



PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA  
COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA  
DI I GRADO NOLI MARENZI

COMMITTENTE:  
AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI TELGATE

## RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO



*Febbraio 2022*

dott. geol. Alessandro Chiodelli



PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA  
SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

*RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO*

---

## INDICE

<b>1. PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2. INQUADRAMENTI AMBIENTALI.....</b>	<b>4</b>
<b>3. VINCOLI E DISPOSIZIONI DEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE ..</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Compatibilità con lo studio geologico comunale.....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Compatibilità con gli strumenti della pianificazione sovraordinata .....</b>	<b>12</b>
<b>4. MODELLAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE.....</b>	<b>13</b>
<b>5. MODELLAZIONE SISMO-STRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI     EFFETTI SISMICI DI SITO .....</b>	<b>15</b>
<b>5.1 Generalità .....</b>	<b>15</b>
<b>5.2 Indagini Masw – Remi .....</b>	<b>16</b>
<b>5.3 Modalità esecutive .....</b>	<b>23</b>
<b>5.4 Elaborazione .....</b>	<b>24</b>
<b>5.5 Risultati .....</b>	<b>24</b>
<b>5.6 Analisi di 2° livello .....</b>	<b>26</b>
<b>5.7 Risultati dell'analisi di 2° livello.....</b>	<b>29</b>



# PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

## *RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO*

### **1. PREMESSA**

La presente relazione geologica preliminare è stata commissionata dall'Amministrazione Comunale di Telgate (Bg) a supporto del progetto di demolizione e nuova costruzione della scuola secondaria di I grado Noli Marenzi di Via San Rocco a Telgate (Bergamo). La relazione si prefigge l'obiettivo di valutare la compatibilità dell'intervento di progetto in relazione all'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico, nonché definire il modello geologico del sito.

Si precisa che il Comune di Telgate, secondo la D.G.R. lombarda dell'11 luglio 2014 n. X/2129, è classificato nella zona sismica 3.



Fig. 1 – Ripresa satellitare dell'area di interesse (Google Earth, 2017)



# PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

## RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO

### 2. INQUADRAMENTI AMBIENTALI

#### 2.1 *Inquadramento geografico*

L'area di interesse, pianeggiante, è posta in posizione baricentrica al centro storico, quindi in contesto completamente urbanizzato, alla quota altimetrica è pari a circa 190 metri circa s.l.m.

L'esatta ubicazione del luogo di indagine è visibile, a seguire, nello stralcio della Carta Tecnica Regionale.

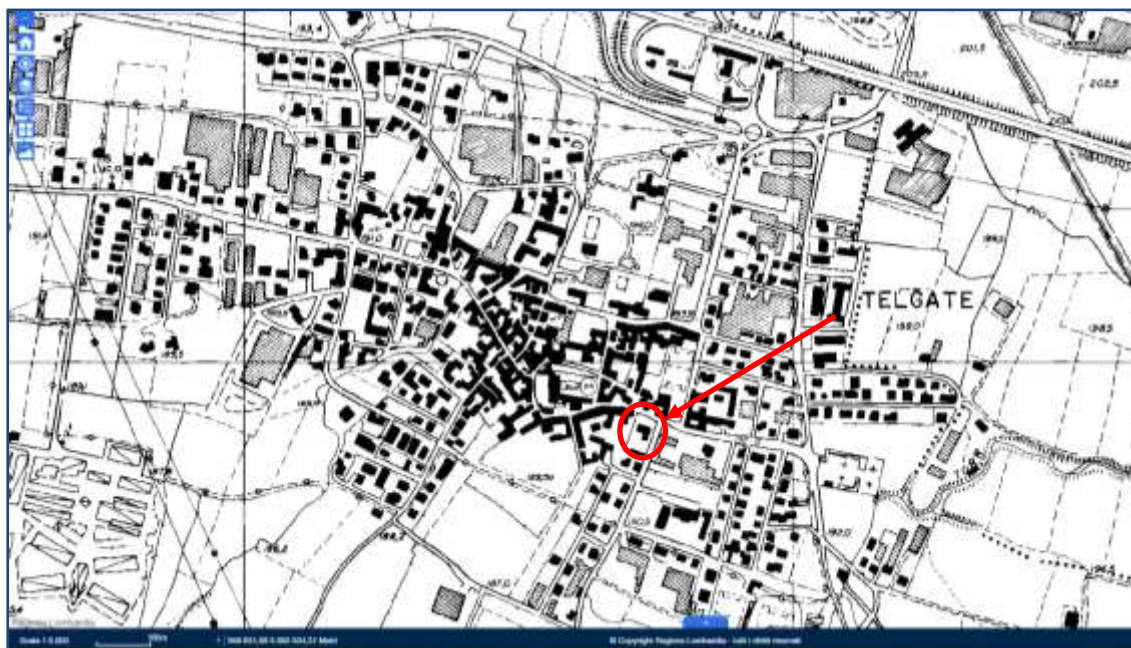


Fig. 2 - Stralcio C.T.R. lombarda (<http://www.geoportale.regione.lombardia.it/>)

#### 2.2 *Inquadramento geomorfologico*

Dal punto di vista geomorfologico, Telgate si colloca nell'ambito territoriale dell'Alta Pianura Bergamasca orientale, poco a sud delle ultime propaggini collinari orobiche. L'area di intervento si colloca in contesto antropizzato, pianeggiante, sostanzialmente privo di elementi e segni morfologici importanti. L'unico elemento degno di nota è rappresentato dall'inciso del Torrente Rillo, che decorre poco ad est del campo sportivo. A tal proposito, la Carta Geomorfologica dello studio geologico del P.G.T. (Studio G.E.A., novembre 2007) indica, in corrispondenza del campo sportivo, un orlo di terrazzo fluviale stabile, correlato proprio al Rillo. Si tratta, ad ogni modo, di un elemento morfologico antico, posto a congrua distanza dall'area d'interesse, che non presenta alcun carattere di instabilità, e che è del tutto ininfluenza ai fini dell'opera di progetto.

**DOTT. GEOL. ALESSANDRO CHIODELLI**

4

via Garibaldi, 4 - 24030 Mozzo (Bg)  
e\_mail: [alessandrochiodelli1973@gmail.com](mailto:alessandrochiodelli1973@gmail.com) - Cell. 338.9041561





## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO

#### 2.2 Inquadramento geolitologico

L'area di studio è caratterizzata dalla presenza di depositi superficiali quaternari. Non si registrano affioramenti di substrato roccioso.

Nella fattispecie, i terreni oggetto di indagine ricadono nell'unità nota nella nuova Carta Geologica d'Italia (Progetto CARG – Foglio 098 “Bergamo”) come Supersintema di Palazzago (PA), di età da pliocenica a pleistocenica.

Si riporta di seguito stralcio della nuova Carta Geologica d'Italia (Progetto CARG) tratta dal sito ISPRA, con breve descrizione litologica delle unità rilevate.

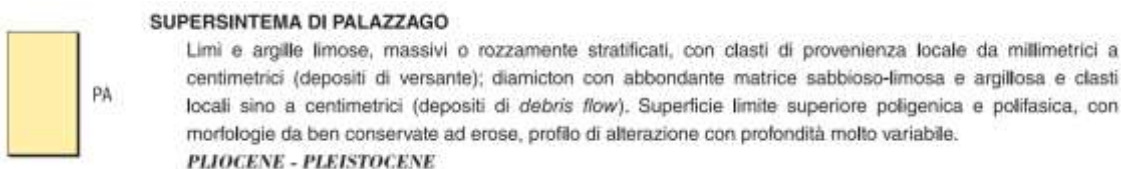
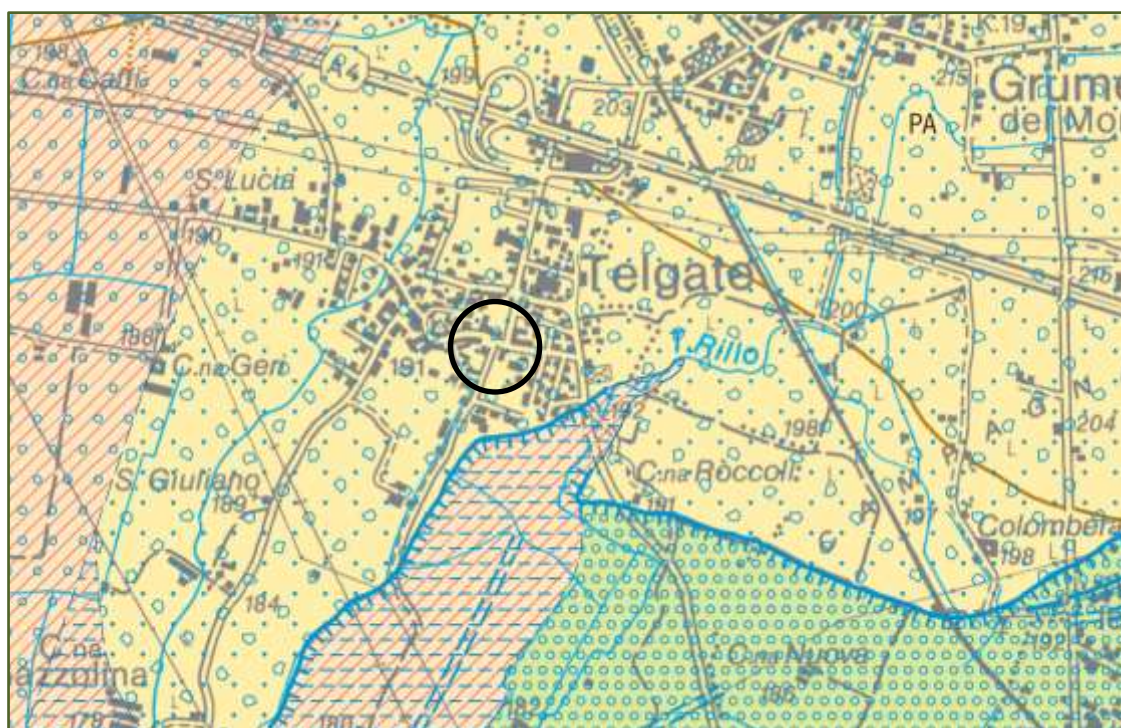


Fig. 3 – Stralcio della nuova Carta Geologica d'Italia – Progetto CARG centrata sul territorio di Telgate (indicata in rosso l'area di intervento)  
(dal sito ISPRA)

I depositi di conoide più antichi sono ascrivibili al Supersintema di Palazzago (PA) ed occupano la maggior parte del territorio di Telgate, soprattutto il centro urbano. Si tratta di depositi di *debris flow* costituiti da diamicton con abbondante matrice fine, con spessori



## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### *RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO*

---

di alterazione variabili.. Dal punto di vista tettonico, al di là del fatto che la presenza di eventuali lineamenti strutturali è indifferente ai fini dell'opera di progetto, l'area si colloca a sud della Flessura Pedemontana e a debita distanza da faglie o altri elementi potenzialmente interferenti.

### **2.3 Inquadramento idrogeologico**

L'assetto idrogeologico dell'area di studio e di un suo ragionevole intorno è desumibile sia da studi e pubblicazioni in bibliografia, sia dall'analisi dei pozzi già esistenti sul territorio, le cui stratigrafie sono consultabili presso la Provincia di Bergamo, all'interno dello studio geologico comunale o sul SITER della Provincia stessa.

Venendo alla situazione specifica del territorio di Telgate, è utile consultare le sezioni idrogeologiche contenute nello studio geologico del P.G.T., ricostruite mediante i dati dei pozzi esistenti sul territorio.

Le sezioni evidenziano la presenza di un potente livello acquifero superficiale, costituito da ghiaie e conglomerati, parzialmente saturo e soggetto a importanti disomogeneità laterali, cui segue un acquicludo piuttosto sottile formato da argille, limi e conglomerati con argilla. Il primo acquifero è talora noto anche come "litozona ghiaioso-sabbiosa superficiale", può avere spessori fino a 50-60 m e può comprendere livelli lenticolari di argilla, talvolta di significativi spessore e/o estensione. Al di sotto dell'acquicludo, quindi a notevole profondità, ricompaiono livelli acquiferi ghiaiosi e conglomeratici sedi di falde confinate. Questi livelli sono talvolta denominati "litozona conglomeratica" e raggiungono considerevoli profondità (anche 100 m); essi comprendono frequenti intercalazioni ghiaioso-sabbiose nonché, localmente, interstrati o lenti argillose.



## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO

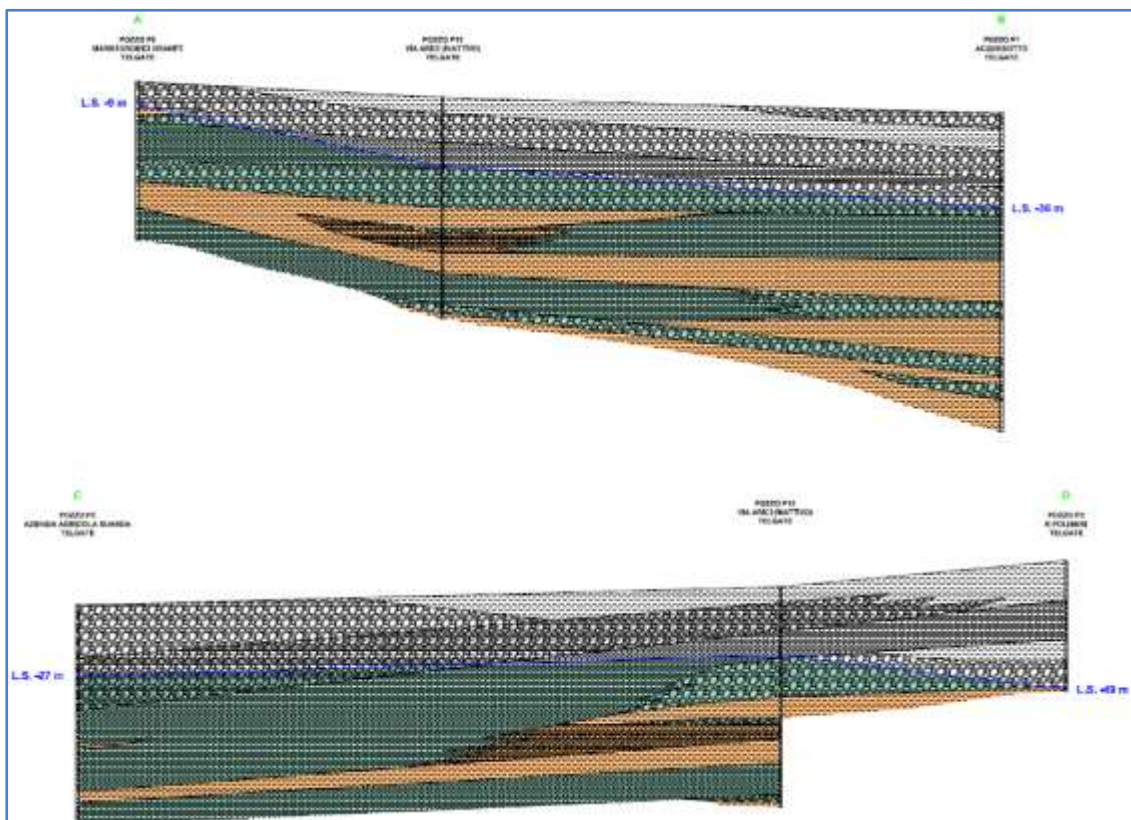


Fig. 4 – Sezioni Idrogeologiche dello studio geologico del P.G.T.  
(Studio G.E.A., novembre 2007)

Mediante l'analisi delle sezioni idrogeologiche indicate precedente è stato possibile delineare una configurazione idrostratigrafica di massima in corrispondenza dell'area di studio. Per raggiungere tale scopo è utile analizzare i pozzi più vicini al campo sportivo, che possono essere agevolmente identificati nella Carta Idrogeologica del P.G.T. comunale:

- P12: Pozzo dell'acquedotto pubblico di Via Arciprete Arici (inattivo)
- P2: Pozzo privato Brevi a nord-ovest del cimitero

Le stratigrafie dei due pozzi (tratte dall'Allegato I – Elenco Captazioni dello studio geologico del P.G.T. comunale, Studio G.E.A. novembre 2007) sono riportate di seguito.





# PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

## RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO

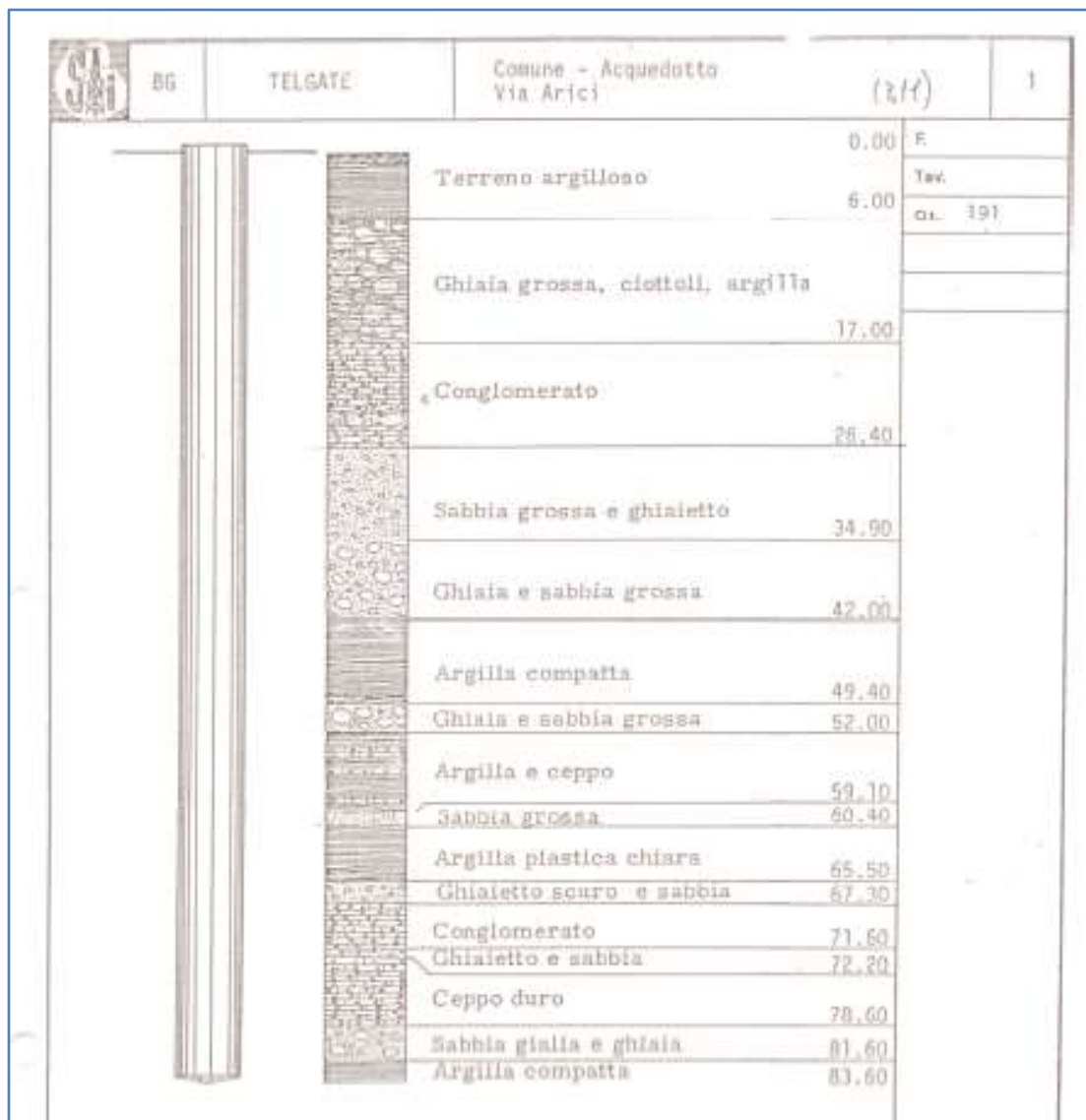


Fig. 5 – Stratigrafia del pozzo P12 tratta dallo studio geologico del P.G.T. comunale (Studio G.E.A., novembre 2007)

STRATIGRAFIA	
8 m – 15 m	Argilla e ghiaia
15 m – 29 m	Ghiaietto e sabbia
29 m – 32 m	Conglomerato
32 m – 36,50 m	Argilla
36,50 m – 90 m	Continue alternanze di conglomerato e argilla

Fig. 6 – Stratigrafia del pozzo P2 tratta dallo studio geologico del P.G.T. comunale (Studio G.E.A., novembre 2007)

**DOTT. GEOL. ALESSANDRO CHIODELLI**

8

via Garibaldi, 4 - 24030 Mozzo (Bg)  
e\_mail: alessandrochiodelli1973@gmail.com - Cell. 338.9041561





## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### *RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO*

Stando alla Carta Idrogeologica del P.G.T. comunale la quota piezometrica è compresa tra 140 e 150 metri s.l.m., corrispondente ad una soggiacenza della prima falda compresa grossomodo tra 40 e 50 m dal p.c. Ne deriva quindi l'assenza di interferenze tra futuro piano fondazionale del nuovo vano ascensore e la falda freatica.



Fig. 7 – Stralcio della Carta Idrogeologica del P.G.T. comunale  
Indicata in giallo l'area di intervento

Dall'analisi della Carta Idrogeologica risulta chiara la presenza di un asse di drenaggio sotterraneo orientato NWW-SEE in direzione del Fiume Oglio; la prima falda, infatti, è inclinata verso SEE con un gradiente idraulico abbastanza significativo.

La permeabilità del primo acquifero può essere considerata elevata, con valori indicativamente compresi tra 1 m/s (corrispondente alle ghiaie pulite) e  $10^{-3}$  m/s (corrispondente alle sabbie grossolane). Le porzioni conglomeratiche dell'acquifero possono presentare valori localmente inferiori, in funzione del grado di fratturazione.



### 3. VINCOLI E DISPOSIZIONI DEGLI STRUMENTI DI PIANIFICAZIONE

#### 3.1 Compatibilità con lo studio geologico comunale

Ai fini di verificare la compatibilità geologica dell'opera con il territorio, nonché l'eventuale presenza di vincoli o limitazioni, sono stati consultati gli elaborati dello studio geologico comunale disponibili, ed in particolare:

- Carta dei Vincoli
- Carta di Sintesi
- Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano
- Norme Geologiche di Piano

Per quanto concerne la Carta dei Vincoli non si registrano perimetrazioni direttamente interferenti.

La Carta di Sintesi suddivide il territorio comunale in base a diversi ambiti di criticità geologica. L'area è ricompresa all'interno delle *aree prevalentemente limoso-argillose con limitata capacità portante*, sottolineando pertanto una problematica geotecnica.

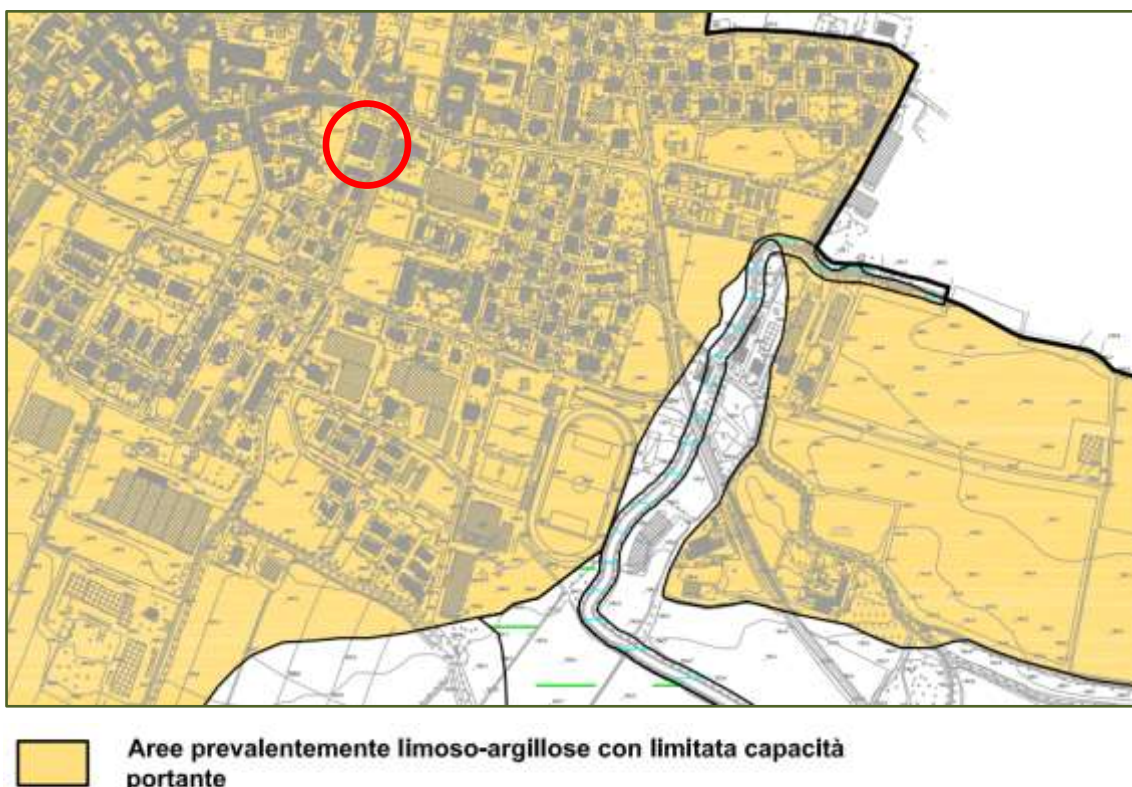


Fig. 8 – Stralcio della Carta di Sintesi dello studio geologico comunale  
Indicata in rosso l'area di intervento

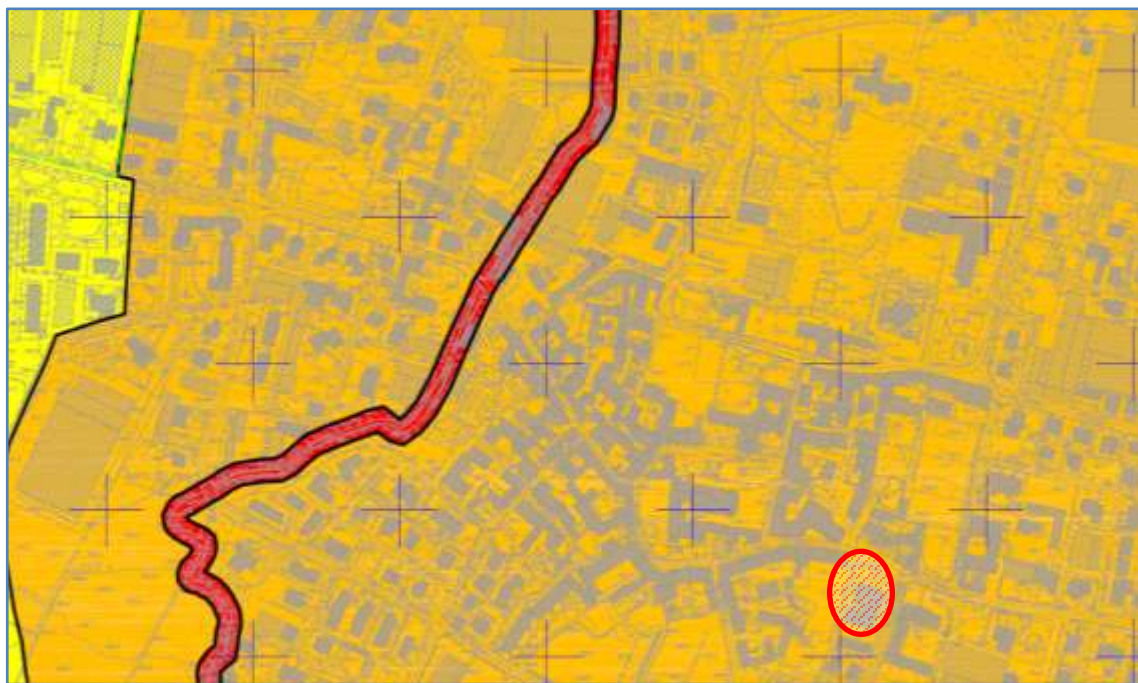




## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO

La Carta di Fattibilità delle Azioni di Piano discende direttamente dalla Carta di Sintesi. L'area è ricompresa entro la classe 3: “*Fattibilità con consistenti limitazioni*”, sottoclasse 3a per la presenza di limo-argilloso con limitata capacità portante.



#### **Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni**

3a - Aree prevalentemente limo-argillose con limitata capacità portante

3b - Aree con riporti di materiale, aree colmate

3c - Aree di possibile ristagno, torbose e/o paludose

Fig. 9 – stralcio della carta di fattibilità geologica dello studio geologico comunale (dott. Geol. A. Chiodelli, 2012)

Le Norme Geologiche di Piano della classe di fattibilità “3a”, definite nello studio geologico del P.G.T., dispongono quanto segue.



## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### *RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO*

---

#### **Sottoclasse 3a: aree prevalentemente limo-argillose con limitata portanza**

Si tratta di aree caratterizzate da terreni con proprietà geotecniche complessivamente scadenti (almeno negli orizzonti più superficiali).

Per la realizzazione di nuove opere ubicate in queste aree è obbligatoria l'esecuzione di un'adeguata campagna di indagini geognostiche, che si spinga al di sotto del piano di posa delle fondazioni e che interessi il volume significativo di terreno sul quale agisce il carico. L'indagine dovrà preferibilmente essere ubicata in corrispondenza dei punti di carico delle strutture di progetto. La tipologia fondazionale più adatta dovrà essere valutata dal progettista solo a seguito del risultato delle prove ed in funzione del tipo di struttura.

Si sottolinea che gli approfondimenti di cui sopra sostituiscono le indagini previste dal D.M. 14 settembre 2005 "Norme tecniche per le costruzioni".

### **3.2 Compatibilità con gli strumenti della pianificazione sovraordinata**

Oltre che con gli strumenti pianificatori di livello comunale, è necessario verificare la compatibilità degli interventi con alcuni strumenti della pianificazione sovracomunale di interesse geologico, ed in particolare:

- il Quadro del Dissesto P.A.I. aggiornato;
- le Fasce Fluviali del P.A.I.;
- la Direttiva Alluvioni (o Piano di Gestione del Rischio Alluvioni).

Dalla disamina eseguita, emerge che il sito d'intervento non interferisce con perimetrazioni del P.A.I. (dissesti e fasce fluviali), né del P.G.R.A.





#### **4. MODELLAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE**

Sulla scorta delle informazioni desunte dalla consultazione della documentazione tecnica disponibile, è possibile procedere alla modellazione geologica preliminare del sito, basata sulla documentazione bibliografica disponibile e sull'esperienza acquisita dallo scrivente in contesti limitrofi e litologicamente raffrontabili.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area di progetto si colloca in contesto antropizzato, pianeggiante, sostanzialmente privo di elementi e segni morfologici importanti. L'unico elemento degno di nota è rappresentato dall'inciso del Torrente Rillo, che decorre poco ad est del campo sportivo; tuttavia tale elemento, che è posto a congrua distanza dall'area d'interesse, non interferisce con l'opera di progetto.

I caratteri litologici salienti sono riconducibili alla presenza di depositi fluviali ascrivibili al Supersintema di Palazzago. Si tratta di depositi di debris flow costituiti da diamicton con abbondante matrice fine, con spessori di alterazione variabili.

Dal punto di vista strutturale, non sussistono elementi (faglie, sovrascorrimenti, pieghe) direttamente interferenti con le opere di progetto.

La falda freatica invece è posta a grande profondità dal p.c. (40-50 m), pertanto non determinerà alcuna interferenza con le opere di progetto.

In definitiva, i sopralluoghi e le informazioni desunte dalla documentazione tecnica disponibile non evidenziano particolari pericolosità geologiche interferenti col sito o col suo significativo attorno, in considerazione dell'entità e della natura delle opere. L'unica criticità da tenere in debita considerazione è quella legata alla corretta definizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni e dell'eventuale coltre di materiale alloctono, dotata di scadenti proprietà geotecniche, e che potenzialmente ammantava pressoché ubiquitariamente i depositi alluvionali.

I caratteri litostratigrafici locali, definiti in via del tutto preliminare e da accertare nelle successive fasi progettuali, sono schematizzati nella tabella proposta a seguire:



PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA  
SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

*RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO*

ORIZZONTE LITOTECNICO	PROFONDITÀ	LITOLOGIA
Livello R	Da 0 m a 1,50-3,0 m circa	antico suolo e/o terreno di riporto/rimaneggiato
Livello A	Da 1,50-3,00 m circa	Depositi alluvionali sciolti Ghiaie e sabbie con subordinati depositi fini e locali intercalazioni pluridecametriche di sabbie limose

Tabella 1 – Caratteri stratigrafici



## 5. MODELLAZIONE SISMO-STRATIGRAFICA E VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI SISMICI DI SITO

### 5.1 Generalità

L'O.P.C.M. n. 3274 del 23.03.2003 ha classificato l'intero territorio nazionale dal punto di vista sismico.

In seguito a delibera della Giunta regionale (10 ottobre 2014 – n. X/2129) è entrata in vigore la classificazione sismica del territorio, che ha attribuito al comune di Telgate la zona sismica 3.

zona sismica	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni [ $a_g/g$ ]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico [ $a_g/g$ ]
1	> 0.25	0.35
2	0.15 – 0.25	0.25
3	0.05 – 0.15	0.15
4	< 0.05	0.05

Tabella 2 – Accelerazioni orizzontali in funzione della zona sismica

Con la pubblicazione del D.M. 14 gennaio 2008 si definiscono i criteri definitivi per la classificazione sismica del territorio nazionale in recepimento del Voto n. 36 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 27 luglio 2007 (“Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale”); tali criteri prevedono la valutazione dell'azione sismica non più legata ad una zonazione sismica (“criterio zona dipendente”), ma definita puntualmente al variare del sito e del periodo di ritorno considerati, in termini sia di accelerazione del suolo  $a_g$  sia di forma dello spettro di risposta (“criterio sito dipendente”).

L'Allegato A al D.M. 14 gennaio 2008 prevede che l'azione sismica venga valutata in fase di progettazione a partire da una “pericolosità sismica di base” in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale. La suesposta metodologia viene confermata anche nelle N.T.C. 2018, laddove la pericolosità sismica



## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO

di un determinato sito deve essere descritta con sufficiente dettaglio sia in termini geografici che temporali, fornendo, di conseguenza i risultati:

- in termini di valori di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ( $F_0$  – valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale,  $TC^*$  – periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale);
- in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento (reticolo di riferimento) i cui nodi non siano distanti più di 10 km;
- per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno  $TR$  ricadenti in un intervallo di riferimento compreso almeno tra 30 e 2475 anni.

L'azione sismica così individuata deve essere variata in funzione delle modifiche apportate dalle condizioni sito-specifiche (caratteristiche litologiche e morfologiche); le variazioni apportate caratterizzano la risposta sismica locale.

I valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $TC^*$  sono consultabili sul sito: <http://esse1.mi.ingv.it/>.

## 5.2 Indagini Masw – Remi

### 5.2.1 Premessa e quadro normativo

La normativa nazionale (NTC08) introduce una classificazione dei suoli per la definizione dell'azione sismica di progetto. Tale classificazione distingue tra 5 categorie principali (dalla A alla E) alle quali sono aggiunte altre 2 (S1 ed S2) per le quali è richiesta l'effettuazione di studi di dettaglio per la valutazione, in fase di progettazione esecutiva, dell'azione sismica da considerare.

Tale classificazione si basa principalmente sulla conoscenza del valore del parametro  $V_{S30}$  che rappresenta il valore medio della velocità di propagazione delle onde di taglio (S) entro i primi 30 metri di profondità.

Il valore di  $V_{S30}$  viene calcolato mediante la seguente espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} h_i/V_i}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio  $\gamma < 10^{-6}$ , per deformazioni piccole e nel campo delle





## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### *RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO*

---

deformazioni elastiche) dello strato i-esimo per un totale degli N strati riconosciuti nei primi 30 metri di sottosuolo a partire dalla superficie.

La determinazione del valore delle onde di taglio negli strati superficiali, assieme ad una dettagliata ricostruzione stratigrafica del sottosuolo, è ritenuta fondamentale per valutare sia gli effetti legati allo scuotimento indotto dal sisma sul terreno (fenomeni di liquefazione, fenomeni di dilatanza o di addensamento, instabilità di versanti, collasso di cavità sotterranee) che la conseguente risposta del sottosuolo (fenomeni di amplificazione sismica legati sia ad effetti morfologici che litologici, presenza di faglie attive).

In seguito ai fenomeni di rifrazione/diffrazione che si verificano in corrispondenza di ogni contrasto d'impedenza lungo la direzione di propagazione dei fronti d'onda (a partire dalla sorgente sismica), le onde di taglio che raggiungono la superficie topografica, risultano pressoché verticali determinando così in tale punto spostamenti orizzontali rilevanti ai fini della stabilità delle costruzioni.

Nel panorama legislativo si ricorda inoltre la normativa regionale lombarda, la D.G.R. 8/1566 del 22 dicembre 2005. In tale normativa, una tra le prime del genere nel panorama nazionale, viene stabilita la metodologia per la definizione della componente sismica a livello comunale da attuare in fase di pianificazione territoriale.

Le tecniche per la determinazione della velocità delle onde sismiche di taglio sono diverse, si distinguono principalmente tra tecniche di tipo diretto/indiretto e tra tecniche di tipo attivo/passivo.

Nessuna tecnica è in grado di garantire la completa affidabilità nella determinazione dei parametri dei terreni presenti nel sottosuolo, occorre pertanto appoggiarsi ad informazioni di tipo stratigrafico per poter interpretare correttamente le informazioni deducibili dall'interpretazione dei dati delle campagne d'indagine.

#### *5.2.2 Introduzione alla teoria dell'analisi delle onde superficiali*

I metodi di misura delle onde di superficie (onde di Rayleigh) si basano sull'analisi del fenomeno della dispersione delle stesse nei primi strati di terreno.

Le onde superficiali (Rayleigh e Love) si propagano solamente se c'è una superficie libera e risultano rispettivamente composte da onde di compressione e onde di taglio. Esse possiedono un fronte d'onda che cresce linearmente con la distanza percorsa (r) e si



## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### *RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO*

attenuano in minor misura rispetto a quelle di volume (il loro fronte d'onda cresce con  $r^2$ ) ciò consente di investigare facilmente il sottosuolo. La profondità massima d'indagine è uguale a circa  $1/3$  della lunghezza d'onda: per questo motivo vengono usati geofoni con bassa frequenza di funzionamento, ovvero per rilevare lunghezze d'onda lunghe che consentano di approfondire l'indagine; allo stesso tempo vengono effettuate registrazioni di lunga durata per poter migliorare la risoluzione dei risultati.

I diversi metodi si dividono in base al tipo di sorgente utilizzata: nel caso di registrazione di rumore "naturale" si parla di metodo dei Microtremori (o REMI), il caso di sorgente "attiva" è invece definito metodo MASW (Multi Channel Analysis Surface Waves). Quest'ultimo rappresenta l'evoluzione del metodo SASW, dal quale differisce per l'uso di un dispositivo di acquisizione multicanale rispetto al singolo canale, aspetto che comporta un netto miglioramento in termini di precisione e affidabilità dei risultati.

I due metodi MASW e REMI, se applicati congiuntamente, incrementano l'affidabilità del modello geofisico interpretativo finale del sottosuolo.

#### *5.2.3 Metodi passivi: Microtremori*

La tecnica di Refraction Microtremor (ReMi) è una metodologia di tipo indiretto e passivo e consente di determinare la velocità delle onde di taglio attraverso la registrazione degli arrivi delle onde superficiali su stendimenti di tipo lineare e ipotizzando che non vi sia un'orientazione preferenziale di provenienza del rumore. A differenza della classica sismica a rifrazione la tecnica dei microtremori non necessita di andamenti crescenti della velocità delle onde sismiche con la profondità o di forti contrasti di propagazione dei vari strati incontrati per discernere i diversi limiti, ma può individuare anche incrementi graduali di velocità e fenomeni di inversione.

Le tecniche di tipo passivo sono in grado di operare anche in contesti urbani rumorosi e ristretti, inoltre non necessitano di energizzazioni del terreno ma si basano più semplicemente sul principio di effettuare una registrazione prolungata di treni d'onda superficiali in arrivo prodotti da sorgenti naturali o antropiche non controllate.

Vista la più ridotta attenuazione che caratterizza le onde superficiali rispetto a quelle di volume durante la propagazione nel sottosuolo, con questa tecnica si può raggiungere



## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO

profondità d'indagine sino al centinaio di metri impiegando le normali attrezzature utilizzate per la sismica a rifrazione.

L'interpretazione dei segnali registrati lungo uno stendimento (x-t) avviene attraverso un processo di trasformazione che analizza l'energia di propagazione del rumore in entrambe le direzioni della linea sismica ed è in grado di generare uno spettro di velocità in un dominio di lentezza ( $p=\text{slowness}=1/V_{\text{fase}}$ ) su frequenza.

Sul diagramma (p/f) così prodotto è visibile la distribuzione della densità spettrale; al modo fondamentale di dispersione delle onde superficiali.

La dispersione è una deformazione di un treno d'onde dovuta ad una variazione di propagazione di velocità con la frequenza. Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità rispetto a quelle a frequenza maggiore, per un dato modo, e presentano più elevate velocità di fase. La fase di dispersione delle onde superficiali è riconoscibile ad una nuvola di energia di "normal modes" ben individuabile sul grafico; tale nuvola scende gradualmente dagli orizzonti più veloci caratterizzati da alte velocità di fase (bassa lentezza) e basse frequenze (alti periodi – onde più profonde), verso velocità di fase più basse (elevata lentezza) individuabili a più elevate frequenze (tipiche degli strati superficiali più lenti)

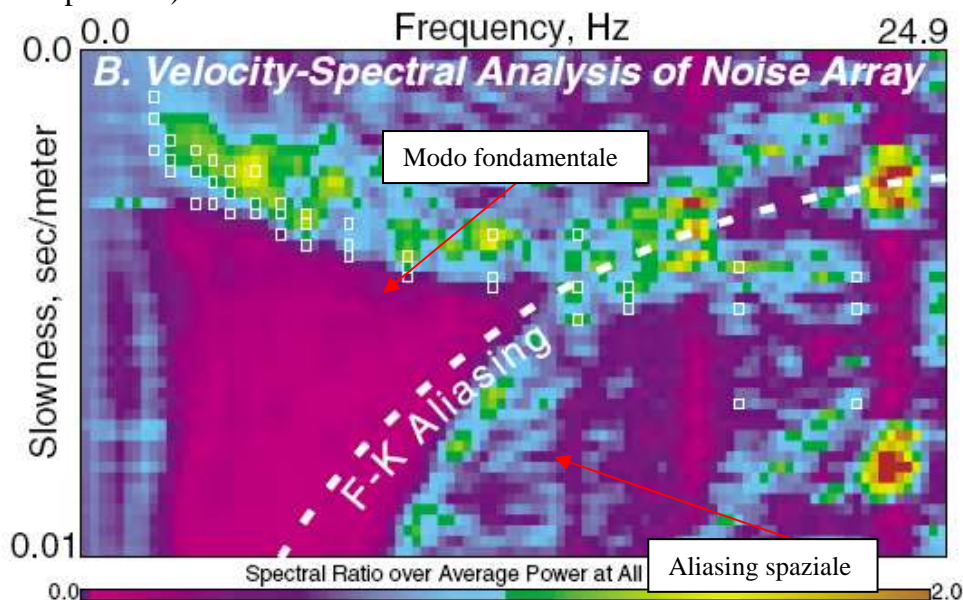


Fig. 10: Esempio di diagramma spettrale p-f. (da Louie 2001)

Nell'immagine sopra appaiono evidenti i trend che possiedono sia una spiccata coerenza di fase che una potenza significativa, al centro dell'immagine è possibile riconoscere il



modo fondamentale delle onde di Rayleigh che si distingue da altri arrivi riconducibili alle onde di Rayleigh di ordine superiore o a onde di volume o a spostamenti d'aria o ancora a rumore incoerente.

Una volta individuato il modo fondamentale delle onde superficiali, l'operatore in base all'esperienza acquisita, traccia per punti (picking) la curva di dispersione sperimentale. L'allineamento di punti così individuato viene ridisegnato su un diagramma periodo-velocità di fase per l'analisi della curva di dispersione e delle relative curve di incertezza.

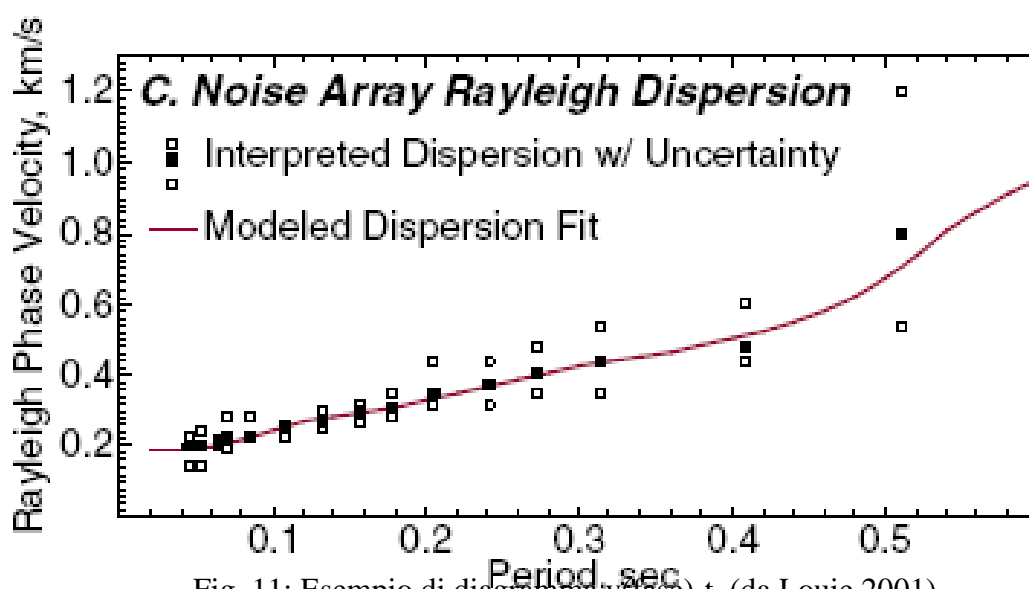


Fig. 11: Esempio di diagramma  $v(\text{fase})-t$ . (da Louie 2001)

Il passo successivo consente di ottenere dalla curva delle velocità delle onde di Rayleigh, periodo- $V(\text{fase})$ , una curva dell'andamento delle  $V_s$  con la profondità ed associare alla curva sperimentale così determinata, un profilo stratigrafico. La curva di dispersione sperimentale viene quindi confrontata con curve di dispersione teoriche alle quali sono associati modelli fisici del sottosuolo sino ad ottenere interattivamente la convergenza tra modello teorico e sperimentale.

Il risultato è quello di ottenere per ogni stendimento sismico un profilo verticale del valore medio delle  $V_s$  relativo al volume di sottosuolo indagato. Più stendimenti allineati consentono la ricostruzione di una sezione 2D trasversale ad esempio ad una valle per verificare la variabilità laterale delle velocità delle  $V_s$ .





## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### *RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO*

---

#### 5.2.4 *Metodi attivi: MASW*

I metodi “attivi” consistono nel registrare le vibrazioni indotte artificialmente da una sorgente rappresentata da una massa battente o, nel caso si necessiti di forte energia, da un fucile sismico. L’energizzazione del terreno in superficie induce la propagazione di onde superficiali a partire dal punto di sollecitazione dinamica registrate poi dalla catena di geofoni (metodo MASW). Tale tecnica consente di dettagliare la risposta e le proprietà dinamiche soprattutto nei primi metri di terreno, perdendo capacità risolutiva col progredire della profondità.

Le registrazioni in campo consentono di calcolare l’andamento delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza ( $V(\text{fase})/\text{frequenza}$ ), successivamente, attraverso un’elaborazione per fasi (processo di inversione della curva di dispersione) si ricava l’andamento delle velocità delle onde di taglio con la profondità a partire dalla superficie (modello preliminare del sottosuolo).

Il modello d’interpretazione si basa sul presupposto teorico ideale della presenza nel sottosuolo di strati orizzontali sovrapposti di spessore costante. Il risultato alla quale si giunge rappresenta l’andamento medio del valore della velocità delle onde di taglio in corrispondenza della zona centrale della linea sismica.

L’elaborazione consiste nel ricavare, a partire dalle registrazioni in campo, l’andamento delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza e quindi il modello di velocità in funzione della profondità.

Nell’immagine che segue è riportato un esempio di diagramma velocità (di fase)/frequenza. In esso sono evidenti le direttrici di maggior potenza e con coerenza di fase: nell’immagine è possibile riconoscere il modo fondamentale delle onde di Rayleigh che si distingue da altri arrivi riconducibili alle onde di Rayleigh di ordine superiore o a onde di volume, o a spostamenti d’aria o ad altre forme di rumore incoerente.



## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO

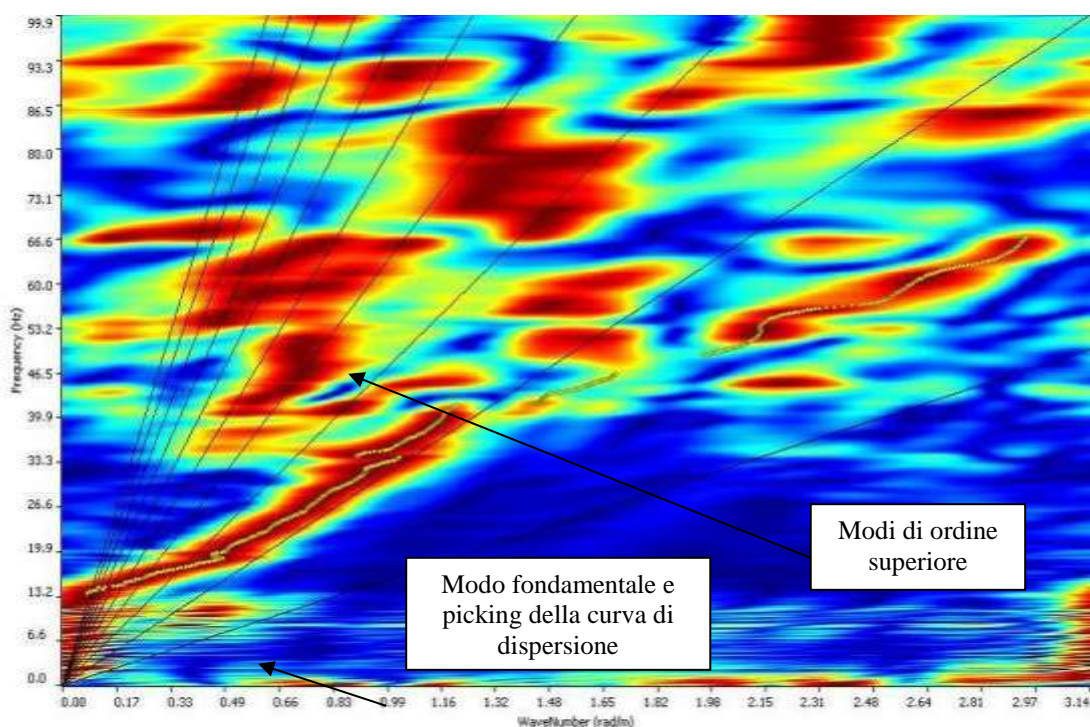


Fig. 12: Esempio di diagramma spettrale

Come per il metodo dei Microtremori una volta individuato il modo fondamentale delle onde superficiali si procede al picking della curva di dispersione sperimentale e quindi alla trasformazione dell'allineamento di punti individuato in forma di un diagramma periodo-velocità di fase. Il passo successivo consente di ottenere il profilo con l'andamento delle Vs con la profondità e di confrontare quindi la curva di dispersione sperimentale con la curva di dispersione costruita sul modello fisico del sottosuolo. La procedura viene ripetuta iterativamente sino ad ottenere la convergenza tra modello teorico e sperimentale.

Il modello teorico che si può ottenere non è univoco ed è quindi necessario confrontarlo e tararlo con le conoscenze geologiche del sito (ad esempio: sondaggi meccanici o prove penetrometriche, stratigrafie di pozzi, indagini a rifrazione) onde poter passare all'identificazione di un modello reale definitivo.



### 5.3 Modalità esecutive

#### 5.3.1 Indagine Masw-Remi

La registrazione delle onde di superficie viene effettuata con l'impiego di una classica apparecchiatura di acquisizione per sismica a rifrazione. E' necessario un sismografo ad elevata dinamica corredato da 24 geofoni a bassa frequenza (4.5 Hz). Nella fattispecie è stato utilizzato un sismografo GEODE (Geometrics) con risoluzione a 24 bit e 24 canali.



Fig. 13: Apparecchiatura di acquisizione (sismografo Geode)

*L'indagine è stata eseguita in corrispondenza di una linea sismica con le seguenti caratteristiche:*

Linea	Località	n° Geofoni	Spaziatura geofonica [m]	Lunghezza stendimento [m]
1	Scuola secondaria di primo grado	24	2,5	57.5



## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### *RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO*

---

#### *5.3.2 Caratteristiche della linea sismica.*

In corrispondenza della suddetta linea sono state acquisite 12 registrazioni MASW da 2 secondi ciascuna, posizionando i punti di energizzazione alle estremità delle linee con un offset variabile compreso tra 1.5 e 2.5m. L'energizzazione è stata effettuata tramite una mazza strumentata corredata da un blocco di PVC. Per la stessa linea sono state poi acquisite 10 registrazioni di microtremiti (REMI) della durata di 30s.

Al termine delle misure si dispone per ciascuna linea di 12 registrazioni con sorgente attiva e 10 con sorgente passiva. Utilizzando un software dedicato (SurfSeis 3), i dati vengono elaborati congiuntamente in modo da avere una maggiore attendibilità e una più accurata risoluzione dei risultati.

### **5.4 Elaborazione**

#### *5.4.1 Indagine MASW - Remi*

L'elaborazione di dati di onde superficiali consiste nel ricavare, a partire dalle registrazioni in campo, l'andamento delle velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza e quindi il modello di velocità in funzione della profondità.

Una volta ricavato lo spettro FK ed individuato il modo fondamentale di propagazione, si procede al picking della curva di dispersione sperimentale e quindi alla trasformazione dell'allineamento di punti individuato in forma di un diagramma periodo-velocità di fase. Attraverso un processo d'inversione della curva di dispersione (sperimentale) si ottiene il profilo con l'andamento delle Vs con la profondità e conseguentemente, una nuova curva di dispersione (teorica) da confrontare con la curva di dispersione ricavata dalle registrazioni. La procedura viene successivamente ripetuta iterativamente sino ad ottenere la migliore convergenza possibile tra modello teorico/sperimentale e le condizioni stratigrafiche esistenti, ricavate da indagini pregresse o effettuate successivamente.

Si ricorda infatti che il modello teorico che si può ottenere non è univoco ed è quindi necessario confrontarlo e tararlo con le conoscenze geologiche del sito (ad esempio: sondaggi meccanici o prove penetrometriche, stratigrafie di pozzi, indagini a rifrazione) onde poter passare all'identificazione di un modello reale definitivo.

### **5.5 Risultati**

#### *5.5.1 Indagine MASW e Remi*

**DOTT. GEOL. ALESSANDRO CHIODELLI**

24

via Garibaldi, 4 - 24030 Mozzo (Bg)  
e\_mail: alessandrochiodelli1973@gmail.com - Cell. 338.9041561





## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### *RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO*

I risultati della presente campagna di indagine sono riportati nella tavola 2 in allegato, in cui vengono riportati, oltre all'ubicazione della linea sismica, i risultati relativi alle diverse fasi dell'elaborazione dei dati raccolti, ossia:

- lo spettro FK, le curve di dispersione sperimentale e teorica delle onde di Rayleigh ed i modelli interpretativi (profilo di velocità e tabella riassuntiva della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità) che ne derivano previa inversione dei dati, ottenuta tramite la prova Masw-Remi;
- calcolo del parametro Vs30 a partire dal profilo di velocità Vs ricavato in precedenza e conseguente categoria di suolo;
- valori di soglia Fa (Fattore di amplificazione) per suolo di tipo B (Analisi di 2° livello)
- confronto andamento valori di Vs con la profondità e scheda limoso argillosa di tipo 2 (Analisi di 2° livello).
- curve di correlazione T-Fa per periodi della struttura compresi tra 0.1-0.5s e 0.5-1.5s, per scheda limoso argillosa tipo 2 (Analisi di 2° livello).

L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle Vs negli strati di copertura e nei primi orizzonti sino ad una profondità di circa 30 m dal piano campagna. La buona qualità dei segnali registrati, e la coerenza dei risultati tra le due diverse metodologie (Masw e Remi) attestano l'affidabilità dei risultati ottenuti.

Per quanto concerne la caratterizzazione sismica dei siti in esame, utilizzando il valore del parametro Vs30 ottenuto dalla relazione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} h_i/V_i}$$

dove  $h_i$  e  $V_i$  indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio dello strato  $i$ -esimo per un totale degli  $N$  strati riconosciuti nei primi 30 metri di sottosuolo a partire dalla superficie, si ottiene, confrontandolo con i valori di riferimento riportati nella tabella seguente, che tutti i siti in esame appartengono alla categoria di suolo B ( $360 < V_s < 800$ ).



# PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

## RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO

Di seguito viene proposta una tabella riassuntiva con i valori ottenuti e la categoria di suolo assegnata.

Tabella 4.6 Classificazione del sito in categorie di sottosuolo prevista dalle NTC08 e definizione dei coefficienti $S_s$ e $C_e$					
Suolo	$V_{s,30}$ [m/s]	$N_{SPR,30}$ [colpi/25cm]	$c_{0,30}$ [kPa]	$S_s$	$C_e$
A	> 800	-	-	1	1
B	360-800	>50	>250	$1 \leq 1.4 - 0.4 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.2$	$1.1 \cdot (T_c^*)^{-0.2}$
C	180-360	15-50	70-250	$1 \leq 1.7 - 0.6 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.5$	$1.05 \cdot (T_c^*)^{-0.33}$
D	< 180	<15	<70	$0.9 \leq 2.4 - 1.5 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.8$	$1.25 \cdot (T_c^*)^{-0.5}$
E	< 20m di suolo classificabile come C o D su suolo di tipo A			$1 \leq 2 - 1.1 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.6$	$1.15 \cdot (T_c^*)^{-0.4}$

Fig. 14: Classificazione del sito mediante valore  $V_{s,30}$

Sito n.	Località	$V_{s30}$ [m/s]	Tipo di suolo
1	Scuola secondaria di primo grado	492	B

Tabella riassuntiva con i valori di velocità  $V_{s30}$

## 5.6 Analisi di 2° livello

*CRITERI ED INDIRIZZI PER LA DEFINIZIONE DELLA COMPONENTE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DEL PIANO DI GOVERNO DEL TERRITORIO, IN ATTUAZIONE DELL'ART. 57 DELLA L.R. 11 MARZO 2005, N. 12*

Il 2° livello si applica a tutti gli scenari qualitativi suscettibili di amplificazioni sismiche (morfologiche Z3 e litologiche Z4) e riguarda le costruzioni il cui uso prevede normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali; industrie con attività non pericolose, reti viarie e ferroviarie la cui interruzione non provoca situazioni di emergenza.

La procedura consiste in un approccio di tipo semiquantitativo e fornisce la stima quantitativa della risposta sismica dei terreni in termini di valore di Fattore di amplificazione ( $F_a$ ); gli studi sono condotti con metodi quantitativi semplificati, validi per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche e sono utilizzati per zonare l'area di studio in funzione del valore di  $F_a$ . Il valore di  $F_a$  si riferisce agli



## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### *RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO*

---

intervalli di periodo tra 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s: i due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il valore di  $F_a$  sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale; in particolare l'intervallo tra 0.1-0.5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5-1.5 s si riferisce a strutture più alte e più flessibili.

La procedura di 2° livello fornisce, per gli effetti litologici, valori di  $F_a$  per entrambi gli intervalli di periodo considerati, mentre per gli effetti morfologici solo per l'intervallo 0.1-0.5 s: questa limitazione è causata dall'impiego, per la messa a punto della scheda di valutazione, di codici di calcolo di tipo bidimensionale ad elementi di contorno che sono risultati più sensibili all'influenza del moto di input nell'intervallo di periodo.

#### ***Effetti litologici***

La procedura semplificata richiede la conoscenza dei seguenti parametri:

- litologia prevalente dei materiali presenti nel sito;
- stratigrafia del sito;
- andamento delle  $V_s$  con la profondità fino a valori pari o superiori a 800 m/s;
- spessore e velocità di ciascun strato;
- sezioni geologiche, conseguente modello geofisico - geotecnico ed identificazione dei punti rappresentativi sui quali effettuare l'analisi.

Sulla base di intervalli indicativi di alcuni parametri geotecnici, quali curva granulometrica, parametri indice, numero di colpi della prova SPT, si individua la litologia prevalente presente nel sito e per questa si sceglie la relativa scheda di valutazione di riferimento.

Attualmente sono disponibili:

- una scheda per le litologie prevalentemente ghiaiose;
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-argillose (tipo 1 e tipo 2);
- due schede per le litologie prevalentemente limoso-sabbiose (tipo 1 e tipo 2).

Una volta individuata la scheda di riferimento è necessario verificarne la validità in base all'andamento dei valori di  $V_s$  con la profondità; in particolare si dovrà verificare l'andamento delle  $V_s$  con la profondità partendo dalla scheda tipo 1, nel caso in cui non fosse verificata la validità per valori di  $V_s$  inferiori ai 600 m/s si passerà all'utilizzo della scheda tipo 2.



## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO

Nel caso di presenza di alternanze litologiche, che non presentano inversioni di velocità con la profondità, si potranno utilizzare le schede a disposizione solo se l'andamento dei valori di  $V_s$  con la profondità, nel caso da esaminare, risulta compatibile con le schede proposte.

All'interno della scheda di valutazione si sceglie, in funzione della profondità e della velocità  $V_s$  dello strato superficiale, la curva più appropriata (indicata con il numero e il colore di riferimento) per la valutazione del valore di  $F_a$  nell'intervallo 0.1-0.5 s (curva 1, curva 2 e curva 3 e relative formule) e nell'intervallo 0.5-1.5s (unica curva e relativa formula), in base al valore del periodo proprio del sito  $T_1$ .

Il periodo proprio del sito  $T$  necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione è calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità  $V_s$  è uguale o superiore a 800 m/s ed utilizzando la seguente equazione:

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

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

Il valore di  $F_a$  determinato dovrà essere approssimato alla prima cifra decimale e dovrà essere utilizzato per valutare il grado di protezione raggiunto al sito dall'applicazione della normativa sismica vigente.

La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di  $F_a$  ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato calcolato per ciascun comune e valido per ciascuna zona sismica (zona 2, 3 e 4) e per le diverse categorie di suolo soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E) e per i due intervalli di periodo 0.1-0.5 s e 0.5-1.5 s.

Il parametro calcolato per ciascun Comune della Regione Lombardia è riportato nella banca dati in formato.xls (*soglie\_lomb.xls*) e rappresenta il valore di soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.



## PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

### RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di  $F_a$  con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia, considerando una variabilità di  $\pm 0.1$  che tiene in conto la variabilità del valore di  $F_a$  ottenuto dalla procedura semplificata.

Si possono presentare quindi due situazioni:

- il valore di  $F_a$  è inferiore o uguale al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa (classe di pericolosità H1);

- il valore di  $F_a$  è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia (classe di pericolosità H2).

La scelta dei dati stratigrafici, geotecnici e geofisici, in termini di valori di  $V_s$ , utilizzati nella procedura di 2° livello deve essere opportunamente motivata e a ciascun parametro utilizzato deve essere assegnato un grado di attendibilità, secondo la seguente Tabella:

**Tabella 3 – Livelli di attendibilità da assegnare ai risultati ottenuti dall'analisi**

Dati	Attendibilità	Tipologia
Litologici	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Alta	Da prove di laboratorio su campioni e da prove in sito
Stratigrafici (spessori)	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette (penetrometriche e/o geofisiche)
	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
Geofisici ( $V_s$ )	Bassa	Da bibliografia e/o dati di zone limitrofe
	Media	Da prove indirette e relazioni empiriche
	Alta	Da prove dirette (sismica in foro o sismica superficiale)

### 5.7 Risultati dell'analisi di 2° livello

Per quanto concerne l'analisi di secondo livello, di seguito sono riportate le ipotesi e le soluzioni adottate per la verifica.

- Scheda di valutazione di riferimento:

In funzione dei dati stratigrafici e litologici è stata adottata la scheda con **litologia limoso-argillosa tipo 2**, di seguito riportata.

- Categoria di suolo dai profili  $V_s$ : B

- Valori di soglia  $F_a$  relativi al periodo della struttura T: 0.1-0.5s:





PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA  
SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

*RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO*

Valori di soglia per il periodo compreso tra 0.1-0.5s				
Comune	Suolo di tipo B	Suolo di tipo C	Suolo di tipo D	Suolo di tipo E
Telgate	1.5	1.9	2.3	2.0

Tabella 3: Valori di soglia di Fa per T compreso tra 0.1-0.5s

➤ Valori di soglia Fa relativi al periodo della struttura T: 0.5-1.5s:

Valori di soglia per il periodo compreso tra 0.5-1.5s				
Comune	Suolo di tipo B	Suolo di tipo C	Suolo di tipo D	Suolo di tipo E
Telgate	1.7	2.4	4.3	3.1

Tabella 4: Valori di soglia di Fa per T compreso tra 0.5-1.5s

N.B.: In grigio è evidenziato il valore relativo alla categoria di suolo (B) ricavata dalle indagini Masw/Remi.

In funzione del periodo della struttura si possono presentare due possibili scenari.

Il primo scenario considera strutture con periodo compreso tra 0.1-0.5s; in questo caso i grafici da considerare sono quelli riportati a sinistra nella scheda di valutazione (rif. “Correlazione T – Fa 0.1-0.5s in Tav. 2). Poiché i suddetti grafici presentano curve con valori di **Fa > 1.5** (si veda tabella 1) per quasi tutti i possibili periodi del sito in esame, o comunque tale, considerando una variabilità di  $\pm 0.1$  imposto dalla procedura semplificata; si può concludere che, la normativa non è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica per un suolo di tipo B. Pertanto è necessario passare ad una soluzione più cautelativa, suolo di tipo C (previa verifica dello stesso), oppure effettuare un'analisi di 3° livello.

Diversa situazione si presenta nel caso la struttura presenti periodo proprio compreso tra 0.5-1.5s. In questo scenario il grafico da considerare nella scheda di valutazione è quello di destra, con valori di **Fa < 1.7** (si veda tabella 2) per tutti i possibili periodi del sito in esame. Per tale ragione si può concludere che, per strutture con periodo proprio compreso tra 0.5-1.5s, la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica per il suolo di tipo B.





PROGETTO DI DEMOLIZIONE E NUOVA COSTRUZIONE SCUOLA  
SECONDARIA DI I GRADO NOLI MARENZI

*RELAZIONE GEOLOGICA PRELIMINARE SCUOLA SECONDARIA DI PRIMO GRADO*

---

Mozzo, febbraio 2022

Dott. Geol. Alessandro Chiodelli



Allegati:

- Tav.02: Scuola secondaria di primo grado

**DOTT. GEOL. ALESSANDRO CHIODELLI**

31

via Garibaldi, 4 - 24030 Mozzo (Bg)  
e\_mail: alessandrochiodelli1973@gmail.com - Cell. 338.9041561

Planimetria: ubicazione della linea sismica



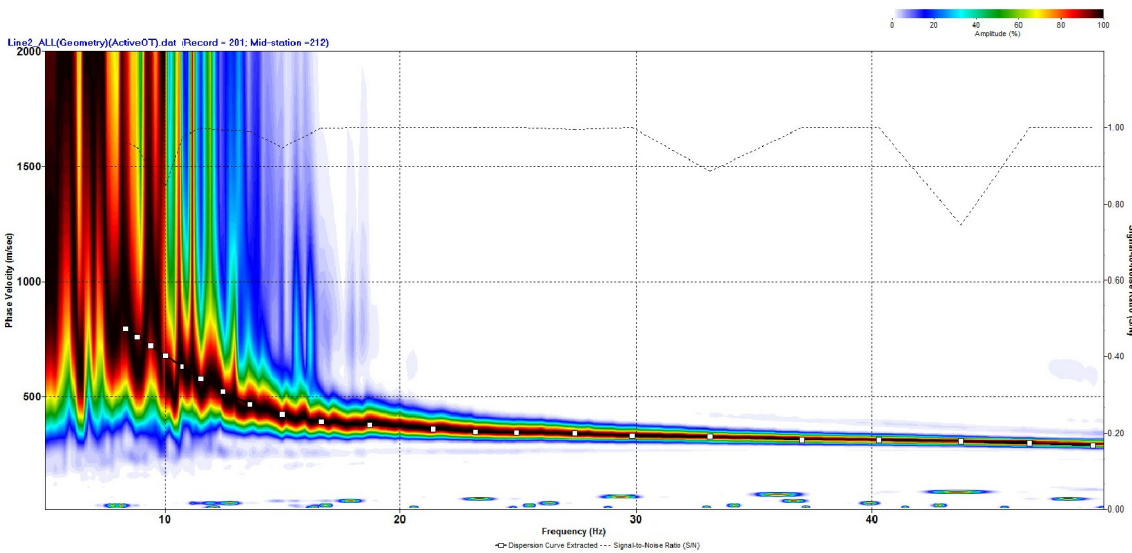
Risultati Masw e ReMI

Intervallo di profondità [m]	Velocità Vs [m/s]	
0,0	1,3	258
1,3	2,9	285
2,9	4,9	382
4,9	7,4	378
7,4	10,6	383
10,6	14,5	501
14,5	19,4	663
19,4	25,6	712
25,6	30,5	708
Vs30 [m/s]= 492		Suolo tipo B

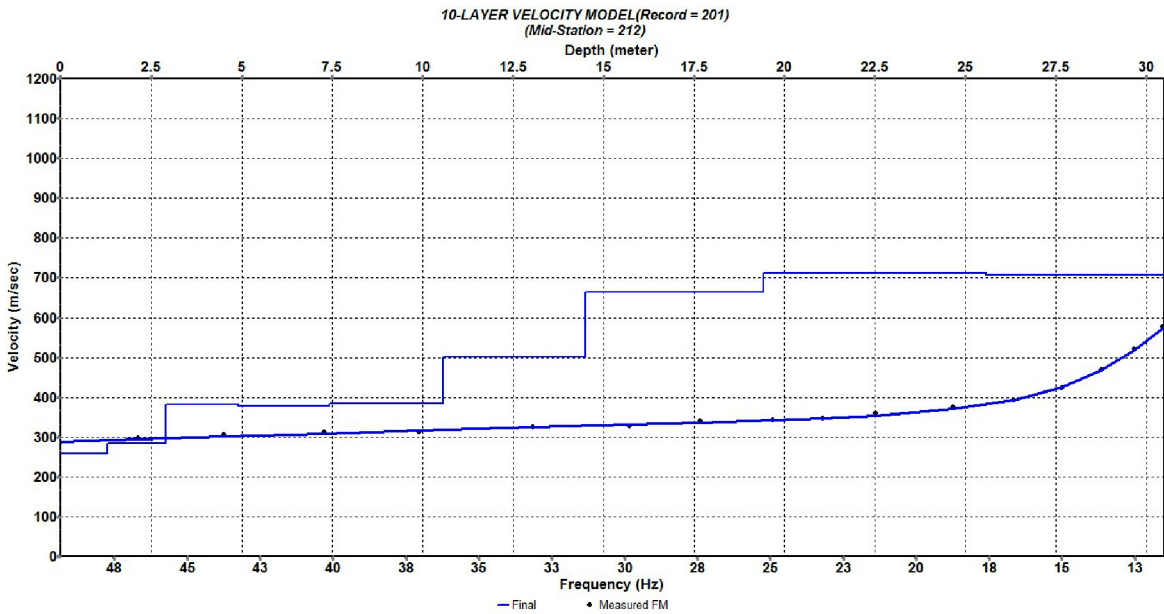
Tabella per analisi di 2° livello	
Valori di soglia Fa per suolo di tipo B	
periodo struttura tra 0,1-0,5s	1,5
periodo struttura tra 0,5-1,5s	1,7

A19.a - VALUTAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO					Ss
	A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m	$V_{s30} > 800$ m/s	1.0	
	B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)	$360 < V_{s30} \leq 800$ m/s	1.0-1.2	
	C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} \leq 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} \leq 250$ kPa nei terreni a grana fina)	$180 < V_{s30} \leq 360$ m/s	1.0-1.5	
	D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina)	$V_{s30} \leq 180$ m/s	0.9-1.8	
	E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s)	$180 < V_{s30} \leq 360$ m/s $V_{s30} \leq 180$ m/s	1.0-1.6	
	S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche	$V_{s30} < 100$ m/s	Specifiche analisi	
	S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti	-	Specifiche analisi	

Indagine MASW e ReMI: spettro FK

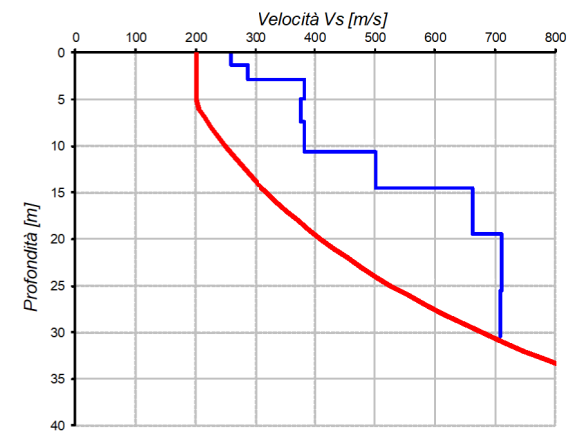


Indagine MASW e ReMI: profilo di velocità delle onde di taglio (Vs)



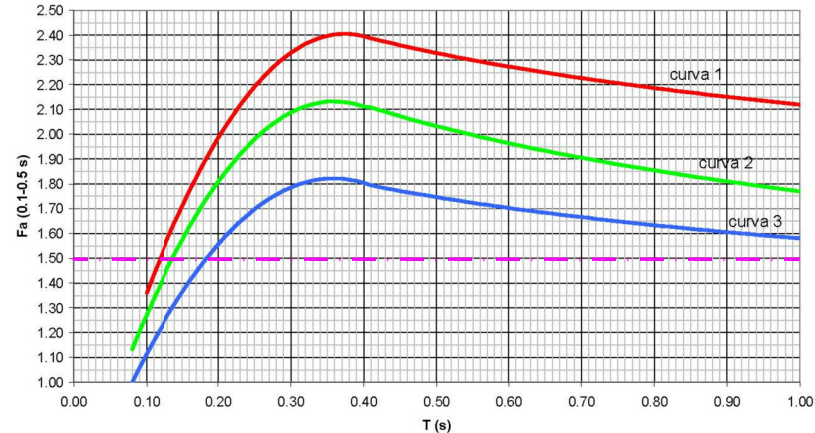
Analisi di 2° livello

Andamento dei valori di Vs con la profondità: confronto tra misurazione in sito e scheda limoso argillosa tipo 2

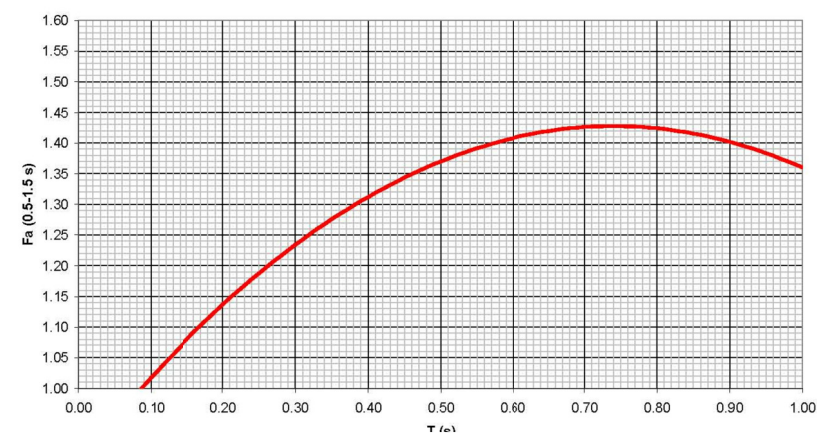


Correlazione T - Fa 0.1-0.5s

— indicazione limite di soglia



Correlazione T - Fa 0.5-1.5s



TITOLO  
 Scuole secondaria di primo grado

FASE  
 Indagine geofisiche: Masw-ReMI e analisi 2° livello

COMMITTENTE  
 Comune di Telgate

COMUNE  
 Telgate (Bg)

DATA  
 agosto 2017

SCALA  
 ---