

Agostino Pasquali Coluzzi
geologo

Marco Venturini
geologo

Mauro Valcarenghi
geologo

STUDIO TRESIS
Geologia, Geotecnica, Ingegneria

3222 Depositi Ghidini Rok SUAP

COMUNE DI BRESCIA
PROVINCIA DI BRESCIA

Committente:

DEPOSITI GHIDINI ROK S.r.l.

Progetto:

**RICHIESTA SUAP IN VARIANTE AL PGT
PER LA REALIZZAZIONE DI
UN NUOVO EDIFICIO PRODUTTIVO
in Via Castagna, 2 - Brescia**

RELAZIONE GEOLOGICA



La presente Relazione è di esclusiva proprietà intellettuale dello Scrivente. Non è consentito trasmettere con qualsiasi mezzo, senza autorizzazione, la Relazione o parte di essa, salva la facoltà di utilizzarla in tutto o in parte per scopi non commerciali e non professionali, purché venga citato l'autore. La presente Relazione sarà conservata in forma originale e riservata negli archivi dello Studio a disposizione del Committente.

Data 05.07.2025	Revisione Rev.00	Gestore della commessa Dr. M. Venturini	Responsabilità professionale Dr. M. Valcarenghi
--------------------	---------------------	--	--

INDICE

1 - PREMESSA.....	3
2 - LITOLOGIA.....	4
3 - IDROGEOLOGIA.....	7
4 - MORFOLOGIA.....	11
5 - IDROGRAFIA.....	12
6 - VINCOLI GEOLOGICI.....	14
7 - FATTIBILITÀ GEOLOGICA.....	15
8 - COMPONENTE SISMICA.....	16
9 - CONCLUSIONI.....	18

IN ALLEGATO: RELAZIONE TECNICA SULL'INDAGINE SISMICA ESEGUITA NELL'AREA

NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- D.P.R. n°380 del 20 ottobre 2001
- Eurocodice 7 - Progettazione geotecnica - Parte 1: Regole generali.
- Eurocodice 8 - Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.
- Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni - Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018
- Istruzioni per l'applicazione dell'Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni – C.S.LL.PP. Circolare n.7 del 21 gennaio 2019

BIBLIOGRAFIA

- Lancellotta R., "Geotecnica", Zanichelli, 2001
- Bowles J.E., "Foundation – Analysis and design", McGraw-Hill, 1988
- Cestari F., "Prove geotecniche in sito", Geo-graph, 1990
- A.G.I., "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche", 1977

1 - PREMESSA

Su incarico della Committente DEPOSITI GHIDINI ROK S.r.l. è stata eseguita un'indagine presso l'area in cui sorgerà il nuovo edificio industriale della Committente stessa in Via Castagna, finalizzata alle seguenti attività:

- ricostruzione della stratigrafia locale,
- installazione di un piezometro a tubo aperto per la misurazione del livello locale della falda freatica (prima falda = falda libera) e delle sue variazioni nel tempo,
- esecuzione di una prova di permeabilità per la stima del coefficiente di permeabilità dei terreni dell'area interessata dal progetto.

L'indagine è stata programmata ed eseguita a seguito del ricevimento del "VERBALE RIUNIONE DI CONFERENZA DECISORIA IN MODALITA' SINCRONA E TELEMATICA IN VIDEO CONFERENZA AI SENSI DELL'ART. 5 EX DPR 447/98 E SMI", trasmesso agli interessati dal "Comune di Brescia - Settore Sviluppo Economico e SUAP – Servizio Gestione e Semplificazione Amministrativa"; il verbale ha evidenziato le seguenti tematiche di carattere geologico:

- Settore Sostenibilità Ambientale del Comune di Brescia: *"il parere per il settore è positivo; nel progetto di invarianza idraulica si chiede il solo dato di permeabilità del suolo e che, a supporto dell'asseverazione circa la non interferenza della falda, venga motivata la ragione della asseverazione e non interferenza"*.
- Provincia di Brescia: *"conferma i contenuti del parere ... inviato in data 10/06/2025 ... condizionato al recepimento delle prescrizioni relative ... agli aspetti di carattere geologico in merito alla necessità della presenza fra gli elaborati della variante della dichiarazione sostitutiva dell'atto di notorietà (art. 47 D.P.R. 28/12/2000, n° 445), che asseveri:*
 - 1 - la congruità tra i contenuti della variante e i contenuti ... della componente geologica del P.G.T.;
 - 2 - la congruità tra i contenuti della variante e i contenuti ...derivanti dal PGRA, dalla variante normativa al PAI e dalle disposizioni regionali conseguenti (allegato 1 alla dgr XI/6314 del 26/04/2022)".

I contenuti della presente Relazione Geologica rispondono alle richieste sopra elencate.

La figura 1 (estratto Cartografia Tecnica Regionale alla scala 1:10000) mostra l'ubicazione dell'area indagata.

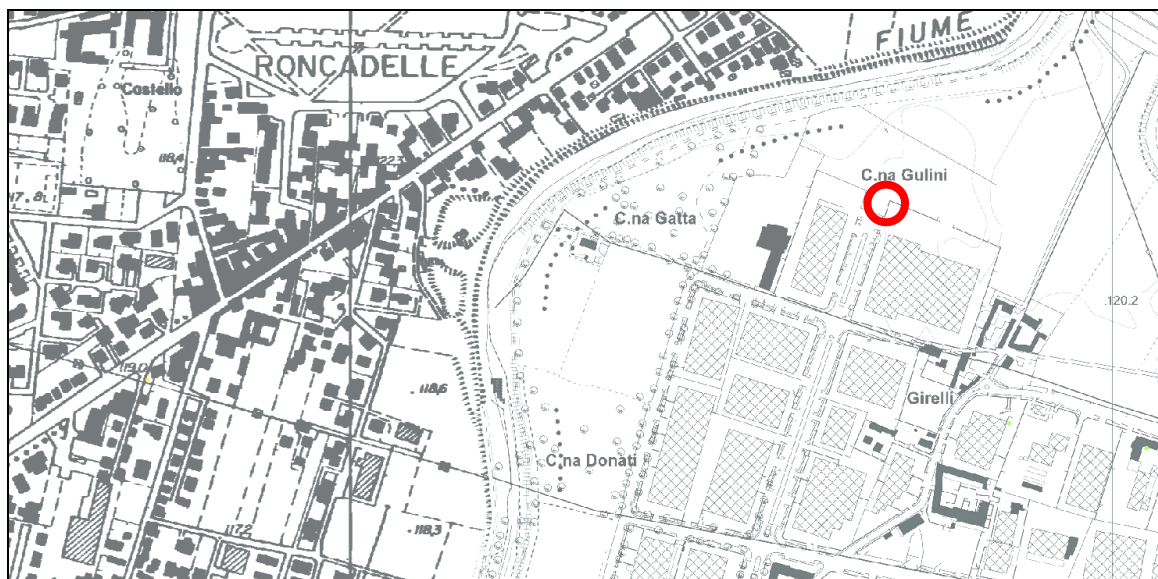


figura 1 - ubicazione dell'area indagata (estratto Cartografia Tecnica Regionale – scala 1:10000)

La presente relazione illustra i risultati dello studio, condotto ai sensi del capitolo 6 “Progettazione Geotecnica” delle Norme Tecniche per le Costruzioni, in particolare del paragrafo 6.1.2: *“Le scelte progettuali devono tener conto delle prestazioni attese delle opere, dei caratteri geologici del sito e delle condizioni ambientali”*.

Nello specifico sono state eseguite le operazioni di seguito elencate.

- Consultazione di studi geologici a scala comunale:
 - *“Adeguamento della componente sismica alla D.G.R. IX/2616 del 30-11-2011 con aggiornamento della carta della fattibilità geologica per le azioni di piano e delle relative norme - L.R. 12/2005 - D.G.R. 30 Novembre 2011, n. 9/2616”* a firma del Dott. Geol. Davide Gasparetti e del Dott. Geol. Gianantonio Quassoli (Variante 2 dello Studio Geologico Comunale)
 - *“Adeguamento della componente geologica, idrogeologica e sismica dello Studio Geologico Comunale al Piano di Gestione del Rischio Alluvioni (P.G.R.A.) (D.G.R. 19 giugno 2017 n. 10/6738)”*, redatto dai Dott. Geologi D. Gasparetti e G. Quassoli e dall’Ing. G. Rossi, datato marzo 2018 (Variante 3 dello Studio Geologico Comunale)

nota: per semplicità di esposizione i due studi geologici sopra elencati saranno di seguito indicati genericamente come “Studio Geologico Comunale”
- esecuzione, in data 26.06.2025, di un’indagine consistita in:
 - n° 1 sondaggio a carotaggio continuo profondo 15 m
 - n° 1 prova di permeabilità all’interno del foro di sondaggio
 - installazione di n° 1 tubo piezometrico all’interno del foro di sondaggio
- definizione del modello geologico del sottosuolo;
- valutazione della fattibilità geologica del progetto.

2 - LITOLOGIA

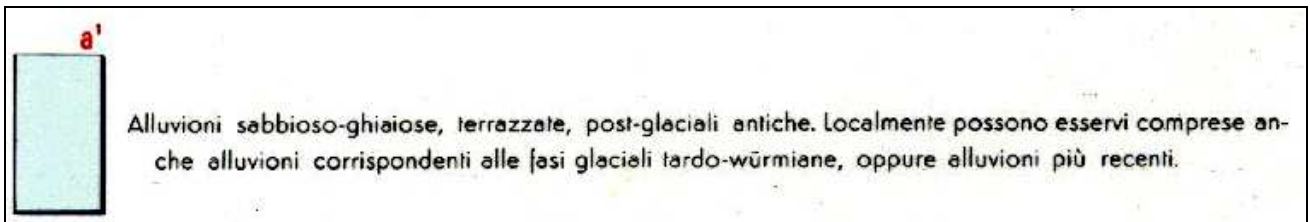
La figura 2 è tratta dal “Foglio 47 - Brescia” della Carta Geologica d’Italia; la zona in cui si trova l’area interessata dal progetto è indicata dalla cerchiatura rossa.



figura 2: Carta Geologica d’Italia (1:100.000) _ Foglio 47 - Brescia

L’area è caratterizzata dalla presenza delle alluvioni post-glaciali del fiume Mella, che scorre immediatamente a nord e ad ovest del sito in esame

In corrispondenza delle valli dei principali corsi d'acqua che attraversano la pianura bresciana si rinvencono infatti alluvioni sabbioso-ghiaiose (a1 in figura 2) separate dal "livello fondamentale della pianura" da un modesto dislivello:



La presenza dei depositi alluvionali e fluviali è confermata dalla tavola "Carta di inquadramento geologico-strutturale" dello Studio Geologico Comunale, dalla quale è tratta la figura 3.

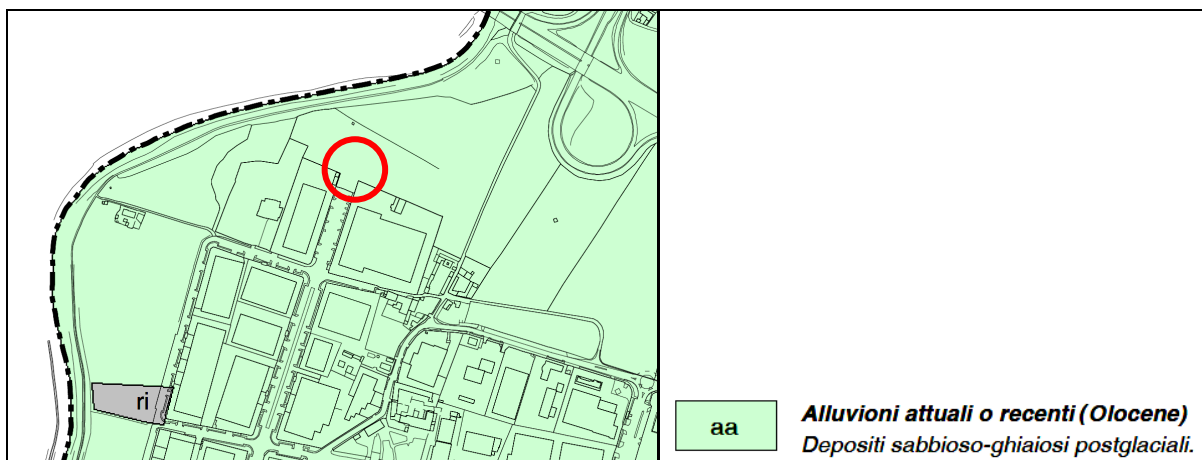


figura 3: "Carta di inquadramento geologico-strutturale" dello Studio Geologico Comunale

Come anticipato in "Premessa", in data 26-06-2025 è stato eseguito nell'area un sondaggio a carotaggio continuo profondo 15 m, con uso di colonna di rivestimento del foro e con circolazione diretta di acqua, tramite sonda perforatrice idraulica montata su autocarro; le caratteristiche dell'attrezzatura utilizzata sono le seguenti:

- lunghezza del carotiere: 1,5 m
- diametro del carotiere: 101 mm
- lunghezza dei tubi di rivestimento: 1,5 m
- diametro dei tubi di rivestimento: 127 mm

La figura 4 mostra l'ubicazione del sondaggio geognostico:

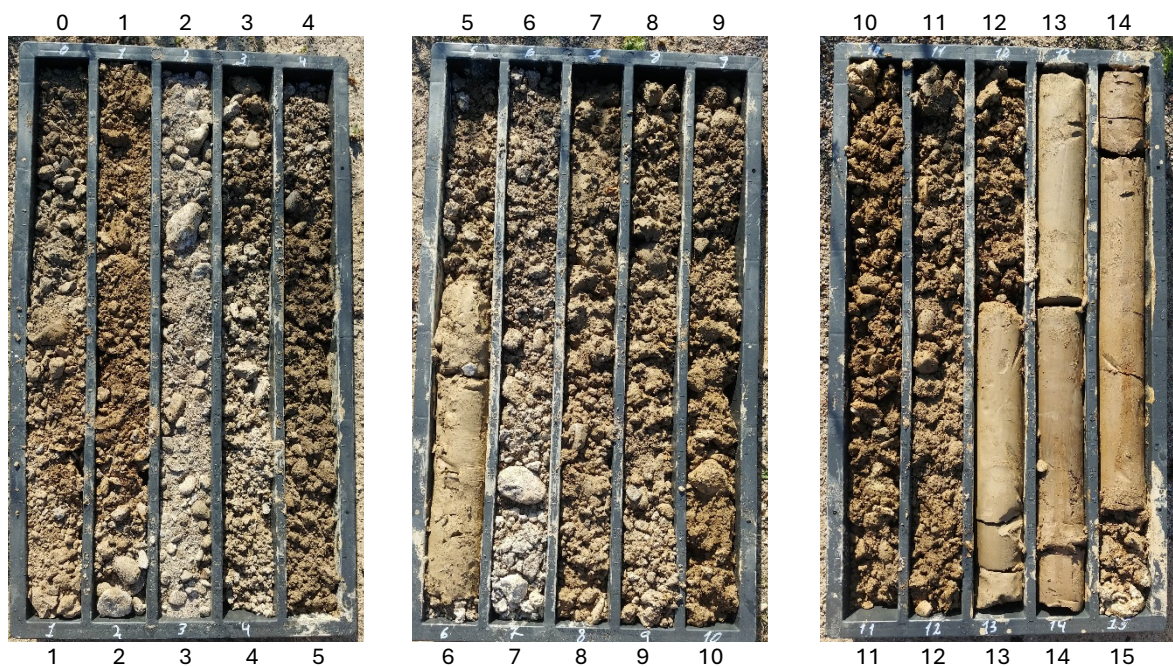


figura 4: ubicazione del sondaggio geognostico

La fotografia seguente mostra la sonda carotatrice sulla postazione di indagine:



Dall'esame dei terreni campionati è stato possibile ricavare la stratigrafia locale: si riportano la documentazione fotografica delle cassette catalogatrici dei terreni campionati e la stratigrafia rilevata, in scala 1:100.



stratigrafia del sondaggio

scala verticale 1:100

PROF. m		TUBO PIEZOMETRICO	PROFONDITÀ FALDA	DESCRIZIONE LITOLOGICA
2,0				limo/sabbia molto fine, nocciola, con rarissimi ciottoli arrotondati <i>n.b.: terreno non coesivo: se asciutto si sbriciola</i>
4,20				sabbia finissima, grigia, debolmente ghiaiosa, localmente limosa, con abbondanti ciottoli arrotondati eterometrici, prevalentemente piccoli; rari ciottoli di maggiori dimensioni con diametro massimo = 7-8 cm
5,40				sabbia molto fine, marrone con alcuni piccoli ciottoli arrotondati
6,00				limo argilloso nocciola con rari ciottoli arrotondati
7,00			7,20 m da p.c.	sabbia molto fine, debolmente ghiaiosa, con piccoli ciottoli arrotondati; rari ciottoli arrotondati di maggiori dimensioni: diametro massimo circa 10 cm
11,00				sabbia molto fine, marrone, ghiaiosa, con alcuni piccoli ciottoli arrotondati e rari ciottoli arrotondati di maggiori dimensioni: diametro massimo circa 5/6 cm
12,40				sabbia fine, marrone, ghiaiosa, con alcuni piccoli ciottoli arrotondati e rari ciottoli arrotondati di maggiori dimensioni: diametro massimo circa 5/6 cm
15,00				limo argilloso marrone

3 - IDROGEOLOGIA

All'interno del foro di sondaggio è stato installato un tubo piezometrico dal diametro di 2"i.

Il tratto cieco del tubo piezometrico (tratto iniziale) ha una lunghezza di 8 metri; il tratto microfessurato (tratto finale) ha lunghezza di 5 metri.

Il tratto superficiale dell'intercapedine foro-piezometro è stato sigillato mediante l'utilizzo di argilla rigonfiante, mentre il tratto profondo è stata riempito con ghiaietto drenante.

In data 04-07-2025 all'interno del piezometro il livello di falda è stato rilevato a 7,20 metri dal piano campagna.

La figura 5 è tratta dalla “Carta piezometrica della prima falda” del progetto SIN Brescia-Caffaro, monitoraggio delle acque sotterranee: le linee blu sono le isopieze, contraddistinte dalle corrispondenti quota di falda.

L’area in esame si trova in corrispondenza dell’isopieza con quota 112 m s.l.m.; poiché la quota topografica dell’area è circa 120 m s.l.m., la soggiacenza media della falda in sua corrispondenza è circa 8 m.

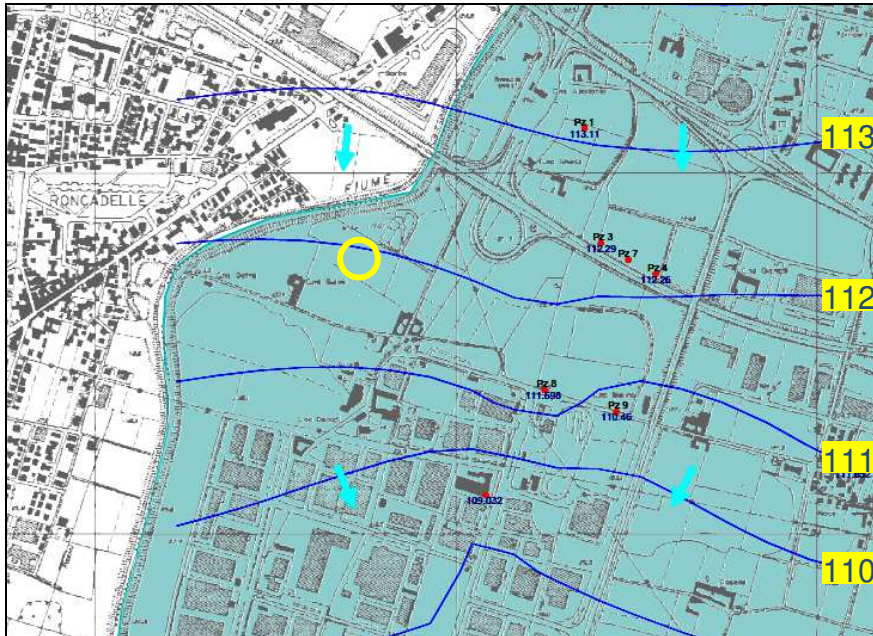
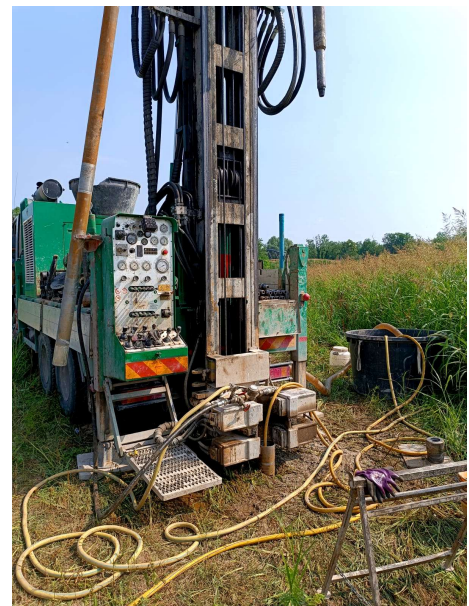


figura 5: “Carta piezometrica della prima falda” ARPA

La carta indica inoltre che, nel territorio comprendente l’area in esame, la generale direzione di flusso sotterraneo è da N verso S.

Per stimare il coefficiente di permeabilità dei terreni dell’area, all’interno del sondaggio eseguito in data 26 giugno 2025 è stata eseguita una prova di permeabilità tipo “Lefranc”:



Le prove di permeabilità Lefranc permettono di stimare il coefficiente di permeabilità di un terreno superficiale e non roccioso; sono eseguiti secondo la normativa di riferimento AGI (1977) "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche".

La prova a carico costante viene eseguita immettendo acqua pulita nella zona di rivestimento, fino alla determinazione appunto di un carico idraulico costante, che coincide esattamente ad una portata assorbita dal terreno in modo costante; successivamente, è necessario verificare e controllare la portata immessa a regime idraulico costante per mezzo di un contalitri.

Il coefficiente di permeabilità viene calcolato applicando la seguente formula:

Schema della prova Lefranc

Diagramma schematico della prova Lefranc. Il pozzo ha un rivestimento di lunghezza L e diametro D . La falda freatica è indicata da una linea tratteggiata. Le altezze H_1 , H_2 , H_m e il carico idraulico ΔH sono indicate. I tempi t_1 , t_m e t_2 sono segnati sulla scala del pozzo. La profondità H_m è indicata in cm.

Per le prove a carico costante la conducibilità idraulica è:

$$K = Q / CH$$

Q = portata a regime (cm^3/sec)
 H = carico idraulico a regime (cm)
 C = coefficiente di forma (cm), in funzione della tasca inferiore di diametro D e lunghezza L

La prova è stata eseguita da 3,50 a 4,00 m di profondità, creando una tasca filtrante di 50 cm a fondo foro sollevando il rivestimento di 50 cm sopra suolo.

La prova ha fornito i seguenti dati:

tempo	lettura litri
0	20
30''	25,5
1'	31,3
1'30''	38,4
2'	45,6
2'30''	53,1
3'	60,3
3'30''	67,2
4'	74,2
4'30''	81,1
5'	88,4
6'	102,9
7'	118,5
8'	133,8
9'	150,1
10'	165,7

tempo	lettura litri
11'	180,3
12'	195,3
13'	210,2
14'	224,5
15'	238,6
16'	253,1
17'	267,8
18'	282,5
19'	297,4
20'	312,7
21'	327,5
22'	341,9
23'	356,5
24'	372,0
25'	386,8

Coefficiente di forma C

Per il coefficiente C sono suggeriti i seguenti valori:

- se $L \gg D \rightarrow C = L$
- se $L < D \rightarrow C = 2pd+L$

Poiché nel caso in esame $L \gg D$, e il diametro D della tasca filtrante è 11,4 cm (diametro esterno del carotiere) il coefficiente di forma C risulta: **C = 50 cm**

Carico idraulico a regime H

La falda si trovava a circa 7,20 m di profondità; il carico idraulico a regime è pertanto **H = 450 cm**

Portata a regime risulta dunque Q

La portata a regime risulta dunque $Q \approx 387 \text{ litri} - 20 \text{ litri} / 25 \text{ minuti} \approx 367 \text{ litri} / 25 \text{ minuti} \approx 367000 \text{ cm}^3 / 1500 \text{ secondi}$

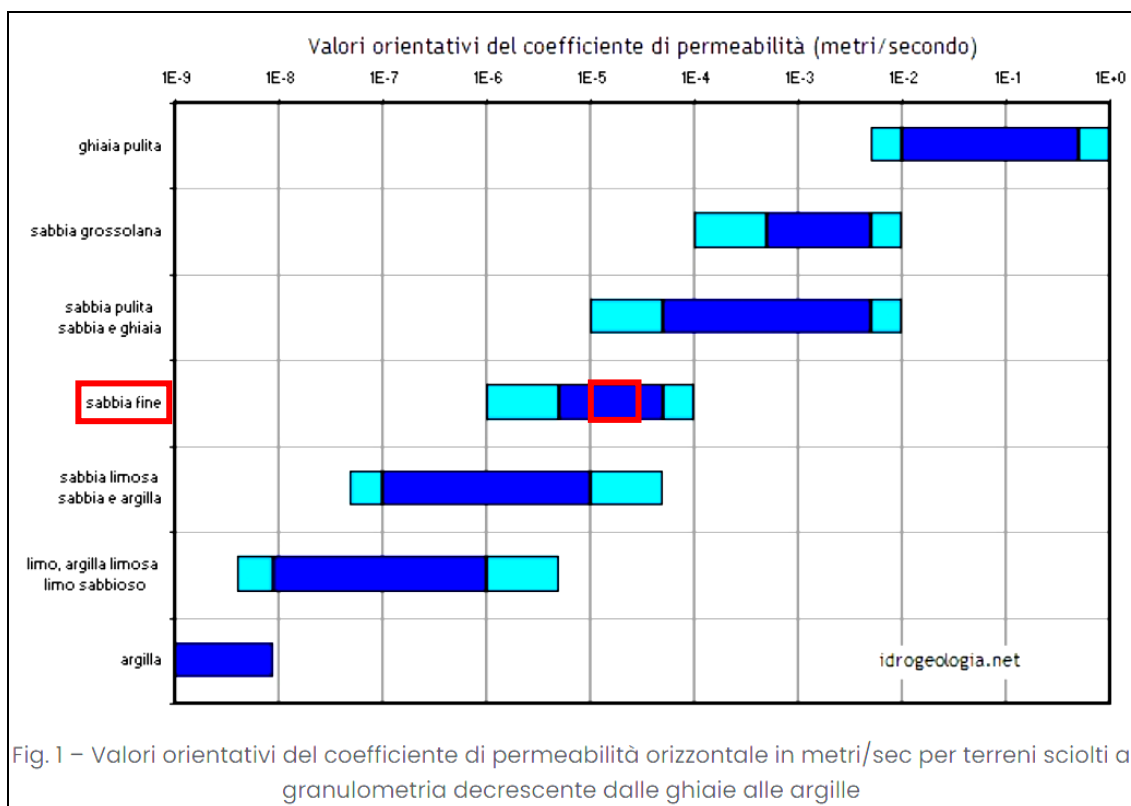
$$Q \approx 245 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Il coefficiente di permeabilità risulta pertanto:

$$K \approx Q / CH \approx 245 \text{ cm}^3/\text{s} \div 50 \text{ cm} \times 450 \text{ cm}$$

$$K \approx 0,011 \text{ cm/s} \approx 1,1 \times 10^{-2} \text{ cm/s} \approx 1,1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$$

Si tratta di un valore discreto/basso di permeabilità, caratteristico di terreni sabbiosi fini:



4 - MORFOLOGIA

L'area in esame si trova in un territorio sub-pianeggiante con leggera pendenza da N verso S, privo di significativi elementi morfologici. La quota topografica dell'area è circa 120 m s.l.m.

La figura 6 mostra la morfologia sub-pianeggiante e l'elevato grado di antropizzazione del territorio; il capannone si trova nel settore nord-occidentale della zona industriale.

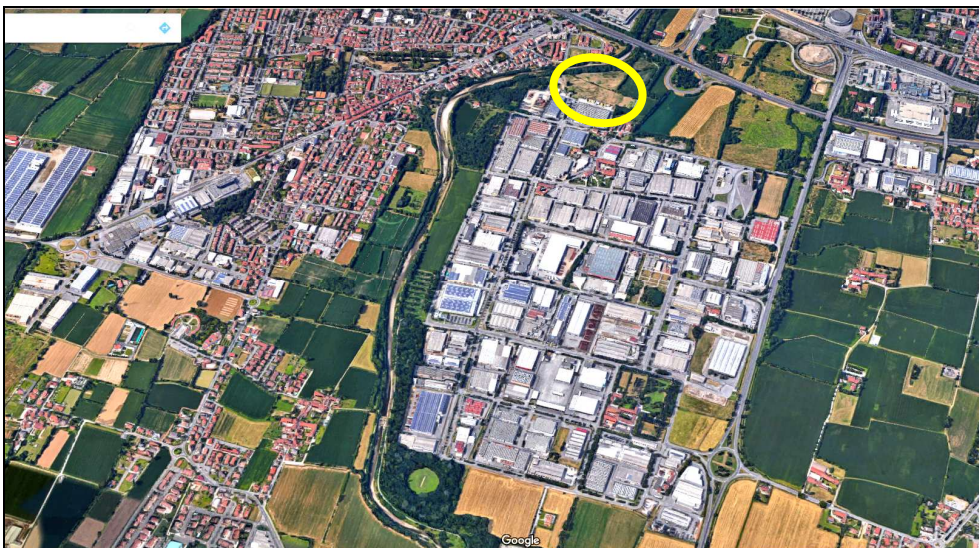


figura 6: fotografia aerea Google

Dal punto di vista della dinamica geomorfologica l'area è stabile; a conferma di ciò le tavole "Geomorfologia" e "Tavola dei vincoli" dello Studio Geologico Comunale evidenziano l'assenza di qualsiasi forma di dissesto idrogeologico in atto o quiescente che possa rappresentare elemento di rischio; la classificazione dello Studio Geologico Comunale è la seguente:

Area subplaneggiante o con blande ondulazioni del piano campagna, coincidente con i ripiani dei depositi alluvionali e fluvioglaciali in cui è modellato il settore di pianura del territorio comunale e, parzialmente, con la fascia esterna dei depositi eluvio-colluviali: STABILE.

La "Carta Geomorfologica" dello Studio Geologico Comunale (figura 7) conferma l'assenza di forme di rischio o dissesto idrogeologico.

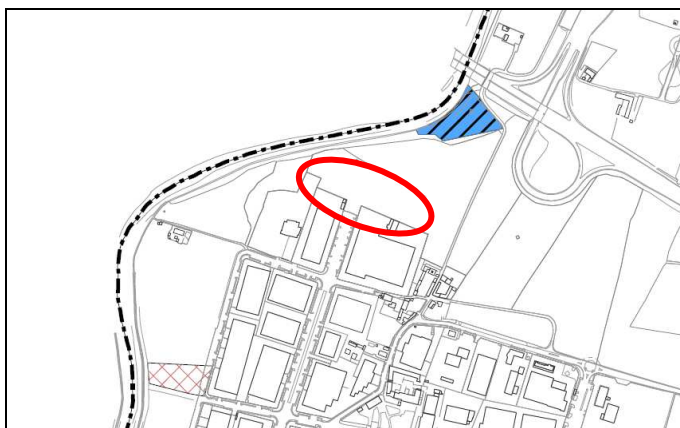


figura 7: "Carta Geomorfologica" dello Studio Geologico Comunale

Trattandosi di superficie pianeggiante, la categoria topografica definita in base al D.M. 17/01/18 è T1, alla quale corrisponde un valore di coefficiente di amplificazione topografica ST pari a 1.

La figura 8, tratta dalla “Tavola dei vincoli” dello Studio Geologico Comunale, mostra che il sito in esame è interessato dalla presenza di vincoli in quanto area potenzialmente interessata da alluvioni rare ed è compresa nel sito inquinato “Brescia-Caffaro”, fatto che non implica però limitazioni dal punto di vista geologico.

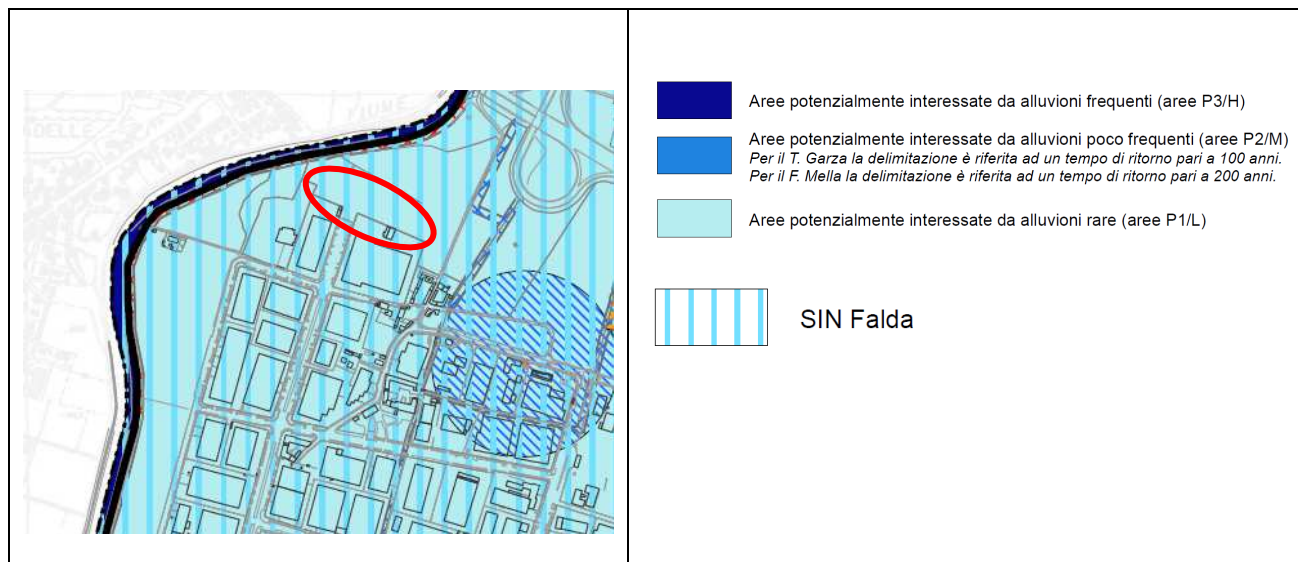


figura 8: “Tavola dei vincoli per la difesa del suolo” dello Studio Geologico Comunale

5 - IDROGRAFIA

La “Carta dissesto PAI-PGRA” dello Studio Geologico Comunale, dalla quale è tratta la figura 9 della pagina seguente, evidenzia che l’area Ghidini Rok si trova in fascia C del PAI, il cui limite è rappresentato dalla linea tratteggiata. Inoltre, l’area si trova all’interno della zona potenzialmente interessate da alluvioni rare (P1/L).

La definizione di “fascia C” del PAI è la seguente:

Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C), costituita dalla porzione di territorio esterna alla precedente (Fascia B), che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento.

... Si assume come portata di riferimento la massima piena storicamente registrata, se corrispondente a un TR superiore a 200 anni, o in assenza di essa, la piena con TR di 500 anni.

Con riferimento ai lunghi tempi di ritorno delle piene catastrofiche, si riferisce che il capannone Ghidini Rok non è mai stato inondato.

Lo Studio Geologico Comunale deve recepire la seguente indicazione delle NTA del PAI:

Art. 31. Area di inondazione per piena catastrofica (Fascia C)

4. Compete agli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica, regolamentare le attività consentite, i limiti e i divieti per i territori ricadenti in fascia C.
5. Nei territori della Fascia C ... i Comuni competenti, in sede di adeguamento degli strumenti Urbanistici ... sono tenuti a valutare le condizioni di rischio.



fascia C PAI

Pianificazione di Bacino (ai sensi della Legge n. 183/89)

Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI), approvato con d.p.c.m. 24 maggio 2001, Elaborato n. 8 - Tavole di Delimitazione delle fasce fluviali:

— Limite tra la Fascia B e la Fascia C (la Fascia A e la Fascia B coincidono)

— Limite esterno della Fascia C

□ Aree potenzialmente interessate da alluvioni rare (aree P1/L)

figura 9: "Carta dissesto PAI-PGRA" dello Studio Geologico Comunale

Per le condizioni di rischio segnalate dal PAI gli estensori dello Studio Geologico Comunale di Brescia hanno inserito l'area Depositi Ghidini Rok in classe 2, con modeste limitazioni in relazione alla fattibilità geologica, e non in classi superiori con maggiori limitazioni, ritenendo dunque di non imporre particolari limiti e divieti.

6 – VINCOLI GEOLOGICI

La figura 10, tratta dalla “Carta dei Vincoli”, evidenzia che l’area è inserita in una zona soggetta ai seguenti vincoli geologici:

- secondo il PGRA: Aree potenzialmente interessate da alluvioni rare (P1/L)
- Secondo il PAI: area inserita in fascia C
- Sito inquinato di interesse nazionale Brescia-Caffaro (SIN Falda)

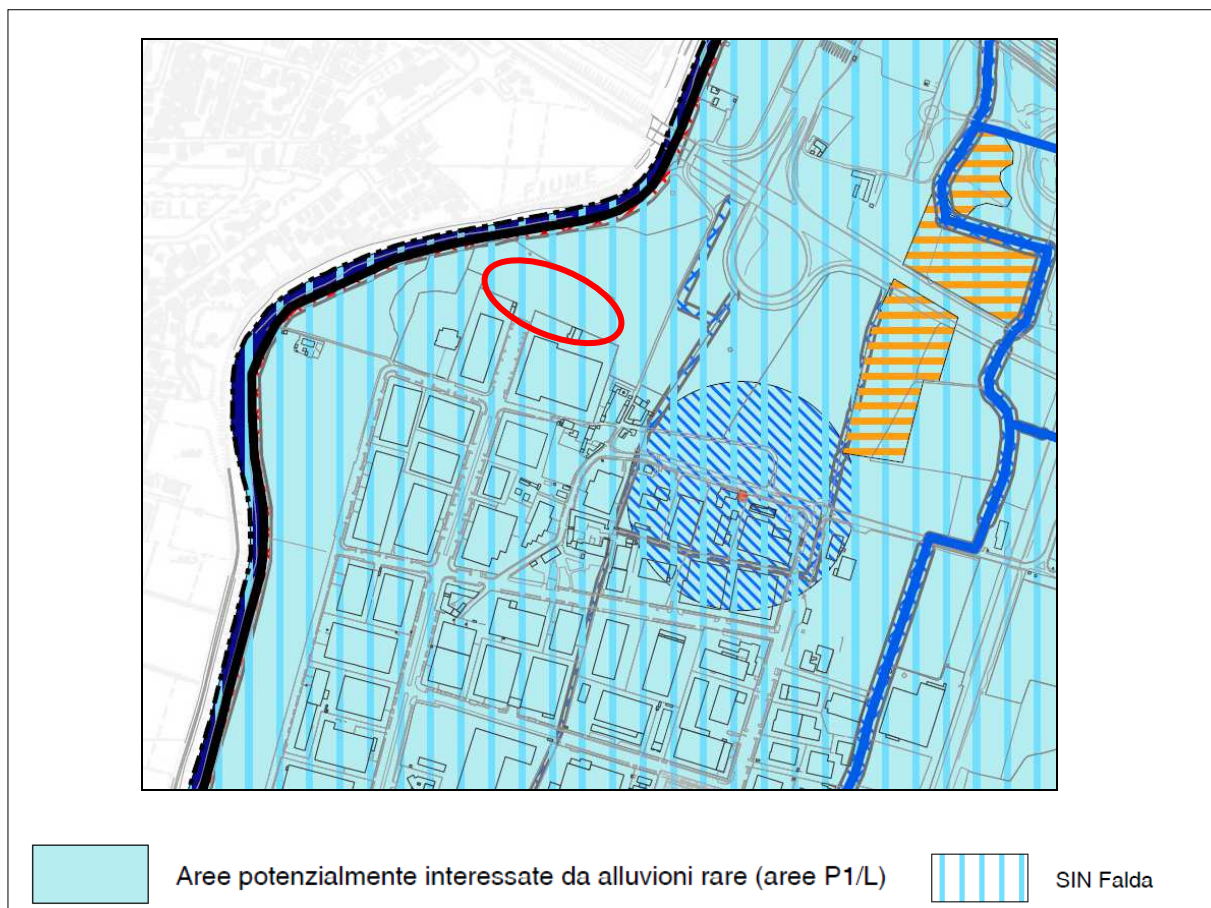


figura 10: “Carta dei Vincoli” dello Studio Geologico Comunale

7 - FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Per quanto scritto nei paragrafi precedenti è logico concludere che il territorio nel quale si trova l'area interessata dal progetto non presenti controindicazioni di carattere geologico alla fattibilità di nuovi interventi; lo Studio Geologico Comunale inserisce infatti questa porzione di territorio nella classe 2: *“fattibilità con modeste limitazioni: aree dove sono state rilevate condizioni parzialmente limitative alla modifica delle destinazioni d'uso e, in particolare, all'edificabilità”*, in particolare, l'area è inserita nella sottoclasse 2d²:

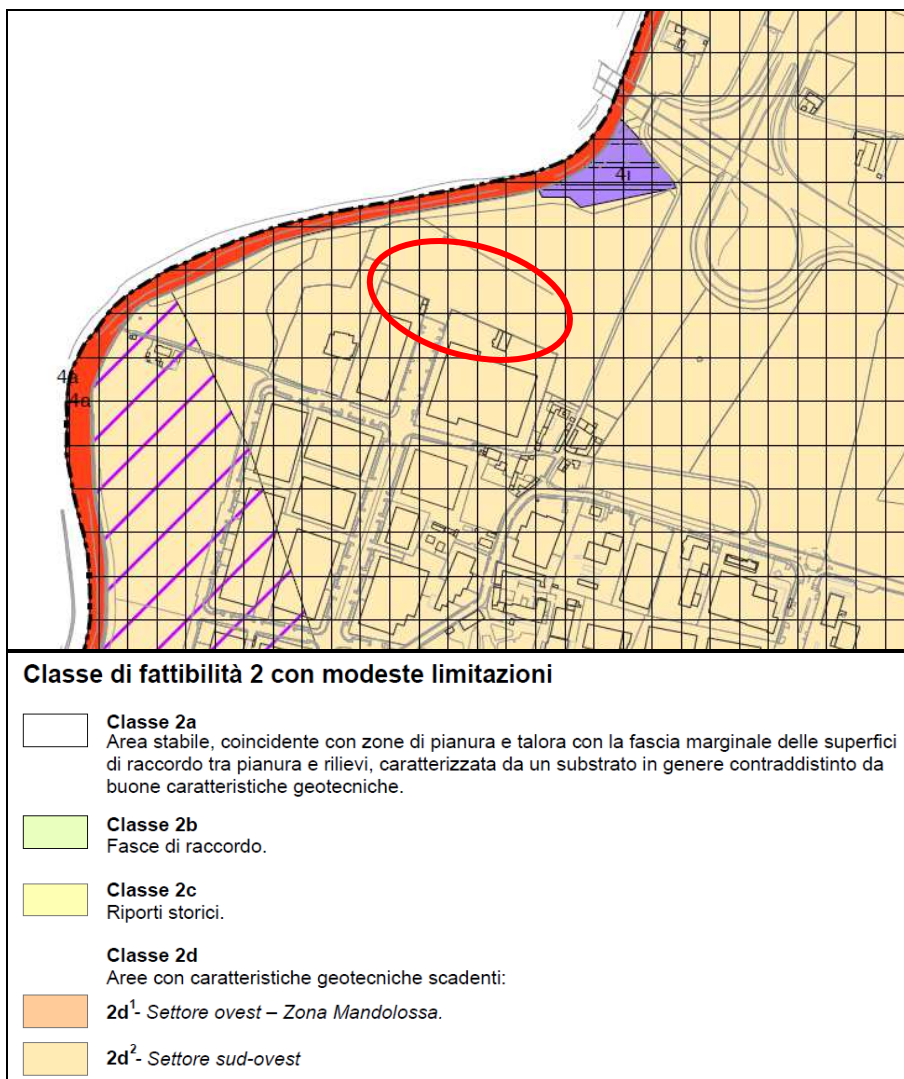


figura 11 - “Carta della fattibilità geologica per le azioni di piano” dello Studio Geologico Comunale

La quadrettatura in figura 11 si riferisce alla classificazione sismica descritta nel capitolo seguente.

Le Norme Geologiche di Piano riportano, per la classe 2d² “area con caratteristiche geotecniche scadenti”, il seguente elenco delle specifiche: *“In quest’area si segnala la presenza in superficie di terreni fini limoso-sabbiosi con caratteristiche geotecniche da discrete a scadenti a causa della loro eterogeneità. Si segnala la presenza di forti escursioni della falda acquifera potenzialmente in grado di interferire con piani interrati, fondazioni di edifici e sottopassi stradali o pedonali. All’interno delle aree così classificate (2d1 e 2d2) gli interventi di viabilità, nuova edificazione, ricostruzione, ampliamento e scavi, devono essere preceduti da indagini geologiche e geotecniche che valutino la compatibilità dell’intervento stesso con le caratteristiche geologiche, geotecniche e idrogeologiche del sito.”*

8 - COMPONENTE SISMICA

Zona sismica

La D.G.R. 11 luglio 2014 - n. X/2129 “Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia”, inserisce il Comune di Brescia in zona sismica 2:

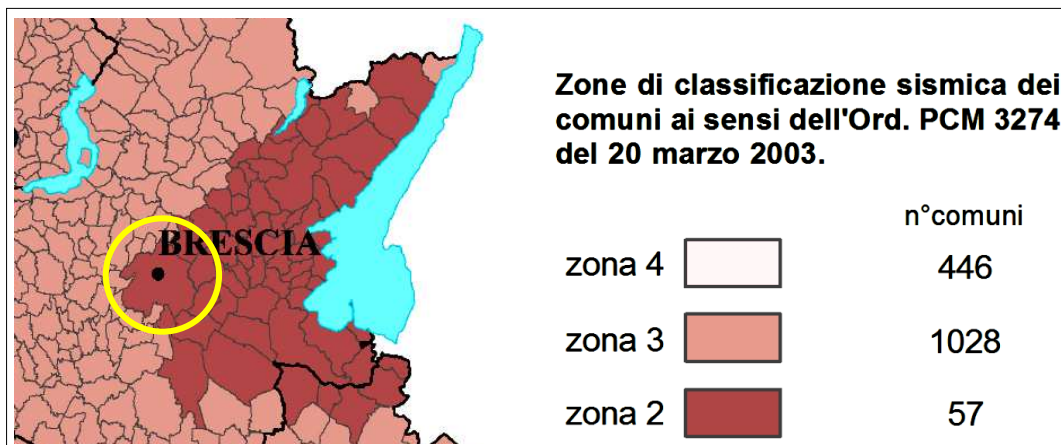


figura 12: classificazione sismica

Scenario sismico

La figura seguente è tratta dalla “Carta della pericolosità sismica locale - II Livello” dello Studio Geologico Comunale.

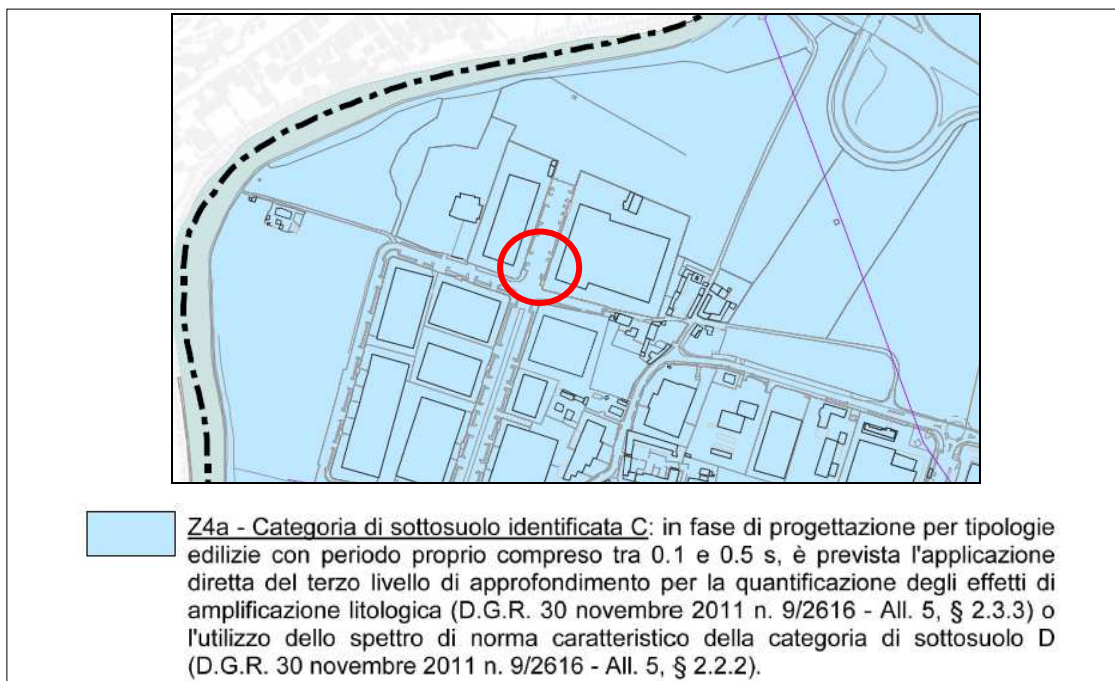


figura 13 - “carta della pericolosità sismica locale” dello Studio Geologico Comunale

Lo Studio Geologico Comunale descrive che lo scenario sismico a cui appartiene l'area oggetto di studio è lo Z4a – “Zona con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi (amplificazione litologica)”.

Categoria di sottosuolo

Per caratterizzare i terreni dal punto di vista sismico è stata eseguita una prospezione in sito consistita in n° 1 profilo di sismica multicanale con acquisizione delle onde di superficie ed elaborazione dati mediante metodologia MASW, in onde di Rayleigh, e n° 1 indagine sismica passiva con metodo HVSR. Mediante tali metodologie è stato possibile ricostruire l'andamento medio delle onde Vs in profondità ed eseguire la valutazione del parametro Vs,eq di sito, al fine di classificare il terreno di fondazione secondo il D.M. 17/01/2018, misurando eventualmente il periodo proprio di vibrazione di sito.

La relazione tecnica sull'indagine sismica eseguita è riportata in allegato; ci si limita in questo paragrafo a riportare le conclusioni dell'indagine:

*Sia per edifici con periodo T compreso tra 0,1 e 0,5 s che per edifici con periodo compreso tra 0,5 s e 1,5 s, tenuto conto delle tolleranze previste dalla normativa regionale vigente in materia (D.G.R. 8/7374/2008) pari a +0,1, si ottengono valori di F_a inferiori ai valori di F_a di soglia comunale previsti ($FAC \leq FAS$), per la **categoria di sottosuolo "C"** (definita per il sito d'interesse). Pertanto, i parametri sismici della normativa vigente sono sufficienti a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica.*

Liquefacibilità dei terreni

Il fenomeno della liquefazione, causato dalla progressiva riduzione delle tensioni efficaci nel corso di un terremoto, può verificarsi in terreni prevalentemente sabbiosi sotto falda, limitatamente ai primi 10-15 m dalla superficie; in particolare sono potenzialmente liquefacibili i depositi superficiali, sciolti e saturi, che presentano granulometria delle sabbie fini e medie con contenuto in limo variabile generalmente dallo 0 al 20% e grado di addensamento medio-basso.

Lo Studio Geologico Comunale (pag. 17 della relazione Geologica del febbraio 2016, relativa alla Variante 2) riferisce che: "... nel territorio di Brescia non sono presenti terreni dotati di caratteristiche granulometriche tali da essere soggetti a fenomeni di liquefazione in occasione di eventi sismici"

9 - CONCLUSIONI

Su incarico della Committente DEPOSITI GHIDINI ROK S.r.l. di Brescia, è stato eseguito uno studio per ricostruire il modello geologico in corrispondenza del capannone, sede della Committente stessa, ubicato nel settore nord della zona industriale di Brescia (Via Di Vittorio - angolo Via Castagna), interessato dal progetto di ampliamento.

Lo studio ha fornito le informazioni di seguito riassunte.

litologia

Il territorio nel quale si trova l'area di intervento è costituito in netta prevalenza da depositi alluvionali prevalentemente sabbioso-ghiaiosi ricoperti da una coltre di sedimenti fini avente uno spessore metrico.

La stratigrafia di dettaglio del sito, ricostruita grazie all'esecuzione di n° 1 sondaggio a carotaggio continuo profondo 15 m, è riportata nel capitolo 2.

geomorfologia

- l'area in esame si trova alla quota di circa 120 m s.l.m.
- la categoria topografica secondo NTC è T1, trattandosi di superficie pianeggiante

idrogeologia

- la permeabilità dei terreni presenti nel primo sottosuolo è pari a circa $1,1 \times 10^{-4}$ m/s
- secondo la cartografia ARPA la soggiacenza media della falda freatica in corrispondenza dell'area è circa 8 m
- all'interno del piezometro installato nel foro di sondaggio, in data 26-06-1964 la superficie di falda è stata rilevata alla profondità di 7,2 m dal piano campagna

la differenza tra le due quote è certamente spiegabile con le naturali oscillazioni del livello di una falda freatica, legate ai cicli climatici e irrigui

sismica

- zona sismica: 2
- scenario di pericolosità sismica Z4a con amplificazioni litologiche
- categoria di sottosuolo: C
- liquefazione: da escludere

Fattibilità geologica

L'area in esame ricade nella classe 2, sottoclasse 2d², alla quale sono associate le seguenti prescrizioni:

“In quest'area si segnala la presenza in superficie di terreni fini limoso-sabbiosi con caratteristiche geotecniche da discrete a scadenti a causa della loro eterogeneità. Si segnala la presenza di forti escursioni della falda acquifera potenzialmente in grado di interferire con piani interrati, fondazioni di edifici e sottopassi stradali o pedonali. All'interno delle aree così classificate (2d1 e 2d2) gli interventi di viabilità, nuova edificazione, ricostruzione, ampliamento e scavi, devono essere preceduti da indagini geologiche e geotecniche che valutino la compatibilità dell'intervento stesso con le caratteristiche geologiche, geotecniche e idrogeologiche del sito.”

Sulla base di quanto esaminato è possibile dichiarare che l'intervento in progetto è compatibile con il modello geologico e sismico del luogo, fatto salvo il rispetto della normativa vigente e delle NTA dello Studio Geologico Comunale.

Brescia, 5 luglio 2025

Dott. Geol. Mauro Valcarenghi



IN ALLEGATO:

RELAZIONE TECNICA SULL'INDAGINE SISMICA ESEGUITA NELL'AREA

RELAZIONE TECNICA SULL'INDAGINE SISMICA ESEGUITA NELL'AREA

Le immagini seguenti mostrano la posizione dello stendimento sismico e le fasi di acquisizione.



Ubicazione dell'area d'indagine



Stendimento sismico MASV



Acquisizione dei segnali sismici mediante sismografo Geometrics Mod. Geode 3-1000



Acquisizione del microtremore sismico ambientale mediante tecnica HVSr

1 - ANALISI HVSR

1.1 - Cenni sulla metodologia HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale.

La prova a stazione singola consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. Il risultato di questa prova è una curva sperimentale, che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi, sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza F_r relativa alla configurazione stratigrafica del sito (con F_r circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.

1.2 - Acquisizione dei dati

Nell'area d'indagine è stata eseguita, mediante stazione singola o tromometro, una misura di rumore sismico ambientale per un tempo di registrazione massimo di 15 minuti.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- ∞ un sistema di ricezione costituito da un tromometro CGE a 3 componenti geofoniche con frequenza propria di 2 Hz per acquisizioni del microtremore lungo la direzione verticale e le due direzioni orizzontali ortogonali.
- ∞ un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (Geode Geometrics Mod. 3-1000); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms (campionamento eseguito a 4 ms). Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

1.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

La determinazione della curva HVSR ha previsto in sintesi i passaggi di seguito elencati.

- 1) Eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi non conformi al rumore ambientale (transienti). Questa operazione produce una diminuzione della lunghezza del segnale analizzato (vedi figura precedente).
- 2) Definizione della lunghezza degli intervalli entro cui calcolare le curve HVSR (20 ms).
- 3) Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x, y, z del moto.
- 4) Operazione di smoothing degli spettri di Fourier.
- 5) Somma delle due componenti orizzontali x e y.
- 6) Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari.
- 7) Calcolo della curva HVSR media tra le n curve HVSR.

I risultati delle analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software winMASW versione Acd 7.2, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore, misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, l'acquisizione del rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 ms), per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto.

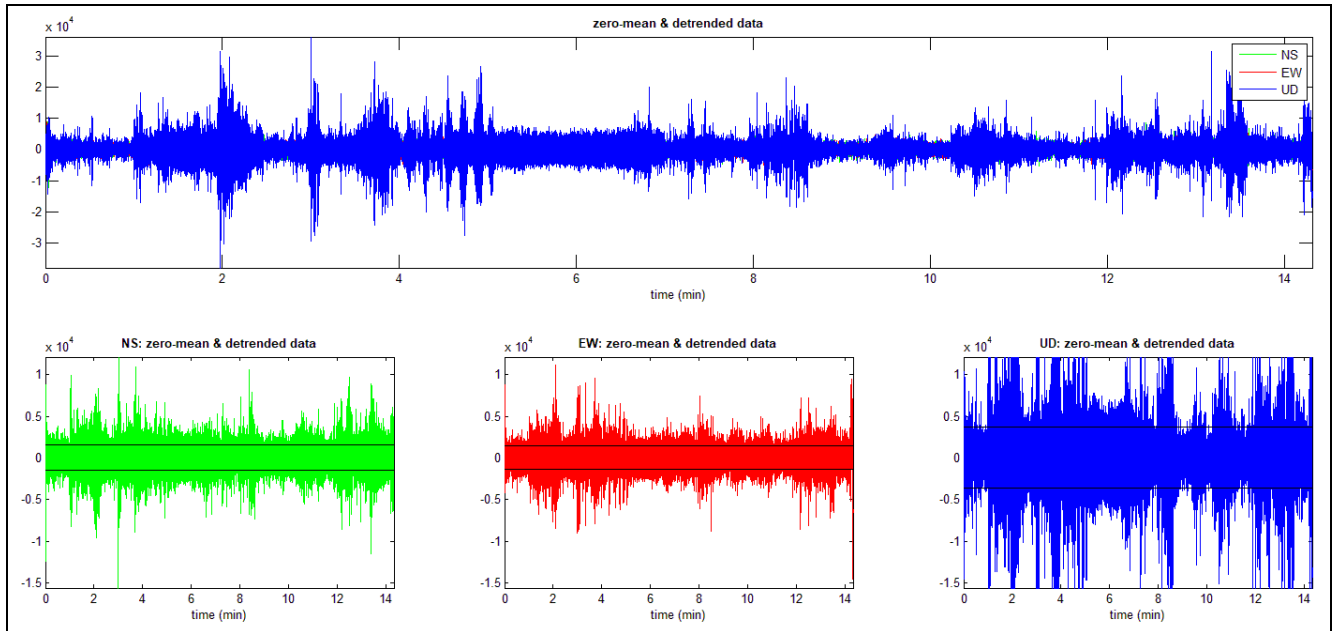


Figura 1 - visualizzazione dei dati dopo la rimozione di eventi transienti

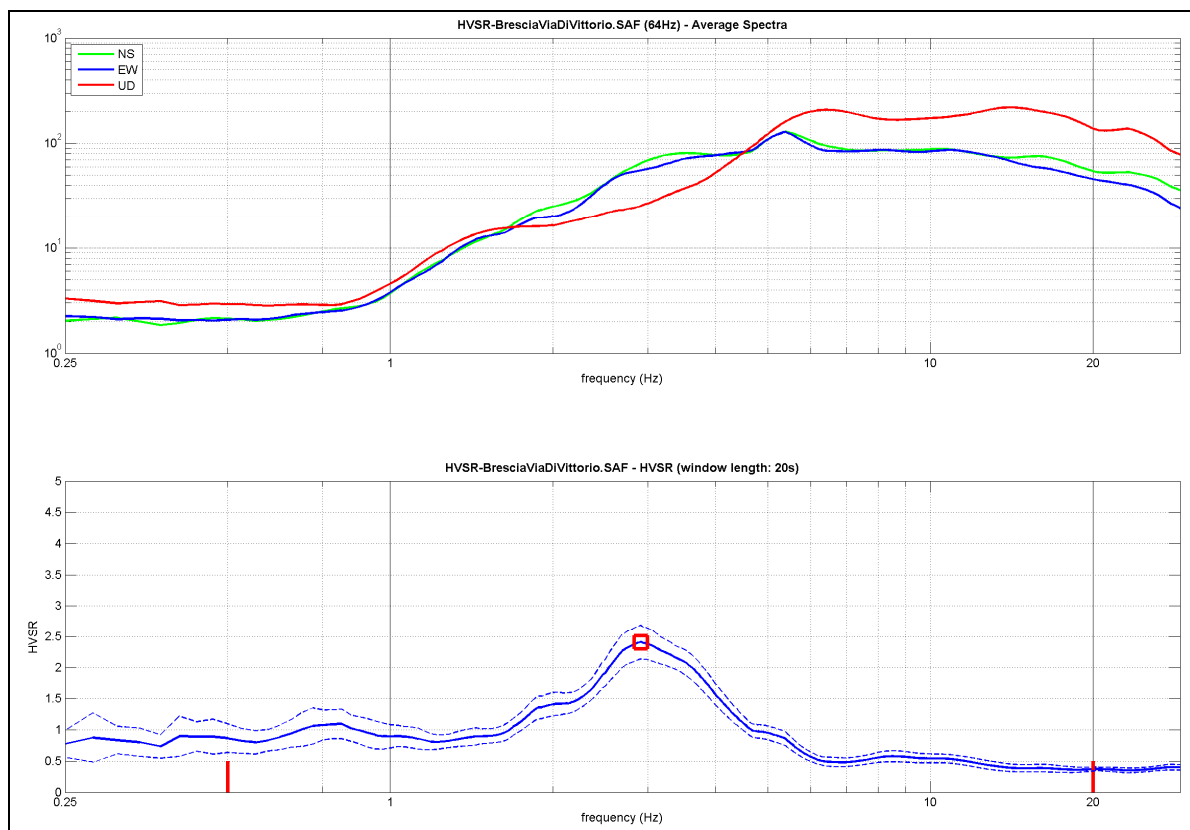


Figura 2 - curva HVSr e spettro medio di ampiezza del sito indagato

I risultati parziali ottenuti, durante le fasi di elaborazione delle curve H/V, sono stati iterativamente controllati andando a valutare la direttività e la stabilità nel tempo della curva HVSR.

La curva HVSR calcolata, indica un picco principale a circa 2,9 Hz; la sua validità viene verificata, mediante software winMASW, secondo i criteri di ammissibilità del progetto SESAME (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti).

Criteria for a reliable H/V curve (Criteri per una curva affidabile)

- #1. $[f_0 > 10/L_w]$: $2.909 > 0.5$ (OK)
 - #2. $[n_c > 200]$: $4247 > 200$ (OK)
 - #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)
-

Criteria for a clear H/V peak (Criteri per un picco H/V chiaro)

- #1. $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f_-) < A_0/2]$: yes, at frequency 0.8Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f_+) < A_0/2]$: yes, at frequency 4.4Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]$: $2.4 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)
- #5. $[\sigma_A(f_0) < \epsilon(f_0)]$: $0.766 > 0.145$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.276 < 1.58$ (OK)

Descrizione dei risultati

Il picco principale a 2,9 Hz, di ampiezza pari a 2,4 rispetta tutti i criteri SESAME per una curva affidabile; è inoltre rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5 criteri su 6 per un picco chiaro. Il criterio #5 è spesso tra i più restrittivi; al di là della sua rigorosa formulazione, si è valutato il dato con buon senso e si è scelto di non andare a modificare i parametri di elaborazione affinché esso fosse verificato.

Dall'analisi della curva HVSR, eseguita tra 0,5 Hz e 20 Hz (frequenze di interesse ingegneristico), è quindi risultata una possibile frequenza principale di risonanza attorno a 2,9 Hz.

Considerato l'andamento delle tre componenti che costituiscono il segnale sismico registrato, il picco di risonanza principale del sito indagato, può essere ritenuto di origine stratigrafica e attribuibile ad un contrasto di impedenza sismica, presente a circa -35/-40 m dal p.c., tra i depositi alluvionali che caratterizzano il territorio in cui ricade l'area in esame, e i sottostanti orizzonti particolarmente addensati presumibilmente di natura conglomeratica.

Pur tenendo debitamente conto delle limitazioni che tale metodologia presenta per la ricostruzione di un profilo sismostratigrafico dettagliato, il picco individuato dall'analisi H/V e il relativo tratto di curva sono stati comunque utilizzati, tramite modellazione diretta, nell'analisi congiunta MASW+HVSR, per trarre informazioni sismo-stratigrafiche utili a profondità a cui la sola indagine MASW non può evidentemente arrivare.

Si sottolinea come, solamente l'analisi congiunta MASW+HVSR, abbia consentito di determinare un profilo di Vs completo, potendo superare i limiti di entrambi i metodi; per le indagini MASW l'ambiguità delle Vs a medio-basse frequenze e per l'HVSR la non univocità della soluzione.

2 - INDAGINE SISMICA MASW

2.1 - Cenni sulla metodologia MASW

Con una prospezione sismica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) si analizza il fenomeno della dispersione che le onde di superficie subiscono in un mezzo stratificato. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda (λ), quindi frequenza è, infatti, influenzata dalle proprietà che il sottosuolo attraversato possiede ed è detta velocità di fase.

Le MASW attive sono realizzate tramite analisi delle onde di Rayleigh o di Love oppure, congiuntamente Rayleigh + Love. Queste rappresentano le onde di superficie prodotte dall'interazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le onde di Rayleigh, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale, la classica martellata. Le onde di Love invece vengono acquisite mediante geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante l'indagine in oggetto lungo lo stendimento sismico sono state registrate per motivi operativi solo le componenti verticali delle onde di Rayleigh.

Il principio della tecnica MASW prevede che, poiché la dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo e dalle sue variazioni verticali, dalla determinazione delle curve di dispersione del segnale è possibile ricavare le caratteristiche fondamentali del mezzo quali ad esempio la velocità delle onde di taglio V_s e lo spessore degli strati. La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) infatti è correlabile alla V_s , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio.

L'analisi del fenomeno della dispersione, che avviene attraverso la curva di dispersione, permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La curva di dispersione del dataset è ottenuta mediante il passaggio dal dominio spazio-tempo (sismogramma) al dominio velocità di fase/frequenza (spettro di velocità) effettuato mediante specifica operazione con software dedicato.

Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi MASW, risulti idonea alla definizione dei dati richiesti. Tale scelta risulta avvalorata dalle seguenti considerazioni:

1. La percentuale di energia convertita in onde Rayleigh o di Love è maggiore (circa il 67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
2. La propagazione e dispersione delle onde di Rayleigh o di Love permette di ottenere ottimi risultati in termini sismostratigrafici, anche in caso di inversioni di velocità. Rispetto alla sismica a rifrazione, infatti, il metodo MASW non presenta problemi legati alla presenza di strati poco addensati compresi tra strati più competenti.
3. La propagazione delle onde di Rayleigh e di Love, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_s , grandezza utile alla caratterizzazione sismica di un sito mediante la stima del parametro V_{s30} di sito e di conseguenza l'assegnazione della categoria di sottosuolo.

2.2 - Acquisizione dei dati

L'ubicazione e la lunghezza dello stendimento è stato scelto in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro delle strutture di progetto. L'allineamento sismico ha previsto una distanza tra i geofoni pari a 1 m ed una serie di scoppi esterni e coniugati all'ultimo geofono con offset variabili (2-4-6-8-10-15 m) a diversa intensità di energizzazione.

L'acquisizione della componente verticale delle onde di Rayleigh è avvenuta mediante registrazione della propagazione del segnale sismico generato da una sorgente ad impatto verticale (martellata), tramite uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente verticale.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- ∞ una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche direzionali e ricche di energia realizzata mediante la battuta verticale di una mazza battente di 10 kg su piastra;
- ∞ un sistema di ricezione costituito da uno stendimento di 24 geofoni a movimento verticale (Geospace GS11D) a frequenza di 4,5 Hz e tripodi in alluminio, collegati mediante un cavo multielettrodo;
- ∞ un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (Geode Geometrics Mod. 3-1000); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms. Il sistema di acquisizione è completato da dispositivo di trigger, computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

2.3 - Analisi dei segnali acquisiti

Determinazione degli spettri di velocità ed individuazione delle curve di dispersione

La stima dell'andamento in profondità delle velocità Vs, mediante acquisizione sismica multicanale è ottenuta tramite l'analisi del segnale nel dominio frequenza/velocità di fase.

Viene utilizzato lo spettro di velocità in quanto è il dominio dove è chiaramente più immediato e naturale comprendere le proprietà dispersive del mezzo attraversato, determinando con precisione la velocità di ciascuna componente del segnale registrato.

Dopo aver scelto quindi i sismogrammi più idonei, quelli solitamente con il miglior rapporto segnale/rumore, si esegue una trasformata dal dominio spazio/tempo al dominio frequenza/velocità (Figura 3).

Particolare attenzione nell'interpretazione delle curve di dispersione è posta in considerazione del fatto che le vibrazioni indotte dalle onde di superficie sono correlabili a diversi modi, che possono sovrapporsi all'interno dello spettro di velocità. Se tale sovrapposizione avviene, come in questo caso, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione. Al fine di individuare i modi correlabili alla reale successione stratigrafica è stato scelto di eseguire ed analizzare più scoppi sismici ad Offset minimi variabili. Tutte le curve di dispersione sono state quindi visionate prima di procedere al processing del dataset prescelto. I modi superiori, se correttamente riconosciuti, come in questo caso, concorrono ad elaborare un modello maggiormente vincolato e preciso.

Nel caso in esame, sono stati individuati il "modo fondamentale e porzioni del primo modo superiore", utilizzati per la successiva modellazione della curva di dispersione.

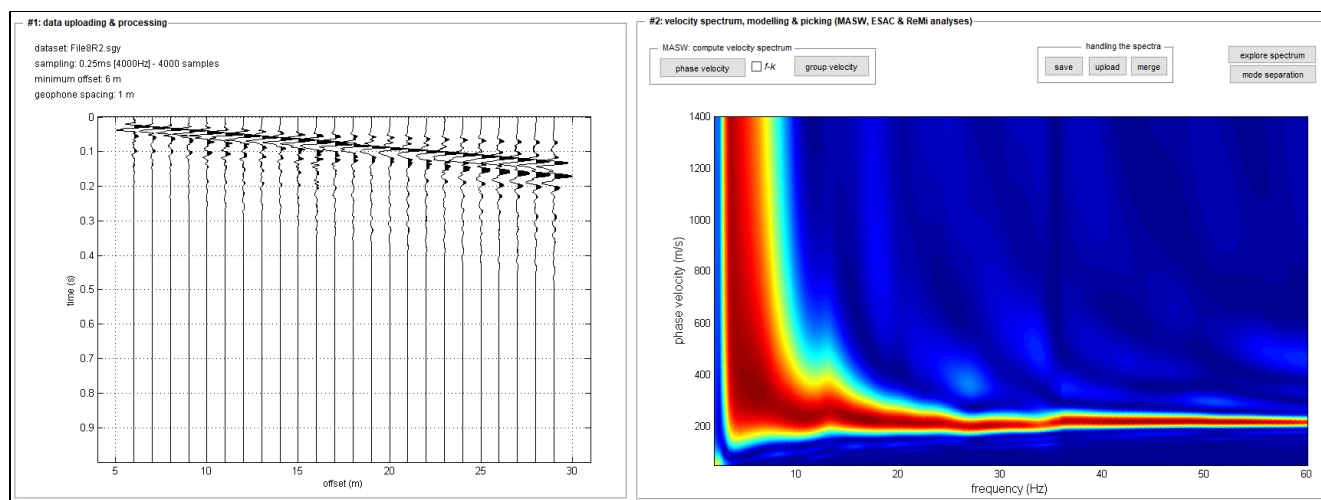


Figura 3 - Visualizzazione del sismogramma acquisito (sx) e rispettivo spettro di velocità di fase delle onde di Rayleigh (dx).

Si riassumono di seguito i dati relativi ai parametri di acquisizione utilizzati per i dataset prescelti per l'elaborazione:

ONDE DI RAYLEIGH
Dati relativi allo shot 4 – File8R2.sgy
Offset minimo: 6 m
Distanza intergeofonica: 1,0 m
Intervallo di campionamento: 0,25 ms
Tempo di acquisizione: 1 s

Procedure di modellazione diretta della curva di dispersione

Analizzato il sismogramma e il rispettivo spettro di velocità si è proceduto alla ricostruzione della distribuzione verticale delle Vs. Partendo dalla curva di dispersione delle onde di Rayleigh è stato ricostruito il modello che è responsabile di quella curva, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna.

Lo spettro di velocità di fase è stato interpretato identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso. Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti.

Oltre al classico metodo legato all'identificazione delle curve modali, è stata eseguita parallelamente una verifica del modello di velocità attraverso l'approccio FVS (Full Velocity Spectrum). Questo metodo si basa sulla generazione di sismogrammi sintetici e considera l'intero spettro di velocità e non le curve di dispersione scelte dall'operatore. I due metodi hanno rappresentato un valido elemento di interpretazione dello spettro di velocità ottenuto per il sismogramma prescelto, permettendo di ottenere un modello di velocità maggiormente vincolato.

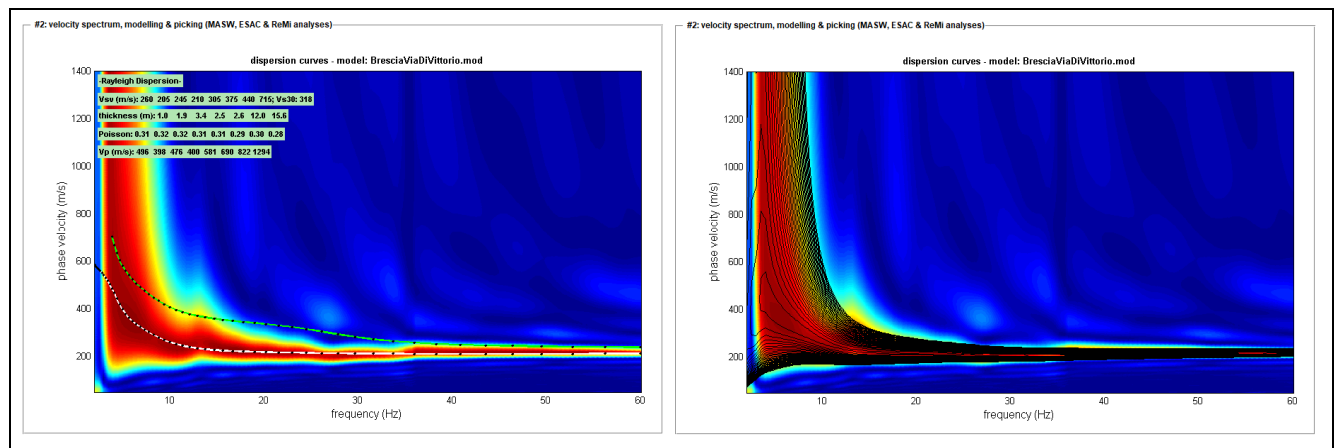


Figura 4 - A sinistra: modellazione diretta dello spettro di velocità di fase delle onde di Love mediante individuazione del modo fondamentale e del primo modo superiore che compongono lo spettro. A destra: spettro di velocità con modellazione diretta mediante approccio FVS.

Inoltre, per l'interpretazione dello spettro di velocità nella sua parte a medio-bassa frequenza (<10 Hz), e quindi nelle porzioni più profonde del modello geofisico, è stata considerata la curva HV ottenuta dall'indagine sismica HVSR (Fig. 19). È stata eseguita un'analisi congiunta tra lo spettro di dispersione ottenuto con indagine MASW e la curva H/V misurata, al fine di ottenere un solo modello di velocità.

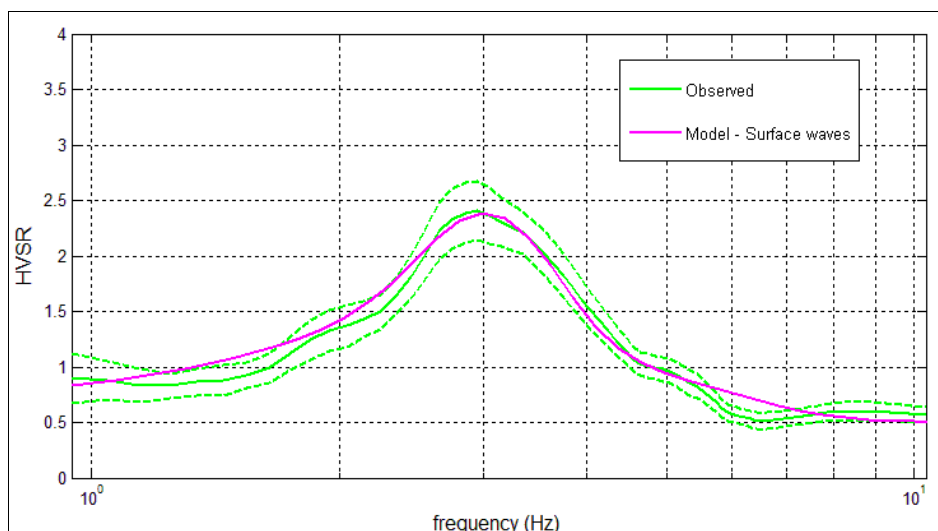


figura 5 - Confronto tra H/V sperimentale (verde) e teorico (viola),
ottenuti per lo stesso modello di velocità considerato nell'analisi MASW.

3 PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati, si è tenuto conto delle evidenze del segnale acquisito, dei risultati ottenuti dalle prove penetrometriche dinamiche SCPT-DPSH, eseguite contestualmente alle prospezioni sismiche e delle stratigrafie di alcuni pozzi terebrati in aree limitrofe a quella oggetto di studio. Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un modello geofisico medio, ottenuto mediante analisi delle onde di superficie con metodologia MASW in onde di Rayleigh, in modo congiunto con la modellazione diretta della curva HVSR.

Si riportano anche, in maniera indicativa, le stime dei valori della densità e del modulo di Poisson eseguite contestualmente all'elaborazione e mediante correlazioni di letteratura. Poiché la dispersione delle onde di superficie dipende essenzialmente dalla V_s e degli spessori degli strati (cioè dalla geometria), tali valori devono essere considerati solamente come stime largamente approssimative. Viene riportato, inoltre, il valore del modulo di taglio che tra i moduli elastici è l'unico che non dipende da V_p , ma solamente da V_s e densità e quindi la sua stima risulta più attendibile.

MODELLO GEOFISICO MEDIO – Via G. di Vittorio – Brescia (BS)						
Sismostrato	V_s (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima densità (g/cm ³)	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	260	1,0	-1,0	1,88	0,31	127
2	205	1,9	-2,9	1,83	0,32	77
3	245	3,4	-6,3	1,87	0,32	113
4	210	2,5	-8,8	1,83	0,31	81
5	305	2,6	-11,4	1,92	0,31	179
6	375	12,0	-23,4	1,96	0,29	276
7	440	15,6	-39,0	2,01	0,30	388
8	715	6,0	-45,0	2,12	0,28	1082

Il valore del modulo dinamico di taglio, dipendente da Vs e densità si riferisce a condizioni di bassa deformazione. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori dovranno essere idoneamente corretti e utilizzati solo nei modi e nei casi appropriati.

D.M. 17/01/2018	Profondità del bedrock sismico	Vs,eq (m/s)	Categoria di sottosuolo	Valore di Vs,eq calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 17/01/2018 $V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}}$ Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nella Tabella 3.2 II
Calcolo a partire dal p.c.	Oltre 30 m dal p.c.	318	C	

Si riporta inoltre la stratigrafia schematica del modello medio ottenuto fino a -45,0 m dal p.c., utilizzato per il calcolo del parametro Vs,eq (Figura 6).

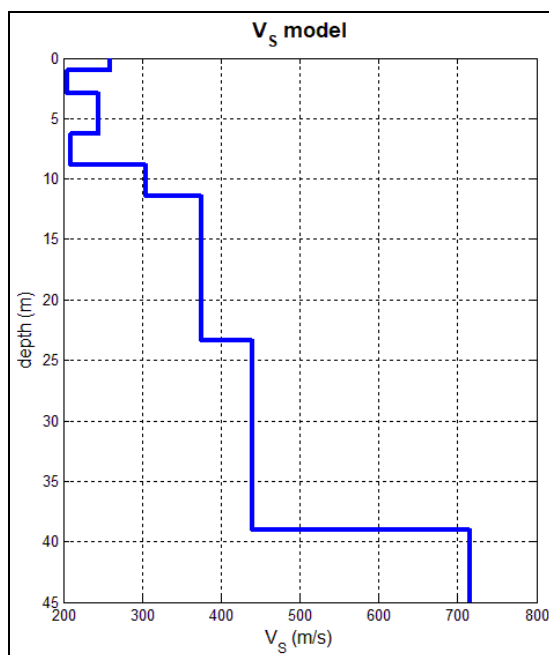


figura 6 - Profilo sismostratigrafico del modello medio ottenuto fino a -45,0 dal p.c.

In base ai dati sismostratigrafici ottenuti, si rileva inizialmente, fino ad una profondità di -1,0 m dal p.c., un terreno superficiale moderatamente addensato, rappresentativo del sottofondo del piazzale esistente al di sopra del quale è stato eseguito lo stendimento sismico, con valori delle velocità di propagazione delle onde di taglio (onde S) pari a 260 m/s.

Oltre tale spessore iniziale, e fino ad almeno -8,8 m circa dal p.c., si riscontrano valori di velocità delle onde S compresi tra 205 e 245 m/s, propri di depositi scarsamente addensati, correlabili alle porzioni superficiali dell'unità di origine alluvionale caratteristica del territorio in cui ricade l'area d'indagine. Deboli inversioni dei valori di velocità delle onde S, come quella riscontrata tra -6,3 e -8,8 m dal p.c. (Vs=210 m/s), possono essere dovute alla presenza di uno o più livelli poco meno addensati e/o più francamente limoso-argillosi, rispetto all'intera sequenza deposizionale indagata.

Da -8,8 a -39,0 m dal p.c., si riscontrano valori di Vs compresi tra 305 e 440 m/s, in graduale aumento con la profondità, caratteristici di depositi da moderatamente addensati ad addensati, appartenenti alla medesima unità alluvionale indagata.

Oltre -39,0 m circa dal p.c., in accordo con la modellazione diretta del picco principale della curva HVSR, e in funzione degli alti valori di velocità delle onde S rilevati ($V_s=715$ m/s), si ipotizza la presenza di orizzonti presumibilmente di natura conglomeratica, non rigidi e quindi non rappresentanti il bedrock sismico della successione indagata.

Il profilo sismostratigrafico ottenuto risulta correlabile con il quadro geologico dell'area oggetto di indagine e i valori di velocità delle onde S, nei primi metri, risultano compatibili con l'andamento delle prove SCPT eseguite contestualmente all'indagine sismica.

4 - PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Secondo il D.M.17/01/18, tenuto conto dei risultati delle prospezioni sismiche realizzate, e considerando una profondità di interesse progettuale cautelativamente coincidente con il piano campagna (p.c.), dal quale è stato eseguito lo stendimento sismico, è stato stimato un valore di $V_{s,eq}$ pari a 318 m/s, con bedrock sismico posto oltre 30 m di profondità dal p.c.; di conseguenza il sito di progetto ricadrebbe in una categoria di sottosuolo "C". Tale risultato sarebbe confermato qualora si considerassero dei ripiani posti a profondità differenti dal p.c., ad esempio -1,0 e -2,0 m dal p.c.

Dal punto di vista della Pericolosità Sismica di sito, secondo la Tav. V-ALall04g "Carta della Pericolosità Sismica Locale - 1°Livello" (Gennaio 2016) allegata alla variante dello Studio Geologico del P.G.T. vigente del comune di Brescia, l'area d'indagine ricade entro lo scenario di pericolosità sismica Z4a "Zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e/o coesivi".

Per tale scenario è stata eseguita, nello Studio Geologico comunale, un'analisi sito-specifica per la Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito (2° Livello di approfondimento).

Secondo l'approfondimento di II livello comunale, il lotto di progetto ricadrebbe in un'area in cui si prevedono valori di F_a di sito superiori ai valori di F_a di soglia previsti per la categoria di sottosuolo "C" (Linea sismica L7). Pertanto, i parametri sismici della normativa sismica vigente non sono sufficienti a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica $FAC > FAS$.

Tuttavia, avendo eseguito una prospezione sismica presso il sito di progetto, è stato scelto di eseguire comunque un'analisi sito-specifica per la Stima degli effetti litologici e del Fattore di Amplificazione di sito (Approfondimento secondo quanto previsto nell'All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011).

In accordo con la procedura, la successione stratigrafica di riferimento, cioè lo spessore e la velocità di ciascuno strato a partire cautelativamente dal piano campagna (p.c.), come definiti nel modello geofisico medio, è stata riportata nelle "Schede di Stima degli Effetti Litologici". Rispettando i campi di validità, e soprattutto le caratteristiche granulometriche dei terreni presenti in sito, è stata eseguita una verifica dei valori dei F_a di sito rispetto a quelli di "soglia comunale", utilizzando la scheda relativa alla litologia "limoso-sabbiosa tipo2", di cui si riporta l'esplicazione grafica (figura 7), facendo riferimento alla curva caratteristica 2.

Si specifica che, per i limiti intrinseci della metodologia d'indagine utilizzata e della tipologia della successione stratigrafica del sito in esame, non è stato possibile raggiungere il bedrock sismico ($V_s \geq 800$ m/s), utile per il calcolo del periodo di vibrazione del sito (T). Per questo motivo, la ricostruzione dell'andamento dei valori di V_s fino al valore di 800 m/s è stata stimata sulla base del gradiente di V_s nei primi 45,0 m indagati, tenendo conto dell'andamento della curva di validità della scheda limoso-sabbiosa – tipo 2, prescelta per l'applicazione del II Livello.

Tenendo conto dell'assenza di orizzonti, ipotizzabili rigidi, fino ad almeno 80-90 m dal p.c., e considerando i carichi litostatici agenti oltre tali profondità, si ipotizza un bedrock sismico ad una profondità plausibile di 90,0 m dal p.c.

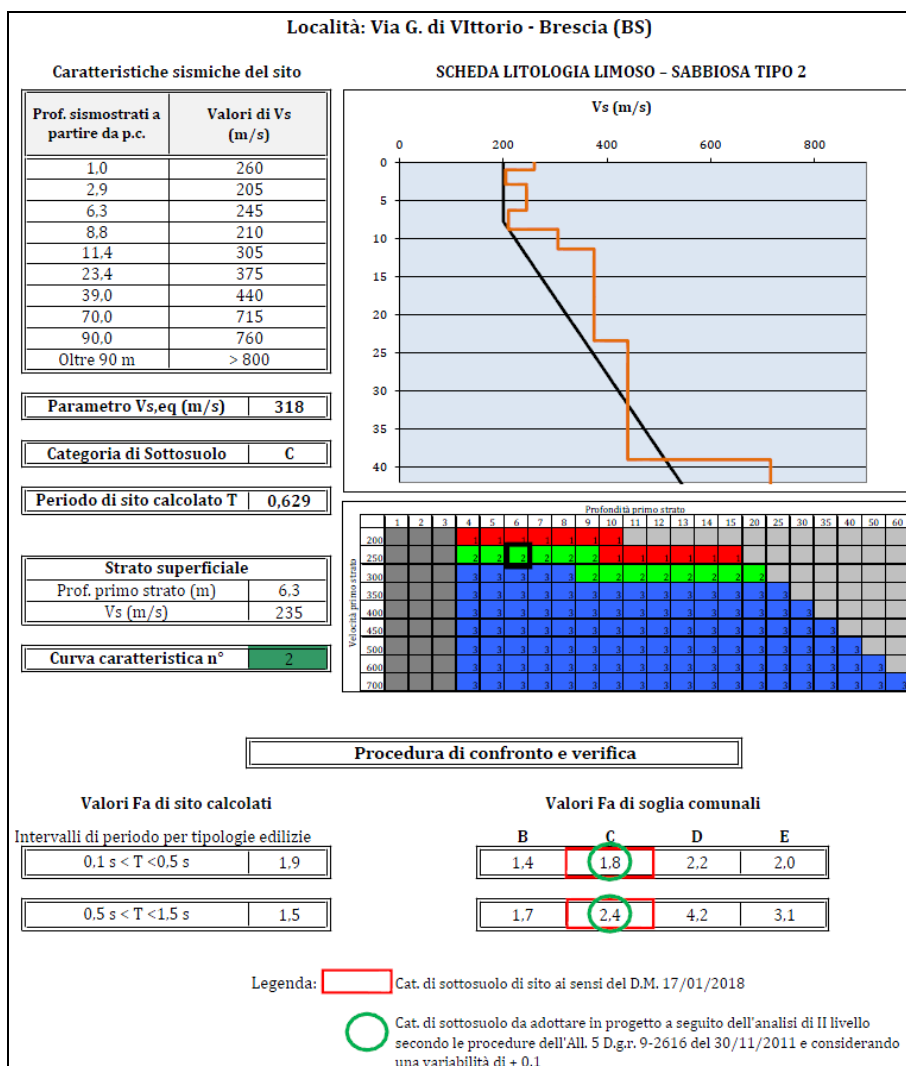


figura 7 - STIMA DEGLI EFFETTI LITOLOGICI - ANALISI DI 2° LIVELLO
secondo le procedure previste dall'All. 5 - D.g.r. 9-2616 del 30/11/2011.

Sia per edifici con periodo T compreso tra 0,1 e 0,5 s che per edifici con periodo compreso tra 0,5 s e 1,5 s, tenuto conto delle tolleranze previste dalla normativa regionale vigente in materia (D.G.R. 8/7374/2008) pari a +0,1, si ottengono valori di Fa inferiori ai valori di Fa di soglia comunale previsti ($FAC \leq FAS$), per la categoria di sottosuolo "C" (definita per il sito d'interesse). Pertanto, i parametri sismici della normativa vigente sono sufficienti a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica.