

Comune di Brescia

Piano attuativo in variante al PGT

AT-D.2.2 TRIVELLINI EST parte est

PROPONENTE

IMMOBILIARE B21 s.r.l.

Via Corsica, 143 - 25125 Brescia
cod. fisc. e p. IVA: 04264840986

Relazione geologica R1

RG_V

LUGLIO 2024

prima emissione	01.06.2023
-----------------	------------

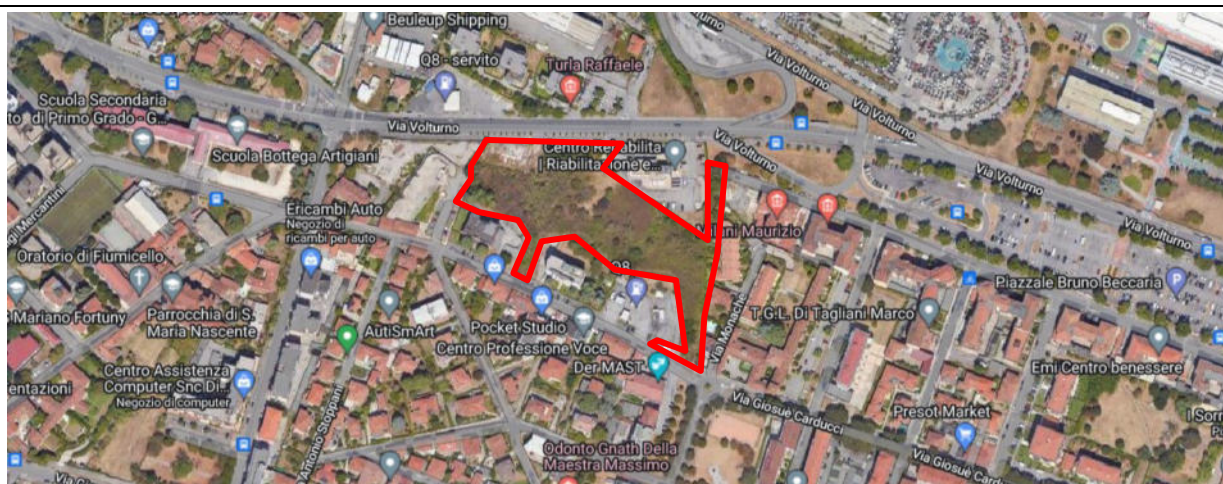


A. & P. sas di Dr Corrado Aletti
Geologo O.G.L. n. 900

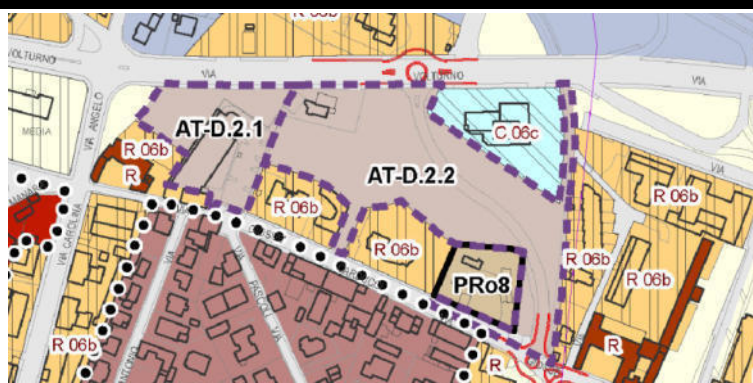
REGIONE LOMBARDIA

PROVINCIA DI BRESCIA

COMUNE DI BRESCIA



RELAZIONE GEOLOGICA R1 – FATTIBILITA'

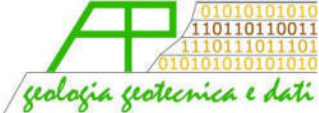


Elaborato

PIANO ATTUATIVO AT – D.2.2.

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

Committente	Immobiliare B21 s.r.l.	
Estensore	 A. & P. s.a.s.	
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	18.05.2023
Approvato	A & P sas – Dr. Aletti Corrado	23.05.2023
File	relazione.docx	
Commessa	2023.05.178	

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	1 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

INDICE

1. Introduzione	3
2. Inquadramento geografico	4
3. Inquadramento geologico, morfologico e idrogeologico	5
3.1. Litostratimetria	8
4. Sismicità	11
4.1. Indagine sismica	13
4.1.1. Tecnica di misurazione e strumentazione HVSR.....	13
4.1.2. Effetti di sito: risposta sismica locale	14
4.1.3. Profilo velocità delle onde S e classificazione del sottosuolo da NTC	14
4.1.4. Vulnerabilità sismica dell'opera	16
4.1.5. Risultati dell'analisi	17
4.2. Analisi sismica di II livello di dettaglio.....	19
4.3. Parametri sismici	21
4.4. Stima della magnitudo di riferimento	23
4.5. Verifica alla liquefazione	25
5. Fattibilità	28
6. Conclusioni	30

1. INTRODUZIONE

La presente relazione geologica, redatta per conto dell'Immobiliare B21 s.r.l., ha lo scopo di definire il quadro geolitologico, stratigrafico, idrogeologico e sismico delle aree oggetto di una nuova lottizzazione identificate dal Piano Attuativo AT – D.2.2. in Comune di Brescia (BS), ai fini esclusivi della verifica della fattibilità e della verifica 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. Allo scopo di determinare le caratteristiche geolitologiche e litotecniche dei terreni si è fatto riferimento ad indagini (prove penetrometriche) effettuate dallo scrivente nelle immediate vicinanze del sito in studio. Per quanto riguarda l'indagine sismica di dettaglio è stata eseguita una verifica mediante la tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio). Considerata la tipologia dell'intervento e la situazione al contorno si è ritenuto sufficiente lo studio delle aree direttamente coinvolte 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 geologica	Maggio 2023	0	3 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in esame è localizzata nel settore settentrionale dell'abitato comunale di Brescia, lungo il margine S di Via Volturno, così come rappresentato in Figura 1.



Figura 1 – Ubicazione dell'area in studio

Il presente elaborato si pone come obiettivo la verifica di fattibilità e la verifica sismica dell'Area di nuova lottizzazione identificata come Ambito di Trasformazione AT – D.2.2. (Figura 2). L'area in studio ricade sul Foglio 82, Mappale 243 dell'NTC del Comune di Brescia (BS).



Figura 2 – Ambito di Trasformazione AT – D.2.2.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	4 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, MORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO

L'abitato comunale di Brescia si compone di tre settori differenti così schematizzati partendo dalla porzione più a nord:

- i versanti montuosi che occupano i settori nord-orientali con il rilievo del M. Maddalena e nord-occidentali con i rilievi del M. Ratto e M. Picastello fino al Colle della Badia o di S. Anna, separati dal corso del F. Mella;
- la fascia di raccordo tra i versanti montuosi e il fondovalle caratterizzata da acclività variabile e da terrazzamenti antropici, spesso urbanizzati;
- il Fondovalle del F. Mella e l'alta pianura, a morfologia pianeggiante, caratterizzato da una fitta urbanizzazione, fatta eccezione per alcune aree agricole poste a sud dell'autostrada A4 e le aree estrattive localizzate nella porzione sud-orientale.

Dal punto di vista geologico (Figura 3) la porzione nord dell'abitato comunale si inserisce entro le Prealpi Bresciane orientali, poco a nord del margine con l'Alta Pianura Padana. L'ambito geologico afferisce al domino Sudalpino, o Alpi Meridionali, che rappresenta il settore di catena alpina posto a sud della Linea Insubrica. Il Sudalpino è costituito da successioni sedimentarie di origine marina di età compresa tra il Permiano ed il Miocene. Le Prealpi Bresciane, in particolare, afferiscono al Bacino Lombardo un settore subsidente individuatosi nel Trias Sup. ed attivo per tutto il periodo del rifting tetideo, in cui si depositarono imponenti successioni sedimentarie all'interno di sottobacini controllati da attività tettonica distensiva. Le unità triassiche e giurassiche affiorano prevalentemente nel settore più interno della Val Trompia, mentre le unità cretaco-mioceniche sono ben rappresentate in prossimità del bordo prealpino, al passaggio con la pianura padana. I rilievi montuosi presenti sono costituiti da rocce prevalentemente calcaree e stratificate di età mesozoica con la sola eccezione del colle della Badia (o di S. Anna) modellato in depositi clastici cementati più recenti di età miocenica. La successione mesozoica (dai litotipi più recenti a quelli più antichi) è così schematizzata:

- Scaglia Lombarda;
- Maiolica;

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	5 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

- Gruppo del Selcifero Lombardo;
 - Gruppo di Concesio;
 - Gruppo del "Medolo";
 - Formazione della Corna.
- Depositi clastici miocenici:
- Conglomerato di Montorfano.

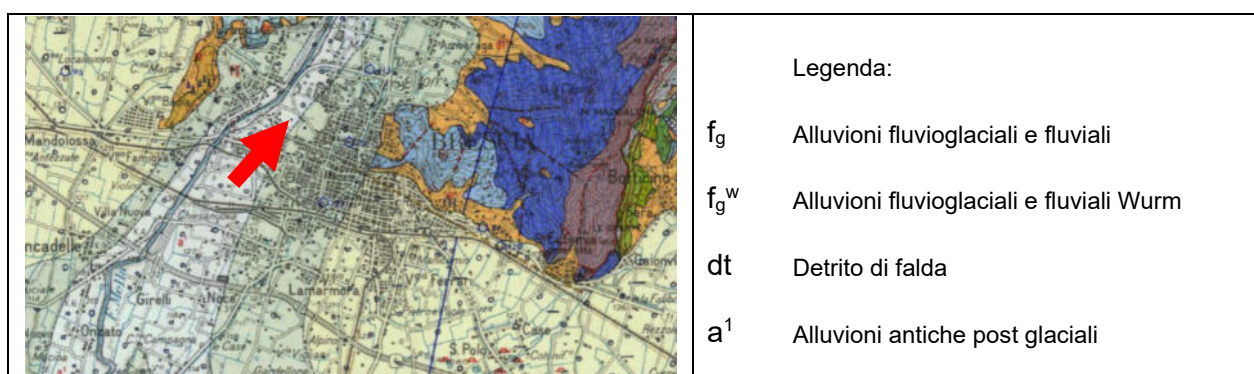


Figura 3 – Stralcio della Carta Geologica d'Italia (foglio di Brescia)

La fascia di raccordo tra la pianura e i versanti montuosi è caratterizzata dalla presenza di depositi eluviali e/o colluviali e da falde e coni di detrito che possono generalmente essere considerati inattivi in quanto stabilizzati e colonizzati. In queste zone l'alterazione dei litotipi del substrato roccioso ad opera degli agenti meteorici ha prodotto, lungo i versanti meno acclivi e alla base degli stessi e/o in corrispondenza di rotture di pendio, l'accumulo di materiali residuali argillosi, con presenza di scheletro granulare detritico. In prossimità del substrato roccioso, possono essere inglobati all'interno della matrice fine grossi massi e/o blocchi. La porzione pianeggiante del territorio comunale di Brescia è ascrivibile ai depositi fluvioglaciali e fluviali trasportati dai corsi d'acqua e principalmente dal F. Mella. Durante il Quaternario continentale gli intensi eventi deposizionali hanno portato a colmamento il bacino Padano, infatti durante il Pleistocene e l'Olocene 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. La successiva fase erosiva, iniziata nell'Olocene, è responsabile della zona ribassata delimitata da scarpate entro cui oggi scorre il fiume Mella,

che attraversa il territorio comunale nella porzione occidentale. La valle del Mella è caratterizzata da una porzione più esterna costituita dai terrazzi alluvionali antichi e una porzione più interna caratterizzata dalla piana alluvionale attuale del fiume. L'area in esame si colloca nella porzione terrazzata costituita dalle alluvioni antiche che dal punto di vista litologico risultano costituite da depositi prevalentemente sabbioso-ghiaiosi localmente ricoperte da depositi fini argilloso limosi (cfr. **aa** - Figura 4).

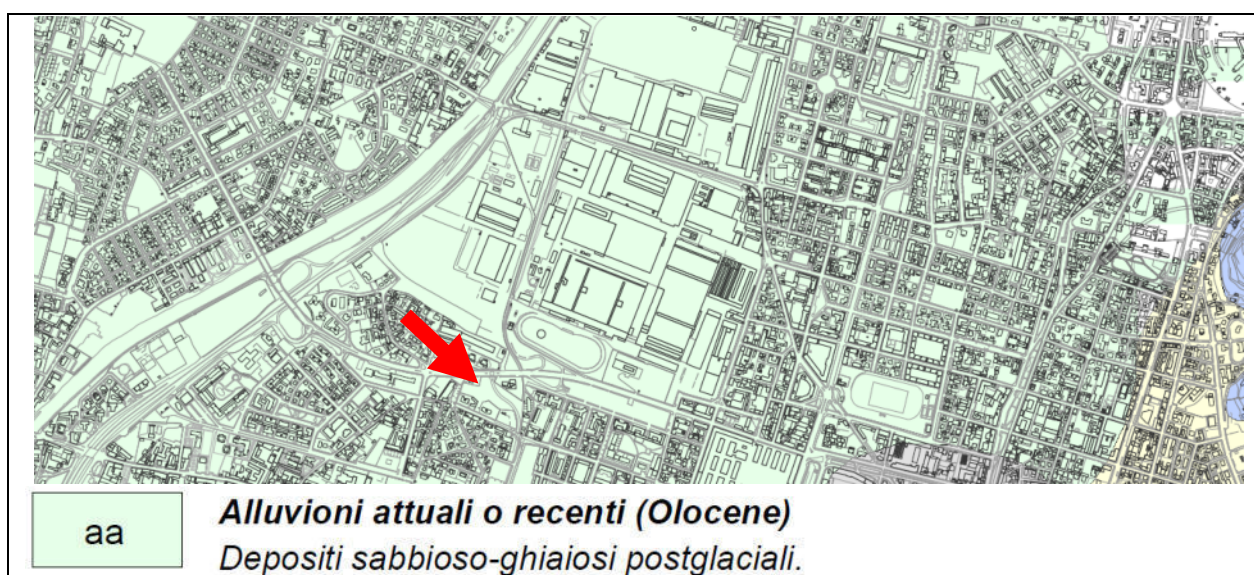
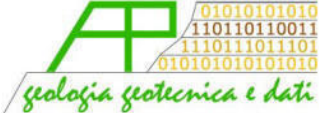


Figura 4 – Stralcio della Carta Geologica (da PGT)

La geologia profonda (sedimenti pre-aternari), le cui strutture non condizionano le forme superficiali, è caratterizzata da un'ampia monoclinale che immerge verso Sud, con pendenza decrescente all'aumentare della profondità. Dal punto di vista geomorfologico il sito si colloca in corrispondenza del terrazzo fluviale presente in sinistra idrografica del Mella, pertanto ribassata rispetto alle aree immediatamente ad E. La quota indicativa è di circa 149.00 m.s.m. con cadenza topografica in direzione WSW. L'idrografia principale è rappresentata dal Fiume Mella che scorre a circa 610 metri dall'area in esame in direzione W, dal Torrente Garza che scorre a circa 880 m in direzione E e dai canali della rete di scolo che a tratti si presentano tombinati. Dal punto di vista idraulico è importante segnalare che l'area in analisi risulta interna alla fascia fluviale C delimitate dal Piano PAI, ovvero le aree inondate in caso di piena catastofica con tempi di ritorno pari a 500 anni e risulta inoltre interna alle zone

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	7 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

allagabili definite dal PGRA 2022 della Regione Lombardia con classe di rischio R2 e scenario di pericolosità raro (L) legato ad esondazione del Fiume Mella (Figura 5).

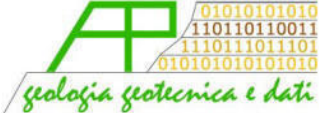


Figura 5 – Direttiva alluvioni 2007/60/CE – Revisione 2022

Visto l'attuale assetto geoclimatico non sono stati rilevati forme o processi geomorfologici attivi.

3.1. Litostratimetria

La litostratimetria dell'area in esame è stata desunta da studi effettuati nella zona e dalle evidenze delle prove penetrometriche eseguite dallo scrivente nelle immediate vicinanze. Sulla base dei dati acquisiti l'assetto stratigrafico si configura così come rappresentato in Figura 6, conforme all'ambiente ed all'evoluzione deposizionale a cui è andata soggetta l'area, fortemente condizionata dai processi legati all'azione ed al rimodellamento delle acque superficiali. Nel dettaglio le prove penetrometriche hanno evidenziato la presenza, al di sotto di un primo livello costituito da suolo dello spessore di circa 0.90 m, di depositi ghiaiosi continui sino alla massima profondità indagata (Figura 7). Durante la campagna geognostica presa a riferimento la superficie freatica non è stata individuata sino alla massima profondità indagata, pertanto si ritiene depressa oltre i 3.60 m da p.c.. Il valore trova coerenza con i dati reperiti presso la componente idrogeologica a corredo del PGT del Comune di Brescia che per il sito in esame stima un valore di soggiacenza pari a circa 32.00 m. Il sito si trova infatti poco

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	8 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

al di sotto dell'isopieza 117 (cfr. Figura 8).

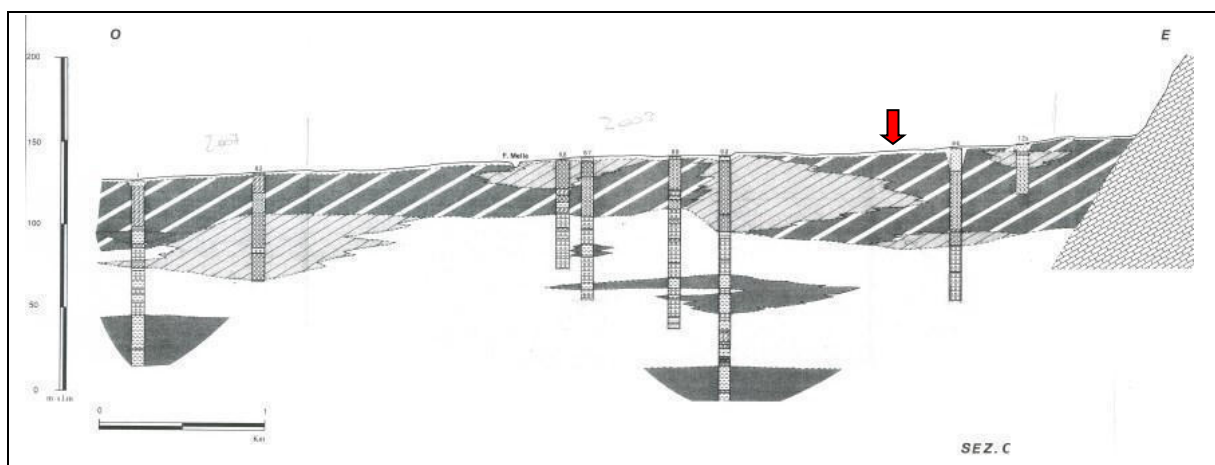


Figura 6 – Sezione 1 da PGT

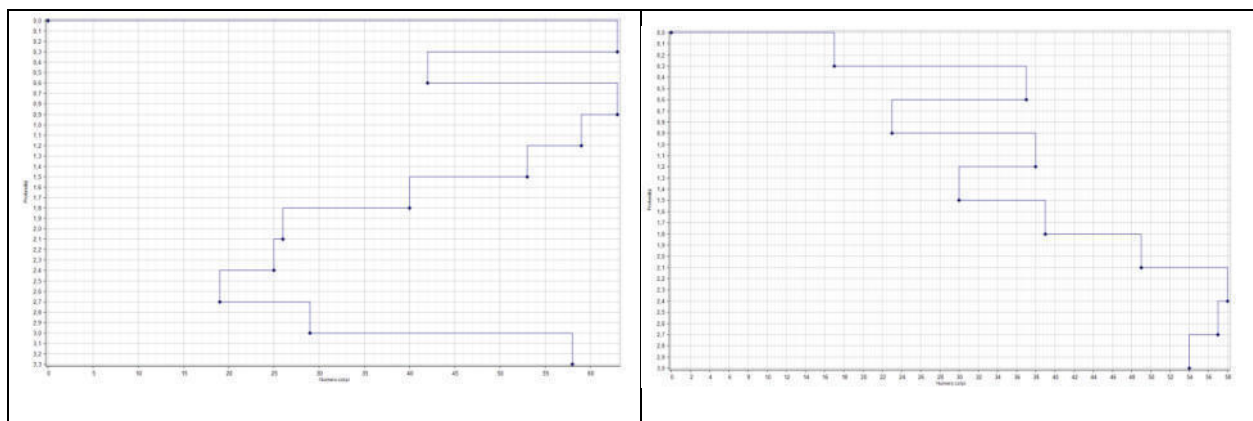


Figura 7 – Grafici prove prese a riferimento

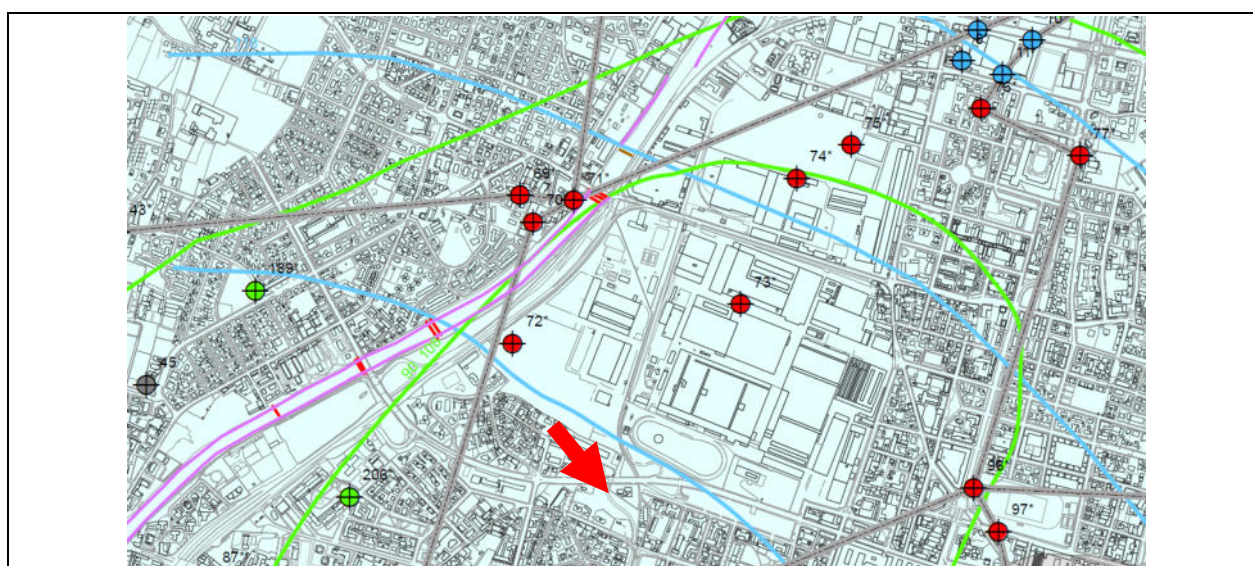
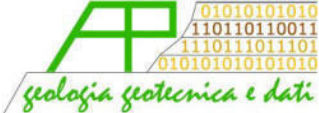


Figura 8 – Stralcio della Carta idrogeologica (da PGT)

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	9 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

Considerata l'esiguità delle misurazioni e la mancanza di una serie storica di dati non è possibile fornire un valore attendibile dell'oscillazione della falda freatica.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	10 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

4. SISMICITÀ

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 Brescia (codice ISTAT 03017029) come ricadente nella zona 3 (cfr. Figura 9) 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.

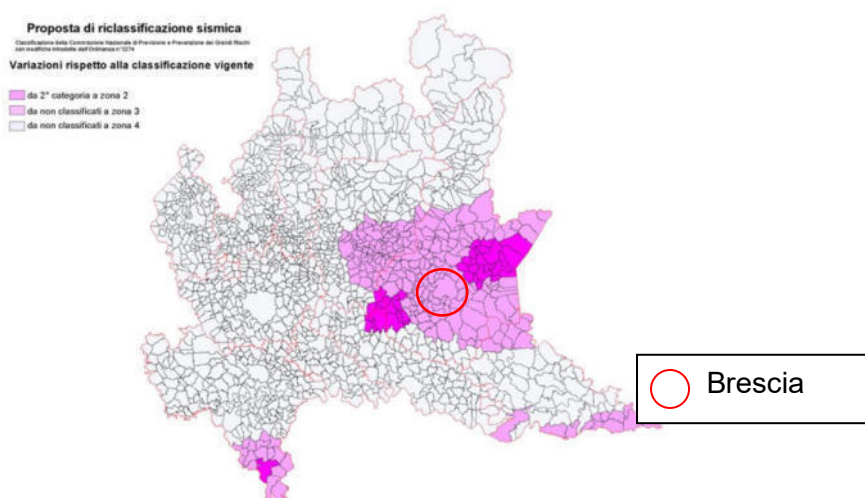
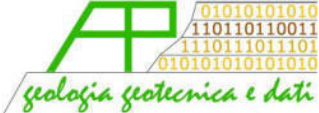


Figura 9 - Proposta di riclassificazione sismica 2003

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	11 di 30
	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 11.10.2015 propone che il comune di Brescia venga classificato come di classe 2, quindi con un'accelerazione orizzontale compresa tra 0,15 a_g/g e 0,25 a_g/g con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (Figura 10).

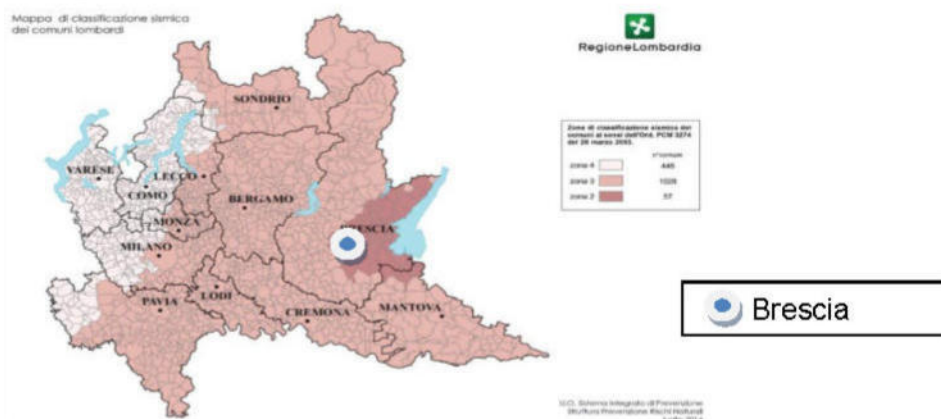


Figura 10 - Riclassificazione sismica 2014

In riferimento alla pericolosità sismica locale (studio di I livello da PGT cfr. Figura 11), l'area ricade nella classe Z4a, ovvero *Zona di fondovalle o pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi* e quindi classe di pericolosità sismica H2 conseguente a possibili amplificazioni sismiche dovute alla litologia.



Figura 11 - Carta PSL - I livello (da PGT – Revisione 2018)

Dagli approfondimenti eseguiti si escludono amplificazioni morfologiche, pertanto si assegna la classe topografica T1. Di seguito è riportata l'analisi sismica di dettaglio condotta mediante la tecnica HVSR.

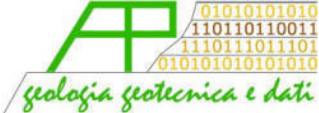
	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	12 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

4.1. Indagine sismica

4.1.1. Tecnica di misurazione e strumentazione HVSR

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:

- 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} ;

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	13 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

- analizzare la vulnerabilità sismica degli edifici, esistenti o in progetto.

4.1.2. 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.

4.1.3. 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

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	14 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

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:

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

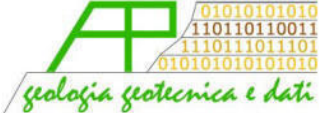
dove H viene posto uguale a 30 metri nel caso in cui il bedrock si trovi a una profondità superiore. Sulla base del valore calcolato di V_{seq} vengono identificate 5 classi, A, B, C, D ed E alle quali corrispondono un differente spettro di risposta elastico. Lo schema indicativo di riferimento per la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

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO			
Categoria sottosuolo	Descrizione	Spessore (m)	Vs (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 tromografo digitale. 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.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	15 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

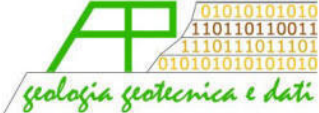
Normalmente i picchi alle alte frequenze (>10 Hz) segnalano la presenza di passaggi stratigrafici molto superficiali, quelli alle basse frequenze (<1 Hz) variazioni stratigrafiche profonde. Poiché le inversioni di velocità, cioè il passaggio andando in profondità da livelli veloci a livelli meno veloci, 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.

4.1.4. 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.

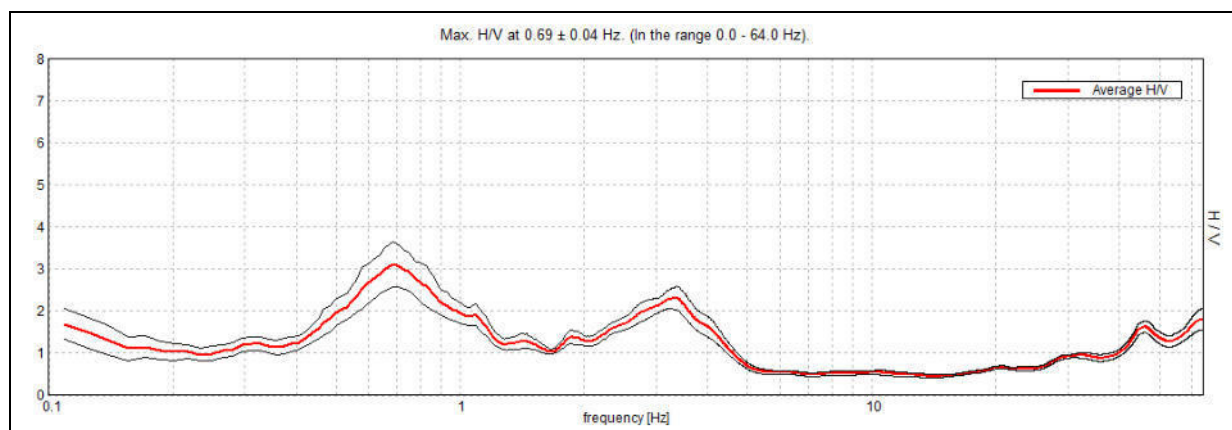
	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	16 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

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.

4.1.5. Risultati dell'analisi

Si riportano di seguito in Figura 12 gli spettri H/V e V registrati nelle immediate vicinanze e nel medesimo contesto geolitologico del sito in studio. 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.



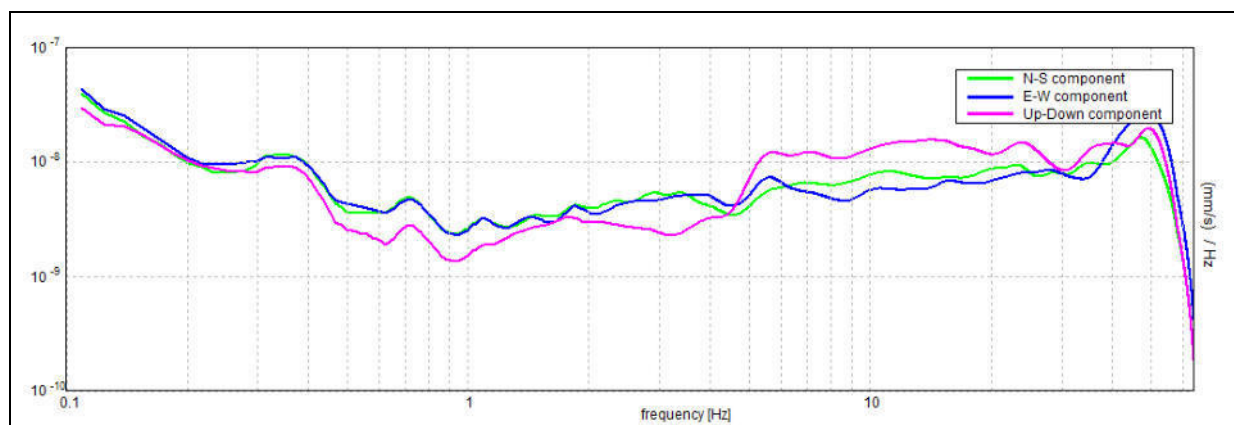


Figura 12 – Andamento degli spettri

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

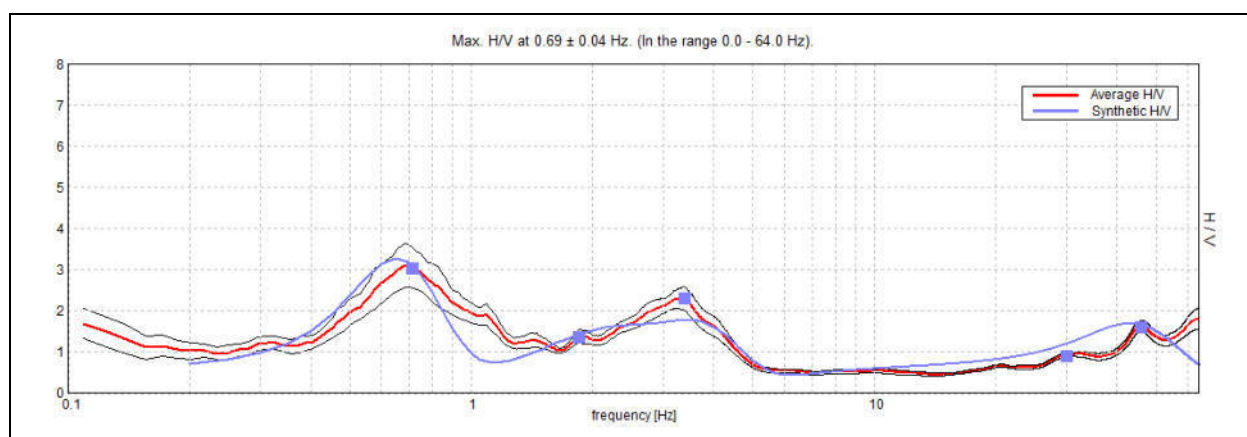


Figura 13 – Andamento della frequenza caratteristica

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

Profondità da (m)	a (m)	Δz (m)	Vs (m/s)	Inversioni di velocità
0.0	1.00	1.00	183	-
1.00	10.90	9.90	323	-
10.90	25.90	15.00	373	-
25.90	95.90	70.00	651	-
95.90	335.90	240.00	867	-
Oltre 240.00		-	1521	-

Il valore di Vseq calcolato da piano campagna è risultato uguale a 363 m/s, che pone il sito nella categoria di sottosuolo B secondo D.M. 17.01.2018. Da piano fondazione la

categoria è la medesima. La frequenza fondamentale del sito è stata misurata direttamente mediante l'indagine geofisica ed è risultata pari a 0.69 Hz. L'analisi di II livello è riportata nel capitolo seguente.

4.2. Analisi sismica di II livello di dettaglio

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

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	19 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

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 14). Sulla base della formula proposta da Regione Lombardia in Allegato 5 (d.g.r. 2616/2011) è stato calcolato il valore del periodo proprio del sito (T) che è risultato uguale a 1.45 s. Sulla base della scheda di riferimento e del valore risultante di T è stato calcolato il fattore di amplificazione Fa 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 B
0.1 – 0.5 s	1.0	1.4
0.5 – 1.5 s	1.5	1.7

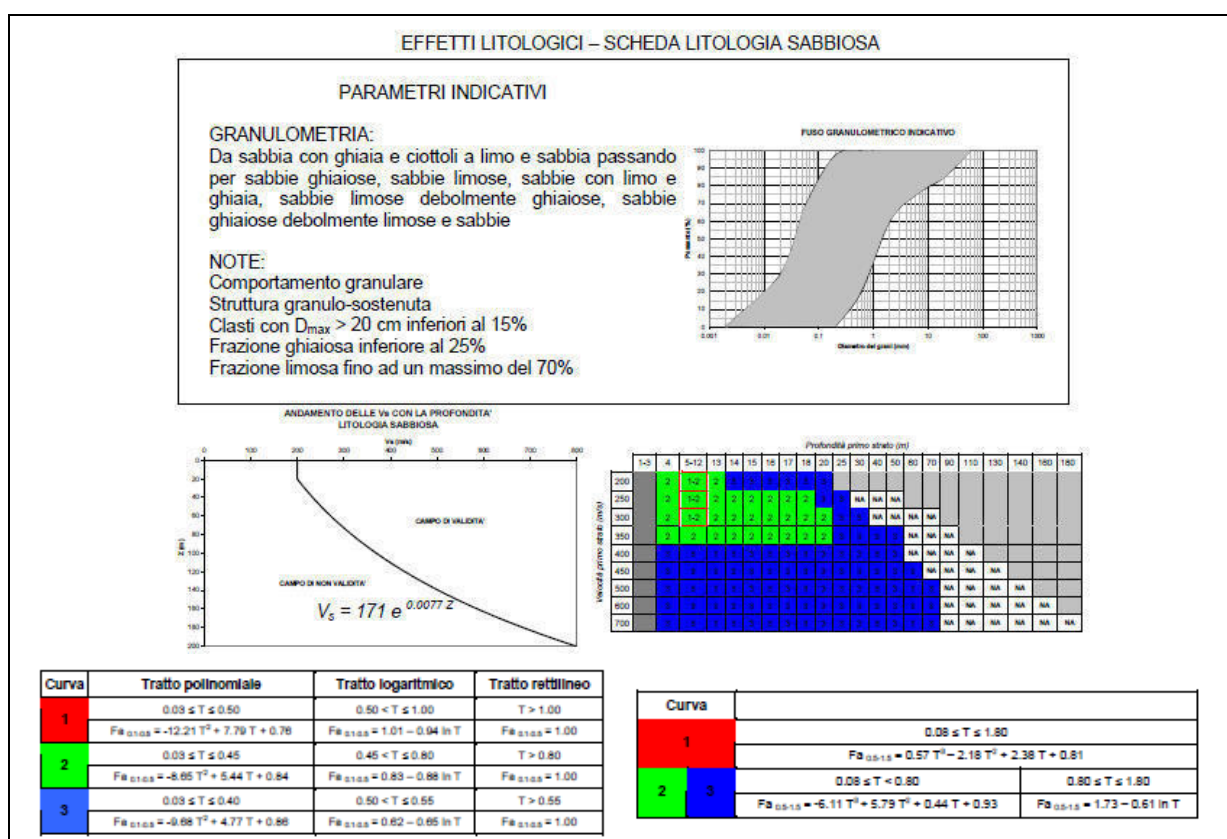


Figura 14 – Andamento delle Vs con la profondità

Applicando ai valori di amplificazione calcolati la tolleranza prevista pari a ± 0.1 risulta che il valore di Fa calcolato è inferiore ai valori soglia proposti dalla normativa regionale vigente per entrambe le categorie di edificio. Gli spettri previsti dalla normativa risultano sufficienti a tenere in considerazione dei possibili effetti di amplificazione litologica, è possibile

dunque confermare la categoria di sottosuolo identificata. L'attendibilità dei dati è stata espressa con la tabella proposta sempre in allegato 5 e la categoria assegnata è quella evidenziata 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 (Vs)	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)

4.3. 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 ai criteri di calcolo previsti dalla nuova normativa.

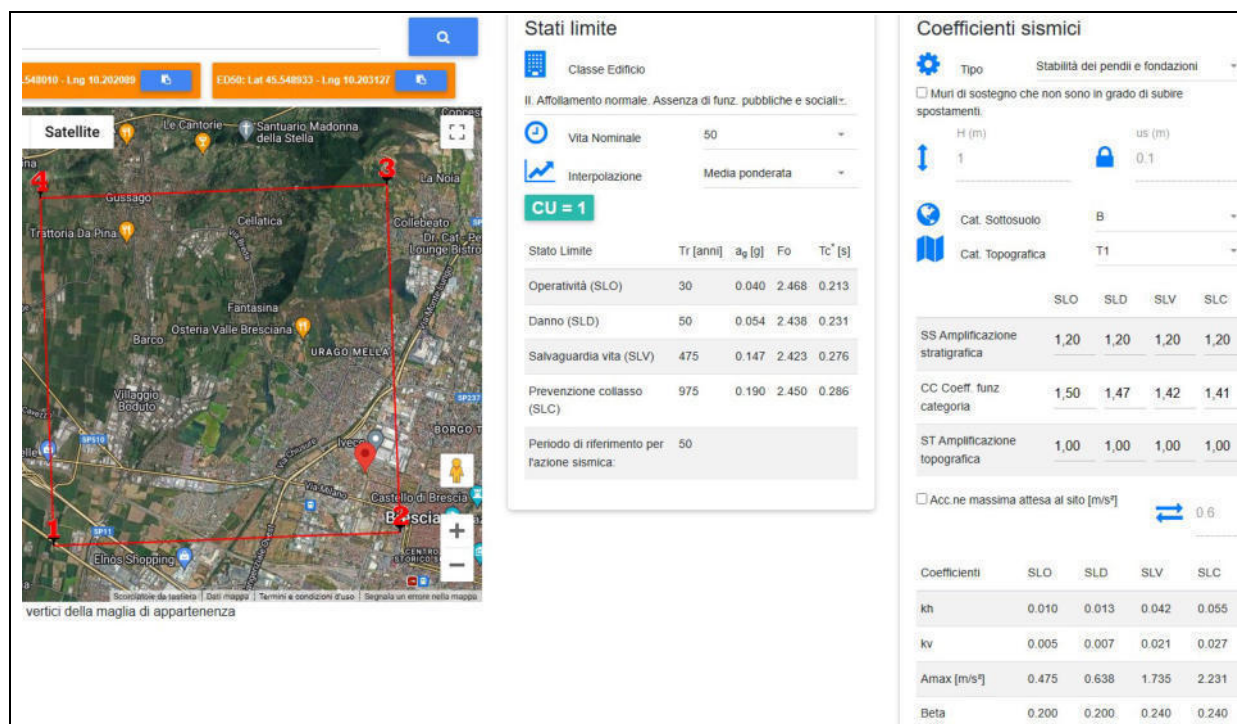


Figura 16 – Calcolo dei parametri sismici dell'area

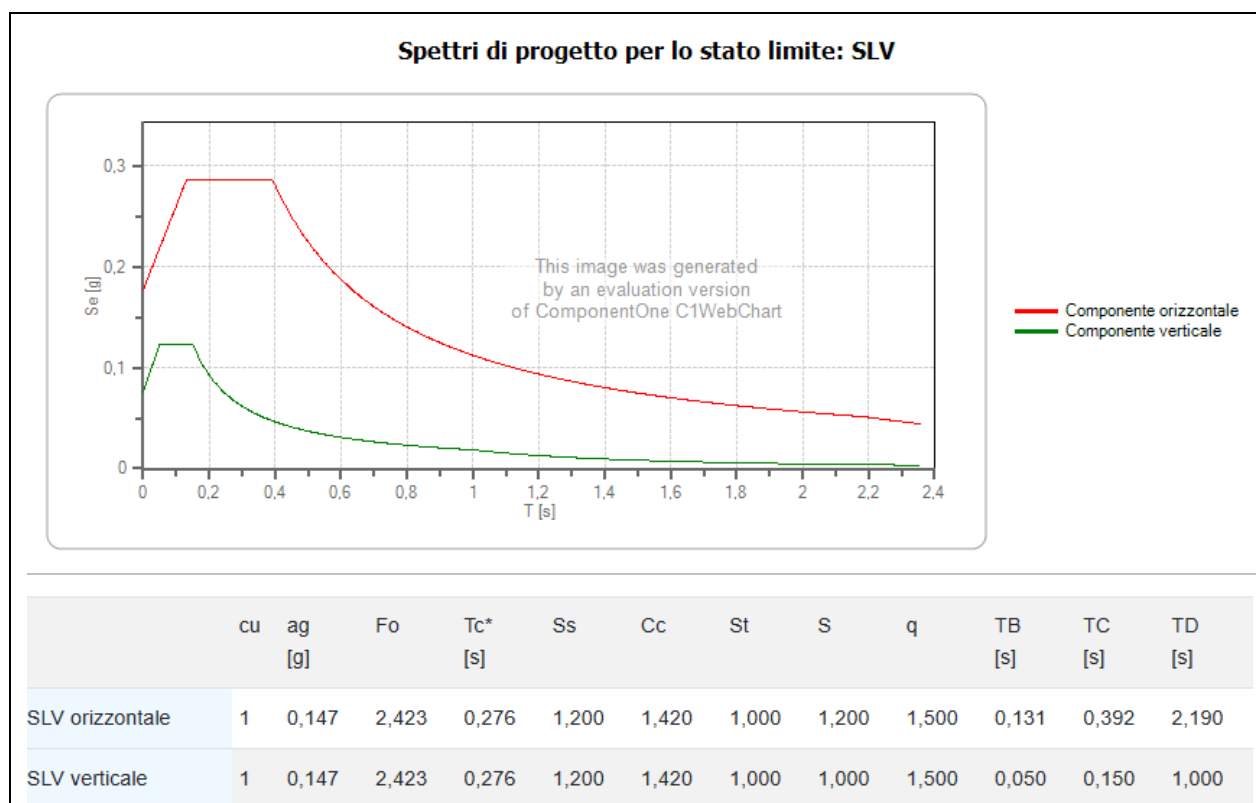


Figura 17 – Spettri di progetto SLV

4.4. Stima della magnitudo di riferimento

Nel settore di appartenenza del comune di Brescia 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.

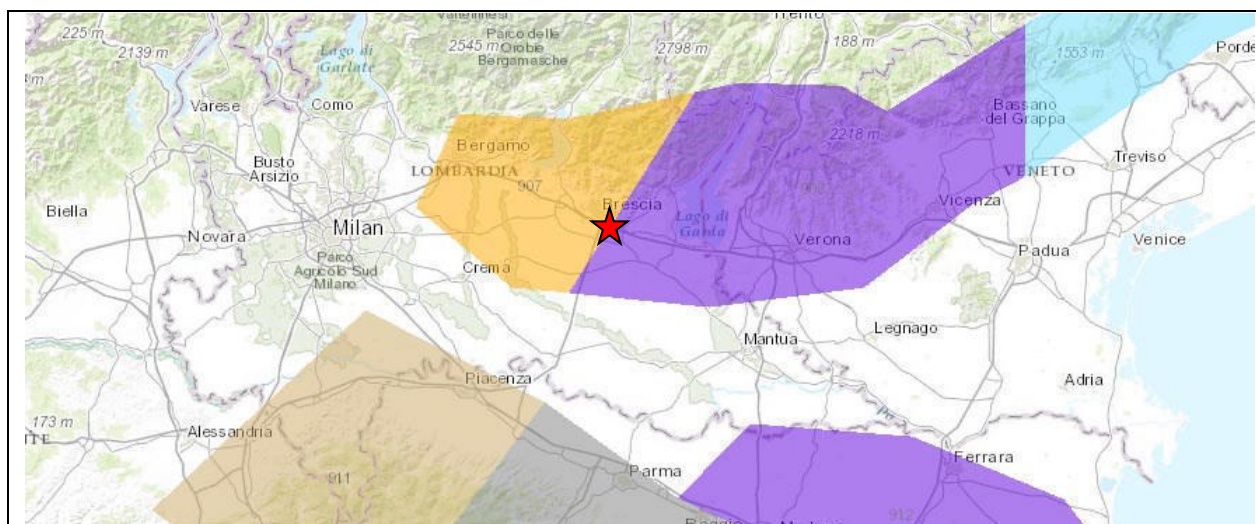
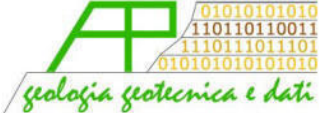


Figura 18 – Schema Zonizzazione Sismogenetica ZS9

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

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	23 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

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 al limite tra la zona sorgente 907 e la 906 (Figura 18). E' possibile effettuare il calcolo della magnitudo di riferimento 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. 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.

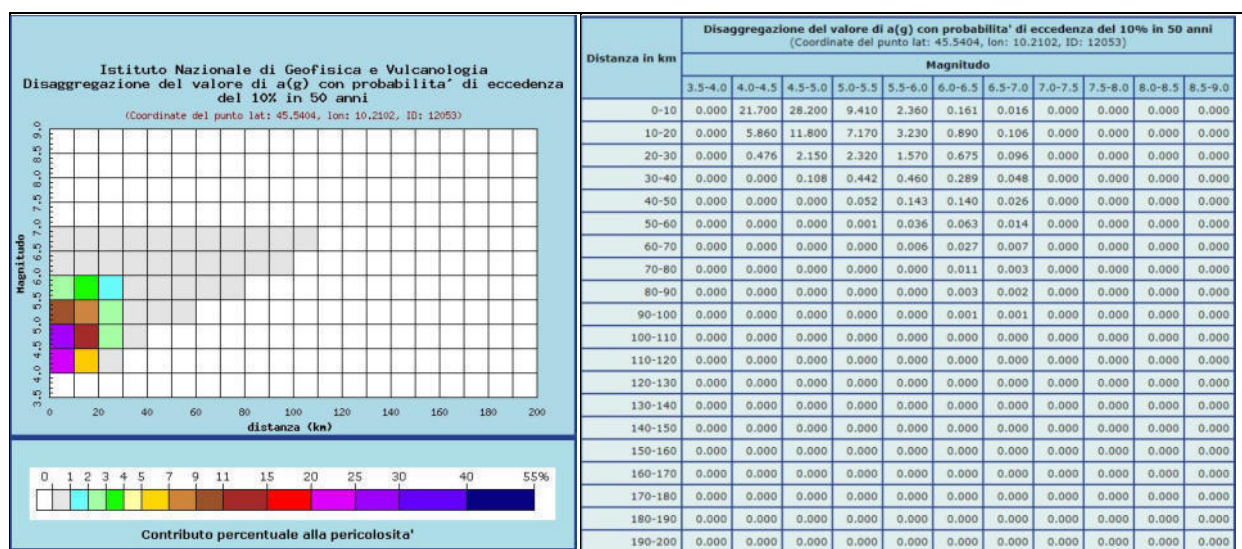


Figura 19 - Verifica Magnitudo

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 Brescia il valore medio di riferimento propone una magnitudo pari a 4.84 ad una distanza di 9.87 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 6.0.

4.5. 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.

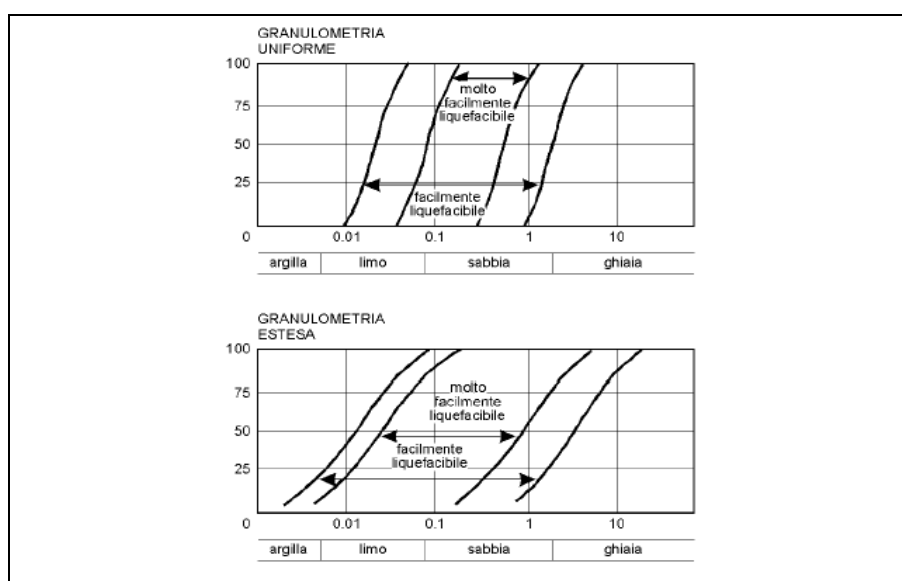
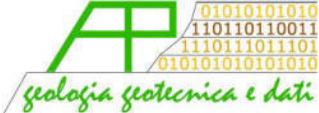


Figura 20 – Valutazione della suscettibilità alla liquefazione – fasce granulometriche critiche

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	25 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

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 20. 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:

$$CSR = \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{1}{\sigma'_{v0}}$$

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.;

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	26 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

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)

$$CRR = 0,022 \cdot \left(\frac{K_c \cdot V_{sl}}{100} \right)^2 + \frac{2.8}{(V_{slc} - K_c \cdot V_{sl})} - \frac{2.8}{V_{slc}} \quad CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

Considerata la granulometria dei depositi presenti in sito e l'elevata soggiacenza della falda non si ravvisano le condizioni necessarie all'insorgere dei fenomeni di liquefazione. In tutti gli strati sono verificate le condizioni di sicurezza di cui sopra.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	27 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

5. FATTIBILITÀ

L'area in studio è identificata nel PGT con la classe di fattibilità 2a, ovvero fattibilità con modeste limitazioni legate alle caratteristiche geotecniche dei depositi presenti in sito (Figura 21). Si riporta di seguito quanto prescritto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni in riferimento a tali classi:

Classe 2a – Area stabile, coincidente con zone di pianura e talora con la fascia marginale delle superfici di raccordo tra pianura e rilievi, caratterizzata da un substrato in genere contraddistinto da buone caratteristiche geotecniche: Localmente possono essere presenti zone poste al margine dei rilievi dove negli strati superficiali del terreno si possono riscontrare orizzonti litologici con caratteristiche geotecniche da mediocri a scadenti o zone potenzialmente oggetto di ritombamento. L'area può comprendere porzioni caratterizzate da terreni rimaneggiati, localmente riportati, con potenziale compromissione antropica. All'interno delle aree così classificate gli interventi di viabilità, nuova edificazione, ricostruzione, ampliamento, scavi, devono essere supportati da indagini geologiche e geotecniche che valutino la compatibilità dell'intervento stesso con le caratteristiche geologiche e geotecniche del sito.

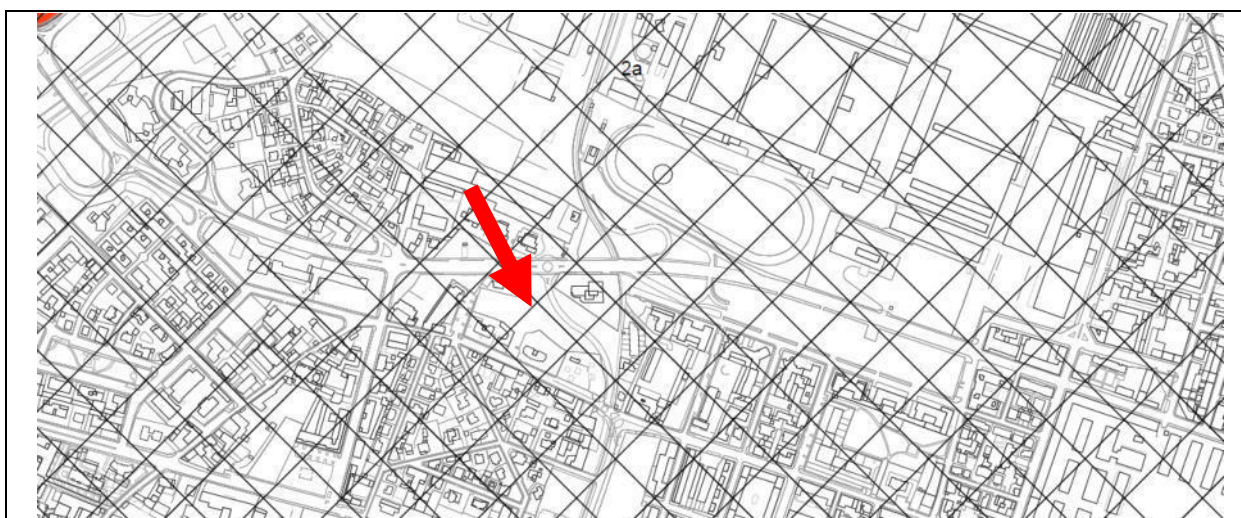


Figura 21 – Stralcio della carta della fattibilità di PGT

L'analisi condotta non ha evidenziato problematiche legate a criticità di natura

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	28 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

idrogeologica, geomorfologica o idraulica e riconferma la fattibilità espressa in sede di PGT. L'area di imposta non presenta fenomeni geomorfologici in atto e pertanto si dichiara stabile. I terreni di fondazione sono costituiti in prevalenza da ghiaie e pertanto con buone caratteristiche geotecniche. La falda è depressa oltre i 30 metri e pertanto non si prevedono interferenze con le opere in progetto. Si prescrive la realizzazione di indagini geotecniche di dettaglio al fine di definire i parametri di calcolo delle fondazioni e verificare l'omogeneità della stratificazione. In caso di sisma non sono previsti fenomeni di liquefazione. Dal punto di vista idraulico il rischio si ritiene molto basso in quanto i fenomeni alluvionali che potrebbero interessare l'area hanno tempo di ritorno di 500 anni. Nel caso si realizzino interrati sarà utile prevedere sistemi di sollevamento delle acque.

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	29 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			

6. CONCLUSIONI

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

1. L'area in studio ricade nel Comune di Brescia, classificato dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio in data 20 marzo 2003 n.3274 come di classe 3. La riclassificazione della Regione Lombardia ha elevato la classe portandola alla 2.
2. Secondo i disposti dell'Ordinanza Presidente del Consiglio n.3274/2003 i terreni di fondazione sono classificabili come di tipo B. L'analisi di II livello effettuata ha dimostrato che la normativa regionale vigente è sufficiente a tenere in considerazione gli effetti di amplificazione litologica, pertanto il sito è stato mantenuto in categoria di sottosuolo B.
3. Il profilo topografico di riferimento è il T1.
4. I terreni di imposta delle fondazioni sono costituiti da depositi alluvionali antichi a litologia prevalentemente ghiaiosa.
5. Nell'area i dati bibliografici evidenziano una soggiacenza pari a circa 32.00 m della falda freatica.
6. I terreni di fondazione non saranno soggetti a liquefazione in caso di sisma.

Per quanto esposto ed illustrato si dichiara la fattibilità dell'intervento, sotto il profilo geologico, idrogeologico e sismico. Si prescrive l'esecuzione di indagini di dettaglio per la caratterizzazione geotecnica secondo i disposti del D.M. 17.01.2018.

Dr. Geol. Corrado Aletti

(documento firmato digitalmente)

Seniga 23.05.2023

	Elaborato	Data	Rev.	Pag.
	Relazione geologica	Maggio 2023	0	30 di 30
	A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900			