

Unione Reno Galliera

Città Metropolitana di Bologna



Comune di Castel Maggiore

Via Matteotti 10, Castel Maggiore (BO)



PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

relativo al progetto PINQUA ID 264 – "L'Unione fa la città"

COMUNE DI CASTEL MAGGIORE

Nuove forme di residenzialità per utenti deboli. Un quartiere verde tra la Stazione e il Municipio
(Immobile sito in via Matteotti, n. 12 e aree esterne comprese tra la via
Amendola e via Turati a est del Municipio)

CUP G78I21000290001

Committente:

Unione Reno Galliera

Via Fariselli 4 - 40016 San Giorgio di Piano (BO)

Responsabile del Procedimento

Ing. ANTONIO PERITORE

Responsabile Servizio Urbanistica - Unione Reno Galliera

Gruppo di lavoro

Progettazione architettonica e urbana

arch.Laura Mazzei

via Polonia, 44 - 44123, Ferrara (FE)

mail. arch.lauramazzei@gmail.com

P.IVA 01864960388

arch.Carlo Santacroce

via Ferrarese, 24/2 - 40128, Bologna (BO)

mail. arch.carlo.santacroce@gmail.com

P.IVA 02623971203

arch.Maria Vittoria Mastella

Corso Piave, 12 - 44121, Ferrara (FE)

mail. mariavittoria.mastella@gmail.com

P.IVA 01860500386

Progettazione strutturale

EN7 srl Servizi di Ingegneria e Architettura

Via Bagni di Mario, 13- 40136, Bologna (BO)

mail. info@en7.it

P.IVA03195951201

Progettazione impiantistica

Professionisti srl

Via S.S. Trinità, 12 - 25032 CHIARI (BS)

mail. info@professionistisrl.eu

P.IVA/C.F. 03976850986

OGGETTO:

Relazione geologica e sismica di inquadramento

N. TAV.

03 0 G

DATA: 2 dicembre 2022

REDATTO: SS

SCALA:

APPROVATO:

REVISIONE:

VERIFICATO: LM





Comune:

COMUNE DI CASTEL MAGGIORE (BO)

Oggetto:

***PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA
relativo al progetto PINQUA ID 264 – "L'Unione fa la città"***

***Nuove forme di residenzialità per utenti deboli. Un
quartiere verde tra la Stazione e il Municipio
(Immobile sito in via Matteotti, n. 12 e aree esterne com-
prese tra la via Amendola e via Turati a est del Municipio)***

Relazione geologica e sismica di inquadramento

Stesura:

novembre 2022

Elaborazione:

Dr geol. Samuel Sangiorgi



Indice generale

1	PREMESSA.....	2
2	METODO DI LAVORO.....	4
2.1	Contenuti della relazione e metodi analitici perseguiti.....	4
2.2	Dati territoriali di riferimento.....	4
2.3	Indagini geognostiche/geofisiche disponibili e di riferimento.....	4
3	CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA.....	7
3.1	Geomorfologia e geologia.....	7
3.2	Analisi idrogeologica e idraulica.....	8
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	11
4.1	Pericolosità sismica di base.....	11
4.2	Microzonazione sismica comunale.....	13
4.3	“Categoria di sottosuolo” e ulteriori elementi di risposta sismica locale.....	15
4.4	Parametri per il calcolo dell'azione sismica (metodo semplificato).....	16
4.5	Verifiche della liquefacibilità e dei cedimenti post sisma.....	17
4.5.1	Aspetti generali e metodologici.....	17
4.5.2	Analisi del rischio locale.....	18
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE DEL SOTTOSUOLO.....	20
6	CONCLUSIONI SULLA FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI.....	23

ALLEGATI: report delle indagini

1 PREMESSA

Lo Studio scrivente è stato incaricato di effettuare uno studio geologico e sismico preliminare a supporto delle valutazioni di fattibilità tecnico-economica del progetto di riqualificazione del comparto ERP sito in via Matteotti n.12 del Comune di Castel Maggiore (figura 1.1). L'intervento prevede una complessiva riqualificazione dell'immobile già esistente con reinserimento al suo interno di circa 12 alloggi ERP, attraverso una rifunzionalizzazione del piano terreno (es. sistemazione di una pedana di collegamento per consentire l'accessibilità per disabili), la realizzazioni di spazi comuni (es. lavanderia, cucina, saletta comune) e spazi pubblici (es. ambulatorio, sala polivalente). Sono inoltre previsti altri interventi nel comparto e in particolare la realizzazione di una seconda piazzetta, la riqualificazione degli spazi verdi (con la realizzazione di un parco attrezzato al posto dell'attuale viabilità). Le figure 1.2 e 1.3 rappresentano rispettivamente una planimetria del comparto riqualificato e un prospetto dell'edificio ERP.

*Figura 1.1 –
Localizzazione del
comparto ERP da
riqualificare (foto
aerea: "Google
Earth"). L'edificio
ERP da recuperare
è delimitato dal
tratteggio rosso*



Viste le caratteristiche degli interventi e in particolare della riqualificazione dell'edificio ERP (che non prevede modifiche particolari varianti delle caratteristiche strutturali), non sono state eseguite specifiche prove geognostiche/geofisiche ma si è tenuto conto delle indagini già disponibili (es. archivio prove dello studio MS comunale; archivio indagini RER; indagini già realizzate nel comparto).

Si è pertanto redatta la presente Relazione geologica e sismica di inquadramento a supporto della progettazione di fattibilità degli interventi, in coerenza con le Norme Tecniche per le Costruzioni vigenti (DM 17/01/2018) e in coerenza con il DM 11/03/1988. Il presente lavoro dunque fornisce:

- l'inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico e idraulico dell'area di studio;
- la pericolosità sismica locale e la stima dei relativi parametri che definiscono l'«azione sismica» per gli stati limite SLV, SLD e SLO per gli interventi di progetto;
- la caratterizzazione geotecnica preliminare dei sedimenti di interesse per l'intervento edificatorio in questione;
- un'ultima discussione di sintesi sulla fattibilità degli interventi previsti nell'area di studio.

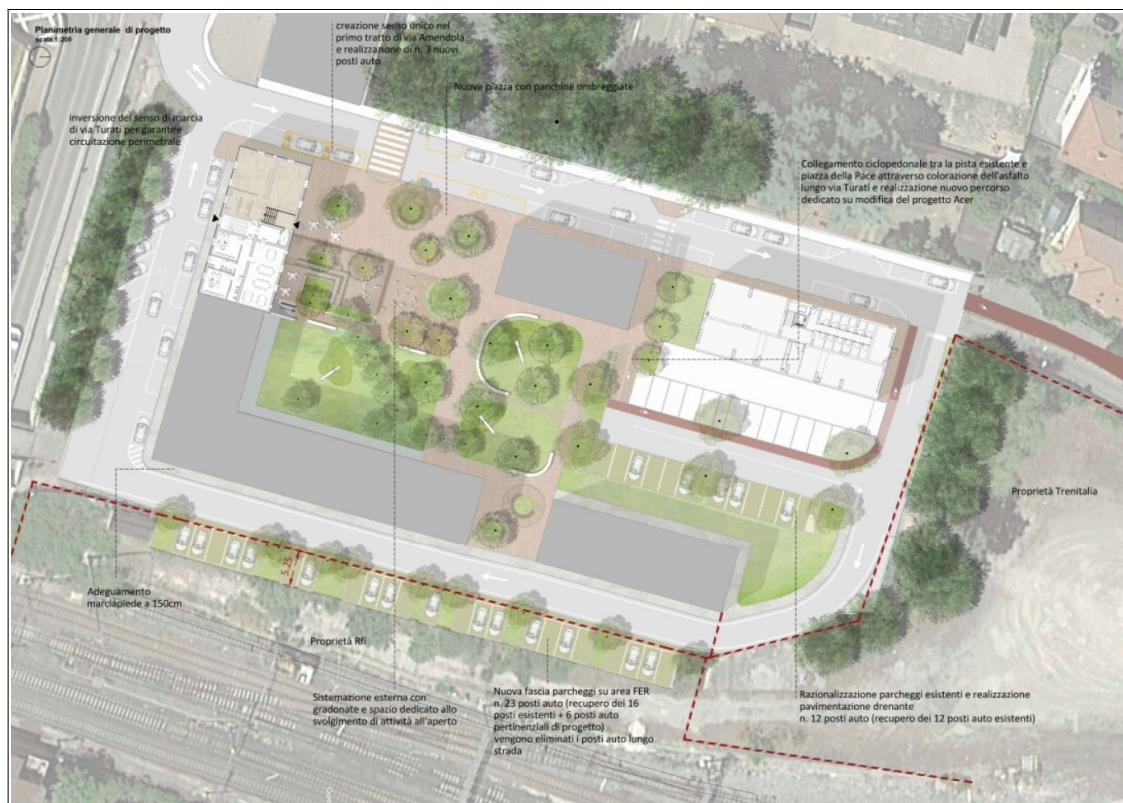


Figura 1.2 – Planimetria del progetto di riqualificazione del comparto



Figura 1.3 – Stralcio di sezione dell'edificio ERP da riqualificare

2 METODO DI LAVORO

2.1 Contenuti della relazione e metodi analitici perseguiti

La presente Relazione descrive gli esiti delle seguenti analisi:

1. l'analisi dei dati bibliografici di riferimento e delle indagini geognostiche/geofisiche di repertorio già disponibili;
2. la caratterizzazione geologica e in particolare un inquadramento degli aspetti più generali di geologia, geomorfologia e idrogeologia locale;
3. la caratterizzazione geotecnica preliminare dei sedimenti di interesse basata sui dati ricavabili dalle indagini geognostiche già disponibili e in particolare da prove penetrometriche meccaniche ed elettriche;
4. l'analisi della pericolosità sismica locale ai sensi delle vigenti NTC, basata sulla sismicità storica dell'area (pericolosità sismica di base) e sugli eventuali effetti locali in caso di sisma.

2.2 Dati territoriali di riferimento

- Per il contesto geologico e geolitologico → il riferimento bibliografico è la cartografia geologica della Regione Emilia-Romagna (pubblicata nel sito internet del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli – SGSS – della nostra Regione);
- Per il contesto idrogeologico → ci si è riferiti alla Carta Idrogeologica elaborata alla scala 1:25.000 (tav.AC.1.2a) per il Quadro Conoscitivo del PSC dei Comuni dell'Unione “Reno-Galliera” e ai dati piezometrici ricavati direttamente dalle prove eseguite nell'area di progetto;
- Per la pericolosità idraulica → ci si è riferiti al Piano di Gestione rischio Alluvioni realizzato dalle UoM del Distretto idrografico Appennino Settentrionale (in recepimento alla “direttiva alluvioni 2007/60/CE”) e alla <<Variante ai Piani Stralcio del bacino idrografico del Fiume Reno finalizzata al coordinamento tra tali Piani e il Piano Gestione Rischio Alluvioni (PGRA)>>;
- Per il contesto di pericolosità sismica locale → il riferimento bibliografico è rappresentato dagli studi, dalle banche dati e dalle mappe di pericolosità sismica elaborate da INGV. Ci si è inoltre riferiti allo studio di microzonazione sismica elaborato per il PSC di Castel Maggiore (aggiornamento 2013) e al successivo aggiornamento validato nell'ottobre 2018 dalla CTMS (OCDPC 171/2014; DGR 1227/2015).

2.3 Indagini geognostiche/geofisiche disponibili e di riferimento

Nel comparto ERP sono state già realizzate indagini geognostiche e geofisiche¹ e in particolare **n. 2 penetrometrie statiche elettriche con piezocono** (denominate **CPTU1 e CPTU2**) spinte fino a -30 metri dal p.c., **n.1 sondaggio a carotaggio continuo** spinto fino alla profondità di -20 metri

¹ “Intervento di demolizione e ricostruzione di un edificio ERP di proprietà comunale sito in via Amendola nn.7 e 9 – Progetto Esecutivo – Relazione Geologica” (GeoProget, dicembre 2013).

dal p.c. (con la messa in opera di un **piezometro tipo “Norton”** fino a -15 metri e il prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati), **prove di laboratorio** (analisi granulometriche; limiti di Atterberg; prove di taglio), **n.1 stendimento sismico attivo MASW**, **n. 1 registrazione sismica HVSR**. Le suddette indagini sono localizzate nella figura 2.1, mentre in calce alla Relazione si allegano i report di prova.

Sono inoltre disponibili le indagini geognostiche/geofisiche contenute nell’archivio predisposto per gli studi di MS comunale (2013 e aggiornamento 2018) e in particolare: **penetrometrie statiche meccaniche CPT** (rinominate nell’archivio “P44CPT66”, P47CPT69” e “P47CPT70”), un **sondaggio a distruzione** (“P46DS68”), un ulteriore **stendimento sismico MASW** (“L5MASW5”) e due ulteriori **registrazioni sismiche HVSR** (“P13HVSR175” e “P136HVSR176”). Queste ulteriori prove vengono localizzate nella figura 2.2, mentre in calce alla Relazione si allegano i report di prova.

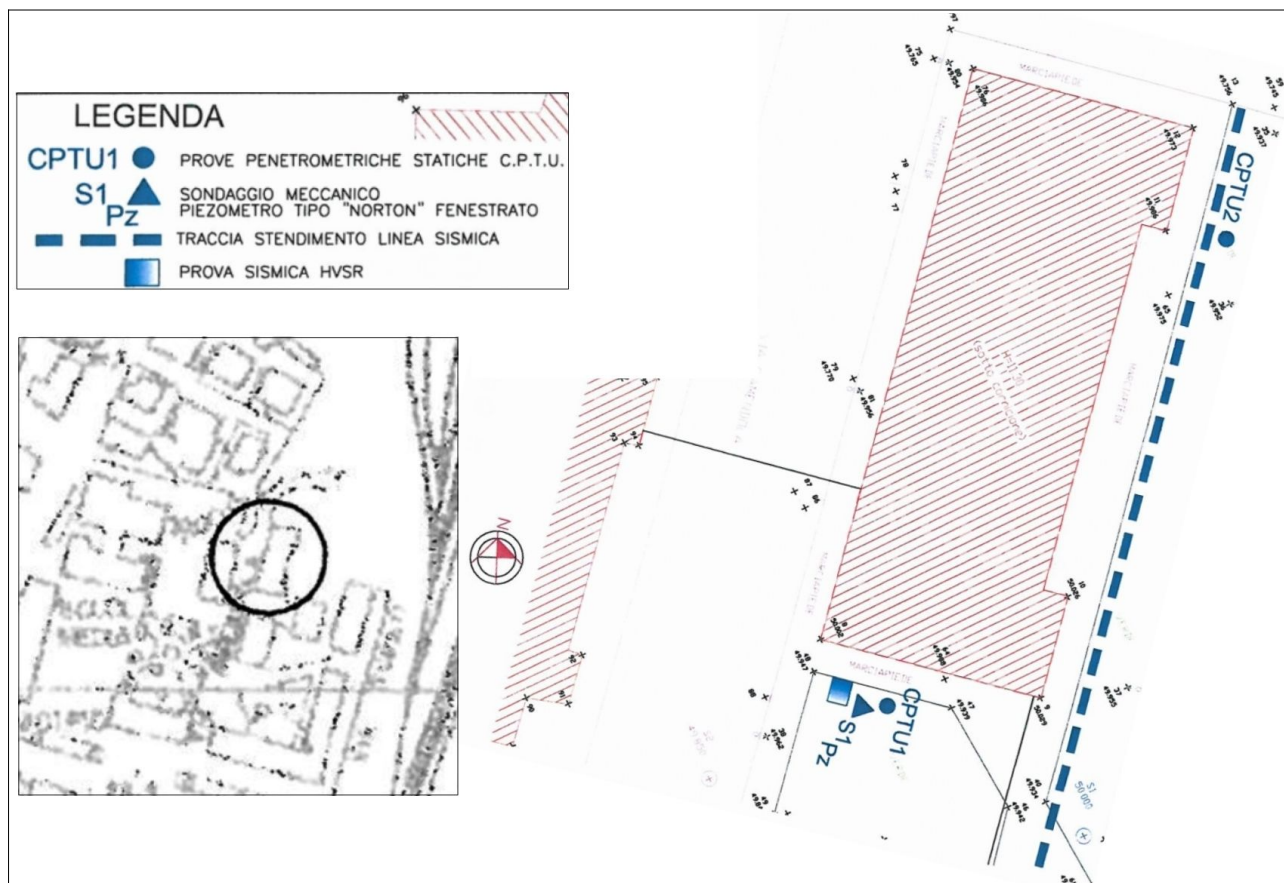


Figura 2.1 – Localizzazione delle indagini realizzate nel 2013 (immagine rielaborata tratta dalla Relazione “Intervento di demolizione e ricostruzione di un edificio ERP di proprietà comunale sito in via Amendola nn.7 e 9 – Progetto Esecutivo – Relazione Geologica” - GeoProget, dicembre 2013)

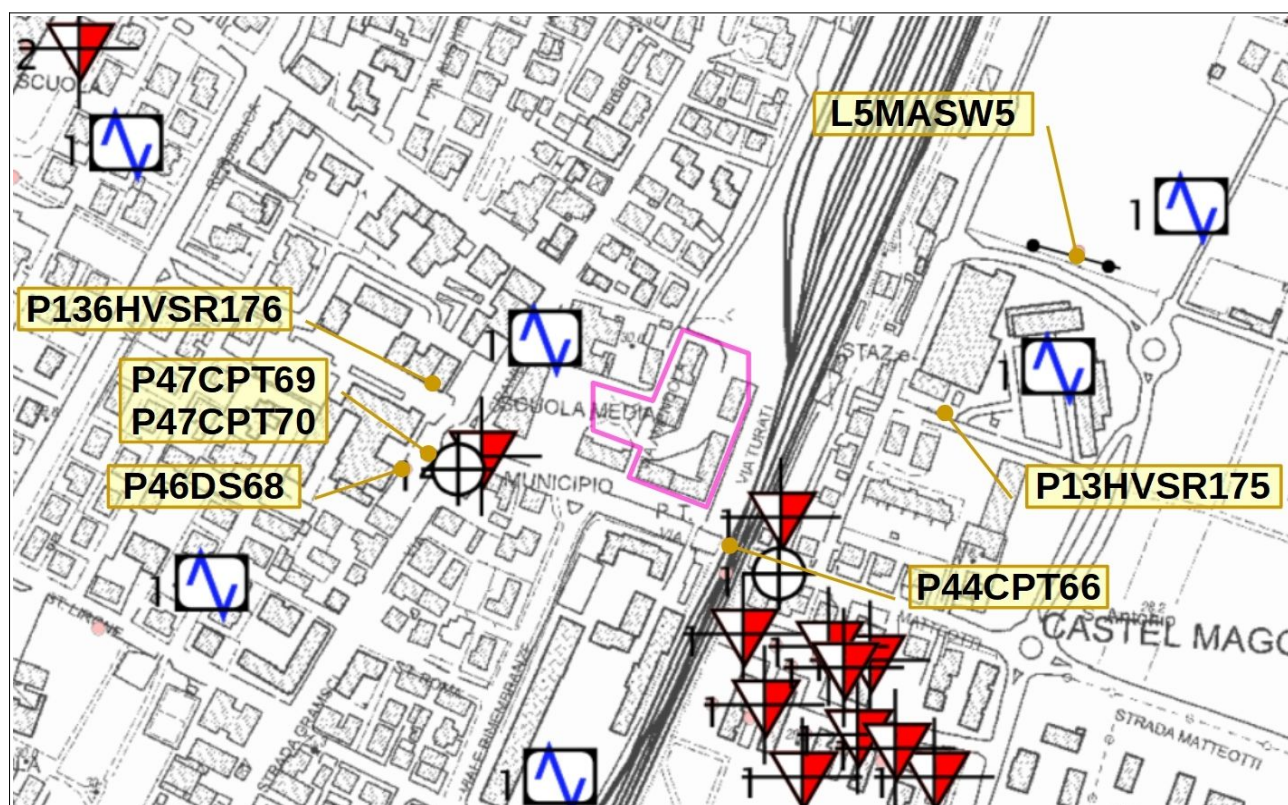


Figura 2.2 – Stralcio della <<Carta delle Indagini>> prodotta per lo studio di MS comunale (aggiornamento 2018). Sono evidenziate le prove di maggior riferimento per la modellazione sismostratigrafica del sottosuolo. L'area di studio è localizzata nel perimetro fucsia

3 CARATTERIZZAZIONE GEOLOGICA

3.1 Geomorfologia e geologia

La figura 3.1 riporta uno stralcio della cartografia geologica RER pubblicata dal SGSS regionale. L'area di progetto si colloca nel contesto più generale di pianura alluvionale e più in particolare in ambito deposizionale di “depositi di argine, canale e rotta fluviale” attribuibili al corso d'acqua Reno (IV – VI secolo d.c.). Morfologicamente, l'area ricade sul dosso formato dall'attività trattiva del Reno, sviluppato in verso N-NE e sul quale si insediano numerosi centri urbani e produttivi della pianura bolognese (Castel Maggiore; Funo; San Giorgio di Piano; ecc.). Il dosso è caratterizzato da quote topografiche più elevate rispetto alla pianura circostante (circa 2,5÷3,0 metri). La quota topografica media dell'area di studio è pari a circa 29,5÷30,0 metri slm.

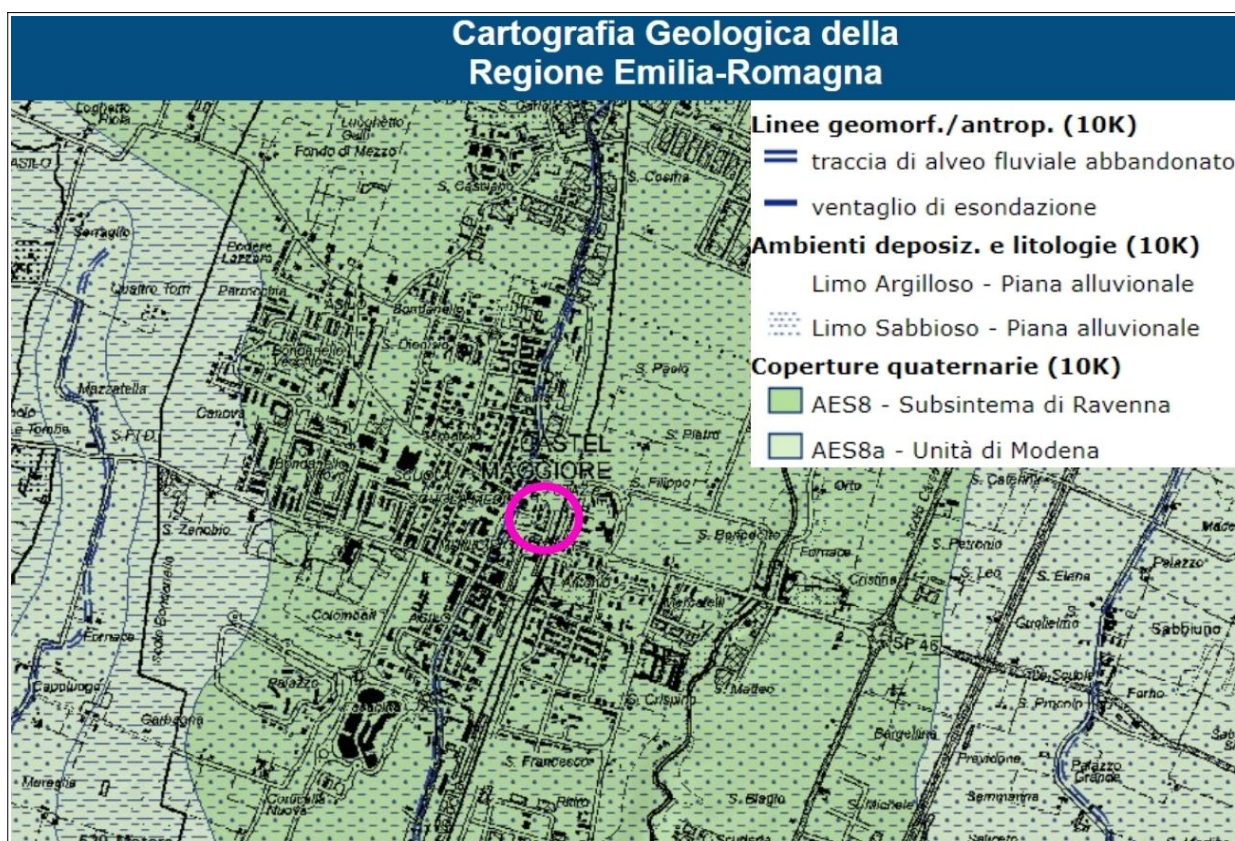


Figura 3.1 – Stralcio della cartografia geologica interattiva pubblicata nel sito internet del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna (SGSS)

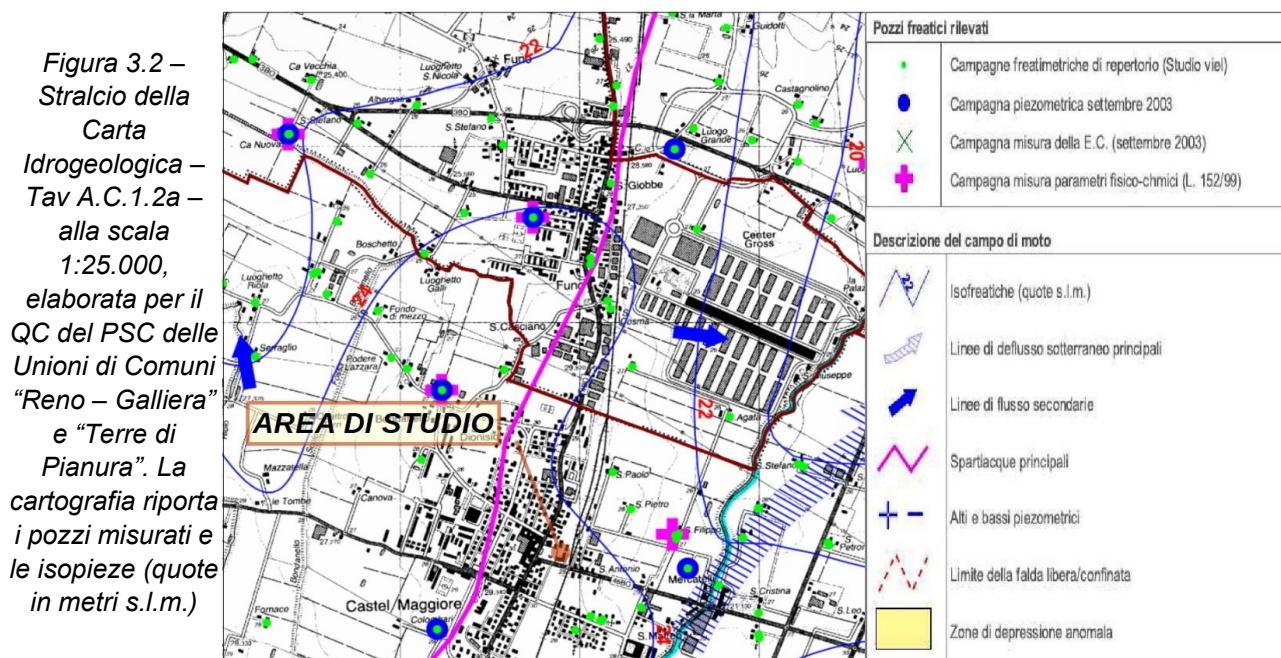
La cartografia geologica RER distingue le Unità continentali alluvionali secondo la convenzionale classificazione stratigrafica sequenziale (cicli deposizionali), comprese nel principale “Supersintema Emiliano-Romagnolo” (R.E.R., ENI-AGIP, 1998). I depositi alluvionali affioranti vengono attribuiti al “Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore” (AES) e sono suddivisi in sequenze deposizionali di diverso ordine gerarchico (subsintemi identificati con sigle da AES5 – più antichi - ad AES8 – più recenti) generalmente delimitati, in pianura, da blande scarpate di erosione.

Ciò detto, i sedimenti affioranti nell'area di progetto vengono compresi nel “Subsistema di Ravenna” (identificati con sigla AES8). Si tratta di depositi alluvionali recenti (Olocene), che possono comprendere sedimenti con tessiture variabili da sabbie più o meno limoso argillose a limi e argille.

Le indagini geognostiche disponibili evidenziano come l'area di studio sia caratterizzata da una stratigrafia non omogenea. Vengono comunque attraversati, più in superficie, sedimenti prevalentemente fini (limi e argille) poi spessori anche significativi di sabbie più o meno limose mediamente addensate e attribuibili a depositi di argine/canale del fiume Reno. Le prove CPTU1, CPTU2, P47CPT69 e P47CPT70 intercettano questi primi depositi granulari a partire da circa -6,7÷-7,4 metri dal p.c. fino a circa -10,0÷-10,4 metri. Nelle più distanti prove P47CPT69 e P47CPT70 queste sabbie limose risultano continue fino a -18,6÷-19,6 metri. Si tratta di argini/canali di natura meandriforme e barre sabbiose del Reno, con cicli deposizionali spesso fusi tra loro. Nella prova P44CPT66, realizzata a SE del comparto, vengono invece attraversati sedimenti prevalentemente fini con intercalazioni limoso sabbiose di minore significato fino a -13 metri (termine della prova).

3.2 Analisi idrogeologica e idraulica

Dal punto di vista idrogeologico, la tavola A.C.1.2a “Carta Idrogeologica” elaborata alla scala 1:25.000 per il PSC dei Comuni delle Unioni “Reno–Galliera” e “Terre di Pianura”, riporta la geometria della tavola d'acqua meno profonda (figura 3.2).



La citata cartografia ricostruisce il campo di moto dell'insieme delle prime falde (meno profonde) sulla base di misure delle quote d'acqua effettuate nei pozzi freatici a largo diametro distribuiti del

territorio comunale (rilievi del 2006). Si evince che il deflusso sotterraneo della prima falda è diretto verso N-NE, con un livello statico di circa 24,5 metri slm. Nell'area di studio, la prima falda risulterebbe dunque caratterizzata da una soggiacenza media locale di circa 5,0÷5,5 metri.

Le due prove CPTU eseguite nel comparto (GeoProget, 2013) hanno evidenziato quote d'acqua a circa -4,0÷4,2 metri. Si tratta di minori soggiacenze locali rispetto ai rilievi del 2006, tuttavia ancora significative in relazione al contesto locale e, presumibilmente, strettamente connesse alle differenti condizioni di ricarica stagionale.

La falda meno profonda ha dunque caratteristiche idrogeologiche mediocri in termini di conducibilità e trasmissività, per l'assenza di acquiferi sabbiosi superficiali che risulterebbero presenti nei settori di territorio adiacenti ma situati più a ovest rispetto al comparto.

I contesti stratigrafico e idrogeologico consentono di fornire indicazioni preliminari sulle opere di laminazione delle acque di pioggia da prevedere nella progettazione. Dal raffronto tra stato di fatto e stato di progetto (figura 3.3) delle superfici permeabili e impermeabili si può tuttavia evidenziare un bilancio positivo e pertanto l'invarianza idraulica del comparto risulta soddisfatta.

Calcolo delle superfici permeabili e impermeabili di progetto

	Stato di fatto		Stato di progetto	
	Superfici permeabili	Superfici impermeabili	Superfici permeabili	Superfici impermeabili
	mq	mq	mq	mq
Aree verdi	959		1040	
Percorsi-piazza-viabilità		3860	145	3634
Edificio		234		234
Totali	959	4094	1185	3868
		5053		5053

Delta aree permeabili	226	mq
Delta aree impermeabili	-226	mq

Superfici permeabili e impermeabili
 STATO DI FATTO
 scala 1:500



Superfici permeabili e impermeabili
 STATO DI PROGETTO
 scala 1:500

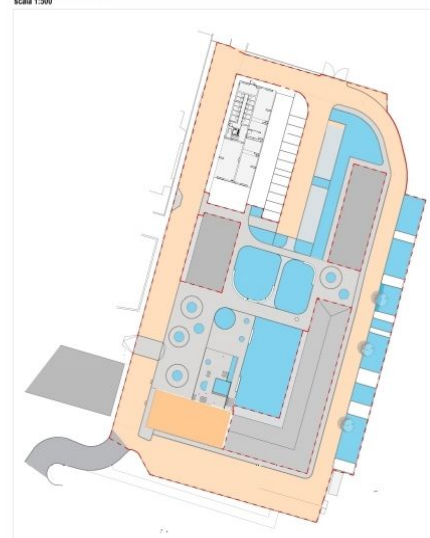


Figura 3.3 – Calcolo e confronto
 delle superfici permeabili e
 impermeabili dello stato di fatto
 e di progetto

- superfici impermeabili - viabilità
- superfici impermeabili - edificato
- superfici impermeabili - percorsi
- superfici permeabili - verde

- superfici impermeabili - viabilità
- superfici impermeabili - edificato
- superfici impermeabili - percorsi
- superfici permeabili - verde
- superfici permeabili - pavimentazioni

Dal punto di vista della pericolosità idraulica, l'area studiata risulta distante circa 850 metri dall'alveo del Canale Navile (a est), pertanto lontana da corsi d'acqua naturali o antropici di particolare significato. In questo senso, non sussistono particolari criticità idrauliche.

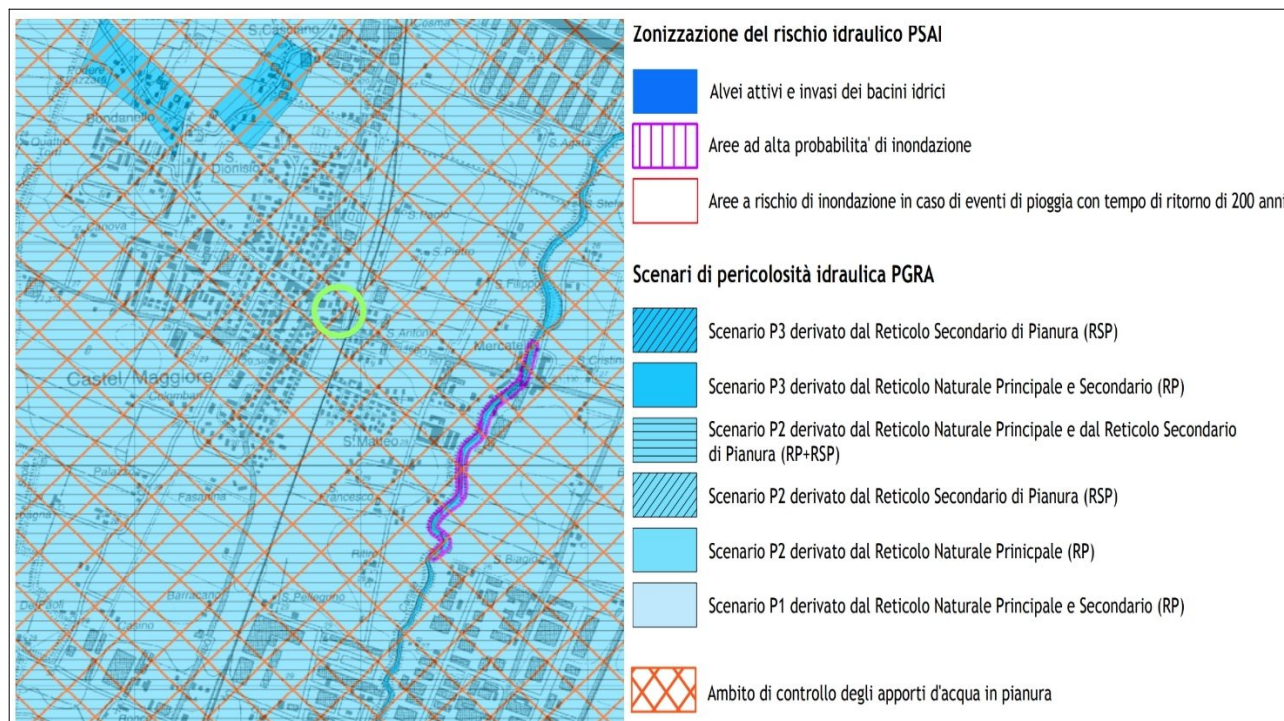


Figura 3.4 – Aree allagabili desunte dai dati del PGRA. La figura riporta uno stralcio della tav.3 “Carta di area vasta del rischio idraulico, rischio da frana e dell’assetto dei versanti” (foglio 3, scala 1:25.000) del PTM di Bologna. L’area di studio è localizzata nel cerchiato verde

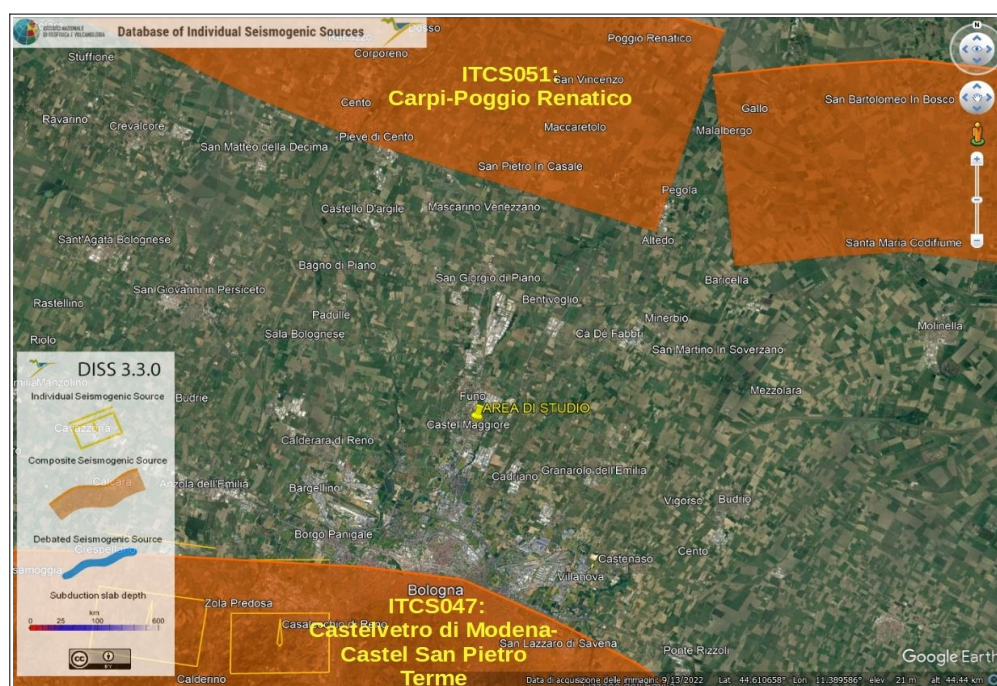
Ciò è confermato anche dalla cartografia prodotta per il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (Dir. Europea 2007/60/CE), che include cautelativamente il comparto nello scenario “P2” (alluvioni poco frequenti: TR 100-200 anni) sia per il reticolo naturale (principale e secondario), sia per il reticolo secondario artificiale (figura 3.4). Per quanto riguarda la possibilità di allagamenti, l’area di studio appare infatti maggiormente “difesa” dall’alto morfologico sul quale si colloca.

4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

4.1 Pericolosità sismica di base

L'ultima zonazione sismogenica del territorio nazionale è nota con la semplice sigla “ZS9” (2004), prodotta dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). Questa zonazione rappresenta il più recente riferimento per gli studi di pericolosità sismica del territorio italiano, elaborata riferendosi anche ai più recenti background informativi sui terremoti e in particolare alle ultime banche dati relative alle sorgenti sismogeniche italiane DISS² e il catalogo CPTI³.

*Figura 4.1 -
 Distribuzione
 delle sorgenti
 sismogenetiche
 contenute in
 DISS 3.3.0 (foto
 aerea: Google
 Earth)*



L'area di studio ricade nella macrozona sismogenica 912 (ZS9), con magnitudo massima attribuita $M = 6,14$; la sismicità è correlabile alla tettonica attiva del fronte compressivo del margine appenninico sepolto nella pianura padana. La banca dati DISS indica come l'area studiata ricada esternamente a sorgenti sismogeniche note (figura 4.1), in particolare è situata a circa eguale distanza (circa 10 km) dalle sorgenti sismogeniche complesse rispettivamente denominate:

- ITCS051 “Carpi-Poggio Renatico” (a nord) → questa potenziale sorgente include eventi sismici storicamente documentati con magnitudo M_w fino a 6,1. La ITCS051, in particolare include la faglia “Mirandola” effettivamente attiva (terremoti emiliani 2012) ma con tempi di ritorno (per eventi significativi) non chiaramente valutabili. L'area di studio può inoltre subire risentimenti da sismi localizzati nella vicina sorgente sismogenica composta ITCS012 “Malalbergo-Ravenna” (a est della ITCS051);

² <<Database of Potential Sources for Earthquake Larger than $M_{5.5}$ in Italy>> (Valensise e Pantosti, 2001)

³ <<Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani”, Gruppo di lavoro CPTI, 1999-2002>>

- ITCS047 “Castelvetro di Modena–Castel San Pietro Terme” (a sud) e anch’essa comprendente terremoti storicamente noti con magnitudo Mw attribuite $\leq 6,0$ (1399, “Modenese”; 1455-1505-1929, “Bolognese”), con potenziale sismicit  legata alla tettonica attiva del fronte compressivo del margine appenninico affiorante Emiliano-Romagnolo.

Dai cataloghi storici e dalla Banca Dati delle intensit  macrosismiche elaborato da INGV (DBMI, 2015), per Castel Maggiore sono documentati 20 eventi sismici, caratterizzati da scarsi effetti (intensit  fino a 5), come evidenziato nella figura 4.2.

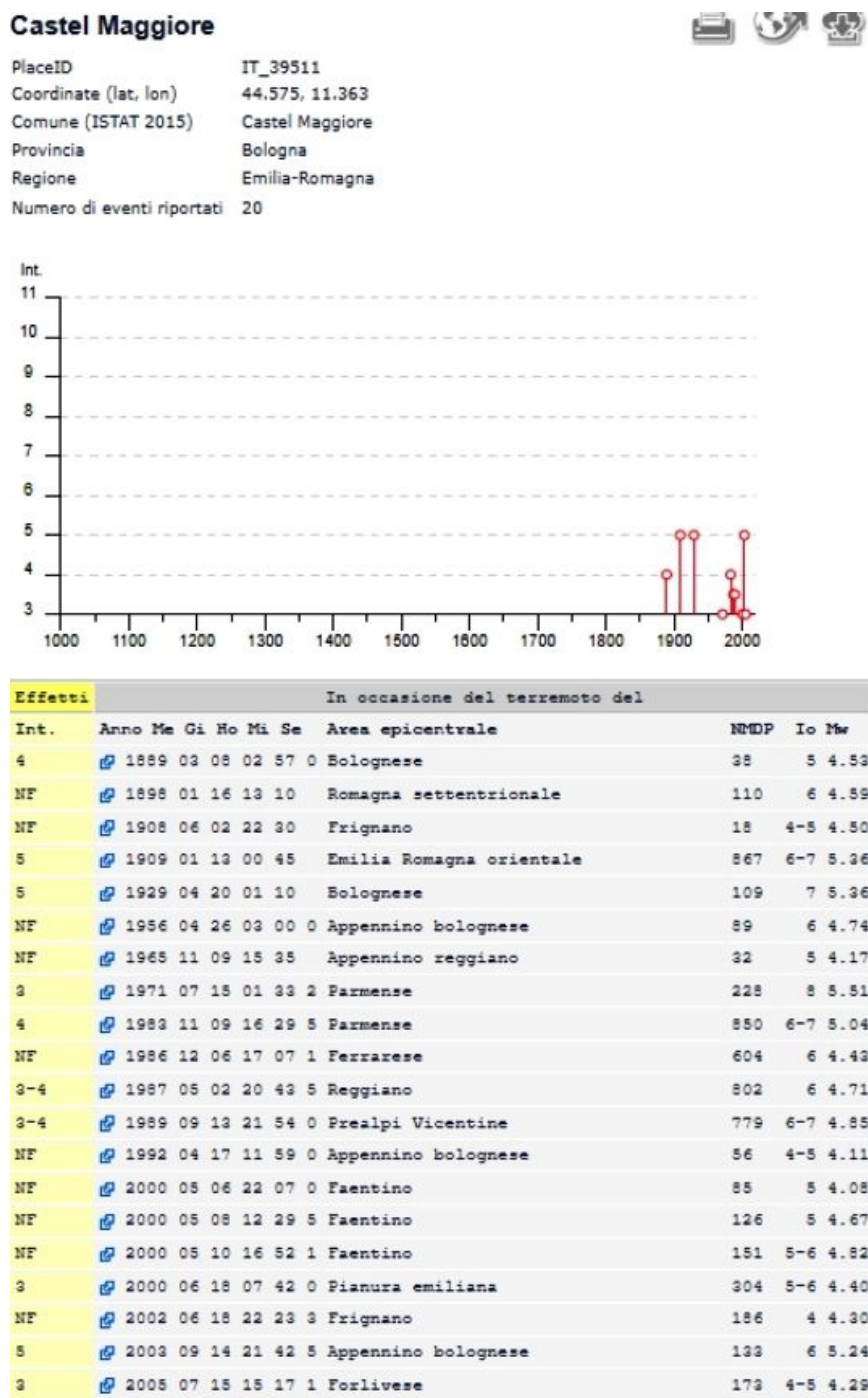


Figura 4.2 - Diagramma temporale dei principali eventi sismici che hanno interessato l'area di studio macrosismiche (fonte: DBMI – consultabile nel sito internet INGV)

4.2 Microzonazione sismica comunale

Un ulteriore elemento conoscitivo di pericolosità sismica è rappresentato dallo studio di microzonazione sismica del 2013 elaborata per il PSC di Castel Maggiore, recepito nel PSC (con approvazione del CP n.57/2013) e costituito dai seguenti documenti cartografici:

- la <<Tavola 1 – Pericolosità Sismica: Tavola comunale delle aree suscettibili di effetti locali>>, alla scala 1:5.000 che perimetra le aree soggette ad effetti locali (primo livello), individua per le aree “stabili” e “instabili” comprese nel perimetro urbano/urbanizzabile e gli ulteriori livelli di approfondimento da espletare;
- la <<Tavola 2 – Microzonazione Sismica Semplificata>>, alla scala 1:5.000, che attribuisce per ogni zona sismica omogenea compresa nel perimetro urbano/urbanizzabile i parametri di amplificazione semplificati (abachi regionali).

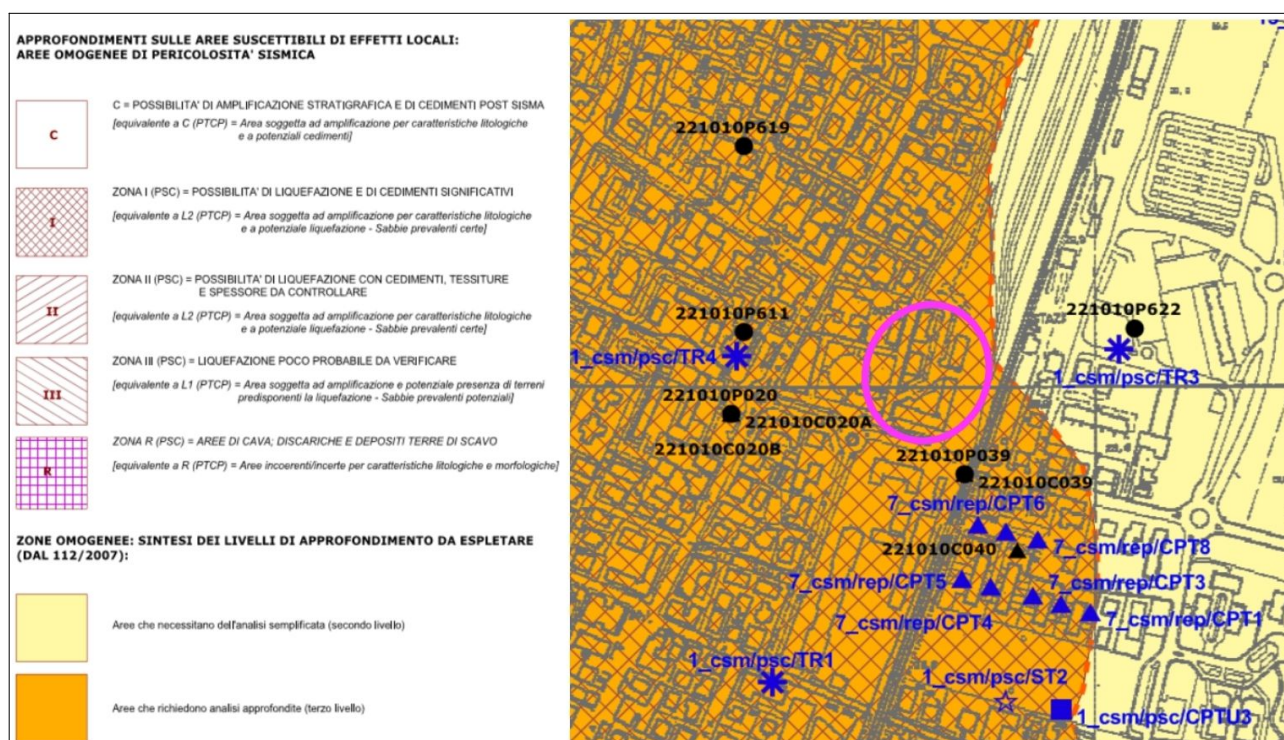


Figura 4.3 - Stralcio della <<Tavola 1 – Pericolosità Sismica: Tavola comunale delle aree suscettibili di effetti locali>> (scala 1:5.000) del PSC di Castel Maggiore. L'area è individuata nel cerchio fucsia

Secondo la cartografia di MS comunale vigente, l'area di progetto ricade nella zona omogenea “I” caratterizzata da <<possibilità di liquefazione e di cedimenti significativi>> (figura 4.3). L'area di progetto ricade, pertanto, in un'area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione. Occorre precisare che con l'aggiornamento della MS espletato nel 2018, l'area viene ancora compresa in "zona di attenzione" per instabilità indotta da possibili liquefazioni dei sedimenti.

Ai fini della progettazione di costruzioni, la pericolosità sismica di base viene definita mediante un approccio “sito dipendente” e basata su una “griglia di riferimento” costruita per l'intero territorio nazionale: ad ogni punto della griglia vengono attribuiti, a seconda del periodo di ritorno atteso per il terremoto, valori di a_g ed i principali parametri “spettrali” da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica.

La griglia riferimento ed i dati di pericolosità sismica sono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. Nello specifico, la pericolosità di base sito specifica è determinata sulla base delle coordinate attribuibili all'incirca al baricentro dell'area sedime prevista (Lat. 44°,575904 Long. 11°,366441 in coordinate ED50), ricavate con il supporto della georeferenziazione proposto dal programma on-line <<GeoStru Parametri Sismici>>. La figura 4.3 riporta i parametri di base (a_g ; F_0 ; T^*_c) da considerare nel calcolo dell'azione sismica in funzione degli stati limite di progetto.

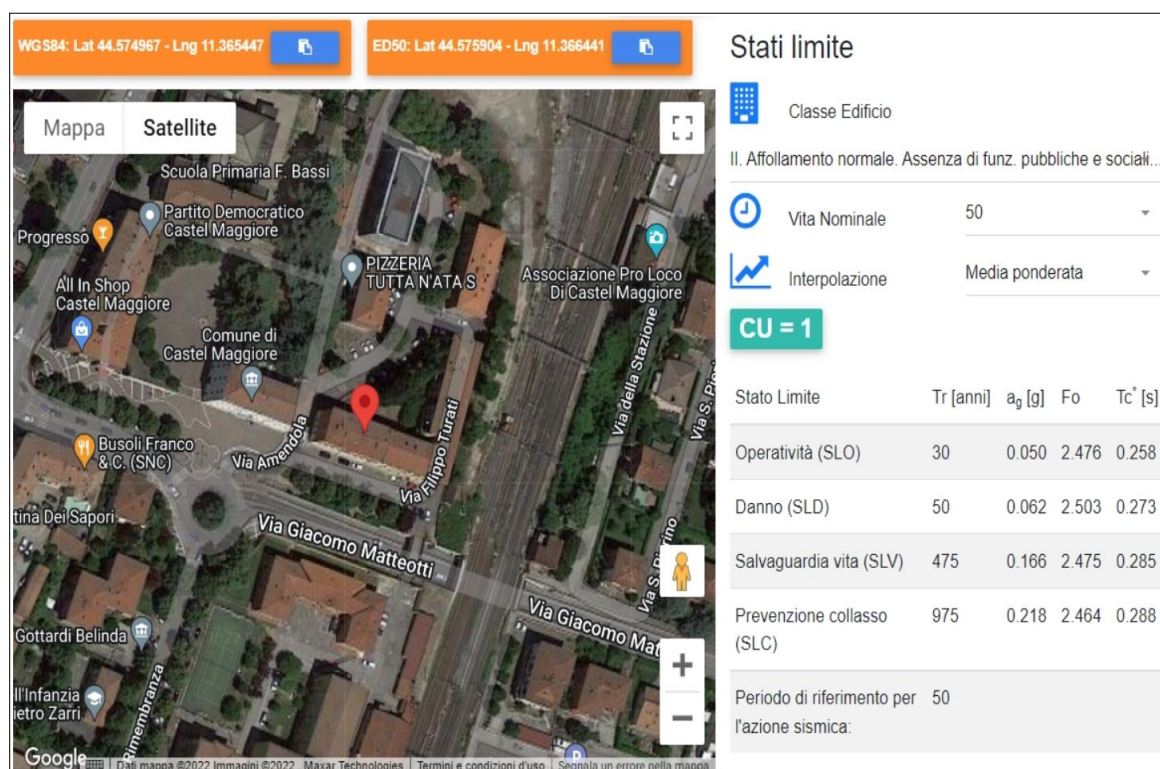


Figura 4.3 - Punti del reticolo INGV di riferimento per la definizione della pericolosità di base (NTC vigenti) e parametri sismici di base associati calcolati con “GeoStru Parametri Sismici” (<https://geoapp.eu/parametrisismici2018/>)

Si rammenta come i tempi di ritorno del terremoto e dunque i parametri sismici di base devono essere calcolati in funzione della classificazione prestazionale dell'edificio di progetto. In tal senso, per la caratterizzazione sismica si è considerata la seguente “strategia di progetto”:

- Classe di costruzione: II (costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali [...]). Coefficiente d'uso c_u

=1

- Vita Nominale della costruzione (V_n) = 50 anni (opere ordinarie)
- Periodo di riferimento per la costruzione (T_r) = 50 anni

4.3 “Categoria di sottosuolo” e ulteriori elementi di risposta sismica locale

Lo stendimento sismico MASW già realizzato nel comparto (cfr. figura 2.2) ha stimato una V_{s30} al suolo pari 183 m/s (figura 4.4). Si tratta di una stima da ritenersi certamente cautelativa, anche in relazione agli ulteriori esiti di V_{s30} disponibili e riportati nella <<Carte delle velocità delle onde di taglio S>> elaborata per l'aggiornamento dello studio di MS 2018 (figura 4.5).

Figura 4.4 – Modello sismostratigrafico estrapolabile dallo stendimento MASW realizzato nel comparto ERP (GeoProget, dicembre 2013)

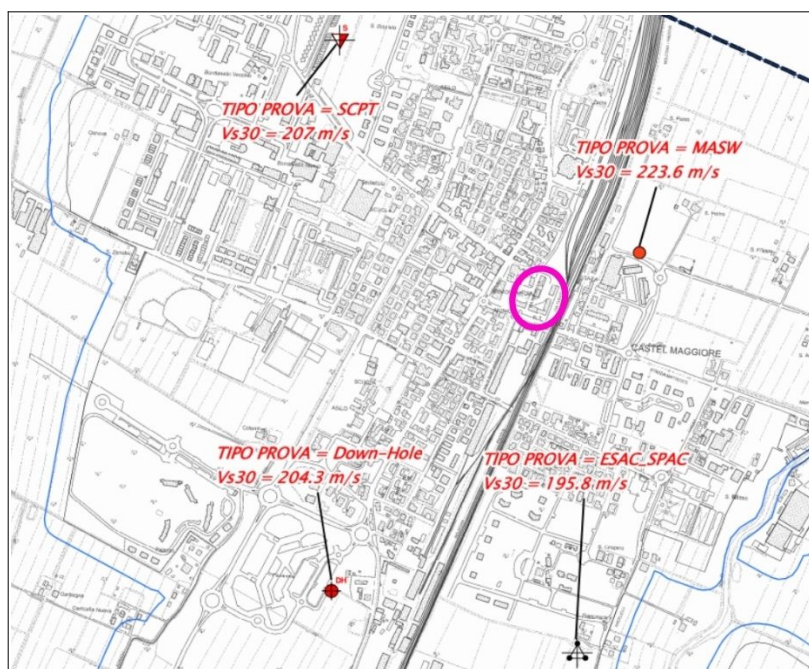
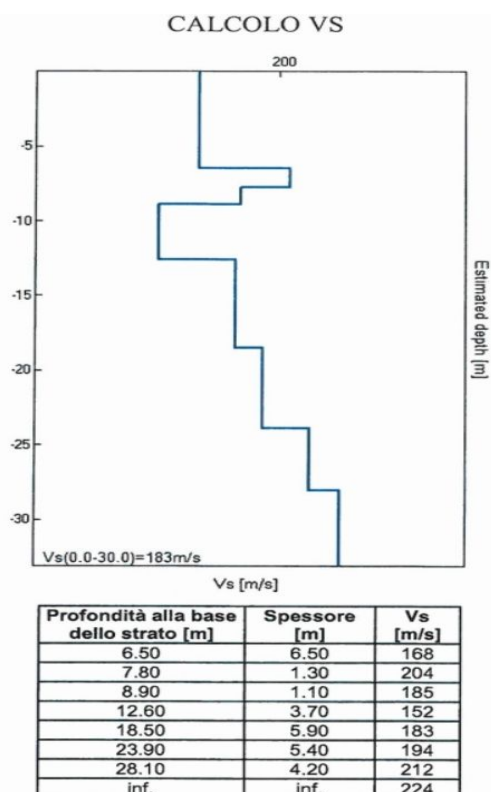


Figura 4.5 – Stralcio della <<Carta delle velocità delle onde di taglio S>> prodotta per lo studio di MS

comunale (aggiornamento 2018). L'area di studio è localizzata nel perimetro fucsia

Per quanto riguarda la risposta sismica locale, la registrazione HVSR eseguita nel comparto (GeoProget, 2013) evidenzia una moderata amplificazione spettrale a circa 0,83 Hz (figura 4.6). Questa frequenza fondamentale è associabile a riflettori sismici situati a profondità maggiori di 100 metri e risulta ben correlabile con le altre misure di microtremore sismico disponibili (vedi <<Carta delle frequenze naturali dei terreni>>, prodotta per l'aggiornamento della MS 2018) che indicano f_0 locali pari a $0,7 \pm 0,8$ Hz.

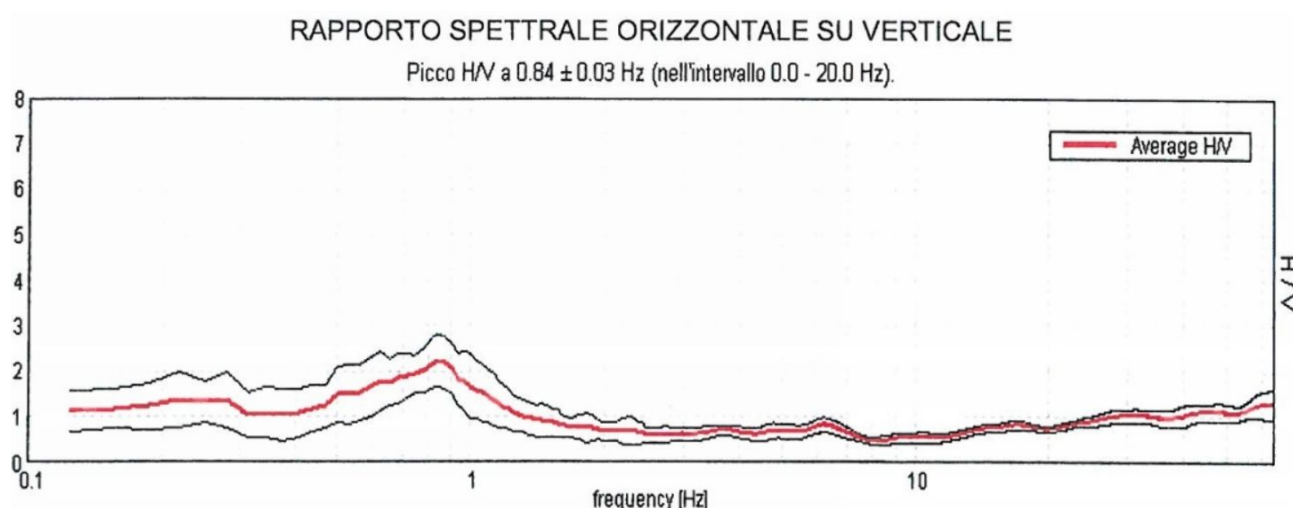


Figura 4.6 - Spettro di amplificazione H/V della registrazione tromografica effettuata nell'area di studio

Le misure HVSR locali non evidenziano amplificazioni significative a frequenze medie e alte che possano risultare di interesse ingegneristico (fino a $10 \div 20$ Hz). Viste le caratteristiche dei manufatti presenti nel comparto e in particolare dell'edificio ERP non risultano dunque possibili effetti di risonanza tra terreni e strutture in elevazione.

Visti i risultati delle indagini, è dunque giustificabile considerare per la stima delle azioni sismiche l'approccio semplificato indicato nelle NTC 2018. In questo senso, l'area di progetto è ascrivibile con sicurezza alla "categoria di sottosuolo" C (<<depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s>>).

4.4 Parametri per il calcolo dell'azione sismica (metodo semplificato)

Per la determinazione dell'azione sismica semplificata ai fini progettuali, in coerenza con le NTC 2018, si sono considerati i seguenti parametri di pericolosità sismica:

- Categoria di sottosuolo: C (cfr. paragrafo 4.3)
- Categoria topografica: T1. Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$

- Tipo di costruzione: opere ordinarie
- Vita Nominale della costruzione (V_n) = 50 anni
- Classe d'uso: II. Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali (coefficiente d'uso $c_u = 1$)
- Periodo di riferimento per la costruzione (V_r) = 50 anni

I coefficienti sismici da considerare per le verifiche progettuali ai sensi delle NTC 2018 e nei rispetti Stati Limite sono riportati nello schema di figura 4.7:

	Cat. Sottosuolo	C			
	Cat. Topografica	T1			
		SLO	SLD	SLV	SLC
	SS Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,45	1,38
	CC Coeff. funz categoria	1,64	1,61	1,59	1,58
	ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00
	Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
	kh	0.015	0.019	0.058	0.084
	kv	0.008	0.009	0.029	0.042
	Amax [m/s ²]	0.737	0.910	2.364	2.951
	Beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Figura 4.7 - Parametri per l'azione sismica NTC calcolati con "GeoStru Parametri Sismici"
 (<https://geoapp.eu/parametrisismici2018/>)

4.5 Verifiche della liquefacibilità e dei cedimenti post sisma

4.5.1 Aspetti generali e metodologici

L'analisi della liquefacibilità dei sedimenti, se sottoposti a sollecitazioni cicliche indotte da terremoti, è di fondamentale importanza per gli aspetti di progettazione geotecnica antisismica. In

particolare, occorre valutare, nel modo più adeguato possibile, le effettive condizioni di suscettibilità, le condizioni di innesco e il rischio sito specifico di tale fenomeno.

Con il termine “liquefazione” si indicano vari fenomeni fisici (mobilità ciclica, liquefazione ciclica, fluidificazione) osservati durante terremoti significativi (generalmente, $M > 5.5$) nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi; in questi sedimenti, le condizioni “non drenate” durante il sisma possono indurre un incremento e un accumulo delle pressioni interstiziali, che a loro volta possono provocare una drastica caduta della resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno. Il meccanismo di liquefazione dei sedimenti è governato da molti fattori che si possono ricondurre principalmente:

- ✓ alle caratteristiche dell'impulso sismico (forma; durata dello scuotimento; ecc.) e la sua energia (magnitudo; accelerazioni; ecc.);
- ✓ alle caratteristiche tessiturali e meccaniche dei sedimenti (fuso granulometrico; densità relativa; coesione; limiti di Atterberg; ecc.);
- ✓ alla presenza di falda superficiale e alle condizioni di confinamento dello strato liquefacibile (non sono riportati casi in letteratura di liquefazione in strati granulari profondi oltre 15-20 metri).

La differenza fra i diversi fenomeni dipende dalle tensioni di taglio mobilitate per l'equilibrio in condizioni statiche e dalla resistenza al taglio residua dopo il terremoto.

In condizioni di sisma, vi possono anche essere effetti di “riordino” dei sedimenti, con possibilità di cedimenti significativi che possono coinvolgere sia i depositi granulari, sia i sedimenti fini poco coesivi. Nell'ultimo decennio, sono state elaborate procedure di stima delle potenziali deformazioni post-sisma, provocate da perdite di resistenza, anche nei sedimenti fini (limi e argille a comportamento “non drenato”). Quest'ultimo fenomeno è noto con il termine “cyclic softening” (Idriss & Boulanger, 2004 e 2008).

Fenomeni di liquefazione si sono chiaramente manifestati con gli eventi sismici emiliani del maggio 2012, tuttavia non si sono riscontrati i fenomeni più critici riconducibili a fluidificazione (con perdita della capacità portante del terreno dei sedimenti al di sotto delle costruzioni) e neppure scorrimenti significativi nelle scarpate degli argini; anche i cedimenti rilevati degli edifici sono risultati complessivamente limitati e per lo più uniformi al di sotto delle costruzioni⁴. Per ulteriori aspetti teorici, si rimanda alla vasta letteratura scientifica e in particolare ai rapporti tecnici elaborati a seguito del sisma emiliano del maggio 2012 (consultabili anche on line nel sito del SGSS).

4.5.2 Analisi del rischio locale

Come già descritto nel paragrafo 4.2, la Microzonazione sismica locale include l'area di progetto in “zona di attenzione” per liquefazioni dei sedimenti granulari in caso di sisma. Le indagini geognostiche disponibili (cfr. paragrafo 2.3) hanno tuttavia evidenziato un contesto litostratigrafico

⁴ Fonte: “Rapporto preliminare sui diffusi fenomeni di liquefazione verificatisi durante il terremoto in pianura padana emiliana del maggio 2012”, C. Crespellani et Al., 2012.

caratterizzato da sedimenti più superficiali prevalentemente fini (limi e argille) poi spessori anche significativi di sabbie più o meno limose mediamente addensate e attribuibili a depositi di argine/canale del fiume Reno. In questo senso, le prove CPTU1, CPTU2, P47CPT69 e P47CPT70 intercettano questi primi depositi granulari a partire da circa -6,8÷7,4 metri dal p.c. fino a circa -10,0÷10,4 metri. Nelle più distanti prove P47CPT69 e P47CPT70 queste sabbie limose risultano continue fino a -18,6÷19,6 metri. Nella prova P44CPT66, realizzata a SE del comparto, vengono invece attraversati sedimenti prevalentemente fini con intercalazioni limoso sabbiose di minore significato fino a -13 metri (termine della prova).

Nel comparto in oggetto e in particolare nel settore NO sono dunque presenti spessori sabbiosi che tuttavia risultano discretamente confinati in profondità. Lo studio geologico svolto nel 2013 a cura della Società GeoProget ha consentito specifiche indagini sulla propensione alla liquefacibilità nel settore NO del comparto e in particolare sono state effettuate verifiche di calcolo sulle due verticali di indagine (CPTU1 e CPTU2) con approccio deterministico e considerando il metodo empirico di PK Robertson (2009). come dati di input gli Autori dello studio hanno considerato:

$a_{max} = 0,30g$

$Mw_{max} = 6,2$

falda cautelativa pari a circa -2,0 mt dal p.c. attuale

soglia limite per la sicurezza pari ad 1,2

Le verifiche quantitative hanno consentito la stima dell'Indice Potenziale di Liquefazione (IPL) inteso come stima complessiva lungo la colonna stratigrafica fino alla profondità sondata secondo il metodo di Iwasaki et Al. 1982 recentemente rivisto ed aggiornato da Sonmez (2003), integrando in modo pesato il potenziale di liquefazione di ciascuno strato su tutto il profilo stratigrafico indagato. I valori di IPL ricavati dalle verifiche sono risultati compresi tra 1,48 e 1,55 (valori equiparabili a rischio "basso". Gli Autori dello studio hanno dunque concluso con un complessivo giudizio di <<probabilità estremamente bassa che un eventuale manifestarsi della liquefazione possa condurre a fenomeni di collasso del terreno. Infatti solo pochissimi livelli presentano una probabilità di liquefazione elevata>>. Occorre comunque rammentare che le verifiche espletate sono state effettuate nell'ipotesi di condizioni free-field (campo libero), cioè in assenza di carichi/sovraccarichi/sforzi di taglio e delle caratteristiche costitutive naturali dei terreni in sito. Gli Autori indicano, infine, che <<in sede progettuale sarà opportuno valutare la compatibilità di quanto stimato con le prestazioni dell'opera da realizzare e la relativa funzionalità>>.

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA PRELIMINARE DEL SOTTOSUOLO

I dati di resistenza alla punta e laterale delle prove CPT e CPTU consentono di ricavare dati litotecnici del sottosuolo investigato. In questo senso, la figura 5.1 riporta uno schema tessiturale del sottosuolo derivato dalle prove penetrometriche disponibili.

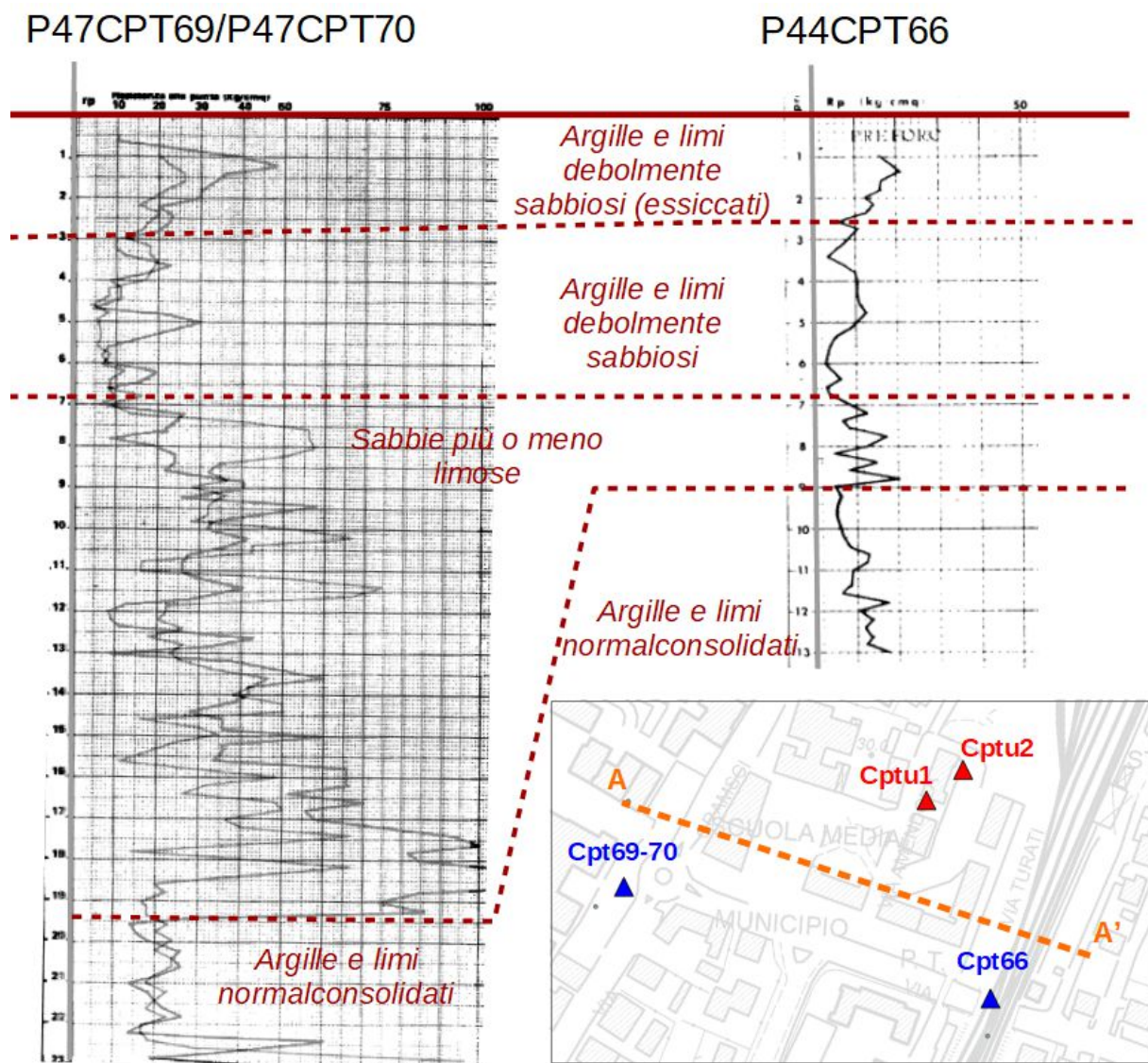


Figura 5.1 – Schema litotecnico del sottosuolo di interesse

In sintesi, le terebrazioni evidenziano:

- fino a circa -2,6÷3,0 metri → un primo spessore di sedimenti argilloso limosi superficialmente alterati (suolo) e poi relativamente essiccati. La caratterizzazione meccanica di questo primo intervallo risulta particolarmente difficile in quanto l'essiccamento induce resistenze penetrometriche più elevate ed esiti meccanici falsati. Il grado di essiccamento può essere inoltre parzialmente reversibile. Ciò detto viene riportata

qui di seguito la caratterizzazione geotecnica dei sedimenti investigati dalle prove CPTU1 e CPTU2, elaborata da GeoProget (dicembre 2013) per lo spessore di terreni correlabile a questo intervallo⁵:

Profondità Da mt a mt	Descrizione	De (ton/mc) Peso di volume	Cu (ton/mq) Coesione totale	C' (ton/mq) Coesione Drenata	Fi (gradi) Angolo di Altri. Interno	Ed (Kg/cmq) Modulo di compress.	Dr (ad) Densità Relativa	OCR (ad) Grado di sovraccons.	Rp (Kg/cmq) Resistenza di punta alla Penetrazio
da 0.0 a 1.20 / 1.60	Livello superficiale Terreni alluvionali e materiali di riporto antropico di natura litologica limo - argillosa con grado di addensamento e coesione variabili; si assumono parametri geomeccanici cautelativi	1.70 /1.80	2 - 5	/	20° - 25°	30-50		/	5 - 15

- da -2,6÷3,0 m a 6,7÷7,4 metri metri → argille e limi con intercalazioni limoso sabbiose. Si tratta di sedimenti che presentano resistenze alla punta qc piuttosto variabili anche in funzione del grado di umidità (zona di "frangia capillare") e del livello piezometrico della falda più superficiale. Si rammenta come le più recenti prove CPTU1 e CPTU2 (GeoProget, 2013) hanno intercettato la falda a circa -4,0÷4,2 metri. È riportata qui di seguito la caratterizzazione geotecnica dei sedimenti investigati dalle prove CPTU1 e CPTU2, elaborata da GeoProget (dicembre 2013) per lo spessore di terreni correlabile a questo intervallo⁶:

Profondità Da mt a mt	Descrizione	De (ton/mc) Peso di volume	Cu (ton/mq) Coesione totale	C' (ton/mq) Coesione Drenata	Fi (gradi) Angolo di Altri. Interno	Ed (Kg/cmq) Modulo di compress.	Dr (ad) Densità Relativa	OCR (ad) Grado di sovraccons.	Rp (Kg/cmq) Resistenza di punta alla Penetrazio
In CPTU1 1.60 - 6.90	Limi argillo - sabbiosi e sabbie limo- argilose da poco a mediamente consistenti di colore da bruno - giallastro a grigio, di origine alluvionale; dotati in genere di compressibilità contenuta ma con presenza di livelli discontinui a maggiore compressibilità (in CPT1 a 2.60 - 3.80 mt, in CPT 2 a 4.70 - 5.10 mt)	1.80 /1.90	Parte magg. limosa 3 - 7	0.7-1.2	Parte a magg. limosa 24° - 28°	40 - 70	/	Parte magg. limosa 0.5 - 2	6 - 20
In CPTU2 1.20 - 6.70					Parte a magg. sabbiosa 28° - 32° subordina.				

- da 6,8÷7,4 m a 9,0÷19,6 metri → le prove hanno attraversato depositi prevalentemente

⁵ Si precisa che la seguente caratterizzazione è da ritenersi puramente indicativa e, se necessario ai fini della progettazione, dovrà essere ulteriormente approfondita con specifiche indagini in situ

⁶ Si precisa che la seguente caratterizzazione è da ritenersi puramente indicativa e, se necessario ai fini della progettazione, dovrà essere ulteriormente approfondita con specifiche indagini in situ

sabbiosi più o meno limosi. Lo spessore di questo intervallo granulare risulta variabile, con un maggior spessore verso ovest e in particolare oltre il comparto verso SO (nelle limitrofe prove P47CPT69 e P47CPT70 risultano continue fino a -18,6÷19,6 metri), mentre nell'area di studio le prove CPTU1, CPTU2 indicano minori potenze (sabbie fino a -10,3÷10,4 metri) e sedimenti che sfumano a limi sabbiosi a SE (vedi prova P44CPT66). In questo senso, è ancora riportata la caratterizzazione geotecnica dei sedimenti investigati dalle prove CPTU1 e CPTU2, elaborata da GeoProget (dicembre 2013) per lo spessore di terreni correlabile a questo intervallo⁷:

Profondità Da mt a mt	Descrizione	De (ton/mc) Peso di volume	Cu (ton/mq) Coesione totale	C' (ton/mq) Coesione Drenata	Fi (gradi) Angolo di Altri. Interno	Ed (Kg/cmq) Modulo di compress.	Dr (ad) Densità Relativa	OCR (ad) Grado di sovracons.	Rp (Kg/cmq) Resistenza di punta alla Penetrazio
In CPTU1 6.90 – 10.3	Alternanze di sabbie limo – argillose e limi sabbiosi di origine alluvionale, colore grigio dotate di consistenza variabile, da scarsa a media e compressibilità contenuta; si tratta probabili strutture arginali del Fiume Reno	1.90/ 2.0	/	/	27° - 32°	50-100	0.4-0.5	/	9 - 35
In CPTU2 6.70 – 10.4									

⁷ Si precisa che la seguente caratterizzazione è da ritenersi puramente indicativa e, se necessario ai fini della progettazione, dovrà essere ulteriormente approfondita con specifiche indagini in situ

6 CONCLUSIONI SULLA FATTIBILITÀ DEGLI INTERVENTI

I dati a supporto dello studio geologico e sismico di inquadramento non evidenziano particolari criticità e pertanto si confermano i presupposti di fattibilità degli interventi previsti.

In senso più generale, per una eventuale nuova edificazione, è tuttavia da ritenersi necessaria una certa attenzione nella scelta delle fondazioni più opportune per le nuove costruzioni. La fondazione dovrà infatti garantire la necessaria stabilità per quanto riguarda gli aspetti più esplicitamente geotecnici (capacità portante e cedimenti di consolidazione attesi).

La presenza di sedimenti rimaneggiati più superficiali impone anche una certa attenzione nella valutazione della quota di incastro delle eventuali nuove fondazioni, al fine di limitare possibili le conseguenze di rigonfiamento/essiccamento dei sedimenti meno profondi. Le indagini disponibili hanno infatti evidenziato una stratigrafia non omogenea: vengono intercettati spessori variabili di sabbie argille limose anche scarsamente consistenti (soprattutto nel settore più orientale del comparto). Nel caso di nuovi interventi edificatori si ritiene dunque necessario prevedere una campagna di indagini geognostiche in grado di caratterizzare adeguatamente il “volume significativo” dei sedimenti in relazione alle caratteristiche prestazionali del/degli edifici da realizzare.

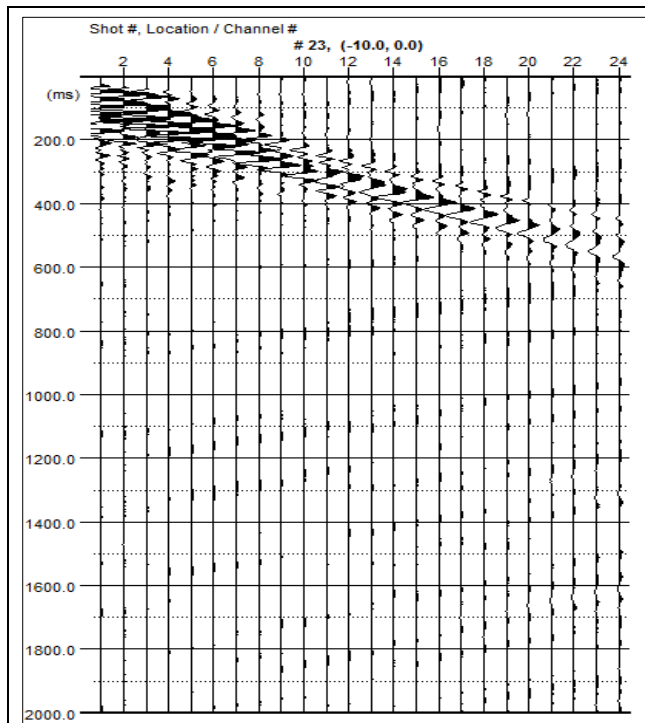
Elaborazione: geol. Samuel Sangiorgi

**ALLEGATI:
report delle indagini**

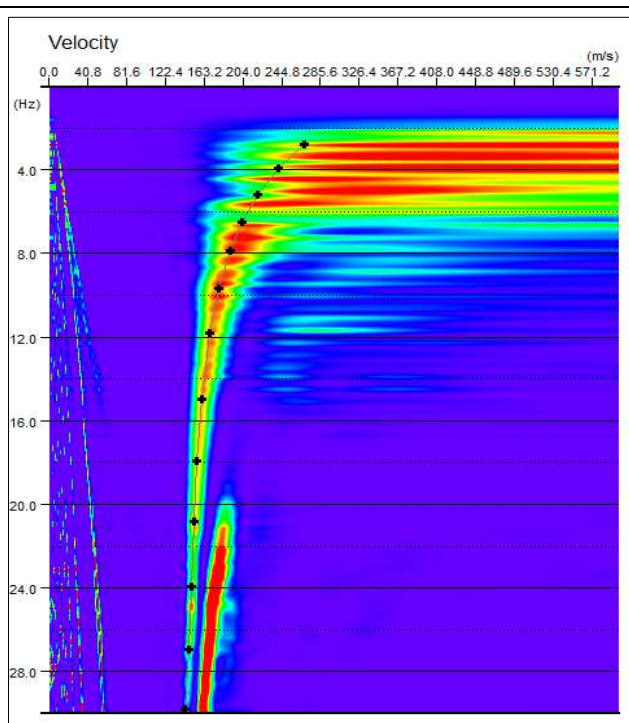
Comune di Castel Maggiore (BO) – Stazione FS

n° tracce	Δx (m)	L tot (m)	Δt (ms)	T (s)
25	3,0	69,0	0,5/2,0	2,0/32,0

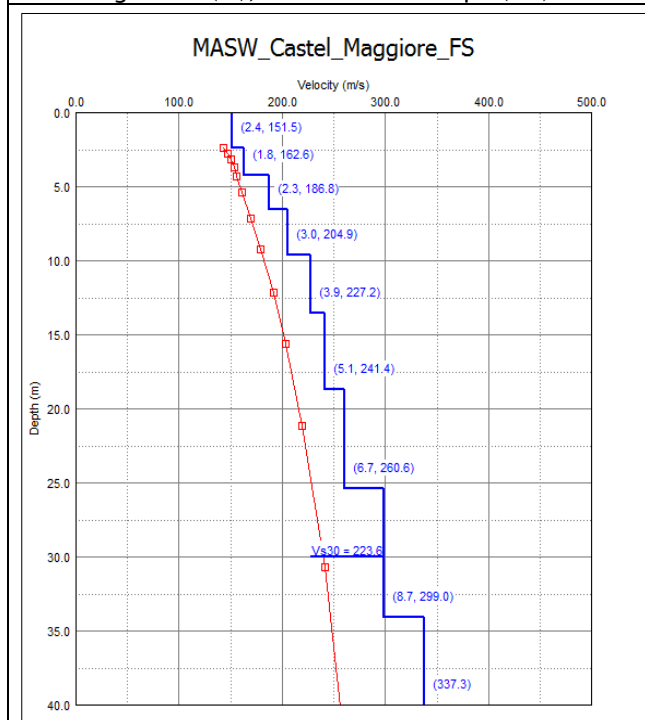
Δx : interdistanza geofonica; L tot: lunghezza profilo; Δt : passo di campionamento; T: durata registrazione.



Sismogramma registrato durante le acquisizioni di microtremore sismico. In ascissa la distanza tra i geofoni (m), in ordinata il tempo (ms).



Spettro di potenza nel dominio $f-v$ e Picking della curva sperimentale delle onde R (croci nere).



Modello di sottosuolo (1D) descritti in termini di Vs e spessore dei sismostrati (spezzata blu) e curva di dispersione sperimentale delle onde R (curva rossa).

Tabella di sintesi

n. Strato	Profondità letto (m dal p.c.)	Spessore (m)	Vs (m/s)
1	2.4	2.4	151.5
2	4.2	1.8	162.6
3	6.5	2.3	186.8
4	9.5	3.0	204.9
5	13.4	3.9	227.2
6	18.5	5.1	241.4
7	25.2	6.7	260.6
8	33.9	8.7	299.0
9	∞	∞	337.3

$$V_{s30} = 223.6 \pm 10\% \text{ [m/s]}$$

Sintesi dei parametri del modello di sottosuolo ottenuto e Valore di Vs30 calcolato.

CLASSIFICAZIONE DEI TERRENI
secondo la teoria di
BEGEMANN

15 25 45 65

Profondità m	Rlt (kg)	Resistenza laterale totale
	Ral (kg/cmq)	Resistenza di attrito laterale
	Rp (kg/cmq)	Resistenza alla punta

PREFORC

A blank grid for drawing a cross-section of a pond. The grid is 16 units wide and 4 units high. The vertical axis is labeled 16, 17, 18, and 19 from top to bottom. The horizontal axis is labeled 1 through 16 from left to right.

Figure 1 consists of a 4x4 grid of scatter plots. The rows are labeled on the left with the number of children (20, 21, 22, 23) and the columns are labeled on the top with the number of children in the household (1, 2, 3, 4). Each plot shows a positive correlation between the number of children and the number of children in the household. The density of points increases as the number of children in the household increases.

221A C03 19

Prova penetrometrica n. 1

Date 30.7.86

argilla molle	torbe	argilla limo argill.	limo e	limo sabb.	sabbia limosa	sabbia fine	ghiaia e sabbia
------------------	-------	-------------------------	-----------	------------	------------------	----------------	--------------------



EDILPALI
40127 BOLOGNA
Viale della Repubblica 25
Tel. 51.63.52 - 51.51.89

Quota iniziale:

Tipo avanzamento: Trivellazione a secco Ø152

Data: Febbraio 1989

SONDAGGIO N. 1

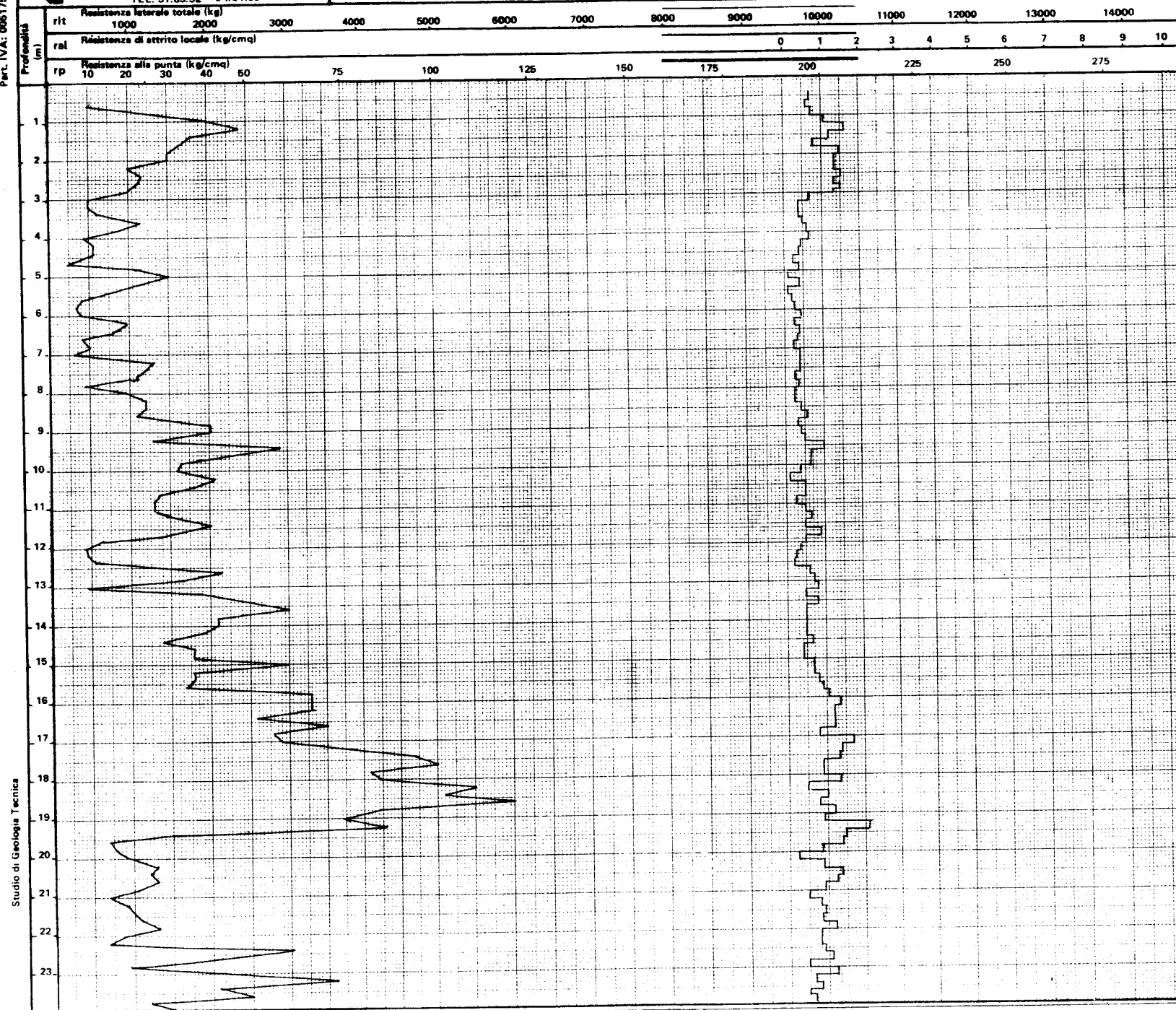
SEZIONE GEOTECNICA

221 APO20

Profondità (m)	COMMITTENTE: EDILCOOP.SOC.COOP. a.r.l.		LOCALITA': CastelMaggiore Via Gramsci		P.P. Kg/cmq	Tor-vane Kg/cmq
	Idrologia	Colonna stratigrafica	DESCRIZIONE TERRENI	OSSERVAZIONI		
20			Limo sabbioso lievemente argilloso giallastro.-	Terreno a consistenza dura - umidità scarsa.-		
40			Limo argilloso giallastro.-	Terreno a consistenza plasti- ca ed umidità medio scarsa.-		
60			Limo sabbioso grigiastro.-	Terreno a consistenza palsti- ca ed umidità elevata.-		
			H ₂ O a fine sondaggio presente a fondo foro.-			

45/89

Classificazione dei terreni secondo la teoria di Begemann



Tori e	
Argille molli	
Argille	
Argille limose	
Limi argillosi	
Limi sabbiosi	
Sabbie limose	
Sabbie fini	
Sabbie grosse	
Chiese e sabbie	



edilpali

40127 BOLOGNA
VIALE DELLA REPUBBLICA, 26
TEL. 51.63.52 - 51.51.89

COMMITTENTE: EDILCOOP. SOC.COOP. a.r.l.
LOCALITA':
CANTIERE: Castel Maggiore - Via Gramsci

PROVA PENETRUMETRICA N. 2

221A020b

DATA: Febbraio 1989

IL GEOLOGO

Classificazione dei terreni secondo la teoria di Begemann

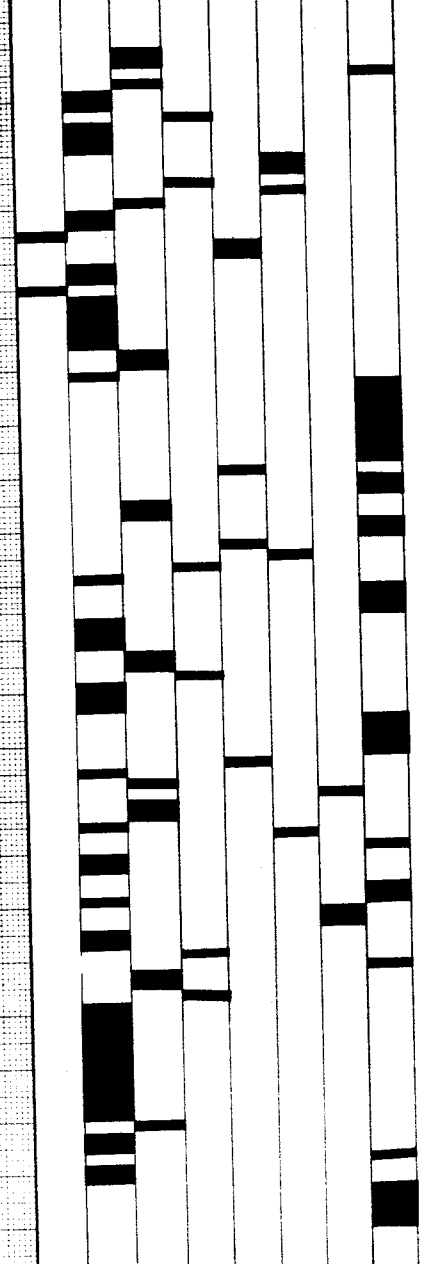
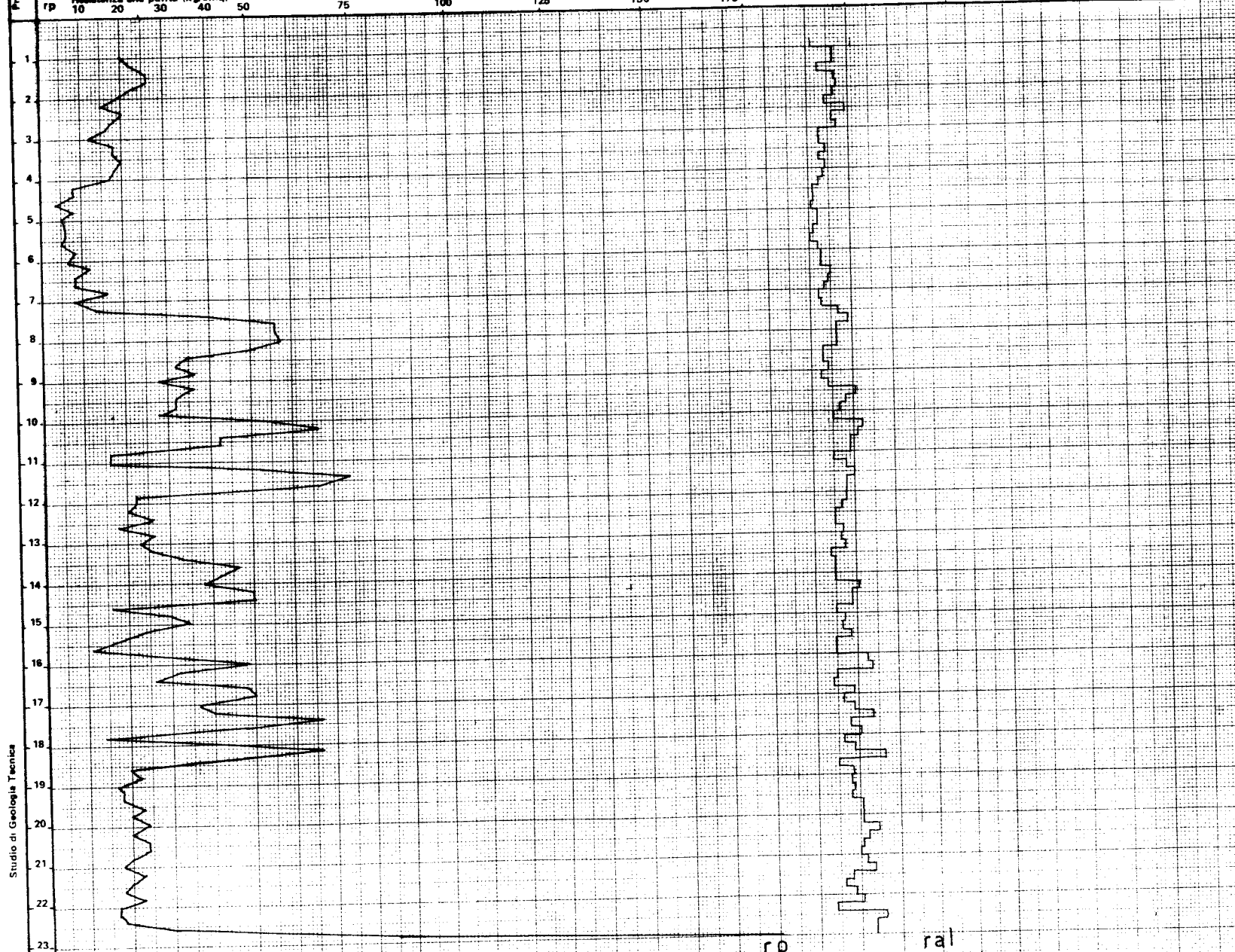
Part. IVA: 00617568371

Profondità (m)

Studio di Geologia Tecnica

TEL. 51.63.52 - 51.51.89																												
rit	Resistenza laterale totale (kg)		1000	2000	3000	4000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000												
ral	Resistenza di attrito locale (kg/cm²)												0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10					
rp	Resistenza alla punta (kg/cm²)		10	20	30	40	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275												

Torbe	Argille molli	Argille	Argille limose	Limi argillosi	Limi sabbiosi	Sabbie limose	Sabbie fini	Sabbie grosse	Chiese e sabbie
-------	---------------	---------	----------------	----------------	---------------	---------------	-------------	---------------	-----------------



CASTEL MAGGIORE_MS, PSC TR3 037019P135HVSR175

Strumento: TRE-0008/01-07

Inizio registrazione: 17/12/07 11:40:03 Fine registrazione: 17/12/07 11:56:04

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 69% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

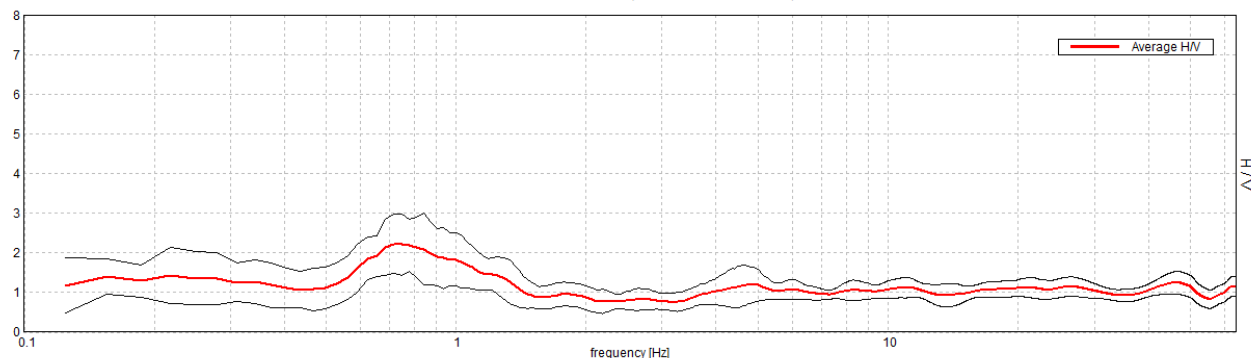
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

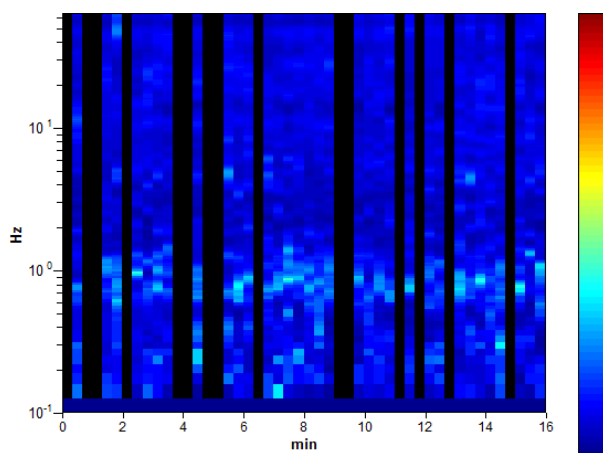
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

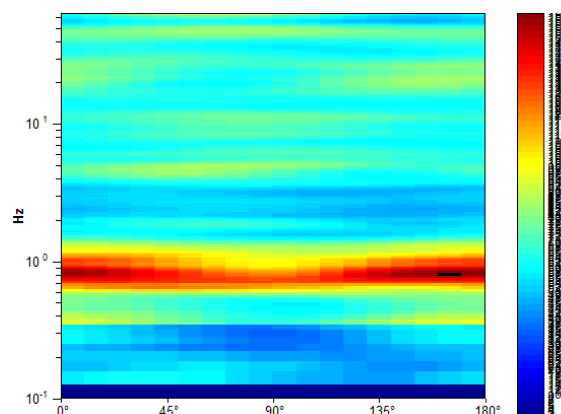
Picco H/V a 0.72 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).



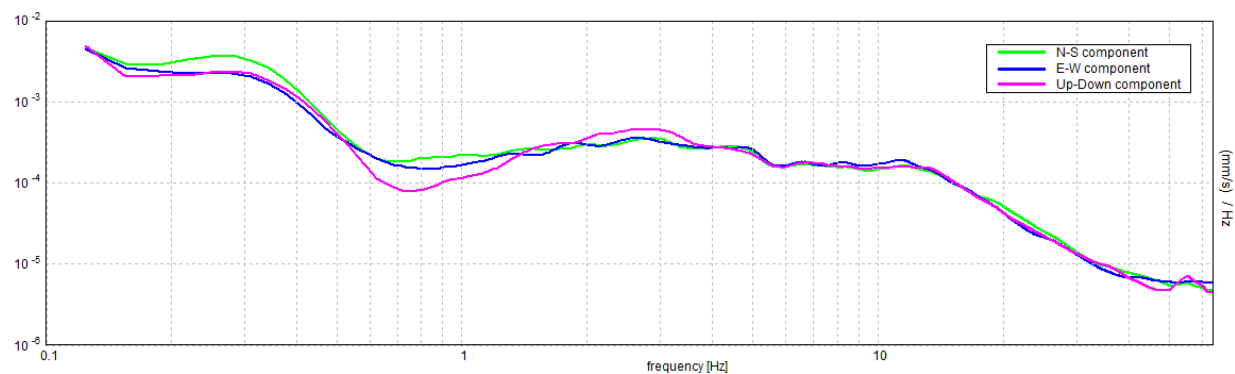
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 0.72 ± 0.01 Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.72 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$474.4 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 36	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.469 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.406 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.22 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00941 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00676 < 0.10781$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.362 < 2.0$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

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

CASTEL MAGGIORE_MS, PSC TR4

037019P136HVS176

Strumento: TRE-0008/01-07

Inizio registrazione: 17/12/07 10:44:36 Fine registrazione: 17/12/07 11:00:37

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 73% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

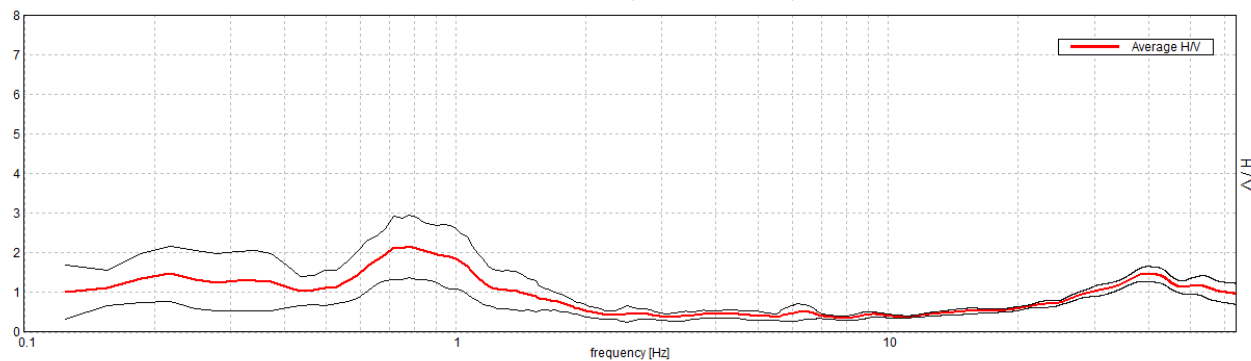
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

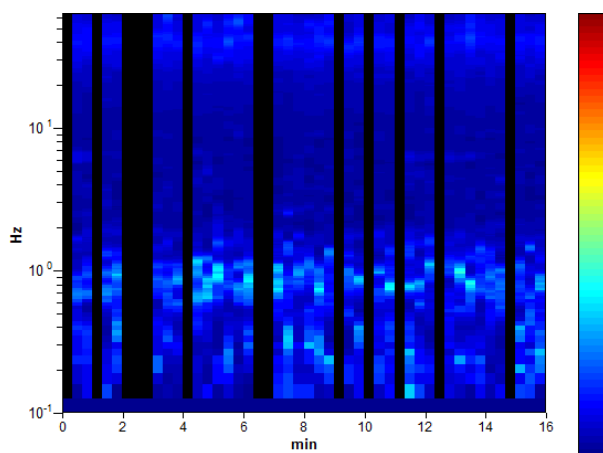
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

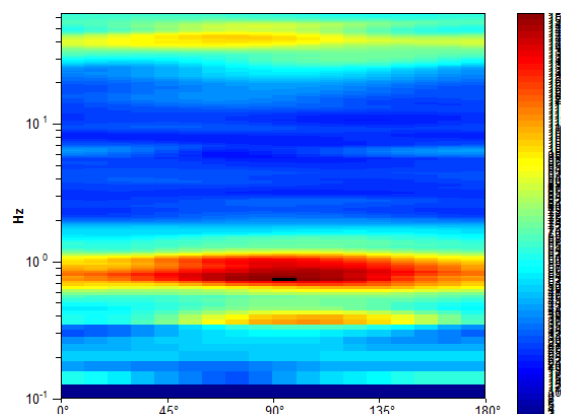
Picco H/V a 0.78 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).



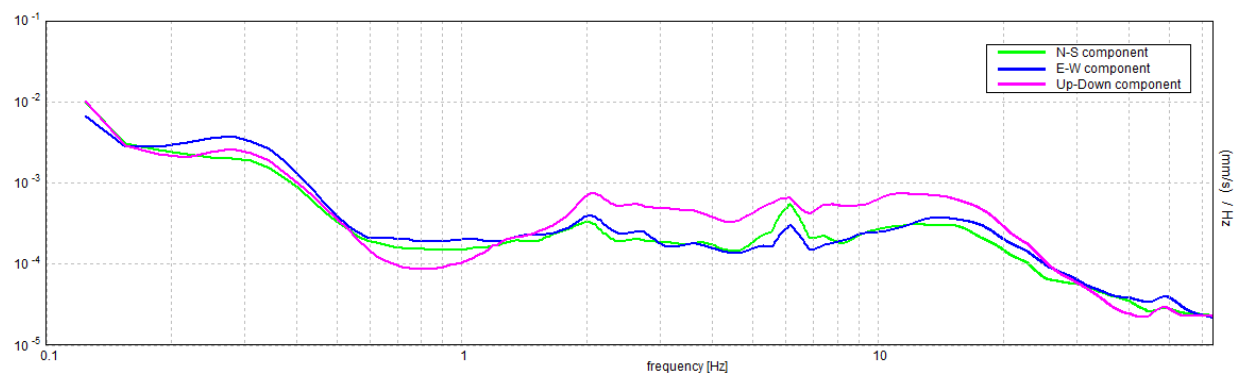
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 0.78 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.78 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$546.9 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 38	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.469 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.25 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.16 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01567 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01224 < 0.11719$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3865 < 2.0$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

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

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA
DIAGRAMMI LITOLOGIA**CPTU****1**

riferimento

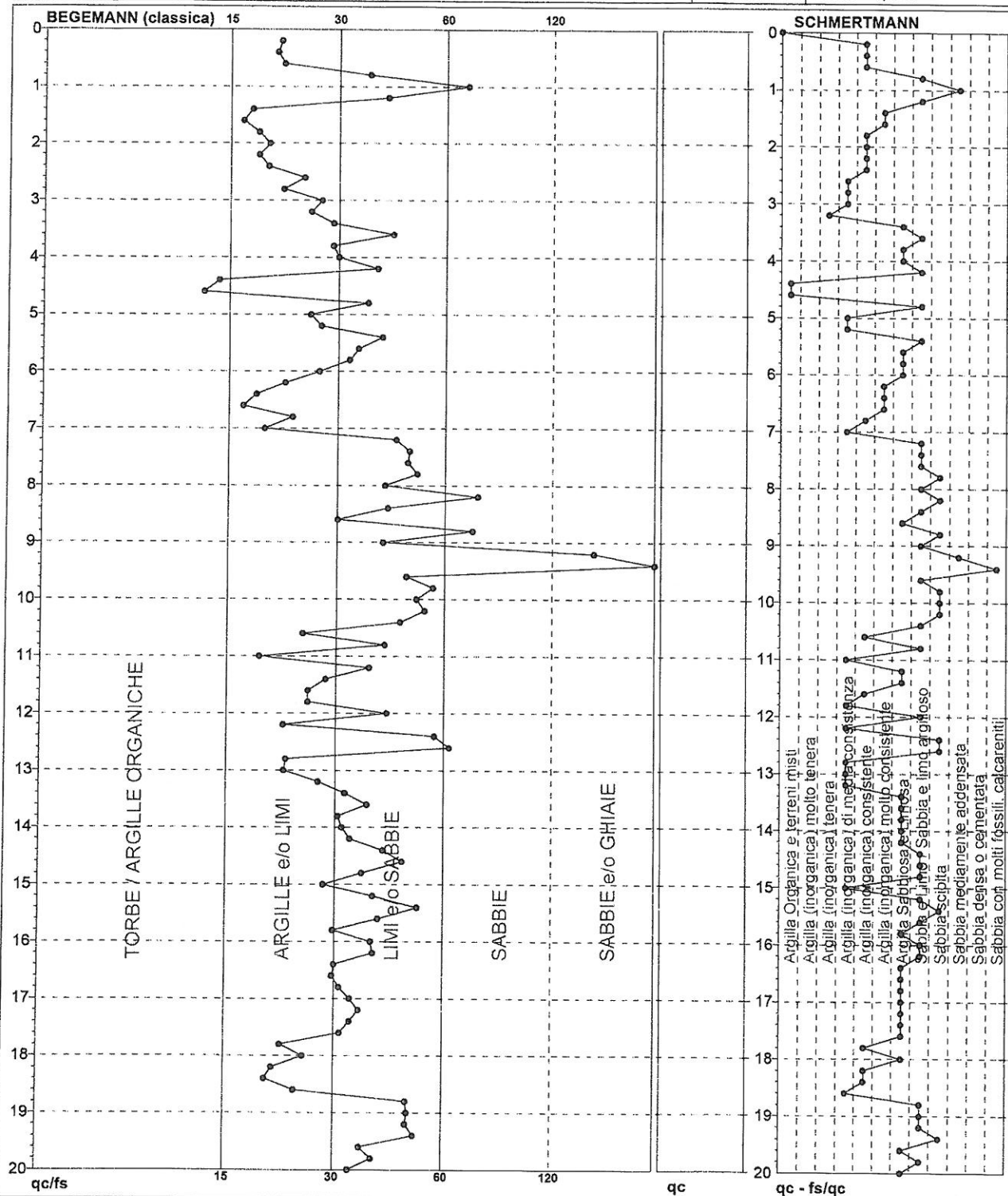
137-13

certificato n°

C13-099-2

Committente: **ACER**Cantiere: **Via Amendola**Località: **Castelmaggiore (BO)**U.M.: **daN/cm²**Scala: **1:100**Pagina: **1**

Elaborato:

Data exec.: **04/11/2013**Data certificato: **05/11/2013**Falda: **-4,20 m**

Torbe / Argille org. : 2 punti, 2,02%
 Argille e/o Limi : 44 punti, 44,44%
 Limi e/o Sabbie : 49 punti, 49,49%
 Sabbie : 3 punti, 3,03%
 Sabbie e/o Ghiaie : 2 punti, 2,02%

Lo sperimentatore:

Il direttore laboratorio:

FON000

SOGEO s.r.l.

Via San Potito 43 - 48022 LUGO (RA) - Tel. +39(0)54522042 - Fax. +39(0)54534443
Conc. Min. Infrastrutture e Trasporti - Settore C - Decr. n. 005754 del 01/07/2010

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPTU

1

referimento

137-13

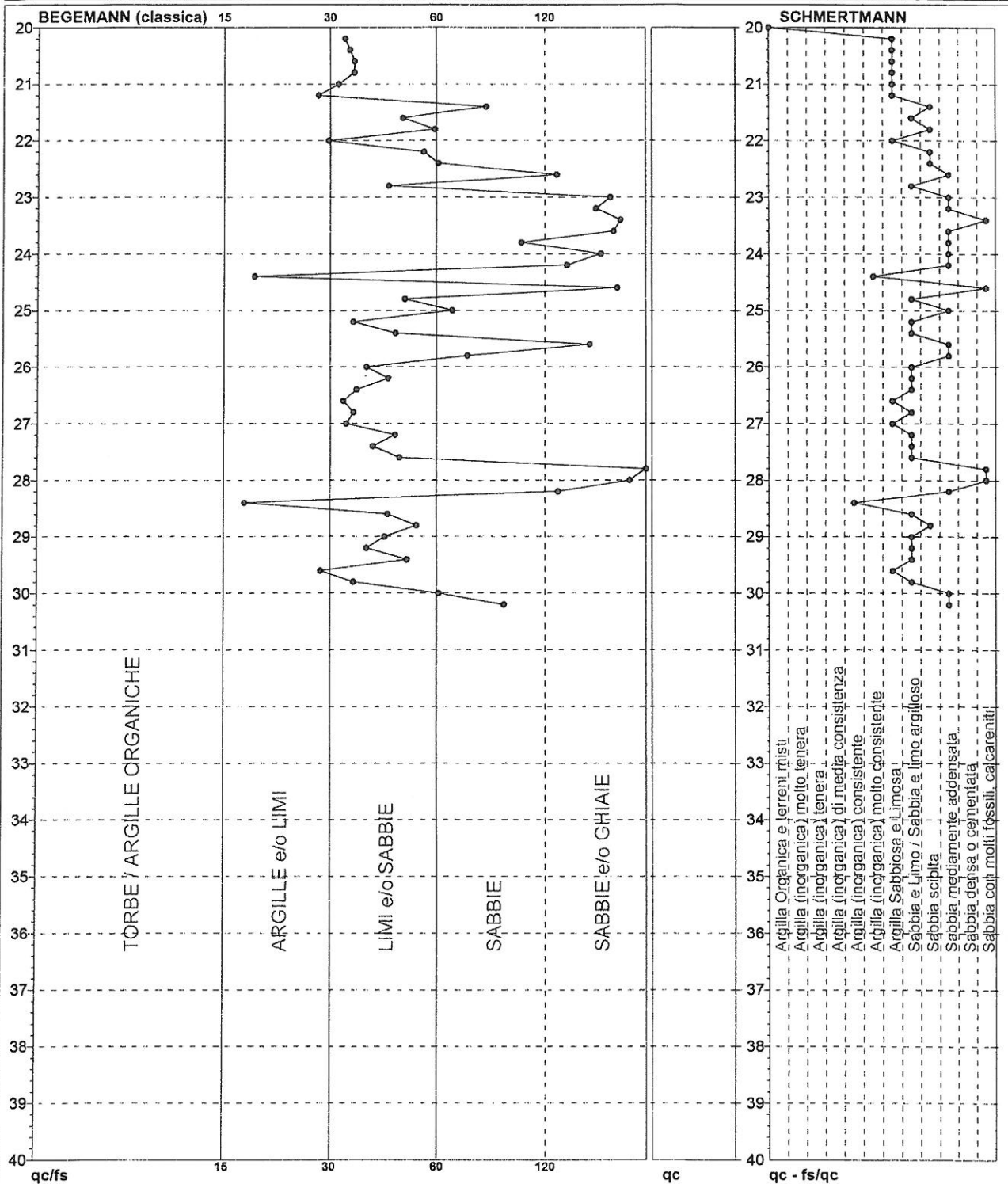
certificato n°

C13-099-2

Committente: **ACER**
Cantiere: **Via Amendola**
Località: **Castelmaggiore (BO)**

U.M.: **daN/cm²**
Scala: **1:200**
Pagina: **2**
Elaborato:

Data esec.: **04/11/2013**
Data certificato: **05/11/2013**
Falda: **-4,20 m**



Torbe / Argille org. : 49 punti, 49,49%
Argille e/o Limi : 5 punti, 5,05%
Limi e/o Sabbie : 29 punti, 29,29%
Sabbie: 7 punti, 7,07%
Sabbie e/o Ghiaie : 10 punti, 10,10%

Lo sperimentatore:

Il direttore laboratorio:

FON000

SOGEO s.r.l.

Via San Potito 43 - 48022 LUGO (RA) - Tel. +39(0)54522042 - Fax. +39(0)54534443
Conc. Min. Infrastrutture e Trasporti - Settore C - Decr. n. 005754 del 01/07/2010

PROVA PENETROMETRICA STATICA MECCANICA DIAGRAMMI LITOLOGIA

CPTU

2

referimento

137-13

certificato n°

C13-099-3

Committente: Dott. Fabio Vannoni

Cantiere: Via Amendola

Località: Castelmaggiore (BO)

U.M.: daN/cm²

Scala: 1:100

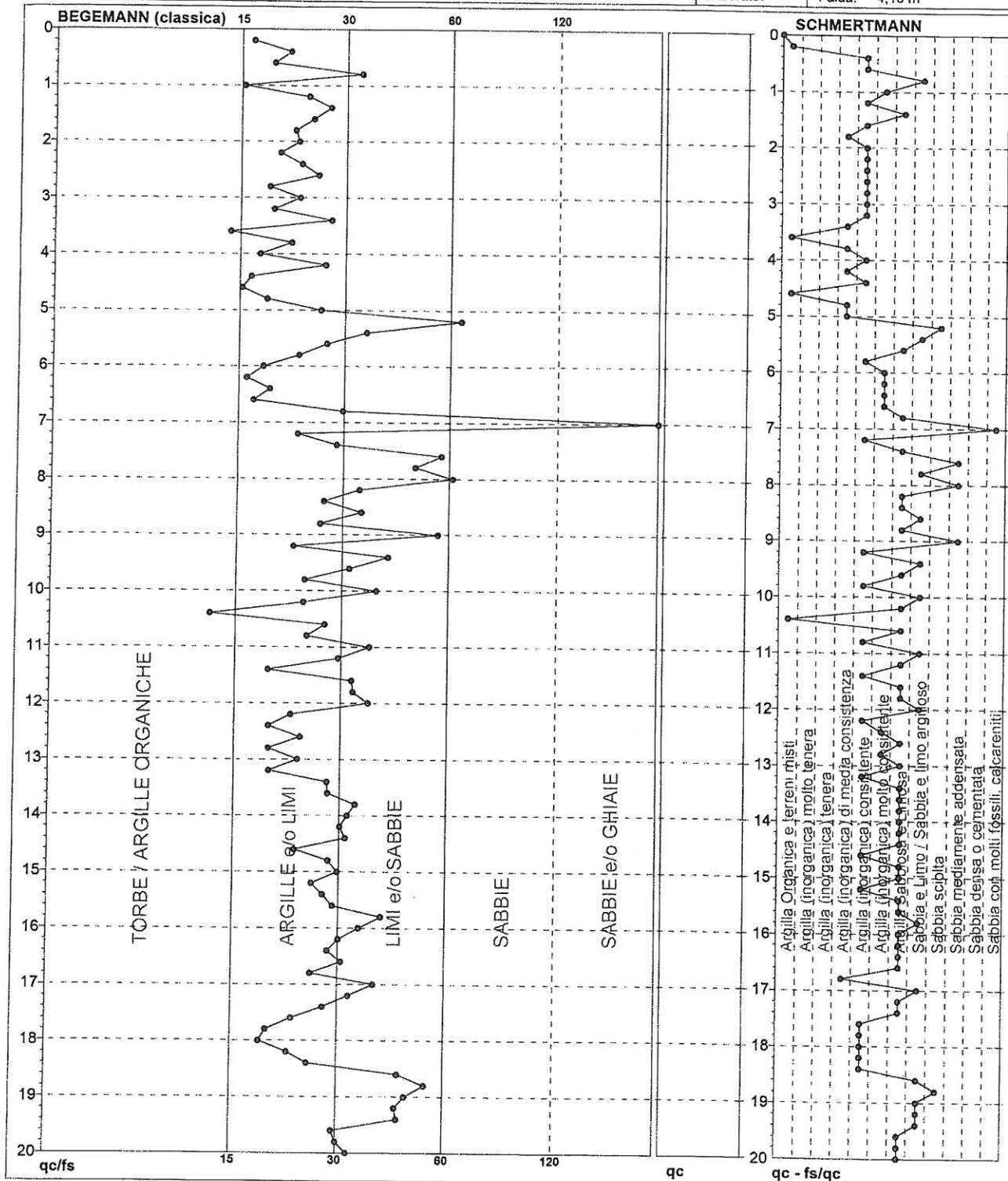
Pagina: 1

Elaborato:

Data esec.: 04/11/2013

Data certificato: 05/11/2013

Falda: -4,10 m



Torbe / Argille org. : 2 punti, 2,02%
Argille e/o Limi : 67 punti, 67,68%
Limi e/o Sabbie : 29 punti, 29,29%
Sabbie : 1 punti, 1,01%
Sabbie e/o Ghiaie : 1 punti, 1,01%

Lo sperimentatore:

Il direttore laboratorio:

FON000

**ALLEGATO N. 4****ACER CASTELMAGGIORE2063, CASTELMAGGIORE 1**

Strumento: TRZ-0144/01-11

Inizio registrazione: 31/10/13 16:04:09 Fine registrazione: 31/10/13 16:24:09

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

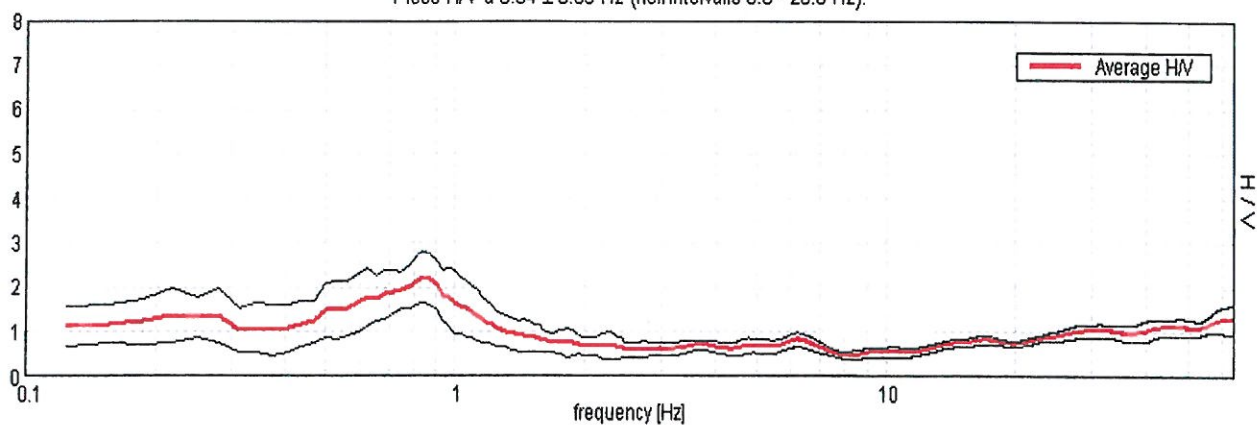
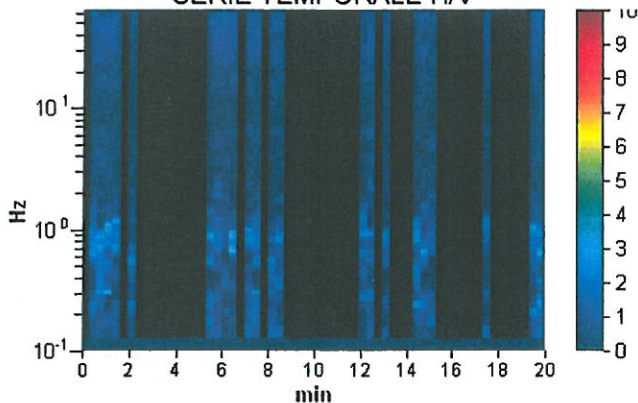
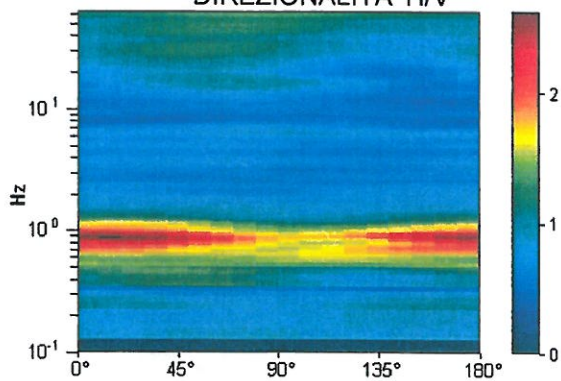
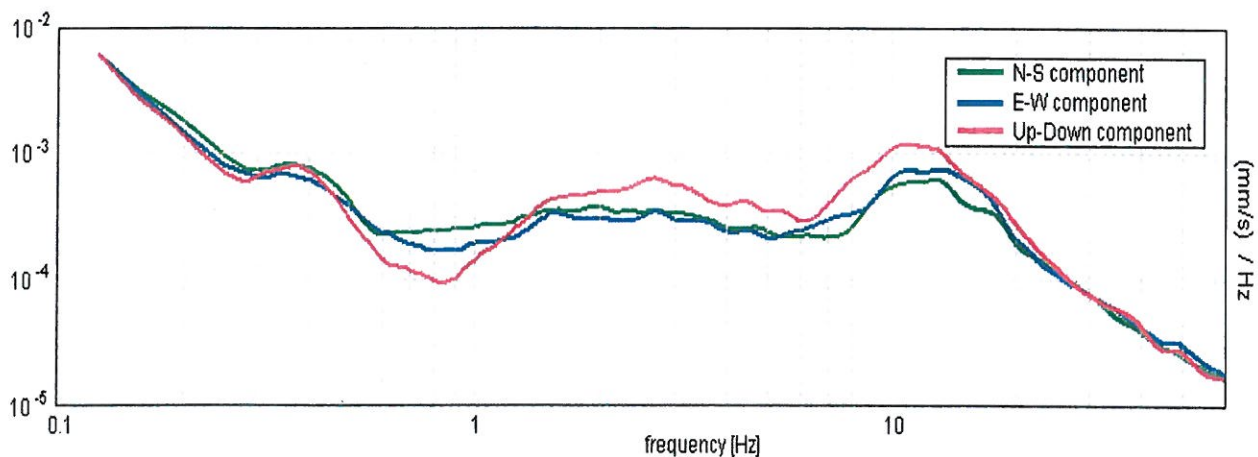
Analizzato 37% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

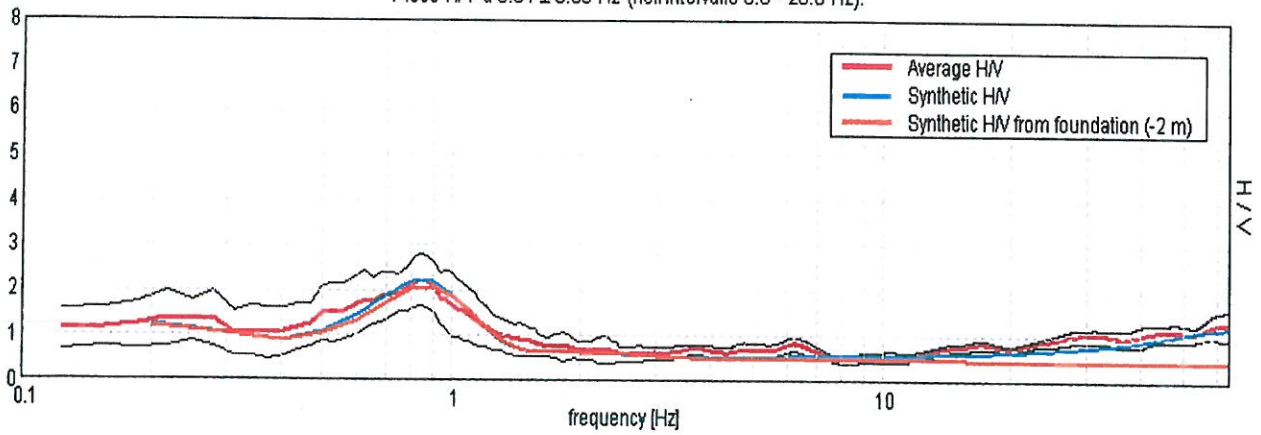
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALEPicco H/V a 0.84 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).**SERIE TEMPORALE H/V****DIREZIONALITA' H/V****SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI**



GEOPROGET

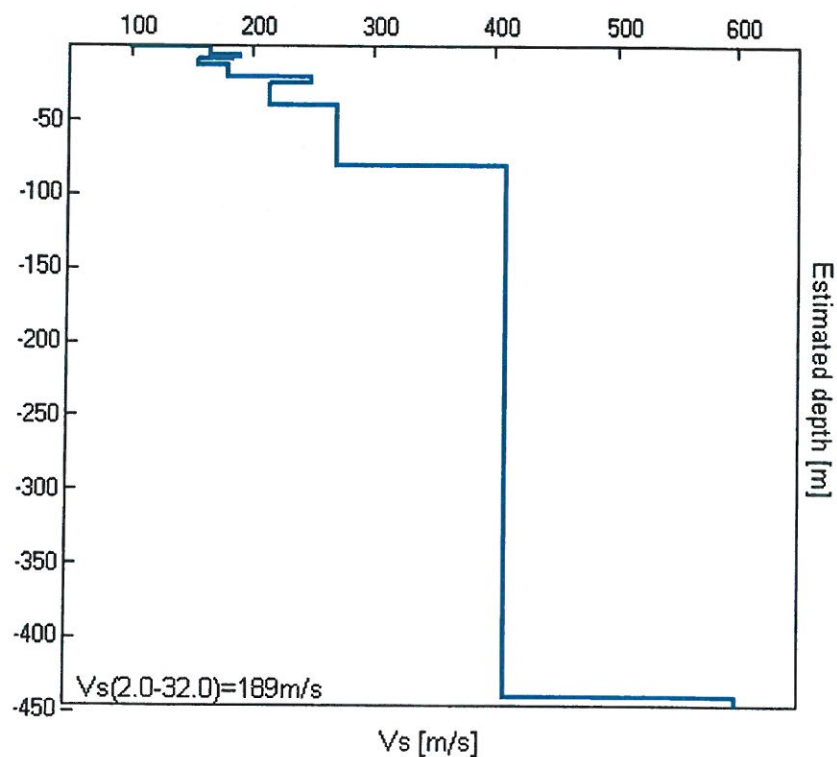
H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picco H/V a 0.84 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.35	0.35	100	0.40
6.35	6.00	165	0.40
7.85	1.50	190	0.40
8.85	1.00	183	0.40
12.85	4.00	155	0.40
20.85	8.00	180	0.40
25.85	5.00	250	0.38
40.85	15.00	215	0.40
80.85	40.00	270	0.40
440.85	360.00	410	0.38
inf.	inf.	600	0.35

$V_s(2.0-32.0)=189\text{m/s}$





Secondo le linee guida SESAME, 2005

Picco H/V a 0.84 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.84 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$371.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 42	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

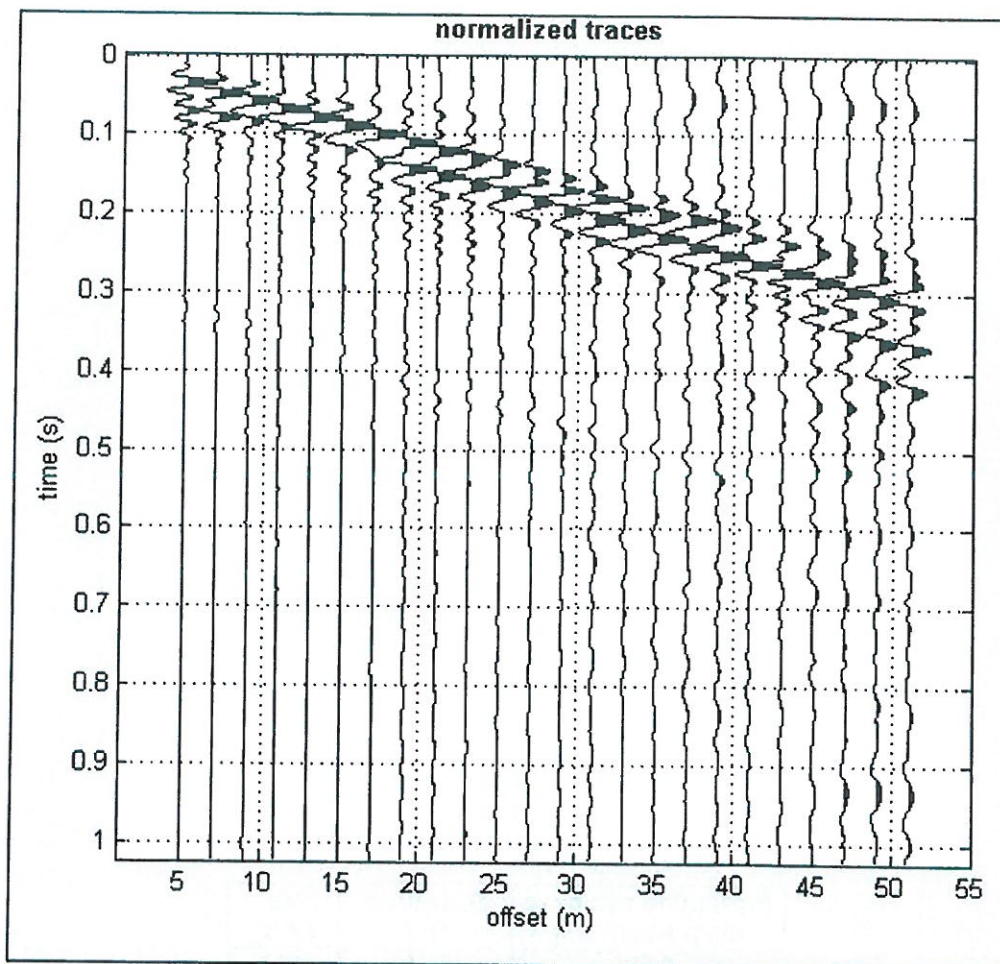
Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.406 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.25 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.23 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01597 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.01348 < 0.12656$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2651 < 2.0$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

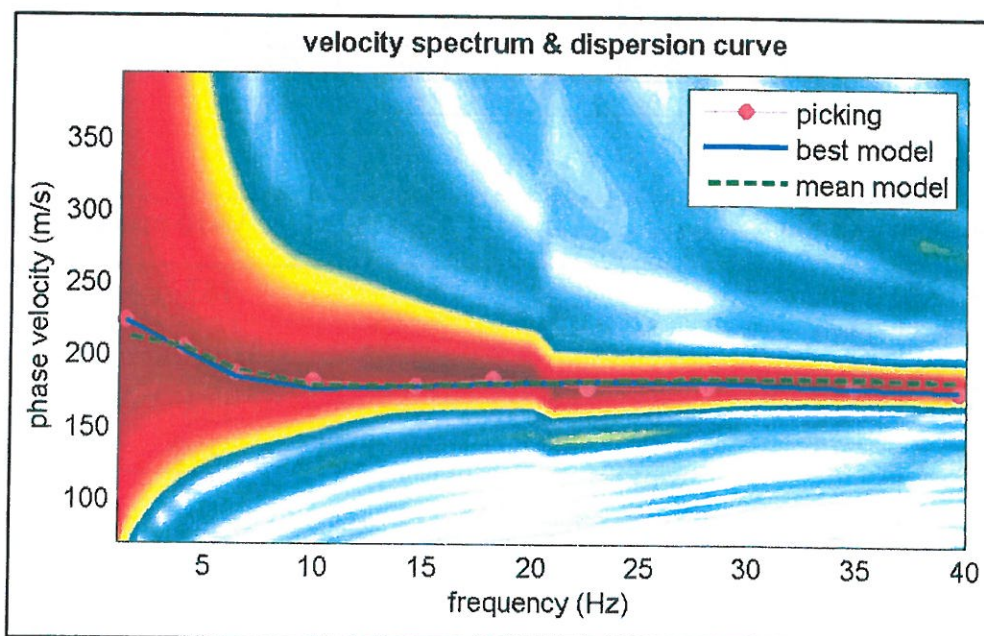
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

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

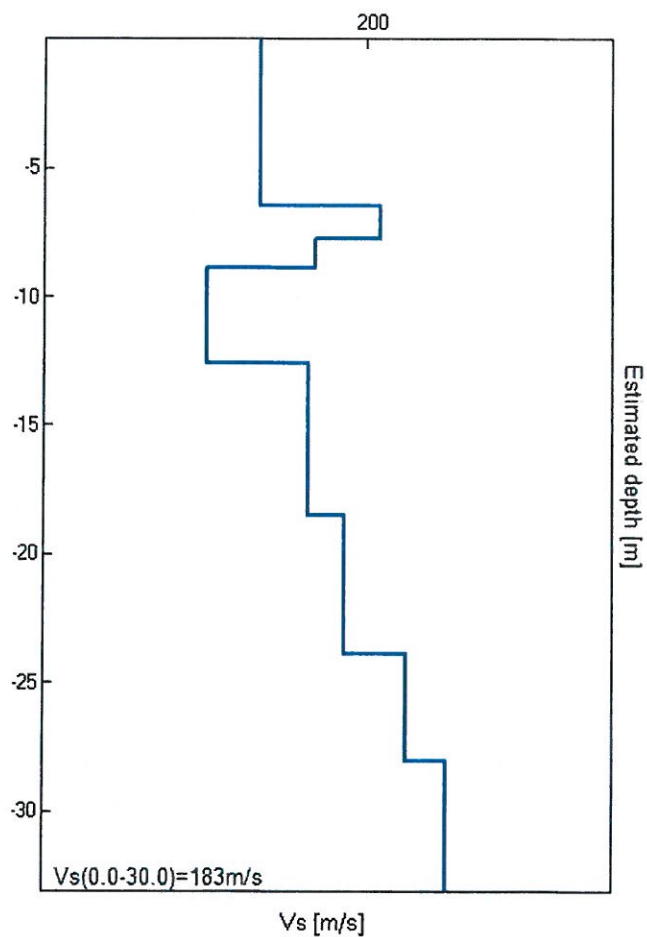
Acquisizione delle onde



Picking della curva di dispersione



CALCOLO VS



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
6.50	6.50	168
7.80	1.30	204
8.90	1.10	185
12.60	3.70	152
18.50	5.90	183
23.90	5.40	194
28.10	4.20	212
inf.	inf.	224

Profondità di calcolo	Vs30 m/sec.
0,00-30,00mt.	183
1,00-31,00mt.	185
2,00-32,00mt.	187
3,00-33,00mt.	188
4,00-34,00mt.	190