

Ambito: PNRR

Misura: M4C1I3.3

**STUDIO DINAMO S.r.l. - Società di Ingegneria**

Via Albero n°3, 25047 Darfo B.T. (BS)  
c.f./P.iva: 03690490986 - n°REA: BS-554731  
tel/fax: 0364529662 - mail: info@studiodinamo.it  
sito internet: www.studiodinamo.it

**ALLEGATO****Q****DATA:**

Luglio 2023

**AGGIORN.:****COMUNE:**

Darfo B.T.

**PROVINCIA:**

Brescia

**DISEGNATORE:**

Ing. Diego Macario

**PROT. CAD:****PROGETTISTA:****IMPRESA ESECUTRICE:****COMMITTENTI:**

**COMUNE DI DARFO B.T.,**  
Piazza Col Lorenzini, 4 - Darfo Boario Terme (BS)

**PROGETTO:**

PROGETTO ESECUTIVO LAVORI DI ADEGUAMENTO SISMICO SCUOLA PRIMARIA DI  
MONTECCHIO - CUP: J83H19000410005 – CIG: ZCC2C3BAF0

**O G G E T T O:** ALLEGATO "Q"

Relazione geologica

Regione Lombardia

Provincia di Brescia

Comune di Darfo Boario Terme

Relazione Geologica di supporto al progetto  
di fattibilità tecnico-economica definitivo di  
adeguamento sismico della scuola primaria  
di Montecchio  
cup: J83H19000410005

COMMITTENTE:

*Comune di Darfo Boario Terme*

PROGETTO n° 20/02

DATA: Agosto 2020

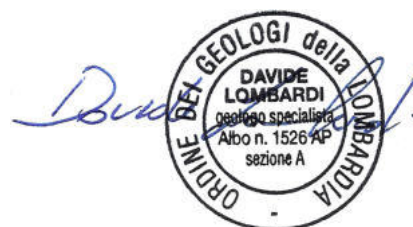
*Dott. Geologo  
Davide Lombardi*

Via Dera n° 14  
25053 Malegno (BS)  
C.F: LMB DVD 76D 13B 149S  
P.IVA n°: 02 853 780 985

cell. 328 59 34 390  
e-mail: [davidelombardi@libero.it](mailto:davidelombardi@libero.it)

PEC: [geol.davidelombardi@epap.sicurezzapostale.it](mailto:geol.davidelombardi@epap.sicurezzapostale.it)

Geol. Davide Lombardi



# INDICE

## RELAZIONE GEOLOGICA

<b>PREMESSA .....</b>	<b>1</b>
<b>1.0 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....</b>	<b>3</b>
1.1 Inquadramento area di studio.....	3
<b>2.0 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO. ....</b>	<b>5</b>
2.1 Caratteri geomorfologici e ambientali generali .....	5
2.2 Caratteristiche geomorfologiche area di studio .....	5
2.3 Verifica aree a rischio frana .....	6
<b>3.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE .....</b>	<b>6</b>
3.1 Caratteristiche geologiche del substrato roccioso .....	6
3.2 Caratteristiche geologiche della copertura superficiale.....	10
3.3 Caratteristiche geologiche area di studio .....	13
<b>4.0 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>14</b>
4.1 Caratteristiche idrografiche superficiali.....	14
4.2 Caratteristiche idrogeologiche .....	14
<b>5.0 VINCOLI .....</b>	<b>14</b>

## INDAGINE SISMICA E INDIVIDUAZIONE MODULO GEOLOGICO TECNICO DEL TERRENO

<b>6.0 INDAGINE SISMICA. ....</b>	<b>20</b>
6.1 Metodologia d'indagine MASW .....	21
6.2 Strumentazione utilizzata. ....	21
6.3 Elaborazione.....	22
<b>7.0 CLASSIFICAZIONE SISMICA.....</b>	<b>25</b>
7.1 Classificazione secondo le NTC 2018 (D.M. 17/01/88).....	25
7.1.0 Premessa.....	25
7.1.1 Azione sismica.....	26
7.2 Calcolo delle $V_{seq}$ .....	26
7.3 Categorie di sottosuolo.....	27
7.4 Condizioni topografiche .....	28
7.5 Spettro di risposta elastico -NTC 2018.....	28
7.6 Analisi sismica di 3° livello ai sensi della D.g.r. 9/2616/2011 .....	31
7.7 Simulazioni numeriche di RSL.....	31
7.7 Analisi del potenziale di liquefazione dei terreni.....	36
<b>8.0 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI.....</b>	<b>38</b>
8.1 Descrizione indagini – Sondaggio a carotaggio e con SPT. ....	38
8.2 Descrizione indagini – Prove penetrometriche dinamiche. ....	40
8.2 Descrizione del modello geotecnico .....	42
<b>9.0 CONCLUSIONI .....</b>	<b>43</b>

## PREMESSA

Su incarico del Comune di Darfo Boario Terme è stata redatta la seguente relazione geologica con parametrizzazione geotecnica dei terreni come richiesto dalle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 a supporto del progetto di fattibilità tecnico economica definitivo di adeguamento sismico della scuola primaria di Montecchio.

Per la definizione delle caratteristiche geologico-tecniche e delle condizioni geologico-morfologiche dell'area in studio si è provveduto a eseguire:

- un sopralluogo nell'area in esame,
- consultazione dello studio geologico a supporto del PGT del Comune di Darfo Boario Terme (L.R. n° 12/2005), depositato presso l'Ufficio Tecnico Comunale e scaricabile dal sito on line regionale.
- analisi dell'interferenza delle opere con la situazione geologica, geomorfologica, idrogeologica, sismica e geotecnica;
- individuazione delle caratteristiche dei terreni mediante l'esecuzione di uno stendimento sismico di tipo MASW, la realizzazione di n° 1 prova penetrometrica dinamica e l'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo da 10 m con prove SPT in foro.

L'area entro cui ricade l'intervento è compresa nella perimetrazione dello Studio Geologico redatto a supporto del PGT come "**classe di fattibilità 2h,t**".

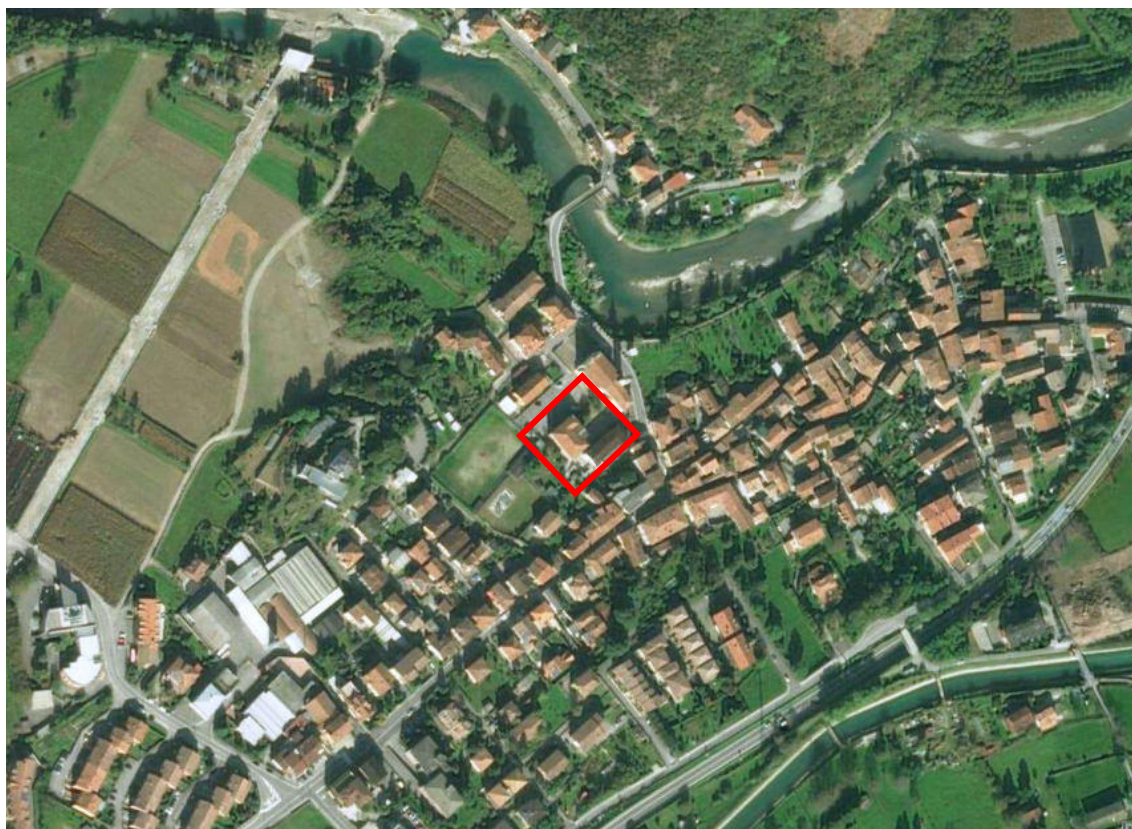
*Le normative di riferimento sono le seguenti:*

- D.g.r. 30/03/2016 n° x/5001 Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica;
- Legge Regionale n°33/2015 disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche;
- DM 14/01/08: "Testo Unico – Norme Tecniche per le Costruzioni";
- Consiglio superiore dei Lavori Pubblici: "Istruzioni per l'applicazione delle NTC di cui al D.M. 14/01/08" Circolare 02/02/09;
- Consiglio superiore dei Lavori Pubblici: "Pericolosità Sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale" All. al voto n° 36 del 27/07/2007;
- Eurocodice 8 del 1998: "indicazioni progettuali per la resistenza fisica delle strutture. Parte 5: fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici (stesura finale 2003);
- Eurocodice 7.1: "Progettazione geotecnica" – Parte I: Regole Generali – UNI;
- Eurocodice 7.2: "Progettazione Geotecnica" – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002) - UNI;



- Eurocodice 7.3: "Progettazione geotecnica" – Parte II: Progettazione assistita da prove in sito (2002) – UNI;
- Leggi regionali in materia di pianificazione e di vincolo idrogeologico;
- Piani territoriali di coordinamento (Province);
- Piano strutturale e regolamento urbanistico

*La presente relazione è da intendersi quale svincolo alla fattibilità dell'intervento*



**Figura 1:** stralcio foto aerea area di studio e stralcio di dettaglio carta Fattibilità

## **1.0 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

Il comune id Darfo Boario Terme si colloca nella bassa Valle Camonica all'altezza della confluenza del Torrente Dezzo con il Fiume Oglio sviluppandosi sia sul versante destro che sinistro della valle. Il territorio comunale ha una superficie di 37,43 km<sup>2</sup> e si compone di varie frazioni: Darfo, Boario, Gorzone, Montecchio, Erbanno, Angone, Corna, Pellalepre e Bessimo superiore.

Il comune di Darfo Boario Terme confina con i Comuni di Piancogno e Esine a Est, a Sud con il Comune id Gianico, ad Ovest con i comuni di Rogno (BG) e di Angolo , mentre a Nord confina con il Comune di Borno.

Il territorio è compreso nelle sezioni D4b2, D4b3, D4b4, D4c2, D4c3 e D4c4 della Cartografia Tecnica Regionale alla scala 1:10.000

### **1.1 Inquadramento area di studio**

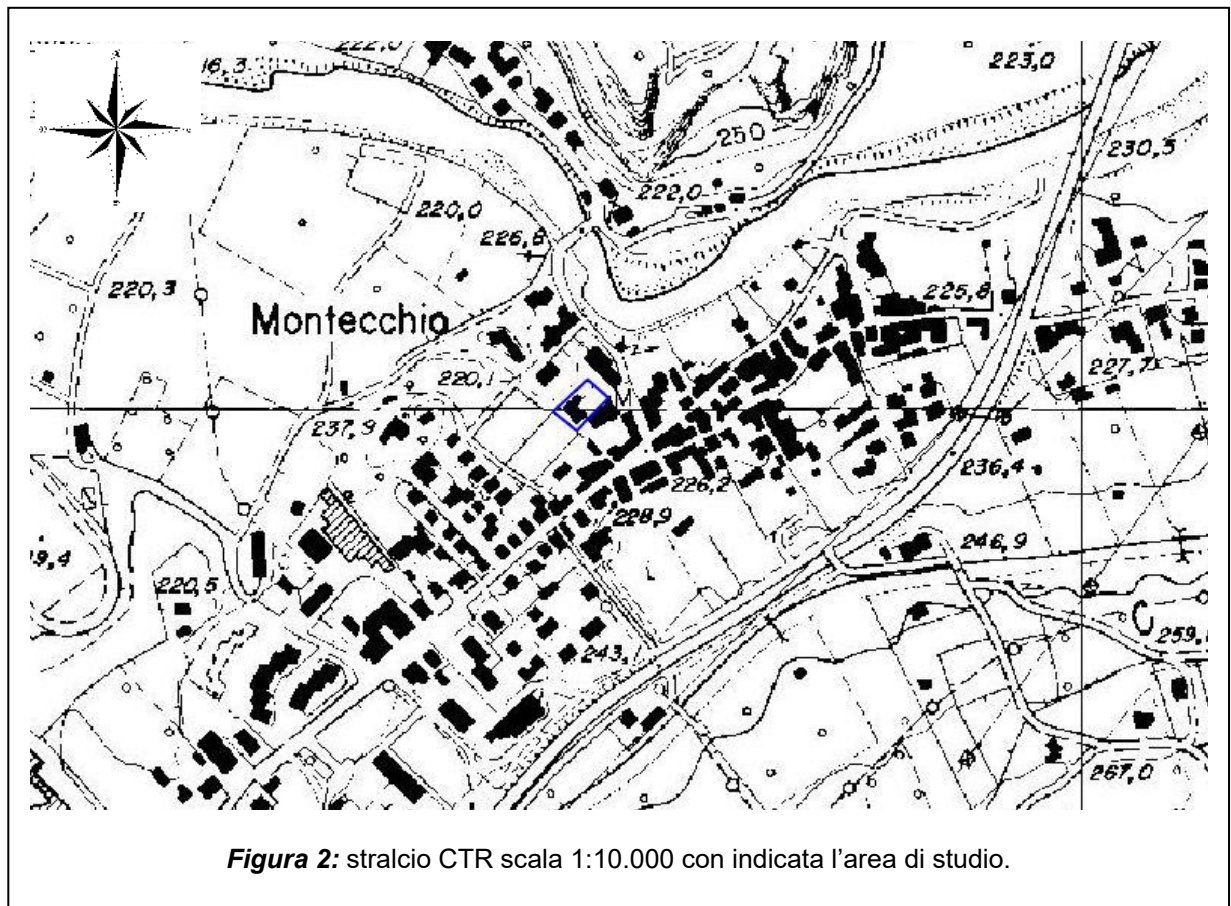
L'area presa in esame, riportata nella sezione D4b3 Della CTR regionale alla scala 1:10.000, è situata in Frazione di Montecchio , ad una quota di 226 m s.l.m., in sinistra idrografica del Fiume Oglio, il quale scorre a circa 50 m dall'area

Le coordinate dell'area e la quota sono di seguito riportate

**X: 1. 592.560**

**Y: 5.082.000**

**Quota 226 m s.l.m.**



## **2.0 INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO.**

### **2.1 Caratteri geomorfologici e ambientali generali**

Il territorio del comune di Darfo Boario si trova nella bassa Val Camonica comprendendone un tratto del fondovalle e di entrambi i versanti.

Morfologicamente il territorio comunale può essere distinto in cinque settori principali:

- la piana di fondovalle del fiume Oglio;
- il settore delle falde di detrito e dei conoidi alluvionali di raccordo tra i versanti e la piana di fondovalle;
- il tratto di versante destro della Val Camonica, compreso un tratto del versante sinistro della valle di S. Giovanni ed un tratto del versante destro del torrente Trobiolo;
- il versante sinistro della Val Camonica;
- il versante destro della valle del torrente Re di Gianico.

Le aree investigate sono comprese nel settore di piana di fondovalle e in parte nel settore dei conoidi falde di detrito.

### **2.2 Caratteristiche geomorfologiche area di studio**

L'assetto morfologico attuale della piana alluvionale che occupa il fondovalle della Valle Camonica, dove si colloca l'area di studio, è il risultato dell'azione, principalmente di deposito, del fiume Oglio e dell'interazione con i conoidi alluvionali dei corsi d'acqua laterali.

La presenza di una leggera scarpata di erosione in sinistra idrografica, che taglia localmente il settore distale dei conoidi alluvionali e gli stessi depositi alluvionali dell'Oglio, indica che la piana attuale è impostata su una quota di fondovalle inferiore rispetto ad una piana più antica, probabilmente legata alla dinamica immediatamente successiva al ritiro del ghiacciaio würmiano, alla quale si raccordavano le forme più esterne di alcuni conoidi alluvionali.

Nel tratto tra Boario e Angone la piana di fondovalle è suddivisa in due settori in senso longitudinale dalla presenza dei rilievi rocciosi del Monticolo, del Castelletto e del Castello di Montecchio legati ad una soglia rocciosa che ha condizionato l'assetto idrogeologico e le stesse modalità di sedimentazione.

L'alveo del fiume Oglio si sviluppa nel settore di piana situato tra i rilievi ed il versante sinistro della valle, che è stato pertanto caratterizzato da una sedimentazione alluvionale principalmente di canale e quindi a granulometria relativamente grossolana



### **2.3 Verifica aree a rischio frana**

L'area di studio non presenta fenomeni franosi attivi ed anche dalla cartografia non risulta essere soggetta a rischio di frana. **(vedi stralcio Carta Dissesto)**

## **3.0 INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE**

Il territorio del comune di Darfo si trova sul fianco settentrionale, in prossimità della cerniera, di una struttura tettonica nota come anticlinale camuna, una piega disposta con piano assiale verticale orientato all'incirca SONE, trasversale all'asse della Val Camonica, al nucleo della quale affiorano le rocce del basamento cristallino sud-alpino rappresentate dalla formazione dei Micascisti del Maniva. Sul basamento cristallino, disposte con immersione rivolta verso NO si trovano le rocce della copertura sedimentaria sud-alpina dal permiano al triassico.

Le unità Permiane sono di origine principalmente continentale, conglomerati e arenarie alluvionali, o vulcanica, con prodotti ignimbrici e corpi subvulcanici, mentre le unità triassiche sono di origine marina e di composizione principalmente carbonatica. In ragione della disposizione le unità permiane affiorano sul versante sinistro ed alla base del versante destro della valle mentre le unità triassiche si trovano principalmente sul versante destro. La serie stratigrafica è scomposta da faglie disposte principalmente verticali e con direzione ONO-ESE o NO-SE che tendono a ribassare la serie da SO verso NE, come la faglia nota in letteratura come faglia Gorzone-Boario, e la faglia che delimita il lato nord-est del rilievo del Monticolo.

### **3.1 Caratteristiche geologiche del substrato roccioso**

Di seguito viene riportata una dettagliata descrizione delle caratteristiche delle Formazioni riportate nella carta geologica

**Micascisti del Maniva.** La formazione dei Micascisti del Maniva appartiene al basamento cristallino sud-alpino ed è rappresentata da micascisti muscovitici con biotite e subordinata clorite. La scistosità è ben evidente, da planare ad ondulata, a volte pieghettata, determinata dall'alternanza di sottili letti quarzoso-feldspatici e di letti micacei. Queste rocce derivano da antichi depositi marini di composizione pelitica successivamente metamorfosati in facies scisti verdi durante gli eventi orogenici; il metamorfismo è probabilmente di età ercinica e le rocce sedimentarie originarie sarebbero almeno anteriori al Carbonifero. Localmente, soprattutto nel settore intermedio del versante destro della Valle del torrente Re di Gianico, si trovano dei paragneiss biotitici e biotitico-cloritici o a due miche. In corrispondenza di linee di faglia sono stati riscontrati livelli cataclasati, in genere con mica e talco oppure grafite, e livelli di miloniti siltoso-argillose grigie e plastiche. Spesso lungo il

versante della valle del Re di Gianico le rocce del basamento sono interessate da fenomeni di deformazione gravitativa profonda e gli ammassi sono molto fratturati o completamente sconnessi. Si tratta di rocce nel complesso impermeabili salvo nei settori dove sono molto fratturate. (Pre-Carbonifero)

**Conglomerato basale.** Il conglomerato basale è formato da conglomerati e arenarie di colore rosso-bruno. Il conglomerato è grossolano con abbondanti elementi di rocce metamorfiche rappresentati da ciottoli di scisti e quarzo. La stratificazione è indistinta o a grossi banchi mal definiti e lenticolari. Sono presenti anche livelli di arenarie e arenarie fini passanti a siltiti, tutte di colore rosso scuro. L'unità ha nel complesso uno spessore ridotto, dell'ordine di 10-20 m. In corrispondenza degli affioramenti è in genere piuttosto fratturata. Presenta nel complesso una permeabilità scarsa. (Verosimilmente del Carbonifero superiore)

**Formazione di Collio: Porfidi inferiori.** Nell'area in esame la Formazione di Collio è rappresentata da tufi, da vetrosi a cristallini, di vario colore, e ignimbriti riolitiche rosso-violacee prive di stratificazione o organizzate in banchi poco definiti. Queste presentano colorazioni variabili dal rosso-violaceo al grigio, con struttura porfirica manifesta, molto compatta, caratterizzata da fenocristalli di quarzo, feldspato potassico e, subordinatamente, da biotite. Contengono frammenti litici, tra cui si notano pomici in lembi generalmente appiattiti di colore grigiastro o verde, inclusi porfiritici di colore dal rosso al verde e, più raramente, elementi subangolosi di quarzo provenienti dal Basamento Cristallino. Frequenti le sferuliti quarzoso-feldspatiche, talvolta di colore rossastro e di notevoli dimensioni, che spiccano nella massa di fondo a nitida struttura cineritica. Nell'area in esame lo spessore della formazione è dell'ordine di 100-150 m. Sono rocce caratterizzate da una permeabilità scarsa. (Permiano inferiore).

**Conglomerato del Dosso dei Galli e membro della Pietra Simona.** Il Conglomerato del Dosso dei Galli è rappresentato da conglomerati grossolani di colore rosso scuro in strati spessi o in banchi di forma in genere lenticolare a clasti di rocce vulcaniche e di rocce metamorfiche con cemento di quarzo e matrice sericitica associati ad arenarie, arenarie fini e siltiti anch'esse di colore rosso scuro ed organizzate in strati da medi a sottili. Nella parte superiore diventano prevalenti i livelli di siltiti micacee di colore rosso cupo, caratterizzati dalla presenza di strutture tubolari (bioturbazioni), che costituiscono il membro della Pietra Simona la cui sezione tipo si trova in località Luine-Simoni a Boario. La stratificazione è generalmente indistinta o a grossi banchi. Complessivamente lo spessore è dell'ordine di 250 m. Sono rocce caratterizzate nel complesso da una permeabilità scarsa. (Permiano inferiore).

**Vulcaniti di Auccia.** Questa formazione è costituita da rioliti ignimbritiche rappresentate in prevalenza da porfidi quarziferi di colore rosso-viola, subordinatamente verdi, con evidenti fenocristalli di oligoclasio, quarzo e biotite. La stratificazione è indistinta o a grossi banchi. Spessore dell'ordine di 50-70 m. Queste rocce sono spesso da mediamente a molto fratturate e caratterizzata da una permeabilità nel complesso scarsa. (Permiano inferiore).

**Verrucano Lombardo.** La formazione del Verrucano Lombardo è costituita da un'alternanza di arenarie quarzoso-feldspatiche, di colore rosso, e di conglomerati medio-grossolani a cemento siliceo, con clasti di origine vulcanica e subordinatamente metamorfica. Localmente compaiono intercalazioni di siltiti micacee di colore rosso più intenso. I litotipi sono disposti in grossi banchi, a volte poco distinti, generalmente di forma lenticolare, spesso gradati, con superfici tasche di erosione, laminazioni incrociate a piccola e grande scala. Le strutture sedimentarie presenti entro le rocce che costituiscono il Verrucano Lombardo permettono di interpretare la formazione come un deposito continentale legato ad un ambiente alluvionale. L'unità ha uno spessore di almeno 300 m e gli ammassi rocciosi sono in genere poco fratturati, con un notevole risalto morfologico. Permeabilità nel complesso scarsa. (Permiano superiore).

**Servino.** L'unità è costituita soprattutto da siltiti di colore rosso o verde in strati sottili o fittamente laminate, talora risaldate in banchi, alle quali si accompagnano calcari marnosi e marne calcaree di colore grigio-giallastro disposte in strati sottili e, alla base della formazione, calcareniti di colore rosso e verde in strati medi. L'unità ha uno spessore dell'ordine del centinaio di m ed una permeabilità nel complesso scarsa. (Scitico inferiore).

**Porfiriti.** Porfiriti quarzifere biotitiche più o meno cloritiche, talora anfibolitiche di colore verde-rossiccio. Queste rocce sono associate essenzialmente al Verrucano Lombardo e al Servino, con giacitura sia discordante che concordante. Gli ammassi rocciosi sono in genere mediamente fratturati. Permeabilità scarsa. (Verosimilmente triassiche)

**Carniola di Bovegno.** La Carniola di Bovegno è rappresentata da dolomie cariate, carniole e brecce tettoniche, vacuolari e molto alterate, di colore giallastro ai quali si accompagnano dolomie di colore grigio nocciola o giallastro, in strati medio sottili e calcari dolomitici, talora gessosi, di colore grigio. Nei pozzi delle Terme di Boario sono state trovate anidriti e gessi. La Carniola ha rappresentato un orizzonte di relativa debolezza nel corso della storia tettonica dell'area e pertanto risulta in genere molto tettonizzata. L'unità ha in genere uno spessore dell'ordine del centinaio di m, ma in zona gli affioramenti sono solo molto piccoli. Permeabilità alta per i termini evaporitici, gesso e anidriti, media per carniole e dolomie cariate. (Scitico superiore).

**Calcare di Angolo.** I litotipi che costituiscono la litozona inferiore della formazione, posta a contatto con la Carniola, sono rappresentati da calcari, con subordinati calcari dolomitici, di colore grigio o grigio scuro, a stratificazione indistinta o in grossi banchi, localmente alternati a livelli a stratificazione sottile. La litozona superiore è invece rappresentata da calcari e calcari marnosi di colore grigio scuro o nero, a stratificazione molto sottile con sottili interstrati di marne e argilliti nere, spesso con superfici di stratificazione che presentano un aspetto molto ondulado, ed a volte rinsaldati in banchi. La sezione stratigrafica della litozona superiore si trova lungo il sentiero che da Erbanno sale alla chiesa di S. Valentino. L'unità ha uno spessore di almeno 300 m e presenta nel complesso una permeabilità media per la presenza di fenomeni di dissoluzione. (Anisico medio-inferiore).

**Calcare di Prezzo.** Il Calcare di Prezzo è rappresentato da un'alternanza di strati calcareo-marnosi neri, di spessore medio, e di livelli di pari spessore di marne e marne carboniose nere, sottilmente laminate. Nella parte inferiore della formazione le intercalazioni marnose possono diventare localmente prevalenti assumendo spessori di circa un metro. Questi litotipi sono spesso ricchi di fossili, rappresentati soprattutto da cefalopodi e lamellibranchi. In ragione della litologia la formazione è facilmente soggetta a disaggregazione, costituisce spesso un debole ripiano morfologico ed è spesso coperta da coltri di depositi superficiali. Ha uno spessore dell'ordine di 60-80 m e la permeabilità è nel complesso molto bassa. (Anisico superiore).

**Calcare di Buchenstein.** La formazione è costituita da calcari e calcari debolmente marnosi di colore grigio scuro o nero, in strati di spessore medio separati da sottili intercalazioni di marne argillose nere. All'interno degli strati calcarei compaiono dei noduli o, meno frequentemente, delle sottili liste di selce scura; a volte i noduli sono silicizzati solamente al bordo. Spesso la presenza dei noduli conferisce alle superfici di stratificazione un caratteristico aspetto bernoccolato. Ha uno spessore dell'ordine di 20 – 40 m e permeabilità media. (Ladinico inferiore).

**Formazione di Wengen.** La formazione è costituita prevalentemente da marne e marne arenacee nere, stratificate in banchi con laminazione interna. Alle marne si intercalano argilliti marnose nerastre o arenarie grigio-verdi, talora tufacee, a grana media, compatte, in straterelli isolati di 5-10 cm; più rare le intercalazioni di calcari marnosi stratificati. Lo spessore dell'unità si riduce da est verso ovest in favore del Calcare di Esino, e da circa 50 m di spessore nel settore al confine con Piancogno, si riduce fino a scomparire nella zona di Gorzone. Permeabilità nel complesso molto bassa. (Ladinico superiore).

**Calcare di Esino.** La formazione è costituita da calcari e calcari dolomitici massicci di colore grigio da chiaro a scuro, talora rosato a stratificazione generalmente indistinta o localmente in grossi banchi. Questi litotipi risultano abbondantemente fossiliferi con coralli, lamellibranchi e gasteropodi, ed al loro interno compaiono spesso pisoliti vadose, cavità riempite da cemento calcitico ed oncoliti. Ha uno spessore dell'ordine di 200-300 m, che aumenta da est verso ovest e presenta in genere un notevole risalto morfologico dando luogo a ripide pareti. E' caratterizzata da una permeabilità alta per carsismo. (Ladinico).

**Calcare Metallifero Bergamasco.** La formazione del Calcare Metallifero Bergamasco è costituita da calcari e calcari dolomitici grigi e grigi nerastri, in strati di spessore medio, separati da sottili intercalazioni di marne argillose nerastre; all'interno degli orizzonti calcarei si possono osservare piccole plaghe di calcite bianca o di siderite. Ha uno spessore dell'ordine di 20 m e presenta una permeabilità alta per carsismo. (Carnico inferiore).

**Formazione di Gorno.** Costituita da calcari e calcari marnosi di colore grigio scuro o nero, in strati medi o sottili, intercalati ad orizzonti, di analogo spessore, di marne nere sottilmente laminate o compatte, spesso fossilifere. Nella parte inferiore dell'unità compaiono a volte delle intercalazioni di



arenarie o di calcareniti grigio-verdi o nere in strati di spessore medio. Ha uno spessore dell'ordine di 300 m e presenta una permeabilità da media a scarsa. (Carnico medioinferiore).

**Formazione di Breno (Lingua di Campolungo).** Nell'area in esame la Formazione di Breno è rappresentata solamente dal Membro della Lingua di Campolungo che è formato da calcari dolomitici e dolomie microcristalline in banchi o strati spessi e di colore grigio-bianco, a volte con sottili interstrati di marne e argilliti grigie e, nonostante lo spessore sia in media di 50-80 m, l'unità presenta un forte rilievo morfologico con pareti verticali che segnano un limite netto rispetto alle rocce soprastanti. E' caratterizzata da una permeabilità alta per carsismo. (Carnico medio-inferiore).

**Formazione di San Giovanni Bianco.** Questa formazione è costituita da marne e dolomie marnose di colore grigio, in strati di spessore medio o sottile, e da siltiti ed argilliti sottilmente laminate di colore verde, verde-azzurro o rosso. Localmente sono presenti anche strati medi di calcari marnosi grigi o, verso l'alto, argilliti nere. Questi litotipi risultano spesso tettonizzati, fortemente fratturati o brecciati e a volte trasformati in carniole e brecce tettoniche giallastre in cui si notano cristalli di calcite e dolomite di neoformazione. Ha uno spessore di circa 50-60 m ed in ragione della facile degradabilità presenta uno scarso rilievo morfologico ed è spesso coperta da coltri di depositi superficiali. La permeabilità è molto bassa. (Carnico superiore).

**Dolomia Principale.** Nell'area in esame la formazione della Dolomia Principale è rappresentata soprattutto dalla sua parte basale costituita da brecce, da grossolane a minute, a clasti di composizione calcareo-dolomitica legati da cemento carbonatico a volte ricco di ossidi di ferro; nella sua parte superiore è invece costituita da dolomie e calcari dolomitici, di colore variabile da grigio chiaro a nero, disposti in grossi banchi od a stratificazione indistinta. Questa unità risulta spesso interessata da fenomeni carsici e presenta una permeabilità nel complesso alta. (Norico).

### **3.2 Caratteristiche geologiche della copertura superficiale**

Il settore di fondovalle del territorio comunale di Darfo Boario Terme è occupato principalmente dalle alluvioni deposte dal fiume Oglio successivamente al ritiro del ghiacciaio di età würmiana mentre al raccordo tra il fondovalle ed i versanti si trova una fascia di depositi di conoide alluvionale e di depositi detritici. Localmente sono presenti lembi di depositi glaciali e fluvioglaciali. Sui versanti prevalgono depositi glaciali, detritici di versante ed eluviali.

**Depositi glaciali** Nel territorio in esame i depositi glaciali sono rappresentati da lembi più o meno ampi posti in corrispondenza dei rilievi di fondovalle e sui versanti, resi evidenti dalla presenza in superficie di clasti di rocce provenienti dal plutone dell'Adamello o dalle unità metamorfiche della media ed alta valle. Nella zona di fondovalle ed alla base del versante si tratta principalmente di lembi di depositi glaciali di fondo ben consolidati, mentre sui versanti prevalgono i depositi di ablazione poco consolidati, in entrambi i casi rappresentati da diamicton, ovvero da sedimenti formati da blocchi,

ciottoli e ghiaia in matrice di sabbia, limo e argilla, a supporto clastico o di matrice e caratterizzati da una certa eterogeneità litologica. Associati ai depositi glaciali si trovano, in modo nettamente subordinato, lembi locali di depositi fluvioglaciali o glacio-lacustri; i primi rappresentati da livelli grossolani con massi e ciottoli, ciottoli e ghiaia, ghiaia, ghiaia e sabbia, sabbia ed i secondi da livelli fini con sabbie fini, limi sabbiosi, limi e limi argillosi. In riferimento alla classificazione ASTM i depositi propriamente glaciali possono essere classificati principalmente come GM, ovvero ghiaie prevalenti con sabbia e matrice limosa apprezzabile. Il comportamento geotecnico e la permeabilità di questi materiali variano fortemente in funzione della granulometria, della tessitura e dello stato di addensamento. Da un punto di vista generale, i depositi glaciali sono caratterizzati da permeabilità medio-bassa e discrete caratteristiche geotecniche.

**Depositi fluvioglaciali** I depositi fluvioglaciali rappresentano i sedimenti connessi al rimaneggiamento dei materiali di origine glaciale causato dall'azione di erosione, trasporto e deposizione operata dalle acque di fusione dei ghiacci, probabilmente in posizione laterale al ghiacciaio. Lembi di depositi fluvioglaciali di estensione significativa sono presenti principalmente nel settore inferiore del versante destro della Val Camonica nella zona di Gorzone dove costituiscono dei terrazzi morfologici. I caratteri granulometrici e tessiturali dei depositi fluvioglaciali sono del tutto simili a quelli dei sedimenti alluvionali e sono rappresentati in genere da orizzonti di ghiaia, ghiaia e sabbia o sabbia (GW, GP, GM, SW, SP) all'interno dei quali si possono osservare le tipiche strutture sedimentarie da corrente come gradazioni, laminazioni parallele o incrociate, contatti erosionali e ciottoli embricati. Intercalati a questi orizzonti si osservano localmente anche dei livelli fini, con sabbia e sabbia limosa, e locali livelli di limi sabbiosi e limi debolmente argillosi (SM, ML). Questi depositi appaiono in genere da leggermente a fortemente addensati e localmente anche cementati. I depositi fluvioglaciali presenti nell'area in esame sono contraddistinti da un'alta permeabilità e da parametri geotecnici da buoni a discreti.

**Deposito alluvionale recente ed attuale** Le alluvioni attuali e recenti corrispondono rispettivamente ai depositi che formano l'alveo e la piana alluvionale dei corsi d'acqua. Si tratta pertanto di sedimenti clastici, deposti lungo l'alveo al calare delle piene o all'esterno di esso durante le esondazioni. I clasti sono in genere ben arrotondati e la loro dimensione media dipende dalla velocità della corrente che li ha deposti. Depositati alluvionali attuali e recenti costituiscono la piana di fondovalle del fiume Oglio. In relazione alla bassa pendenza del fondovalle il fiume mostra in questo tratto un aspetto da canale meandriforme caratterizzato in ogni modo da una forte energia con prevalente carico di fondo grossolano ed una notevole tendenza alla divagazione. Il quadro sedimentario della piana è quindi dominato dall'aggradazione e dall'accrezione laterale di barre di meandro e, limitatamente ai tratti relativamente più ripidi, di barre trasversali. Le alluvioni sono in genere grossolane con materiale di fondo rappresentato da ghiaia e ciottoli e con le barre costituite prevalentemente da orizzonti di ghiaia. Le alluvioni attuali si trovano in corrispondenza dell'alveo del fiume e sono costituite da sedimenti di canale con ciottoli, ghiaia e pochi massi (GP secondo la classificazione ASTM) e solo localmente, nelle zone riparate delle barre, si ritrovano delle sabbie, mentre le alluvioni recenti, che costituiscono la piana di fondovalle, oltre che da sedimenti di canale, sono costituite da livelli da esondazione a

sabbia e sabbia limosa (SP e SM). Lembi di depositi alluvionali a granulometria grossolana sono presenti anche lungo i corsi d'acqua secondari, principalmente lungo il torrente Dezzo e lungo il torrente Re di Gianico. In alcuni settori della piana di fondovalle, soprattutto nella zona di transizione tra la piana di fondovalle ed i settori distali dei conoidi alluvionali, o in corrispondenza dei canali abbandonati, e nei settori di piana dove il livello della falda è prossimo al piano campagna, soprattutto nel settore di fondovalle compreso tra il versante destro ed i rilievi di fondovalle del Monticolo e del Castelletto, sono presenti anche dei livelli fini, di sabbie limose, limi sabbiosi e limi argillosi (ML), dovuti a decantazione in seguito al ristagno delle acque di esondazione ai quali si associano localmente anche livelli di torba (OL) dovuti alla conservazione della sostanza organica nelle acque ristagnanti. In media i livelli grossolani dei depositi alluvionali sono contraddistinti da una permeabilità elevata e da buone caratteristiche geotecniche mentre i livelli fini hanno bassa permeabilità e caratteristiche geotecniche da mediocri a scadenti.

**Deposito di conoide alluvionale** I conoidi alluvionali sono depositi dalla tipica forma a ventaglio che i corsi d'acqua formano quando incontrano una sensibile diminuzione del gradiente topografico e quindi subiscono una diminuzione della velocità e della capacità di trasporto della corrente, come si verifica in genere quando i corsi d'acqua laterali si raccordano al fondovalle. Si tratta di depositi sciolti, con clasti generalmente arrotondati le cui dimensioni diminuiscono dall'apice del conoide verso la zona distale in relazione alla progressiva diminuzione della velocità della corrente. Le dimensioni medie dei clasti dipendono dalle caratteristiche idrauliche dei corsi d'acqua stessi. Per il prevalente carattere torrentizio dei corsi d'acqua presenti nell'area in esame e per le condizioni geomorfologiche dei relativi bacini, questi depositi sono più legati ad episodi di trasporto in massa, sotto forma di colate, che ad un'azione trattiva della corrente, a parte i depositi del conoide del torrente Dezzo. Gli orizzonti legati ai fenomeni di trasporto in massa sono generalmente costituiti da massi, ciottoli e ghiaia in matrice di sabbia e limo (GM); la percentuale di matrice è variabile e, soprattutto nelle zone distali, può diventare prevalente rispetto ai clasti (GM, SM). Gli orizzonti dovuti ad un'azione trattiva della corrente sono invece a supporto clastico, costituiti in genere da massi, ciottoli e ghiaia (GP, SP). Questi materiali sono caratterizzati da una permeabilità variabile da bassa ad elevata in funzione degli aspetti granulometrici e tessiturali; il comportamento geotecnico varia in genere da mediocre a discreto.

**Deposito detritico di versante** I depositi detritici di versante sono legati principalmente all'azione della gravità e si originano dall'accumulo, alla base delle pareti rocciose, dei materiali che si distaccano in seguito ai processi di alterazione e disaggregazione degli ammassi. Questi accumuli sono rappresentati da sedimenti sciolti, costituiti da clasti a spigoli vivi con una percentuale variabile di matrice. Le dimensioni dei clasti sono molto variabili, dai blocchi alla ghiaia, in relazione alle caratteristiche litologiche e strutturali degli ammassi di partenza, e nell'ambito di uno stesso accumulo, in riferimento all'area di alimentazione, aumentano dalla zona prossimale alla zona distale. I depositi detritici di versante presenti alla base delle pareti rocciose del Verrucano Lombardo sono costituiti spesso da blocchi anche di notevoli dimensioni, ma in genere i depositi presenti nell'area in esame costituiti da blocchi e frammenti più minuti, dai ciottoli alla ghiaia, spesso con una frazione fine, sabbiosa e limosa, apprezzabile e possono essere classificati come GM secondo la classificazione

ASTM. Tutte le falde di detrito presenti nell'area sono in genere da ben colonizzate a parzialmente colonizzate dalla vegetazione anche se nella maggior parte dei casi sono ancora soggette episodicamente ad alimentazione da parte di fenomeni di distacco dalle pareti rocciose. Nel complesso questi depositi hanno una permeabilità media e caratteristiche geotecniche discrete.

**Deposito eluviale e deposito colluviale** I depositi eluviali sono costituiti dai materiali derivanti dall'alterazione in posto del substrato roccioso operata dall'attività dei vari agenti esogeni. La granulometria di questi sedimenti è strettamente legata alla composizione ed alle caratteristiche strutturali dei litotipi di partenza. Si tratta in genere di sedimenti fini a prevalente supporto di matrice e di aspetto massivo, costituiti principalmente da pochi frammenti, ghiaia e ciottoli, immersi in un'abbondante matrice sabbiosa, limosa e argillosa. In particolare la frazione argillosa è più abbondante nei depositi eluviali derivanti dalla degradazione delle rocce scistose e delle rocce clastiche e vulcaniche di età permiana. Una frazione argillosa prevalente si trova anche nei depositi eluviali derivanti dall'alterazione delle rocce del Calcare di Esino e della Dolomia Principale. I depositi colluviali derivano invece dal trasporto e dall'accumulo lungo i versanti ad opera della gravità, per reptazione lenta e solifluzione, o per il dilavamento delle acque meteoriche, dei materiali di origine eluviale. Nell'area in esame questi sedimenti hanno un aspetto molto simile a quello dei materiali di origine eluviale in quanto derivano principalmente dalla loro mobilitazione a partire dai settori più acclivi del versante; si differenziano, oltre che per la posizione morfologica, anche per la presenza di una frazione fine nel complesso più abbondante e per una minima organizzazione in livelli a composizione granulometrica differente. Le caratteristiche granulometriche e tessiturali di questi depositi sono strettamente legate alla composizione dei litotipi originari. Si tratta in genere di sedimenti fini, a prevalente supporto di matrice, rappresentati da ghiaia e ciottoli immersi in abbondante matrice di sabbia, limo e argilla (GM, SM, ML). I clasti sono in genere a spigoli vivi. In ragione delle caratteristiche granulometriche, sono caratterizzati da una permeabilità bassa e da parametri geotecnici da mediocri a scadenti.

**Materiale di riporto antropico** Accumuli relativamente consistenti di materiale di riporto sono presenti localmente nella zona di fondovalle dove sono rappresentati principalmente da materiale derivante dallo smarino delle gallerie e dagli scavi di sbancamento del canale idroelettrico che decorre alla base del versante sinistro della valle, oppure dal materiale di scarto depositato nei pressi delle cave di lapidei poste alla base dei versanti.

### 3.3 Caratteristiche geologiche area di studio

Dal punto di vista geologico l'area di studio è costituita da depositi alluvionali recenti del Fiume Oglio interdigitati con quelli del Torrente Rovinazza. In genere tali materiali sono costituiti da ghiaie, ghiaie e sabbie con ciottoli e localmente sono presenti lenti di materiali più fini quali sabbie limose, limi sabbiosi argillosi limi argillosi soprattutto nelle aree più esterne o di esondazione. Nell'area di studio sono presenti materiali di natura sabbiosa limosa indice di aree distali di conoide e di aree di

esondazione distali del corso principale. Al di sotto di tale coltre detritica avente uno spessore di poco più di 8,00 m si è ritrovato il substrato roccioso costituito dalla Formazione del Verrucano Lombardi. Tale formazione è sub affiorante anche in aree limitrofe (alla base del muro del sagrato della Chiesa), e sulle sponde del F. Oglio

## 4.0 INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO

### 4.1 Caratteristiche idrografiche superficiali

Per quanto riguarda l'idrografia superficiale i principali corsi d'acqua sono il Fiume Oglio e il Torrente Dezzo oltre che da vari torrenti minori.

Per quanto riguarda l'area di studio essa è posta in prossimità del il Fiume Oglio posta in sponda sinistra idrografica ad una distanza di circa 50 m e rispetto all'alveo attuale è sopraelevata di circa 5/6 m, (**vedi stralcio Carta Idrografia superficiale**).

### 4.2 Caratteristiche idrogeologiche

Per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche dei terreni interessati dalle opere essi sono composti da materiali granulari medio fini e pertanto presentano caratteristiche idrogeologiche di permeabilità per porosità elevata. Dalle indagini effettuate è stata rinvenuta la presenza di falda alla quota di -4,80 m dal piano campagna. L'alimentazione della falda è dovuta sia al Fiume Oglio che dalle percolazioni del versante

## 5.0 VINCOLI

### Fattibilità

L'area entro cui ricade l'intervento è compresa nella perimetrazione dello Studio Geologico redatto a supporto del PGT di Darfo Boario Terme come "**classe di fattibilità 2 h,t**". La classe comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modificazione della destinazione d'uso che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa.

La classe comprende aree caratterizzate da condizioni di pericolosità morfologica di grado basso relativa a fenomeni di caduta di blocchi, a fenomeni di esondazione o colata in corrispondenza dei conoidi alluvionali, alle caratteristiche geotecniche ed idrogeologiche del sottosuolo, alla pendenza dei siti. Queste situazioni rendono necessario che gli interventi da realizzare siano definiti sulla base di studi di approfondimento degli aspetti geologici con indagini specifiche da condurre valutando gli aspetti litologici, morfologici, idrogeologici, geotecnici e sismici in relazione alle indicazioni contenute nella normativa di riferimento nazionale - Norme Tecniche per le Costruzioni.

Oltre alle valutazioni di carattere generale dovrà essere dedicata particolare attenzione agli aspetti relativi ai fattori limitanti individuati in questa sede per ciascuna area e distinti nelle sottoclassi descritte nei paragrafi seguenti.. (**vedi stralcio Carta Fattibilità**).

La **sottoclasse h**, comprende le aree appartenenti a questa sottoclasse sono caratterizzate dalla presenza di terreni aventi caratteristiche geotecniche mediocri, in ragione della granulometria relativamente fine e/o del basso grado di addensamento o consolidazione, che possono comportare l'insorgenza di problematiche di carattere geotecnico nell'ambito della realizzazione delle opere.

Diversamente a quanto indicato nella normativa regionale di riferimento, tali aree sono state assegnate alla classe 2 e non alla classe 3 in quanto si tratta di terreni con caratteristiche geotecniche mediocri piuttosto che scadenti inoltre gli approfondimenti d'indagine richiesti in questa sede, finalizzati ad avere una maggiore conoscenza delle problematiche, consentono di affrontarle in modo adeguato.

In queste aree, fatti salvi gli aspetti relativi alla sismicità, sono ammissibili senza integrazioni di carattere geologico gli interventi definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b), c) della l.r. 12/2005 purchè con questi interventi non vengano modificati i rapporti struttura/terreno esistenti ed a tal fine dovrà essere prodotta un'apposita dichiarazione da parte del progettista.

Ogni altro intervento dovrà essere preceduto da una fase d'indagine geologica, sulla base di una campagna geognostica ed idrogeologica adeguata all'importanza dell'intervento, mirata alla definizione del comportamento geotecnico dei terreni, siano essi interessati dai carichi trasmessi dalle fondazioni o da lavori di scavo. Nel primo caso l'analisi dovrà essere mirata alla definizione della capacità portante ed alla stima degli eventuali cedimenti in seguito all'applicazione dei carichi; nel secondo caso l'indagine dovrà essere comprensiva di opportune analisi di stabilità a breve e lungo termine (durante e dopo le fasi di scavo). Le opere da realizzare dovranno essere verificate in accordo alle condizioni desunte dall'indagine tenendo conto della situazione idrogeologica al contorno.

In queste aree, come previsto dalle norme di carattere sismico si dovrà verificare anche la presenza di situazioni che possono dar luogo a fenomeni di cedimenti o di liquefazione in caso di sisma di forte intensità.

**Sottoclasse 2u** - Aree potenzialmente interessabili da esondazione e trasporto in massa su conoide con pericolosità bassa (H2).

Le aree appartenenti a questa sottoclasse sono caratterizzate da condizioni di pericolosità geomorfologica per potenziali fenomeni di esondazione e propagazione di colate detritico-fangose in corrispondenza dei conoidi alluvionali presenti nel territorio comunale; queste aree corrispondono alle zone aventi pericolosità H2 (bassa) così come individuate nella valutazione fatta in questa sede e rappresentate nella Carta di Sintesi (Tavola 2) e rientrano nelle zone classificate come Cn nella legenda della cartografia del P.A.I.

Le condizioni di pericolosità riscontrate per queste aree in occasione degli eventi considerati nell'analisi morfologica non escludono la possibilità di interventi di nuova edificazione, ma rendono necessario il ricorso ad accorgimenti finalizzati a mitigare le condizioni di rischio.

Per quanto riguarda edifici e manufatti esistenti in queste aree, fatti salvi gli aspetti relativi alla sismicità, sono ammissibili senza integrazioni di carattere geologico gli interventi definiti dall'art. 27, comma 1, lettere a), b), c), d) della l.r. 12/2005 non comportanti demolizione e ricostruzione, purché con tutti questi interventi non vengano modificati i rapporti struttura/terreno esistenti ed a tal fine dovrà essere prodotta un'apposita dichiarazione da parte del progettista.

Tutti questi interventi dovranno comunque essere condotti con il ricorso ad accorgimenti, materiali e tecnologie in grado di limitare le conseguenze di potenziali allagamenti sia in termini di danno materiale sia di pericolo per l'incolumità delle persone.

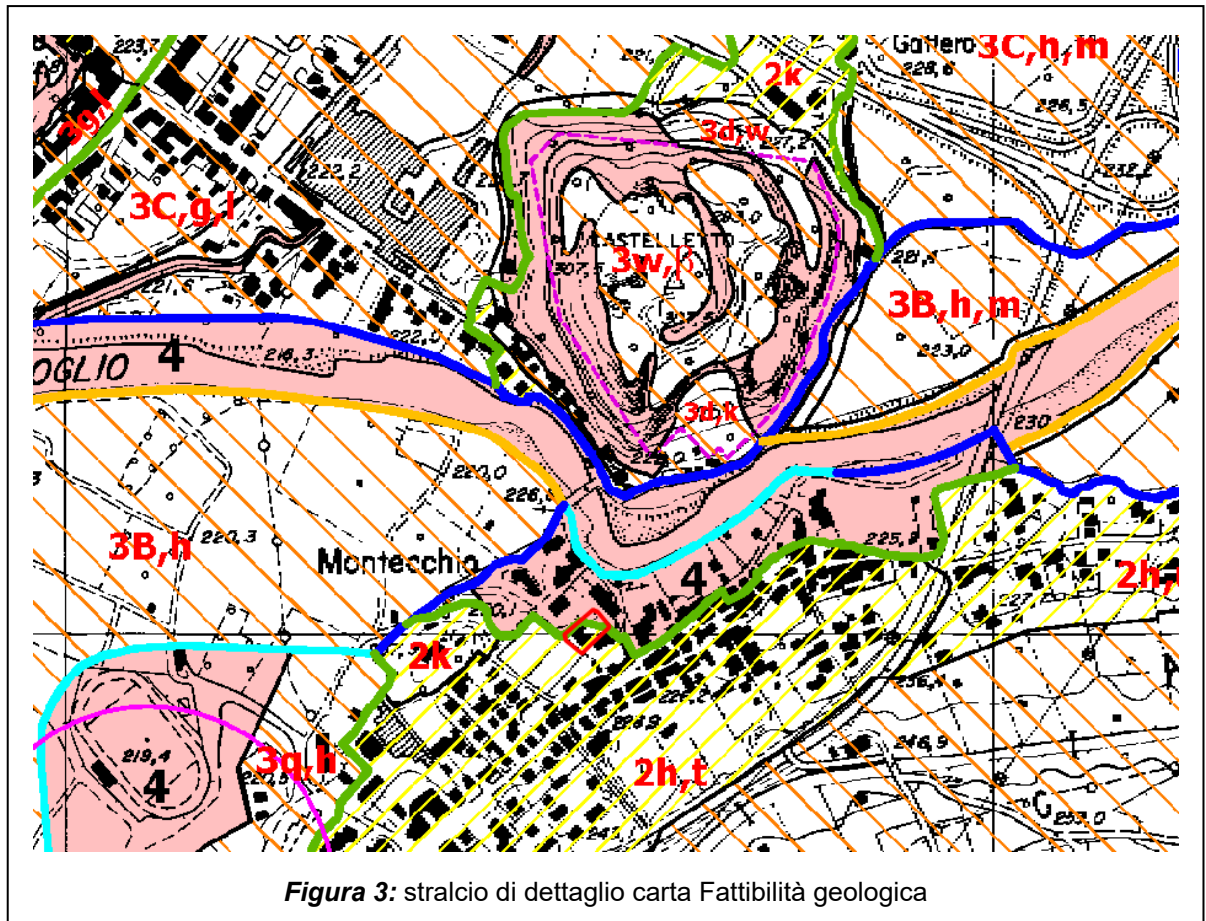
Per tutti gli altri interventi, in questa sede sono state definite le prescrizioni di carattere generale che dovranno essere successivamente dettagliate e verificate, in funzione delle tipologie e delle condizioni morfologiche locali, con studi specifici di carattere morfologico ed idraulico.

Prescrizioni di carattere generale per la realizzazione degli interventi.

- Realizzazione delle superfici abitabili, delle aree sede dei processi industriali e degli impianti tecnologici e degli eventuali depositi di materiale solo ad una quota superiore al piano campagna locale di almeno 0,5 m, da dettagliare sulla base degli studi specifici ed in riferimento a considerazioni relative alle condizioni morfologiche e topografiche locali.
- La superficie topografica adiacente agli edifici dovrà essere conformata in modo da non consentire alle acque di esondazione o alle frazioni fluide delle colate provenienti da monte di raggiungere le superfici di utilizzo.
- Locali interrati o seminterrati da destinare a cantine od autorimesse dovranno essere realizzati adottando accorgimenti costruttivi, relativi alla disposizione dei locali e delle aperture, alle reti tecnologiche, ai materiali ed alle tecniche da utilizzare, in grado di limitare le conseguenze di potenziali allagamenti sia in termini di danno materiale sia di pericolo per l'incolumità delle persone.
- Realizzazione di fondazioni sufficientemente profonde o relativamente protette in modo da non incorrere in problemi di erosione da parte delle acque di esondazione.
- Disposizione delle opere e conformazione delle superfici esterne in modo da mantenere la maggiore



- superficie libera possibile e da evitare l'accumulo ed il ristagno delle acque favorendone sia l'infiltrazione nel terreno sia il loro deflusso.
- Divieto di messa in opera di cisterne per carburanti, metano, GPL e prodotti assimilabili che non siano completamente interrati.
- Divieto di interventi che possano portare ad un aumento delle condizioni di pericolosità per le aree in esame e per le aree adiacenti.



## Vincoli ambientali

L'area di studio non è sottoposta a vincoli di tipo ambientale (**vedi stralcio Carta Vincoli**).

## Carta PAI

L'area oggetto di intervento è inserita all'interno della perimetrazione relativa alle aree di conoide non recentemente riattivate o completamente protette (Cn)

Inoltre è parzialmente ricompresa all'interno della Fascia C per il rischio esondazione. **(vedi stralcio Carta PAI).**



## **PGRA**

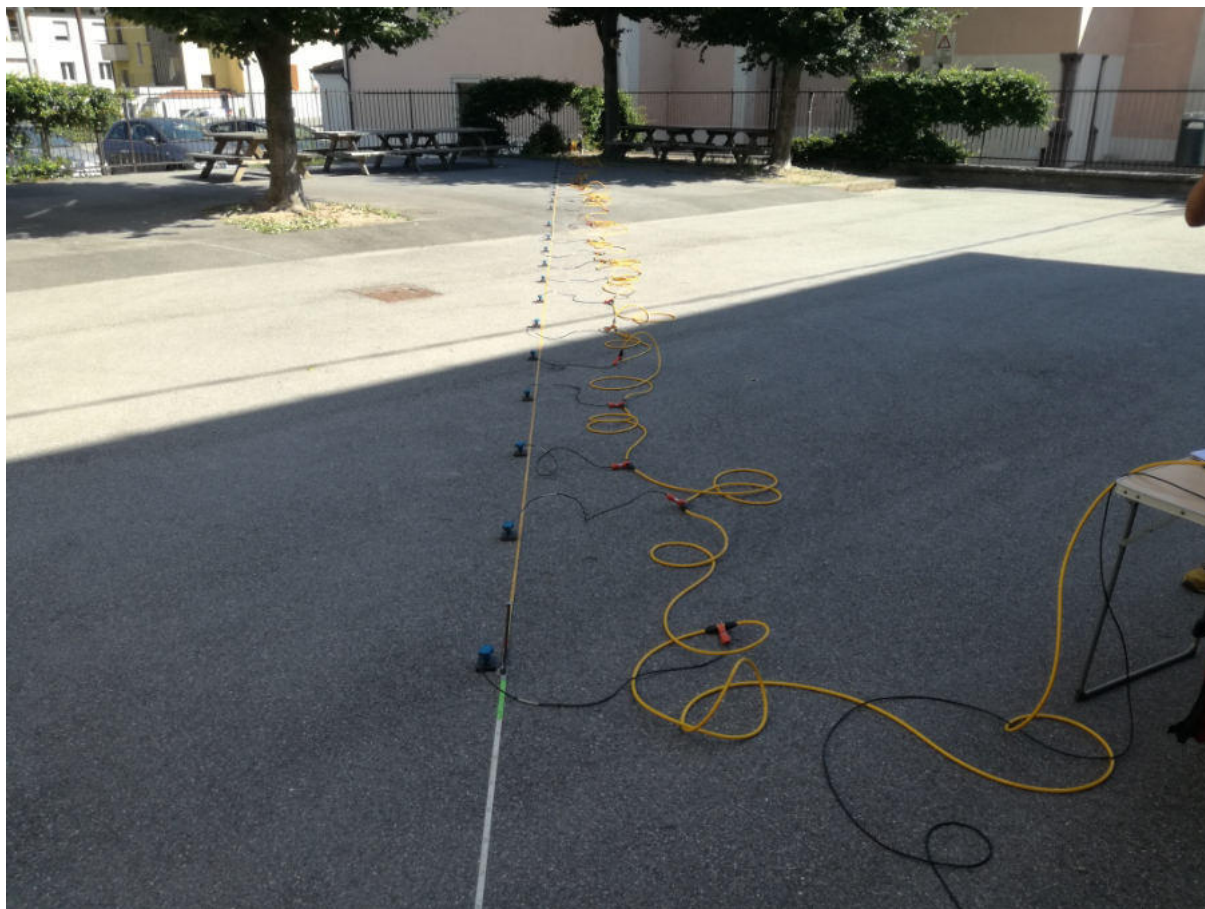
La verifica sul Geoportale della Regione Lombardia relativa alla Direttiva Alluvioni revisione 2019 inserisce l'area in studio all'interno sia dello scenario di pericolosità H frequente riferito al Reticolo Principale (RP) sia allo scenario di Pericolosità L raro riferito al Reticoli Idrografici Minore (RSCM)

L'eventuale verifica idraulica richiesta per l'area oggetto di studio esula dall'incarico conferito al sottoscritto in quanto lo stesso riguarda la sola verifica di adeguamento sismico esula dall'incarico affidato. **(vedi stralcio Carta Direttiva Alluvioni)**

# INDAGINE SISMICA E INDIVIDUAZIONE MODELLO GEOLOGICO TECNICO DEL TERRENO

## 6.0 INDAGINE SISMICA.

Nell'area in esame è stata eseguita una campagna sismica, con metodo MASW di tipo attivo e passivo, avente l'obiettivo di determinare l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità (VS-Z- modello sismico monodimensionale). La quota di esecuzione dello stendimento MASW coincide con la quota dell'attuale p.c.



**Foto 1:** vista dello stendimento MASW effettuato

### 6.1 Metodologia d'indagine MASW

La prova MASW, messa a punto nel 1999 da ricercatori del *Kansas Geological Survey* (Park C.B. et al., 1999) permette di determinare in modo dettagliato l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh.

L'analisi delle onde superficiali è stata eseguita utilizzando la strumentazione classica per la prospezione sismica a rifrazione disposta sul terreno secondo un array lineare da 24 geofoni con spaziatura pari a 1.0 m (la configurazione geometrica adottata è stata dettata sia dalle condizioni logistiche che dalla necessità di ricostruire al meglio lo spettro di velocità delle onde superficiali di Rayleigh).

Per ottenere una buona risoluzione in termini di frequenza, oltre ad utilizzare geofoni da 4.5 Hz, è stato utilizzato un sismografo a 24 bit.

Nell'esecuzione della prova MASW è stato utilizzato come sistema di energizzazione una mazza di 8 Kg battente su piattello metallico.

Per aumentare il rapporto segnale/rumore si è proceduto alla somma di più energizzazioni (processo di *stacking*).

La sorgente è stata posta ad una distanza compresa tra 6 e 10 m dal primo geofono effettuando più energizzazioni in punti differenti (*"Optimum Field Parameters of an MASW Survey"*, Park C.B. et al., 2005; Dal Moro G., 2008; Dal Moro G., 2012). Terminata l'indagine attiva, con la stessa configurazione geometrica si è passati alla registrazione dei microtremori (MASW passiva o ReMi) acquisendo in totale 10 registrazioni di rumore, ciascuna della lunghezza di 30 s.

### 6.2 Strumentazione utilizzata.

Di seguito si riassumono le principali caratteristiche della strumentazione utilizzata nell'acquisizione della prova MASW:

n°	Strumentazione	Caratteristiche
1	Unità di acquisizione	sismografo GEOMETRICS "GEODE" a 24 bit
24	Geofoni verticali	"Geospace" con $f_0 = 4.5$ Hz
1	Cavo sismico	L = 60 m
1	Sorgente	Mazza battente su piattello metallico



**Foto 2 e 3:** strumento di registrazione e geofono

### 6.3 Elaborazione

I dati sperimentali sono stati interpretati attraverso l'utilizzo di uno specifico programma di elaborazione (*SurfSeis 5.0* della Kansas University, Park C. B., 2016).

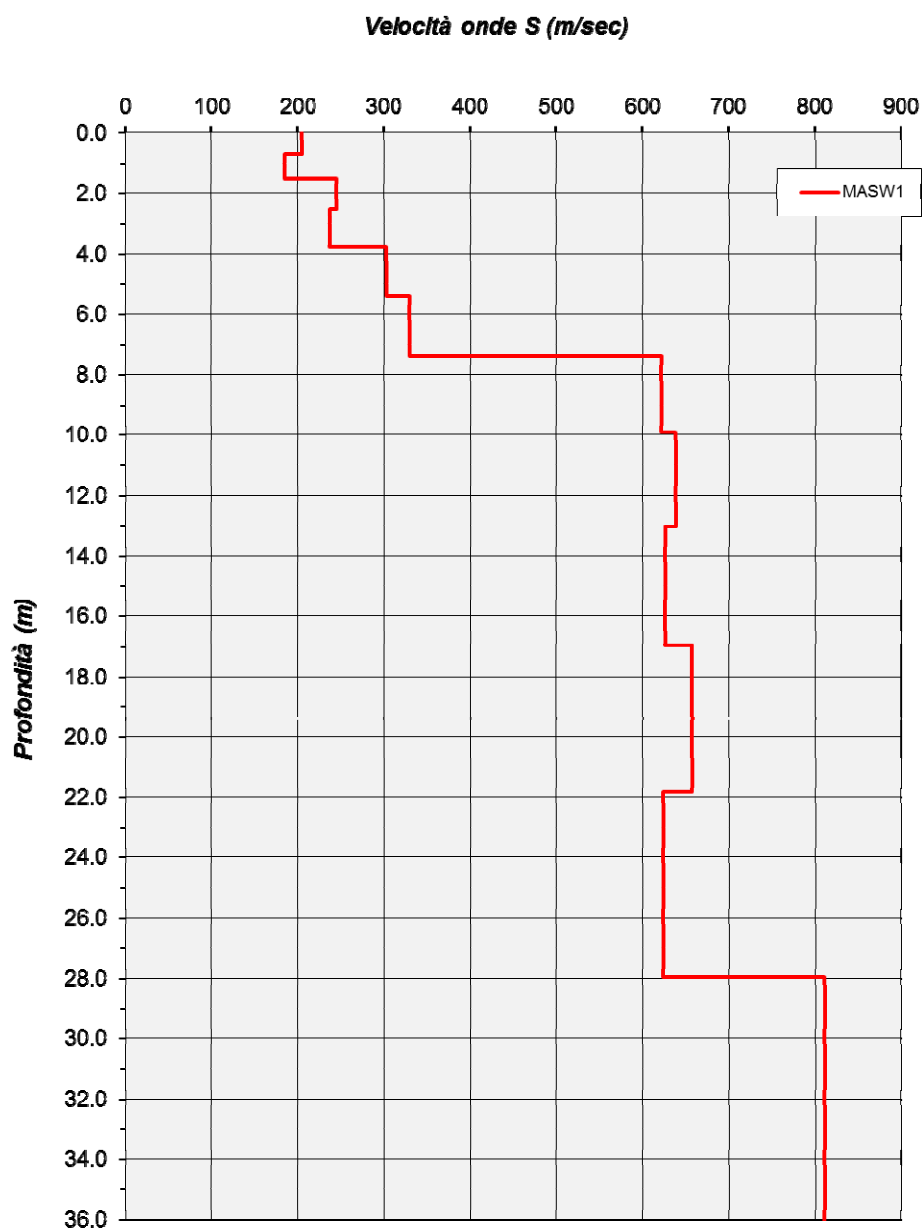
Tale programma permette di elaborare i dati acquisiti sia con il metodo attivo che con quello passivo. Gli spettri bidimensionali ottenuti dalle registrazioni con il metodo attivo e con quello passivo, elaborati in fasi separate, vengono successivamente combinati in modo da ottenere uno spettro unico.

Sullo spettro di frequenza viene eseguito un “picking” attribuendo ad un certo numero di punti una o più velocità di fase per un determinato numero di frequenze (si veda la curva di dispersione riportata in seguito).

Tali valori vengono successivamente riportati su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e l'ottimizzazione di un modello interpretativo.

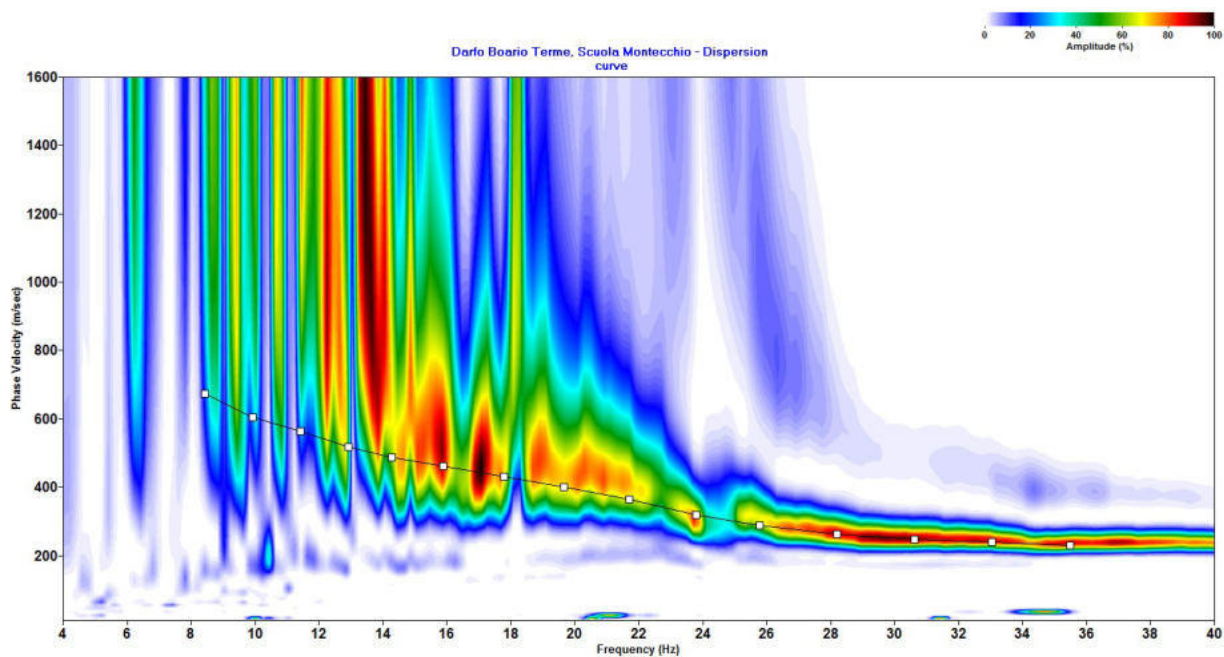
Dall'inversione della curva di dispersione (relativa al “modo fondamentale” delle onde superficiali di Rayleigh) si ottiene il seguente modello medio di velocità delle onde sismiche di taglio con la profondità, rappresentativo dell'area investigata:

<b>MASW 1</b>			
<b>Strato</b>	<b>Spessore [m]</b>	<b>Vs [m/s]</b>	<b>Profondità</b>
1	0.7	<b>205</b>	0.7
2	0.8	<b>185</b>	1.5
3	1.0	<b>245</b>	2.5
4	1.3	<b>238</b>	3.8
5	1.6	<b>302</b>	5.4
6	2.0	<b>330</b>	7.4
7	2.5	<b>622</b>	9.9
8	3.1	<b>639</b>	13.0
9	3.9	<b>626</b>	16.9
10	4.9	<b>658</b>	21.8
11	6.1	<b>625</b>	28.0
12	8.1	<b>813</b>	36.1

**Tabella 1:** Modello sismico monodimensionale

Andamento della VS con la profondità.

### MASW - CURVA DI DISPERSIONE e PICKING





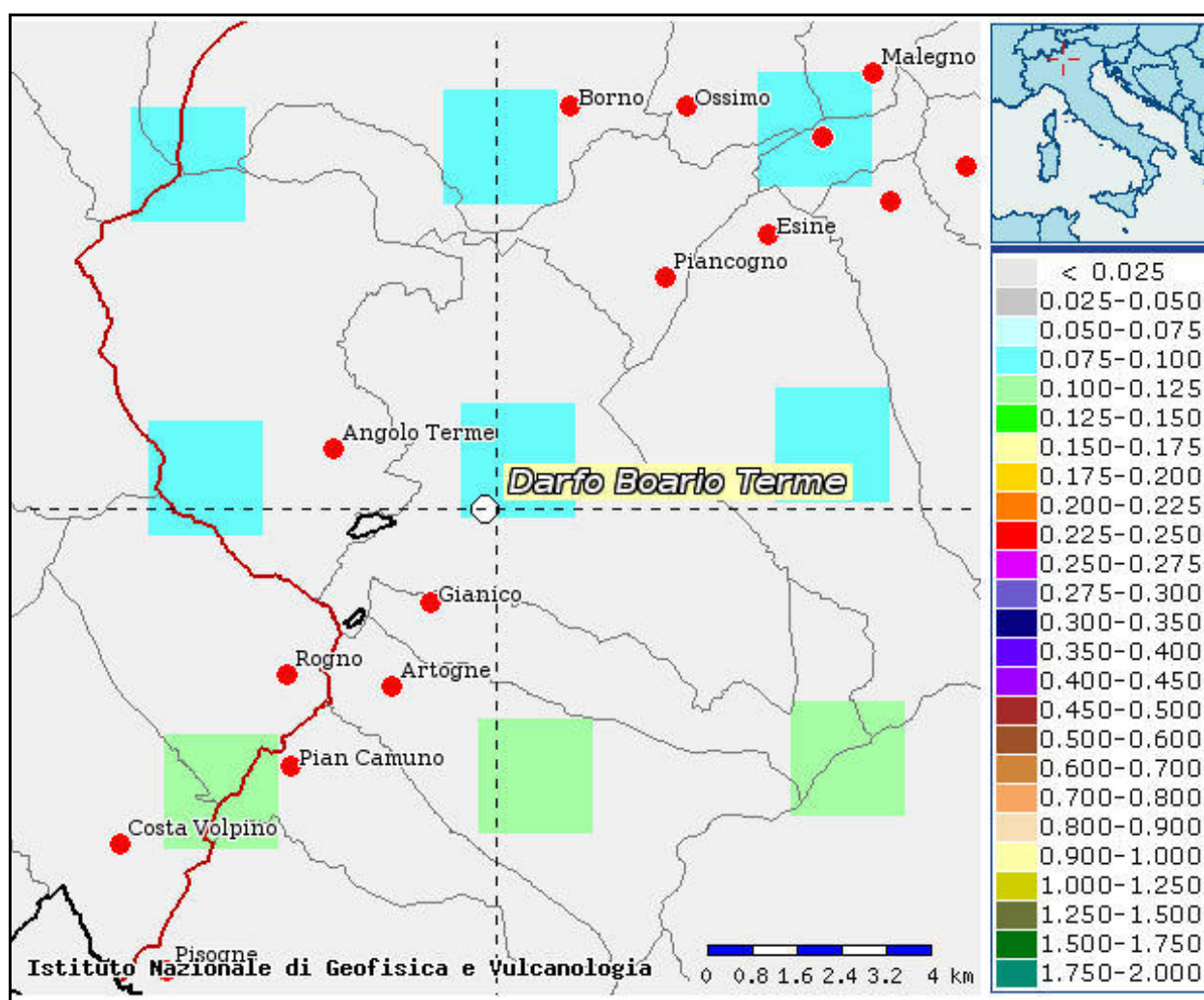
## 7.0 CLASSIFICAZIONE SISMICA

### 7.1 Classificazione secondo le NTC 2018 (D.M. 17/01/88)

#### 7.1.0 Premessa

A seguito della pubblicazione della D.g.r. n° X/2129 del 11/07/2014 e della D.g.r. n° X/4144 del 08/10/2015, il comune di Darfo Boario Terme risulta classificato in **"zona sismica 3"** con un valore di accelerazione massima ( $A_{GMAX}$ ) presente all'interno del territorio comunale pari a 0.104188g.

Consultando la *"Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale"* (elaborazione INGV 2006 e 2008 – figura 1), il valore dell'accelerazione orizzontale massima attesa su suolo rigido (categoria sottosuolo A) per l'area in esame ricade nell'intervallo tra 0.075g e 0.100g (pericolosità sismica di base PSB per  $T_R=475$  anni).



**Figura 1:** Estratto della Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale in cui si riporta il valore di PGA che ha la probabilità del 10% di essere ecceduto almeno una volta nei prossimi 50 anni.



Facendo riferimento allo studio geologico del territorio comunale, l'area di studio è ricompresa nella **zona di PSL del tipo Z4a**, ovvero “*zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi*” (figura 2 - Stralcio Carta della Pericolosità Sismica Locale).

L'analisi di 2° livello ai sensi della D.g.r. IX/2616/2011 non è stata effettuata in fase pianificatoria (PGT vigente)

### 7.1.1 Azione sismica

Le azioni sismiche di progetto in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primaria per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa  $a_g$  in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente  $S_e(T)$ , con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza  $P_{VR}$ .

Ai fini delle nuove NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento  $P_{VR}$ , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_g$ : accelerazione orizzontale massima al sito;

$F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

$T_c$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

### 7.2 Calcolo delle $V_{seq}$

A partire dal modello sismico monodimensionale ricostruito attraverso l'indagine geofisica effettuata, è possibile calcolare il valore delle  $V_{S,eq}$ , che rappresenta la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio fino alla profondità del bedrock sismico  $H$  ( substrato con  $V_S > 800$  m/s). Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio è definita dal parametro  $V_{S,30}$  ottenuto ponendo  $H=30$ m nella seguente equazione (D.M. 17.01.2018 “Aggiornamento delle norme tecniche per le costruzioni”):

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

dove  $h_i$  e  $V_{s,i}$  indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo,  $N$  il numero di strati e  $H$  la profondità del substrato con  $V_s > 800$  m/s.

Utilizzando la formula sopra riportata si ottengono i seguenti valori (si è assunta come quota di calcolo [q.r.] il piano di esecuzione dello stendimento sismico coincidente con l'attuale p.c.):

Profondità di posa delle fondazioni da q.r.	$V_{s,eq}$ [m/s]	Categoria sottosuolo
-0.0 m	458	B
-1.0 m	482	B
-2.0 m	507	B
-3.0 m	530	B

### 7.3 Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto si definiscono le seguenti categorie di sottosuolo:

Categoria	Descrizione
<b>A</b>	<u>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</u> 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>B</b>	<u>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</u> , 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.
<b>C</b>	<u>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</u> 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
<b>D</b>	<u>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</u> , 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.
<b>E</b>	<u>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</u>

**Tabella 3.2. II NTC 2018 – categorie di sottosuolo.**

#### 7.4 Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

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

**Tabella 3.2.IV NTC 2018 – categorie topografiche.**

#### 7.5 Spettro di risposta elastico -NTC 2018

- Di seguito sono definiti gli spettri di risposta elastici previsti dalla normativa antisismica facendo riferimento a quanto contenuto nel D.M. 17.01.2018, in particolare ai capitoli 2 e 3.
- Le ipotesi assunte nella definizione degli spettri di risposta elastici in accelerazione risultano:
- 
- Vita nominale della struttura:  **$V_N = 50$  anni**;
- Classe d'uso = III**;
- Periodo di riferimento per l'azione sismica  **$V_R = 75$  anni** ( $C_u = 1.5$ );
- Valori di accelerazione massima orizzontale e dei parametri spettrali per i diversi stati limite (valori interpolati ottenuti dalla media pesata con i 4 punti della griglia di accelerazioni che comprendono il sito in esame [ED50: Lat 45.886077 - Long 10.193523] così come definito nell'Allegato A e B):

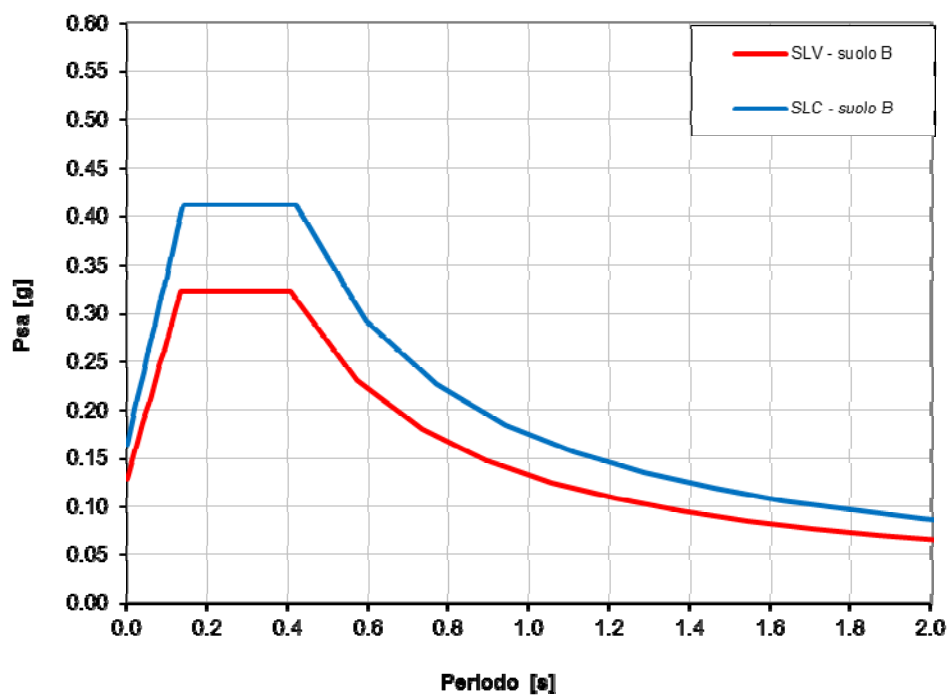
	<b>P<sub>VR</sub></b>	<b>T<sub>R</sub></b>	<b>a<sub>g</sub></b>	<b>F<sub>0</sub></b>	<b>T<sub>c</sub>*</b>
		[anni]	[g/10]		[s]
<b>SLO</b>	81%	45	0.365	2.529	0.2078
<b>SLD</b>	63%	75	0.451	2.520	0.2303
<b>SLV</b>	10%	712	1.028	2.532	0.2912
<b>SLC</b>	5%	1462	1.314	2.519	0.3042

8. **Categoria di sottosuolo = B e C, categoria topografica = T1** ( $S_T=1.0$ ) e coefficiente di smorzamento viscoso  $\xi = 5\%$  a cui corrispondono i seguenti valori:

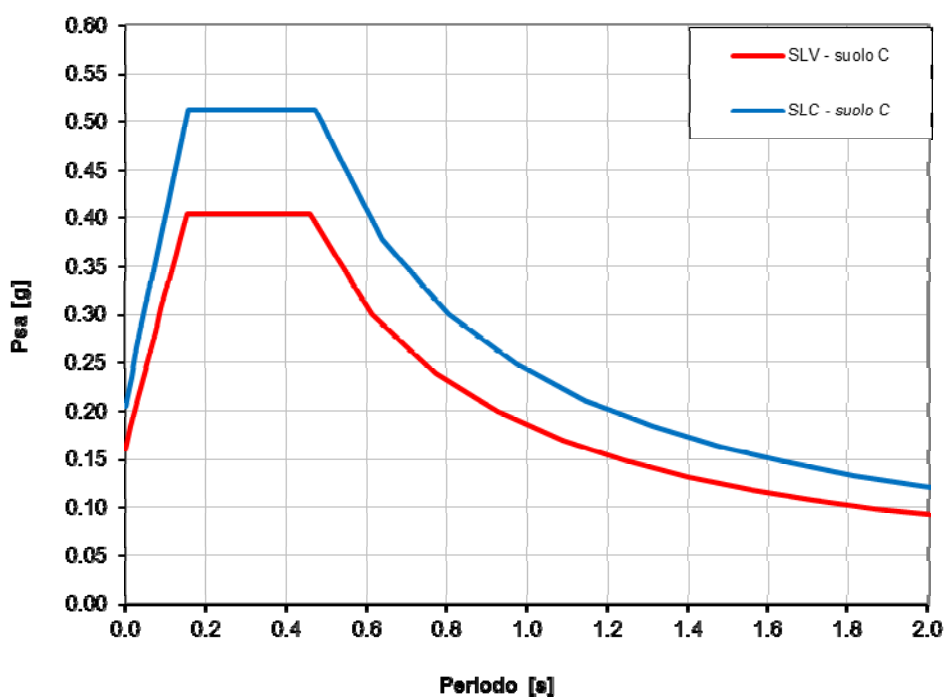
Sottosuolo B						
	<b>S<sub>s</sub></b>	<b>C<sub>c</sub></b>	<b>S</b>	<b>T<sub>B</sub></b>	<b>T<sub>C</sub></b>	<b>T<sub>D</sub></b>
				[s]	[s]	[s]
<b>SLO</b>	1.20	1.50	1.20	0.10	0.31	1.75
<b>SLD</b>	1.20	1.47	1.20	0.11	0.34	1.79
<b>SLV</b>	1.20	1.41	1.20	0.14	0.41	2.03
<b>SLC</b>	1.20	1.40	1.20	0.14	0.42	2.15

Sottosuolo C						
	<b>S<sub>s</sub></b>	<b>C<sub>c</sub></b>	<b>S</b>	<b>T<sub>B</sub></b>	<b>T<sub>C</sub></b>	<b>T<sub>D</sub></b>
				[s]	[s]	[s]
<b>SLO</b>	1.50	1.76	1.50	0.12	0.37	1.75
<b>SLD</b>	1.50	1.70	1.50	0.13	0.39	1.78
<b>SLV</b>	1.50	1.58	1.50	0.15	0.46	2.01
<b>SLC</b>	1.50	1.55	1.50	0.16	0.47	2.13

In **figura 1 e 2** si riportano gli spettri di risposta elastici previsti dalla normativa antisismica per lo stato limite di salvaguardia della vita SLV e per lo stato limite di prevenzione del collasso SLC (formule riportate nel paragrafo 3.2.3.2.1).



**Figura 1:** Spettri di risposta elastici previsti dalla normativa antisismica per gli stati limite (SLV e SLC) – categoria sottosuolo tipo B.



**Figura 2:** Spettri di risposta elastici previsti dalla normativa antisismica per gli stati limite (SLV e SLC) – categoria sottosuolo tipo C.

### 7.6 Analisi sismica di 3° livello ai sensi della D.g.r. 9/2616/2011

Nel presente paragrafo si riportano le caratteristiche sismiche proprie dell'area in esame attraverso l'esecuzione dell'analisi sismica di 3° livello ai sensi della D.g.r. IX/2616/2011 o studio della Risposta Sismica Locale (RSL – NTC18 par. 3.2.2, 7.11.3).

Lo studio della RSL consente di caratterizzare quantitativamente gli effetti di modifica della pericolosità sismica di base dovuta alle caratteristiche litologiche e sismiche dei terreni che costituiscono il sottosuolo dell'area in esame.

Ciò permette anche di valutare l'adeguatezza dell'approccio semplificato previsto dalla normativa antisismica nazionale nel considerare gli effetti sismici locali nella definizione dell'azione sismica (Cap. 3.2.2 *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche* – D.M. 17.01.2018).

In accordo con quanto riportato nelle NTC18 (paragrafo 2.4.2 e 2.4.3), per le strutture in esame è stata considerata una vita nominale  $V_N=50$  anni ed una classe d'uso  $C_U$  pari a III (edificio scolastico) che implica i seguenti periodi di ritorno  $T_R$  per le azioni sismiche (*tabella 2*).

Azione sismica					
Stato Limite	$P_{VR}$	$V_N$ [anni]	$C_U$	$V_R$ [anni]	$T_R$ [anni]
<b>SLO</b>	81%	50	1.5	75	<b>45</b>
<b>SLD</b>	63%	50	1.5	75	<b>75</b>
<b>SLV</b>	10%	50	1.5	75	<b>712</b>
<b>SLC</b>	5%	50	1.5	75	<b>1462</b>

**Tabella 3:** Periodi di ritorno  $T_R$  delle azioni sismiche.

### 7.7 Simulazioni numeriche di RSL

La valutazione della risposta sismica locale (RSL o effetto di sito) rappresenta l'analisi sismica più dettagliata che consente di determinare l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione di base (bedrock sismico), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (o ad una quota definita).

Le simulazioni numeriche sono state effettuate utilizzando il codice di calcolo *SHAKE91* (Schnabel et al. 1972; Idriss e Sun, 1992), il quale definisce un modello monodimensionale adottando un comportamento del mezzo di tipo "lineare equivalente" (schematizzazione compatibile con i livelli di deformazione/accelerazione attesi per l'area in esame).

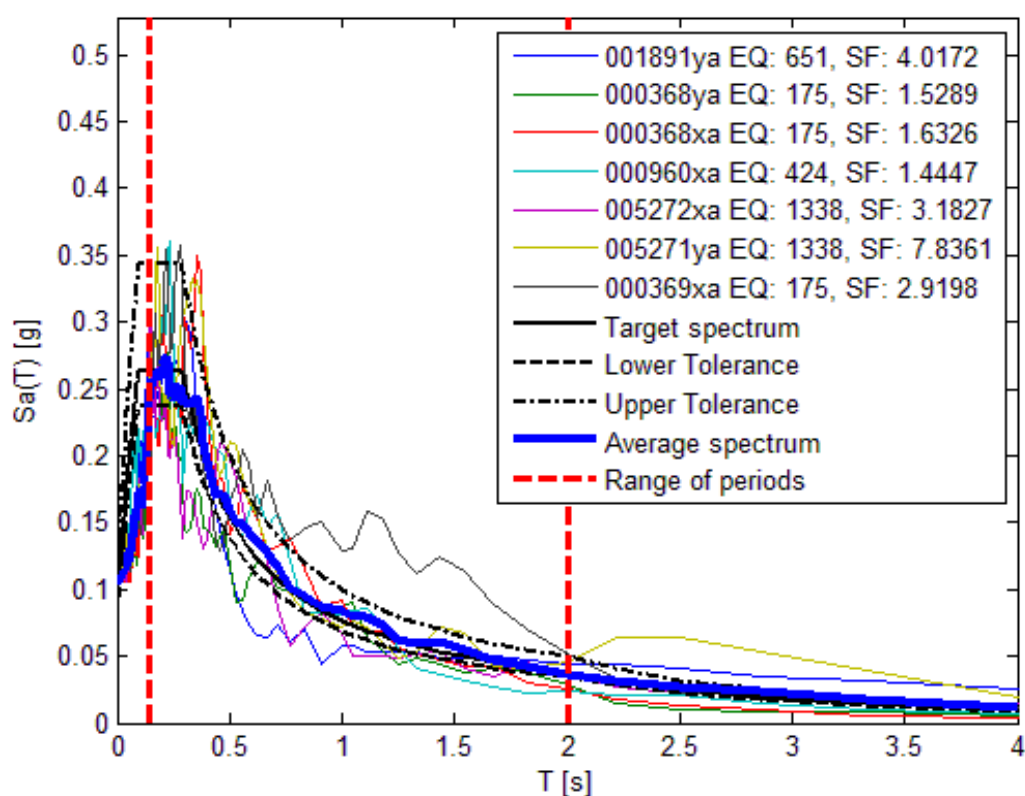
Per l'esecuzione dell'analisi numerica si è proceduto attraverso le seguenti fasi di lavoro:

Definizione della caratteristiche geologiche: è stata ricostruita la successione stratigrafica propria dell'area utilizzando i dati ricavati dalla stratigrafia del sondaggio geognostico appositamente realizzato integrato con le informazioni stratigrafiche derivanti da pozzi posti in dettaglio che consente di determinare l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione di base (bedrock sismico), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (o ad una quota definita).

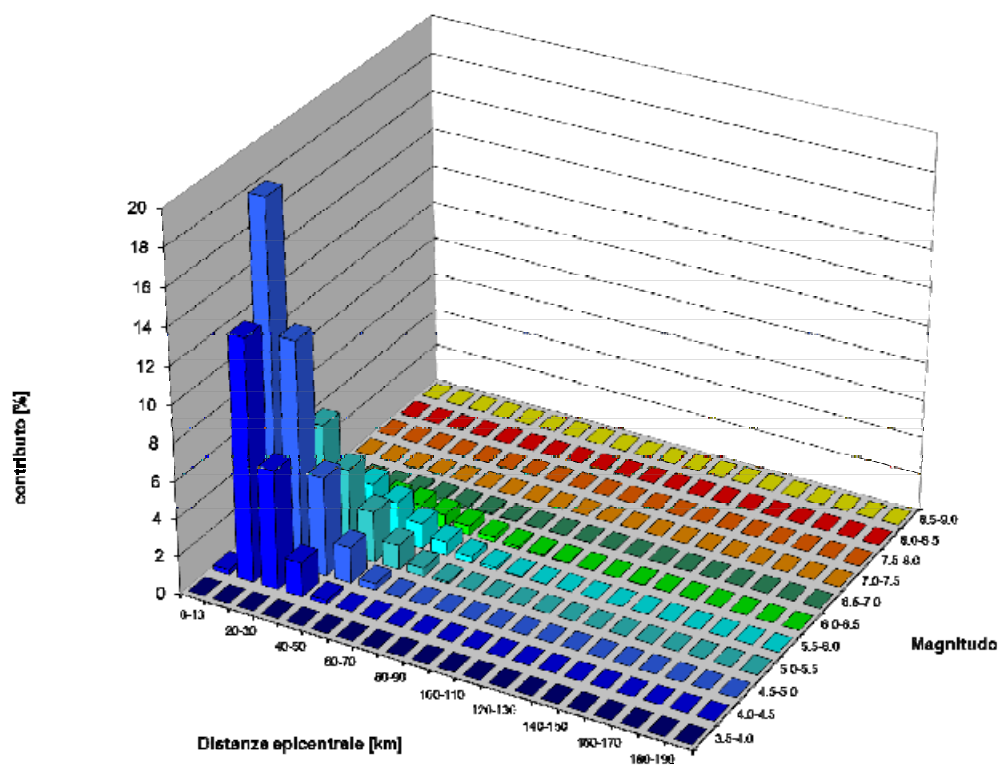
Le simulazioni numeriche sono state effettuate utilizzando il codice di calcolo *SHAKE91* (Schnabel et al. 1972; Idriss e Sun, 1992), il quale definisce un modello monodimensionale adottando un comportamento del mezzo di tipo "lineare equivalente" (schematizzazione compatibile con i livelli di deformazione/accelerazione attesi per l'area in esame).

Per l'esecuzione dell'analisi numerica si è proceduto attraverso le seguenti fasi di lavoro:

1. Definizione della caratteristiche geologiche: è stata ricostruita la successione stratigrafica propria dell'area utilizzando i dati ricavati dalla stratigrafia del sondaggio geognostico appositamente realizzato integrato con le informazioni stratigrafiche derivanti da pozzi posti in prossimità dell'area in esame;
2. Definizione dei parametri fisico-meccanici: i parametri necessari nell'analisi numerica sono, per ogni strato in cui è suddiviso il profilo stratigrafico, il peso di volume, la velocità delle onde S e l'andamento del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento in funzione della deformazione; i valori delle Vs sono quelli del modello medio ottenuto dalla prova MASW effettuata mentre le curve G- $\gamma$  e D- $\gamma$  utilizzate nella modellazione sono quelle mediamente rappresentative della litologia limoso-sabbiosa ed argillosa-limosa desunte dalla bibliografia (Seed et al., 1986; Vucetic e Dobry, 1991; Facciorusso et al., 2012; Rollins et al. 1998);
3. Definizione del moto di input: le azioni sismiche di ingresso sono rappresentate da una combinazione di accelerogrammi reali scalati il cui spettro di risposta combinato è compatibile con lo spettro di risposta del moto atteso per il comune di Darfo Boario Terme per un periodo di ritorno di 712 anni (Spettro Target - suolo A; vedi *figura 5*); tali accelerogrammi sono stati selezionati utilizzando il software REXEL 3.5. La selezione degli accelerogrammi è stata effettuata utilizzando il database internazionale ESD, basandosi sugli studi di disaggregazione dell'INGV per la definizione della coppia M-R di ricerca degli accelerogrammi (*figura 6*).



**Figura 3:** Spettro target e spettri degli accelerogrammi selezionati (Rexel 3.5).

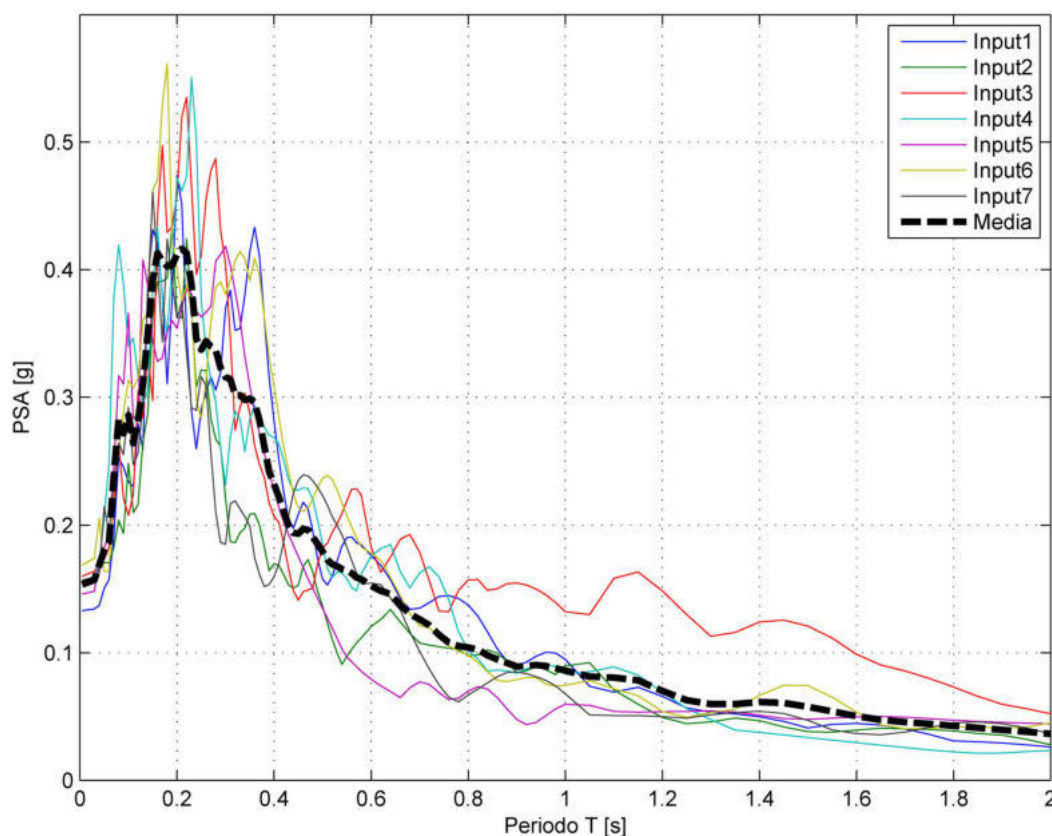


**Figura 4:** Analisi della disaggregazione per il comune di Darfo boario Terme - ING.V.



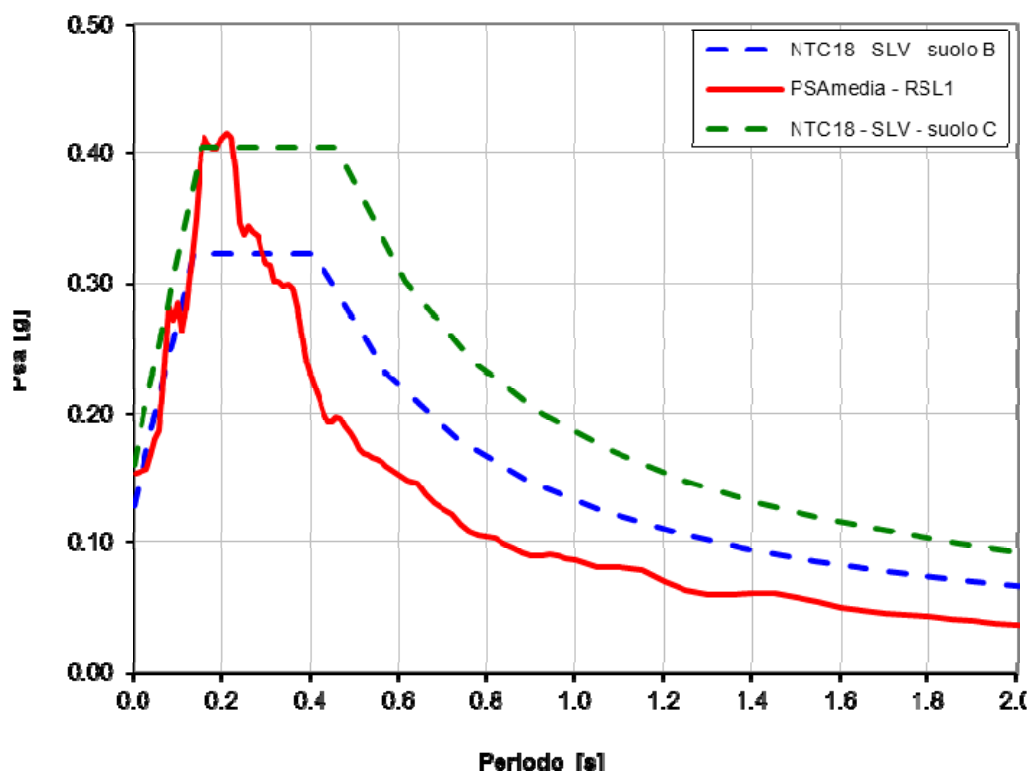
Gli accelerogrammi di input vengono fatti propagare a partire dal bedrock sismico (strato con  $V_s > 800$  m/s) fino al piano fondazionale.

In *figura 7* si riportano i risultati delle simulazioni numeriche effettuate in termini di spettro di risposta in accelerazione (valori espressi come frazione di g; con il tratteggio nero si riporta la media degli spettri ottenuti utilizzando gli accelerogrammi di input).



**Figura 5:** Spettri di risposta ottenuti dalle simulazioni numeriche.

In *figura 8* si confronta lo spettro di risposta elastico previsto dalla normativa per lo stato limite di salvaguardia della vita SLV (NTC18 – vedi paragrafo 2.2) e quello medio ottenuto dalle simulazioni numeriche di Risposta Sismica Locale (curva rossa continua – PSAMedia-RSL1).



**Figura 6:** Confronto tra lo spettro di risposta previsto dalle NTC18 (SLV e sottosuolo B e C - curva blu e verde tratteggiata) e lo spettro medio ottenuto dall'analisi della RSL (curva rossa continua).

Sulla base dello studio di risposta sismica locale effettuato confrontato con l'approccio semplificato previsto dalle NTC18 (Cap. 3.2.2 *Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche*), risulta che:

- Se il **periodo proprio  $T_0$**  delle strutture risulta **superiore o uguale a 0.40 s ed inferiore a 0.15 s** è possibile utilizzare lo spettro di risposta elastico previsto dalle NTC18 utilizzando una **categoria di sottosuolo di tipo B** in quanto tale spettro risulta sufficiente a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione sismica propri del sito;
- Se il **periodo proprio  $T_0$**  delle strutture risulta **compreso tra 0.17 s e 0.40 s** lo spettro di risposta elastico previsto dalle NTC18 con una categoria di sottosuolo di tipo B non è sufficiente a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione sismica propri del sito (studio RSL): per soddisfare gli effetti di amplificazione è necessario utilizzare i parametri per la definizione dello spettro elastico per una **categoria di sottosuolo di tipo C**.

Il valore di PGA ricavato dallo studio della RSL ( $a_{max}$  da utilizzare nella verifica della liquefazione) risulta pari a 0.148g ovvero superiore al valore di 0.123g che si ottiene utilizzando una categoria di sottosuolo di tipo B (NTC18).

### 7.7 Analisi del potenziale di liquefazione dei terreni

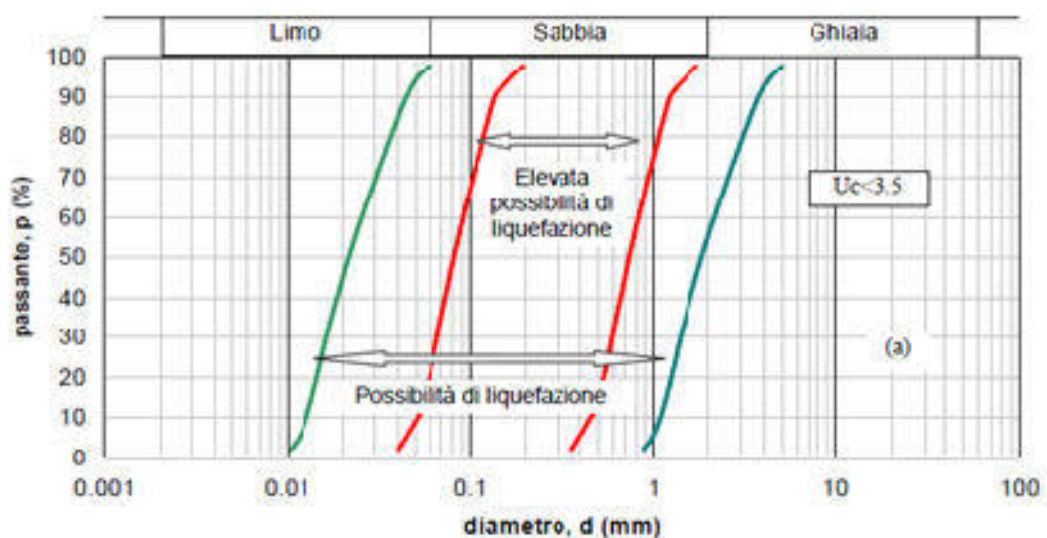
La liquefazione è un fenomeno associato alla perdita di resistenza al taglio o ad un accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni dinamiche (terremoti) che agiscono in condizioni non drenate.

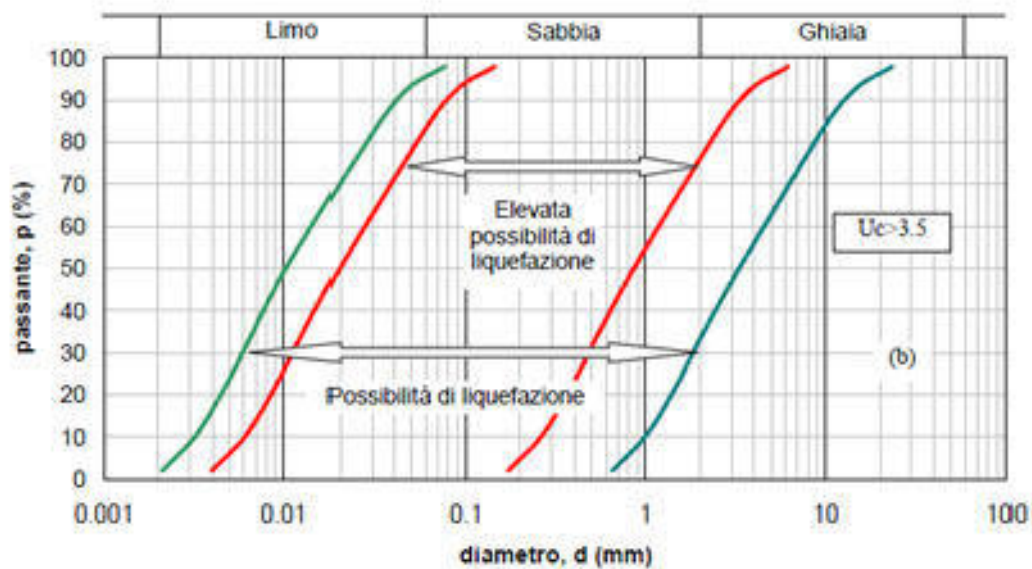
L'analisi della suscettibilità alla liquefazione di un dato sito dipende da:

- caratteristiche dell'azione sismica (intensità e durata);
- proprietà geotecniche dei terreni;
- caratteristiche litologiche dei terreni e profondità della falda.

La liquefazione di un deposito è dunque il risultato dell'effetto combinato di due principali categorie di fattori: le condizioni del terreno (fattore predisponente) e la sismicità (fattore scatenante). Ai sensi delle NTC18 (Cap. 7.11.3.4.2) la verifica della liquefazione può essere omessa qualora si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

1. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizione di campo libero)  $< 0.10g$ ;
2. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna;
3. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1n} > 180$ ;
4. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella *figura seguente* nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3.5$  e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c > 3.5$ .





*Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno per i terreni a granulometria uniforme (a) ed estesa (b).*

Per l'area in esame risulta:

- ✓ Accelerazione massima orizzontale  $a_{max}=0.152g$  ( $a_{max}$  da RSL);
- ✓ Magnitudo di riferimento  $M_W=6.14$  (zona sismogenetica più vicina è la 907 denominata "Bergamasco");
- ✓ Falda di calcolo = 4.5 m di profondità da p.c.

La natura litologica dei terreni sotto falda che costituiscono l'area in esame (limi-argillosi-sabbiosi, argille sabbiose e substrato roccioso arenaceo-conglomeratico – vedi sondaggio geognostico) consente di ritenere come nullo/trascurabile il rischio in relazione a potenziali fenomeni di liquefazione per i terreni di fondazione investigati (condizione di esclusione n. 4 prevista dalle NTC18).

## 8.0 CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI TERRENI

Per l'edificio scolastico in studio si è proceduto ad eseguire una campagna di indagini geognostiche costituite da sondaggi con prove SPT in foro e da prove penetrometriche dinamiche di seguito descritte atte a ricostruire il modello di terreno e i principali parametri geotecnici del medesimo.

### 8.1 Descrizione indagini – Sondaggio a carotaggio e con SPT.

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni costituenti il substrato interessato dall'edificio scolastico si è proceduto ad eseguire un sondaggio con recupero di campione (carota) spinto fino alla profondità di -10,00 m dal p.c. e di n°4 prove penetrometriche SPT a varie profondità per verificare la resistenza alla penetrazione del terreno e quindi determinarne l'angolo di attrito. **(vedi stralcio catastale con ubicazione indagini)**

Per l'esecuzione del sondaggio geognostico è stata utilizzata una sonda idraulica GEOMARC GM600 dotata di testa di rotazione a 4 velocità con coppia minima di 45 Kgm (45 giri/min) e massima di 803 Kgm (352 giri/min). La testa è munita di martello a percussione idraulica Demoter DM90.

Il tiro spinta teorico della sonda è pari a 5000 Kg.

L'attrezzatura di perforazione consiste in:

- aste di perforazione diam. 76 mm e peso 12 kg/m, lunghezza 1.5 e 3.0 metri;
- carotiere semplice diam. 101 mm e lunghezza 1.5 e 3.0 metri con corona a prismi al widia per pulizia finale del foro;
- carotiere doppio diam. 101 mm con corona diamantata;
- rivestimenti di diam. 127 mm;
- maglio per prove S.P.T. di fabbricazione Nenzi a sganciamento automatico con maglio di peso 63.5 kg ed altezza di caduta libera 76 cm;

Le operazioni di carotaggio avvengono nel seguente modo: all'asta di perforazione viene collegato un tubo campionario cavo chiamato carotiere, capace di contenere il terreno che viene carotato per avanzamento a secco per tratti successivi variabili da pochi decimetri al metro in funzione della densità o consistenza del terreno.

Nel substrato roccioso il carotaggio viene generalmente eseguito con carotiere doppio con eventuale utilizzo di corona diamantata.

Il risultato è una sequenza continua di prelievo di terreno chiamata "carote", a partire dal piano campagna sino alla profondità voluta; le carote vengono conservate in apposite cassette catalogatrici in plastica dotate di coperchio in scala 1:1. Il foro viene generalmente rivestito, ove necessario, con tubo metallico di diametro 127 mm a seguire per evitare il franamento.

Al termine del sondaggio, una volta recuperata la batteria di aste con l'utensile di perforazione, e recuperato i rivestimenti, si è proceduto a chiudere i fori e ripristinare il manto stradale.



La prova SPT si esegue durante la perforazione. Consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro una punta di dimensioni standard, collegata alla superficie mediante batteria di aste in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0,76 m.

Durante la prova si misura:

- $N_1$  = numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionatore per i primi 15 cm, assunti come tratto di "avviamento";
- $N_2$  = numero di colpi che provoca la penetrazione del campionatore nei successivi 15 cm;
- $N_3$  = numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:

$$N_{SPT} = N_2 + N_3$$

Le prove forniscono una valutazione diretta quantitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati.

Nelle indagini effettuate i valori di  $N_{SPT}$  effettuati con la punta conica (punta chiusa) sono stati ridotti secondo le indicazioni di Thorburn (1986).

Si rimanda all'allegato per la valutazione dei parametri geotecnici ricavati



**Foto 4:** perforatrice per sondaggio a carotaggio

## 8.2 Descrizione indagini – Prove penetrometriche dinamiche.

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi d) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di catalogare e parametrizzare il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura  $\alpha$ )
- avanzamento (penetrazione) d
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25



## **Penetrometri in uso in Italia**

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente  $M = 30$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $d = 10$  cm, punta conica ( $\alpha = 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A = 10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;

DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)

massa battente  $M = 20$  kg, altezza di caduta  $H = 0.20$  m, avanzamento  $d = 10$  cm, punta conica ( $\alpha = 60-90^\circ$ ), diametro  $D = 35.7$  mm, area base cono  $A = 10$  cm<sup>2</sup> rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)

massa battente  $M = 73$  kg, altezza di caduta  $H = 0.75$  m, avanzamento  $d = 30$  cm, punta conica ( $\alpha = 60^\circ$ ), diametro  $D = 50.8$  mm, area base cono  $A = 20.27$  cm<sup>2</sup> rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;

DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)

massa battente  $M = 63.5$  kg, altezza caduta  $H = 0.75$  m, avanzamento  $d = 20-30$  cm, punta conica ( $\alpha = 60^\circ-90^\circ$ ) diametro  $D = 50.5$  mm, area base cono  $A = 20$  cm<sup>2</sup>, rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Per la caratterizzazione geotecnica dei terreni costituenti il substrato interessato dall'edificio in studio sono state eseguite 2 prove penetrometriche spinte fino a rifiuto della punta. **(vedi stralcio catastale con ubicazione indagini)**

Per l'indagine è stata utilizzata una macchina "Pagani" TG63 su cingolato gommato.

La prova è di tipo DPSH (Dynamic Probing Super Heavy) consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni standard, infissa nel terreno per battuta, per mezzo di idoneo dispositivo di percussione. Viene registrato il numero di colpi necessari per l'infissione ogni 20 cm di affondamento.

Le prove forniscono una valutazione diretta quantitativa del grado di addensamento e di consistenza dei terreni attraversati.



**Foto 5:** penetrometro Pagani TG63 per SCPT

## 8.2 Descrizione del modello geotecnico

Per modello geotecnico s'intende uno schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni e delle rocce comprese nel volume significativo, finalizzato all'analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico (da NTC – D.M. 17/01/18).

Per la determinazione del modello geotecnico ci si è affidati alle risultanze del sondaggio a carotaggio che ha permesso di ricostruire nel dettaglio le litologie del sottosuolo e i risultati delle prove penetrometriche sia quelle effettuate in foro (SPT) che quella dinamica (SCPT) che hanno confermato l'omogeneità dei terreni nell'area dell'edificio con quanto rilevato dal sondaggio.

Di seguito si riportano gli schemi geologici ricavati dalle prove penetrometriche dinamiche con i principali parametri geotecnici. Per un maggior dettaglio si rimanda alla stratigrafia allegata

COMUNDE DI DARFO BOARIO TERME (BS)

Località: MONTECCHIO

Scala 1:100

Attrezzatura:

Quota della falda dal p.c.(m): -4,80

Data:

Sigla: P3\P1

Quota dal p.c.(m):

Profondità (m)	Colonna stratigrafica	DESCRIZIONE	Tau/Sigma	Modulo edometrico coesivi(kg/cmq)	Modulo di Young(kg/cmq)	Peso di volume naturale(t/mc)	Densità relativa (%)	Coesione non drenata(kg/cmq)	Angolo d'attrito(°)
0.40	0.40	Unità litologica (U1)	0.46	nc	486	2.16	85	nc	30
1.80		Unità litologica (U2)	0.17	nc	233	1.94	54	nc	27
2.20									
1.80		Unità litologica (U3)	0.1	nc	165	1.85	39	nc	29
4.00									
1.60		Unità litologica (U4)	0.04	nc	56	1.76	23	nc	22
5.60									
1.40		Unità litologica (U5)	0.13	nc	394	1.88	45	nc	29
7.00									
1.00		Unità litologica (U6)	0.01	nc	16	1.71	12	nc	19
8.00									
0.20	8.20	Substrato roccioso	0.65	nc	4181	2.16	85	nc	45

## 9.0 CONCLUSIONI

Su incarico del Comune di Darfo Boario Terme è stata redatta la seguente relazione geologica con parametrizzazione geotecnica dei terreni come richiesto dalle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni 2018 a supporto del progetto di fattibilità tecnico economica definitivo di adeguamento sismico della scuola primaria di Montecchio.

Per la definizione delle caratteristiche geologico-tecniche e delle condizioni geologico-morfologiche dell'area in studio si è provveduto a eseguire:

- un sopralluogo nell'area in esame,
- consultazione dello studio geologico a supporto del PGT del Comune di Darfo Boario Terme (L.R. n° 12/2005), depositato presso l'Ufficio Tecnico Comunale e scaricabile dal sito on line regionale.
- analisi dell'interferenza delle opere con la situazione geologica, geomorfologica, idrogeologica, sismica e geotecnica;
- individuazione delle caratteristiche dei terreni mediante l'esecuzione di uno stendimento simico di tipo MASW, la realizzazione di n° 1 prova penetrometrica dinamica e l'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo da 10 m con prove SPT in foro.

L'area entro cui ricade l'intervento è compresa nella perimetrazione dello Studio Geologico redatto a supporto del PGT come "**classe di fattibilità 2h,t**".

L'area entro cui ricade l'intervento è compresa parzialmente nella **Fascia C** del PAI e all'interno dell'area di conoide non recentemente attivatasi o completamente protetta (**Cn**).

L'area entro cui ricade l'intervento è compresa nello **scenario di esondazione H (frequente)** per quanto riguarda il Reticolo principale, mentre è ricompreso entro lo **scenario di esondazione L (raro)** per quanto riguarda il reticolo idrico secondario in base alla Direttiva Alluvioni revisione 2019

Per quanto riguarda lo scenario sismico il comune di Darfo Boario Terme è in classe 3 sismica e l'area oggetto di studio è classificata come **Z4a (soggetta a possibili amplificazioni litologiche)**

I risultati delle indagini geognostiche hanno evidenziato la presenza di materiali sciolti sabbioso limosi fino alla profondità di circa 8 m dal p.c. quindi è stato rinvenuto il substrato roccioso appartenente alla Formazione del Verrucano Lombardo I principali parametri sono di seguito riportati:

- Strato superficiale costituito da copertura in asfalto e materiale di sottofondo escluso;
- Entro i 4,0 m da p.c. materiali sabbioso limosi con angolo d'attrito 27/28° peso di volume 1,7/1,8 t/m<sup>3</sup>;

- Livello intermedio limoso poco addensato tra 4,5 e 5,0 m angolo d'attrito 22°/24° peso di volume 1,7t/m<sup>3</sup>;
- Livello sabbioso limoso ben addensato tra -5,0 e -7,5 m con angolo d'attrito di 28°/29° e peso di volume 1,8 / 1,9 t/m<sup>3</sup>;
- Livello limoso argilloso tra -7,5 e 8,1 m con angolo d'attrito 19° peso di volume 1,7 t/m<sup>3</sup>;
- Substrato roccioso Verrucano Lombardo, angolo d'attrito >35° peso di volume 2.2 t/m<sup>3</sup>

Le indagini geognostiche hanno altresì evidenziato la presenza della falda freatica che nell'area è posta a -4,80 m dal p.c. ma che a seconda delle stagioni e degli eventi meteorici tende a risalire per capillarità

Avendo provveduto all'analisi di 3° livello sarà cura dell'Ingegnere utilizzare la tipologia di suolo più idonea.

*La presente relazione è da intendersi quale svincolo di fattibilità.*

Malegno li 10/08/2020

Geol Davide Lombardi



**Allegati:**

1. **Stratigrafia Sondaggio;**
2. **Elaborazione prove in foro SPT;**
3. **Elaborazione prove penetrometriche;**
4. **Stralcio CTR;**
5. **Catastale con ubicazione indagini;**
6. **Stralcio Carta della Fattibilità Geologica**
7. **Stralcio Carta Geologica;**
8. **Stralcio Carta Idrografia superficiale;**
9. **Stralcio Carta Vincoli;**
10. **Stralcio Carta P.A.I.;**
11. **Stralcio Carta Direttiva Alluvioni**
12. **Stralcio Carta Pericolosità Sismica Locale**

# Geologo DAVIDE LOMBARDI

COMMITTENTE:	Comune di Darfo Boario Terme Bs	SONDAGGIO N°:	S 2
LOCALITA':	Scuola Elementare Montecchio	TIPO SONDA:	GEOMARC GM600C
IMPRESA ESECUTRICE:	GEOPROVE s.n.c.	PERFORAZIONE:	A carotaggio continuo
DATA:	30/07/2020	QUOTA p.c.:	da p.c. a - 10,00 m

0,00	Profondità ml	Spessore ml	Diam. carotiere	Rivestimento	Litologia	Descrizione litologica	% carotaggio	r.q.d.	Livello falda ml	Campione	S.P.T.			Pocket p. Kg/cmq	Vane test Kg/cmq	
											quota ml	colpi /cm				
												15	30			45
						Asfalto con sottofondo e materiale di riporto granulare										
	0.50	0.50				Terreno naturale argilloso limoso nocciola										
1,00	0.90	0.40				Limi argilloso sabbiosi. Colore rossi										
	1.50	0.60									-1.50	10	08	08		
2,00						Sabbie medie con qualche ciottolo con poca matrice limosa. Colore rosso										
3,00											-3.00	09	10	14		
4,00																
5,00	5.00	3.50									-4.50	01	03	03		
6,00						Limi sabbiosi arcillosi bagnati con ciototti nella parte terminale Colore rosso										
7,00	7.00	2.00									-7.00	10	08	09		
	7.60	0.60				Limi argillosi sabbiosi rossi										
	7.90	0.30				Argille sabbiose giallo vedognole										
8,00	8.10	0.20				Argille sabbiose rosse										
9,00						Substrato roccioso arenaceo conglomeratico. Colore Rosso vino. Verrucano Lombardo										
10,00	10.00	1.90														

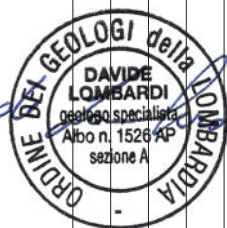
DAVIDE LOMBARDI

geologo specialista

Albo n. 1526 AP

sezione A

ORDINE DEI GEOLOGI della LOMBARDIA





<b>ANALISI PROVE SPT IN FORO</b>	Programma SPT - Standard Penetration Test
<b>PROVA PENETROMETRICA SPT n. S2</b>	
Committente:	COMUNE DI DARFO BOARIO TERME
Località:	SCUOLA ELEMENTARE MONTECCHIO
Data:	31/07/2020
W = peso del maglio:	63,5 Kg
H = altezza di caduta:	75 cm
Profondità della falda:	-4.8 m

#### VALORI DI N

z (m)	N <sub>1</sub>	N <sub>2</sub>	N <sub>3</sub>	N <sub>2+3</sub>	n	N <sub>60</sub>	C <sub>N</sub>	N <sub>1(60)</sub>
1.5	10	8	8	16	8	6	1.70	10
3.0	9	10	14	24	12	9	1.30	12
4.5	1	3	3	6	3	2	1.15	3
7.0	10	8	9	17	9	9	0.98	8

<b>N</b>	numero colpi originale
<b>N<sub>1-2-3</sub></b>	numero colpi rilevato a 15 30 e 45 cm
<b>n</b>	numero colpi dimezzato per uso punta chiusa
<b>N<sub>60</sub></b>	numero colpi corretto per l'energia di riferimento (60%)
<b>C<sub>N</sub></b>	fattore di correzione per la pressione litostatica (Liao & Whitman, 1986)
<b>N<sub>1(60)</sub></b>	numero dei colpi corretto per la pressione litostatica

#### CARATTERISTICHE GEOTECNICHE

z	Litologia	g	Id	F <sub>p</sub>	mu	M	E <sub>25</sub>	k
1.50	LIMI SABBIOSI	17.2	37	28.1	0.2275	8.7	7.8	10.83
3.00	LIMI SABBIOSI	18.5	40	29.2	0.241	12.1	9.5	11.24
4.50	LIMI SABBIOSI	16	19	23.8	0.115	3.8	2.7	0.51
7.00	LIMI SABBIOSI	17.6	34	28.2	0.2005	11.6	7.7	0.97

<b>z</b>	profondità (m)
<b>g</b>	peso di volume (kN/mc) - da Bruschi, 1998
<b>Id</b>	indice di densità (%) - da Kulhavy & Mayne, 1990 e Cubrinowski & Ishihara, 1990 - mediate
<b>f<sub>p</sub></b>	angolo d'attrito di picco (°) - da Schnertmann, 1975 e Hatanaka & Uchida, 1996 - mediate
<b>Su</b>	resistenza al taglio non drenata (kPa) - da Bruschi, 2004
<b>OCR</b>	grado di pre-consolidamento - da Mayne & Kemper, 1988
<b>mu</b>	coefficiente di Poisson - da Trautmann & Kulhawy, 1987
<b>M</b>	modulo confinato (MPa) - da Mayne & Frost, 1980 (incoerente) e Schultze & Menzenbach, 1961 (coesivi)
<b>E<sub>25</sub></b>	modulo di elasticità a livello operativo (25%)- da Jamiolkowski, 1988, Stroud, 1989 e dalla legge di decadimento del modulo - mediate
<b>k</b>	modulo di Winkler (Kg/cm) - da Terzaghi, 1983 (N<=10); Moayed, 2006 - Bruschi, 2011 (N>10)





Committente: COMUNE DI DARFO BOARIO TERME (BS)

Località: MONTECCHIO

Data:

Attrezzatura:

Note:

Quota(m): p.c.

Sigla: P3\I1

## Tabulato della prova

<i>Profondità (m)</i>	<i>N. colpi della punta misurato</i>	<i>N.colpi del rivestimento</i>	<i>N. colpi SPT equivalenti</i>	<i>N. colpi del rivestimento corretto</i>
0.2	30		45	
0.4	15		22	
0.6	8		12	
0.8	7		10	
1	8		12	
1.2	8		12	
1.4	9		14	
1.6	10		15	
1.8	9		14	
2	12		18	
2.2	15		22	
2.4	10		15	
2.6	8		12	
2.8	8		12	
3	6		9	
3.2	9		14	
3.4	6		9	
3.6	6		9	
3.8	7		10	
4	6		9	
4.2	4		6	
4.4	4		6	
4.6	4		6	
4.8	3		4	
5	4		6	
5.2	4		6	
5.4	3		4	
5.6	2		3	
5.8	10		15	
6	11		16	
6.2	11		16	
6.4	13		20	
6.6	10		15	
6.8	10		15	
7	9		14	
7.2	6		9	
7.4	2		3	
7.6	3		4	
7.8	3		4	
8	3		4	
8.2	50		75	

Committente: [COMUNE DI DARFO BOARIO TERME \(BS\)](#)

Località: MONTECCHIO

Data:

Attrezzatura:

Note:

Quota(m): p.c.

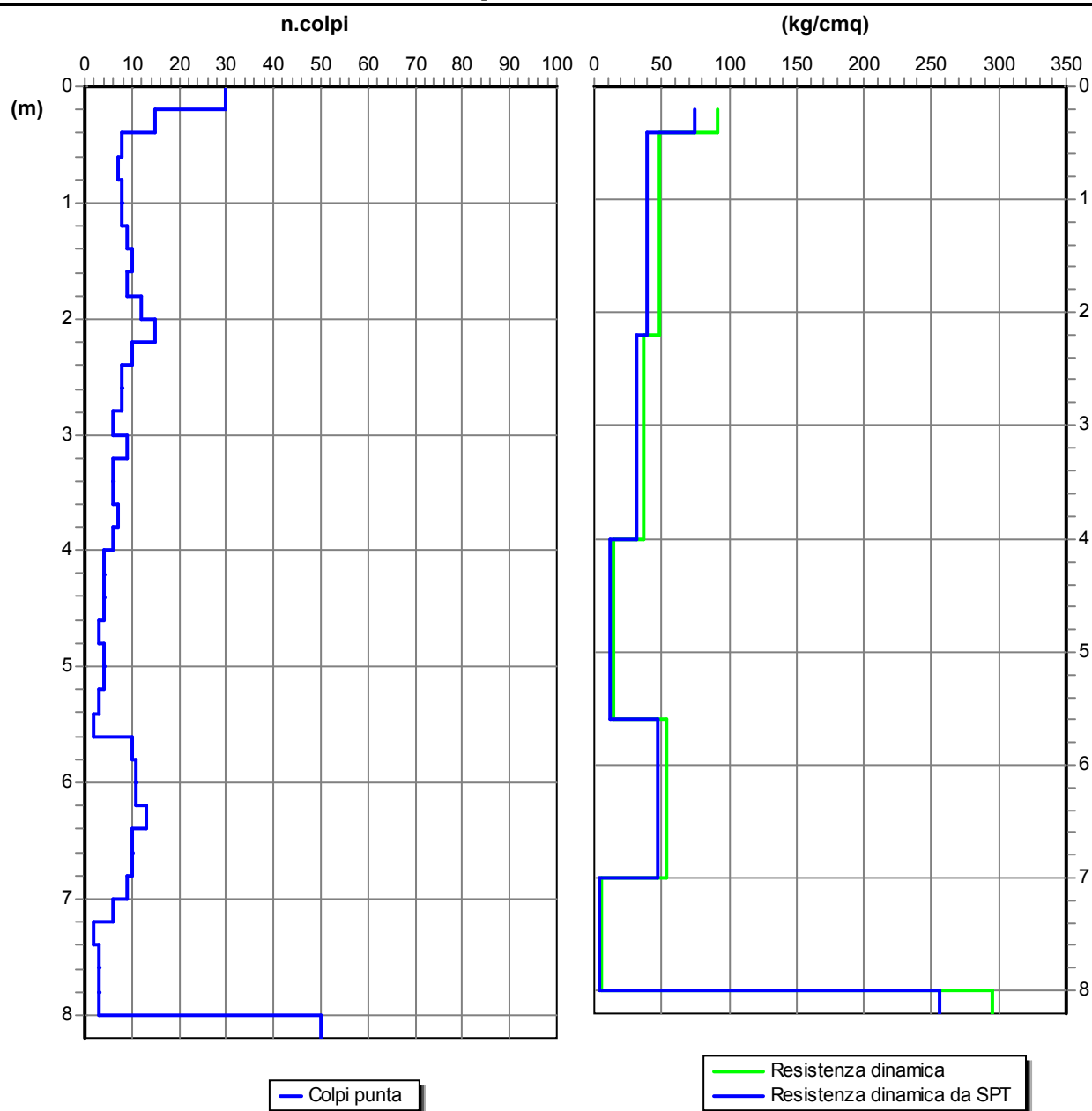
Sigla: P3|P1

Parametri geotecnici

Profondità base strato(m)	Nspt medio equivalente	Descrizione litologica dello strato	Velocità onde S (m/s)	Rapporto Tau/Sigma	Angolo d'attrito(°)	Peso di volume naturale (t/mc)	Densità relativa %	Modulo di Young (kg/cmq)	Mod.edo incoerenti (kg/cmq)	Coesione non drenata (kg/cmq)	Mod.edom. coesivi (kg/cmq)	O. C. R.	Mod. Pres.eff. dinamico a metà di taglio strato (kg/cmq)
0.4	15	Sabbia densa	84	0.46	30	2.16	85	486	107				416
2.2	9	Sabbia compatta	112	0.17	27	1.94	54	233	64				304
4	7	Sabbia compatta	128	0.1	29	1.85	39	165	50				261
5.6	3	Sabbia sciolta	121	0.04	22	1.76	23	56	21				155
7	13	Sabbia compatta	163	0.13	29	1.88	45	394	92				381
8	1	Sabbia sciolta	109	0.01	19	1.71	12	16	7				79
8.2	75	Sabbia molto densa	232	0.65	45	2.16	85	4181	533				1111

Profondità della falda (m): non rilevata







# STRALCIO CTR E ORTOFOTO AREA INTERVENTO S

SCUOLA PRIMARIA MONTECCHIO Comune di Darfo B.T. (Bs)

SCALA 1: 5.000

## COORDINATE POZZO IN PROGETTO

X: 1.592.560

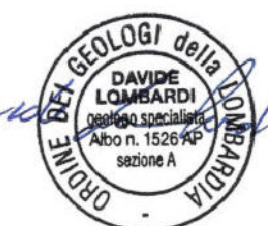
Y: 5.082.000

## QUOTA

226 m s.l.m.

## Legenda

03 AREA INTERVENTO





**ESTRATTO MAPAP CATASTALE CON  
UBICAZIONE INDAGINI**


SCUOLA PRIMARIA MONTECCHIO Comune di Darfo B.T. (Bs)


SCALA 1: 500



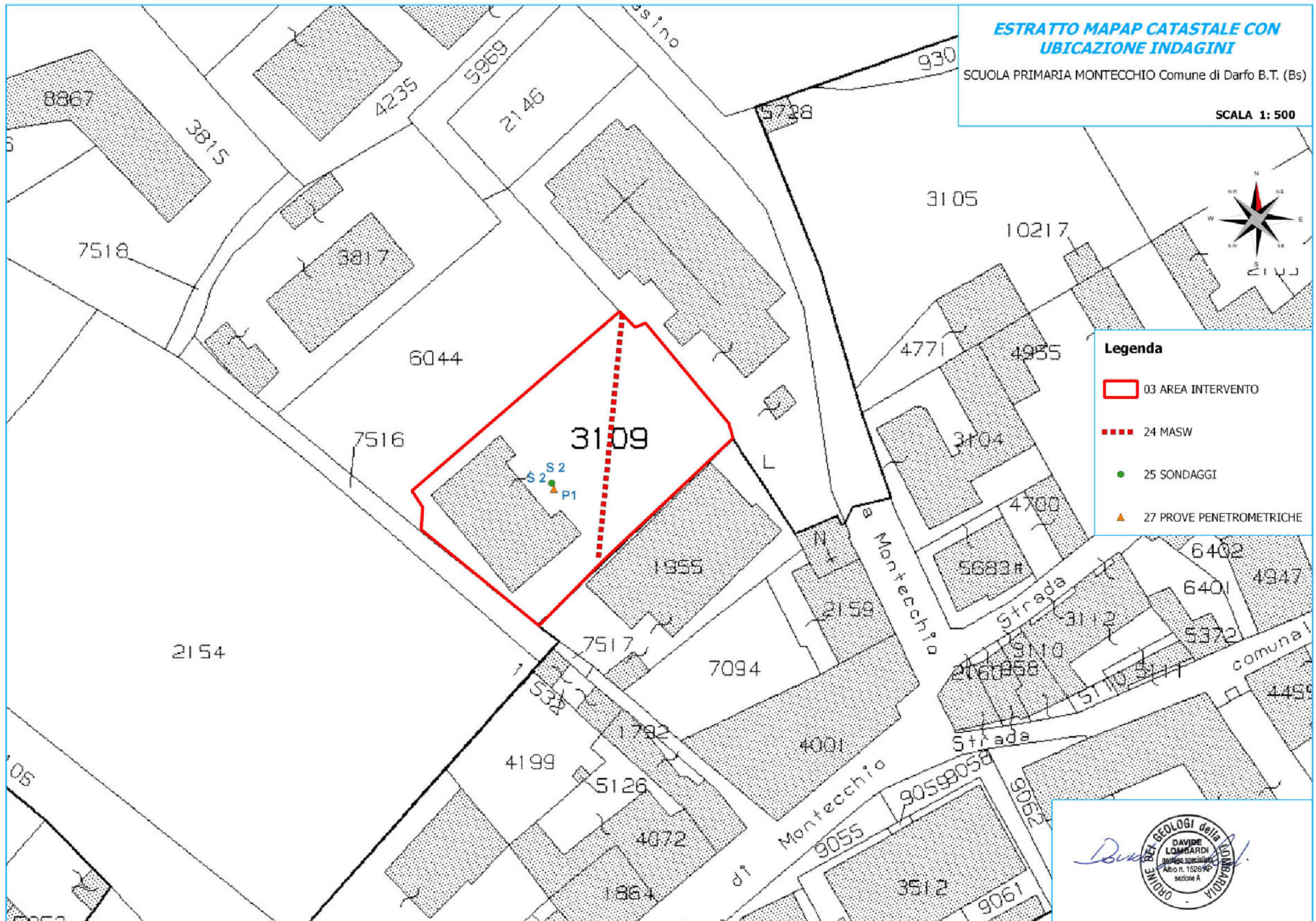
**Legenda**

 03 AREA INTERVENTO

 24 MASW

 25 SONDAGGI

 27 PROVE PENETROMETRICHE

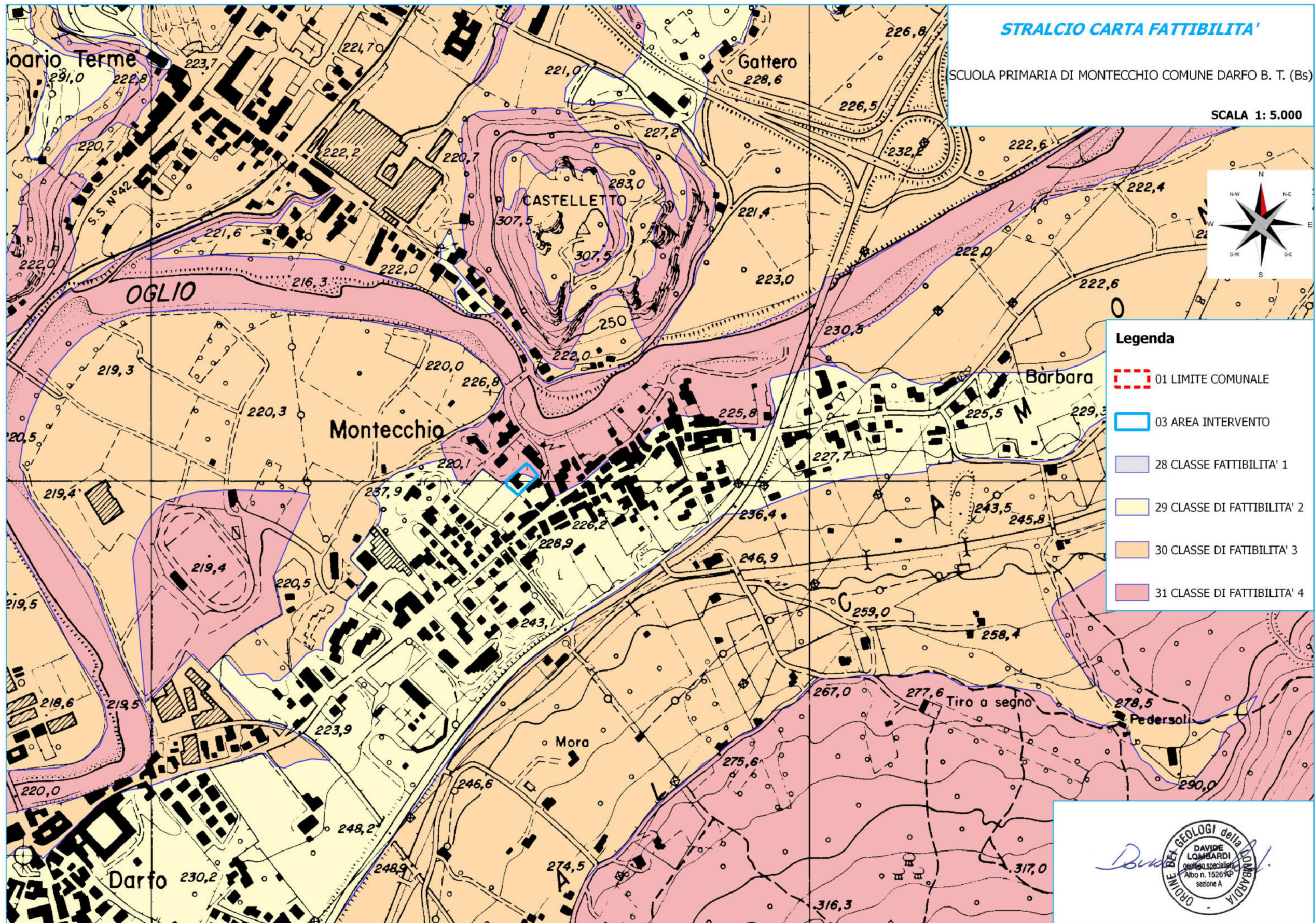




# STRALCIO CARTA FATTIBILITA'

SCUOLA PRIMARIA DI MONTECCHIO COMUNE DARFO B. T. (Bs)

SCALA 1: 5.000

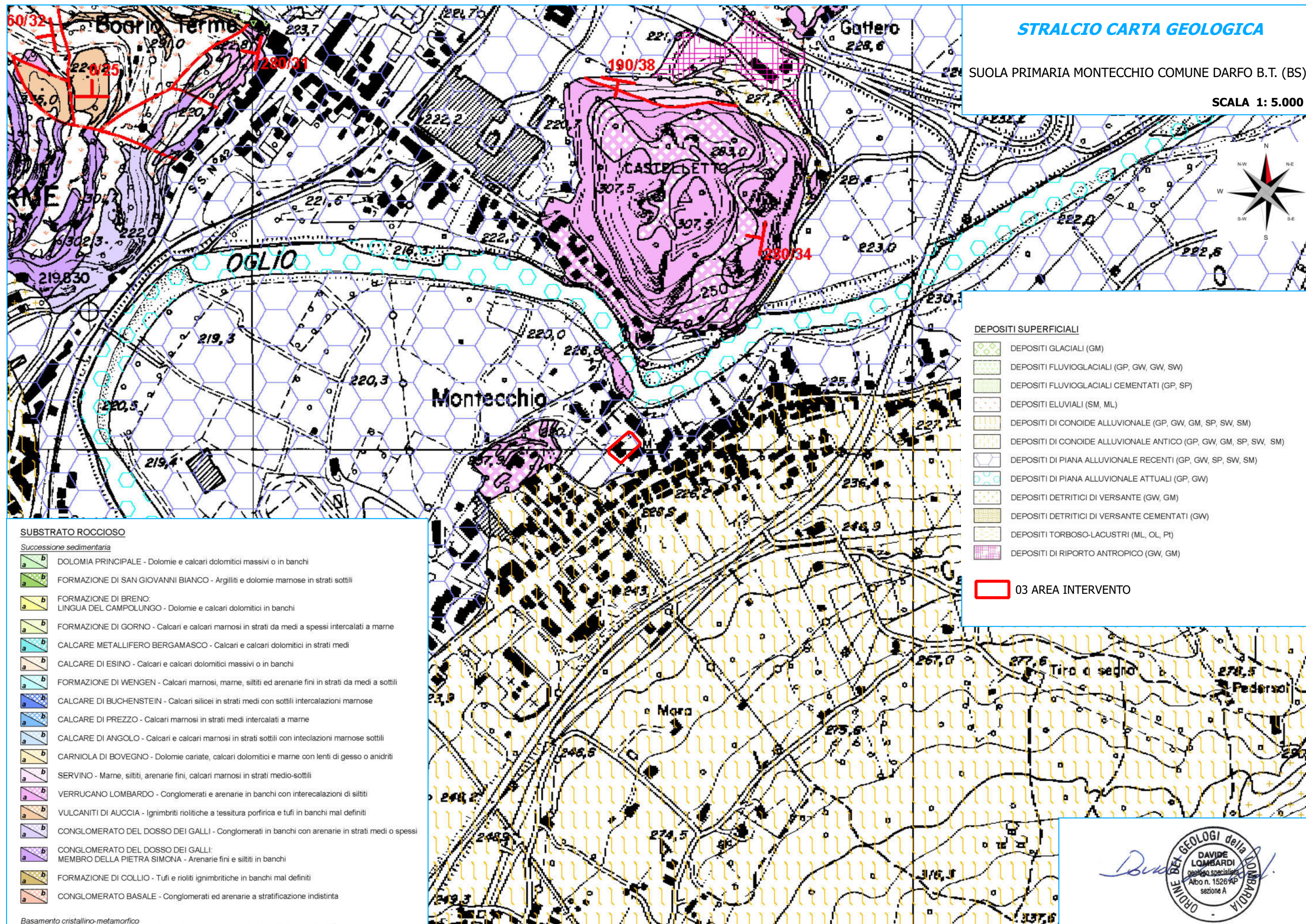




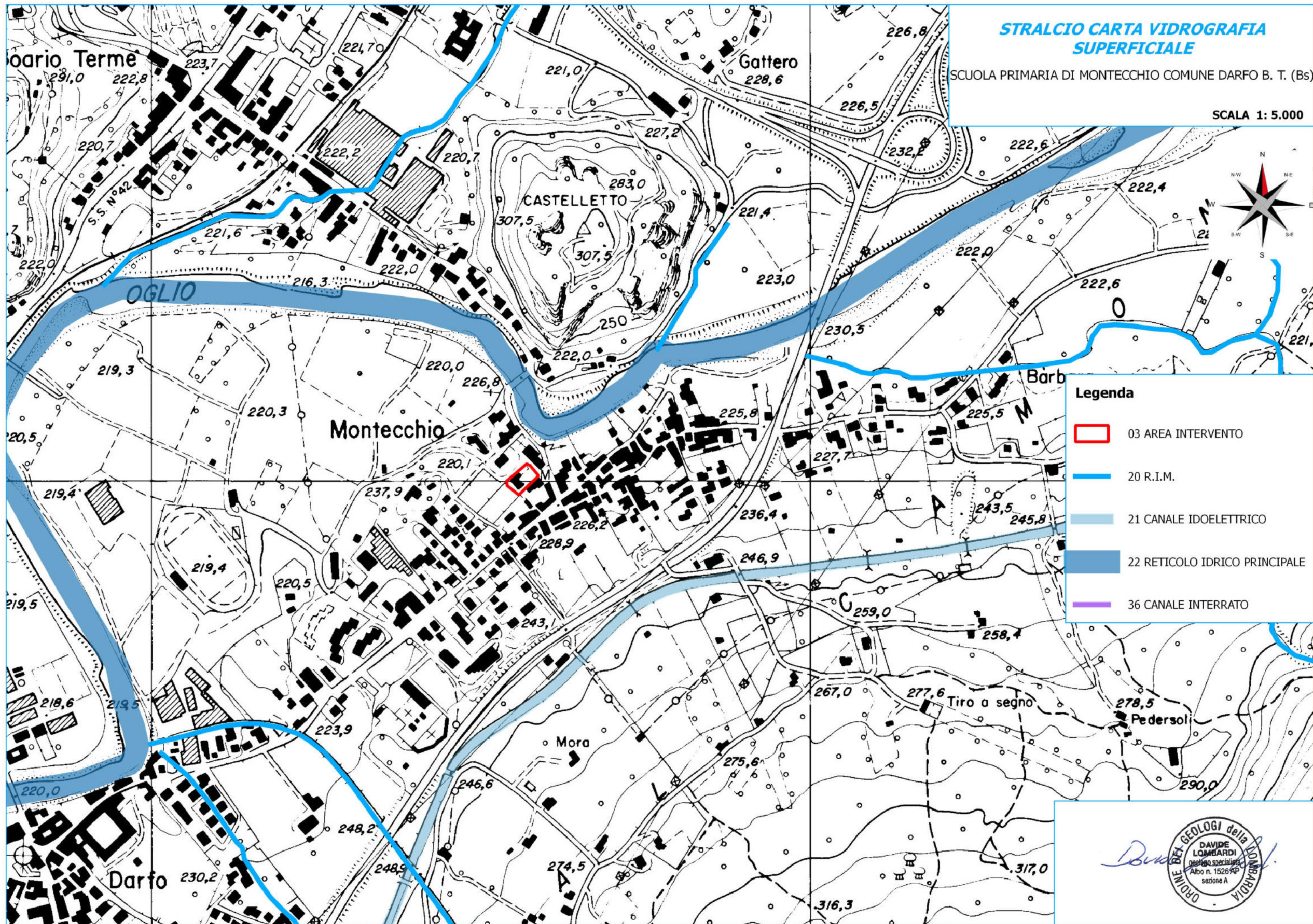
## STRALCIO CARTA GEOLOGICA

SUOLA PRIMARIA MONTECCHIO COMUNE DARFO B.T. (BS)

SCALA 1: 5.000





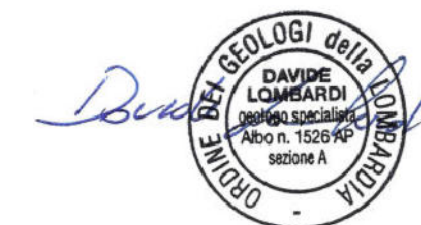
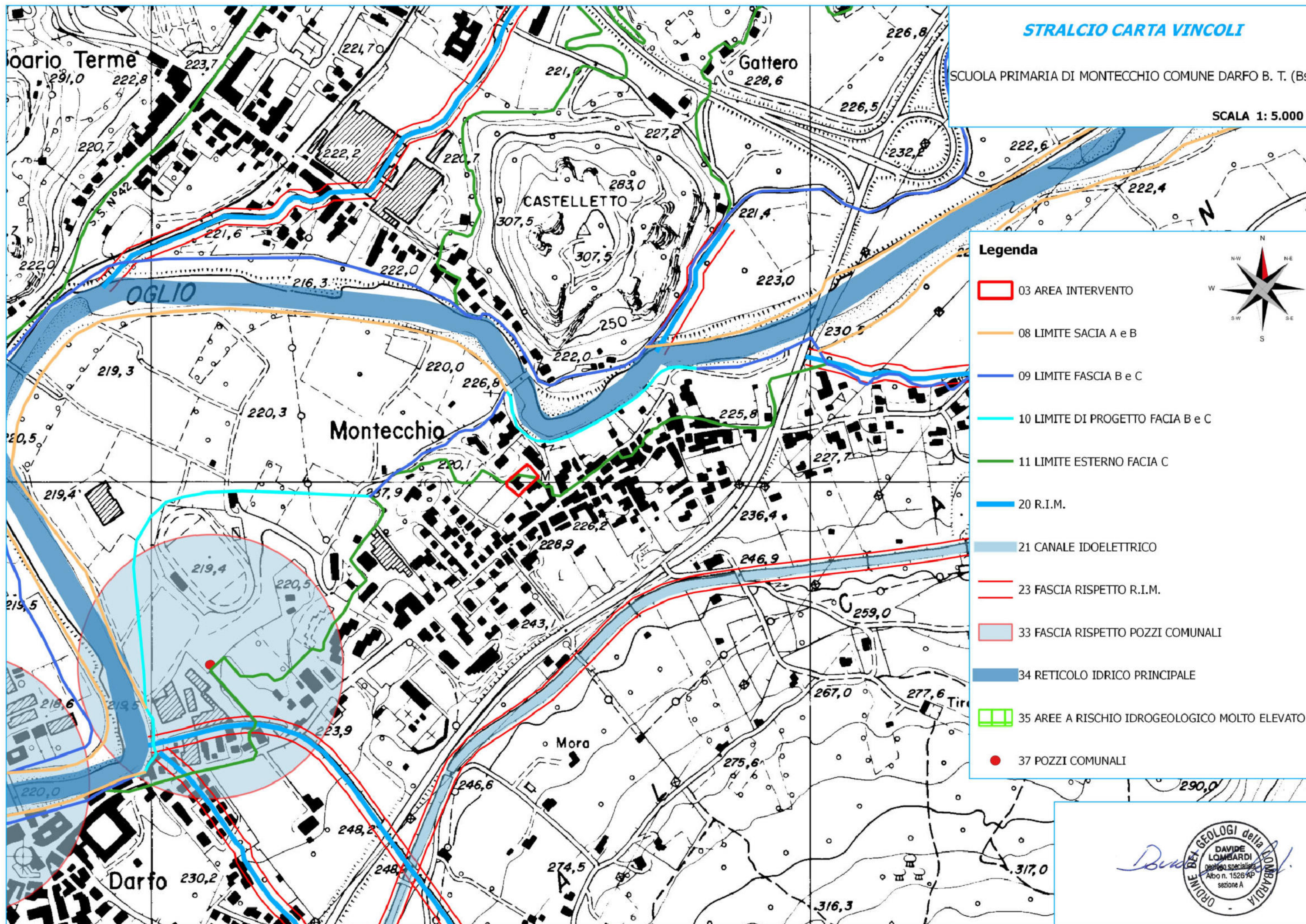




# STRALCIO CARTA VINCOLI

SCUOLA PRIMARIA DI MONTECCHIO COMUNE DARFO B. T. (Bs)

SCALA 1: 5.000

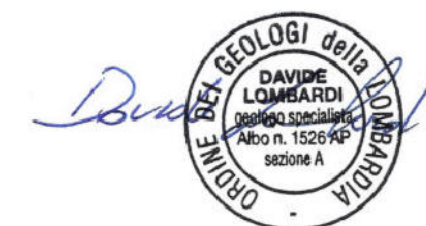
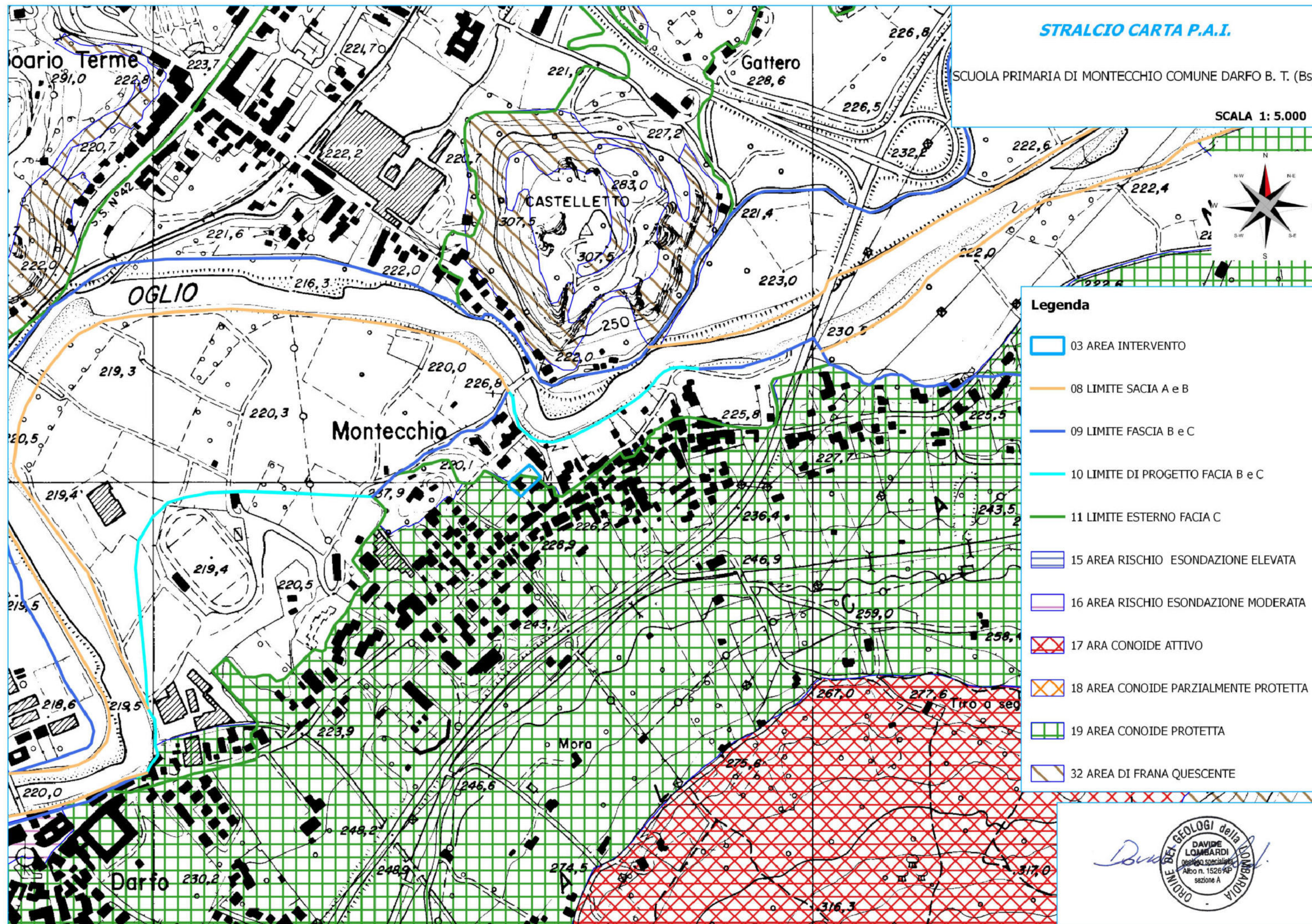




# STRALCIO CARTA P.A.I.

SCUOLA PRIMARIA DI MONTECCHIO COMUNE DARFO B. T. (Bs)

SCALA 1: 5.000





Pericolosità RP scenario frequente - H



Pericolosità RP scenario poco frequente - M



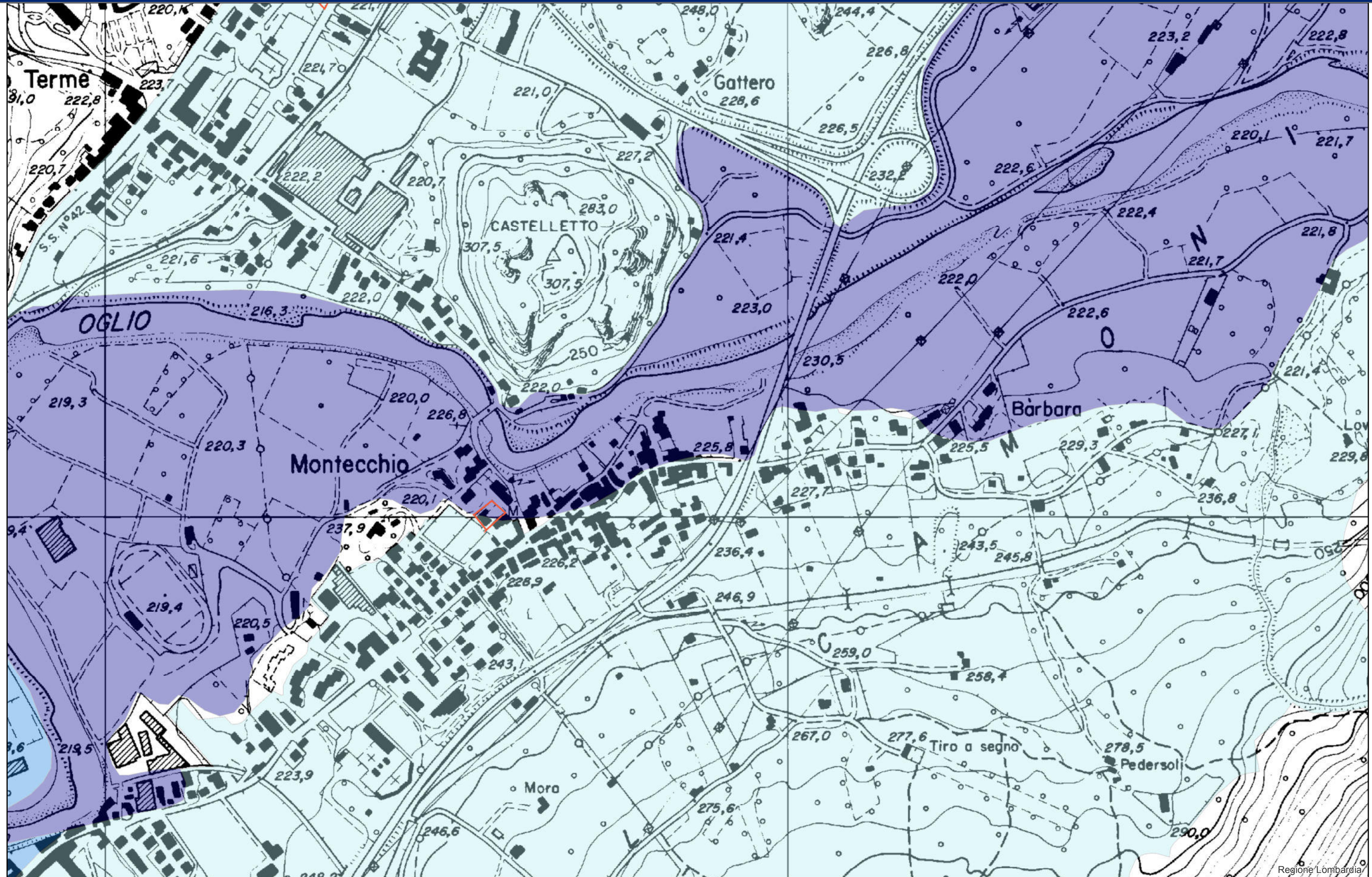
Pericolosità RP scenario raro - L



Pericolosità RSCM scenario raro - L





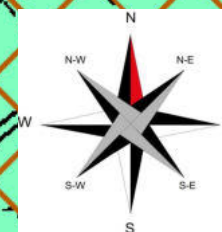




# STRALCIO CARTA PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

SUOLA PRIMARIA MONTECCHIO COMUNE DARFO B.T. (BS)

SCALA 1: 5.000



## LEGENDA

-  **Z1a** Zona caratterizzata da movimenti franosi attivi
-  **Z1b** Zona caratterizzata da movimenti franosi quiescenti
- Z1c** Zona potenzialmente franosa o esposta a rischio di frana:
  -  **Z1c'** Pareti rocciose interessate da fenomeni di crollo e crollo in massa e aree potenzialmente raggiungibili dai blocchi in caduta
  -  **Z1c''** Scarpate in depositi superficiali interessate da fenomeni di degradazione e aree potenzialmente interessabili dall'espandimento di tali fenomeni
  -  **Z1c'''** Aree con evidenti fenomeni carsici di superficie
-  **Z2** Zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti (riporti poco addensati, terreni granulari fini con falda superficiale)
-  **Z3a** Zona di ciglio H>10 m (scarpata con parete subverticale, bordo di cava, nicchia di distacco, orlo di terrazzo fluviale o di natura antropica)
-  **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
-  **Z4b** Zona pedemontana di falda di detrito, conoide alluvionale e conoide delitico-lacustre
-  **Z4c** Zona morenica con presenza di depositi granulari e/o coesivi (comprese le coltri loessiche)
-  **Z5** Zona di contatto stratigrafico e/o tettonico tra litotipi con caratteristiche fisico-meccaniche molto diverse
-  **03 AREA INTERVENTO**

con spessore > 3 m

