

COMUNE DI VIGOLZONE

PROVINCIA DI PIACENZA

**PIANO URBANISTICO ATTUATIVO – R23**

**MALVICINI**

ubicazione:

COMUNE DI VIGOLZONE (PC)

Via Cantone - Loc. Grazzano Visconti

proprietà:

***Due M di Malvicini Gian Carlo & C. S.a.S.***

Località Due Bandiere – Travo (PC) C.F. 01185720339

**ALLEGATO 6**

**RELAZIONE GEOLOGICA  
E  
DEL RISCHIO SISMICO**

progettista:

**BORLENGHI arch. NICOLA**

Via XXV Aprile, 5 – 29027 Maiano di Podenzano (PC)

tel: 0523 550340 – cell: 335 8309173

e-mail: borlenghi.nicola@libero.it

pec: borlenghinicola@pec.cafpiacenza.it

firme:

la proprietà

\_\_\_\_\_

il progettista  
(Borlenghi arch. Nicola)



indirizzo  
tel – cell  
mail  
pec  
c.f.  
p.iva

via XXV Aprile, 5 Maiano di Podenzano, (PC) 29027  
0523 550340 - 335 8309173  
borlenghi.nicola@libero.it  
borlenghinicola@pec.cafpiacenza.it  
BRLNCL65M22G535A  
01106300336

REGIONE EMILIA-ROMAGNA

COMUNE DI VIGOLZONE

PROVINCIA DI PIACENZA

# RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA



**LAVORO:**  
PIANO PARTICOLAREGGIATO DI INIZIATIVA PRIVATA

**RELGO1**

**UBICAZIONE:**  
VIA CANTONE GRAZZANO VISCONTI, VIGOLZONE (PC)

**GEOLOGIA**

**COMMITTENTE:**  
DUE M DI MALVICINI GIAN CARLO & C. SAS

REV

DATA

REDAZIONE

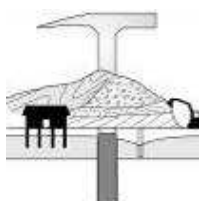
APPROVAZIONE

Emissione

Ottobre 2020

D. Zucchi

D. Zucchi



Geol. Davide Zucchi  
Via XX Settembre 130  
29121 Piacenza  
e-mail: [davidezucchi@virgilio.it](mailto:davidezucchi@virgilio.it)  
pec: [davidezucchi@epap.sicurezza postale.it](mailto:davidezucchi@epap.sicurezza postale.it)



(Firmato digitalmente)



## INDICE

1.0	Premessa e finalità .....	3
2.0	Inquadramento geografico e idrografico .....	4
3.0	Inquadramento geologico e geomorfologico .....	6
4.0	Idrogeologia.....	7
4.1.	Vulnerabilità degli acquiferi .....	9
4.2.	Piezometria .....	10
5.0	Compatibilità geologica, territoriale e normativa .....	10
5.1.	Piano Strutturale Comunale (P.S.C.) .....	10
5.2.	Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) .....	11
6.0	Indagini geognostiche .....	12
6.1.	Prove penetrometriche.....	12
6.2.	Prova sismica MASW+HVSR .....	15
7.0	Stratigrafia e caratterizzazione geotecnica.....	17
7.1.	Coesione non drenata.....	18
7.2.	Modulo edometrico.....	18
7.3.	Modulo elastico .....	18
7.4.	Angolo di attrito.....	19
7.5.	Valori caratteristici.....	19
8.0	Pericolosità sismica .....	20
8.1.	Zonazione sismica (ZS) .....	20
8.2.	Risposta sismica locale – Approfondimento di secondo livello – Delibera dell'Assemblea Legislativa 112/2007 e Delibera della Giunta Regionale 2193/2015.....	21
8.3.	Risposta sismica locale – NTC18 .....	23
8.3.1.	Pericolosità sismica di base (effetti di sito) .....	23
8.3.2.	Effetti locali.....	24
8.3.3.	Calcolo coefficienti sismici.....	24
9.0	Verifiche preliminari .....	25
9.1.	Liquefazione .....	25
9.2.	Fondazioni superficiali .....	26
10.0	Conclusioni .....	28
ALLEGATO A – REPORT PROVE PENETROMETRICHE .....		32
ALLEGATO B – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA .....		35



## 1.0 Premessa e finalità

Il presente elaborato è stato prodotto a supporto del Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata da attuarsi in Via Cantone Grazzano Visconti in Comune di Vigolzone (PC).

Lo studio svolto è finalizzato a:

- ricostruire i caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici e geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del sito;
- fornire uno schema rappresentativo delle condizioni stratigrafiche, del regime delle pressioni interstiziali e della caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni nel volume significativo;
- determinare la "risposta sismica locale" sulla base degli effetti di sito e degli effetti locali;
- verificare preliminarmente la stabilità del sito in termini di liquefazione e le resistenze al collasso del terreno.

Quanto detto è stato definito attraverso l'analisi della documentazione reperita, tre prove penetrometriche e una prova sismica MASW+HVSr.

- D.M. LL. PP. del 11/03/1988. Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. 16 Gennaio 1996. Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche.

- UNI ENV 1997-1:2005-Eurocodice 7. Progettazione Geotecnica-Parte 1: Regole generali.

- UNI ENV 1997-2:2002-Eurocodice 7. Progettazione Geotecnica-Parte 2: Progettazione assistita con prove in sito.

- UNI ENV 1997-3:2002-Eurocodice 7. Progettazione Geotecnica-Parte 3: Progettazione assistita con prove in di laboratorio.

- O.P.C.M. 3274 del 20.03.2003. Costruzioni in zona sismica.

- O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006, All. 1b. Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale.

- Delibera dell'Assemblea legislativa progr. n°112 - oggetto °3121 del 2 maggio 2007 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica".

- D.M. 14 Gennaio 2008. Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

- Circolare 2 febbraio 2009 n. 617 C.S.LL.PP. Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

- DGR n.2193 del 21 dicembre 2015. Art. 16 della L.R. n.20 del 24/3/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica", di cui alla deliberazione dell'Assemblea Legislativa 2 maggio 2007, n. 112.

- D.M. 17 Gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni».





## 2.0 Inquadramento geografico e idrografico

L'area interessata dal presente studio è ubicata in località Grazzano Visconti, esternamente al territorio urbanizzato, a nord dell'abitato. Nella Carta Tecnica Regionale il sito è ricompreso entro la sezione 180054 (scala 1:5.000). L'altitudine è di circa 139 m s.l.m., mentre la latitudine e la longitudine valgono rispettivamente:

- 44.935579N e 9.676481E (Coordinate WGS84);
- 44.936522N e 9.677520E (Coordinate ED50).



Figura 1. Inquadramento corografico su CTR 5.000+Ortofoto e CTR 25.000 ([www.regione.emilia-romagna.it](http://www.regione.emilia-romagna.it)). In rosso l'area in esame.

L'area in studio è caratterizzata da una morfologia sub-pianeggiante, con quote topografiche degradanti verso NE. Dal punto di vista idrografico l'area è situata in sinistra idrografica del Torrente Nure, il cui alveo dista circa 2 km.

Il reticolo secondario, stante la forma stretta e allungata del bacino, ha dimensioni relativamente piccole, con sottobacini idrografici sottesi dell'ordine di 20-40 km<sup>2</sup>, sviluppati attorno all'asta principale. A scala locale da segnalare i corsi d'acqua secondari denominati Rio Grazzano e Rio di Podenzano, alcuni canali irrigui e fossi di scolo.

Il PAI nell'Allegato III, al Titolo II delle Norme di Attuazione, "Metodo di delimitazione delle fasce fluviali" definisce la metodologia per l'articolazione in fasce dell'alveo fluviale e delle relative aree di pertinenza, distinguendo tra:

- Fascia A di deflusso della piena;
- Fascia B di esondazione;
- Fascia C di inondazione per piene catastrofiche.

Il sito in esame, così come riportato nell'estratto successivo, non ricade entro nessuna delle suddette tre fasce.



## Autorità di bacino del fiume Po

Bacino di rilievo nazionale

« Esci dall'area WebGIS e torna al portale informativo »

AtlanteDeiPiani

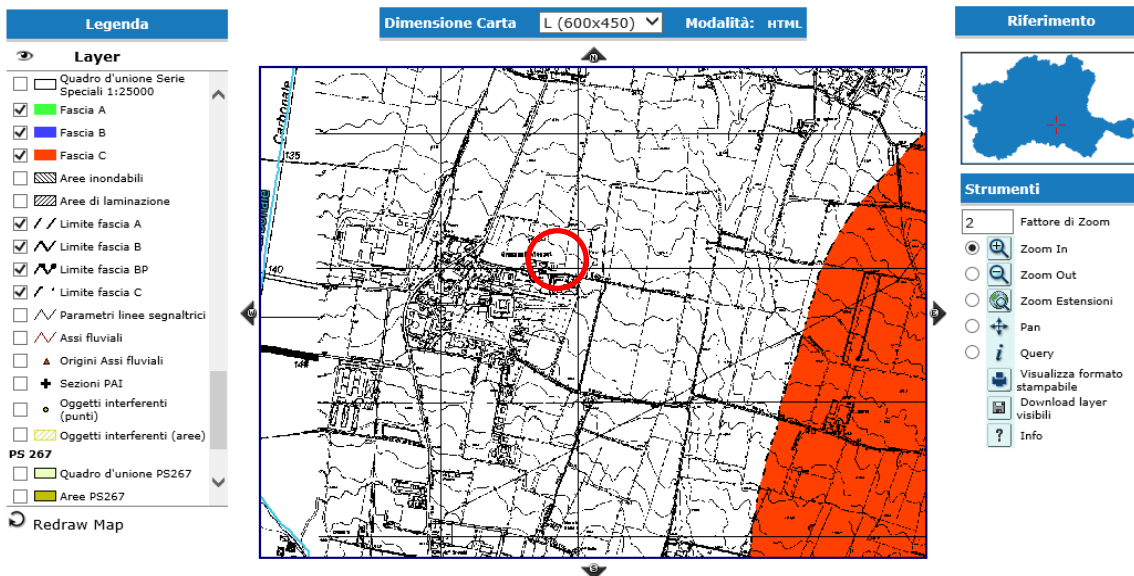


Figura 2. Atlante dei Piani (fasce fluviali) da <http://www.adbpo.it>. In rosso l'area in esame.

Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) dell'Autorità di bacino del Fiume Po riconosce 3 scenari di pericolosità idraulica:

- 1) alluvioni frequenti = TR 30 – 50 anni;
- 2) alluvioni poco frequenti = TR 100 – 200 anni;
- 3) alluvioni rare = TR fino a 500 anni.

Sulla base dei suddetti tre scenari di pericolosità sono state create delle mappe (art. 6 D.Lgs. 49/2010 e art. 6 Dir. 2007/60/CE), con diverse tonalità di blu, associando al diminuire della frequenza di allagamento il diminuire dell'intensità del colore, che contengono la perimetrazione delle aree che potrebbero essere interessate da inondazioni causate dai corsi d'acqua (naturali e artificiali):

- 1) Aree di pericolosità rare (L): scarsa probabilità di alluvioni o di eventi estremi (P1, pericolosità bassa);
- 2) Aree di pericolosità poco frequenti (M): alluvioni poco frequenti (P2, pericolosità media);
- 3) Aree di pericolosità frequenti (H): alluvioni frequenti (P3, pericolosità elevata).

Sono uno strumento di informazione e la base di conoscenze per definire le priorità di azione per la riduzione del rischio di alluvione. Il sito in esame ricade esternamente alle suddette tre fasce.



## Autorità di bacino del fiume Po

Bacino di rilievo nazionale

« Esci dall'area WebGIS e torna al portale informativo »

AtlanteDeiPiani

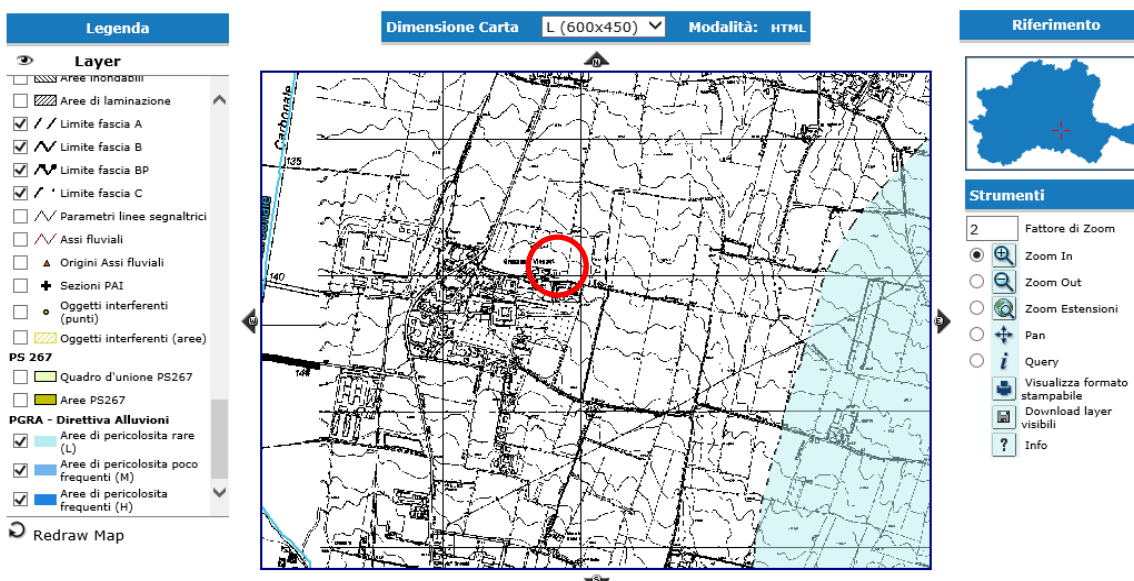


Figura 3. Atlante dei Piani (Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni - PGRA) da <http://www.adbpo.it>. In rosso l'area in esame.





### 3.0 Inquadramento geologico e geomorfologico

Le unità geologiche affioranti in questa porzione territoriale appartengono al Supersistema Emiliano-Romagnolo (Quaternario Continentale). La successione continentale è suddivisibile in due unità principali: un'unità superiore, detta Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) e un'unità inferiore, detta Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI).

Nelle righe successive si riporta una dettagliata descrizione delle unità presenti tratta dalle note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 (Foglio 180 – Salsomaggiore Terme<sup>1</sup>).

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES) rappresenta un'unità alluvionale terrazzata costituita da ghiaie prevalenti in corrispondenza degli apparati fluviali principali (depositi di conoide e depositi intravallivi terrazzati), passanti a limi prevalenti con rare intercalazioni di sabbia e ghiaia nelle aree di interconoide. L'AES è suddiviso nei seguenti cinque subsintemi: AES8, AES7, AES3, AES2, AES1.

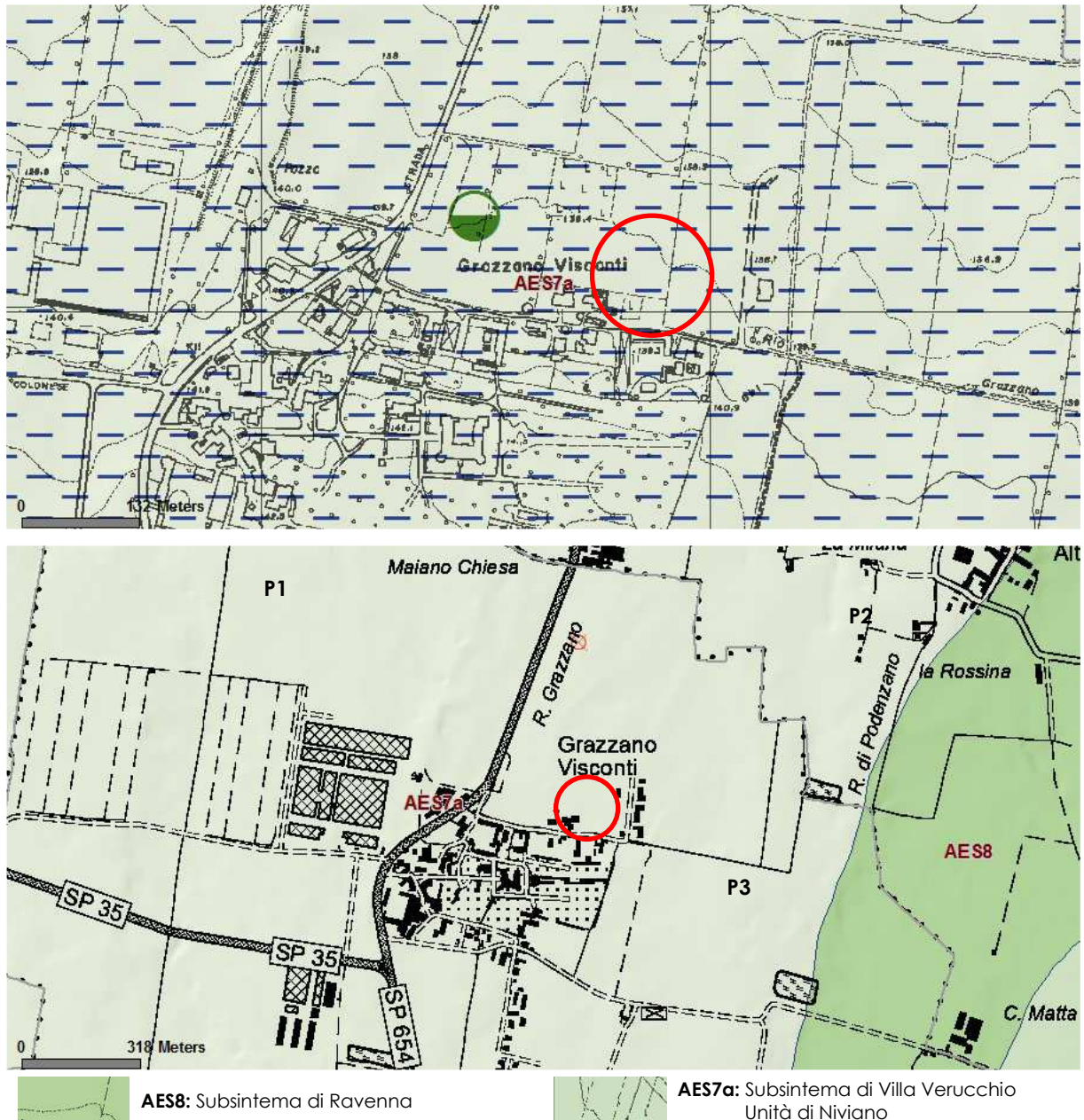


Figura 4. Inquadramento geologico (da progetto CARG, Servizio Geologico Sismico e dei Suoli - Regione Emilia-Romagna). In rosso l'area in studio.

**Subsistema di Ravenna (AES8).** È composto da ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, ricoperti da una coltre limoso-argillosa discontinua e da limi, talora sabbiosi, di limitato spessore (3-4 m), interpretabili come depositi di conoide alluvionale. Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante sul substrato pliocenico e su AES3, AES7. Il fronte di alterazione è di moderato spessore (da qualche decina

<sup>1</sup> Servizio Geologico d'Italia (2008), Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000, foglio 180 – Salsomaggiore Terme.



di cm fino ad 1 m) ed i suoli presentano gli orizzonti superficiali decarbonatati o parzialmente decarbonatati. Lo spessore massimo di questa unità è inferiore a 20 metri. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sugli altri subsintemi e sulle unità più antiche. È sede di attività agricola diffusa, di insediamenti produttivi e, localmente, di nuclei abitati. L'età dell'unità è Pleistocene superiore – Olocene.

Subsintema di Villa Verucchio (AES7). Si tratta di ghiaie e ghiaie sabbiose prevalenti, con locali intercalazioni di sabbie e limi sabbiosi, attribuibili ad ambienti di conoide alluvionale. Il contatto di base è erosivo e discordante con AES (indifferenziato), AES3, CMZ, ATS e BDG, mentre il limite di tetto è costituito dalla superficie deposizionale relitta coincidente con la superficie topografica. Il subsintema di Villa Verucchio raggiunge lo spessore massimo di 30 m circa. Sulla base della quota delle superfici topografiche e del profilo di alterazione pedogenetica, sono state individuate e cartografate due unità informali (unità di Niviano e unità di Vignola), in parte a limiti inconformi, denominate unità morfo-pedostratigrafiche.

Nel sito in studio affiora l'**Unità di Niviano (AES7a).** Si tratta di depositi di conoide alluvionale costituiti da ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, grigio-nocciola, con una copertura fine composta, discontinua, dello spessore massimo di 2 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri. Il fronte di alterazione dell'unità è molto evoluto, raggiunge i 4-5 m di profondità e presenta la completa decarbonatazione degli orizzonti superficiali e profondi. Lo spessore massimo dell'unità è di poche decine di metri, mentre l'età è Pleistocene superiore.

Dal punto di vista geomorfologico il sito in esame ricade quindi in corrispondenza di un terrazzo, sopraelevato di pochi metri sul ripiano morfologico più recente del Torrente Nure, debolmente immergente verso NE. L'altezza della scarpata del terrazzo cresce risalendo lungo il Torrente fino a toccare i 20 m.

Nella Tavola SA13.1 "Fattibilità geologica" del Quadro Conoscitivo del PSC del Comune di Vigolzone <sup>2</sup> l'area in esame è individuata come "Classe 1 – Fattibilità geologica senza particolari limitazioni". In questa classe ricadono le aree per le quali gli studi non hanno individuato specifiche controindicazioni di carattere geologico all'urbanizzazione o alla modifica di destinazione d'uso delle particelle.

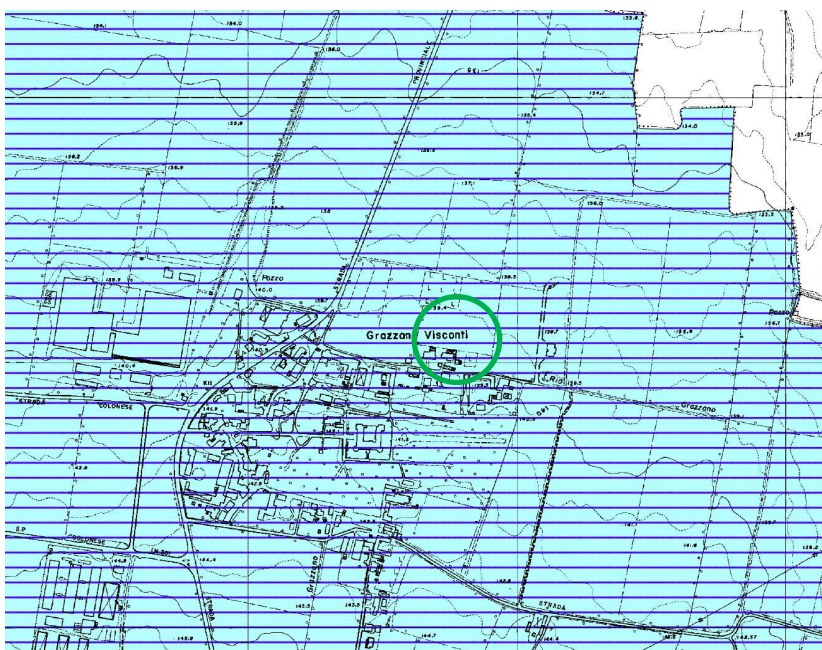


Figura 5. Estratto Tavola SA13.1 "Fattibilità geologica" del P.S.C. del Comune di Vigolzone. In verde l'area in studio.

Legenda			
Fattibilità geologica senza particolari limitazioni			
Simbolo	Classe di fattibilità	Considerazioni	Prescrizioni
	CLASSE 1 In questa classe ricadono le aree per le quali gli studi non hanno individuato specifiche controindicazioni di carattere geologico all'urbanizzazione o alla modifica di destinazione d'uso delle particelle.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Dispositi prevalentemente agricoli, a compattezza moderata con possibilità di essere usati per la coltivazione di fruttiferi e piante ornamentali.</li> <li>Possibile sviluppo futuro e difficoltà nel caso di conversione fino ad essere temporaneamente ripresi.</li> <li>Vulnerabilità del sottosuolo superficiale con maggiore o minore suscettibilità di alta ricerca.</li> <li>Valori elevati di sversamento superficiale.</li> <li>Suggerimento della tutela idrogeologica (art. 17 del D.Lgs. n. 152 del 1999).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Caratterizzazione geomorfologica del suolo di riferimento per opere di nuova edificazione (DM 11 del 1980 e s.m.s.).</li> <li>Individuazione di sottoposti sismici: segnalare per la loro individuazione, efficacia e dell'urbanizzazione.</li> <li>Tutte le costruzioni delle nuove urbanizzazioni sono in conformità con le fattibilità del caso di studio (art. 17 del D.Lgs. n. 152 del 1999).</li> <li>Verifica sismica delle opere con particolare attenzione alla segnalazione del saggio per essere tenute in conto.</li> <li>Verifica puntuale dello stato di fatto della rete idrica (se presente) in relazione al caso di studio.</li> </ul>
Fattibilità geologica in relazione al rischio sismico			
Simbolo	Classe di fattibilità	Considerazioni	Prescrizioni
	La classe comprende le aree nelle quali sono state accertate situazioni conformi ai requisiti di compatibilità con il caso di studio.	<ul style="list-style-type: none"> <li>Accertamento di dati sismici pertinentemente intesi da parte (1).</li> <li>Accertamento di frasi sismiche (entro 10).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Applicazione dei paragrafi 4.1, 4.2 dell'Allegato A alla Sezione del Documento Tecnico (art. 112, capoverso 1° e 2° del D.Lgs. n. 390/01, art. 46 del regolamento del D.Lgs. n. 390/01).</li> <li>Applicazione dei paragrafi 4.1, 4.2 dell'Allegato A alla Sezione del Documento Tecnico (art. 112, capoverso 1° e 2° del D.Lgs. n. 390/01, art. 46 del regolamento del D.Lgs. n. 390/01).</li> </ul>

#### 4.0 Idrogeologia

La struttura idrogeologica del sottosuolo è conosciuta grazie alle numerose perforazioni eseguite per la ricerca idrica e di idrocarburi.

Con il termine acquiferi si intendono dei corpi geologici (ghiaie e sabbie) che svolgono le funzioni di serbatoio e condotta per le acque sotterranee. Sono limitati inferiormente da livelli scarsamente impermeabili (acquitardi) o impermeabili (acquicludi).

<sup>2</sup> Emani E. (2010). Quadro Conoscitivo PSC del Comune di Vigolzone. Tavola SA13.1 "Fattibilità geologica".



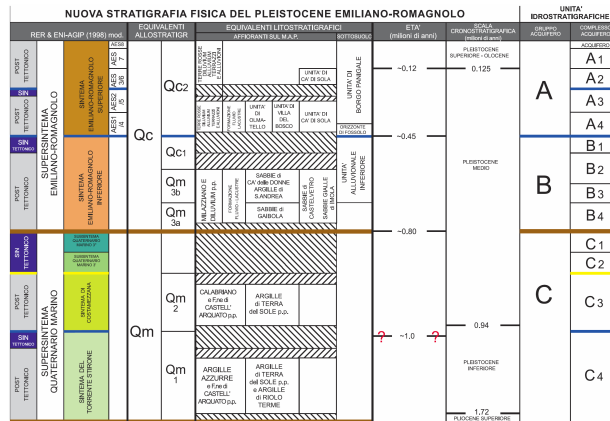


Figura 6. Schema stratigrafico e idrostratigrafico del Pleistocene Emiliano-Romagnolo <sup>3</sup>.

Per l'individuazione e la definizione degli acquiferi che caratterizzano il sottosuolo della pianura si è fatto riferimento al modello delle Unità Idrostratigrafico-Sequenziali <sup>4</sup>. Queste unità sono denominate informalmente Gruppi Acquiferi A (sedimenti afferenti all'AES), B (depositi riconducibili all'AEI) e C (depositi marini). Entro ogni Gruppo vengono poi distinte unità di rango gerarchico inferiore denominate Complessi Acquiferi. In questa porzione territoriale è subaffiorante l'unità Idrostratigrafica principale denominata Gruppo Acquifero A.

A scala comunale la Tavola SA05.1 "Acque sotterranee" del Quadro Conoscitivo del PSC del Comune di Vigolzone <sup>5</sup> individua delle unità locali (in base alla natura dei depositi) e delle sotto-unità locali (in base alla profondità del tetto delle ghiaie.) In questo ambito territoriale la falda assume comportamento da freatico a localmente confinato (in presenza di significative coperture fini) e risente dell'effetto drenante esercitato dal T. Nure quando il corso d'acqua si trova in condizioni di morbida. Le superfici di affioramento dei depositi ghiaiosi costituiscono l'area di ricarica dell'Unità Idrogeologica A.

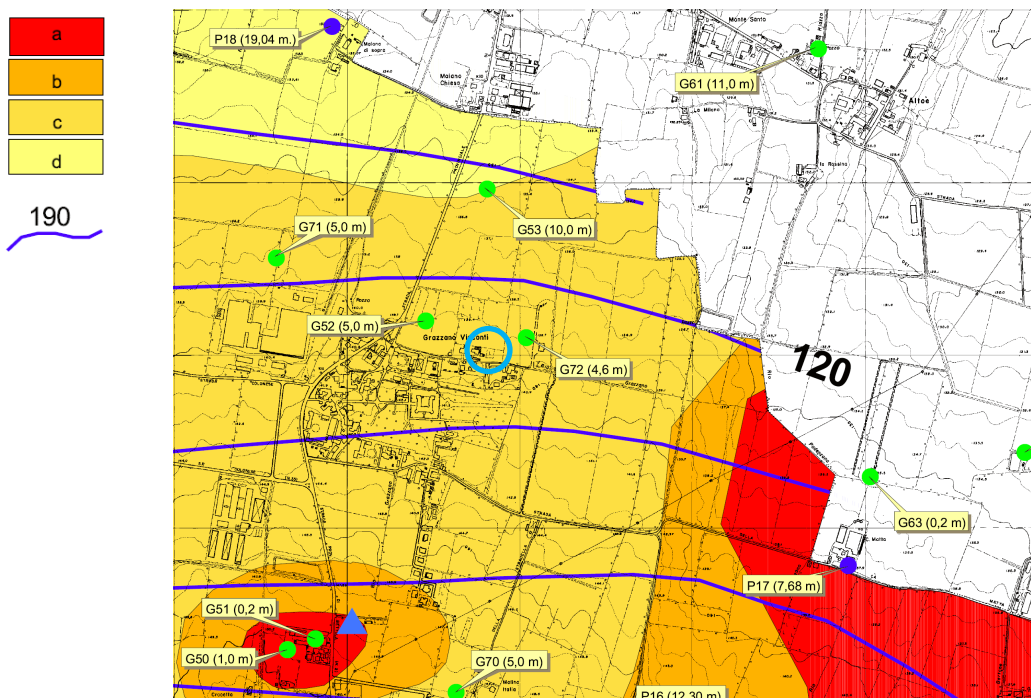


Figura 7. Estratto tavola SA05.1 "Acque sotterranee" del Quadro Conoscitivo del PSC del Comune di Vigolzone. In azzurro l'area in studio.

Il sito in studio ricade in corrispondenza dell'unità 1 costituita dai depositi ghiaiosi del T. Nure, la cui profondità decresce dalle zone marginali (sotto-unità "d") sino all'asse del torrente (sotto-unità "d"), in corrispondenza del quale affiorano direttamente al piano campagna. La carta individua per il sito in

<sup>3</sup> Di Dio G., Lasagna S., Martini A., Zanzucchi G. (2005). Note illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 Foglio 199 Parma Sud.

<sup>4</sup> Regione Emilia-Romagna, Eni Divisione AGIP (1998). Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. A cura di G. Di Dio, S.E.L.C.A. (Firenze).

<sup>5</sup> Emami E. (2010). Quadro Conoscitivo PSC del Comune di Vigolzone. Tavola SA05.1 "Acque sotterranee".





studio la sotto-unità "c" contraddistinta da una profondità del tetto compresa tra 4 e 10 m da p.c. (profondità del tetto di circa 5 m da p.c.).

#### 4.1. Vulnerabilità degli acquiferi

La vulnerabilità degli acquiferi fornisce una classificazione delle aree maggiormente esposte al rischio di inquinamento, e di quelle in cui risulta potenzialmente più deleteria la possibilità di propagazione di inquinanti provenienti dalla superficie entro i serbatoi idrici sotterranei.

Per valutare la vulnerabilità si prende in considerazione la litologia superficiale (le caratteristiche granulometriche sono strettamente connesse alla velocità di infiltrazione di un eventuale inquinante), la profondità del tetto dell'acquifero (la protezione operata dai terreni di copertura varia con il variare dello spessore di tale barriera naturale), le caratteristiche idrauliche delle falde (le falde in pressione, al contrario delle falde a pelo libero, si oppongono alla propagazione degli agenti inquinanti nel mezzo liquido). Mediante l'analisi incrociata di tali parametri si individuano differenti gradi di vulnerabilità.

Nella Tavola SA05.1 "Vulnerabilità degli acquiferi" del Quadro Conoscitivo del PSC del Comune di Vigolzone <sup>6</sup> l'area in esame è classificata con vulnerabilità da alta a elevata.





Classe	Vulnerabilità
	ELEVATA
	da ALTA a ELEVATA, localmente ridotta in caso di coperture fini di spessore metrico
	da BASSA a MODERATA, locali incrementi degli indici di vulnerabilità in caso di riduzione delle coperture fini
	da ELEVATA in corrispondenza delle aree d'infiltrazione a NULLA in assenza di strutture permeabili superficiali di connessione con il circuito acquifero sottostante







Figura 8. Estratto tavola SA05.9 "Vulnerabilità degli acquiferi" del Quadro Conoscitivo del PSC del Comune di Vigolzone. In azzurro l'area in studio.

Zone di protezione delle acque sotterranee

Aree di ricarica

Territorio di pedecollina-pianura

-  Settore di ricarica di tipo D - Alimentazione laterale subalvea
-  Settore di ricarica di tipo A - Ricarica diretta
-  Settore di ricarica di tipo B - Ricarica indiretta
-  Settore di ricarica di tipo C - Alimentazione dei settori di tipo A e B

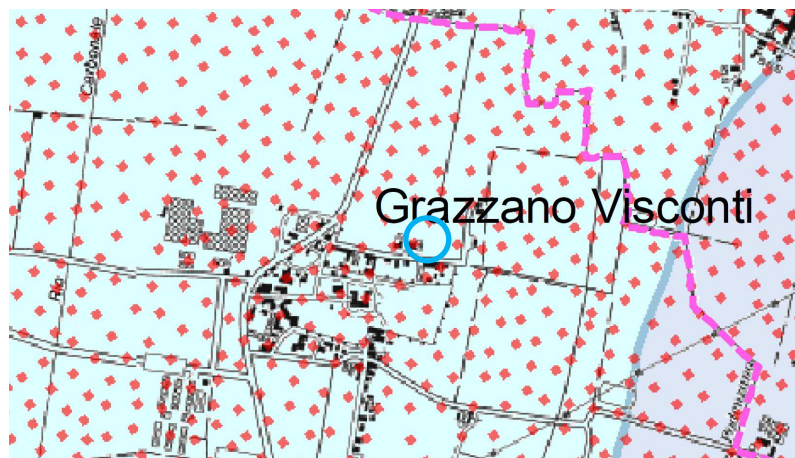


Figura 9. Estratto tavola A5.1 "Tutela delle risorse idriche" del vigente PTCP della Provincia di Piacenza. In azzurro l'area in studio.

Nella tavola A5.1 "Tutela delle risorse idriche" del vigente PTCP della Provincia di Piacenza <sup>7</sup> il sito è segnalato come area di ricarica di tipo B (ricarica indiretta) degli acquiferi.

<sup>6</sup> Emami E. (2010). Quadro Conoscitivo PSC del Comune di Vigolzone. Tavola SA09.1 "Vulnerabilità degli acquiferi".



## 4.2. Piezometria

Le prove penetrometriche eseguite a settembre 2020, spinte fino alla profondità massima di m 7,2 da p.c. non hanno evidenziato presenza di acqua.

La tavola SA05.1 "Acque sotterranee" del Quadro Conoscitivo del PSC del Comune di Vigolzone <sup>8</sup>, di cui alla precedentemente figura 7, segnala una superficie piezometrica collocata ad una quota di circa 122 m s.l.m., corrispondente ad una soggiacenza indicativa di 17 m dal piano campagna.

## 5.0 Compatibilità geologica, territoriale e normativa

Di seguito i risultati della consultazione dei principali strumenti urbanistici sovraordinati reperiti e non riferiti nei paragrafi precedenti.

### 5.1. Piano Strutturale Comunale (P.S.C.)

La tavola SA08b.1 "Pericolosità sismica locale – Carta di sintesi" del Quadro Conoscitivo del PSC del Comune di Vigolzone <sup>9</sup> prevede, per l'area in studio, un'analisi semplificata con un secondo livello di approfondimento.

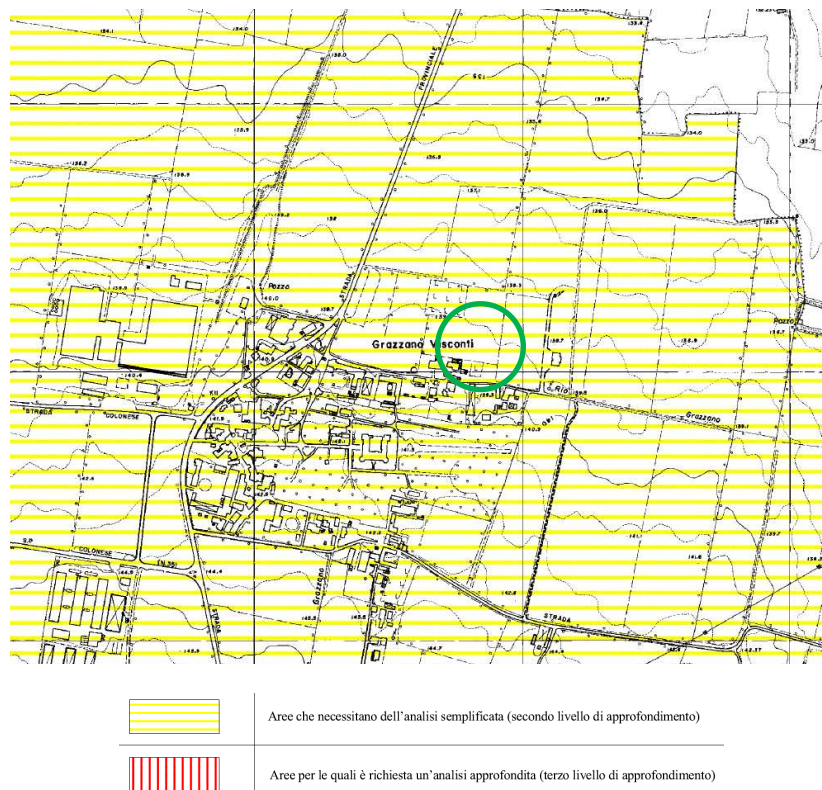


Figura 10. Estratto Tavola SA08b.1 "Pericolosità sismica locale – Carta di sintesi" del P.S.C. del Comune di Vigolzone. In verde l'area in studio.

La tavola 2a "Vincoli e Tutele Ambientali" del PSC del Comune di Vigolzone <sup>10</sup>, di cui di seguito si riporta un estratto, individua per il sito in studio il solo vincolo delle zone di tutela dei corpi idrici e sotterranei. Queste zone sono soggette alle disposizioni di cui all'art. 35 delle NTA del PTCP 2000 e 36bis delle NTA del PTCP 2007.

<sup>7</sup> Provincia di Piacenza (2007). PTCP vigente.

<sup>8</sup> Emani E. (2010). Quadro Conoscitivo PSC del Comune di Vigolzone. Tavola SA05.1 "Acque sotterranee".

<sup>9</sup> Emani E. (2010). Quadro Conoscitivo PSC del Comune di Vigolzone. Tavola SA08b.1 "Pericolosità sismica locale – Carta di sintesi".

<sup>10</sup> Galluppi U. & Orsi P. (2010). PSC del Comune di Vigolzone. Tavola 2a "Vincoli e Tutele Ambientali".

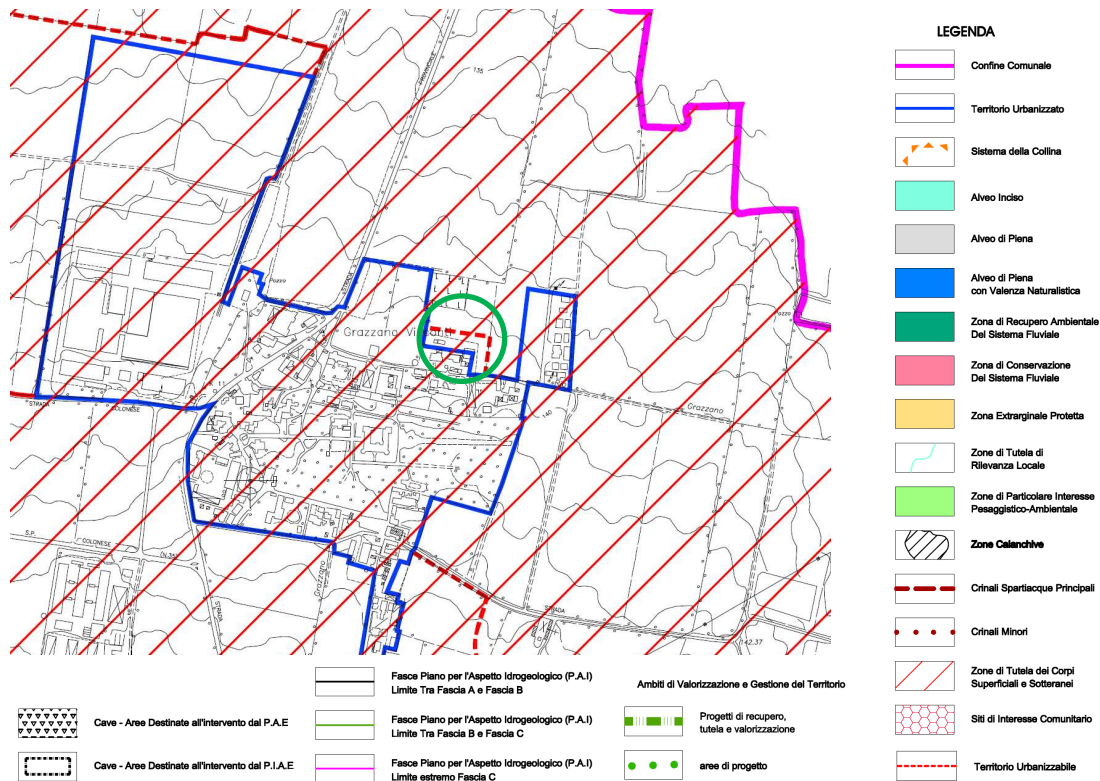


Figura 11. Estratto Tavola 2a "Vincoli e Tutele Ambientali" del P.S.C. del Comune di Vigolzone. In verde l'area in studio.

### 5.2. Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP)

La tavola A4.5 "Carta delle Aree Suscettibili di Effetti Locali" <sup>11</sup> del PTCP della Provincia di Piacenza evidenzia come l'area ricada nella classe D (detriti alluvionali ghiaiosi), per cui è previsto il secondo livello di approfondimento. Gli effetti attesi sono la sola amplificazione litologica.

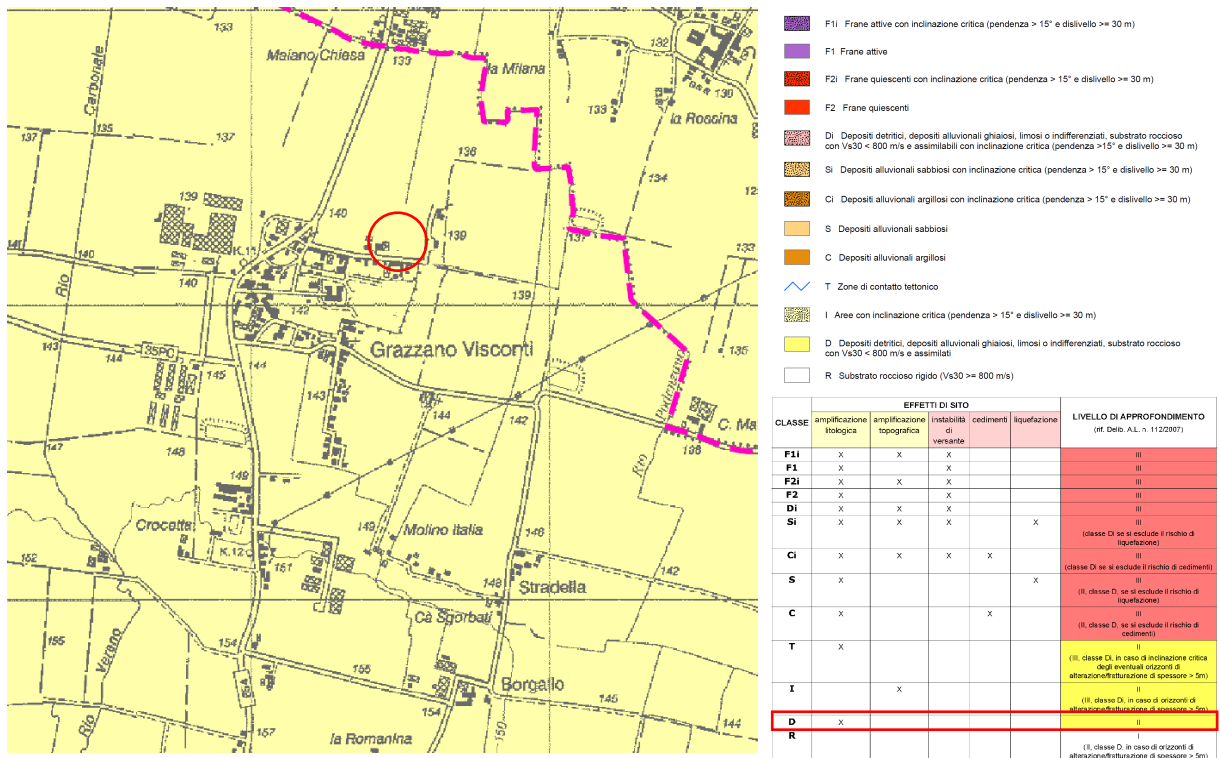


Figura 12. Estratto "Carta Provinciale delle Aree Suscettibili di Effetti Locali" con indicazione livelli di approfondimento richiesti. In rosso l'area in studio.

<sup>11</sup> Provincia di Piacenza (2011), "Carta Provinciale delle Aree Suscettibili di Effetti Locali", Cartografia di piano del PTCP





## 6.0 Indagini geognostiche

Per la caratterizzazione dell'area in studio sono state realizzate n.2 prove penetrometriche statiche (CPT), n.1 prova penetrometrica dinamica (DIN) ed un'acquisizione sismica MASW+HVSR, la cui ubicazione è riferita di seguito.

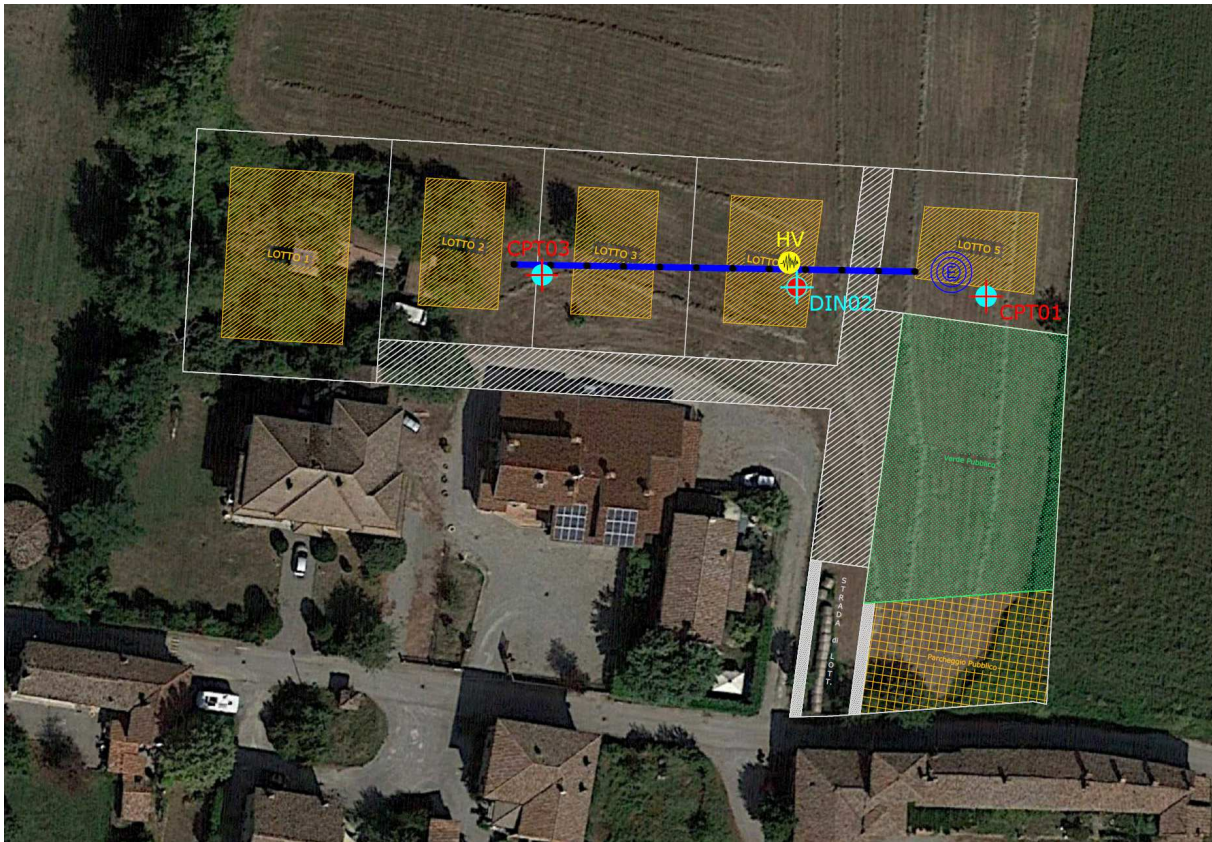


Figura 13. Ubicazione indagini geognostiche.

	CPT01	DIN02	CPT03	MASW	HVSR
Profondità (m da p.c.)	5,6	7,2	7,0	31,3	
Tetto ghiaie (m da p.c.)	5,0	6,6	6,8	5,2	

Figura 14. Indagini geognostiche.

### 6.1. Prove penetrometriche

Per determinare la stratigrafia e i parametri geotecnici del sottosuolo sono state eseguite:

- n.1 prova penetrometrica dinamica (DIN02), consistente nell'infissione nel terreno di un'asta dotata di un'apposita punta e nella registrazione dei colpi necessari ad ottenere una determinata penetrazione;
- n.2 prove penetrometriche statiche (CPT01 e CPT03), consistenti nell'infissione a pressione nel terreno di una punta conica misurando separatamente ma con continuità lo sforzo necessario per la penetrazione della punta. La spinta viene fornita da un sistema idraulico ed è trasmessa alla punta conica mediante una batteria d'aste cave nel cui interno scorrono delle aste più piccole. Lo strumento posto alla base della batteria, costituito da una punta e da un manicotto di attrito, misura rispettivamente, ad intervalli regolari, la resistenza alla punta "Rp" (LP) e la resistenza laterale+punta "RI+Rp" (LL).

Le prove sono state eseguite mediante un penetrometro Pagani TG 63-200, semovente, in grado di eseguire misurazioni ogni 20 cm.



Nelle figure successive sono riportati:

- i tabulati e i diagrammi penetrometrici ottenuti dall'elaborazione delle prove realizzate;
- la determinazione delle litologie dei livelli attraversati sulla base di carte classificative redatte per prove penetrometriche statiche.

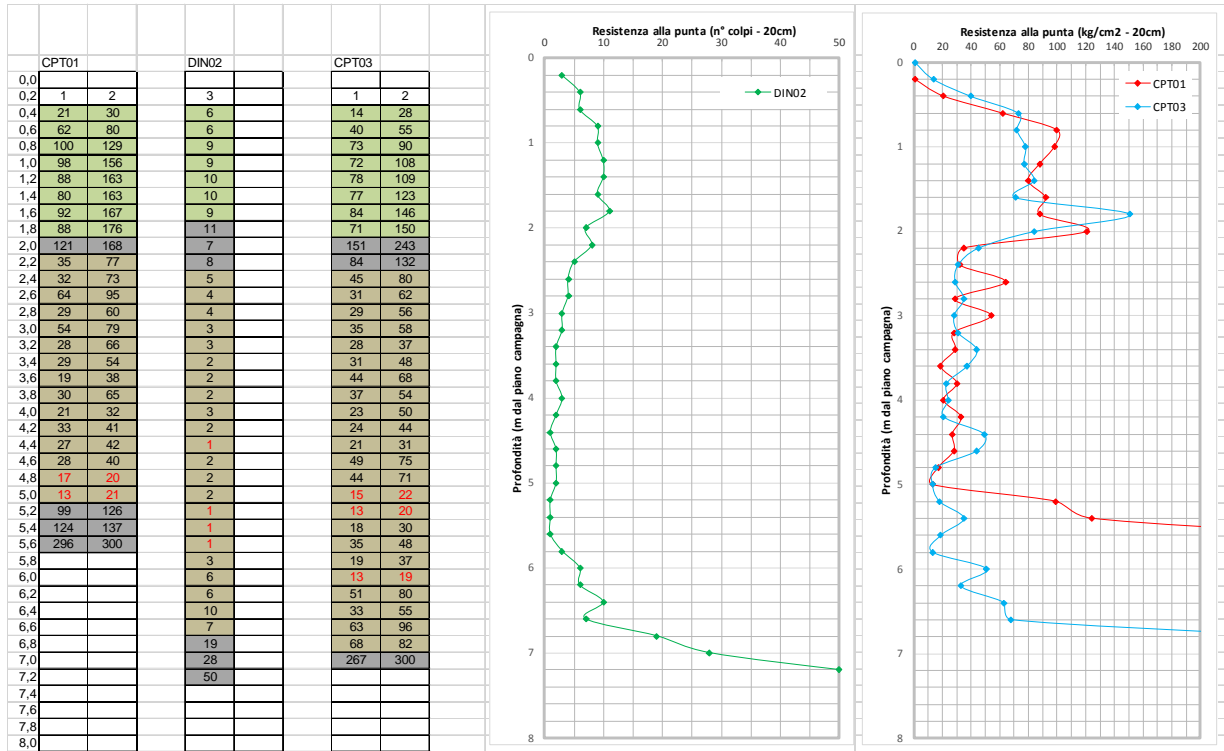
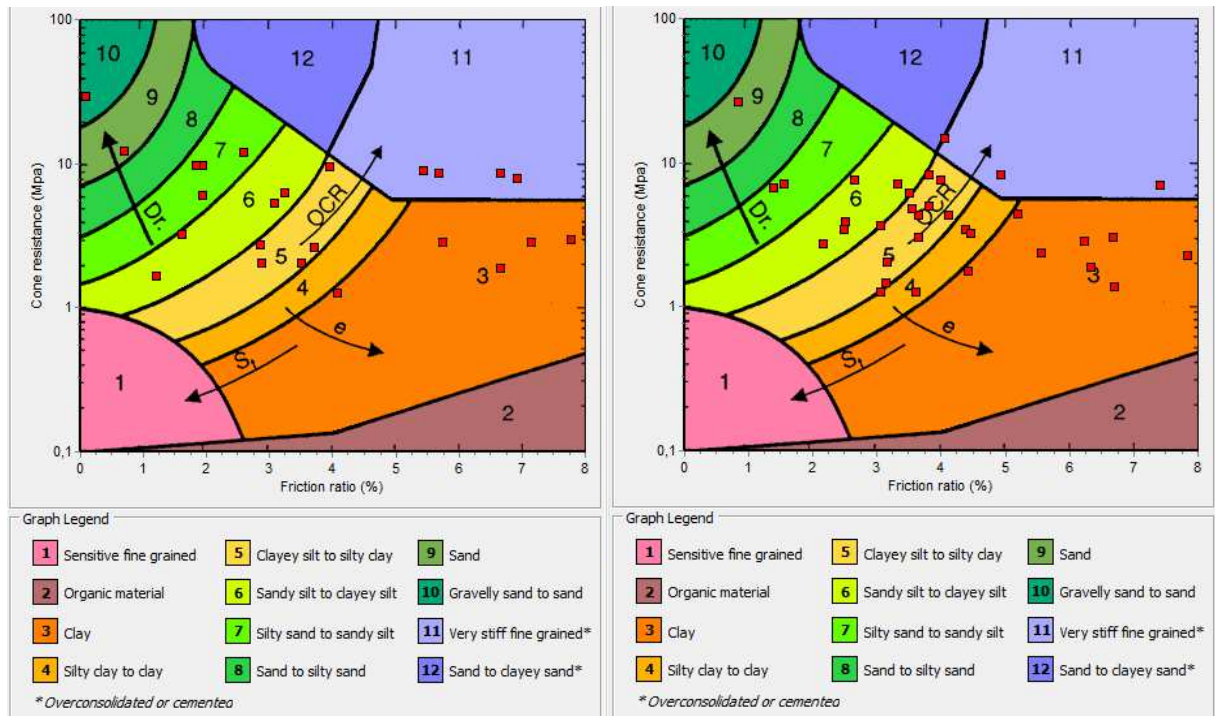


Figura 15. Diagramma N° colpi-Profondità e Resistenza alla punta-Profondità.

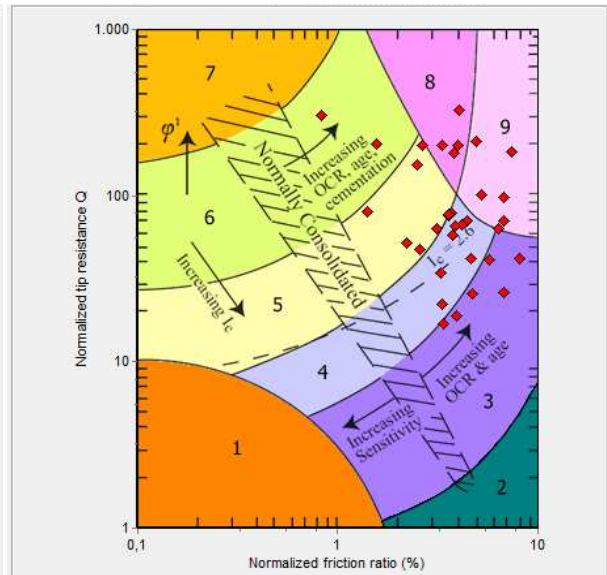
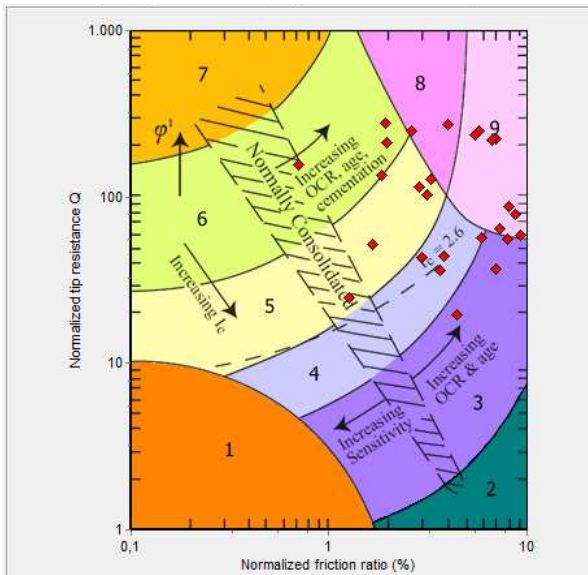


Carta Robertson per la classificazione dei terreni con prove CPT (1986)

Figura 16. CPT01

Figura 17. CPT03





**Carta SBTn di Robertson per la classificazione dei terreni con prove CPT da penetrometro elettrico (1990)**

1) terreno sensitivo a grana fine 2) terreno organico, torba 3) Argille. Da argille ad argille limose 4) Limi. Da limi argillosi ad argille limose 5) Sabbie. Da sabbie limose a limi sabbiosi 6) Sabbie. Da sabbie pulite a sabbie limose 7) Da sabbie ghiaiose a sabbie 8) Da sabbie molto dense a sabbie argillose fortemente sovraconsolidate o cementate 9) Materiali fini granulari molto duri, fortemente sovraconsolidati o cementati

Figura 18. CPT01

Figura 19. CPT03

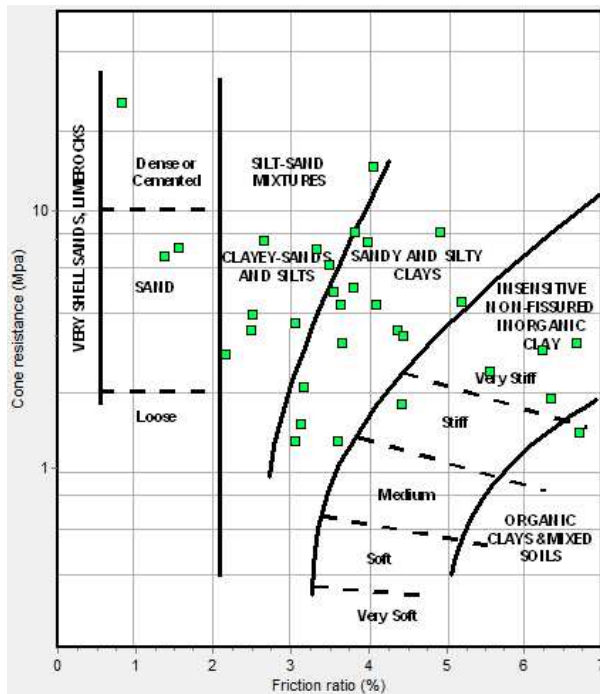


Figura 20. CPT01

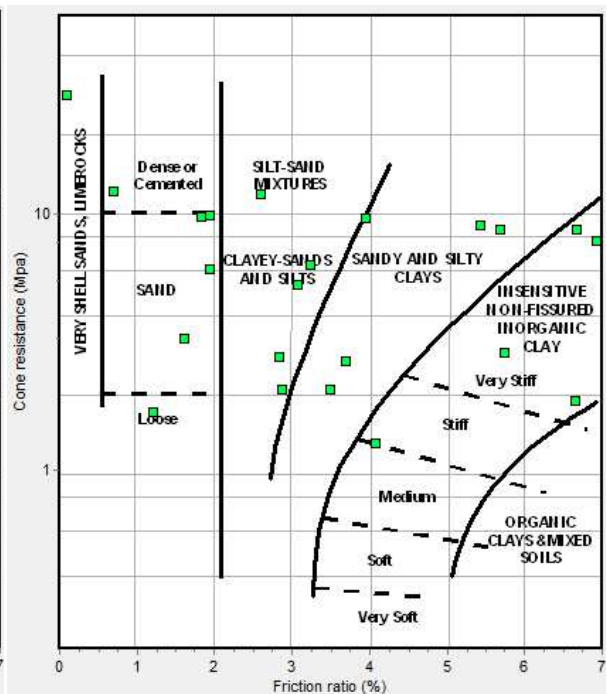


Figura 21. CPT03

**Diagramma di Shmertmann per la classificazione dei terreni con prove CPT attrezzate con punta Begemann (1969)**



### 6.2. Prova sismica MASW+HVSr

La tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) consiste nell'analisi della dispersione delle onde di superficie al fine di definire il profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio S (Park et al., 1999) <sup>12</sup>.

L'acquisizione MASW è stata eseguita tramite l'utilizzo di un sismografo 24 canali, modello Echo 2002, collegato a 12 geofoni orizzontali con frequenza propria di 4.5 Hz. È stato realizzato uno stendimento sismico lineare con lunghezza di 55 metri, spaziatura 5 m e tempo di acquisizione pari a 1 s.

Le misure HVSr permettono invece di analizzare il rapporto spettrale H/V (Horizontal to Vertical Spectral Ratio - HVSr) utile a definire eventuali risonanze di sito e, unitamente a misure di dispersione delle onde di superficie, a meglio vincolare il profilo  $V_s$  (Dal Moro, 2010 <sup>13</sup>; 2011 <sup>14</sup>). A causa della pesante non-univocità della soluzione una modellazione del solo HVSr senza quantitative informazioni sulle  $V_s$  da parte di misure MASW non risulta affidabile.

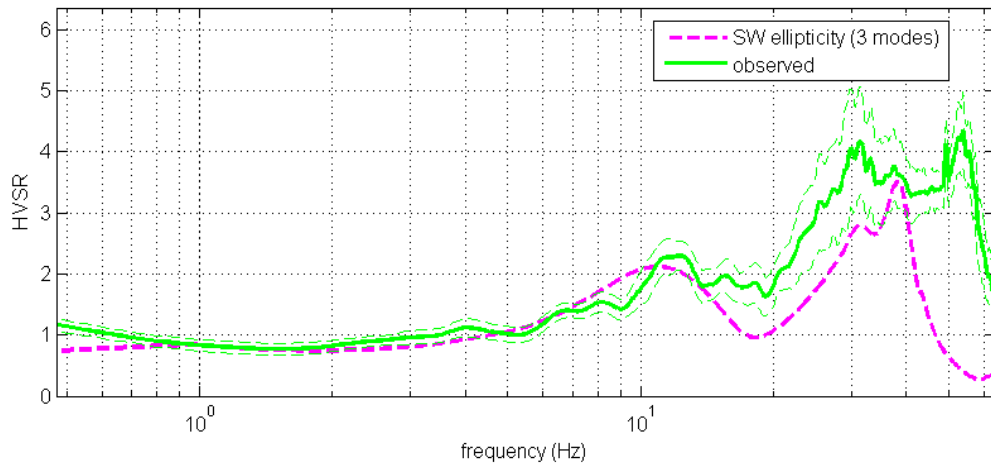
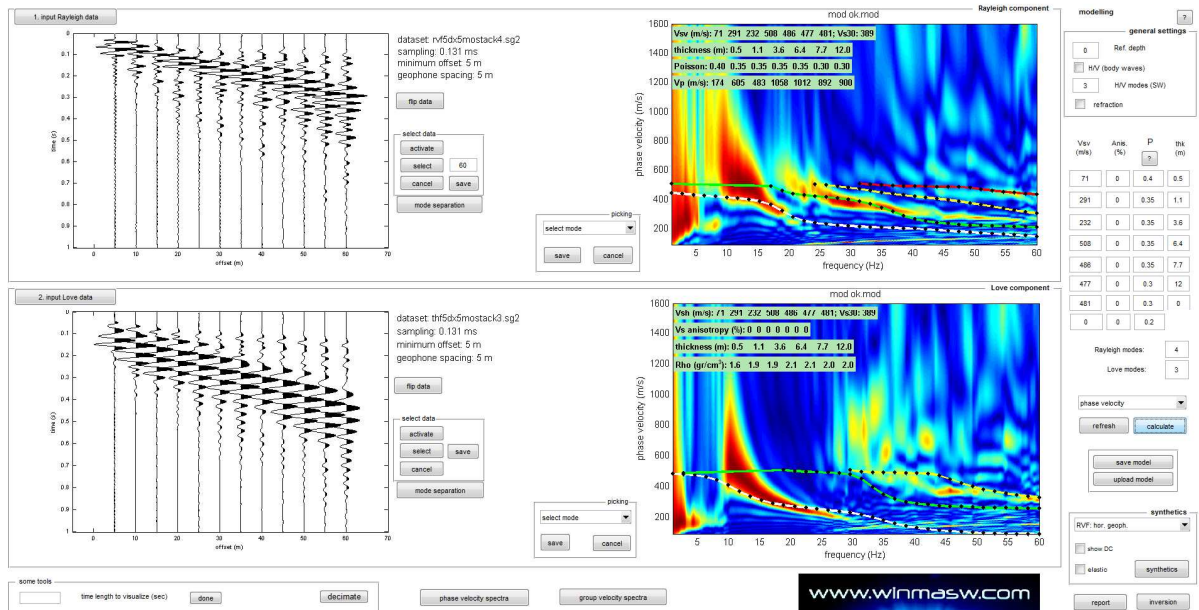


Figura 22. Risultati dell'analisi congiunta dei dati effettuata considerando la dispersione delle onde di superficie (onde di Rayleigh e onde di Love) e il rapporto spettrale H/V. Sopra sono riportati gli spettri di velocità con sovrapposte le curve di dispersione dei modi riconosciuti. In basso è riferito l'HVSr: in verde le misure effettuate ed in magenta la curva HVSr modellata tramite ellitticità delle onde di superficie (Lunedei & Albarello, 2009 <sup>15</sup>). Il modello è chiaramente lo stesso usato per la modellazione della dispersione delle onde di superficie.

<sup>12</sup> Park C. B., Miller R. D. & Xia J. (1999), "Multichannel analysis of surface waves", *Geophysics*, 64, 3: 800-808.

<sup>13</sup> Dal Moro G. (2010), "Insights on Surface-Wave Dispersion Curves and HVSr: Joint Analysis via Pareto Optimality", *J. Appl. Geophysics*, 72, 29-140.

<sup>14</sup> Dal Moro G. & Ferigo F. (2011), "Joint Analysis of Rayleigh - and Love-Wave Dispersion for Near-Surface Studies: Issues, Criteria and Improvements", *J. Appl. Geophysics*, in stampa.

<sup>15</sup> Lunedei E. and Albarello D.; 2009. On the seismic noise wavefield in a weakly dissipative layered Earth, *Geophys. J. Int.*, 177, 1001-1014.



L'analisi, svolta considerando congiuntamente le onde di superficie e il rapporto spettrale H/V, ha permesso di ricavare il seguente modello di sottosuolo.

	Spessore (m)	da (m)	a (m)	Vs
Sismostrato 1	0,5	0,0	0,5	71
Sismostrato 2	1,1	0,5	1,6	291
Sismostrato 3	3,6	1,6	5,2	232
Sismostrato 4	6,4	5,2	11,6	508
Sismostrato 5	7,7	11,6	19,3	486
Sismostrato 6	12,0	19,3	31,3	477
Sismostrato 7	-	31,3	-	481

Tabella 1. Sismostratigrafia determinata.

La classificazione del sottosuolo ai sensi delle NTC18 si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{s,eq}$  (in m/s), definita dall'espressione:

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

dove:

$h_i$ : spessore in metri dell' $i$ -esimo strato;

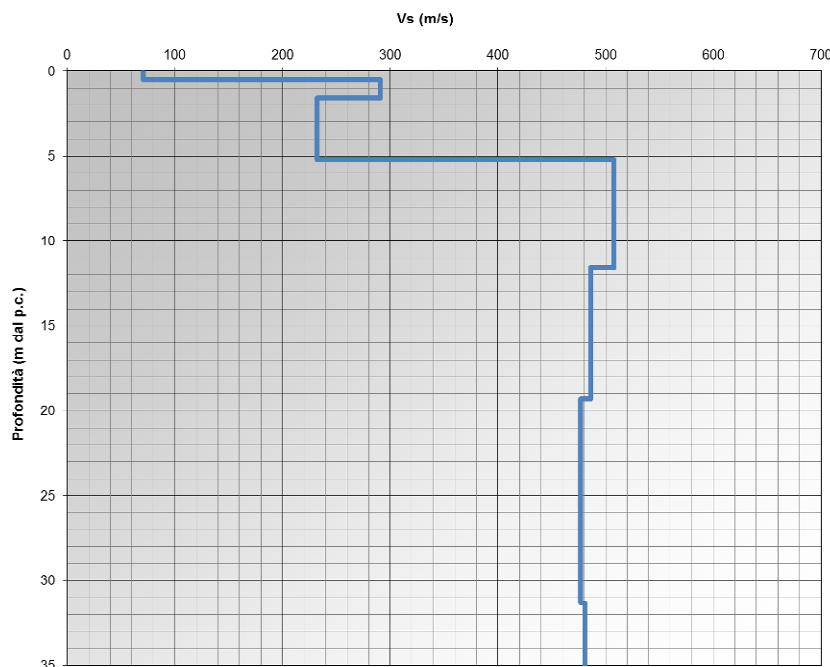
$V_{s,i}$ : velocità delle onde di taglio nell' $i$ -esimo strato;

$N$ : numero di strati;

$H$ : profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da  $V_S$  non inferiore a 800 m/s

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse. Per depositi con profondità  $H$  del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio  $V_{s,eq}$  è definita dal parametro  $V_{S,30}$ , ottenuto ponendo  $H=30$  m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

L'indagine sismica congiunta MASW+HVSr ha permesso di ricavare una  $V_{s,eq}$  ( $V_{S,30}$ ) al piano campagna pari a 389 m/s corrispondente ad una categoria di sottosuolo tipo B.



Profondità calcolo $V_{s,eq}$ (m dal p.c.)	$V_{s,eq}$ (m/s)
0,0	389
-0,5	421
-1,0	425
-2,0	436
-3,0	450
-4,0	466
-5,0	483

Tabella 2. Profilo di velocità e valori di  $V_{s,eq}$  in funzione della profondità del piano fondazionale.

L'acquisizione utile ad analizzare il rapporto spettrale H/V (HVSr) è stata eseguita utilizzando lo strumento SR04-GEOBOX, dotato di sensore a 2.0 Hz (Sara electronic instruments). Nella figura successiva sono riportati gli spettri d'ampiezza medi delle 3 componenti (NS, EW e verticale) ed i valori HVSr per la registrazione H/V eseguita.

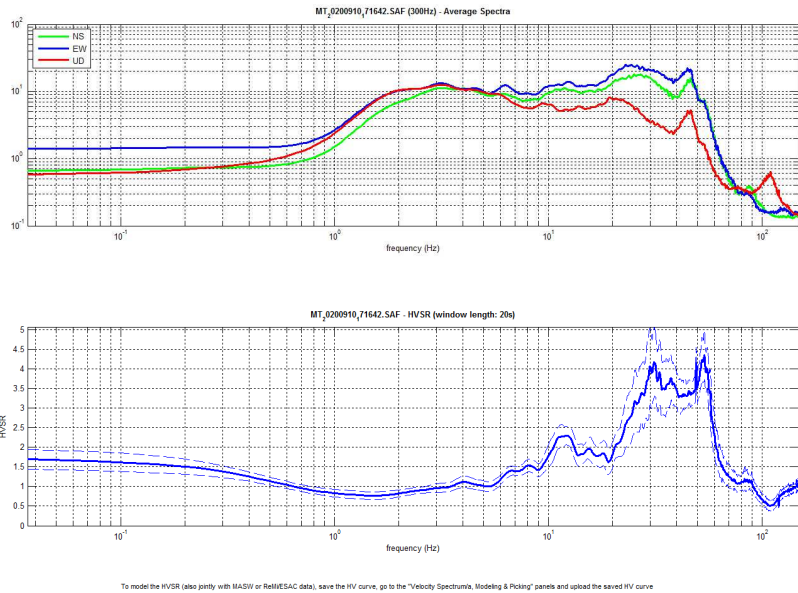
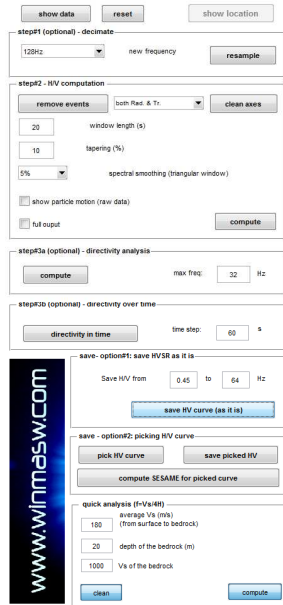


Figura 23. Spettro d'ampiezza medio delle 3 componenti (NS, EW e verticale) e valori di HVSR.

I criteri SESAME definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti. Il computo del picco a 12,2 Hz è riportato nel seguente box. Sono soddisfatti 3 criteri su 6 e pertanto a tale frequenza può escludersi il verificarsi di eventuali fenomeni di risonanza.

Peak frequency (Hz): 12.2 (±3.0)

Peak HVSR value: 2.3 (±0.2)

==== Criteria for a reliable H/V curve =====

- #1.  $[f_0 > 10/Lw]$ :  $12.2 > 0.5$  (OK)
- #2.  $[nc > 200]$ :  $28787 > 200$  (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 (at least 5 should be fulfilled) =====

- #1.  $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]$ : yes, at frequency 6.0Hz (OK)
- #2.  $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$ : (NO)
- #3.  $[A_0 > 2]$ :  $2.3 > 2$  (OK)
- #4.  $[\text{fpeak}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$ : (NO)
- #5.  $[\sigma_{\text{f}} < \epsilon(f_0)]$ :  $2.959 > 0.610$  (NO)
- #6.  $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$ :  $0.234 < 1.58$  (OK)

### 7.0 Stratigrafia e caratterizzazione geotecnica

Le verticali indagate hanno consentito di verificare una certa omogeneità del sottosuolo. Sulla base dell'elaborazione delle prove penetrometriche è stato possibile riconoscere, approfondendosi, i seguenti tre livelli:

- **livello AL1:** argille e limi, molto duri, con resistenza alla punta  $Q_c$  superiore a  $50 \text{ kg/cm}^2$ , spessore pari a 1,6-1,8 m. Si tratta di materiali a comportamento coesivo con un'alta frazione di argilla. L'elevato valore misurato è da ricondurre al periodo in cui sono state eseguite le prove, mese di settembre 2020, dopo un periodo particolarmente siccitoso. L'intero livello rappresenta la fascia di sottosuolo interessata dal fenomeno di variazione del contenuto d'acqua e, quindi dei conseguenti effetti di ritiro e rigonfiamento dei minerali argillosi, nota come "Active Zone";
- **livello AL2:** argille e limi, con resistenza alla punta  $Q_c$  quasi sempre inferiore a  $50 \text{ kg/cm}^2$ , spessore variabile da 3 m nella prova CPT01 a 4,6 m nella CPT03. Il passaggio dal livello AL1 al livello AL2 è marcato da un sottile livello ghiaioso e sabbioso con spessore massimo di 60 cm. All'interno di questo livello, oltre i 4 m di profondità, si rinvengono livelli poco consistenti e con caratteristiche decisamente scadenti;
- **livello SG:** sabbia e ghiaia, rinvenibile alla profondità di 5,0 m nella prova CPT01 ed alla profondità di 6,6-6,8 m nelle prove DIN02 e CPT03.



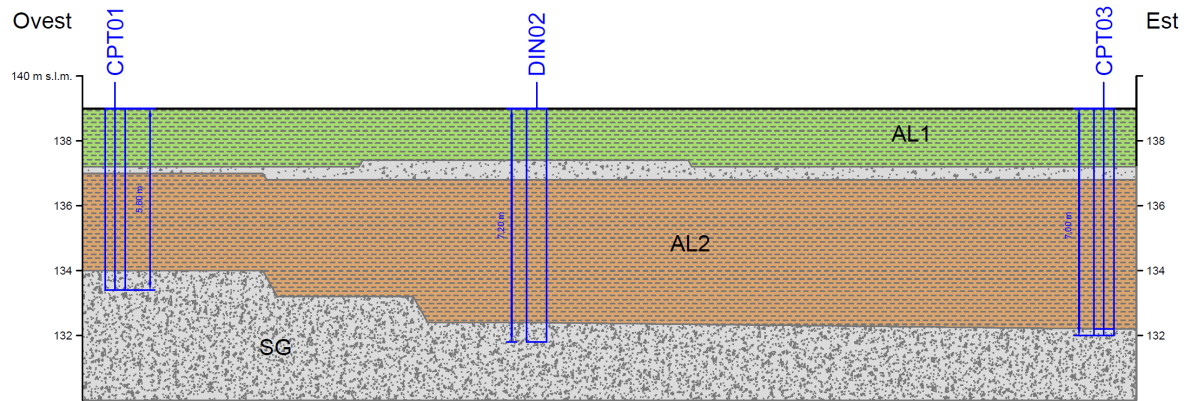


Figura 24. Sezione geologica interpretativa.

Di seguito si riferiscono le risultanze delle elaborazioni per la determinazione dei parametri geotecnici caratteristici. Sono state eseguite sul passo strumentale di 20 cm utilizzando numerosi correlazioni.

### 7.1. Coesione non drenata

La coesione non drenata è stata calcolata utilizzando le seguenti correlazioni:

- Lunne & Eide; Sunda Relazione Sperimentale; Lunne T.-Kleven A. 1981; Kjekstad. 1978 - Lunne, Robertson and Powell 1977; Lunne, Robertson and Powell 1977; Terzaghi (prove penetrometriche statiche);
- Terzaghi-Peck; Sanglerat; Terzaghi-Peck (1948); U.S.D.M.S.M; Schmertmann 1975; Fletcher (1965) Argilla di Chicago; Houston (1960); Shioi - Fukui 1982; Begemann; De Beer (prove penetrometrica dinamica).

	Minimo (Kn/m <sup>2</sup> )	5° Percentile (Kn/m <sup>2</sup> )	Bayesiano (Kn/m <sup>2</sup> )	n° dati elaborati
AL1	<b>49</b>	<b>88</b>	236	166
AL2	<b>35</b>	<b>44</b>	104	398

Tabella 3. Valori della coesione non drenata (Kn/m<sup>2</sup>) da elaborazione penetrometriche.

### 7.2. Modulo edometrico

Il Modulo edometrico è stato calcolato utilizzando i dati delle prove penetrometriche statiche sulla base delle seguenti correlazioni: Mitchell & Gardner (1975); Metodo generale del modulo edometrico; Buismann; Buismann Sanglerat.

	Minimo (MN/m <sup>2</sup> )	5° Percentile (MN/m <sup>2</sup> )	Bayesiano (MN/m <sup>2</sup> )	n° dati elaborati
LA1	<b>4,1</b>	<b>5,3</b>	12,9	64
LA2	<b>4,0</b>	<b>4,5</b>	7,1	152

Tabella 4. Valori del modulo edometrico (MN/m<sup>2</sup>) da elaborazione CPT.

### 7.3. Modulo elastico

Il Modulo elastico è stato calcolato sulla base delle seguenti correlazioni:

- Schmertmann; Robertson & Campanella (1983); ISOPT-1 1988 Ey(50) (prove penetrometriche statiche);
- Terzaghi, Schmertmann (1978) (Sabbie), Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa), D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia), Bowles (1982) Sabbia Media (prova penetrometrica dinamica).

	Minimo (MN/m <sup>2</sup> )	5° Percentile (MN/m <sup>2</sup> )	Bayesiano (MN/m <sup>2</sup> )	n° dati elaborati
AL1	<b>2,8</b>	<b>8,0</b>	18,7	83
AL2	<b>2,4</b>	<b>3,4</b>	9,8	224
SG	<b>16,5</b>	<b>18,3</b>	35,6	51

Tabella 5. Valori del modulo elastico (MN/m<sup>2</sup>) da elaborazione prove penetrometriche.





#### 7.4. Angolo di attrito

L'angolo di resistenza al taglio è funzione di molti fattori del terreno, tra cui la composizione granulometrica, l'indice dei vuoti, il livello tensionale e deformativo, la tessitura. La resistenza al taglio di un materiale si determina in base al criterio di rottura di Mohr-Coulomb:

$$\tau = c' + \sigma' \cdot \tan \varphi'$$

dove  $\tau$  rappresenta la tensione tangenziale,  $c'$  la coesione,  $\sigma'$  la tensione normale e  $\varphi'$  l'angolo di attrito.

Per determinare l'angolo di resistenza al taglio dalla prova penetrometrica dinamica si è fatto ricorso alle seguenti correlazioni: Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956, Meyerhof (1956), Sowers (1961), Malcev (1964), Meyerhof (1965), Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION), Japanese National Railway, De Mello, Owasaki & Iwasaki.

	Minimo (°)	5° Percentile (°)	Bayesiano (°)	n° dati elaborati
AL1	<b>25</b>	<b>28</b>	33	63
AL2	<b>21</b>	<b>22</b>	27	198
SG	26	<b>30</b>	<b>37</b>	53

Tabella 6. Valori dell'angolo di attrito (°) da elaborazione DINT.

La presenza di litologia fini permette di ipotizzare una "leggera" coesione (5-10 KN/m<sup>2</sup>) per il livelli AL1 e AL2.

#### 7.5. Valori caratteristici

Di seguito la caratterizzazione dei livelli riconosciuti. Da bibliografia il valore medio della massa volumica.

Unità geotecnica	Comportamento prevalente	Massa volumica $\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	Coesione non drenata $c_u$ (KN/m <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico $M_{ed}$ (MN/m <sup>2</sup> )	Modulo Elastico E (MN/m <sup>2</sup> )	Parametri efficaci	
						Angolo d'attrito $\varphi'$ (°)	Coesione $c'$ (KN/m <sup>2</sup> )
<b>AL1</b>	Coesivo	18-20	49-88	4,1-5,3	2,8-8,0	25-28	5-10
<b>AL2</b>	Coesivo	18-20	35-44	4,0-4,5	2,4-3,4	21-22	5-10
<b>SG</b>	Granulare	18-20	-	-	16,5-18,3	30-37	-

Tabella 7. Tabella riassuntiva parametri geotecnici.

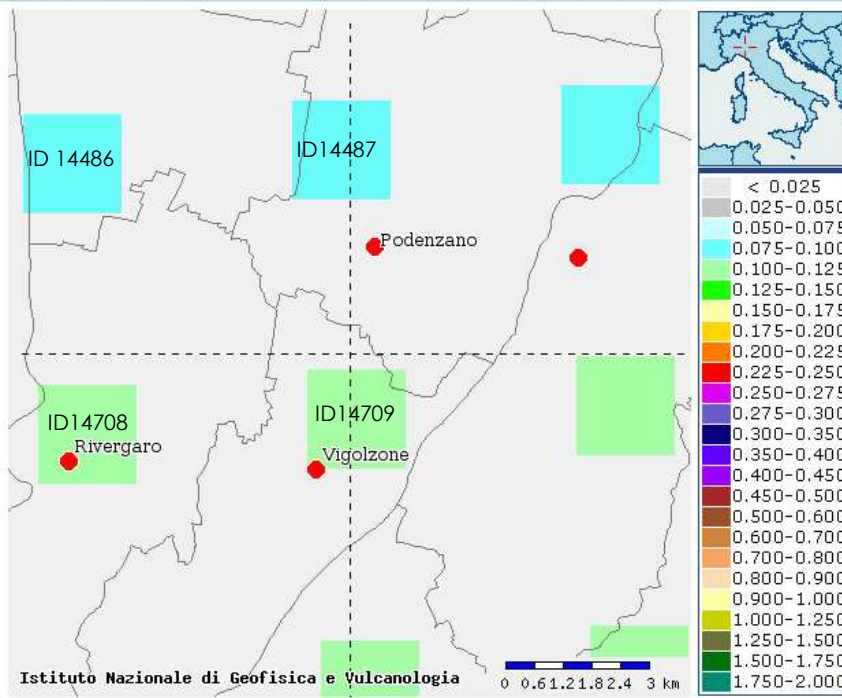


8.0 Pericolosità sismica

8.1. Zonazione sismica (ZS)

Con il termine «zonazione sismica» si intende convenzionalmente l'operazione di suddivisione del territorio nazionale in zone sismiche a differente livello di pericolosità sismica.

Mappe interattive di pericolosità



La classificazione sismica dei Comuni stabilita al punto 3 dell'Allegato 1 dell'Ordinanza n. 3274/2003 fa rientrare il Comune di Vigolzone in Zona 3. L'O.P.C.M. 3519 del 28 Aprile 2006 suddivide altresì le zone 1, 2 e 3 in sottozone caratterizzate da valori di  $a_g$  con intervalli non minori di 0.025g. La mappa di pericolosità sismica, consultabile interamente all'indirizzo <http://zonesismiche.mi.ingv.it>, assegna al sito un valore di  $a(g)$  compreso tra 0,100 e 0,125g.

La Figura 25 qui a lato riporta un estratto della mappa interattiva di pericolosità sismica; la disaggregazione del valore di  $a(g)$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni in corrispondenza dei punti del reticolo con ID14486, ID14487, ID14708 e ID14709 ha permesso di ricavare un valore di magnitudo  $M$  pari a 4,820 e 4,850.

Selezione mappa

Visualizza punti della griglia riferiti a:

Ridisegna mappa

Parametro dello scuotimento:  $a(g)$

Probabilità in 50 anni: 10%

Percentile: 50

Periodo spettrale (sec):

Figura 25. Estratto mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale con punti del reticolo della rete accelerometrica (da INGV).

Di seguito i principali eventi sismici rintracciati interrogando il data-base CPTI2004<sup>16</sup> e ISIde<sup>17</sup>.

Interrogazione effettuata sui seguenti parametri:

Area circolare con centro C (44,936, 9.676) e raggio 50 km a partire dal 217/01/01 fino al 2002/12/31 con valore  $M_{aw}$  tra 4.5 e 7.41

N	Tr	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se	AE	Rt	Np	Imx	Io	TI	Lat	Lon	TL	Maw	Daw	TW	Mas	Das	TS	Msp	Dsp	ZS9	TZ	Ncft	Nnt	Ncpt
59	DI	1276	7	28	18	30		Italia settent.	CFTI	10	55	60	M	45.08	9.55	A	5.11	0.12		4.71	0.18		4.91	0.17	911	G	119	516	59
74	DI	1303	3	22	23			PIACENZA	DOM	1	55	55		45.052	9.693	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	911	G		517	74
113	DI	1383	7	24	20			PARMA	DOM	7	55	55		45.058	9.915	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	911	A		597	113
144	DI	1438	6	11	20			Parmense	CFTI	12	80	80		44.85	10.23	A	5.62	0.17		5.47	0.26		5.61	0.26	913	G	181	599	144
221	DI	1522	10	5	8			CREMONA	DOM	7	55	55		45.136	10.024	A	4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19			2011	221	
511	DI	1738	11	5	30			PARMA	DOM	10	70	70		44.906	10.028	A	5.40	0.20		5.15	0.30		5.31	0.28	913	G		612	511
647	DI	1786	4	7				PIACENZA	DOM	8	70	65		45.298	9.595	A	5.31	0.16		5.01	0.24		5.18	0.22	911	A		522	647
780	DI	1829	9	6	19	30		CREMONA	DOM	2	65	65		45.136	10.024	A	5.03	0.33		4.60	0.49		4.80	0.45			2034	780	
1103	DI	1885	2	26	20	48		SCANDIANO	DOM	78	60	60		45.208	10.169	A	5.22	0.10		4.88	0.15		5.06	0.14			622	1103	
1445	CP	1906	11	10	17	55		COMPIANO	POS85			60		44.5	9.633		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	915	G		559	1445
1523	CP	1910	1	23	1	50		PONTE DELL'OLIO	POS85			55		44.9	9.633		4.63	0.13		4.00	0.20		4.25	0.19	911	G		525	1523
1664	CP	1918	1	13	12			LODI	POS85			45		45.333	9.5		4.86	0.14		4.34	0.21		4.56	0.19	911	A		2086	1664
1796	DI	1927	10	28	21	49		BEDONIA	DOM	51	60	60		44.52	9.59	A	5.13	0.07		4.75	0.11		4.94	0.10	915	G		568	1796
1809	DI	1928	7	20	19	53		ALTA VAL DI TARO	DOM	20	60	60		44.508	9.587	A	4.56	0.15		3.90	0.22		4.16	0.20	915	G		569	1809
1960	CP	1940	5	1	9	36	5	NOCETO	POS85			50		44.8	10.183		4.89	0.14		4.39	0.21		4.61	0.19	913	G		634	1960
1995	DI	1945	6	29	15	37	13	Valle dello Staffora	CFTI	31	75	75		44.83	9.13	A	5.15	0.11		4.78	0.17		4.97	0.16	911	G	509	527	1995
1996	DI	1945	12	15	5	27		VARZI	DOM	12	60	55		44.831	9.117	A	4.78	0.11		4.23	0.16		4.46	0.15	911	G		528	1996
1998	CP	1946	2	18	23			PIONE	POS85			60		44.6	9.6		4.83	0.26		4.30	0.39		4.53	0.36	915	G		574	1998
2054	DI	1951	5	15	22	54		LODIGIANO	DOM	126	60	65		45.254	9.55	A	5.24	0.07		4.91	0.11		5.09	0.10	911	A		2113	2054
2322	CP	1973	6	5	13	48	12	MAGGIORASCA	POS85			40		44.517	9.567		4.58	0.14		3.92	0.21		4.17	0.19	915	G		580	2322
2339	CP	1974	4	15	21	49	12	PIONE	POS85			55		44.65	9.683		4.64	0.12		4.01	0.18		4.26	0.17	915	G		594	2339
2365	CP	1976	8	22	2	49	13	MAGGIORASCA	POS85			55		44.567	9.5		4.63	0.18		4.00	0.27		4.25	0.25	911	G		531	2365
2417	CP	1980	12	23	12	1	6	VERNASCA	POS85					44.817	9.85		5.03	0.18		4.60	0.27		4.80	0.25	913	G		643	2417

Numero di record estratti: 23

Figura 26. Risultato dell'interrogazione del data-base CPTI04 (INGV, <https://emidius.mi.ingv.it/CPTI04>). Terremoti con Magnitudo ( $M_{aw}$ ) > 4.5 ed epicentro compreso in un raggio di 50 Km dal sito in studio.

<sup>16</sup> Gruppo di lavoro CPTI (2004), Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), INGV, Bologna. DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI04.  
<sup>17</sup> ISIde Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological Instrumental and parametric database (<http://iside.rm.ingv.it>).

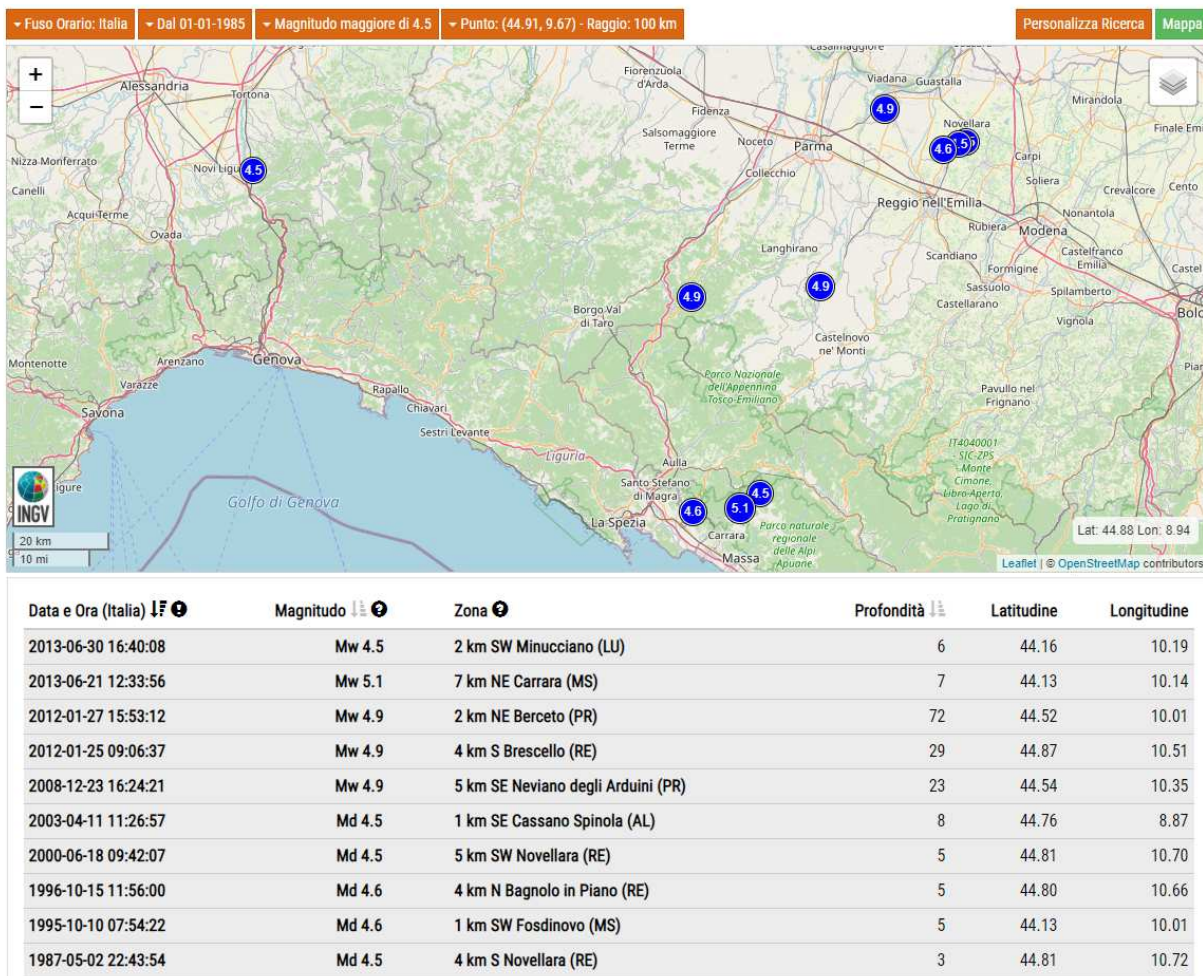


Figura 27. Risultato dell'interrogazione del data-base ISiDe (Working Group INGV, Italian Seismological Instrumental and parametric database: <http://iside.rm.ingv.it>). Terremoti con Magnitudo locale > 4.5 ed epicentro compreso in un raggio di 100 Km dal sito in studio.

## 8.2. Risposta sismica locale – Approfondimento di secondo livello – Delibera dell'Assemblea Legislativa 112/2007 e Delibera della Giunta Regionale 2193/2015

Per il sito in studio, sia la tavola SA08b.1 "Pericolosità sismica locale – Carta di sintesi" del Quadro Conoscitivo del PSC del Comune di Vigolzone<sup>18</sup> che la tavola A4.5 "Carta delle Aree Suscettibili di Effetti Locali"<sup>19</sup> del PTCP della Provincia di Piacenza, prevedono un'analisi semplificata con un secondo livello di approfondimento.

Nell'allegato A4 della Deliberazione dell'Assemblea Legislativa 112/2007 sono definiti i valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo espressi in frazione dell'accelerazione di gravità  $g$  per ogni Comune della Regione Emilia-Romagna. Al Comune di Vigolzone è assegnato un valore di  $a(g)$  per una probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli molto rigidi ( $Vs_{30} > 800$  m/s; cat .A) pari a 0,103g.

Per calcolare i Fattori di Amplificazione (FA) richiesti nell'analisi semplificata sono state utilizzate le risultanze delle indagini geofisiche, che hanno permesso di ricavare una  $Vs_{30}$  pari a 389 m/s.

I FA sono relativi a due parametri rappresentativi dello scuotimento sismico: l'accelerazione di picco orizzontale (PGA) e l'intensità spettrale (SI).

La Deliberazione della Giunta Regionale 2193/2015 propone l'utilizzo di una serie di tabelle di carattere empirico che mettono in relazione i valori di  $Vs_{30}$  con i fattori di amplificazione. Le varie tabelle rispecchiano situazioni geologiche tipiche del territorio regionale, tra le quali occorre scegliere quella che meglio corrisponde alle caratteristiche dell'area di studio.

Per l'ambito Pianura Padana e Costa Adriatica sono individuate le tipologie PIANURA 1, PIANURA 2 e PIANURA 3.

<sup>18</sup>Emani E. (2010). Quadro Conoscitivo PSC del Comune di Vigolzone. Tavola SA08b.1 "Pericolosità sismica locale – Carta di sintesi".

<sup>19</sup>Provincia di Piacenza (2011). "Carta Provinciale delle Aree Suscettibili di Effetti Locali", Cartografia di piano del PTCP.





Nell'Allegato B1.5 (T) "Dati utili per la valutazione della pericolosità sismica locale. Settore di pianura"<sup>20</sup> del QC del PTCP della Provincia di Piacenza, si distingue tra aree con profondità del substrato marino inferiore e superiore a 100 m dal piano campagna. Grazzano Visconti ricade nella porzione territoriale con substrato più profondo.

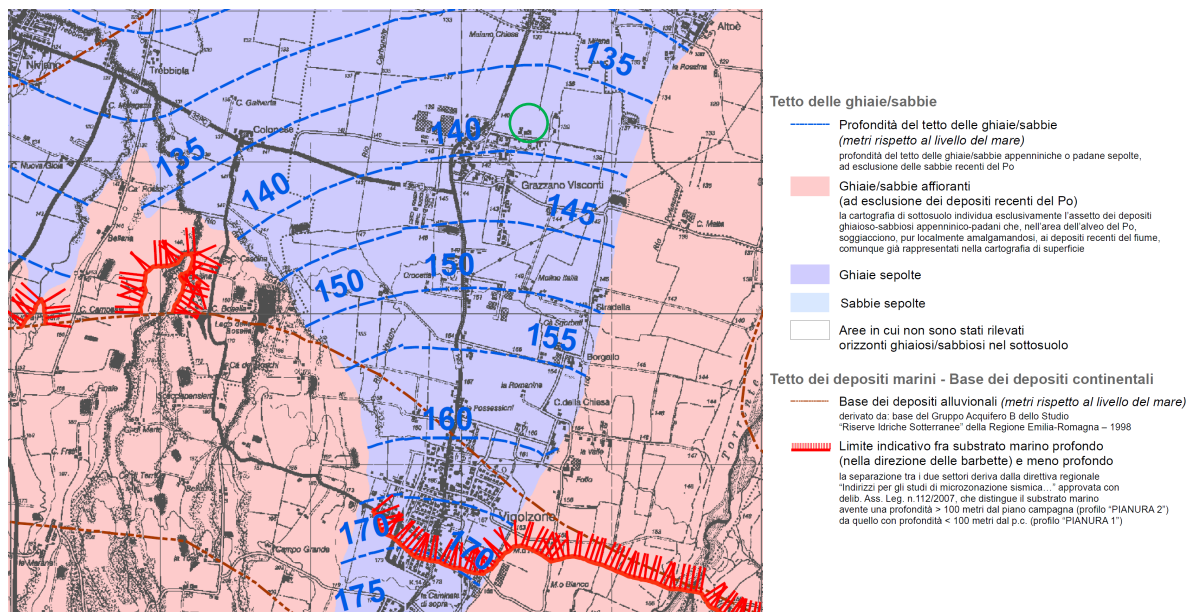


Figura 28. Estratto "Dati utili per la valutazione della pericolosità sismica locale. Settore di pianura" QC del PTCP della Provincia di Piacenza. In verde l'area in studio.

La zona in studio è pertanto ascrivibile alla tipologia PIANURA 2, un settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di una importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100 m da p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150 m da p.c., per il quale devono essere utilizzate le seguenti tabelle.

$V_{s30}(m/s) \rightarrow$	150	200	250	300	350	400
F.A. PGA	1.7	1.7	1.7	1.6	1.5	1.5
F.A. SI1	2.0	2.0	1.9	1.8	1.7	1.6
F.A. SI2	3.1	3.0	2.7	2.4	2.1	2.0
F.A. SI3	3.6	3.3	2.9	2.5	2.2	2.0

Figura 29. Tabella dei Fattori di Amplificazione PGA, SI1, SI2 e SI3.

Dall'abaco si ricavano i seguenti valori:

F.A.	PGA		1,5
F.A.	SI1	$0.1s \leq T_0 \leq 0.5s$	1,6
F.A.	SI2	$0.5s \leq T_0 \leq 1.0s$	2,0
F.A.	SI3	$0.5s \leq T_0 \leq 1.5s$	2,0

Di seguito i principali parametri sismici ottenuti utilizzando l'accelerazione ed i fattori di amplificazione ottenuti mediante il secondo livello di approfondimento, ai sensi della Deliberazione dell'Assemblea Legislativa 112/2007 e della Deliberazione della Giunta Regionale 2193/2015, ipotizzando l'assenza di amplificazione topografica.

$\alpha_{max}$	<b>0,154 g</b>
$\beta_s$	<b>0,24</b>
$K_h$	<b>0,037</b>
$K_v$	<b>0,018</b>

<sup>20</sup> Provincia di Piacenza (2011), "Dati utili per la valutazione della pericolosità sismica locale. Settore di pianura.", Quadro Conoscitivo del PTCP.



### 8.3. Risposta sismica locale – NTC18

Lo scuotimento sismico in superficie è conseguenza non solo delle caratteristiche della sorgente e del cammino di propagazione, ma soprattutto delle cosiddette “condizioni locali”. Con questo termine si intende l’insieme dei fattori naturali che interagendo con le onde sismiche possono modificare le caratteristiche dello scuotimento sismico in superficie generando “effetti di sito” ed “effetti locali”.

#### 8.3.1. Pericolosità sismica di base (effetti di sito)

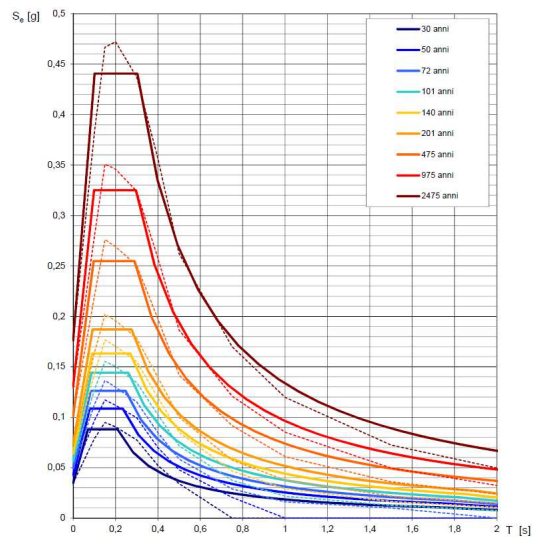
L’azione sismica è valutata a partire da una “pericolosità sismica di base”, in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A).

Le azioni di progetto si ricavano dalle accelerazioni  $a_g$  e dalle relative forme spettrali, queste ultime definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione di tre parametri: -  $a_g$ : accelerazione orizzontale massima del terreno;  $F_0$ : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;  $T_c^*$ : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I valori dei parametri per il sito in studio sono stati calcolati attraverso il programma di calcolo “Spettri di risposta ver. 1.0.3” (Figura 30).

$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
30	0,035	2,528	0,210
50	0,043	2,538	0,234
72	0,050	2,530	0,247
101	0,057	2,551	0,260
140	0,064	2,552	0,270
201	0,074	2,541	0,275
475	0,101	2,526	0,289
975	0,130	2,495	0,296
2475	0,176	2,503	0,303

Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento



NOTA:  
Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Figura 30. A sinistra i parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c^*$  per i periodi di ritorno associati a ciascun stato limite e a destra gli spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno  $T_R$  di riferimento (Spettri ver. 1.0.3).

Ipotizzando una vita nominale  $V_N$  maggiore o uguale a 50 (tabella 2.4.I delle NTC18) e una classe d’uso II con coefficiente pari a 1,0 (tabella 2.4.II delle NTC18) si ricava una vita di riferimento di 50 anni. I tempi di ritorno e i parametri sismici associati a ciascun stato limite sono riportati di seguito.

STATI LIMITE		$P_{VR}$	$T_R$
Stati limite di esercizio (SLE)	- Stato Limite di Operatività (SLO)	81%	30
	- Stato Limite di Danno (SLD)	63%	50
Stati limite ultimi (SLU)	- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV)	10%	475
	- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC)	5%	975

Tabella 8. Probabilità di superamento della vita di riferimento per i vari stati limite e relativi tempi di ritorno dell’azione sismica.

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	30	0,035	2,528	0,210
SLD	50	0,043	2,538	0,234
SLV	475	0,101	2,526	0,289
SLC	975	0,130	2,495	0,296

Tabella 9. Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$  e  $T_c$  associati a ciascun stato limite.





### 8.3.2. Effetti locali

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A).

#### Categorie di sottosuolo

Le NTC18 prevedono la definizione dell'azione sismica sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie mediante studi specifici di risposta sismica locale. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tabella 3.2.II delle norme si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio  $V_s$ .

La classificazione si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio,  $V_{S,eq}$  (in m/s). Le indagini sismiche hanno permesso di ricavare una  $V_{S30}$  al piano campagna pari a 389 m/s corrispondente ad una categoria di sottosuolo tipo B.

#### Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale, in caso contrario, configurazioni superficiali semplici, le NTC18 prevedono l'adozione della classificazione riportata nella Tabella 3.2.III delle NTC18. L'area è ascrivibile alla categoria topografica tipo T1.

T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 10. Categorie topografiche (Tabella 3.2.III delle NTC18).

### 8.3.3. Calcolo coefficienti sismici

Come riferito precedentemente la risposta sismica locale è il risultato della combinazione degli effetti di sito (risposta sismica di base) e degli effetti locali. Le azioni di progetto si ricavano variando le accelerazioni  $a_g$  e le relative forme spettrali per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presente nel sito di costruzione e dalla morfologia della superficie.

L'accelerazione massima attesa al sito ( $a_{max}$ ) può essere valutata con la relazione:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g$$

dove

$S$  = coefficiente di amplificazione sismica locale che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica ( $S_S$ ) e dell'amplificazione topografica ( $S_T$ );

$a_g$  = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido.

I coefficienti  $S_S$ ,  $S_T$  si ricavano utilizzando le tabelle 3.2.IV e 3.2.V delle NTC18.

	SLO	SLD	SLV	SLC
$S_S$	1,200	1,200	1,200	1,200
$S_T$	1,00	1,00	1,00	1,00

Tabella 11. Valori dei coefficienti di amplificazione  $S_S$  e  $S_T$  ricavati per ciascun stato limite.

Nelle verifiche la componente orizzontale e verticale delle azioni sismiche possono esprimersi come  $F_h = k_h \cdot W$  ed  $F_v = k_v \cdot W$ , con  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontali e verticali:

$$K_h = \beta_S \cdot \frac{a_{max}}{g} \quad K_v = \pm 0,5 \cdot K_h$$

dove

$\beta_S$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (tabella 7.11.I delle NTC18);

$g$  = accelerazione di gravità.

L'azione del sisma si traduce in un effetto cinematico ( $K_{hk}$ ) e in un effetto inerziale ( $K_{hi}$ ).

Di seguito i principali parametri sismici per una categoria di suolo B.



SLO	$a_{max}$	0,042 g	SLV	$a_{max}$	<b>0,121 g</b>
	$\beta_s$	0,20		$\beta_s$	<b>0,24</b>
	$K_{hk}$	0,008		$K_{hk}$	<b>0,029</b>
	$K_v$	0,004		$K_v$	<b>0,015</b>
SLD	$a_{max}$	0,052 g	SLC	$a_{max}$	0,156 g
	$\beta_s$	0,20		$\beta_s$	0,24
	$K_{hk}$	0,010		$K_{hk}$	0,037
	$K_v$	0,005		$K_v$	0,019

Figura 31. Calcolo dei coefficienti sismici  $K_{hk}$  e  $K_v$ .

**9.0 Verifiche preliminari**

**9.1. Liquefazione**

Il sito in studio deve essere stabile nei confronti della liquefazione, il processo in seguito al quale un sedimento che si trova al di sotto del livello della falda perde temporaneamente resistenza e si comporta come un liquido viscoso a causa di un aumento della pressione neutra e di una riduzione della pressione efficace.

La liquefazione ha luogo quando la pressione dei pori aumenta fino a eguagliare la pressione intergranulare. L'incremento della pressione neutra è indotto dalla tendenza di un materiale granulare a compattarsi quando è soggetto ad azioni cicliche di un sisma, con conseguente aumento del potenziale di liquefazione del terreno.

La liquefazione può determinare una perdita di resistenza al taglio o ad un accumulo di deformazioni plastiche nei terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Numerose sono le procedure per valutare la resistenza alla liquefazione, la più usata è la procedura "semplificata" (originariamente sviluppata da Seed e Idriss, 1971<sup>21</sup>). Il potenziale di liquefazione si determina facendo il rapporto tra la capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) e domanda di resistenza alla liquefazione (CSR) e calcolando il fattore di sicurezza FSL. Se il coefficiente di sicurezza è maggiore di 1.0 la probabilità che si abbia liquefazione è praticamente nulla.

Le verifiche, sebbene non necessarie per l'assenza di falda, sono state condotte assumendo una accelerazione massima di 0,154g, una magnitudo (M) cautelativa pari a 6 e una falda collocata a 1 m dal piano campagna.

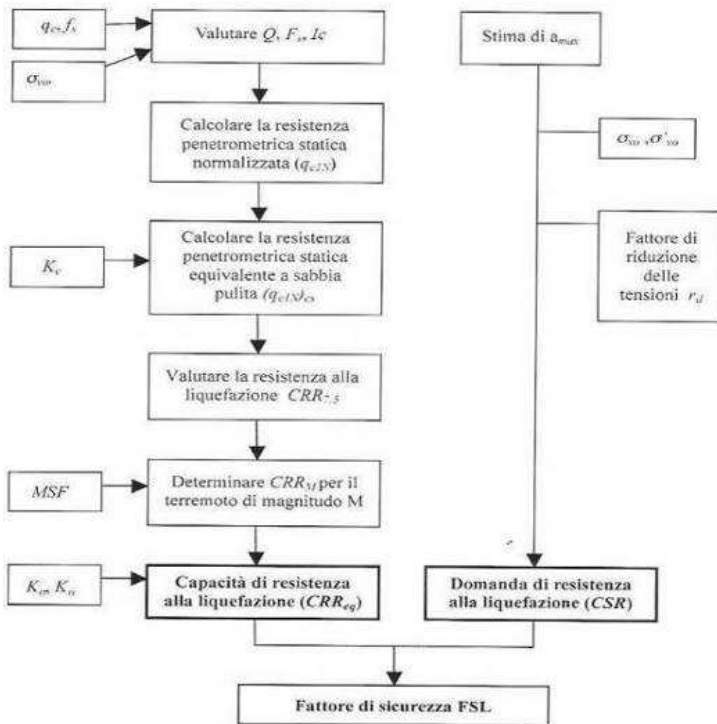


Figura 32. Diagramma di flusso per valutare la suscettibilità alla liquefazione di un deposito sabbioso utilizzando i valori della prova CPT (Riga, 2007)<sup>22</sup>.

21 Seed H.B. and Idriss I.M. (1971), "Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential", Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division, ASCE, vol. 97, No. SM9, 1249-1273.  
 22 Riga G. (2007), "La liquefazione dei terreni", Dario Flaccovio Editore.



Di seguito sono riferiti i grafici elaborati per le due prove CPT sulla base del metodo di calcolo proposto da Robertson e Wride.

La verifica è stata eseguita anche sulla base del metodo di calcolo proposto da Seed & De Alba<sup>23</sup>, che converte i dati CPT negli equivalenti dati SPT.

$a_{max}$	Magnitudo	Profondità falda (m da pc)
0,154g	6,0	1,0

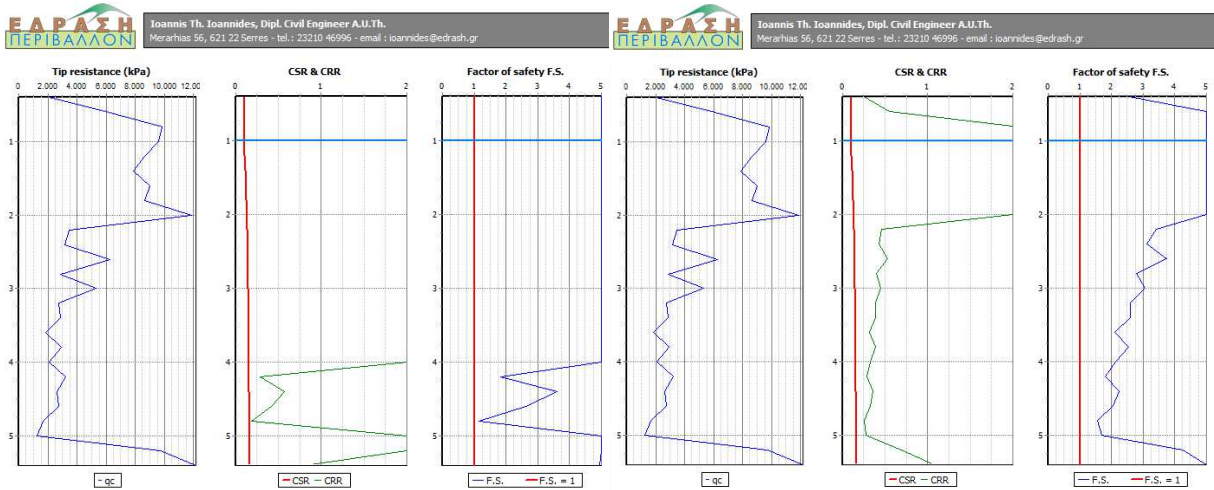


Figura 33. Resistenza alla liquefazione nella prova CPT01 (Robertson e Wride).

Figura 34. Resistenza alla liquefazione nella prova CPT01 (Seed & De Alba).

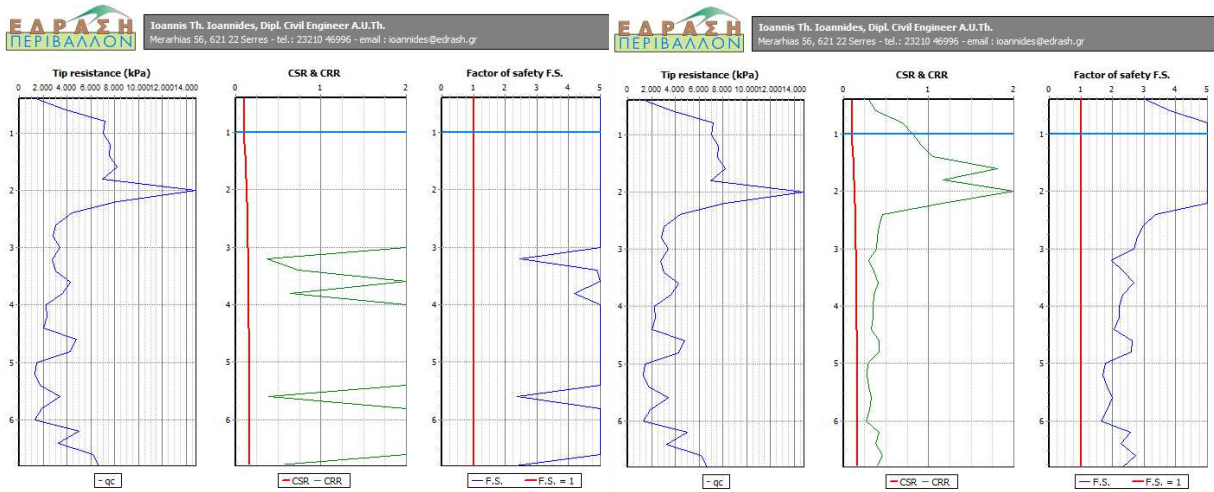


Figura 35. Resistenza alla liquefazione nella prova CPT03 (Robertson e Wride).

Figura 36. Resistenza alla liquefazione nella prova CPT03 (Seed & De Alba).

Le verifiche hanno evidenziato un fattore di sicurezza sempre maggiore di 1, sinonimo di una probabilità di occorrenza del fenomeno pressoché nulla.

## 9.2. Fondazioni superficiali

La sicurezza del complesso fondazione-terreno è stata verificata nei confronti del collasso per carico limite secondo l'Approccio 2 Combinazione 1 (A1+M1+R3). Sono riportate anche le verifiche secondo gli approcci A1+M1+R1 e A2+M2+R2.

Nella pagine successive si riportano le resistenze al collasso calcolate con il software LoadCap (Geostru). Le analisi sono state fatte facendo le seguenti assunzioni:

- verifiche in condizioni non drenate e drenate;
- condizioni statiche e sismiche ( $a_{max}$  pari a 0,154g con  $k_h=0,037$  e  $k_v=0,018$ );
- fondazione continua con altezza  $H=0,5m$ , lunghezza  $L=10m$  e larghezza  $B=1,0m$ ;
- fondazione tipo plinto quadrato con altezza  $H=0,5m$ , lunghezza  $L=B=1,0m$ ;

23 Seed H.B. and De Alba P. (1986), "Use of SPT and CPT test for evaluating the liquefaction resistance of soils," Proc. In situ 1986, ASCE.





- piano di posa orizzontale impostato entro il livello AL1;
- falda assente;
- eccentricità nulla.

Il carico limite ( $q_{ult}$ ) per la determinazione della resistenza al collasso ( $R_{d,coil}$ ) è stato calcolato con le seguenti formule.

Formula di Terzaghi (1955)

$$q_{ult} = c \times N_c \times s_c \times z_c + \gamma \times D \times N_q \times z_q + 0.5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \times s_\gamma \times z_\gamma$$

Formula di Vesic (1975)

$$q_{ult} = c \times N_c \times s_c \times d_c \times b_c \times g_c \times z_c + \gamma \times D \times N_q \times s_q \times d_q \times b_q \times g_q \times z_q + 0.5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \times s_\gamma \times d_\gamma \times b_\gamma \times g_\gamma \times z_\gamma$$

Formula di Brinch-Hansen (1970)

$$q_{ult} = c \times N_c \times s_c \times i_c \times d_c \times b_c \times g_c \times z_c + \gamma \times D \times N_q \times s_q \times i_q \times d_q \times b_q \times g_q \times z_q + 0.5 \times \gamma \times B \times N_\gamma \times s_\gamma \times i_\gamma \times d_\gamma \times b_\gamma \times g_\gamma \times z_\gamma$$

dove:

- $\gamma$  = Peso di volume (kN/m<sup>3</sup>);
- $c$  = Coesione (kN/m<sup>2</sup>);
- $D$  = Profondità di incasso della fondazione (m);
- $B$  = Larghezza della fondazione (m);
- $L$  = Lunghezza della fondazione (m);
- $\eta$  = Inclinazione della base rispetto all'orizzontale (°);
- $\beta$  = Inclinazione del pendio rispetto ad un piano campagna orizzontale (°);
- $N_c, N_q, N_\gamma$  = Fattori di capacità portante;
- $s_c, s_q, s_\gamma$  = Fattori di forma delle fondazioni, in funzione di B e L;
- $d_c, d_q, d_\gamma$  = Fattori di profondità delle fondazioni, in funzione di B e D;
- $i_c, i_q, i_\gamma$  = Fattori di inclinazione del carico;
- $b_c, b_q, b_\gamma$  = Fattori di base inclinata;
- $g_c, g_q, g_\gamma$  = Fattori di terreno (base su pendio);
- $z_c, z_q, z_\gamma$  = Fattori correttivi per sisma (effetti inerziali da Paolucci & Pecker, 1997)

Nelle verifiche è stata ipotizzata la seguente stratigrafia e caratterizzazione fisico-meccanica:

Profondità		$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi'$ (°)	$c'$ (kN/m <sup>2</sup> )	$c_u$ (kN/m <sup>2</sup> )
0,0 – 1,8m	AL1	19	25	5	49
1,8 – 2,0m	SG	19	30	-	-
2,0 – 6,8m	AL2	19	21	5	35
6,8 – 10,0m	SG	19	30	-	-

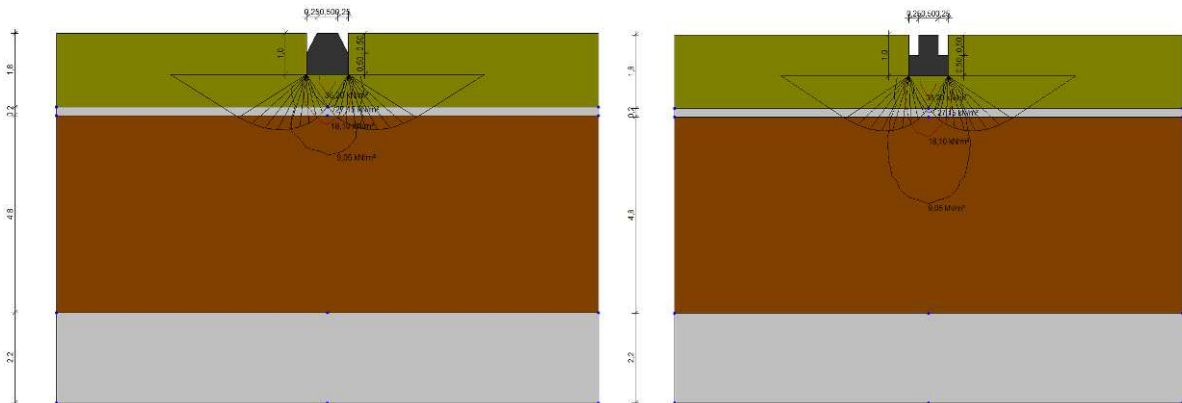


Figura 37. Modello geologico con cuneo di rottura (plinto a sinistra e trave a destra).



Livello AL1 (1 m da pc)		Carico ammissibile (kN/m <sup>2</sup> )	Resistenza di progetto - Rd <sub>coll</sub> (kN/m <sup>2</sup> )				
	Autore	D.M. 11.3.88	Combinazione A1+M1+R1	Combinazione A2+M2+R2	Combinazione A2+M2+R2 sisma	Combinazione A1+M1+R3	Combinazione A1+M1+R3 sisma
B = 1,0 m L = 10,0 m	Terzaghi (1955)	96,27	288,80	116,11	-	<b>125,57</b>	-
	Vesic (1975)	122,38	367,14	147,20	-	<b>159,63</b>	-
	Brinch-Hansen (1970)	88,80	266,40	107,22	-	<b>115,82</b>	-
B = L = 1,0 m	Terzaghi (1955)	124,20	372,59	149,36	-	<b>162,00</b>	-
	Vesic (1975)	137,49	412,48	165,19	-	<b>179,34</b>	-
	Brinch-Hansen (1970)	103,91	311,73	125,21	-	<b>135,54</b>	-

Tabella 12. Resistenza al collasso a breve termine (CONDIZIONE NON DRENATA).

Livello AL1 (1 m da pc)		Carico ammissibile (kN/m <sup>2</sup> )	Resistenza di progetto - Rd <sub>coll</sub> (kN/m <sup>2</sup> )				
	Autore	D.M. 11.3.88	Combinazione A1+M1+R1	Combinazione A2+M2+R2	Combinazione A2+M2+R2 sisma	Combinazione A1+M1+R3	Combinazione A1+M1+R3 sisma
B = 1,0 m L = 10,0 m	Terzaghi (1955)	112,89	338,68	109,81	106,84	<b>147,25</b>	<b>143,97</b>
	Vesic (1975)	127,74	383,21	124,86	121,52	<b>166,61</b>	<b>162,91</b>
	Brinch-Hansen (1970)	122,36	367,07	118,34	115,26	<b>159,59</b>	<b>156,10</b>
B = L = 1,0 m	Terzaghi (1955)	119,32	357,95	116,36	113,45	<b>155,63</b>	<b>152,38</b>
	Vesic (1975)	158,79	476,37	150,40	146,64	<b>207,12</b>	<b>202,80</b>
	Brinch-Hansen (1970)	150,95	452,86	144,12	140,53	<b>196,90</b>	<b>192,76</b>

Tabella 13. Resistenza al collasso a lungo termine (CONDIZIONE DRENATA).

## 10.0 Conclusioni

Il presente elaborato è stato prodotto a supporto del Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata da attuarsi in Via Cantone Grazzano Visconti in Comune di Vigolzone (PC).

L'area interessata dal presente studio è ubicata in località Grazzano Visconti, esternamente al territorio urbanizzato, a nord dell'abitato. Nella Carta Tecnica Regionale il sito è ricompreso entro la sezione 180054 (scala 1:5.000). L'altitudine è di circa 139 m s.l.m., mentre la latitudine e la longitudine valgono rispettivamente:

- 44.935579N e 9.676481E (Coordinate WGS84);
- 44.936522N e 9.677520E (Coordinate ED50).

L'area in studio è caratterizzata da una morfologia sub-pianeggiante, con quote topografiche degradanti verso NE. Dal punto di vista idrografico l'area è situata in sinistra idrografica del Torrente Nure, il cui alveo dista circa 2 km.

Il reticolo secondario, stante la forma stretta e allungata del bacino, ha dimensioni relativamente piccole, con sottobacini idrografici sottesi dell'ordine di 20-40 km<sup>2</sup>, sviluppati attorno all'asta principale. A scala locale da segnalare i corsi d'acqua secondari denominati Rio Grazzano e Rio di Podenzano, alcuni canali irrigui e fossi di scolo.

Nell'area in studio è segnalata la presenza del Subsintema di Villa Verucchio (AES7), Unità di Niviano (AES7a). Si tratta di depositi di conoide alluvionale costituiti da ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati, grigio-nocciola, con una copertura fine composita, discontinua, dello spessore massimo di 2 m, costituita da limi e limi argillosi giallastri. Il fronte di alterazione dell'unità è molto evoluto, raggiunge i 4-5 m di profondità e presenta la completa decarbonatazione degli orizzonti superficiali e profondi. Lo spessore massimo dell'unità è di poche decine di metri, mentre l'età è Pleistocene superiore.

Dal punto di vista geomorfologico il sito in esame ricade quindi in corrispondenza di un terrazzo, sopraelevato di pochi metri sul ripiano morfologico più recente del Torrente Nure, debolmente immergente verso NE. L'altezza della scarpata del terrazzo cresce risalendo lungo il Torrente fino toccare i 20 m.

Nella Tavola SA13.1 "Fattibilità geologica" del Quadro Conoscitivo del PSC del Comune di Vigolzone <sup>24</sup> l'area in esame è individuata come "Classe 1 – Fattibilità geologica senza particolari limitazioni". In

<sup>24</sup> Emami E. (2010). Quadro Conoscitivo PSC del Comune di Vigolzone. Tavola SA13.1 "Fattibilità geologica".



questa classe ricadono le aree per le quali gli studi non hanno individuato specifiche controindicazioni di carattere geologico all'urbanizzazione o alla modifica di destinazione d'uso delle particelle.

In questa porzione territoriale è subaffiorante l'unità Idrostratigrafica principale denominata Gruppo Acquifero A <sup>25</sup>.

A scala comunale la Tavola SA05.1 "Acque sotterranee" del Quadro Conoscitivo del PSC del Comune di Vigolzone <sup>26</sup> individua delle unità locali (in base alla natura dei depositi) e delle sotto-unità locali (in base alla profondità del tetto delle ghiaie). In questo ambito territoriale la falda assume comportamento da freatico a localmente confinato (in presenza di significative coperture fini) e risente dell'effetto drenante esercitato dal T. Nure quando il corso d'acqua si trova in condizioni di morbida. Le superfici di affioramento dei depositi ghiaiosi costituiscono l'area di ricarica dell'Unità Idrogeologica A. Il sito in studio ricade in corrispondenza dell'unità 1 costituita dai depositi ghiaiosi del T. Nure, la cui profondità decresce dalle zone marginali (sotto-unità "d") sino all'asse del torrente (sotto-unità "d"), in corrispondenza del quale affiorano direttamente al piano campagna. La carta individua per il sito in studio la sotto-unità "c" contraddistinta da una profondità del tetto compresa tra 4 e 10 m da p.c. (profondità del tetto di circa 5 m da p.c.).

Nella Tavola SA05.1 "Vulnerabilità degli acquiferi" del Quadro Conoscitivo del PSC del Comune di Vigolzone <sup>27</sup> l'area in esame è classificata con vulnerabilità da alta a elevata.

Nella tavola A5.1 "Tutela delle risorse idriche" del vigente PTCP della Provincia di Piacenza <sup>28</sup> il sito è segnalato come area di ricarica di tipo B (ricarica indiretta) degli acquiferi.

Le indagini geognostiche eseguite a settembre 2020, spinte fino alla profondità massima di m 7,2 da p.c. non hanno evidenziato presenza di acqua.

La tavola SA05.1 "Acque sotterranee" del Quadro Conoscitivo del PSC del Comune di Vigolzone <sup>29</sup> segnala una superficie piezometrica collocata ad una quota di circa 122 m s.l.m., corrispondente ad una soggiacenza indicativa di 17 m dal piano campagna.

La tavola 2a "Vincoli e Tutele Ambientali" del PSC del Comune di Vigolzone <sup>30</sup> individua per il sito in studio il solo vincolo delle zone di tutela dei corpi idrici e sotterranei. Queste zone sono soggette alle disposizioni di cui all'art. 35 delle NTA del PTCP 2000 e 36bis delle NTA del PTCP 2007.

Per la caratterizzazione dell'area in studio sono state realizzate n.2 prove penetrometriche statiche (CPT), n.1 prova penetrometrica dinamica (DIN) ed un'acquisizione sismica MASW+HVSR.

Le verticali indagate hanno consentito di verificare una certa omogeneità del sottosuolo. Sulla base dell'elaborazione delle prove penetrometriche è stato possibile riconoscere, approfondendosi, i seguenti tre livelli:

- **livello AL1:** argille e limi, molto duri, con resistenza alla punta  $Q_c$  superiore a 50 kg/cm<sup>2</sup>, spessore pari a 1,6-1,8 m. Si tratta di materiali a comportamento coesivo con un'alta frazione di argilla. L'elevato valore misurato è da ricondurre al periodo in cui sono state eseguite le prove, mese di settembre 2020, dopo un periodo particolarmente siccitoso. L'intero livello rappresenta la fascia di sottosuolo interessata dal fenomeno di variazione del contenuto d'acqua e, quindi dei conseguenti effetti di ritiro e rigonfiamento dei minerali argillosi, nota come "Active Zone";
- **livello AL2:** argille e limi, con resistenza alla punta  $Q_c$  quasi sempre inferiore a 50 kg/cm<sup>2</sup>, spessore variabile da 3 m nella prova CPT01 a 4,6 m nella CPT03. Il passaggio dal livello AL1 al livello AL2 è marcato da un sottile livello ghiaioso e sabbioso con spessore massimo di 60 cm. All'interno di questo livello, oltre i 4 m di profondità, si rinvengono livelli poco consistenti e con caratteristiche decisamente scadenti;
- **livello SG:** sabbia e ghiaia, rinvenibile alla profondità di 5,0 m nella prova CPT01 ed alla profondità di 6,6-6,8 m nelle prove DIN02 e CPT03.

<sup>25</sup> Regione Emilia-Romagna, Eni Divisione AGIP (1998). *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. Di Dio. S.E.L.C.A. (Firenze).

<sup>26</sup> Emani E. (2010). *Quadro Conoscitivo PSC del Comune di Vigolzone. Tavola SA05.1 "Acque sotterranee"*.

<sup>27</sup> Emani E. (2010). *Quadro Conoscitivo PSC del Comune di Vigolzone. Tavola SA09.1 "Vulnerabilità degli acquiferi"*.

<sup>28</sup> Provincia di Piacenza (2007). *PTCP vigente*.

<sup>29</sup> Emani E. (2010). *Quadro Conoscitivo PSC del Comune di Vigolzone. Tavola SA05.1 "Acque sotterranee"*.

<sup>30</sup> Galluppi U. & Orsi P. (2010). *PSC del Comune di Vigolzone. Tavola 2a "Vincoli e Tutele Ambientali"*.



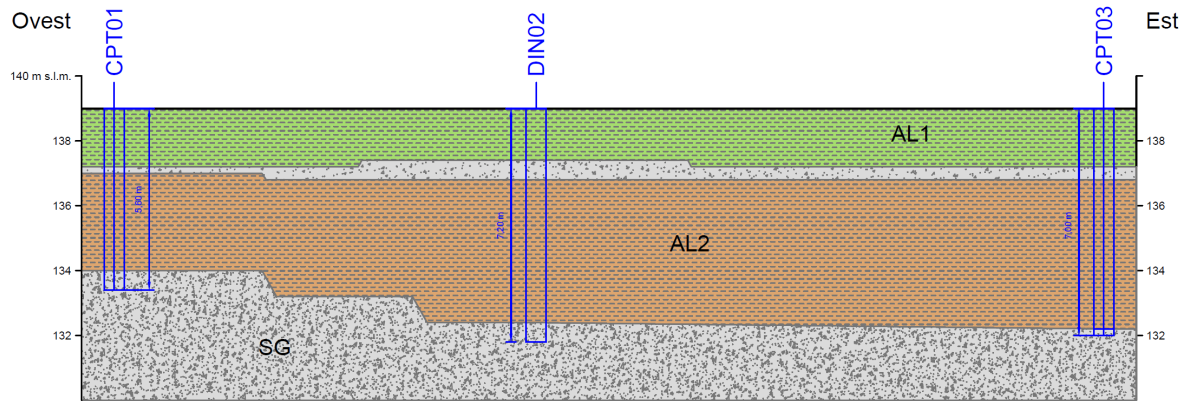


Figura 38. Sezione geologica interpretativa.

Le elaborazioni sono state eseguite sul passo strumentale di 20 cm utilizzando numerosi correlazioni. I valori sono stati restituiti discretizzato il sottosuolo nei tre livelli AL1, AL2 e SG. Nel §7.0 sono riportati i risultati delle elaborazioni delle penetrometrie, di seguito la caratterizzazione dei livelli riconosciuti.

Unità geotecnica	Comportamento prevalente	Massa volumica $\gamma$ (Kn/m <sup>3</sup> )	Coesione non drenata $c_u$ (Kn/m <sup>2</sup> )	Modulo Edometrico $M_{ed}$ (MN/m <sup>2</sup> )	Modulo Elastico E (MN/m <sup>2</sup> )	Parametri efficaci	
						Angolo d'attrito $\phi$ 'k (°)	Coesione c'k (Kn/m <sup>2</sup> )
<b>AL1</b>	Coesivo	18-20	49-88	4,1-5,3	2,8-8,0	25-28	5-10
<b>AL2</b>	Coesivo	18-20	35-44	4,0-4,5	2,4-3,4	21-22	5-10
<b>SG</b>	Granulare	18-20	-	-	16,5-18,3	30-37	-

Tabella 14. Tabella riassuntiva parametri geotecnici.

La classificazione sismica dei Comuni stabilita al punto 3 dell'Allegato 1 dell'Ordinanza n. 3274/2003 fa rientrare il Comune di Vigolzone in Zona 3.

L'O.P.C.M. 3519 del 28 Aprile 2006 suddivide altresì le zone 1, 2 e 3 in sottozone caratterizzate da valori di  $a_g$  con intervalli non minori di 0.025g. La mappa di pericolosità sismica, consultabile interamente all'indirizzo <http://zonesismiche.mi.ingv.it>, assegna al sito un valore di  $a(g)$  compreso tra 0,100 e 0,125g.

Nella mappa interattiva di pericolosità sismica, disaggregando il valore di  $a(g)$  con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni in corrispondenza dei punti del reticolo con ID14486, ID14487, ID14708 e ID14709 ha permesso di ricavare un valore di magnitudo M pari a 4,820 e 4,850.

L'interrogazione dei data-base ISIDe<sup>31</sup> e CPTI2004<sup>32</sup> riferisce un valore di magnitudo massimo di 5,62.

L'indagine sismica congiunta MASW+HVSr ha permesso di ricavare una  $VS_{eq}$  ( $VS_{30}$ ) al piano campagna pari a 389 m/s corrispondente ad una categoria di sottosuolo tipo B.

La risposta sismica locale è stata determinata sia mediante la procedura prevista dalle Delibera dell'Assemblea Legislativa 112/2007 e dalla Delibera della Giunta Regionale 2193/2015 (vedi §8.2), sia mediante la procedura prevista dalle NTC2018 (vedi §8.3).

RER 112/2007-2193/2015		NTC18	
$a_{max}$	0,154 g	$a_{max}$	0,121 g
$\beta_s$	0,24	$\beta_s$	0,24
$K_{hk}$	0,037	$K_{hk}$	0,029
$K_v$	0,018	$K_v$	0,015

31 ISIDe Working Group (INGV, 2010), Italian Seismological Instrumental and parametric database (<http://iside.rm.ingv.it>).

32 Gruppo di lavoro CPTI (2004), Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2004 (CPTI04), INGV, Bologna. DOI: 10.6092/INGV.IT-CPTI04.



Le analisi per valutare la possibilità o meno del verificarsi di eventuali fenomeni di liquefazione, eseguite assumendo un'accelerazione massima di 0,154g, una magnitudo (M) cautelativa pari a 6 e una falda collocata a 1 m dal piano campagna, hanno evidenziato, in entrambe le prove CPT, un fattore di sicurezza sempre maggiore di 1, sinonimo di una probabilità di occorrenza del fenomeno pressoché nulla. Le risultanze sono riferite nel §9.1.

Una preliminare analisi del complesso fondazione-terreno è stata verificata nei confronti delle resistenze al collasso per carico limite, ipotizzando una fondazione continua ed un pinto quadro. Le resistenze sono riportate nel §9.2. Le verifiche sono state eseguite in condizioni statiche e sismiche, secondo l'Approccio 2 Combinazione 1 (A1+M1+R3). Il piano di posa, orizzontale, è stato ipotizzato entro il livello AL1.

In considerazione di quanto sopra esposto, valutando le condizioni attuali, si esprime un **parere geologico positivo** all'attuazione del Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata in Via Cantone Grazzano Visconti in Comune di Vigolzone (PC) e si forniscono le seguenti indicazioni preliminari/considerazioni:

- i depositi superficiali, trattandosi di materiali a comportamento coesivo con un'alta frazione di argilla, potrebbero determinare fenomeni di rigonfiamento e plasticizzazione nei periodi umidi e fenomeni di ritiro e fessurazione per essiccamento nei periodi siccitosi. Gli effetti di ritiro e rigonfiamento comportano tensioni negative molto elevate che potrebbero incidere negativamente nei fabbricati provocando, in determinate condizioni di carico ed ambientali, danni alla struttura in elevazione, in alcuni casi compromissori della stabilità del fabbricato medesimo. L'approfondimento delle fondazioni alla quota di almeno 1,0 m dalla superficie topografica rappresenta una condizione minima per non risentire degli effetti delle variazioni di umidità stagionali e dell'azione del gelo e del disgelo;
- le analisi affrontate nel presente studio geologico e sismico non possono ritenersi esaustive delle conoscenze geotecniche puntuali. A corredo dei progetti esecutivi di ogni singolo intervento dovranno essere eseguite le verifiche geotecniche previste dal D.M. 17 Gennaio 2018 Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni», eventualmente realizzando ulteriori indagini geognostiche di dettaglio;
- gli scavi dovranno essere eseguiti in completa sicurezza attenendosi scrupolosamente a quanto previsto dalle attuali normative vigenti in materia e limitando l'altezza dei fronti di scavo allo stretto necessario per le esigenze progettuali. Sul lungo termine per garantire la sicurezza del personale le pareti degli sbancamenti dovranno essere profilate con una pendenza massima pari a 1/1;
- è vietata la ricerca di acque sotterranee e la realizzazione di pozzi ad uso domestico senza la preventiva comunicazione o autorizzazione da parte di ARPAE.

Piacenza, Ottobre 2020

IL GEOLOGO  
Dott. Davide Zucchi



(firmato digitalmente)



**ALLEGATO A – REPORT PROVE PENETROMETRICHE**







# CORSI GIAN LUCA



Via Prevostura n° 48 Piacenza

Tel:347/2301270

info:gianpuntocom@gmail.com

Data: 10/09/2020						P.iva: 01363690338 - CODE: SUBM70N					
Commessa: Grazzano Visconti						Latitudine:					
Committente: Geol. Davide Zucchi						Longitudine:					
Profondità falda: assente						Altitudine:					
CPT01			DIN02			CPT03					
Prof. Metri	Rp/cp	Rp+RI	Prof. Metri	n° colpi	Rp+RI	Prof. Metri	n° colpi	Rp+RI	Prof. Metri	n° colpi	Rp+RI
0,2	1	2	0,2	3		0,2	1	2	0,2		
0,4	21	30	0,4	6		0,4	14	28	0,4		
0,6	62	80	0,6	6		0,6	40	55	0,6		
0,8	100	129	0,8	9		0,8	73	90	0,8		
1,0	98	156	1,0	9		1,0	72	108	1,0		
1,2	88	163	1,2	10		1,2	78	109	1,2		
1,4	80	163	1,4	10		1,4	77	123	1,4		
1,6	92	167	1,6	9		1,6	84	146	1,6		
1,8	88	176	1,8	11		1,8	71	150	1,8		
2,0	121	168	2,0	7		2,0	151	243	2,0		
2,2	35	77	2,2	8		2,2	84	132	2,2		
2,4	32	73	2,4	5		2,4	45	80	2,4		
2,6	64	95	2,6	4		2,6	31	62	2,6		
2,8	29	60	2,8	4		2,8	29	56	2,8		
3,0	54	79	3,0	3		3,0	35	58	3,0		
3,2	28	66	3,2	3		3,2	28	37	3,2		
3,4	29	54	3,4	2		3,4	31	48	3,4		
3,6	19	38	3,6	2		3,6	44	68	3,6		
3,8	30	65	3,8	2		3,8	37	54	3,8		
4,0	21	32	4,0	3		4,0	23	50	4,0		
4,2	33	41	4,2	2		4,2	24	44	4,2		
4,4	27	42	4,4	1		4,4	21	31	4,4		
4,6	28	40	4,6	2		4,6	49	75	4,6		
4,8	17	20	4,8	2		4,8	44	71	4,8		
5,0	13	21	5,0	2		5,0	15	22	5,0		
5,2	99	126	5,2	1		5,2	13	20	5,2		
5,4	124	137	5,4	1		5,4	18	30	5,4		
5,6	296	300	5,6	1		5,6	35	48	5,6		
5,8			5,8	3		5,8	19	37	5,8		
6,0			6,0	6		6,0	13	19	6,0		
6,2			6,2	6		6,2	51	80	6,2		
6,4			6,4	10		6,4	33	55	6,4		
6,6			6,6	7		6,6	63	96	6,6		
6,8			6,8	19		6,8	68	82	6,8		
7,0			7,0	28		7,0	267	300	7,0		
7,2			7,2	50		7,2			7,2		
7,4			7,4			7,4			7,4		
7,6			7,6			7,6			7,6		
7,8			7,8			7,8			7,8		
8,0			8,0			8,0			8,0		



**ALLEGATO B – DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**





Prova CPT01



Prova DIN02



CPT03



HVSR







MASW (g1)



MASW (g12)

