

Comune di Gradara

(Provincia di Pesaro-Urbino)

PROPOSTA DI VARIANTE URBANISTICA AL VIGENTE P.R.G. AI SENSI DELL'ART. 26 DELLA L.R.34/92 E S.M.I. RELATIVA A:

- area APP4, centro studi bus terminal - sita lungo via Pesaro (foglio n.7 di Gradara, particelle 159, 160,161, 162, 163, 174, 214, 216, 391 e 474)
 - area ZTR2, relativa all'area già di pertinenza del fabbricato residenziale sita lungo via Pesaro in adiacenza al bus terminal (foglio n.7 di Gradara, particelle 220/parte e 503/parte).
-

Proprietà:

Franca Marino, Ortolani Maria, Fabbri Riccardo,
Ceccolini Mario, Ceccolini Massimo e
Ceccolini Andrea

Relazione Geologica

per richiesta parere ai sensi dell'art. 89 del D.P.R. 380/01.

INCARICATO:

Dott. Geol. R. Romagna

COLLABORATORI:

Dott. Geol. J. Tirincanti

ARCHIVIO N°: 2191909

DATA: Settembre 2021



Romagna & Tamburini
Studio associato
Viale della Vittoria, 81-83
61011 Gabicce Mare (PU)

C.F. - P.IVA 02204940411
Telefono: 0541 95 3050
info@studioromagna.com

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE:	2
1.1. NORMATIVA E RACCOMANDAZIONI DI RIFERIMENTO:.....	3
2. CARATTERIZZAZIONE-MODELLAZIONE GEOLOGICA:	4
2.1. UBICAZIONE:	4
2.2. GEOMORFOLOGIA:.....	5
2.3. IDROGRAFIA E PIEZOMETRIA:	8
2.4. VERIFICA PAI (BACINO INTERREGIONALE MARECCHIA-CONCA), E CARTOGRAFIA PROGETTO IFFI: 10	
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE:	15
4. STRATIGRAFIA MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO	15
4.1. PARAMETRI GEOTECNICI (VALORI MEDI F_M):.....	16
5. SISMICITA':	17
5.1. SISMICITÀ STORICA:	17
5.2. ZONIZZAZIONE SISMICA NAZIONALE E REGIONALE.....	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
5.3. AZIONE SISMICA:	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
5.3.1. <i>Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche: ..</i>	Errore. Il segnalibro non è definito.
5.3.2. <i>Azione sismica di progetto - Parametri sismici:</i>	Errore. Il segnalibro non è definito.
5.3.3. <i>Liquefazione:.....</i>	Errore. Il segnalibro non è definito.
6. STABILITA' DELL'AREA	27
6.1. CONDIZIONI DI STABILITÀ GENERALE DELL'AREA.	27
6.2. VERIFICHE DI STABILITA'	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
7. MODALITA' DI INTERVENTO:	28
7.1. DESCRIZIONE.....	28
7.2. FONDAZIONI:	32
7.3. SBANCAMENTI E RIPORTI DI TERRENO:	32
7.4. DRENAGGI-REGIMENTAZIONE DELLE ACQUE:.....	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.
8. CONCLUSIONI:	33
ALLEGATO 1	34
ALLEGATO 2	35
ALLEGATO 3	ERRORE. IL SEGNALIBRO NON È DEFINITO.



RELAZIONE GEOLOGICA

1. INTRODUZIONE:

Su incarico del committente “Commercianti Indipendenti Associati Società Cooperativa” via dei Mercanti, 3 - 47122 Forlì, e per conto della proprietà, è stata eseguita un’indagine geologica a supporto della Proposta di Variante Urbanistica al vigente P.R.G Comunale, relativa a n. 2 aree puntuali site lungo via Pesaro. Nello specifico la variante prevede:

- Area APP4, Centro Studi Bus Terminal - sita lungo via Pesaro (Foglio n.7 di Gradara, particelle 159, 160, 161, 162, 163, 174, 214, 216, 391 e 474).
- Area ZTR2, relativa all’area già di pertinenza del fabbricato residenziale sita lungo via Pesaro in adiacenza al Bus Terminal (Foglio n.7 di Gradara, particelle 220/parte e 503/parte).

Tale indagine viene eseguita per la richiesta del prescritto parere di conformità geomorfologica ai sensi dell’art. 89 del D.P.R. 380/01.

L’indagine è mirata alla caratterizzazione e/o modellazione geologica del sito di intervento, pertanto il presente studio si propone la definizione delle sue caratteristiche geomorfologiche, litologiche, stratigrafiche, geomeccaniche ed idrogeologiche.

Inoltre, ai fini della definizione delle azioni sismiche di progetto, si individua la categoria di sottosuolo ai sensi dell’art. 3.2.2 delle N.T.C. (DM 17.01.2018), mediante la definizione della velocità equivalente V_{seq} di propagazione delle onde di taglio.

Considerate le destinazioni d’uso previste le possibili tipologie di strutture che potranno essere realizzate, si è ipotizzata una struttura classificata di Tipo 2 (Tab. 2.4.I N.T.C. 2018), in Classe d’Uso II ai sensi del DM sopracitato art. 2.4.2, con un periodo di riferimento per l’azione sismica pari a $V_r = V_n \times C_u = 50 \times 1.0 = 50 \text{ anni}$.

In relazione a quanto sopra premesso, tenendo conto delle condizioni generali del sito, già ampiamente conosciute dallo scrivente avendo eseguito diversi studi su aree limitrofe e considerata la tipologia e finalità dello studio in oggetto, si sono eseguite le seguenti indagini:

- n° 2 prove penetrometriche statiche (CPT) eseguite con apparecchio Pagani da 20 ton. nel mese di luglio 2021,
- indagine sismica multicanale in onde di superficie (MASW) effettuata nel mese di luglio 2021;
- n° 4 indagini sismiche a stazione singola (HVSr), effettuate nel periodo luglio-settembre 2021.

A fine relazione si allega:

ALLEGATO 1

- rilievo aerofotogrammetrico in scala 1:10.000 ed 1:5.000,
- estratto di mappa scala 1:2.000,
- stralcio carta geologica Regionale in scala 1:10.000,
- planimetria dell’area interessata con individuazione delle indagini eseguite,



- *sezione con ricostruzione litostratigrafica dei terreni.*

ALLEGATO 2

- *grafici delle prove penetrometriche statiche (CPT) eseguite,*
- *indagine sismica multicanale in onde di superficie (MASW) rapporto definitivo;*
- *indagini sismiche a stazione singola (HVSR) – rapporto definitivo.*

1.1. Normativa e raccomandazioni di riferimento:

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

D.M. LL.PP. del 14/02/1992 Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

D.M. 9 Gennaio 1996 Norme Tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche

D.M. 16 Gennaio 1996 Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi

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

Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG. Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

D.P.R. 6 giugno 2001, n. 380. Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia (G.U. n. 245 del 20 ottobre 2001).

Ordinanza P.C.M. n. 3274 del 20.3.2003 Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.

D.C.R. n.116, 21.01.04 «Piano Stralcio di Bacino per l'assetto idrogeologico dei bacini di rilievo regionale (P.A.I.)».

Norme tecniche per le Costruzioni 2008 Norme tecniche per le costruzioni D.M. 14 gennaio 2008.

Eurocodice 7 Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.

Eurocodice 8 Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture - Parte 5: Fondazioni, strutture di contenimento ed aspetti geotecnici.

Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (NTC 2018) Decreto 17 gennaio 2018.



2. CARATTERIZZAZIONE-MODELLAZIONE GEOLOGICA:

2.1. Ubicazione:

Le aree, sulle quali è stata presentata la proposta di variante puntuale al vigente P.R.G., sono ubicate nel comune di Gradara, lungo via Pesaro, in prossimità dell'incrocio con via Cerreto (vedi figura 7-4).

Cartograficamente le due aree ricadono all'interno del:

- Foglio 109 "Pesaro" alla scala 1:100.000,
- Foglio 268 "Pesaro" alla scala 1:50.000,
- Sezione 268060 "Gradara" alla scala 1:10.000,
- Elementi 2680602 e 2680606 alla scala 1:2.000.

Catastralmente risultano distinte al Foglio n° 7 del comune di Gradara, con i seguenti mappali: Area APP4 ai nn. 159, 160, 161, 162, 163, 174, 214, 216, 391, 474; Area ZTR2 ai nn. 220/parte e 503/parte con una superficie totale indicativa di circa 20'470,00 mq (vedi figure 2-1 e 2-2).



Figura 2-1 Immagine aerea dell'area interessata con individuazione approssimativa delle due aree oggetto di variante.

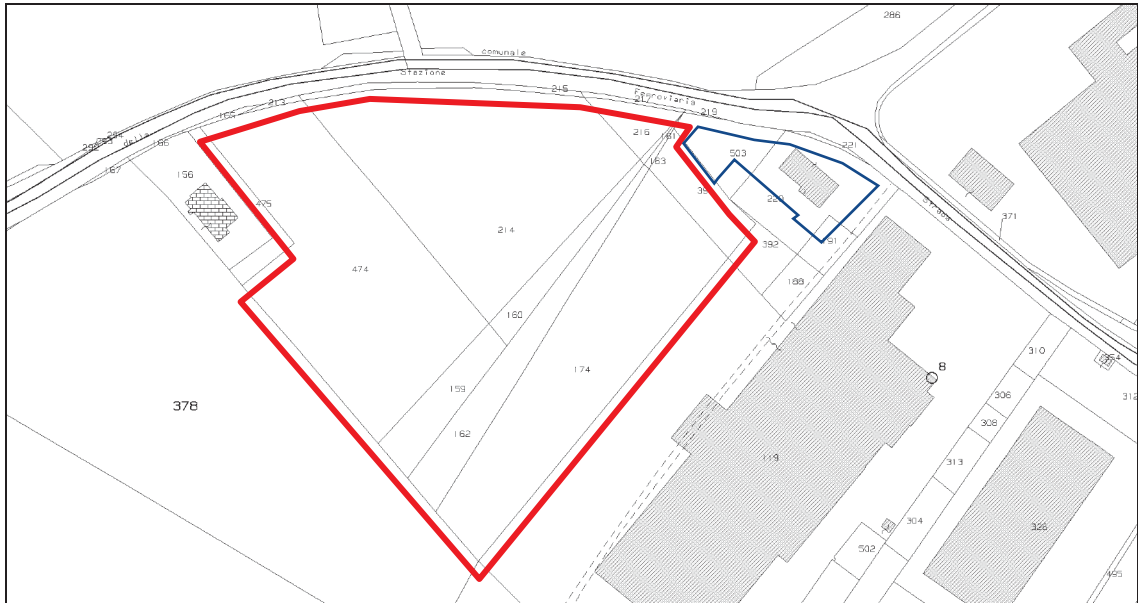


Figura 2-2 Estratto catastale (Foglio n° 7 di Gradara Area APP4: mappali 159, 160, 161, 162, 163, 174, 214, 216, 391, 474, area ZTR2: mappali 503/parte e 220/parte).

2.2. Geologia e Geomorfologia:

Le aree per cui è stata proposta la variante sono ubicate lungo la via Pesaro, su di un terreno attualmente indicato come “APP 4” (Centro servizi, BUS Terminal) e sull’adiacente area ad uso agricolo su cui insiste un edificio di civile abitazione.

La morfologia dei luoghi risulta contraddistinta da una lieve pendenza orientata in direzione dell’unico elemento idrografico presente nelle vicinanze dell’area, rappresentato dal Fosso di Villarga. Il pianoro posto in sinistra idrografica del fosso è parzialmente formato dai terreni alluvionali che costituiscono i depositi Pleistocenici terrazzati del IV ordine, mentre in larga parte, nella porzione più prossima alla strada provinciale, è contraddistinto dalla presenza di depositi eluvio-colluviali o depositi di versante. L’area risulta caratterizzata, nella porzione più prossima al fosso di Villarga, dalla presenza di terreni prevalentemente argillosi e/o limoso-argillosi con intercalate lenti ghiaiose in matrice sabbiosa e sottili livelli sabbioso-limosi, accumulatisi per deposizione continentale da parte dei corsi d’acqua limitrofi, mentre nella zona posta in corrispondenza di della strada per Pesaro, si rinvencono i depositi a prevalente litologia limoso-argillosa o argilloso-limosa a media consistenza con più o meno frequenti intercalazioni sabbioso-limose e/o limoso-sabbiose a diverso grado di addensamento, costituenti il detrito di eluvio-colluviale.

I terreni alluvionali (Pleistocene superiore) ricoprono i litotipi del substrato formazionale. L’area è caratterizzata, nel sul intorno, dal passaggio tra la formazione a “Colombacci” (**FCO**), trattasi di arenarie debolmente cementate intervallate da strati argillosi, con età attribuibile al Messiniano superiore, che si osservano in affioramento nei vicini rilievi collinari e la Formazione delle Argille Azzurre (**FAA**) caratterizzata da peliti grigio-azzurrognole, talora con sottili intercalazioni arenitiche grigio-giallastre a granulometria medio-fine.

L’analisi della Carta Geologica d’Italia del Progetto CARG Foglio 268 “Pesaro” in scala 1:50.000 rilevata alla scala 1:10.000 consente una visione d’insieme dell’intero territorio

comunale di Gradara. In particolare, nell'intorno dell'area in oggetto si nota il limite, inconforme, tra l'affioramento dei terreni Pliocenici delle Argille Azzurre (**FAA**) e quelli Miocenici della Formazione a Colombacci (**FCO**). La formazione di substrato, qui rappresentata dai terreni pelitici della Formazione delle Argille Azzurre (**FAA**) risulta ricoperta in maniera discontinua da depositi continentali Olocenici. Tali depositi in linea generale si dividono in:

- coltri eluvio-colluviali di natura prevalentemente pelitica/pelitico-arenacea che ricoprono settori talora ampi dei versanti collinari (**b2**);
- depositi alluvionali terrazzati Pleistocenici del IV ordine(**AES8**).

Mentre nello specifico l'area indagata è interessata in affioramento prevalentemente da terreni eluvio-colluviali ed in maniera minore da depositi alluvionali.

Questi depositi interessano talvolta interi versanti e le vallecole ed i loro contorni sono spesso mal definiti.

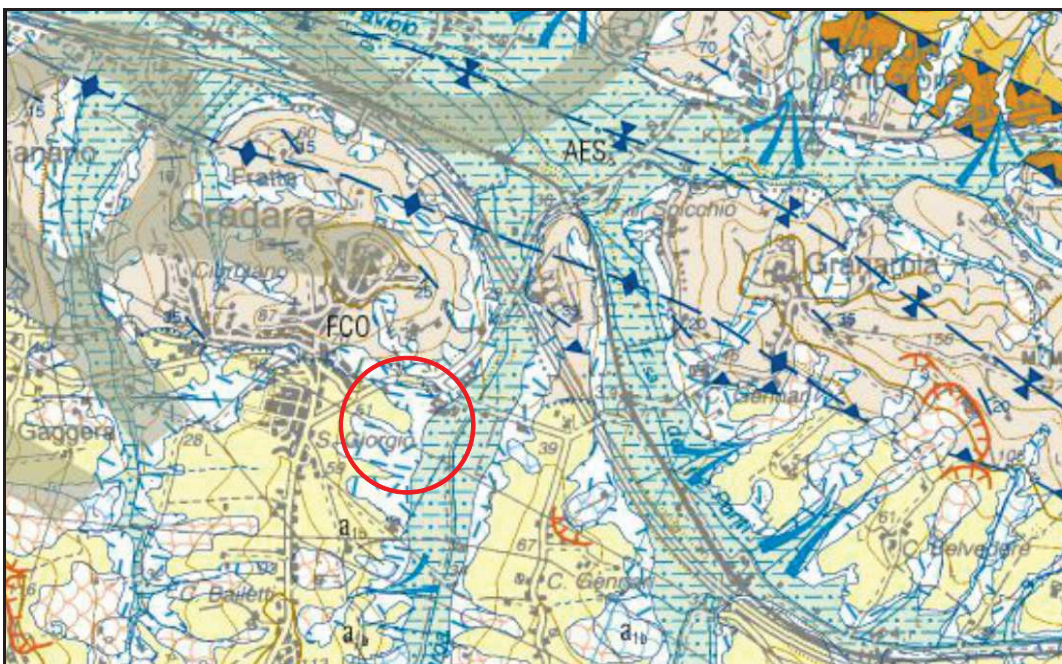


Figura 2-3 Stralcio carta geologica "progetto CARG" con ubicazione dell'area di studio

La legenda è riportata nella seguente pagina.

**LEGENDA GEOLOGICA
PROGETTO CARG**

DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI UBQUITARI

- Coltre eluvio-colluviale**
Sedimenti eterometrici, prevalentemente sabbioso-limoso-argillosi con subordinate lenti ghiaiose, dovuti all'azione prevalente del dilavamento con spessori variabili da pochi decimetri ad oltre 10 m.
PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE
- Deposito di frana**
Accumuli ad assetto più o meno caotico di cetrati fortemente eterometrici, talora contenenti pacchi di strati non completamente disarticolati, dovuti a frane di diverse tipologie. Tali depositi comprendono sia accumuli con evidenze di movimento in atto sia accumuli senza indizi di evoluzione.
OLOCENE
- Deposito di frana antica**
Accumuli ad assetto più o meno caotico di cetrati fortemente eterometrici, talora contenenti pacchi di strati non completamente disarticolati, dovuti a frane di diverse tipologie. I depositi sono profondamente dissecati da corsi d'acqua e/o ricoperti da spesse coltre detritiche o eluvio-colluviali indeterminate.
PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE
- Deposito di versante**
Accumuli detritici di limitata estensione e di spessore modesto. I clasti calcarei eterometrici sono associati a matrice sabbioso-siltosa in quantità variabile.
PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE

SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE (AES)

SUBSISTEMA DI RAVENNA (AES_r)

- AES_r**
Depositi alluvionali eterometrici costituiti da ghiaie, sabbie e argille con porzioni variabili di matrice sabbioso-siltosa, localmente con gradazione sia diretta sia inversa.
Spessore massimo inferiore a 20 m.
PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE

UNITA' DI MODENA (AES_m)

- AES_m**
Depositi alluvionali e fluvio-giaciale
Alluvioni attualmente in evoluzione in alveo. La granulometria dei sedimenti è variabile dalle ghiaie alle argille.
OLOCENE

SISTEMA DEL FIUME MUSEONE (MUS)

- MUS_u**
Depositi alluvionali terrazzati
Depositi fluviali terrazzati con superficie dei terrazzi da 2 a 15 m sull'alveo attuale.
Ghiaie prevalenti associate a subordinate sabbie, limi e argille.
Argille, limi e sabbie associate a subordinate ghiaie.
Spessori da 2-3 m fino a >15 m verso costa.
OLOCENE

SISTEMA DI MATELICA (MTI)

- MTI_u**
Depositi alluvionali terrazzati
Depositi alluvionali terrazzati con superficie dei terrazzi a da 20 a 35 m sull'alveo attuale.
Ghiaie prevalenti associate a subordinate sabbie, limi e argille.
Argille, limi e sabbie associate a subordinate ghiaie.
Spessori massimi da 15-30 m a >45 m verso la costa.
PLEISTOCENE SUPERIORE p.p. - OLOCENE p.p.

SUCCESSIONE MARINA

ARGILLE AZZURRE (FAA)

- FAA₁**
Pelti grigio-azzurrognole, talora con sottili intercalazioni arenitiche grigio-giallastre a granulometria medio-fine; all'interno dell'unità si osservano corpi arenitici, arenitico-conglomeratici e arenitico-pellici indicati come membro e litofacies. L'ambiente di sedimentazione in generale di mare aperto con eventi torbidi.
Spessore massimo circa 2000 m.
PLIOCENE INFERIORE p.p. - PLIOCENE SUPERIORE p.p.

Litofacies arenitico-conglomeratica (FAA₁)

- FAA₁**
Corpi arenitico-conglomeratici, con ciottoli carbonatici e cristallini, passanti lateralmente a livelli sabbiosi.
Spessore circa 70 m.
PLIOCENE SUPERIORE p.p.

Litofacies arenitico-pellica (FAA₂)

- FAA₂**
Areniti poco cementate passanti lateralmente a livelli sabbiosi incoerenti, a cui si intercalano pellici di spessore variabile (da 5 a 60 cm) con lenti siltitico-sabbiose.
Spessore circa 50 m.
PLIOCENE SUPERIORE p.p.

Litofacies arenitico-pellica (FAA₃)

- FAA₃**
Areniti poco cementate passanti lateralmente a livelli sabbiosi incoerenti, a cui si intercalano pellici di spessore variabile (da 5 a 60 cm) con lenti siltitico-sabbiose.
Spessore circa 50 m.
PLIOCENE SUPERIORE p.p.

Membro delle Arenarie di Borello (FAA₃)

- FAA₃**
Prevalenti areniti giallo-ocraee, a granulometria da grossolana a medio-fine, con subordinate intercalazioni di pellici grigio-azzurre. A luoghi si osservano livelli pellici lenticolari di spessore anche decametrico e non visibili in affioramento ed anche livelli conglomeratici poligenici ed eterometrici non mappabili di spessore centimetrico. Ambiente di sedimentazione riferibile ad aree di piattaforma.
Spessore massimo circa 300 m.
PLIOCENE INFERIORE p.p. - PLIOCENE MEDIO p.p.

Litofacies pellico arenitica (FAA₃)

- FAA₃**
Argille e argille siltose con intercalazioni arenitiche e siltitiche.
Spessore circa 250 m.

FORMAZIONE A COLOMBACCI (FCO)

- FCO**
Areniti e alternanze arenitico-pelliche, con intercalati sottili intervalli pellici e orizzonti calcarei evaporitici ("colombacci" s.s.). Ambiente di sedimentazione di mare poco profondo, ed cemente evoluto in aree lagunari con sedimentazione pellica e talvolta evaporitica.
Spessore circa 250 m.
MESSINIANO p.p.

Litofacies arenitica (FCO₁)

- FCO₁**
Orizzonti arenitici caratterizzati da alternanze di strati di areniti giallastre, a cementazione disomogenea. Subordinate intercalazioni di livelli pellici e conglomeratici.
Spessore circa 250 m.
MESSINIANO p.p.

Litofacies pellico-arenitica (FCO₂)

- FCO₂**
Alternanze di strati sottili di areniti torbidiache, a granulometria medio-fine, intercalati a pellici grigio scuro. Spessore circa 50 m.
MESSINIANO p.p.

FORMAZIONE DI SAN DONATO (FSD)

- FSD**
Depositi torbidi caratterizzati da areniti alternate a marne, marne argillose e marne siltose di colore grigio azzurro. Nella parte media-inferiore è intercalato un orizzonte vulcanoclastico spesso da 40-50 cm a 2 m. Ambiente di sedimentazione riferibile ad un'area basinale di prosecuzione verso nord del bacino della Laga.
Spessore da 0 a circa 250 m.

CESSOSO-SOLFIFERA (GS)

- GS**
Marna siltose e argillose, spesso fogliettate e frequentemente neraste bituminose, areniti e silti, calcari e calcari dolomiti, livelli marnoso-tripolacei e diatomici bianchi e, localmente, gesso-areniti, gesso-silti e strati di gesso "saldino". Ambiente di sedimentazione riferibile ad aree di mare poco profondo con paleotopografia complessa.
Spessore 50-300 m.
MESSINIANO p.p.

TRIPOLI E MARINE TRIPOLACEE (TPE)

- TPE**
Alternanza di sottili strati di areniti, silti, marne, marne siltose e marne diatomiche e diatomiti candido finemente laminare ("tripoli" s.s.) (serie interne). Marne e marne siltose scure, sottilmente laminare, passanti verso l'alto a marne argillose grigiastre bioturbate e a marne tripolacee con sottili diatomiti biancastre finemente laminare e, a luoghi, sottili lenti laminare di areniti fini e silti (serie esterne). Ambiente di sedimentazione riferibile al margine di aree bacinali lateralmente diversificate.
Spessore da 6 a circa 100 m.
MESSINIANO p.p.

FORMAZIONE MARNOSO-ARENACIA MARCHIGIANA (FAM)

- FAM₁**
Questa formazione affiora solamente nella parte sud-occidentale del foglio ed è rappresentata esclusivamente dal membro di Urbino (FAM₂).

MEMBRO DI URBINO (FAM₂)

- FAM₂**
Alternanza di areniti e pellici torbidiache, in strati da sottili a spessi e molto spessi. Le areniti, da fini a grossolane, sono spesso poco cementate. Localmente, nella parte superiore si osservano corpi arenitici composti, lenticolari e canalizzati. Ambiente di sedimentazione riferibile ad un'area basinale del sistema di avantofosa.
Spessore circa 100 m.
TORTONIANO p.p. - MESSINIANO p.p.

SCHIER (SCH)

- SCH**
Marna e marne argillose grigiastre con intercalati subordinati calcari marnosi biancastri, più diffusi nella parte inferiore. Nei settori orientali del foglio si osservano intervalli pellici neratri di spessore anche decimetrico nella parte sommitale della formazione. Ambiente di sedimentazione riferibile ad una rampa di avanzata ubicata in posizione estera (Margine Adriatico).
Spessore 250-300 m.
BURDIGALIANO SUPERIORE p.p. - MESSINIANO INFERIORE p.p.

BISCIARO (BIS)

- BIS**
Calcari, calcari silicei e calcari marnosi biancastri, con liste e noduli di selce nerasta nella parte inferiore, a cui si intercalano marne grigie e grigio verdastre e con frequenti livelli vulcanoclastici. Ambiente di sedimentazione di tipo pelagico.
Spessore 60-70 m.
AQUITANIANO p.p. - BURDIGALIANO SUPERIORE p.p.



Figura 2-4 Legenda carta geologica "progetto CARG".



2.3. Idrografia e Piezometria:

L'idrografia del territorio indagato è caratterizzata dalla presenza del fosso di Villarga, che rappresenta l'elemento idrografico principale. Tale elemento è caratterizzato da un bacino idrografico stretto ed allungato, delimitato da due crinali sub paralleli (Pieve Vecchia e Santo Stefano) e si estende dal crinale che collega Pieve Vecchia a Monteluro, fino alla confluenza del fosso nel Torrente Taviolo, posta a valle della Strada Statale n. 16 e della linea ferroviaria. Gli altri elementi idrografici minori, come rilevabile in figura 2-5 sono rappresentati da alcuni fossi interpoderali che drenano le acque dai versanti, in larga parte destinati alle pratiche agricole, e le convogliano all'interno del fosso di Villarga. Si evidenzia come tutti gli elementi idrografici citati siano ben separati dalle due aree oggetto di variante.



Figura 2-5 Schema idrografico con evidenziato il Fosso di Villarga.

Per quanto riguarda invece l'idrogeologia dell'area, ci si può riferire alla Carta Idrologica-Idrogeologica allegata al P.R.G. del comune di Gradara (Tavola 3), in cui si evidenzia come le linee di drenaggio siano indirizzate verso l'asse della vallecola su cui è impostato il Fosso di Villarga. Nella stessa carta viene riportato come solo in minima parte la variante proposta vada ad interessare i depositi alluvionali limoso-argillosi con falda freatica superficiale a vulnerabilità dell'acquifero medio-alta. Inoltre, dalla consultazione delle isofreatiche riferite al l.m.m. relative al periodo di rilevamento (ottobre-novembre 2005), emerge come il livello freatico sia stato rilevato a quote comprese tra i 28 ed i 30 m s.l.m. Tali valori appaiono confrontabili con i rilievi effettuati in occasione dell'esecuzione delle indagini penetrometriche (luglio 2021), che hanno rilevato livelli freatici compresi tra i 5 ed i 6,35 m dal p.c.

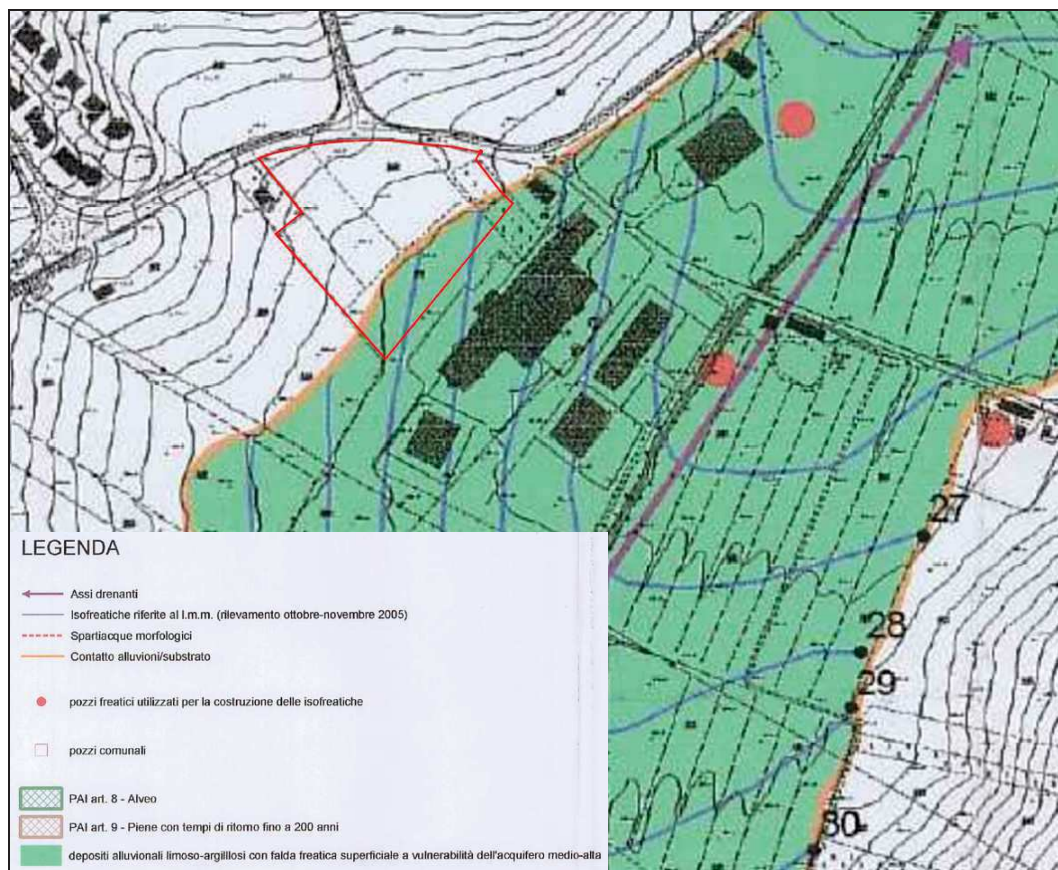


Figura 2-6 Stralcio Tavola 3 Carta Idrologica-Idrogeologica allegata al P.R.G. del comune di Gradara.

2.4. Verifica P.A.I. (Bacini Marecchia-Conca), e cartografia progetto I.F.F.I. ed altre carte tematiche:

Analizzando nel dettaglio le due aree si evince come entrambe siano esterne alle aree perimetrare come in dissesto e tantomeno in aree esondabili relativamente al Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dei Bacini Marecchia-Conca, nella sua variante del 2016 approvata dall'Autorità di Bacino Distrettuale del Fiume Po (vedi figura 2-7).

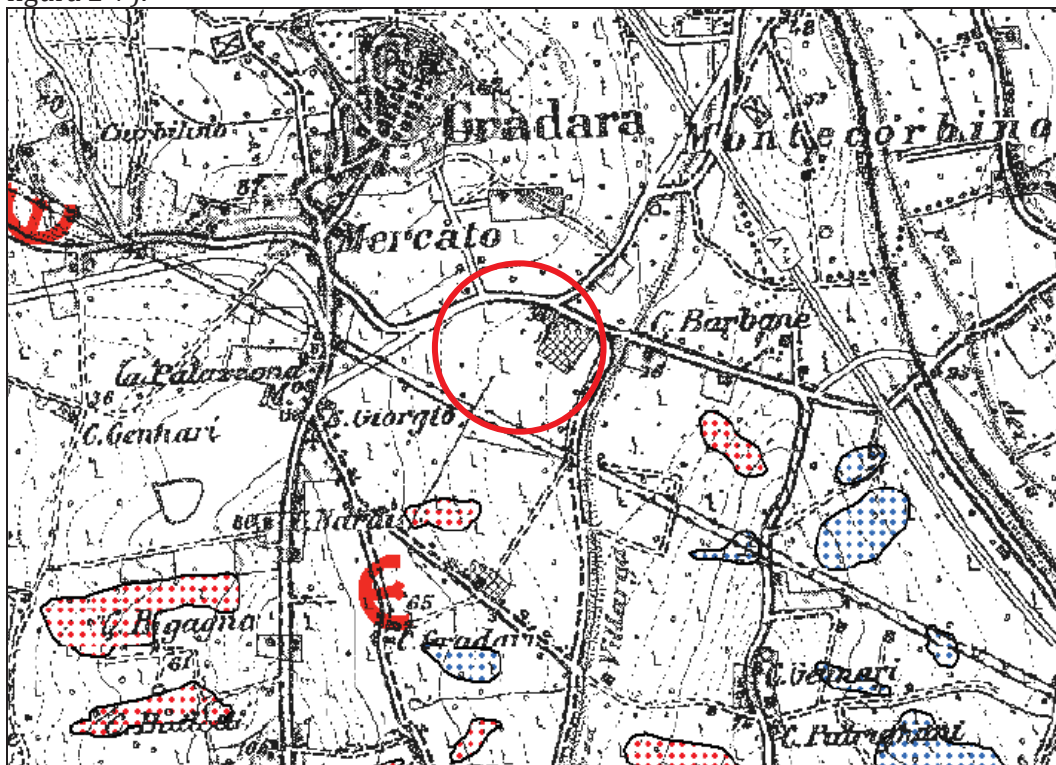


Figura 2-7 Stralcio Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) dei Bacini Marecchia-Conca, Variante 2016.

All'interno della Cartografia del Progetto I.F.F.I. (Carta Inventario dei Fenomeni Franosi in Italia), di cui in figura 2-8 se ne riporta uno stralcio, evidenzia come l'area sia esente da criticità. Il medesimo scenario viene riportato nello stralcio di figura 2-9 relativo alla Carta Pericolosità e Indicatori di Rischio (P.I.R.).

Inoltre, dalla consultazione delle carte relative alle pericolosità geologiche e sismiche allegate al P.R.G. (Tavole 4 e 5 Figure 2-10 e 2-11), non emergono particolari criticità. Le uniche considerazioni a riguardo sono relative alla Tavola 4 (pericolosità sismica) in cui l'area in variante interessa:

- aree caratterizzate da detrito eluvio-colluviale, depositi di versante e conoidi

Amplificazione diffusa del moto del suolo dovuta a possibili differenti risposte sismiche fra substrato e copertura.

- Aree caratterizzate da depositi superficiali con caratteristiche meccaniche scadenti

Possibili cedimenti collegati a particolari caratteristiche meccaniche dei terreni.



Figura 2-8 Stralcio Cartografia Progetto IFFI (Inventario Fenomeni Franosi in Italia)

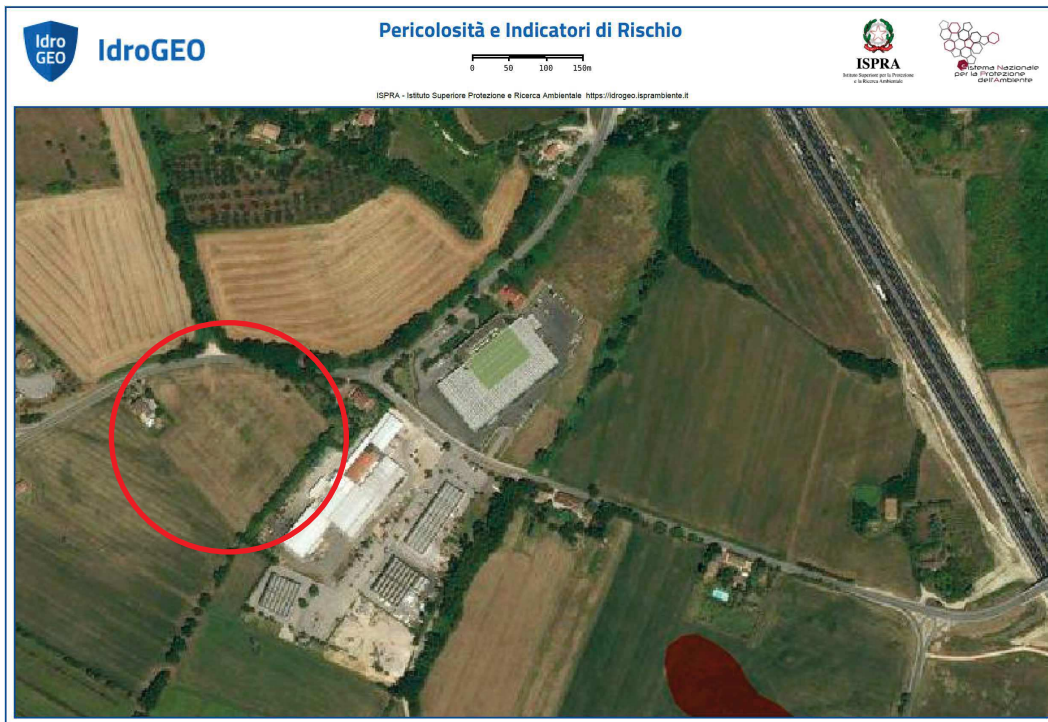


Figura 2-9 Stralcio Carta Pericolosità e Indicatori di Rischio (P.I.R.)

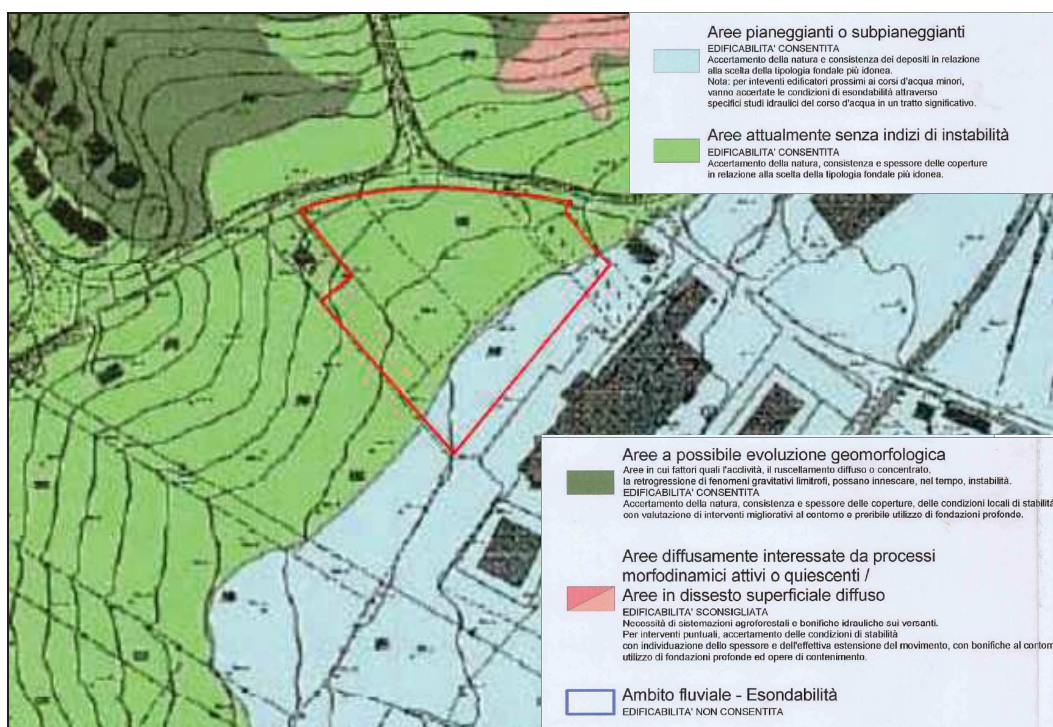


Figura 2-10 Stralcio Tavola 5 Carta della pericolosità geologica e dell'edificabilità allegata al P.R.G. del comune di Gradara.

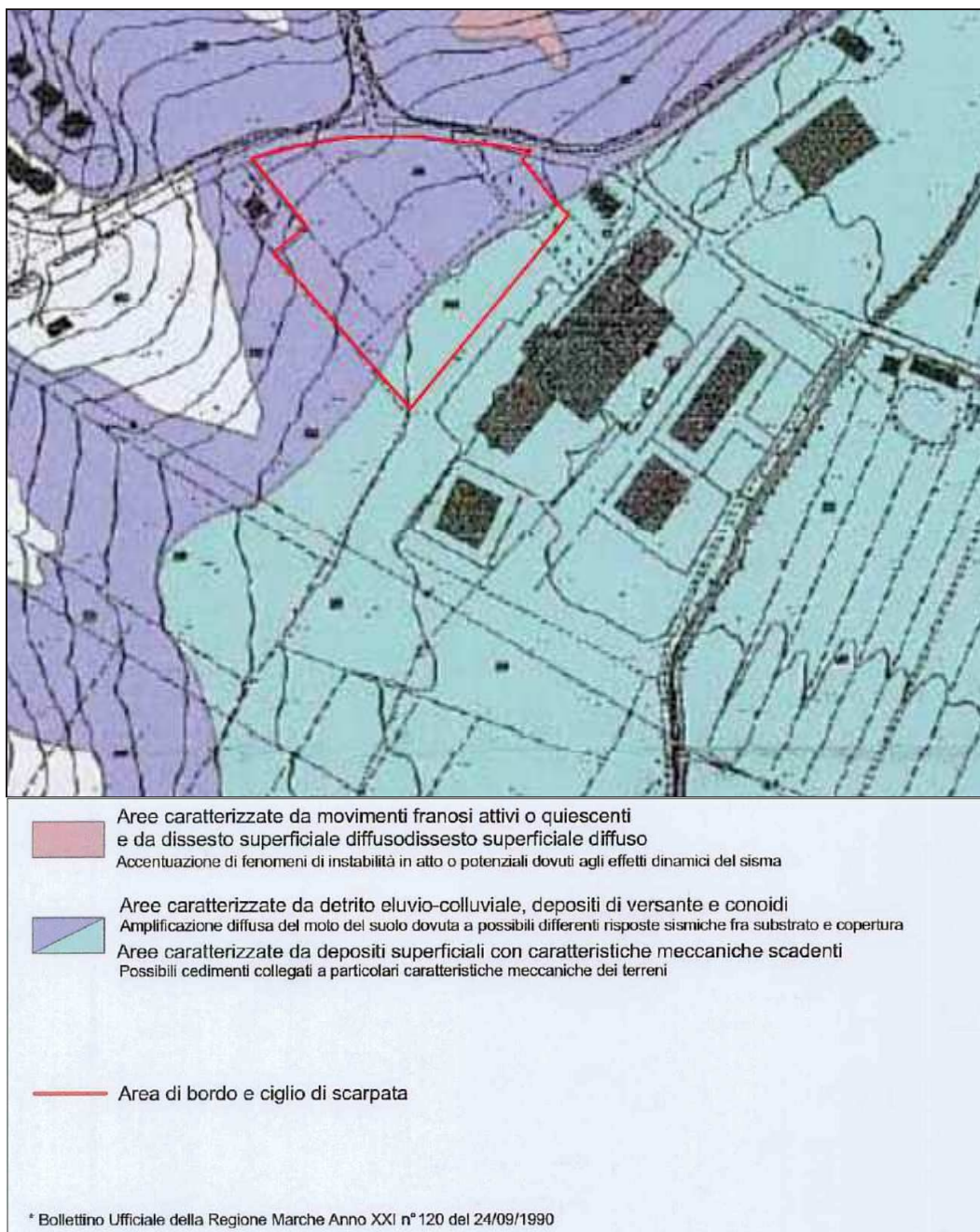


Figura 2-11 Stralcio Tavola 4 Carta della pericolosità sismica allegata al P.R.G. del comune di Gradara.

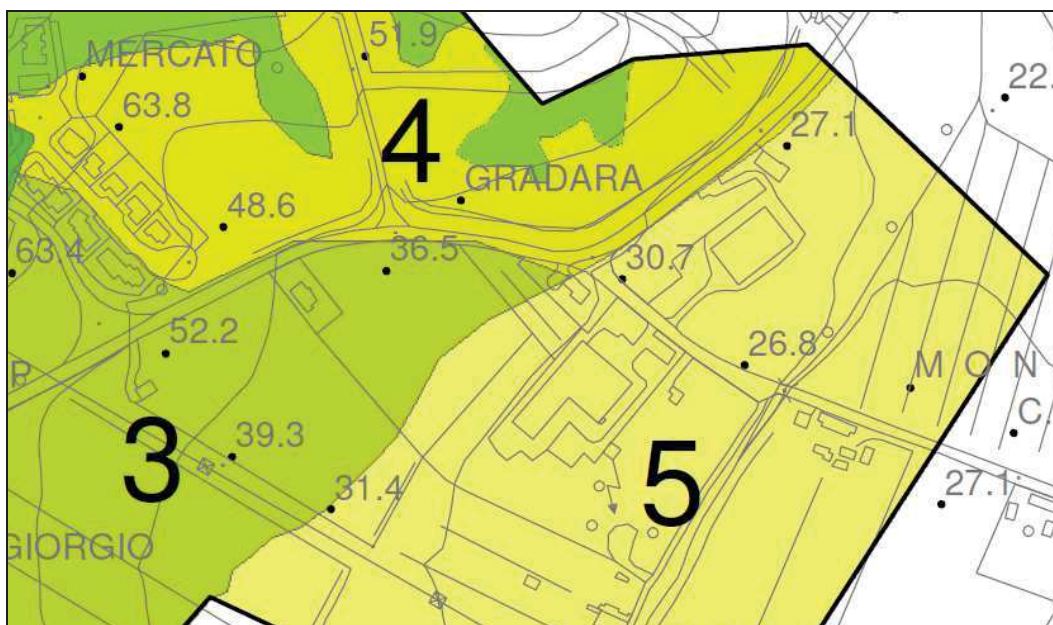
Infine, dalla consultazione dello studio di microzonazione sismica di livello 1 del comune di Gradara, nello specifico la Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, emerge come l'area indagata sia interessata dalle microzone 3 e 5 (figura 2-12) come di seguito definite:

- **Zona 3** – la zona 3 corrisponde a quelle aree rispetto alle quali si presume che lo spessore dello strato di copertura eluvio-colluviale e/o di alterazione del substrato geologico coesivo (argille azzurre) risulti mediamente fra 3-15 m; lo strato di terreno di copertura costituito da argille limose, limi argillosi, talora finemente sabbiosi può considerarsi da poco a moderatamente consistente;
- **Zona 5** – la zona si caratterizza per la presenza del deposito alluvionale (es. zona alluvionale di Fanano Bassa) con spessore presunto contenuto entro 25

m; si tratta di litotipi limoso-argillosi, argilloso-limosi, poco consistenti, talora moderatamente consistenti, con intercalazioni sabbiose e/o sabbioso limose e strati di ghiaie. Su tali zone è raccomandabile lo svolgimento di indagini di approfondimento al fine di verificare la suscettibilità alla liquefazione posta la presenza della falda idrica superficiale (< 15 m p.c.) e di sedimenti fini, talora sabbiosi.

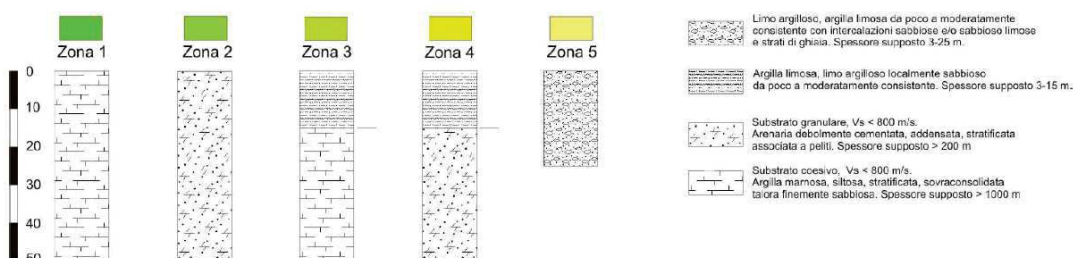
Nella seguente figura viene proposta una tabella riepilogativa dei sondaggi con le rispettive profondità di rinvenimento del substrato geologico integro.

	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5
Numero sondaggi	11	6	4	2	5
Profondità sondaggi (m)	1.5 - 12.7	1.8 - 8.75	9.50 - 14.10	6.70 - 7.60	5.50 - 20.0
Profondità del substrato geologico integro intercettato dai sondaggi (m)	≤ 3.0	≤ 3.0	8.50 - 12.60	6.0 - 7.0	non determinato
Formazione geologica	Argille Azzurre	Colombacci	Argille Azzurre	Colombacci	



Legenda

ZONE STABILI SUSCETTIBILI DI AMPLIFICAZIONI



ZONE SUSCETTIBILI DI INSTABILITA'



FORME DI SUPERFICIE

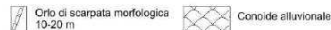


Figura 2-12 Stralcio Tavola 3 Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica.



3. INDAGINI GEOGNOSTICHE:

Tenuto conto del contesto geologico del sito in oggetto, ampiamente conosciuto dallo scrivente e dell'obiettivo del presente studio, in accordo con il progettista/ing. calcolatore si è deciso di eseguire:

- n° 2 prove penetrometriche statiche (CPT1 e CPT2) eseguite nel luglio 2021 dalla ditta Intergeo s.r.l. con apparecchio Pagani da 20 ton.,
- n° 4 analisi sismiche a stazione singola (HVSr), appositamente eseguite nel periodo luglio- settembre 2021.

L'ubicazione delle indagini eseguite è riportata nella planimetria in allegato 1:

4. STRATIGRAFIA MODELLO GEOLOGICO-GEOTECNICO

La stratigrafia del sottosuolo, messa in evidenza dalle prospezioni precedentemente esposte e per correlazione con altri sondaggi a disposizione dello scrivente, comprende le seguenti litologie:

UNITA' DELLE TERRE DI COPERTURA

Livello 1 Terreno vegetale interessato dalle normali pratiche agricole. In superficie si rileva la presenza di una crosta di disseccamento fino ad una profondità prossima ad 1,60 m. A seguire si incontrano depositi detritici di origine colluviale e/o depositi alluvionali fino ad una profondità di circa 10 m dal p.c.; naturalmente i depositi detritici colluviali caratterizzano la parte più elevata dell'area e scendendo sfumano nei depositi alluvionali in maniera interdigitata.

Tale livello risulta caratterizzato prevalentemente da depositi argillosi da debolmente consistenti a mediamente compatti, con subordinati livelli argillosi sabbioso limosi. Anche se le due prove penetrometriche statiche hanno evidenziato delle lenti a differente consistenza all'interno del livello interessato; visto l'obiettivo del presente studio si è ritenuto opportuno accorpate tali litotipi, sostanzialmente simili, in un unico livello;

UNITA' DEL SUBSTRATO

Livello 2a Argilla ed argilla marnosa di colore grigio azzurro, da mediamente consistente a consistente, con livelli o noduli carboniosi nerastri e livelli di sabbia nocciola e ocrei (dati desunti da alcuni sondaggi eseguiti in aree limitrofe); formazione alterata e parzialmente decompressa della formazione di substrato.

Livello 2 Formazione delle Argille Azzurre (FAA), caratterizzata da argille ed argille limose compatte grigio-azzurrognole, con frattura concoide e talora con sottili intercalazioni arenitiche grigio-giallastre a granulometria medio-fine.



Nelle Tabelle seguenti sono riportati gli spessori rilevati nelle prove eseguite:

	CPT1		CPT2
Livello 1	0,00 a -10,20 m	Livello 1	da 0,00 a -10,80 m
Livello 2a	Da -10,20 m a -12.40 m dal	Livello 2a	Da -10,80 m a -17.00 m
Livello 2	Da -12.40 m a fine prova	Livello 2	Da -17.00 m a fine prova

Per una visione completa della situazione stratigrafica, si veda la sezione riportata in allegato.

4.1. Parametri Geotecnici (valori medi F_m):

Per quanto riguarda la definizione dei parametri geotecnici medi (F_m) dei livelli di terreno considerati, si fa riferimento ai dati emersi dalle prove penetrometriche statiche appositamente eseguite nel mese di luglio 2021 dalla ditta Intergeo srl (CPT1 e CPT2).

I parametri scaturiti dalle correlazioni bibliografiche sono stati poi messi a confronto in modo obiettivo con i risultati di analisi eseguite su terreni simili in precedenza sottoposti a prove di laboratorio.

Nella seguente Tabella 4-I sono riportati i valori dei parametri geotecnici medi (F_m) dei terreni indagati.

Tabella 4-1 (valori medi F_m)

Livello n	γ_m (KN/m ³)	φ_m ° gradi	c'_m (KN/mq)	c_{um} (KN/mq)
1 coltre	19,00:19,50	19÷21	4÷7,5*	40÷100*
2 substrato alterato	19,50:20,00	21÷23	18÷22	180÷200
3 substrato	20,00:20,50	23÷25	>30	>300

** I valori più elevati sono riferibili al livello più consistente rilevato a profondità comprese fra i -2,00 e 4,50 m nella CPT1.*

Si precisa, inoltre, che i parametri medi (F_m) sopra descritti sono finalizzati alla definizione dei valori caratteristici (F_k) che dovranno essere adottati per le verifiche agli Stati Limite Ultimi (SLU).

I valori caratteristici utilizzati, eventualmente tratti dai parametri sopra riportati, dovranno rispondere al criterio di "stima ragionata e cautelativa" che deve, secondo la normativa in vigore (NTC 2018, par. 6.2.2), guidare la scelta e definizione di ogni modello geotecnico.



5. SISMICITA':

5.1. Sismicità storica:

La sismicità storica del Comune di Gradara è stata ricavata dal database delle osservazioni macrosismiche dei terremoti italiani (DBMI15 Locati M., Camassi R., Rovida A., Ercolani E., Bernardini F., Castelli V., Caracciolo C.H., Tertulliani A., Rossi A., Azzaro R., D'Amico S., Conte S., Rocchetti E. (2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macroseismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15) utilizzato per la compilazione del catalogo parametrico CPTI15 (a cura di Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15) redatti entrambi nell'ambito della linea di attività INGV T3 "Pericolosità sismica e contributi alla definizione del rischio" e quale contributo alle attività dell'Allegato A dell'Accordo quadro INGV-DPC 2012-2021.



Figura 5-1 Storia sismica del Comune di Gradara

Nella successiva tabella sono elencate le osservazioni, aventi la maggiore intensità al sito, disponibili per il territorio comunale. Nella tabella sono indicate:

- l'intensità al sito (I);
- la data;
- l'intensità massima epicentrale in scala MCS (Io);
- la magnitudo momento (Mw).

Come si può vedere dalla storia sismica riportata, il sito è stato interessato da n. 6 eventi sismici con intensità che hanno raggiunto il 7° grado della Scala MCS e con magnitudo momento (Mw) comprese tra 4,06 e 5,82.

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
7	1916	08	16	07	06	14	Riminese	257	8	5.82
NF	1948	06	13	06	33	36	Alta Valtiberina	142	7	5.04
5	1962	01	23	17	31		Costa pesarese	49	5	4.35
3	1987	07	05	13	12	3	Montefeltro	90	6	4.44
NF	2006	04	10	19	03	3	Maceratese	211	5	4.06
4	2006	10	21	07	04	1	Anconetano	287	5	4.21

Tabella 5-1 Tabella dei parametri della storia sismica del Comune di Gradara



5.2. Zonizzazione sismica nazionale e regionale

Negli ultimi anni il punto di riferimento per le valutazioni di pericolosità sismica è stato rappresentato dalla zonazione sismogenetica ZS9 (Scandone et al. 1996 - 2000) che rappresenta la traduzione operativa del modello sismotettonico riassunto in Meletti et al. (2000). In seguito all'emanazione dell'O.P.C.M. 20.3.2003, n. 3274 è stato redatto a cura di un gruppo di lavoro dell'INGV un documento denominato "Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall' O.P.C.M. 20-3-2003, n. 3274 (Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici)".

Tale modello riprende sostanzialmente il background informativo della precedente zonazione, recependo i più recenti avanzamenti delle conoscenze sulla tettonica attiva della penisola anche considerando le indicazioni derivanti da episodi sismici più recenti (es. Bormio 2000, Monferrato 2001, ecc...). La zonizzazione è stata condotta tramite l'analisi cinematica degli elementi geologici, cenozoici e quaternari coinvolti nella dinamica delle strutture litosferiche profonde e della crosta superficiale. Il confronto tra le informazioni che hanno condotto alla costruzione del modello geodinamico e la sismicità osservata ha permesso di costruire la carta nazionale delle zone sismogenetiche. Per il reperimento dei dati relativi alla sismicità osservata è stato considerato il catalogo storico contenente 2.488 eventi degli ultimi 1.000 anni con intensità epicentrali maggiore o uguale al V - VI grado MCS la cui magnitudo è maggiore o uguale a 4.

Gruppo di Lavoro per la redazione della mappa di pericolosità sismica (Ordinanza PCM 20.03.03 n. 3274)
Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia

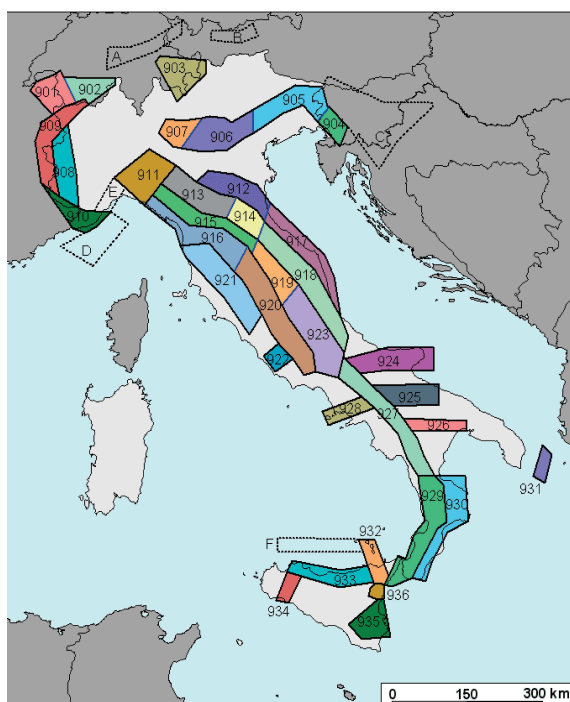


Figura 5-2 Zonizzazione sismogenetica ZS9

La zona che interessa l'area in esame è la 917, che fa parte del complesso "Appennino settentrionale e centrale" (zone che vanno dalla 911 alla 923). Questa zona ricade nella porzione più esterna della fascia di compressione dell'arco appenninico settentrionale. Ogni zonizzazione sismogenetica è caratterizzata da un definito modello cinematico il

quale sfrutta una serie di relazioni di attenuazione stimate sulla base di misurazioni accelerometriche effettuate sia sul territorio nazionale che europeo. Sulla base di tali zone, per tutto il territorio italiano, sono state sviluppate le carte della pericolosità sismica. Nella Zona Sismogenetica 917 sono previsti, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo pari a $M_{wmax} = 6,14$.

Il risultato, per ogni comune, è rappresentato da una stima del rischio sismico che tiene conto dell'intera storia sismica riportata nel catalogo sismico nazionale e che viene espresso in termini probabilistici. La pericolosità sismica di riferimento ipotizza un substrato omogeneo in roccia ed è espressa in PGA (Peak Ground Acceleration) con associato un periodo di ritorno di 475 anni, valore convenzionale in quanto rappresenta l'accelerazione associata alla probabilità del 90% di non superamento considerando un periodo di ritorno di 50 anni (vedi carta INGV nella pagina seguente).

Il territorio italiano è stato suddiviso in quattro zone (o categorie) contraddistinte da differenti valori di PGA (tabella II).

Tabella 5-2

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni
1	>0.25
2	0.15-0.25
3	0.05-0.15
4	<0.05

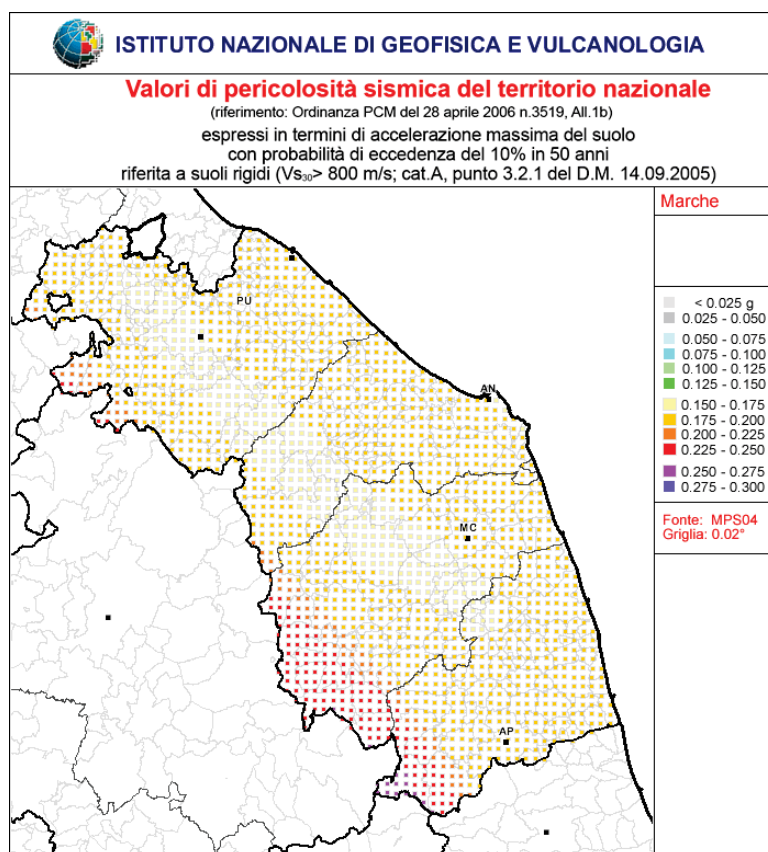


Figura 5-3 Carta di pericolosità sismica del territorio regionale espressa in accelerazione orizzontale di picco PGA con periodo di ritorno di 475 anni (pari alla probabilità di non eccedenza del 90% in 50 anni) Le aree a diverso PGA sono differenziate in base a colorazioni diverse corrispondenti alle diverse classi.

Di seguito si riporta la zonizzazione relativa al territorio nazionale e regionale.



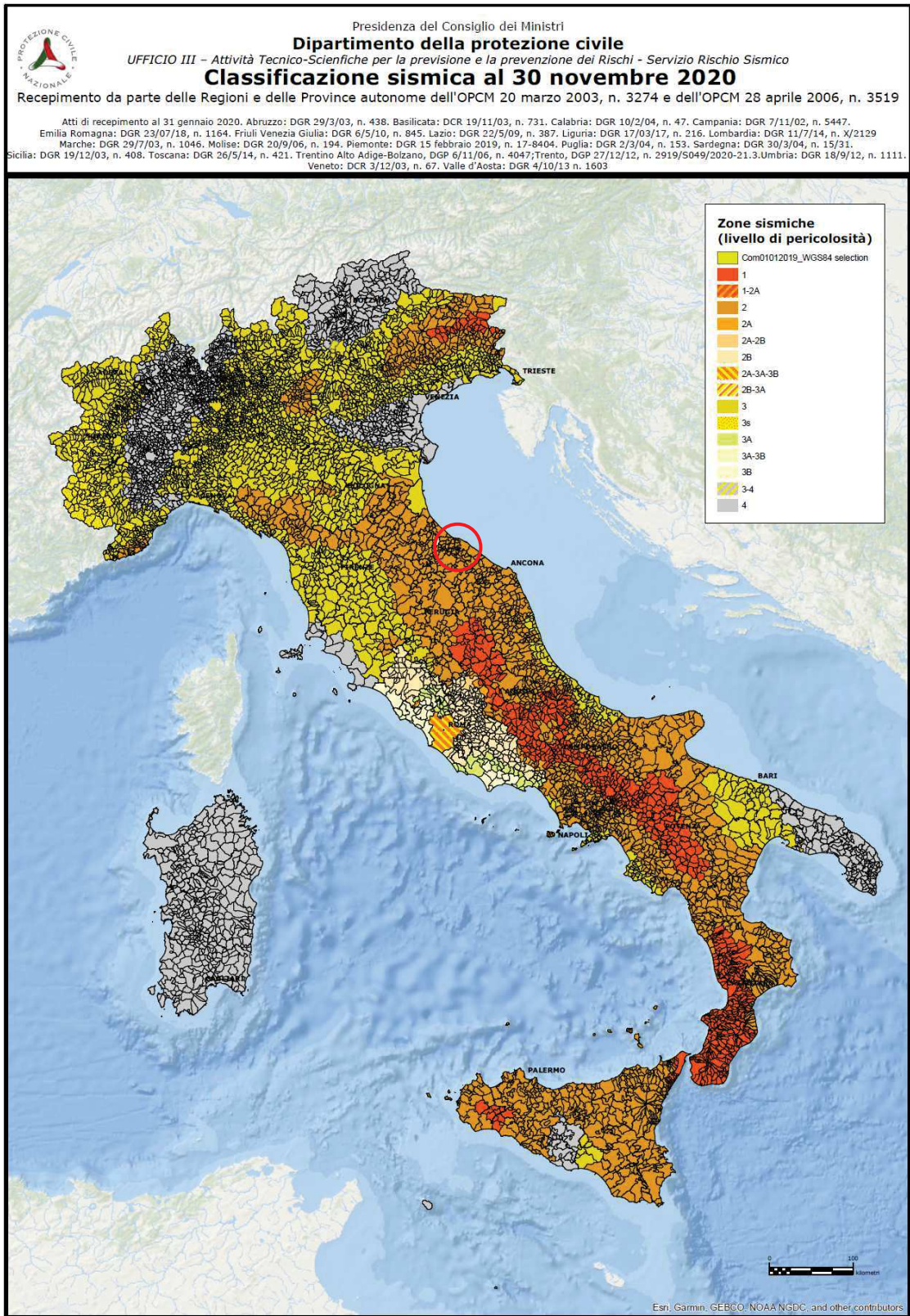


Figura 5-4 Classificazione sismica vigente del territorio nazionale



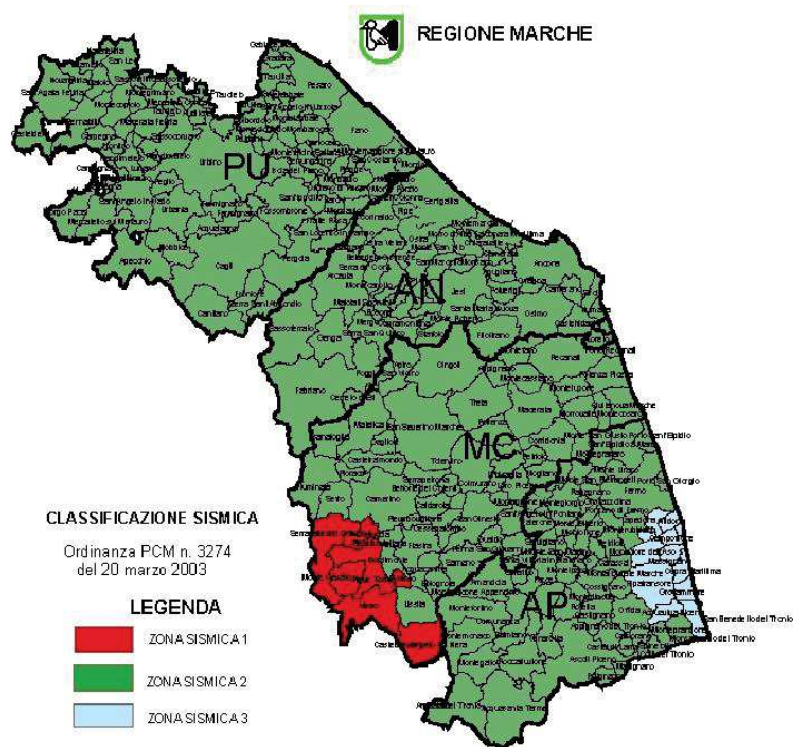


Figura 5-5 Classificazione sismica vigente dei Comuni della Regione Marche

Con riferimento alla classificazione sismica nell’Ordinanza del Consiglio dei Ministri n. 3274/2003 e le norme tecniche vigenti, che disciplinano le costruzioni in zone sismiche, il territorio comunale di Gradara, è classificato come zona 2 con livello di pericolosità sismico medio con valori massimi di PGA pari a 0,25g (vedi figure 5-3, 5-4 e 5-5 e la tabella 5-2).

5.3. Azione sismica:

Con l’entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008 e del successivo aggiornamento (NTC 2018) con Decreto 17 gennaio 2018, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio “sito dipendente” e non più tramite un criterio “zona dipendente”.

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

La “pericolosità di base” è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (“periodo di riferimento” VR espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” PVR.

La “pericolosità sismica di base” è definita in termini di:

- accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (suolo di categoria A, v. Tab III), con superficie topografica orizzontale (categoria T1; v. Tab. 3.2.IV delle NTC 2018),

- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR.

Le nuove norme definiscono le forme spettrali, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- **ag** accelerazione orizzontale massima al sito;
- **Fo** 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.

Le NTC 2018 stimano la pericolosità sismica di base su di una griglia di 10.751 punti, per ognuno dei quali viene fornita la terna di valori **ag**, **Fo** e **T*C** per nove distinti periodi di ritorno TR.

5.3.1. Categoria di sottosuolo e condizioni topografiche:

Le condizioni del sito di riferimento rigido, di cui al paragrafo precedente, non corrispondono in generale a quelle effettive. Risulta pertanto necessario tenere conto delle condizioni stratigrafiche del volume di terreno interessato dall'opera (Categoria di sottosuolo) ed anche delle condizioni topografiche, in quanto questi fattori concorrono a modificare l'azione sismica in superficie (risposta sismica locale) rispetto a quella attesa su un sito rigido con superficie orizzontale.

La categoria di sottosuolo e le condizioni topografiche incidono sullo spettro elastico di risposta, in particolare, l'accelerazione spettrale massima dipende dal coefficiente $S = SS * ST$ che comprende gli effetti delle amplificazioni stratigrafica SS e topografica ST. Per le componenti orizzontali dell'azione sismica, il periodo TC di inizio del tratto a velocità costante dello spettro è invece funzione del coefficiente CC, dipendente anch'esso dalla categoria di sottosuolo, coefficienti definiti nelle tabelle 3.2.IV, 3.2.V e 3.2.VI delle NTC.

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO (condizioni stratigrafiche)

In relazione a quanto sopra indicato, per la definizione dell'azione sismica di progetto si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale o mediante analisi specifiche (indagini sismiche ecc.. come indicato nel § 7.11.3 delle NTC) oppure, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II si può fare riferimento ad un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

Per quanto riguarda l'approccio semplificato, la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

H = profondità substrato ($V_s \geq 800$ m/s)
per $H > 30$ m $V_{S,eq} = V_{S,30}$ (H = 30 m)



dove h_i e V_{si} indicano rispettivamente lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i esimo per un totale di N strati presenti e H è la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, 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 o per valori di V_s del bedrock inferiori ad 800 m/s, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{Seq} è definita dal parametro VS_{30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Categorie di sottosuoli che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Nello specifico, dall'analisi delle indagini sismiche (attive e passive) appositamente eseguite nell'area d'intervento, si può affermare che il sito risulta contraddistinto da una velocità delle onde di taglio V_{s30} ampiamente rientranti nel range 180:360 m/s (in media i valori calcolati si attestano intorno ai 290 m/s), tali velocità sono state calcolate dalla profondità di 0,00 m a -30,00 m, poiché non si rilevano valori di V_s superiori agli 800 m/s, pertanto il suolo indagato può essere classificato come segue:

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,*

congruente con la litostratigrafia emersa durante l'indagine e con altre indagini sismiche svolte sulla medesima area negli anni precedenti.

Infine, dall'analisi dei risultati delle indagini sismiche di registrazione del rumore sismico a stazione singola (HVSr 1, 2, 3 e 4), è emerso come il sito sia caratterizzato dall'assenza di un picco di amplificazione, chiaro e ben marcato, però tutte le indagini mostrano un massimo relativo ad una frequenza di circa 4 Hz ben correlabile al

passaggio con la formazione di substrato posto nelle prime decine di metri dal p.c. (figura 5-6).

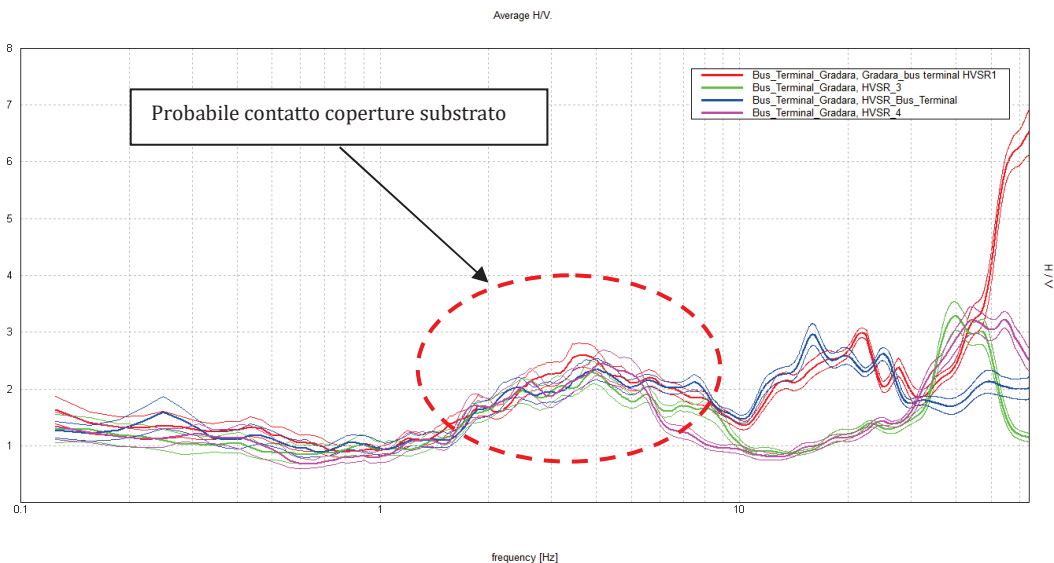


Figura 5-6 Rapporti H/V con indicate le caratteristiche maggiormente rappresentative.

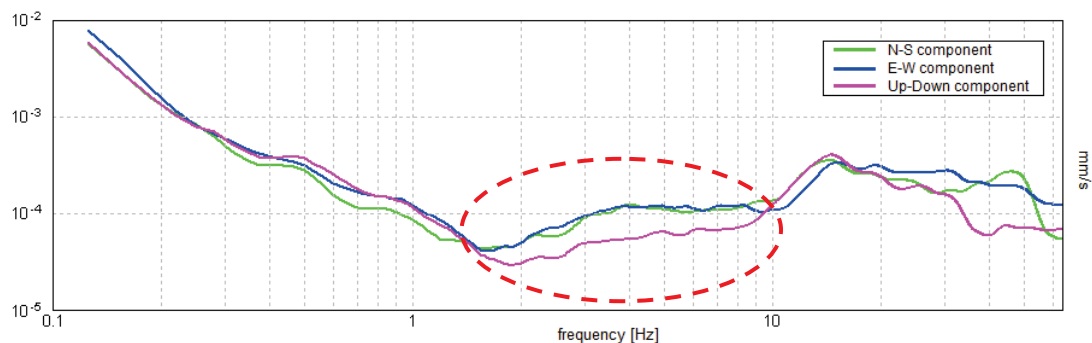


Figura 5-7 Spettri di ampiezza delle singole componenti relative al rapporto H/V in rosso nella precedente figura, con indicati le fasce di minimo della componente spettrale verticale, imputabili a picchi H/V di origine stratigrafica e descrizione delle problematiche.

CATEGORE TOPOGRAFICHE (condizioni topografiche)

Per configurazioni superficiali semplici, si può adottare la seguente tab. 3.2.IV riportata nelle NTC, evidenziando che le categorie riportate si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate se di altezza maggiore di 30 mt.

Tabella 3.2.IV – 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 $i > 30^\circ$



Il valore del coefficiente topografico S_T è riportato nella sottostante Tabella e la sua variazione spaziale è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità fino alla base dove S_T assume valore unitario.

Tabella 3.2.VI – 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 del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Nel nostro caso, viste le caratteristiche morfologiche del sito di intervento, si assume T1 come categoria topografica con $S_T = 1,0$.

5.3.2. Azione sismica di progetto - Parametri sismici:

Mediante l'utilizzo del software "GeoStru PS Parametri sismici" si sono individuate le coordinate del sito di indagine e sulla base della maglia di punti interessata, si ottengono i parametri spettrali su sito di riferimento rigido forniti dal Ministero; conseguentemente vengono definiti i parametri dell'azione sismica relativi al sito interessato dall'opera che sono di seguito riportati, per i rispettivi stati limite.

The screenshot displays the software interface for "GeoStru PS Parametri sismici". It is divided into three main sections:

- Stati limite (Left Panel):** Shows the class of building ("Assenza di funz. pubblica e sociali..."), nominal life ("50"), and interpolation method ("Media ponderata"). A table lists seismic limit states:

Stato Limite	T_r [min]	$a_{1,0}$ [g]	F_0	T_0 [s]
Operatività (SLC)	30	0.048	2.421	0.276
Danno (SLD)	50	0.063	2.567	0.277
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.183	2.480	0.295
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.238	2.622	0.310
- Coefficienti sismici (Right Panel):** Shows the type of structure ("Stabilità dei pendii e fondazioni") and topographic category ("T1"). It provides amplification coefficients for different seismic limits:

	SLD	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,43	1,34
CC Coeff. funz. categoria	1,61	1,60	1,57	1,55
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00
- Map (Center):** A satellite view of the site location with a red pin indicating the specific area of interest.

5.3.3. Liquefazione:

Le indagini effettuate all'interno dell'area direttamente interessata dalla proposta di variante (CPT1 e CPT2) hanno evidenziato per quanto riguarda il deposito colluviale ed alluvionale:

- una stratigrafia caratterizzata prevalentemente da terreni pelitici, costituiti da livelli argilloso-limosi e limoso-argillosi mediamente consistenti; tali terreni non sono soggetti al fenomeno della liquefazione, in quanto dotati di coesione (Cu) che mobilitano nel breve termine in caso di impulso sismico;
- i livelli argilloso sabbiosi e/o limoso sabbiosi presenti sono di modesto spessore;
- il livello di falda è stato individuato rispettivamente a profondità di -5(CPT2) e -6,35 m (CPT1) dal p.c.

Si evidenzia che l'effettiva pericolosità nel caso di liquefazione di sabbie, sottofalda, dipende in maniera preponderante dalle condizioni topografiche e stratigrafiche del sito in studio. Più precisamente con superficie topografica orizzontale, l'effettiva pericolosità dipende dalla stratigrafia ed in particolare dalla profondità e dallo spessore degli strati liquefacibili.

In particolare nel grafico riportato nella figura successiva, Ishihara (1985) mette in relazione il pericolo di danni in superficie con il rapporto fra spessore dello strato liquefacibile e spessore dello strato sovrastante non liquefacibile. Sempre nel medesimo lavoro, Ishihara sulla base di osservazioni empiriche su terremoti giapponesi, suggerisce che le manifestazioni superficiali della liquefazione non saranno significative se:

- la superficie topografica è piana,
- non vi è possibilità di scorrimento laterale verso incisioni o scarpate,
- il rapporto fra lo spessore dello strato superficiale non liquefacibile (H1) e lo spessore del sottostante strato liquefacibile (H2) è maggiore dei valori riportati nella figura indicata di seguito (in funzione dell'accelerazione di picco del suolo, vedi grafico).

In seguito, Seed et al (2003) hanno suggerito di utilizzare tale metodo per accelerazioni di picco non superiori a 0,4 g.

Pertanto l'eventuale rischio di liquefazione dei livelli granulari, sotto falda, presenti a quote superiori ai 5,00 m dal p.c. non costituirebbe un pericolo per le strutture in superficie.

In ogni caso, è sempre raccomandabile, secondo Seed et al., quando si fa riferimento al criterio indicato nella fig. 5-8, far ricorso come minimo a fondazioni continue e molto robuste in grado di contrastare eventuali cedimenti differenziali, specialmente quando gli strati liquefacibili presentano livelli con $N_{1(60)}$ non superiori a 15 o quando il valore del rapporto $H1/H2$ è vicino ai limiti del diagramma di figura 5-8.

Infine si sottolinea che i sottili livelli prevalentemente sabbioso-limosi rinvenuti nella prova statica CPT 2, alle profondità di 10.8 m e 17.2 dal p.c., risultano ben addensati.



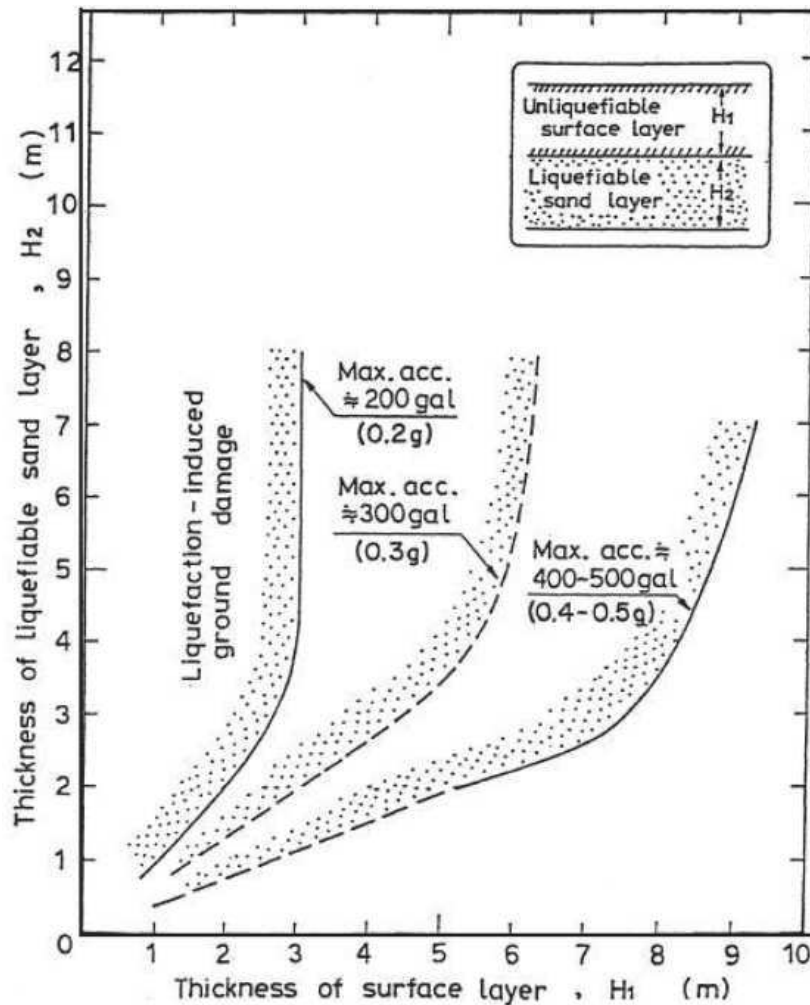


Figura 5-8. Ishihara (1985)

Pertanto in relazione all'art. 7.11.3.4.2. delle NTC 2008, si può ritenere soddisfatta la condizione di cui al punto 4, per cui può essere omessa la verifica a liquefazione.

6. STABILITA' DELL'AREA

6.1. Condizioni di stabilità generale dell'area.

Come già descritto ai capitoli 2.2 e 2.4, l'area interessata dalla proposta di variante, posta all'interno di una vallecchia, in considerazione delle sue caratteristiche geomorfologiche e geomeccaniche ed in base a quanto riportato nelle cartografie ufficiali, non presenta criticità.

Si sottolinea che la pendenza dell'area interessata dall'edificazione risulta modesta essendo mediamente di circa 3°.

Pertanto il sito può essere considerato stabile.

7. CRITERI GENERALI D'INTERVENTO:

7.1. Descrizione della variante

La variante puntuale al vigente P.R.G. di cui si riporta uno stralcio nella seguente figura 7-1 prevede gli interventi descritti ai paragrafi successivi.

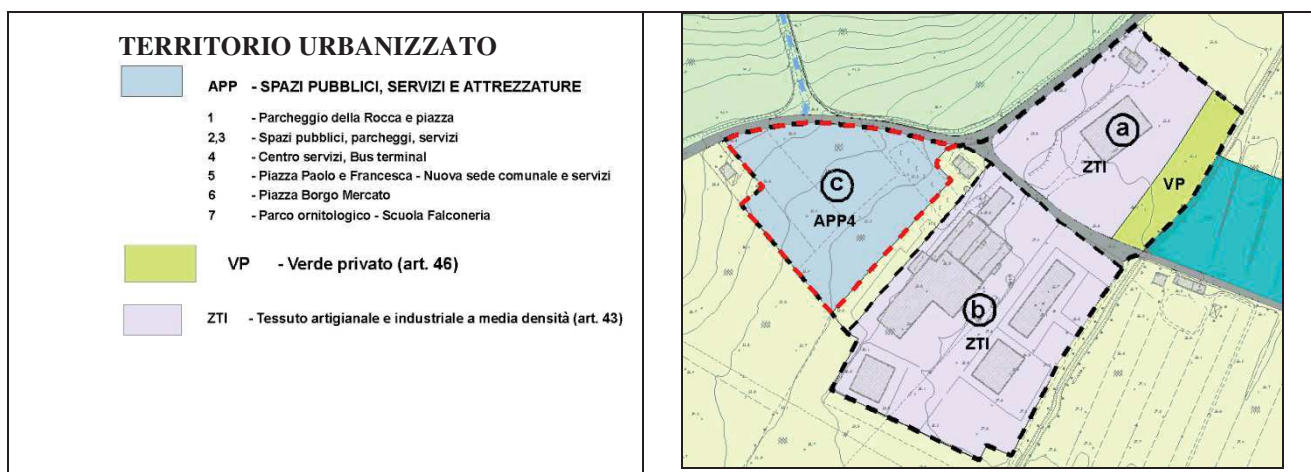


Figura 7-1 Estratto P.R.G. vigente

APP4 Area Servizi e Bus Terminal

La suddivisione in tre Sub-comparti del comparto, già definito nella vigente Variante Generale al P.R.G. del Comune di Gradara ed ivi denominato **APP4 Area Servizi e Bus Terminal** con lieve ridimensionamento ed aggiustamento della perimetrazione.

Nell'attuale previsione di P.R.G. il comparto ha una superficie complessiva di circa mq. 20'470,00.

I tre Sub-comparti per una superficie complessiva di circa mq. 19'368,00 saranno così definiti (vedi figura 7-2):

1. **Sub-comparto A** di superficie 11.747,00 circa comprendente tutta l'area destinata a viabilità, Parcheggi pubblici, servizi ed aree verdi che diventerà e resterà di proprietà dell'Amministrazione Comunale,
2. **Sub-comparto B** di superficie 5.236 mq. circa comprendente l'area destinata all'insediamento di attività commerciali al minuto e di media superficie di vendita e parcheggi pertinenziali,
3. **Sub-comparto C** comprendente un'area di nuova destinazione urbanistica residenziale di mq. 2.385,00 circa.

Le motivazioni che hanno portato alla proposta di variante sono da ricercarsi tra le seguenti considerazioni:

- i soggetti proprietari dell'area intendono attuare quanto previsto dallo strumento di pianificazione territoriale, ritenuto necessario al miglioramento della gestione del traffico veicolare portato dal grande afflusso turistico, che sta giustamente a cuore all'Amministrazione Comunale di Gradara;

- considerate altresì la difficoltà incontrate negli anni per la realizzazione di quanto previsto sull'area da parte dei singoli proprietari ed anche di soggetti imprenditoriali, anche per le implicazioni di carattere logistico con l'interferenza con la grande viabilità pubblica (S.P. n° 47 per Pesaro) e di tipo gestionale vista la presenza di una rilevante porzione pubblica (circa mq. 9.200 di parcheggi pubblici e servizi pertinenziali);
- considerato che l'inserimento nell'area di quanto necessario e previsto per parcheggi pullman, parcheggi camper, parcheggi auto e moto, viabilità interna, svincolo di interferenza con la S.P., comporta la copertura di oltre 2/3 di tutta la Superficie disponibile, che di fatto diventerebbe di uso pubblico, con l'evidente impossibilità di realizzare sulla restante parte, tutto quanto previsto dallo Strumento urbanistico, in termini di edificazione;
- tenuto conto che nell'area **APP4-Bus Terminal**, nel compendio dell'edificazione ammessa, prevalentemente del settore terziario, sono previste attività commerciali anche di media superficie di vendita, la cui realizzazione può facilitare l'attuazione del comparto;
- *tenuto infine conto che si rende necessario un lieve ridimensionamento ed aggiustamento della perimetrazione APP4 al fine di farne coincidere il perimetro con le proprietà dei richiedenti in riferimento alle particelle catastali interessate;*
- nell'intento di facilitare per quanto possibile l'attuazione del comparto e le esigenze dell'Amministrazione Comunale, affinché possa in breve tempo disporre dell'area da destinare a Bus Terminal, anche indipendentemente dalla realizzazione di quant'altro previsto nel comparto stesso.

La dotazione di Superficie Utile edificabile dei tre Sub-comparti, per i motivi sopra elencati sarà conseguentemente ridotta rispetto a quanto già previsto ed il progetto si propone la seguente distribuzione (vedi figure 7-2 e 7-3):

- 1) **Sub-comparto A:** mq. 425 circa di S.U. per servizi alla mobilità pubblica ed uffici pubblici, in un unico edificio di due piani fuori terra, nell'area destinata a Bus Terminal;
- 2) **Sub-comparto B:** mq. 3.300 circa di S.U. a destinazione commerciale comprendente servizi pertinenziali anche al piano seminterrato concentrati in un unico edificio;
- 3) **Sub-comparto C:** mq. 975 circa di S.U. a destinazione residenziale suddivisi in due edifici di due piani fuori terra ciascuno.

Il totale della S.U. ammessa sarà pertanto di 4.700 mq. circa, contro i previsti 6.000 mq. del vigente Piano Urbanistico.

I tre Sub-comparti potranno così essere attuati anche separatamente prevedendo comunque la realizzazione in via preliminare delle infrastrutture di urbanizzazione di tutto il comparto.



Nella proposta si mantiene “l’unitarietà” di tutta l’area con infrastrutture e dotazione di servizi interfunzionali quali:

- Unico accesso tramite rotatoria dalla Strada Provinciale per Pesaro;
- Viabilità interna minimale integrata fra le diverse destinazioni;
- Derivazioni concentrate delle utenze dalle linee dei servizi pubblici;
- Dotazione di aree e barriere verdi a protezione e delimitazione.

7.1.1. Area residenziale ZTR2

L’individuazione di un’area da destinare a “ZTR2 Tessuti urbanizzati in territorio rurale, prevalentemente residenziali” della superficie di mq 1.102,00.

L’area interessata risulta di pertinenza del fabbricato residenziale esistente, pertanto la proposta di variante costituisce il riconoscimento di una situazione preesistente.

Si sottolinea che l’aumento del consumo di suolo relativo alla nuova area ZTR2, risulta in compensazione con il lieve ridimensionamento ed aggiustamento dell’area APP4, nel rispetto di quanto previsto all’art. 11 della L.R. 22/11 e come indicato nella relazione urbanistica redatta dal responsabile dell’Ufficio Tecnico del comune di Gradara ed allegata al presente Rapporto Preliminare.

Le proposte appena elencate sono riportate graficamente nelle seguenti figure 7-2 e 7-3.



Superficie complessiva mq 19.368.00

 sub-comparto A mq 11.747.00

 sub-comparto B mq 5.236.00

 sub-comparto C mq 2.385.00

 ZTR2 mq 1.102.00

Superficie totale con ZTR2 mq 20.470.00

Figura 7-2 Planimetria generale con i sub-comparti A-B-C.

Tenuto conto di quanto descritto, la variante prevederà la realizzazione di alcuni edifici, di cui al momento non sono disponibili i progetti, ma solamente alcune caratteristiche strutturali, come di seguito definite:

- 1) **Sub-comparto A:** Un unico edificio di due piani fuori terra, nell'area destinata a Bus Terminal;
- 2) **Sub-comparto B:** Un unico edificio a destinazione commerciale comprendente servizi pertinenziali anche al piano seminterrato;
- 3) **Sub-comparto C:** Due edifici di due piani fuori terra ciascuno oltre all'eventuale piano interrato accessorio.



Schema di suddivisione in aree progetto

Superficie complessiva mq 19.368,00

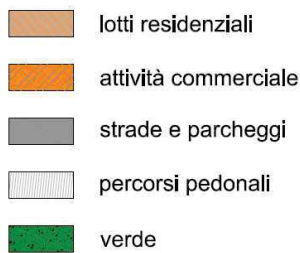


Figura 7-3 Proposta di variante

7.2. Fondazioni:

In relazione,

- a quanto emerso durante l'indagine in merito alle caratteristiche del sottosuolo, ed alle condizioni ambientali,
- alle caratteristiche delle strutture al momento note ed alle indicazioni progettuali fornite dal progettista,

si può affermare che l'area risulta idonea alla realizzazione degli interventi previsti dalla variante.

A mero titolo indicativo, in relazione alle indagini sino ad ora eseguite, per la realizzazione delle opere di fondazione dei nuovi manufatti, si ritiene possibile anche l'utilizzo di fondazioni superficiali mediante la realizzazione di travi rovesce e/o di platee.

In ogni caso, tenuto conto delle caratteristiche litologiche emerse durante l'indagine eseguita, in fase di progettazione esecutiva si dovranno effettuare adeguate indagini geognostiche nelle rispettive aree di sedime dei manufatti per verificare con attenzione le caratteristiche litologiche e geomeccaniche dei terreni di imposta al fine di una adeguata scelta della tipologia di fondazione, con particolare attenzione alla valutazione di possibili cedimenti differenziali dovuti alle caratteristiche di eterogeneità, sia areale che verticale, del livello superficiale (livello 1).

Sarà in ogni caso cura dell'Ingegnere calcolatore la scelta delle tipologie di fondazione più idonee ed il loro dimensionamento in relazione ai carichi di esercizio previsti ed alle problematiche esecutive.

Nell'ipotesi di realizzazione di piani interrati si dovranno prevedere adeguate opere di impermeabilizzazione e ventilazione dei vani contro terra.

7.3. Sbancamenti e riporti di terreno:

In relazione alle scelte progettuali, se saranno eseguiti scavi di sbancamento per il raggiungimento del piano di imposta dei manufatti e/o delle opere di urbanizzazione si valuterà caso per caso la necessità o meno di realizzare preventivamente adeguate opere di contenimento per salvaguardare la stabilità dell'area e l'incolumità delle maestranze impegnate nei lavori.



Inoltre, una volta definite le scelte progettuali andranno valutati i reali quantitativi di terreno da scavare e conseguentemente i volumi riutilizzabili in sito per le sistemazioni superficiali.

L'eventuale terreno restante, dovrà essere quantificato e smaltito in idonea discarica. Il tutto nel rispetto delle normative vigenti in materia di "Terre e Rocce da scavo", D.L. 152/2006 e D.P.R. n. 120/2017 (Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164).

7.4. Drenaggi-regimentazione delle acque:

L'intera area oggetto di variante dovrà essere dotata di un efficiente sistema di raccolta e regimazione delle acque superficiali onde evitare il ruscellamento e l'infiltrazione indiscriminata lungo l'intera area.

Pertanto, anche in accordo con il principio di invarianza idraulica, tutte le acque di raccolta non dovranno essere disperse nel terreno ma incanalate, con relativi pozzetti di controllo, fino all'immissione nella rete fognaria e/o in fossi recettori in grado di riceverle.

8. CONCLUSIONI:

I dati emersi dall'indagine geologico-geotecnica eseguita indicano che *l'area indagata risulta compatibile dal punto di vista geomorfologico con le nuove previsioni urbanistiche* secondo le indicazioni fornite nei paragrafi precedenti.

Per ogni singolo intervento dovranno essere eseguite indagini geognostiche e geofisiche integrative di dettaglio come previsto dal D.M. 17.01.2018, al fine di meglio definire il modello geologico-tecnico di riferimento per ogni singolo intervento.

Al capitolo 7 paragrafi 7.2, 7.3 e 7.4 (criteri generali d'intervento) sono descritte in dettaglio, per la presente fase autorizzativa, le modalità di intervento e gli accorgimenti che dovranno essere in generale adottati per l'attuazione della variante. Gli approfondimenti necessari saranno effettuati nelle successive fasi progettuali (progetto definitivo-esecutivo).

Lo studio rimane a disposizione per i chiarimenti necessari.

Gabicce Mare, Settembre 2021

Dott. Geol. R. Romagna



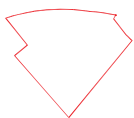
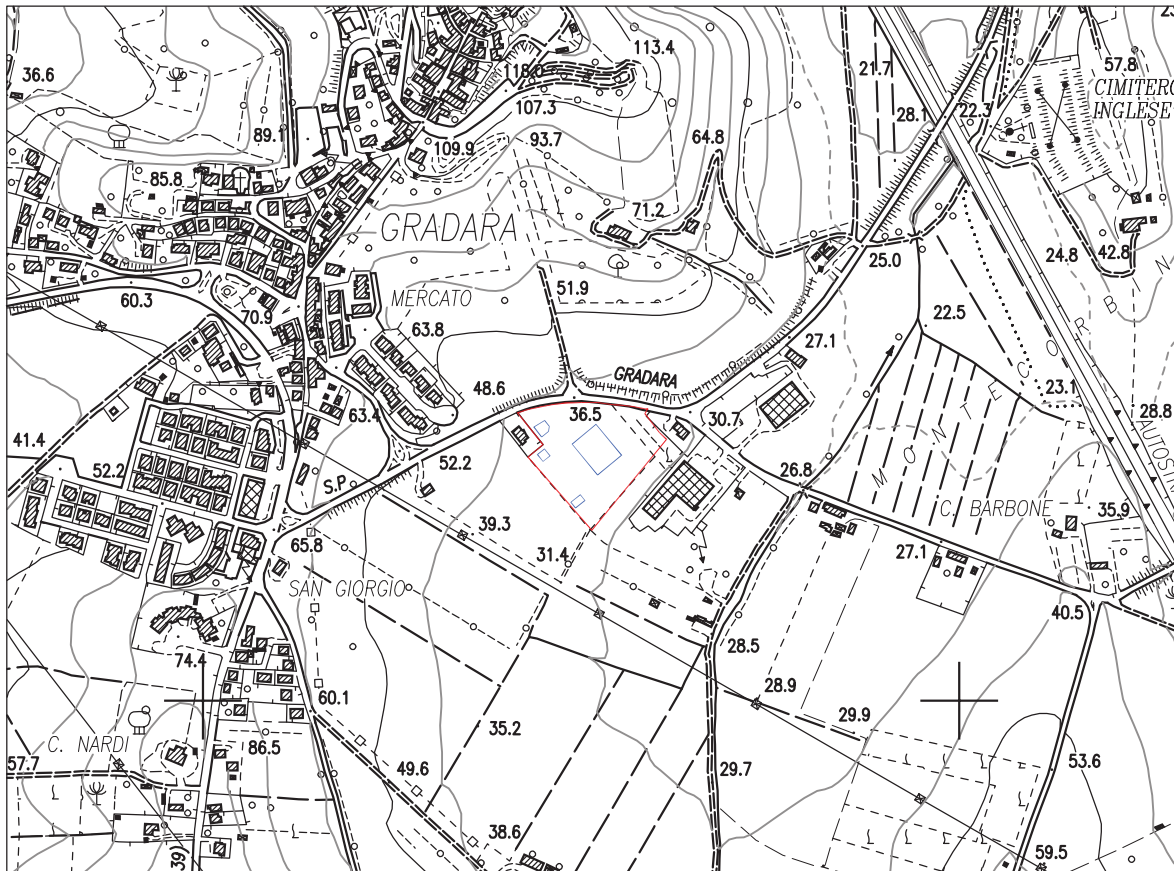
ALLEGATO 1

- *rilievo aerofotogrammetrico in scala 1:10.000 ed 1:5.000,*
- *estratto di mappa scala 1:2.000,*
- *stralcio carta geologica Regionale in scala 1:10.000,*
- *planimetria dell'area interessata con individuazione delle indagini eseguite,*
- *sezione con ricostruzione litostratigrafica dei terreni.*

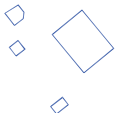


COROGRAFIA SU BASE CARTOGRAFICA CTR

scala 1:10.000



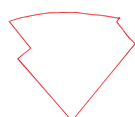
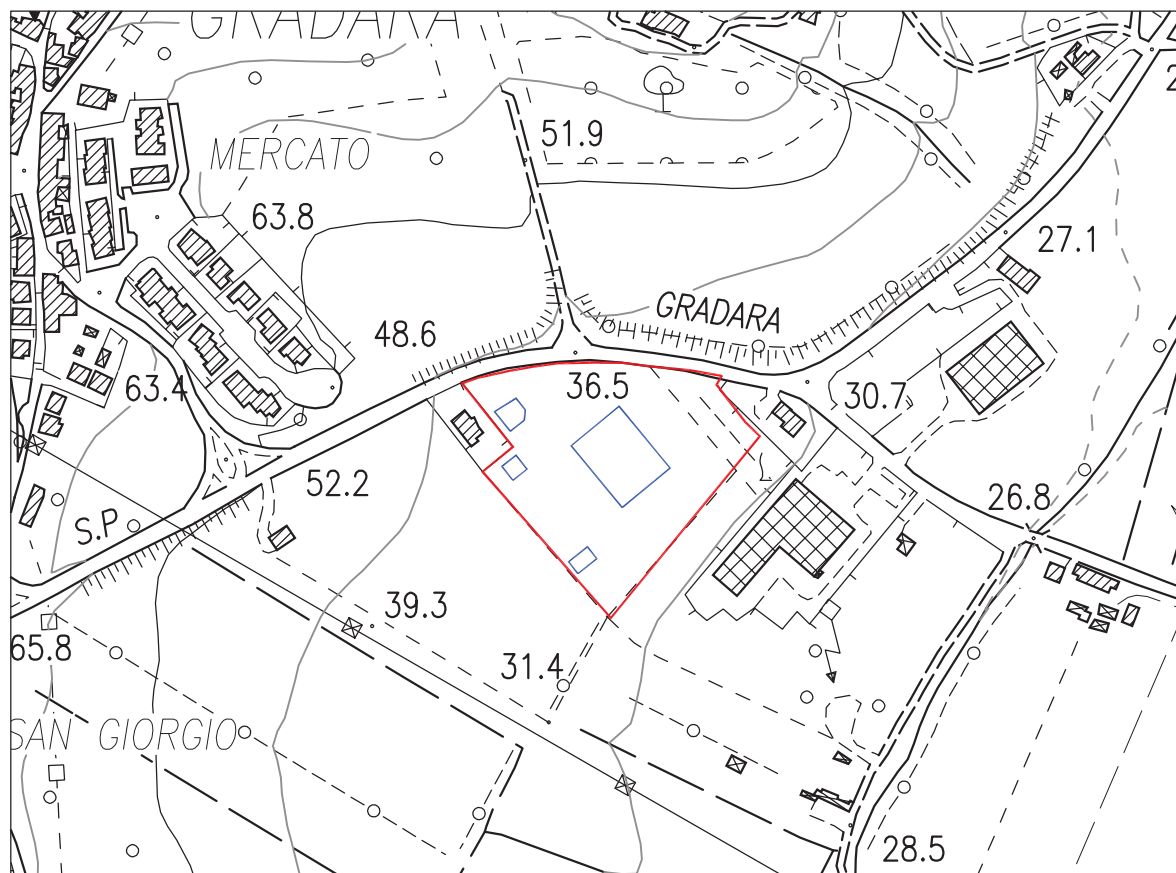
Proprietà interessata dall'intervento



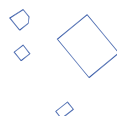
Ingombro del nuovo capannone da realizzarsi

COROGRAFIA SU BASE CARTOGRAFICA CTR

scala 1:5.000



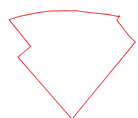
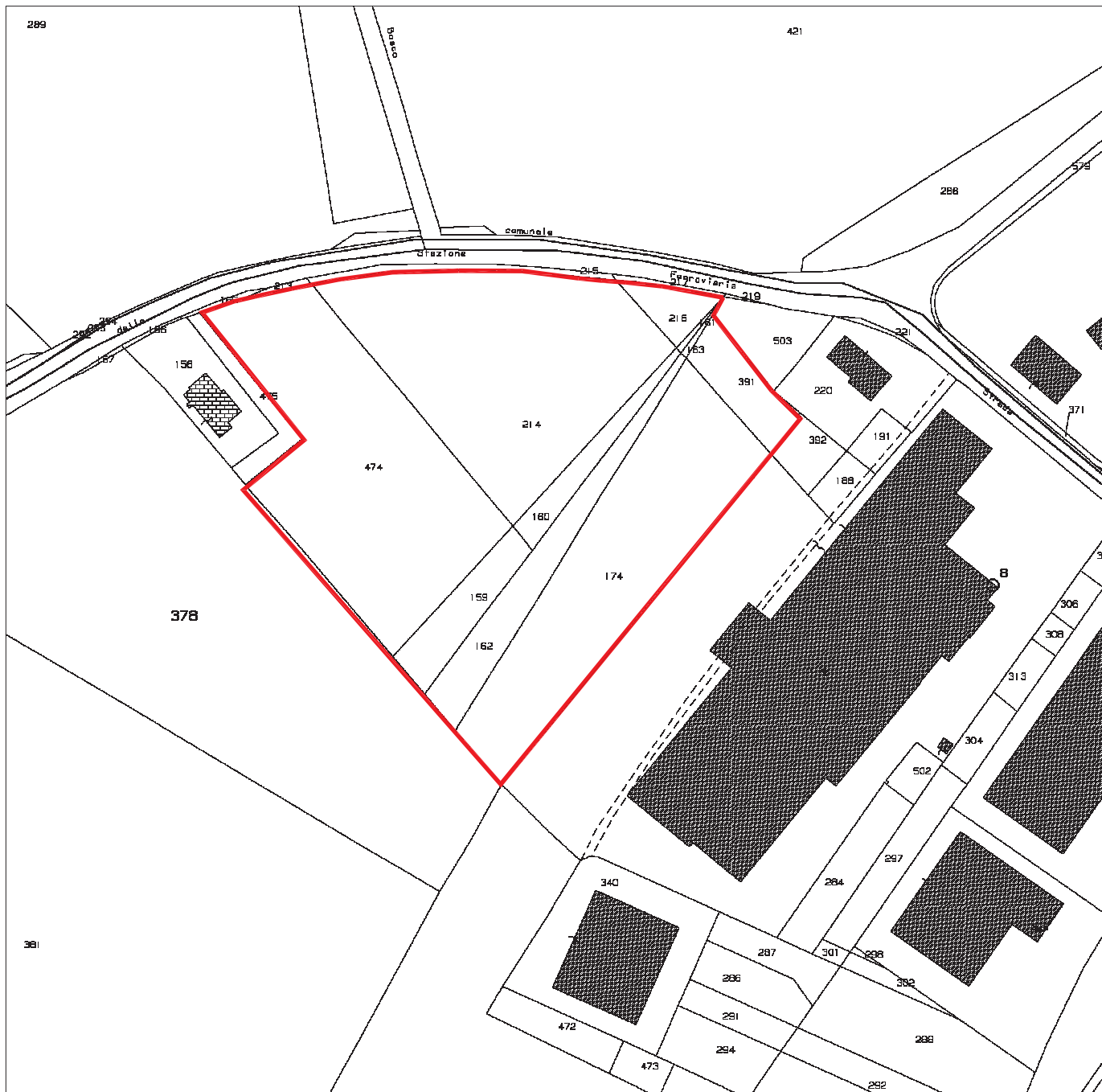
Proprietà interessata dall'intervento



Ingombro del nuovo capannone da realizzarsi

ESTRATTO DI MAPPA CATASTALE

scala 1:2.000

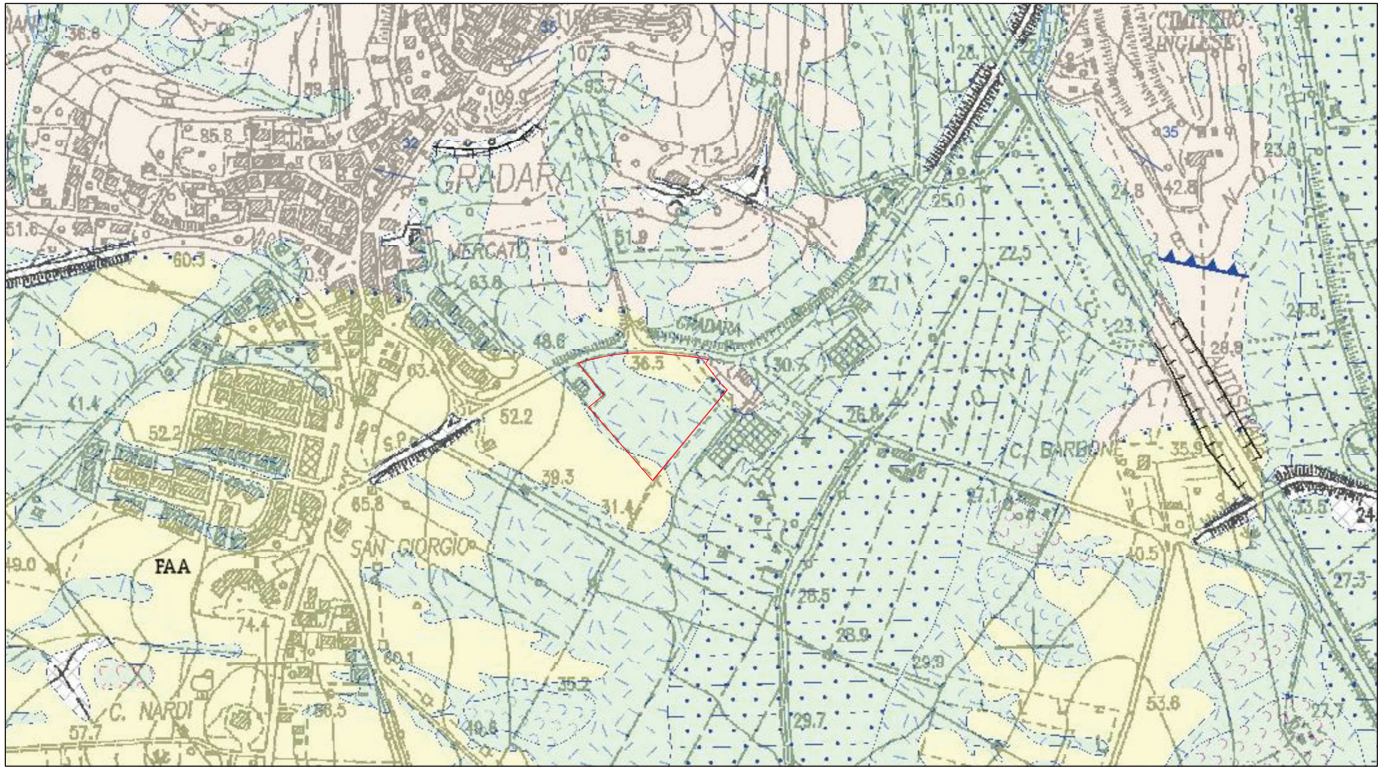


Area oggetto di variante al P.R.G.

CARTA GEOLOGICA REGIONALE

EDIZIONE CTR

scala 1:10.000

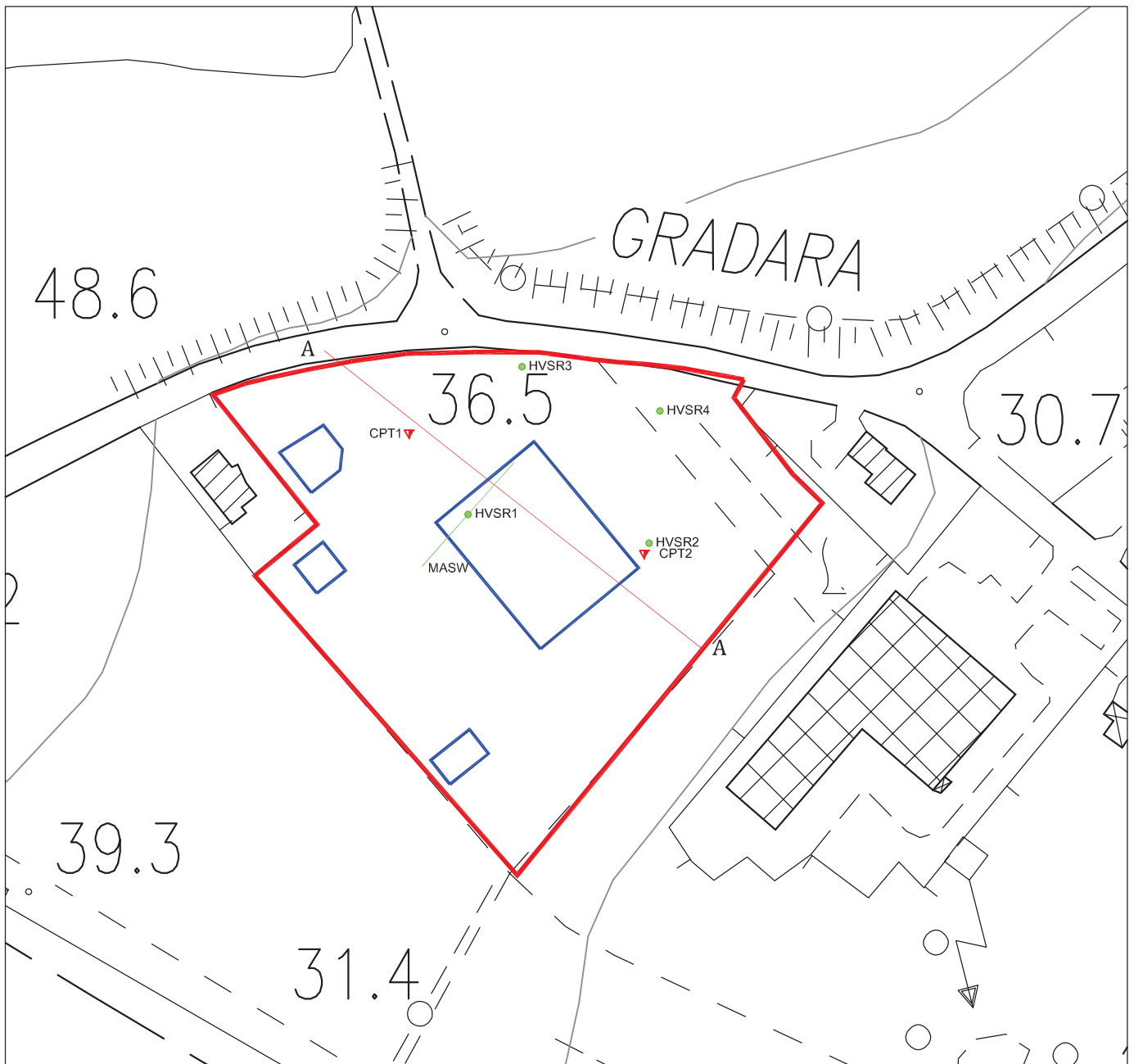


LEGENDA GEOLOGICA






<p>SINTEMA EMILIANO - ROMAGNOLO SUPERIORE (AES) SUBSISTEMA DI RAVENNA (AES 8) (PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE)</p> <p>AES8a1 Frane in evoluzione</p> <p>AES8a1a Frane antica</p> <p>AES8a1q Frane senza indizi di evoluzione</p> <p>AES8a1s Frane di scorrimento con indizi di evoluzione</p> <p>AES8a1qs Frane di scorrimento senza indizi di evoluzione</p> <p>AES8b2 Depositi eluvio-colluviali</p> <p>AES8bn Depositi alluvionali terrazzati argille, limi e sabbie prevalenti con subordinate ghiaie</p> <p>UNITÀ DI MODENA (AES8a)</p> <p>AES8ab Depositi alluvionali attuali argille, limi e sabbie con subordinate ghiaie</p> <p>AES8ag2 Depositi di spiaggia attuale a) ghiaie, ghiaie sabbiose e sabbie b) sabbie, sabbie limose e limi</p>	<p>SINTEMA DI MATELICA (PLEISTOCENE SUPERIORE p.p. - OLOCENE p.p.)</p> <p>MTIbn Depositi alluvionali terrazzati argille, limi e sabbie associate a subordinate ghiaie</p> <p>SUCCESSIONE UMBRO-MARCHIGIANO-ROMAGNOLA</p> <p>SUCCESSIONE PLEISTOCENICA</p> <p>FAA ARGILLE AZZURRE (Pliocene inferiore p.p. - Pliocene superiore p.p.)</p> <p>FAAb ARGILLE AZZURRE Litofacies arenitico - conglomeritica (Pliocene superiore p.p.)</p> <p>FAAd ARGILLE AZZURRE Litofacies arenitico pelitica (Pliocene superiore)</p> <p>SUCCESSIONE MIOCENICA</p> <p>FCO FORMAZIONE A COLOMBACCI (Messiniano p.p.)</p> <p>FSD FORMAZIONE di SAN DONATO (Messiniano p.p.)</p> <p>SCH SCHLIER (Burdigaliano superiore p.p. - Messiniano inferiore p.p.)</p> <p>— — — — — Contatto stratigrafico o litologico</p> <p>— — — — — Contatto stratigrafico inconforme</p> <p>— — — — — Contatto stratigrafico o litologico incerto</p> <p>— — — — — Contatto stratigrafico inconforme incerto</p> <p>▲ ▲ ▲ ▲ ▲ Sovrascorrimento</p> <p>▲ ▲ ▲ ▲ ▲ Sovrascorrimento incerto o sepolto</p> <p>± ± ± ± ± Traccia di superficie assiale di sinclinale</p> <p>+ + + + + Traccia di superficie assiale di anticlinale incerta o sepolta</p> <p>± ± ± ± ± Traccia di superficie assiale di sinclinale incerta o sepolta</p> <p>— — — — — Orlo di scarpata di frana</p> <p>— — — — — Orlo di terrazzo fluviale</p> <p>— — — — — Orlo di falesia</p>	<p>— — — — — Orlo di scarpata antropica</p> <p>— — — — — Stratificazione dritta</p> <p>— — — — — Stratificazione rovesciata</p> <p>▲ ▲ ▲ ▲ ▲ Conoide alluvionale e da debris flow</p> <p>— — — — — Deposito antropico / struttura antropica</p>
---	--	---

PLANIMETRIA SONDAGGI

scala 1:2.000

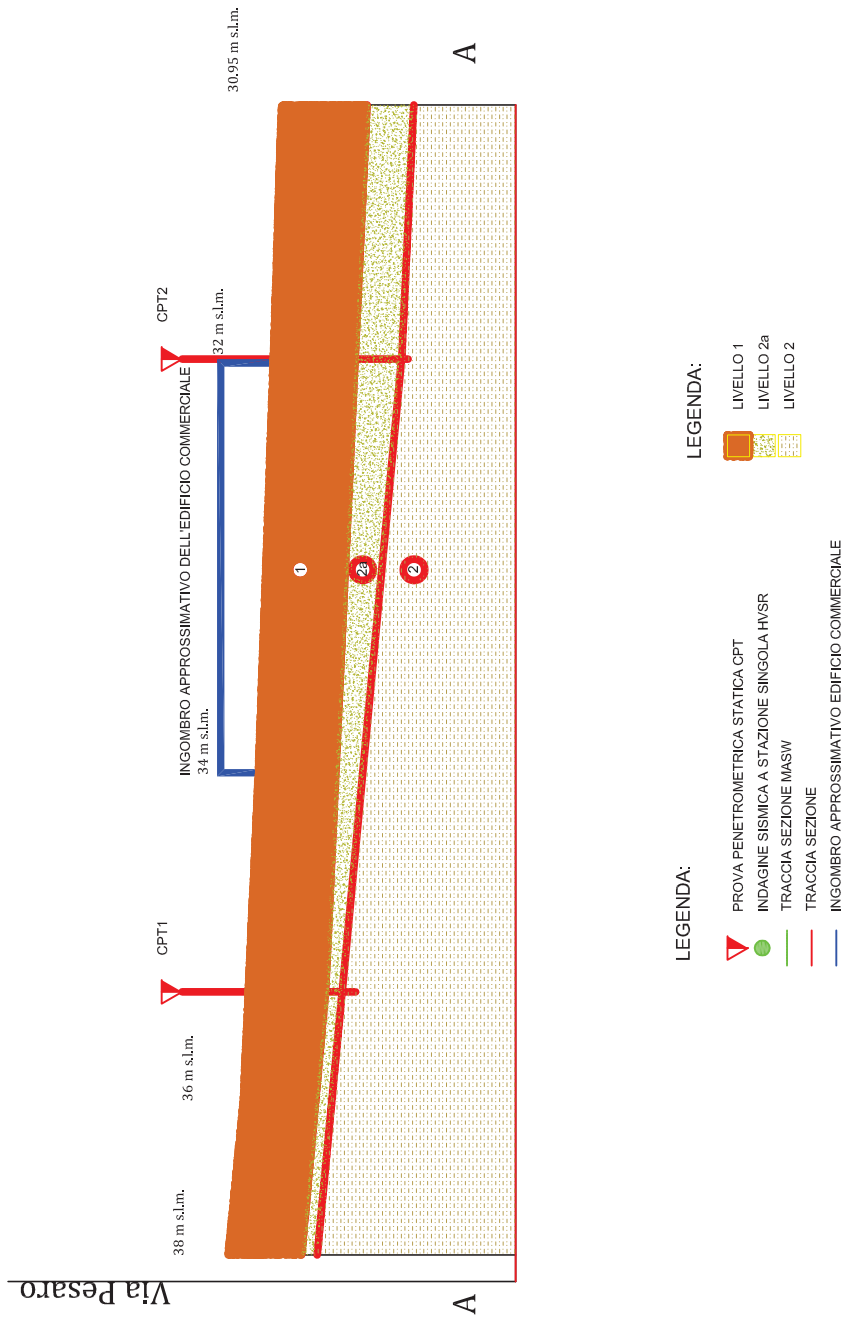


LEGENDA:

-  PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT
-  INDAGINE SISMICA A STAZIONE SINGOLA HVSR
-  TRACCIA SEZIONE MASW
-  TRACCIA SEZIONE
-  INGOMBRO APPROSSIMATIVO EDIFICI

SEZIONE CON RICOSTRUZIONE LITOSTRATIGRAFICA

scala 1:1.000



ALLEGATO 2

- *grafici delle prove penetrometriche statiche (CPT) eseguite,*
- *indagine sismica multicanale in onde di superficie (MASW) rapporto definitivo;*
- *indagini sismiche a stazione sismica – rapporto definitivo.*

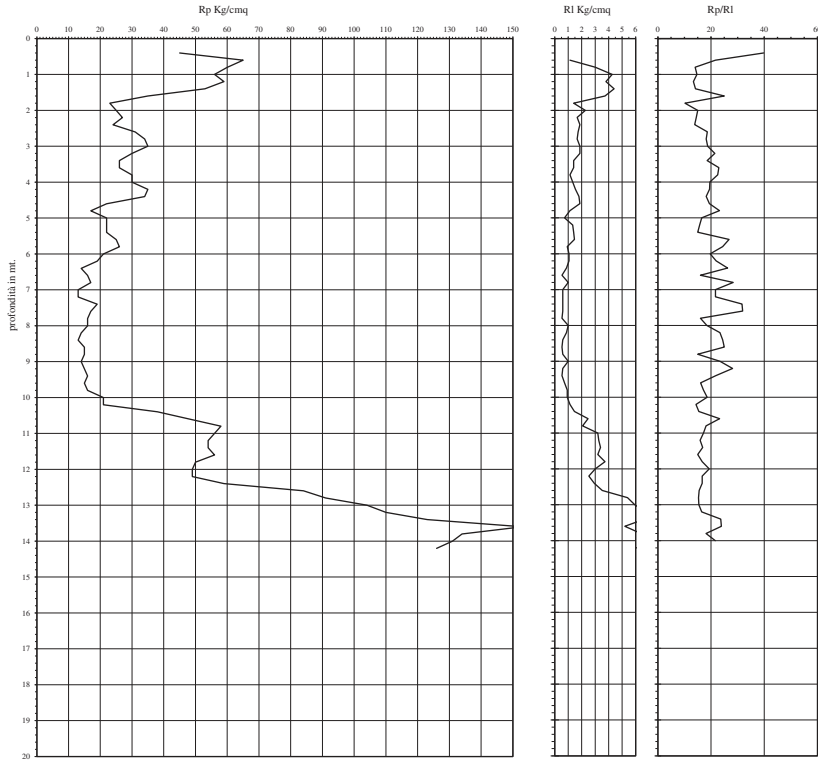


Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT 1
 Cantiere: Gradara (PU) - SP39-bus terminal
 Data: Luglio 2021

Quota inizio: piano campagna
 Liv.falda: -6,35 mt.
 Note:

Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)



A A A A A A A A S S S S S S										Angolo d'attrito interno, densità relativa e coesione				Verifica alla liquefazione magnitudo di 6 g accelerazione massima al sasso 0.25 g (Seed et al. 1985)	
0	M	T	M	C	M	S	L	S	D	ϕ°	Dr	Cu	N _{sp}	coefficiente di sicurezza	
T												Kg/cm²			
0.2															2.77
0.4															n.l.
0.6															n.l.
0.8															n.l.
1.0															n.l.
1.2															n.l.
1.4															n.l.
1.6															n.l.
1.8															n.l.
2.0															n.l.
2.2															n.l.
2.4															n.l.
2.6															n.l.
2.8															n.l.
3.0															n.l.
3.2															n.l.
3.4															n.l.
3.6															n.l.
3.8															n.l.
4.0															n.l.
4.2															n.l.
4.4															n.l.
4.6															n.l.
4.8															n.l.
5.0															n.l.
5.2															n.l.
5.4															n.l.
5.6															n.l.
5.8															n.l.
6.0															n.l.
6.2															n.l.
6.4															n.l.
6.6															n.l.
6.8															n.l.
7.0															n.l.
7.2															n.l.
7.4															n.l.
7.6															n.l.
7.8															n.l.
8.0															n.l.
8.2															n.l.
8.4															n.l.
8.6															n.l.
8.8															n.l.
9.0															n.l.
9.2															n.l.
9.4															n.l.
9.6															n.l.
9.8															n.l.
10.0															n.l.
10.2															n.l.
10.4															n.l.
10.6															n.l.
10.8															n.l.
11.0															n.l.
11.2															n.l.
11.4															n.l.
11.6															n.l.
11.8															n.l.
12.0															n.l.
12.2															n.l.
12.4															n.l.
12.6															n.l.
12.8															n.l.
13.0															n.l.
13.2															n.l.
13.4															n.l.
13.6															n.l.
13.8															n.l.
14.0															n.l.
14.2															n.l.
14.4															n.l.
14.6															n.l.
14.8															n.l.
15.0															n.l.
15.2															n.l.
15.4															n.l.
15.6															n.l.
15.8															n.l.
16.0															n.l.
16.2															n.l.
16.4															n.l.
16.6															n.l.
16.8															n.l.
17.0															n.l.
17.2															n.l.
17.4															n.l.
17.6															n.l.
17.8															n.l.
18.0															n.l.
18.2															n.l.
18.4															n.l.
18.6															n.l.
18.8															n.l.
19.0															n.l.
19.2															n.l.
19.4															n.l.
19.6															n.l.
19.8															n.l.
20.0															n.l.

Caratteristiche strumento penetrometro statico semovente, 200kN spinta
 Punta meccanica tipo Begemann - manicotto laterale superficie 150 cm²

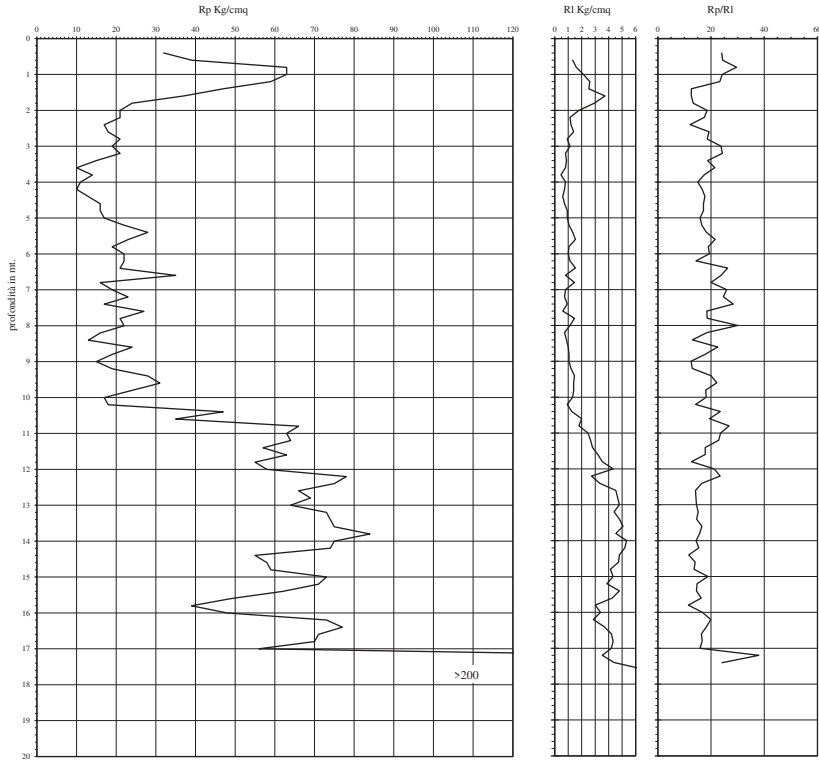
AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;
 AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta
 AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;
 SL sabbia e limo; SLA sabbia limosa argillosa
 SS sabbia sciola; S sabbia; SD sabbia densa
 n.l. non liquefacibile

Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT 2
 Cantiere: Gradara (PU) - SP39-bus terminal
 Data: Luglio 2021

Quota inizio: piano campagna
 Liv.falda: -5,00 mt.
 Note:

Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)



Caratteristiche strumento penetrometro statico semovente, 200kN spinta
 Punta meccanica tipo Begemann - manicotto laterale superficie: 150 cm²

Angolo d'attrito interno, densità relativa e coesione										Verifica alla liquefazione				
										magnitudo di 6 g				
										accelerazione massima al sasso 0,25 g				
										(Seed et al. 1985)				
										coefficiente di sicurezza				
A	A	A	A	A	A	A	S	S	S	ϕ°	Dr	Cu	N _{spt}	
0	M	T	M	C	M	S	L	S	D			Kg/cm²		n.l.
T														n.l.
0,2												1,6	/	n.l.
0,4												1,95	/	n.l.
0,6												1,6	15,75	n.l.
0,8												2,95	/	n.l.
1,0												2,5	/	n.l.
1,2												1,85	/	n.l.
1,4												1,2	/	n.l.
1,6												1,05	/	n.l.
1,8												0,85	/	n.l.
2,0												0,8	/	n.l.
2,2												0,95	/	n.l.
2,4												1,05	/	n.l.
2,6												0,75	/	n.l.
2,8												0,5	/	n.l.
3,0												0,3	/	n.l.
3,2												0,55	/	n.l.
3,4												0,2	/	n.l.
3,6												0,65	/	n.l.
3,8												0,3	/	n.l.
4,0												0,2	/	n.l.
4,2												0,65	/	n.l.
4,4												0,5	/	n.l.
4,6												0,3	/	n.l.
4,8												0,8	/	n.l.
5,0												1,1	/	n.l.
5,2												1,15	/	n.l.
5,4												1,4	/	n.l.
5,6												1,15	/	n.l.
5,8												1,1	/	n.l.
6,0												1,05	/	n.l.
6,2												1,75	/	n.l.
6,4												0,5	/	n.l.
6,6												0,95	/	n.l.
6,8												0,85	/	n.l.
7,0												1,35	/	n.l.
7,2												0,85	/	n.l.
7,4												1,05	/	n.l.
7,6												1,5	/	n.l.
7,8												0,3	/	n.l.
8,0												0,65	/	n.l.
8,2												0,65	/	n.l.
8,4												0,95	/	n.l.
8,6												0,95	/	n.l.
8,8												1,5	/	n.l.
9,0												0,95	/	n.l.
9,2												1,5	/	n.l.
9,4												1,4	/	n.l.
9,6												1,55	/	n.l.
9,8												1,2	/	n.l.
10,0												0,85	/	n.l.
10,2												0,8	/	n.l.
10,4												2,35	/	n.l.
10,6												1,75	/	n.l.
10,8												2,35	/	n.l.
11,0												3,14	16,5	n.l.
11,2												2,85	/	n.l.
11,4												3,15	/	n.l.
11,6												2,75	/	n.l.
11,8												2,75	/	n.l.
12,0												3,5	/	n.l.
12,2												3,5	/	n.l.
12,4												3,5	/	n.l.
12,6												3,5	/	n.l.
12,8												3,45	/	n.l.
13,0												3,65	/	n.l.
13,2												3,7	/	n.l.
13,4												3,75	/	n.l.
13,6												3,75	/	n.l.
13,8												3,75	/	n.l.
14,0												3,75	/	n.l.
14,2												3,75	/	n.l.
14,4												3,75	/	n.l.
14,6												2,95	/	n.l.
14,8												2,9	/	n.l.
15,0												2,95	/	n.l.
15,2												3,65	/	n.l.
15,4												3,55	/	n.l.
15,6												3,1	/	n.l.
15,8												1,95	/	n.l.
16,0												2,45	/	n.l.
16,2												1,65	/	n.l.
16,4												1,85	/	n.l.
16,6												3,5	/	n.l.
16,8												3,3	/	n.l.
17,0												3,2	41,75	n.l.
17,2												8,95	/	n.l.
17,4												8,95	/	n.l.
17,6												8,95	/	n.l.
17,8												200	/	n.l.
18,0													/	n.l.
18,2													/	n.l.
18,4													/	n.l.
18,6													/	n.l.
18,8													/	n.l.
19,0													/	n.l.
19,2													/	n.l.
19,4													/	n.l.
19,6													/	n.l.
19,8													/	n.l.
20,0													/	n.l.

Legenda:
 argilla
 sabbia limoso argillosa
 sabbia
 AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera;
 AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta
 AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa;
 SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa
 SS sabbia sciola; S sabbia; SD sabbia densa
 n.l. non liquefacibile
 Cu media Kg/cm² 2.12798 24.667 Nspt media n. colpi

GRADARA, BUS TERMINAL, MASW_12CH

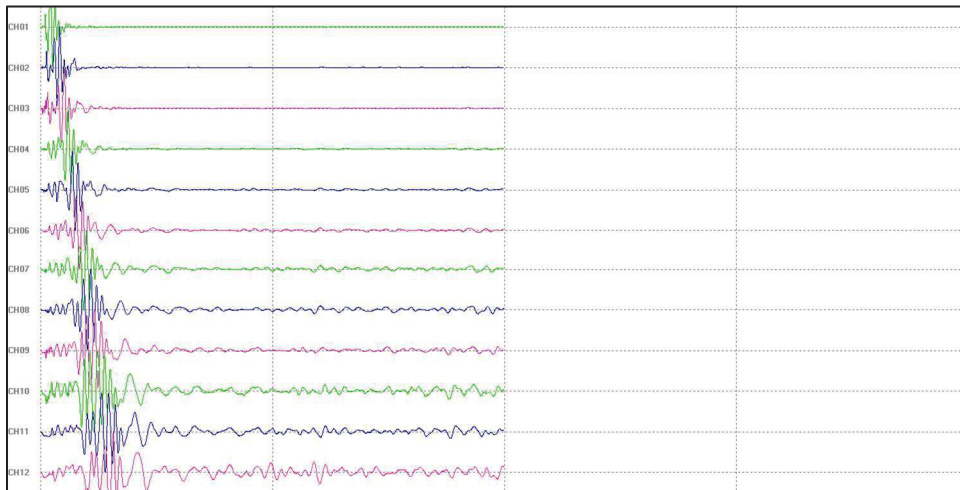
Start recording: 08/07/2021 10:51:17 End recording: 08/07/2021 10:51:19

Trace length: 0h00'02". Analysis performed on the entire trace.

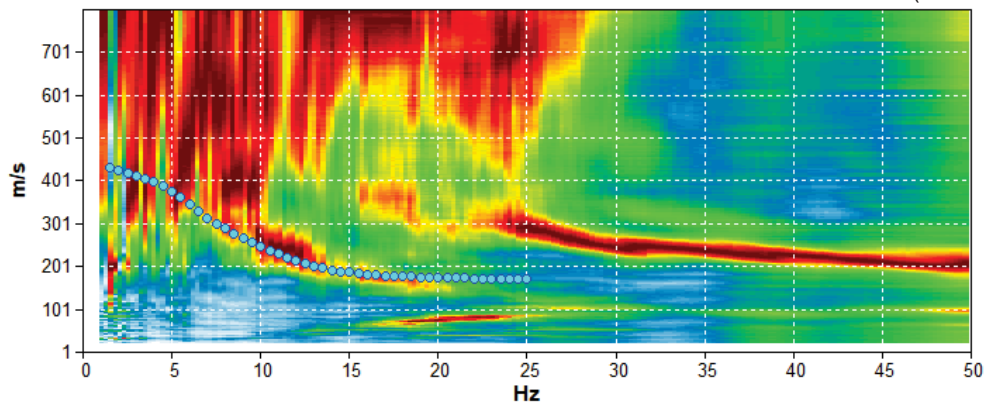
Sampling rate: 1000 Hz

Channel labels: CH01; CH02; CH03; CH04; CH05; CH06; CH07; CH08; CH09; CH10; CH11; CH12

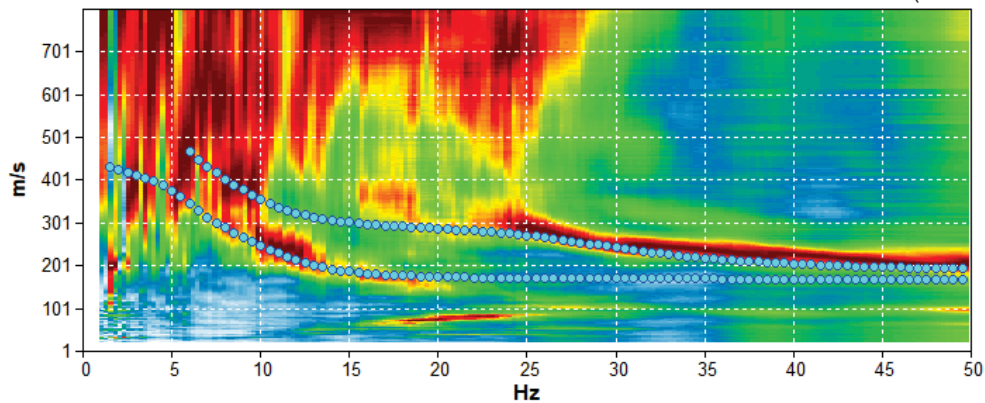
Array geometry (x): 0.0 4.0 8.0 12.0 16.0 20.0 24.0 28.0 32.0 36.0 40.0 44.0 m.



MODELLLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE (1 MOD0)

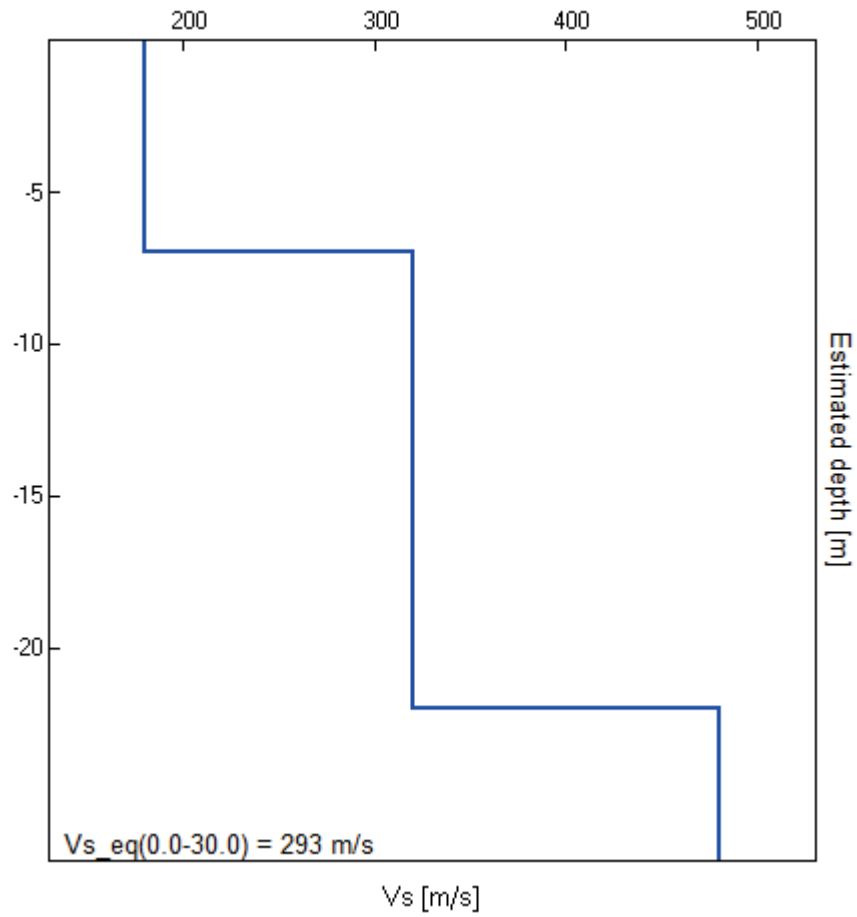


MODELLLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE (2 MOD0)



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
7.00	7.00	180	0.42
22.00	15.00	320	0.40
inf.	inf.	480	0.40

$V_{s_eq}(0.0-30.0) = 293 \text{ m/s}$



GRADARA, BUS TERMINAL HVSR1

Instrument: TRZ-0147/01-11

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 08/07/2021 09:33:05 End recording: 08/07/2021 09:53:05

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

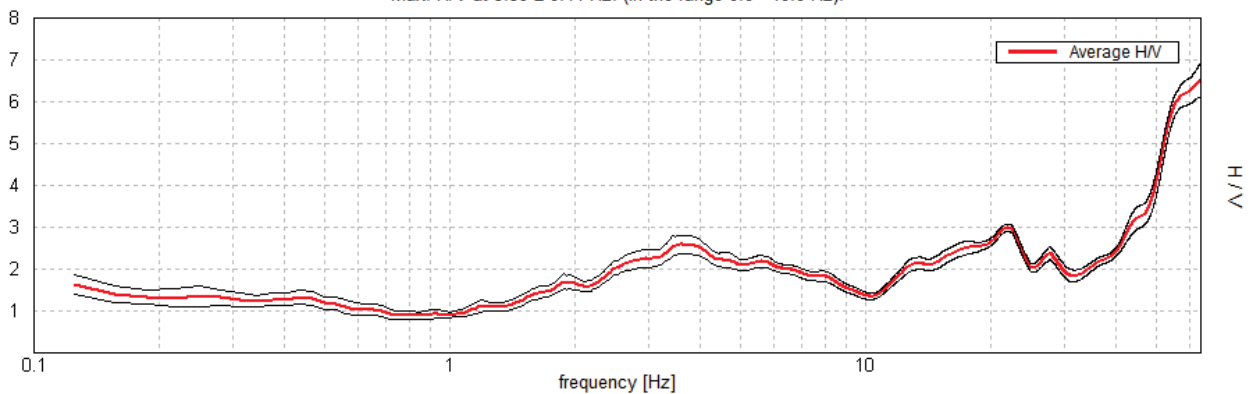
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analysis performed on the entire trace.

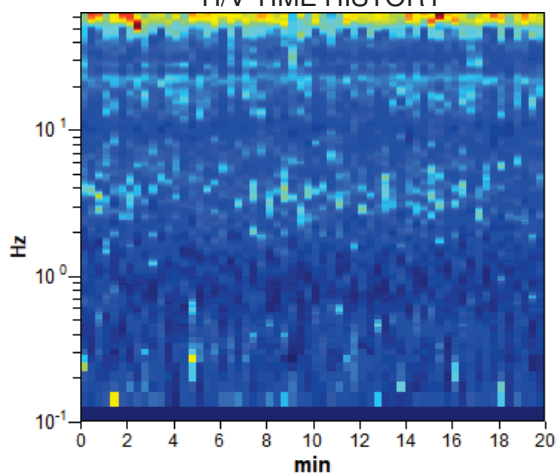
Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s Smoothing type: Triangular window Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

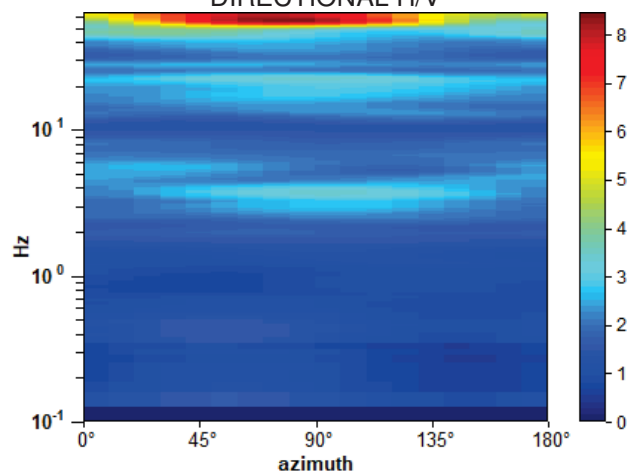
Max. H/V at 3.59 ± 0.44 Hz. (In the range 0.0 - 10.0 Hz).



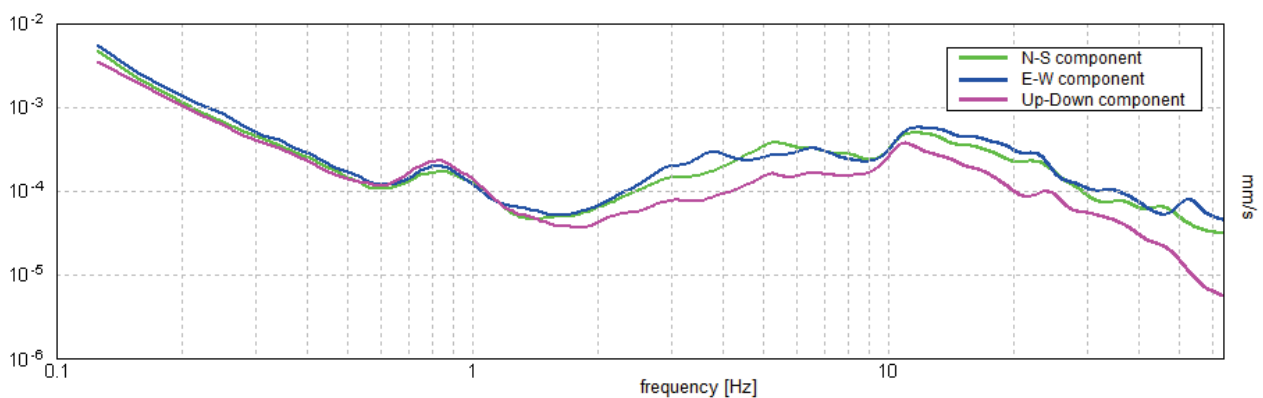
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

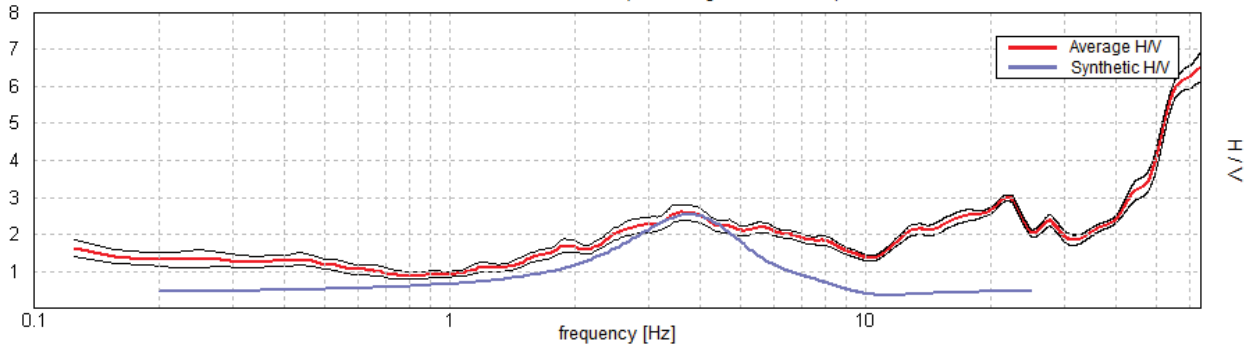


SINGLE COMPONENT SPECTRA



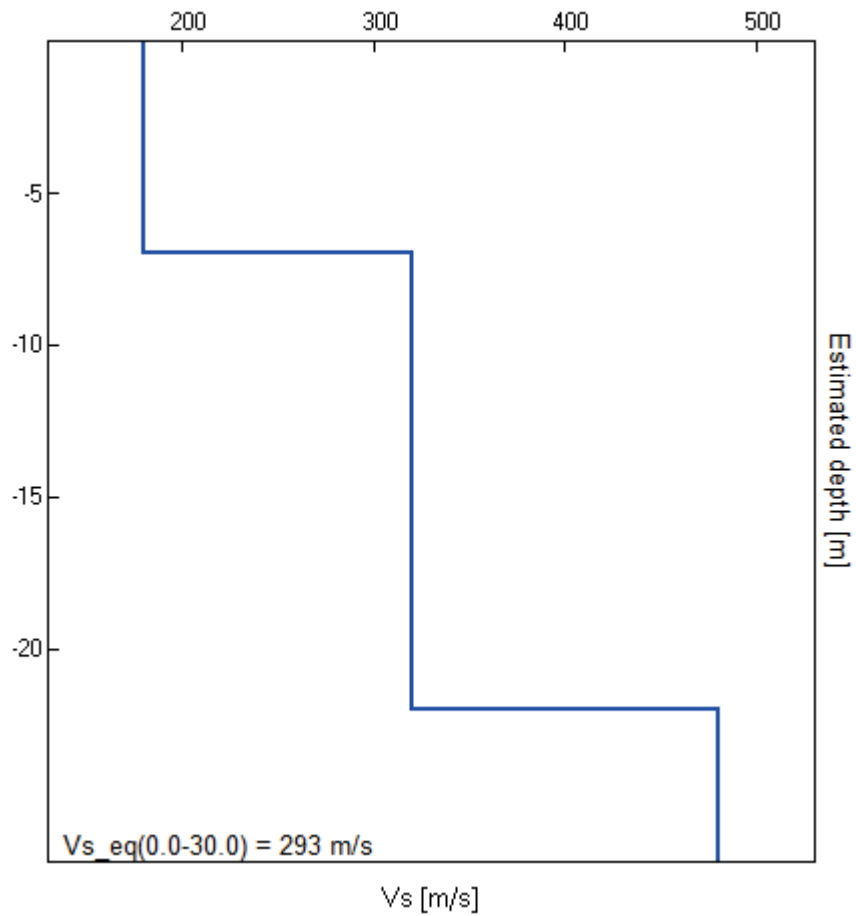
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 63.97 ± 8.23 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
7.00	7.00	180	0.42
22.00	15.00	320	0.40
inf.	inf.	480	0.40

$V_{s_eq}(0.0-30.0) = 293 \text{ m/s}$



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 3.59 ± 0.44 Hz (in the range 0.0 - 10.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	3.59 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4312.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 174 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.5 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.60 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.12335 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.44328 < 0.17969$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.211 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

GRADARA, BUS TERMINAL HVSR2

Instrument: TRZ-0147/01-11

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 09/08/2021 12:00:43 End recording: 09/08/2021 12:20:43

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

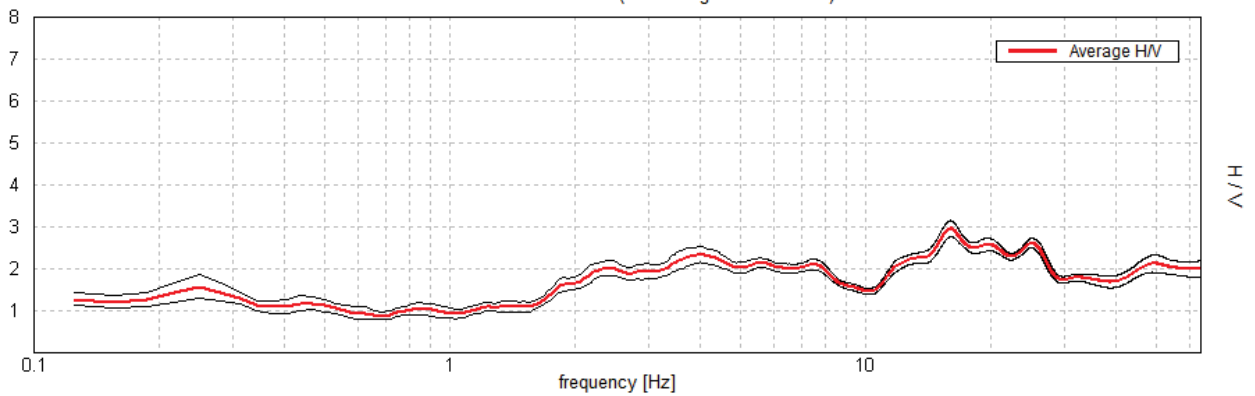
GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 97% trace (manual window selection) Sampling rate: 128 Hz

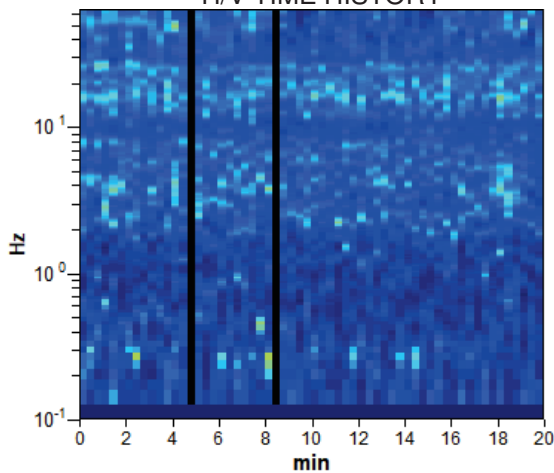
Window size: 20 s Smoothing type: Triangular window Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

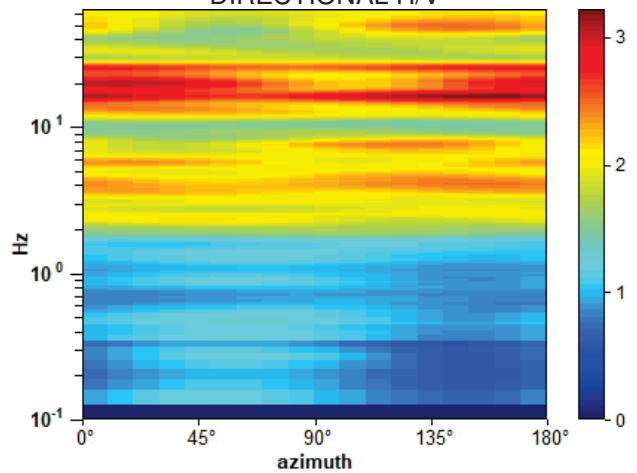
Max. H/V at 4.0 ± 0.53 Hz. (In the range 0.0 - 10.0 Hz).



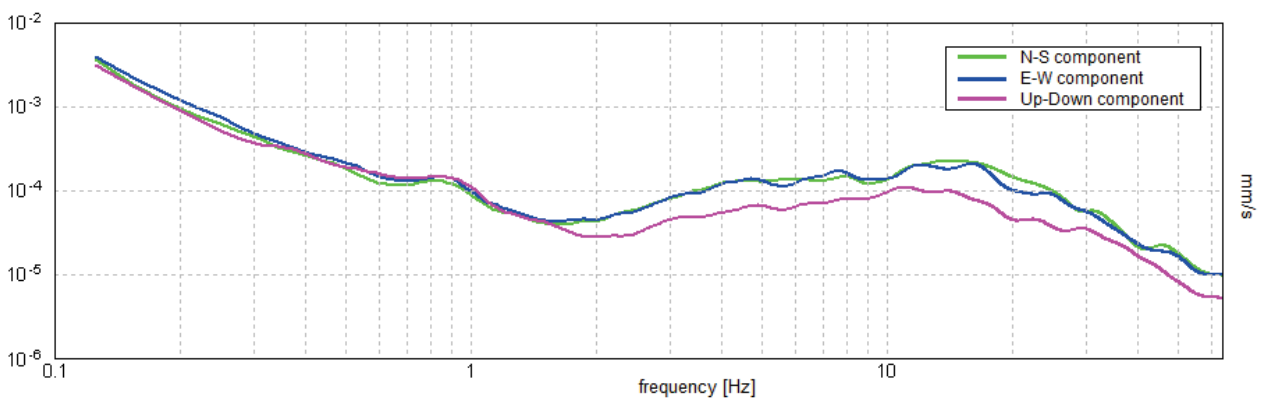
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

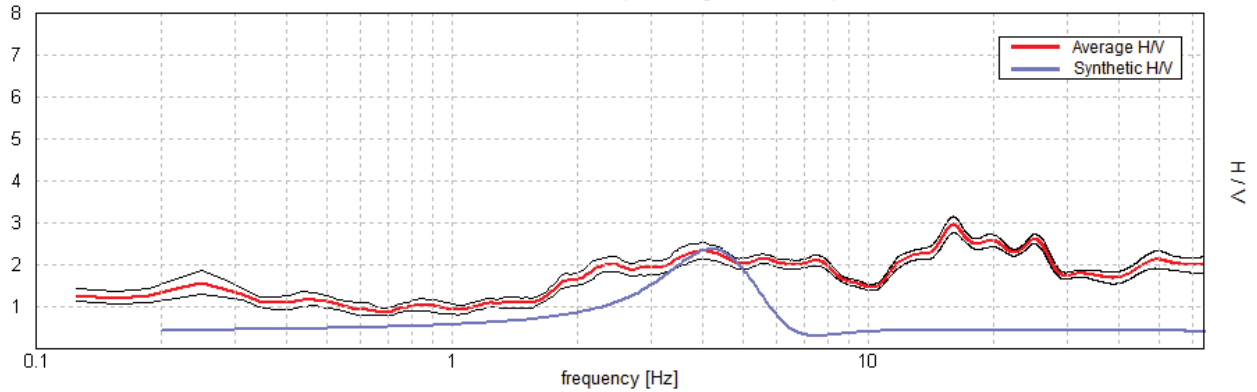


SINGLE COMPONENT SPECTRA



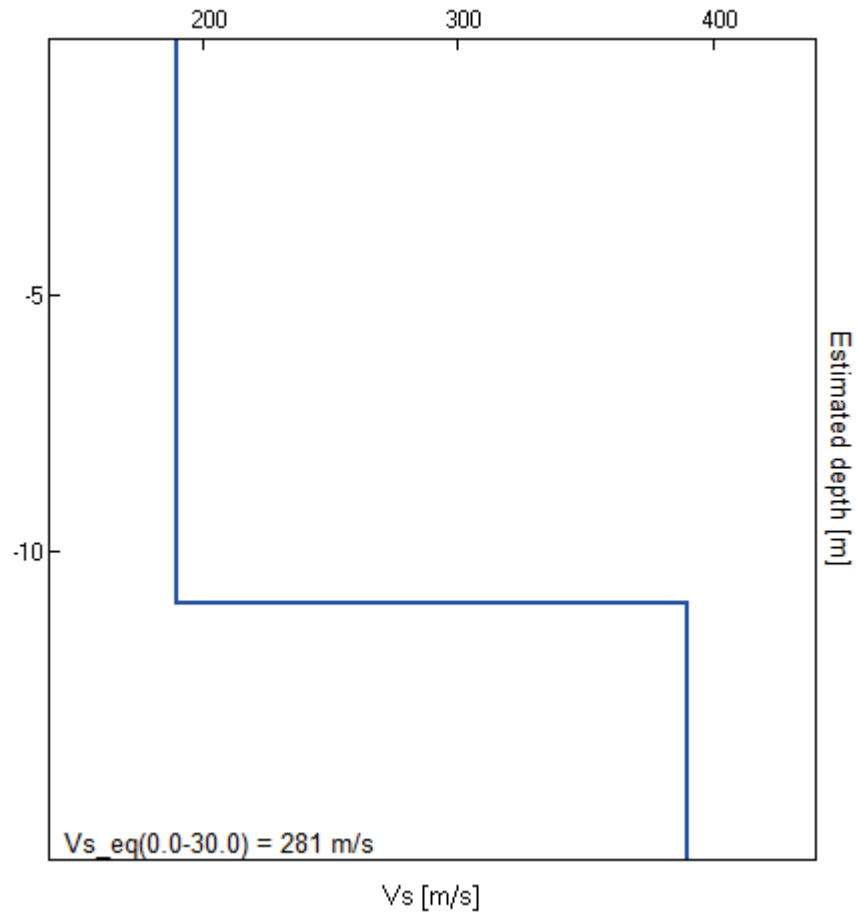
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 4.0 ± 0.53 Hz. (In the range 0.0 - 10.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
11.00	11.00	190	0.40
inf.	inf.	390	0.40

$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 281$ m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 4.0 ± 0.53 Hz (in the range 0.0 - 10.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	4.00 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4640.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 193 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.625 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.35 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.13196 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.52783 < 0.2		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1914 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

GRADARA, BUS TERMINAL HVSR3

Instrument: TRZ-0147/01-11

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 22/09/2021 11:54:37 End recording: 22/09/2021 12:06:37

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

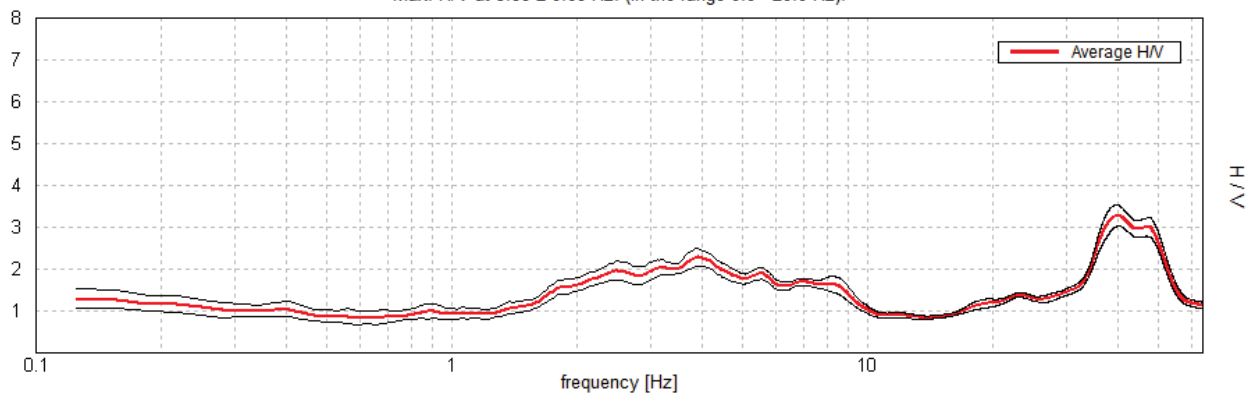
GPS data not available

Trace length: 0h12'00". Analysis performed on the entire trace.

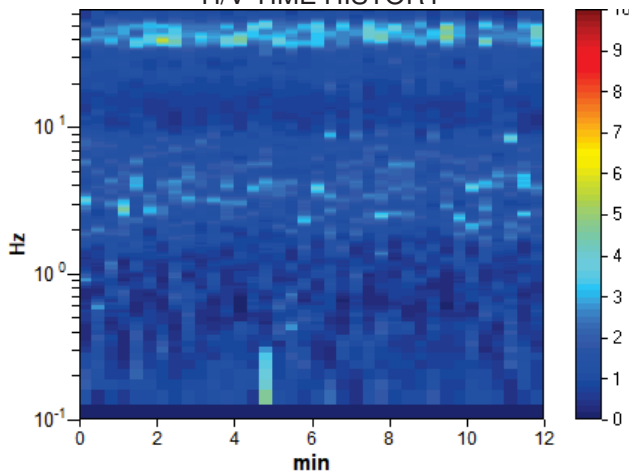
Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s Smoothing type: Triangular window Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

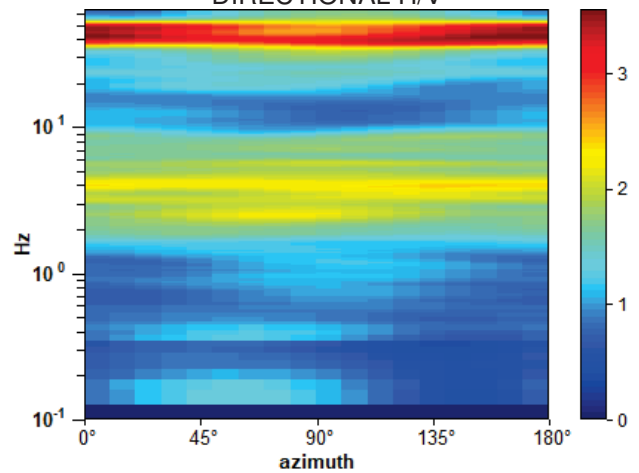
Max. H/V at 3.88 ± 0.68 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



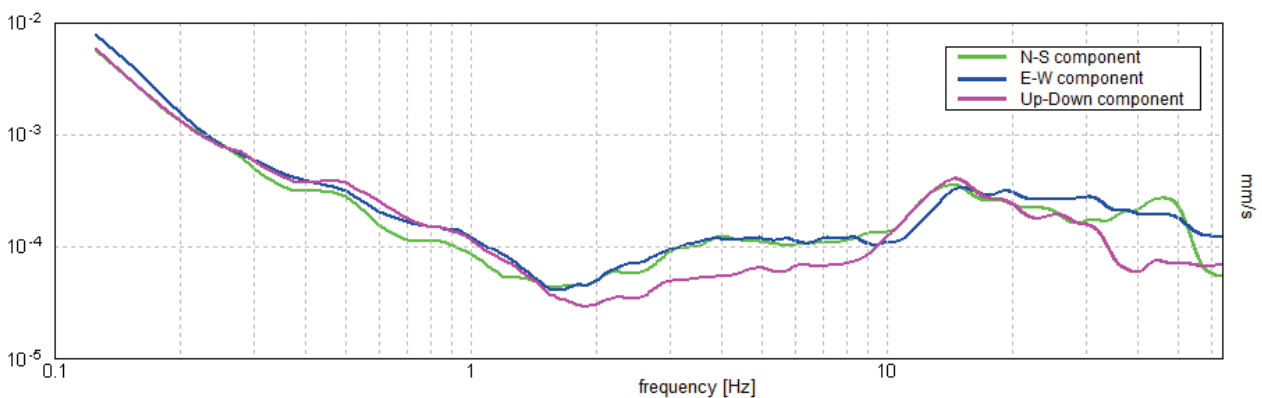
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

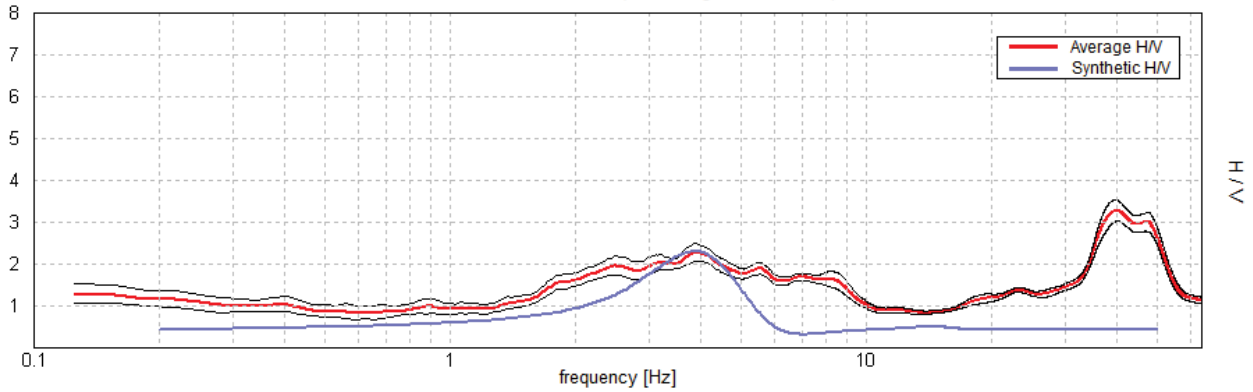


SINGLE COMPONENT SPECTRA



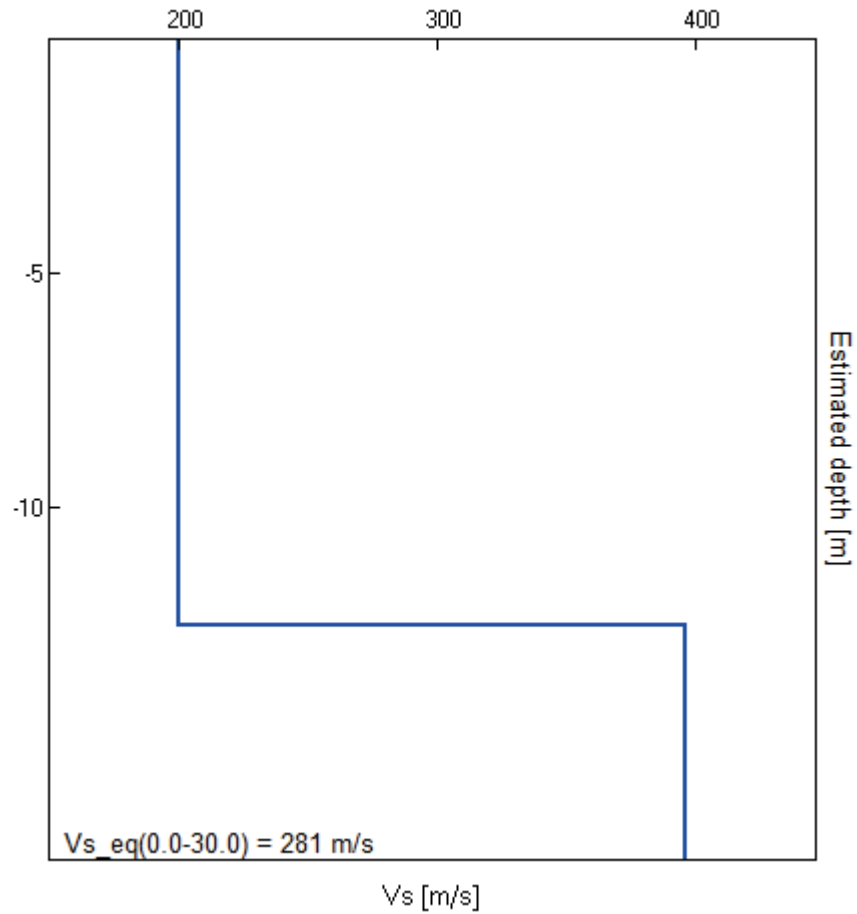
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 3.88 ± 0.68 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
12.50	12.50	200	0.42
inf.	inf.	396	0.40

$Vs_{eq}(0.0-30.0) = 281$ m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 3.88 ± 0.68 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	3.88 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	2790.0 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 187 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.5 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	9.594 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.29 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.17664 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.68449 < 0.19375		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2079 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

GRADARA, BUS TERMINAL HVSR4

Instrument: TRZ-0147/01-11

Data format: 16 bit

Full scale [mV]: 51

Start recording: 22/09/2021 12:11:24 End recording: 22/09/2021 12:23:24

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

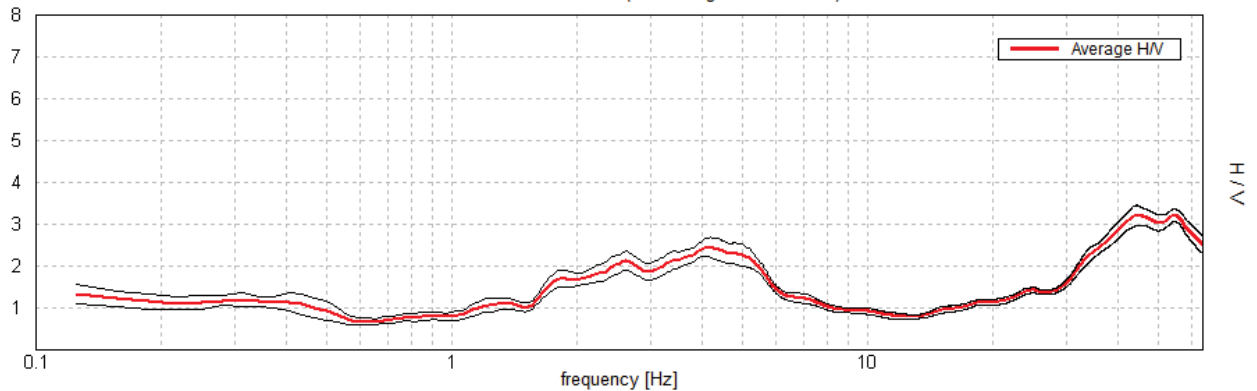
GPS data not available

Trace length: 0h12'00". Analyzed 94% trace (manual window selection)

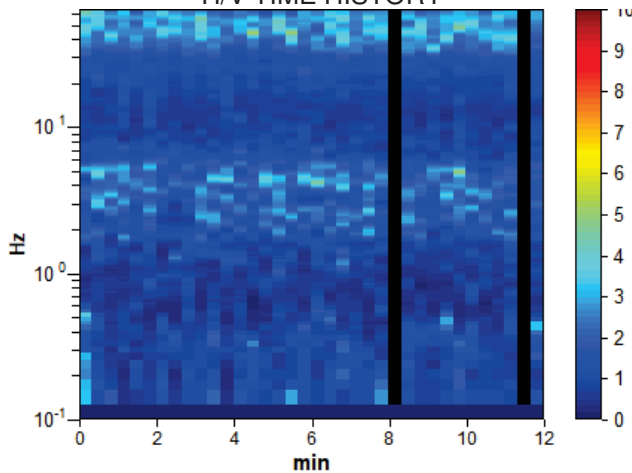
Sampling rate: 128 Hz Window size: 20 s Smoothing type: Triangular window Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

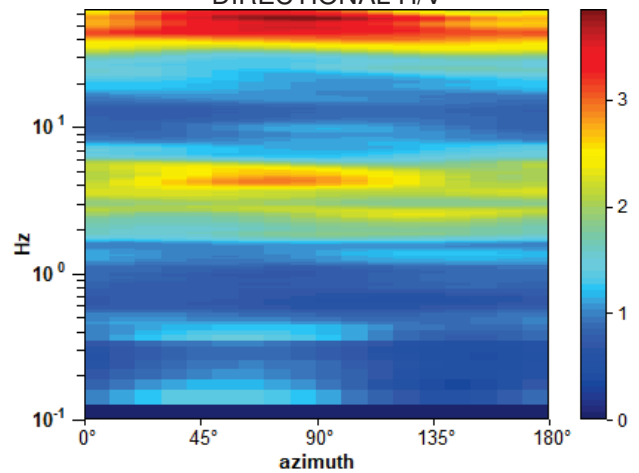
Max. H/V at 4.16 ± 0.84 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



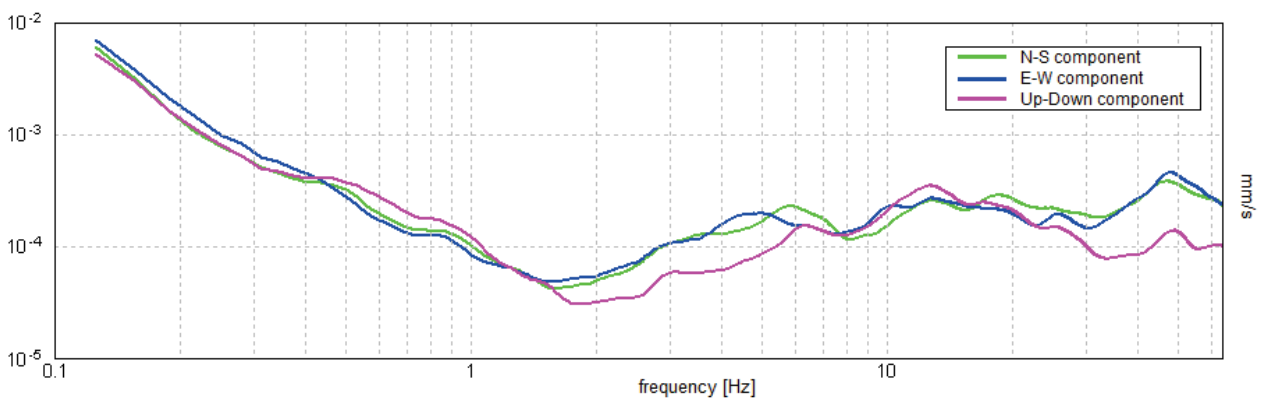
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

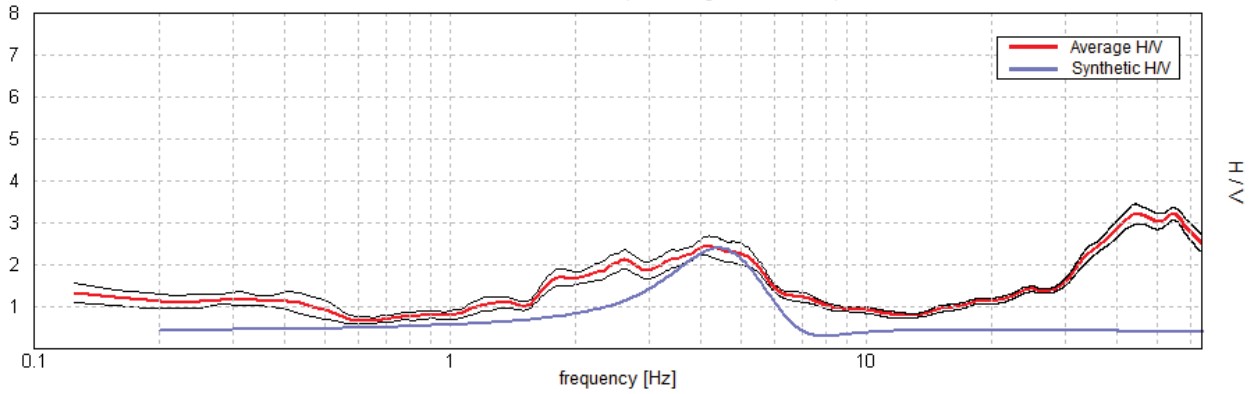


SINGLE COMPONENT SPECTRA



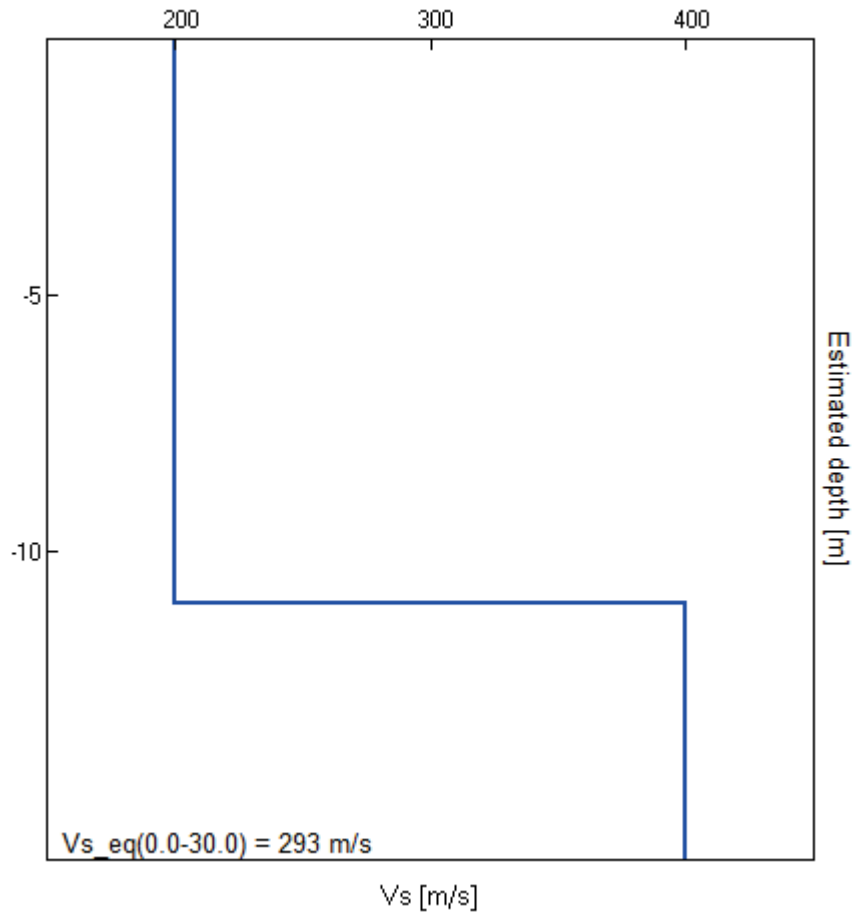
EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 4.16 ± 0.84 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
11.00	11.00	200	0.42
inf.	inf.	400	0.40

$V_{s_eq}(0.0-30.0) = 293$ m/s



[According to the SESAME, 2005 guidelines. **Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.**]

Max. H/V at 4.16 ± 0.84 Hz (in the range 0.0 - 20.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	4.16 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	2826.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 200 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.594 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	7.094 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.46 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.20253 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.84176 < 0.20781		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.2312 < 1.58	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20