

REGIONE LOMBARDIA

PROVINCIA DI BRESCIA

COMUNE DI CALVISANO



STUDIO GEOLOGICO E GEOTECNICO

RELAZIONE



Elaborato

SUAP PER AMPLIAMENTO PIAZZALI

L.R. 12/2005 – L.R. 04/2016 – R.R. 7 del 23.11.2017 – R.R. 8 del 19.04.2019

Committente

DI.MA s.r.l.

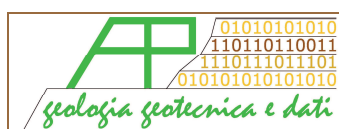
Estensore



A. & P. sas

Informazioni documento

| Operazione | Soggetto | Data |
|------------|-----------------------------------|------------|
| Redatto | A & P sas – Dr. ssa Gallo Samanta | 03.08.2023 |
| Approvato | A & P sas – Dr. Aletti Corrado | 04.08.2023 |
| File | relazione SUAP.docx | |
| Commessa | 2023.06.216 | |



Elaborato

Data

Rev.

Pag.

Relazione

Luglio 2023

1

1 di 40

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

INDICE

| | |
|---|----|
| 1. Introduzione | 3 |
| 2. Inquadramento geografico | 5 |
| 3. Inquadramento geologico morfologico e idrogeologico | 7 |
| 3.1. Litostratimetria dell'area..... | 8 |
| 3.2. Idrogeologia e vulnerabilità naturale | 9 |
| 4. Sismica | 10 |
| 4.1. Indagine sismica | 12 |
| 4.1.1. Tecnica di misurazione e strumentazione..... | 12 |
| 4.1.2. Effetto di sito | 13 |
| 4.1.3. Profilo velocità onde S e classificazione del sottosuolo da NTC | 15 |
| 4.1.4. Vulnerabilità sismica dell'opera | 16 |
| 4.1.5. Risultati dell'analisi | 17 |
| 4.2. Analisi di II livello di dettaglio | 19 |
| 4.3. Parametri sismici | 21 |
| 4.4. Stima della magnitudo di riferimento | 23 |
| 4.4.1. Verifica alla liquefazione..... | 25 |
| 5. Vincoli..... | 29 |
| 6. Sintesi..... | 30 |
| 7. Fattibilità | 31 |
| 8. Geotecnica | 33 |
| 9. Indicazioni relative all'invarianza | 37 |
| 10. Conclusioni | 39 |
| 11. Tabella riassuntiva parametri geologici | 40 |

1. INTRODUZIONE

La presente relazione è stata redatta a corredo della richiesta di variante urbanistica per trasformazione di un'area agricola in Comune di Calvisano, in Provincia di Brescia, ai sensi della normativa vigente (L.R. 12/2005; D.G.R. 8/7374/08; D.M. 17/01/18) inerente la componente geologica nella pianificazione territoriale contenuta nella D.G.R. n. VIII/1566 del 22.12.2005. Questo documento amplierà la conoscenza del territorio oggetto di variante e delle differenti fonti di rischio in relazione alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, sismiche e geotecniche. In questa ottica sono state valutate le possibili fonti di rischio approfondendo ovviamente le tematiche più significative nel contesto del territorio indagato. In conformità alla normativa vigente, la metodologia adottata si fonda su tre successive fasi di lavoro:

sintesi bibliografica e compilativa, basata sulla raccolta della documentazione esistente per la predisposizione della cartografia di analisi;

approfondimento/integrazione che, a partire dalla documentazione di cui alla fase precedente, ha previsto l'effettuazione di rilievi di campagna;

valutazione e proposta finale, definita tramite le carte di sintesi e di fattibilità geologica, che propongono rispettivamente una zonizzazione del territorio in funzione dello stato di pericolosità e una classificazione d'uso dello stesso.

Allo scopo di determinare le caratteristiche geolitologiche e litotecniche dei terreni presenti in sito sono stati effettuati n. 4 sondaggi esplorativi. Per quanto riguarda la verifica sismica di dettaglio si è fatto riferimento ad un'analisi mediante la tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) eseguita dallo scrivente nelle immediate vicinanze del sito in esame.

La relazione è stata corredata dai seguenti elaborati cartografici:

Tavola 1 – Carta litomorfologica – scala 1:5.000

Tavola 2 – Carta idrogeologica – scala 1:5.000

Tavola 3 – Carta della pericolosità sismica locale – scala 1:5.000


| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|---------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 3 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

Tavola 4 – Carta della vulnerabilità naturale – scala 1:5.000

Tavola 5 – Carta di sintesi e dei vincoli – scala 1:5.000

Tavola 6 – Carta della fattibilità – scala 1:2.500

Sono stati prodotti inoltre i seguenti allegati:

Allegato 1 – Dichiarazione sostitutiva

Considerata la tipologia dell'intervento e la situazione al contorno si è ritenuto sufficiente lo studio delle aree direttamente coinvolte e lo sviluppo della cartografia alla scala 1:5.000. La base topografica per le cartografie tematiche è stata ottenuta mediante elaborazione ed ingrandimento dei supporti raster di uno stralcio della Sezione D6c5 (scala 1:10.000) della Carta Tecnica Regionale.

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|---------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 4 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in variante è localizzata nel settore centrale del territorio comunale di Calvisano, presso la sede produttiva della Ditta DI.MA. srl, a margine di Via Carpenedolo, all'altezza del civico n. 16/A, così come rappresentato in Figura 1.

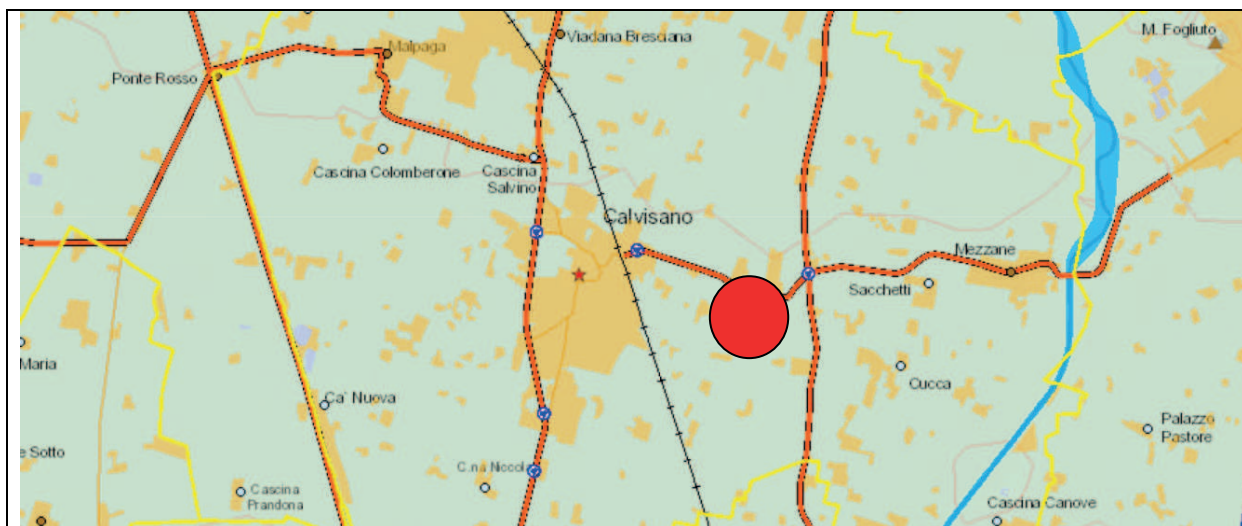


Figura 1 – Ubicazione dell'area in studio

La variante interessa una superficie attualmente a destinazione agricola (Figura 2).



Figura 2 – Foto aerea dell'area oggetto di variante

| | | | | |
|---|--|-------------|------|---------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 5 di 40 |
| | A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | |

La richiesta di variante urbanistica inerente quest'area è volta alla costruzione di nuovi piazzali funzionali all'attività del proponente. Le nuove strutture insisteranno sul Foglio 39, Mappali 289 / 291 / 293 / 294 e sul Foglio 40, Mappali 90 / 92 / 94 / 65 / 66 / 67/ 68 dell'NCT del Comune di Calvisano come indicato in Figura 3.



Figura 3 – Estratto mappa

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|---------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 6 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

costituita da terreni essenzialmente sabbiosi e sabbioso ghiaiosi, accompagnati talvolta da matrici limose, con intercalati, in profondità, livelli impermeabili argilloso limosi, alternati senza l'evidenza di un limite preciso proprio perché legati alle dinamiche deposizionali fluviali, che costituiscono generalmente depositi gradati in senso orizzontale con diminuzione della granulometria allontanandosi dalle zone ad elevata energia. Il limite evidenziato in Tavola 1 è quindi indicativo e sostanzialmente determina la prevalenza di un litotipo sull'altro. L'attuale assetto del territorio è correlato ai processi legati all'azione delle acque superficiali prevalentemente incanalate ovvero all'azione di erosione, deposito e trasporto dei corsi d'acqua, variamente influenzati dalle oscillazioni climatiche e dalla tettonica. Morfologicamente l'area risulta pianeggiante, posta alla quota di circa 67.50 m.s.m. con cadente in direzione S e gradiente pari a circa 0.3% (Tavola 1). Avvicinandosi al fiume Chiese, situato a più di 2.80 chilometri ad est dell'area in studio, la regolarità della superficie topografica è interrotta da scarpate d'erosione che differenziano due ulteriori ordini di terrazzi oltre il livello fondamentale della pianura. L'idrografia al contorno, è rappresentata da una fitta rete irrigua e scolante. Dal punto di vista idraulico l'area risulta esterna alle fasce fluviali delimitate dalla cartografia del PAI, ovvero le aree inondate durante periodi di piena con tempi di ritorno differenti e risulta esterna alle zone allagabili delimitate dal PGRA (Direttiva alluvioni) della Regione Lombardia. Visto l'attuale assetto geoclimatico non sono stati rilevati forme o processi geomorfologici attivi e si esclude l'esondabilità dell'area.

3.1. Litostratimetria dell'area

La litostratimetria dell'area è stata desunta da studi effettuati nella zona, ed in particolare dalle evidenze dei sondaggi esplorativi eseguiti in sito durante la campagna geognostica del Luglio 2023. L'assetto stratigrafico si configura conforme all'ambiente ed all'evoluzione deposizionale a cui è andata soggetta l'area, fortemente condizionata dalla dinamica fluvio-glaciale e fluviale legata ad ambienti ad alta energia, con significative variazioni d'alveo e ad elevata competenza. Nell'area in esame sono stati effettuati n. 4 sondaggi esplorativi che si

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|---------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 8 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

sono spinti sino alla profondità massima di circa 3.00 m da p.c.. Sulla base dei dati acquisiti i depositi si presentano omogenei su tutta l'area indagata e risultano caratterizzati da un primo strato pedogenizzato dello spessore di circa 0.40/0.60 m. Al di sotto si rinvencono depositi limosi e limoso sabbiosi talora argillosi accompagnati a zone da ghiaietto sino a un massimo di 1.50/1.70 m da p.c.. Seguono infine depositi ghiaiosi associati a matrici sabbiose più o meno abbondanti. La superficie freatica è stata intercettata durante la campagna geognostica del Luglio 2023 alla profondità di circa 2.70 m da p.c.. La situazione trova coerenza con i dati riportati all'interno della componente geologica a corredo del PGT dove si può notare come l'area in esame ricada tra l'isopieza 65 a nord e l'isopieza 64 a sud ad indicare una soggiacenza di circa 3.00 m (Tavola 2). Considerata l'esiguità delle misurazioni e la mancanza di una serie storica di dati non è possibile fornire un valore attendibile dell'oscillazione freatica. La soggiacenza misurata potrebbe diminuire durante i periodi di piena della falda.

3.2. Idrogeologia e vulnerabilità naturale

Le informazioni stratigrafiche rilevate in campo e gli studi eseguiti nell'area e nel suo contorno, permettono di definire con sufficiente precisione le caratteristiche idrogeologiche sia generali che locali. I depositi che caratterizzano il territorio indagato sono caratterizzati prevalentemente da sabbie e per tale motivo possono essere considerati depositi ad alta permeabilità. Vista la granulometria medio-grossolana, al sito in esame è stata assegnata una permeabilità alta. In considerazione della finalità dell'indagine è stato valutato il rischio di inquinamento delle acque sotterranee. Nell'area di interesse la falda possiede una bassa soggiacenza, pertanto si ritiene di attribuire un grado di vulnerabilità elevato, valutato secondo la metodologia proposta dal GNDICI-CNR, così come rappresentato in Tavola 4.

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|---------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 9 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

4. SISMICA

La verifica del rischio sismico si è resa altresì necessaria in merito alla recente adozione, con Ordinanza del Presidente del Consiglio in data 20 marzo 2003, pubblicata sulla Gazzetta Ufficiale n° 105 del 08 maggio 2003, dei criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e delle normative tecniche per le costruzioni in zona sismica, così come modificata dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio n° 3316. Secondo tale ordinanza, in prima applicazione, ovvero sino alle deliberazioni delle Regioni, le zone sismiche sono individuate sulla base del documento "Proposta di riclassificazione sismica del territorio nazionale" elaborato dal Gruppo di Lavoro costituito dal Servizio Sismico Nazionale, in base alla risoluzione approvata dalla Commissione Nazionale di Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi nella seduta del 23 aprile 1997. L'entrata in vigore di tale ordinanza è stata più volte prorogata sino al 23 ottobre 2005, quando con l'entrata in vigore delle "Norme tecniche per le costruzioni" il grado di sismicità è stato riconfermato, così come modificato dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio n° 3316 e n° 3431. La classificazione proposta ordina il territorio comunale di Calvisano (codice ISTAT 03017034) come ricadente nella zona 3 (cfr. Figura 5) 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.

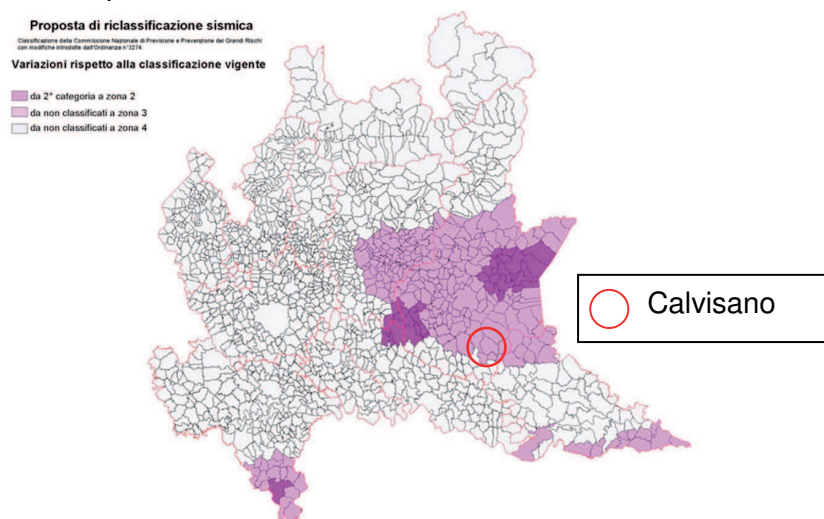


Figura 5 - Proposta di riclassificazione sismica 2003

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 10 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

La riclassificazione della Regione Lombardia (Delibera Giunta Regionale 11 luglio 2014 n. X/2129) in vigore dal 11.10.2014 e quindi prorogata al 10.04.2016 ha confermato la classe 3 (Figura 6).

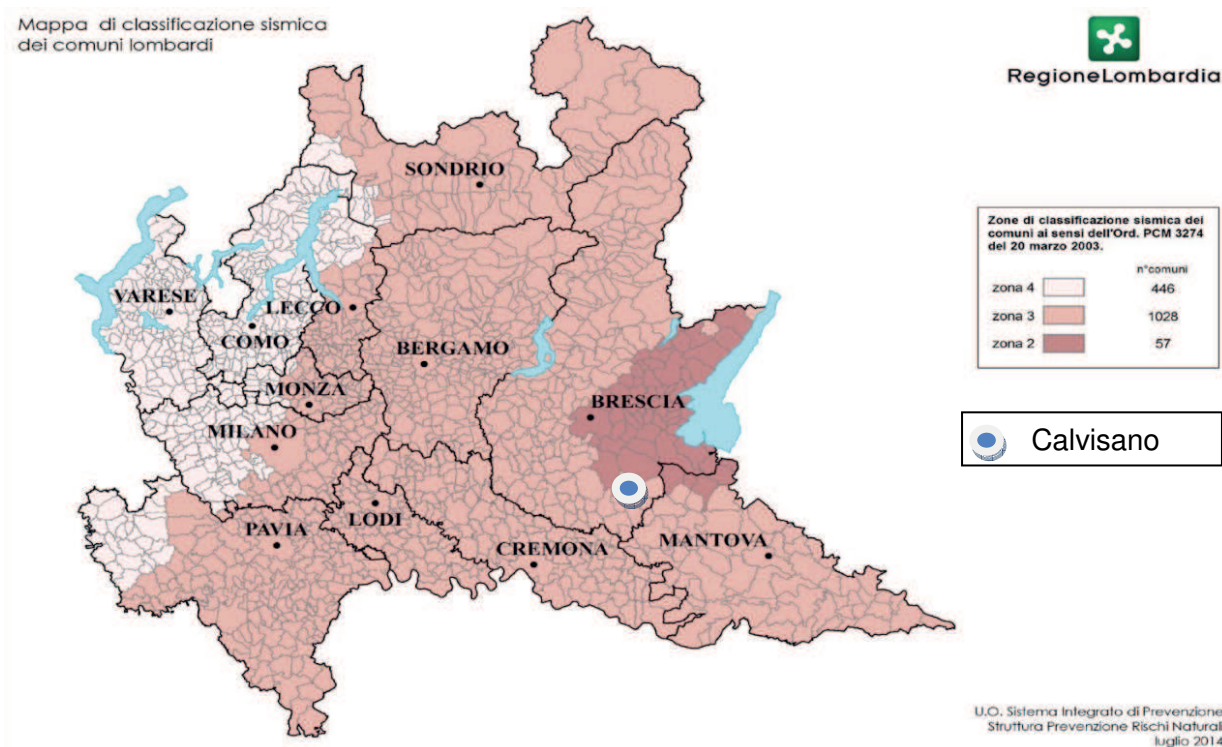


Figura 6 - Riclassificazione sismica 2014

In riferimento alla pericolosità sismica locale (studio di I livello da PGT), l'area ricade nella classe Z4a, ovvero *Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi* e quindi classe di pericolosità sismica H2 conseguente a possibili amplificazioni sismiche dovute alla litologia (Tavola 3). Dagli approfondimenti eseguiti si escludono amplificazioni topografiche. Viene pertanto attribuita la classe T1. Di seguito sono descritte l'indagine sismica di dettaglio presa a riferimento, eseguita dallo scrivente nel lotto limitrofo a quello in esame mediante la tecnica HVSR. Sulla base dei dati ricavati è stata poi eseguita l'analisi di II livello obbligatoria per lo scenario di PSL Z4. I risultati sono riportati nei capitoli seguenti.

| | | | | |
|--|-----------|-------------|------|----------|
| geologia geotecnica e dati | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 11 di 40 |
| 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

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

Attraverso la tecnica HVSR è possibile:

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 12 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

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

4.1.2. Effetto 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.

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 13 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

Liquefazione dei terreni - Per liquefazione di un terreno s'intende il totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi. Se si esprime la resistenza al taglio attraverso la relazione di Coulomb:

$$\tau = c + (\sigma_{v0} - u) \tan \varphi$$

con:

c = coesione del terreno

σ_{v0} = pressione litostatica totale agente alla profondità d'indagine

u = pressione interstiziale dell'acqua

φ = angolo di resistenza al taglio del terreno,

È evidente che la grandezza τ si può annullare nel caso in cui siano verificate le condizioni:

a) $c = 0$;

b) $(\sigma_{v0} - u) = 0$;

(il caso $\varphi = 0$ non ha importanza pratica, perché può verificarsi solo in terreni coesivi in condizioni non drenate, dove però la condizione $c=0$ non può ovviamente verificarsi). La condizione a) vieta che il fenomeno della liquefazione possa verificarsi in terreni coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica. La condizione b) si verifica, quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata ad una data profondità dalla colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie ($\sigma_{v0} = u$). In definitiva il fenomeno della liquefazione si può manifestare preferibilmente in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda, in seguito ad eventi che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua. Nakamura (1996) propone di utilizzare il parametro K_g , ricavato con la tecnica HVSR, per quantificare la vulnerabilità sismica del sito, in riferimento soprattutto al fenomeno della liquefazione. K_g , detto indice di vulnerabilità del sito, si ottiene con la seguente relazione:

$$K_g = \frac{A_g^2}{F_g}$$

dove A_g è l'ampiezza del picco più importante dello spettro H/V e F_g la corrispondente frequenza. I siti con valore di $K_g > 10$ sono da considerarsi a elevata vulnerabilità e quindi a

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 14 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

rischio liquefazione, naturalmente partendo dal presupposto che ci siano le condizioni geologiche perché il fenomeno possa avvenire.

4.1.3. Profilo velocità onde S e classificazione del sottosuolo da NTC

Il D.M. 14.01.2008 (riconfermato dal D.M. 17.01.2018) propone come riferimento di calcolo dell'amplificazione sismica locale, in particolare della componente stratigrafica, un metodo semplificato basato sulla stima del parametro V_{seq} . Per V_{seq} s'intende la media pesata delle velocità delle onde S negli strati di copertura fino alla H in cui giace il bedrock, caratterizzato da $V_s > 800$ m/s, calcolata secondo la relazione:

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

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 | ≈ C e D |

Una valutazione del parametro V_{seq} può essere condotta attraverso l'inversione vincolata dello spettro H/V ricavata con il velocimetro triassiale. In pratica viene utilizzata la relazione

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 15 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

che lega la frequenza di risonanza del terreno (f) alla velocità delle onde S nel terreno stesso

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

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

4.1.4. Vulnerabilità sismica dell'opera

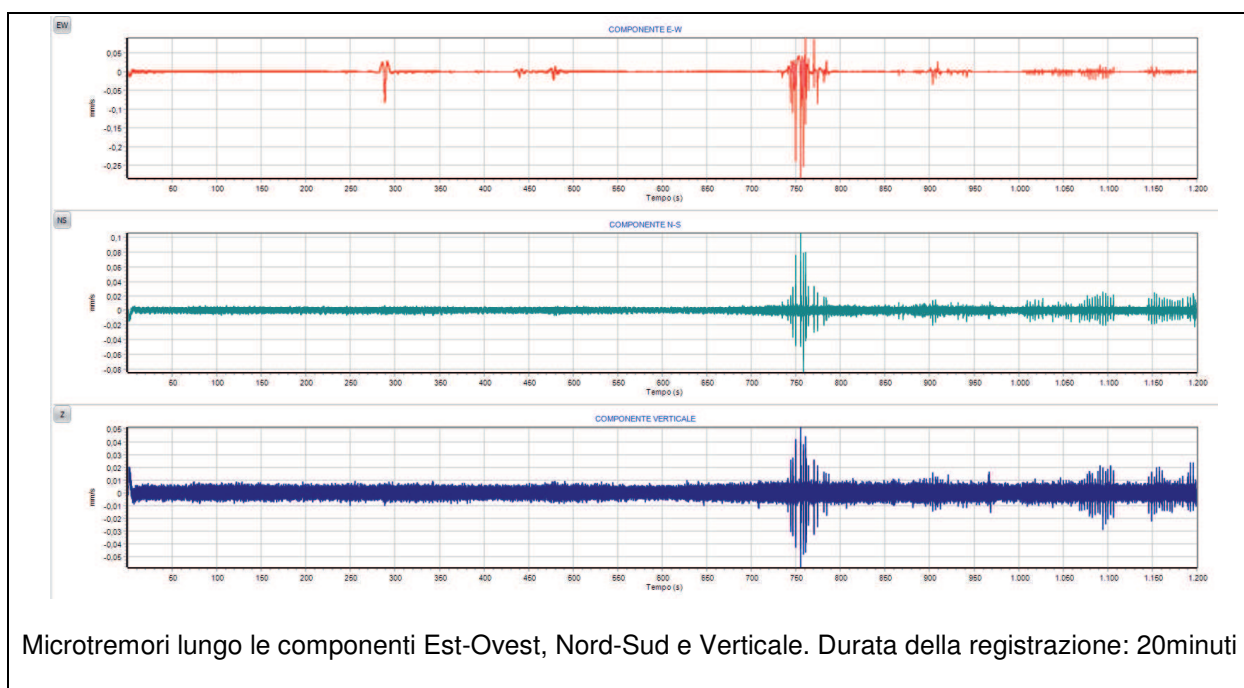
Per vulnerabilità sismica s'intende la suscettibilità di un'opera a subire lesioni in seguito alle sollecitazioni indotte dal sisma. E' stato dimostrato che la vulnerabilità agli eventi sismici di un edificio di edificazione relativamente recente è solo marginalmente collegabile alle modalità costruttive 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.

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 16 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

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. Negli edifici esistenti il valore della frequenza fondamentale di risonanza può essere invece misurato direttamente con il velocimetro triassiale. 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 7 gli spettri H/V e V registrati nel sito limitrofo al sito in esame, la cui ubicazione è riportata in Tavola 3. 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.



| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 17 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

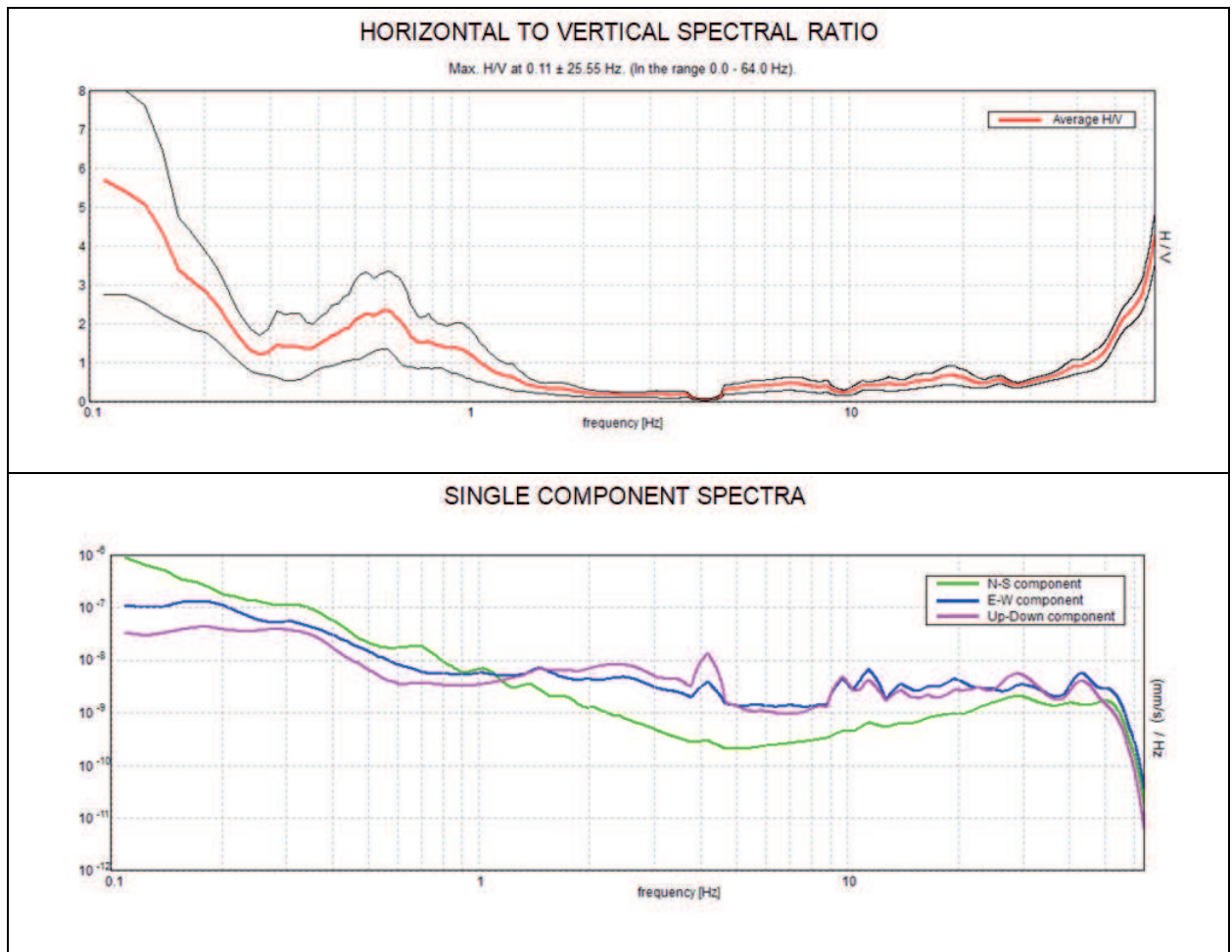


Figura 7 – Andamento degli spettri H/V e V

La curva H/V sintetica è stata modellata in modo da sovrapporsi ai picchi stratigrafici misurati (Figura 8).

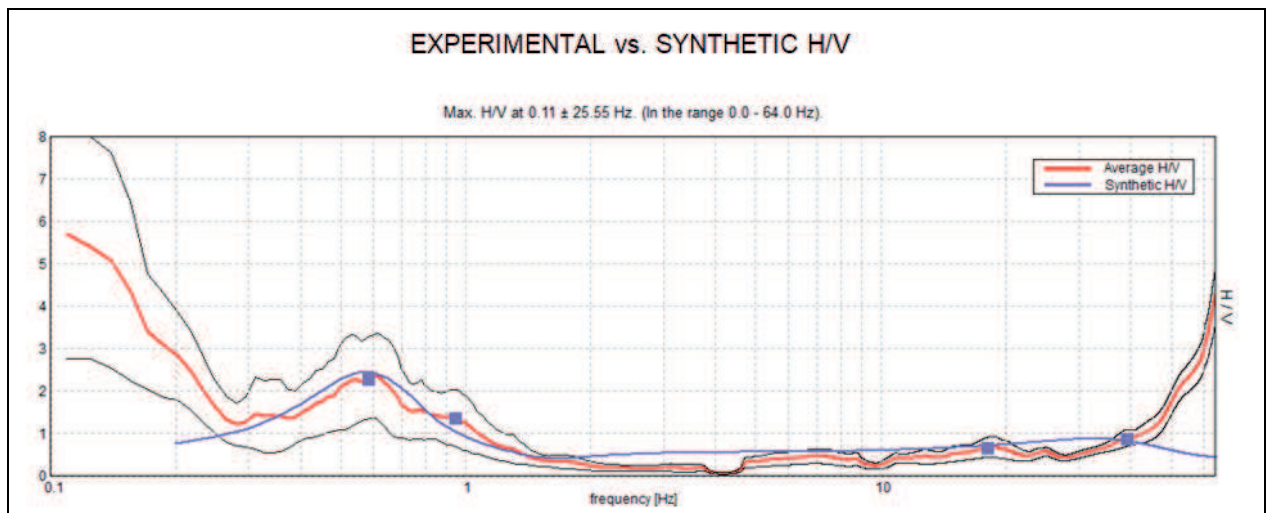


Figura 8 – Andamento della frequenza caratteristica

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 18 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

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 |
|----------------------------|-------|----------------|----------|---------------------------|
| 0.00 | 1.50 | 1.50 | 234 | - |
| 1.50 | 13.50 | 12.00 | 339 | - |
| 13.50 | 93.50 | 80.00 | 359 | - |
| Oltre 93.50 | | | 616 | - |

Il valore di V_{seq} calcolato da piano campagna è risultato uguale a 342 m/s, che pone il sito nella classe di sottosuolo C secondo il D.M. 17.01.2018. Da piano fondazioni la categoria sarà la medesima. La frequenza fondamentale del sito è stata misurata direttamente mediante l'indagine geofisica ed è risultata pari a 0.62 Hz.

4.2. Analisi di Il 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

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 19 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

è necessario effettuare analisi più approfondite (3° livello) in fase di progettazione edilizia. In alternativa è possibile utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di sottosuolo superiore.

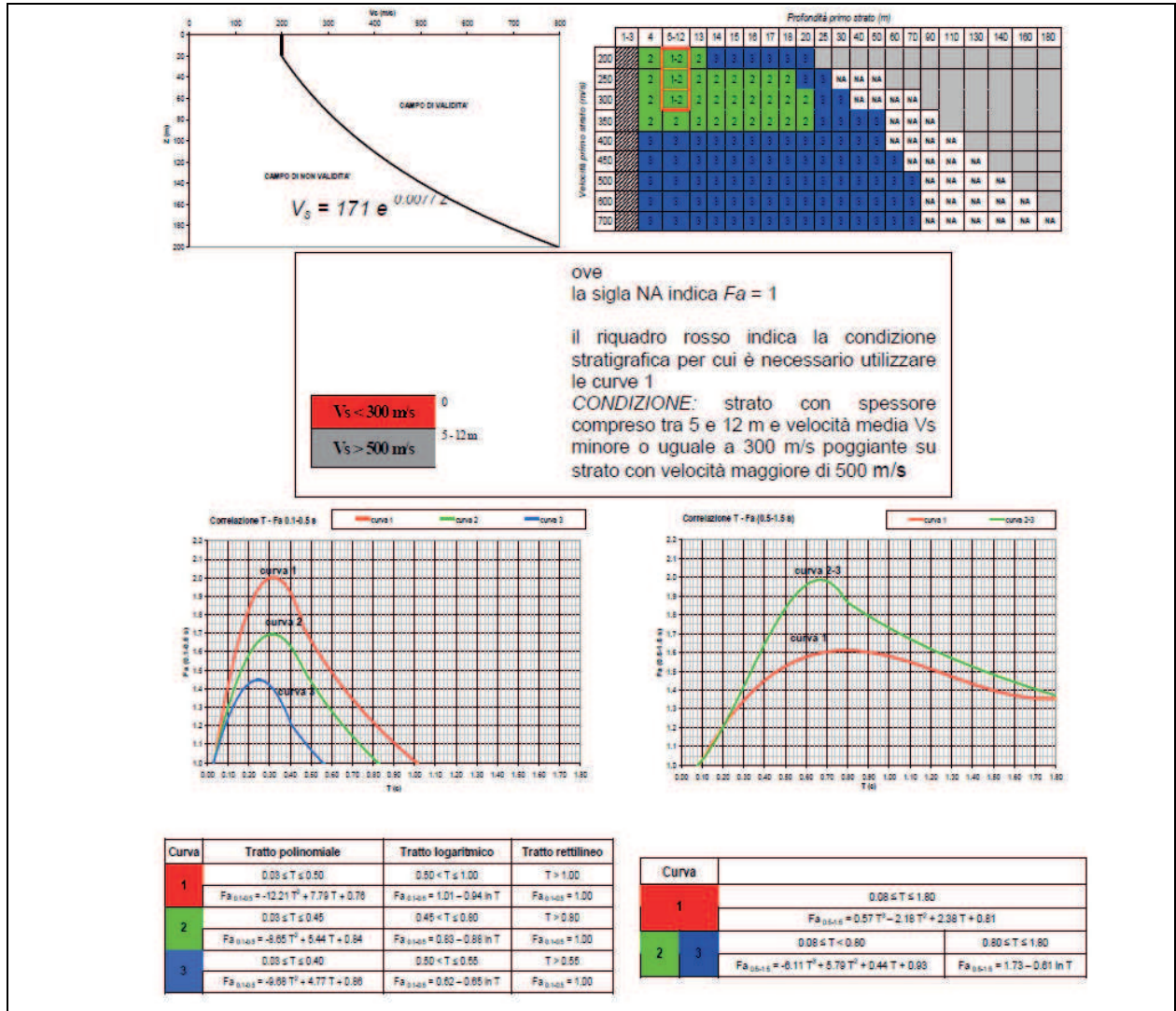


Figura 9 - Stima effetti litologici - Scheda sabbiosa

Sulla base delle risultanze della prova HVSR sono state valutate le velocità delle onde sismiche, quindi sono state scelte le curve corrispondenti per litologia o profilo di V_s (Rif. Allegato 5 Direttive LR 12.05). Nel caso esista la scheda di valutazione per la litologia esaminata ma l'andamento delle V_s con la profondità non ricadesse nel campo di validità della scheda potrà, in questa prima fase, essere scelta un'altra scheda che presenti l'andamento delle V_s con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine. Nel caso in esame si è

confrontato l'andamento delle Vs e la scheda di riferimento è risultata la sabbiosa (Figura 9). Sulla base dei dati sopradescritti è stato calcolato il valore del periodo proprio del sito (T) che è risultato uguale a 1.61 s (inverso della frequenza fondamentale). 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. Si sono così ricavati i seguenti valori di Fa:

Fa (nell'intervallo 0.1-0.5 s) = $1.0 \pm 0.1 < 1.9$ (soglia di Normativa per il Comune in esame)

Fa (nell'intervallo 0.5-1.5 s) = $1.4 \pm 0.1 < 2.4$ (soglia di Normativa per il Comune in esame)

Questi valori sono stati confrontati con quelli di soglia previsti dalla Normativa regionale, nel caso di sottosuolo di tipo C per il Comune di Calvisano (1.9 e 2.4 rispettivamente). In entrambe i casi si ritiene valida la classificazione sismica vigente e quindi si potrà utilizzare lo spettro proposto dalla stessa. L'attendibilità dei dati è stata espressa con la tabella proposta sempre in allegato 5 e la categoria assegnata è quella evidenziata direttamente nella tabella riportata in Figura 10.

| 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 10 – Livelli di attendibilità da assegnare ai risultati ottenuti dall'analisi (Tab. 3 - Allegato 5)

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. Di seguito sono riportati i valori delle accelerazioni corrispondenti ai diversi stati limite attesi calcolati per l'area

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 21 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

in studio. La classe dell'edificio utilizzata è la II. I parametri utilizzati sono leggibili direttamente nello schema di Figura 11. Con riferimento alle nuove costruzioni si rimanda alle indicazioni ed ai criteri di calcolo previsti dalla nuova normativa.

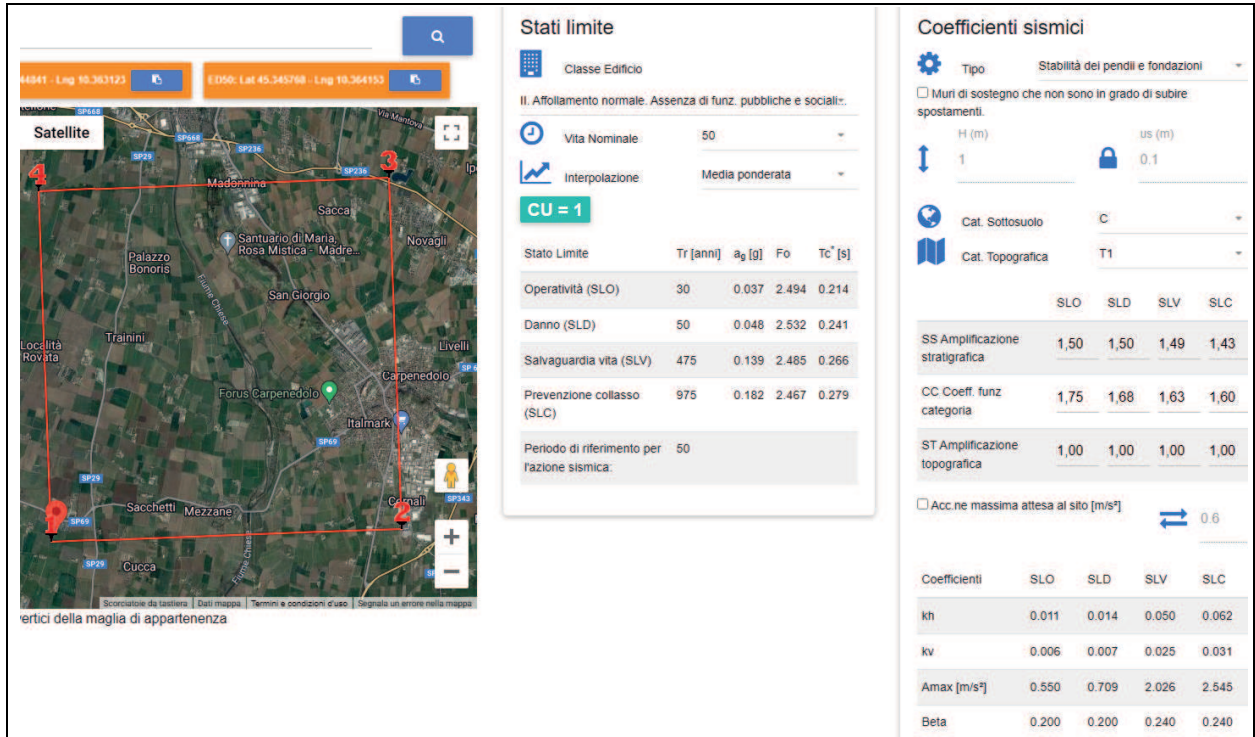


Figura 11 – Calcolo dei parametri sismici dell'area

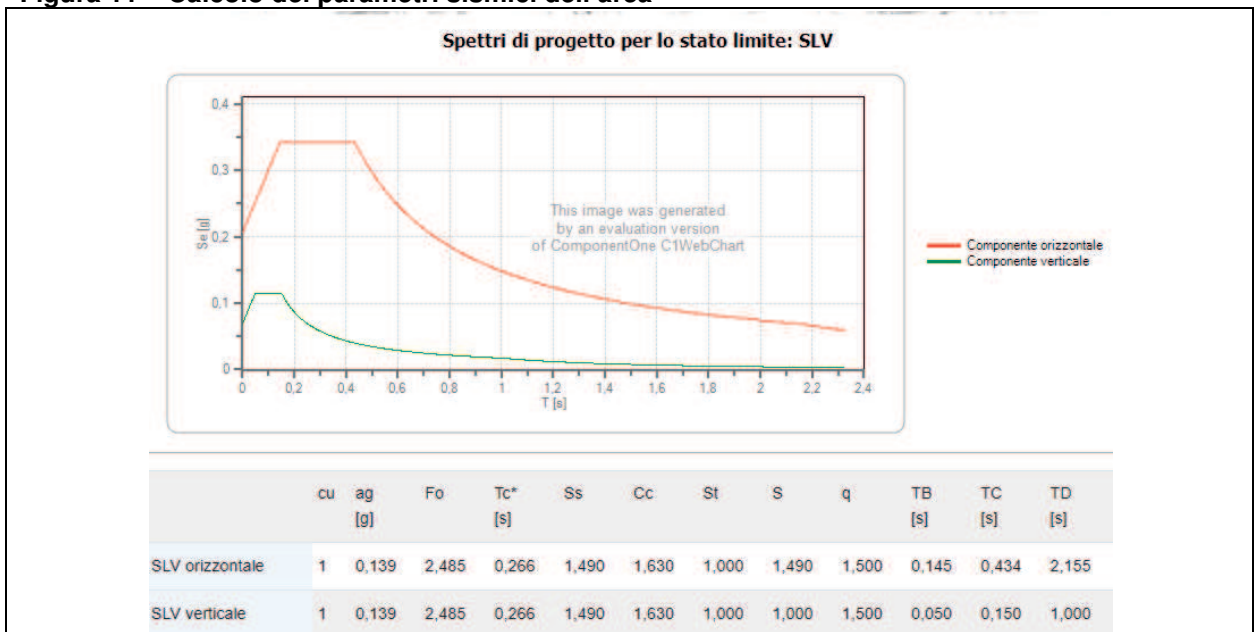


Figura 12 – Curve di progetto per lo stato limite SLV

4.4. Stima della magnitudo di riferimento

Nel settore di appartenenza del comunale di Calvisano i lineamenti tettonici sono riconducibili a diversi sistemi regionali che generano complessi campi tensionali. Il territorio comunale, in particolare, si pone nella parte settentrionale di un'area in sollevamento, con zone stabili, o in abbassamento durante il Pliocene inferiore e in forte sollevamento durante il Pliocene medio-superiore e il Quaternario. La sismicità di questa zona è legata quindi alla tettonica molto complessa del margine padano settentrionale. Le sorgenti sismogenetiche dovrebbero trovarsi ad una profondità compresa tra 5 e 15 km, in corrispondenza dello scollamento tra il basamento cristallino e la sovrastante copertura sedimentaria. L'analisi della sismicità, intesa come distribuzione spazio-temporale dei terremoti in una determinata area, costituisce il primo tassello per gli studi di valutazione della pericolosità sismica di base. Trattandosi di modelli probabilistici, infatti, le caratteristiche sismo-tettoniche e le modalità di rilascio dell'energia sismica pregressa consentono la messa a punto di modelli previsionali dell'attività sismica attraverso una quantificazione dei livelli di accelerazione attesi. L'attività sismica storica nel bresciano rappresenta la naturale continuazione di quella pliocenica e quaternaria e risulta correlata alla collocazione, delle aree di studio, tra zone sismogenetiche riferibili, da una parte al fronte alpino e dall'altra al fronte appenninico, sepolti al di sotto della coltre fluvioglaciale-alluvionale della Pianura Padana. Storicamente la zona risente di effetti macroscopici in funzione della relativa vicinanza alle aree 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 nella zona sorgente 906 (Figura 13). In questo caso, ai fini della verifica alla liquefazione, si assume il valore della Magnitudo Mw pari a quello della zona, ovvero 6.60. Per un calcolo più preciso è possibile utilizzare la metodologia della disaggregazione della pericolosità sismica che somma i contributi dovuti alle singole coppie

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 23 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

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 un valore univoco della magnitudo, della distanza e del tempo di ritorno; ciò lo rende utilizzabile ai fini progettuali nelle verifiche agli stati limite.

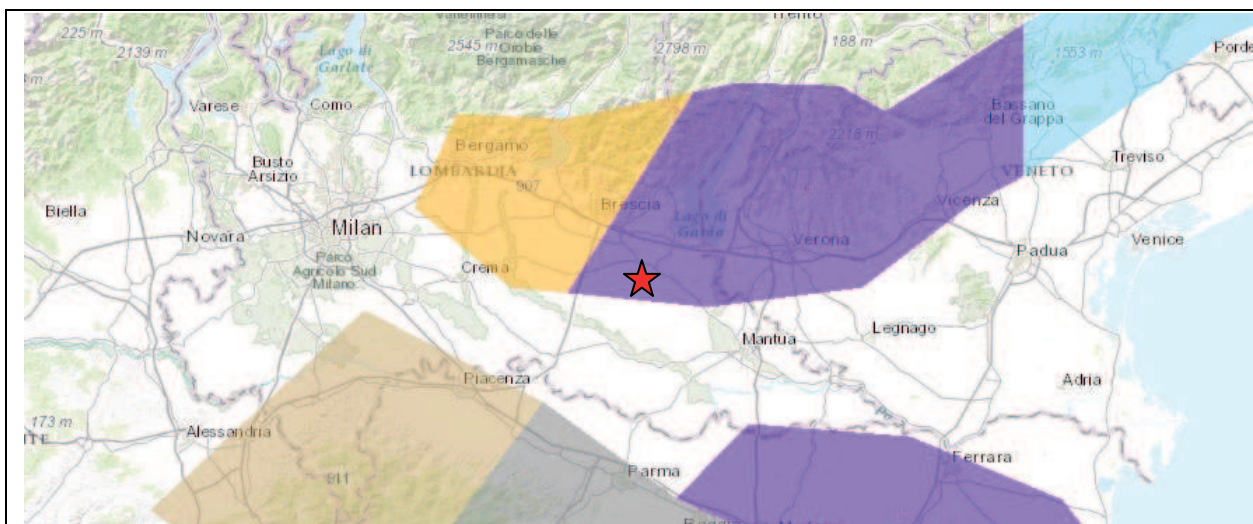


Figura 13 – Schema Zonizzazione Sismogenetica ZS9

Il metodo si basa sulla mappa della pericolosità sismica messa a disposizione dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) attraverso il proprio portale web. Il sistema consente di visualizzare e interrogare mappe probabilistiche della pericolosità sismica del territorio nazionale, espressa con diversi parametri dello scuotimento su una griglia regolare a passo 0.05°. Per ogni singolo nodo della griglia di riferimento è possibile richiedere il dettaglio in forma grafica e tabellare dell'analisi di disaggregazione (vale a dire il contributo delle possibili coppie di valori di magnitudo-distanza alla pericolosità del nodo) della relativa **a(g)**. Per il sito in studio nel comune di Calvisano il valore medio di riferimento propone una magnitudo pari a 4.94 ad una distanza di 9.67 km. Il valore non è però riferito alla magnitudo momento Mw, ma bensì alla magnitudo locale media. Per questo devono essere sommati i singoli contributi sino all'ottenimento di un valore superiore al 90%. Sommando i contributi da 0 a 40 km si raggiunge un valore superiore al 90% per magnitudo fino a 5.5. I valori calcolati con entrambe i metodi convergono su un risultato confrontabile.

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 24 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

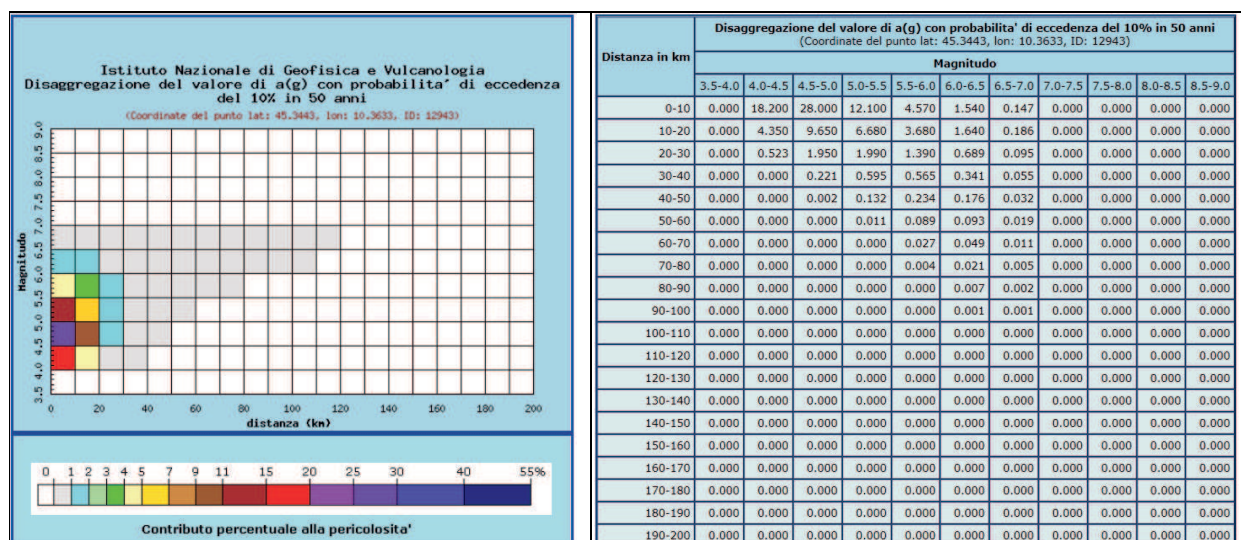


Figura 14 - Verifica Magnitudo

4.4.1. Verifica alla liquefazione

Durante un evento sismico vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio, dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante. Per tutta la durata della scossa ogni elemento di terreno è soggetto ad una serie di sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso ed ampiezza. Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento. Nei depositi la pressione di confinamento aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. 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 15.

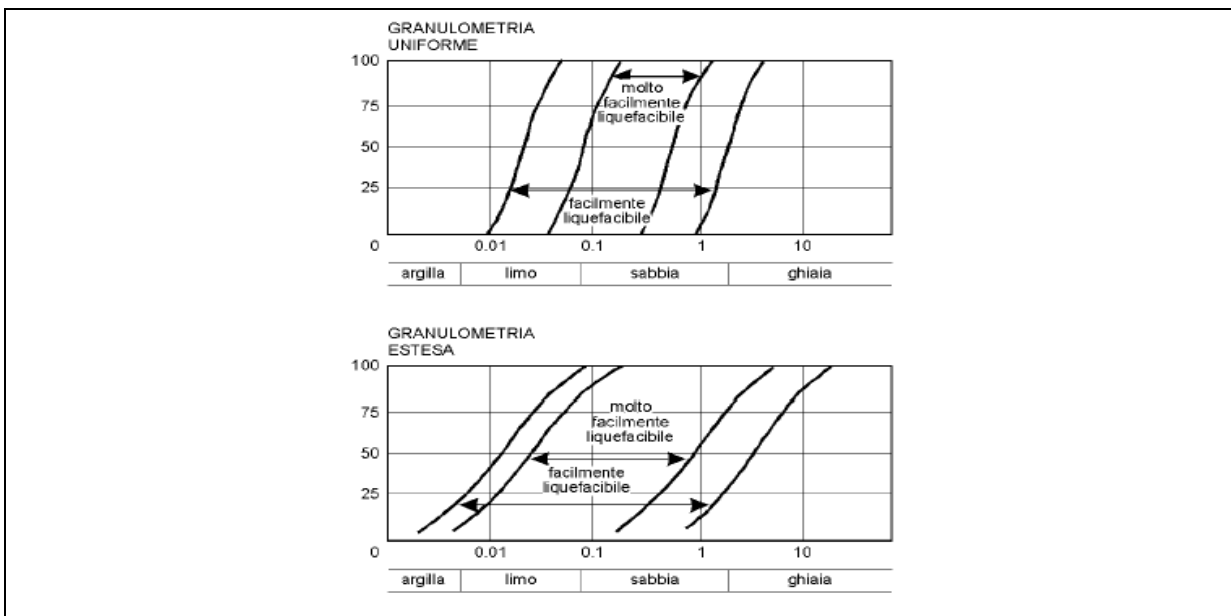


Figura 15 – Valutazione della suscettibilità alla liquefazione – fasce granulometriche critiche

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 mobilabile 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:

$$T = 0.65 \frac{a_{\max}}{g} \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} r_d \frac{1}{MSF};$$

dove:

a_{\max} = accelerazione sismica massima;
 g = accelerazione di gravità = 980.7 cm/s²;
 σ_{v0} = pressione verticale totale alla profondità z dal p.c.;
 σ'_{v0} = pressione verticale efficace alla profondità z dal p.c.;
 r_d = coefficiente funzione della profondità dal p.c.;
MSF = coefficiente correttivo funzione della magnitudo del sisma,

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

ANDRUS e STOKOE (2000)

$$CRR = 0,022 \cdot \left(\frac{K_c \cdot V_{s1}}{100} \right)^2 + \frac{2.8}{(V_{s1C} - K_c \cdot V_{s1})} - \frac{2.8}{V_{s1C}} \quad CSR = \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} = 0,65 \cdot \frac{a_{\max}}{g} \cdot \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \cdot r_d \cdot \frac{1}{MSF}$$

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

- 1° strato: velocità media onde Vs 234 m/sec spessore medio 1.50 m
- 2° strato: velocità media onde Vs 339 m/sec spessore medio 12.00 m
- 3° strato: velocità media onde Vs 359 m/sec spessore medio 16.50 m

Per il profilo Tr1 è stata considerata un'accelerazione pari a 0.207 g (0.139x1.49) ricavata per edifici di classe II moltiplicando l'accelerazione attesa per il coefficiente di amplificazione (1.49). La soggiacenza della falda è stata posta cautelativamente pari a 2.70 metri. Il calcolo ha verificato che il coefficiente di sicurezza Fs è per tutto il profilo superiore a 1. Di conseguenza il coefficiente Ic è pari a 0.0 indicando un rischio molto basso (Figura 16).

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 27 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

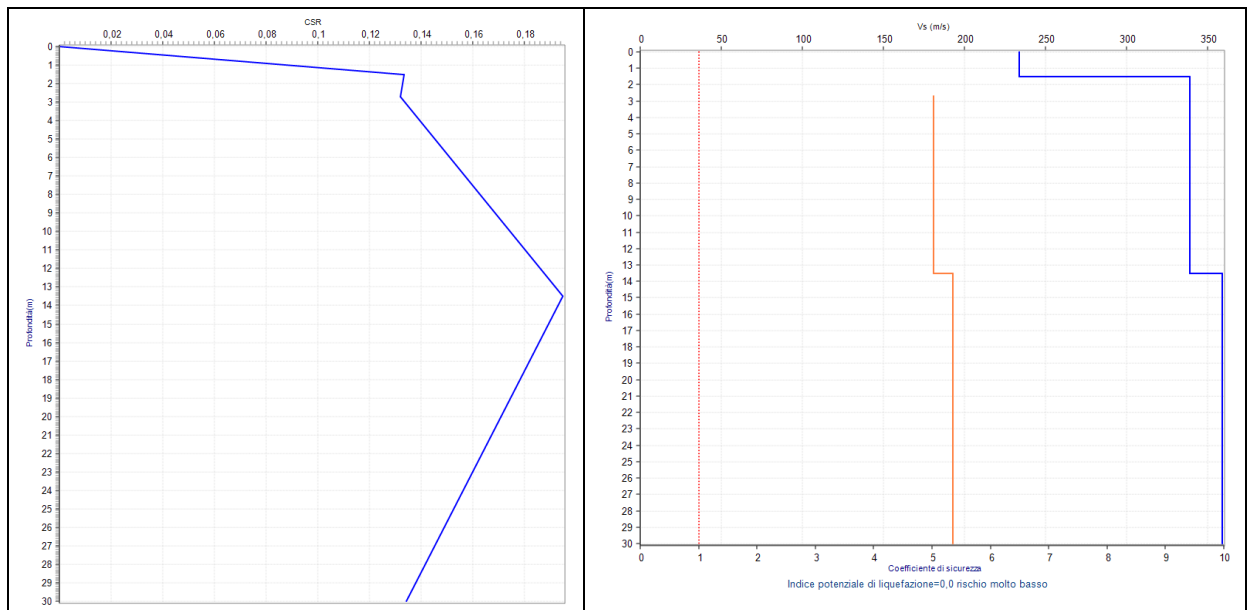


Figura 16 – Andamento del coefficiente CSR e Fs

5. VINCOLI

Nella carta di Tavola 5 sono state rappresentate, alla scala 1:5.000 le principali limitazioni d'uso del territorio derivanti da normative in vigore di contenuto idrogeologico e ambientale. Sono presenti vincoli di natura idraulica legati alle fasce di rispetto del reticolo idrico minore con larghezza pari a 5 metri come specificato nella tavola dei vincoli della componente geologica del PGT revisione 2018 (Figura 17). Va sottolineato tuttavia che le opere in progetto si manterranno esterne alle fasce di rispetto, pertanto non si prevedono interferenze. L'area in variante si colloca inoltre in prossimità di aree di rispetto delle captazioni. Anche in questo caso le opere in progetto si manterranno esterne alle fasce di rispetto, pertanto non si prevedono interferenze. La Variante in progetto è coerente con la Carta dei vincoli vigente.

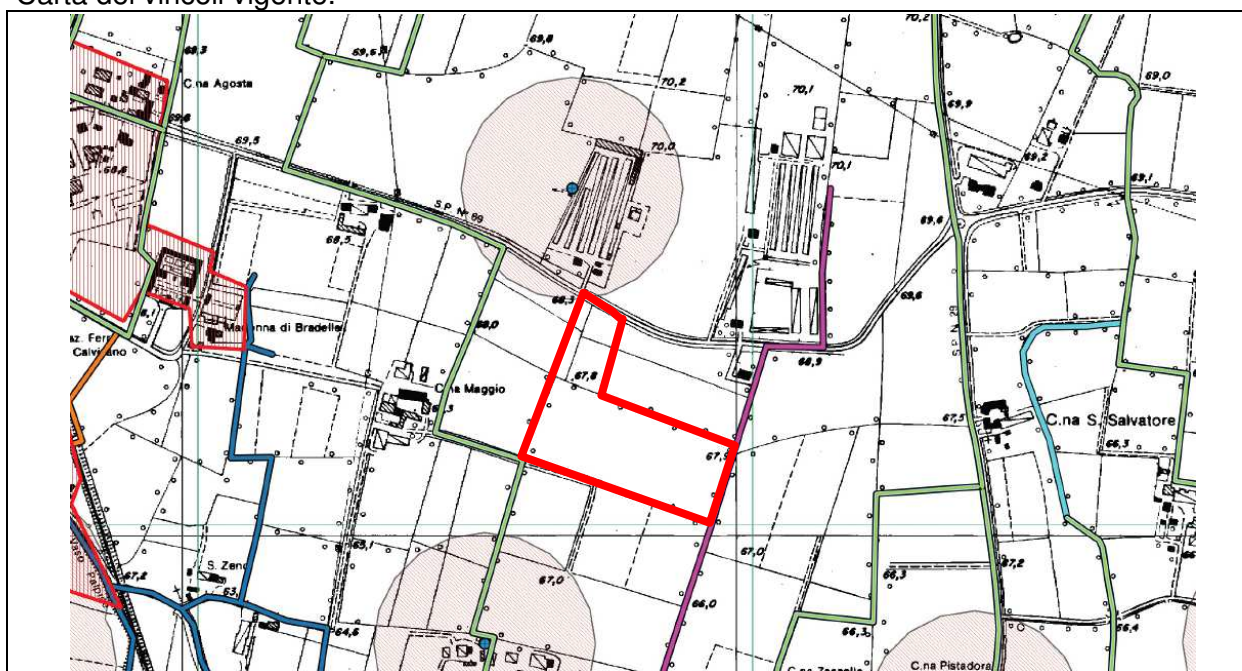


Figura 17 – Tavola dei vincoli da PGT

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 29 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

6. SINTESI

La Carta di Sintesi costituisce il documento nel quale vengono riassunti tutti i fenomeni naturali ed antropici che costituiscono una limitazione geologica alle scelte urbanistiche. Nella carta di Tavola 5 sono rappresentate, alla scala 1:5.000 le aree omogenee dal punto di vista della pericolosità/vulnerabilità riferite ai singoli fenomeni responsabili di tale pericolosità/vulnerabilità. In questo caso si tratta di aree che presentano una ridotta soggiacenza della falda e scadenti caratteristiche geotecniche dei terreni. La Variante in progetto è coerente con la Carta di sintesi vigente.

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 30 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

7. FATTIBILITÀ

L'area in studio è identificata nel PGT del Comune di Calvisano con classe di fattibilità 3A, ovvero fattibilità con consistenti limitazioni al cambio d'uso dovute a bassa soggiacenza della falda e scadenti caratteristiche geotecniche dei depositi superficiali. Il sito ricade in prossimità anche della classe di fattibilità 4B, ovvero fattibilità con gravi limitazioni legate alla fascia di rispetto del Reticolo Idrico (Figura 18) a causa della prossimità delle fasce di rispetto (5 metri) dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrico minore, tuttavia le opere in progetto manterranno la delimitazione della fascia di rispetto senza interferire.

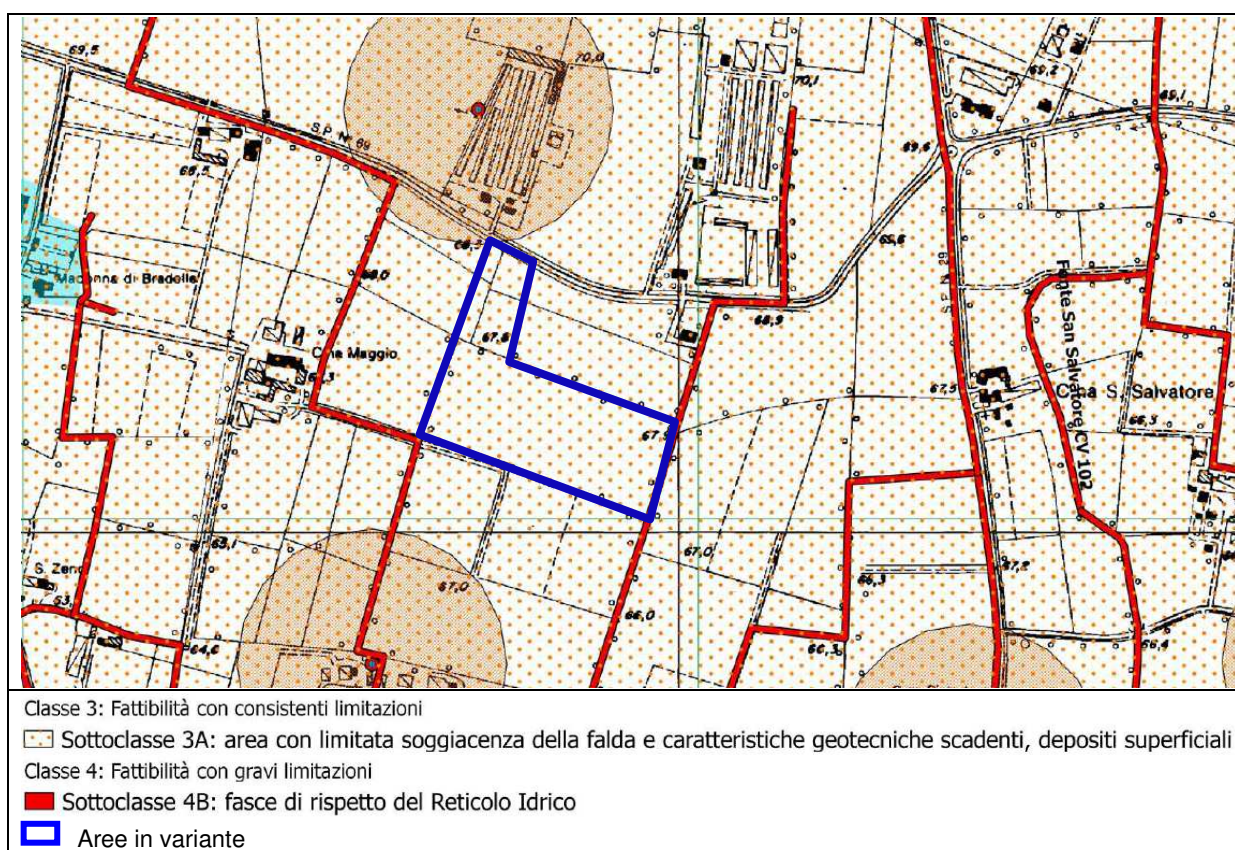


Figura 18 – Stralcio della carta della fattibilità (Studio geologico a corredo del PGT)

La classe attribuita al sito in studio è stata confermata. Al sito è assegnata la classe di fattibilità 3 a causa della bassa soggiacenza della falda e della elevata vulnerabilità della stessa. Si escludono problematiche geotecniche come meglio dettagliato nei capitoli

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
| 01010101010 110110110011 1110111011101 0101010101010 | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 31 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

successivi. In entrambe i casi, si mantengono le indicazioni contenute nelle norme geologiche del PGT. Si sottolinea che il progetto non prevederà scarichi di alcun tipo, fatta eccezione per le acque meteoriche che dovranno essere trattate secondo quanto previsto dalla vigente normativa. Per quanto riguarda le fasce di rispetto del reticolo idrico superficiale si rimanda alla normativa di settore. In entrambe le soluzioni la larghezza sarà pari a 5 metri. Gli aspetti geotecnici saranno trattati nel capitolo successivo.

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 32 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

8. GEOTECNICA

La definizione delle caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione è stata effettuata sulla base di correlazioni semiempiriche in relazione alle caratteristiche litostratimetriche dei terreni di fondazione rilevati in campo mediante sondaggi esplorativi (Figura 19).



Figura 19 – Documentazione fotografica dei saggi effettuati in sito

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 33 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

Nel dettaglio il sito risulta caratterizzato da un primo livello dello spessore variabile da 0.40 a 0.60 m costituito da suolo. Seguono depositi a comportamento prevalentemente coesivo moderatamente compatti continui sino a circa 1.50/1.70 m da p.c.. Da questa profondità e sino a circa 3.00 m da p.c. sono presenti depositi a comportamento granulare moderatamente addensati. Per la definizione dei parametri geotecnici dei depositi a comportamento coesivo ci si è avvalsi di un penetrometro tascabile. Questo strumento consente di misurare la resistenza di uno strato di suolo di circa 10 cm entro un valore di 6 MPa. I valori che si ottengono rappresentano il valore di resistenza massima e sono misurati per mezzo di una molla a compressione (Figura 20).



Figura 20 – Immagine rappresentativa di un penetrometro tascabile

Per la definizione dei parametri geotecnici a comportamento granulare si è fatto riferimento alle osservazioni empiriche effettuate in sito relative all'angolo di attrito del terreno che è poi stato ricavato dalla formula del *Sanglerat*, qui sotto esplicitata:

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 34 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

2.0. - STIMA DEI PARAMETRI GEOTECNICI

2.1. - Ghiaie

Se il materiale non è umido od argilloso, si valuta l'angolo di attrito assumendo il valore modale (moda inferiore) tra i valori di angolo di declivio rilevati su cumuli conici ottenuti per scarico (con grazia) dalla benna dello escavatore (che non deve mai toccare il cumulo in via di costruzione); sarà bene rimuovere dai fianchi del cumulo, man mano che vi pervengono, i ciottoli di dimensioni più rilevanti; l'angolo di declivio va valutato con altissima precisione (sensibilità di 0,5 gradi) tipo SUUNTO in bagno d'olio, trascurando la sommità del cumulo (in genere più appiattita) e la base, ove si accumula la frazione più grossolana senza sabbia. L'altezza del cumulo dovrà essere compresa tra 1,5 e 2,0 metri.

$$\phi' = 36^\circ + \phi'_1 + \phi'_2 + \phi'_3 + \phi'_4$$

dove :

| VALORI DELL'ANGOLO DI ATTRITO INTERNO DI MATERIALI GRANULARI | | | |
|--|-----------|-------------------|-----|
| Compattezza | ϕ'_1 | molle | -6° |
| | | media | 0 |
| | | serrata | +6° |
| Forma e rugosità dei grani | ϕ'_2 | spigolosa | +1° |
| | | media | 0 |
| | | arrotondata | -3° |
| | | assai arrotondata | -5° |
| Groschezza dei grani | ϕ'_3 | sabbia | 0 |
| | | ghiaia fine | +1° |
| | | ghiaia grossa | +2° |
| Granulometria | ϕ'_4 | uniforme | -3° |
| | | media | 0 |
| | | estesa | +3° |

La verifica è stata eseguita su diversi cumuli. Tutti i valori misurati sono stati poi trattati in modo statistico per la definizione del modello geotecnico. Lo studio dei parametri deve essere però sviluppato in termini non più deterministici ma bensì aleatori, cioè ciò che prima era identificato da un valore adesso è descritto da una variabile che rappresenta un insieme di numeri riferiti alla stessa grandezza fisica. La distribuzione di questa grandezza può quindi essere rappresentata da una funzione continua di tipo normale (gaussiano) dove sulle ascisse sono riportati i valori della variabile (Fs) e sulle ordinate la loro frequenza. Una evoluzione di questa particolare funzione è chiamata distribuzione di Student che ben si adatta nei casi in cui si può assistere a compensazione. Nel caso in esame per compensazione si intende il seguente concetto: il volume della eventuale massa interessata dal sovraccarico delle fondazioni è maggiore della scala di fluttuazione dei parametri che la governano, cioè di quelle porzioni di terreno che presentano geometrie o valori di resistenza differenti. E' pertanto plausibile che nel volume della massa instabile siano presenti porzioni di terreno con caratteristiche differenti. In questi casi maggiore è la tendenza a compensare le zone deboli con le forti giustificando il riferimento a valori prossimi ai valori medi. Tutte queste

considerazioni sono ritenute valide in assenza di superfici di rottura preferenziali come nel caso in esame. Al fine di operare a favore di sicurezza è stato estratto il valore riferito al 5° percentile della distribuzione, ovvero **il valore caratteristico** tale che la probabilità calcolata di valori più sfavorevoli, che determinano la manifestazione dello stato limite, non sia maggiore del 5%. Questa procedura è peraltro documentata negli Eurocodici EC7 ed EC8 ed è stata ripresa nella stesura delle Norme Tecniche delle Costruzioni 2018. Sulla base delle correlazioni effettuate è stato definito un unico modello geotecnico così schematizzato:

STRATO A : da p.c. sino a $-0.40/0.60$ m: suolo. Parametri caratteristici: $\gamma = 1.7$ kg/dm³.

STRATO B : da $-0.40/0.60$ m sino a $-1.50/1.70$ m: depositi coesivi moderatamente compatti. Parametri caratteristici: $Cu_k = 0.7$ kg/cm² $\gamma = 1.8$ kg/dm³.

STRATO C : da $-1.50/1.70$ m sino a -3.00 m: depositi granulari moderatamente addensati. Parametri caratteristici: $\Phi_k = 32^\circ$ $\gamma = 1.9$ kg/dm³.

A completamento del modello geotecnico è stata attribuita la categoria di appartenenza del profilo stratigrafico dei terreni di fondazione per la definizione dell'azione sismica di progetto. Viste le risultanze di prove sismiche effettuate in sito il profilo stratigrafico dei terreni di fondazione è classificabile come **tipo C** secondo i disposti della Ordinanza del Presidente del Consiglio 20 marzo 2003 n.3274 e successive modifiche.

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 36 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

9. INDICAZIONI RELATIVE ALL'INVARIANZA

La nuova regionale sulla difesa del suolo, sulla prevenzione e mitigazione del rischio idrogeologico e sulla gestione dei corsi d'acqua (l.r. n. 4 del 15 marzo 2016) ha come scopo principale l'attenuazione del livello di rischio idrogeologico al fine della tutela dei cittadini e delle attività economiche, attraverso iniziative capaci di mettere in sicurezza il territorio. La legge specifica e disciplina le attività di competenza di Regione Lombardia riguardanti la difesa del suolo, la gestione dei corsi d'acqua e del demanio idrico nel territorio regionale. Inoltre, stabilisce gli strumenti utili a realizzare tali attività per raggiungere gli obiettivi legati alla difesa del suolo, alla gestione del demanio idrico fluviale e al riassetto idraulico e idrogeologico. I principali temi che la legge affronta sono:

- gestione coordinata del reticolo idrico minore, di competenza comunale, e dei reticoli principale e consortile
- rispetto dell'invarianza idraulica, dell'invarianza idrogeologica e del drenaggio urbano sostenibile
- attività di polizia idraulica nel demanio idrico fluviale
- manutenzione continuata e diffusa del territorio, dei corsi d'acqua, delle opere di difesa del suolo, delle strutture e dei sistemi agroforestali di difesa del suolo
- ripristino delle condizioni di maggiore naturalità dei corsi d'acqua, recupero delle aree di pertinenza idraulica e riqualificazione fluviale
- riordino delle competenze sulla navigazione interna delle acque
- nuove competenze in tema di difesa del suolo per i Consorzi di bonifica e irrigazione.

Nel caso in studio, il tema d'interesse riguarda l'invarianza idraulica che in sintesi consiste nella limitazione dei deflussi delle acque verso il reticolo idrico o la fognatura in caso di realizzazione di nuovi edifici civili e industriali, di parcheggi e strade e di interventi di riqualificazione o comunque di trasformazione del suolo. Nello specifico l'articolo di riferimento è il n.7 che introduce il concetto ed apporta modifiche al testo della legge regionale n.12/2005 (Legge per il Governo del Territorio). Al comma 5, l'articolo fa riferimento al Regolamento

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 37 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

(R.R. 7/2017 del 23.11.2017 come modificato dal R.R. 8/2019 del 19.04.2019) contenete i metodi e i criteri per il rispetto dell'invarianza idraulica ed idrogeologica. Sulla base di diversi fattori indicati dal Regolamento i contenuti del progetto di invarianza configurano tipologie di studi via via più approfonditi (articolo 9). La tipologia del caso in studio dovrà essere verificata nella tabella di Figura 21.

| CLASSE DI INTERVENTO | SUPERFICIE INTERESSATA DALL'INTERVENTO | COEFF. DEFUSSO MEDIO PONDERALE | MODALITA' DI CALCOLO | | |
|----------------------|---|--|----------------------------------|--|--------------------------------------|
| | | | AMBITI TERRITORIALI (ARTICOLO 7) | | |
| | | | AREA A - B | AREA C | |
| 0 | Impermeabilizzazione potenziale qualsiasi | ≤ 0.03 ha (≤ 300 mq) | qualsiasi | Requisiti minimi art.12 comma 1 | |
| 1 | Impermeabilizzazione potenziale bassa | Da > 0.03 a ≤ 0.1 ha (da > 300 a ≤ 1000 mq) | ≤ 0.4 | Requisiti minimi art.12 comma 2 | |
| 2 | Impermeabilizzazione potenziale media | Da > 0.03 a ≤ 0.1 ha (da > 300 a ≤ 1.000 mq) | > 0.4 | Metodo delle sole piogge (vedi articolo 11 e allegato G) | Requisiti minimi articolo 12 comma 2 |
| | | Da > 0.1 a ≤ 1 ha (da > 1.000 a ≤ 10.000 mq) | qualsiasi | | |
| | | Da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq) | ≤ 0.4 | | |
| 3 | Impermeabilizzazione potenziale alta | Da > 1 a ≤ 10 ha (da > 10.000 a ≤ 100.000 mq) | > 0.4 | Procedura dettagliata (vedi articolo 11 e allegato G) | |

Figura 21 – Tabella 1 - RR 08/2019

10. CONCLUSIONI

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

1. L'area in studio ricade nel Comune di Calvisano, classificato dall'Ordinanza del Presidente del Consiglio in data 20 marzo 2003 n.3274 come di classe 3. La riclassificazione della Regione Lombardia ha riconfermato la classe di appartenenza.
2. Secondo i disposti dell'Ordinanza Presidente del Consiglio n.3274/2003 i terreni di fondazione sono classificabili come di tipo C. Dagli approfondimenti eseguiti si assegna la classe topografica T1.
3. L'analisi sismica di II livello ha restituito valori di Fa minori rispetto alle soglie proposte dalla Regione Lombardia per il comune di Calvisano.
4. L'area in variante è costituita da terreni caratterizzati da Deposito fluvioglaciali e fluviali Wurmiani a litologia prevalentemente ghiaiosa e ghiaioso sabbiosa, localmente associati a coperture fini limoso sabbiose.
5. L'assetto geomorfologico dell'area è sostanzialmente pianeggiante. Non sono stati rilevati fenomeni geomorfologici in atto o in evoluzione.
6. La falda è stata misurata durante le indagini del Luglio 2023 e presenta una soggiacenza pari a circa 2.70 metri.
7. I terreni di fondazione non saranno soggetti a fenomeni di liquefazione in caso di sisma.
8. Nell'area di variante sono confermate le classi di fattibilità espresse nella componente geologica a corredo del Piano di governo del territorio del comune di Calvisano. La classe di riferimento è la 3, ovvero con consistenti limitazioni al cambio d'uso dovute alla bassa soggiacenza e alla scadenti caratteristiche geotecniche dei depositi presenti in sito.

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

| | | | | |
|---|-----------|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 39 di 40 |
| A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | | |

11. TABELLA RIASSUNTIVA PARAMETRI GEOLOGICI

| | | | | | | |
|---------------------------------|------------------------------|-----------------------|----------------------------------|------------|--------------------------|-------------------------|
| FOGLIO | 39 | | 40 | | | |
| MAPPALE | 289 / 291 / 293 / 294 | | 90 / 92 / 94 / 65 / 66 / 67 / 68 | | | |
| QUOTA (m.s.m) | 67.50 | | | | | |
| QUOTA FALDA (m.s.m) | 64.50 (PGT) | | | | | |
| SOGGIACENZA (m) | 3.00 (PGT) / 2.70 (misurata) | | | | | |
| CLASSE FATTIBILITA' | 3 | | | | | |
| ZONA SISMICA | 3 | | | | | |
| PERICOLOSITA' SISMICA | Z4a | | | | | |
| ANALISI SISMICA DI II LIVELLO | Fa < Soglia | | | | | |
| CLASSE TOPOGRAFICA | T1 | | | | | |
| CATEGORIA DEL SOTTOSUOLO | C | | | | | |
| CLASSE DELL'EDIFICIO | II | | | | | |
| PARAMETRI SISMICI | | Ag (g) | Fo | Tc (s) | | |
| | SLV | 0.139 | 2.485 | 0.266 | | |
| | SLD | 0.048 | 2.532 | 0.241 | | |
| AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA SS | 1.49 | | | | | |
| AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA ST | 1.0 | | | | | |
| FREQUENZA FOND. (Hz) | 0.62 | | | | | |
| LIQUEFAZIONE | NO | | | | | |
| MODELLO GEOTECNICO | Nom e | Profondità | γ (kg/dm ³) | ϕ (°) | Cu (kg/cm ²) | E (kg/cm ²) |
| | A | 0.00 – 0.40/0.60 | 1.7 | / | / | / |
| | B | 0.40/0.60 – 1.50/1.70 | 1.8 | / | 0.70 | 80 |
| | C | 1.50/1.70 – 3.00 | 1.9 | 32 | / | 300 |

Dr. Geol. Corrado Aletti

Documento firmato digitalmente

Seniga 03.08.2023

| | | | | |
|---|--|-------------|------|----------|
|  | Elaborato | Data | Rev. | Pag. |
| | Relazione | Luglio 2023 | 1 | 40 di 40 |
| | A. & P. sas di Dr. Corrado Aletti – GEOLOGO O.G.L. n.900 | | | |

Comune di Calvisano

Provincia di Brescia

D.M. 14/01/2008; Circolare 02/02/09 "Istruzioni per l'applicazione nelle NTC" GSLP; Eurocodice 8 - Parte 5; Eurocodice 7.1 - Parte 1; Eurocodice 7.2 - Parte 2; Eurocodice 7.3 - Parte 3; L.R. 12/2005

STUDIO GEOLOGICO E GEOTECNICO

SUAP per ampliamento piazzali

Il Committente: DI.MA. srl

Tavola 1

scala 1:5.000

Carta litomorfologica

Legenda:



Alta pianura



Alluvioni fluvio-glaciali Wurmiane a litologia sabbiosa ghiaiosa prevalente



Alluvioni fluvio-glaciali Wurmiane a litologia ghiaiosa sabbiosa prevalente

Reticolo idrografico secondario

Isopse in msm



Area di variante

Il Geologo:
Dr. Corrado Alelli



codice file: hs-calvisano-dima

03

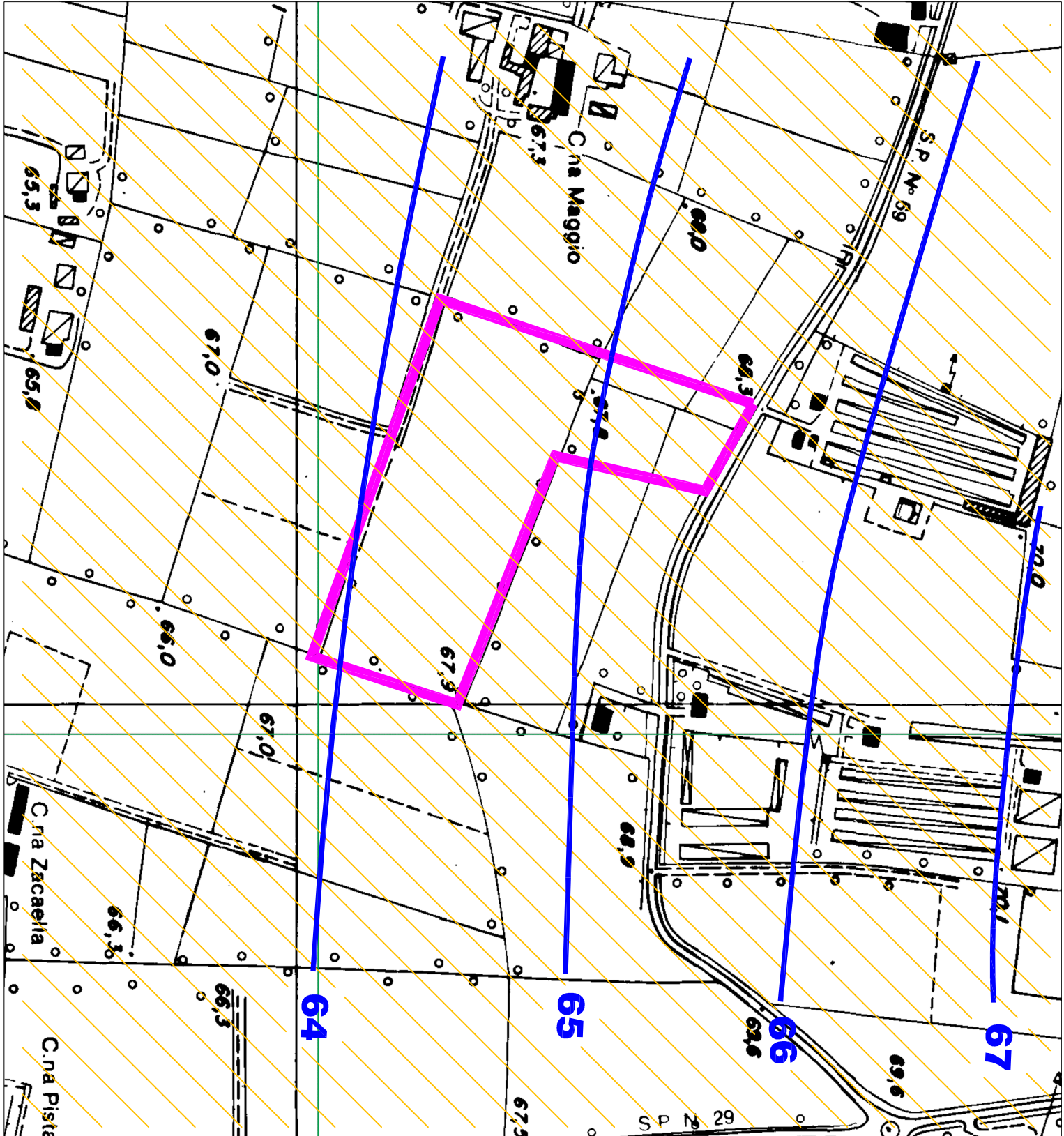
02

01 01.08.2023

emissione - Revisione 00

N

data descrizione



Comune di Calvisano

Provincia di Brescia

D.M. 14/01/2008; Circolare 02/02/09 "Istruzioni per l'applicazione nelle NTC" GSLP; Eurocodice 8 - Parte 5; Eurocodice 7.1 - Parte 1; Eurocodice 7.2 - Parte 2; Eurocodice 7.3 - Parte 3; L.R. 12/2005

STUDIO GEOLOGICO E GEOTECNICO




SUAP per ampliamento piazzali

Il Committente: **DI.MA. srl**

Tavola 2 scala 1:5.000

Carta idrogeologica

Legenda:

-  Depositi a permeabilità alta
-  Isopieze in msm
-  Area di variante

Il Geologo:
Dr. Corrado Aleffi



| | |
|---------------------------------------|--------------------------|
| codice file: hs-calvisano-dima | |
| 03 | |
| 02 | |
| 01 | 01.08.2023 |
| N | data |
| | emissione - Revisione 00 |
| | descrizione |

Comune di Calvisano

Provincia di Brescia

D.M. 14/01/2008; Circolare 02/02/09 "Istruzioni per l'applicazione nelle NTC" CSLP; Eurocodice 8 - Parte 5; Eurocodice 7.1 - Parte 1; Eurocodice 7.2 - Parte 2; Eurocodice 7.3 - Parte 3; L.R. 12/2005

STUDIO GEOLOGICO E GEOTECNICO

SUAP per ampliamento piazzali

Il Committente: DI.MA. srl

Tavola 3

scala 1:5.000

**Carta della pericolosità
sismica locale**

Legenda:



Indagine HVSR



Z4a - Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi (Amplificazioni litologiche) - Fa < Soglie



Area di variante

Il Geologo:
Dr. Corrado Aleotti



codice file: hs-calvisano-dima

03

02

01 01.08.2023

N

emissione - Revisione 00
descrizione

Comune di Calvisano

Provincia di Brescia

D.M. 14/01/2008; Circolare 02/02/09 "Istruzioni per l'applicazione nelle NTC" GSLP; Eurocodice 8 - Parte 5; Eurocodice 7.1 - Parte 1; Eurocodice 7.2 - Parte 2; Eurocodice 7.3 - Parte 3; L.R. 12/2005

STUDIO GEOLOGICO E GEOTECNICO

SUAP per ampliamento piazzali

Il Committente: **DI.MA. s.r.l**

Tavola 4

scala 1:5.000

Carta della vulnerabilità naturale

Legenda:

| Grado di vulnerabilità | Litologia di superficie | Profondità del tetto della ghiaia | Caratterizzazione dell'acquifero |
|------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|--|
| Basso | Argilla Limo | > 10 m > 10 m | confinato/libero confinato |
| Medio | Argilla Limo | < 10 m < 10 m | confinato/libero confinato |
| | Sabbia/ghiaia | > 10 m | libero |
| Alto | Limo Sabbia Sabbia Ghiglia | < 10 m > 10 m < 10 m < 10 m | libero libero confinato confinato |
| Estremamente Elevato | Sabbia Ghiglia | < 10 m >10m - <10m | libero libero |
| | Ghiglia | > 10m | diviso |

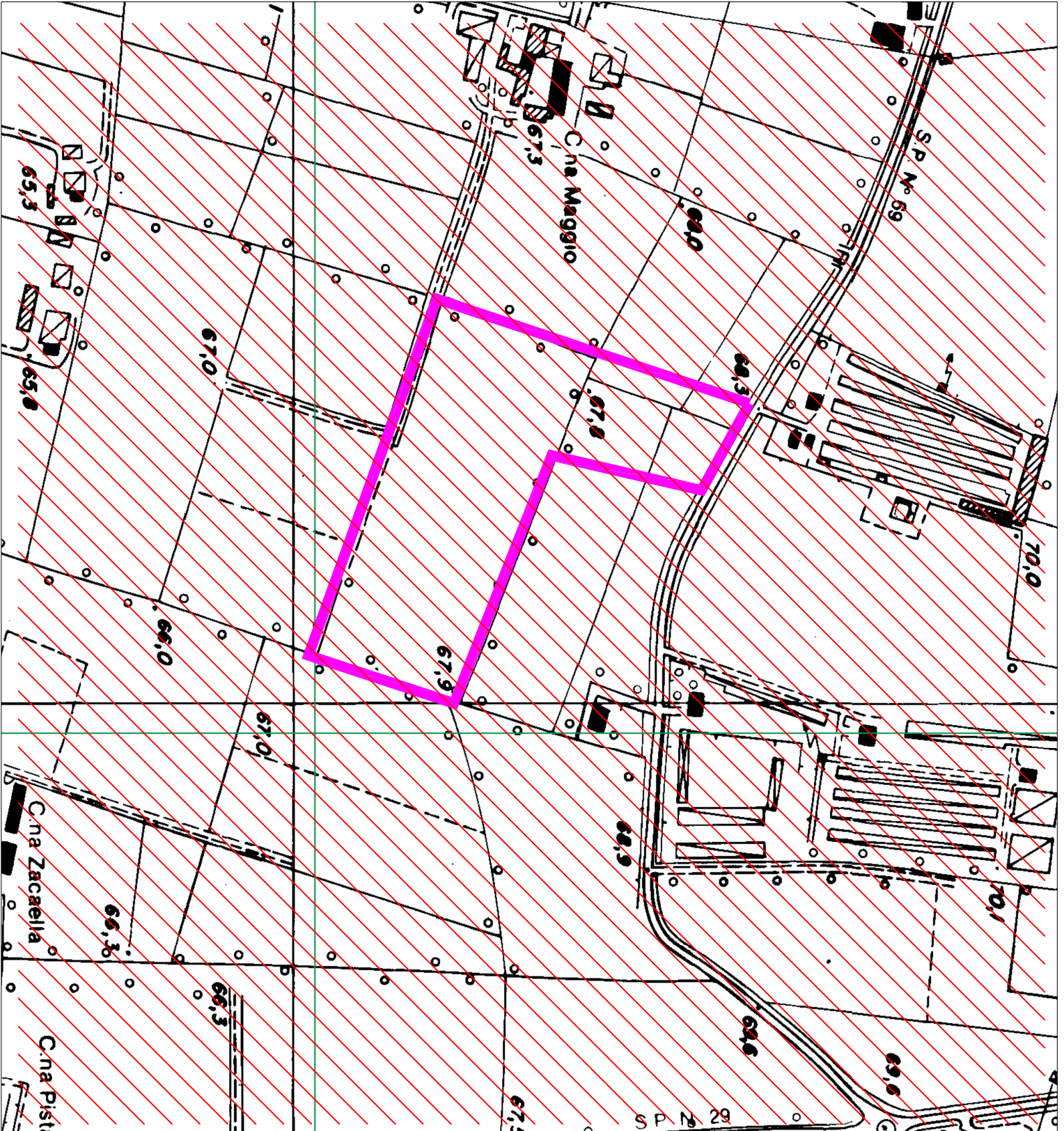


Area di variante

Il Geologo:
Dr. Corrado Alelli



| codice file: bs-calvisano-dima | |
|--------------------------------|--------------------------|
| 03 | |
| 02 | |
| 01 | 01.08.2023 |
| N | data |
| | emissione - Revisione 00 |
| | descrizione |



Comune di Calvisano

Provincia di Brescia

D.M. 14/01/2008; Circolare 02/02/09 "Istruzioni per l'applicazione nelle "NTC" C.S.L.P.; Eurocodice 8 - Parte 5; Eurocodice 7.1 - Parte 1; Eurocodice 7.2 - Parte 2; Eurocodice 7.3 - Parte 3; L.R. 12/2005

STUDIO GEOLOGICO E GEOTECNICO

SUAP per ampliamento piazzali

Il Committente: **DI.MA. srl**

Tavola 6

scala 1:2.500

Carta della fattibilità

Legenda:



Classe 3A : Aree a bassa soggiacenza e scadenti caratteristiche geotecniche



Z4a - Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi (Amplificazioni litologiche) - Fa < Soglie



Area di variante

Il Geologo:
Dr. Corrado Aleffi



codice file: **bs-calvisano-dima**

| | |
|----|--------------------------|
| 03 | |
| 02 | |
| 01 | 01.08.2023 |
| N | data |
| | emissione - Revisione 00 |
| | descrizione |