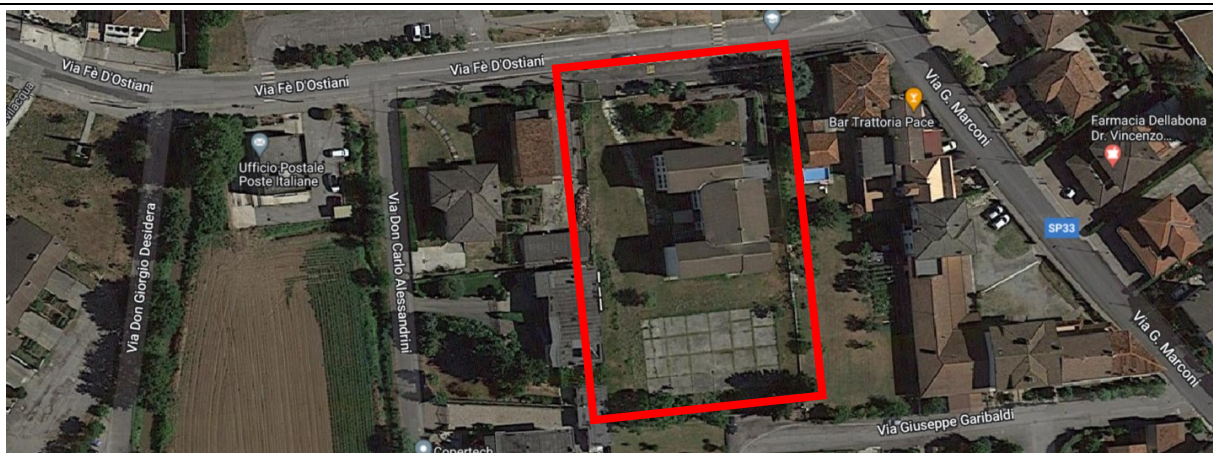


# REGIONE LOMBARDIA

## PROVINCIA DI BRESCIA

### COMUNE DI OFFLAGA



#### RELAZIONE GEOLOGICA R1+R3

#### RELAZIONE GEOTECNICA R2

Elaborato

## VERIFICA SISMICA SCUOLA SECONDARIA PADRE G. BEVILACQUA

D.M. 17.01.2018 – DGR 2616/2011 – DGR X/5001

Committente



Amministrazione Comunale di Offlaga

Estensore



A. & P. sas

*Il presente elaborato è confidenziale e ne è vietata la riproduzione o l'utilizzo da terzi non autorizzati*

#### Informazioni documento

Operazione	Soggetto	Data
Redatto	A & P sas – Dr.ssa Gallo Samanta	21.04.2023
Approvato	A & P sas – Dr. Aletti Corrado	30.06.2023
File	relazione.docx	
Commessa	2023.04.147	

## INDICE

1. Introduzione .....	3
2. Inquadramento geografico .....	4
3. Inquadramento geologico e morfologico del territorio .....	5
3.1. Litostratimetria .....	7
3.2. Fattibilità .....	9
3.3. Sismica .....	10
3.4. Indagine sismica .....	13
3.4.1. Tecnica di misurazione e strumentazione .....	13
3.4.2. Effetti di sito: risposta sismica locale .....	14
3.4.3. Profilo onde S e classificazione del sottosuolo da NTC .....	14
3.4.4. Vulnerabilità sismica dell'opera .....	16
3.4.5. Risultati dell'analisi .....	17
3.5. Analisi di II livello .....	19
3.6. Parametri sismici .....	22
3.7. Stima della magnitudo di riferimento .....	23
3.8. Verifica alla liquefazione .....	26
4. Geotecnica .....	30
4.1. Modello geotecnico .....	32
4.2. Analisi delle soluzioni fondali .....	33
4.3. Calcolo della capacità portante .....	34
4.3.1. Approccio 2 combinazione unica A1+M1+R3 .....	34
4.3.2. Verifica allo slittamento .....	35
5. Conclusioni .....	36
6. Tabella riassuntiva parametri geologici .....	37

## 1. INTRODUZIONE

La presente relazione geologica e geotecnica, redatta per conto dell'Amministrazione Comunale di Offlaga, ha lo scopo di definire il quadro geolitologico, stratigrafico, geotecnico e sismico delle aree interessate dalla verifica sismica dell'edificio della scuola secondaria Padre G. Bevilacqua sito in Comune di Offlaga (BS), al fine esclusivo della verifica della vulnerabilità sismica. Gli studi e le indagini conoscitive dei terreni sono stati svolti in ottemperanza a quanto prescritto dalla vigente normativa (D.M. 11/03/1988 - Suppl. n. 127 del 01/06/1988 e relativa Circ. LL.PP. 24/09/1988 n. 30483; D.M. 16/01/1996; D.M. 14/01/2008; Circolare 02/02/09 "Istruzioni per l'applicazione nelle NTC" Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici; Allegato al voto n.36 del 27/07/07 "Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale" Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici; Eurocodice 8 – Parte 5; Eurocodice 7.1 – Parte 1; Eurocodice 7.2 – Parte 2; Eurocodice 7.3 – Parte 3; L.R. 12/2005; DGR X/5001, D.M. 17/01/2018), ai fini della definizione delle pressioni interstiziali, e ai fini sismici. Le relazioni sono state redatte ai sensi della DGR 2616/2011 (R3) e ai sensi delle NTC (R1 e R2). Allo scopo di determinare le caratteristiche geolitologiche e litotecniche dei terreni di fondazione in sito è stata effettuata n. 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTU). Per quanto riguarda la verifica sismica di dettaglio è stata eseguita un'analisi mediante la tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). La presente relazione è corredata dai seguenti allegati:

### **Allegato 1 – Ubicazione indagini**

### **Allegato 2 – Prova penetrometrica**

Considerata la tipologia dell'intervento e la situazione al contorno si è ritenuto sufficiente lo studio ed il rilievo delle aree direttamente coinvolte e di un limitato intorno e lo sviluppo in stretta chiave geotecnica. Sono stati consultati gli elaborati della componente geologica del PGT per la valutazione delle problematiche di area vasta.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	3 di 39
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

## 2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area d'imposta della struttura in esame è localizzata nel settore centrale dell'abitato comunale di Offlaga, lungo il margine S di Via Fe' D'Ostiani, all'altezza del civico n. 7, così come rappresentato in Figura 1.

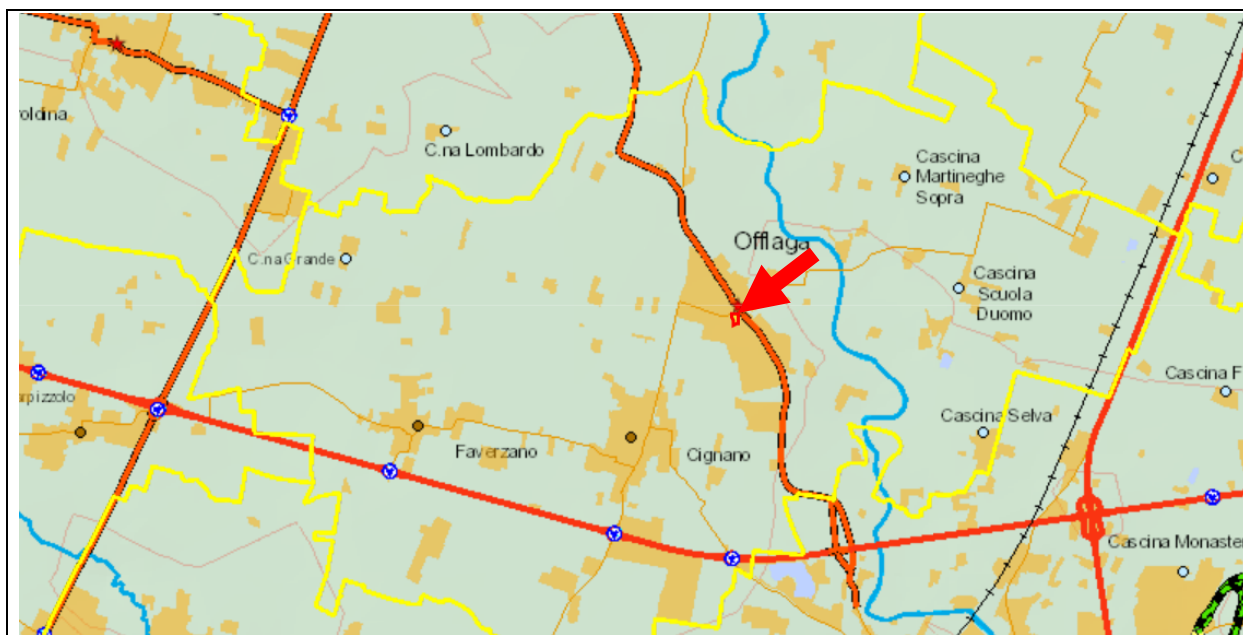
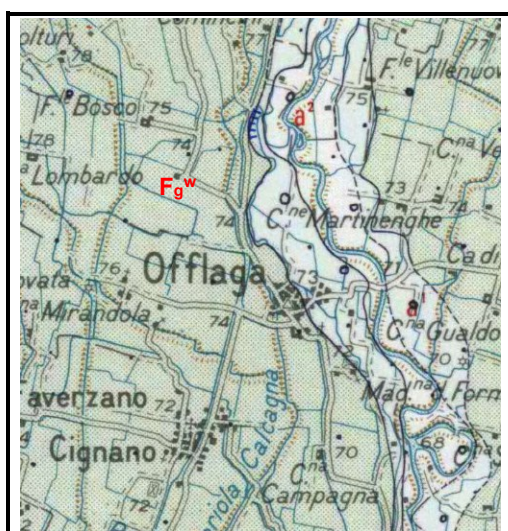


Figura 1 – Ubicazione dell'area in studio

Il progetto prevede la verifica della vulnerabilità sismica dell'edificio sede della scuola secondaria Padre G. Bevilacqua. La struttura in esame insiste sul Foglio 11, mappale 389 dell'NCT del Comune di Offlaga (BS).

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E MORFOLOGICO DEL TERRITORIO

L'assetto geologico dell'area d'intervento è stato determinato durante il Quaternario continentale dagli intensi eventi deposizionali che hanno portato a colmamento il bacino Padano. In particolare, ci si riferisce al Pleistocene e all'Olocene, in cui la nota climatica dominante fu rappresentata da un ripetuto alternarsi di climi caldi e freddi, con una netta tendenza al progressivo raffreddamento, reso evidente con l'avvento delle glaciazioni. I depositi di quest'area sono legati alle dinamiche caratteristiche dell'ambiente fluvioglaciale e fluviale riferibili come età al Wurm (Alluvioni fluvioglaciali e fluviali Wurm – cfr. Figura 2) e costituenti il **"livello fondamentale della pianura"** (S. Tagliavini e F. Petrucci – Carta Geologica d'Italia Foglio "Brescia").



#### Legenda:

$F_g^w$  Alluvioni Fluvioglaciali e fluviali Wurm

$a^1$  Alluvioni fluviali antiche

$a^2$  Alluvioni fluviali medio – recenti

Figura 2 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia foglio Brescia

La fase fluviale würmiana ha originato l'ultimo esteso colmamento della pianura nel Pleistocene. La successiva fase erosiva, iniziata nell'Olocene, è responsabile della zona ribassata delimitata da scarpate entro cui oggi scorrono i principali fiumi padani, tra cui anche il fiume Mella, che attraversa il territorio comunale lungo il limite est. La litologia superficiale risulta costituita da terreni essenzialmente sabbiosi, localmente associati a ghiaietto ed a coperture fini limoso argillose (Figura 3) alternati senza l'evidenza di un limite preciso proprio perché legati alle dinamiche deposizionali fluvioglaciali e fluviali, che costituiscono

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	5 di 39
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			



generalmente depositi gradati in senso orizzontale con diminuzione della granulometria allontanandosi dalle zone ad elevata energia. Morfologicamente l'area risulta sub pianeggiante, situata sul livello fondamentale della pianura. La quota indicativa del sito è di circa 73.00 m.s.m. con cadente topografica verso ESE e gradiente nell'ordine dello 0.3 %.



Figura 3 –Carta Litologica (rosso=sabbie ghiaiose arancio=sabbie limose blu=sabbie e ghiaie)

L'idrografia naturale al contorno è rappresentata dal corso d'acqua principale, ossia il fiume Mella che scorre a circa 770 metri in direzione E e da una fitta rete di canali irrigui e scolanti (Figura 4).

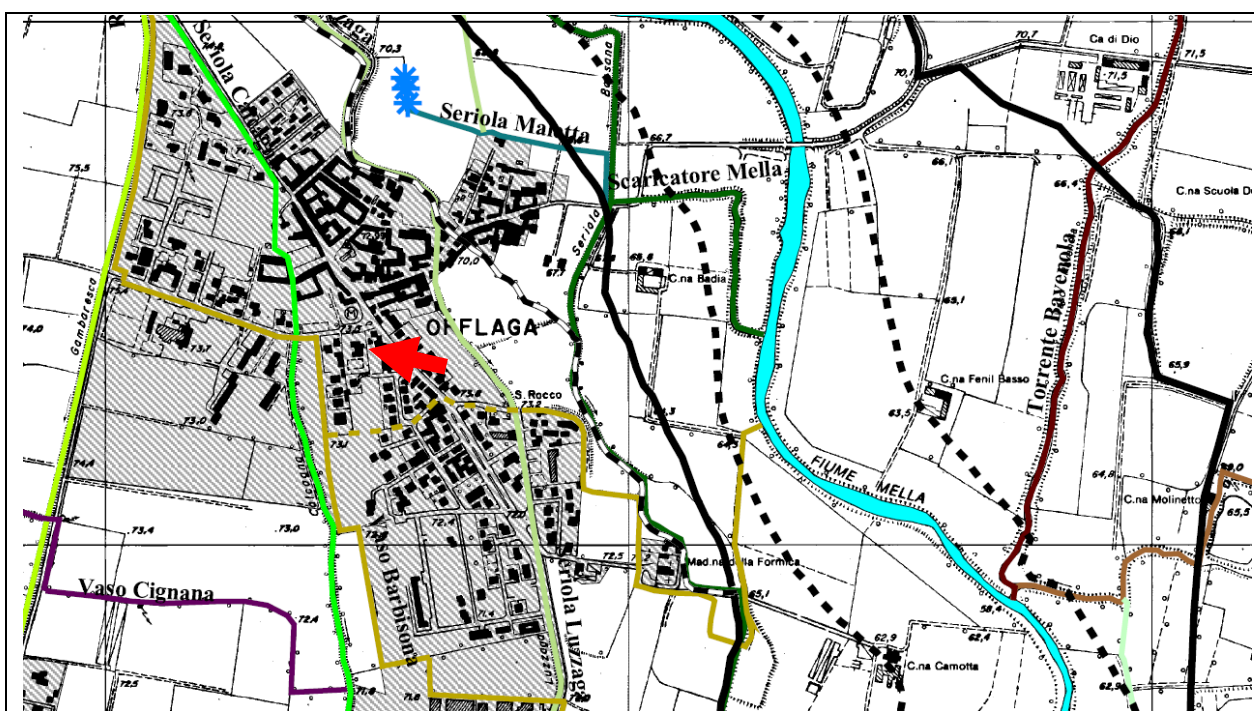


Figura 4 – Stralcio della Carta del RIM (da PGT)

Dal punto di vista idraulico l'area risulta esterna alle fasce fluviali definite dal Piano PAI, ovvero le aree inondate in caso di piene con tempi di ritorno diversi, e risulta esterna alle zone

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	6 di 39
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

allagabili perimetrate dal PGRA della Regione Lombardia del 2022 (Figura 5). Visto l'attuale assetto geoclimatico non sono stati rilevati forme o processi geomorfologici attivi e si esclude l'esondabilità dell'area.



Figura 5 – Direttiva alluvioni 2007/60/CE – Revisione 2022

### 3.1. Litostratimetria

La litostratimetria dell'area studiata è stata desunta da studi effettuati nella zona, ed in particolare dai dati riportati nel quaderno n. 28 dell'IRSA (Istituto di Ricerca sulle Acque) e dallo "Studio idrogeologico della pianura Padana fra il F. Oglio e il F. Chiese" (E. Denti, S. Lauzi, P. Sala, L. Scesi). Sulla base dei dati acquisiti l'assetto stratigrafico si configura come rappresentato in Figura 6, conforme all'ambiente ed all'evoluzione deposizionale a cui è andata soggetta l'area, fortemente condizionata dalla dinamica fluvio-glaciale e fluviale legata ad ambienti a media energia, con trasporto prevalente di fondo. Nell'area sono predominanti i depositi sabbiosi a granulometria medio grossolana, localmente associati a ghiaietto e ciottoli in percentuale e dimensioni variabili. Per la caratterizzazione litostratimetrica di dettaglio in sito è stata effettuata n. 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTU) che si è spinta sino alla profondità massima di circa 7.60 m da p.c.. I depositi si presentano piuttosto uniformi lungo tutta la verticale indagata come è possibile osservare in Figura 7. Sono predominanti i litotipi sabbiosi a granulometria da media a grossolana, localmente associati a ghiaie medie presenti soprattutto in profondità.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	7 di 39
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

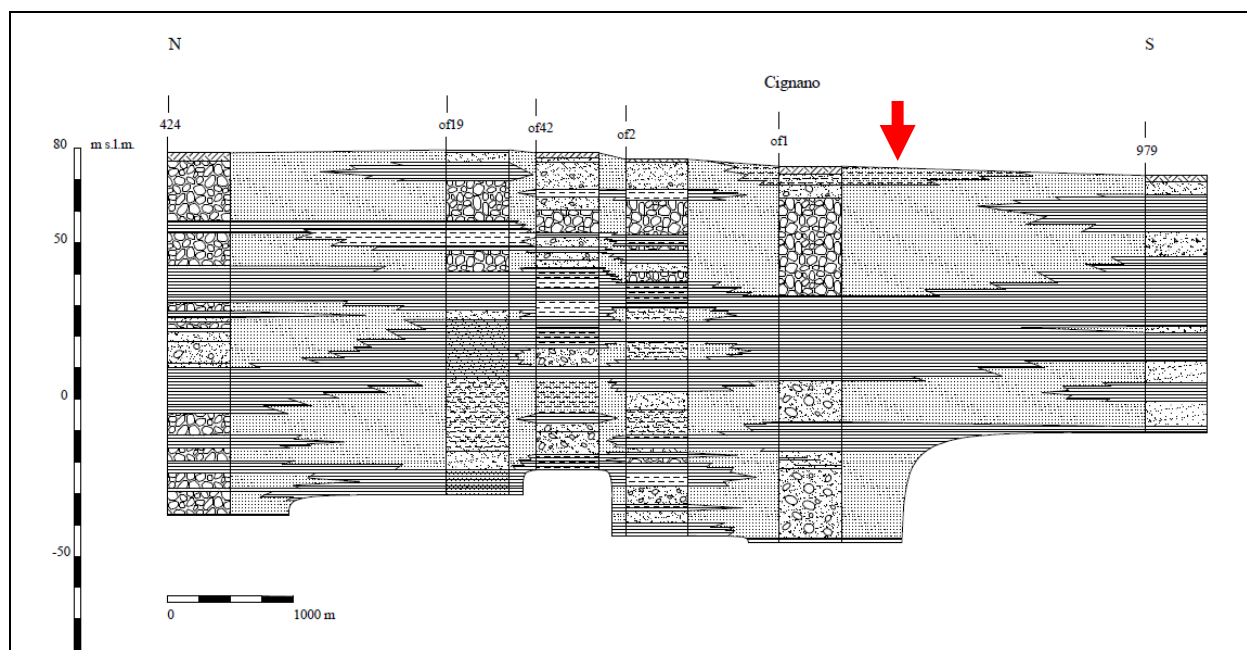


Figura 6 - Sezione N – S dell'area in studio (da PGT)

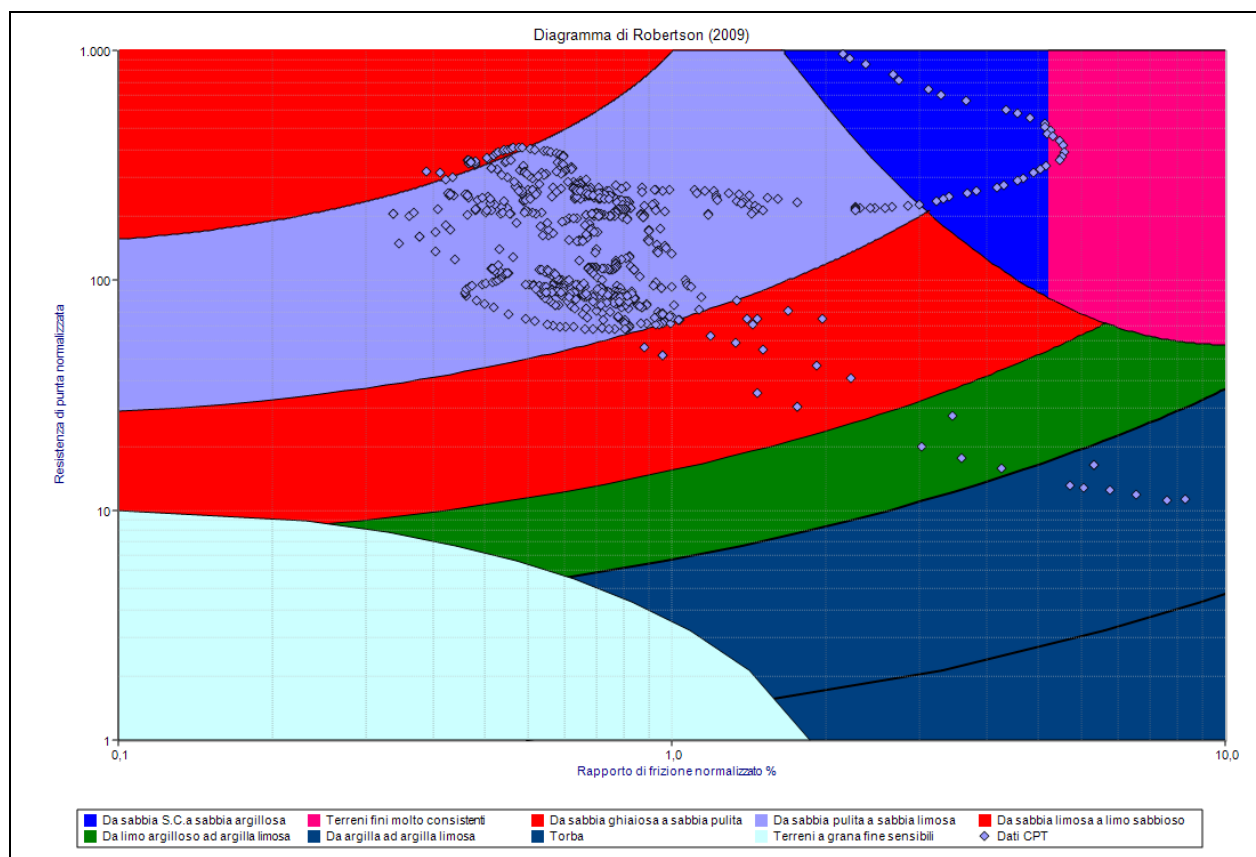


Figura 7 – Distribuzione granulometrica dei depositi rilevati in sito

L'area risulta caratterizzata da un primo strato costituito da suolo dello spessore di circa



0.60 m, seguito da un livello costituito da sabbie medie che si estendono sino a circa 1.50 m da p.c.. Da questa profondità e sino alla massima indagata pari a circa 7.60 m da p.c. è possibile osservare alternanze di sabbie medio grossolane anche associate a ghiaie minute. Per quanto riguarda la falda freatica, durante la campagna geognostica dell'Aprile 2023, la falda non è stata rilevata sino alla quota di chiusura del foro di prova a circa 5.00 m da p.c.; presumibilmente la chiusura del foro è attribuibile alla presenza della falda nelle immediate vicinanze. Dai dati bibliografici reperiti presso la componente geologica a corredo del PGT, in corrispondenza del sito in esame, la falda possiede una soggiacenza pari a circa 4.00 m, infatti il sito si colloca circa in corrispondenza dell'isopieza 69.

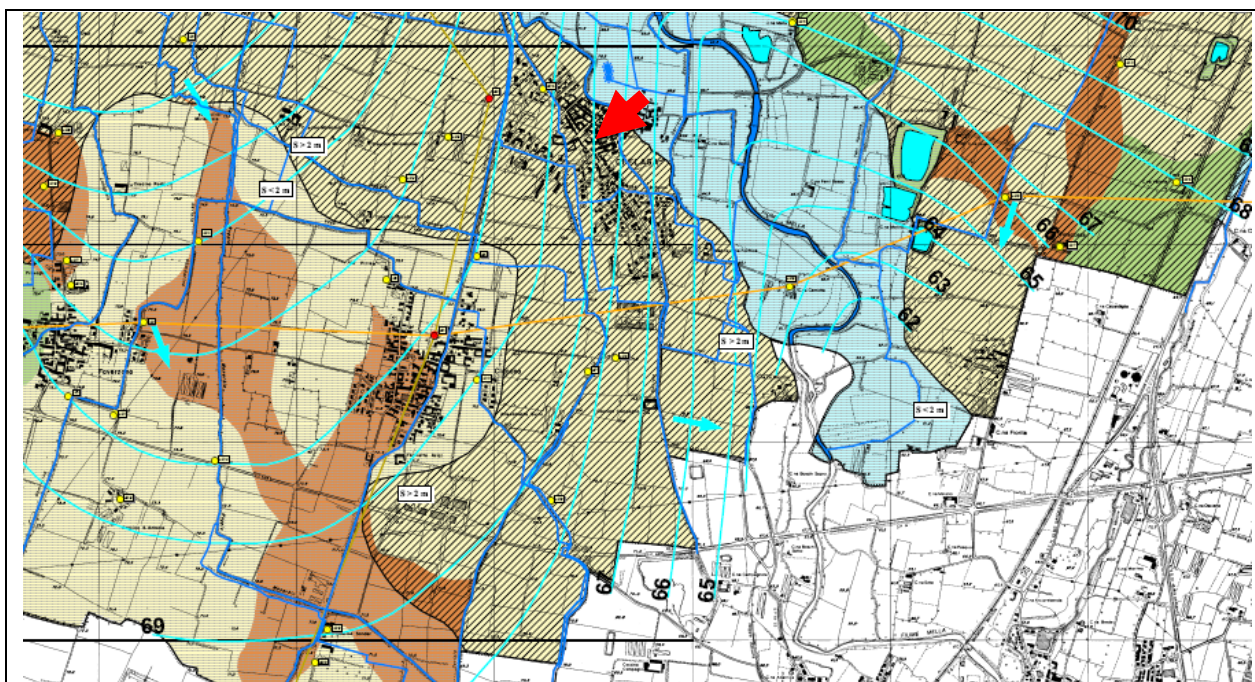


Figura 8 – Stralcio della Carta idrogeologica (da PGT)

Considerata l'esiguità delle misurazioni piezometriche e la mancanza di una serie storica di dati non è possibile fornire un valore attendibile dell'oscillazione della falda. È possibile che il valore di soggiacenza possa ridursi in concomitanza di eventi di piena della falda.

## 3.2. Fattibilità

L'area in studio è identificata nel PGT con la classe di fattibilità 2, ovvero fattibilità con

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	9 di 39
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

modeste limitazioni legate alla vulnerabilità idrogeologica (Figura 9).

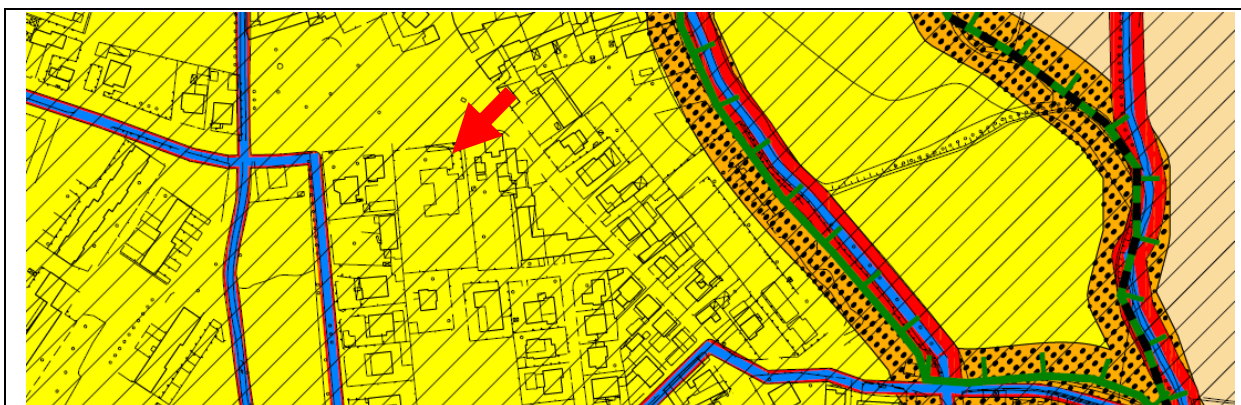


Figura 9 – Carta della fattibilità (da PGT)

In particolare le prescrizioni dettate dalle Norme tecniche di attuazioni sono le seguenti:

**CLASSE 2A - Vulnerabilità intrinseca del primo acquifero e tutela qualitativa delle acque sotterranee.** Considerati i generali indici di vulnerabilità intrinseca del primo acquifero definiti dallo studio del territorio, allo scopo di tutelare le acque sotterranee da possibili contaminazioni o alterazioni qualitative, qualsiasi intervento che possa costituire una sorgente di inquinamento (quale lo stoccaggio di sostanze inquinanti e di reflui, gli impianti di depurazione, lo scarico di acque reflue nel suolo, la dispersione di fanghi utilizzati anche a scopi agronomici ecc.) dovrà essere preceduto da uno studio circostanziato sulla fattibilità dell'attività in progetto, prevedendo soluzioni finalizzate a prevenire o mitigare l'impatto sulla risorsa idrica sotterranea in relazione anche ai suoi potenziali utilizzi.

L'intervento in oggetto consiste essenzialmente nella verifica della vulnerabilità sismica dell'edificio che ospita la scuola secondaria Padre G. Bevilacqua, pertanto non si configura come potenzialmente idroinquinante per la falda freatica. Le indagini sismica e geotecnica sono state affrontate nei capitoli seguenti.

### 3.3. Sismica

La verifica del rischio sismico si è resa altresì necessaria in merito alla recente adozione, con Ordinanza del Presidente del Consiglio in data 20 marzo 2003, pubblicata sulla Gazzetta

Ufficiale n° 105 del 08 maggio 2003, dei criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e delle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica, così come modificata dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio n° 3316. Secondo tale ordinanza, in prima applicazione, ovvero sino alle deliberazioni delle Regioni, le zone sismiche sono individuate sulla base del documento "Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale" elaborato dal Gruppo di Lavoro costituito dal Servizio Sismico Nazionale, in base alla risoluzione approvata dalla Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi nella seduta del 23 aprile 1997. L'entrata in vigore di tale ordinanza è stata più volte prorogata sino al 01 luglio 2009, quando con l'entrata in vigore delle "Norme tecniche per le costruzioni" il grado di sismicità è stato riconfermato, così come modificato dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio n° 3316 e n° 3431. La classificazione proposta ordina il territorio comunale di Offlaga (codice ISTAT 03017122) come ricadente nella zona 3 a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale compresa tra 0,05 e 0,15  $a_g/g$  con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (Figura 10).

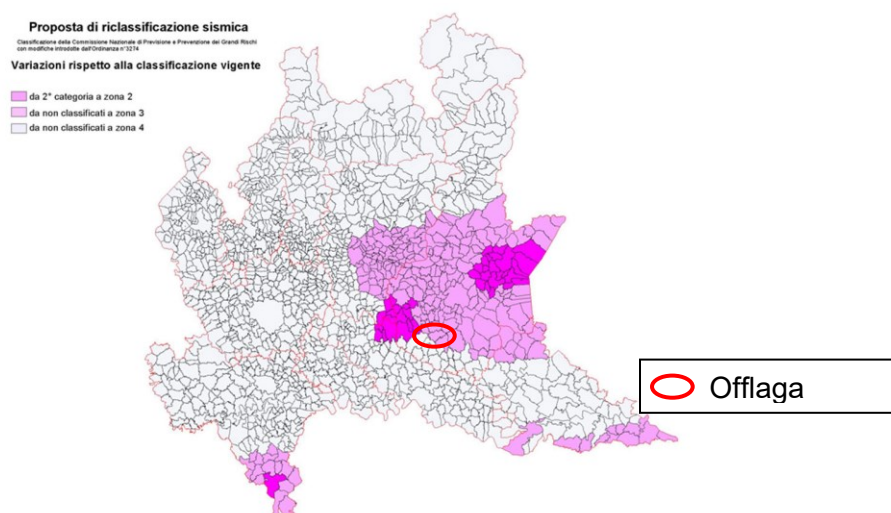


Figura 10 - Proposta di riclassificazione sismica 2003

La riclassificazione della Regione Lombardia (Delibera Giunta Regionale 11 luglio 2014 n. X/2129) in vigore dal 11.04.2016 ha riproposto, per il Comune di Offlaga, la classe 3 (Figura 11).

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	11 di 39
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			



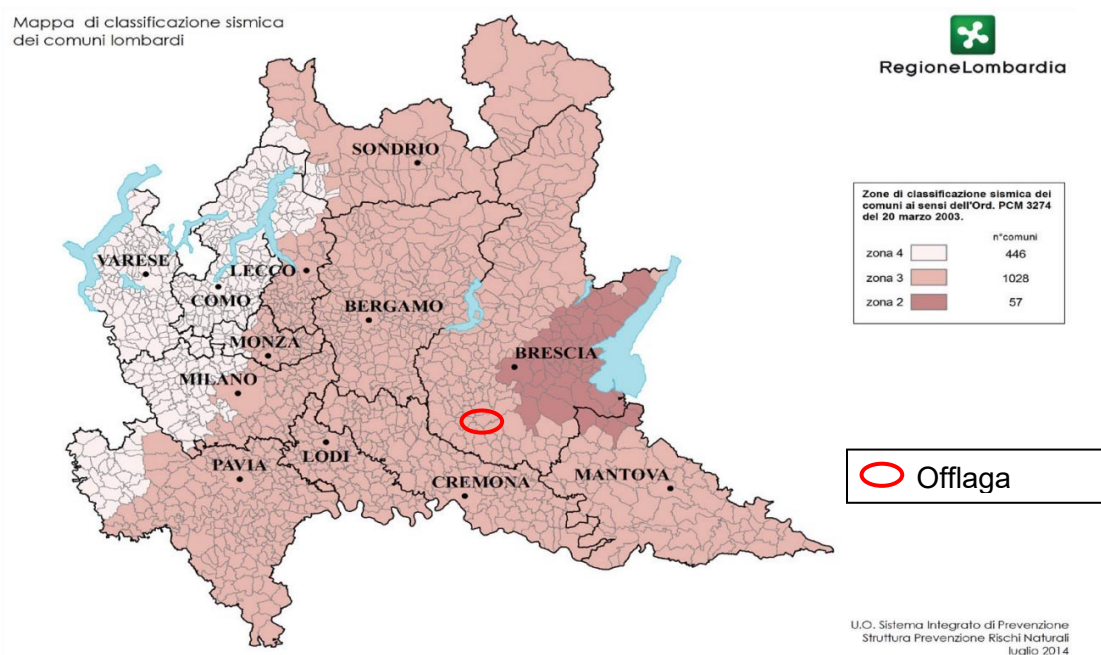


Figura 11 - Riclassificazione sismica 2014

In riferimento alla pericolosità sismica locale (studio di I livello), l'area ricade nella classe Z4a, ovvero *Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi fluviali granulari e/o coesivi*, (Figura 12) le cui problematiche sono legate all'amplificazione litologica. Dagli approfondimenti eseguiti non si riscontrano amplificazioni morfologiche. Viene pertanto attribuita la classe topografica T1.



Figura 12 - Carta PSL da PGT

Per le analisi sismiche di approfondimento insito è stata effettuata una verifica mediante la tecnica HVSR. Sulla base dei dati reperiti è stata poi effettuata l'analisi di II livello per la determinazione dei fattori di amplificazione litologica del sito. Di seguito sono riportati i risultati

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	12 di 39
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			



delle indagini effettuate.

### 3.4. Indagine sismica

#### 3.4.1. Tecnica di misurazione e strumentazione

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) consiste nel misurare direttamente, sfruttando il rumore di fondo ambientale (microtremori), le frequenze di risonanza degli edifici e dei terreni costituenti il sottosuolo, allo scopo di stimare gli effetti di sito e la vulnerabilità sismica dell'opera. Per rumore ambientale di fondo s'intende l'insieme delle vibrazioni che si propagano nel terreno dovute sia a fenomeni naturali, moto ondoso, perturbazioni atmosferiche, ecc., sia all'azione antropica, traffico veicolare, macchinari, ecc.. Si è riconosciuto, a partire dagli anni settanta, che i microtremori tendono a eccitare le frequenze naturali di oscillazione dei terreni, permettendone l'individuazione. In pratica ciò che viene misurato sono, in certo intervallo di frequenze, solitamente 0.1-100 Hz, le velocità dei microtremori lungo il piano orizzontale e verticale (H e V) e il rapporto fra le due componenti (H/V). I valori di massimo locale (picchi positivi) di H/V ai quali corrispondono minimi locali di V individuano le frequenze di risonanza degli strati di terreno lungo la verticale di misura. Più elevato è il valore del rapporto H/V maggiore è il contrasto di impedenza sismica e quindi la variazione di velocità delle onde S fra livelli stratigrafici contigui. La tecnica HVSR richiede l'utilizzo di un tromografo digitale, cioè di un sismometro a stazione singola in grado di registrare i microtremori lungo le due direzioni orizzontali (X, Y) e lungo quella verticale (Z), in un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 10-20 minuti). Il moto indotto nel terreno viene misurato in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z), secondo il passo di campionamento impostato dall'operatore. Le misure registrate vengono poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza, dove H è la media delle misure lungo X e Y) e spettri V (componente verticale del moto in funzione della frequenza). Attraverso la tecnica HVSR è possibile:

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	13 di 39
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

- valutare in maniera quantitativa gli effetti di sito (risposta sismica locale e liquefazione);
- ricavare il profilo delle velocità delle onde S con la profondità e calcolare il parametro  $V_{seq}$ ;
- analizzare la vulnerabilità sismica degli edifici, esistenti o in progetto.

### 3.4.2. Effetti di sito: risposta sismica locale

Le onde di taglio (S) sono le principali responsabili delle lesioni che subiscono gli edifici durante un evento sismico. Infatti, mentre le onde di compressione (P) agiscono sulle sovrastrutture in direzione prevalentemente verticale (moto sussultorio), le onde S sollecitano le stesse con forze di taglio lungo il piano orizzontale (moto ondulatorio), dove gli elementi strutturali sono più vulnerabili. Nelle analisi di pericolosità sismica è quindi fondamentale esaminare in dettaglio in che modo le onde S si propagano. E' infatti ampiamente dimostrato che questo tipo di oscillazione durante il percorso verso la superficie può subire un'azione di filtraggio che tende a ridistribuire l'energia associata al treno d'onda, concentrandola in determinate frequenze, corrispondenti alle frequenze naturali di vibrazione dei terreni attraversati. L'effetto finale è quello di amplificare le onde S che andranno a sollecitare l'opera. Questo fenomeno può essere dovuto sia a particolarità topografiche del sito (amplificazione topografica), come valli sepolte o zone di cresta o di versante in pendii naturali o artificiali, sia a variazioni brusche nelle caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati lungo la verticale (amplificazione stratigrafica). Lermo e Chavez-Garcia (1993), basandosi sul lavoro di Nakamura (1989), suggeriscono che lo spettro H/V possa essere visto, a tutti gli effetti, come rappresentativo della funzione di trasferimento del moto sismico dal bedrock alla superficie. Secondo questi Autori quindi le ampiezze dei picchi stratigrafici nello spettro H/V possono essere interpretate direttamente come fattori di amplificazione del moto sismico, almeno per quanto riguarda la componente stratigrafica.

### 3.4.3. Profilo onde S e classificazione del sottosuolo da NTC

Il D.M. 14.01.2008 (riconfermato dal D.M. 17.01.2018) propone come riferimento di

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	14 di 39
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

calcolo dell'amplificazione sismica locale, in particolare della componente stratigrafica, un metodo semplificato basato sulla stima del parametro  $V_{seq}$ . Per  $V_{seq}$  s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati di copertura fino alla H in cui giace il bedrock, caratterizzato da  $V_s > 800$  m/s, calcolata secondo la relazione:

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

dove H viene posto uguale a 30 metri nel caso in cui il bedrock si trovi a una profondità superiore. Sulla base del valore calcolato di  $V_{seq}$  vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la determinazione della classe del sito è il seguente:

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO			
Categoria sottosuolo	Descrizione	Spessore (m)	$V_s$ (m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.	Qualsiasi	$\geq 800$
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	> 30 m	$\geq 360$ $\leq 800$
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	> 30 m	$\geq 180$ $\leq 360$
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.	> 30 m	< 180
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.	Fino a 30 m	$\approx$ C e D

Una valutazione del parametro  $V_{seq}$  può essere condotta attraverso l'inversione vincolata dello spettro H/V ricavata con il velocimetro triassiale. In pratica viene utilizzata la relazione che lega la frequenza di risonanza del terreno (f) alla velocità delle onde S nel terreno stesso ( $V_s$ ):

$$f(Hz) = \frac{V_s}{4h}$$

dove h è la profondità della base dello strato. Nota la profondità di un singolo livello stratigrafico, solitamente il primo, è possibile procedere all'inversione dello spettro H/V, modellando la curva sintetica in modo da ottenere la sovrapposizione con quella misurata.

Normalmente i picchi alle alte frequenze ( $>10$  Hz) segnalano la presenza di passaggi stratigrafici molto superficiali, quelli alle basse frequenze ( $<1$  Hz) variazioni stratigrafiche profonde. Poiché le inversioni di velocità, cioè il passaggio andando in profondità da livelli veloci a livelli meno veloci, non da origine a picchi nello spettro H/V, queste non possono essere rilevate direttamente. Un indizio della presenza di inversioni di velocità può essere fornito però, indirettamente, dall'andamento dello spettro H/V: ampi intervalli di frequenza in cui costantemente il rapporto H/V si mantiene minore di uno sono spesso associabili a variazioni negative delle velocità con la profondità. Si tenga presente infine che in realtà i microtremori sono costituiti in parte da onde di superficie e non solo quindi da onde di taglio, ma poiché le velocità dei due tipi di oscillazione sono confrontabili la procedura descritta può essere impiegata senza introdurre errori significativi. Si tenga presente infine che in realtà i microtremori sono costituiti in parte da onde di superficie e non solo quindi da onde di taglio, ma poiché le velocità dei due tipi di oscillazione sono confrontabili la procedura descritta può essere impiegata senza introdurre errori significativi.

#### 3.4.4. Vulnerabilità sismica dell'opera

Per vulnerabilità sismica s'intende la suscettibilità di un'opera a subire lesioni in seguito alle sollecitazioni indotte dal sisma. E' stato dimostrato che la vulnerabilità agli eventi sismici di un edificio di edificazione relativamente recente è solo marginalmente collegabile alle modalità costruttive dello stesso. Molto più gravoso è l'effetto dell'amplificazione sismica locale, che tende a aumentare in maniera importante l'intensità delle forze sismiche agenti sulla struttura. In particolare se la frequenza di risonanza dell'edificio è confrontabile con quella dei terreni di fondazione si verifica il fenomeno della risonanza accoppiata che comporta un'amplificazione delle sollecitazioni sismiche sull'opera. Nel caso di edifici in fase di progettazione o di realizzazione la frequenza di risonanza fondamentale dell'opera può essere valutata con formule semplificate, quale quella indicata nel D.M. 14.01.2008:

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	16 di 39
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



$$f_s = \frac{1}{C_1 Z^{\frac{3}{4}}}$$

in cui  $C_1$  è un fattore che dipende dalla tipologia costruttiva.

Tipologia	$C_1$
Costruzioni con struttura a telaio in acciaio	0,085
Costruzioni con struttura a telaio in calcestruzzo armato	0,075
Costruzioni con qualsiasi altro tipo di struttura	0,050

La relazione è valida per edifici con  $Z$  non superiore ai 40 metri e massa distribuita, approssimativamente, in maniera uniforme lungo l'altezza. Negli edifici esistenti il valore della frequenza fondamentale di risonanza può essere invece misurato direttamente con il tromografo digitale. In questo caso è necessario misurare il rapporto  $H_i/H_0$ , dove  $H_0$  è lo spettro della componente orizzontale, lungo  $X$  o  $Y$ , riferita al piano terra e  $H_i$  la stessa componente misurata al piano  $i$ -esimo. Nella pratica spesso si eseguono solo due misure, ubicate lungo la stessa verticale, una al piano terra e una all'ultimo piano dell'edificio. Il picco positivo massimo dello spettro  $H_i/H_0$  indica direttamente la frequenza di risonanza fondamentale della struttura.

### 3.4.5. Risultati dell'analisi

Si riportano di seguito in Figura 13 gli spettri  $H/V$  e  $V$  registrati nel sito in esame. Nello spettro  $H/V$  sono stati individuati i picchi positivi che corrispondono ad altrettanti minimi locali nello spettro  $V$  (Up-Down component in legenda), fatto questo che consente di riconoscere le frequenze associate ai picchi  $H/V$  come frequenze di risonanza del terreno.

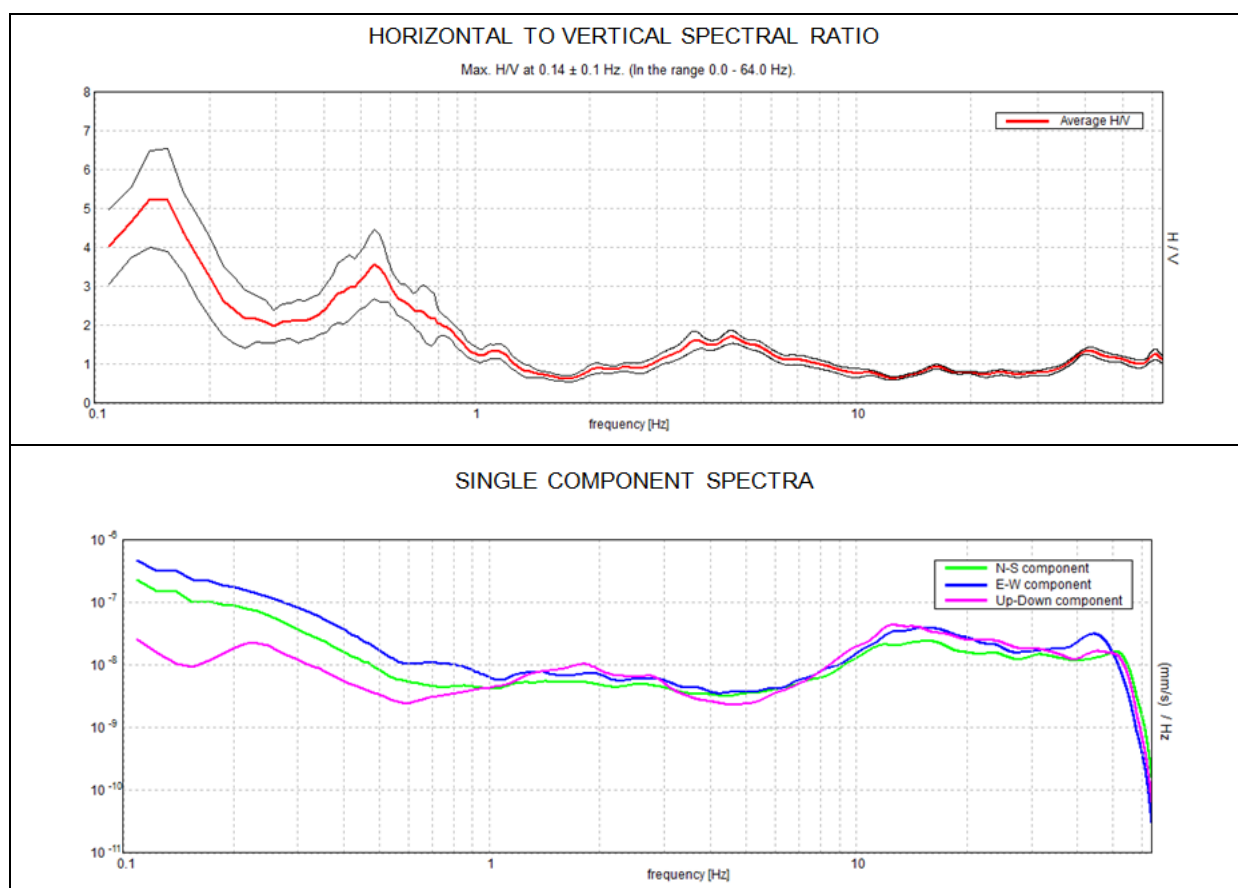
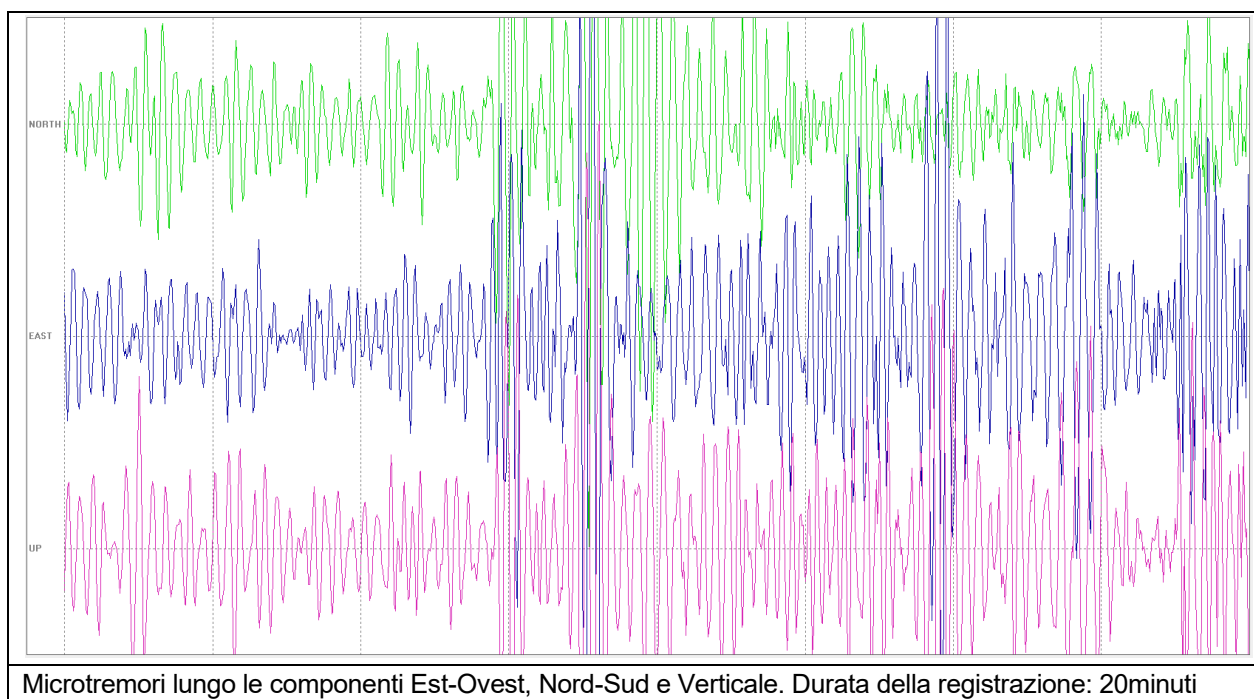


Figura 13 – Andamento degli spettri

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	18 di 39
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

La curva H/V sintetica è stata modellata in modo da sovrapporsi ai picchi stratigrafici misurati (Figura 14).

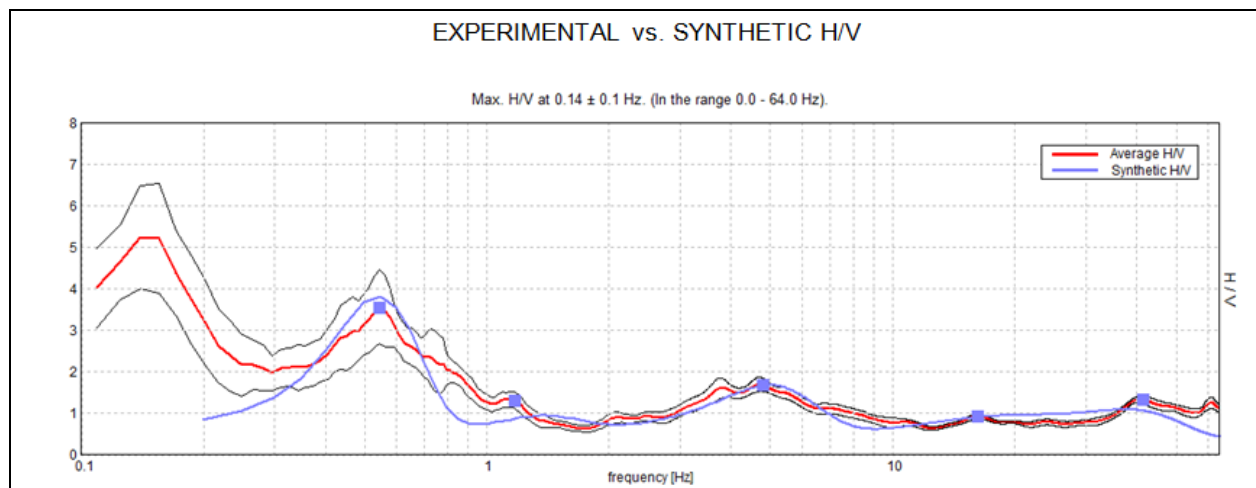


Figura 14 – Andamento della frequenza caratteristica

L'inversione ha consentito di ricavare il profilo delle velocità delle onde S in funzione della profondità.

Profondità da (m)	a (m)	$\Delta z$ (m)	Vs (m/s)	Inversioni di velocità
0.00	0.80	0.80	132	-
0.80	3.50	2.70	224	-
3.50	13.50	10.00	281	-
13.50	93.50	80.00	450	-
Oltre 93.50			639	-

Il valore di  $V_{seq}$  calcolato da piano campagna è risultato uguale a 332 m/s, che pone il sito nella categoria di sottosuolo C secondo D.M. 17.01.2018. Da piano fondazione la classe è la medesima. La frequenza fondamentale del sito è risultata pari a 0.55 Hz.

### 3.5. Analisi di II livello

La procedura permette la caratterizzazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi e la verifica dei valori proposti dalla normativa nazionale. A tale scopo verrà stimato il valore del Fattore di amplificazione ( $F_a$ ) e confrontato con quello proposto dalla Regione Lombardia. Il valore di  $F_a$  si riferisce agli 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. 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 del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
- 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 e quindi è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia. In alternativa è possibile utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo superiore.

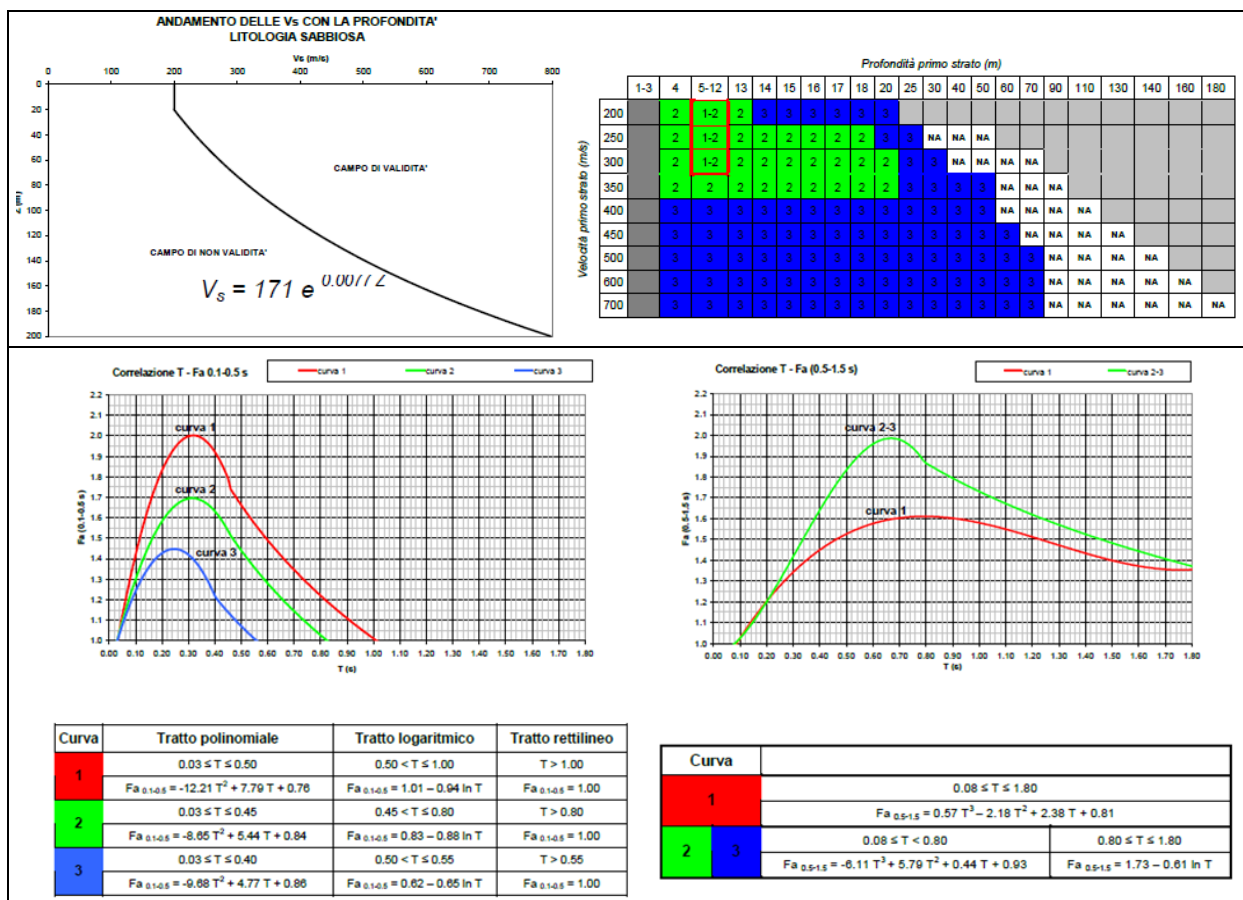


Figura 15 – Scheda sabbiosa



Sulla base delle risultanze della prova HVSR sono state valutate le velocità delle onde sismiche, quindi sono state scelte le curve corrispondenti per litologia o profilo di  $V_s$  (Rif. Allegato 5 Direttive LR 12.05). Nel caso esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata ma l'andamento delle  $V_s$  con la profondità non ricadesse nel campo di validità della scheda potrà, in questa prima fase, essere scelta un'altra scheda che presenti l'andamento delle  $V_s$  con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine. Nel caso in esame la scheda di riferimento è risultata la sabbiosa (Figura 15). Sulla base dei dati sopradescritti è stato calcolato il valore del periodo proprio del sito ( $T$  = inverso della frequenza fondamentale) che è risultato uguale a 1.81 s. Sulla base della scheda di riferimento e del valore risultante di  $T$  è stato calcolato il fattore di amplificazione  $F_a$  per le diverse tipologie di intervallo: 0.1 – 0.5 s e 0.5 – 1.5 s.

Intervallo	Fa calcolato	Fa di riferimento per suolo C
0.1 – 0.5 s	1.0	1.9
0.5 – 1.5 s	1.4	2.4

Applicando ai valori di amplificazione calcolati la tolleranza prevista pari a  $\pm 0.1$  risultano entrambe minori ai valori soglia proposti dalla normativa regionale per la categoria di sottosuolo C nel Comune di Offlaga. Pertanto in entrambe i casi si ritiene valida la classificazione sismica vigente e quindi si potrà utilizzare lo spettro proposto dalla stessa.

L'attendibilità dei dati utilizzati è stata espressa con la tabella proposta in allegato 5 e la categoria assegnata è quella evidenziata in rosso direttamente sulla tabella di seguito riportata.

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)

Figura 16 – Livelli di attendibilità (Tab 3 - All. 5 D.g.r. 28 Maggio 2008 n. 8/7374)

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	21 di 39
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

### 3.6. Parametri sismici

L'entrata in vigore del D.M. 14.01.2008 ha introdotto un approccio alla classificazione sismica di tipo *sitodipendente*, ovvero i parametri significativi della zona devono essere calcolati in base a misure dirette ed elaborati secondo metodi semplificati che tengano conto delle possibili amplificazioni locali dovute alla stratigrafia e alla topografia. L'entrata in vigore del D.M. 17.01.2018 ha riconfermato questo tipo di approccio. Di seguito sono riportati i valori delle accelerazioni corrispondenti ai diversi stati limite attesi calcolati per l'area in studio. I parametri utilizzati sono leggibili direttamente nello schema di Figura 17.

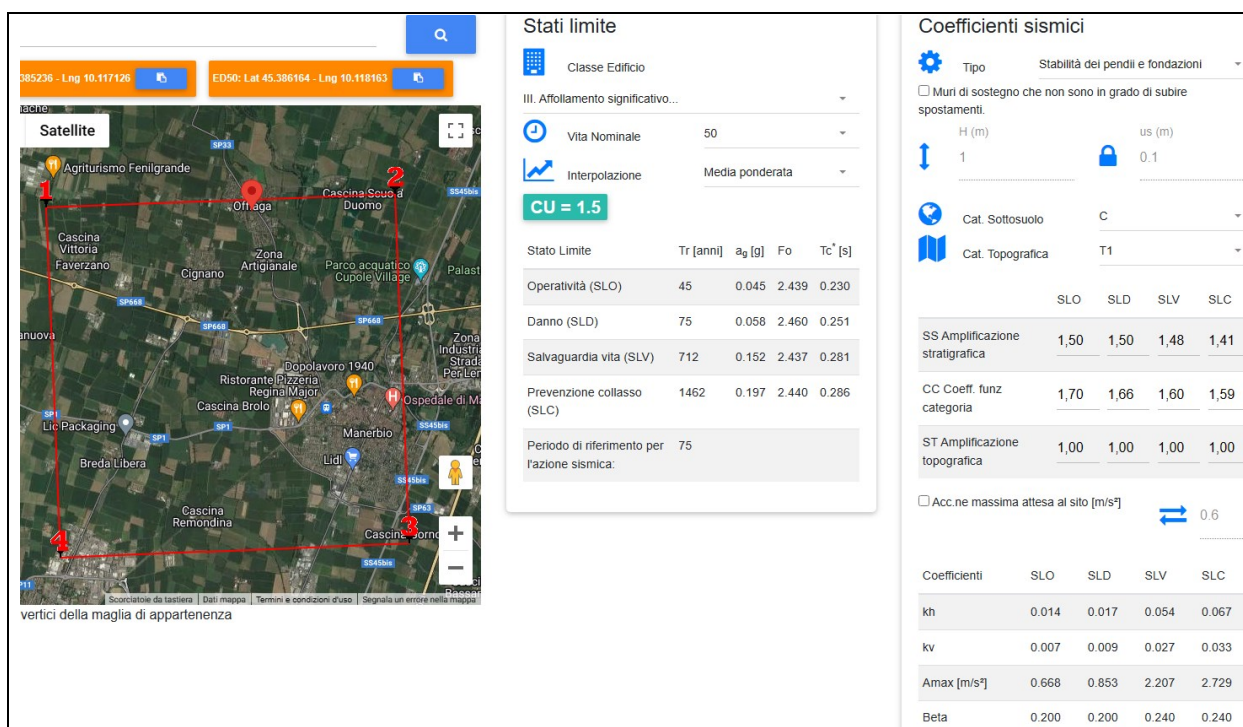
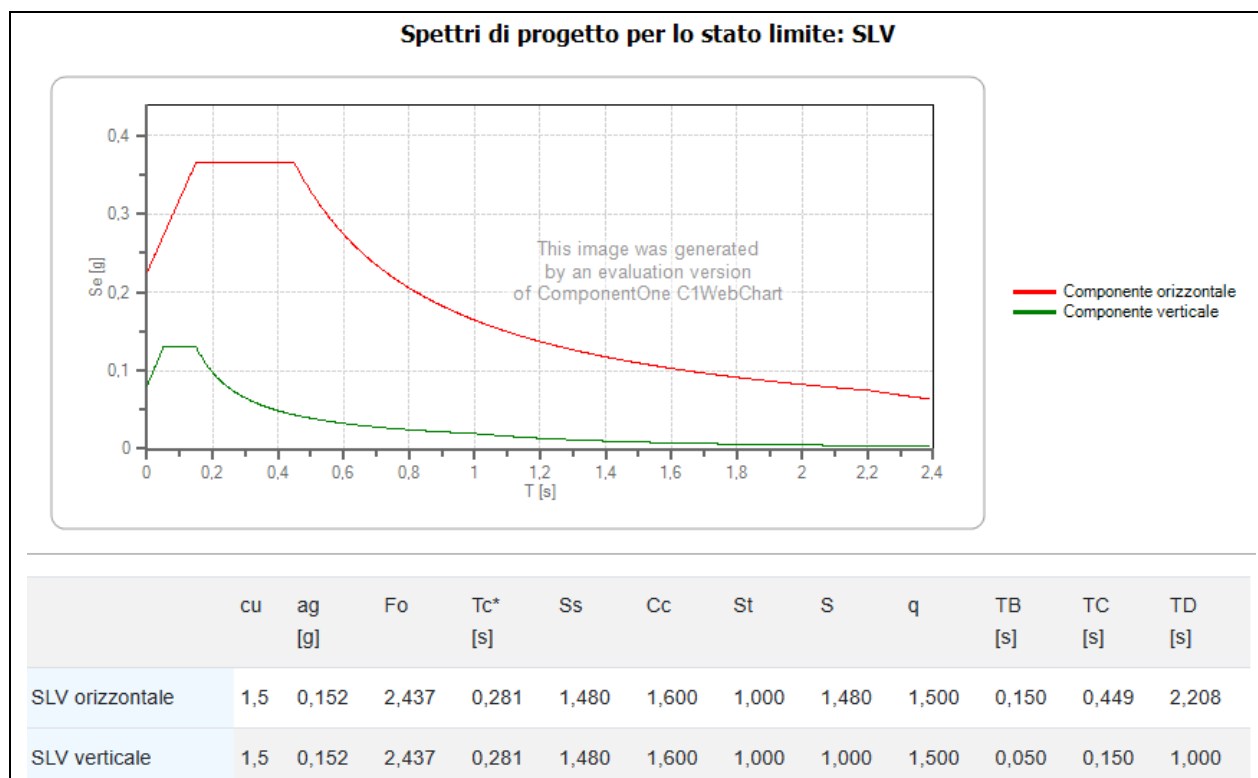


Figura 17 – Calcolo dei parametri sismici dell'area



**Figura 18 – Spettro SLV**

Con riferimento alle nuove costruzioni si rimanda alle indicazioni ed ai criteri di calcolo previsti dalla nuova normativa.

### 3.7. Stima della magnitudo di riferimento

Nel settore di appartenenza del comunale di Offlaga i lineamenti tettonici sono riconducibili a diversi sistemi regionali che generano complessi campi tensionali. Il territorio comunale, in particolare, si pone nella parte settentrionale di un'area in sollevamento, con zone stabili, o in abbassamento durante il Pliocene inferiore e in forte sollevamento durante il Pliocene medio-superiore e il Quaternario. La sismicità di questa zona è legata quindi alla tettonica molto complessa del margine padano settentrionale. Le sorgenti sismogenetiche dovrebbero trovarsi ad una profondità compresa tra 5 e 15 km, in corrispondenza dello scollamento tra il basamento cristallino e la sovrastante copertura sedimentaria. L'analisi della sismicità, intesa come distribuzione spazio-temporale dei terremoti in una determinata area, costituisce il primo tassello per gli studi di valutazione della pericolosità sismica di base.

Trattandosi di modelli probabilistici, infatti, le caratteristiche sismo-tettoniche e le modalità di rilascio dell'energia sismica pregressa consentono la messa a punto di modelli previsionali dell'attività sismica attraverso una quantificazione dei livelli di accelerazione attesi. L'attività sismica storica nel bresciano rappresenta la naturale continuazione di quella pliocenica e quaternaria e risulta correlata alla collocazione, delle aree di studio, tra zone sismogenetiche riferibili, da una parte al fronte alpino e dall'altra al fronte appenninico, sepolti al di sotto della coltre fluvioglaciale-alluvionale della Pianura Padana. Storicamente la zona risente di effetti macroscopici in funzione della relativa vicinanza alle aree e Alcuni sismi recenti, con le massime intensità storiche, si sono risentiti, per la relativa vicinanza con l'area sismogenetica del Reggiano-Ferrarese-Parmense e dell'edificio appenninico sepolto al di sotto delle coltri quaternarie dei depositi di pianura. L'area in esame secondo il modello sismotettonico riassunto nella zonazione sismogenetica ZS9 ricade a confine tra la zona sorgente 907 e 906 (Figura 19). In questo caso, ai fini della verifica alla liquefazione, si assume il valore della Magnitudo Mw pari a quello della zona più prossima, ovvero 6.14. Per un calcolo più preciso è possibile utilizzare la metodologia della disaggregazione della pericolosità sismica che somma i contributi dovuti alle singole coppie magnitudo-distanza dagli epicentri ricadenti nell'area di riferimento, allo scopo di ricavare l'evento sismico dominante.

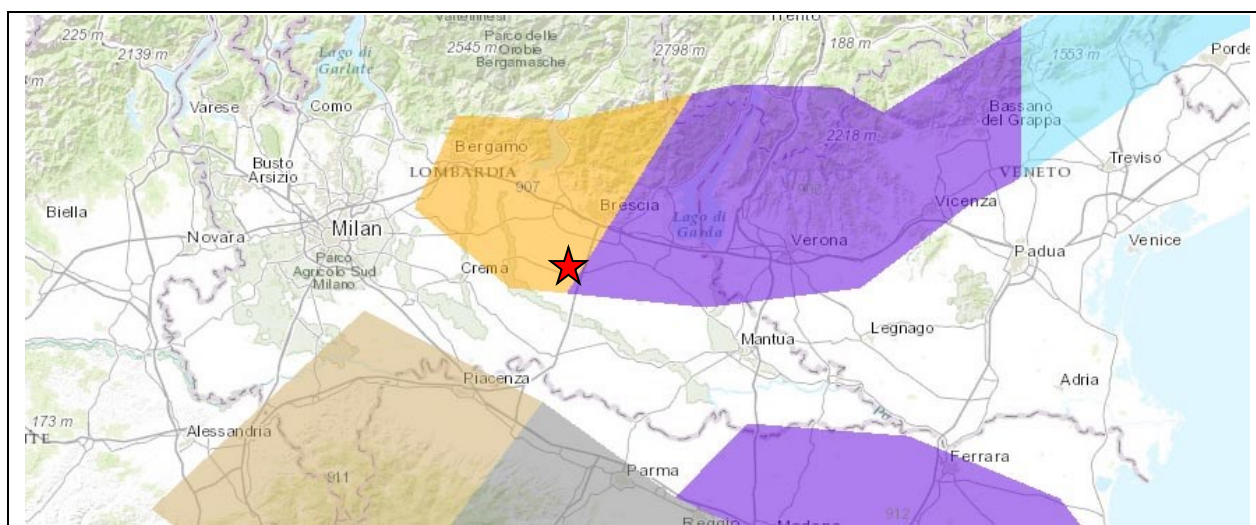


Figura 19 – Schema Zonizzazione Sismogenetica ZS9

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	24 di 39
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			



In questo modo si ottiene il terremoto di scenario, caratterizzato da un valore univoco della magnitudo, della distanza e del tempo di ritorno; ciò lo rende utilizzabile ai fini progettuali nelle verifiche agli stati limite. Il metodo si basa sulla mappa della pericolosità sismica messa a disposizione dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) attraverso il proprio portale web. Il sistema consente di visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo  $0.05^\circ$ . Per ogni singolo nodo della griglia di riferimento è possibile richiedere il dettaglio in forma grafica e tabellare dell'analisi di disaggregazione (vale a dire il contributo delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza alla pericolosità del nodo) della relativa  $a(g)$ . Per il sito in studio nel comune di Offlaga il valore medio di riferimento propone una magnitudo pari a 4.84 ad una distanza di 9.67 km. Il valore non è però riferito alla magnitudo momento  $M_w$ , ma bensì alla magnitudo locale media. Per questo devono essere sommati i singoli contributi sino all'ottenimento di un valore superiore al 90%. Sommando i contributi da 0 a 40 km si raggiunge un valore superiore al 90% per magnitudo fino a 5.5. I valori calcolati con entrambe i metodi convergono su un risultato confrontabile.

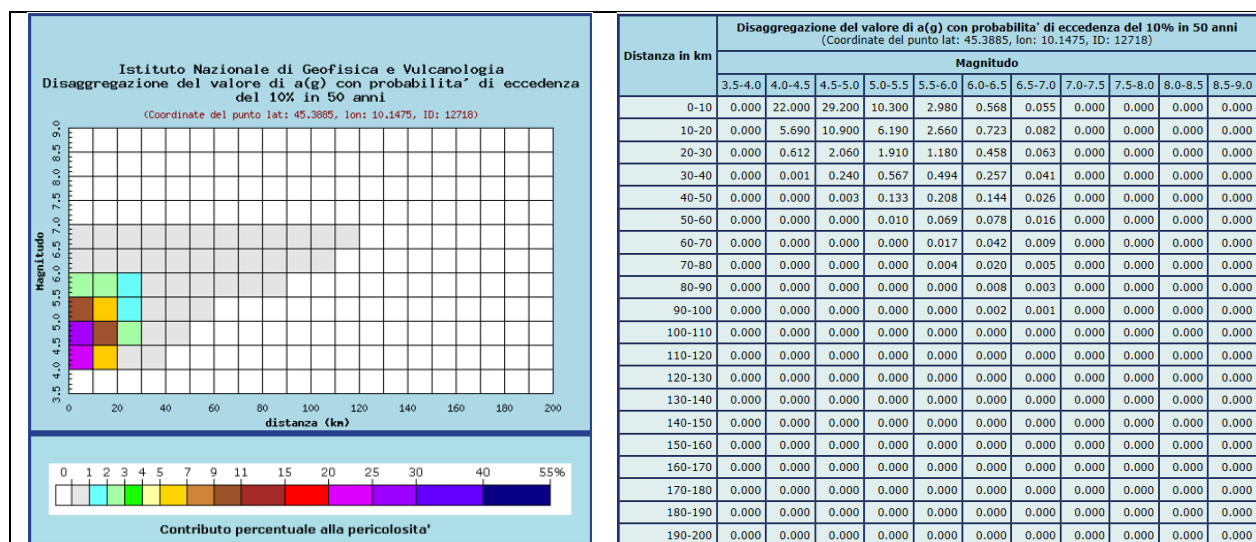


Figura 20 – Verifica Magnitudo

### 3.8. Verifica alla liquefazione

Durante un evento sismico vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Per tutta la durata della scossa ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso ed ampiezza. Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità. Quindi, maggiore è la durata di un terremoto più alta è la possibilità che si arrivi (maggior numero di cicli) alla liquefazione. Inoltre, maggiore è l'ampiezza della vibrazione e della deformazione indotta e minore è il numero di cicli necessari per giungere a tale condizione. drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso.

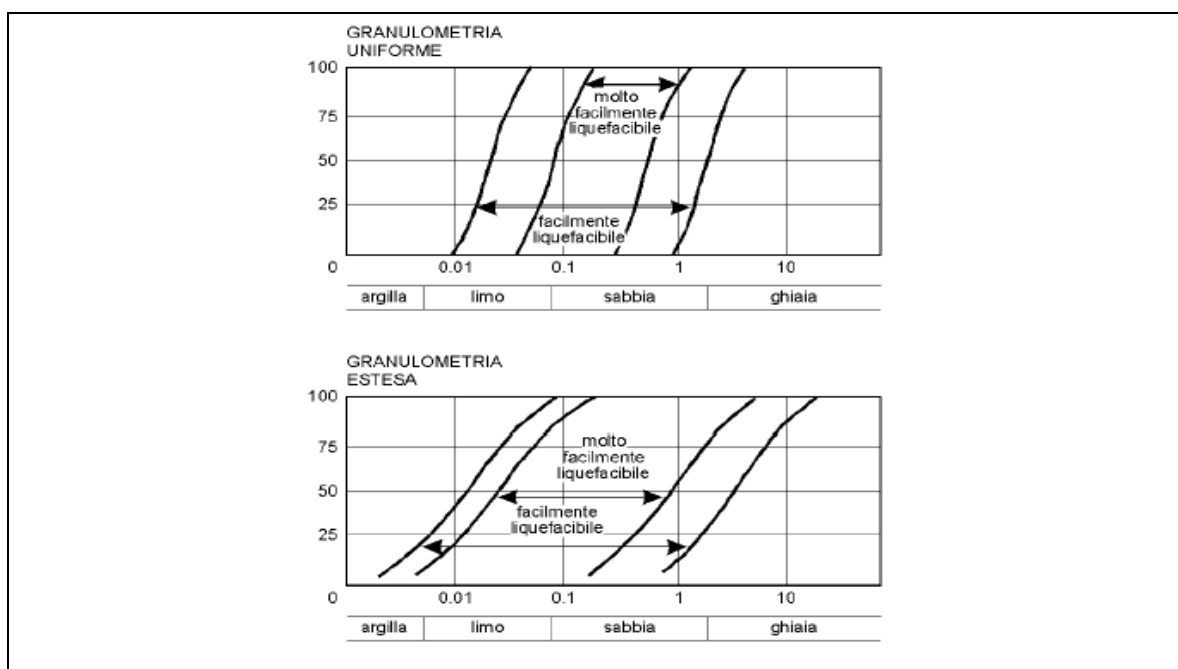


Figura 21 – Valutazione della suscettibilità alla liquefazione – fasce granulometriche critiche

Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito

raggiunga lo stato di liquefazione. La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di drenaggio, dalla storia delle sollecitazioni sismiche e dall'età del deposito stesso. Tanto minore è il grado di addensamento del materiale (elevato indice dei vuoti e bassa densità relativa) tanto maggiore è la probabilità che, a parità di altre condizioni, un deposito raggiunga lo stato di liquefazione. I depositi sabbiosi sotto falda sono i terreni con più alto potenziale di liquefazione in particolare se sono di recente (in termini geologici) deposizione, e di granulometria fine o media come riportato nella Figura 21. La probabilità che un deposito raggiunga le condizioni per la liquefazione dipende anche dallo stato di addensamento, dalla composizione granulometrica, dalle condizioni di Tutti i metodi semplificati permettono di esprimere la suscettibilità alla liquefazione del deposito attraverso un coefficiente di sicurezza, dato dal rapporto fra la resistenza al taglio mobilitabile nello strato (CSR) e lo sforzo tagliante indotto dal sisma (CRR). Cioè in pratica si ha:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

Un deposito dovrà essere considerato suscettibile di liquefazione, se il coefficiente di sicurezza sarà minore di 1 (di 1.25 secondo l'Eurocodice 8). La grandezza CSR dipende dai parametri del sisma di progetto (accelerazione sismica e magnitudo di progetto). CRR è funzione delle caratteristiche meccaniche dello strato, principalmente del suo stato di addensamento, e può essere ricavato direttamente attraverso correlazioni con i risultati di prove penetrometriche dinamiche e statiche o con i valori delle velocità delle onde S ricavati da indagine geofisica. La grandezza CSR viene ricavata attraverso la relazione:

$$CSR = \frac{1}{2} \frac{a_{max}}{g} \frac{1}{\sigma'_{v0}} \frac{1}{r_d} \frac{1}{MSF}$$

dove:

- $a_{max}$  = accelerazione sismica massima;  
 $g$  = accelerazione di gravità = 980.7 cm/s<sup>2</sup>;  
 $\sigma'_{v0}$  = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;  
 $\sigma'_{v0}'$  = pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;  
 $r_d$  = coefficiente funzione della profondità dal p.c.;  
 $MSF$  = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma,

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	27 di 39
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

La grandezza  $r_d$  può essere valutata attraverso alcune correlazioni empiriche note in letteratura. Nel caso in esame è stata utilizzata la seguente:

### ANDRUS e STOKOE (2000)

$$CRR = 0,022 \cdot \left( \frac{K_c \cdot V_{s1}}{100} \right)^2 + \frac{2.8}{(V_{s1C} - K_c \cdot V_{s1})} - \frac{2.8}{V_{s1C}}$$

$$CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

L'analisi ha riguardato i primi 30 metri da p.c.. Per la verifica del coefficiente di sicurezza è stato utilizzato il programma LIQUEF ver. 2.2 della PROGRAMGEO che impiega l'approccio probabilistico-statistico di Gumbel per ottenere la massima accelerazione di picco prevedibile nel sito per un determinato tempo di ritorno attraverso l'estrazione dal Catalogo sismico. La verifica è stata eseguita sulla base del modello sismico derivato dall'indagine sismica di dettaglio, con particolare riferimento all'andamento delle velocità Vs. Attraverso opportune elaborazioni (Andrus e Stokoe) è stato ottenuto il coefficiente di sicurezza in funzione della profondità. Il procedimento di calcolo ha previsto la suddivisione in strati omogenei con un valore di Vs caratteristico secondo i seguenti modelli (da indagine HVSR):

1° strato: velocità media onde Vs 132 m/sec spessore medio 0.80 m

2° strato: velocità media onde Vs 224 m/sec spessore medio 2.70 m

3° strato: velocità media onde Vs 281 m/sec spessore medio 10.00 m

4° strato: velocità media onde Vs 450 m/sec spessore medio 16.50 m

Per il profilo Tr1 è stata considerata un'accelerazione pari a 0.225 g (0.152x1.48) ricavata per edifici di classe III e una soggiacenza cautelativa della falda pari a circa 4.00 metri. Il calcolo ha verificato che il coefficiente di sicurezza Fs è sempre superiore all'unità, di conseguenza il coefficiente Ic è pari a 0.0, ad indicare un rischio molto basso (Figura 22).

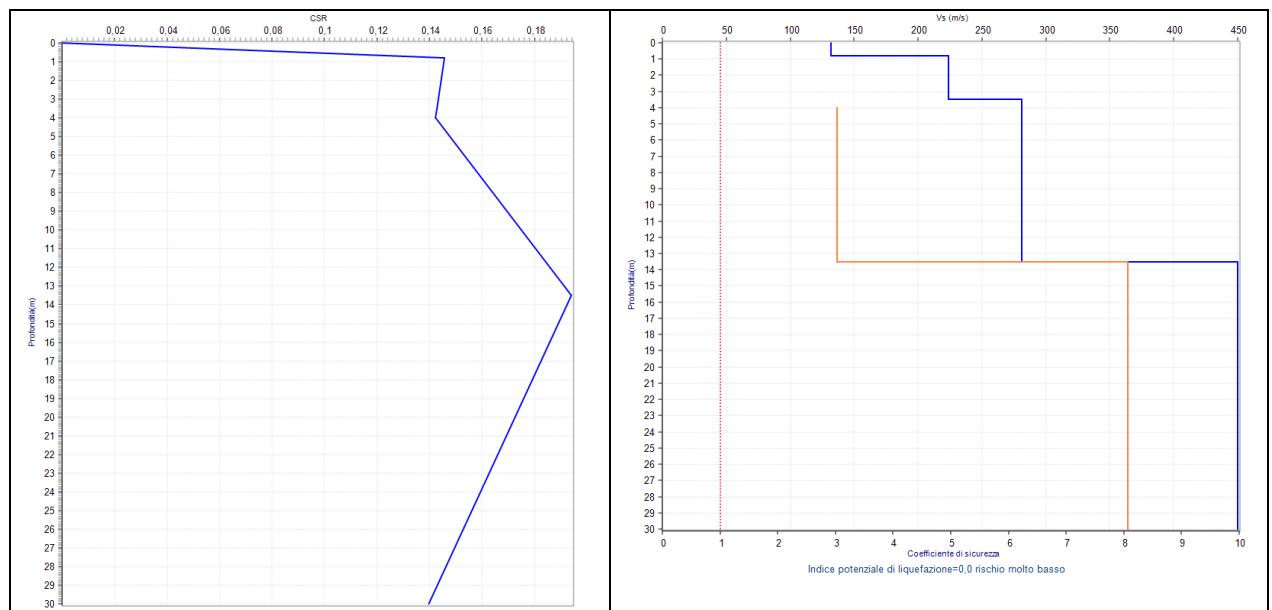


Figura 22 – Andamento dei coefficienti CSR e FS



## 4. GEOTECNICA

La definizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione è stata effettuata sulla base dei risultati dei valori di resistenza penetrometrica della prova eseguita in sito e dai dati bibliografici validi per litologie simili. Nell'area è stata effettuata n. 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica (CPTU) che è stata spinta sino alla profondità massima di circa 7.60 m da p.c.. La prova penetrometrica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi  $\delta$ ) misurando la forza necessaria al suo avanzamento (Figura 23). La prova con punta meccanica prevede letture ogni 20 cm, mentre quella con punta elettrica prevede letture ogni centimetro.

DIMENSIONI E PESI				DATI TECNICI		
	DP	CPT	DP + CPT	Motore	Tipo	Benzina; 2 cil.; V
H [mm]	1600	1480	1600		Potenza [HP (kW) - RPM]	16 (12) - 3600
L [mm]	2450	2200	2450		Raffreddamento	Aria
P [mm]	1040	1040	1040	Traslazione	Cingolato a trasmissione idrostatica	Cingolato Gommato
Peso [kg]	910	810	980		Velocità di traslazione [km/h]	0 ÷ 1.8
					Pendenza Max %	25
				Pompa Idraulica	Numero di Pompe	2
					Max. pressione operativa [bar]	245
				Stabilizzatori	Numero	3
					Tipo	Idraulico



Figura 23 – Penetrometrica dinamico superpesante e statico da 20 ton

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. Nella prova penetrometrica statica con punta elettrica lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di celle di carico, che leggono la pressione esercitata dalla punta sul terreno. La punta conica è dotata di un

manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale sempre attraverso una cella di carico.

Le dimensioni della punta / manicotto sono standardizzate, e precisamente :

- diametro Punta Conica meccanica  $\varnothing$  = 35,7 mm
- area di punta  $A_p$  = 10 cm<sup>2</sup>
- angolo di apertura del cono  $\alpha$  = 60 °

Le resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP**) e **Ql** (Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione. Le risultanze stratigrafiche della prova penetrometrica sono riportate in Allegato 2, complete dei diagrammi delle letture, mentre l'ubicazione della prova è riportata in Allegato 1 ed in Figura 24.



Figura 24 – Documentazione fotografica della prova penetrometrica

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	31 di 39
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

## 4.1. Modello geotecnico

Per la definizione dei parametri geotecnici si è fatto riferimento alle usuali correlazioni semiempiriche che definiscono i valori di coesione non drenata  $c_u$ , angolo di attrito interno  $\phi$ , densità  $\gamma$ , e modulo elastico  $E$ , in relazione alla resistenza penetrometrica. Nell'area è stata rilevata la presenza di un primo livello di copertura costituito da suolo dello spessore di circa 0.60 m, seguito da depositi a comportamento granulare da moderatamente a ben addensati continui sino alla massima profondità indagata pari a circa 7.60 m da p.c.. Lo studio dei parametri deve essere però sviluppato in termini non più deterministici ma bensì aleatori, cioè ciò che prima era identificato da un valore adesso è descritto da una variabile che rappresenta un insieme di numeri riferiti alla stessa grandezza fisica. La distribuzione di questa grandezza può quindi essere rappresentata da una funzione continua di tipo normale (gaussiano) dove sulle ascisse sono riportati i valori della variabile ( $F_s$ ) e sulle ordinate la loro frequenza. Una evoluzione di questa particolare funzione è chiamata distribuzione di Student che ben si adatta nei casi in cui si può assistere a compensazione. Nel caso in esame per compensazione si intende il seguente concetto: il volume della eventuale massa interessata dal sovraccarico delle fondazioni è maggiore della scala di fluttuazione dei parametri che la governano, cioè di quelle porzioni di terreno che presentano geometrie o valori di resistenza differenti. E' pertanto plausibile che nel volume della massa instabile siano presenti porzioni di terreno con caratteristiche differenti. In questi casi maggiore è la tendenza a compensare le zone deboli con le forti giustificando il riferimento a valori prossimi ai valori medi. Tutte queste considerazioni sono ritenute valide in assenza di superfici di rottura preferenziali come nel caso in esame. Al fine di operare a favore di sicurezza è stato estratto il valore riferito al 5° percentile della distribuzione, ovvero **il valore caratteristico** tale che la probabilità calcolata di valori più sfavorevoli, che determinano la manifestazione dello stato limite, non sia maggiore del 5%. Questa procedura è peraltro documentata negli Eurocodici EC7 ed EC8 ed è stata ripresa nella stesura delle Norme Tecniche delle Costruzioni 2018. Sulla base delle correlazioni effettuate è stato definito un unico modello geotecnico così schematizzato:

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	32 di 39
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

**STRATO A:** da p.c. sino a  $-0.60$  m: suolo. Parametri caratteristici:  $\gamma = 1.7 \text{ kg/dm}^3$ .

**STRATO B:** da  $-0.60$  m sino a  $-1.50$  m: depositi granulari moderatamente addensati.

Parametri caratteristici:  $\Phi_k = 32^\circ$   $\gamma = 1.8 \text{ kg/dm}^3$ .

**STRATO C:** da  $-1.50$  m sino a  $-7.60$  m: depositi granulari ben addensati. Parametri

caratteristici:  $\Phi_k = 35^\circ$   $\gamma = 1.9 \text{ kg/dm}^3$ .

A completamento del modello geotecnico è stata attribuita la categoria di appartenenza del profilo stratigrafico dei terreni di fondazione per la definizione dell'azione sismica di progetto. Vista la natura granulometrica e le risultanze delle indagini sismiche, nonché le elaborazioni di II livello, il profilo stratigrafico dei terreni di fondazione è classificabile come **tipo C** secondo i disposti della Ordinanza del Presidente del Consiglio 20 marzo 2003 n.3274 e successive modifiche.

## 4.2. Analisi delle soluzioni fondali

L'applicazione di un carico concentrato sulla superficie del terreno produce un fascio di reazioni con intensità decrescente allontanandosi in orizzontale ed approfondendosi sulla verticale rispetto al punto di applicazione. In funzione della geometria e delle dimensioni della fondazione o del piano di appoggio, i carichi saranno diffusi a profondità differenti. Le proprietà geotecniche dei terreni permettono l'impiego di fondazioni superficiali di qualsiasi tipologia, a plinto, nastriformi o a platea. Nel caso in studio sono presenti fondazioni lineari con incastro variabile tra  $0.30$  m e  $0.60$  m, posate a circa  $1.30$  m da p.c.. *Durante le operazioni di scavo delle fondazioni si dovrà riservare particolare attenzione alla tipologia dei depositi e dovranno essere segnalate eventuali difformità o repentine variazioni litologiche non rilevabili dall'indagine svolta.*

In riferimento all'aggressività dei terreni di fondazione (UNI EN 206-1) questi possono essere classificati come XC2. Il calcestruzzo impiegato per le opere di fondazione dovrà garantire le prestazioni minime riportate nella tabella seguente.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	33 di 39
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				



Denom. della classe	Descrizione dell'ambiente	Esempi informativi di situazioni a cui possono applicarsi le classi di esposizione	UNI 9858	A/C MAX	R'ck min.	Dos. Min. Cem. KG.
XC2	Bagnato, raramente asciutto	Parti di strutture di contenimento liquidi, fondazioni. Calcestruzzo armato ordinario o precompresso prevalentemente immerso in acqua o terreno non aggressivo.	2a	0,60	30	300

### 4.3. Calcolo della capacità portante

Sulla base delle informazioni desunte dal modello geotecnico e considerando la tipologia di fondazioni adottata, così come illustrato in precedenza, è possibile definire la capacità portante del terreno di imposta, il cui calcolo della capacità limite può essere eseguito con la formula di Brinch Hansen valida per fondazioni superficiali che si attestano in strati caratterizzati da materiale granulare, modificata per il carico inclinato, che tiene conto dei fattori di forma, di fondazione, di profondità, di inclinazione del carico e degli effetti inerziali dovuti all'azione sismica. In ottemperanza a quanto prescritto dalla normativa vigente ed in accordo con il Progettista si è scelto un metodo di tipo semiprobabilistico che in dettaglio corrisponde all'approccio 2 combinazione unica (STR+GEO). Sono stati verificati entrambe gli approcci in mancanza di indicazioni al riguardo da parte del progettista. I riferimenti per la trasformazione della portata di progetto, ovvero i coefficienti riduttivi sono riportati nelle tabelle 6.4.II e 6.4.IV delle NTC2018. Il Progettista dovrà poi verificare che sia soddisfatta la disequaglianza:

$$Ed \leq Rd$$

dove Ed rappresenta il valore di progetto dell'azione o degli effetti delle azioni nelle varie combinazioni di carico mentre Rd rappresenta la resistenza del terreno.

#### 4.3.1. Approccio 2 combinazione unica A1+M1+R3

Questo tipo di combinazione prevede l'impiego dei parametri caratteristici (M1) del modello geotecnico così come riportato nel capitolo 4.1. Effettuando il calcolo secondo la formula sopra riportata e riducendo la capacità portante secondo i valori della tabella 6.4.I riferendosi al coefficiente  $\gamma_r$  relativo a R3 (2.30) raggiungeremo la seguente portata di progetto Rd da confrontare con le azioni corrispondenti ad A1:

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	34 di 39
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

INCASTRO 0.30/0.40 m

**combinazione fondamentale  $R_d = 2.2 \text{ Kg/cm}^2$**

**combinazione sismica  $R_d = 1.2 \text{ Kg/cm}^2$**

INCASTRO 0.60 m

**combinazione fondamentale  $R_d = 2.8 \text{ Kg/cm}^2$**

**combinazione sismica  $R_d = 1.7 \text{ Kg/cm}^2$**

Nel dimensionamento delle fondazioni è tuttavia necessario tener conto non solo della resistenza al taglio dei terreni, ma anche dei cedimenti indotti dal carico applicato. E' stata pertanto eseguita una verifica dei cedimenti indotti nel terreno di fondazione per stimare il sovraccarico di esercizio (SLE) da attribuire ai depositi indagati in modo che i cedimenti derivati siano compatibili con le strutture in progetto.

#### 4.3.2. Verifica allo slittamento

In conformità con i criteri di progetto allo SLU, la stabilità della fondazione deve essere verificata rispetto al collasso per slittamento oltre a quello per rottura generale. Rispetto al collasso per slittamento la resistenza viene valutata come somma di una componente dovuta all'adesione e una dovuta all'attrito fondazione-terreno; la resistenza laterale derivante dalla spinta passiva del terreno non è stata messa in conto. La resistenza di calcolo per attrito ed adesione è valutata secondo l'espressione:

$$FR_d = N_{sd} \tan \delta + c_a A'$$

Nella quale  $N_{sd}$  è il valore di calcolo della forza verticale,  $\delta$  è l'angolo di resistenza al taglio alla base della fondazione,  $c_a$  è l'adesione fondazione-terreno e  $A'$  è l'area della fondazione efficace, intesa, in caso di carichi eccentrici, come area ridotta al centro della quale è applicata la risultante. Riducendo gli esiti dei calcoli secondo i valori della tabella 6.4.1 riferendosi al coefficiente  $\gamma_r$  relativo a R3 (1.10), la resistenza allo slittamento risulta:

**$R_d = 0.9 \text{ Kg/cm}^2 \rightarrow$**  carico di fondazione pari a  $2.20 \text{ kg/cm}^2$  (carico SLU)

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	35 di 39
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

## 5. CONCLUSIONI

L'indagine effettuata e i rilievi eseguiti consentono di trarre le seguenti conclusioni:

1. L'area in studio ricade nel Comune di Offlaga, classificato dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio in data 20 marzo 2003 n.3274 come di classe 3. La medesima classe è stata riconfermata dalla Delibera Regionale di riclassificazione.
2. Secondo i disposti dell'Ordinanza Presidente del Consiglio n.3274/2003 i terreni di fondazione sono classificabili come di tipo C. L'analisi di II livello ha verificato l'adeguatezza delle soglie Regionali in merito ai fattori di amplificazione litologica.
3. I terreni di fondazione sono costituiti da Alluvioni fluvio-glaciali e fluviali a litologia prevalentemente sabbiosa.
4. Durante la campagna geognostica dell'Aprile 2023 il foro di prova si è chiuso a circa 5.00 m da p.c., quota alla quale presumibilmente è presente la falda freatica. Dai dati bibliografici reperiti presso la componente geologica a corredo del PGT Comunale, in corrispondenza del sito in esame, la superficie freatica possiede una soggiacenza di circa 4.00 m.
5. Il rischio di liquefazione dei terreni di fondazione in caso di sisma è risultato molto basso.

Per quanto esposto ed illustrato si dichiara la fattibilità dell'intervento, sotto il profilo geologico, idrogeologico e sismico.

**Dr. Geol. Corrado Aletti**  
(Documento firmato digitalmente)

Seniga 30.06.2023

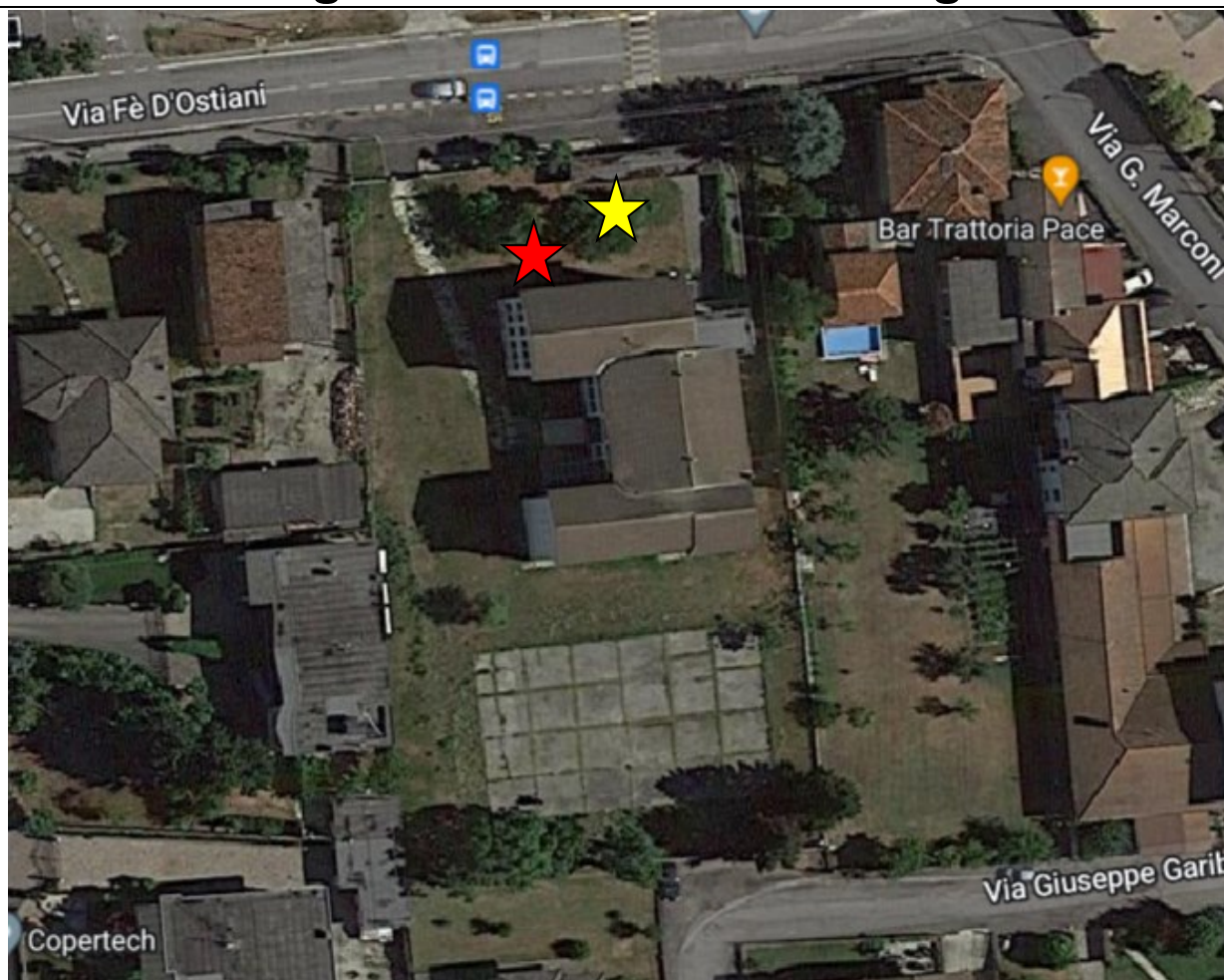
	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Aprile 2023	0	36 di 39
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

## 6. TABELLA RIASSUNTIVA PARAMETRI GEOLOGICI

FOGLIO	11					
MAPPALE	389					
QUOTA (m.s.m)	73.00					
QUOTA FALDA (m.s.m)	69.00 (da PGT)					
SOGGIACENZA (m)	4.00 (da PGT)					
CLASSE FATTIBILITA'	2					
ZONA SISMICA	3					
PERICOLOSITA' SISMICA	Z4a					
ANALISI SISMICA DI II LIVELLO	Fa < Soglia					
CLASSE TOPOGRAFICA	T1					
CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO	C					
CLASSE DELL'EDIFICIO	III					
PARAMETRI SISMICI		Ag (g)	Fo		Tc (s)	
	SLV	0.152	2.437		0.281	
	SLD	0.058	2.460		0.251	
AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA SS	1.48					
AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA ST	1.00					
FREQUENZA FONDAMENTALE (Hz)	0.55					
LIQUEFAZIONE	NO					
MODELLO GEOTECNICO	Nome	Profondità	γ (kg/dm³)	φ (°)	Cu (kg/cm²)	E (kg/cm²)
	A	0.00 – 0.60	1.7	/	/	/
	B	0.60 – 1.50	1.8	32	/	300
	C	1.50 – 7.60	1.9	35	/	400



## Allegato 1 – Ubicazione indagini



-  - CPTU
-  - HVSr

## Allegato 2 – Prova penetrometrica

