisi bibliografica del materiale disponibile;
- Sopralluoghi con i tecnici del Parco sui siti di intervento,
- Rilievo geologico e geomorfologico,
- Definizione del modello geologico di riferimento;
- Redazione della relazione geologica.

Sono inoltre stati redatti i seguenti elaborati cartografici:

- Tavola 1: Mappa litotecnica del bacino (scala 1:10'000)
- Tavola 2: Mappa Idrogeologica (scala 1:10'000)
- Tavola 3: Sezioni geologiche del bacino (scala 1:2'000)
- Tavola 4: Mappa geologica e sezione geotecnica opera di monte (1:1'000)
- Tavola 5: Mappa geologica e sezione geotecnica opera di valle (1:1'000)
- Tavola 6: Mappa dettaglio punti critici (1:10'000)

## 2 NORMATIVA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

L'esecuzione delle indagini e la stesura della relazione con i rispettivi allegati tecnici, sono state condotte secondo i criteri generali stabiliti dalle norme in vigore e dagli standard di lavoro pubblicati. In particolare è stato fatto riferimento ai seguenti documenti normativi e legislativi:

- “Nuove Norme Tecniche per le costruzioni”, D.M. 14 Gennaio 2008, pubblicato sulla G.U. n. 29 del 04 febbraio 2008;
- D.M. 11 marzo 1988 “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e le rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”;
- Ordinanza Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 e s.m.i. – primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zone sismiche.
- Decreto della Giunta Regionale della Lombardia dell'11 luglio 2014 n.X-2129, Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia.

E' stata eseguita una ricerca bibliografica mirata all'identificazione di materiale utile per approfondire le caratteristiche geologiche dell'area in esame. La documentazione reperita consiste in:

- Carta Geologica d'Italia, Progetto CARG, Foglio 96-Seregno, in scala 1:50.000 e note illustrative;
- Relazione Geologica generale allegata al PGT del Comune di Besana in Brianza redatto dal Dott. Geol. G. Attardo nell'aprile del 2007;
- Relazione Geologica generale allegata al PGT del Comune di Triuggio redatto dallo studio INGeo di Lecco nel novembre 2003 e aggiornato nel novembre 2011;
- Geoportale Nazionale accessibile dal sito internet <http://www.pcn.minambiente.it/GN/>.
- Geoportale della Regione Lombardia accessibile dal sito <http://www.geoportale.regione.lombardia.it/>
- Fotografie e ortofoto storiche relative agli anni 1936, 1954, 1975, 1989, 2006;
- Modello digitale di elevazione Lidar-Regione Lombardia con risoluzione 1x1m e 5x5m

Le caratteristiche idrologiche del bacino della Brovada e le problematiche connesse alla sua esondazione sono discusse in dettaglio in:

- Relazione sull'evento meteo del 25/06/2014 e indicazioni strategiche di intervento Rio Brovada redatta dal Dipartimento di Riqualficazione Fluviale del Parco Valle Lambro nel Settembre 2014.

Infine per quanto concerne le caratteristiche delle opere in progetto il Parco ha indicato la loro posizione planimetrica e ha fornito le sezioni tipologiche preliminari.



### 3 INQUADRAMENTO GENERALE

Il bacino del rio Brovada si colloca all'interno del territorio brianzolo nei comuni di Besana Brianza e di Triuggio occupando una superficie di circa 7 chilometri quadrati (Figura 2).

La sua origine è localizzata in prossimità della località Casatevecchio mentre la foce avviene direttamente nel Fiume Lambro in località Ponte-Triuggio; le quote sono comprese tra 370 e 200 metri s.l.m.

Le caratteristiche di uso del suolo del bacino sono di ambito misto, ossia composti sia da zone naturali e che da aree di modificazione antropica: lungo le principali incisioni vallive si riscontrano settori boschivi soprattutto verso Sud bordati da coltivazioni agricole, nonché porzioni di abitati quali Calò, Tregasio e Valle Guidino, oltre a insediamenti di tipo industriale.

L'alveo della Brovada e di suoi affluenti si sviluppa in larga parte in un ambito naturale non regimato, ad eccezione di alcune zone di interferenza con strade e ambiti urbanizzati ove sono state realizzati sottopassi e tombinature e di interventi localizzati di regimazione fluviale costituiti da briglie, soglie e opere di difesa spondale (massi ciclopici e gabbionate).

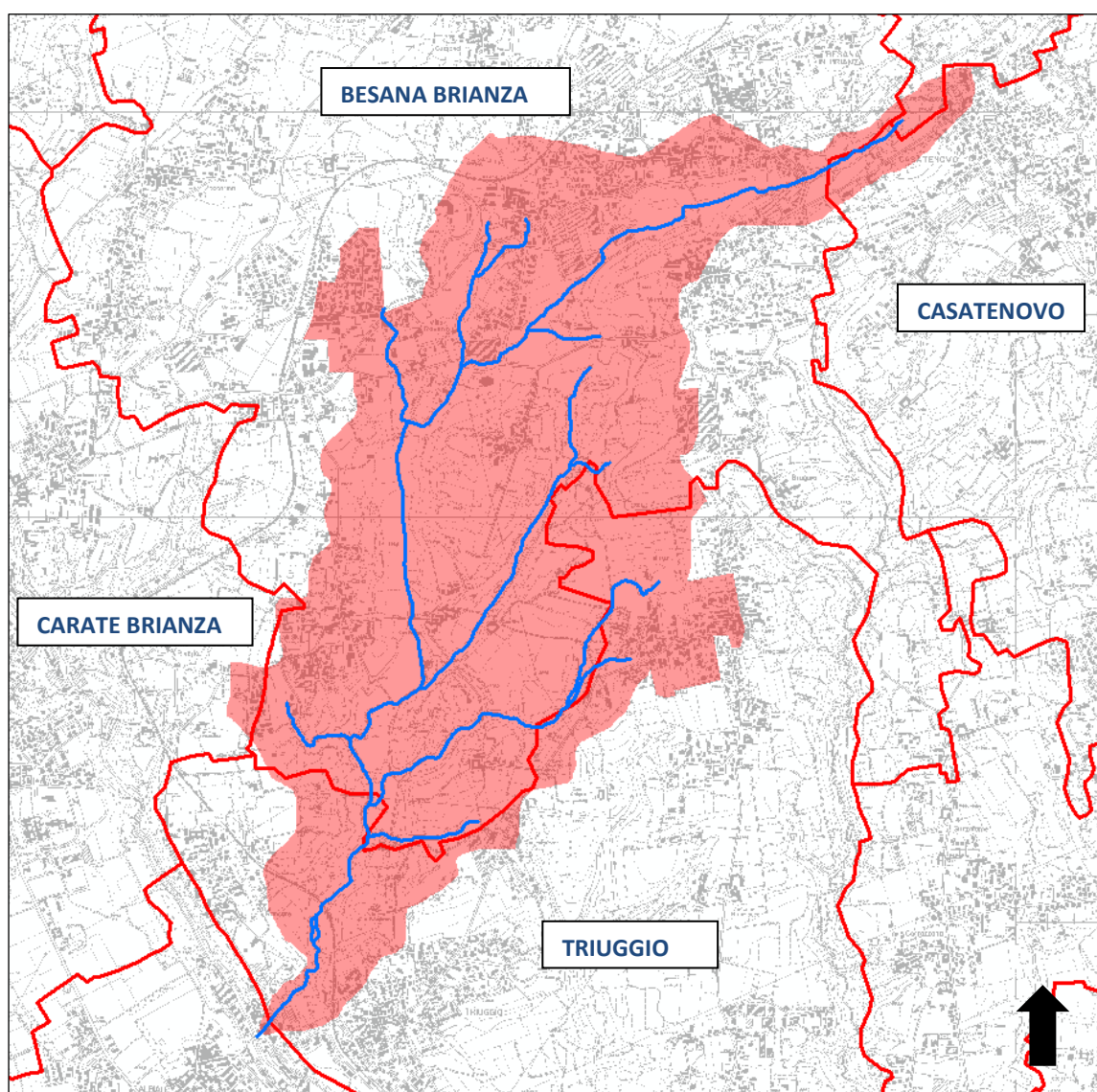


Figura 2: inquadramento del bacino idrografico della Brovada su Carta Tecnica Regionale (sezioni B5c2 e B5c3).

Al fine di laminare gli eventi di piena che affliggono l'abitato di Ponte di Triuggio, sono in studio le seguenti opere idrauliche:

1. Opera di Monte: argine con fondazione in calcestruzzo e rilevato in terra con nucleo in argilla di lunghezza totale di 230 metri e altezza massima di 8.5m posizionata circa 230m a sud del cimitero di Calò, frazione di Besana Brianza. L'opera si compone di una vasca di dissipazione tipo USBR per un volume complessivo di laminazione di 68'000mc.

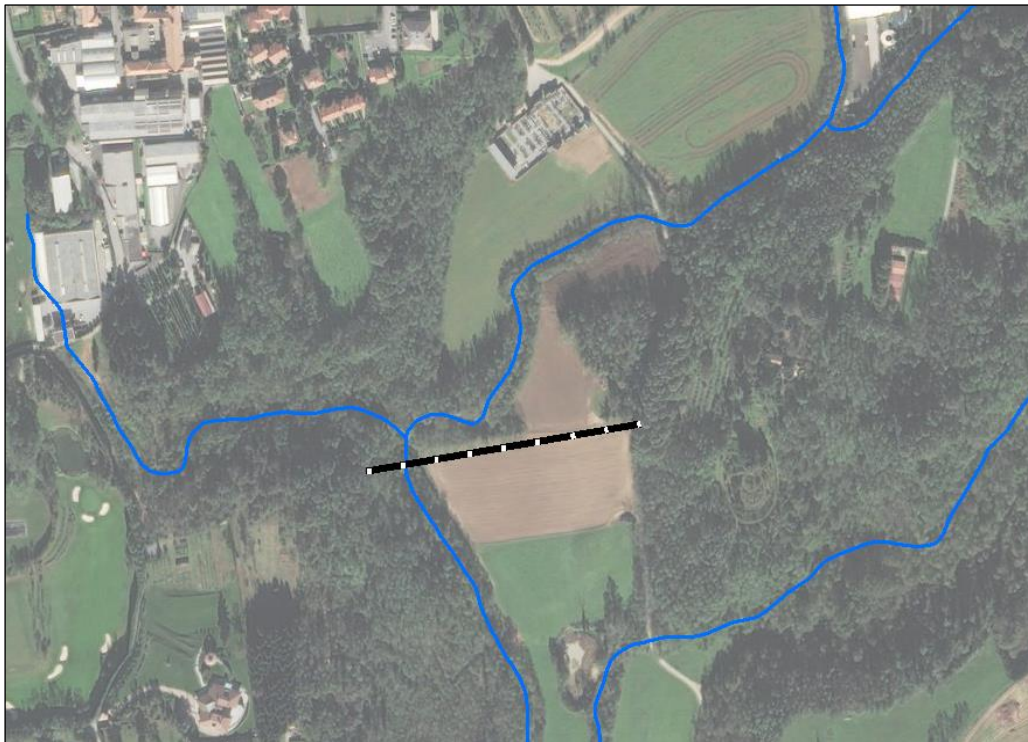


Figura 3: ubicazione dello sbarramento di monte in comune di Besana Brianza.

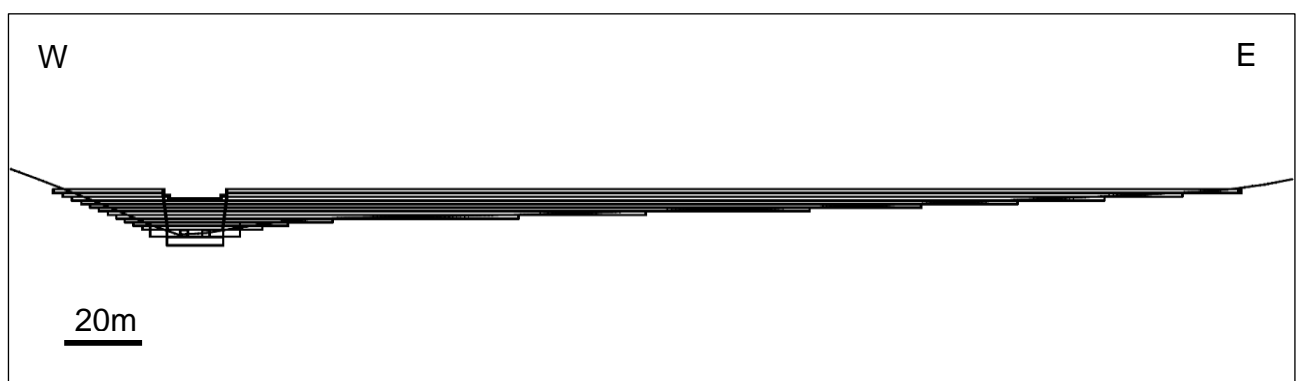


Figura 4: tipologico dell'opera di sbarramento di monte.

2. Opera di Valle: argine mediante costruzione di una diga in terra armata di lunghezza 50m, altezza totale di 9.5 metri con fondazione su calcestruzzo, posto ad una quota di 215m in località Rancate, frazione di Triuggio. L'opera si compone di una vasca di dissipazione tipo USBR per un volume complessivo di laminazione di 77'000mc.



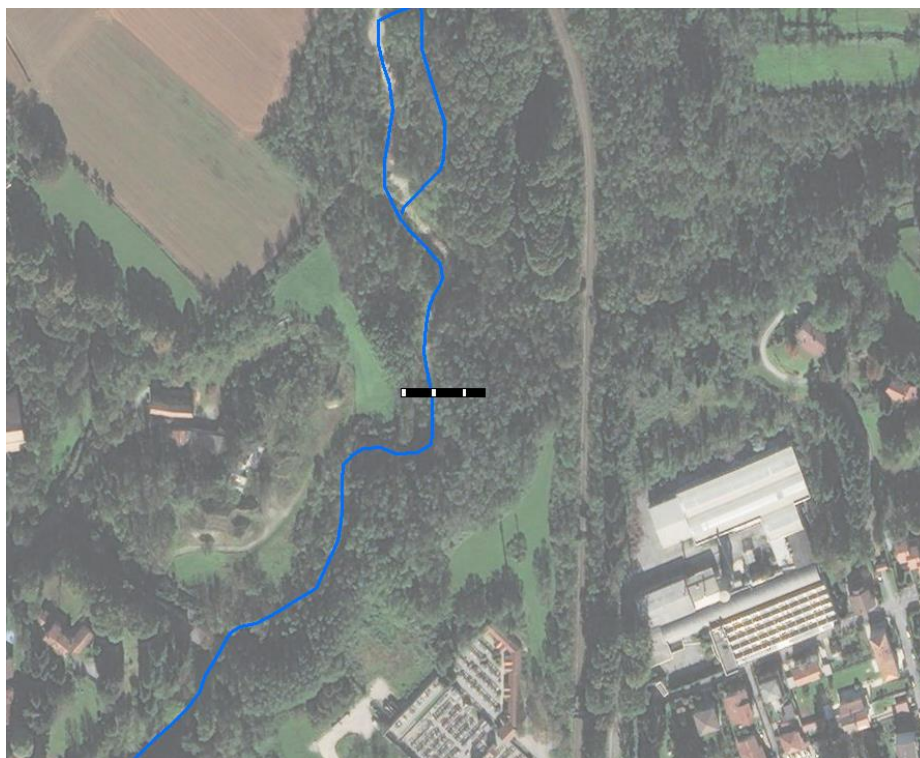


Figura 5: ubicazione dello sbarramento di valle in località Rancate, Triuggio.

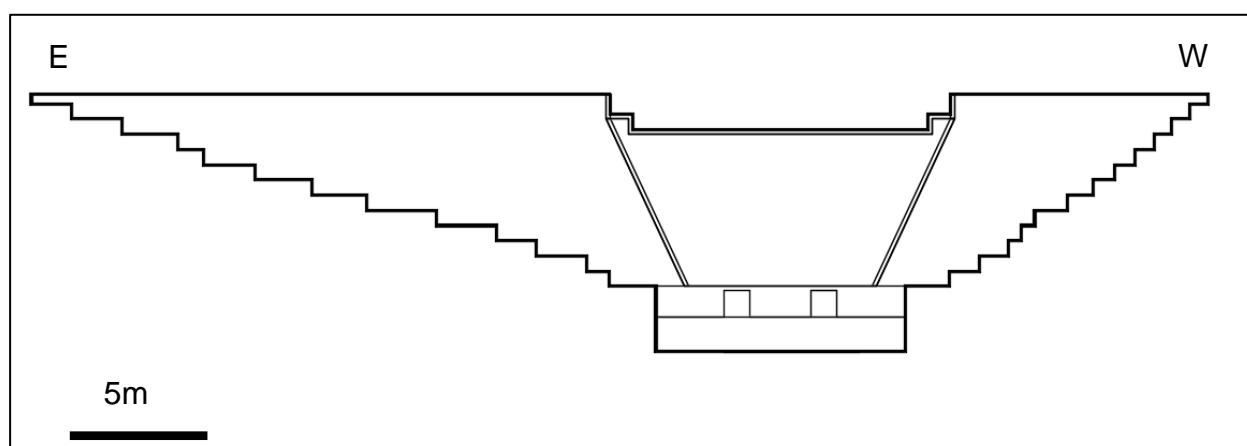


Figura 6: tipologico dell'opera di sbarramento Sud.

## 4 IDROLOGIA E EVENTI ALLUVIONALI

L'idrologia del bacino del Torrente Brovada è analizzata nel dettaglio nella Relazione sull'evento alluvionale del 2014 redatta nel settembre dello stesso anno dal Dipartimento di Riqualficazione Fluviale del Parco.

Il Bacino del torrente è caratterizzato dai parametri riportati nella tabella seguente.

Tabella 1: parametri morfologici del bacino del T. Brovada.

Parametro	Valore	U.M
Superficie	6.95	kmq
Quota massima	376	m
Quota minima	195	m
Quota media	282.2	m
Inclinazione media	6.41	°

Il T. Brovada è stato causa storicamente di varie esondazioni presso l'abitato di Ponte di Triuggio, avvenute generalmente in concomitanza di piene del Fiume Lambro. L'evento più recente, avvenuto il 24-25 giugno 2014 a seguito di una precipitazione di circa 90mm in 12 ore, ha interessato via Brovada e piazza Boretti causando danni agli edifici prospicienti (Figura 7).



Figura 7: Esondazione Brovada del giugno 2014 (Fonte PVL)

La modellazione idrologica dell'evento alluvionale realizzata dal Parco ha permesso di calcolare le portate al colmo lungo il torrente (Figura 8) e di quantificare in 21.7mc/s (Figura 9) la portata di picco a Ponte.

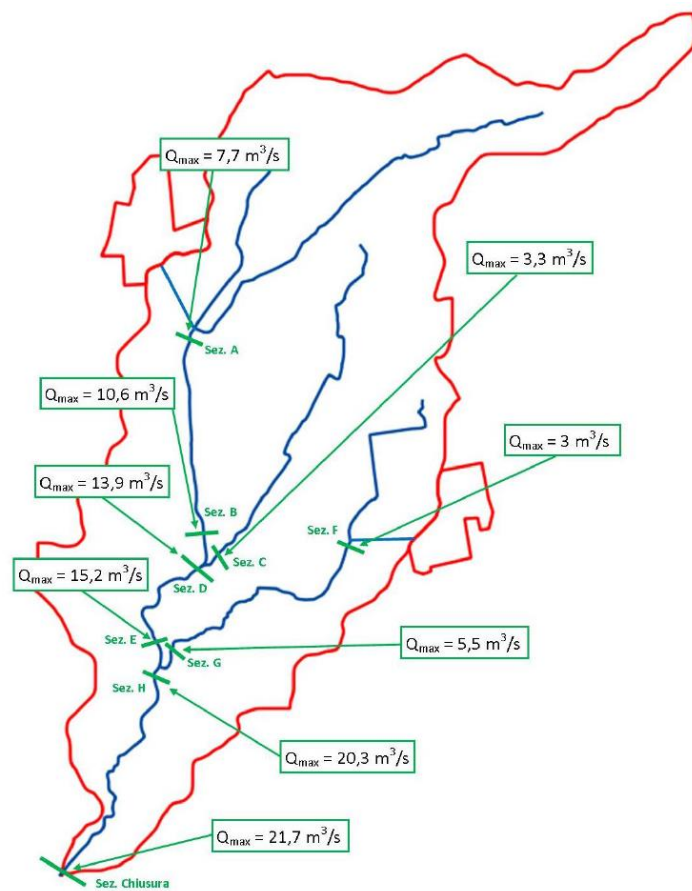


Figura 8: Portate massime calcolate lungo il T. Brovada in occasione della piena del 2014 (Fonte PVL)

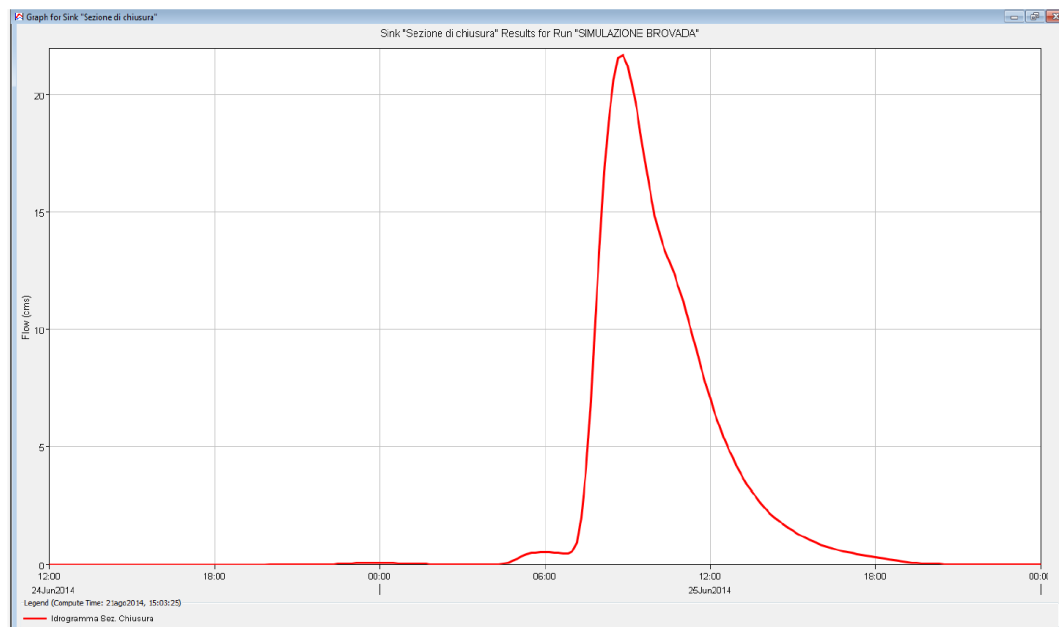


Figura 9: Idrogramma della piena del 2014 calcolato per la sezione di di chiusura di Ponte (Fonte PVL)



## 5 ASSETTO GEOMORFOLOGICO

Il bacino del Rio Brovada si inserisce geograficamente nell'Alta Brianza Lombarda; come evidenziato in Figura 10, l'assetto geomorfologico è determinato dalle forme prodotte dalle glaciazioni quaternarie, successivamente modificate dall'azione erosiva fluviale e da opere di origine antropica.

La loro genesi deriva dalla presenza di lingue glaciali provenienti dal ramo del Lago di Lecco che transfluiva in territorio brianteo (Lobo della Brianza), dando luogo ad apparati morenici disposti a semicerchio ed attraversati da una serie di elementi fluviali (Figura 11). Per quanto riguarda il settore NE invece, gli archi morenici sono soppiantati da estese piane lacustri intra e proglaciali. Numerosi cordoni morenici relitti sono stati cartografati nel dettaglio della zona, perlopiù orientati E-W, ora disposti lungo le zone di alto topografico.

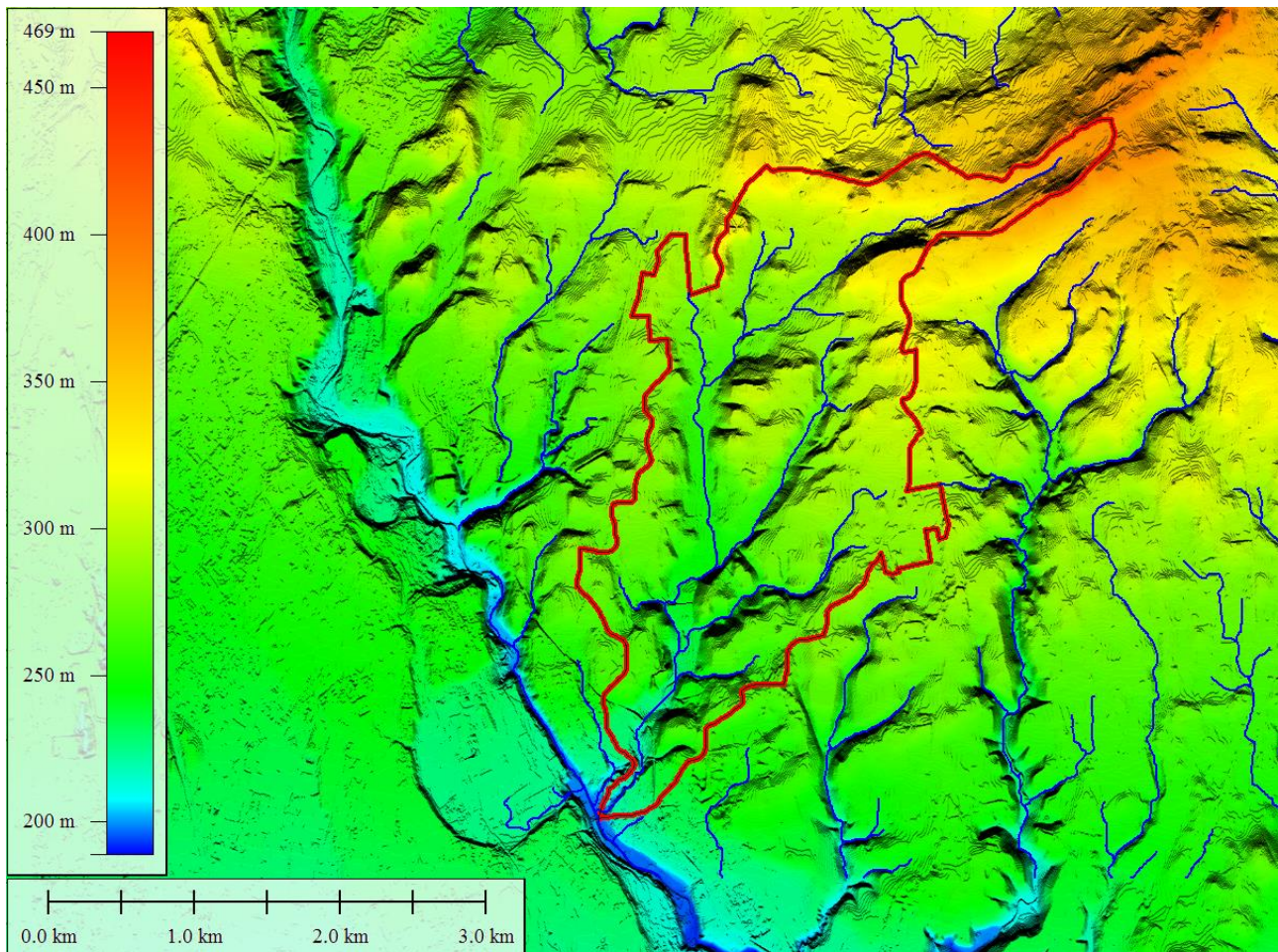


Figura 10: modello digitale del terreno a 10m del bacino del torrente Brovada (poligono rosso), in linea blu il reticolo idrografico



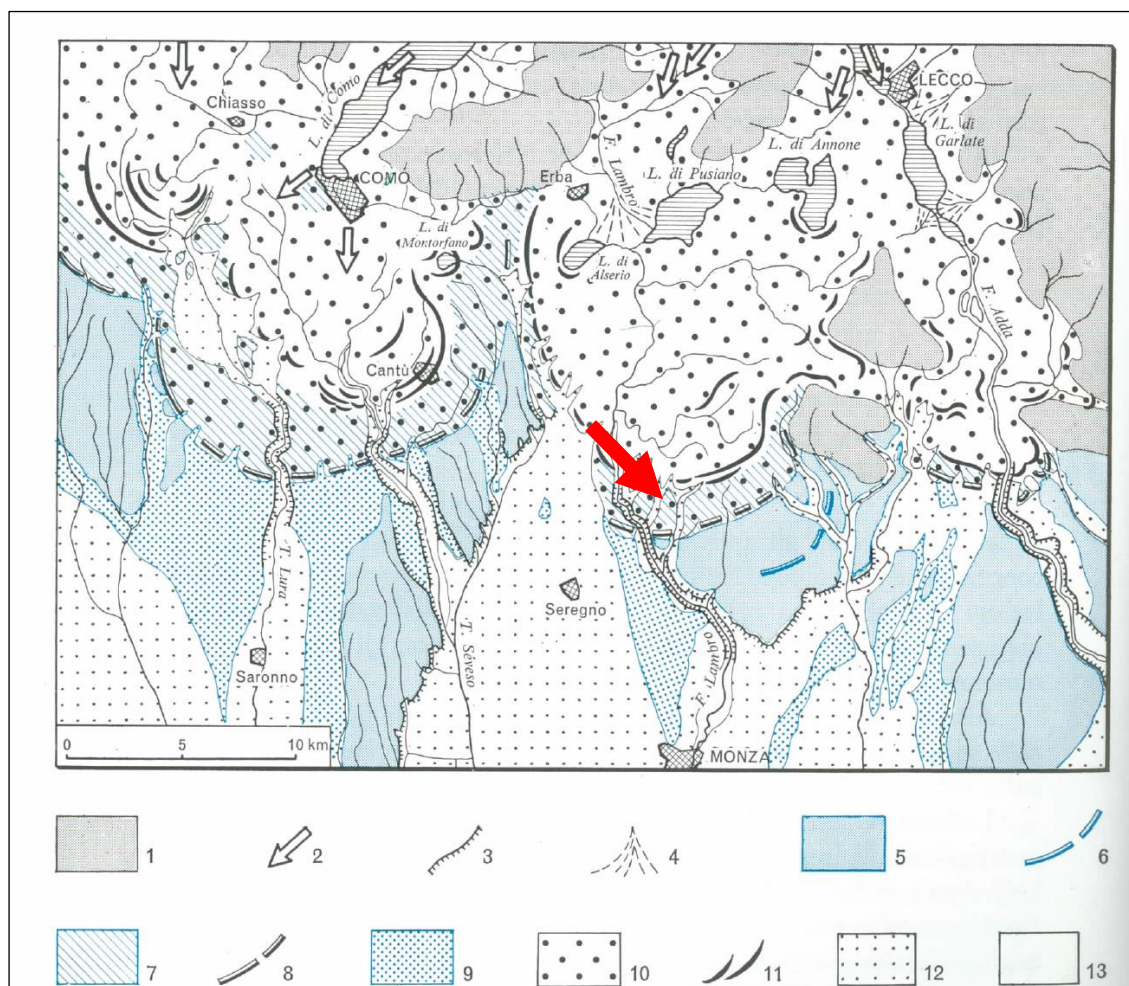


Figura 11: morfologie glaciali del settore brianzolo-Lombardia (A. Riva, 1957). La freccia rossa identifica il sito di studio. 1=rilievi emergenti, 2=direzioni di movimento delle colate glaciali, 3=orlo dei principali terrazzi, 4=conoidi postglaciali, 5=ripiani a ferretto del Mindel, 6=resti di cerchia morenica Mindel, 7=morrenico Riss, 8=cerchie moreniche del Riss, 9=pianure fluvioglaciali del Riss, 10=glaciazioni Riss e Wurm, 11=cerchie moreniche Wurm, 12=Pianure fluvioglaciali del Wurm, 13=pianure alluvionali recenti.

L'azione fluviale e torrentizia connesse ai periodi interglaciali ed alla condizione attuale ha inciso in più riprese i depositi glaciali e in parte il sottostante conglomerato del Ceppo, generando nella parte centrale del bacino valli dolci con larghezza fino a 250m in cui è avvenuta la deposizione di sedimenti alluvionali. Lungo l'alveo principale e dei tributari si nota in generale un approfondimento dell'alveo dovuto all'erosione spondale che, in corrispondenza della sua parte terminale prima dello sbocco nel Lambro, ha scavato una forra fino a una ventina di metri di profondità con formazione di pareti inclinate fino a 40-45°.

Sia lungo l'alveo principale che lungo i tributari, è stata riscontrata la presenza di depositi alluvionali attuali costituiti da ciottoli arrotondati, ghiaie e sabbie in percentuali variabili con spessori stimati fino ad alcuni metri.

Le forme geomorfologiche rappresentate nelle cartografie allegate sono costituite dai seguenti elementi.

## FORME GLACIALI

- Cordone morenico: dorsale morfologica relitta connessa ai sistemi di morene frontali e laterali formate durante le glaciazioni quaternarie. Sono grossomodo orientate E-W e raggiungono una lunghezza di 600 metri in corrispondenza dell'abitato di Besana. In mappa vengono rappresentati in colore viola.

## FORME GRAVITATIVE

- Orlo di scarpata morfologica: rappresenta un cambio più o meno netto della pendenza dei versanti della valle della Brovada e dei suoi affluenti. Si tratta di forme che aventi continuità anche di più di 1km in lunghezza e localizzate prevalentemente sulla sommità dei pendii. Sono associabili ad antiche fasi di erosione fluviale. In mappa vengono rappresentati mediante linee di colore nero.
- Orlo di scarpata in erosione: rappresenta una rottura netta della pendenza in corrispondenza di segmenti di alveo in cui è presente una erosione spondale attiva. Si rinvencono lungo tratti limitati di alveo, il principale dei quali (Figura 12) è ubicato a valle della Cascina Fonigo.



Figura 12: scarpata in erosione in sinistra dell'alveo della Brovada in vicinanza alla Cascina Ronco Nuovo.

- Frane: in settori limitati di alveo, soggetti a maggiormente erosione fluviale, sono state individuate piccole frane prodotte perlopiù da scalzamento al piede. Si tratta di scivolamenti e crolli di dimensione massima 10x5 metri che coinvolgono spessori limitati (max. 1-2m) dei depositi fluvioglaciali e del Ceppo (Figura 13). Sono state identificate nel tratto terminale del rio Brovada, dove le altezze e le pendenze delle sponde sono maggiormente elevate. Si segnala in ogni caso che l'analisi del catalogo IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia) non indica la presenza nel bacino di



frane attive e dissesti di grandi dimensioni e che non sono state osservate morfologie riconducibili a grandi corpi di frana.

•



Figura 13: frane lungo il tratto terminale del rio Brovada in località Triuggio.

## FORME FLUVIALI E FLUVIOGLACIALI

- Impluvio: rappresenta un solco di scorrimento concentrato delle acque durante eventi piovosi. Per la maggior parte dell'anno gli impluvi del bacino e lo stesso alveo della Brovada risultano asciutti.
- Area paludosa: si tratta di un settore posizionato in vicinanza della Cascina San Giuseppe a Besana ove le acque della Brovada formano un ristagno in circa 10'000 mq in cui si sviluppa la tipica vegetazione a canneto.
- Alveo storico: corrisponde al corso storico del Rio Brovada e di un suo affluente di destra in corrispondenza dell'area dell'impianto sportivo comunale di Besana Brianza e della floricoltura Ameye. E' stato ricostruito dall'analisi di fotogrammi aerei del 1975 che mostrano lo stato dell'area prima della sua urbanizzazione. Risulta dal rilievo che le acque della Brovada scompaiono a monte di via de Gasperi per essere convogliate nella condotta fognaria del Alto Lambro. Tale situazione risulta alquanto critica dal punto di vista ambientale in quanto l'alveo della Brovada, che storicamente era sede di flusso per la maggior parte dell'anno, ora risulta quasi sempre secco. Inoltre in occasione di eventi meteorici intensi la capacità del sistema

fognario raggiunge la saturazione e provoca sversamenti di acque putride direttamente nell'alveo della Brovada a valle del laghetto di cava con conseguente contaminazione ambientale.

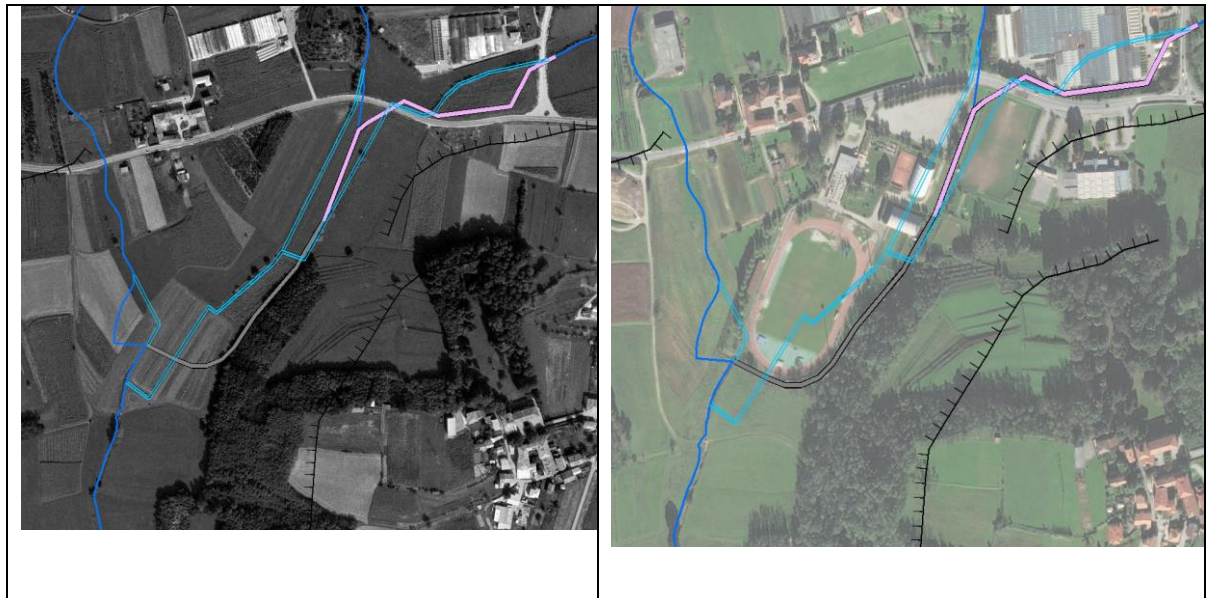


Figura 14: confronto tra il 1975 a sinistra e la situazione attuale a destra in cui si nota il cambiamento del corso della Brovada dovuto all'insediamento sportivo e industriale a NE.

- Paleoalveo sepolto: l'incisione valliva immediatamente a nord di Ponte di Triuggio lungo la sponda destra del Lambro suggerisce la presenza di un antico alveo del rio Brovada ora completamente sepolto.

## FORME ANTROPICHE

- Riporti e scavi antropici: corrispondono agli scavi e ai materiali di riporto utilizzati per la costruzione del viadotto ferroviario della linea Monza-Molteno-Lecco, in località Rancate, e a locali accumuli sparsi.
- Laghetto di cava: si tratta di una zona di ristagno d'acqua di circa 2'000 mq all'interno di uno scavo antropico con altezze di 8-10m alimentata dalla falda freatica e in parte dagli afflussi di un immissario sinistro del rio Brovada. Il laghetto rappresenta la propaggine meridionale di un settore di coltivazione di inerti più esteso verso Nord che nelle immagini storiche del 1975 risultava interessato da accumuli di materiali di riporto, probabilmente connessi al riempimento di un precedente settore di cava, con estensione di circa 6'500 mq. La figura seguente illustra il confronto con la situazione attuale.





Figura 15: area interessata da depositi nel 1975(sinistra) e successivamente adibita a coltivo con evidenza del laghetto nel 2016 (destra).



Figura 16: laghetto di cava interessato da discarica colmata in passato, nella piana della Brovada.



## 6 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'assetto geologico del territorio in esame è il prodotto di una serie di agenti geomorfologici che si sono ripetuti con ciclicità durante il corso dell'Era Quaternaria (dal presente a circa 2 milioni di anni fa) ed in particolare delle varie fasi glaciali che, con i loro depositi, hanno portato alla quasi totale copertura delle strutture prequaternarie.

Le ultime tre fasi glaciali di cui si hanno testimonianze chiare sono state denominate, secondo la letteratura classica (Riva 1953), fasi Mindel, Riss e Wurm, quest'ultima avvenuta circa 19.000 anni fa. Le colline della Brianza vengono interpretate come i resti delle morene laterali e di fondo prodotte dalle lingue glaciali durante le 3 fasi e risultano costituite da materiali provenienti principalmente dalla Valtellina e dalla zona lariana.

In realtà rilievi geologici più recenti realizzati con le tecniche di stratigrafia sequenziale hanno riconosciuto una situazione più complessa prodotta da un numero ben superiori di fasi glaciali quaternarie. L'assetto geologico generale del territorio in cui si sviluppa il bacino della Brovada è rappresentato nella Carta Geologica CARG – Foglio 96 Seregno alla scala 1:50.000, di cui un estratto è stato inserito nella Tavola 1 e Figura 17.

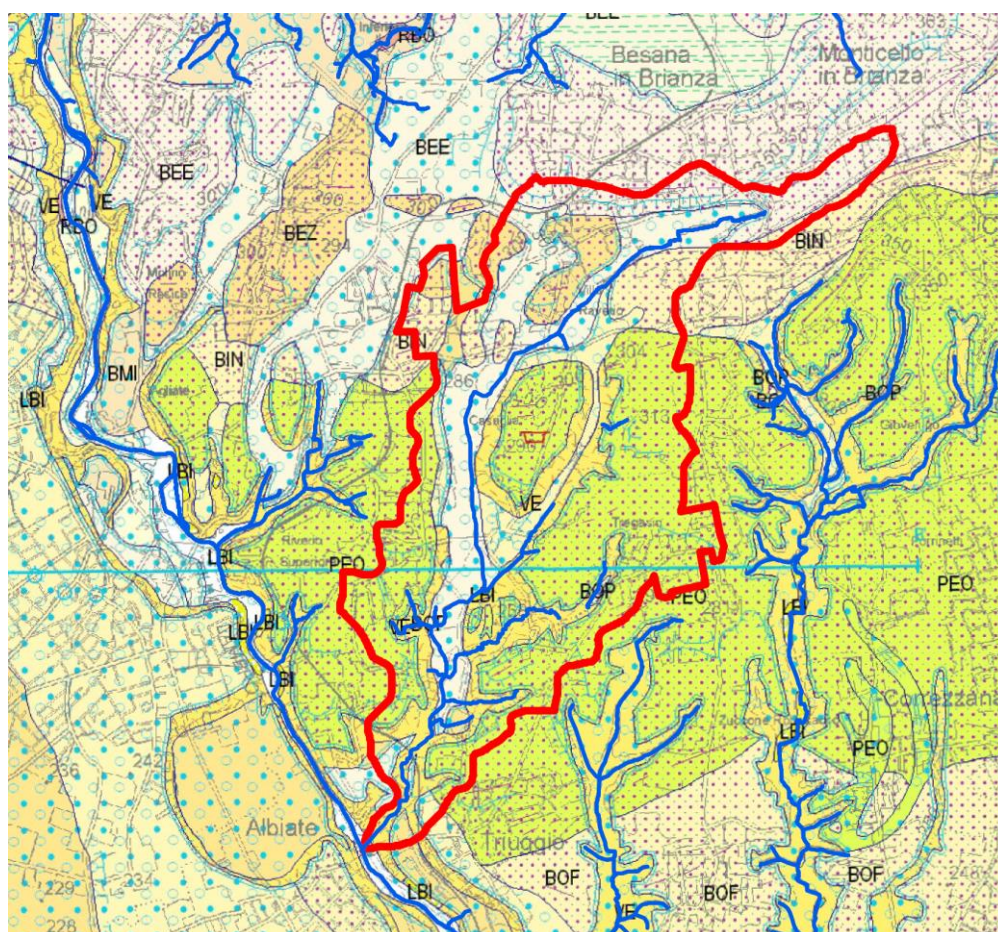


Figura 17: estratto della cartografia CARG-Foglio Seregno 96 con indicazione del limite del bacino idrografico.

Secondo il Foglio 96 Seregno, le unità geologiche che si riscontrano nell'area di studio, definite per unità a limiti inconformi (UBSU) appartengono al Bacino del Fiume Adda e vengono così definite dalla più giovane alla più antica:

### SUPERSINTEMA DI VENEGONO (VE) – Pleistocene Medio-Superiore

- Si tratta di depositi di versante caratterizzati da ghiaie massive a supporto di matrice costituita da limi sabbiosi e ghiaie massive a supporto di clasti. Nel bacino si identifica lungo le scarpate morfologiche che compongono la valle Brovada e dei suoi affluenti di sinistra.

### SUPERSINTEMA DI BESNATE – Pleistocene Medio-Superiore

- Unità di Minoprio (BMI): till di ablazione e di alloggiamento, di colata e depositi galciolacustri e fluvioglaciali costituiti da diamicton massivi a supporto di matrice e diamicton a supporto clastico da debolmente compatti a sovraconsolidati più ghiaie e limi argillosi laminati, sabbie fini limose con profilo di alterazione poco evoluto su spessori di 1 metro con mediamente il 30-40% dei clasti alterati.
- Unità di Cadorago (BEE): till di ablazione e till di alloggiamento con depositi di contatto glaciale, fluvioglaciale e glaciolacustre di diamicton massivi a supporto di matrice sovraconsolidati e ghiaie massive stratificate a supporto di matrice con limi argillosi laminati. Il profilo di alterazione è poco evoluto su spessori di 2 metri con mediamente il 40% dei clasti alterati. Si riconoscono morene a morfologie ben conservate e ampie piane fluvioglaciali. Questa unità interessa estesamente la piana in cui scorre il rio Brovada.
- Unità di Guanzate (BEZ): depositi glaciali e fluvioglaciali di diamicton massivi a supporto di matrice e ghiaie localmente isorientate a supporto di matrice. L'alterazione interessa mediamente il 50% dei clasti. Corrisponde alla massima avanzata dei ghiacciai 'Besnate' con morene ben conservate e ampie piane fluvioglaciali.

### SINTEMA DI BINAGO (BIN) – Pleistocene medio

- Si tratta di depositi fluvioglaciali composti prevalentemente da diamicton massivi a supporto di matrice e clastico con ghiaie massive o debolmente orientate. Il profilo di alterazione è compreso tra 1 e 4 metri con circa il 50% dei clasti alterato.

### SINTEMA DELLA SPECOLA (PEO) – Pleistocene medio

- Corrisponde a depositi glaciali e fluvioglaciali di diamicton massivi a supporto di matrice e ghiaia a supporto di matrice con clasti isorientati e locali intercalazione sabbiose. Si rinvencono abbondanti patine di Fe/Mn lungo il profilo di alterazione che risulta essere evoluto fino a spessori di 6-8 metri. Questa unità copre gran parte dei settori a quote più alte nell'area di studio.

### FORMAZIONE ID CASCINA RONCHI PELLA (BOP) – Pleistocene medio

- Diamicton massivi a supporto di matrice e ghiaie massive a supporto di matrice limoso sabbiosa con argilla. Presenza di noduli millimetrici di Fe/Mn e marcata alterazione in cui le morfologie non sono conservate.

## CEPPO DI INVERIGO (LBI)- Piacenziano

- Conglomerati grossolani massivi e arenarie a stratificazione incrociata o vagamente stratificati derivati da depositi di tipo fluviale braided e meandriforme. Prevalgono le litologie carbonatiche con buona parte di clasti cristallini, vulcanitici e di Verrucano Lombardo. Affiora lungo alcuni settori nell'alveo e lungo le sponde del rio Brovada nel Comune di Triuggio e non è stato identificato in superficie.

### 6.1 Geologia del bacino

Considerate le necessità specifiche del progetto, ossia di definire le caratteristiche litotecniche dei terreni di fondazione delle opere e lo stato di attività geomorfologica dell'area è stata prodotta la Carta Litotecnica di Tavola 1. La carta è stata quindi disegnata partendo dai dati contenuti nella Carta Geologica CARG 1:50000, integrandoli con le informazioni di dettaglio ottenute durante il rilievo in sito e l'analisi geomorfologica di dettaglio.

Ai fini del presente studio, sono state inoltre realizzate quattro sezioni geologiche (Tavola 3, Figura 18) che permettono di meglio definire la distribuzione delle unità nel sottosuolo.

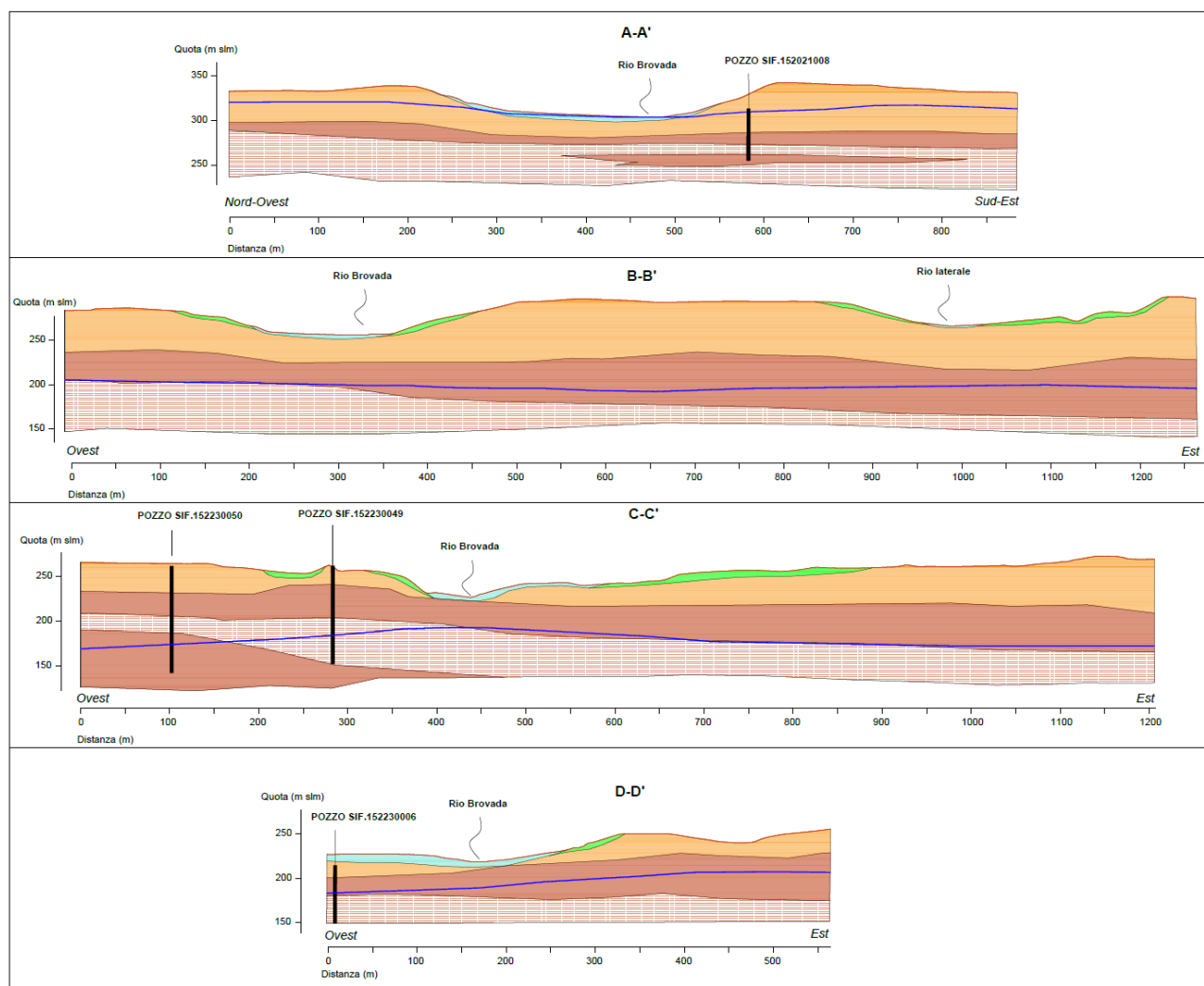


Figura 18: estratto della Tavola 3- sezione geologiche del bacino in scala 1:2'000.



Nelle Tavole 1 e 3, vengono rappresentate le seguenti unità:

- Rilevato antropico: corrisponde ai terreni riportati a fine ottocento per la costruzione della linea ferroviaria Monza-Molteno-Lecco. Occupa un tratto di circa 50 metri in lunghezza i lati del ponte sull'alveo del Rio Brovada.
- Deposito alluvionale: sono i depositi delle piane alluvionali fluvio-glaciali e dei terrazzi fluviali che si rinvengono lungo il corso del Rio Brovada e dei suoi affluenti, che possono raggiungere ampiezze fino a 650m. Si tratta di materiali prevalentemente granulari, composti da ciottoli poligenici arrotondati, ghiaie e sabbie eterogenee con stato di addensamento medio-basso. L'alveo fluviale è caratterizzato da depositi alluvionali attuali, sciolti, che raggiungono spessori di qualche metro (Figura 19).



Figura 19: depositi alluvionali recenti nell'alveo della Brovada a monte di Via della Valle.

- Deposito di versante: si tratta di depositi di origine eluvio-colluviale che ricoprono uniformemente i pendii vallivi e risultano costituiti in gran parte dal rimaneggiamento delle unità geologiche sottostanti. Granulometricamente sono costituiti per lo più da sabbie e ghiaie sciolte in matrice fine limoso argillosa.
- Deposito glaciale indifferenziato: comprende i terreni di origine morenica depositati dalle diverse fasi glaciali che si sono succedute sull'area. Costituiscono la maggior parte delle aree rilevate la cui forma riproduce spesso cordoni morenici relitti orientati E-O, erosi poi dal reticolo idrografico attuale. Si compone prevalentemente da diamicton massivi a supporto di matrice e ghiaia a supporto di matrice con clasti isorientati e locali intercalazione sabbiose con un profilo di alterazione di diversi metri chiamato "ferretto", di colorazione arancio riferita ad ossidazione di Fe/Mn (Figura 20).



Figura 20: deposito di origine glaciale lungo l'ansa di un tributario del Rio Brovada.

- Ceppo: rappresenta il substrato roccioso dell'area ed è costituito da un conglomerato poligenico a clasti arrotondati e cemento calcareo con intercalati banchi e livelli sabbiosi e arenacei. Affiora in alveo a valle di Cascina Campaccio e 300m valle del ponte della ferrovia, in corrispondenza del restringimento di sezione che crea la forra a monte di Ponte di Triuggio, dove sono state anche identificate tipiche forme dovute all'erosione fluviale (marmitta dei giganti, Figura 21). Dalle stratigrafie dei pozzi limitrofi risulta per il Ceppo uno spessore compreso tra 20 e 30 metri.



Figura 21: erosione in alveo all'interno dei conglomerati del Ceppo. Con la freccia blu la direzione di flusso.



- Argille sotto il Ceppo: l'unità è composta da intercalazioni di argille di colore grigio o azzurro, argille sabbiose e sabbie fini; solo localmente si ha la presenza di lenti sabbiose e ghiaioso-sabbiose o di torbe. Il loro spessore complessivo nell'area in esame non è noto.

L'assetto geologico di dettaglio in corrispondenza delle opere in progetto viene illustrato nei paragrafi seguenti.

## 6.2 Modello geologico preliminare Opera di Monte

Il modello geologico dell'opera di monte è rappresentato nella Tavola 4 tramite una mappa geologica di dettaglio (Figura 23) in scala 1:1000 e una sezione geologica longitudinale.

L'opera di sbarramento in progetto nella sezione di monte del rio Brovada si sviluppa in corrispondenza di una briglia esistente, fondata direttamente sui conglomerati del Ceppo (Figura 22). La fondazione in calcestruzzo del corpo centrale della nuova opera potrà impostarsi anch'essa direttamente sul Ceppo, previa pulizia dell'alveo del sottofondo. Il Ceppo appare come alternanze di banchi conglomeratici di spessore decimetrico fino a metrico e stratificazione suborizzontale, e livelli poco cementati di sabbie.



Figura 22: asse della futura opera di sbarramento in corrispondenza delle attuali briglie. Notare il ceppo stratificato in destra idrografica. Linea tratteggiata=asse longitudinale.

Il lato sinistro dell'opera di sbarramento, costituito da un argine in terra armata di 190m di lunghezza si sviluppa su un fondovalle pianeggiante formato da depositi alluvionali. Si prevede, al di sotto di uno strato superficiale di terreno vegetale, di incontrare ciottoli arrotondati, ghiaie e sabbie eterogenee con stato di addensamento basso per uno spessore di alcuni metri. Invece il margine destro dell'opera risulta impostato nella porzione inferiore

sul Ceppo a contatto verso l'alto con depositi glaciali, entrambi ricoperti da un esiguo strato di depositi di versante.

Si stima la presenza di una falda freatica impostata a circa la quota dall'alveo.

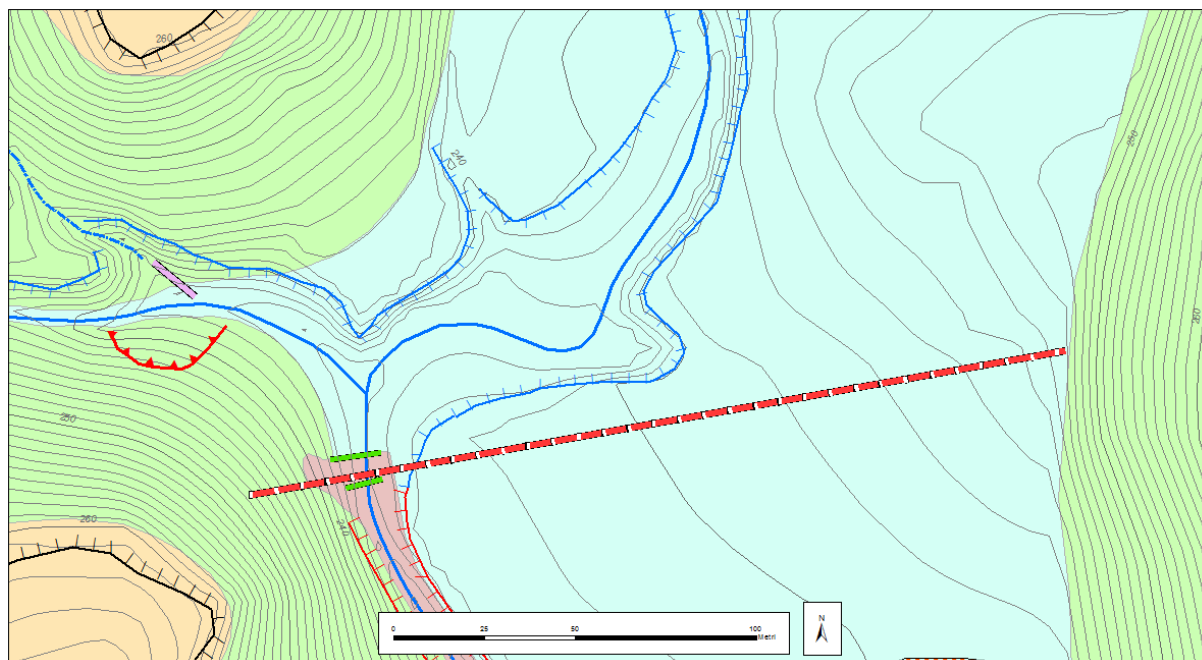


Figura 23: mappa geologica di dettaglio dell'opera in progetto-Nord. Con la linea rossa si indica la sezione longitudinale dell'intervento.

### 6.3 Modello geologico preliminare Opera di Valle

Il modello geologico dell'opera di valle è rappresentato nella Tavola 5 tramite una mappa geologica di dettaglio (Figura 24) in scala 1:1000 e una sezione geologica longitudinale.

L'opera di sbarramento in progetto è ubicata lungo il tratto terminale del Rio Brovada, all'interno di una valle con forma a V in cui l'alveo fluviale raggiunge ampiezze di circa 10 metri e i pendii circostanti con inclinazioni di 35-40°. La quota di coronamento si imposta a 224m slm.

Il pendio in destra idrografica è costituito da depositi di versante che ricoprono depositi alluvionali e fluvioglaciali più antichi; questi ultimi formano una dorsale con quota massima in sezione di 225m slm e rappresentano il giacimento di inerti coltivato dalla cava dismessa ubicata su lato opposto della dorsale. In sinistra depositi di versante ricoprono depositi glaciali per alcuni metri di spessore.

All'interno dell'alveo si rinvencono spessori molto ridotti di depositi alluvionali a ciottoli arrotondati, ghiaie e sabbie che ricoprono i conglomerati del Ceppo, quest'ultimo affiora in alveo a partire dalla briglia posta 30 metri più a valle della sezione in esame. Anche in questo caso il Ceppo appare come alternanze di banchi conglomeratici di spessore decimetrico fino a metrico e stratificazione suborizzontale, e livelli poco cementati di sabbie.



Considerato l'effetto drenate della vicina cava dismessa si ritiene che la falda freatica si attesti a circa 8-10m al di sotto della fondazione dell'opera.

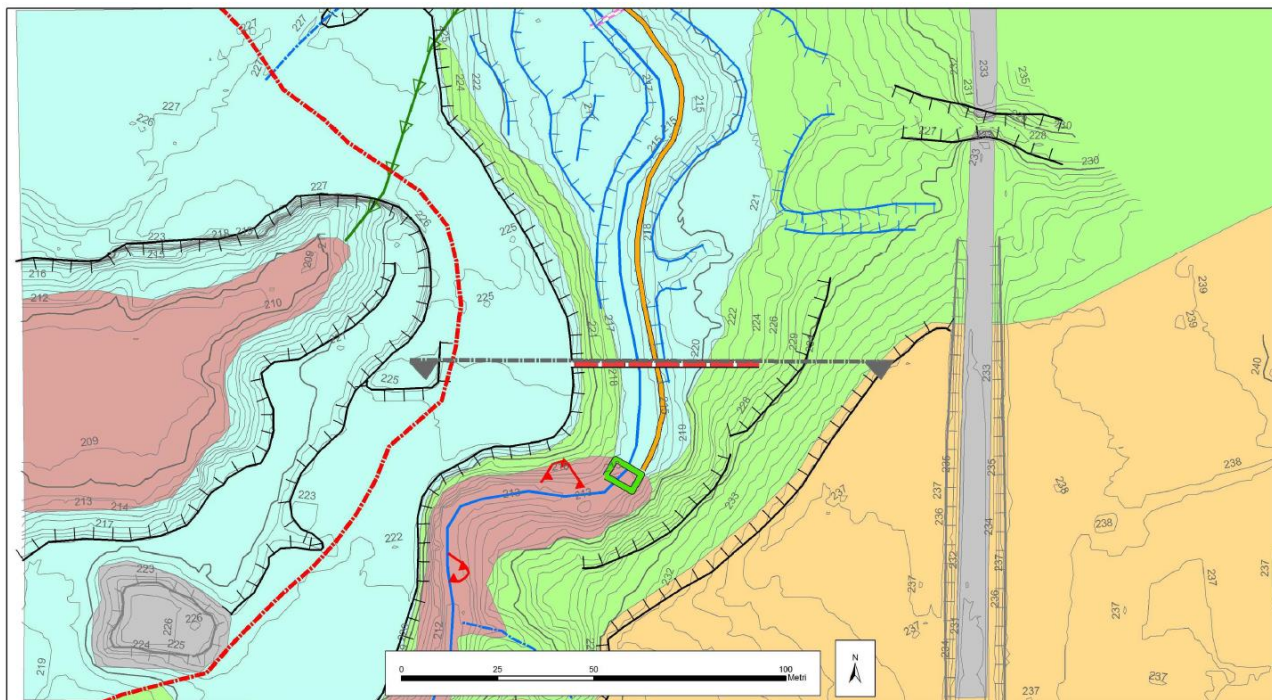


Figura 24: mappa geologica di dettaglio dell'opera in progetto-Sud. Con la linea rossa si indica la sezione longitudinale dell'intervento.

## 7 ASSETTO IDROGEOLOGICO

Per quanto riguarda l'inquadramento idrogeologico a scala generale, nel sottosuolo della Provincia di Monza Brianza vengono individuate tre litozone caratterizzate per una permeabilità decrescente con la profondità:

- **Litozona ghiaioso-sabbiosa:** è la più superficiale ed è costituita dai depositi grossolani quali quelli del livello fondamentale della pianura, dai conglomerati del Ceppo, dai depositi terrazzati a "ferretto" e dalle alluvioni recenti; in questa litozona sono presenti anche sporadiche lenti argillose di limitata estensione. Lo spessore medio è di circa 100 m.
- **Litozona sabbioso-argillosa:** si posiziona al di sotto della precedente, costituisce l'acquifero profondo, ha come limite superiore la comparsa di argille e sabbie fini di colore scuro, da grigioblu a grigio e corrisponde all'unità delle Argille sotto il Ceppo. Tessituralmente è composta da depositi fini quali argille in massima parte, poi torbe, argille sabbiose e sabbie fini; solo localmente si ha la presenza di lenti sabbiose e ghiaioso-sabbiose. Tali lenti sono sede di acquiferi confinati che vengono sfruttati per uso civile. Da un punto di vista idrogeologico viene considerata come il letto del freatico, da cui peraltro trae acqua per filtrazione, mentre per quanto riguarda il proprio letto la scarsità di informazioni ne impedisce l'individuazione.
- **Litozona argillosa:** costituisce la porzione più profonda del materasso alluvionale padano e litologicamente è composta da argille e argille torbose sovente di colore azzurro o blu.

Per l'inquadramento idrogeologico a scala locale è stato fatto riferimento agli studi idrogeologici descritti nei PRG comunali e alle stratigrafie dei pozzi localizzati all'interno del bacino del torrente.

Sulla base dei dati ottenuti è stato possibile inquadrare il bacino della Brovada nella Litozona ghiaiosa-sabbiosa per la quale sono state suddivise tre ulteriori unità in funzione della capacità di infiltrazione e deflusso delle acque meteoriche e superficiali:

- Unità A: con scarsa potenzialità di deflusso ed elevata infiltrazione. Il valore di permeabilità risulta essere maggiore di  $10^{-4}$  m/s. Corrisponde ai depositi alluvionali composti da ghiaie e sabbie prevalenti, in stato di addensamento da sciolto a medio.
- Unità B: con potenzialità di deflusso moderatamente alta e con alte capacità di infiltrazione. Il valore di permeabilità considerato è compreso tra  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$  m/s. Corrisponde ai depositi di versante localizzati lungo i pendii delle aste fluviali in cui si osserva una permeabilità per porosità e ai conglomerati arenacei del Ceppo in cui la permeabilità si sviluppa principalmente per fessurazione.
- Unità C: potenzialità di deflusso moderatamente alta con scarsa capacità di infiltrazione a saturazione. La permeabilità di riferimento risulta essere  $<10^{-6}$  m/s. Comprende i terreni glaciali con elevato contenuto di argilla, sormontati dal ferretto.

La distribuzione di queste unità all'interno del bacino idrografico è rappresentata nella Carta Idrogeologica di Tavola 2, una sintesi della quale è mostrata in Figura 25. La carta rappresenta inoltre la piezometria della falda acquifera principale estratta dagli studi geologici dei PGT comunali e modificata localmente in base ai livelli statici dei pozzi idrici.

La sua direzione è orientata verso S-SW con quote comprese tra 265m slm in località Casatenovo e 205m verso la foce nel Fiume Lambro.

Si osserva che per l'opera di valle i livelli piezometrici corrispondono a quelli indicati nel modello geologico di riferimento, mentre per l'opera di monte vi è una differenza di oltre una ventina di metri ad indicare la presenza di un acquifero separato.

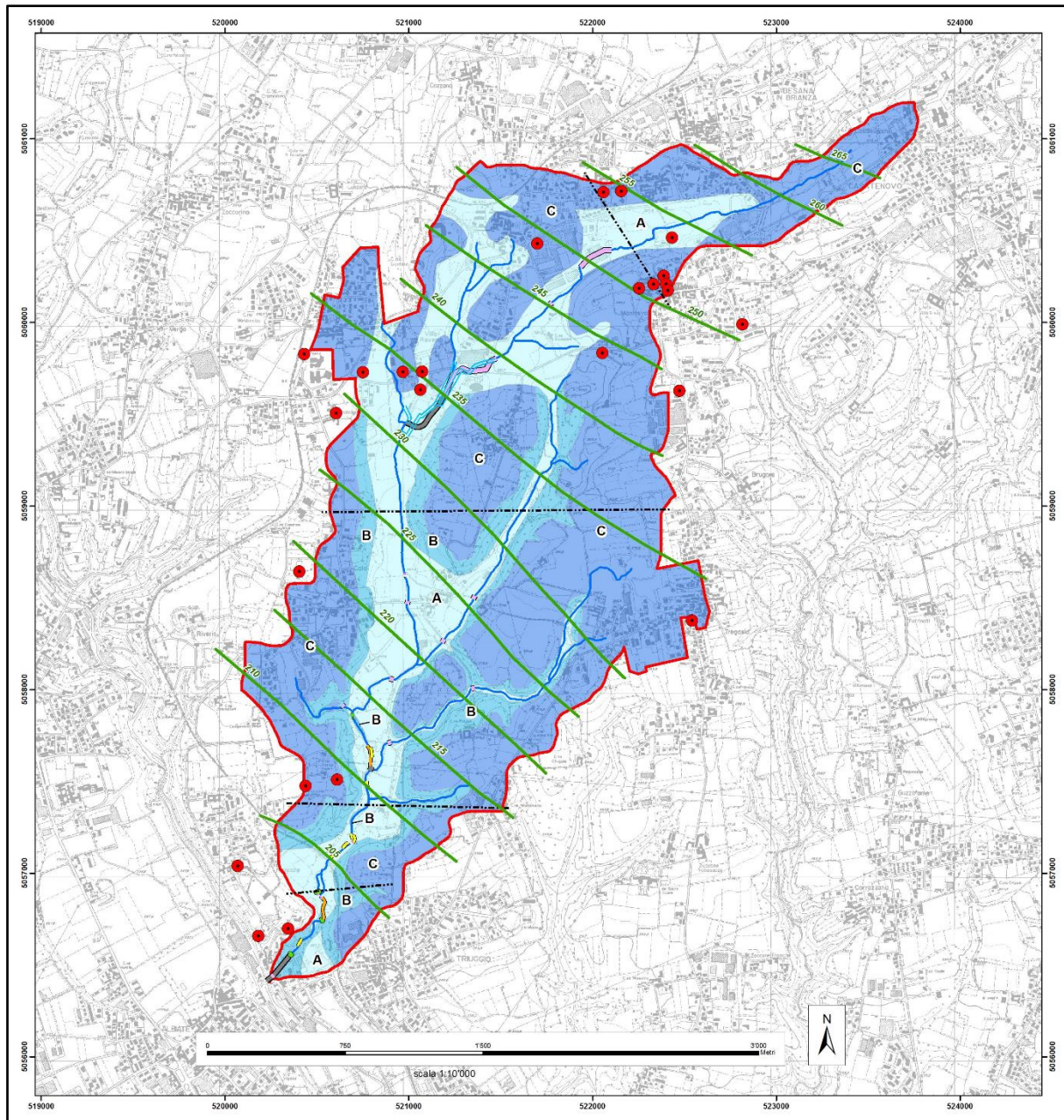


Figura 25: estratto della Tavola 2-Mappa idrogeologica del bacino della Brovada.



## 8 FATTIBILITA' GEOLOGICA E VINCOLI

Vengono di seguito elencati gli aspetti di fattibilità geologica e di vincoli geologici indicati negli elaborati dei PGT comunali di Besana Brianza e Triuggio per i siti di intervento.

Le opere, insediandosi lungo aste fluviali attive, ricadono in aree classificate come 3 e 4 per la fattibilità geologica (Figura 26) e pertanto soggette a consistenti e gravi limitazioni per l'edificabilità. Tuttavia trattandosi di interventi realizzati di protezione idraulica nei confronti dei fenomeni di piena e di esondazione diffusa sul territorio, essi non sono soggetti ai vincoli e alle limitazioni definite nei PGT per l'edilizia convenzionale.

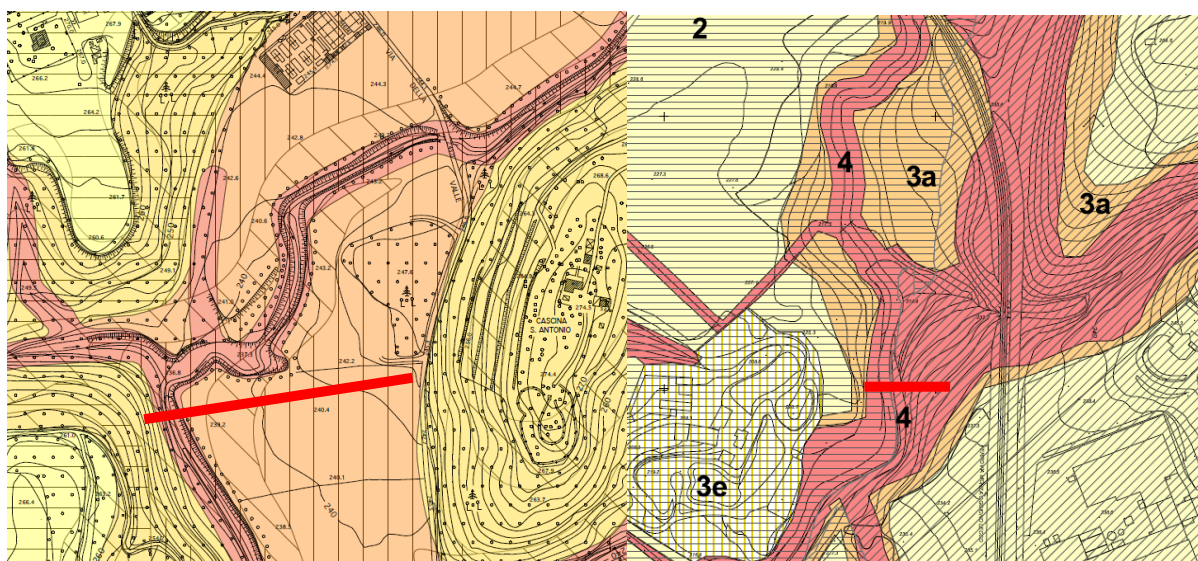


Figura 26: carte di fattibilità comunali per i settori oggetto di studio. Opera Nord a sinistra e Opera a Sud nell'immagine a destra.

Secondo le tavole di pericolosità sismica locale dei PGT le zone di intervento ricadono in Classe Z3a "Zone di ciglio con altezze superiori o uguali a 10m", Z4a "Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/e fluvioglaciali" e Z4c "Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi" con effetti di amplificazioni litologiche, geometriche e topografiche.

Si segnala infine che entrambe le aree sono soggette a vincolo Idrogeologico secondo il D.L. 3267/23, da vincolo paesaggistico e ambientale D.L. 490/99.

## 9 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE

Una caratterizzazione geotecnica preliminare è stata definita in base alle informazioni ottenute dal rilievo in sito e dai dati bibliografici disponibili. Nel dettaglio sono state definite 4 unità geotecniche di riferimento:

- **Unità UG1** (Depositi alluvionali e di terrazzo): ciottoli poligenici arrotondati e ghiaia con sabbia da fine a grossolana; stato di addensamento sciolto;
- **Unità UG2** (Depositi di versante): sabbie e ghiaie in matrice fine limoso argillosa con stato di addensamento medio-basso.
- **Unità UG3** (Depositi glaciali): ciottoli e rari trovanti da arrotondati a spigolosi con ghiaie e sabbie a supporto di matrice limoso-argillosa con un profilo di alterazione superficiale di diversi metri (ferretto) maggiormente coesivo e tenace; il grado di consistenza è medio, alto nel ferretto;
- **Unità UG4** (Substrato roccioso): rappresentata dalle alternanze di conglomerati e arenarie del Ceppo con grado di cementazione variabile.

La distribuzione delle suddette unità in corrispondenza delle opere viene rappresentata mediante sezione geotecniche illustrate nelle tavole allegate e riprodotte in Figura 27.

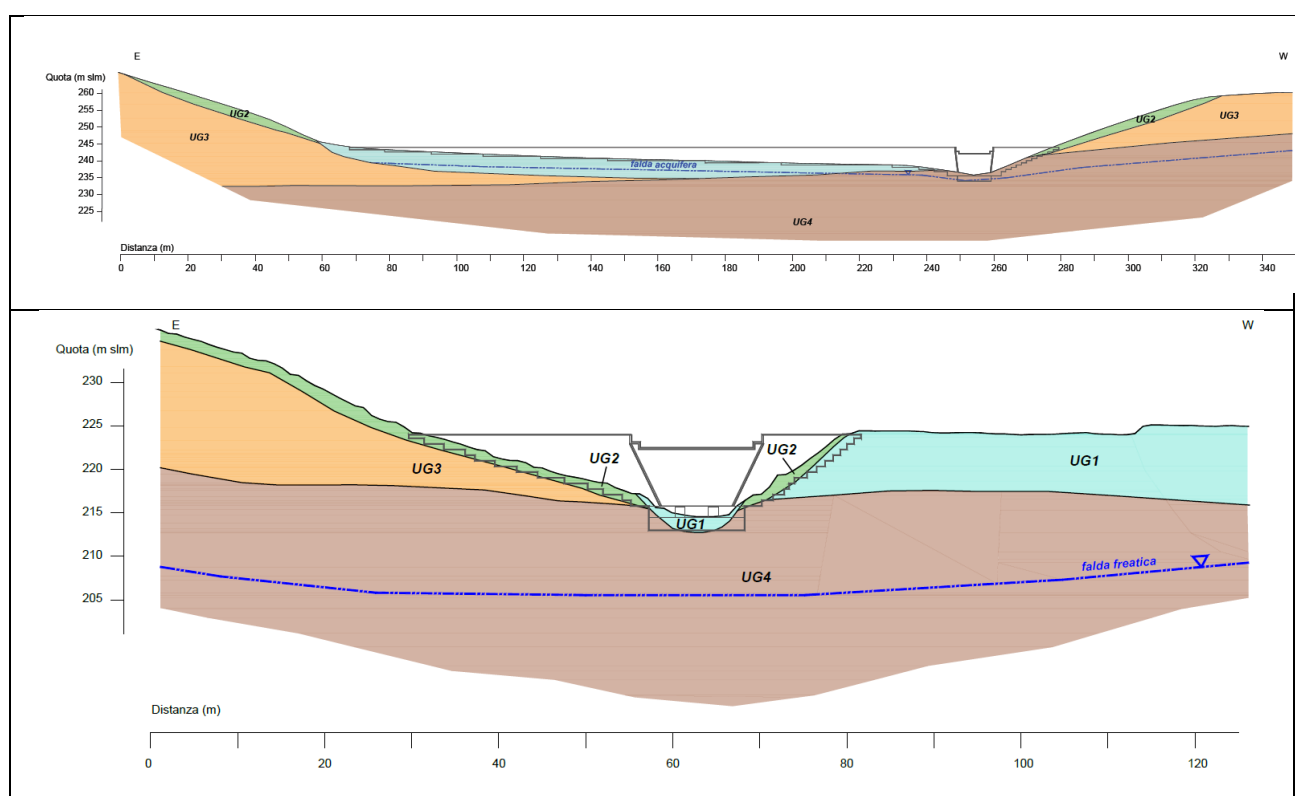


Figura 27: sezioni geologico-geotecniche opera Nord (sopra) e opera Sud (sotto).

I parametri geotecnici di riferimento per le unità geotecniche vengono indicati nella tabella seguente. Si sottolinea come, in assenza di indagini geognostiche dirette, tali valori siano stati stimati cautelativamente in base alla esperienza dello scrivente su terreni simili. Devono

essere considerati come preliminari e dovranno essere rivisti per le prossime fasi di progettazione in base ai risultati della campagna di indagine proposta nel capitolo 11.

Tabella 2: parametri geotecnici delle unità considerate.

Unità geotecnica	Unità Geologica	Peso di volume naturale	Coesione efficace	Angolo di attrito efficace	Modulo elastico
		$\gamma_n$ (kN/mc)	$c'$ (kPa)	$\Phi'$ (°)	$E'$ (MPa)
UG1	Deposito alluvionale	18	0	35	10
UG2	Deposito di versante	19	10	32	5
UG3	Deposito glaciale	20	20	35	20
UG4	Substrato roccioso (Ceppo)	24	100	35	200

Si osserva che le fondazioni delle opere ricadono su materiali a rigidezza molto differente (Ceppo e Depositi quaternari), che potrebbero indurre significativi cedimenti differenziali.



## 10 CONDIZIONI DI RISCHIO SISMICO

Il Decreto della Giunta Regionale della Lombardia dell'11 luglio 2014 n.X-2129, entrato in vigore il 15 Ottobre 2015, ha aggiornato le zone sismiche indicate nella Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n.3274 del 20 marzo 2003 e s.m.i.

I Comuni di Triuggio e di Besana Brianza vengono classificati in Zona 3, ovvero a bassa sismicità (Figura 28). L'accelerazione massima  $A_g$  Max prevista è pari rispettivamente a 0,055086g e 0,055003g.

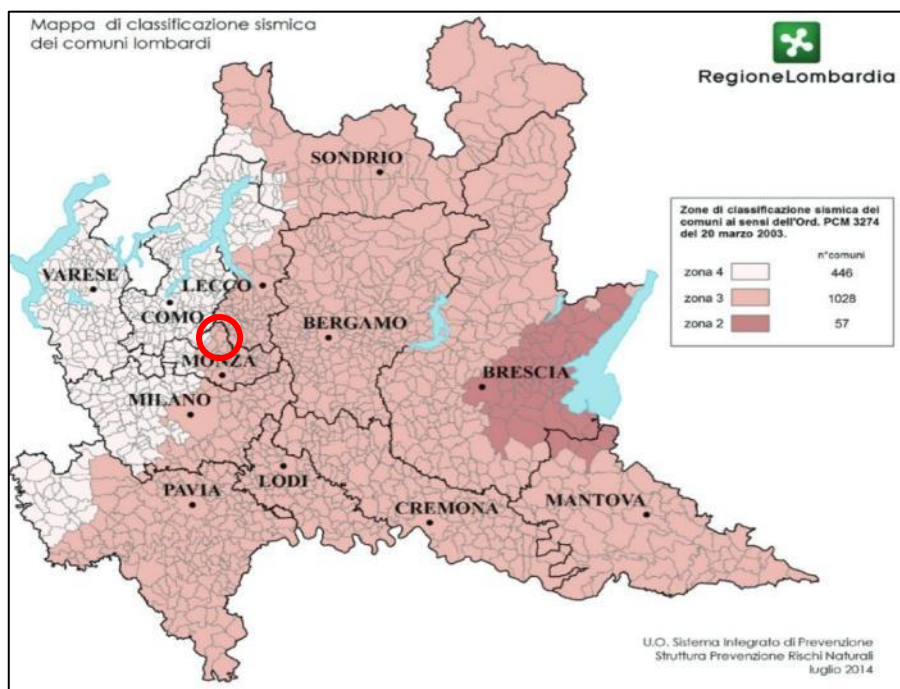


Figura 28: classificazione sismica della Regione Lombardia (D.G.R. 11/07/2014).

Per quanto concerne le categorie di sottosuolo definite nelle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni e riportate in Tabella 3, si ritiene che il sottosuolo di ambedue i settori in esame ricada nelle categorie B e C. Tale ipotesi dovrà comunque essere verificata da indagini geofisiche di tipo MASW.

I parametri sismici di riferimento per l'amplificazione dei terreni di fondazione sono riportati in Figura 29 e Figura 30. I valori sono stati definiti considerando che l'area in esame ricade nella categoria di superficie topografica T1: *Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media inferiore a 15°* (Tabella 4), che il parametro della classe di costruzione di riferimento è la classe IV "Funzioni pubbliche o strategiche importanti" e che la vita nominale sia pari a 100 anni.

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 3: Categorie di sottosuolo secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
<b>T1</b>	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
<b>T2</b>	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
<b>T3</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
<b>T4</b>	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 4: Categorie di superficie topografica secondo le nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

Via

n°

Comune

triuggio

Cap

Provincia

Cerca

WGS84 (°)

Latitudine

Longitudine

Cerca

Isola

-- Seleziona --

☒ Visualizza vertici della maglia di appartenenza

Parametri sismici

(1)\* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati e comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.

(2)\* Il file creato con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoStru.

(1)\* Coordinate WGS84 (°)

Latitudine

45,673884

Longitudine

9,2659556

(1)\* Coordinate ED50 (°)

Latitudine

45,674812

Longitudine

9,267017

Classe dell'edificio

IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti...

Cu = 2

Vita nominale  
(Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50,  
Grandi opere >=100)

Media ponderata

Calcola

Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>0</sub> [g]	Fo	Tc' [s]
Operatività (SLO)	120	0,034	2,580	0,222
Danno (SLD)	201	0,039	2,613	0,248
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0,075	2,707	0,308
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0,081	2,729	0,312

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 200

CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI

☐ Muri di sostegno

☐ Paratie

☒ Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

1

us (m)

0.1

Categoria sottosuolo

C

Categoria topografica

T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss * Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,50	1,50
Cc * Coeff. funz categoria	1,73	1,66	1,55	1,54
St * Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

0,6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,010	0,012	0,023	0,024
kv	0,005	0,006	0,011	0,012
Amax [m/s²]	0,493	0,576	1,109	1,191
Beta	0,200	0,200	0,200	0,200

Calcola

\* I valori di Ss, Cc ed St possono essere variati.

Figura 29: parametri di accelerazione sismica dei terreni di fondazione-Settore Nord.



Via  n°

Comune  Cap

Provincia  Cerca

---

**WGS84 (°)**

Latitudine

Longitudine  Cerca

Isole - Seleziona -

(1)\* Coordinate WGS84 (°)

Latitudine  Longitudine

---

(1)\* Coordinate ED50 (°)

Latitudine  Longitudine

---

Classe dell'edificio

IV. Funzioni pubbliche o strategiche importanti... ▼

Cu = 2

Vita nominale  
(Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50,  
Grandi opere >=100)  
Interpolazione Media ponderata ▼

100 ▼  
Calcola

Map data ©2017 Google Immagini ©2017, C. Segnala un errore nella mappa.  
45.663989, 9.2636170

☒ Visualizza vertici della  
maglia di appartenenza

Parametri sismici

(1)\* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.

(2)\* Il file creato con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoStru.

Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>0</sub> [g]	Fo	Tc' [s]
Operatività (SLO)	120	0,034	2,578	0,223
Danno (SLD)	201	0,040	2,609	0,249
Salvaguardia vita (SLV)	1898	0,076	2,703	0,307
Prevenzione collasso (SLC)	2475	0,082	2,726	0,312
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	200			

**CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI**

☒ Muri di sostegno ☐ Paratie

☐ Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo B ▼

Categoria topografica T1 ▼

	SLO	SLD	SLV	SLC
<b>Ss *</b> Amplificazione stratigrafica	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>
<b>Cc *</b> Coeff. funz. categoria	<input type="text" value="1,49"/>	<input type="text" value="1,45"/>	<input type="text" value="1,39"/>	<input type="text" value="1,39"/>
<b>St *</b> Amplificazione topografica	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>

☐ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,007	0,009	0,017	0,018
kv	0,004	0,004	0,008	0,009
Amax [m/s²]	0,398	0,465	0,900	0,967
Beta	0,180	0,180	0,180	0,180

Calcola

\* I valori di Ss, Cc ed St possono essere variati.

Figura 30: parametri di accelerazione sismica dei terreni di fondazione-Settore Sud.

Per quanto concerne la valutazione sul potenziale liquefazione dei terreni, le NTC 2008 nel paragrafo 7.11.3.4 e successiva Circolare esplicativa n. 617/2009 nel paragrafo C7.11.3.4, viene indicato che tali analisi possono essere omesse quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. eventi sismici attesi di magnitudo  $M$  inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di  $0,1g$ ;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3,5$ .

Per il caso in esame sono contemporaneamente verificati i punti 1 e 2 e pertanto non è richiesta la verifica a liquefazione altresì confermata dall'assenza di estesi spessori di terreni francamente sabbiosi.

## 11 PUNTI DI CRITICITA'

Il capitolo illustra i punti di criticità geologica e ambientale identificati lungo l'alveo della Brovada per i quali si raccomanda la realizzazione urgente di interventi di sistemazione e messa in sicurezza.

Parte degli interventi riguarda la manutenzione di opere di regimazione fluviale realizzate negli anni 2000 dallo STER (ex genio civile).

L'ubicazione planimetrica viene rappresentata in Tavola 6.

Punto Critico 1: aggiramento briglia realizzata lungo la Brovada circa 200m a valle del ponte ferroviario di Rancate (coordinate E 520512 N 5056894). Tale opera, a causa del completo riempimento a monte di depositi alluvionali, risulta non più funzionante e il torrente si è aperto un nuovo alveo alla sua sinistra idrografica (Figura 31). Si raccomanda di ripristinare la situazione originaria mediante asportazione dei depositi e ricostruzione della spalla sinistra.



Figura 31: situazione inerente la briglia aggirata-vista da monte verso valle. Freccia Rossa=antico corso del rio; freccia Blu=corso del Rio attuale, accompagnato da una maggiore erosione dell'alveo.

Punto critico 2: erosioni di sponda in località Cascina Campaccio. Lungo la sponda sinistra della Brovada è da alcuni anni in atto una progressiva erosione di un terrazzo fluviale con formazione di pareti subverticali in depositi fluvio-glaciali aventi altezze di 4,50 metri per una lunghezza totale di 130 metri (Figura 12). La Figura 32 mostra il confronto tra lo stato di fatto attuale e la situazione nel 1936 da cui si nota l'ampliamento dell'alveo della Brovada per erosione della sponda su una ampiezza di circa 20-30m. Per la sistemazione di questo tratto si raccomanda la realizzazione di argini di protezione con gabbionate e la riprofilatura del ciglio della scarpata. Si nota inoltre che a monte di questo tratto sono già presenti in sinistra alcune gabbionate che risultano scalzate e per le quali è necessario provvedere ad un intervento di ripristino.





Figura 32: argine sinistro in erosione, in località C.na Campaccio. (Sinistra ortofoto Google 2016, destra foto aerea IGM 1936)

Punto critico 3: sovralluvionamento alveo. Nel tratto a valle dell'erosione indicata nel punto precedente fino alla briglia scalzata (600m di lunghezza circa) l'alveo del torrente risulta sovra alluvionato dal materiale asportato dalla sponda sinistra con un innalzamento del suo fondo che in alcuni punti supera abbondantemente il metro. Al fine di ridurre il trasporto solido e l'interrimento della vasca di laminazione di valle si raccomanda l'asportazione in questo tratto dei depositi alluvionali per uno spessore di circa 1m e per un volume stimato di circa 4-5000mc.

Punto critico 4: come indicato nel capitolo 5, durante eventi meteorici di media alta intensità si verificano sistematici sversamenti nella Brovada di reflui di fogna da un pozzetto (coordinate UTM 529889,5057713 - Figura 33) del collettore fognario posizionato in prossimità del laghetto tra il cimitero di Calò e la cascina Campaccio. Tale situazione è in gran parte dovuta alla deviazione in fognatura delle acque della Brovada presso il campo sportivo di Besana in Brianza. Si raccomanda pertanto la chiusura del pozzetto e la disconnessione della deviazione della Brovada in fogna con ripristino del deflusso naturale. Tali azioni consentirebbero la riqualifica dell'intero corso d'acqua.

Punto critico 5: durante i rilevamenti in sito sono state identificate varie ostruzioni parziali dell'alveo fluviale causate da tronchi e materiale franato dalle sponde con blocchi di ceppo. Si raccomandano interventi di pulizia generalizzati delle sponde del torrente e dei suoi affluenti al fine di evitare fenomeni di occlusione dell'alveo durante le piene che potrebbero causare la formazione di picchi anomali.



Figura 33: tubazioni afferenti la fognatura comunale. A sinistra l'immissione nei pressi del campo sportivo di Besana mentre a destra la tubazione di troppo pieno a sud del laghetto.

## 12 PIANO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per lo sviluppo delle successive fasi di progettazione è necessaria l'esecuzione di una serie di indagini geognostiche che consentano di definire con precisione il modello geologico, idrogeologico e geotecnico delle aree di intervento.

Il piano di indagine presentato nei prossimi paragrafi è stato elaborato sulla base del modello geologico preliminare definito nei capitoli precedenti.

### 12.1 Topografia

Si raccomanda l'esecuzione di un rilievo topografico di dettaglio di tutta l'area del bacino (7kmq) tramite tecnologia Lidar, il quale permetterà la quantificazione precisa dei volumi di invaso delle vasche di laminazione, la definizione della forma dell'alveo e delle sezioni di imposta nonché l'identificazione di eventuali forme morfologiche connesse a instabilità dei versanti.

### 12.2 Indagini geognostiche

Nei paragrafi successivi vengono elencate le tipologie di indagine proposte la cui ubicazione nei due siti è raffigurata nelle immagini seguenti.

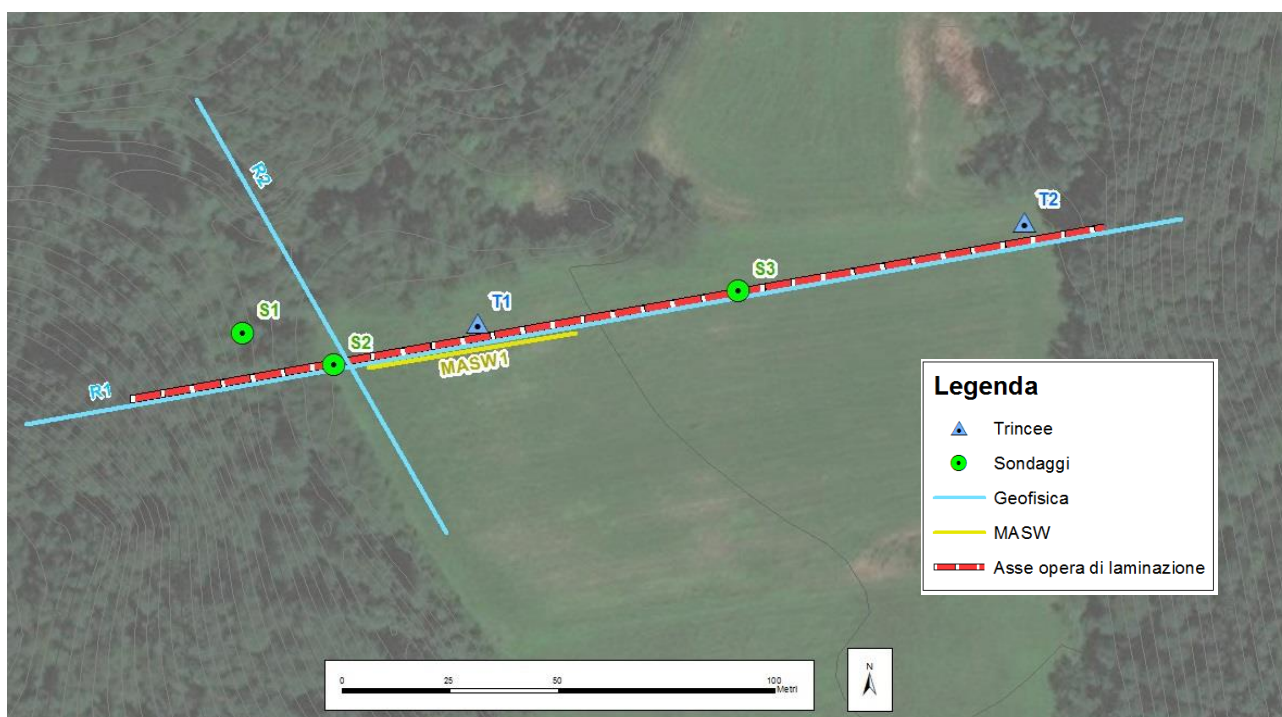


Figura 34: planimetria indagini opera Nord





Figura 35: planimetria indagini opera di Sud

### 12.2.1 Trincee esplorative

Esecuzione di 4 trincee esplorative di 3m di profondità con prelievo di campioni di terreno da sottoporre ad analisi di laboratorio e esecuzione di prove di densità in situ mediante cono di sabbia al loro interno.

Nella Tabella 5 sono illustrate le caratteristiche di dettaglio.

Tabella 5: lista delle trincee esplorative e delle prove da effettuarsi.

Trincea	Est	Nord	Profondità (m)	Quota (m slm)	Campioni	Densità in situ ASTM D1556)
T1	520744	5057871	3	239.00	1	1
T2	520871	5057894	3	243.00	1	1
T3	520524	5056778	3	222.00	1	1
T4	520547	5056777	3	212.00	1	1

### 12.2.2 Sondaggi

Esecuzione di 6 sondaggi a carotaggio continuo verticali del diametro di 101mm, di lunghezza variabile tra 15m e 20m per un totale di 100 m di perforazione. Ciascun sondaggio dovrà essere equipaggiato da tubi piezometrici per la misurazione della falda.

Nella Tabella 6 vengono illustrate le caratteristiche di dettaglio.

Tabella 6: caratteristiche dei sondaggi.

Sondaggio	Coord. E	Coord. N	Quota (m slm)	Lunghezza (m)	Diametro (mm)	Strumentazione
S1	520690	5057869	236.40	20	101	Piezometro
S2	520711	5057861	237.90	15	101	Piezometro
S3	520804	5057880	240.70	15	101	Piezometro
S4	520509	5056776	224.40	20	101	Piezometro
S5	520531	5056776	214.50	15	101	Piezometro
S6	520555	5056776	221.30	15	101	Inclinometro

### 12.2.3 Prove in foro

Esecuzione delle seguenti prove all'interno dei fori di sondaggio:

- 10 prove penetrometriche dinamiche SPT (a punta aperta o cono peck, Standard UNI EN ISO 22476)
- 12 prove di permeabilità di tipo Lefranc nei terreni (Standard UNI EN ISO 22282)
- 12 prove di permeabilità di tipo Lugeon nel Ceppo (Standard UNI EN ISO 22282)
- 10 Prove di deformabilità di tipo pressimetrico (Standard UNI EN ISO 22476)

Nella Tabella 7 vengono illustrate le caratteristiche di dettaglio.

Tabella 7: quantità dei prelievi e prove in foro.

Sondaggio	Campioni	SPT	Pressimetrica	Lefranc	Lugeon)
S1	1	-	2	2	2
S2	2	-	2	2	2
S3	1	3	-	2	2
S4	2	3	2	2	2
S5	1	1	2	2	2
S6	1	3	2	2	2

### 12.2.4 Geofisica

Esecuzione di 4 stendimenti di sismica a rifrazione con spaziatura intergeofonica di 3-5m per un totale di 507m, con acquisizione simultanea fino a 48 canali, e di 2 stendimenti sismici tipo MASW. L'indagine deve essere realizzata secondo lo standard ASTM D5777.

Nella tabella seguente vengono illustrate le caratteristiche di dettaglio.

Tabella 8: caratteristiche delle linee sismiche

Linea	Tipo	Est iniziale	Est finale	Nord iniziale	Nord finale	Spaziatura intergeofonica (m)	Lunghezza (m)
R1	Rifrazione	520639	520906	5057848	5057896	5	270
R2	Rifrazione	520679	520737	5057923	5057822	3	114
R3	Rifrazione	520503	520575	5056775	5056776	3	72
R4	Rifrazione	520531	520531	5056802	5056751	3	51
MASW1	Masw	520530	520530	5056801	5056753	2	48
MASW2	Masw	520719	520767	5057860	5057869	2	48

#### 12.2.5 Laboratorio

Prelievo di 12 campioni di terreno da sottoporre a prove laboratorio per suoli (umidità naturale, peso di volume naturale, peso di volume di granuli, granulometria setacci/sedimentazione, limiti di Atterberg) e di 4 campioni di conglomerato (ceppo) da sottoporre a prove di laboratorio per rocce.

Nella Tabella 9 vengono elencate in dettaglio tipologia, standard e quantità di prove.

Tabella 9: lista delle prove di laboratorio.

Prove terre	Standard	Quantità
Apertura e descrizione	UNI EN ISO 14688	8
Determinazione della massa volumica apparente (peso di volume naturale)	ASTM D7263-09	8
Peso specifico dei granuli	UNI CEN ISO/TS 17892	8
Analisi granulometrica per setacciatura-per vaglio	UNI CEN ISO/TS 17892	8
Analisi granulometrica per sedimentazione con aerometro	UNI CEN ISO/TS 17892	8
Determinazione dei Limiti di Atterberg	UNI CEN ISO/TS 17892:2005	8
Determinazione del contenuto d'acqua	UNI EN ISO 17892:2015	8
Prova di taglio diretto CD	UNI CEN ISO/TS 17892:2005	3
Prova edometrica	UNI CEN ISO/TS 17892:2005	3
Prova triassiale CU	ASTM D2850	3
Prova di costipamento Proctor modificato con cinque punti di determinazione	ASTM D1557	2
<b>Prove rocce</b>		
Apertura e descrizione	UNI EN ISO 14688:2013	4
Peso di volume naturale	ISRM 1977	4
Determinazione della porosità	ISRM 1977	4
Prova di compressione monoassiale con misura delle deformazioni assiali e diametrali	ASTM D 3148	4



### 12.3 Costi e tempi

Per concludere, nella tabella seguente vengono sintetizzate le quantità e i costi stimati per le attività di indagine indicate nei paragrafi precedenti.

Il totale è stato definito sulla base dei prezzi correnti. Per l'esecuzione della campagna di indagine è prevista una durata di circa 2 mesi.

I costi in tabella non includono il rilievo Lidar né gli onorari per la direzione lavori delle indagini.

Tabella 10: stima economica campagna di indagini.

Attività	Costo
PISTE DI ACCESSO	€ 5'000.00
TRINCEE ESPLORATIVE	€ 1'700.00
SONDAGGI	€ 19'500.00
PROVE IN FORO	€ 14'650.00
GEOFISICA	€ 7'000.00
PROVE DI LABORATORIO TERRE	€ 4'200.00
PROVE DI LABORATORIO ROCCE	€ 1'200.00
<b>TOTALE</b>	<b>53'250.00</b>



Triuggio, 29 marzo 2017

Geologo Daniele Battaglia