

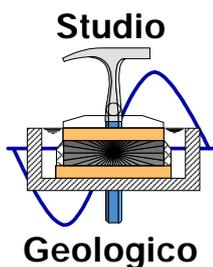
REGIONE EMILIA ROMAGNA
COMUNE DI PONTENURE
PROVINCIA DI PIACENZA

RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA

• • • • • • • • • •
A CORREDO DELLA VARIANTE AL PIANO
PARTICOLAREGGIATO DI INIZIATIVA PRIVATA
“RDB” - COMPARTO 2

Località : Giarona

Committente : Soc. RDB IMMOBILIARE S.p.A.



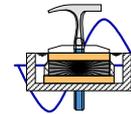
Dott. Geol. N. CAVANNA

Via Degani, 9 (PC)

☎ 0523 / 305674 - ☎ 335 / 5734746

FAX 0523 / 317301





SOMMARIO

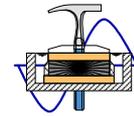
1.0. - INTRODUZIONE.....	2
2.0. – OBIETTIVI DELLO STUDIO.....	3
3.0. - DESCRIZIONE DELLO STUDIO.....	4
4.0 – VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DELL'AREA	5
4.1 - CATEGORIA DI SUOLO FONDAZIONALE.....	6
4.2 – FATTORI DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA	9
4.3 – MODELLO SISMICO DEL SITO	10
4.4 – FREQUENZA NATURALE DEI TERRENI (PROSPEZIONE HVSR)	13
4.5 – FATTORE DI AMPLIFICAZIONE DEL SITO DI INTERESSE	17

ALLEGATO 1: Planimetria ubicazione registrazione microtremori sismici.

ALLEGATO 2: RELAZIONE GEOLOGICO-SISMICA a corredo del Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata "RDB" – comparto 2.

Principale bibliografia consultata

- *Studio geologico a supporto del P.S.C. Comunale;*
- *Studio geologico a supporto del P.R.G. Comunale e sue varianti.*
- *Indagini geologico-tecniche a corredo del Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata "RDB" – Comparto 2, a cura di vari liberi professionisti (vedasi allegato 1).*
- *Piano intercomprensionale di sviluppo, a cura dell'Amministrazione Provinciale di Piacenza; Piacenza 1977.*
- *Relazione sullo stato dell'ambiente della Provincia di Piacenza, a cura dell'Amministrazione Provinciale di Piacenza e dell'ARPA - Sezione Provinciale di Piacenza; Piacenza 1997.*
- *Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale e cartografia allegata (PTCP, adottato in data 26.01.1999 con atto di C.P. n° 5 e approvato in data 26.07.2000 con atto di Giunta Regionale n° 1303).*
- *Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale e cartografia allegata (PTCP, 2007 adottato in data 16.02.2009 con atto di D.C.P. n° 17 ed approvato in data 02.07.2010 con atto di D.C.P. n° 69).*



1.0. - INTRODUZIONE

Su incarico della Società RDB Immobiliare S.p.A. è stato realizzato uno studio specifico per la valutazione di compatibilità geologico-sismica della proposta di variante al Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata "RDB" – Comparto 2, ad integrazione della relazione redatta nell'aprile 2012 dal Dott. Geol. Scotti Angelo, della quale si riporta copia in allegato 2 al presente elaborato.

La proposta di "variante" al P.P.I.P. consiste essenzialmente nella modifica della viabilità interna al comparto, come da planimetrie in fig. 1.0.I e 1.0.II.

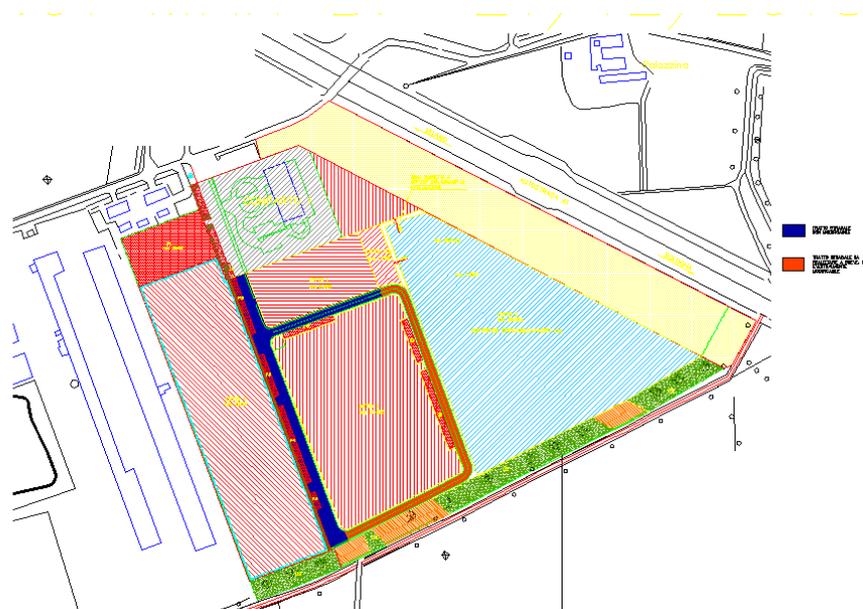


fig. 1.0.I – P.P.I.P. "RDB" (Stato attuale).

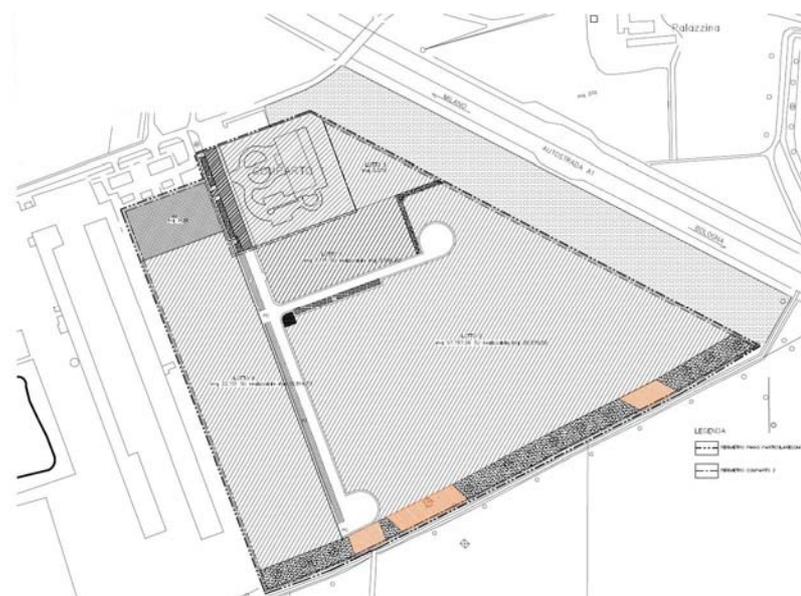
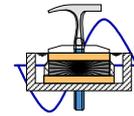


fig. 1.0.II – planimetria Variante al P.P.I.P. "RDB"

Dott. Geol. Cavanna Nicola

Via Degani, 9a – 29121 PIACENZA - Tel.: 0523/305674 - Fax.: 0523/317301
e-mail: cavannageologo@gmail.com



2.0. – OBIETTIVI DELLO STUDIO

Come precisato nell'introduzione, il presente rapporto viene redatto al fine di fornire delle "integrazioni di carattere prettamente sismico" nell'ambito dell'istruttoria per l'approvazione della variante al P.P.I.P..

Sulla base delle considerazioni sopra esplicitate, si precisa quanto segue:

Premesso che, la Società RDB Immobiliare S.p.A., nell'anno 2012 ha incaricato il Dott. Geol. Scotti Angelo di redigere una relazione geologica-sismica a corredo del Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata relativo all'Area di Trasformazione Produttiva "RDB", località "Giarona", Comune di Pontenure (PC)

Considerato che, per l'area di piano, espressamente indicata dalla Committenza, è stata valutata la compatibilità con l'obiettivo della riduzione del rischio sismico e con le esigenze di protezione civile, sulla base di analisi di pericolosità locale nonché di vulnerabilità ed esposizione urbana. A tal riguardo è opportuno evidenziare che l'esame delle condizioni di pericolosità locale si è principalmente concentrata sugli aspetti fisici del territorio che concorrono a determinare eventuali effetti in sito.

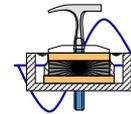
Preso atto che, gli strumenti di pianificazione urbanistica adottati dopo l'8 gennaio 2016 devono soddisfare i contenuti tecnici previsti dalla direttiva tecnica regionale in materia di rischio sismico di cui alla D.A.L. n. 112/2007, come aggiornata a seguito della DGR n. 2193 del 21/12/2015;

Rilevato che, la frequenza in grado di provocare particolari problemi di "accoppiamenti di risonanza" fra strutture e terreno non era stata individuata nella "Relazione geologico-sismica", datata aprile 2012 e prodotta a corredo del P.P.I.P.;

Constatato che, l'aggiornamento normativo (DGR n. 2193 del 21/12/2015) consiste sostanzialmente nella revisione, grazie a studi recenti, degli abachi per la stima dell'amplificazione del moto sismico (secondo livello di approfondimento) e nell'indicazione di procedure di analisi di terzo livello in accordo con le più recenti pubblicazioni scientifiche di settore;

Dato atto che, la relazione geologica trasmessa a supporto del P.P.I.P. non risulta integralmente adeguata ai suddetti contenuti, con particolare riferimento alla DGR n. 2193 del 21/12/2015;

Tutto ciò premesso e considerato il sottoscritto (Dott. Geol. Nicola Cavanna, libero professionista, con studio al numero civico 9a di via Degani in Piacenza, iscritto all'ordine regionale dei geologi al n° 761), al fine di rendere l'Amministrazione Comunale e, nello specifico il responsabile del Servizio Programmazione e Territorio, in grado di formulare un parere tecnico esauriente, ha ritenuto opportuno adeguare l'elaborato geologico prodotto dal Dott. Scotti Angelo ai contenuti in materia di rischio sismico di cui al DGR n. 2193 del 21/12/2015, con particolare riferimento alla stima della **frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo** (vedasi parag. 4.4) e dell'**amplificazione del moto sismico** (vedasi parag. 4.5).



3.0. - DESCRIZIONE DELLO STUDIO

Le indagini e gli elaborati sono stati prodotti in conformità alle vigenti disposizioni legislative, tra cui le principali:

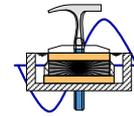
- Circolare Regionale n° 3891 21/03/1974;
- Legge Regionale n° 47 del 07/12/1978;
- Legge Regionale n° 23 del 29/03/1980;
- Decreto Ministeriale n° 6 del 21/01/1981;
- Circolare Ministeriale n° 25310 del 09/12/1982;
- Circolare Regionale n° 1288 del 12/02/1983;
- Decreto Presidente della Repubblica n° 236 del 24/05/1988;
- Decreto Ministeriale L.L.P.P. del 11/03/1988;
- Circolare attuativa n° 30483 del 24/09/1988;
- Legge Regionale n° 20 del 24/03/2000;
- Decreto Ministeriale del 14 settembre 2005;
- Delibera Assemblea Legislativa RER progr. n° 112 del 02/05/2007;
- D.G.R. n. 2193 del 21/12/2015;
- Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018.

Nell'ambito dell'incarico l'analisi è stata condotta adottando la seguente metodologia:

- **ricerche bibliografiche** preliminari: esame di fotografie aeree, reperimento dati disponibili relativi alle caratteristiche geolitologiche, geomorfologiche, idrologiche e pedologiche del territorio comunale presso l'Amministrazione Provinciale, il Servizio Provinciale Difesa Suolo e l'ARPA-Sezione provinciale di Piacenza. Sono stati inoltre utilizzati dati provenienti dalle indagini condotte in occasione di precedenti pianificazioni territoriali (P.S.C., P.R.G. o sue varianti) e da perizie geognostiche a corredo di Piani Particolareggiati;
- **rilievi di campagna** concernenti: indagini sul territorio per il riconoscimento delle principali unità litologiche; individuazione delle zone caratterizzate da eventuali fenomeni di dissesto e/o d'instabilità; esame della natura dei terreni e delle caratteristiche geomeccaniche della coltre terrosa di copertura; esame delle successioni litostratigrafiche e prospezioni sismiche approntate nell'ambito del comparto di P.P.I.P.; l'analisi dell'idrografia principale, segnalando gli eventuali tratti di alveo in erosione e valutando le aree potenzialmente esondabili.

Per la componente di carattere prettamente geologico-ambientale si rimanda alla relazione redatta dal Dott. Geol. Scotti Angelo ed allegata al presente elaborato.

Si precisa infine che, la relazione geologica-sismica, relativa all'area interessata dalla variante, deve essere completa di tutte le indicazioni necessarie per una zona sismica livello 3; in particolare, tale elaborato deve soddisfare i contenuti tecnici previsti dalla direttiva tecnica regionale in materia di rischio sismico di cui alla D.A.L. n. 112/2007, come aggiornata a seguito della DGR n. 2193 del 21/12/2015.



4.0 – VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DELL'AREA

La possibilità che si verifichi un terremoto di forte intensità in molte aree del nostro paese è una realtà con cui deve convivere la maggior parte della popolazione italiana che risiede nei comuni classificati sismici.

La storia sismica del nostro paese ci dimostra, infatti, che la ricorrenza di forti eventi è estremamente elevata e dove quelli catastrofici (con migliaia di morti) si ripresentano numerose volte all'interno di un periodo inferiore al secolo.

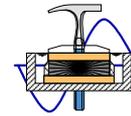
Solo da pochi anni, in seguito ai gravi eventi sismici succedutisi ed all'impatto dei mass-media che hanno portato in tutte le case i disastrosi effetti, è aumentato il grado di sensibilizzazione del mondo politico e dell'opinione pubblica sulla necessità di attuare una seria politica di prevenzione.

*La via indicata dalla comunità scientifica per difendersi dai terremoti è la **prevenzione***, quindi in sinergia con i quadri politico-culturali si sono individuati *quattro* strumenti di prevenzione sismica.

- Per prima cosa bisogna individuare le zone che possono essere interessate da un terremoto e suddividerle o meglio, **classificarle (Zonazione sismica)**, in base alla loro "*pericolosità sismica*", basandosi sulla sismicità storica, sulla geologia strutturale e sulla sismotettonica e su studi sismologici.
- All'interno di ogni zona classificata, studiando le diverse situazioni geologiche, morfologiche e geotecniche del terreno (analisi delle condizioni locali), bisogna poi determinare il modo in cui esso reagisce alle sollecitazioni indotte dalle onde sismiche che lo attraversano (terreni sismicamente stabili e sismicamente instabili) valutando così i possibili fenomeni di instabilità e liquefazione nel primo caso, e i possibili fenomeni di filtraggio e focalizzazione, che influenzano lo scuotimento in superficie. Tali effetti vengono indicati nella terminologia sismica come effetti di sito e costituiscono quella che secondo un'accezione consolidata viene definita "Risposta Sismica Locale" (RSL). La valutazione degli effetti di sito e degli effetti locali è alla base degli studi di **Microzonazione Sismica (MS)**.
- I risultati analitici raggiunti con la MS devono poi essere recepiti ed utilizzati dalla società, determinando così gli ultimi due strumenti preventivi: la **Pianificazione urbanistica** e la **Progettazione antisismica**. Le Amministrazioni locali devono servirsene per valutare quali zone del loro territorio necessitano di particolari limiti, divieti e condizioni di edificazione, mentre il progettista deve utilizzarli per dimensionare costruzioni che resistano senza collassare ai terremoti.

In generale, si definiscono **quattro livelli e strumenti di prevenzione**, e cioè:

- a) **Zonazione sismica** (scala nazionale);
- b) **Microzonazione sismica** (scala regionale, provinciale, comunale, locale);
- c) **Pianificazione urbanistica** (scala provinciale e comunale);
- d) **Progettazione antisismica** (scala di singolo manufatto).



4.1 - Categoria di suolo fondazionale

Per la definizione complessiva dell'azione sismica di progetto si deve considerare, oltre che la zonazione sismica, anche la tipologia del terreno di fondazione.

L'importanza della determinazione della funzione spettrale del sisma (Risposta Sismica locale) è dovuta al fatto che un deposito incoerente poggiante su un basamento rigido può modificare un impulso sismico determinando amplificazioni o attenuazioni di alcune delle componenti in frequenza in esso contenute.

Il contributo della Pericolosità al Rischio per una struttura sottoposta ad uno stress sismico dipende infatti dall'intensità del terremoto che la colpisce, ma anche, e forse principalmente, dalle caratteristiche delle componenti a varie frequenze contenute nel segnale sismico, in particolare quello relativo alle onde S.

Queste a loro volta possono subire amplificazioni differenziali che dipendono dalle caratteristiche meccaniche e geometriche del materiale che costituisce il sottosuolo del terreno di fondazione.

E' quindi necessaria, per valutare le modifiche dell'impulso sismico provocate dal terreno, una parametrizzazione geometrica, geolitologica e geosismica, del sottosuolo dell'area interessata ad una costruzione, che consenta una valutazione corretta della Pericolosità sismica del sito di costruzione.

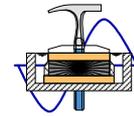
Gli impulsi sismici provenienti da una sorgente distante varie decine di chilometri che giungono ad un basamento ricoperto da terreni sciolti posto nel sottosuolo di siti distanti fra loro solo qualche centinaio o migliaio di metri sono praticamente identici.

Essi si sono attenuati rispetto alla sorgente d'origine in dipendenza della distanza dalla sorgente stessa e, quindi, del percorso, che, comunque, è per tutti praticamente identico.

Gli impulsi sismici registrati in superficie nei detti siti, invece, possono differire sostanzialmente a causa delle possibili diverse caratteristiche geosismiche dei depositi incoerenti che il raggio sismico attraversa nel suo ultimo tratto e che, come detto precedentemente, "modulano" in ampiezza e frequenza gli impulsi sismici.

Questo effetto, il cui spettro di ampiezza è detto Fattore di Amplificazione Dinamica (FAD), dipende dalle proprietà fisiche (densità, contenuto d'acqua, ecc...), dai parametri dinamici (Modulo di Taglio, G_{din} ; Coefficiente di smorzamento, D), caratteristici della particolare litologia dei depositi incoerenti e dalla loro geometria (spessore, profondità).

La Fase di indagini relative ai progetti esecutivi è quindi rivolta essenzialmente alla determinazione della Risposta Sismica di Sito in corrispondenza di una struttura edilizia esistente o in fieri e lo studio dovrà prevedere, in particolare, indagini di prospezioni geofisiche tese a determinare le caratteristiche sismiche del sottosuolo ed al fine di valutare l'eventualità di possibili fenomeni di amplificazione locale dell'intensità sismica, quale era stata prevista, in generale, dalle precedenti indagini di Microzonazione Sismica per lo Strumento Urbanistico Generale.



Le indagini da effettuarsi sono, quindi, prevalentemente finalizzate alla determinazione della giacitura e potenza degli strati nei siti scelti, fino ad una profondità di 30 m dal piano di posa delle fondazioni, ed alla caratterizzazione sismica dei terreni presenti, intesa come determinazione in particolare della Velocità delle onde sismiche trasversali V_s dei singoli sismostrati, con calcolo della media pesata per i primi 30 metri (V_{s30}) ed attribuzione alla categoria di suolo di cui alla OPCM n.3274/03 con la verifica della significatività, in senso orizzontale, di tale attribuzione.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione. 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.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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.
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.
C	Depositati 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.
D	Depositati 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.
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.

La velocità media V_{s30} è definita dall'espressione:

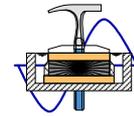
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1..N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove:

h_i = spessore (m.) della i -esima formazione o strato compreso nei primi 30 m di profondità;

V_i = velocità delle onde di taglio nella stessa formazione o strato;

n = numero di formazioni o strati compresi nei primi 30 m di profondità.



Per sottosuolo di categoria **A** i coefficienti S_s e C_c valgono 1. Per le categorie di sottosuolo **B**, **C**, **D** ed **E** i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T_c relativi al sottosuolo di categoria **A**, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.IV, nelle quali $g = 9,81 \text{ m/s}^2$ è l'accelerazione di gravità e T_c è espresso in secondi.

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

Quindi, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato al capo 7.11.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018.

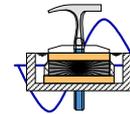
In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (vedasi Tabella 3.2.II).

Dai rilievi di superficie e dalle indagini sismiche realizzate nella zona oggetto d'intervento edilizio (vedasi risultati prove RE.MI - Refraction Microtremor e MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves), il suolo di fondazione risulta costituito da depositi di fiume del periodo postglaciale (Olocene inferiore).

La velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi trenta metri del sottosuolo, alla luce dei dati ricavati dalle indagini in sito, delle quali si riportano le risultanze in allegato 2 al presente elaborato, risulta pari a circa $V_{s30} \cong 295 \text{ m/s}$.

Il suolo di fondazione dell'area oggetto di edificazione è pertanto ascrivibile alla **categoria di sottosuolo tipo "C"** (Depositati 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).

Quindi il coefficiente di amplificazione stratigrafica **Ss** risulta pari a **1.50**.



4.2 – Fattori di amplificazione topografica

Con riferimento alla *Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 gennaio 2018*, per la determinazione dell'azione di progetto dovranno essere definiti i fattori di amplificazione topografica dell'azione sismica.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III delle sopraccitate norme tecniche):

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
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 $i > 30^\circ$

Le sopra esposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 metri.

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 3.2.V delle sopraccitate norme tecniche, in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

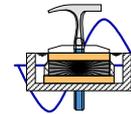
Tab. 3.2.V – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove S_T assume valore unitario.

L'area oggetto di analisi geognostica si presenta a morfologia sub-pianeggiante con pendenze impercettibili verso Nord, Nord-Est.

Quindi, per quanto concerne la "*determinazione dell'azione di progetto*", si dovrà fare specifico riferimento alla categoria topografica **T1**, nella quale il coefficiente **ST** è pari a **1,00** (rif. tabella 3.2.V delle NTC).



4.3 – Modello sismico del sito

L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi *stati limite* presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

La pericolosità sismica è intesa come accelerazione massima orizzontale ag in condizioni di campo libero su suolo rigido ($V_{s30} > 800$ m/s), con superficie topografica orizzontale (di categoria di sottosuolo A; NTC, § 3.2.2), ma è definita anche in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento PVR, come definite nelle NTC nel periodo di riferimento VR.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 e s.m.i., infatti, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente".

La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata calcolandoli direttamente per il sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (v. tabella 1 nell'Allegato B del D.M. 14 gennaio 2008 e s.m.i.).

Le forme spettrali vengono definite, per ciascuna delle probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento PVR, partendo dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag accelerazione orizzontale massima al sito;
- 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.

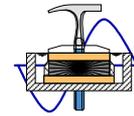
Parametri sismici

Sito in esame.

latitudine: 45,003 [°] (Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50)
longitudine: 9,804 [°]

Classe d'uso: II. *Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.*

Vita nominale: 50 [anni]



Siti di riferimento

Sito 1	ID: 14488	Lat: 44,9764	Lon: 9,7465	Distanza: 5454,678
Sito 2	ID: 14489	Lat: 44,9786	Lon: 9,8170	Distanza: 2887,518
Sito 3	ID: 14267	Lat: 45,0285	Lon: 9,8139	Distanza: 2924,922
Sito 4	ID: 14266	Lat: 45,0263	Lon: 9,7434	Distanza: 5473,048

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente cu:	1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	[anni]
ag:	0,034	g
Fo:	2,535	
Tc*:	0,210	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	50	[anni]
ag:	0,042	g
Fo:	2,552	
Tc*:	0,237	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,098	g
Fo:	2,539	
Tc*:	0,292	[s]

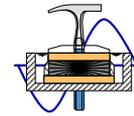
Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,125	g
Fo:	2,521	
Tc*:	0,299	[s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss:	1,500
Cc:	1,760
St:	1,000
Kh:	0,010
Kv:	0,005
Amax:	0,505
Beta:	0,200



SLD:

Ss: 1,500
 Cc: 1,690
 St: 1,000
 Kh: 0,013
 Kv: 0,006
 Amax: 0,617
 Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,500
 Cc: 1,580
 St: 1,000
 Kh: 0,029
 Kv: 0,015
 Amax: 1,438
 Beta: 0,200

SLC:

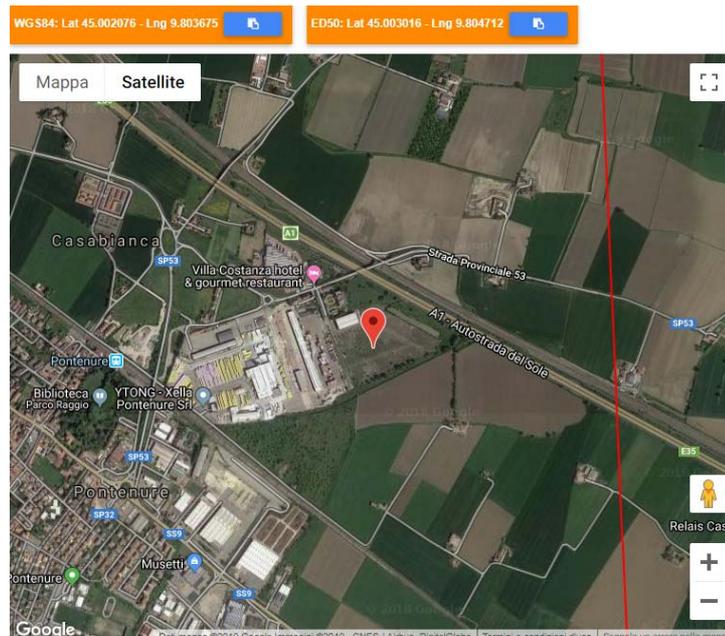
Ss: 1,500
 Cc: 1,560
 St: 1,000
 Kh: 0,045
 Kv: 0,023
 Amax: 1,845
 Beta: 0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
 Geostru

Coordinate WGS84

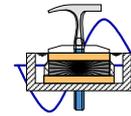
latitudine: 45.002076

longitudine: 9.803675



Dott. Geol. Cavanna Nicola

Via Degani, 9a – 29121 PIACENZA - Tel.: 0523/305674 - Fax.: 0523/317301
 e-mail: cavannageologo@gmail.com



4.4 – Frequenza naturale dei terreni (prospezione HVSR)

Dal 1 gennaio 2016 la “*determinazione della frequenza naturale dei terreni*” rientra tra i contenuti analitici minimi relativi agli effetti di doppia risonanza fra terreno e struttura.

Il paragrafo illustra e commenta l'indagine geofisica, approntata nell'ambito del comparto RDB (*vedasi planimetria in allegato 1 al presente elaborato*), ai fini della determinazione della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo mediante la registrazione dei microtremori a stazione singola con tromografo digitale (HVSR).

Si precisa che sono state effettuate più registrazioni delle quali si riporta nel presente paragrafo la maggiormente significativa ai fini dell'indagine.



da sx a dx sensore del tromografo Echo 3 e configurazione completa sul campo

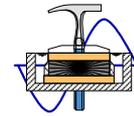
La caratterizzazione dei terreni è stata effettuata tramite la tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali) o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio).

La prova è stata condotta utilizzando un sismometro a stazione singola (tromografo digitale) in grado di registrare i microtremori lungo le direzioni X coincidente con l'Est topografico e Y coincidente con il Nord e lungo quella verticale (Z), di un ampio intervallo di frequenze (0.1-100 Hz) e per una durata sufficientemente lunga (mediamente 5-20 minuti). Il moto indotto nel terreno è stato misurato dallo strumento in termini di velocità attraverso tre velocimetri, uno per ogni direzione di misura (X, Y e Z).

Le misure registrate sono state poi elaborate e restituite graficamente in forma di spettri H/V (rapporto H/V in funzione della frequenza) e spettri V (componente verticale del moto in funzione della frequenza).

I terreni in oggetto, nel punto di prova, saranno soggetti ad amplificazioni dovuti ad una particolare frequenza di risonanza del terreno in caso di sisma.

La frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo è stata individuata a circa **6.85 Hz ± 0,1 Hz**.



Nome	GIARONA\tromografo\RDB.SAF
Passo temporale	6.45 ms
Numero di campioni	93000
Istante finale	600 s
Numero di sotto-intervalli	9

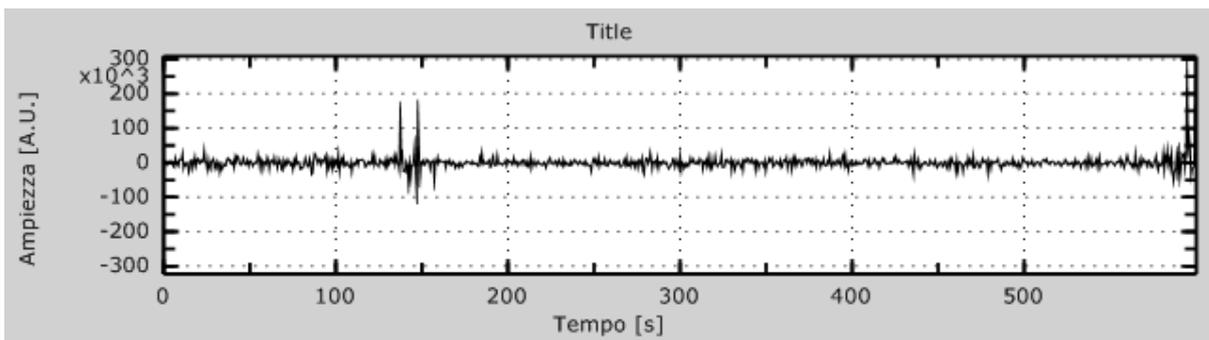
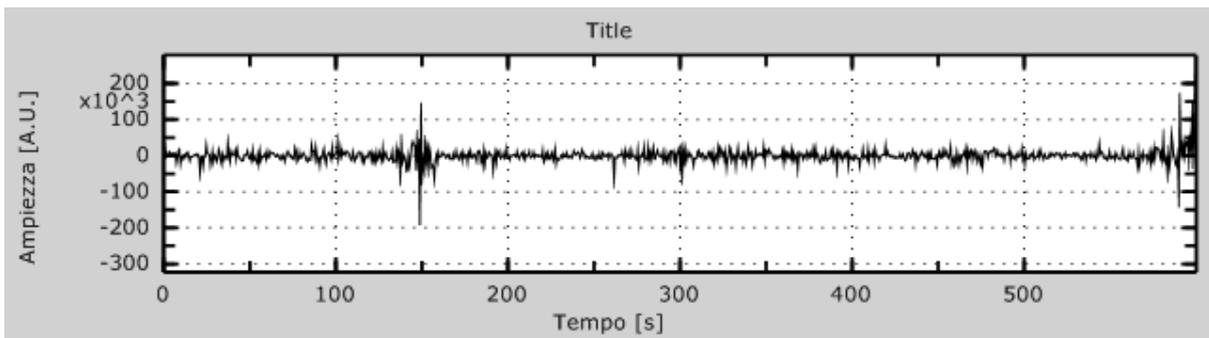
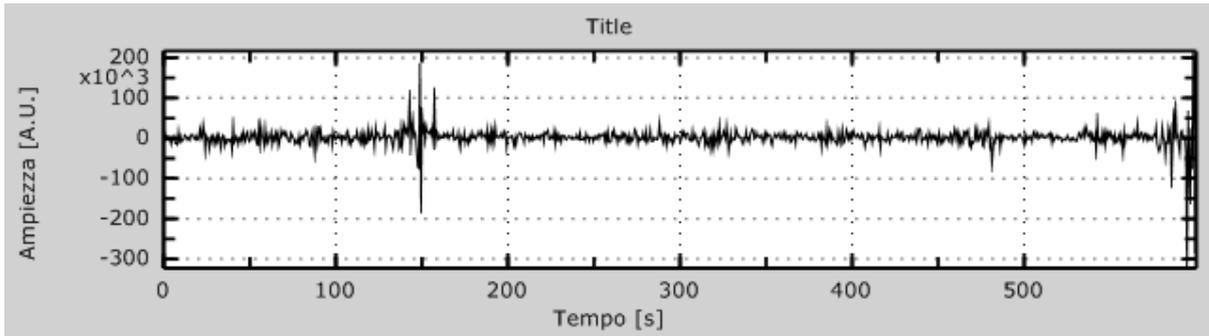


Figura. 4.4.I: Dati sperimentali in direzione Z (alto), N-S (centro) e E-W (basso).

In figura 4.4.II si riporta la curva numerica misurata durante le registrazioni con il tomografo digitale. Mentre in figg. 4.4.III e 4.4.IV sono riprodotti i grafici della stazionarietà temporale e della direzionalità del segnale.

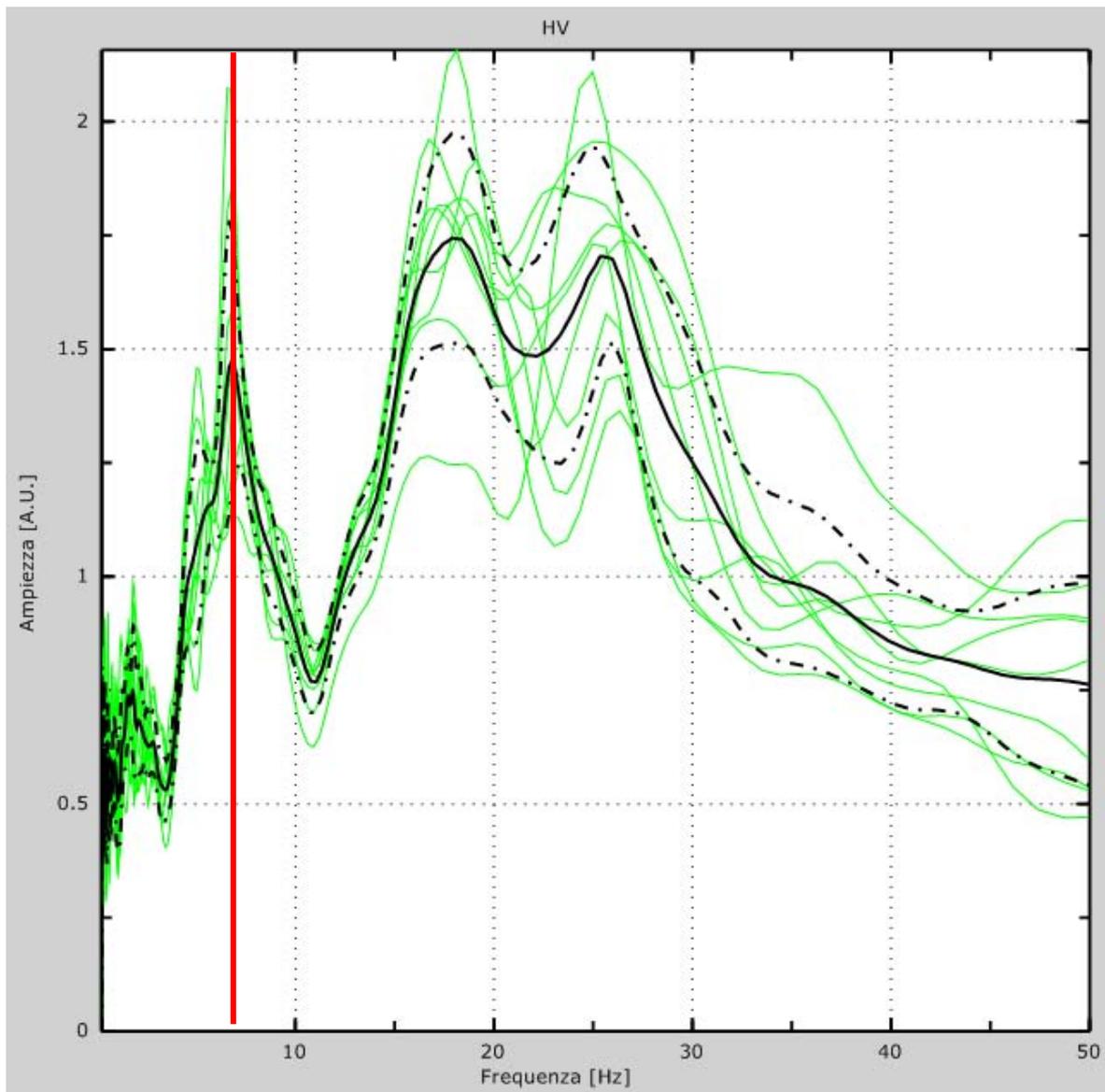
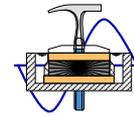


Figura 4.4.II: Curva HVSR.

Finestra temporale	60 sec
Frequenza massima	50 Hz
Numero di campioni	200
Passo in frequenza	0.25 Hz

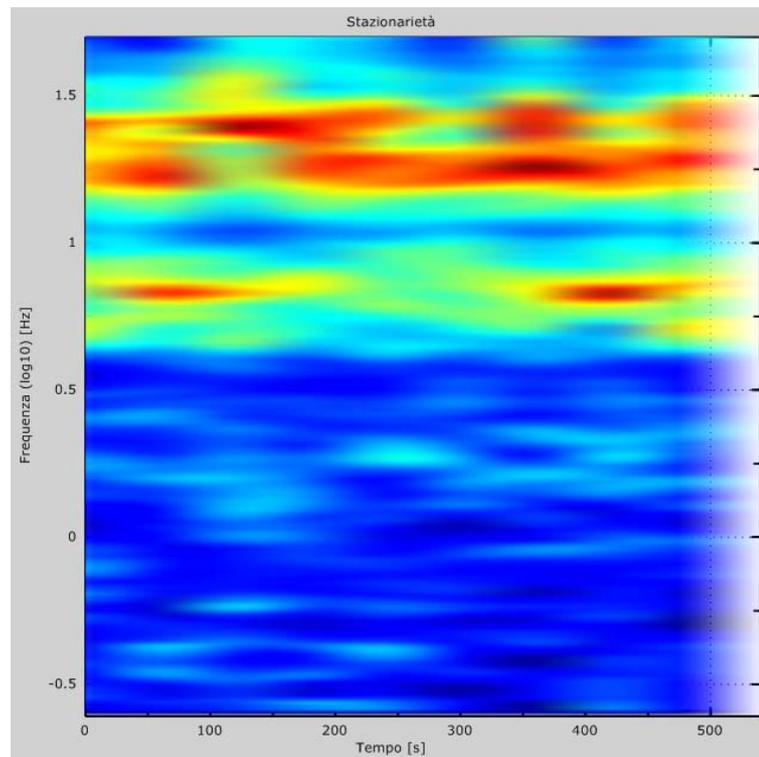
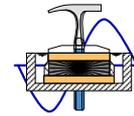


Figura 4.4.III: Stazionarietà

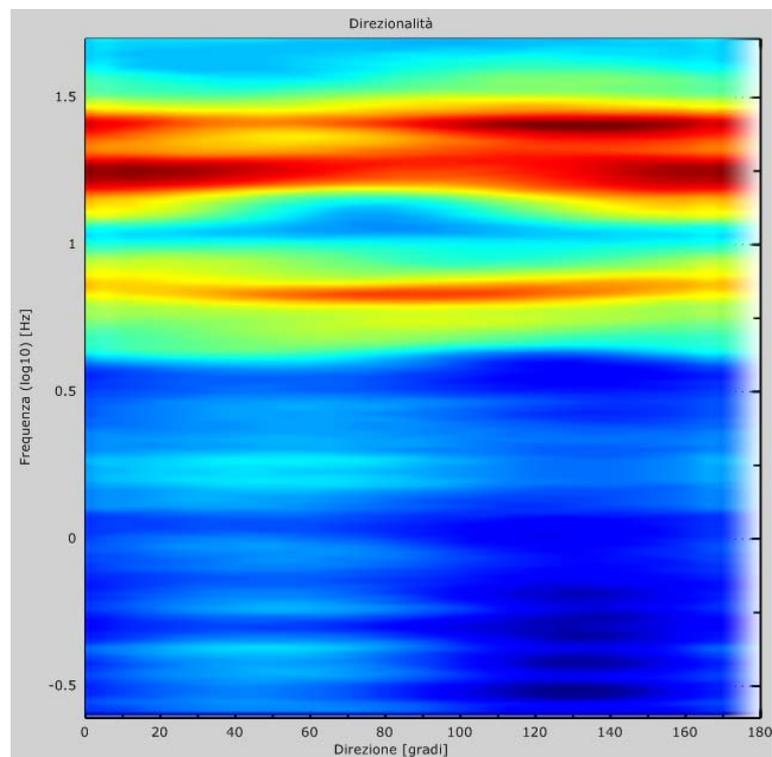
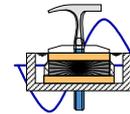


Figura 4.4.IV: Direzionalità



4.5 – Fattore di amplificazione del sito di interesse

Sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase e non essendo la zona interessata da instabilità, il modello stratigrafico può essere assimilato ad un schema fisico monodimensionale. Pertanto si è proceduto attraverso **un'analisi semplificata** (*secondo livello o fase di approfondimento*), cioè l'analisi della pericolosità locale è stata basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche e prove geotecniche in sito di tipo standard e l'amplificazione del moto sismico è stato stimato attraverso abachi e formule indicate nell'**Allegato 2 del DGR n. 2193**.

Preso atto del contesto "geologico" della territorio oggetto di analisi si ritiene che le indagini approntate e/o prese in esame siano tali da consentire un'adeguata caratterizzazione litostratigrafica e geofisica spaziale dei terreni e delle formazioni presenti nell'area di studio.

Per quanto concerne il secondo livello o fase di approfondimento, l'amplificazione sismica locale viene valutata mediante **fattori di amplificazione (FA)**.

I FA rappresentano il rapporto fra lo scuotimento sismico, valutato per la condizione geo-litologica specifica e il corrispondente scuotimento relativo alla categoria di sottosuolo A. I FA sono relativi a due parametri rappresentativi dello scuotimento sismico. Il primo è l'accelerazione di picco orizzontale (**PGA**), il secondo è l'intensità spettrale (**SI**).

La caratterizzazione geofisica del territorio è stata effettuata mediante l'interpretazione delle risultanze delle prove RE.MI - Refraction Microtremor e MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves (*vedasi allegato 2*).

Dal momento che l'area oggetto di intervento si colloca in un ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo (≥ 100 m da p.c. - PIANURA 2), si adottano, per determinare i fattori di amplificazione, le tabelle di cui all'Allegato A2.1.2 del D.G.R. n. 2193.

Per una velocità rilevata delle onde di taglio prossima ai 300 m/s (V_{s30}), entro i primi 30 metri di profondità nei depositi alluvionali che costituiscono il sottosuolo dell'area in studio (*rif. successione neogenico-quadernaria del margine appenninico padano*), i fattori di amplificazione valgono rispettivamente:

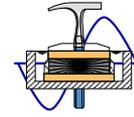
F.A. **PGA** = **1.6**

F.A. **SI1** (INTENSITA' SPETTRALE $0.1s < T_0 < 0.5s$) = **1.80**

F.A. **SI2** (INTENSITA' SPETTRALE $0.5s < T_0 < 1.0s$) = **2.40**

F.A. **SI3** (INTENSITA' SPETTRALE $0.5s < T_0 < 1.5s$) = **2.50**

In conclusione si ribadisce che, a parere dello scrivente la porzione di territorio in esame non necessita di ulteriori approfondimenti di carattere sismico, in quanto si ritiene il pericolo assente o comunque trascurabile.



Provincia di Piacenza

Comune di Pontenure

ALLEGATO 1

**PLANIMETRIA UBICAZIONE PROSPEZIONE SISMICA "HVSr"
(su base fornita dalla committenza)**



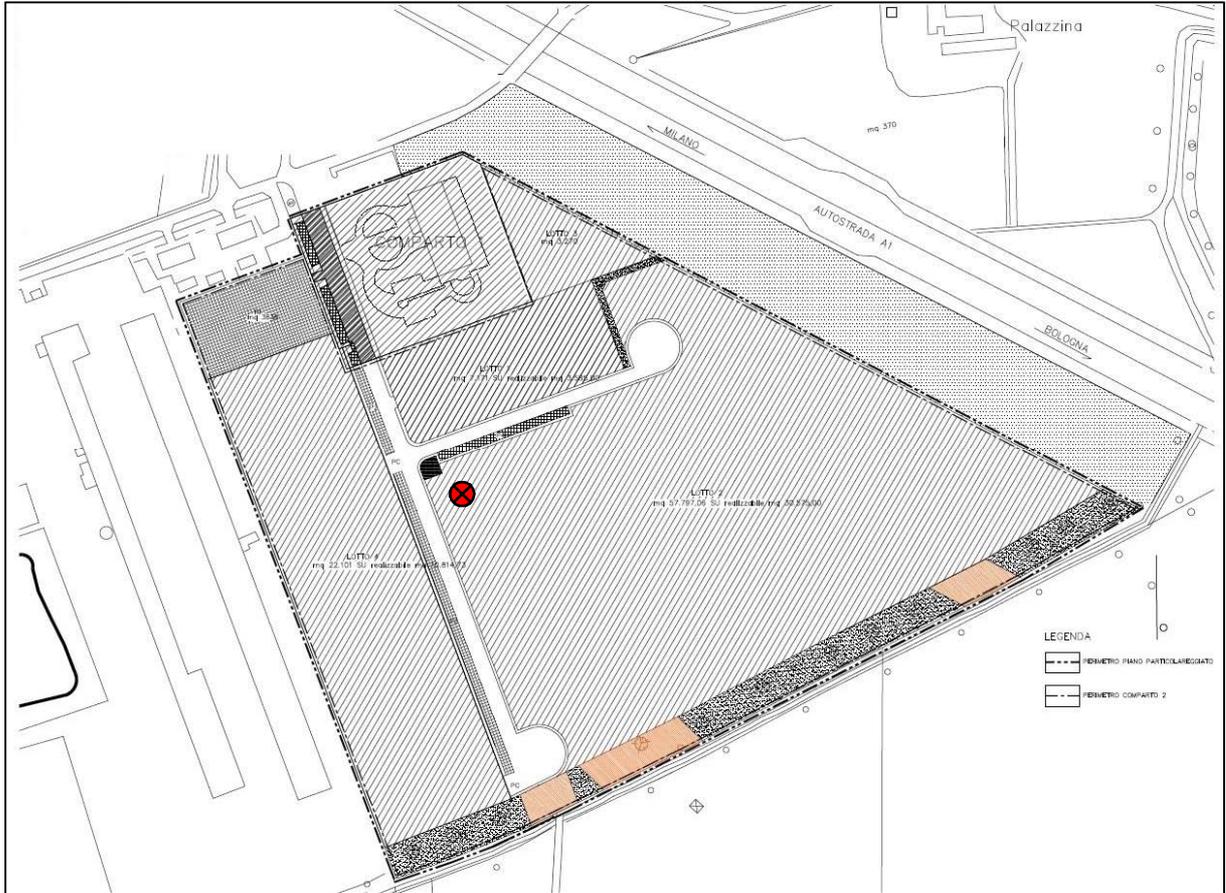
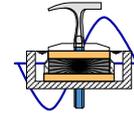
1 pagina

Committenza:

Società RDB Immobiliare S.p.A.

Dott. Geol. Cavanna Nicola

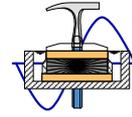
Via Degani, 9a – 29121 PIACENZA - Tel.: 0523/305674 - Fax.: 0523/317301
e-mail: cavannageologo@gmail.com



Legenda



PROVE SISMICHE HVSR



Provincia di Piacenza

Comune di Pontenure

ALLEGATO 2

RELAZIONE GEOLOGICO-SISMICA

Piano Particolareggiato di Iniziativa Privata "RDB" – comparto 2

Località Giarona - Pontenure (Pc)

Committenza:

Società RDB Immobiliare S.p.A.

Dott. Geol. Cavanna Nicola

Via Degani, 9a – 29121 PIACENZA - Tel.: 0523/305674 - Fax.: 0523/317301
e-mail: cavannageologo@gmail.com

RELAZIONE GEOLOGICO-SISMICA

piano particolareggiato di iniziativa privata "RDB" – comparto 2

Località Giarona - Pontenure (Pc)



Fasi esecutive dei rilievi sismici. Stendimenti 1, 2, 3

COMMITTENTE: **RDB IMMOBILIARE S.P.A.**

Piacenza, piazza Borgo 39 (Pc)

Aprile 2012

Sommario

1	PREMESSA	2
2	CARATTERISTICHE GEOLOGICHE GENERALI DELL'AREA	3
2.1	Aspetti stratigrafici, geomorfologici e litologici	3
2.2	Aspetti idrogeologici	6
2.3	Modello geologico.....	10
3	PROVE SISMICHE PER LA DETERMINAZIONE DEL PROFILO VS E DELLA CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE	11
3.1	Prove per la determinazione della v_{s30}	11
3.2	Strumentazione utilizzata	12
3.3	Prove re.mi. (refraction microtremor)	13
3.4	Prove "masw" (multichannel analysis of surface waves).....	16
3.5	Analisi dei risultati	18
4	VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DELL'AREA (DELIBERA DEL 2 MAGGIO 2007, N.112, IN MATERIA ANTISISMICA)	19
4.1	Obiettivi della delibera	19
4.2	Livelli di approfondimento	19
4.3	Caratteri sismici dell'area	20
4.4	Valutazioni relative all'area d'interesse.....	22
4.5	Valutazione del fattore di amplificazione del sito interesse	23
4.6	Spettro di risposta (in pga) dell'area	24
5	OSSERVAZIONI CONCLUSIVE	25

ALLEGATI



1 Premessa

Il rapporto illustra e commenta l'indagine geologico-sismica eseguita a Pontenure in località Giarona, nell'area interessata dal **piano particolareggiato di iniziativa privata "RDB"** (comparto 2).



Figura 1: foto aerea con indicazione dell'area d'interesse tratta da "Pagine gialle visual".

Obiettivo del lavoro oltre a quello di definire le caratteristiche geologiche e idrogeologiche dell'area d'interesse è stato quello di valutarne la **"pericolosità sismica"**, in base alla delibera della regione Emilia-Romagna del **2 Maggio 2007, n.112**, in materia antisismica: *"Approvazione dell'atto di indirizzo e coordinamento tecnico ai sensi dell'art. 16, comma 1, della L.R. 20/2000 "Disciplina generale sulla tutela e l'uso del territorio", in merito a "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica". (Proposta della Giunta regionale in data 10 gennaio 2007, n. 1)"*.

In base alla normativa regionale in materia urbanistica, tutti gli strumenti di pianificazione urbanistica comunale (anche in assenza di indicazioni provinciali, per il mancato aggiornamento del PTCP) sono tenuti a *"valutare la compatibilità delle previsioni in essi contenute con l'obiettivo della riduzione del rischio sismico e con le*

esigenze di protezione civile, sulla base di analisi di pericolosità locale nonché di vulnerabilità ed esposizione urbana".

L'indagine ha compreso le seguenti fasi di studio:

- ✓ Raccolta ed analisi della documentazione esistente;
- ✓ Inquadramento geologico-geomorfologico e idrogeologico
- ✓ Definizione del modello geologico dell'area d'interesse;
- ✓ Realizzazione di 3 prove sismiche "Masw"/"ReMi" per la determinazione del profilo di velocità delle onde sismiche "S" fino ad oltre 30m di profondità;
- ✓ Determinazione dello scenario di pericolosità sismica e valutazione degli effetti locali attesi in base alla nuova delibera in materia antisismica;
- ✓ Redazione d'elaborati in cui sono sintetizzati i risultati del lavoro svolto.

2 Caratteristiche geologiche generali dell'area

2.1 ASPETTI STRATIGRAFICI, GEOMORFOLOGICI E LITOLOGICI

L'area in esame è ubicata nella bassa pianura piacentina, circa 4 Km a valle dei terrazzi fluviali pleistocenici che bordano il margine collinare appenninico, al limite con l'alta pianura convenzionalmente individuata in corrispondenza della Via Emilia (circa 1 Km a SW).

La zona definisce il passaggio tra la superficie di esclusiva deposizione dei corsi d'acqua appenninici (T. Nure, T. Riglio, T. Chero) e la fascia più intensamente coinvolta dallo spostamento dei meandri del fiume Po, ora distanti circa 5 Km dall'area in esame. Quest'ultima è caratterizzata da depositi argilloso-limosi e da una morfologia piatta, mentre l'alta pianura è costituita dai conoidi dei citati corsi d'acqua appenninici e dall'antistante piana alluvionale, di deposizione olocenica almeno nelle porzioni superficiali.

Nell'ambito della piana antistante al margine appenninico le unità stratigrafiche quaternarie di ambiente continentale, distinte secondo i criteri UBSU¹, si articolano in due sintemi: il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (SERI), formatosi tra 0,65 e 0,45 Ma, e il Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS) compreso tra 0,45 Ma ed il presente.

Il primo è riconosciuto solo in profondità, ed è costituito da depositi in prevalenza limo argillosi, di colore grigio azzurrognolo, con livelli sabbioso-ghiaiosi e ghiaiosi intercalati che divengono preponderanti in corrispondenza dei paleoalvei principali. Il secondo (**SERS**) è formato da **alluvioni terrazzate ghiaiose nelle valli e nei conoidi fluviali, che passano a limi con rare intercalazioni di sabbia e ghiaie**

¹ UBSU: unità a limiti inconformi - Unconformity-bounded Stratigraphic Units. Corpo roccioso delimitato alla base e alla sommità da superfici di discontinuità specificatamente designate, significative e dimostrabili, aventi preferibilmente estensione regionale o interregionale. I criteri diagnostici utilizzati per stabilire e riconoscere queste unità stratigrafiche sono le due discontinuità che le delimitano. Le unità possono includere poche o molte altre unità stratigrafiche (litostratigrafiche, biostratigrafiche, magnetostratigrafiche, cronostratigrafiche, ecc.) sia in successione verticale che laterale.

nelle aree interposte tra le conoidi (interconoide) alla quale appartiene l'area di interesse, che è quasi esattamente equidistante dall'alveo del Nure (2 Km a NW) e da quello del Riglio (1,6 Km a SE).

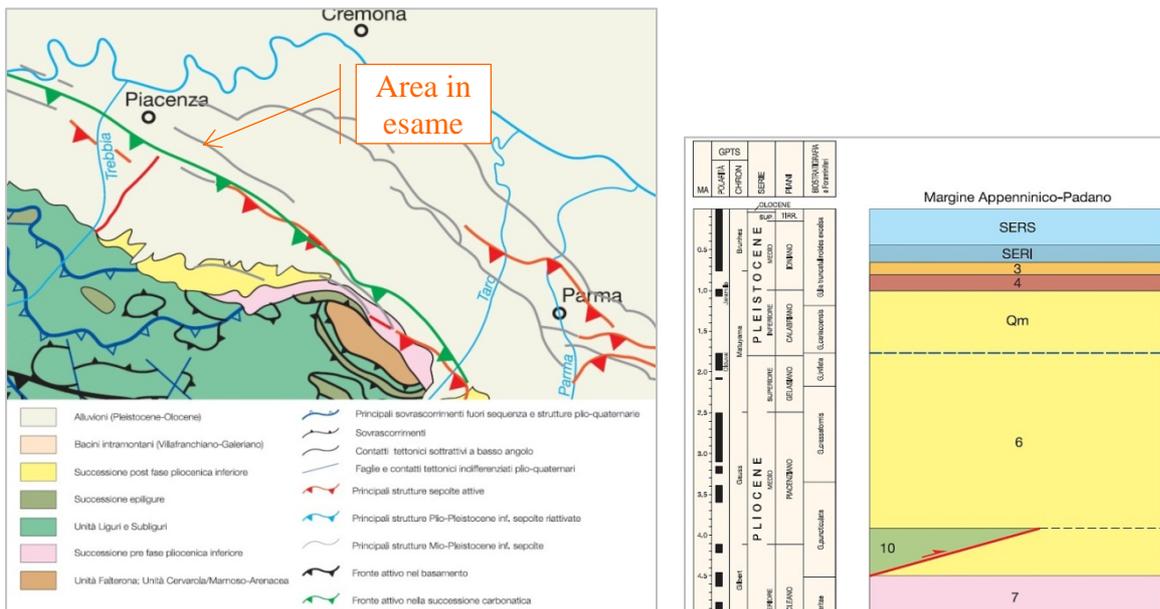


Figura 2: schema strutturale e successione stratigrafica del margine appenninico. La deposizione di origine continentale inizia con il passaggio al pleistocene superiore. Da "Note illustrative della Carta Sismotettonica della regione Emilia Romagna (2003)".

Nel foglio geologico CARG 180 "Salsomaggiore Terme" in scala 1:50.000 la parte superiore del Sistema Emiliano Romagnolo Superiore è identificata come **Subsistema di Ravenna (AES8)**, formato da "Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi, limi e limi sabbiosi", di **spessore massimo di 20 metri**, caratterizzato da un profilo di alterazione compreso tra pochi decimetri a circa 1 metro. L'unità si è deposta dal medio pleistocene all'olocene, e la parte superiore della stessa, in particolare nelle porzioni più prossime ai fiumi, è stata distinta come **unità di Modena (AES8a)**, formata da "ghiaie prevalenti e sabbie, ricoperte da una coltre limo argillosa discontinua". Questa sub unità è caratterizzata da un profilo di alterazione di pochi decimetri e di spessore massimo è di alcuni metri e si è deposta tra il IV e il VII secolo d.C.

L'area in esame appartiene alla sub unità di Modena ma bisogna precisare che la documentazione disponibile sul Portale cartografico del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli (SGSS) della regione Emilia Romagna, riferita in Figura 3, riporta fino al parallelo passante dal centro dell'abitato di Pontenure la cartografia geologica di maggior dettaglio elaborata per il progetto CARG, mentre più a nord, quindi nell'area di progetto, la documentazione riferita deriva da rilievi più vecchi a scala inferiore.

Questo spiega la presenza dell'unità AES8 con copertura limo sabbiosa nella sola porzione a E di Pontenure, mentre a nord, pur essendo ragionevole la continuità di questa unità anche nell'area d'interesse, è descritta una copertura ghiaiosa (pallini).

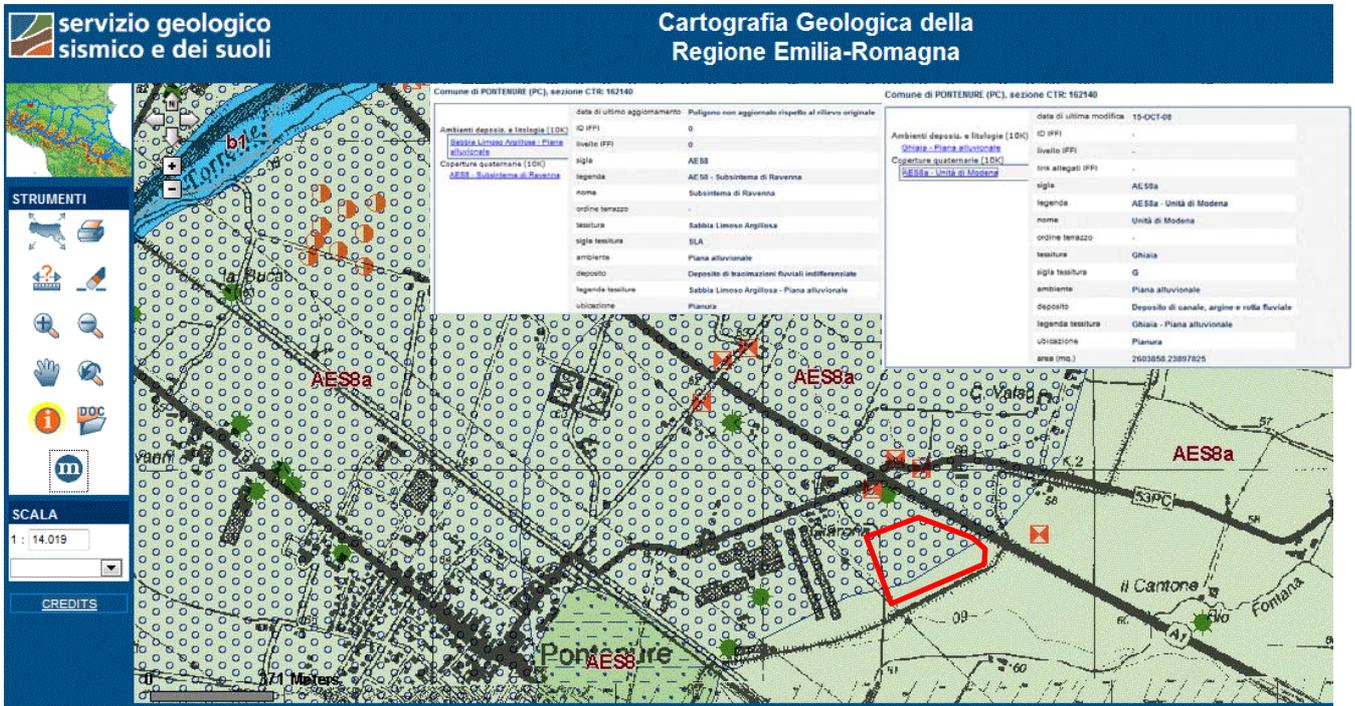
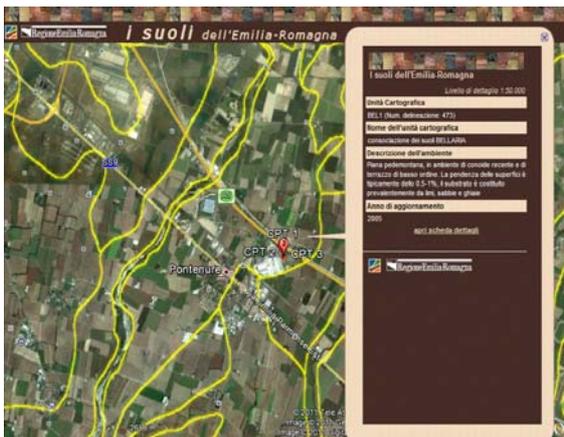


Figura 3: individuazione dell'area d'indagine nel gis della carta geologica e dei suoli dell'Emilia – Romagna.

AES8: Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi, limi e limi sabbiosi. La grafica distingue le aree caratterizzate da depositi grossolani prevalenti (pallini) da quelle formate da argille limose. Le informazioni stratigrafiche e litologiche fornite dal gis regionale sono riferite nei testi con fondo bianco aggiunti alla carta. pozzi per acqua ; carotaggio continuo ; area in esame



Le caratteristiche pedologiche descritte dalla letteratura disponibile sul sito regionale indicano la presenza della consociazione denominata BELLARIA, formata da suoli molto profondi, molto calcarei, a tessitura fine e molto fine, che presentano ghiaia non alterata a partire da due metri di profondità. Di seguito si riportano le determinazioni analitiche relative al profilo di riferimento.

Ap 0-50 cm; franco limoso, di colore bruno grigiastro scuro (2.5Y4/3), frammenti poliedrici moderatamente sviluppati; molte radici fini; macropori fini; violenta effervescenza all'HCl; moderatamente alcalino (pH 7,9); limite abrupto lineare.

Bw 50-65 cm; franco, con lenti a tessitura franco sabbiosa, di colore bruno oliva (2.5Y4/4); struttura principale poliedrica subangolare media moderatamente sviluppata e secondaria poliedrica subangolare grossolana moderatamente sviluppata; poche radici fini; macropori fini; violenta effervescenza all'HCl; moderatamente alcalino (pH = 8,1); limite chiaro lineare.

BC 65-95 cm; franco limoso, con lenti a tessitura franco sabbiosa, di colore bruno oliva (2.5Y4/4); struttura poliedrica angolare molto grossolana, debolmente sviluppata; poche radici fini; macropori fini; violenta effervescenza all'HCl; moderatamente alcalino (pH = 8,2); limite chiaro ondulato.

C1 95-135 cm; franco limoso, di colore bruno oliva (2.5Y4/4); massivo; poche radici fini; macropori molto fini; violenta effervescenza all'HCl; moderatamente alcalino (pH = 8,2); limite chiaro lineare.

C2 135-155 cm; franco limoso, di colore bruno oliva (2.5Y4/4); struttura poliedrica angolare molto grossolana, debolmente sviluppata; poche radici fini; macropori molto fini; violenta effervescenza all'HCl; moderatamente alcalino (pH = 8,3); limite chiaro lineare.



Determinazioni analitiche relative al profilo di riferimento

Prof. Min. cm	Prof. Max. cm	Sabbia %	Limo %	Argilla %	Materia org. %	pH in H2O	Calcarea totale %	Calcarea attivo %	CSC meq/100g	Cond. el. 1:5 (dS/m)	ESP
0	50	31,0	52,0	17,0	2,1	7,9	20,0	5,0	13,4		6,2
50	65	38,0	52,0	10,0	1,0	8,1	26,0	4,0	9,7		
65	95	27,0	62,0	11,0	0,9	8,2	25,0	11,0	10,0		8,6
95	135	23,0	67,0	10,0	0,8	8,2	27,0	5,0	8,6		
135	155	61,0	31,0	8,0	0,6	8,3	30,0	4,0	6,8		

Figura 4: unità pedologiche e dati analitici del profilo di riferimento del principale suolo riconosciuto nell'area.

I dati denotano una costante predominanza di litologie limose (31-67%) con sabbia subordinata in superficie e più abbondante in profondità (23-61%) mentre la frazione argillosa è compresa tra l'8 e l'11% oltre i primi 50 cm. La percentuale di sostanza organica è molto modesta e quindi non influenza il comportamento meccanico dei terreni.

In sintesi il carattere geotecnico dei depositi derivabile dai dati pedologici oltre i primi 50 cm è quello di un deposito incoerente.

Poiché nei primi metri dell'area esaminata è presente solo materiale di riporto, l'informazione pedologica è di scarsa rilevanza, ma informa circa la probabile prosecuzione in profondità di depositi grossolani (le ghiaie non alterate oltre i -2 metri).

2.2 ASPETTI IDROGEOLOGICI

La sezione riportata in Figura , realizzata circa 10 Km a SE dell'area di progetto, fornisce uno schema idrogeologico generale dell'area emiliana. Secondo gli autori la successione idrogeologica è suddivisibile in varie unità idrostratigrafiche fondamentali² denominati gruppi acquiferi A, B, C, corrispondenti ad altrettante sequenze deposizionali, tra loro separate da aquitard or aquiclude continui alla scala del bacino. A loro volta i gruppi sono suddivisi in unità di rango inferiore denominati "complessi acquiferi" (Es A1, A2,...etc.), che hanno barriere impermeabili di separazione di dimensioni locali.³

La parte centrale della sezione riferisce la successione litologica in corrispondenza del conoide del fiume Arda, ma l'analogia dei processi di formazione consente di

² Hydrostratigraphic unit is a formation, part of a formation, or group of formations of significant lateral extent which compose a unit of reasonably distinct (similar) hydrogeologic parameters and responses.

³ Per essere identificate come Unità Acquifere devono : 1) essere costituite da una o più sequenze deposizionali; 2) comprendere un livello geologico alla base scarsamente permeabile o impermeabile.

ritenere che i lineamenti principali siano rappresentativi anche dell'area del Nure.

Si denota in primo luogo la **predominanza di litologie poco permeabili almeno fino a profondità di circa 200 metri dalla superficie, alle quali si intercalano depositi permeabili di spessore compreso tra 10 e 15 metri, di una decina di chilometri di estensione, che si chiudono al passaggio tra l'alta e la bassa pianura.**

L'alimentazione della falda è principalmente determinata dalle perdite di subalveo e dall'**infiltrazione efficace nelle aree di conoide**, dove affiorano le litologie più grossolane talvolta oggetto di attività di escavazione⁴. A valle si interpongono i sedimenti fini, che separano tra loro i corpi ghiaiosi di conoide e seppelliscono le ghiaie più superficiali. Il sistema acquifero è quindi multifalda, progressivamente compartimentato, caratterizzato da **falda confinata e in alcune zone da falda libera**, quest'ultima collocata nelle porzioni di acquifero più superficiale.

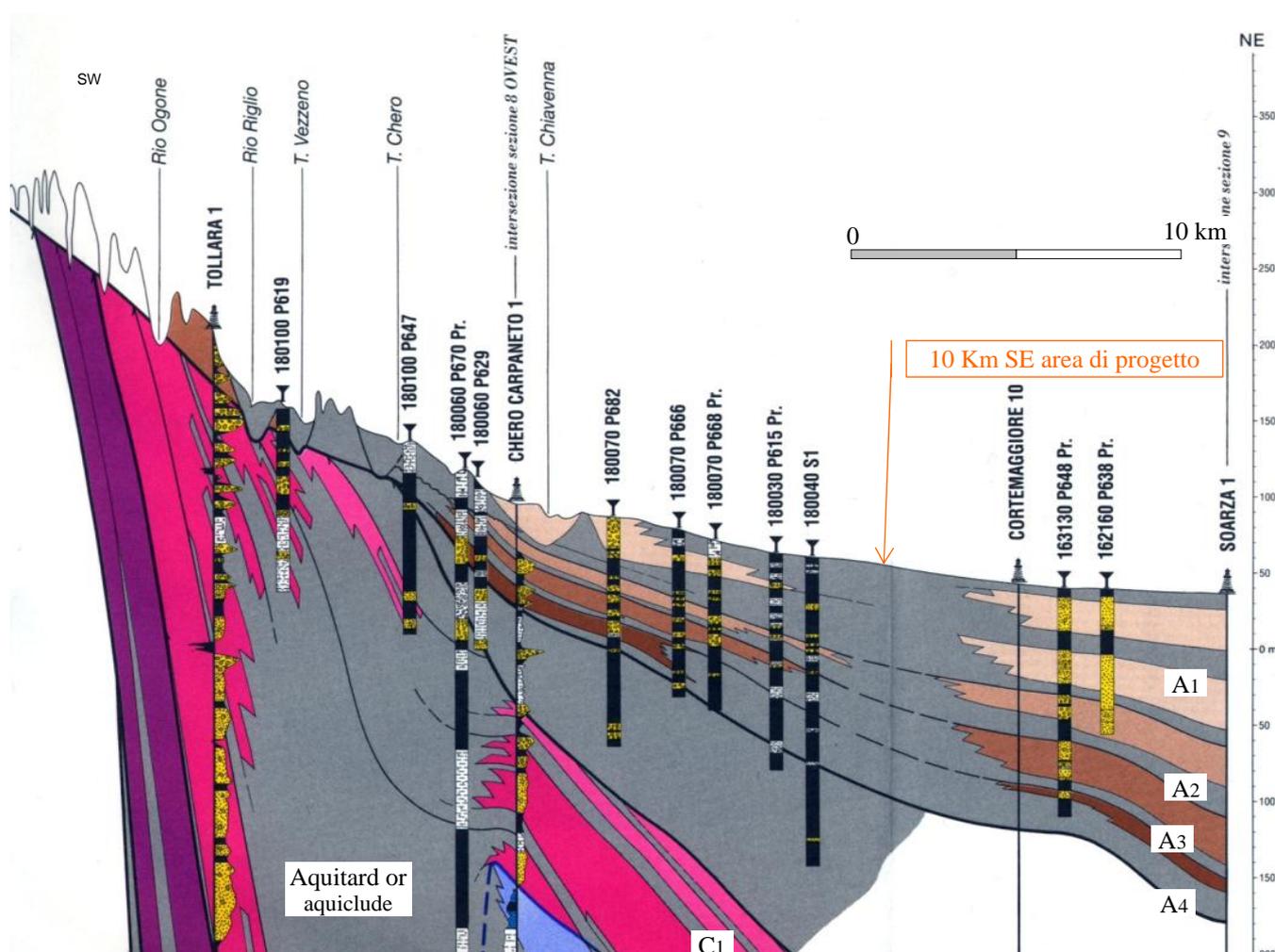


Figura 5: da ENI – AGIP, Regione Emilia Romagna (1998) “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna” sezione n. 1 A1, A2, A3, A4 = gruppo A acquifero;
 ~~~~~ limite acque dolci -acque salate. In colore blu sono indicati gli acquiferi saturati con acque salate

<sup>4</sup>Tratto con modifiche da : Regione Emilia-Romagna (2005). Le caratteristiche degli acquiferi della Regione Emilia-Romagna – report 2003.

L'area in esame può essere considerata come superficie distale di un conoide di dimensioni medie, che realizza la transizione verso l'antistante porzione di piana alluvionale appenninica o padana. Le principali caratteristiche sono date da **una bassa continuità laterale dei depositi grossolani**, che in prevalenza formano corpi isolati ad andamento nastriforme, e dalla diminuzione della granulometria degli stessi (da ghiaie-sabbiose fino a sabbie).

Questi settori si caratterizzano per la presenza di un acquifero fortemente compartimentato in cui **sono assenti le condizioni di falda libera**, scambi da fiume a falda, e scambi tra le diverse falde. La circolazione idrica si riduce marcatamente e i massimi gradienti idraulici raggiungono il generalmente il **2–3 per mille**.

Secondo il Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia Romagna<sup>5</sup> l'intero territorio a SE di Piacenza fino al confine provinciale appartiene al settore denominato "B", in cui si manifesta una ricarica indiretta della falda. Dal punto di vista idrogeologico il settore è identificato da un sistema debolmente compartimentato, in cui **alla falda freatica superficiale segue una falda semiconfinata con la quale è collegata per drenanza verticale**. In corrispondenza della via Emilia le potenti coperture di natura prevalentemente argillosa costituiscono importanti fattori di protezione dell'acquifero più superficiale, tali da **caratterizzare l'intera area con un grado di vulnerabilità "basso"**. Inoltre, la presenza di falde in pressione garantisce un ulteriore ostacolo alla propagazione in profondità di potenziali sostanze inquinanti.<sup>6</sup>

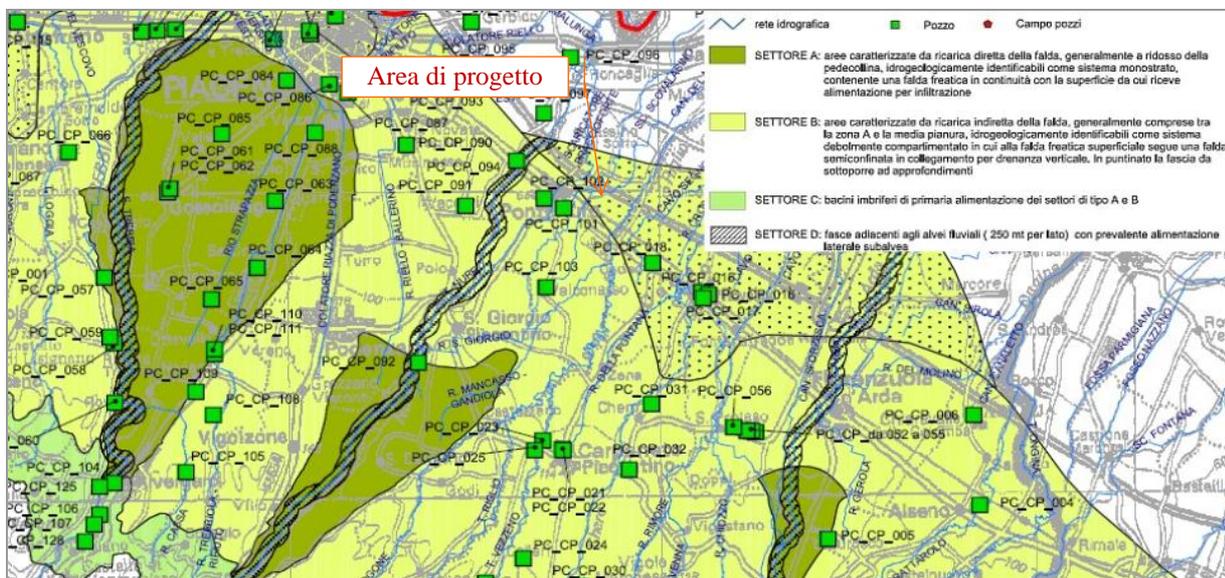


Figura 6: da : Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia Romagna (2005) – Relazione Generale e Zone di protezione delle acque sotterranee - Aree di ricarica Tavola 1

La direzione e il gradiente medio della falda freatica è riportato in Figura 7 che individua la distribuzione dei bacini idrogeologici di pianura e l'andamento delle

<sup>5</sup> Piano di Tutela delle Acque della Regione Emilia Romagna (2005) – Relazione Generale e Zone di protezione delle acque sotterranee - Aree di ricarica Tavola 1.

<sup>6</sup> Caratteristiche qualitative e quantitative degli acquiferi della provincia di Piacenza ARPA - sezione di Piacenza febbraio 2002.

isopiezometriche tratta dai documenti citati nella nota (2). La direzione di flusso è da SSE verso NNW con gradienti compresi tra il 3,5 ed il 4,5 ‰ e in corrispondenza dell'area d'interesse la quota piezometrica è di  $50 \div 51$  m s.l.m., corrispondente ad una **soggiacenza di 7-8 m** dalla quota del terreno naturale.

A conferma di quanto detto si riporta in Figura l'andamento dei livelli freatici di pozzi ubicati a 1,8 – 2,6 Km di distanza dall'area d'interesse e indicati in pianta nella figura 7.

La soggiacenza dal piano campagna varia da 8,5 metri il 15 aprile 2003 (pozzo PC32-02), a un massimo di 20,3 metri il 08 ottobre 2007 (pozzo PC64-00), con valore medio di 14,9 metri e una deviazione standard di 3,9 metri.

In sintesi i dati freaticometrici mostrano un'escursione pluriennale di molti metri e una soggiacenza molto superiore a quella rilevata in un piezometro collocato nella prova penetrometrica n. 2 (falda a -4,7 m dalla superficie) eseguita a gennaio 2012 per il progetto di un edificio entro l'area esaminata.

Il primo aspetto è riconducibile al meccanismo di ricarica nelle zone medie e alte delle conoidi, che genera rapide variazioni di livello piezometrico negli acquiferi semi confinati a valle, mentre il secondo aspetto è probabilmente dovuto alla diminuzione di trasmissività a valle dei pozzi.

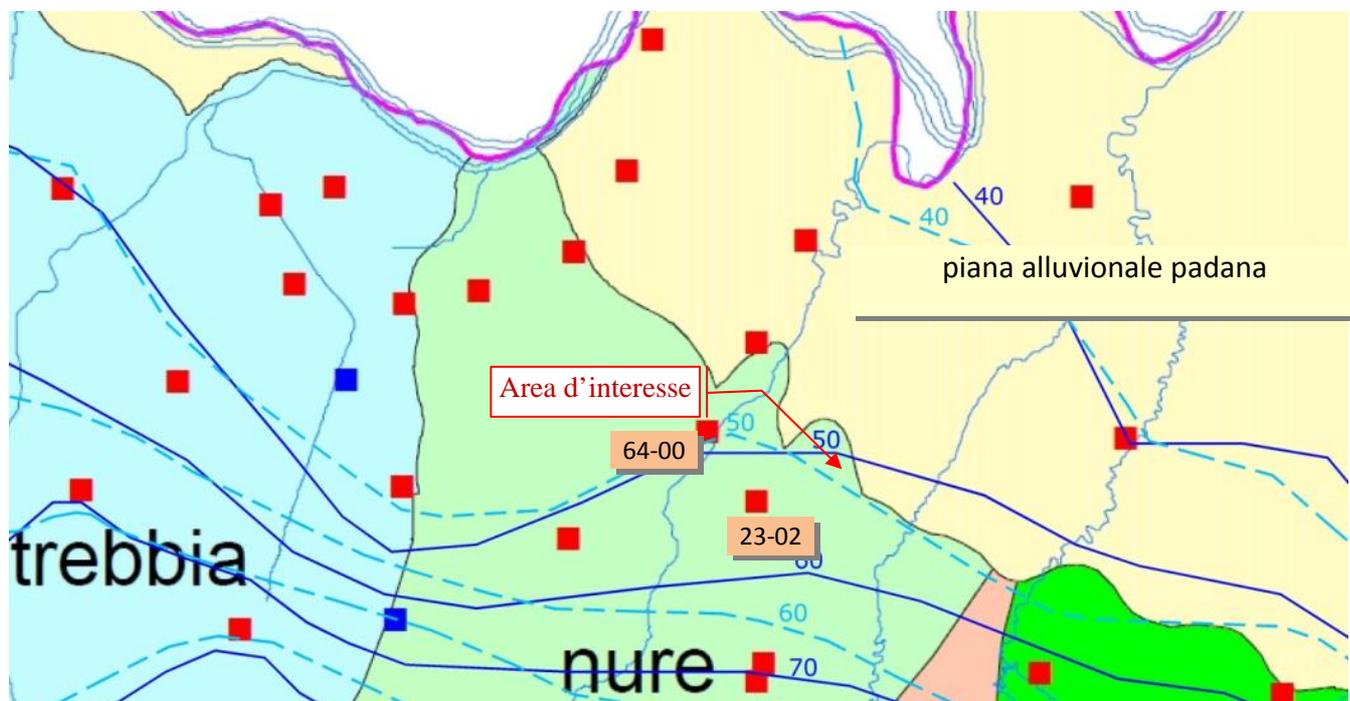


Figura 7: Complessi e Unità idrogeologiche (conoidi alluvionali e piana alluvionale padana) e rete di monitoraggio delle acque sotterranee 2008. ■ pozzi con controllo del livello piezometrico e del chimismo; ■ pozzi solo piezometrici.

23-02 Isopiezometriche con rilievi 2008; Isopiezometriche con rilievi 2003  
 codice pozzi con misura delle variazioni freatiche in Figura .

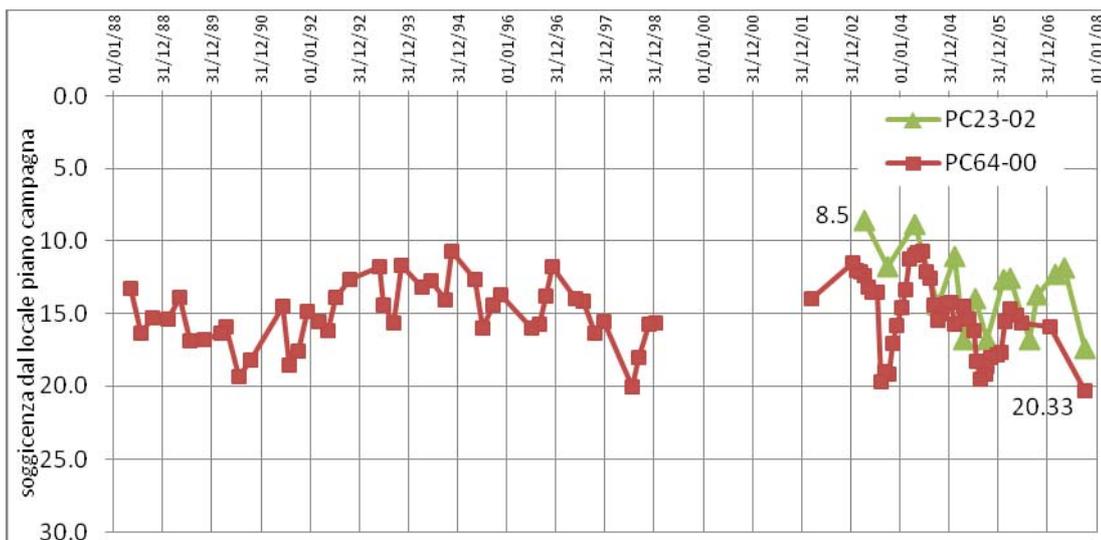


Figura 8: livelli misurati nei pozzi Codici PC64-00 e PC23-02 da maggio 1988 a ottobre 2007 (dati da [http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/web-gis/piezometrie\\_rer.htm](http://www.regione.emilia-romagna.it/geologia/web-gis/piezometrie_rer.htm)).

Un'altra possibile causa della relativamente bassa soggiacenza osservata può essere ricercata nella presenza nel profilo di strati limi argillosi a varie quote, che possono favorire la formazione di locali ristagni di acqua di infiltrazione superficiale, come osservato direttamente in caso di altre opere realizzate a breve distanza.

### 2.3 MODELLO GEOLOGICO

Dalle informazioni desunte dalle stratigrafie di pozzi idrici realizzati nell'area dello stabilimento "RDB" e dalle stratigrafie di sondaggi meccanici eseguiti nelle vicinanze dell'area, si può ipotizzare il seguente schema litostratigrafico:

**da p.c. a circa -2.5m:** materiale di riporto eterogeneo;

**da -2.5m a -11/-12m:** limi argillosi con locali intercalazioni sabbioso-ghiaiose;

**da -11/-12m a -18/-21m:** depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi con locali intercalazioni fini;

**da -18/-21m a -35m** depositi prevalentemente limo-argillosi;

### 3 Prove sismiche per la determinazione del profilo Vs e della categoria di suolo di fondazione

Nel dettaglio sono stati realizzati 3 stendimenti sismici, la cui ubicazione è visualizzata nello stralcio planimetrico sotto riportato.

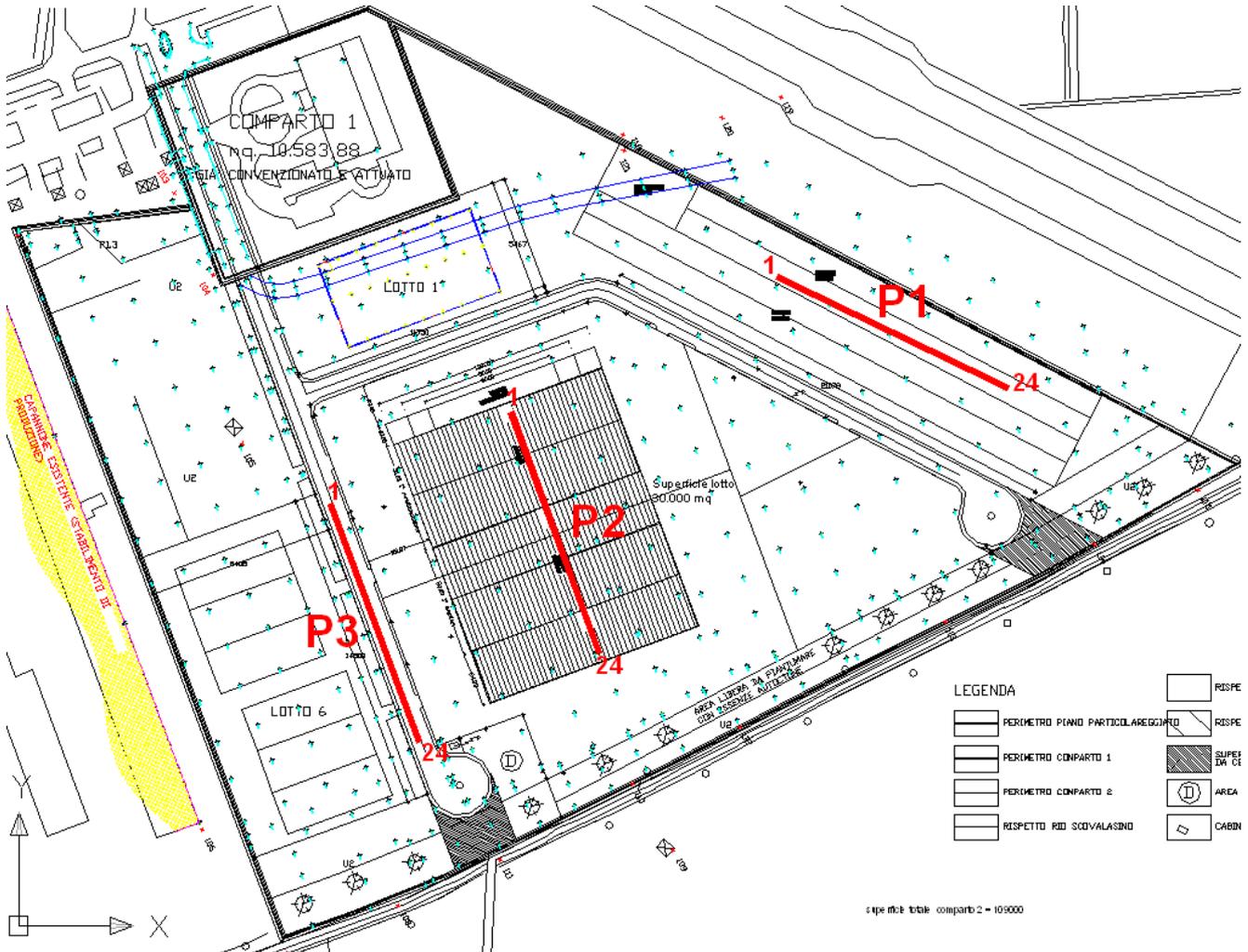


Figura 9: planimetria delle indagini geofisiche realizzate

#### 3.1 PROVE PER LA DETERMINAZIONE DELLA VS<sub>30</sub>

L'indagine è stata condotta con due metodologie sismiche che possono essere considerate complementari:

- - RE.MI - Refraction Microtremor;
- - MASW - (Multichannel Analysis of Surface Waves).

La metodologia **RE.MI** è una tecnica "passiva" in quanto si basa sulla registrazione del rumore sismico indotto dalle attività antropiche (traffico, fabbriche ecc.). I pregi ed i limiti principali di questa tecnica si possono così sintetizzare:

#### Pregi

- ✓ adatta in ambienti fortemente antropizzati;

- ✓ elevate profondità di indagine, anche in presenza di terreni con bassa velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ), per la capacità di campionare basse frequenze.

#### **Limiti**

- ✓ non adatta in ambienti poco "rumorosi";
- ✓ possibilità di sovrastimare i valori di  $V_s$  in presenza di rumore fortemente direzionale non ortogonale allo stendimento sismico.

Viceversa la metodologia **MASW** è una tecnica "attiva" in quanto si basa sulla registrazione del segnale sismico indotto da una massa battente. I pregi ed i limiti principali di questa tecnica si possono così sintetizzare:

#### **Pregi**

- ✓ adatta in ambienti "non rumorosi";
- ✓ buona capacità di definizione dei valori di  $V_s$ , soprattutto per quanto riguarda gli orizzonti più superficiali (primi 20-30m).

#### **Limiti**

- ✓ poco adatta in ambienti fortemente antropizzati e rumorosi;
- ✓ limitate profondità di indagine, in presenza di terreni con bassa velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ).

Difficilmente, prima di realizzare l'indagine, è possibile valutare qual è la tecnica che può fornire i risultati migliori, quindi in campagna si procede con la realizzazione di entrambe le tecniche, e solo dopo, in fase di elaborazione, saranno confrontati i profili di velocità ottenuti. Come già accennato, la tecnica "*Masw*" consente di stimare in modo più preciso i valori di  $V_s$  degli orizzonti più superficiali, mentre il metodo "*Re.Mi.*" consente di ottenere una maggiore profondità d'indagine. In generale le tecniche, con i dovuti accorgimenti operativi, permettono di ottenere risultati, seppur parzialmente, "sovrapponibili"; solo in alcuni casi una tecnica si rileva "chiaramente" migliore dell'altra.

### **3.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA**

Il "Geode" è un sismografo modulare a 24 bit che rappresenta l'ultima frontiera dei sistemi di registrazione sismica combinando il meglio dei tradizionali sismografi Geometrics con la flessibilità di un sistema distribuito. Geode è un sismografo ad elevata dinamica (144 dB di range dinamico totale – 105 dB istantanei a 2 msec di campionamento). Grazie all'ampia banda d'ingresso ( 1.75 Hz – 20 kHz, con velocità di campionamento da 0.02 msec a 16 msec), esso è perfettamente idoneo per un'ampia gamma di applicazioni: sismica a rifrazione, sismica a riflessione (anche ad altissima risoluzione), monitoraggio di vibrazioni, applicazioni sismologiche, downhole e VSP. In acquisizione sono disponibili tutte le funzioni di filtri, pre-amplificazione, line-test e instrument-test, tipiche dei sistemi di registrazioni evoluti.

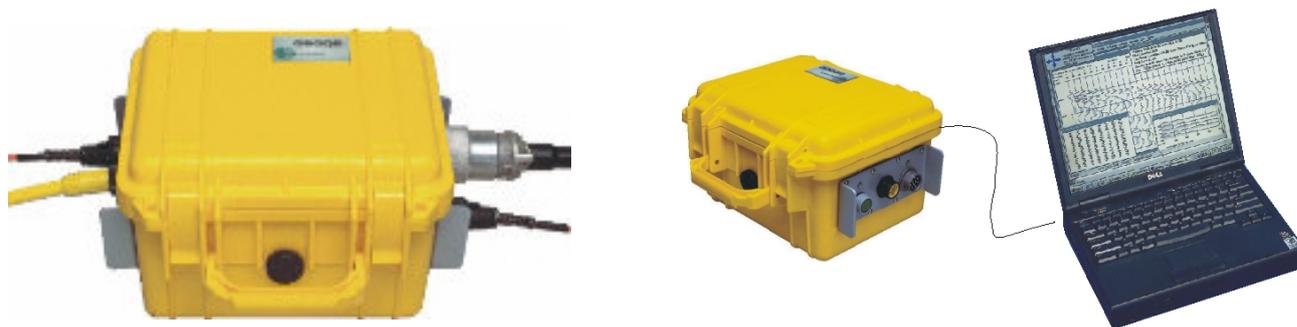


Figura 10: sismografo "Geode" collegato al pc

L'attrezzatura utilizzata è composta da:

- Sismografo modulare Geode 3-1000+ canali,
- Massa battente da 10 Kg,
- Piastra di battuta in alluminio 15x15x2,5cm,
- Batteria ricaricabile 12 V,
- Cavo per sismica a rifrazione stranded, 130 mt con 24 takeouts SPT-21 a 5 metri di intervallo e due code da 7.5 mt l'una terminate con connettore Bendix 61S,
- Geofoni GS20DX, 4.5 Hz verticali, 395 Ohm con puntale da 3" ed 1,5 mt di cavo terminato con mueller clip singola MC-20-SP,
- Computer portatile ACER.

### 3.3 PROVE RE.MI. (REFRACTION MICROTREMOR)

#### 3.3.1 Cenni metodologici

Le tecniche correntemente utilizzate (Down-Hole, Cross-Hole) per la stima delle velocità delle onde di taglio per caratterizzare un sito sotto il profilo della risposta sismica, dovendo necessitare di almeno un foro di 30 m nel quale eseguire la prova, sono normalmente troppo onerose per essere impiegate come indagine di routine negli studi di microzonazione e di classificazione dei profili stratigrafici dei suoli di fondazione per progettazioni di opere non concentrate in areali ristretti.

Altre metodologie d'indagine indiretta per la determinazione delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ , quale la sismica a rifrazione in SH, sono limitate dalla incapacità di rilevare livelli a bassa velocità sismica sottostanti a livelli a velocità sismica più elevata, che rappresentano i casi invece più significativi per la determinazione del profilo di velocità VS. Presentano altresì lo svantaggio di una tecnica di acquisizione non semplice, avendo la necessità di generare in superficie onde direzionali con apposite attrezzature e di richiedere dispositivi di acquisizione relativamente lunghi per garantire la profondità d'indagine dei 30 m, ma soprattutto di dover operare in ambienti con poco rumore di fondo, di fatto praticamente impossibile da riscontrare in ambiti urbanizzati, industriali, o in adiacenza a strade o a linee ferroviarie come il caso in esame.

Altre metodologie di prospezione, quali le prove di misura di onde di superficie SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), o le prove MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), pur avendo capacità di discriminare livelli lenti all'interno di unità sismiche più veloci, hanno anch'esse la necessità di ambienti relativamente tranquilli per l'acquisizione e, comunque, presentano metodologie di rilievo sicuramente laboriose e complesse. La tecnica di prospezione "Refraction Microtremor" (Re.Mi) utilizzata capovolge il concetto comune del parametro "segnale-disturbo", per il quale tradizionalmente il primo (segnale) ha necessità di essere rilevato in condizioni favorevoli quindi in assenza o scarsità di rumore. Viceversa, in presenza di forte rumore di fondo (es. ambiente urbano), le tradizionali rilevazioni sismiche hanno sempre trovato una condizione di difficile applicazione a causa della difficoltà di discriminare il segnale dal rumore.

Con questa nuova tecnica, il disturbo, il "noise" ambientale diventa il segnale utilizzato per la caratterizzazione sismica. Sono i microtremori (rumore di fondo generato dal traffico stradale, ferroviario e comunque il rumore presente costantemente in ambito urbanizzato) a costituire la sorgente di energia utile allo scopo.

Numerose sperimentazioni hanno consentito di appurare che le registrazioni del rumore di fondo ambientale, effettuate con uno stendimento sismico normalmente utilizzato per la sismica a rifrazione, possono essere utilizzate, con opportune procedure di acquisizione e elaborazione, per stimare la velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) fino a profondità che possono essere superiori a 100m.

La metodologia d'indagine più applicata per la determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio  $V_s$ , è stata proposta e sperimentata da J.N.Louie del Seismological Laboratory and Dept. of Geological Sciences dell'Università del Nevada, ed è basata su due aspetti fondamentali:

- uno pratico, rappresentato dal fatto che alcuni sistemi di acquisizione di sismica a rifrazione (con dinamica a 24bit) sono in grado di registrare onde di superficie con frequenze fino a 2 Hz per intervalli di tempo sufficientemente lunghi (30 sec);
- uno teorico, sulla base del quale una semplice trasformata bidimensionale (p-f) slowness-frequency della registrazione di un rumore di fondo (microtremor) è in grado di separare le onde di Rayleigh (onde di superficie) da altri tipi di onde che compongono il sismogramma, rendendo possibile il riconoscimento delle vere velocità di fase dalle velocità apparenti.

### **3.3.2 Modalità d'intervento**

L'acquisizione dei dati per la definizione dei profili di velocità e della relativa  $V_s30$  è stata svolta tramite l'acquisizione e la registrazione del noise ambientale impiegando geofoni da 4.5Hz ed un acquisitore digitale multicanale a 24 canali con dinamica a 24bit. **Sono stati acquisiti 3 profili sismici** costituiti da **stendimenti di 24 geofoni equispaziati di 5 m**. Per ogni prova sono stati raccolti, oltre 30 records di lunghezza di 30 sec. con campionamento ogni 2ms.

### **3.3.3 Elaborazione dati**

La procedura di elaborazione adottata per la classificazione dei profili del suolo di fondazione ha utilizzato la tecnica sopra descritta con il pacchetto software SeisOpt Re.Mi. 2.0 prodotto dalla Optim Software LLC.

Come prima fase è stata eseguita un'analisi spettrale del sismogramma che ha consentito di elaborare una immagine della distribuzione del segnale di velocità sismica in funzione delle diverse frequenze che lo compongono.

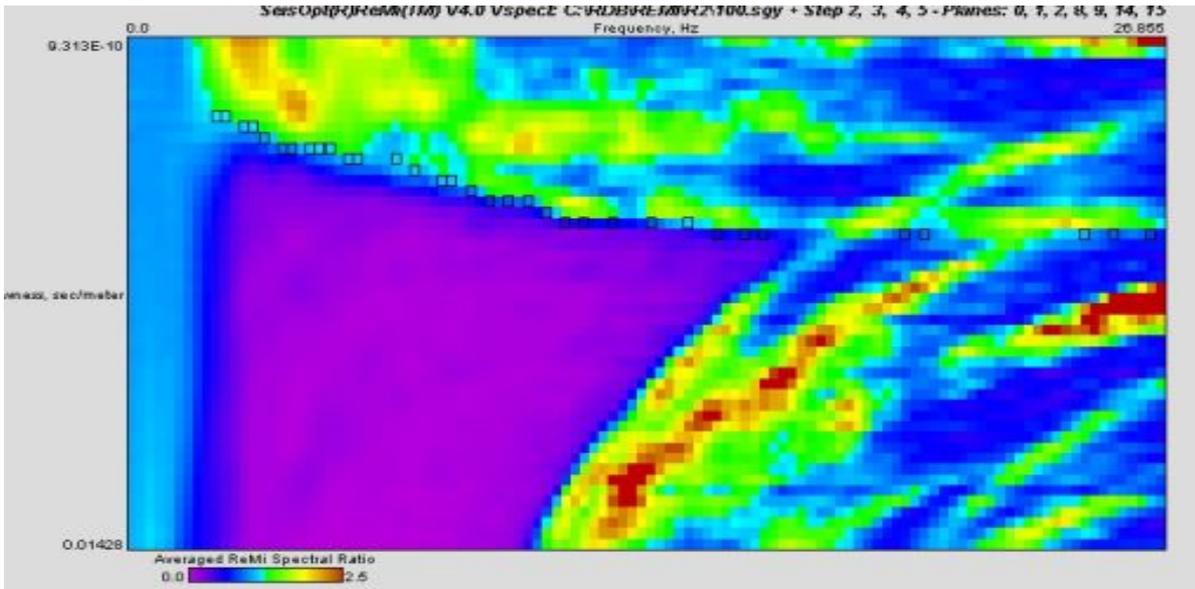


Figura 11: analisi spettrale prova "R2"

Da tale elaborazione è stata poi estrapolata la curva di attenuazione del segnale caratteristico e in funzione del suo andamento (curva di dispersione) si è risaliti alla stratigrafia sismica in termini di velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ).

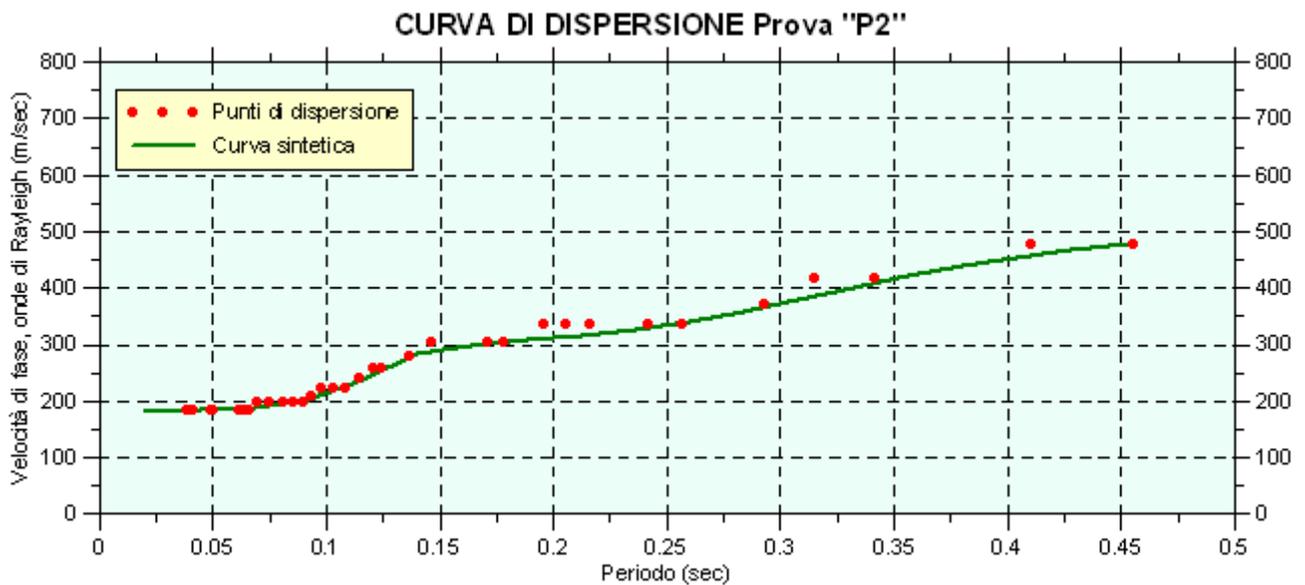


Figura 12: curva di dispersione prova "R2"

Il risultato finale dell'elaborazione consiste quindi nella rappresentazione grafica del profilo di velocità e nel calcolo della relativa  $V_s$  30.

### 3.4 PROVE "MASW" (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

#### 3.4.1 Cenni metodologici

Il metodo **MASW** è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi. Le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate lungo uno stendimento lineare di sensori. Il metodo consente generalmente, di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente, nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 20 m-30 m, in funzione della rigidità del suolo. L'elaborazione dei dati con il metodo MASW prevede tre fasi di lavoro:

1. *la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;*
2. *la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica;*
3. *la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$  (o in maniera alternativa alle velocità  $V_p$  è possibile assegnare il coefficiente di Poisson  $\nu$ ), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato.*

Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o con procedura automatica o con una combinazione delle due. Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson, la densità di massa  $\rho$  e si variano lo spessore  $h$  e la velocità  $V_s$  degli strati.

Nella procedura manuale l'utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità  $V_s$  e degli spessori  $h$ , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica. In genere quando l'errore relativo, tra curva sperimentale e curva numerica è compresa tra il 5% e il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio  $V_s$  e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresentano una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

### 3.4.2 Modalità esecutive delle prove "Masw"

Sono stati utilizzati gli stessi stendimenti acquisiti con la tecnica "Re.Mi.", costituiti da allineamenti di **24 geofoni spazati di 5 m**. La lunghezza delle registrazioni è stata di 1 sec, con un passo di campionamento di 0.250 ms. L'energizzazione, realizzata a distanze di: 5m dal primo geofono e dall'ultimo geofono, è stata ottenuta con una massa battente di 10 Kg.

### 3.4.3 Elaborazione dei dati

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è il "SurfSeis" della Kansas Geological surveys. In una prima fase è stata calcolata la velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale. In una seconda ed ultima fase si individuato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali  $V_s$ , modificando opportunamente lo spessore  $h$ , le velocità delle onde di taglio  $V_s$  e di compressione  $V_p$  (o in maniera alternativa alle velocità  $V_p$  è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di velocità assegnato.

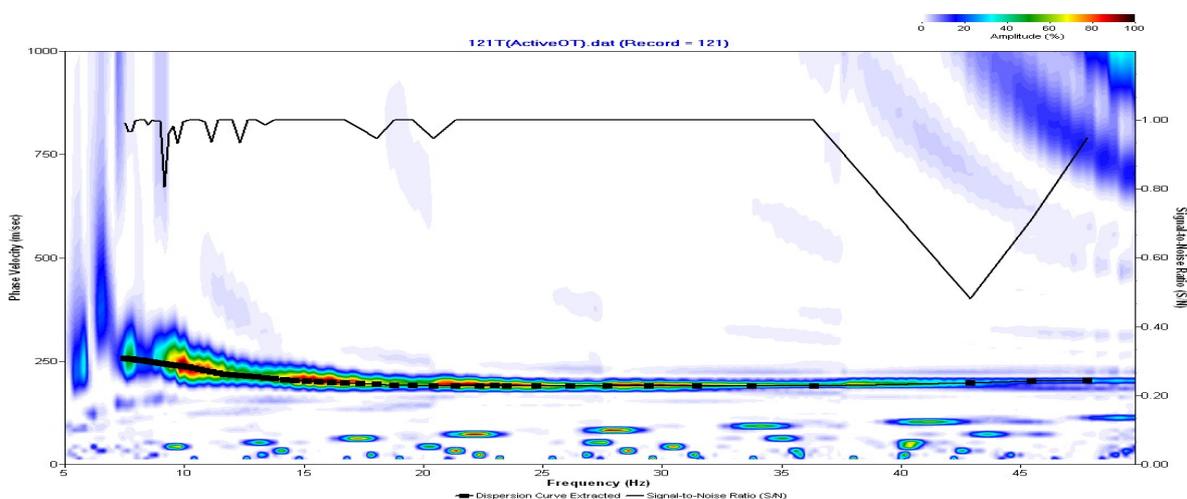


Figura 13: Curva di dispersione sperimentale prova "M2"

### 3.5 ANALISI DEI RISULTATI

I dati sismici acquisiti ed elaborati, con entrambe le metodologie, hanno consentito di determinare il profilo di velocità delle onde "S" del sito fino ad almeno 30 m di profondità, come negli esempi di seguito riportati.

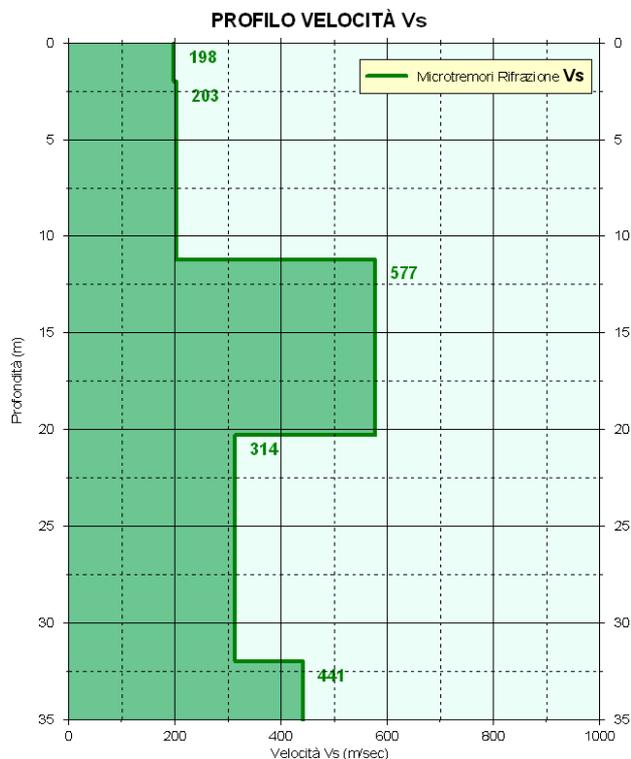


Figura 14a: Profilo velocità "R2" metodo "Re.Mi"

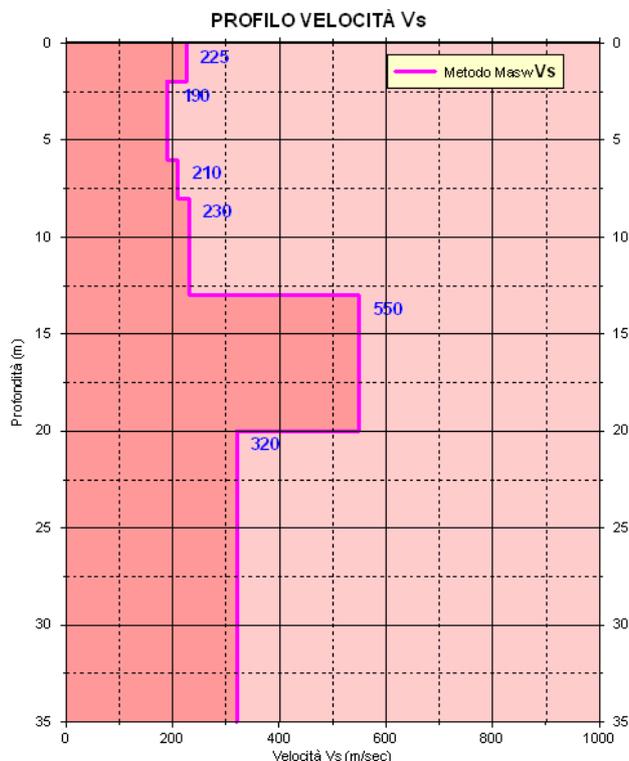


Figura 14b: Profilo velocità "M2" metodo "Masw"

Dall'esame dei grafici si possono fare le seguenti considerazioni:

- ✓ I profili di velocità elaborati con le due metodologie hanno un andamento sostanzialmente analogo;
- ✓ Per il profilo "P1" (vicino all'autostrada) l'elevato rumore di fondo non ha consentito di applicare la tecnica "Masw";
- ✓ **Dal p.c. fino a circa 11/13 m**, i valori di velocità sono complessivamente medio-bassi (**200-250 m/s**) segnalando la presenza di litotipi prevalentemente fini, solo localmente è stato rilevato qualche orizzonte (di modesta rilevanza) più veloce, correlabile a intercalazioni più grossolane;
- ✓ **Fra 11/13 e 20/23 metri** i valori di velocità aumentano nettamente, superando i **500 m/s**; tali valori sono correlabili a litotipi prevalentemente ghiaiosi ben addensati;
- ✓ Più in profondità le velocità sismiche diminuiscono indicando la presenza di litotipi prevalentemente fini mediamente compatti;
- ✓ I valori di **Vs30** calcolati sono: **295 (R1 e R2)**, **315 (R3)**, **285 (M2)** e **305 (M3)**;

In base alle prove realizzate **la categoria di sottosuolo** dell'area ai sensi della tabella 3.2.II delle NTC 2008 è la **"C"**.

## 4 VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DELL'AREA (delibera del 2 Maggio 2007, n.112, in materia antisismica)

In base alla nuova normativa antisismica tutto il territorio nazionale risulta classificato come sismico. Le classi di sismicità sono 4, con grado di rischio decrescente dalla zona 1 alla zona 4. I valori di riferimento di accelerazione massima orizzontale, su substrato rigido ( $V_s > 800$  m/s), per le 4 zone sono:

| Zona | Valore di $a_g$ |
|------|-----------------|
| 1    | 0.35 g          |
| 2    | 0.25 g          |
| 3    | 0.15 g          |
| 4    | 0.05 g          |

Il territorio Comunale di Pontenure è inserito nella classe 3, di medio-bassa sismicità.

### 4.1 OBIETTIVI DELLA DELIBERA

*"Scopo del presente atto di indirizzo e coordinamento è quello di fornire i criteri per l'individuazione delle aree soggette ad effetti locali e per la microzonazione sismica del territorio in modo da orientare le scelte della pianificazione verso aree caratterizzate da minore pericolosità sismica.*

*Lo studio della pericolosità di base e della pericolosità locale hanno come obiettivi:*

- *l'individuazione delle aree dove in occasione dei terremoti attesi possono verificarsi effetti locali;*
- *la stima quantitativa della risposta sismica locale dei depositi e delle morfologie presenti nell'area di indagine ("Analisi della Risposta Sismica Locale", RSL);*
- *la suddivisione del territorio in sottozone a diversa pericolosità sismica locale ("Microzonazione Sismica", MZS).*

*I risultati dell'analisi della pericolosità sismica locale e della microzonazione sismica, devono essere applicati nella redazione degli strumenti di pianificazione territoriale e urbanistica."*

### 4.2 LIVELLI DI APPROFONDIMENTO

Gli studi di risposta sismica locale e microzonazione sismica vanno condotti a diversi livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale. Tali studi svolti devono essere descritti in una relazione che indichi chiaramente il livello di approfondimento, le indagini effettuate e i risultati ottenuti e devono fornire una cartografia dello stato del territorio, e sono un riferimento necessario per la Valutazione di Sostenibilità Ambientale e Territoriale (VALSAT) preventiva delle singole scelte del piano.

Si identificano **due fasi** di analisi con diversi livelli di approfondimento.

**La prima fase** è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale, cioè ad identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del

segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.). L'individuazione delle aree soggette a effetti locali si basa su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolte a scala territoriale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati. Tale analisi viene svolta - soprattutto mediante elaborazione dei dati disponibili - in sede di elaborazione del PTCP e del PSC e concorre alla definizione delle scelte di piano, fornendo prime indicazioni sui limiti e le condizioni per la pianificazione nelle suddette aree.

**La seconda fase** ha come obiettivo la microzonazione sismica del territorio indagato. Sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase, nella seconda fase si attuano due diversi livelli di approfondimento:

a) nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili con acclività  $\leq 15^\circ$  in cui il deposito ha spessore costante si ritiene **sufficiente un'analisi semplificata** (secondo livello di approfondimento), cioè l'analisi della pericolosità locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, **su prove geofisiche in sito e su prove geotecniche** di tipo standard. Il numero delle verticali indagate deve essere tale da consentire un'adeguata caratterizzazione geotecnica spaziale dei terreni e delle formazioni presenti nell'area di studio;

b) un'analisi più approfondita (terzo livello di approfondimento) è invece richiesta nei seguenti casi (vedere Allegato A1):

- aree soggette a liquefazione e densificazione;
- aree instabili e potenzialmente instabili;
- aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti;
- aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

L'analisi approfondita richiede un significativo numero di prove geofisiche e geotecniche, sia in sito che in laboratorio, rivolte alla definizione del comportamento dei terreni sotto sollecitazione dinamica. In queste parti del territorio la pericolosità potrebbe essere molto elevata e perciò deve essere attentamente valutata la possibilità di renderle suscettibili di trasformazione urbanistica.

### 4.3 CARATTERI SISMICI DELL'AREA

In base alla nuova carta della pericolosità sismica del territorio nazionale, i valori di PGA su suolo rigido con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, per il Comune di Pontenure sono compresi fra 0.075 e 0.100 g. L'area ricade nella zona simogenetica 911, in cui i meccanismi di fagliazione prevalenti sono legati a faglie trascorrenti e le profondità dei terremoti prevalentemente compresi fra 8 e 12 Km. **Le magnitudo massime attese nella zona simogenetica d'interesse sono di 5.7-6.1.** Le serie storiche dei terremoti contenuti nell'archivio della Regione Emilia Romagna non segnalano eventi sismici rilevanti nell'area d'interesse.

### Mapa di pericolosità sismica del territorio nazionale

(riferimento: Ordinanza PCM del 28 aprile 2006 n.3519, All.1b)

espressa in termini di accelerazione massima del suolo  
con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

riferita a suoli rigidi ( $V_{s30} > 800$  m/s; cat.A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005)

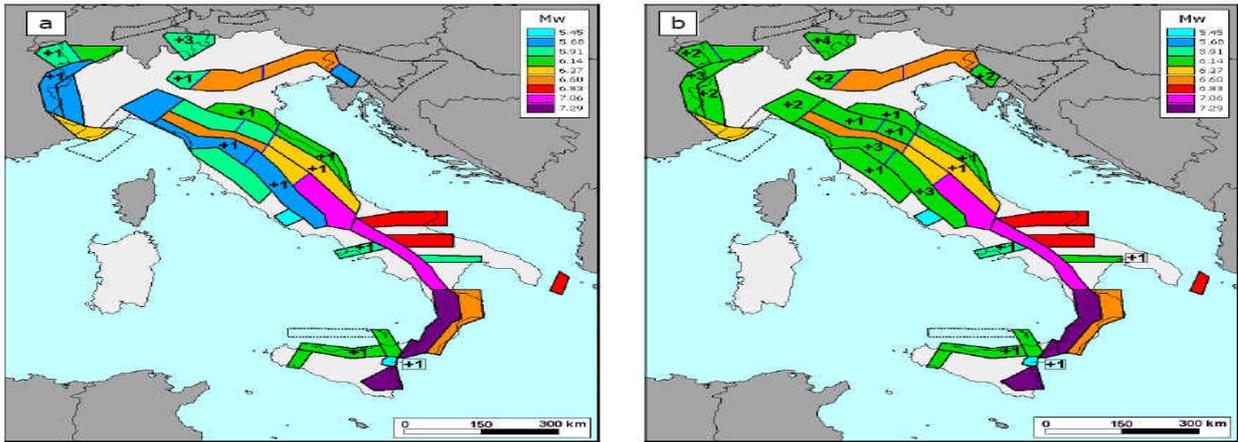
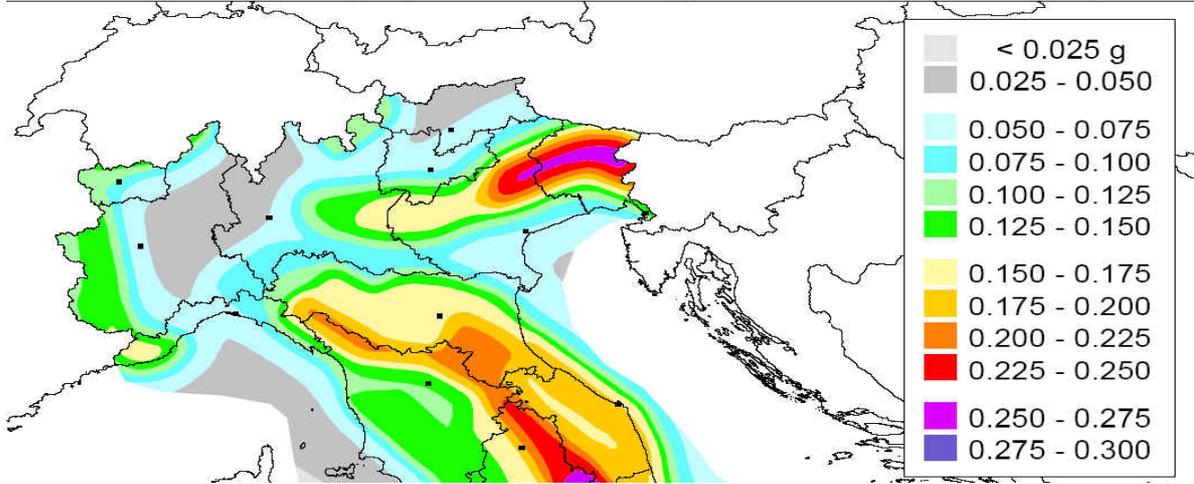


Figura 36. Valori di  $M_{wmax}$  corrispondenti ai due insiemi: a) "osservati" ( $M_{wmax1}$ ); b) "cautelativi" ( $M_{wmax2}$ ).

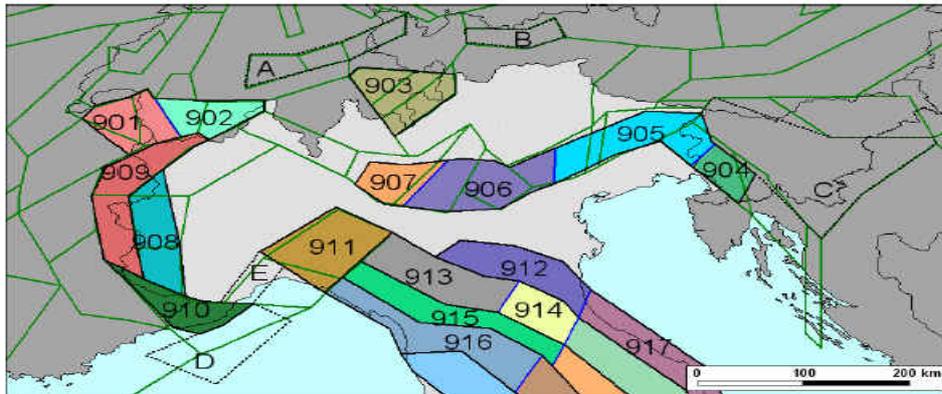


Figura 10. Zonazione sismogenetica ZS9 a confronto con la zonazione del progetto SESAME nell'area alpina (Jiménez et al., 2001; linee di colore verde).

#### 4.4 VALUTAZIONI RELATIVE ALL'AREA D'INTERESSE

In base alle caratteristiche geologiche del sito d'interesse:

- Superficie topografica sub-pianeggiante con pendenze inferiori a 15°;
- Assetto litostratigrafico uniforme senza significative eteropie laterali;
- Area non soggetta a liquefazione per i bassi valori di  $a_g$  attesi e per la presenza di litotipi coesivi e/o grossolani ben addensati;

i principali effetti attesi, come riportato nella carta della pericolosità sismica allegata al "PTCP", possono ricondursi essenzialmente a fenomeni di amplificazione litologica.

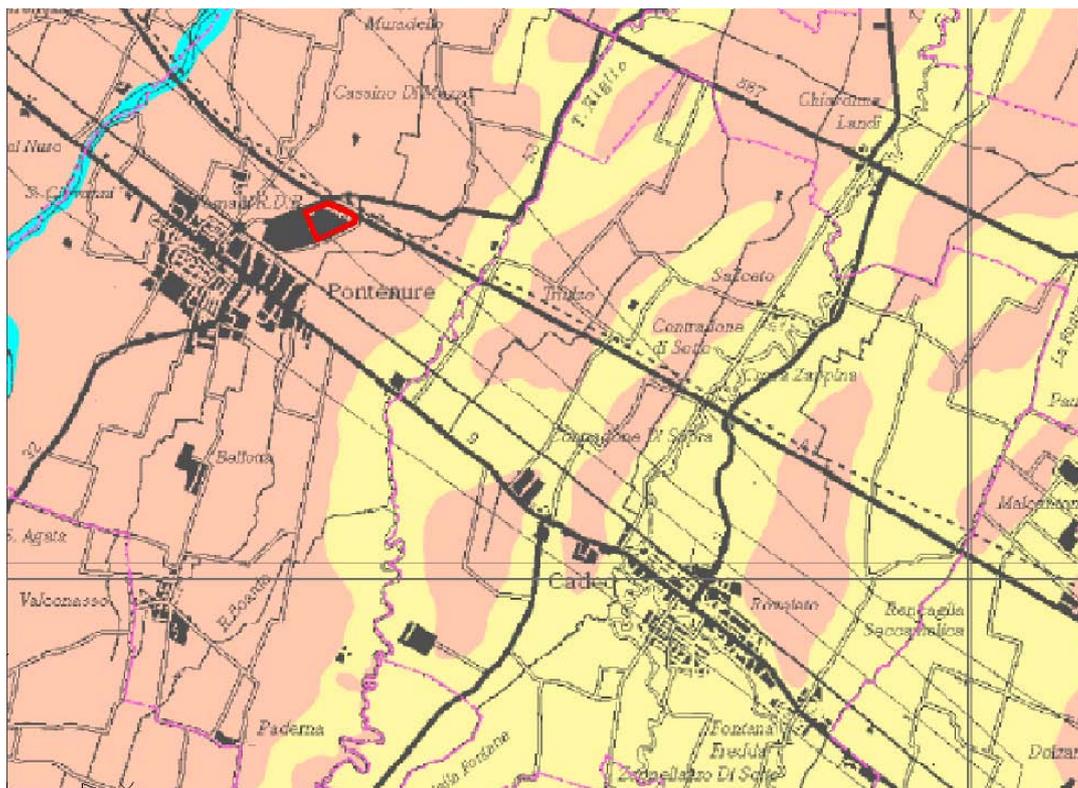


Figura 1: stralcio della carta delle aree suscettibili ad effetti sismici locali del PTCP provinciale.

### Legenda

#### AREE SUSCETTIBILI DI EFFETTI SISMICI LOCALI

|                                                                                     |                                                    |                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | Pendenze > 15° con dislivello $\geq$ 30 m.         | <b>Effetti attesi:</b><br>amplificazione per caratteristiche topografiche                                               |
|  | Pendenze > 45° con dislivello $\geq$ 30 m.         |                                                                                                                         |
|  | Depositi prevalentemente ghiaiosi o limosi o misti | <b>Effetti attesi:</b><br>amplificazione per caratteristiche litologiche                                                |
|  | Depositi prevalentemente sabbiosi                  | <b>Effetti attesi:</b><br>amplificazione per caratteristiche litologiche, potenziale liquefazione e possibili cedimenti |
|  | Depositi prevalentemente argillosi                 | <b>Effetti attesi:</b><br>amplificazione per caratteristiche litologiche e possibili cedimenti                          |

#### 4.5 VALUTAZIONE DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE DEL SITO INTERESSE

In ambito di pianura caratterizzato da profilo stratigrafico costituito da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche decametrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo ( $\geq 100$  m da p.c.) (PIANURA 2) si devono usare le seguenti tabelle.

##### F.A. P.G.A.

|           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $V_{s30}$ | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
| F.A.      | 1.5 | 1.5 | 1.5 | 1.4 | 1.4 | 1.4 | 1.3 | 1.1 | 1.0 | 1.0 |

##### F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s$

|           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $V_{s30}$ | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
| F.A.      | 1.8 | 1.8 | 1.7 | 1.7 | 1.5 | 1.4 | 1.3 | 1.2 | 1.0 | 1.0 |

##### F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.5s < T_0 < 1.0s$

|           |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $V_{s30}$ | 200 | 250 | 300 | 350 | 400 | 450 | 500 | 600 | 700 | 800 |
| F.A.      | 2.5 | 2.3 | 2.3 | 2.0 | 1.8 | 1.7 | 1.7 | 1.5 | 1.2 | 1.0 |

I risultati delle prove geofisiche indicano valori di  $V_{s30}$  complessivamente omogenei, senza evidenti "anomalie" con valori tutti intorno ai **300 m/s**.

In base alle caratteristiche geologiche dell'area (substrato profondo) e ai valori di  $V_{s30}$  determinati con specifiche indagini geofisiche, si può considerare, per tutta l'area, un fattore di amplificazione per la PGA è di 1.5 mentre il fattore di amplificazione dell'intensità spettrale è di 1.7 per il periodo 0.1s-0.5s e di 2.3 per il periodo 0.5s-1.0s.

| PROVA     | VS 30 | FA<br>PGA | FA<br>intensità<br>spettrale<br>0.1s-0.5s | FA<br>intensità<br>spettrale<br>0.5s-1.0s |
|-----------|-------|-----------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
| P1 (ReMi) | 295   | 1.5       | 1.7                                       | 2.3                                       |
| P2 (ReMi) | 295   | 1.5       | 1.7                                       | 2.3                                       |
| P2 (Masw) | 285   | 1.5       | 1.7                                       | 2.3                                       |
| P3 (ReMi) | 315   | 1.5       | 1.7                                       | 2.3                                       |
| P3 (Masw) | 305   | 1.5       | 1.7                                       | 2.3                                       |

In base alla delibera sopraccitata, l'accelerazione orizzontale su suolo rigido ( $V_s > 800$  m/s) prevista per il Comune di Pontenure è di 0.098g.

|    |           |       |
|----|-----------|-------|
| PC | Pontenure | 0.098 |
|----|-----------|-------|

#### 4.6 SPETTRO DI RISPOSTA (IN PGA) DELL'AREA

Nella delibera della Regione è riportata la forma dello spettro di risposta valido per tutta la regione.

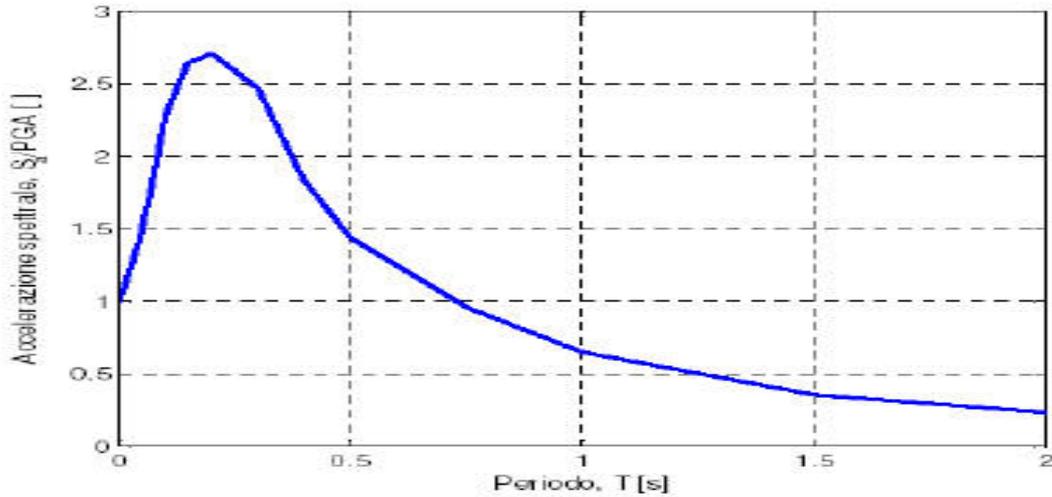


Figura 1 - Spettro di risposta normalizzato ( $T_R = 475$  anni, smorzamento = 5%) per l'Emilia-Romagna

Dallo spettro di risposta normalizzato è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella 1 per il valore di  $a_{refg}$  di ogni comune, lo spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per ogni comune dell'Emilia-Romagna. Considerando il valore di  $g = 0.098$  per il comune di Pontenure e il fattore di amplificazione (1.5), è stato calcolato lo spettro di risposta del sito d'interesse.

#### Loc. Pontenure - Area RDB

##### SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO COMPONENTE ORIZZONTALE Regione Emilia-Romagna $a_g = 0,098$ $F_a = 1.5$

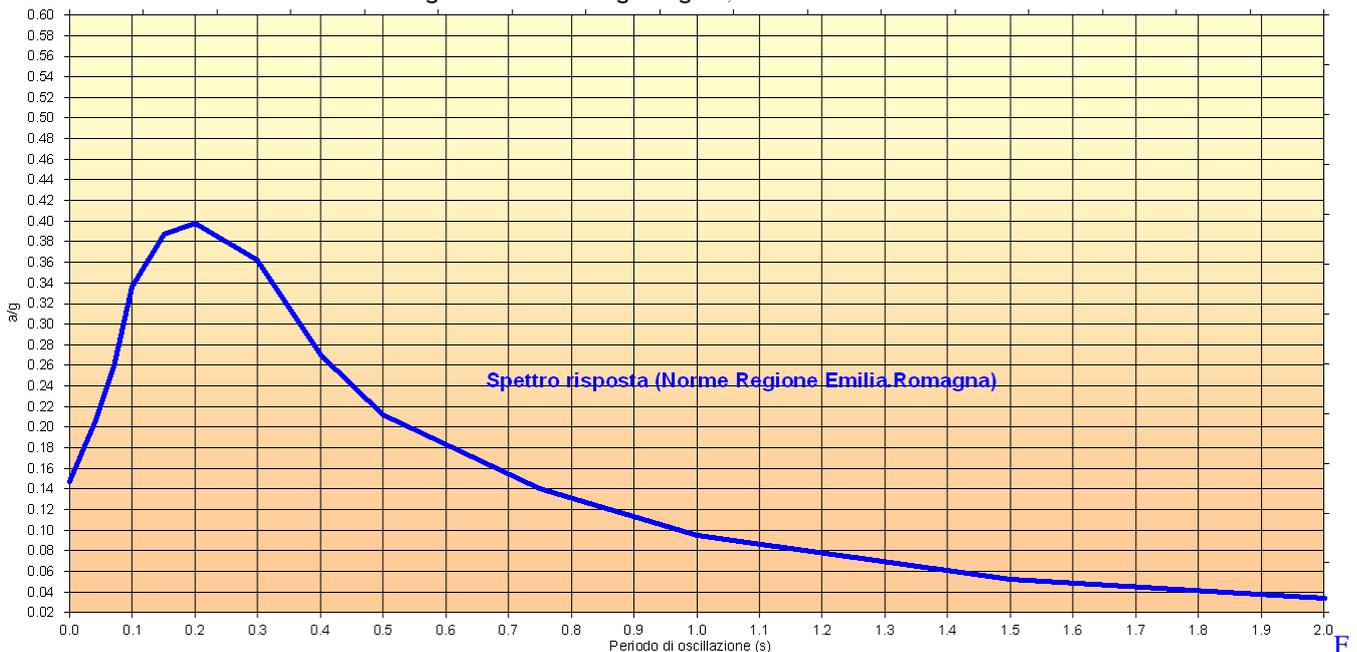


figura 16: Spettro di risposta dell'area d'interesse

## 5 Osservazioni conclusive

L'indagine realizzata ha consentito di valutare le caratteristiche geologico-sismiche dell'area d'interesse in conformità a quanto previsto dalla delibera della regione Emilia-Romagna del 2 Maggio 2007, n.112, in materia antisismica. I risultati dell'indagine si possono così riassumere:

- L'area d'interesse è collocata in un contesto geologico-geomorfologico senza particolari problematiche;
- Il modello geologico si può così sintetizzare:

|                               |                                                                           |
|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
| <b>da p.c. a circa -2.5m</b>  | materiale di riporto eterogeneo                                           |
| <b>da -2.5m a -11/-12m</b>    | materiali limo-argillosi con locali intercalazioni sabbioso-ghiaiose      |
| <b>da -11/-12m a -18/-21m</b> | depositi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi con locali intercalazioni fini |
| <b>da -18/-21m a -35m</b>     | depositi prevalentemente limo-argillosi                                   |

- Da informazioni dirette la soggiacenza della falda è, nel Gennaio 2012, a circa 5 metri dal p.c.;
- In base alla classificazione sismica (**OPCM 3274/03**) del territorio nazionale il Comune di Pontenure è classificato in **zona 3**, a medio-bassa sismicità;
- In base alle caratteristiche geologiche dell'area, gli effetti sismici attesi, come evidenzia anche il PTCP, sono da ricondursi a soli effetti di amplificazione litologica;
- L'area non è a rischio di liquefazione per la presenza di materiale coesivo e/o granulare addensato e per i modesti valori di  $a_g$  attesi;
- I risultati delle prove geofisiche e i fattori di amplificazione determinati in base alla delibera regionale sono riassunti nella tabella sotto riportata:

| PROVA     | VS 30 | FA PGA | FA intensità spettrale 0.1s-0.5s | FA intensità spettrale 0.5s-1.0s |
|-----------|-------|--------|----------------------------------|----------------------------------|
| P1 (ReMi) | 295   | 1.5    | 1.7                              | 2.3                              |
| P2 (ReMi) | 295   | 1.5    | 1.7                              | 2.3                              |
| P2 (Masw) | 285   | 1.5    | 1.7                              | 2.3                              |
| P3 (ReMi) | 315   | 1.5    | 1.7                              | 2.3                              |
| P3 (Masw) | 305   | 1.5    | 1.7                              | 2.3                              |

- In base alle prove sismiche la categoria di sottosuolo dell'area ai sensi della tabella 3.2.II delle NTC 2008 è di tipo **"C"**;
- L'azione sismica determinata in base alla delibera regionale, risulta pari a  $a_g = 0.098 \times 1.5 = 0.147g$ .

Facendo riferimento alle considerazioni sopraesposte si può affermare che l'area d'interesse è localizzata in un contesto a bassa pericolosità geologico-sismica e che le caratteristiche dell'area sono compatibili con l'utilizzo edificatorio previsto.

ALLEGATI :

N. 5 fogli : esiti delle indagini sismiche

R1, R2, R3, M1, M2.



