

COMMITTENTE:



**PROVINCIA
DI BRESCIA**

PROVINCIA DI BRESCIA

AREA TECNICA E DELL'AMBIENTE
SETTORE DELLE STRADE E DEI TRASPORTI



**PROVINCIA
DI BRESCIA**

PROGETTO

S.P. 11 "ORZINUOVI - ACQUAFREDDA"

PROGETTO DI MANUTENZIONE STRAORDINARIA DEL CAVALCAFERROVIA AL KM 16+750 IN
COMUNE DI VEROLANUOVA.

CUP: H37H20002300002

FASE

DATA

PROGETTO ESECUTIVO

Gennaio 2023

PROGETTISTA ARCHITETTONICO E STRUTTURALE



GUERINI INGEGNERIA SRL

Ing. Guerini Alessandro

Via Italia, 76 C - 25069 Villa Carcina (Brescia)

Tel. 030.8368592-3 - Cell. 348.8867329

www.gueriniingegneria.it - tecnico@gueriniingegneria.it

C.F. e P.IVA 03711710982

Collaboratori:

Arch.I. Mandis Simona

Ing. Valentini Monica

OGGETTO

ELABORATO

Relazione geologica e geotecnica

PE-R02

SCALA

REGIONE LOMBARDIA

PROVINCIA DI BRESCIA

COMUNE DI VEROLANUOVA



RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

CUP H3720002300002

Elaborato

S.P. 11 "ORZINUOVI - ACQUAFREDDA" MANUTENZIONE STRAORDINARIA SOVRAPPASSO FERROVIARIO IN COMUNE DI VEROLANUOVA KM 16+800

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

Committente



PROVINCIA DI BRESCIA
AREA DEL TERRITORIO
SETTORE DELLE STRADE E DEI TRASPORTI

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. Ravasio Andrea	02.03.2022
Approvato	A & P sas – Dr. Aletti Corrado	05.03.2022
File	relazione.docx	
Commessa	2022.03.098	



Elaborato	Data	Rev.	Pag.
Relazione	Marzo 2022	0	1 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

INDICE

1. Introduzione	3
2. Inquadramento geografico	4
3. Inquadramento geologico e morfologico del territorio	5
3.1. Litostratimetria	7
3.1. Fattibilità	8
3.2. Sismica	9
3.3. Indagine sismica	11
3.3.1. Tecnica di misurazione e strumentazione.....	11
3.3.2. Effetti di sito: risposta sismica locale	12
3.3.3. Profilo velocità delle onde S e classificazione del sottosuolo da NTC	13
3.3.4. Vulnerabilità sismica dell'opera	15
3.3.5. Risultati dell'analisi	16
3.4. Indagine sismica di II livello.....	17
3.5. Parametri sismici	20
3.6. Stima della magnitudo di riferimento	20
3.6.1. Verifica alla liquefazione.....	23
4. Geotecnica	27
4.1. Modello geotecnico	28
5. Conclusioni	30
6. Tabella riassuntiva parametri geologici	31

1. INTRODUZIONE

La presente relazione geologica e sismica, redatta per conto della Provincia di Brescia, Area del Territorio, Settore delle strade e dei trasporti, ha lo scopo di definire il quadro geolitologico, stratigrafico, idrogeologico, sismico delle aree interessate da un cavalcavia sito nel Comune di Verolanuova (BS), al fine esclusivo della verifica dell'assetto sismico e stratigrafico. 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, 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). Allo scopo di determinare le caratteristiche geolitologiche e litotecniche dei terreni di fondazione in sito è stata effettuata una prova penetrometrica statica (CPT) e n.1 prova sismica HSVR.

La presente relazione è corredata dai seguenti allegati:

Allegato 1 – Ubicazione indagini

Allegato 2 – Prove penetrometriche

Considerata la tipologia dell'intervento e la situazione al contorno fortemente urbanizzata 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	Marzo 2022	0	3 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame è localizzata nel settore nord orientale dell'abitato comunale di Verolanuova, lungo la strada provinciale SP11 all'altezza dell'intersezione con la linea ferroviaria, così come rappresentato in Figura 1.

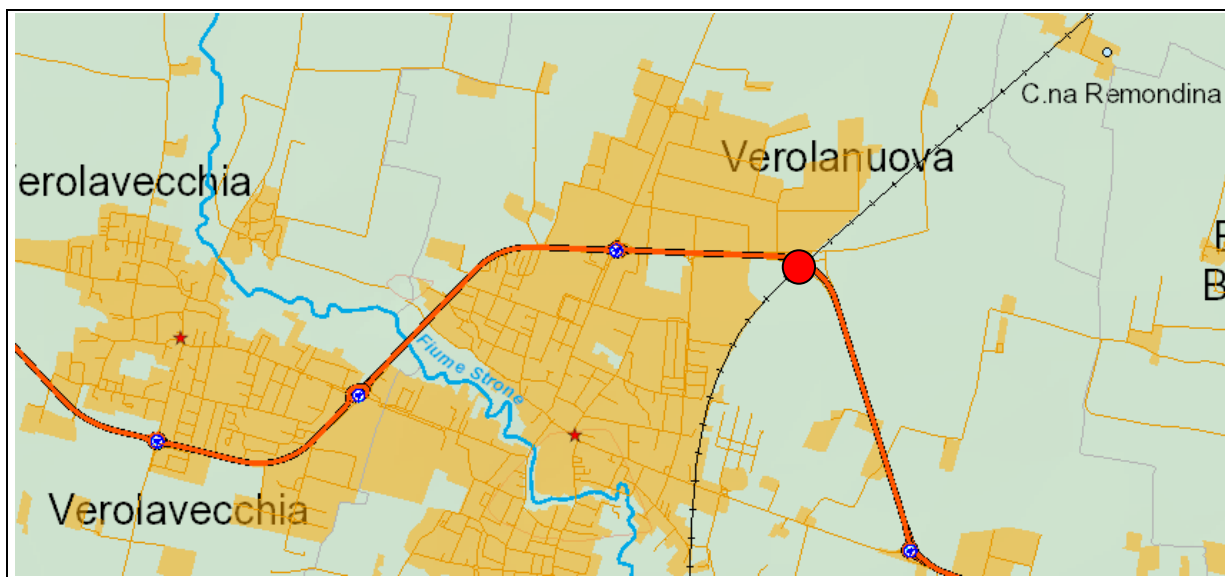


Figura 1 – Ubicazione dell'area in studio



Figura 2 – Panoramica del cavalcaferrovia

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E MORFOLOGICO DEL TERRITORIO

Il territorio in esame appartiene al settore settentrionale della Pianura Padana la cui evoluzione geologica risulta connessa allo sviluppo della catena alpina prima e di quella appenninica nella fase successiva, costituendo l'avanfossa di entrambi i sistemi. Dal Pliocene ad oggi tale depressione, dal profilo asimmetrico, con minore inclinazione del lato settentrionale, è stata progressivamente colmata da sedimenti dapprima marino-transizionali e quindi strettamente continentali, denotando una accentuata subsidenza. L'assetto geologico dell'area 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 fluviali Wurm – Figura 3) e costituenti il **"livello fondamentale della pianura"**.



Figura 3 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia

Dal punto di vista litologico in superficie dominano i limi e le sabbie argillose generalmente medio fini, talvolta associate a ghiaietto minuto in profondità. Morfologicamente l'area risulta debolmente degradante in direzione SW ed è posta alla quota indicativa di circa 65.00 m.s.m.. L'idrografia al contorno è rappresentata dal fiume Strone che scorre a circa 1500 m a sud-ovest

entro un'incisione profonda oltre 9 metri, delimitato da scarpate continue, spesso rimaneggiate dall'attività antropica e dalla rete irrigua e scolante (Figura 4).

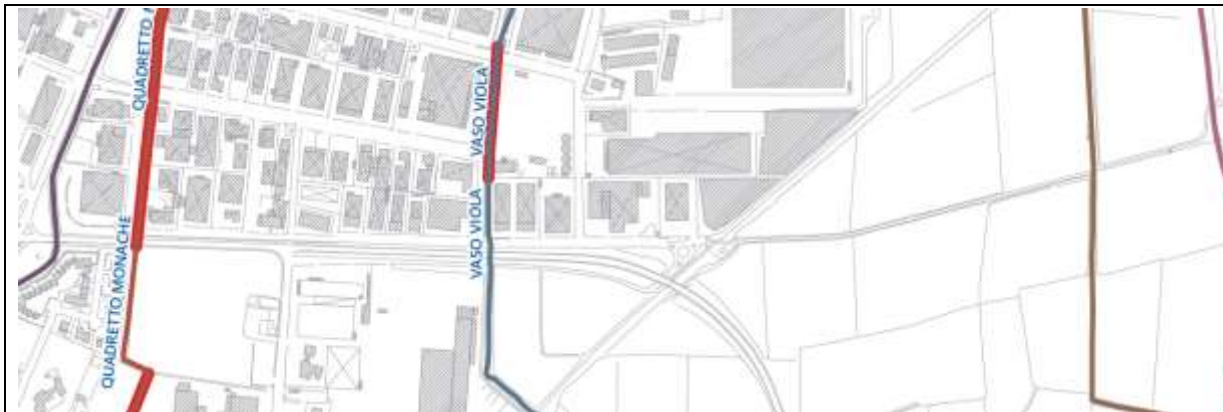


Figura 4 – Stralcio della Carta del RIM (da PGT)



Figura 5 – Direttiva alluvioni 2007/60/CE – Revisione 2020

Il vaso Viola, ad una distanza di circa 200 m risulta essere il canale del Reticolo Idrico Minore più vicino all'opera in esame. Dal punto di vista idraulico l'area risulta esterna alle fasce fluviali delimitate dal Piano PAI, ovvero le aree inondate in caso di piene con tempi di ritorno diversi, ed è esterna alle zone allagabili perimetrate dal PGRA 2020 (Figura 5). Visto l'attuale assetto geoclimatico non sono stati rilevati forme o processi geomorfologici attivi e si esclude l'esondabilità dell'area.

3.1. Litostratimetria

La litostratimetria dell'area di progetto è stata desunta da studi effettuati in sito. 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 fluvioglaciale e fluviale legata ad ambienti a media energia, con significative variazioni d'alveo e a buona competenza.

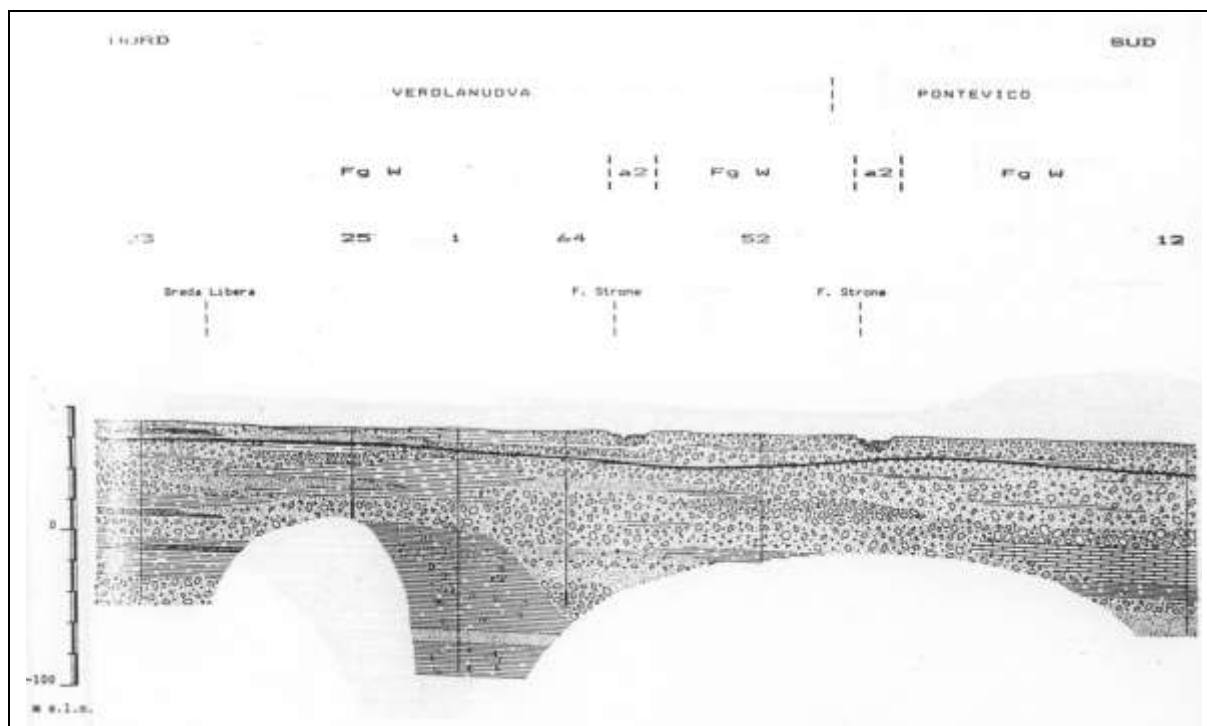


Figura 6 - Sezione N – S dell'area in studio

Ai piedi del cavalcavia ferroviario è stata effettuata una prova penetrometrica statica che ha permesso la caratterizzazione litostratimetrica dei terreni di imposta fino ad una profondità di 10.00 m da p.c.. A livello locale, nell'area si configura la presenza di un primo livello costituito da depositi limosi, limoso-sabbiosi dello spessore di circa 2.00 m, cui fanno seguito depositi di sabbie franche fino alla profondità di 4.80 m. Da qui fino a circa 6.50 m da p.c. si incontra nuovamente un livello limoso e limoso sabbioso passante a sabbie sino alla massima profondità raggiunta. La prova penetrometrica ha evidenziato una soggiacenza di 2.25 m in corrispondenza dell'area in esame. Il dato non risulta coerente con ciò che viene indicato sulla carta della

soggiacenza del PGT del comune di Verolanuova che individua la zona come passante in corrispondenza della linea dove la falda è di 14 m (Figura 7).



Figura 7 – Carta della soggiacenza (da PGT)

Considerata l'esiguità delle misurazioni e la mancanza di una serie storica di dati non è possibile fornire un valore attendibile dell'intervallo di oscillazione della falda freatica. Tuttavia si escludono interferenze tra le opere fondali e la falda in quanto le fondazioni saranno piuttosto superficiali.

3.1. Fattibilità

L'area in studio è identificata nel PGT con la classe di fattibilità 2, ovvero fattibilità con modeste limitazioni dovute alla vulnerabilità dell'acquifero (Figura 8). In particolare le prescrizioni dettate dalle Norme tecniche di attuazioni sono le seguenti:

CLASSE 2: Comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti d'indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'esecuzione di opere di difesa. In tali aree va direttamente applicato quanto prescritto dal D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni". Vengono perciò prescritte indagini geologiche e geotecniche approfondite per la valutazione dei parametri del terreno. In particolare per tali aree sono da eseguire indagini per il calcolo della capacità portante e la stima

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Marzo 2022	0	8 di 34
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

dei cedimenti, in relazione ai carichi imposti.

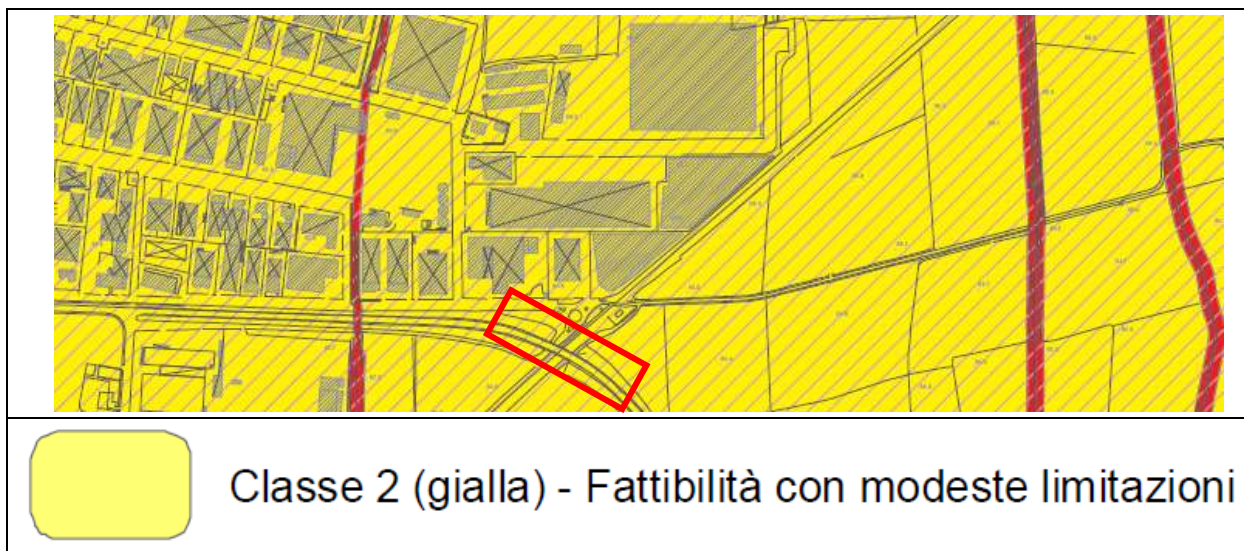


Figura 8 – Stralcio della carta della fattibilità di PGT

Gli aspetti geotecnici e sismici saranno trattati nei paragrafi successivi.

3.2. 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 23 ottobre 2005, 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

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Marzo 2022	0	9 di 34
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

Verolanuova (codice ISTAT 03017195) come ricadente nella zona 4 (Figura 9) a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale inferiore a 0,05 a_g/g con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni.

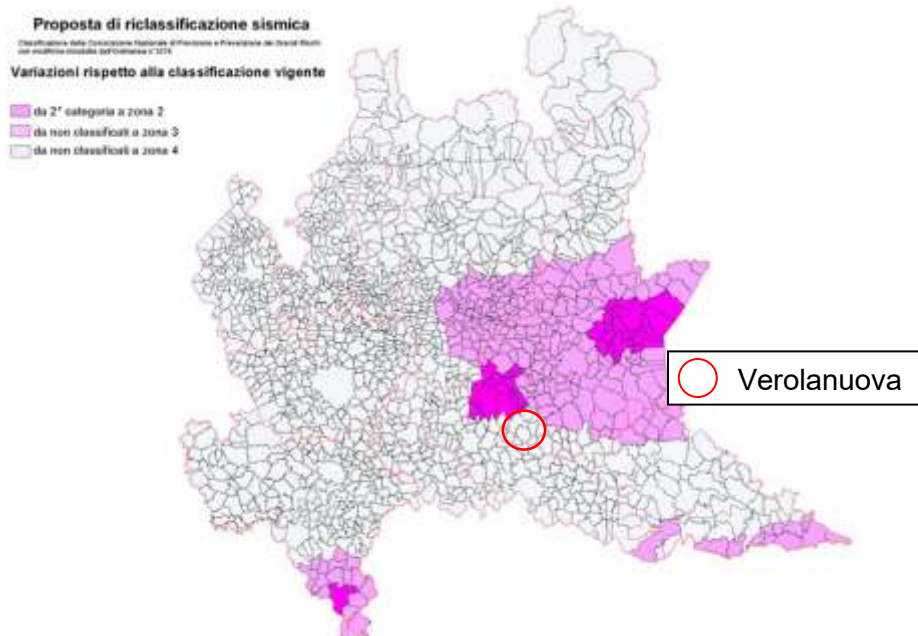


Figura 9 - Proposta di riclassificazione sismica 2003

Mappa di classificazione sismica
 dei comuni lombardi

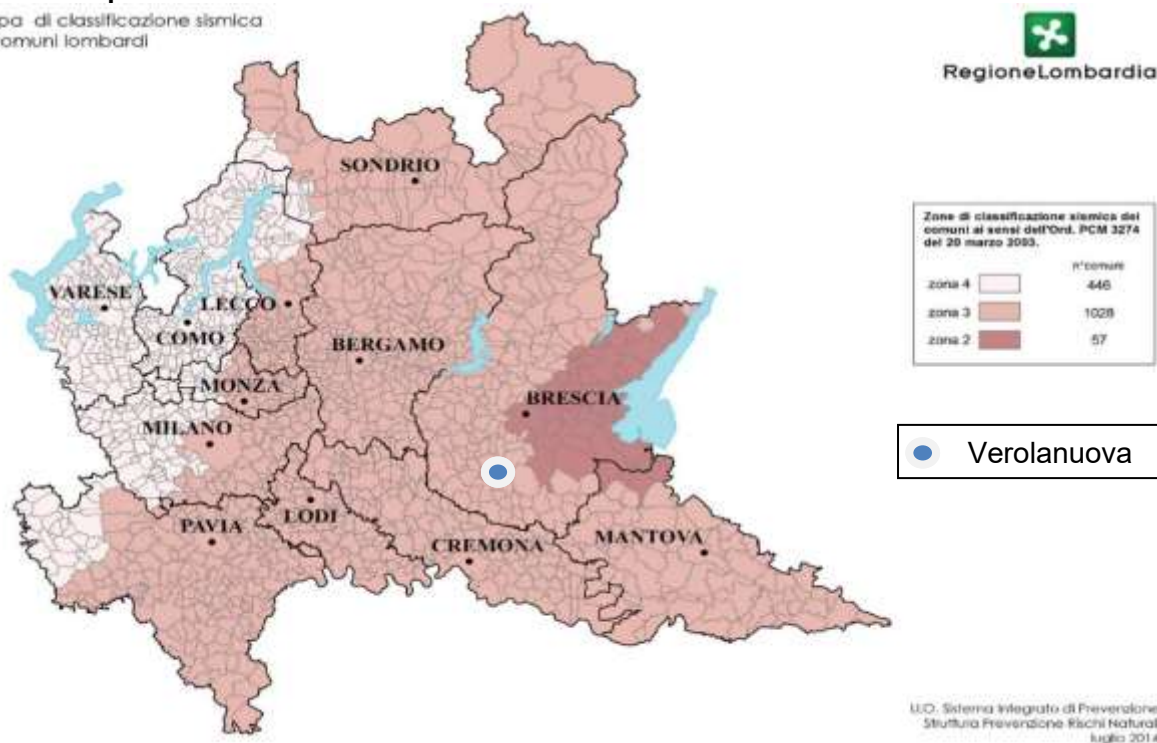


Figura 10 - Riclassificazione sismica 2014

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Marzo 2022	0	10 di 34
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

La riclassificazione della Regione Lombardia (Delibera Giunta Regionale 11 luglio 2014 n. X/2129) in vigore dal 11.10.2014 e quindi prorogata al 10.04.2016 propone che il comune di Verolanuova venga classificato come di classe 3 (Figura 10) 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. In riferimento alla pericolosità sismica locale (studio di I livello da PGT), l'area ricade nella classe Z4a (Figura 11), ovvero *Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi* e quindi classe di pericolosità sismica H2 conseguente a possibili amplificazioni sismiche dovute alla litologia. Per le analisi sismiche di approfondimento in sito è stata effettuata un'indagine mediante la tecnica HVSR, descritta nel capitolo seguente. Sulla base dei dati sito specifici ricavati dall'indagine geofisica effettuata è stata poi eseguita l'analisi di II livello per la stima dei fattori di amplificazione litologica, obbligatoria per lo scenario di pericolosità sismica locale Z4. Dagli approfondimenti eseguiti si assegna la classe topografica T1.



Figura 11 – Stralcio della carta del PGT (Piano Sismico Locale)

3.3. Indagine sismica

3.3.1. 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

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Marzo 2022	0	11 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

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:

- 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.

3.3.2. Effetti di sito: risposta sismica locale

Le onde di taglio (S) sono le principali responsabili delle lesioni che subiscono gli edifici

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Marzo 2022	0	12 di 34
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

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.

3.3.3. Profilo velocità delle 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 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:

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

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Marzo 2022	0	13 di 34
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

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	≥ 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	≥ 360 ≤ 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	≥ 180 ≤ 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):

$$f = \frac{V_s}{4h}$$

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 dà 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 microtremiti 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.

3.3.4. 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:

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

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.

3.3.5. Risultati dell'analisi

Si riportano di seguito in Figura 12 gli spettri H/V e V registrati nel sito adiacente. 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.

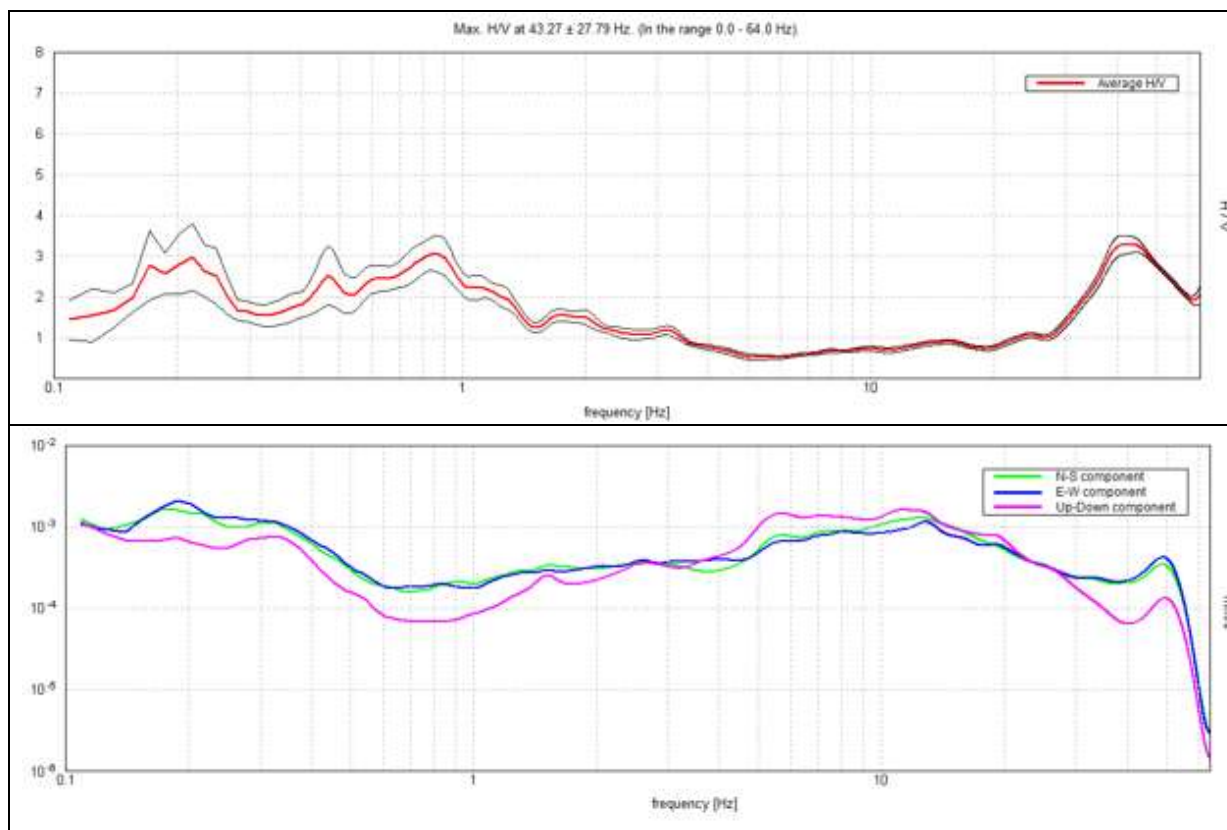


Figura 12 – Andamento degli spettri

La curva H/V sintetica è stata modellata in modo da sovrapporsi ai picchi stratigrafici misurati (Figura 13).

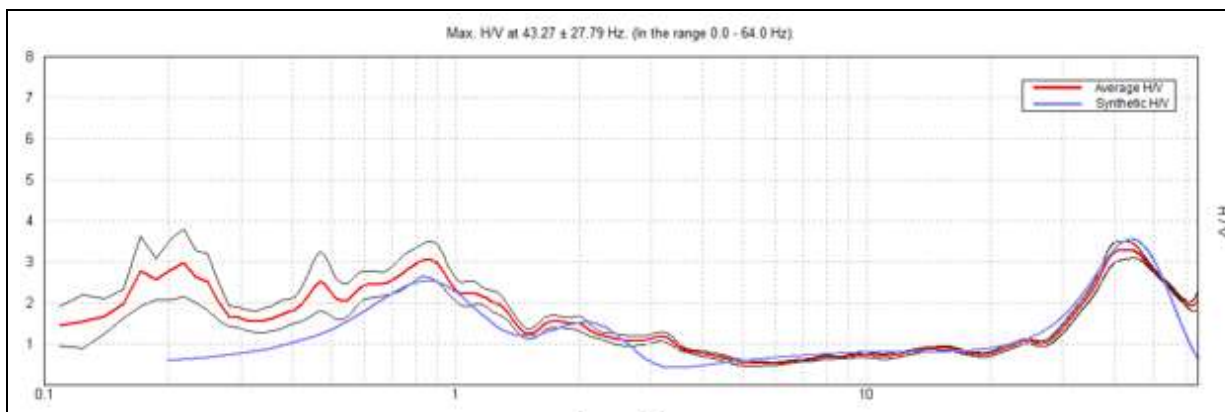


Figura 13 – Andamento della frequenza caratteristica

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

Profondità da (m)	a (m)	Δz (m)	V_s (m/s)	Inversioni di velocità
0.00	0.70	0.70	120	-
0.70	5.90	5.20	260	-
5.90	40.90	35.00	320	-
40.90	170.90	130	570	-

Il valore di V_{seq} calcolato da piano campagna è circa 297 m/s, che pone il sito nella classe di sottosuolo C secondo il D.M. 17.01.2018. La frequenza fondamentale del sito è stata misurata direttamente durante l'indagine geofisica ed è risultata pari a 0.86 Hz.

3.4. Indagine sismica 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.

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 si ha una corrispondenza con i dati litologici e l'andamento delle V_s della scheda di riferimento sabbiosa (Figura 14). Sulla base dei dati sopra descritti è stato calcolato il periodo del sito (T) che corrisponde all'inverso della frequenza fondamentale. Il valore che si ottiene è pari a 1.16 s. In seguito, utilizzando la scheda di riferimento e il 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	F_a calcolato	F_a di riferimento per suolo C
0.1 – 0.5 s	1.0	1.8
0.5 – 1.5 s	1.6	2.4

Applicando ai valori di amplificazione calcolati la tolleranza prevista pari a ± 0.1 risulta che i valori proposti dalla normativa regionale nel caso di sottosuolo di tipo C nel Comune di Verolanuova (1.8 e 2.4 rispettivamente) sono sufficienti a valutare gli effetti di amplificazione litologica e perciò è possibile applicare lo spettro normativo vigente.

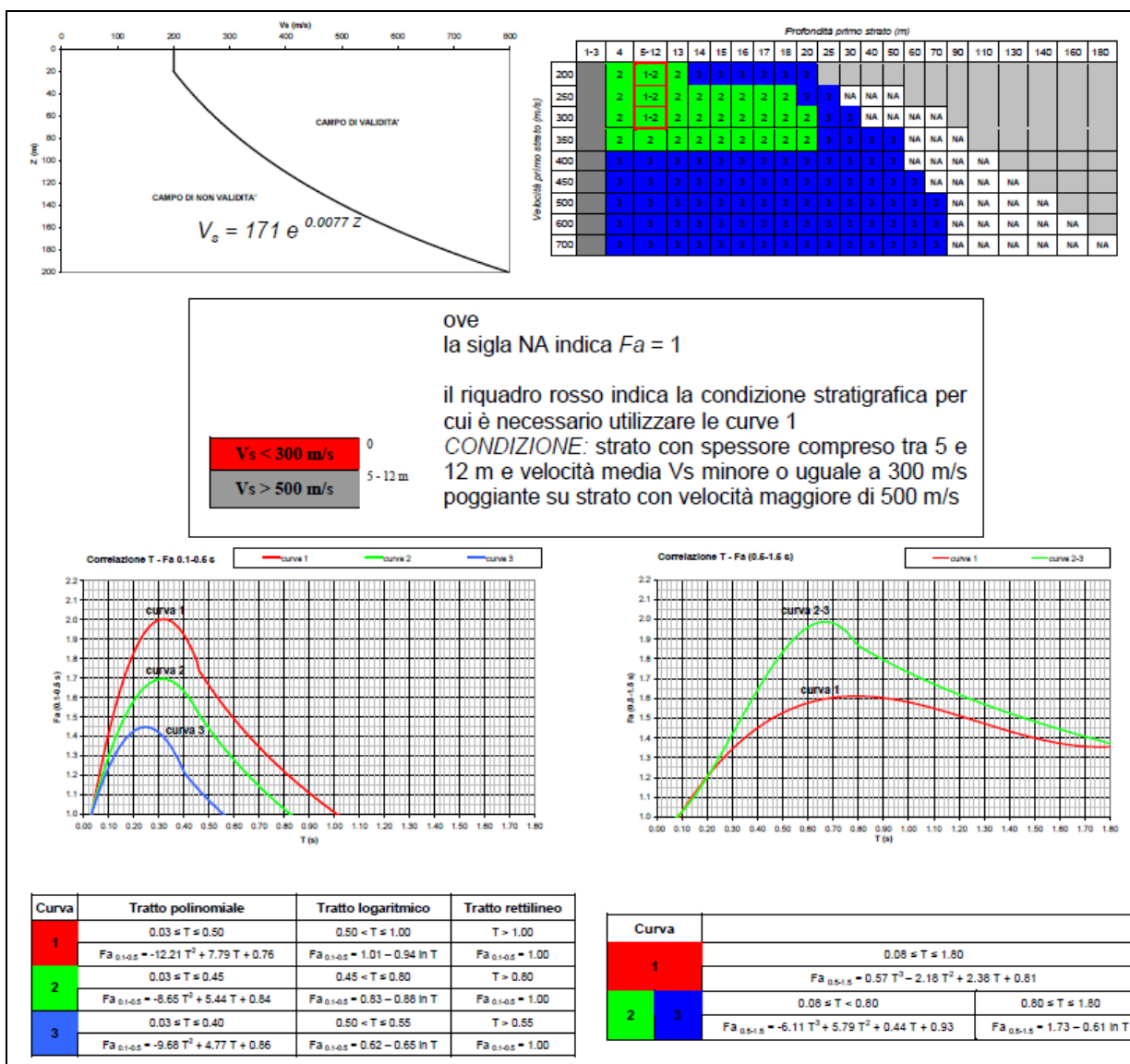


Figura 14 – Scheda di riferimento sabbiosa

L'attendibilità dei dati utilizzati è stata espressa con la tabella proposta in figura 14 (All. 5 D.g.r. 28 Maggio 2008 n. 8/7374) e la categoria assegnata è quella evidenziata.

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)
Geofisici (Vs)	Alta	Da indagini dirette (sondaggi a carotaggio continuo)
	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 15 – Livelli di attendibilità (Tab 3 - All. 5 D.g.r. 28 Maggio 2008 n. 8/7374)

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Marzo 2022	0	19 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

3.5. 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. Questo approccio è stato confermato dal D.M. 17.01.2018. 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 16. Con riferimento alle nuove costruzioni si rimanda alle indicazioni ed ai criteri di calcolo previsti dalla nuova normativa.

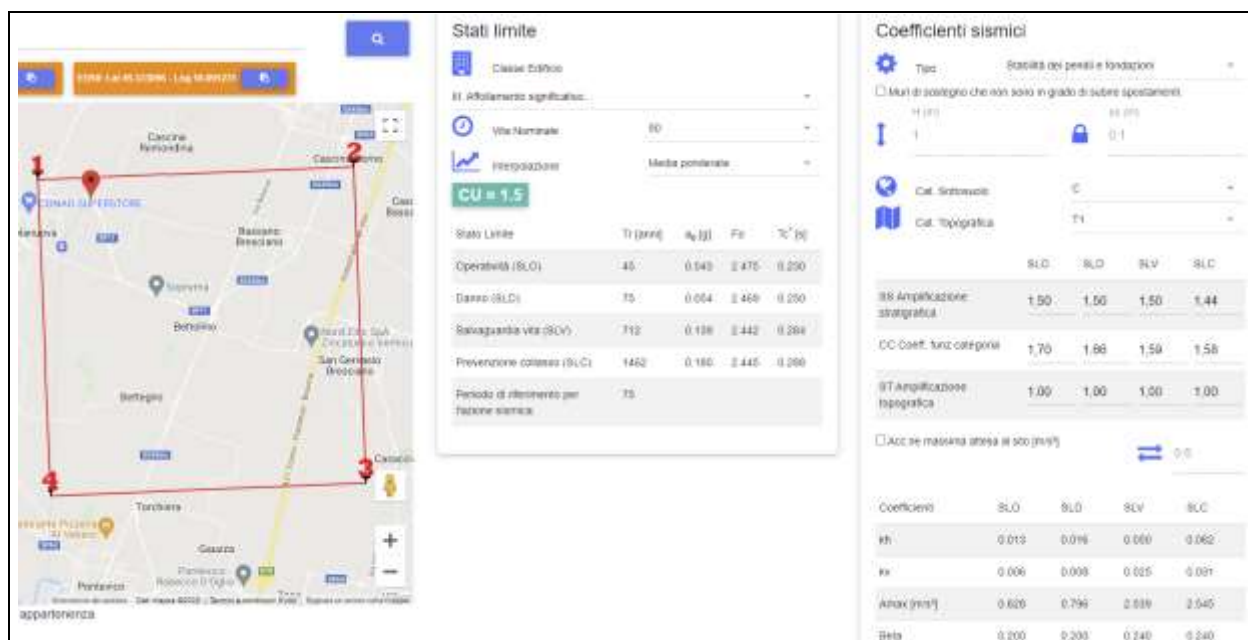


Figura 16 - Calcolo dei parametri sismici dell'area

3.6. Stima della magnitudo di riferimento

Nel settore di appartenenza del comunale di Verolanuova 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.

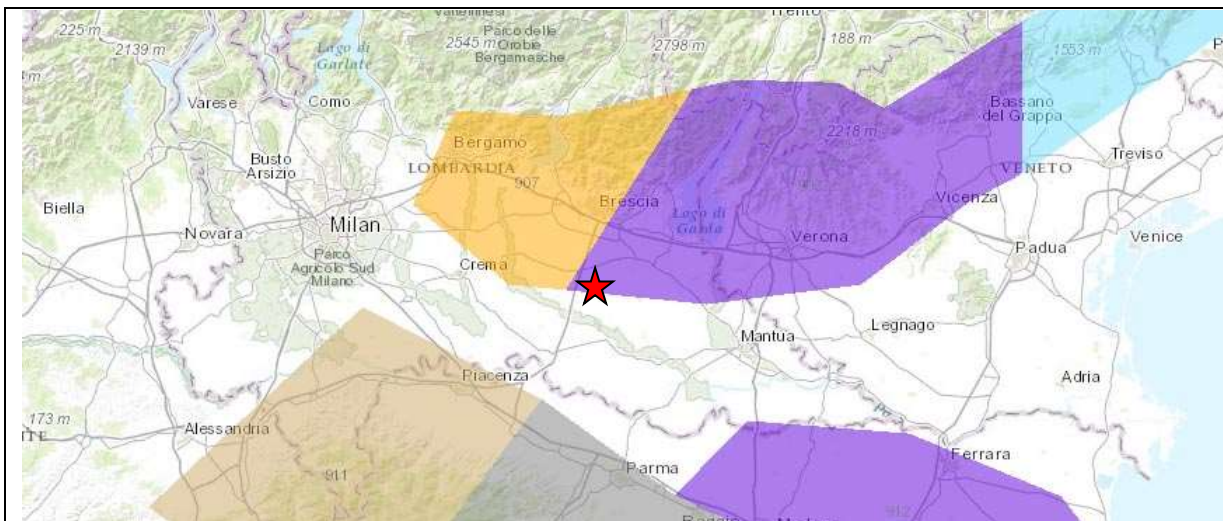


Figura 17 - Schema Zonizzazione Sismogenetica ZS9

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 epicentrali dei forti terremoti storici, che colpiscono le provincie di Brescia e Verona. 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 con la zona sorgente 906 (Figura 17). In

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Marzo 2022	0	21 di 34
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

questo caso, ai fini della verifica alla liquefazione, si dovrebbe assumere il valore della Magnitudo M_w pari 6.60. In alternativa è possibile il calcolo con 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. In questo modo si ottiene il terremoto di scenario, caratterizzato da una valore univoco della magnitudo, della distanza e del tempo di ritorno; ciò lo rende utilizzabile ai fini progettuali nelle verifiche agli stati limite.

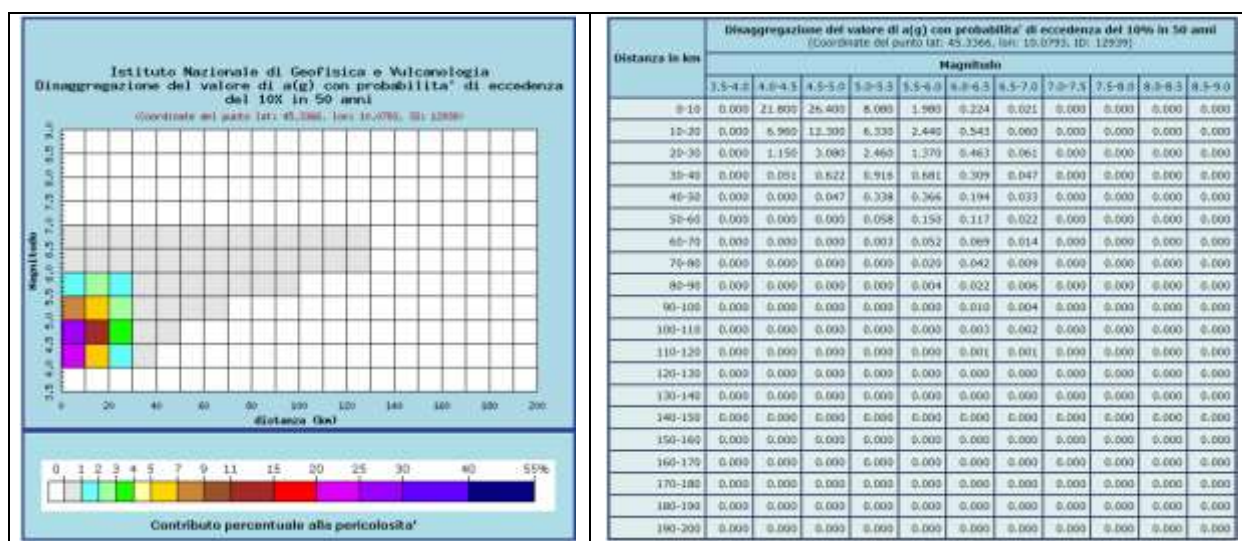


Figura 18 - Verifica Magnitudo

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° . 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 comune di Verolanuova il valore medio di riferimento propone una magnitudo pari a 4.81 ad una distanza di 10.80 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 50 km si raggiunge un valore superiore al 90% per magnitudo fino a 5.5 (Figura 18).

3.6.1. 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.

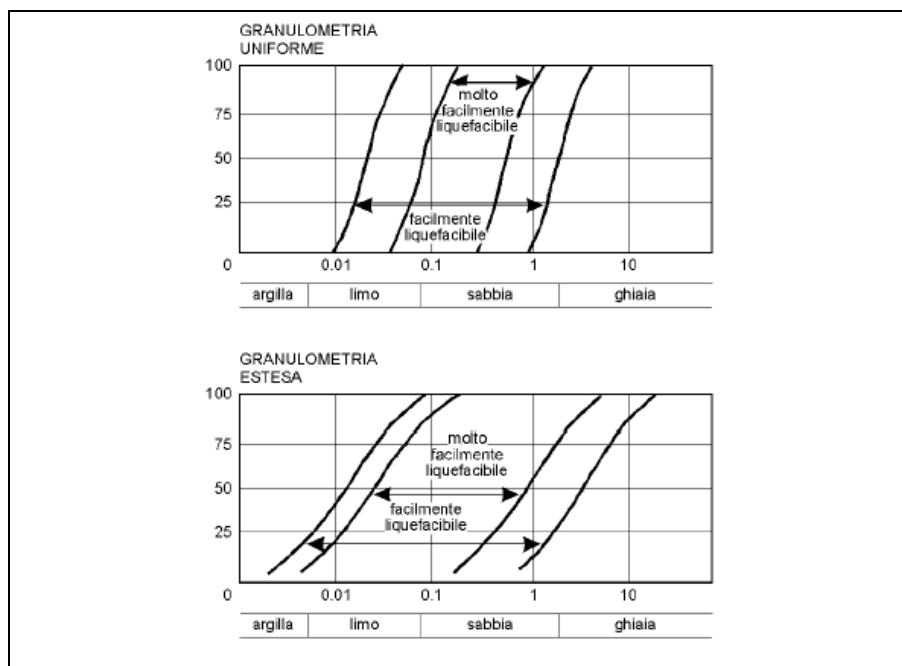


Figura 19 – Valutazione della suscettibilità alla liquefazione – fasce granulometriche critiche

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. 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 19. 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:

$$CSR = \frac{1}{MSF} \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \left(\frac{\sigma_{v0}'}{\sigma_{v0}} \right)^{rd} \cdot \left(\frac{1}{g_0} \right)^{MSF}$$

dove:

- a_{max} = accelerazione sismica massima;
- g = accelerazione di gravità = 980.7 cm/s²;
- σ_{v0} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;
- σ_{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,

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)

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Marzo 2022	0	24 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

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

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

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 120 m/sec spessore medio 0.70 m
- 2° strato: velocità media onde Vs 260 m/sec spessore medio 5.20 m
- 3° strato: velocità media onde Vs 320 m/sec spessore medio 24.10 m

Per il profilo è stata considerata un'accelerazione pari a 0.208 g (0.139x1.5) ricavata dal valore dello stato limite SLV per edifici di classe II moltiplicata per il coefficiente di amplificazione stratigrafica (1.5) e una soggiacenza di 2.25 m. Il calcolo ha verificato che il coefficiente di sicurezza Fs è per tutto il profilo superiore a 1. Di conseguenza il coefficiente Ic è pari a 0.0 indicando un rischio molto basso (Figura 20). In tutti gli stati indagati risultano verificate le condizioni di sicurezza di cui sopra.

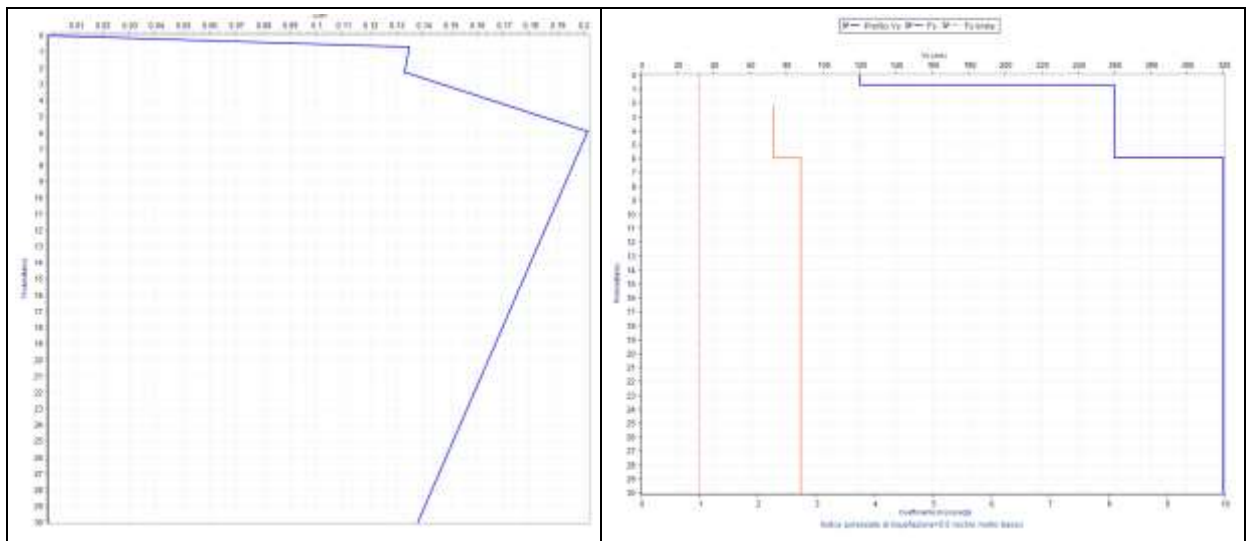


Figura 20 – Andamento del coefficiente CSR e F_s con la profondità (linea arancione)

4. GEOTECNICA

La definizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione è stata effettuata sulla base dei risultati dei valori di resistenza penetrometrica delle prove eseguite in sito e dai dati bibliografici validi per litologie simili. Trattasi di n. 1 prova penetrometrica statica spinta sino alla profondità massima di 10.00 m da p.c.. La prova penetrometrica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando la forza necessaria al suo avanzamento (Figura 21). 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 21 – 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 cm²
- angolo di apertura del cono α = 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. I risultati della prova sono riportati in Allegato 2, completi dei diagrammi e delle letture, mentre l'ubicazione delle indagini è riportata in Allegato 1.

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 ϕ , densità γ , e modulo elastico E , in relazione alla resistenza penetrometrica. Nel dettaglio è presente un primo livello a comportamento prevalentemente coesivo che si estende fino a 2.00 m di profondità, seguito da depositi francamente granulari sino a 4.80 m mediamente addensati. Seguono fino a 6.50 m depositi prevalentemente coesivi e quindi granulari fino a 10.00 m. 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

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Marzo 2022	0	28 di 34
A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900				

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 e della buona omogeneità dei terreni è stato definito un unico modello geotecnico così schematizzato:

STRATO A: da p.c. sino a -2.00 m: depositi prevalentemente coesivi.

Parametri caratteristici: $Cu_k = 0.6 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma = 1.7 \text{ kg/dm}^3$.

STRATO B: da -2.00 m sino a -4.80 m: depositi granulari mediamente addensati.

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

STRATO C: da -4.80 m sino a -6.40 m: depositi coesivi.

Parametri caratteristici: $Cu_k = 0.6 \text{ kg/cm}^2$ $\gamma = 1.8 \text{ kg/cm}^3$.

STRATO D: da -6.40 m sino a -10.00 m: depositi granulari mediamente addensati.

Parametri caratteristici: $\Phi_k = 30^\circ$ $\gamma = 1.8 \text{ kg/cm}^3$.

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 Il 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.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Marzo 2022	0	29 di 34
	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 Verolanuova, classificato dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio in data 20 marzo 2003 n.3274 come di classe 4. La recente riclassificazione della Regione Lombardia ha modificato la classe di appartenenza, elevandola alla categoria 3.
2. Secondo i disposti dell'Ordinanza Presidente del Consiglio n.3274/2003 e le indicazioni contenute nella L.R. 12/2005 i terreni di fondazione sono classificabili come di tipo C. L'analisi di II livello ha confermato l'adeguatezza delle soglie Regionali. La classe topografica è la T1.
3. I terreni di fondazione sono costituiti da alluvioni fluvioglaciali e fluviali a natura prevalentemente limosa, limosa sabbiosa.
4. Durante la campagna geognostica del Marzo del 2022 la falda è stata intercettata alla profondità di 2.25 m da p.c..
5. I terreni di fondazione non saranno soggetti a liquefazione in caso di sisma.

Dr. Geol. Corrado Aletti

(documento firmato digitalmente)

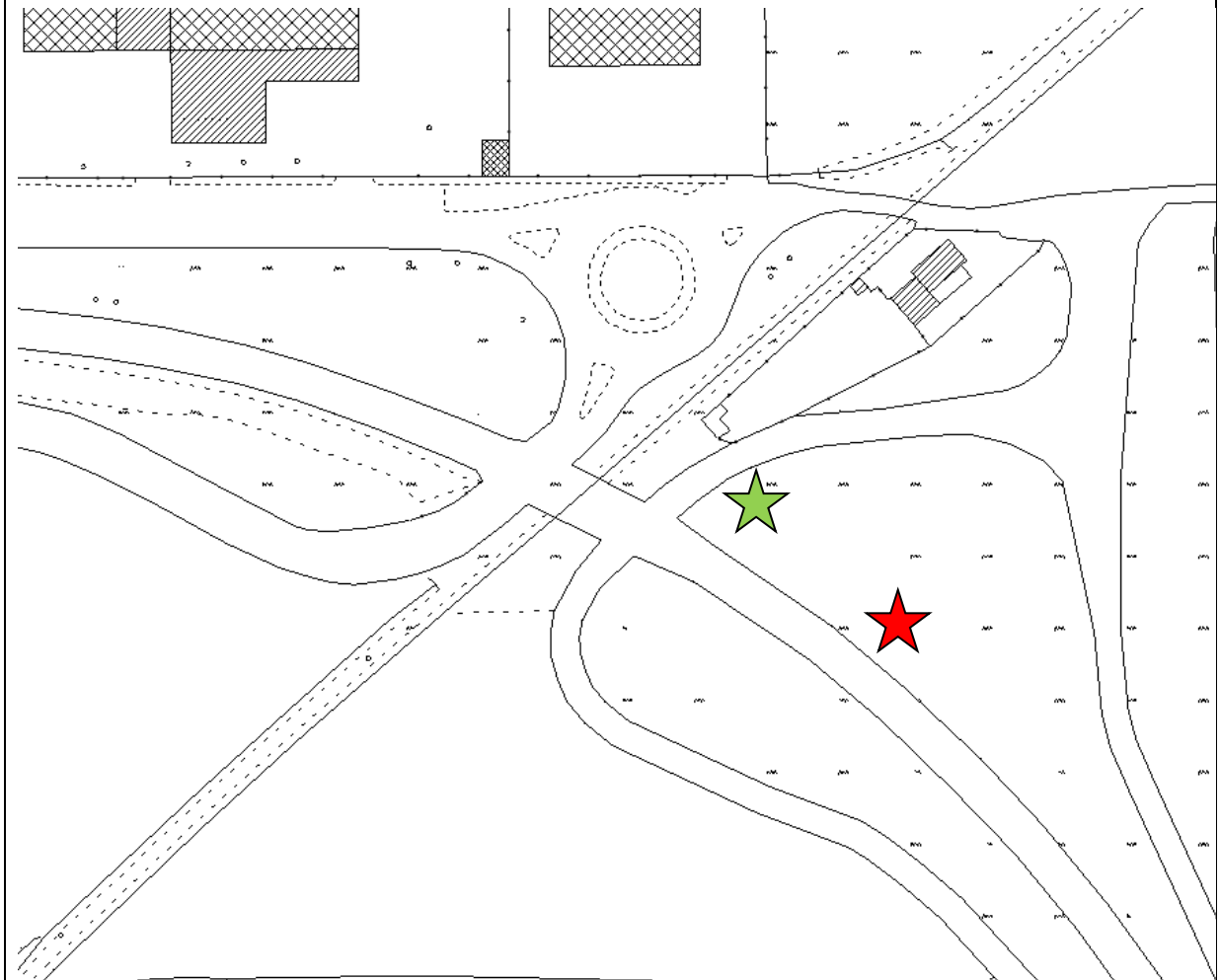
Seniga 05.03.2022

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione	Marzo 2022	0	30 di 34
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

6. TABELLA RIASSUNTIVA PARAMETRI GEOLOGICI

FOGLIO								
MAPPALAE								
QUOTA (m.s.m)	65.00							
QUOTA FALDA (m.s.m.)	2.25							
SOGGIACENZA (m)	62.75							
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	0.139	2.442		0.284			
	SLD	0.054	2.469		0.250			
AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA SS	1.5							
AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA ST	1.0							
FREQUENZA FONDAMENTALE (Hz)	0.86							
LIQUEFAZIONE	NO							
MODELLO GEOTECNICO	Nome	Profondità	γ (kg/dm³)	φ (°)	Φ int (°)	c'	Cu	E (kg/cm²)
	A	0.00 – 2.00	1.7	/	/	/	0.6	70
	B	2.00 – 4.80	1.8	32	/	/	/	200
	C	4.80 – 6.40	1.8	/	/	/	0.6	60
	D	6.40 – 6.40	1.8	30	/	/	/	250

Allegato 1 - Ubicazione indagini



-  - CPT
-  - HVSR

Allegato 2 – Prove penetrometriche

Prova n°	1		Data	03.03.2022			
Committente	Provincia di Brescia		Falda	2.25			
Comune	Verolanuova (BS)		Quota	p.c.			
Cantiere	Verifica cavalcaviaferrovia			pag. 1			
Prof. m	P Kg/cmq	P+L Kg/cmq	Rt Kg/cmq	Rp Kg/cmq	RI Kg/cmq	Rp/RI	litologia (A.G.I. 1977)
0.0							
0.2							
0.4					0 indetermin.	200	sabbie e ghiaie
0.6	14	22		14	0.53	26	argille e limi
0.8	18	25		18	0.47	39	sabbie lim. e limi sabb.
1.0	18	40		18	1.47	12	argille plastiche
1.2	19	36		19	1.13	17	argille e limi
1.4	26	47		26	1.40	19	argille e limi
1.6	29	47		29	1.20	24	argille e limi
1.8	22	39		22	1.13	19	argille e limi
2.0	19	34		19	1.00	19	argille e limi
2.2	48	69		48	1.40	34	sabbie lim. e limi sabb.
2.4	58	73		58	1.00	58	sabbie lim. e limi sabb.
2.6	55	73		55	1.20	46	sabbie lim. e limi sabb.
2.8	36	53		36	1.13	32	sabbie lim. e limi sabb.
3.0	46	63		46	1.13	41	sabbie lim. e limi sabb.
3.2	44	79		44	2.33	19	argille e limi
3.4	48	69		48	1.40	34	sabbie lim. e limi sabb.
3.6	39	68		39	1.93	20	argille e limi
3.8	71	90		71	1.27	56	sabbie lim. e limi sabb.
4.0	58	77		58	1.27	46	sabbie lim. e limi sabb.
4.2	77	106		77	1.93	40	sabbie lim. e limi sabb.
4.4	66	74		66	0.53	124	sabbie e ghiaie
4.6	25	58		25	2.20	11	argille plastiche
4.8	24	39		24	1.00	24	argille e limi
5.0	15	22		15	0.47	32	sabbie lim. e limi sabb.
5.2	12	20		12	0.53	23	argille e limi
5.4	21	27		21	0.40	53	sabbie lim. e limi sabb.
5.6	14	26		14	0.80	18	argille e limi
5.8	14	28		14	0.93	15	argille e limi
6.0	13	27		13	0.93	14	argille plastiche
6.2	15	27		15	0.80	19	argille e limi
6.4	30	41		30	0.73	41	sabbie lim. e limi sabb.
6.6	35	42		35	0.47	75	sabbie e ghiaie
6.8	42	60		42	1.20	35	sabbie lim. e limi sabb.
7.0	40	55		40	1.00	40	sabbie lim. e limi sabb.
7.2	45	58		45	0.87	52	sabbie lim. e limi sabb.
7.4	38	50		38	0.80	48	sabbie lim. e limi sabb.
7.6	48	59		48	0.73	65	sabbie e ghiaie
7.8	55	68		55	0.87	63	sabbie e ghiaie
8.0	12	30		12	1.20	10	argille plastiche
8.2	36	47		36	0.73	49	sabbie lim. e limi sabb.
8.4	43	51		43	0.53	81	sabbie e ghiaie
8.6	56	70		56	0.93	60	sabbie lim. e limi sabb.
8.8	62	71		62	0.60	103	sabbie e ghiaie
9.0	58	69		58	0.73	79	sabbie e ghiaie
9.2	22	34		22	0.80	28	argille e limi
9.4	19	34		19	1.00	19	argille e limi
9.6	18	40		18	1.47	12	argille plastiche
9.8	34	48		34	0.93	36	sabbie lim. e limi sabb.
10.0	51	65		51	0.93	55	sabbie lim. e limi sabb.

