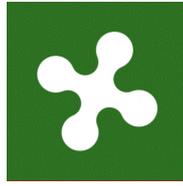




Comune di
Edolo



Regione
Lombardia



Finanziato
dall'Unione europea
NextGenerationEU

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR) - MISSIONE 2, COMPONENTE 4,
SUB-INVESTIMENTO 2.2: "INTERVENTI PER LA RESILIENZA, LA VALORIZZAZIONE DEL
TERRITORIO E L'EFFICIENZA ENERGETICA NEI COMUNI"

RIPRISTINO DELLE STRUTTURE E DELLE INFRASTRUTTURE
DEL TORRENTE OGLIOLO DANNEGGIATE A SEGUITO DEGLI
EVENTI ALLUVIONALI DELL'OTTOBRE 2020. RIFACIMENTO
TRATTI DI SCOGLIERE IN MASSI CICLOPICI, OPERE
IDRAULICHE IN ALVEO E RIPRISTINO DELLE ADIACENZE in

Comune di Edolo (Bs)
CUP G28H22000770001

ELABORATO	Relazione geologica	
SCALA		
DATA	Febbraio 2024	
COMMITTENTE	Comune di Edolo	
PROGETTAZIONE E DIREZIONE LAVORI	<p>ING. Roberta Filisetti via XI Novembre n° 27 25040 Malonno (Bs)</p> 	<p>Elab.n°</p> <p>T4</p>

Mario Sterli – Geologo

Via G. Treboldi n° 17 Edolo (BS) - Tel. 3358036219 - e-mail: mariosterli.geo@gmail.com

NUOVO PONTE DI ATTRAVERSAMENTO DEL TORRENTE OGLIOLO IN VIA G. SORA

CUP G29J21003340002

INDAGINE GEOLOGICA



EDOLO, MARZO 2023

PROFESSIONISTA INCARICATO
GEOL. MARIO STERLI



INDICE

1	INTRODUZIONE	3
2	DOCUMENTI DI RIFERIMENTO	4
2.1	Riferimenti Normativi.....	4
2.2	Bibliografia.....	4
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	5
3.1	Inquadramento geologico-strutturale.....	5
3.2	Inquadramento stratigrafico e geolitologico.....	8
3.2.1	<i>Substrato roccioso</i>	8
3.2.1.1	Basamento tettonico delle Alpi Meridionali - Unità tettonometamorfica dell'Aprica	8
3.2.2	<i>Successione Neogenico-Quaternaria</i>	9
3.2.2.1	Unità distinte in base al bacino di appartenenza.....	9
3.2.2.2	Unità non distinte in base al bacino di appartenenza	11
3.3	Inquadramento geomorfologico	12
3.4	Inquadramento idrogeologico.....	14
4	ANALISI COMPONENTE GEOLOGICA DEL PGT DI EDOLO	18
5	INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE	19
5.1	Carotaggi meccanici	19
5.1.1	<i>Prove SPT</i>	21
5.2	Indagine sismica MASW	22
5.2.1	<i>Stendimento sismico MASW1</i>	22
5.2.2	<i>Verifica di II livello</i>	24
5.3	Modello geologico del terreno	25
6	AZIONE SISMICA	26
7	CONCLUSIONI	27
8	APPENDICI	28
8.1	Documentazione fotografica	28
8.2	Analisi PGT di Edolo.....	30
8.3	Report stendimento sismico MASW.....	33
8.3.1	<i>Generalità</i>	33
8.3.2	<i>Acquisizione dati MASW</i>	34
8.3.3	<i>MASW 1</i>	35
8.3.3.1	Analisi congiunta onde rayleigh e love	36
8.4	Analisi sismica di II livello.....	40

1 INTRODUZIONE

La Presente Relazione Geologica riguarda il progetto di realizzazione del “nuovo ponte di attraversamento del torrente Ogliolo in via G. Sora” (CUP G29J21003340002).

L'indagine ha previsto le seguenti fasi:

1. analisi storico-bibliografica degli studi e delle indagini geologiche disponibili;
2. rilievo geologico di dettaglio dell'area oggetto d'indagine;
3. Esecuzione carotaggi meccanici con prove SPT in foro e indagini sismiche MASW;
3. sintesi dei dati raccolti e predisposizione relazione geologica.

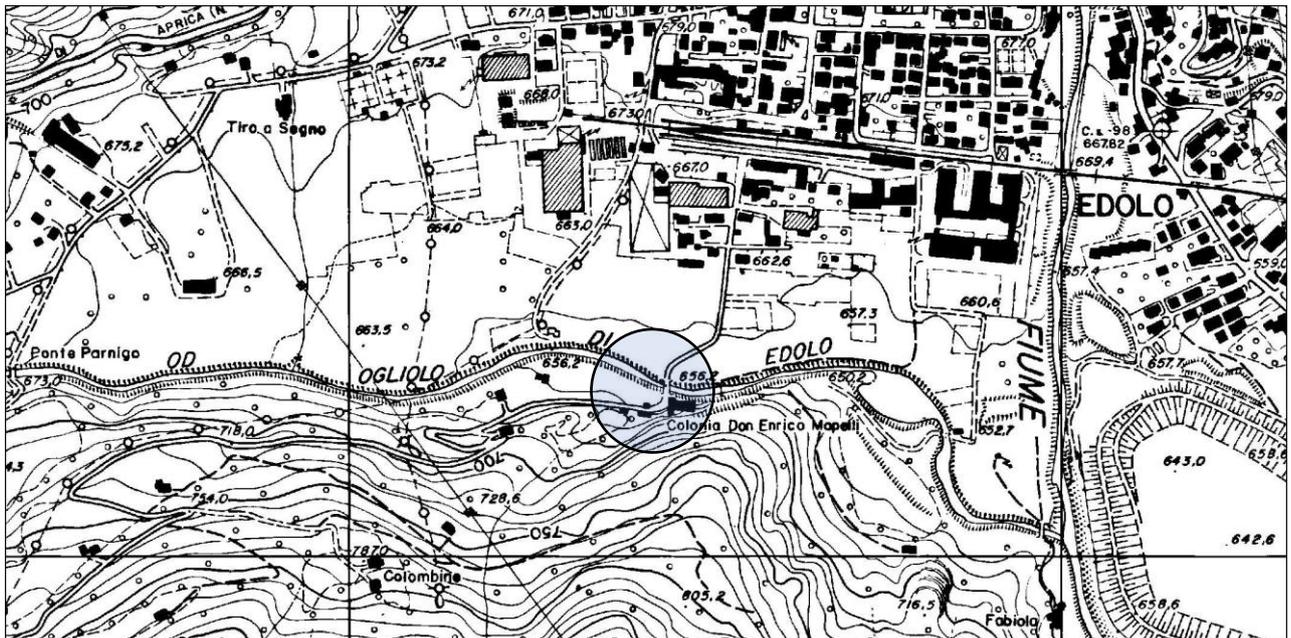


Figura 1: Corografia area d'intervento (Stralcio CTR Regione Lombardia, sez. D3c2, Scala 1:10.000)



Figura 2: Corografia area d'intervento (Stralcio Ortofoto AGEA 2015, Scala 1:5.000)

2 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

2.1 Riferimenti Normativi

- [1]. D.M. 17 gennaio 2018 “Nuove Norme tecniche per costruzioni” in sostituzione di quelle approvate con il D.M. 14 gennaio 2008.
- [2]. Circolare 21.01.2019: “Istruzioni per l’applicazione dell’Aggiornamento delle Norme tecniche per costruzioni”.
- [3]. O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2000 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 zona sismica”.
- [4]. D.G.R. n. 2129 del 11 luglio 2014 “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia”.
- [5]. L.R. 33/2015 “Aggiornamento della normativa sulle costruzioni in zona sismica”.
- [6]. D.G.R. n. 5001/2016 “linee di indirizzo e coordinamento per l’esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica”.
- [7]. D.G.R. 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. 11 marzo 2005, n. 12, approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n. 8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n. 8/7374.

2.2 Bibliografia

- [8]. Cartografia Geologica di ISPRA - da <http://sgi.isprambiente.it/geologia100k/nord.aspx>
 - Dipartimento per il servizio geologico d’Italia: Tavole e Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000:
 - Foglio 19 TIRANO
- [9]. Cartografia geologica di Regione Lombardia - da Geoportale di Regione Lombardia: [Ricerca - Geoportale della Lombardia \(regione.lombardia.it\)](http://www.regione.lombardia.it/geoportale):
 - Progetto CARG: Tavole e Note illustrative della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:50.000:
 - Foglio 057 MALONNO
 - Basi informative della cartografia Geoambientale:
 - Carta del dissesto idrogeologico e della permeabilità
 - Carta Geomorfologica;
 - Carta Idrologia con indicazioni della permeabilità;
 - Carta Litologica
 - Progetto IFFI - Inventario dei Fenomeni Franosi in Lombardia
 - PAI Vigente
- [10]. Cartografia geologica di Regione Lombardia - da Portale di accesso agli applicativi di Pianificazione Territoriale: [HomePage - Multiplan \(serviziirl.it\)](http://www.serviziirl.it):
 - Componente Geologica del Piano di Governo del Territorio comunale di Edolo

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

Le informazioni geologiche riportate nel presente capitolo sono tratte dalle “Note Illustrative della Carta Geologica D’Italia” alla scala 1:100.000 (foglio 19 TIRANO - Cartografia Geologica di ISPRA [8]) e alla scala 1:50.000 (foglio 057 MALONNO - Progetto CARG [9]).

3.1 Inquadramento geologico-strutturale

La porzione di territorio oggetto di indagine rientra nel settore centrale del versante meridionale della catena alpina. Tale settore è suddiviso in due porzioni da un’importante linea tettonica che lo attraversa in senso Est – Ovest, denominata “Linea Insubrica”. Questa struttura di importanza regionale contraddistingue in particolar modo l’area in esame (l’attraversa poco a Nord del sito di intervento), separando il dominio delle Alpi Settentrionali (o Austroalpino) a Nord, da quello delle Alpi Meridionali (o Sudalpino) a Sud, ove è posto il sito d’indagine.

Dal punto di vista strutturale, il lineamento è costituito da un denso fascio di superfici di movimento subparallele, presentanti forti inclinazioni e spesso subverticali, delimitanti un’ampia zona, talora anche qualche centinaia di metri, in cui le rocce hanno subito trasformazioni mineralogico-composizionali a causa dei movimenti relativi indotti dai processi tettonici. In seguito all’elevata intensità degli sforzi sviluppatasi nelle masse rocciose nell’intorno dei piani di scorrimento, le rocce stesse hanno subito anche intensa fratturazione e strizzamento, e talora fenomeni di milonizzazione. Ciò comporta che al lineamento sono spesso associati sia numerose intercalazioni, sempre concordanti, di anfiboliti e anfiboliti gneissiche, di apliti e di pegmatiti gneissiche, sia la presenza di fenditure di trazione, trincee, avvallamenti, contropendenze e allineamenti morfologici in genere (parallelismo fra corsi d’acqua, depressioni in cresta, ecc.), con direzione concordante con quella del lineamento stesso. Anche la giacitura sia della scistosità principale degli ammassi rocciosi, sia delle intercalazioni filoniane, sono di regola concordanti con il lineamento stesso.

L’espressione morfologica superficiale più evidente di tale lineamento nell’area d’indagine è grandiosamente rappresentata dalla direzione all’incirca E-O degli assi dell’Alta Valle Camonica e della Valle di Corteno. Poco più a Nord, il tracciato dell’asse della struttura è segnato dall’allineamento degli altipiani di Trivigno e di Mola, delle incisioni dei fianchi del Monte Padrio e del Monte della Piana e della valle dell’Ogliolo di Monno.

Da un punto di vista più regionale, il dominio Sudalpino del settore è suddiviso in tre unità tettonometamorfiche (UTM), rispetto alle quali l’area d’indagine ricade nella UTM del Passo Aprica, contenente metapeliti e quarziti, con evoluzione metamorfica di età ercinica interamente in facies scisti verdi.

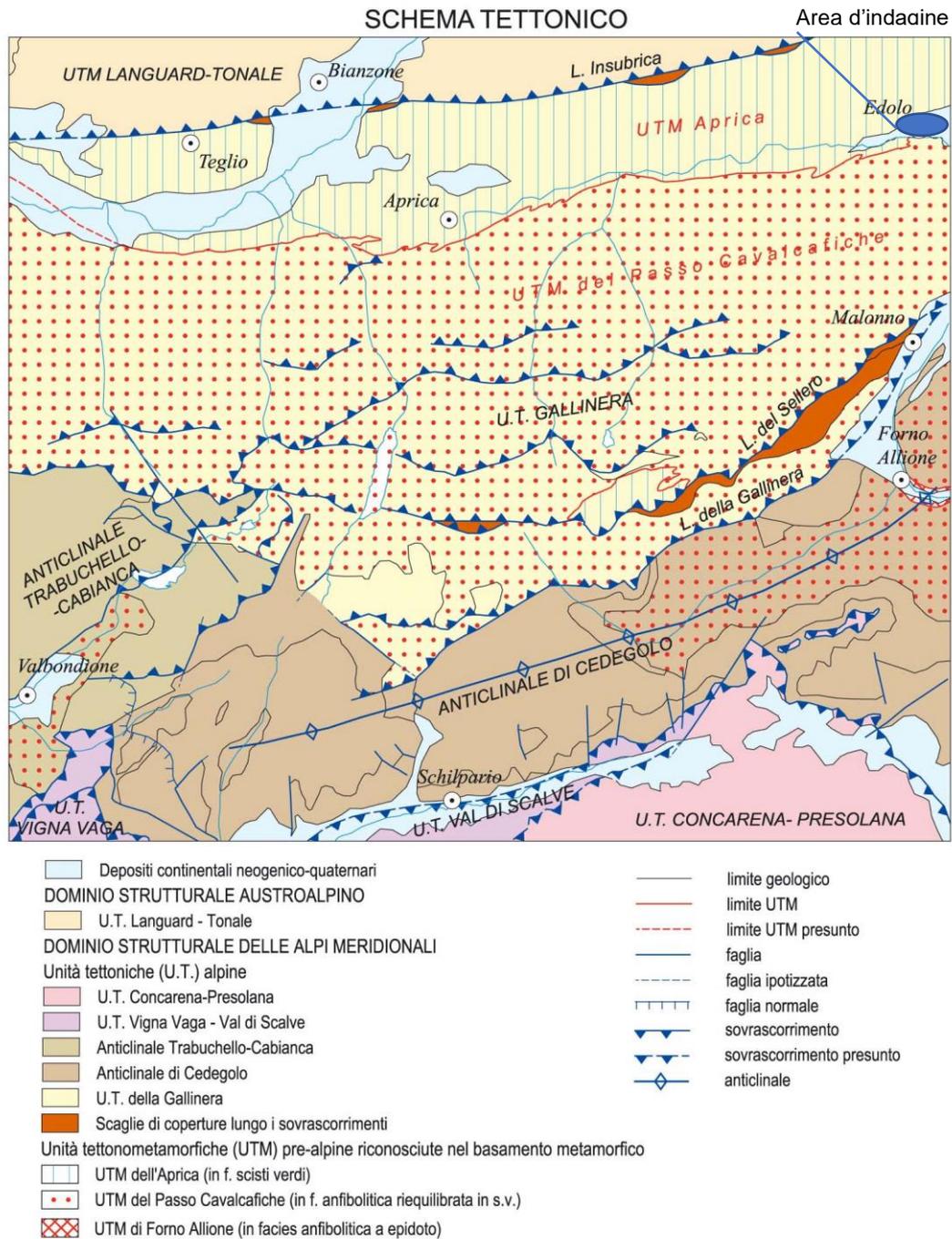
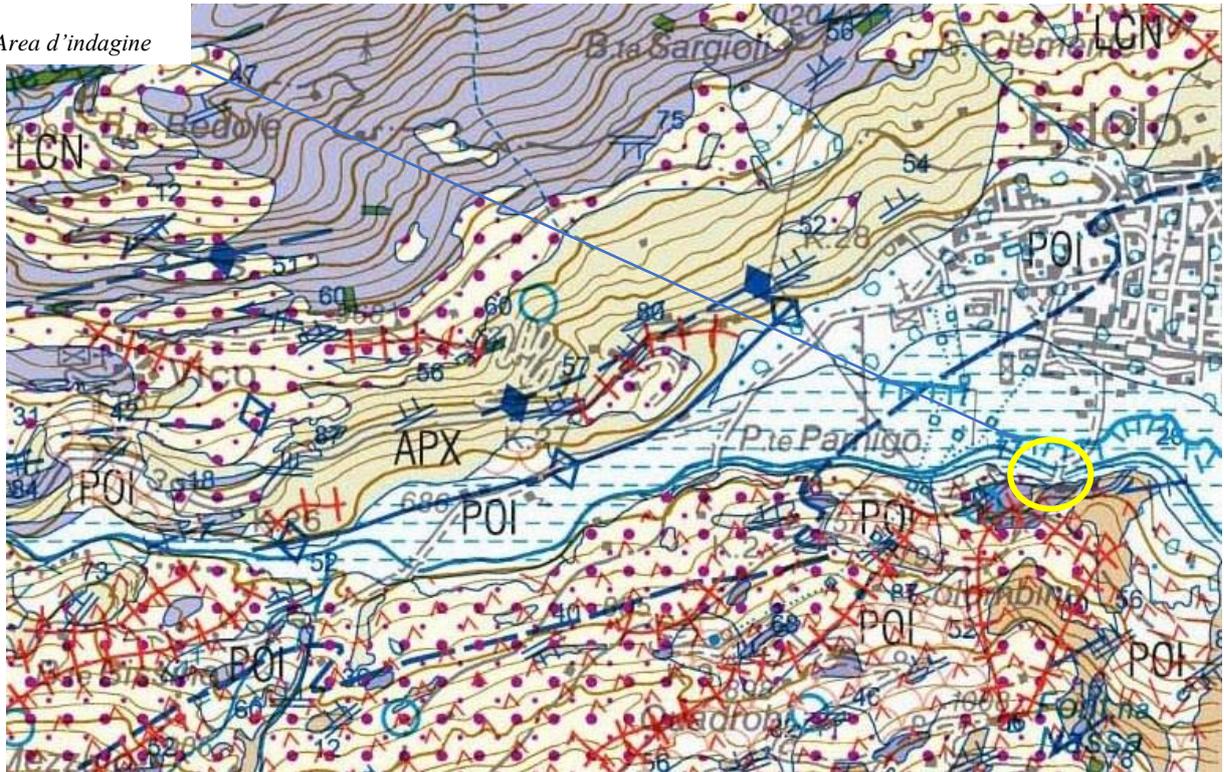


Figura 3: Schema di inquadratura regionale (stralcio Foglio 057 - Malonno)

Area d'indagine



BASAMENTO METAMORFICO

UNITA' TETTONOMETAMORFICA DELL'APRICA (di età varisica)

MICASCISTI A GRANATO, BIOTITE, CLORITE

Scisti a grana fine con mica chiara, granatoli, plagioclasio, quarzo, opachi, ± biotite, ± clorite, in paragenesi contemporanea allo sviluppo della foliazione S₁ (f. scisti verdi). La paragenesi stabile durante lo sviluppo della foliazione pervasiva S₂ (f. scisti verdi) contiene localmente granatoli e abbondanti opachi. Si trovano a Sud degli gneiss granitoidi con relitti di strutture ignee, e a Nord delle quartziti, tra Santicolo e Pisogneto. (Scisti di Edolo *Auct. p.p.*; EDO *p.p.* del limitrofo F. Adamello).

PRE-VARISICO

QUARZITI

Quarziti di colore grigio rosato, a mica chiara e clorite, generalmente foliate, in livelli di potenza decimetrica-ettometrica, intercalati nei micascisti e micascisti particolarmente ricchi in quarzo. (Scisti di Edolo, Membro delle Quarziti del Dosso Pasò *Auct. p.p.*; EDO *p.p.* del limitrofo F. Adamello).

PRE-VARISICO

SCISTI CARBONATICI

Rocce carbonatiche di colore grigio scuro-verdastro, a mica chiara, clorite e quarzo, debolmente foliate e intercalate in sottili livelli nei micascisti; talora marmi di colore bianco (Ponte del Baghetto, presso Castello dell'Acqua - Stazzona) (Scisti di Edolo *Auct. p.p.*).

PRE-VARISICO

METABASITI

Scisti cloritici e prasiniti a clorite, anfibolo, albite ocellare, epidoto, ± mica chiara, ± carbonati, con tessitura foliata (M. Padrio, Trivigno). (Scisti di Edolo *Auct. p.p.*).

PRE-VARISICO

DEPOSITI CONTINENTALI NEOGENICO-QUATERNARI

UNITA' NON DISTINTE IN BASE AL BACINO DI APPARTENENZA

SISTEMA DEL PO

Diamicton e ghiaie massive con clasti eterometrici spigolosi (depositi di versante). Ghiaie e sabbie stratificate o in corpi lenticolari, limi massivi (depositi alluvionali). Limi laminati, sabbie fini, torbe (depositi lacustri e di torbiera). Diamicton massivi a supporto di matrice con clasti da sub angoli ad arrotondati (tili d'ablazione e di alloggiamento). Superficie limite superiore caratterizzata da alterazione assente e morfologie ben conservate o ancora in evoluzione. Subsystema della Piccola Età Glaciale (POI₁).

Superficie limite caratterizzata da orizzonte B poco sviluppato, morfologie ben conservate, esteso inerbimento sino a limitata vegetazione arborea. **PICCOLA ETÀ GLACIALE (PEG), 1500-1860 AD.** Subsystema del Po recente (POI₂).

Superficie limite caratterizzata da orizzonte B assente, morfologie in evoluzione, inerbimento da scarso a nullo, con sviluppo di vegetazione pioniera. **PEG - ATTUALE** **PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE**

UNITA' DEI BACINI DELL'ADDA E DELL'OGLIO

SUPERSISTEMA DEI LAGHI

Diamicton massivi (tili d'alloggiamento e di ablazione). Ghiaie medie e grossolane, stratificate, a supporto di matrice sabbiosa o in lenti alternate a diversa granulometria (depositi alluvionali); diamicton, ghiaie, sabbie, limi con grande variabilità di facies sia laterale che verticale, in genere stratificati (depositi di contatto glaciale); ghiaie, sabbie, limi e argille laminati (depositi lacustri); ghiaie con elementi spigolosi alterate, con matrice argillosa arrossata (depositi di versante). Superficie limite superiore caratterizzata da morfologia ben conservata, copertura loessica assente, profilo di alterazione poco evoluto.

SISTEMA DI CANTÙ (LCN): tili d'alloggiamento e di ablazione; depositi alluvionali; depositi di contatto glaciale; depositi lacustri; depositi di versante. Superficie limite superiore con profilo di alterazione poco evoluto, spessore massimo 2 m, colore della matrice 7,5 - 10⁻⁴R.

PLEISTOCENE SUPERIORE

ROCCHE FILONIANE

FILONI

Andesiti porfiriche, di colore verdastro, con massa di fondo da molto fine ad afanitica e fenocristalli di anfibolo e plagioclasio (0,2 mm - 1 cm), a volte orientati; contengono inclusi con diametro variabile (2 - 10 cm) e hanno grana più fine in prossimità del bordo. Sono intruse nel basamento metamorfico varisico e nella successione sedimentaria ed intersecano in discordanza le strutture alpine delle rocce incassanti. (Porfiriti *Auct.*). **CRETACICO? - PALEOGENE?**

FILONI BASICI/INTERMEDI

Rocce olocristalline a fenocristalli di augite, anfibolo bruno ± biotite, variamente alterate (SS, n.° 39 Edolo-Aprica; cresta NO del M. Forcella). Intersecano in discordanza le strutture pre-alpine delle rocce incassanti. (Diabasi di Edolo *Auct.*) **PRE-CRETACICO?**

FILONI AFIRICI FOLIATI

Rocce filoniane diffusamente alterate (calcite, clorite) e foliate, intruse esclusivamente nel basamento metamorfico. I filoni sono deformati (almeno da D₂ insieme alle rocce incassanti (versante E del M. Torena, cresta E di q. 2804 a SO delle Cime di Caronella). **PRE-PERMIANO?**

LEMBI PERMO - TRIASSICI LUNGO LA LINEA DEL TONALE

DOLOMIE, CONGLOMERATI E BRECCIE

Dolomie, breccie cataclastiche a elementi calcareo-marnosi e calcareo dolomitici, calcari e calcari marnosi. **PERMIANO? - MESOZOICO?**

SOVRASSEGNI DELLE UNITA' NEOGENICO-QUATERNARIE

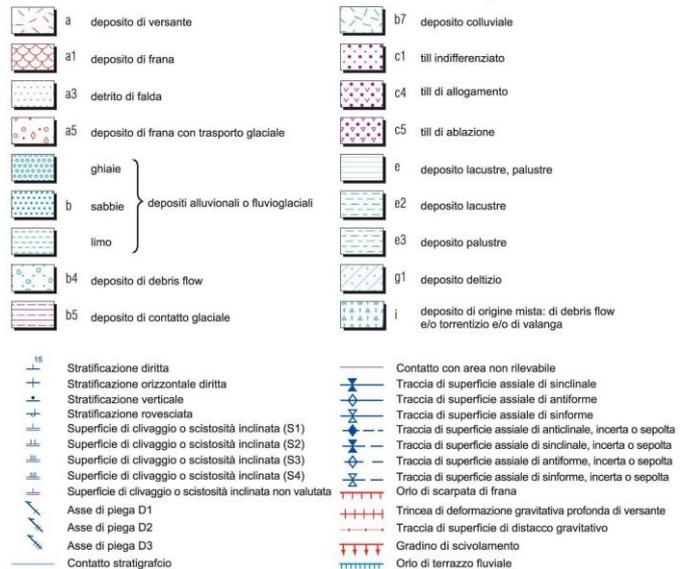


Figura 4: Inquadramento geologico (Stralcio Carta Geologica Foglio 057-Malonno – Scala originale 1:50.000)

3.2 Inquadramento stratigrafico e geolitologico

3.2.1 *Substrato roccioso*

Nel settore alpino in cui è posta l'area in esame, le rocce del substrato possono essere raggruppate nei seguenti complessi litostratigrafici:

1) Basamento cristallino Austroalpino

Unità tettonometamorfica Languard - Tonale

2) Basamento tettonico delle Alpi Meridionali

Unità tettonometamorfica Forno Allione

Unità tettonometamorfica dell'Aprica

Unità tettonometamorfica del Passo Cavalcafciche

3) Rocce filoniane.

4) Lembi permo-triassici lungo la Linea del Tonale

Nell'area d'intervento, il substrato roccioso è costituito dalle rocce metamorfiche appartenenti al **Basamento tettonico delle Alpi Meridionali**. Poco più a Nord, un importante sovrascorrimento (Linea del Tonale) mette a contatto queste rocce con quelle del Basamento cristallino Austroalpino. Nelle descrizioni stratigrafiche che seguono si è utilizzato il nuovo concetto di unità tettonometamorfica (UTM), raggruppante le rocce che possiedono una corrispondente storia evolutiva, sia strutturale che metamorfica; sono comunque fornite tutte le indicazioni sull'equivalenza con la nomenclatura storica (p.es. "Scisti di Edolo" Auct.).

L'area d'intervento ricade nell'**Unità tettonometamorfica dell'Aprica**.

3.2.1.1 Basamento tettonico delle Alpi Meridionali - Unità tettonometamorfica dell'Aprica

Questa unità contiene metapeliti e quarziti, con evoluzione metamorfica di età varisica interamente in facies scisti verdi. Immediatamente a S della linea Insubrica, sono stati riconosciuti relitti di palinomorfi e microplankton marino siluriano-ordoviciani.

Corrisponde agli Scisti di Edolo Auct. p.p.

Metabasiti (età pre - Varisico) - APY

Rocce di colore verde scuro e grana finissima con foliazione marcata da clorite ± mica chiara (cloritoscisti Auct.). Sono raramente massicce, e normalmente più finemente foliate per la disposizione planare dei fillosilicati, composte da clorite, anfibolo verde (attinolite - tremolite), plagioclasio (albite "ocellare"), epidoto, ± mica chiara, ± carbonati. Molto spesso la loro tessitura è dovuta all'alternanza di livelli a carbonati o ad albite, nei quali solitamente aumenta anche la grana dei minerali. Questi livelli leucocrati risultano spesso piegati e crenulati permettendo una miglior lettura delle strutture plicative nella roccia. Le anfiboliti sono intercalate ai micascisti (APX) e alle quarziti (APQ) e affiorano prevalentemente nei pressi del Monte Padrio e a S di Trivigno.

Scisti carbonatici (età pre - Varisico) – APD

Raramente, all'interno dei micascisti (APX), si trovano sottili livelli di scisti a carbonati di colore grigio scuro o verdastro, dall'aspetto massiccio. La loro composizione è prevalentemente calcite,

mica chiara, clorite e quarzo; i fillosilicati determinano i piani di foliazione principali alternati a livelli più granulari a calcite e quarzo. Le superfici esterne risultano spesso corrose e cavernose a causa della dissoluzione dei carbonati da parte degli agenti meteorici. Non sono rocce molto abbondanti; nella maggior parte dei casi si trovano in livelli metrici (raramente decametrici). Talora sottili livelli di marmi di colore marrone - ocra in patina d'alterazione e bianco sporco in frattura fresca, a calcite prevalente, rara mica chiara e clorite, sono intercalati nei micascisti, che assumono un aspetto più "filladico" con riduzione della grana e colore verde chiaro argenteo. Gli scisti a carbonati sono implicati coi micascisti in pieghe da serrate ad isoclinali.

Quarziti (età pre - Varisico) – APQ

Ai micascisti (APX) sono associati livelli di quarziti e quarzomicascisti, di potenza da decimetrica a ettometrica (es. nel versante compreso tra la Linea Insubrica ed il Passo dell'Aprica). Hanno colore grigio-rosato, sono quasi sempre ben foliate, più raramente massicce. I contatti con i micascisti possono essere netti o più spesso transizionali, per graduale arricchimento in clorite e mica chiara. Talora conservano relitti di granato. La maggiore competenza delle quarziti rispetto ai micascisti, e la ripetuta alternanza quarziti - micascisti determina una ricca conservazione di caratteri strutturali antichi (es. lungo la strada che porta dal Passo dell'Aprica a Trivigno). Gli sciami di quarziti sono utili traccianti della struttura di questa unità. (Membro delle Quarziti del Dosso Pasò Auct. p.p).

Micascisti a granato, biotite e clorite (età pre - Varisico) – APX

Scisti scuri a grana fine, cloritici (filloniti), localmente con biotite, mica bianca, plagioclasio e granato visibili; formano una fascia allungata ENE-OSO che si estende tra Edolo e Aprica. Sono intimamente associati a livelli da decimetrici a decametrici di quarziti e quarzomicascisti (APQ).

In alcuni campioni di filladi scure, provenienti dalla valle dell'Ogliolo, si sono ritrovati resti di Acritarchi e palinomorfi di età Siluriano- Ordoviciano.

3.2.2 Successione Neogenico-Quaternaria

3.2.2.1 Unità distinte in base al bacino di appartenenza

Si tratta di corpi sedimentari la cui formazione è strettamente correlata ai processi sedimentari avvenuti in un dato bacino idrografico e/o glaciale e alla sua evoluzione. Per alcune di queste unità, tuttavia, è stato possibile stabilire una continuità fisica e/o una sostanziale concordanza di significato e definizioni con altre presenti in bacini diversi. In particolare, relativamente al contesto alpino e prealpino lombardo, si è operata, tra le altre, la distinzione/accorpamento in Depositi LGM (Last Glacial Maximum), corrispondenti all'ultima grande espansione glaciale. All'interno di ogni bacino principale glacializzato è stato istituito un sintema o un supersintema racchiudente tutti i depositi legati allo LGM, suddiviso poi in unità di rango inferiore. Relativamente al ghiacciaio dell'Oglio, i rilevamenti in alta Val Camonica relativi al Foglio Malonno hanno messo in evidenza il contatto tra i ghiacciai dell'Adda e dell'Oglio nella zona Mortirolo - Aprica. I dati raccolti indicano che vi è stata alternanza di flusso nelle diverse fasi dello LGM, ossia alcune volte era il ghiacciaio

dell'Adda che trasfluiva in Val Camonica, altre volte era il ghiacciaio dell'Oglio che trasfluiva in Valtellina (situazione quest'ultima più probabile durante la fase di massimo glaciale). Sulla base di queste osservazioni, è stata istituita un'unica unità comune al bacino camuno ed a quello abduano: il *supersintema dei Laghi*.

Supersintema dei Laghi - Sintema di Cantù (età Pleistocene superiore; corrisponde in parte al "Würm" degli Autori precedenti) - LCN

Nel settore il sintema di Cantù è costituito quasi esclusivamente da depositi glaciali, alluvionali e di contatto glaciale:

Till di ablazione: diamicton massivi a supporto di matrice limosa o limososabbiosa, con clasti e blocchi sino a metrici, da arrotondati a subangolosi.

Till di alloggiamento: diamicton massivi a supporto di matrice limosa molto abbondante, generalmente sovraconsolidata, con sparsi clasti di dimensioni al massimo decimetriche, arrotondati e spesso striati e sagomati a ferro da stiro.

Depositi di fusione sottoglaciale: ghiaie da medie a grossolane, talvolta grossolanamente stratificate (fluted moraine), supporto di clasti, scarsa matrice limoso sabbiosa, clasti arrotondati.

Depositi di contatto glaciale: diamicton massivi a supporto di matrice con clasti mal selezionati ed arrotondati, in corpi lenticolari; ghiaie a supporto clastico o di matrice sabbiosa, con clasti arrotondati, a selezione variabile; intercalazioni di sabbie in strati decimetrici o in lenti, e di limi massivi o più comunemente stratificati.

Depositi alluvionali: ghiaie a supporto di matrice sabbiosa, con clasti a selezione variabile, di dimensioni da medie a grossolane, con intercalate sabbie stratificate o in lenti.

Il limite superiore, erosivo, coincide in buona parte con la superficie topografica; localmente è ricoperto da facies di versante del sintema del Po. E' caratterizzato da assenza di copertura loessica; il profilo di alterazione è poco evoluto, di spessore massimo 1 m, con evidente ossidazione dei clasti e della matrice dei depositi ad elevato contenuto in Fe e parziale arenizzazione dei clasti scistososi. Il profilo di alterazione risulta spesso troncato e/o sepolto dai depositi del sintema del Po. Il limite inferiore è rappresentato dalla superficie di contatto con il substrato, spesso interessato da esarazione (dossi montonati). La litologia dei clasti rispecchia le formazioni del bacino di alimentazione. Dato che l'unità è costituita dai depositi sia del ghiacciaio dell'Adda sia del ghiacciaio dell'Oglio si osserva una diversa litologia dei clasti a seconda dei bacini. Inoltre è presente una grande variabilità locale, in funzione dell'alimentazione ricevuta dagli apparati confluenti dalle valli laterali, rispecchiando la distribuzione dei litotipi affioranti sui versanti prospicienti i depositi, con significative differenze non solo da un versante all'altro, ma anche a breve distanza lungo lo stesso versante: ciò suggerisce un trasporto relativamente breve, senza rimescolamento e contaminazione dei materiali. Il sintema di Cantù comprende i sedimenti deposti nel corso dell'ultima grande avanzata glaciale, quando il Ghiacciaio Camuno, in massima espansione, occupava la valle del Passo dell'Aprica diffuendo verso il Bacino Abduano. Affiora estesamente su entrambi i versanti della Valle di Corteno, raggiungendo i 2000 m s.l.m in prossimità del Piz Tri e i 2080 m s.l.m. in corrispondenza del Monte della Piana.

3.2.2.2 Unità non distinte in base al bacino di appartenenza

Sotto questa dicitura sono stati raggruppati tutti i depositi legati prevalentemente alla dinamica di versante (es. falde detritiche, coltri colluviali, frane ecc.), la cui sedimentazione è avvenuta in tempi differenti e in modo indifferenziato su tutto il territorio. Nel settore tale raggruppamento comprende tutti i depositi formatisi posteriormente all'ultimo evento glaciale pleistocenico, per i quali è stato istituito il *Sintema del Po*. Il Sintema del Po è diacrono su tutta la sua estensione, abbraccia un arco temporale che va dalla parte terminale del Pleistocene superiore sino a tutto l'Olocene e, come appena ricordato, comprendente tutti i depositi (indipendentemente dall'agente deposizionale) formatisi posteriormente all'ultimo evento glaciale pleistocenico.

Sintema del Po (età Pleistocene superiore-Olocene) - POI

Cartografata anche come unità Postglaciale, precedentemente i depositi corrispondenti a questa unità sono stati individuati come "Alluvioni attuali, recenti, antiche e tardive" o come unità morfologiche (conoidi, coni e falde detritiche, morene recenti). Il sintema del Po inizia a depositarsi al ritiro dei ghiacciai pleistocenici al termine della fase di massima avanzata (LGM), ed è quindi di deposizione diacrona sia a scala regionale che nell'ambito di settori diversi dei singoli bacini idrografici, in funzione dell'inizio del ritiro locale degli apparati glaciali. Il limite superiore coincide con la superficie topografica ed è caratterizzato da suoli poco evoluti, alterazione dei clasti da assente a poco sviluppata (sino a una profondità massima di 30-40 cm), morfologie ben conservate o ancora in evoluzione. Il limite inferiore è costituito dalla superficie di contatto con il substrato, su cui poggia in discordanza, o da superfici erosionali o di non deposizione al contatto con il sottostante sintema di Cantù.

L'unità comprende tutti i depositi continentali formatisi dopo le fasi di ritiro dell'ultima avanzata glaciale. Essa appare diffusa in corpi di varia estensione, con genesi, caratteristiche litologiche e morfologiche nonché ubicazione strettamente omogenee entro ogni singola facies, oltreché strettamente correlate fra loro:

Depositi messi in posto per gravità: detriti di versante: diamicton e ghiaie massive o clinostratificate, eterometriche, a supporto clastico o di matrice, con clasti spigolosi alimentati dal versante soprastante sono presenti nelle aree a quote più elevate e a scarsa copertura vegetale, localizzati ai piedi di pareti in rocce competenti fratturate, ove formano falde detritiche spesso costituite da coni coalescenti.

Depositi di frana: diamicton massivi a blocchi o accumuli caotici di blocchi da metrici a plurimetrici, messi in posto durante singoli eventi catatrocici (frane s.l.) sono diffusi su tutta l'area, con volumi ed estensioni areali varie. Si distinguono corpi con superficie a dossi e depressioni, spesso in relazione con nicchie di distacco ben individuabili, legati a frammenti per scivolamento rotazionale in roccia; talora i fenomeni interessano intere porzioni di versante, con debole dislocazione rotazionale alla base, passante verso l'alto a fratturazione pervasiva della compagine rocciosa, con disarticolazione crescente, sino ad accumulo caotico di blocchi della medesima litologia non derivati da pareti soprastanti, bensì dalla diretta messa in posto del corpo dislocato.

Nel dettaglio si osservano spesso situazioni complesse, con eventi successivi di ordine minore parassiti sul corpo di frana principale. diffusi fenomeni franosi presenti lungo gli assi vallivi principali sono in connessione con estese deformazioni gravitative profonde; spesso inoltre DGPV (Sackungen) del substrato lapideo sembrano innescare scivolamenti e colamenti dei depositi quaternari che le ammantano, con denudamento della sottostanti magmatiti e metamorfiti.

Depositi da trasporto in massa: diamicton massivi a supporto di matrice limoso-argillosa, con clasti da arrotondati a subangolosi provenienti dal rimaneggiamento di precedenti depositi glaciali, sono diffusi in tutta l'area, assumendo spessori degni di nota in alcune valleciole a fondo piatto o in depressioni in corrispondenza di contropendenze. Essi appaiono generati da trasporto in massa (debrisflow, mudflow), con genesi di corpi lobati lungo i versanti o allo sbocco di canali, oppure da movimento dell'intera copertura lungo il versante stesso (colluvium).

Depositi alluvionali. Sono costituiti in genere da ghiaie massive o grossolanamente stratificate, a supporto clastico, matrice sabbiosa da assente ad abbondante, clasti da subangolosi ad arrotondati, a selezione variabile da scarsa a buona, spesso embricati; ghiaie a supporto clastico e matrice sabbiosa in lenti clinostratificate, con ciottoli arrotondati e ben selezionati; intercalazioni sabbiose stratoidi o lenticolari, con laminazioni oblique a basso angolo o laminazioni incrociate. Particolare importanza, sia come distribuzione areale che come volumi, assumono i depositi localizzati nella valle di Corteno, ove i sedimenti raggiungono presumibilmente spessori plurimetrici, in sovrapposizione continua su depositi glaciali e fluvioglaciali pleistocenici. Limitate placche di depositi alluvionali sono presenti discontinuamente entro l'alveo di gran parte dei corsi d'acqua a carattere torrentizio; localmente i materiali appaiono organizzati in più fasi di deposito e successiva erosione, sottolineate da orli di scarpata erosionale spesso netti e terrazzamento delle superfici. Ad essi si intercalano in rapporto di eteropia gli apporti dei canali confluenti, dominati da trasporto in massa e spesso modellati a forma di cono con elevata pendenza della superficie.

Depositi lacustri e di torbiera: alternanze di limi e sabbie fini laminati in sequenze decimetriche, con intercalati livelli di torba, sono presenti in alta quota in bacini di limitata estensione areale ed esigua profondità, sviluppati in depressioni intermoreniche o a ridosso di dossi montonati. Quando non in corso di formazione, essi si distinguono comunque, dando origine a superfici pianeggianti suborizzontali, interdigitate entro i dossi che le contengono, e scarsamente drenate, con tendenza all'impaludamento.

Depositi glaciali: diamicton massivi a supporto di matrice limosa o limoso-sabbiosa, con blocchi sino a plurimetrici, subarrotondati o arrotondati, talora striati, nonché accumuli caotici di blocchi eterometrici privi o quasi di matrice, sono presenti alla testata delle valli minori, soprattutto sui versanti esposti verso i quadranti settentrionali.

3.3 Inquadramento geomorfologico

L'agente che ha maggiormente contribuito all'aspetto morfologico attuale della porzione di territorio in oggetto è l'attività glaciale la quale, sia durante le grandi glaciazioni quaternarie, sia in epoca tardiglaciale e, localmente, postglaciale, ne ha delineato e modellato l'aspetto. Durante le

grandi espansioni glaciali, nella valle di Corteno doveva verificarsi il contatto tra apparati glaciali legati al Ghiacciaio dell'Adda, quindi di pertinenza del bacino abduano, e apparati glaciali afferenti al Ghiacciaio Camuno, quindi facenti parte del bacino dell'Oglio. I dati di terreno suggeriscono che le relazioni tra i due dovevano essere piuttosto complesse e variabili nel tempo, in particolare durante le oscillazioni in fase di ritiro. La presenza di litotipi sicuramente provenienti dalla Val Camonica, a partire da quota 1160 m s.l.m., poco a E della frazione S. Pietro, e verso Est lungo la valle del Passo mostra come, durante l'ultima massima espansione glaciale (LGM), una lingua del Ghiacciaio Camuno percorreva la valle del Passo da Est verso Ovest, e qui probabilmente fronteggiava la lingua di Belviso, che ne ostacolava la trasfluenza verso il bacino abduano. Contemporaneamente, la direzione delle strie di esarazione sui dossi montonati dell'area del Pian di Gembro mostra che dalla Valtellina la porzione laterale sinistra del Ghiacciaio dell'Adda doveva scendere dalle pendici del M. Padrio - M. Giovello verso S, affacciandosi sulla valle del Passo: a questo movimento doveva sicuramente contribuire la spinta esercitata dalla confluenza da Nord, sull'opposto versante, del ghiacciaio della Valle di Poschiavo con il Ghiacciaio dell'Adda. Nello stesso momento, dalla Val Brandet e dalla Valle di Campovecchio scendevano due apparati glaciali, probabilmente uniti nella fase di massimo glaciale tra loro e con il lembo camuno. La presenza della lingua proveniente dalla Val Camonica, con verso contrario, doveva probabilmente ostacolare il flusso delle due lingue laterali, ma, alternativamente, queste ultime potevano, a loro volta, ostacolare lo scorrimento verso Ovest della lingua camuna.

L'asta valliva in esame è quindi un tipico solco glaciale con profilo ad U della porzione inferiore dei fianchi vallivi, nei quali sono riconoscibili scarpate e terrazzamenti legati all'azione di approfondimento del torrente Ogliolo. Nelle porzioni di assi vallivi disposti Est-Ovest, quale quello della Valle di Corteno, i fianchi in sinistra idrografica presentano inoltre una spiccata differenziazione rispetto a quelli destri. Mentre questi ultimi, infatti, sono meno acclivi e con un'alta densità di terrazzamenti (in via di abbandono), ove si alternano residui di pascolo, boscaglie e qualche bosco, i primi sono caratterizzati da maggiori acclività e ricoperti da fitti boschi prevalentemente di conifere.

Durante le fasi di espansione glaciale, l'area era dominata da processi glaciali che determinavano un'intensa attività erosiva, con formazione di vasti campi di rocce montonate, e una estesa copertura di depositi glaciali. In seguito, nelle tratte di sovraescavazione glaciale, l'originario fondovalle venne in parte colmato da sedimenti in un primo momento di origine glacio-lacustre ed in seguito fluvio-lacustri entrambi abbandonati dai ghiacciai in fase di ritiro. L'intervento dei corsi d'acqua impresso l'impronta decisiva nel modellamento dei fondovalle tramite processi di erosione, trasporto e sedimentazione.

In questo contesto, l'area di intervento è ubicata sulla modesta piana di fondovalle del torrente Ogliolo, a ridosso della sponda destra idrografica del fiume Oglio.

3.4 Inquadramento idrogeologico

Il settore d'indagine rientra nel grande bacino idrografico del Po, ove confluiscono per fasi successive dapprima il torrente Ogliolo di Edolo e poi il Fiume Oglio.

Il sistema idrografico superficiale del territorio in esame è costituito da due collettori principale, il Torrente Ogliolo di Corteno e il fiume Oglio, e da una serie di corsi d'acqua secondari che drenano le valli ed i versanti laterali. La configurazione planimetrica del reticolo idrografico, piuttosto semplice e regolare con corsi d'acqua principali ad andamento all'incirca E-O e torrenti secondari grosso modo ortogonali a questi ultimi, è legata alla presenza di grosse strutture tettoniche con direzione all'incirca meridiana.

Il settore di fondovalle a monte di Edolo presenta tratti a differente assetto morfologico, a seguito principalmente della presenza di tratti stretti e incassati, o di conoidi alluvionali più o meno estese, poste allo sbocco delle valli laterali. A tali diversi assetti è legata anche la dinamica del corso d'acqua di fondovalle, con la formazione di alternanze di anse e tratti rettilinei, di settori di fondovalle ampi e pianeggianti e di settori più ristretti e più acclivi. In questo contesto, il settore oggetto di indagine è caratterizzato dall'esteso conoide alluvionale generato dal fiume Oglio allo sbocco nella conca di Edolo, conoide che costringe il torrente Ogliolo a scorrere a ridosso del suo versante destro idrografico e che, a seguito dello sbarramento dell'asse vallivo di quest'ultimo, a dato luogo alla formazione dell'antistante piana alluvionale della località Piantas.

L'alimentazione della circolazione idrica sotterranea lungo i versanti ha luogo generalmente tramite le acque di precipitazione nei terrazzi morenici e detritici permeabili della copertura; ciò avviene in notevole misura nei settori sommitali, per la presenza diffusa di depositi e accumuli detritici grossolani e per la mancanza di incisioni torrentizie principali. Successivamente tali acque percolano in parte anche nelle fratture della roccia sottostante che si presenta, nella maggior parte dei casi, piuttosto alterata nei primi metri di spessore.

Nella coltre di depositi superficiali si possono identificare locali acquiferi, legati alla rete molto fitta di vuoti interconnessi ai materiali costituenti le coltri. Nelle rocce del substrato, viceversa, la permeabilità è dovuta a alla fratturazione della roccia stessa. Poichè la porzione più intensamente fratturata è per lo più limitata alla fascia corticale del substrato lapideo, le acque di infiltrazione tendono a risalire piuttosto rapidamente in corrispondenza di particolari conformazioni morfologiche (terrazzi) o strutturali (faglie, flessure).

Nel fondovalle, gli acquiferi alluvionali sono caratterizzati dalla giustapposizione disordinata di termini litologici di varia granulometria, aggregati in lenti allungate nel senso della corrente che le ha generate. Ciò si traduce in una circolazione idrica per falde sovrapposte, con deflusso preferenziale dell'acqua nei litotipi a più alto grado di permeabilità relativa.

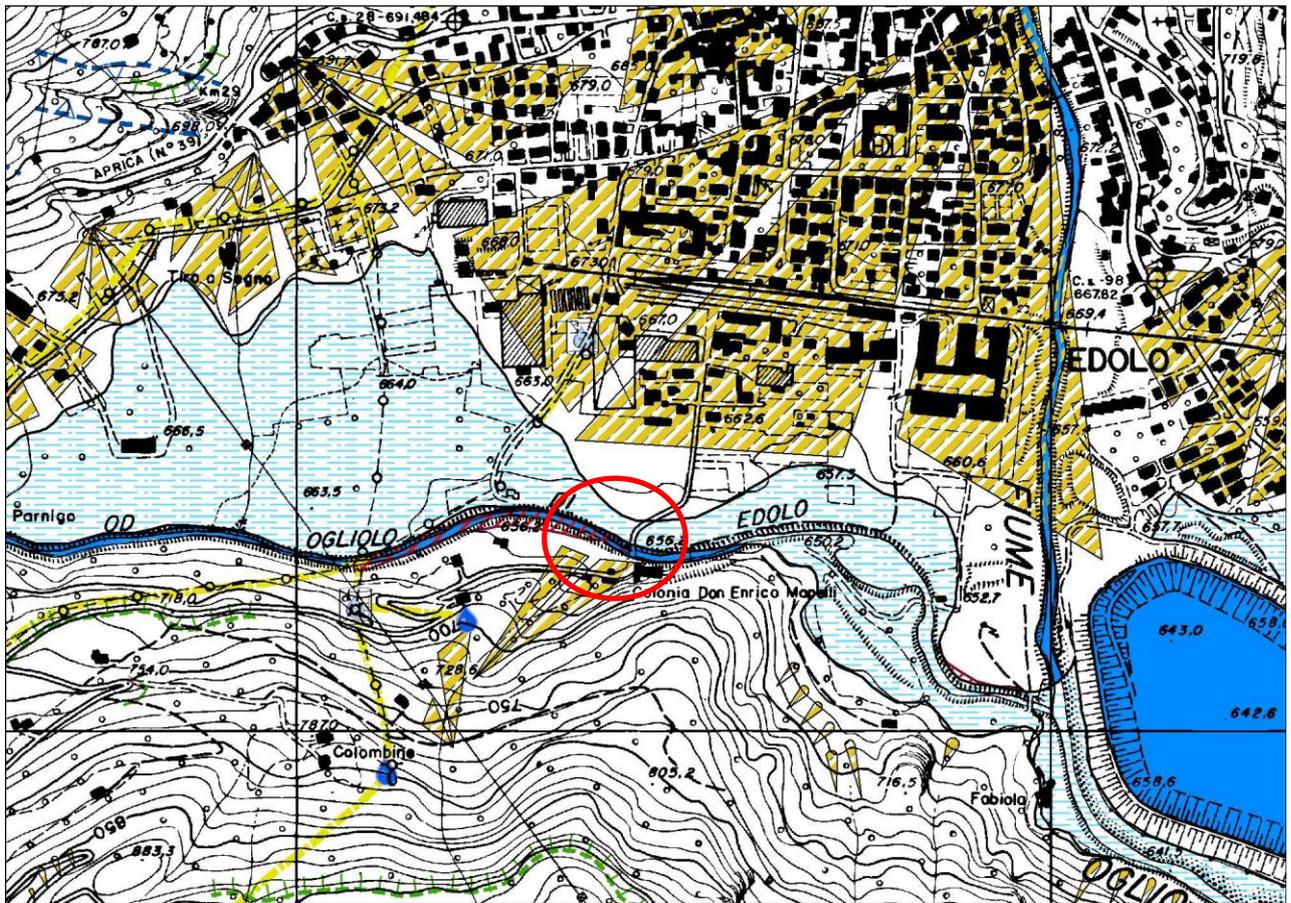
Nel fondovalle in esame, le diverse falde possono quasi sempre essere ricondotte ad un unico sistema di circolazione idrica sotterranea, poiché il particolare tipo di deposizione lenticolare lascia moltissime soluzioni di continuità fra depositi permeabili e depositi relativamente meno permeabili, quest'ultimi peraltro presenti in quantità molto scarsa.

Nel complesso, la sequenza deposizionale in esame costituisce un sistema acquifero poroso,

generalmente disomogeneo ed anisotropo, che può essere considerato continuo in quanto caratterizzato da una rete molto fitta di vuoti interconnessi e, di conseguenza, esaminato come un sistema idrogeologico a se stante. Per quanto riguarda le condizioni di alimentazione, la maggior parte delle acque perviene alle falde acquifere presenti nei depositi di fondovalle, dalle infiltrazioni laterali e di fondo del corso d'acqua principale e dei tributari laterali; apporti secondari sono dovuti alle precipitazioni e, localmente, alle infiltrazioni dai corsi d'acqua minori.

Dal punto di vista meteorologico, l'area considerata mostra un clima di tipo endoalpino, il cui uno dei fattori più caratteristici è la relativa scarsità delle precipitazioni, tipico delle porzioni più interne delle Alpi. La catena alpina rappresenta infatti un'efficace barriera climatica tra il versante Nordalpino, più sensibile al trasporto di masse d'aria umida dall'Oceano Atlantico e agli scambi meridiani, e quello Sudalpino, spesso sotto l'influsso del tempo mediterraneo, responsabile, per esempio, di inverni meno freddi. Nel settore, le precipitazioni sono perlopiù legate a grossi sistemi perturbati frontali, mentre dalla tarda primavera e durante l'estate sono di prevalente origine temporalesca.

Figura 5: Carta geomorfologica (Stralcio Cartografia geoambientale R.L.– Scala 1:10.000)



ELEMENTI LINEARI

- ▼ contropendenza
- ✦ crolli
- ▲ frana non fedelmente cartografabile
- ⚡ tracce di ruscellamento diffuso
- ↔ soliflusso e creep

ELEMENTI ANTROPICI

- 🏠 Impianti di depurazione
- 🏊 Pozzo
- 📦 Serbatoio di accumulo per acquedotti
- 💧 Sorgente
- 🚰 Vasca di troppo pieno

Nicchia di frana

- ▼▼▼ Attiva
- ▼▼▼ Inattiva

ORLI MORFOLOGICI

- |— Orlo di scarpata di cava o miniera a cielo aperto
- Orlo di scarpata di degradazione o frana
- |— Orlo di scarpata di erosione fluviale attivo
- |— Orlo di scarpata di erosione fluviale inattivo
- |— Orlo di scarpata di erosione glaciale
- |— Orlo di scarpata di origine antropica
- |— Orlo di scarpata di origine strutturale attivo
- |— Orlo di scarpata di origine strutturale inattivo
- |— Orlo di scarpata morfologica inattiva
- |— Orlo di scarpata morfologica attiva
- |— Forra
- |— Circo glaciale
- |— Gradino di valle sospesa
- |— Gradonatura artificiale

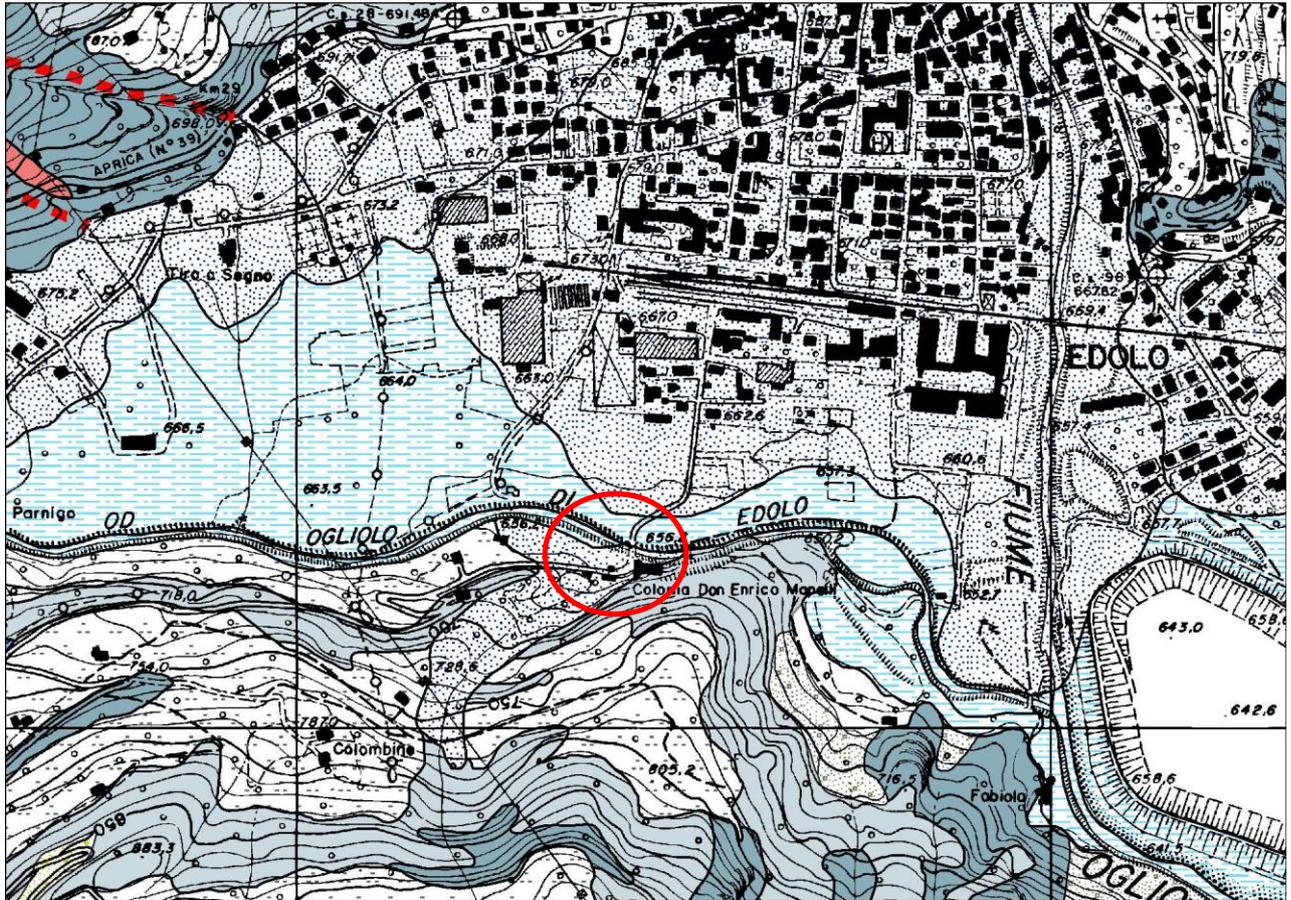
CORSI D'ACQUA

- fondo a U
- fondo a V
- fondo piatto
- ▶ Erosione incanalata

ELEMENTI AREALI

- cordone morenico
- Ghiacciai e nevai
- superficie fluvio-lacustre
- Erosione diffusa ad opera di acque incanalate
- Erosioni superficiali e dilavamento diffusi
- Area estrattiva o di discarica
- Andamento depositi orientati
- Falda e/o cono detritico
- Conoide di deiezione

Figura 6: Carta geologica (Stralcio Cartografia geoambientale R.L.– Scala 1:10.000)



ACCUMULI DI FRANA

- Accumulo di frana di crollo
- Accumulo di frana di scivolamento
- Paleofrana

DEPOSITI QUATERNARI

- Depositi colluviali
- Depositi eluviali
- depositi eluvio/colluviali
- Depositi fluvioglaciali
- Depositi lacustri
- morena stadiale
- Depositi morenici
- Depositi torbosi

Falde e coni detritici

- Attivo
- Inattivo

Conoidi di deiezione

- Attivo
- Inattivo
- depositi alluvionali

SUBSTRATO LAPIDEO

- Arenarie e conglomerati
- Rocce argillose
- Calcarei e dolomie
- Marne
- Depositi gessosi e anidritici
- Micascisti e filladi
- Gneiss
- Quarziti
- Rocce metamorfiche carbonatiche
- Serpentiniti e altre rocce metamorfiche
- Rocce effusive
- Rocce filoniane
- Rocce intrusive

ELEMENTI LINEARI

- faglia sicura
- faglia presunta
- frattura principale
- sovrascorrimento sicuro
- sovrascorrimento presunto

SUBSTRATO LAPIDEO SUBAFFIORANTE

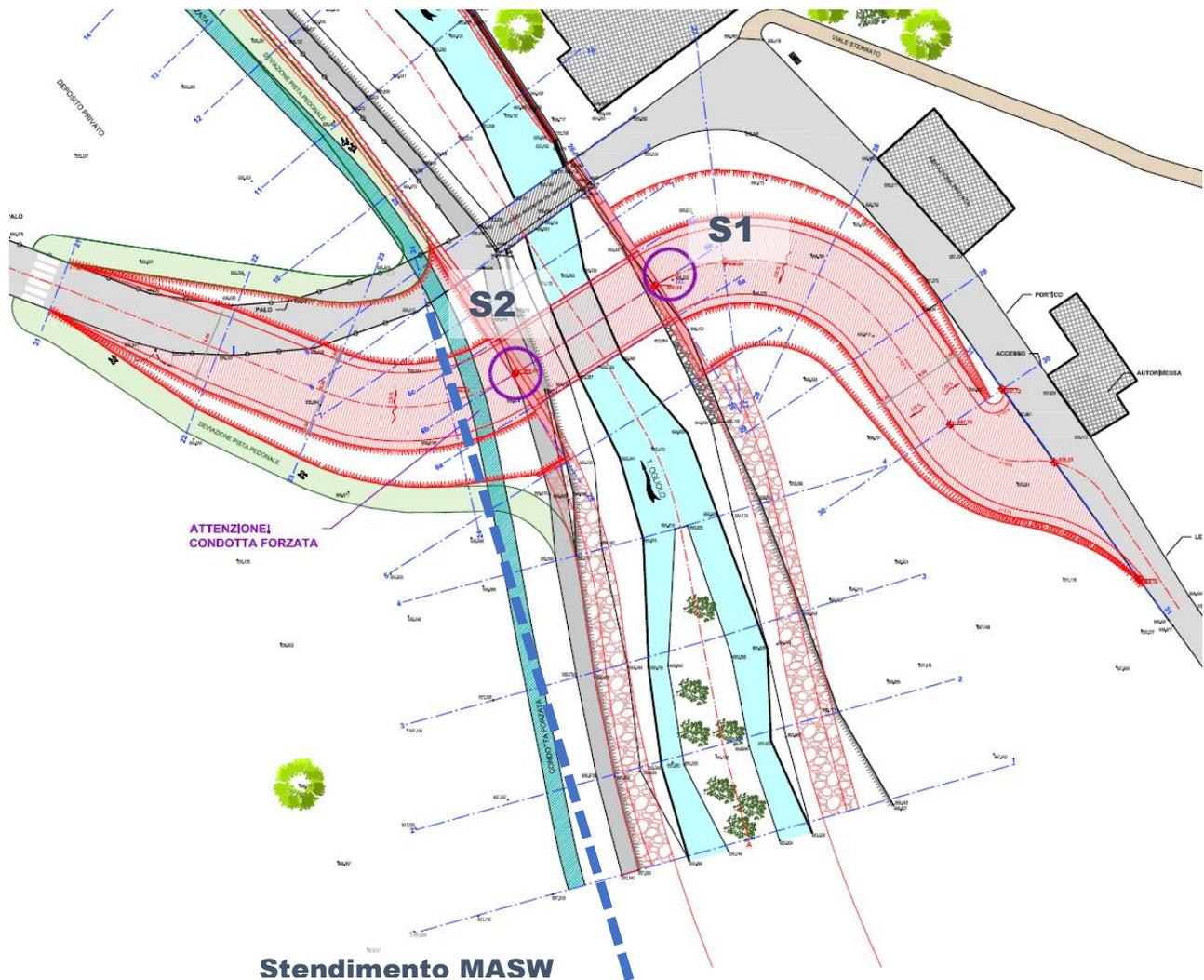
- Arenarie e conglomerati
- Rocce argillose
- Calcare-Dolomia
- Marna
- Deposito gessoso e anidritico
- Micascisti e filladi
- Gneiss
- Quarziti
- Rocce metamorfiche carbonatiche
- Serpentiniti e altre rocce metamorfiche
- Rocce effusive
- Rocce filoniane
- Rocce intrusive

4 ANALISI COMPONENTE GEOLOGICA DEL PGT DI EDOLO

L'analisi della componente geologica del PGT del comune di Edolo evidenzia quanto segue:

- Carta di Fattibilità Geologica (cfr. Figura 12): gli interventi in esame ricadono in classe **4** (fattibilità con gravi limitazioni alla destinazione d'uso dei terreni) sottoclasse **Ee** (aree esondabili con fenomeni di pericolosità elevata). Tra gli altri, in questa classe sono consentiti
 - *gli interventi volti a mitigare la vulnerabilità degli edifici e degli impianti esistenti e a migliorare la tutela della pubblica incolumità;*
 - *gli interventi necessari per la manutenzione ordinaria e straordinaria di opere pubbliche e di interesse pubblico;*
 - *Le opere di difesa, di sistemazione idraulica e di monitoraggio dei fenomeni;*
 - *La ristrutturazione e la realizzazione di infrastrutture lineari e a rete riferite a servizi pubblici essenziali non altrimenti localizzabili e relativi impianti, previo studio di compatibilità dell'intervento con lo stato di dissesto esistente validato dall'Autorità competente. Gli interventi devono comunque garantire la sicurezza dell'esercizio delle funzioni per cui sono destinati, tenuto conto delle condizioni idrauliche presenti.*
- Carta della Pericolosità Sismica Locale (cfr. Figura 13): l'area ricade in un'area soggetta ad amplificazioni litologiche e geometriche (parte Z4a - zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi; parte Z4b - zona pedemontana di falda di detrito conoide alluvionale e conoide deltizio lacustre).
- Carta PAI/PGRA (cfr. Figura 14): i settori d'intervento rientrano in aree esondabili con fenomeni di pericolosità elevata (Ee) del PAI e in aree interessate da alluvioni frequenti (P3/H) del P.G.R.A. Reticolo Secondario Collinare e Montano.

5 INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE



5.1 Carotaggi meccanici

Allo scopo di indagare la stratigrafia e le caratteristiche litologiche e geotecniche dei materiali sono stati realizzati due sondaggi (S1 e S2) a carotaggio continuo eseguiti fino alla profondità massima di 10 m dal piano campagna, con 2 prove SPT in foro.

I sondaggi sono stati eseguiti utilizzando la seguente attrezzatura:

- sonda idraulica Nenzi Gelma
- carotiere semplice e doppio (Nenzi T2), $\Phi = 101$ mm
- batteria di rivestimenti provvisori del foro, $\Phi = 127$ mm.

Nei fori di sondaggio sono state eseguite, secondo le modalità suggerite dall'AGI, n° 2 prove SPT, utilizzando la seguente attrezzatura:

- campionatore in acciaio di lunghezza 50 cm e $\Phi = 48$ mm (con punta conica per ghiaie ($\Phi = 51$ mm, angolo = 60°))
- aste di infissione di peso complessivo 7kg/m

- testa di battuta innestata sulle aste
- maglio di acciaio da 63.5 kg
- dispositivo di guida a sganciamento automatico del maglio con caduta libera di 0.76 m.

Si riportano di seguito le stratigrafie dei sondaggi e la documentazione fotografica delle singole cassette catalogatrici.

SONDAGGIO S1		
Profondità (m)	Descrizione	Fotografie
0.00 – 0.30	<u>Terreno vegetale</u>	
0.30 – 10.00	<p><u>Depositi alluvionali:</u> ghiaie, ciottoli e rari blocchi con matrice sabbiosa con limo. Presenza di intercalazioni limoso sabbiose debolmente argillose (3.30 – 3.35, 5.00 – 5.10, 6.60 – 6.80, 7.00 – 7.15, 7.70 – 8.00)</p>	
	Acqua: -4.70 m dal p.c.	SPT: -5.00 – 5,45 m (27-38-21)

SONDAGGIO S2		
Profondità (m)	Descrizione	Fotografie
0.00 – 0.70	<i>Terreno vegetale</i>	
0.70 – 10.00	<p><i>Depositi alluvionali:</i> ghiaie, ciottoli e rari blocchi con matrice sabbiosa con limo. Da 0.70 a 1.60 m la matrice si presenta mediamente alterata. Presenza di intercalazioni limoso sabbioso debolmente argillose (6,80 – 7,00, 8.30 – 8.70)</p>	
Acqua: -4.90 m dal p.c.		SPT: -5.00 – 5,45 m (34-R 70 a10 cm)

I carotaggi hanno evidenziato la presenza di spessori di terreno vegetale superficiale relativamente modesti (0.30 ÷ 0.70 cm), al di sotto dei quali si estendono depositi alluvionali grossolani addensati. Presenti livelli decimetrici più fini da sabbiosi a limosi debolmente argillosi.

5.1.1 Prove SPT

Le prove SPT consentono di determinare la resistenza che un terreno offre alla penetrazione dinamica di un campionatore infisso a partire dal fondo del foro di sondaggio che, nel caso in esame, è stato ubicato alla profondità di 13,5 m dal piano campagna.

La prova consiste nel far cadere un maglio, del peso di 63,5 Kg, da un'altezza di 76 cm, su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è avvitato un campionatore di dimensioni standardizzate.

Si misura il numero di colpi (N) del maglio in grado di far avanzare nel terreno il campionatore per

una lunghezza pari a 30 cm, dopo un infissione dinamica di 15 cm per il posizionamento, e si interpretano i risultati tramite comparazione con tabelle standardizzate. Come richiesto dai progettisti dell'intervento, è stata eseguita una prova SPT per ogni foro di sondaggio. Le prove S.P.T. sono state effettuate a 5, m di profondità da p.c., corrispondente alla quota di imposta delle fondazioni del nuovo ponte.

TABELLA RIEPILOGATIVA DEI VALORI SPT ESEGUITI IN FORO

N° SPT	Profondità (m)	I° Infissione (150 mm)	II° infissione (150 mm)	III° infissione (150 mm)
1	5,00	27	38	21
2	5,00	34	Rifiuto a 10 cm (70 colpi)	-

5.2 Indagine sismica MASW

5.2.1 Stendimento sismico MASW1



L'acquisizione di campagna è stata condotta con il sismografo Pasi 16S24-U, con geofoni verticali e orizzontali di 4,5 Hz spazati di 5 m con offset a 10 m, l'energizzazione è costituita da una mazza del peso di 10 Kg.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (MASW), sono stati acquisiti 3 dataset differenti, tramite altrettante modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
 - 24 geofoni verticali da 4,5 Hz
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio
- Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)
 - 24 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono parallelo allo stendimento
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio

L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW Academy 2019. La combinazione utilizzata è stata (ZVF-RVF). In sintesi sono stati ottenuti i seguenti risultati.

Minimum distance model:

Vs (m/s): 119, 101, 125, 326, 393, 482, 720, 810, 1105, 946, 1645, 2302

Vs30 (m/s): 557

VsE (m(s): 333

Thickness (m): 0.3, 0.4, 0.6, 2.0, 4.1, 11.2, 14.5, 4.8, 6.8, 4.0, 7.2

Mean model:

Vs (m/s): 142, 95, 125, 326, 377, 600, 715, 812, 852, 1180, 1694, 2304

Vs30 (m/s): 556

VsE (m(s): 322

Thickness (m): 0.4, 0.5, 0.9, 1.6, 1.6, 2.6, 3.9, 6.7, 7.2, 9.5, 14.9

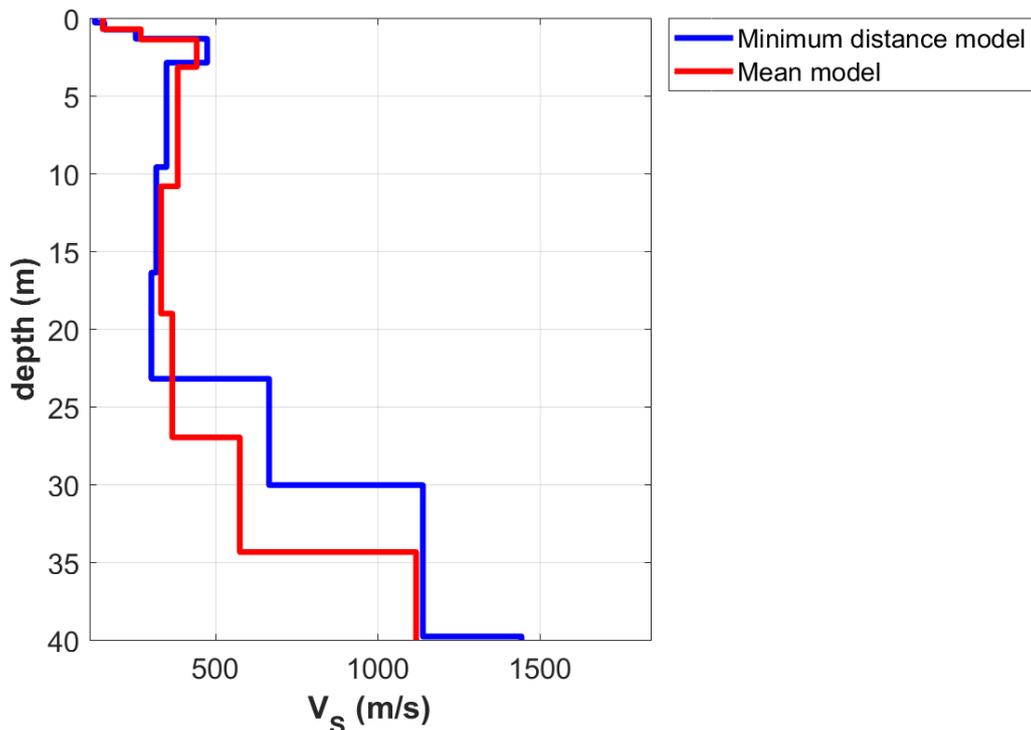
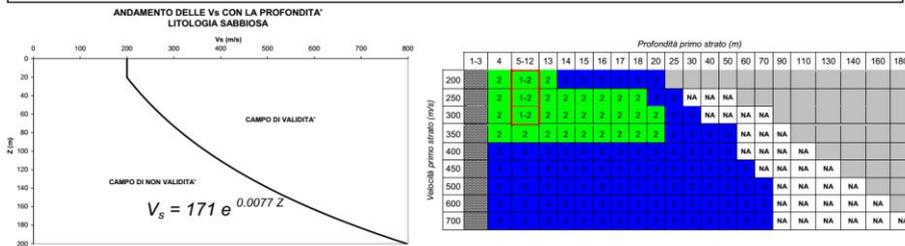
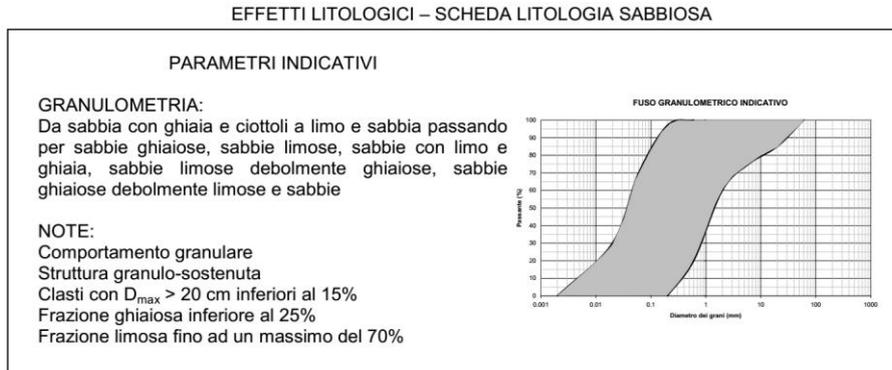


Figura 7: Profilo Vs

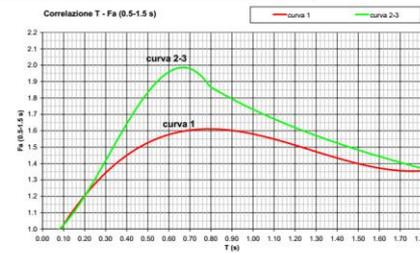
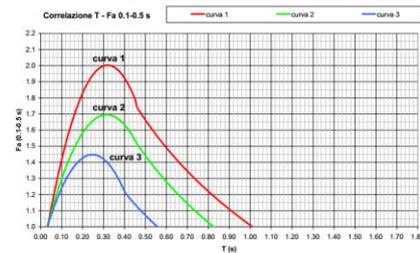
5.2.2 Verifica di II livello

La verifica di secondo livello è stata effettuata considerando sia l'intervallo di periodo tra 0.1-0.5 s per strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, sia l'intervallo di periodo tra 0.5-1.5 s per strutture alte e flessibili, dopo aver calcolato il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione.



ove
la sigla NA indica $F_a = 1$

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media V_s minore o uguale a 300 m/s poggiate su strato con velocità maggiore di 500 m/s



Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$ $Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$0.50 < T \leq 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$T > 1.00$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	$0.03 \leq T \leq 0.45$ $Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.94$	$0.45 < T \leq 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$T > 0.80$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.40$ $Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$0.50 < T \leq 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$T > 0.55$ $Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$	$0.80 \leq T \leq 1.80$ $Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$
2	$0.08 \leq T < 0.80$ $Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$	

Nel calcolo per il periodo 0.1-0.5 è stata utilizzata la formula della curva 2 verde considerando i primi 4 sismostrati come un unico strato di 3,3 ~ 4 metri con una velocità media di circa 300 m/s. Per il periodo tra 0.5-1.5 è stata utilizzata l'unica formula disponibile.

Fa periodo 0.1-0.5 = 1,68 < 1.8 (soglia comunale C)

Fa periodo 0.5-1.5 = 1,55 < 2.4 (soglia comunale C)

In base al valore F_a e ai valori soglia comunali, la categoria di **suolo C** individuata nella MASW si ritiene verificata sia per il periodo 0.1-0.5, sia per il periodo 0.5-1.5, avendo valutato in entrambi i casi le amplificazioni litologiche di sito e il fattore di amplificazione.

5.3 Modello geologico del terreno

Nello schema riportato più sotto sono riassunti i parametri geotecnici stimati a partire dalle indagini geognostiche effettuate sia nel sito di indagine, sia in altri settori della piana del torrente Ogliolo posti a ridosso del torrente stesso. La coesione dei terreni non è stata determinata; in prima approssimazione può cautelativamente essere considerata nulla. A partire da 4,7 m di profondità è stata riscontrata la presenza di acqua sotterranea.

MODELLO GEOLOGICO SOTTOSUOLO DA PROVE SPT IN FORO							
Profondità da p.f. (cm)	Tipo di terreno	Angolo di resistenza al taglio	Densità relativa	Peso unità di volume	Peso unità di volume saturo	Modulo di Young	Modulo di Poisson
0 - 70	<i>Terrreni vegetali superficiali</i>	$\phi = 24^\circ$	30	$\gamma = 1,65 \text{ t/m}^3$	$\gamma = 1,75 \text{ t/m}^3$	$E = 20 \text{ Kg/cm}^2$	0,36
70 - 1000	<i>Depositi alluvionali addensati</i>	$\phi = 33^\circ$	62	$\gamma = 1,85 \text{ t/m}^3$	$\gamma = 1,95 \text{ t/m}^3$	$E = 130 \text{ Kg/cm}^2$	0,32

6 AZIONE SISMICA

Il Comune di Edolo con l'OPCM 3274/2003 è stato classificato in zona sismica 4; con il D.G.R. 11 luglio 2014, n. 2129 il territorio comunale è stato declassato in **classe 3 sismica**. Con l'entrata in vigore del **D.M. 14.01.2008** e ribadito dal **D.M. 017.01.2018**, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica (sezione 3.2 "Azione sismica").

La Carta della Pericolosità Sismica Locale della componente geologica del PGT colloca l'area in esame tra gli scenari di pericolosità sismica locale appartenenti alla **classe Z4a** (Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali), potenzialmente caratterizzati da amplificazione sismica di tipo litologico.

Per quanto attiene ai fattori di amplificazione sismica locale, ai fini della valutazione degli effetti di amplificazione sismica di tipo litologico e topografico, si fa riferimento ai rilievi eseguiti e alle indagini geofisiche MASW realizzate direttamente nel sito d'intervento.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto (D. M. 17 gennaio 2018), il terreno in esame è quindi riferibile:

- Per strutture con periodo proprio compreso sia tra 0.1 e 0.5, sia tra 0.5-1.5, alla **categoria di sottosuolo di riferimento C** "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s";
- alla categoria di **condizioni topografiche T1** "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".

Il materiale saturo entro i primi 10 m dal p.c. (e ragionevolmente anche oltre) è rappresentato prevalentemente da depositi ghiaioso - sabbiosi con ciottoli, avente resistenza alla penetrazione dinamica elevata e caratterizzati da fusi granulometrici non suscettibili di liquefazione. In base al DM 17.01.2018 punto 7.11.3.4.2, la verifica a liquefazione può essere omessa anche qualora si manifesti la condizione 1 (accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g).

7 CONCLUSIONI

La Presente Relazione Geologica riguarda il progetto di realizzazione del “nuovo ponte di attraversamento del torrente Ogliolo in via G. Sora” (CUP G29J21003340002), nel territorio comunale di Edolo. In data 03.10.2020, in concomitanza con le piogge straordinarie e con gli sbarramenti temporanei conseguenti ai fenomeni franosi che hanno interessato il bacino del torrente Ogliolo nel territorio di Corteno Golgi, si è infatti prodotto un evento alluvionale che ha interessato buona parte dell’asta torrentizia. Il ponte di via Sora è stato investito dall’ondata liquido/solida di piena e reso inservibile perché pesantemente danneggiato dal punto di vista strutturale. Attualmente è in servizio un impalcato provvisorio che permette il collegamento tra l’abitato e le località sparse sulle pendici del monte Faeto. La strada che risale tali pendici è strategicamente importante in quanto funge da collegamento di emergenza con la media-bassa Valle Camonica in caso di interruzione della viabilità principale conseguente a possibili fenomeni di esondazione del torrente Val Rabbia.

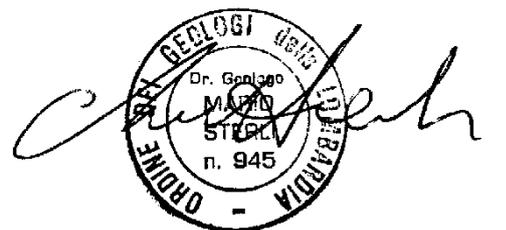
Il nuovo ponte sarà posizionato più a monte, con relative spalle poste a opportuna distanza da quello attuale, il quale rimarrà temporaneamente in funzione sino al termine dei lavori per garantire il transito tra i due lati del torrente. Come evidenziato dagli elaborati di progetto, il nuovo ponte sarà realizzato in modo da garantire sezioni idrauliche e franchi di sicurezza adeguati a quanto previsto dal D.M. 17-gennaio-2018 punto 5.1.2.3; saranno adeguati anche i due tratti a cavallo del manufatto al fine di regolarizzare quanto più possibile l’andamento delle portate.

A seguito della morfologia di questo settore, delle basse pendenze del fondo dell’alveo e della presenza di una soglia, posta circa 70 m più a valle del ponte esistente, che condiziona la livelletta di fondo del corso d’acqua ed ha provocato nel corso degli anni significativi accumuli di materiale litoide e vegetale in alveo, non si prevedono di regola significativi fenomeni erosivi e/o di scalzamento da parte del torrente. Le opere di fondazione dovranno comunque essere sufficientemente approfondite e difese da adeguate opere spondali.

La natura e le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione sono stati indagati con l’esecuzione di due carotaggi meccanici e con l’esecuzione di altrettante prove SPT in foro. Tali indagini hanno evidenziato la presenza di spessori di terreno vegetale superficiale relativamente modesti (0.30 ÷ 0.70 cm), al di sotto dei quali si estendono depositi alluvionali grossolani addensati, pur se con qualche presenza di livelli decimetrici più fini. In corso d’opera, a scavi aperti, sarà possibile affinare ed estendere tali indicazioni puntuali.

Edolo, MARZO 2023

Dott. Geol Mario Sterli



8 APPENDICI

8.1 Documentazione fotografica

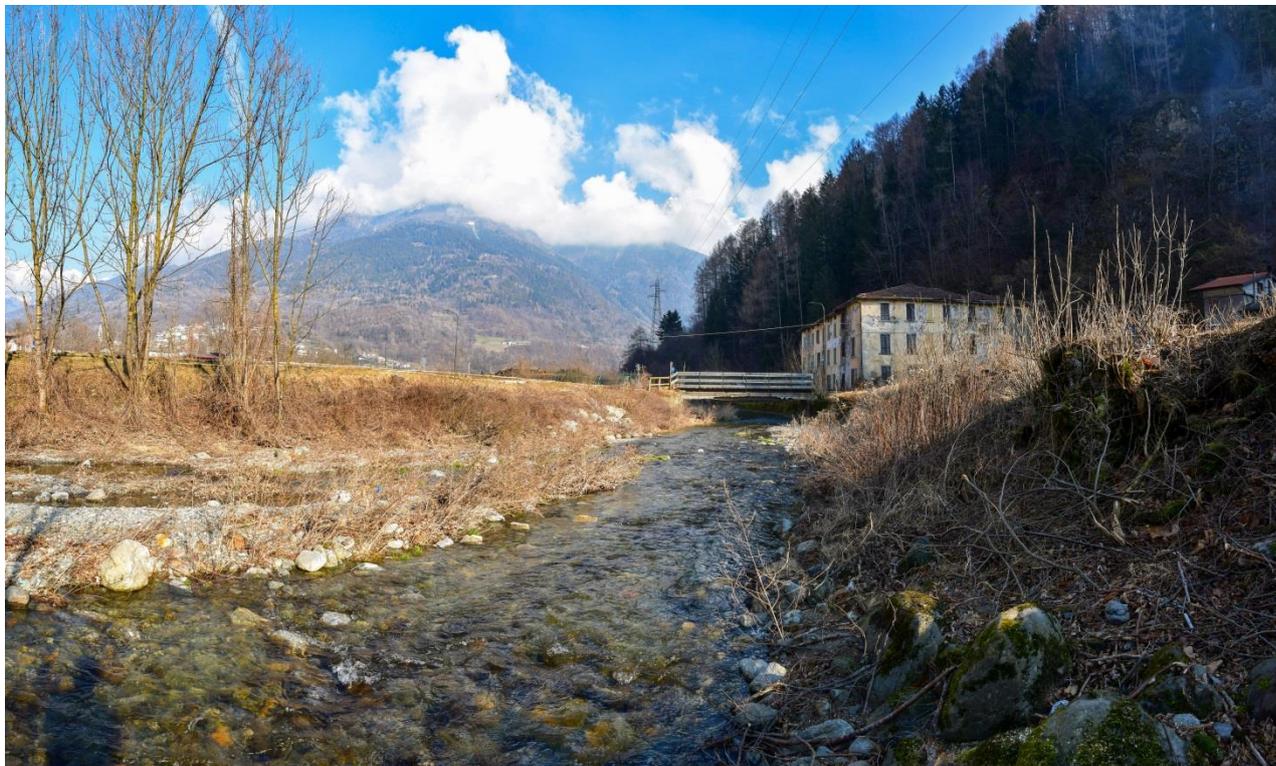


Figura 8: Settore a monte del ponte lesionato di via Sora (loc. "Lazzaretto")

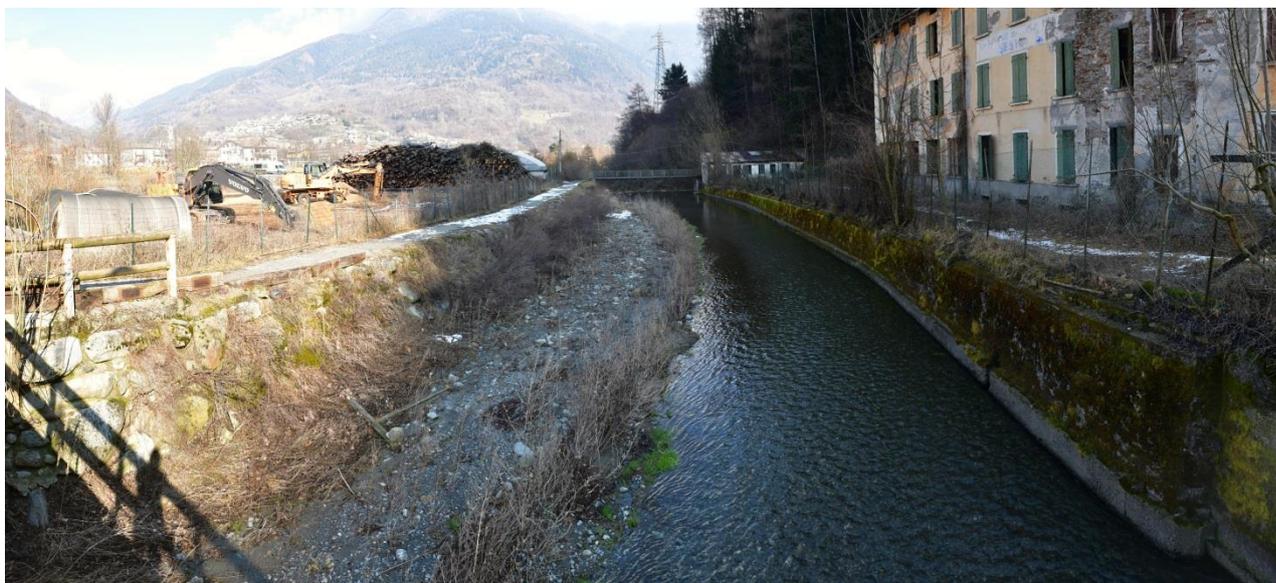


Figura 9: Settore a valle del ponte lesionato con la soglia che determina la livelletta di fondo del torrente Ogliolo



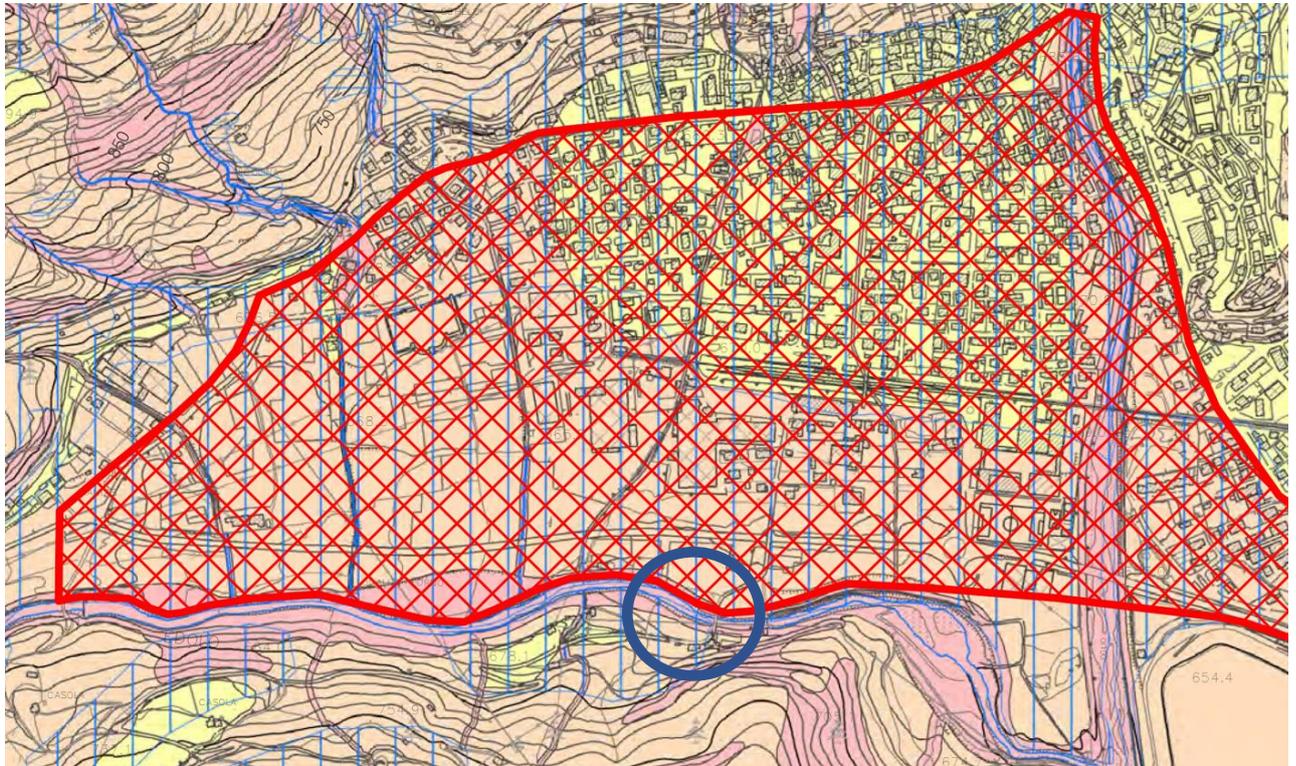
Figura 10: Vista del ponte lesionato dalla sponda sx di monte



Figura 11: Vista del ponte lesionato dalla passerella pedonale posta più a valle

8.2 Analisi PGT di Edolo

Figura 12: Stralcio Carta della Fattibilità Geologica e delle azioni di piano



CLASSE DI FATTIBILITA' 2
(Comprendente aree con modeste limitazioni alla destinazione d'uso dei terreni) **2**

In questa classe ricadono le aree nelle quali sono state rilevate puntuali o ridotte condizioni limitative alla destinazione d'uso dei terreni, per superare le quali si rende necessario realizzare approfondimenti di carattere geologico - tecnico o idrogeologico, finalizzati alla realizzazione di eventuali opere di bonifica.
Per l'uso di tali aree, si dovrà tenere in particolare considerazione quanto contenuto nel D.M. 11/03/1988 e relative norme tecniche di attuazione (norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione).

CLASSE DI FATTIBILITA' 3
(Comprendente aree con consistenti limitazioni alla destinazione d'uso dei terreni) **3**

In questa classe ricadono le aree con consistenti limitazioni alla destinazione d'uso dei terreni.
L'utilizzo di tali aree sarà pertanto subordinato alla realizzazione di supplementi di indagine per acquisire maggiore conoscenza geologico - tecnica e/o idrogeologica dell'area e del suo intorno.
Tali indagini dovranno valutare l'entità dell'intervento sostenibile nonché le opere di bonifica e di difesa.
Per l'utilizzo di tali aree oltre a quanto appena riportato, si dovrà fare riferimento al D.M. 11/03/1988 e relative norme tecniche.
Le sottoclassi relative alla classe 3 sono riportate nello schema a fianco.

SOTTOCLASSI

	Descrizione	Articolo norme tecniche
3 Cn	Comprende aree di conolite non recentemente rivasate	Art. 3.1
3 Em	Comprende le aree esondabili con fenomeni di pericolosità media o moderata	Art. 3.2

CLASSE DI FATTIBILITA' 4
(Comprendente aree con gravi limitazioni alla destinazione d'uso dei terreni) **4**

In questa classe ricadono le aree in cui l'alto rischio comporta gravi limitazioni alla destinazione d'uso dei terreni. Dovrà essere esclusa qualsiasi nuova edificazione se non tenuta al consolidamento o alla sistemazione idrogeologica dei siti. Per gli edifici esistenti sono ammessi interventi così come definito dall'art. 31, lettera a,b,c, della L. 457/1978.
Norme specifiche d'uso del suolo sono riportate per ogni sottoclasse nelle norme tecniche.
Le sottoclassi relative alla classe 4 sono riportate nello schema sottostante.

VALUTAZIONE ASPETTI SISMICI LOCALI

	I° LIVELLO	II° LIVELLO	III° LIVELLO
	PSL	Valutazione Fa	Analisi
Z1			Approfondimenti con analisi degli effetti di instabilità
Z3		Cortenedolo: vedi paragrafo 5.2 allegato alla relazione illustrativa	Approfondimenti con analisi degli effetti di amplificazione morfologica
Z4		<Fa (R.L.) >Fa (R.L.)	Approfondimenti con analisi degli effetti di amplificazione litologica
SVILUPPO	Intero territorio comunale	Ambito urbanizzato di Edolo e Cortenedolo	Analisi da eseguire in fase progettuale
REDATTO	COGEO snc	Geo.Te.C.	

TIPOLOGIA DI FENOMENO E/O PROBLEMATICHE GEOLOGICHE	
a	Fenomeni di esondazione dei corsi d'acqua con prevalente portata liquida
ac	Fenomeni di esondazione su conolite con portata liquida prevalente
v	Problematiche connesse alla reale o potenziale instabilità dei versanti in terreno e crolli in roccia
g	Problematiche geotecniche ed idrogeologiche: terreni scadenti, insufficiente regimazione delle acque superficiali e fenomeni di ristagno idrico
rm	Delimitazione del reticolo idrico minore

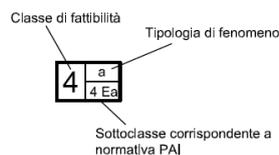
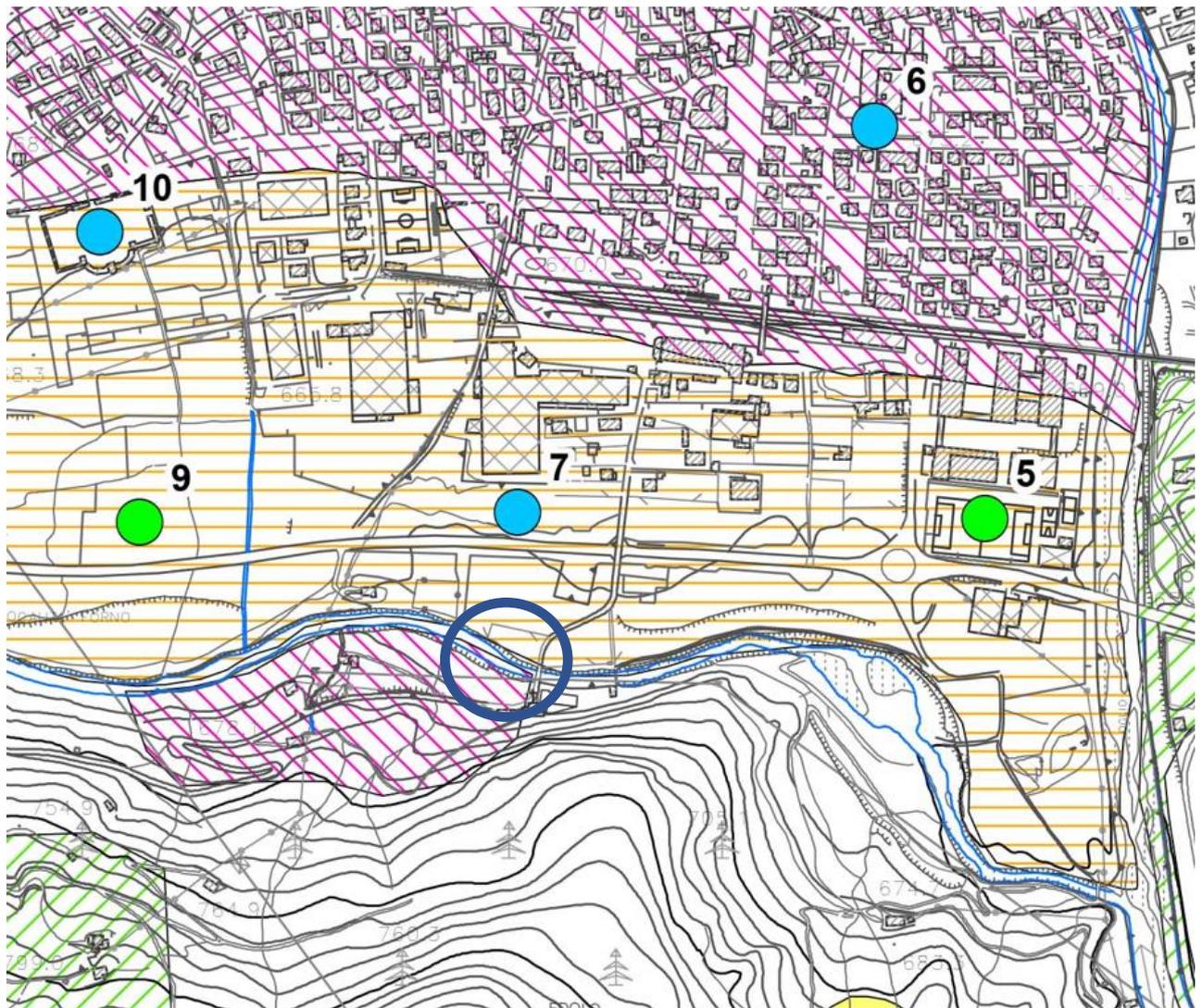


Figura 13: Stralcio Carta della Pericolosità Sismica Locale



CLASSI SISMICHE

EFFETTI

	Z1a	Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi	INSTABILITA'
	Z1b	Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti	
	Z1c	Zona potenziale franosa o esposta a rischio di frana	

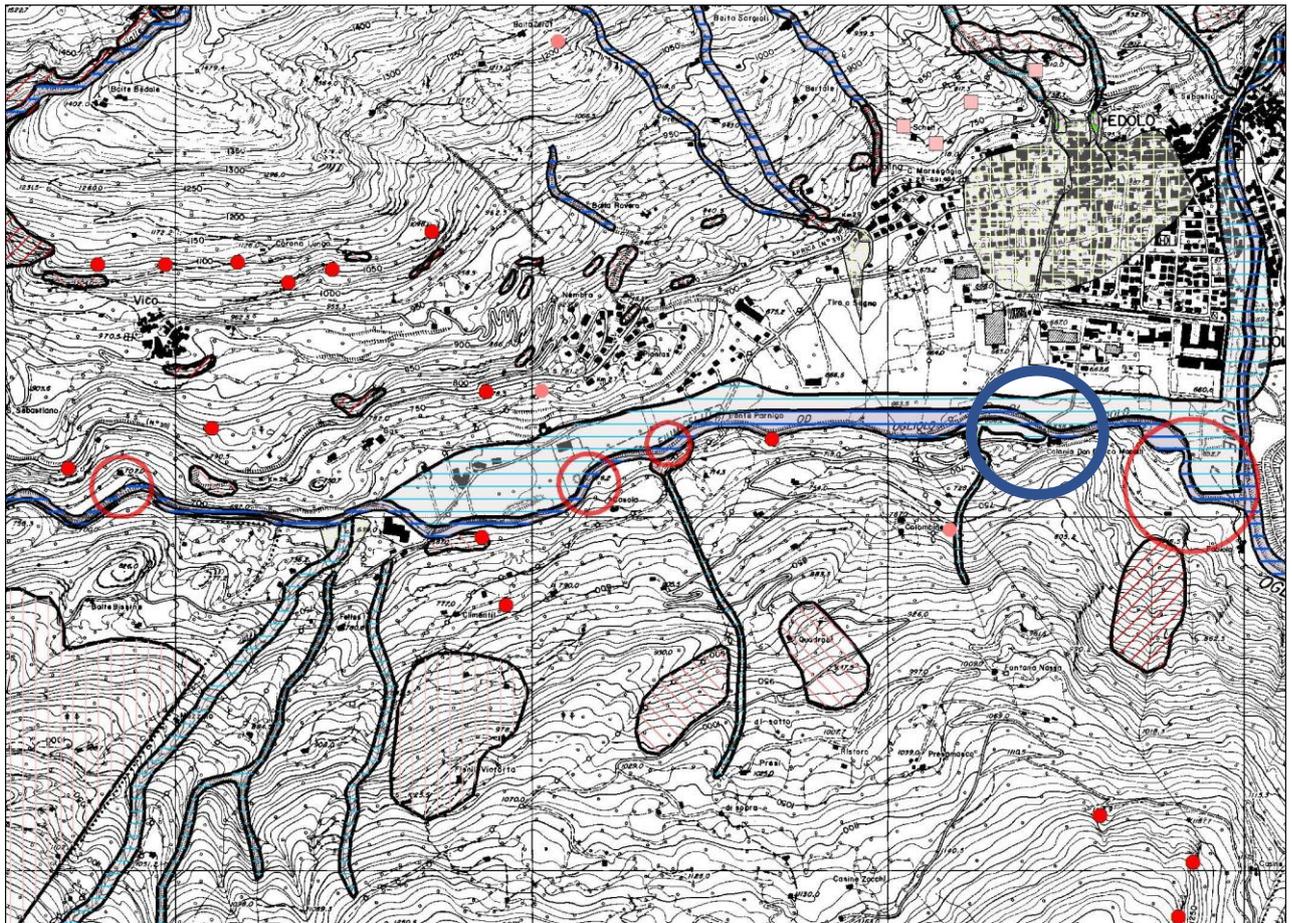
	Z3a	Zona di ciglio H>10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale)	AMPLIFICAZIONI TOPOGRAFICHE
	Z3b	Zona di cresta rocciosa e/o cocuzzolo: appuntite - arrotondate	

	Z4a	Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi	AMPLIFICAZIONI LITOLOGICHE E GEOMETRICHE
	Z4b	Zona pedemontana di falda di detrito conoide alluvionale e conoide deltilio lacustre	
	Z4c	Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (compresi le coltri loessiche)	
	Z4d	Zona con presenza di argille residuali e terre rosse di origine eluvio-colluviale	

INDAGINI

- MASW
- REMI
- SISMICA A RIFRAZIONE

Figura 14: Stralcio Carta PAI/PGRA



Dissesti puntiformi Art 9 Titolo IV

- Area di frana attiva non perimetrata (Fa)
- Area di frana quiescente non perimetrata (Fq)
- Area di frana stabilizzata non perimetrata (Fs)

Dissesti lineari Art 9 Titolo IV

- Area a pericolosità media o moderata non perimetrata (Vm)
- Area a pericolosità elevata non perimetrata (Eb)
- Area a pericolosità media o moderata non perimetrata (Em)
- Area a pericolosità molto elevata non perimetrata (Ee)
- Area a pericolosità molto elevata o elevata non perimetrata (Va)

Dissesti poligonali Art 9 Titolo IV

- Area a pericolosità elevata (Eb)
- Area a pericolosità media o moderata (Em)
- Area a pericolosità molto elevata (Ee)
- Area di conoide attivo non protetta (Ca)
- Area di conoide attivo parzialmente protetta (Cp)
- Area di conoide non recentemente attivatosi o completamente protetta (Cm)
- Area di frana attiva (Fa)
- Area di frana quiescente (Fq)
- Area di frana stabilizzata (Fs)

P.G.R.A. Ambito territoriale Reticolo Secondario collinare e Montano (RSCM)

- P3/H Area interessate da alluvioni frequenti
- P2/M Area interessate da alluvioni poco frequenti
- P1/L Area interessate da alluvioni rare

P.G.R.A. Ambito territoriale Reticolo Principale (RP)

- P3/H Area interessate da alluvioni frequenti
- P2/M Area interessate da alluvioni poco frequenti
- P1/L Area interessate da alluvioni rare

Aree RME Titolo IV

- CONOIDI: Zona 1
- CONOIDI: Zona 2
- ESONDAZIONI: Zona 1
- ESONDAZIONI: Zona 2
- ESONDAZIONI: Zona B-Pr
- ESONDAZIONI: Zona I
- FRANE: Zona 1
- FRANE: Zona 2

8.3 Report stendimento sismico MASW

8.3.1 Generalità

Il metodo MASW "Multichannel Analysis of Surface Waves" è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio VS, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori, geofoni posti sulla superficie del suolo.

Le onde di superficie sono due: quelle di Rayleigh e quelle di Love, sono dette superficiali perché la loro ampiezza decrementa in modo esponenziale con la profondità e la loro propagazione interessa quindi un limitato spessore di superficie, rispetto le onde di corpo la loro ampiezza è notevolmente maggiore e per questo motivo tipicamente dominano qualsiasi dataset sismico.

Le onde di Rayleigh si muovono su un piano radiale secondo un moto detto retrogrado, l'andamento del moto indica che queste onde hanno sia una componente verticale che una componente orizzontale radiale.

Le onde di Love si muovono solamente sul piano orizzontale con un'oscillazione la cui direzione è perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW utilizzato è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo e misurate da uno stendimento lineare di sensori. Il metodo attivo generalmente consente di ottenere uno spettro delle velocità di fase sperimentale, che fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa nei primi 30-50 m, in funzione della rigidità del suolo e delle caratteristiche della sorgente.

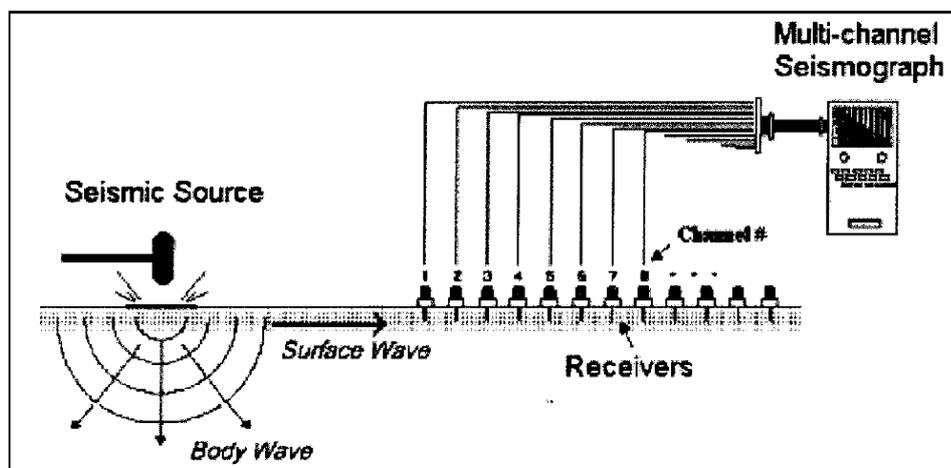


Figura 15: Schema stendimento sismico MASW

Le norme tecniche delle costruzioni 2018 introducono il concetto di V_s equivalente (V_{sE}):

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

in cui la profondità H è quella a cui la velocità V_s è pari o superiore a 800 m/s (bedrock sismico).

Si tratta in pratica di una variazione sul tema rispetto al parametro V_{s30} , in quel caso il valore di H era ed è fissato a 30 m. Di fatto se il bedrock sismico è più profondo di 30 m dal piano di fondazione la V_s equivalente è uguale alla V_{s30} .

8.3.2 **Acquisizione dati MASW**

Per quanto riguarda la MASW l'acquisizione di campagna è stata condotta con il sismografo Pasi 16S24-U, con geofoni verticali e orizzontali di 4,5 Hz spazati di 5 m con offset a 10 m, l'energizzazione è costituita da una mazza del peso di 10 Kg.

Per avere un'approfondita Analisi Multicanale delle Onde di Superficie (MASW), sono stati acquisiti 3 dataset differenti, tramite altrettante modalità di acquisizione:

- Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)
 - 24 geofoni verticali da 4,5 Hz
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio
- Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)
 - 24 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono parallelo allo stendimento
 - Energizzazione verticale su piastra quadrata in acciaio
- Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)
 - 24 geofoni orizzontali da 4,5 Hz con l'asse del geofono perpendicolare allo stendimento
 - Energizzazione orizzontale su traversina in legno

L'elaborazione L'elaborazione è stata eseguita tramite il software WinMASW Academy 2019, nell'analisi sono stati scelti i dataset migliori acquisiti scegliendo il più rappresentativo per le Onde di Rayleigh (ZVF o RVF), per le Onde di Love (THF). Una volta individuati sono stati determinati gli spettri di velocità per ogni dataset, a questo punto dopo svariate elaborazioni si è scelta l'analisi congiunta migliore tra le combinazioni (ZVF-THF), (RVF-THF). Scelta la combinazione per l'elaborazione da utilizzare è stata effettuata una modellazione congiunta, utilizzata come modello per lanciare l'inversione con l'utilizzo del fronte di Pareto per la validazione dell'interpretazione dei dati.

La combinazione utilizzata è stata (ZVF-THF).

8.3.3 MASW 1

Stendimento 65 metri Offset 10 metri Durata acquisizione 1024 ms Campionamento 1 ms

SPETTRI DI VELOCITÀ

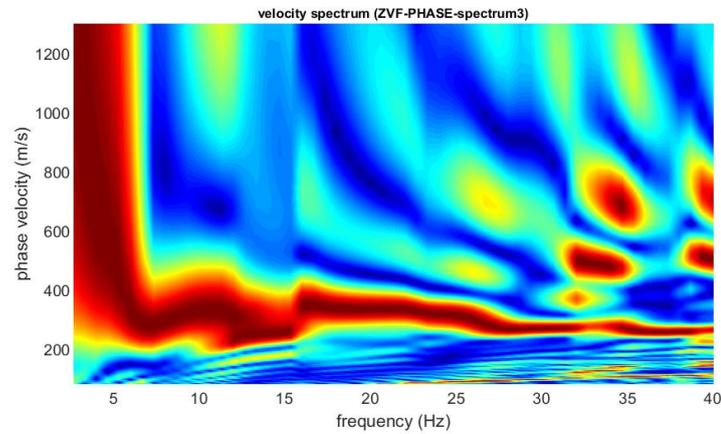


Figura 17: Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente verticale (ZVF)

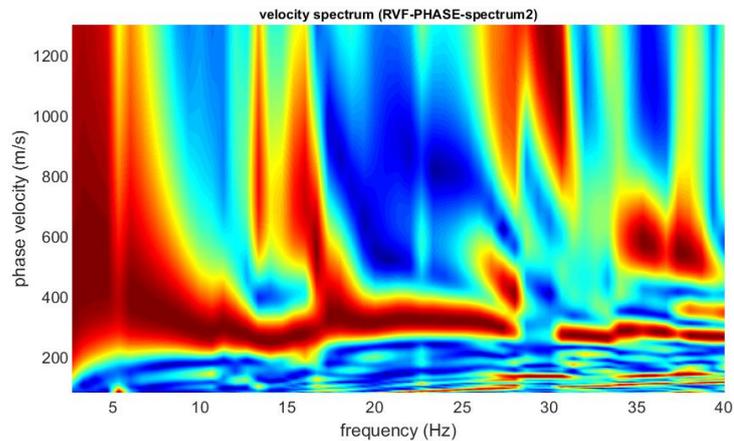


Figura 18: Spettro di velocità, Dataset Onde Rayleigh componente radiale (RVF)

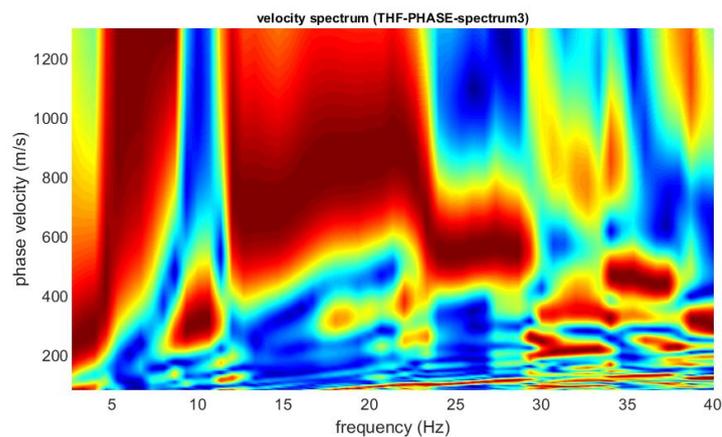


Figura 19: Spettro di velocità, Dataset Onde Love componente orizzontale (THF)

8.3.3.1 Analisi congiunta onde rayleigh e love

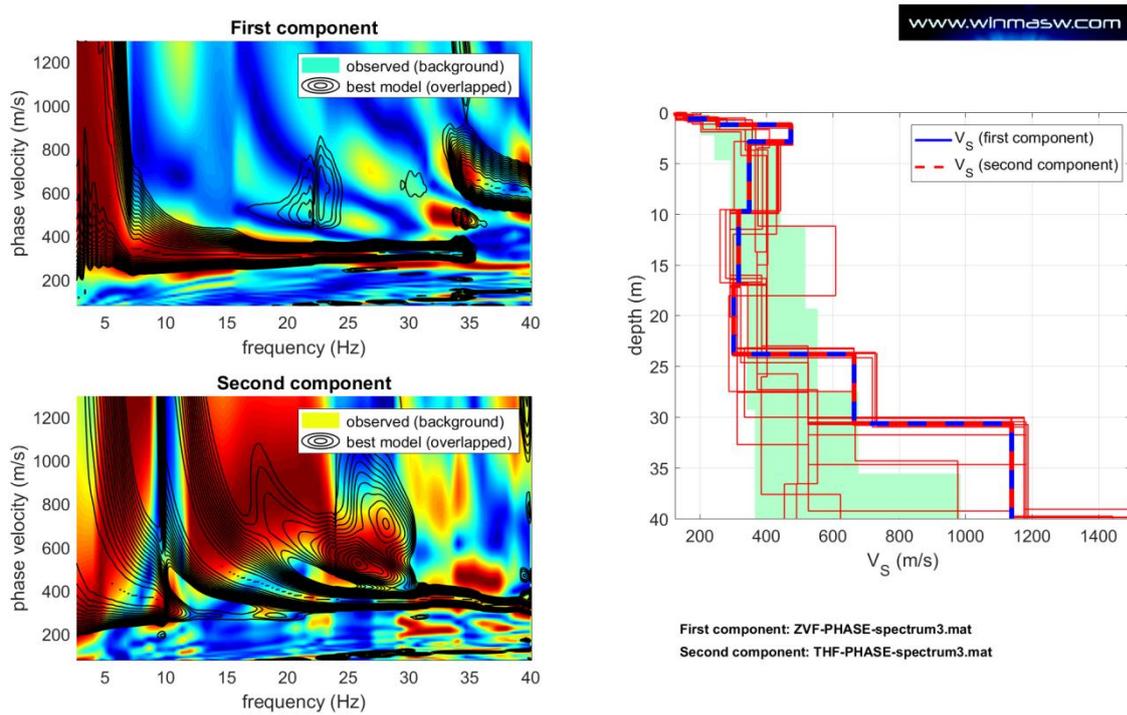


Figura 20: Inversione congiunta Full velocity spectral Rayleigh e Love

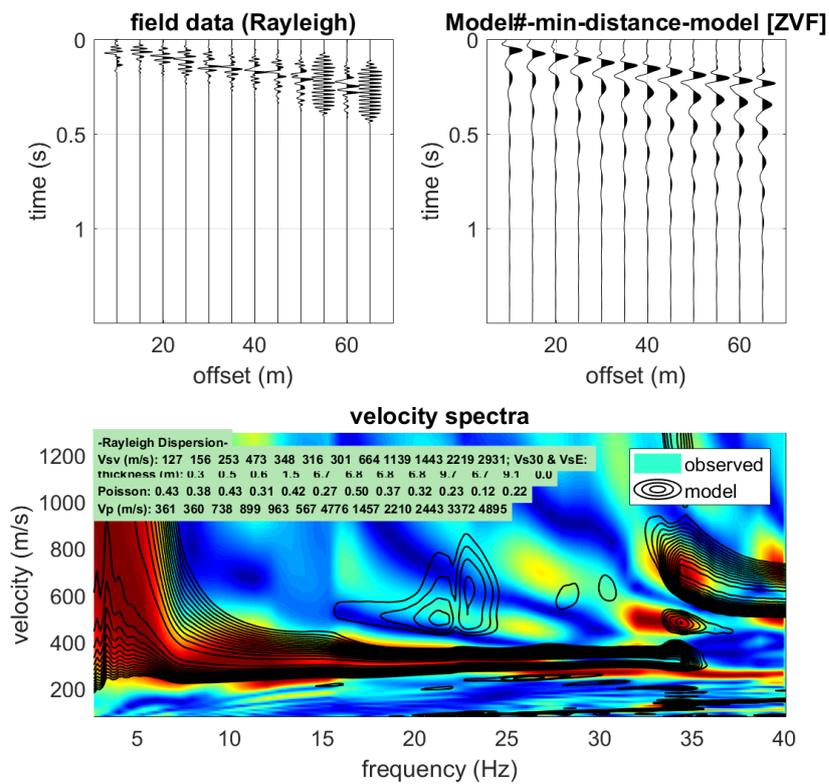


Figura 21: Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Rayleigh

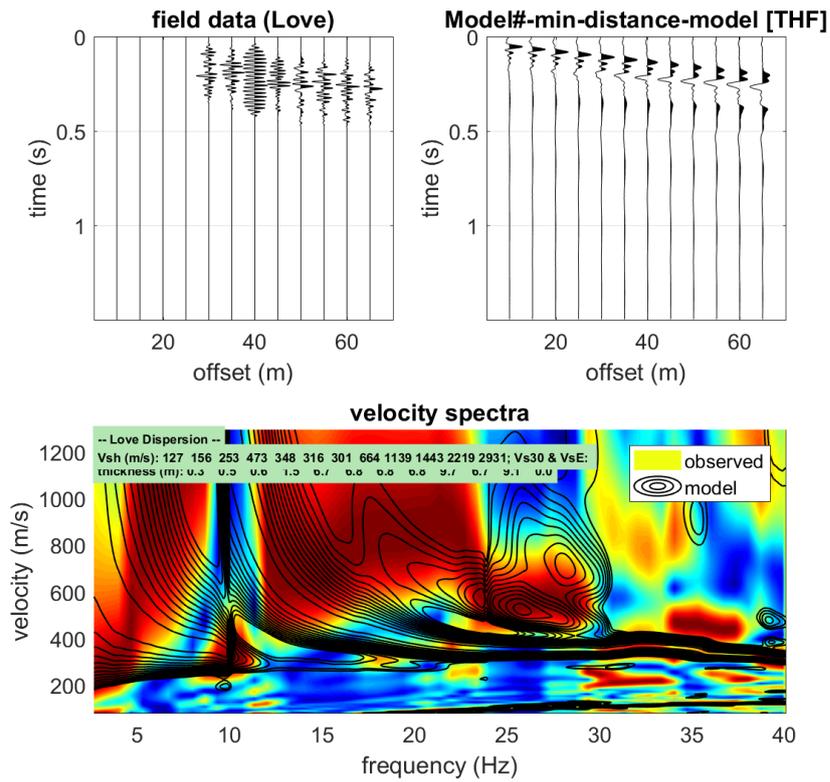


Figura 22: Modello distanza minima in full velocity spectral per le onde di Love

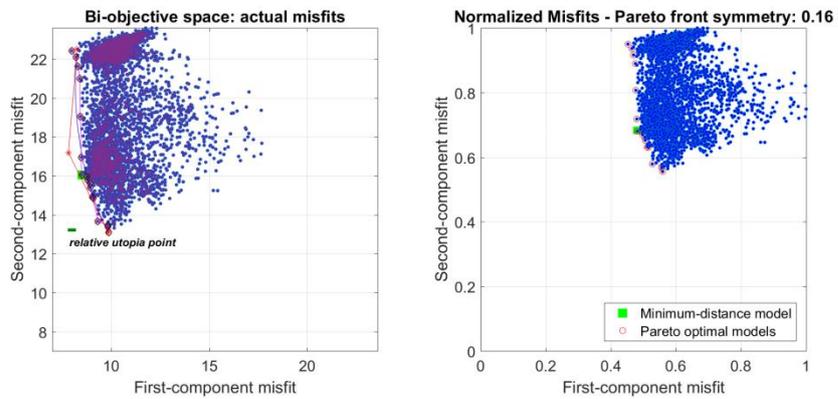


Figura 23: Diagramma distribuzione pareto ed errori attuale

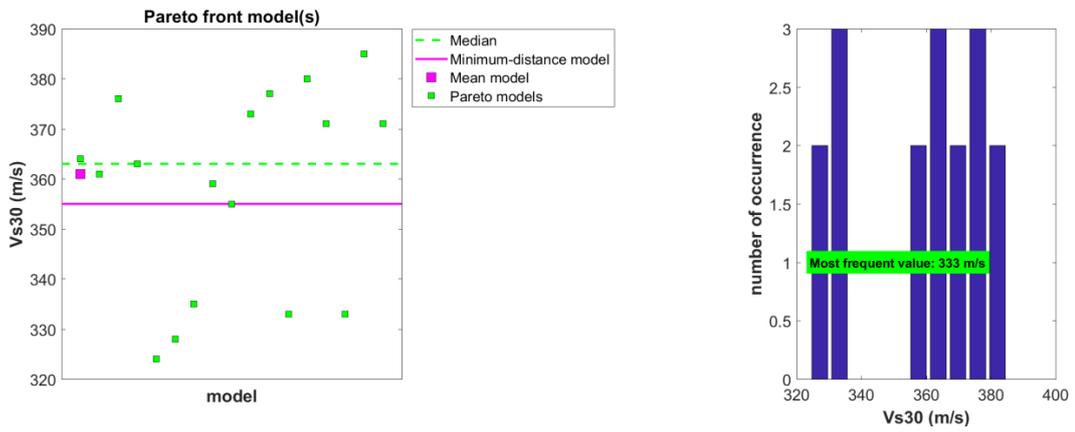


Figura 24: Correlazione Vs30 median, minimum-distance model, mean model, pareto models

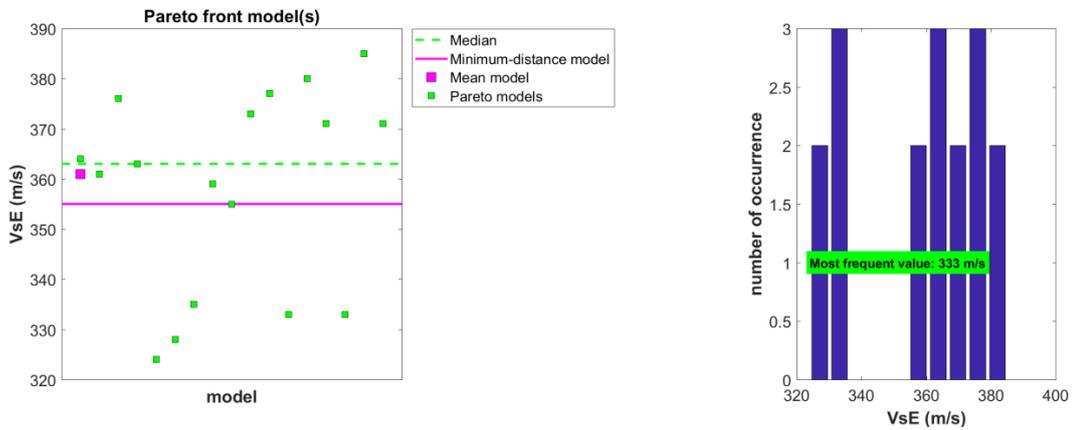


Figura 25: Correlazione VsE median, minimum-distance model, mean model, pareto models

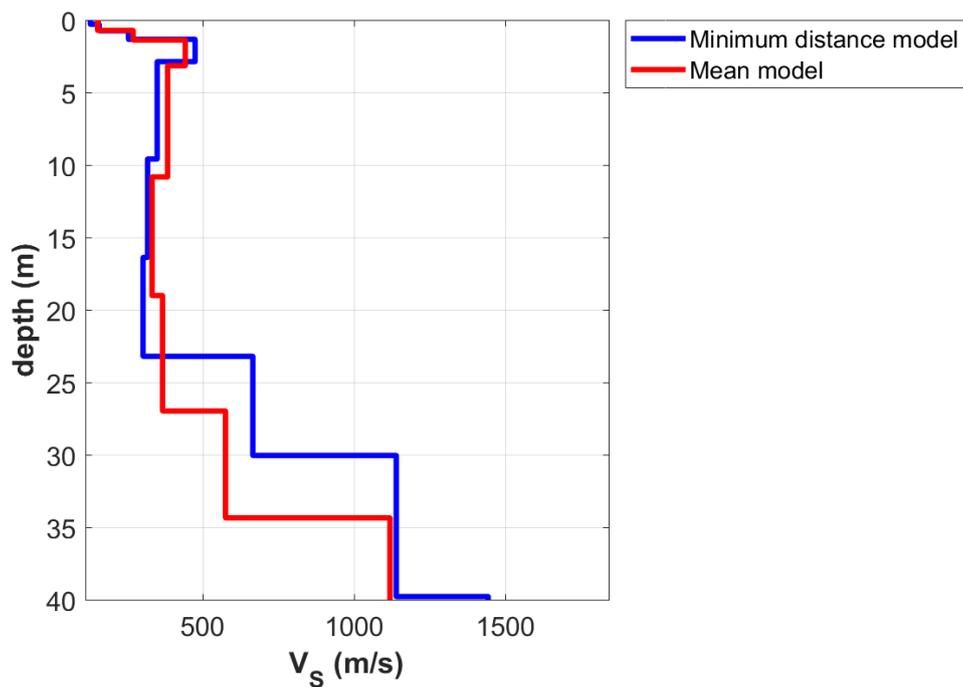


Figura 26: Profilo VS

Dati Mean Model

153	0.3	0.3
151	0.5	0.8
268	0.7	1.5
441	1.8	3.3
383	7.7	11.0
331	8.2	19.5
366	8.0	27.5
574	7.4	34.9
1118	9.9	44.8
1488	7.2	52.0
2036	8.9	60.9
2983		

Dati Minimum distance Model

127	0.3	0.3
156	0.5	0.8
253	0.6	1.4
473	1.5	2.9
348	6.7	9.6
316	6.8	16.4
301	6.8	23.2
664	6.8	30.0
1139	9.7	39.7
1443	6.7	46.4
2219	9.1	55.5
2931		

Figura 27: Dati modello medio e modello migliore

Minimum Vs30 (m/s): 324**Minimum VsE (m/s): 324****Maximum Vs30 (m/s): 385****Maximum VsE (m/s): 385****Minimum distance model:**

Vs (m/s): 127, 156, 253, 473, 348, 316, 301, 664, 1139, 1443, 2219, 2931

Vs30 (m/s): 355**VsE (m/s): 355**

Thickness (m): 0.3, 0.5, 0.6, 1.5, 6.7, 6.8, 6.8, 6.8, 9.7, 6.7, 9.1

Mean model:

Vs (m/s): 153, 151, 268, 441, 383, 331, 366, 574, 1118, 1488, 2036, 2983

Vs30 (m/s): 333**VsE (m/s): 333**

Thickness (m): 0.3, 0.5, 0.7, 1.8, 7.7, 8.2, 8.0, 7.4, 9.9, 7.2, 8.9

8.4 Analisi sismica di II livello

La verifica di secondo livello è stata effettuata considerando sia l'intervallo di periodo tra 0.1-0.5 s per strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide che l'intervallo di periodo tra 0.5-1.5 s per strutture alte e flessibili.

La prima verifica riguarda il fattore di amplificazione (Fa), in base al modello medio "mean" individuato con la MASW nel paragrafo precedente. Il periodo proprio del sito T, necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione, è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V_{s_i} \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)} = 0,35 \text{ s}$$

ove h_i e V_{s_i} sono lo spessore e la velocità dello strato i-esimo del modello.

Per trovare il fattore di amplificazione (Fa) è stata scelta la scheda litologia sabbiosa, in base alle condizioni geologiche locali, che si può vedere nell'immagine di fig. 24.

Nel calcolo per il periodo 0.1-0.5 è stata utilizzata la formula della curva 2 verde considerando i primi 4 sismostrati come un unico strato di 3,3 ~ 4 metri con una velocità media di circa 300 m/s. Per il periodo tra 0.5-1.5 è stata utilizzata l'unica formula disponibile.

Fa periodo 0.1-0.5 = 1,6 < 1.8 (soglia comunale C)

Fa periodo 0.5-1.5 = 1,55 < 2.4 (soglia comunale C)

In base al valore Fa e ai valori soglia comunali, la categoria di suolo C individuata nella MASW si ritiene verificata per entrambi i periodi.

Valori Soglia Comunali	Intervallo di periodo	Categoria di Suolo B	Categoria di Suolo C	Categoria di Suolo D	Categoria di Suolo E
Trepalle	0.1 – 0.5	1.5	1.8	2.3	2.1
Trepalle	0.5 – 1.5	1.7	2.4	4.4	3.1

La velocità delle onde S equivalente è uguale a 333 m/s, è corrispondente alla **categoria di suolo C** sia per il periodo 0.5-1.5, che per il periodo 0.1-0.5, avendo valutato in entrambi i casi le amplificazioni litologiche di sito e il fattore di amplificazione.

Dal Decreto 17 gennaio 2018 in aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni e pubblicato sul Supplemento ordinario n° 8 alla Gazzetta Ufficiale del 20/02/2018, le nuove categorie di sottosuolo sono:

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

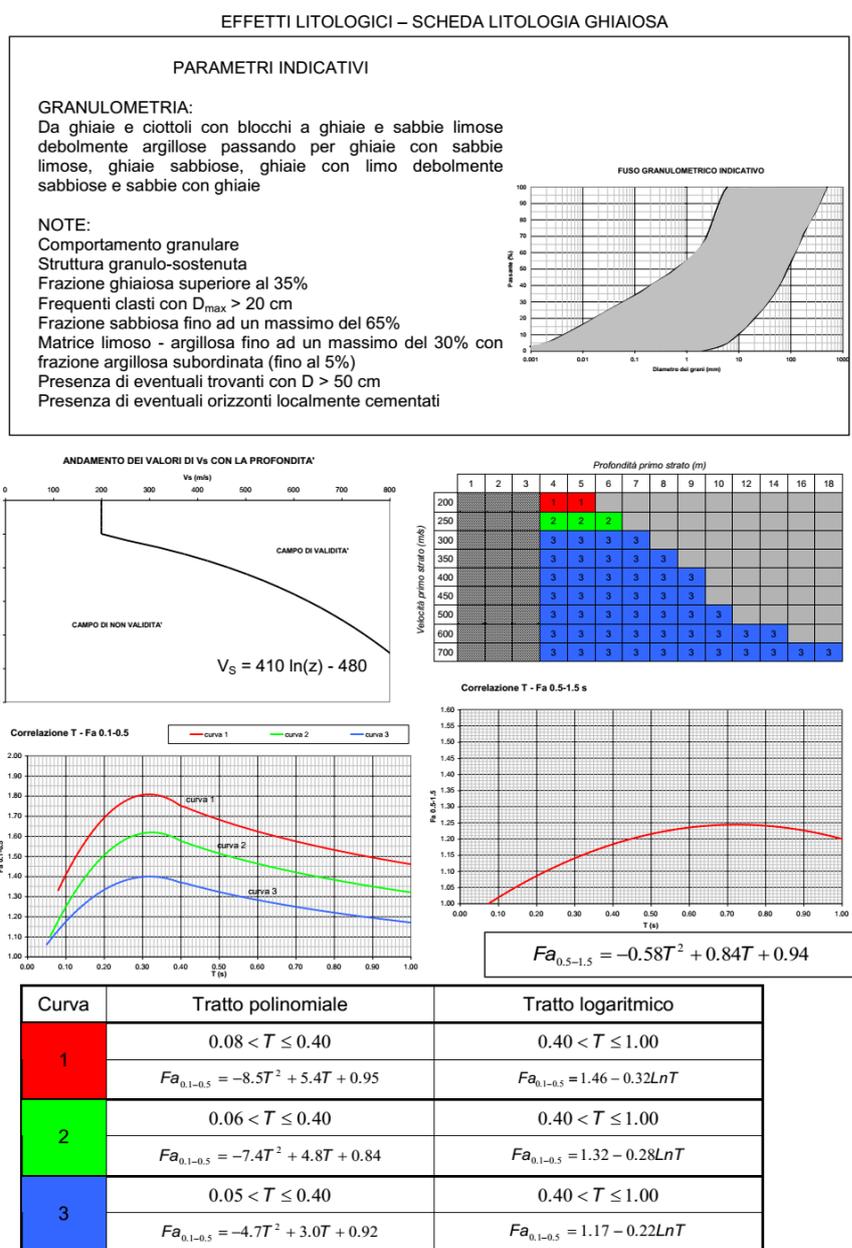


Figura 28: Scheda litologia sabbiosa ghiaiosa