



Studio Tecnico
Associato

Via A. Cardarelli, 5
41124 Modena (MO)
Tel 059 359912
mail@forgeo.it



GEOLOGIA - GEOTECNICA - AMBIENTE
Modena - Via Placido Rizzotto, 50
Tel. 059 7102735 - Cell. 347 7407909
www.geologodettori.it

COMUNE DI FIORANO MODENESE

PROVINCIA DI MODENA

AMPLIAMENTO DI UN FABBRICATO PRODUTTIVO ALL'INTERNO DELLO
STABILIMENTO INDUSTRIALE "PANARIAGROUP" SITO IN VIA CAMEAZZO
N.21 A FIORANO MODENESE

- RELAZIONE GEOLOGICA
- RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI
- RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA

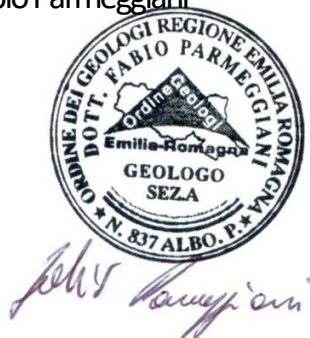
DITTA UTILIZZATRICE: PANARIAGROUP Industrie Ceramiche S.p.A.

PROPRIETÀ: Immobiliare Gemma S.p.A.

PROGETTO: Studio Tecnico Cuoghi Ing. Guerrino

settembre 2017

Dott. Geol. Fabio Parmeggiani



Dott. Geol. Francesco Dettori



INDICE

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. RELAZIONE GEOLOGICA: INQUADRAMENTO GENERALE	5
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
3.2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA	5
3.3 IDROGRAFIA DI SUPERFICIE E IDROLOGIA SOTTERRANEA	7
4. CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL SITO MEDIANTE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE	8
4.1 PROVE PENETROMETRICHE DPSH: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE	9
4.2 PROVE PENETROMETRICHE CPT: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE	9
4.3 PROVA MASW: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE	10
4.4 PROVA MICROTREMORE A STAZIONE SINGOLA: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE	12
4.5 SONDAGGI A CAROTAGGIO E PRELIEVO DI CAMPIONI	13
5. RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI	15
5.1 MODELLO LITOSTRATIGRAFICO-IDROGEOLOGICO DEL TERRENO DA PROVE PENETROMETRICHE	15
5.2 VALORI DI RESISTENZA DEL TERRENO DA PROVE PENETROMETRICHE	22
5.3 PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO DA PROVE PENETROMETRICHE	24
5.4 MODELLO IDROGEOLOGICO-LITOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO DA SONDAGGIO A CAROTAGGIO	26
5.5 VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI	31
5.5.1 INDICAZIONI IN MERITO ALLA PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI FONDAZIONE	31
6. RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE E PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO	32
6.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE: SISMICITÀ DEL TERRITORIO E CLASSIFICAZIONI	32
6.2 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO DAL PUNTO DI VISTA SISMOSTRATIGRAFICO	34
6.2.1 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA MASW	34
6.2.2 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA HVSR	36
6.2.3 MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO DA ANALISI CONGIUNTA MASW/HVSR	38
6.3 CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO AI SENSI DELLE NTC	39
6.4 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA IN SUPERFICIE	39
6.5 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO ATTESO IN SUPERFICIE DI CUI ALLE NTC 2008	41
6.6 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	42
7. CONCLUSIONI GENERALI	42

1. PREMESSA

Su incarico della Committenza e in accordo con i Tecnici Progettisti si è eseguito il presente studio, supportato da una specifica campagna di indagini geognostiche e geofisiche, per definire le condizioni geologiche, geotecniche e di risposta sismica locale del terreno di fondazione di un fabbricato produttivo da realizzarsi in ampliamento allo stabilimento industriale "Lea Ceramiche", sito in via Cameazzo n.21 a Fiorano Modenese.

Il documento focalizza l'attenzione su quegli aspetti geologici e di pericolosità sismica del territorio che influenzano la propagazione delle onde sismiche e possono provocare fenomeni di instabilità e liquefazione dei terreni. Lo studio è stato condotto ad un livello di approfondimento tale da valutare in maniera integrata tutte le interazioni potenzialmente negative.

Per determinare le suddette caratteristiche sono stati raccolti tutti i dati e le informazioni precedentemente acquisiti in occasione di indagini di settore o per la predisposizione di strumenti di pianificazione, tra cui cartografie topografiche, geologiche, geomorfologiche, ecc. e i risultati di prove geognostiche e geofisiche effettuate specificamente per l'area di interesse.

Il documento è suddiviso nelle seguenti parti:

- 1) RELAZIONE GEOLOGICA riguardante la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito;
- 2) RELAZIONE GEOTECNICA basata sulle indagini eseguite, la caratterizzazione e la modellazione del volume significativo di terreno interessato;
- 3) Relazione concernente la "RISPOSTA SISMICA DEL SITO" e verifica di possibili fenomeni di liquefazione e cedimento del terreno.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata eseguita in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento per il settore geologico e geotecnico e consultando gli strumenti di pianificazione comunale, provinciale e di bacino. Sono di seguito elencate le principali normative di riferimento:

- *Delibera Assemblea Legislativa (DAL) n.2193/2015, Art.16 c.1, L.R. 20/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica", di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n.112;*
- *Ordinanza n. 70 del 13 novembre 2012 del Presidente della Regione Emilia-Romagna in qualità di Commissario Delegato per la ricostruzione a seguito degli eventi sismici del 20 e 29 maggio 2012 "Approvazione Programma per gli studi di microzonazione sismica";*
- *P.T.C.P. 2009 della Provincia di Modena, approvato con Delibera del Consiglio Provinciale N. 46 del 18 marzo 2009;*
- *Circ. RER n.1288 del 11/03/1983 "Indicazioni metodologiche sulle indagini geologiche da produrre per i piani urbanistici";*
- *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Autorità di Bacino Po, approvato con D.P.C.M. 24/05/2001;*
- *L.R. 30 ottobre 2008, n. 19 "NORME PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO" e ss. mm. e ii.;*
- *D.M. 159/2006 e D.M. (infrastrutture) 14 gennaio 2008 recante "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" (G.U. n. 29 del 4 febbraio 2008) in vigore dal 1 luglio 2009;*
- *Circolare n.617 del C.S.-LL-PP del 2/2/2009 – Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni);*
- *UNI EN 1997-1-Eurocodice 7: "Progettazione geotecnica – Regole generali". Luglio 2007;*
- *UNI EN 1998-1-Eurocode 8: "Design of structures for earthquake resistance; Part. 5. Foundation, retaining structures and geotechnical aspect". December 2003;*
- *Associazione Geotecnica Italiana: "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica". Linee Guida. Ed. Marzo 2005;*
- *O.P.C.M. 3274 del 20.03.2003 "Classificazione sismica e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";*
- *Ordinanza n. 3316 – Modifiche e integrazioni O.P.C.M. 3274.*

3. RELAZIONE GEOLOGICA: INQUADRAMENTO GENERALE

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

Il terreno oggetto di studio è ubicato a nord dell'abitato di Fiorano Modenese, in area urbanizzata industriale periferica (**Figura 1**).

Da un punto di vista topografico la zona si trova nella Medio-Alta Pianura Emiliana. L'area, situata su di una zona sub-pianeggiante, è topograficamente posta alla quota di 114 m s.l.m., con un leggera pendenza verso nord-nord-est. Dal punto di vista cartografico l'area in esame è compresa:

- nella TAVOLA C.T.R. 219NE - denominata "Formigine" in scala 1:25.000 (**Tavola 1**).



Figura 1: Area di interesse da foto aerea tratta Google Earth

3.2 GEOLOGIA E GEOMORFOLOGIA

Dal punto di vista geologico e litologico la parte settentrionale di Fiorano Modenese è caratterizzata dall'affioramento di una litologia di superficie dominante, formata da depositi alluvionali appartenenti alla Successione del Margine Appenninico Padano (neogenico-quadernaria). In prevalenza si tratta di materiali sedimentati dai corsi d'acqua di minore importanza, le cui classi granulometriche sono comprese tra quelle delle argille e quelle delle sabbie. Localmente affiorano anche depositi ghiaiosi, la cui diffusione risulta molto discontinua, sia in senso orizzontale che verticale.

Dal confronto tra alcuni elaborati di prove penetrometriche e carotaggi della zona, l'area di interesse ricade su depositi prevalentemente limo-sabbiosi e argillosi sotto forma di orizzonti allungati in direzione N-S. Le granulometrie secondarie più grossolane ghiaioso-sabbiose si alternano costituendo delle lenti a diverso grado di addensamento, quasi mai scadente. Le lenti ghiaiose hanno spessore da decimetrico a metrico, generalmente in assottigliamento da sud a nord, dove chiudono in ragione di

strati a prevalente componente limosa. L'alternanza tra le litologie sedimentarie fini (limi e argille) e le litologie granulari (ghiaie e sabbie), sotto forma di lenti da centimetriche a plurimetriche, prosegue per oltre 40/50 m di spessore.

La *cartografia geologica e dei suoli*, tratta dal Servizio Sismico e Geologico della Regione Emilia-Romagna (**Fig. n.1**), riporta per la zona in studio l'affioramento di tre Unità litologiche principali. Da est verso ovest si rinviene la seguente successione:

AES7b - Unità di Vignola: questa Formazione affiora in direzione E rispetto l'area di interesse. Essa è costituita da "Ghiaie con matrice limo-sabbiosa, passanti a limi e limi sabbiosi. Deposito fluviale intravallivo. Copertura colluviale limosa e argillosa alla base dei versanti. Al tetto suoli decarbonatati con tracce di illuviazione di argilla e fronte di alterazione tra 1,5 e 2 m, orizzonti superficiali di colore da rosso bruno a bruno scuro. Contatto inferiore in discontinuità su unità più antiche. Potenza di alcuni metri. Pleistocene sup. - Olocene basale".

AES7a - Unità di Niviano: questa Formazione affiora sotto forma di lente allungata in direzione NNE/SSW e caratterizza marginalmente la porzione orientale e dell'area di interesse. Essa è costituita da "Depositi continentali ghiaioso sabbiosi o limosi dei terrazzi. Copertura colluviale limosa e argillosa alla base dei versanti. Al tetto suoli decarbonatati, a luoghi rubefatti, con fronte di alterazione fino a 5m, orizzonti superficiali con colore variabile a seconda della litologia da rosso bruno a giallo bruno. Contatto inferiore in discontinuità su unità più antiche. Potenza affiorante < 10 m o non valutabile. Pleistocene sup";

AES8 - Subsistema di Ravenna: questa Formazione è diffusa su tutta l'area oggetto di intervento. Essa è costituita da "Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m. Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni)":

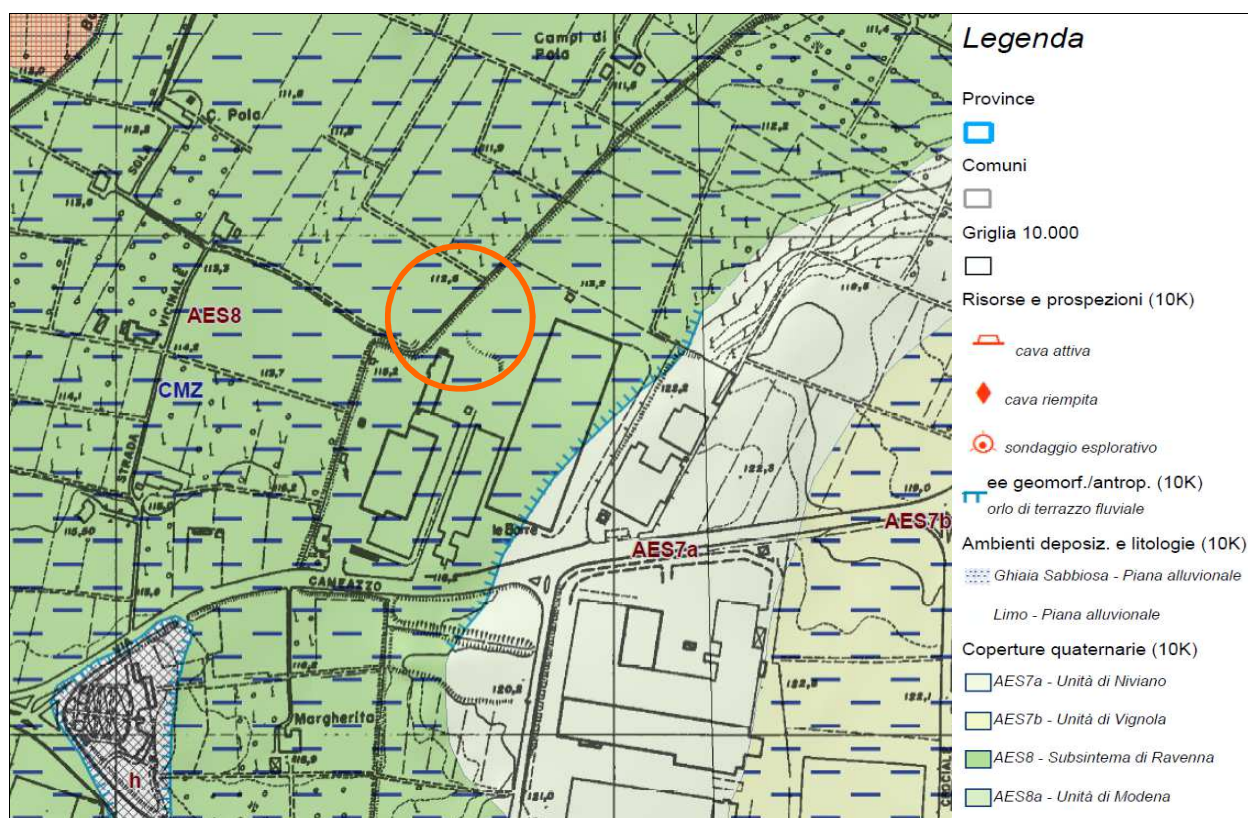


Figura 2: Carta Geologica. Scala grafica (da CARG Regione Emilia-Romagna)

Per quel che riguarda i lineamenti morfologici l'area di interesse è posta in una zona di medio-alta pianura e la morfologia è pressoché pianeggiante con una leggera pendenza in direzione N e acclività ridotta ($<3^\circ$). Raramente, e in corrispondenza dei corpi idrici principali, si riconoscono forme di erosione fluviale (come scarpate) o di deposizione (terrazzamenti).

A scala ridotta l'area presenta un orlo di terrazzo fluviale, disposto parallelamente al corso d'acqua del Torrente Fossa, di spessore e pendenza non trascurabili. Gli orli di scarpata fluviale sono comunque ben celati dall'alternarsi delle colture e dall'insediamento antropico. Nelle vicinanze non sono presenti morfologie associabili a depositi gravitativi.

3.3 IDROGRAFIA DI SUPERFICIE E IDROLOGIA SOTTERRANEA

Per quel che concerne l'idrogeologia, l'area di interesse ricade nel bacino idrografico del corso d'acqua del Torrente Fossa (affluente del Fiume Secchia), che corre a circa 600 m in direzione est. Non si segnalano altri corsi d'acqua degni di nota. L'idrografia di superficie si completa mediante un diffuso reticolo di canali di scolo ed irrigazione di modeste portate.

Le caratteristiche idrogeologiche dell'area sono direttamente correlabili con le variazioni litologiche dei depositi alluvionali. Le alluvioni ghiaioso-sabbiose dei fiumi principali e secondari, data la loro elevata permeabilità, sono veicolo per le acque superficiali di origine meteorica, che raggiungono velocemente la falda a pelo libero in profondità. Si possono riscontrare locali accumuli superficiali (falde sospese) sostenuti da lenti argilloso-limose. I livelli di soggiacenza della falda freatica da misurazioni di repertorio in pozzi e indagini geognostiche limitrofe, in parte catalogate dal Servizio Sismico e Geologico della Regione Emilia-Romagna e dall'Arpa Emilia Romagna, sono compresi tra 6 e 15 m di profondità. Le quote variano con l'andamento delle stagioni e ovviamente con le variazioni topografiche che si riscontrano tra le valli (falda più vicina alla superficie) e i dossi fluviali (più profonda).

4. CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL SITO MEDIANTE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

Una volta valutato l'intervento in progetto, in relazione alle criticità riscontrate nel primo livello di approfondimento, si è decisa una campagna di indagini atta a supportare i successivi gradi di approfondimento richiesti dalle normative di riferimento. La campagna di indagini è stata concordata con il Tecnico Progettista e ha previsto una distribuzione tale da essere rappresentative dell'intera area in esame. A tal fine sull'area di intervento si sono considerate le seguenti indagini:

- n. 4 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH, spinte fino al rifiuto strumentale (indicate con la sigla DPSH);
- n. 1 prova penetrometrica statica CPT per caratterizzare il terreno interessato dall'intervento dal punto di vista litostratigrafico e geomeccanico, approfondite fino al raggiungimento del tetto del primo livello ghiaioso;
- n.1 prova geofisica mediante la metodologia MASW multicanale per la determinazione della velocità delle onde di taglio fino a -30,0 m di profondità (V_{s30}), la determinazione della classe di sismicità del sito e la risposta sismica locale;
- n.2 prove di sismica passiva secondo il metodo HVSr per determinare il valore della frequenza di vibrazione naturale del terreno, individuare la presenza e la profondità del "bedrock sismico" e stimare il Fattore di Amplificazione Stratigrafica;
- n. 1 sondaggio a carotaggio continuo per scopi stratigrafici e geotecnici fino a -25,0 m dal p.c., con esecuzione di prove SPT (Standard Penetration Test).

L'ubicazione generale delle indagini considerate nel presente studio è riportata in **Figura n. 3**.

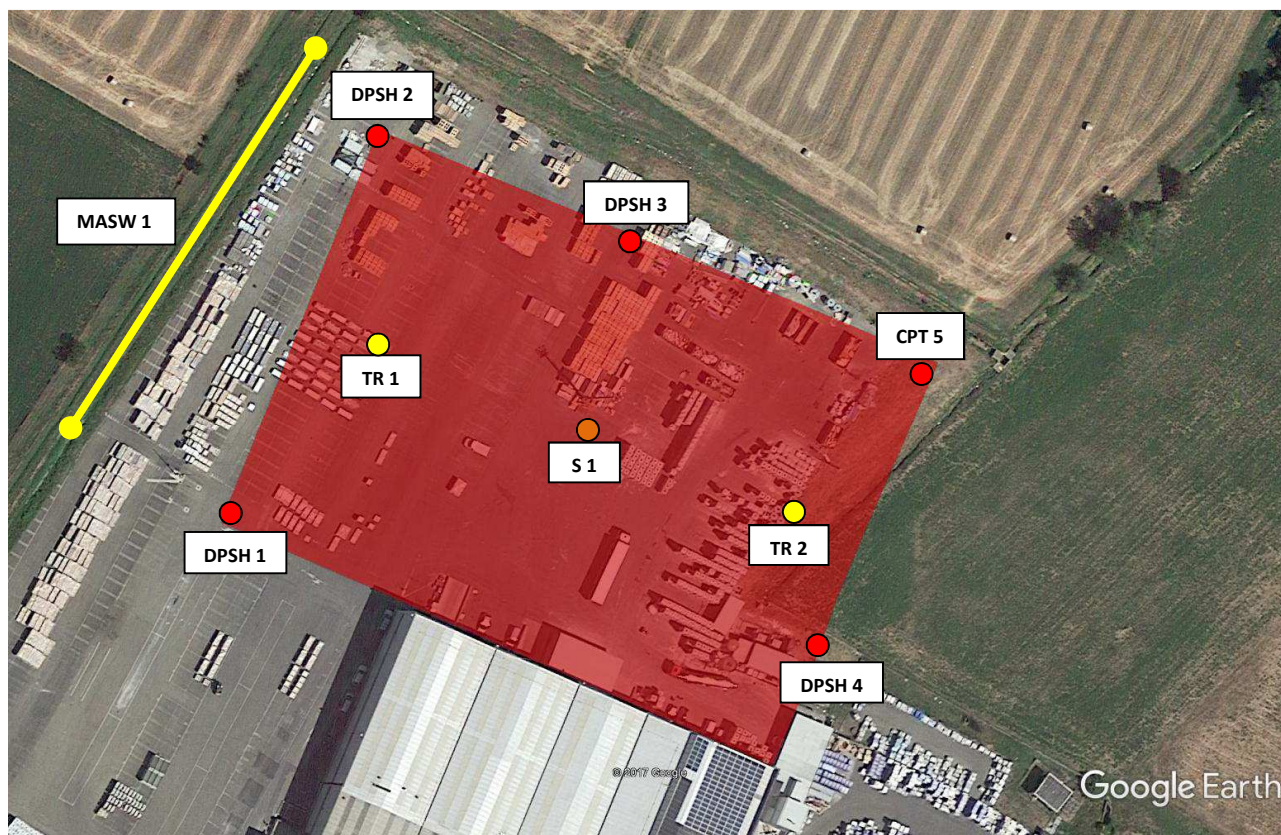


Figura n. 3: ubicazione indagini – DPSH= prove penetrometriche dinamiche; CPT= prove penetrometriche statiche; S= sondaggio a carotaggio continuo; MASW= indagine geofisica Masw; TR= indagine geofisica HV

4.1 PROVE PENETROMETRICHE DPSH: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE

L'attrezzatura utilizzata si compone di un penetrometro Pagani TG 63-100 montato su carro cingolato, ancorato al terreno mediante eliche, avente 10 ton di spinta (per prove statiche) e con maglio di battuta pari a 63,5 kg (per prove dinamiche).

PROVA DINAMICA: la prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo mediante un raffronto sulle consistenze dei livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii.

Lo strumento impiegato risponde alle norme ISSMFE (1988) - DPSH, le cui caratteristiche tecniche sono riassunte nella tabella che segue:

penetrazione standard	L = 0,20 m
massa maglio	M = 63,5 kg
Caduta	H = 0,75 m
diametro punta conica	D = 50,5 mm
Angolo di apertura punta	$\alpha = 90^\circ$

Per le prove eseguite è stato realizzato un modello grafico da cui si ottenuti i valori di resistenza dinamica alla punta (RPD) espressa in kg/cm^2 , per ogni 20 cm di terreno attraversato.

Alcune fasi delle indagini geognostiche sono riportate in **Figura n. 4**.



Figura 4: immagini delle prove penetrometriche DPSH

4.2 PROVE PENETROMETRICHE CPT: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE

L'attrezzatura utilizzata si compone di un penetrometro Pagani di 10 ton di spinta montato su carro cingolato, ancorato al terreno mediante eliche. Il dispositivo di misura consiste in una centralina di acquisizione digitale Pagani TGAS11, con certificato di calibrazione. Il segnale elettrico generato dalla cella di pressione durante l'infissione della CPT viene opportunamente condizionato e amplificato dalla centralina di acquisizione e visualizzato su di un display digitale a quattro cifre.

Le caratteristiche dello strumento impiegato per i sondaggi sono le seguenti:

- punta meccanica	Begemann;	- parametri registrati:	Rp (resistenza alla punta); Rl (resistenza attrito-laterale);
- spinta	100 kN;	- area punta	10 cm ² ;
- intervalli di misura	20 cm;	- angolo alla punta	60°.

La prova penetrometrica statica CPT (Cone Penetration Test) viene realizzata infiggendo nel terreno, alla velocità di 2 cm/sec, la punta meccanica Begemann. La punta presenta alla sua estremità inferiore un cono avente un angolo al vertice di 60°, un diametro alla base di 36 mm e quindi un'area di base di 10 cm². Esso supporta lungo il suo stelo un manicotto d'attrito, la cui superficie laterale è di 150 cm². I parametri geotecnici della prova sono stati ottenuti mediante la lettura di campagna relativa all'infissione della sola punta (Rp), e mediante la lettura dell'infissione della punta e del manicotto (Rl). Si sono ottenuti così i valori di resistenza alla punta (q_c) e di resistenza laterale locale (f_s), espressi in MPa, per ogni 20 cm di terreno attraversato. Dal rapporto q_c/f_s si è potuta effettuare una valutazione della litologia.

Alcune fasi delle indagini geognostiche sono riportate in **Figura n. 5**.



Figura 5: immagini delle prove penetrometriche CPT

4.3 PROVA MASW: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE

La prova MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) è stata eseguita con un sismografo multicanale della ditta PASI srl, mod. "SG24", dotato di 24 geofoni verticali con frequenza propria di 4,5 Hz.

Lo strumento è in grado di rilevare l'istante di energizzazione tramite geofono starter. È inoltre equipaggiato di software proprietario in grado di gestire tutte le operazioni di campagna attraverso le seguenti fasi:

- impostazione numero di canali, frequenza e lunghezza di campionamento;
- selezione entità dell'amplificazione del segnale per ogni canale;
- impostazione filtraggi delle frequenze indesiderate;
- visualizzazione sismogramma con misura dei tempi di arrivo;
- esecuzione operazioni di somma e sottrazione di ulteriori sismogrammi;

Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza del peso di 8 kg e una piastra di battuta di alluminio. L'indagine sismica di tipo MASW, consente la determinazione diretta della velocità delle onde

trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in modo da ottenere una corretta caratterizzazione della categoria sismica del sottosuolo dell'area indagata.

L'interpretazione delle tecniche di rilievo sismico MASW è basata sul fatto che la quasi totalità dell'energia sviluppata a seguito di un'energizzazione (circa 2/3) si propaga tramite onde superficiali (onde di Rayleigh).

A tale scopo Park et Alii (1999) hanno sviluppato il metodo MASW con l'utilizzo simultaneo di 24 (o più) geofoni (sismometri polarizzati verticalmente –freq. max 4,5 Hz) per consentire di ricavare numerosi profili di velocità Vs, dallo studio delle velocità di fase dei numerosi treni d'onda di Rayleigh. I geofoni possono essere spazati da 0,5 sino ad un max di circa 8-10 m e forniscono una ridondanza statistica delle misure delle velocità di fase. Le tracce dei sismogrammi permettono di distinguere ed evidenziare le onde di Rayleigh, caratterizzate da elevata ampiezza di segnale.

Dal sismogramma tramite una trasformata nel dominio frequenza (f) – numero d'onda (k) si può così risalire alla curva di dispersione (cioè un grafico ampiezza/frequenza) mediante la relazione: $VR(f)=f/k$. Il processo iniziale di individuazione della curva di dispersione caratteristica del sito è seguito da una fase di elaborazione-interpretazione detta "analisi spettrale". Si procede quindi a definire il modello sismo-stratigrafico del terreno seguendo una serie di passaggi, tra cui:

- fase di pre-processing per migliorare la qualità del dato acquisito;
- passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK;
- picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni frequenza dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK, finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell'onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori;
- estrazione curva di dispersione sperimentale mediante la procedura sopra indicata dallo spettro FK;
- inversione: tale procedura è avviata per ottimizzare un modello stratigrafico che sia sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale del sito; il programma utilizza una tecnica di inversione lineare che presenta il vantaggio di minimizzare l'errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici; Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d'inversione, con inserimento (eventuale) di strati, assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie di sondaggio, colonne di perforazioni di pozzi ecc.).



Figura 6: immagini della prova geofisica MASW

4.4 PROVA MICROTREMORE A STAZIONE SINGOLA: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE

Le misure puntuali ad alta risoluzione di sismica passiva eseguite con tromografo digitale sono finalizzate all'elaborazione degli spettri di base ed analisi HVSR del sottosuolo. Tale strumento misura il rumore di fondo e lo utilizza come funzione di eccitazione per identificare in maniera passiva, non invasiva e rapida le frequenze di risonanza del sottosuolo, che sono in relazione diretta con l'amplificazione sismica, oggi considerata da molti la prima causa di danno e distruzione durante un terremoto (Mulargia et al., 2007).

Il rumore di fondo (microtremore), presente ovunque sulla superficie terrestre ed associato sia a fenomeni atmosferici che all'attività antropica, è relativo ad oscillazioni molto piccole (10^{-15} m/s²), con componenti spettrali che vengono scarsamente attenuate nello spazio e misurabili con tecniche di acquisizione dette passive.

Tutte le onde elastiche dalla sorgente al sito, subiscono modifiche al loro tragitto ed attenuazioni in relazione alla natura del sottosuolo attraversato. Le informazioni stratigrafiche contenute nei microtremori sono sovrapposte al rumore casuale e possono essere estratte attraverso metodologie come quella di Nakamura dei rapporti spettrali (HVSR – horizontal to vertical spectral ratio). Tale tecnica è utilizzata per la determinazione dell'amplificazione sismica locale e per stimare le frequenze principali di risonanza del sottosuolo, dati molto utili anche per la progettazione ingegneristica delle strutture (Castellaro, 2012).

Il metodo considera i microtremori come composti in massima parte da onde di superficie (di Rayleigh) nelle componenti orizzontali e verticali, che vengono amplificate per effetto di sito a causa della presenza di discontinuità stratigrafiche nel sottosuolo. È quindi possibile ricostruire la forma spettrale del microtremore, in cui i picchi alle diverse frequenze rappresentano il rapporto tra la componente orizzontale e verticale dei segnali registrati.

Per la campagna di indagine è stato utilizzato uno strumento della SARA Electronic Instruments srl denominato Sara Geobox con sensore Sara SS45PACK, con sensore integrato da 4,5 Hz. L'acquisizione dei dati è stata effettuata alla frequenza di 300 Hz con un tempo di singola registrazione pari a 20 min. Le registrazioni sono state elaborate utilizzando un modulo del software "GeoExplorer HVSR" per la modellazione delle curve H/V nell'intervallo 0,0 – 128 Hz, impostando una larghezza delle finestre di analisi tra 25 e 40 secondi, e lisciamiento secondo una finestra triangolare con ampiezza pari al 20%. Di seguito le immagini dell'apparecchiatura e del posizionamento (**Figura n. 7**).



Figura 7: immagini della prova geofisica HV

4.5 SONDAGGI A CAROTAGGIO E PRELIEVO DI CAMPIONI

Al fine di caratterizzare nel dettaglio i terreni coinvolti nel progetto, si è eseguito un campionamento mediante un sondaggio a carotaggio continuo. L'indagine è stata eseguita con l'impiego di una sonda idraulica cingolata marca Boart Longyear, attrezzata con carotiere semplice (diam. 101 mm) e rivestimento foro in diametro 127 mm.

I carotaggi hanno consentito il prelievo di carote di terreno in continuità stratigrafica fino a 25 m di profondità. I campioni, sistemati in apposite cassette catalogatrici, possono essere classificati per qualità alla categoria Q1/Q2. Ciò ha consentito un buon riconoscimento litostratigrafico, granulometrico, del colore e delle fasi alterate dei minerali, della consistenza (anche mediante indagini speditive quali il "pocket penetrometer" e il "torvane test"), del grado di umidità e della presenza di inclusi quali sostanza organica, calcinoli o altro.

Durante la perforazione sono state eseguiti anche n.2 Standard Penetration Test (SPT), con lo scopo di valutare il grado di compattezza/addensamento dei terreni ghiaiosi attraversati. Si tratta di una prova che consente di determinare la resistenza offerta dal terreno alla penetrazione dinamica di una punta infissa a partire dal fondo foro del sondaggio.

Di seguito le immagini dell'apparecchiatura e del posizionamento (**Figura n. 8**).



Figura 8: immagini dell'esecuzione del carotaggio

5. RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI

La relazione geotecnica, intesa come l'insieme delle scelte progettuali, il programma e i risultati delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica, unitamente ai calcoli per il dimensionamento geotecnico delle opere e alla descrizione delle fasi e modalità costruttive, basa la sua struttura su una serie di indagini geognostiche e geotecniche, in sito ed in laboratorio.

La ricostruzione della stratigrafia del sottosuolo, finalizzata alla creazione dei modelli geologico e geotecnico, è stata ottenuta mediante un rilievo geologico-geomorfologico di superficie, la consultazione delle note bibliografiche disponibili, quindi acquisendo i dati di delle prove penetrometriche dinamiche DPSH e statiche CPT, spinte fino a rifiuto strumentale, e mediante un sondaggio a carotaggio continuo con prelievo di campioni di terreno, fino alla profondità di -25 m.

Durante l'esecuzione delle indagini non si sono riscontrate anomalie di funzionamento delle apparecchiature sia meccaniche che digitali.

5.1 MODELLO LITOSTRATIGRAFICO-IDROGEOLOGICO DEL TERRENO DA PROVE PENETROMETRICHE

A partire dallo studio bibliografico della geologia locale, correlato con i risultati del rilevamento geologico-geomorfologico di campagna e dall'elaborazione delle verticali di indagine è possibile riassumere la situazione geologica, litostratigrafica ed idrogeologica dell'area interessata dall'intervento, come segue (i rapporti numerici delle prove compaiono in **allegato**):

- il piazzale da cui si sono eseguite tutte le prove penetrometriche risulta rilevato rispetto al piano di campagna naturale e costituito da uno spessore variabile di terreno di riporto. Le prove DPSH 1, 2 e 3 hanno attraversato una pavimentazione asfaltata poggiante su di un sottofondo ghiaioso costipato, di spessore complessivo compreso tra 50 cm a 90 cm. Oltre tale quota è presente ancora terreno di riporto (di spessore non rilevabile) a matrice più fine e minore consistenza (si vedano i diagrammi di resistenza delle prove e la stratigrafia del carotaggio). La prova DPSH 4 così come la prova CPT 5 sono state eseguite al margine E e N-E del piazzale a partire da terreni eterogenei di riporto a consistenza minore. Si può stimare che la coltre complessiva del riporto abbia uno spessore crescente dal margine S-W verso il margine N-E, compresa tra 1,2/1,4 m fino oltre 3,0/3,5 m;
- il terreno naturale posto al di sotto del rilevato del piazzale è costituito da limo sabbioso debolmente argilloso fino alla profondità di circa -12 m. Il grado di consistenza è medio, medio-basso, con intervalli a bassa consistenza verso la base dello strato. Nei modelli stratigrafici che seguono, per uniformità nei valori di resistenza, sono stati accorpati con il termine "limo sabbioso" sia il terreno di riporto di base sia il terreno naturale limo sabbioso. In corrispondenza della prova DPSH 2, alla quota da -8,8m a -9,4m si è riscontrato un sottile livello a maggiore consistenza, probabilmente costituito da sabbia ghiaiosa;
- da -12 m a -15/-17,6 m di profondità è presente limo sabbioso alternato a lenti di argilla limosa organica, con una consistenza che varia da plastica, a medio consistente/consistente. Nelle prove DPSH si sono registrati valori crescenti di resistenza per un aumento dell'attrito offerto lungo la colonna di aste (resistenza apparente). Per questo intervallo si ritiene maggiormente affidabile il diagramma di resistenza ricavato dalla prova CPT;
- da -15/-17,6 m è presente ghiaia in matrice limo sabbiosa il cui addensamento ha mandato a rifiuto strumentale tutte le prove penetrometriche. Lo spessore e la consistenza di tale lente ghiaiosa verrà caratterizzato meglio nella stratigrafia del carotaggio che segue. L'andamento della quota del tetto della lente ghiaiosa fa intendere che vi sia un approfondimento graduale da ovest (-15 m) verso est (-17,6 m).

FALDA

Il monitoraggio del livello piezometrico misurato all'interno dei fori di sondaggio in data 27/09/2017 ha escluso la presenza di un livello acquifero superficiale:

misura DPSH 1:	misura DPSH 2:	misura DPSH 3:	misura DPSH 4:	misura CPT 5:
assente	assente	assente	assente	assente

Il rilievo nei punti di sondaggio ha carattere puntuale e comunque in stretta relazione con gli apporti meteorici, la stagionalità e il reticolo idrico presente in superficie. Al riguardo, non si esclude che possano essere presenti flussi di falda (anche transitori) in strati di terreno superficiali, come, ad esempio, all'interfaccia tra terreno di riporto e terreno naturale. In fase di progettazione si consiglia in ogni caso di prevedere interventi tecnici al fine di impermeabilizzare le parti di manufatto interrato.

Le verticali d'indagine possono essere rappresentate graficamente come segue (**Figure 9, 10, 11, 12, 13**):

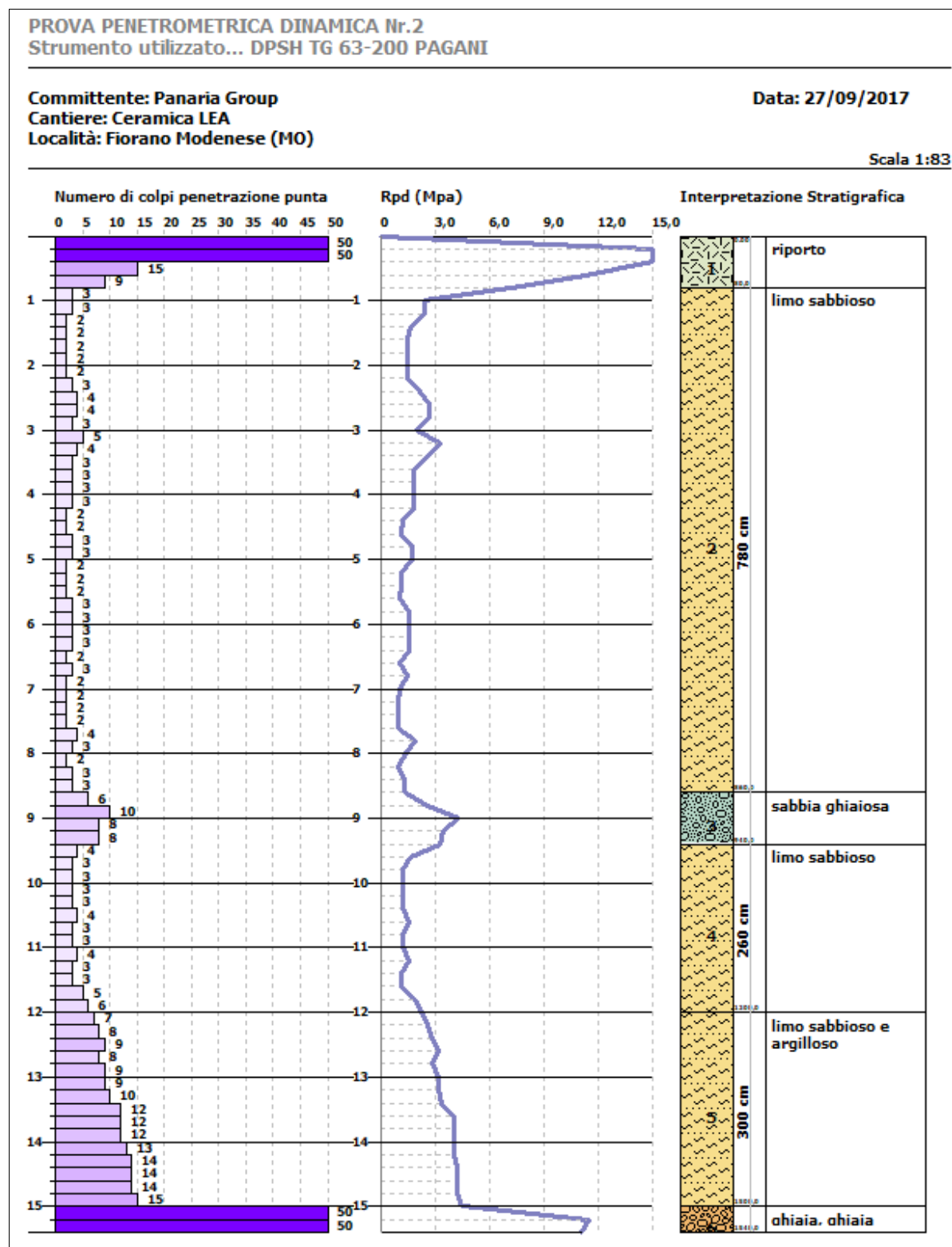


Figura 10: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica DPSH_2

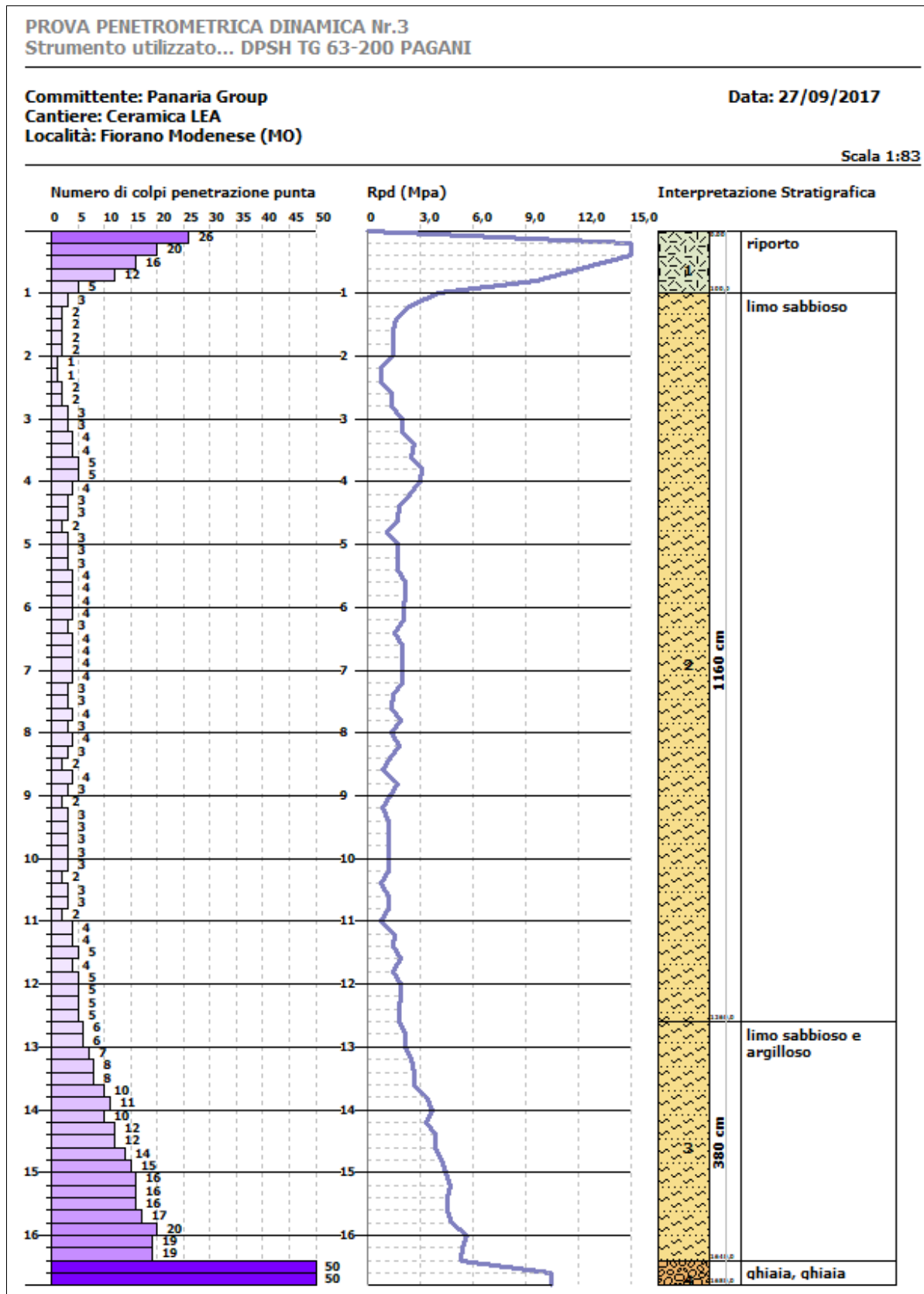


Figura 11: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica DPSH_3

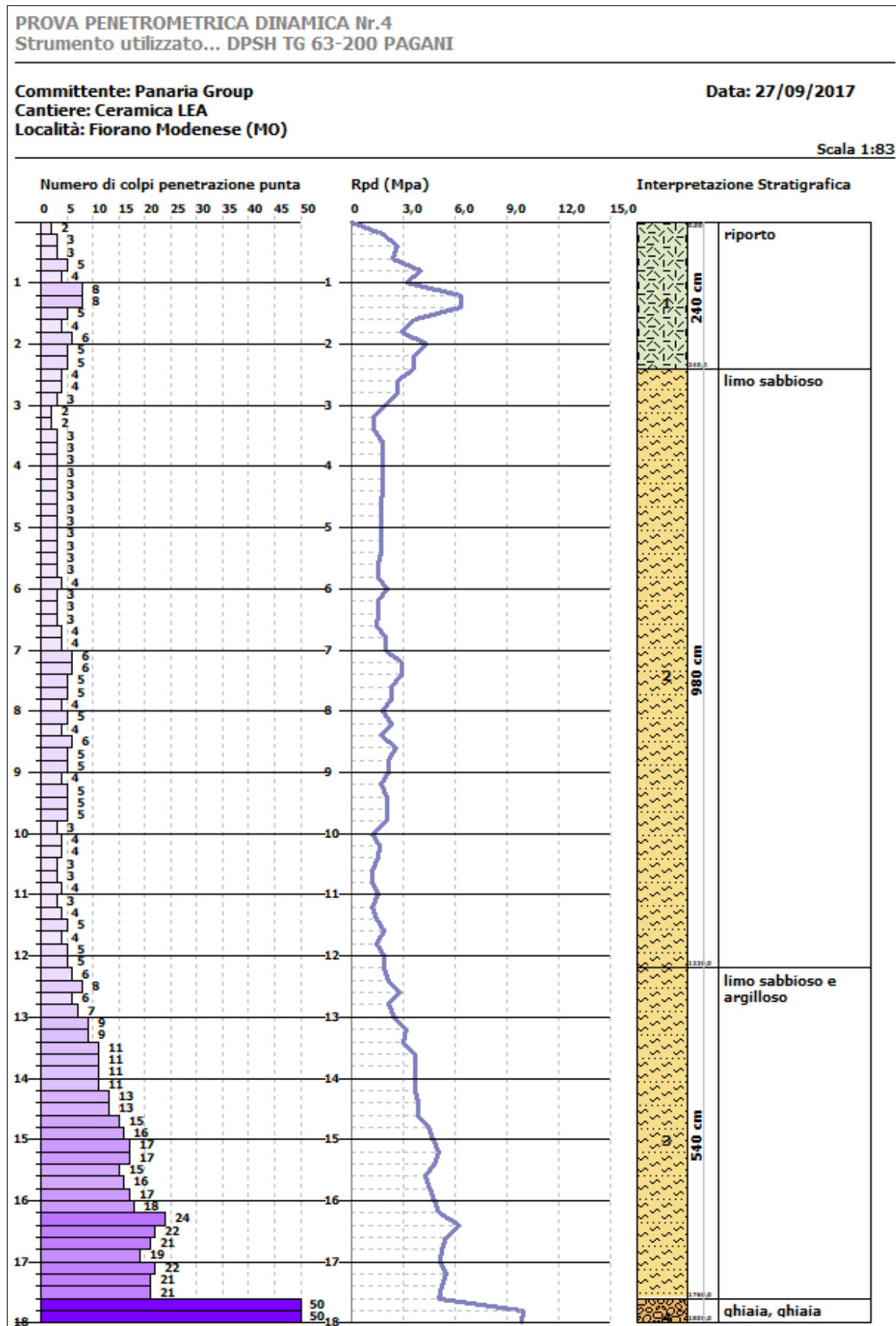


Figura 12: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica DPSH_4

5.2 VALORI DI RESISTENZA DEL TERRENO DA PROVE PENETROMETRICHE

La valutazione statistica dei dati numerici di resistenza tiene conto della suddivisione in strati del modello geologico descritto in precedenza. I criteri per la suddivisione del volume significativo in diversi strati sono di carattere stratigrafico-litologico, idrogeologico e di resistenza.

Le elaborazioni numeriche delle penetrometrie per conseguire informazioni geotecniche sono state supportate da un programma di calcolo della GeoStru Software, in licenza allo Scrivente. A partire dalla caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche si sono definiti i parametri di resistenza utilizzando la **Media** ovvero il valore statistico riferito alla media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato:

PROVA DPSH 1

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Gamma Medio (KN/m ³)	Tensione efficace (KPa)	Nspt	Descrizione
1	33,2	33,09	Incoerente - coesivo	23,52	12,26	48,8	riporto
12	3,36	2,23	Incoerente - coesivo	18,44	119,45	4,94	limo sabbioso
15,2	9,62	4,44	Incoerente - coesivo	22,06	246,54	14,14	limo sabbioso e argilloso
15,6	50	21,58	Incoerente	21,69	282,53	73,5	ghiaia, ghiaia sabbiosa

PROVA DPSH 2

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Gamma Medio (KN/m ³)	Tensione efficace (KPa)	Nspt	Descrizione
0,8	31	31,44	Incoerente - coesivo	23,52	9,81	45,57	riporto
8,6	2,74	2,03	Incoerente - coesivo	18,34	84,63	4,03	limo sabbioso
9,4	8	4,56	Incoerente	18,96	155,53	11,76	sabbia ghiaiosa
12	3,62	1,88	Incoerente - coesivo	18,44	184,11	5,32	limo sabbioso
15	11,07	5,11	Incoerente - coesivo	22,46	237,41	16,27	limo sabbioso e argilloso
15,4	50	21,98	Incoerente	21,69	271,83	73,5	ghiaia, ghiaia sabbiosa

Modello del Terreno - legenda e metodologia prova DPSH

I valori sono calcolati con queste formule:

N.DPM: media numero medio di colpi del penetrometro in uso

Rd: media resistenza dinamica alla punta (Formula degli Olandesi)

Nspt: correlazione con la prova SPT, $Nspt = \beta t N$ dove βt è un fattore che dipende da M (peso massa battente); M' (peso aste); H (altezza di caduta); A (area base punta conica); δ (passo di avanzamento).

Gamma = Peso di Volume medio (formula di Meyerhof)

PROVA DPSH 3

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Gamma Medio (KN/m ³)	Tensione efficace (KPa)	Nspt	Descrizione
1	15,8	15,72	Incoerente - coesivo	21,38	10,35	23,23	riporto
12,6	3,28	2,11	Incoerente - coesivo	18,44	120,22	4,82	limo sabbioso
16,4	12,74	5,62	Incoerente - coesivo	22,56	258,7	18,73	limo sabbioso e argilloso
16,8	50	20,42	Incoerente	21,69	301,47	73,5	ghiaia, ghiaia sabbiosa

PROVA DPSH 4

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Gamma Medio (KN/m ³)	Tensione efficace (KPa)	Nspt	Descrizione
2,4	4,83	4,46	Incoerente - coesivo	18,63	21,89	7,1	riporto
12,2	3,86	2,39	Incoerente - coesivo	18,44	130,26	5,67	limo sabbioso
17,6	14,67	6,34	Incoerente - coesivo	20,89	272,34	21,56	limo sabbioso e argilloso
18	50	19,72	Incoerente	21,69	331,76	73,5	ghiaia, ghiaia sabbiosa

Modello del Terreno - legenda e metodologia prova DPSH

I valori sono calcolati con queste formule:

N.DPM: media numero medio di colpi del penetrometro in uso

Rd: media resistenza dinamica alla punta (Formula degli Olandesi)

Nspt: correlazione con la prova SPT, $Nspt = \beta t N$ dove βt è un fattore che dipende da M (peso massa battente); M' (peso aste); H (altezza di caduta); A (area base punta conica); δ (passo di avanzamento).

Gamma = Peso di Volume medio (formula di Meyerhof)

PROVA CPT 5

Prof. base strato (m)	Qc Medio (MPa)	Fs Media (MPa)	Gamma Medio (KN/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
2,60	5,96	0,27	20,34	Incoerente-Coesivo	riporto
12,00	2,57	0,1	19,67	Incoerente-Coesivo	limo sabbioso
17,00	2,24	0,1	19,32	Incoerente-Coesivo	limo sabbioso e argilloso
17,40	28,67	0,14	21,61	Incoerente	ghiaia, ghiaia sabbiosa

Modello del Terreno - legenda e metodologia prova CPT

I valori sono calcolati con queste formule:

qc (RP) = $(LP \times Ct) / 10 \text{ cm}^2$ Resistenza alla punta **fs (RL)** = $[(LT - LP) \times Ct] / 150 \text{ cm}^2$ Resistenza laterale

Gamma = Peso di Volume (formula di Meyerhof)

LP=Lettura alla punta; LT=Lettura laterale; Ct=Cost.diTrasformazione; Ap=Superficie Punta(10cm²); Am=area del manicotto di frizione (150cm²)

5.3 PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO DA PROVE PENETROMETRICHE

I valori di resistenza meccanica del terreno hanno consentito la suddivisione in strati del terreno per la creazione di un **Modello Geotecnico** per ciascuna verticale di indagine. Il modello geotecnico tiene conto dell'insieme delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni coinvolti nell'intervento in progetto, entro un volume reputato significativo. Tutti i parametri e i valori di resistenza al taglio indicati sono stati estrapolati da una "stima ragionata e cautelativa" del dato sperimentale acquisito. Le elaborazioni numeriche per conseguire informazioni geotecniche sono state effettuate con il supporto di un programma di calcolo della GeoStru Software, in licenza allo Scrivente:

PROVA DPSH 1

Strato	Prof. (m)	Peso unità di volume (KN/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (KPa)	Modulo Edometrico (Mpa)	Modulo Elastico (Mpa)	Modulo di taglio G (Mpa)
Strato (1) riporto	0,00-1,00	23,52	--	--	--	--	--
Strato (2) limo sabbioso	1,00-12,00	18,44	23,61	47,17	5,12	4,84	28,61
Strato (3) limo sabbioso e argilloso	12,00-15,20	22,06	24,56	96,61	14,32	13,87	76,89
Strato (4) ghiaia, ghiaia sabbiosa	15,20-15,60	21,69	38,2	--	17,50	43,39	362,03

PROVA DPSH 2

Strato	Prof. (m)	Peso unità di volume (KN/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (KPa)	Modulo Edometrico (Mpa)	Modulo Elastico (Mpa)	Modulo di taglio G (Mpa)
Strato (1) riporto	0,00-0,80	23,52	--	--	--	--	--
Strato (2) limo sabbioso	0,80-8,60	18,34	22,77	38,34	4,21	3,95	23,63
Strato (3) sabbia ghiaiosa	8,60-9,40	18,96	28,28	--	5,06	13,12	64,66
Strato (4) limo sabbioso	9,40-12,00	18,44	23,93	50,80	5,50	5,22	30,68
Strato (5) limo sabbioso e argilloso	12,00-15,00	22,46	23,62	97,49	16,45	15,96	87,73
Strato (6) ghiaia, ghiaia sabbiosa	15,00-15,40	21,69	38,2	--	17,50	43,39	362,03

PROVA DPSH 3

Strato	Prof. (m)	Peso unità di volume (KN/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (KPa)	Modulo Edometrico (Mpa)	Modulo Elastico (Mpa)	Modulo di taglio G (Mpa)
Strato (1) riporto	0,00- 1,00	21,38	--	--	--	--	--
Strato (2) limo sabbioso	1,00- 12,60	18,44	23,5	45,99	5,00	4,73	27,96
Strato (3) limo sabbioso e argilloso	12,60- 16,40	22,56	23,76	91,62	18,91	18,37	100,14
Strato (4) ghiaia, ghiaia sabbiosa	16,40- 16,80	21,69	38,2	--	17,50	43,39	362,03

PROVA DPSH 4

Strato	Prof. (m)	Peso unità di volume (KN/m ³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (KPa)	Modulo Edometrico (Mpa)	Modulo Elastico (Mpa)	Modulo di taglio G (Mpa)
Strato (1) riporto	0,00- 2,40	19,63	23,32	68,06	7,28	6,96	40,24
Strato (2) limo sabbioso	2,40- 12,20	18,44	24,22	54,23	5,85	5,56	32,57
Strato (3) limo sabbioso e argilloso	12,20- 17,60	20,89	24,98	99,37	21,74	21,14	114,30
Strato (4) ghiaia, ghiaia sabbiosa	17,60- 18,00	21,69	38,2	--	17,50	43,39	362,03

PROVA CPT 5

Strato	Descrizione	Prof. base	Cu	Eu	Mo	G	Puv	PuvS	Fi
[1]	riporto	2,6	98,67	44,72	17,88	33,77	21,17	21,96	24,57
[2]	limo sabbioso	12	75,67	19,27	7,71	20,2	19,7	20,48	22,33
[3]	limo sabbioso e argilloso	17	73,67	16,77	6,72	18,57	19,34	20,13	21,63
[3]	ghiaia, ghiaia sabbiosa	17,4	--	--	43,01	88,18	18,63	21,57	36,98

Tabella - Modello Geotecnico del Terreno. Legenda:

Nr:	Numero progressivo strato	G:	Modulo di deformazione a taglio (Mpa)
Prof:	Profondità strato (m)	Puv:	Peso unità di volume (KN/m ³)
Cu:	Coesione non drenata (KPa)	PuvS:	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)
C':	Coesione efficace (KPa)	Fi:	Angolo di resistenza al taglio (°)
Eu:	Modulo di defomazione non drenato (Mpa)	Mo:	Modulo Edometrico (Mpa)

5.4 MODELLO IDROGEOLOGICO-LITOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO DA SONDAGGIO A CAROTAGGIO

Il sondaggio a carotaggio, mediante il prelievo e l'analisi di campioni di terreno in continuità stratigrafica, ha consentito un migliore dettaglio interpretativo della situazione idrogeologica e litologica del terreno di fondazione, fino alla profondità di -25 m.

Nelle immagini sottostanti si riportano le foto relative alle carote di terreno prelevate (**figura 14a-e**), mentre a seguire il modello descrittivo della stratigrafia del terreno (**figura 15**).



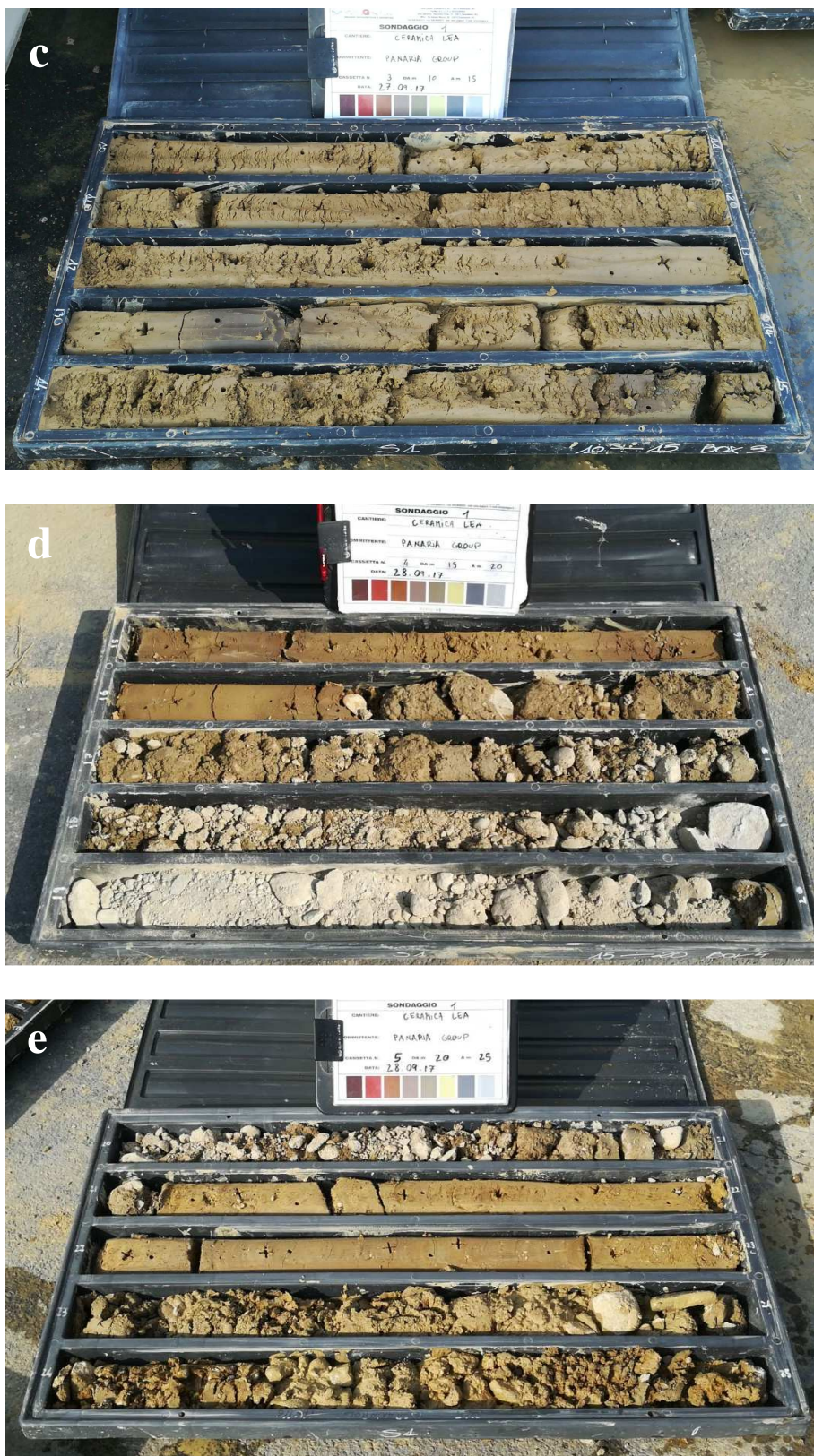


Figura 14a-e: foto campioni SONDAGGIO 1

RILIEVO LIVELLI ACQUA NEL FORO				COMMITTENTE: Panaria Group S.p.A.				S1			
PROFONDITA' FORO				PROGETTO:							
RIVESTIMENTO				LAVORO:							
SERA				MATTINA							
Data				Data							
18.00 m				18.00 m							
18.00 m				18.00 m							
25.00 m				25.00 m							
QUOTA BOCCAFORO:				BOART LONGVEAR							
COORDINATE BOCCAFORO:				BOART LONGVEAR							
OPERATORI				RESPONSABILE							
BARONE FRANCESCO				DETTORI FRANCESCO							
ATTREZZATURA				BOART LONGVEAR							
DESCRIZIONE STRATIGRAFICA				MANOVRA DI CAROTAGGIO							
COLONNA STRATIGRAFICA				% CAROTAGGIO TOTALE (T.C.R.)							
POTENZA (m)				% CAROTAGGIO MODIFICATA (R.Q.D.)							
PROFONDITA' (m da p.c.)				TORVANE (N/cm²)							
PERFOR. (cm/min)				TEST (kg/cm²)							
VELOCITA' DI PERFORAZIONE				POCKET PEN.							
FLUIDO DI RIVESTIMENTO				S.P.T.							
CORONA				MANOVRA DI CAROTAGGIO							
TIPO DI PERFORAZIONE				CAROTAGGIO							
ATTREZZO DI PERFORAZIONE				QUOTA							
METODO DI PERFORAZIONE				COMPLETAMENTO FORO							
A ROTAZIONE A CAROTAGGIO CONTINUO				CAMPIONI RIMANEGGIATI							
CAROTIERE SEMPLICE Ø = 101 mm				CAMPIONI INDISTRUZZI (SHELVY)							
TUBAZIONE METALLICA Ø = 127 mm				CAMPIONI PERMEABILITA' (LEFRANC)							
ACQUA				CAMPIONI IN FORO TIPO MENARD							
0.5											
1.0											
1.5											
2.0											
2.5											
3.0											
3.5											
4.0											
4.5											
5.0											
5.5											
6.0											
6.5											
7.0											
7.5											
8.0											
8.5											
9.0											
9.5											
10.0											

Figura 15: modello descrittivo della stratigrafia del terreno

[illegible]

figura 15: continua

[illegible]

5.5 VERIFICHE DELLA SICUREZZA E DELLE PRESTAZIONI

Il progetto strutturale deve tener conto del comportamento del complesso fondazione-terreno dovuto alla interazione tra il terreno naturale e la nuova struttura di fondazione. Sotto l'effetto dell'azione sismica di progetto, le strutture degli edifici devono mantenere una residua resistenza e rigidità nei confronti delle azioni orizzontali e l'intera capacità portante nei confronti dei carichi verticali. Inoltre, con particolare riferimento agli aspetti di carattere geologico, il sito di costruzione ed i terreni in esso contenuti dovranno essere esenti da rischi di instabilità di pendii e di cedimenti permanenti causati da fenomeni di liquefazione o eccessivo addensamento in caso di terremoto.

5.5.1 INDICAZIONI IN MERITO ALLA PROGETTAZIONE DEL SISTEMA DI FONDAZIONE

Lo studio svolto ha consentito di valutare le condizioni di resistenza e di stabilità generale dei terreni nell'area di interesse e, nello specifico, dei terreni interagenti con il manufatto in progetto.

Le indagini e i rilevamenti hanno evidenziato la presenza di una coltre di terreno superficiale di riporto eterogeneo che, fatta eccezione per la pavimentazione e primo sottofondo, presenta una distribuzione caotica del materiale naturale e antropico, talvolta a bassa consistenza. Si può stimare che la coltre complessiva del riporto abbia uno spessore crescente dal margine S-W verso il margine N-E, compresa tra 1,2/1,4 m fino oltre 3,0/3,5 m. Inoltre il rilevato di riporto non occupa per intero la superficie del nuovo fabbricato in quanto parte del margine orientale del manufatto ricade al di fuori del rilevato esistente.

Pur non avendo indicazioni circa i carichi trasmessi dalla nuova struttura al suolo, si ritiene che il terreno di riporto superficiale non fornisca adeguate garanzie di resistenza su tutta la superficie in ampliamento, nell'ipotesi di una struttura di fondazione superficiale (fondazione diretta). L'estrema eterogeneità sia stratigrafica sia delle caratteristiche fisico-meccaniche rende la struttura suscettibile di cedimenti differenziali nel tempo.

In quest'ottica sono da ipotizzare, per la struttura in progetto, diverse soluzioni tecniche tra cui il consolidamento del terreno superficiale di riporto ovvero l'approfondimento del piano di posa a quote >3,5 m, di cui in ogni caso si dovrà verificare la capacità portante.

L'ipotesi progettuale che fornisce le maggiori garanzie è quella dell'impiego di fondazioni profonde su pali. In questa ottica si è voluto eseguire il carotaggio che ha restituito importanti informazioni stratigrafiche e geotecniche fino a -25 m di profondità dal piano del piazzale. Per l'eventuale pre-dimensionamento di tale soluzione tecnica si rimanda ad un approfondimento da eseguirsi con l'Ingegnere Strutturista.

6. RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE E PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO

La componente pericolosità del rischio sismico dipende:

- dalle caratteristiche sismiche dell'area, cioè dalle sorgenti sismiche, dall'energia, dal tipo e dalla frequenza dei terremoti; questi aspetti sono indicati come "pericolosità sismica di base";
- dalle caratteristiche geologiche e morfologiche del territorio, in quanto alcuni depositi e forme del paesaggio possono modificare le caratteristiche del moto sismico in superficie e costituire aspetti predisponenti al verificarsi di effetti locali quali fenomeni di amplificazione o di instabilità dei terreni (cedimenti, frane, fenomeni di liquefazione); questi aspetti sono comunemente indicati come "pericolosità sismica locale".

6.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE: SISMICITÀ DEL TERRITORIO E CLASSIFICAZIONI

La pericolosità sismica di base, intesa in senso probabilistico, è lo scuotimento del suolo atteso in un dato sito con una certa probabilità di eccedenza in un dato intervallo di tempo, ovvero la probabilità che un certo valore di scuotimento si verifichi in un dato intervallo di tempo.

Questo tipo di stima si basa sulla definizione di una serie di elementi di input (quali catalogo dei terremoti, zone sorgente, relazione di attenuazione del moto del suolo, ecc.) e dei parametri di riferimento (scuotimento in accelerazione o spostamento, tipo di suolo, finestra temporale, ecc.).

La zonazione sismogenetica del territorio nazionale, chiamata ufficialmente ZS9, che identifica le zone sorgente a caratteristiche sismiche omogenee, elaborata da I.N.G.V. (2003), colloca l'area in oggetto nella zona sismogenetica **913**, ovvero in prossimità della zona sismogenetica 912. Le zone 913 e 912 sono quelle con un potenziale sismico tale da generare effetti non trascurabili nel territorio del Comune di **Fiorano Modenese**. Altre zone sismogenetiche al contorno vengono considerate poco influenti pur generando terremoti con magnitudo a volte anche elevata (ad es. la zona 915).

Le citate zone sono principalmente collegate a meccanismi focali compressivi e trascorrenti, che si originano nella Dorsale Ferrarese ma risentono anche dell'attività sismica del margine appenninico e, seppur in modo subordinato, della sismicità della zona alpina. Risultano secondari e subordinati i meccanismi focali distensivi.

Nell'ambito territoriale a cui appartiene il Comune di **Fiorano Modenese**, il Database Macrosismico Italiano DBMI15 (Locati, Camassi et alii, 2016) documenta eventi sismici aventi effetti con intensità massima = **7-8** (Danno -Danno grave). Gli eventi sismici di rilievo per l'area di interesse si sono verificati nel territorio Modenese, Lucchesia, parmense, la pianura emiliana, appennino reggiano, il Frignano e appennino modenese, con ipocentri concentrati maggiormente nei primi 15 km del sottosuolo (attività sismogenetica di tipo superficiale) e più di recente con la crisi sismica che ha colpito la bassa pianura modenese e ferrarese nel maggio-giugno 2012; la distribuzione degli ipocentri focali che si generano tra -15 e -40 km dal piano campagna, è simile a quella più superficiale ma contraddistinta da intensità e frequenza inferiori.

Con l'OPCM 3274/2003 (GU n.108) si è avviato in Italia un processo per la stima della pericolosità sismica secondo dati, metodi, approcci aggiornati e condivisi e utilizzati a livello internazionale. Il territorio nazionale è stato diviso in quattro zone sismiche caratterizzate da differenti valori dell'accelerazione orizzontale massima (ag/g) su suolo di categoria A. La riclassificazione sismica attribuisce il Comune di **Fiorano Modenese** alla **zona 2**, a cui corrisponde un'accelerazione orizzontale massima convenzionale su suolo di categoria A (riferita ad una probabilità di superamento del 10% in 50 anni espressa come frazione dell'accelerazione di gravità g) pari a **ag = 0,25g**.

L'OPCM 3519/2006 ha indicato i Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone. A tale ordinanza è allegata la Mappa di Pericolosità Sismica di riferimento a scala nazionale (progetto DPC-INGV-S1) nella quale è possibile

verificare che il territorio del Comune di **Fiorano Modenese** è compreso nell'area caratterizzata da valori dell'accelerazione massima al suolo (a_{max}), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($Vs30 > 800$ m/s; cat. A, All. 2, 3.1), compresi **tra 0,150 e 0,175 g**.

La Regione Emilia Romagna, in data 02-05-2007, ha approvato la Del. n. 112 "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica."; in All. A4 sono riportati i valori di accelerazione max, espressa sempre in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}), per ogni comune della Regione. Per il Comune di **Fiorano Modenese** risulta **$a_{refg}=0,162$** .

Con l'aggiornamento apportato dalla DGR n.2193/2015 la Regione Emilia-Romagna ha disposto che la pericolosità sismica sia valutata a partire dai valori di a_{refg} elaborati da INGV per il territorio nazionale, resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0,05 gradi, e disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, tema "Sismica – Microzonazione Sismica". Il valore di a_{refg} relativo al sito analizzato si ottiene interpolando i valori di a_{refg} definiti nei punti della griglia più prossimi al sito oppure utilizzando il valore del punto della griglia più vicino. A tal riguardo, per il sito di interesse si è ottenuto il valore **$a_{refg}=0,163$** .

Le Nuove NTC (2008), col sostegno dei risultati del progetto S1-INGV, consentono di definire la pericolosità sismica di base attraverso le forme spettrali per differenti periodi di ritorno T_R , a iniziare dai valori dei parametri:

a_g accelerazione orizzontale massima;

F_o 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.

Per la definizione della pericolosità si fa riferimento a 4 stati limite per l'azione sismica (SLO, SLD, SLV, SLC), al cui crescere fanno corrispondere una progressiva crescita del danneggiamento dell'insieme di struttura, elementi non strutturali ed impianti. A seconda delle caratteristiche prestazionali richieste alla generica costruzione si possono ricavare l'accelerazione del suolo a_g e le forme dello spettro di risposta di progetto per ciascun sito, costruzione, situazione d'uso, stato limite.

A partire dalle coordinate geografiche e caratteristiche prestazionali del manufatto di interesse, facendo riferimento alla media pesata dei valori che si riferiscono a quattro punti del reticolo che comprendono l'area in oggetto (coordinate espresse in ED50):

latitudine: 44,545703
longitudine: 10,830302
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 16501	Lat: 44,5550	Lon: 10,8250	Distanza: 1114,862
Sito 2	ID: 16502	Lat: 44,5565	Lon: 10,8952	Distanza: 5278,491
Sito 3	ID: 16724	Lat: 44,5066	Lon: 10,8973	Distanza: 6864,988
Sito 4	ID: 16723	Lat: 44,5050	Lon: 10,8272	Distanza: 4531,404

si è potuto risalire ai seguenti valori dei parametri e agli spettri di risposta per i diversi stati limite:

Operatività (SLO):			Danno (SLD):		
Probabilità di superamento:	81	%	Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	30[anni]		Tr:	50[anni]	
a_g :	0,052 g		a_g :	0,065 g	
F_o :	2,484		F_o :	2,493	
T_c^* :	0,253	[s]	T_c^* :	0,266	[s]
Salvaguardia della vita (SLV):			Prevenzione dal collasso (SLC):		
Probabilità di superamento:	10	%	Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	475[anni]		Tr:	975[anni]	
a_g :	0,163 g		a_g :	0,206 g	
F_o :	2,381		F_o :	2,385	

Tc*:	0,290 [s]	Tc*:	0,306 [s]
------	-----------	------	-----------

6.2 CARATTERIZZAZIONE DEL SITO DAL PUNTO DI VISTA SISMOSTRATIGRAFICO

Si è eseguita sul terreno oggetto di studio una campagna di indagine geofisica comprensiva di:

- n. 1 indagine sismica con metodo MASW di tipo attivo;
- n. 2 acquisizioni di sismica passiva con misurazione di microtremore a stazione singola TR.

L'indagine è stata svolta con l'obiettivo di determinare la sismostratigrafia dell'area di intervento, nonché la velocità ponderata delle onde sismiche di taglio nei primi 30 metri a partire da piano campagna (V_{s30}), in riferimento alla nuova classificazione sismica del territorio (N.T.C. 23/09/05), al D.M. 14/01/08 ("Nuove NTC") ed alla delibera G.R.E.R. n. 1677 del 24/10/05.

I dati ottenuti dalla prospezione sismica di superficie sono stati opportunamente tarati con dati stratigrafici e litologici presenti in bibliografia (pozzi, sezioni stratigrafiche ecc.) e delle prove penetrometriche eseguite in sito. Tali indagini hanno consentito la creazione del modello sismostratigrafico del terreno, la definizione del profilo di V_s con la profondità e quindi all'analisi di risposta sismica locale del suolo di fondazione.

6.2.1 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA MASW

La Base Masw, per le possibilità operative presenti in corrispondenza del sito di intervento, presenta la geometria come sotto indicato:

➤ Numero geofoni 24	➤ Spaziatura geofoni 2,0 m
➤ Lunghezza stendimento geofonico 46 m	➤ Distanza punto di shot da ultimo geofono 6,0 m
➤ Lunghezza complessiva 52,0 m	

I diagrammi di "dispersione Frequenza (Hz)/Vel. di Fase (m/s) con analisi spettrale (picking)" – e di "inversione" sono riportati in **figura 16**.

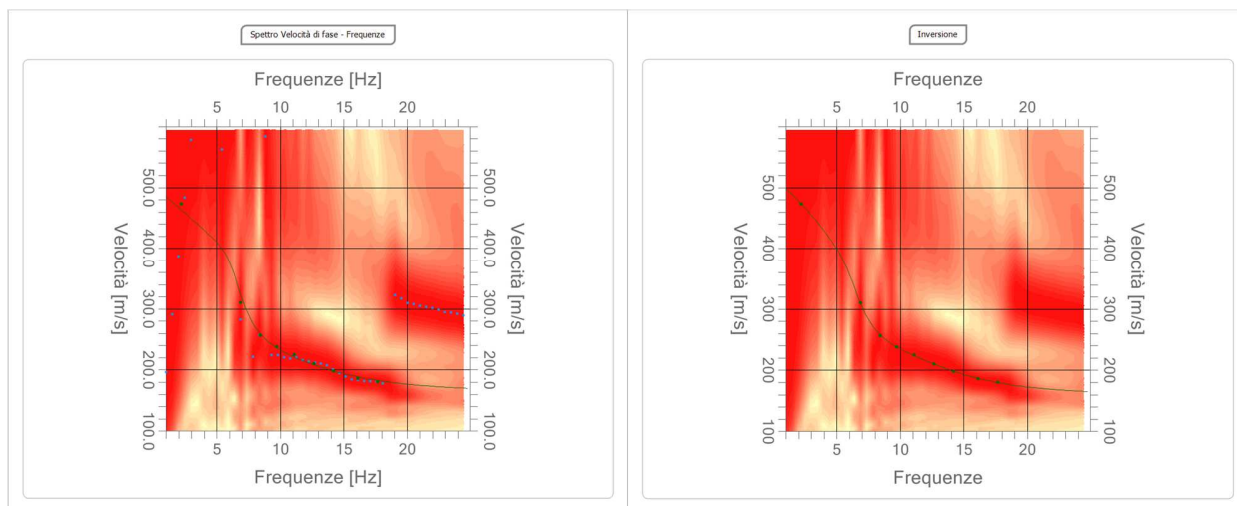


Figura 16: diagrammi della curva di dispersione e di inversione del sito in oggetto

Di seguito si riporta il modello sismostratigrafico in forma tabellare e l'andamento della curva delle onde S con la profondità (**figura 17**). I valori della velocità media delle onde di taglio V_s risultano:

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
3.72	3.72	170.47
5.32	1.60	195.14
9.08	3.76	270.34
17.75	8.67	289.96

00	00	555.68
----	----	--------

Ai vari sismo-strati è stato associato il valore della velocità V_s , consentendo di ottenere la seguente V_{s30} (velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo):

$$V_{s30} = \mathbf{312,87 \text{ m/sec}} \text{ (da p.c. a -30,0 m).}$$

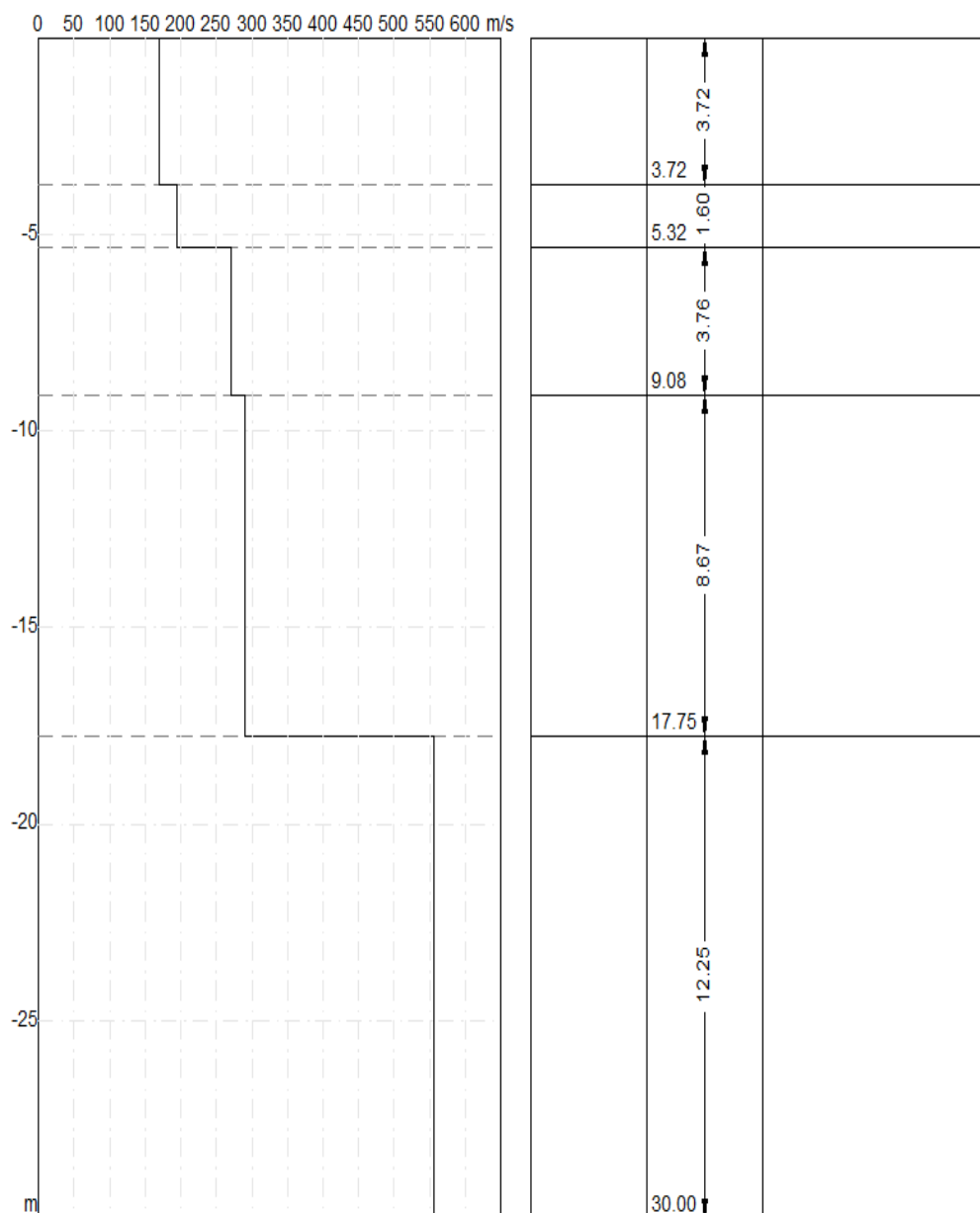


Figura 17: diagramma velocità V_s /profondità da prova MASW

6.2.2 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA HVSR

MISURA HV N.1

La misura HV n.1 con tromografo ha consentito di rilevare diversi picchi di frequenza tra cui è stata selezionata la seguente frequenza fondamentale (diagrammi in fig. 18):

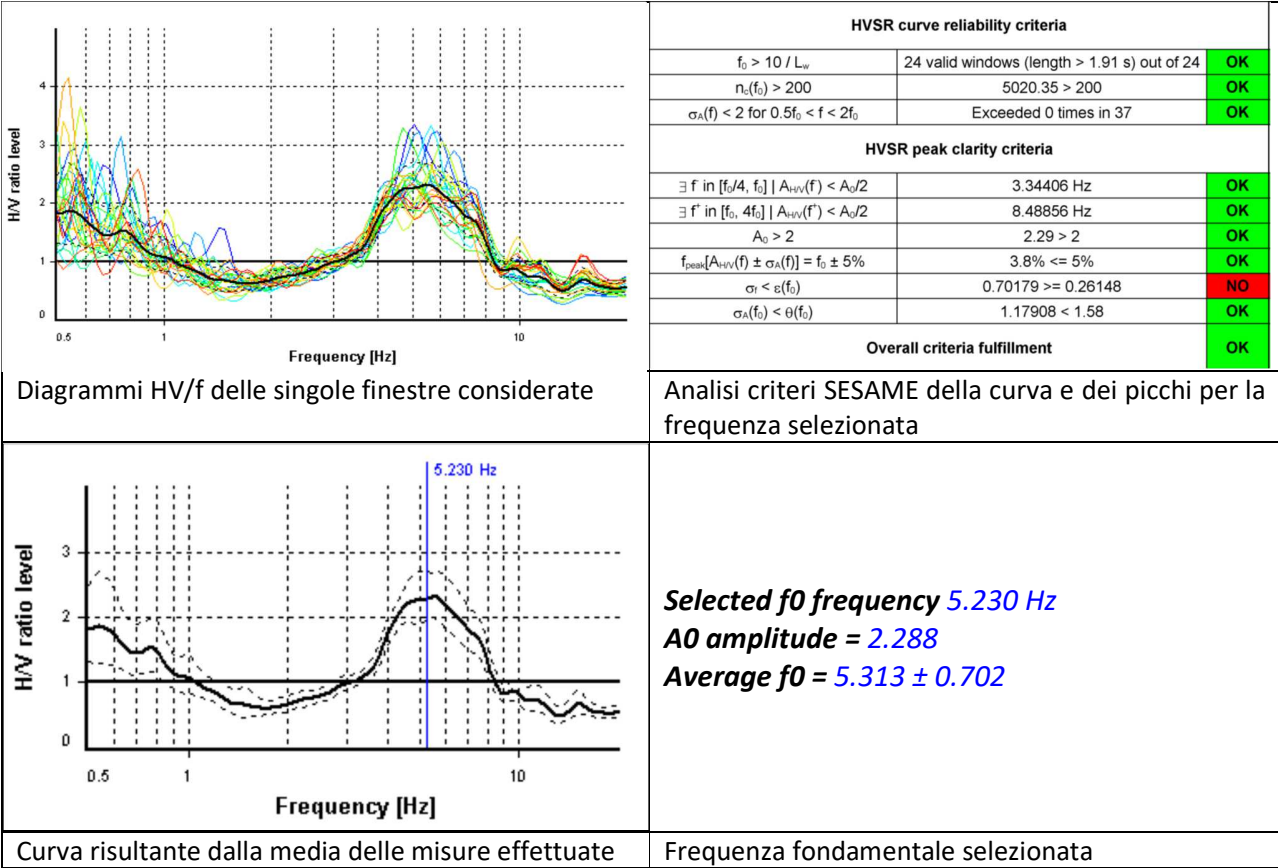


Figura 18: diagrammi HVSR/f delle singole finestre considerate e curva risultante dalla media delle misure effettuate, con evidenziata la frequenza di picco

Il massimo rapporto spettrale H/V, selezionato nel punto di indagine HV n.1, evidenzia una frequenza fondamentale del terreno compresa tra 5.2Hz< f_0 <5.4Hz, con un valore del rapporto H/V di circa 2,3. Questo picco corrisponde al passaggio fra due livelli alluvionali a differente composizione e rigidità a profondità compresa tra 15 m e 17 m (primo livello ghiaioso individuato). Altri picchi meno evidenti rappresentano superfici di contatto tra terreni alluvionali a differente rigidità e quota.

MISURA HV N.2

La misura **HV n.2** con tromografo ha consentito di rilevare diversi picchi di frequenza tra cui è stata selezionata la seguente frequenza fondamentale (diagrammi in **fig. 19**):

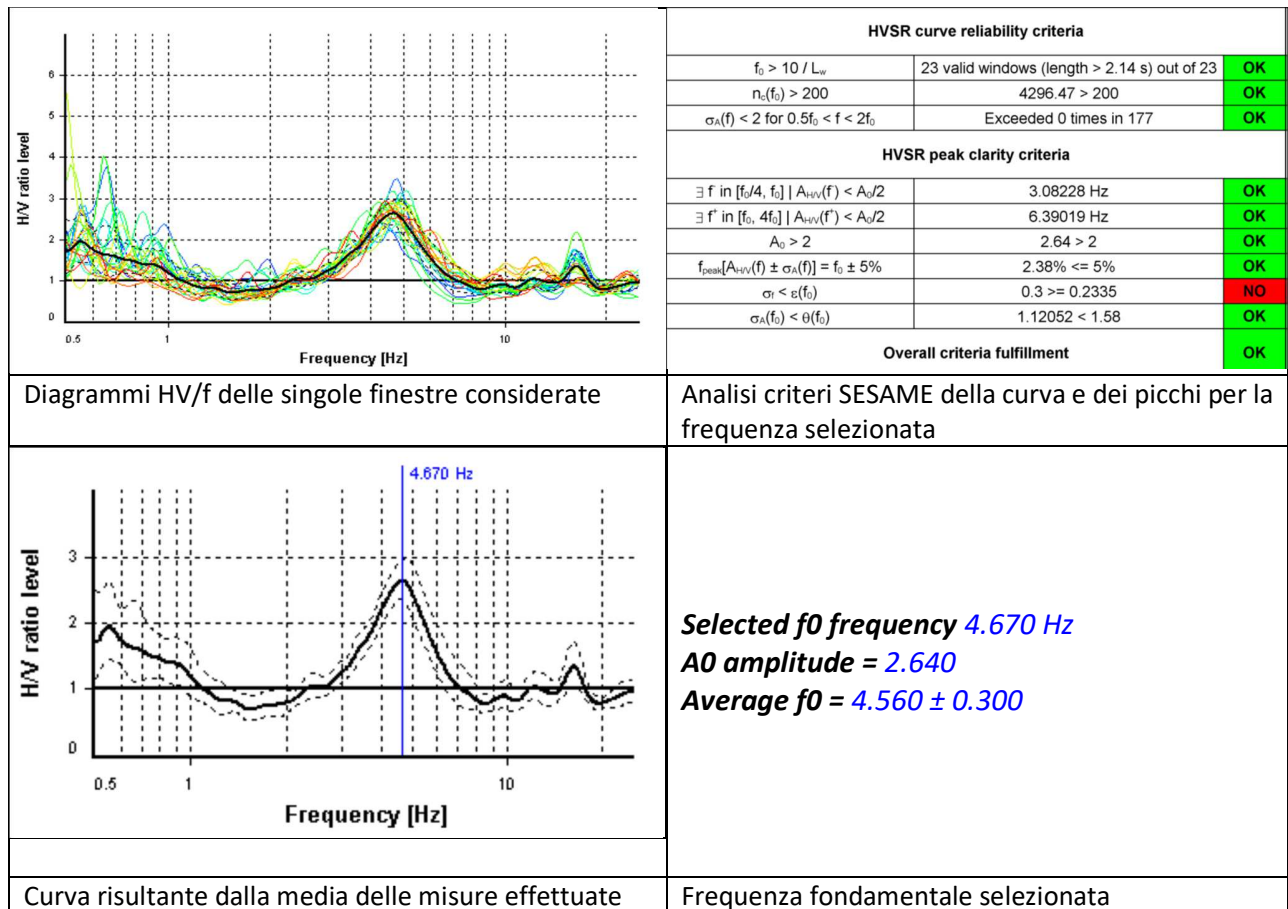


Figura 19: diagrammi HVSR/f delle singole finestre considerate e curva risultante dalla media delle misure effettuate, con evidenziata la frequenza di picco

Il massimo rapporto spettrale H/V, selezionato nel punto di indagine HV n.2, evidenzia una frequenza fondamentale del terreno compresa tra $4.5\text{Hz} < f_0 < 4.7\text{Hz}$, con un valore del rapporto H/V di circa 2,6. Questo picco corrisponde al passaggio fra due livelli alluvionali a differente composizione e rigidità a profondità compresa tra 17 m e 19 m (primo livello ghiaioso individuato).

Altri picchi meno evidenti rappresentano superfici di contatto tra terreni alluvionali a differente rigidità e quota.

Dal confronto tra le due prove HV si rimarca l'interpretazione stratigrafica evidenziata dalle penetrometrie, secondo cui vi sarebbe un approfondimento del tetto delle ghiaie da ovest verso est.

6.2.3 MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO DA ANALISI CONGIUNTA MASW/HVSR

Dai risultati delle indagini si desume che l'area indagata presenta caratteristiche sostanzialmente omogenee dal punto di vista della risposta sismica e che, rispetto alle lunghezze d'onda di interesse, il sottosuolo può essere assunto monodimensionale 1D. Di seguito si riporta la sovrapposizione tra la curva sperimentale e la curva sintetica HVSR, il modello sismostratigrafico congiunto MASW/HVSR e l'andamento delle curve delle onde P ed S con la profondità (figura 20).

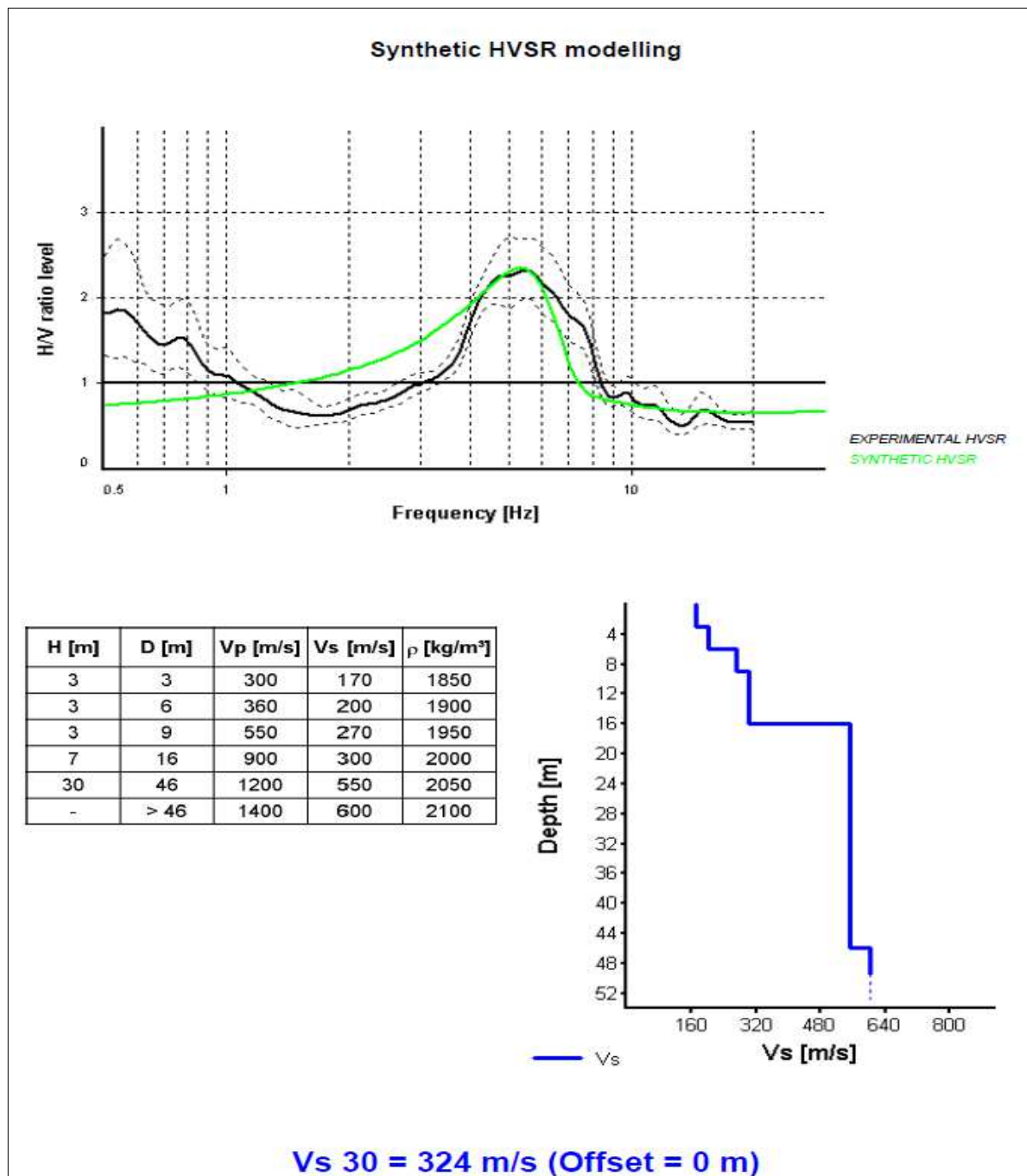


Figura 20: curva sperimentale e la curva sintetica HVSR, modello sismostratigrafico del terreno

6.3 CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO AI SENSI DELLE NTC

I risultati delle indagini geofisiche tra loro combinati hanno permesso la ricostruzione del modello di sottosuolo per l'analisi di risposta sismica locale riferita a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II e 3.2.III).

Dalle verifiche si evince che i valori di V_{s30} ottenuti corrispondono alla categoria del suolo di fondazione di **tipo C**. Tenuto conto della descrizione geotecnica, di cui alle Tabelle 3.2.II (categorie di suolo) e 3.2.III (categorie di suolo aggiuntive), contenuta nel D.M. 14/01/2008, si classifica il terreno di fondazione come appartenente alla **categoria C**, corrispondente a "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)".

6.4 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA IN SUPERFICIE

La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5%. Esso fornisce la risposta massima in accelerazione del generico sistema dinamico elementare con periodo di oscillazione $T \leq 4$ s ed è espresso come il prodotto di una forma spettrale per l'accelerazione massima del terreno.

La forma spettrale per le componenti orizzontali è definita mediante F_0 , insieme alle grandezze a_g , T_C . Per la componente verticale, invece, le uniche grandezze fornite in funzione della pericolosità del sito sono l'accelerazione massima, posta pari alla massima accelerazione orizzontale del suolo a_g , e l'amplificazione massima F_v , espressa come funzione di a_g .

L'accelerazione spettrale massima dipende dal coefficiente $S = S_S \times S_T$ che comprende gli effetti delle amplificazioni stratigrafica (S_S) e topografica (S_T). Per le componenti orizzontali dell'azione sismica, il periodo T_C di inizio del tratto a velocità costante dello spettro, è funzione invece del coefficiente C_C , dipendente anch'esso dalla categoria di sottosuolo.

DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICO

Gli effetti topografici sono legati alla configurazione topografica del piano campagna. La modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno va attribuita alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche ed all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello diffratto. I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza. Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.VI, NTC 2008):

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica	Fattore di amplificazione S_T
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	1,0
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$	1,2
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$	1,2
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$	1,4

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

Sulla base delle caratteristiche topografiche al contorno dell'area e della classificazione contenuta nelle NTC 2008, il sito di interesse appartiene alla **categoria T1** corrispondente a "superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".

DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICO

Per le componenti orizzontali dell'azione sismica il coefficiente S_s è definito nella Tabella 3.2.V delle NTC. Esso è il rapporto tra il valore dell'accelerazione massima attesa in superficie e quello su sottosuolo di categoria A ed è definito in funzione della categoria di sottosuolo e del livello di pericolosità sismica del sito (descritto dal prodotto $F_0 \cdot a_g$).

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

COEFFICIENTI SISMICI E ACCELERAZIONE MASSIMA IN SUPERFICIE A_{MAX} PER I DIVERSI STATI LIMITE

Sulla base delle caratteristiche litologiche e di risposta sismica riscontrate al contorno dell'area e della classificazione contenuta nelle NTC 2008, tenuto conto dell'accelerazione al suolo di riferimento, si riportano i seguenti **coefficienti sismici e accelerazione massima in superficie A_{MAX}** per i diversi stati limite:

SLO: Ss: 1,500 Cc: 1,650 St: 1,000 Kh: 0,016 Kv: 0,008 Amax: 0,767 Beta: 0,200	SLD: Ss: 1,500 Cc: 1,630 St: 1,000 Kh: 0,019 Kv: 0,010 Amax: 0,953 Beta: 0,200
SLV: Ss: 1,470 Cc: 1,580 St: 1,000 Kh: 0,058 Kv: 0,029 Amax: 2,354 Beta: 0,240	SLC: Ss: 1,410 Cc: 1,550 St: 1,000 Kh: 0,081 Kv: 0,041 Amax: 2,846 Beta: 0,280

6.5 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO ATTESO IN SUPERFICIE DI CUI ALLE NTC 2008

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR (v. § 2.4 e § 3.2.1).

Gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s. Per strutture con periodi fondamentali superiori lo spettro deve essere definito da apposite analisi ovvero l'azione sismica deve essere descritta mediante accelerogrammi. Analogamente si opera in presenza di sottosuoli di categoria S1 o S2.

A partire dalla categoria di sottosuolo **C** determinata per il sito in oggetto si definisce il seguente spettro di risposta elastico:

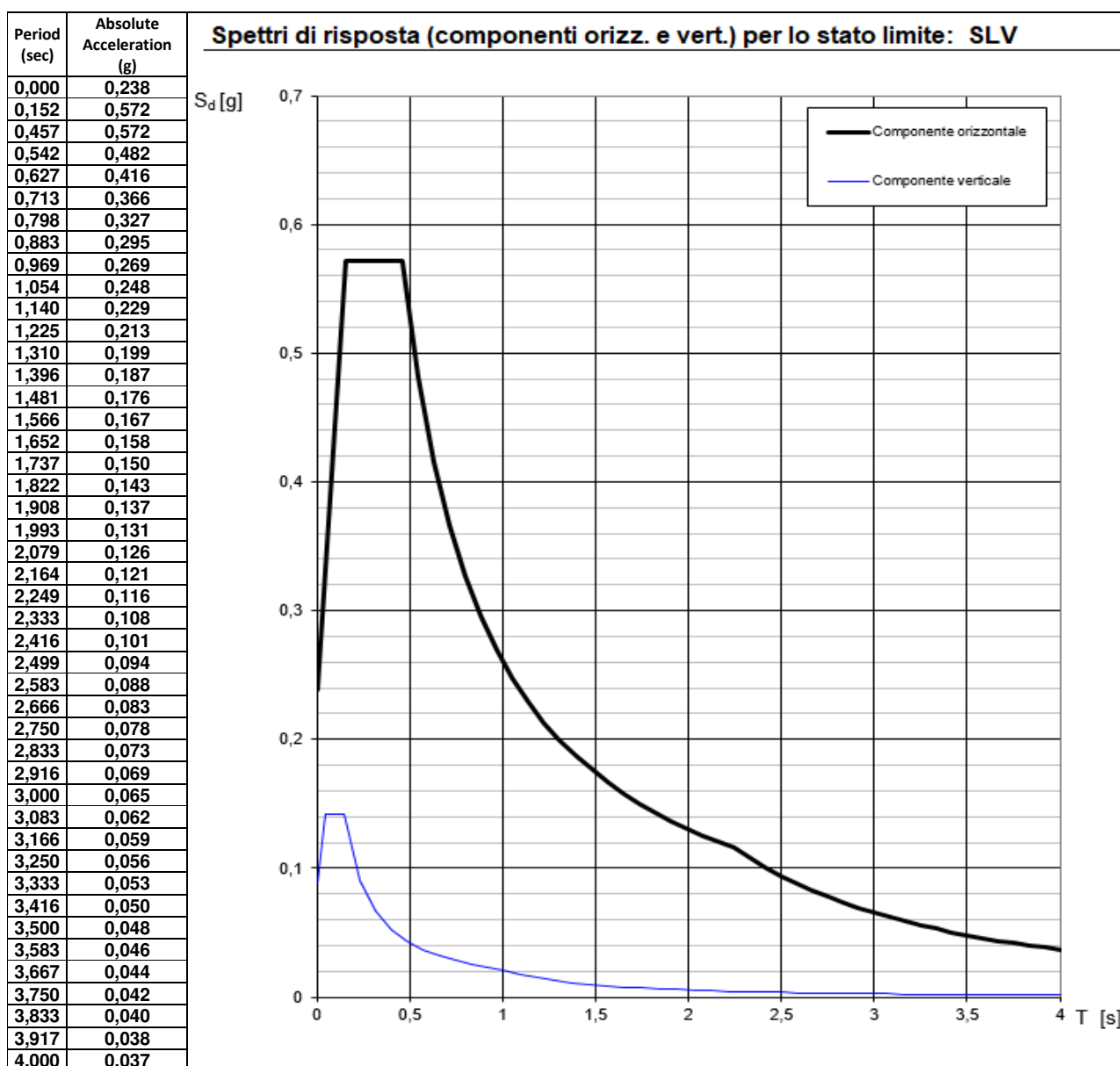


Figura 10: spettro di risposta relativo alla categoria di sottosuolo **C** definibile attraverso un approccio semplificato (NTC 2008)

6.6 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

Il termine liquefazione denota la circostanza, causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, caratterizzata da deformazioni permanenti significative o dall'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno. Il rischio di liquefazione deve essere valutato per tutti i terreni suscettibili di tale comportamento.

Nel sito in oggetto i terreni posizionati nei primi 20 metri dal piano di campagna corrispondono a depositi alluvionali coesivi e granulari mediamente consistenti, privi di falda. Seguono potenti orizzonti ghiaiosi con un grado di addensamento elevato. I livelli granulari sono sede di un acquifero da una profondità superiore a 15 m.

Sulla base delle predette considerazioni si definisce il terreno di fondazione, per caratteristiche idrogeologiche, litostratigrafiche e geomeccaniche, non suscettibile di liquefazione.

7. CONCLUSIONI GENERALI

I sopralluoghi e i rilevamenti effettuati hanno permesso di definire le condizioni geologiche, idrogeologiche, sismiche e di stabilità generale del terreno utili alla progettazione delle opere in oggetto.

La modellazione geologica e idrogeologica del sito attraverso indagini di dettaglio (penetrometrie e carotaggio continuo) ha evidenziato la presenza di **litologie naturali** coesive e granulari fini a cui seguono potenti strati incoerenti ghiaiosi, in concordanza con le caratteristiche dei depositi alluvionali in cui risiede l'area di interesse. Le litologie naturali sono sormontate da un **rilevato costituito da terreno di riporto** che sarà sede del manufatto in progetto. La coltre di terreno superficiale di riporto risulta eterogenea sia dal punto di vista stratigrafico sia geotecnico. Si può stimare che lo spessore del riporto possa variare tra 1,2/1,4 m, al margine S-W, fino oltre 3,0/3,5 m, al margine N-E.

La **falda** non è stata rilevata nell'area di intervento fino alla quota raggiunta dalle prove. I livelli di soggiacenza della falda freatica rilevata in pozzi limitrofi, catalogate dal Servizio Sismico e Geologico della Regione Emilia-Romagna e dall'Arpa Emilia Romagna, sono compresi tra 15 e 25 m di profondità. I valori di resistenza del terreno registrati durante le penetrometrie, uniti ai dati delle prove speditive sulle carote di terreno e alle prove SPT, sono di supporto alla creazione di un **Modello Geotecnico** per il sito di riferimento, da impiegare nelle verifiche geotecniche ai sensi delle NTC 2008.

La caratterizzazione geofisica del suolo di fondazione è stata supportata da una doppia indagine sismica HVSr e da una indagine geofisica MASW appositamente eseguite nell'area di intervento. Il risultato dei rilievi geofisici ha consentito di classificare il terreno di fondazione appartenente alla **categoria C**, ai sensi del DM 14-01-08 Norme Tecniche per le Costruzioni.

I rilievi geofisici hanno consentito l'**Analisi di Risposta Sismica Locale**. Si è quindi stimata l'amplificazione del moto in superficie rispetto al bedrock, in funzione della frequenza, e si è definito lo spettro di risposta dell'oscillatore armonico tipo ad un grado di libertà, in funzione del periodo proprio della struttura e per uno smorzamento tipico del 5%.

Il livello di approfondimento è stato espletato anche con la finalità di valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale delle aree potenzialmente instabili e liquefacibili presenti nell'area oggetto di intervento.

Pur non avendo indicazioni circa i carichi trasmessi dalla nuova struttura al suolo, si ritiene che il terreno di riporto superficiale non fornisca adeguate garanzie di resistenza su tutta la superficie in ampliamento, nell'ipotesi di una struttura di fondazione superficiale (fondazione diretta). L'estrema

eterogeneità sia stratigrafica sia delle caratteristiche fisico-meccaniche rende la struttura suscettibile di cedimenti differenziali nel tempo.

Si ritiene che l'ipotesi progettuale che fornisce la maggiore sicurezza è quella dell'impiego di fondazioni profonde su pali. In questa ottica si è voluto eseguire il carotaggio che ha restituito importanti informazioni stratigrafiche e geotecniche fino a -25 m di profondità dal piano del piazzale. Per l'eventuale pre-dimensionamento di tale soluzione tecnica si rimanda ad un approfondimento da eseguirsi con l'Ingegnere Strutturista.

Modena, 29/09/2017

Dott. Geol. Francesco Dettori



Dott. Geol. Fabio Parmeggiani



TAVOLA 1

COROGRAFIA

ESTRATTO DALLA TAVOLA C.T.R. 219NE - "Formigine"

Scala 1:25.000



ALLEGATO:

certificati penetrometrici PROVE DPSH e CPT

Committente: Panaria Group
Cantiere: Ceramica LEA
Località: Fiorano Modenese (MO)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Prove DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	8 Kg
Diametro punta conica	50,46 mm
Area di base punta	20 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	3,007
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

Caratteristiche Strumentali PROVE CPT: PAGANI 100 kN

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35,7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

PROVA DPSH ... Nr. 1

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)
0,2	50	0,655	33,73	51,52	1686,36	10,2	4	0,747	1,62	2,17	81,16
0,4	50	0,651	33,53	51,52	1676,41	10,4	3	0,746	1,22	1,63	60,78
0,6	50	0,647	30,59	47,28	1529,68	10,6	3	0,744	1,16	1,56	57,96
0,8	12	0,843	9,57	11,35	478,52	10,8	3	0,743	1,16	1,56	57,87
1	4	0,840	3,18	3,78	158,83	11	4	0,742	1,54	2,08	77,06
1,2	2	0,836	1,58	1,89	79,09	11,2	4	0,741	1,54	2,08	76,95
1,4	2	0,833	1,58	1,89	78,76	11,4	4	0,740	1,54	2,08	76,84
1,6	4	0,830	2,90	3,50	144,98	11,6	4	0,739	1,47	1,99	73,42
1,8	3	0,826	2,17	2,62	108,31	11,8	6	0,738	2,20	2,98	109,98
2	3	0,823	2,16	2,62	107,90	12	5	0,737	1,83	2,48	91,52
2,2	2	0,820	1,43	1,75	71,67	12,2	8	0,736	2,92	3,97	146,24
2,4	3	0,817	2,14	2,62	107,11	12,4	8	0,735	2,92	3,97	146,03
2,6	4	0,814	2,65	3,25	132,26	12,6	9	0,734	3,15	4,28	157,27
2,8	5	0,811	3,30	4,06	164,75	12,8	8	0,733	2,79	3,81	139,60
3	4	0,809	2,63	3,25	131,35	13	9	0,732	3,14	4,28	156,83
3,2	3	0,806	1,96	2,44	98,19	13,2	8	0,731	2,78	3,81	139,21
3,4	4	0,803	2,61	3,25	130,50	13,4	9	0,730	3,13	4,28	156,38
3,6	5	0,801	3,04	3,79	151,88	13,6	9	0,729	3,00	4,11	149,95
3,8	4	0,798	2,42	3,03	121,13	13,8	9	0,728	2,99	4,11	149,73
4	4	0,796	2,42	3,03	120,77	14	9	0,727	2,99	4,11	149,51
4,2	3	0,794	1,81	2,28	90,31	14,2	11	0,726	3,65	5,03	182,46
4,4	3	0,791	1,80	2,28	90,06	14,4	11	0,725	3,64	5,03	182,18
4,6	2	0,789	1,12	1,42	56,17	14,6	11	0,723	3,50	4,84	174,94
4,8	4	0,787	2,24	2,85	112,03	14,8	11	0,722	3,49	4,84	174,66
5	3	0,785	1,68	2,13	83,80	15	11	0,721	3,49	4,84	174,38
5,2	3	0,783	1,67	2,13	83,59	15,2	13	0,670	3,83	5,72	191,45
5,4	3	0,781	1,67	2,13	83,38	15,4	50	0,519	11,40	21,98	570,13
5,6	3	0,779	1,57	2,01	78,33	15,6	50	0,517	10,96	21,17	547,82
5,8	4	0,777	2,08	2,68	104,19	15,8					
6	3	0,775	1,56	2,01	77,96	16					
6,2	3	0,774	1,56	2,01	77,78	16,2					
6,4	3	0,772	1,55	2,01	77,61	16,4					
6,6	3	0,770	1,46	1,90	73,18	16,6					
6,8	3	0,769	1,46	1,90	73,03	16,8					
7	3	0,767	1,46	1,90	72,88	17					
7,2	4	0,766	1,94	2,53	96,98	17,2					
7,4	3	0,764	1,45	1,90	72,59	17,4					
7,6	2	0,763	0,92	1,20	45,78	17,6					
7,8	3	0,761	1,37	1,80	68,54	17,8					
8	3	0,760	1,37	1,80	68,42	18					
8,2	4	0,759	1,82	2,40	91,07	18,2					
8,4	4	0,757	1,82	2,40	90,91	18,4					
8,6	4	0,756	1,73	2,28	86,25	18,6					
8,8	3	0,755	1,29	1,71	64,58	18,8					
9	3	0,753	1,29	1,71	64,48	19					
9,2	3	0,752	1,29	1,71	64,37	19,2					
9,4	3	0,751	1,29	1,71	64,27	19,4					
9,6	3	0,750	1,22	1,63	61,14	19,6					
9,8	2	0,749	0,81	1,09	40,70	19,8					
10	3	0,748	1,22	1,63	60,96	20					

PROVA DPSH ... Nr. 2

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)
0,2	50	0,655	33,73	51,52	1686,36	10,2	3	0,747	1,22	1,63	60,87
0,4	50	0,651	33,53	51,52	1676,41	10,4	3	0,746	1,22	1,63	60,78
0,6	15	0,797	11,31	14,19	565,30	10,6	4	0,744	1,55	2,08	77,27
0,8	9	0,843	7,18	8,51	358,89	10,8	3	0,743	1,16	1,56	57,87
1	3	0,840	2,38	2,84	119,12	11	3	0,742	1,16	1,56	57,79
1,2	3	0,836	2,37	2,84	118,63	11,2	4	0,741	1,54	2,08	76,95
1,4	2	0,833	1,58	1,89	78,76	11,4	3	0,740	1,15	1,56	57,63
1,6	2	0,830	1,45	1,75	72,49	11,6	3	0,739	1,10	1,49	55,07
1,8	2	0,826	1,44	1,75	72,21	11,8	5	0,738	1,83	2,48	91,65
2	2	0,823	1,44	1,75	71,93	12	6	0,737	2,20	2,98	109,83
2,2	2	0,820	1,43	1,75	71,67	12,2	7	0,736	2,56	3,48	127,96
2,4	3	0,817	2,14	2,62	107,11	12,4	8	0,735	2,92	3,97	146,03
2,6	4	0,814	2,65	3,25	132,26	12,6	9	0,734	3,15	4,28	157,27
2,8	4	0,811	2,64	3,25	131,80	12,8	8	0,733	2,79	3,81	139,60
3	3	0,809	1,97	2,44	98,52	13	9	0,732	3,14	4,28	156,83
3,2	5	0,806	3,27	4,06	163,65	13,2	9	0,731	3,13	4,28	156,61
3,4	4	0,803	2,61	3,25	130,50	13,4	10	0,730	3,48	4,76	173,76
3,6	3	0,801	1,82	2,28	91,13	13,6	12	0,729	4,00	5,49	199,94
3,8	3	0,798	1,82	2,28	90,85	13,8	12	0,728	3,99	5,49	199,64
4	3	0,796	1,81	2,28	90,58	14	12	0,727	3,99	5,49	199,35
4,2	3	0,794	1,81	2,28	90,31	14,2	13	0,676	4,02	5,94	200,78
4,4	2	0,791	1,20	1,52	60,04	14,4	14	0,675	4,32	6,40	215,86
4,6	2	0,789	1,12	1,42	56,17	14,6	14	0,673	4,15	6,16	207,26
4,8	3	0,787	1,68	2,13	84,02	14,8	14	0,672	4,14	6,16	206,91
5	3	0,785	1,68	2,13	83,80	15	15	0,671	4,43	6,59	221,30
5,2	2	0,783	1,11	1,42	55,72	15,2	50	0,520	11,43	21,98	571,48
5,4	2	0,781	1,11	1,42	55,58	15,4	50	0,519	11,40	21,98	570,13
5,6	2	0,779	1,04	1,34	52,22	15,6					
5,8	3	0,777	1,56	2,01	78,14	15,8					
6	3	0,775	1,56	2,01	77,96	16					
6,2	3	0,774	1,56	2,01	77,78	16,2					
6,4	3	0,772	1,55	2,01	77,61	16,4					
6,6	2	0,770	0,98	1,27	48,79	16,6					
6,8	3	0,769	1,46	1,90	73,03	16,8					
7	2	0,767	0,97	1,27	48,58	17					
7,2	2	0,766	0,97	1,27	48,49	17,2					
7,4	2	0,764	0,97	1,27	48,39	17,4					
7,6	2	0,763	0,92	1,20	45,78	17,6					
7,8	4	0,761	1,83	2,40	91,39	17,8					
8	3	0,760	1,37	1,80	68,42	18					
8,2	2	0,759	0,91	1,20	45,53	18,2					
8,4	3	0,757	1,36	1,80	68,18	18,4					
8,6	3	0,756	1,29	1,71	64,69	18,6					
8,8	6	0,755	2,58	3,42	129,17	18,8					
9	10	0,753	4,30	5,70	214,93	19					
9,2	8	0,752	3,43	4,56	171,67	19,2					
9,4	8	0,751	3,43	4,56	171,40	19,4					
9,6	4	0,750	1,63	2,17	81,52	19,6					
9,8	3	0,749	1,22	1,63	61,05	19,8					
10	3	0,748	1,22	1,63	60,96	20					

PROVA DPSH ... Nr. 3

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)
0,2	26	0,755	20,22	26,79	1010,86	10,2	3	0,747	1,22	1,63	60,87
0,4	20	0,801	16,50	20,61	825,13	10,4	2	0,746	0,81	1,09	40,52
0,6	16	0,797	12,06	15,13	602,98	10,6	3	0,744	1,16	1,56	57,96
0,8	12	0,843	9,57	11,35	478,52	10,8	3	0,743	1,16	1,56	57,87
1	5	0,840	3,97	4,73	198,54	11	2	0,742	0,77	1,04	38,53
1,2	3	0,836	2,37	2,84	118,63	11,2	4	0,741	1,54	2,08	76,95
1,4	2	0,833	1,58	1,89	78,76	11,4	4	0,740	1,54	2,08	76,84
1,6	2	0,830	1,45	1,75	72,49	11,6	5	0,739	1,84	2,48	91,78
1,8	2	0,826	1,44	1,75	72,21	11,8	4	0,738	1,47	1,99	73,32
2	2	0,823	1,44	1,75	71,93	12	5	0,737	1,83	2,48	91,52
2,2	1	0,820	0,72	0,87	35,83	12,2	5	0,736	1,83	2,48	91,40
2,4	1	0,817	0,71	0,87	35,70	12,4	5	0,735	1,83	2,48	91,27
2,6	2	0,814	1,32	1,62	66,13	12,6	5	0,734	1,75	2,38	87,37
2,8	2	0,811	1,32	1,62	65,90	12,8	6	0,733	2,09	2,86	104,70
3	3	0,809	1,97	2,44	98,52	13	6	0,732	2,09	2,86	104,55
3,2	3	0,806	1,96	2,44	98,19	13,2	7	0,731	2,44	3,33	121,81
3,4	4	0,803	2,61	3,25	130,50	13,4	8	0,730	2,78	3,81	139,01
3,6	4	0,801	2,43	3,03	121,51	13,6	8	0,729	2,67	3,66	133,29
3,8	5	0,798	3,03	3,79	151,42	13,8	10	0,728	3,33	4,57	166,37
4	5	0,796	3,02	3,79	150,96	14	11	0,727	3,65	5,03	182,73
4,2	4	0,794	2,41	3,03	120,42	14,2	10	0,726	3,32	4,57	165,87
4,4	3	0,791	1,80	2,28	90,06	14,4	12	0,725	3,97	5,49	198,74
4,6	3	0,789	1,69	2,13	84,25	14,6	12	0,723	3,82	5,28	190,84
4,8	2	0,787	1,12	1,42	56,01	14,8	14	0,672	4,14	6,16	206,91
5	3	0,785	1,68	2,13	83,80	15	15	0,671	4,43	6,59	221,30
5,2	3	0,783	1,67	2,13	83,59	15,2	16	0,670	4,71	7,03	235,63
5,4	3	0,781	1,67	2,13	83,38	15,4	16	0,669	4,70	7,03	235,20
5,6	4	0,779	2,09	2,68	104,43	15,6	16	0,667	4,52	6,78	226,12
5,8	4	0,777	2,08	2,68	104,19	15,8	17	0,666	4,80	7,20	239,79
6	4	0,775	2,08	2,68	103,94	16	20	0,665	5,63	8,47	281,55
6,2	4	0,774	2,07	2,68	103,71	16,2	19	0,664	5,34	8,05	266,93
6,4	3	0,772	1,55	2,01	77,61	16,4	19	0,662	5,33	8,05	266,38
6,6	4	0,770	1,95	2,53	97,57	16,6	50	0,511	10,43	20,42	521,51
6,8	4	0,769	1,95	2,53	97,37	16,8	50	0,509	10,40	20,42	520,03
7	4	0,767	1,94	2,53	97,17	17					
7,2	4	0,766	1,94	2,53	96,98	17,2					
7,4	3	0,764	1,45	1,90	72,59	17,4					
7,6	3	0,763	1,37	1,80	68,67	17,6					
7,8	4	0,761	1,83	2,40	91,39	17,8					
8	3	0,760	1,37	1,80	68,42	18					
8,2	4	0,759	1,82	2,40	91,07	18,2					
8,4	3	0,757	1,36	1,80	68,18	18,4					
8,6	2	0,756	0,86	1,14	43,13	18,6					
8,8	4	0,755	1,72	2,28	86,11	18,8					
9	3	0,753	1,29	1,71	64,48	19					
9,2	2	0,752	0,86	1,14	42,92	19,2					
9,4	3	0,751	1,29	1,71	64,27	19,4					
9,6	3	0,750	1,22	1,63	61,14	19,6					
9,8	3	0,749	1,22	1,63	61,05	19,8					
10	3	0,748	1,22	1,63	60,96	20					

PROVA DPSH ... Nr. 4

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)
0,2	2	0,855	1,76	2,06	88,06	10,2	4	0,747	1,62	2,17	81,16
0,4	3	0,851	2,63	3,09	131,50	10,4	4	0,746	1,62	2,17	81,04
0,6	3	0,847	2,40	2,84	120,15	10,6	3	0,744	1,16	1,56	57,96
0,8	5	0,843	3,99	4,73	199,38	10,8	3	0,743	1,16	1,56	57,87
1	4	0,840	3,18	3,78	158,83	11	4	0,742	1,54	2,08	77,06
1,2	8	0,836	6,33	7,57	316,34	11,2	3	0,741	1,15	1,56	57,71
1,4	8	0,833	6,30	7,57	315,06	11,4	4	0,740	1,54	2,08	76,84
1,6	5	0,830	3,62	4,37	181,23	11,6	5	0,739	1,84	2,48	91,78
1,8	4	0,826	2,89	3,50	144,42	11,8	4	0,738	1,47	1,99	73,32
2	6	0,823	4,32	5,24	215,80	12	5	0,737	1,83	2,48	91,52
2,2	5	0,820	3,58	4,37	179,17	12,2	5	0,736	1,83	2,48	91,40
2,4	5	0,817	3,57	4,37	178,52	12,4	6	0,735	2,19	2,98	109,53
2,6	4	0,814	2,65	3,25	132,26	12,6	8	0,734	2,80	3,81	139,80
2,8	4	0,811	2,64	3,25	131,80	12,8	6	0,733	2,09	2,86	104,70
3	3	0,809	1,97	2,44	98,52	13	7	0,732	2,44	3,33	121,98
3,2	2	0,806	1,31	1,62	65,46	13,2	9	0,731	3,13	4,28	156,61
3,4	2	0,803	1,30	1,62	65,25	13,4	9	0,730	3,13	4,28	156,38
3,6	3	0,801	1,82	2,28	91,13	13,6	11	0,729	3,67	5,03	183,27
3,8	3	0,798	1,82	2,28	90,85	13,8	11	0,728	3,66	5,03	183,01
4	3	0,796	1,81	2,28	90,58	14	11	0,727	3,65	5,03	182,73
4,2	3	0,794	1,81	2,28	90,31	14,2	11	0,726	3,65	5,03	182,46
4,4	3	0,791	1,80	2,28	90,06	14,4	13	0,675	4,01	5,94	200,44
4,6	3	0,789	1,69	2,13	84,25	14,6	13	0,673	3,85	5,72	192,46
4,8	3	0,787	1,68	2,13	84,02	14,8	15	0,672	4,43	6,59	221,69
5	3	0,785	1,68	2,13	83,80	15	16	0,671	4,72	7,03	236,05
5,2	3	0,783	1,67	2,13	83,59	15,2	17	0,670	5,01	7,47	250,36
5,4	3	0,781	1,67	2,13	83,38	15,4	17	0,669	5,00	7,47	249,90
5,6	3	0,779	1,57	2,01	78,33	15,6	15	0,667	4,24	6,35	211,99
5,8	3	0,777	1,56	2,01	78,14	15,8	16	0,666	4,51	6,78	225,68
6	4	0,775	2,08	2,68	103,94	16	17	0,665	4,79	7,20	239,32
6,2	3	0,774	1,56	2,01	77,78	16,2	18	0,664	5,06	7,62	252,88
6,4	3	0,772	1,55	2,01	77,61	16,4	24	0,612	6,22	10,16	311,07
6,6	3	0,770	1,46	1,90	73,18	16,6	22	0,611	5,49	8,99	274,39
6,8	4	0,769	1,95	2,53	97,37	16,8	21	0,609	5,23	8,58	261,30
7	4	0,767	1,94	2,53	97,17	17	19	0,658	5,10	7,76	255,24
7,2	6	0,766	2,91	3,80	145,46	17,2	22	0,606	5,45	8,99	272,39
7,4	6	0,764	2,90	3,80	145,18	17,4	21	0,605	5,19	8,58	259,34
7,6	5	0,763	2,29	3,00	114,45	17,6	21	0,603	5,00	8,28	249,78
7,8	5	0,761	2,28	3,00	114,24	17,8	50	0,501	9,89	19,72	494,47
8	4	0,760	1,82	2,40	91,23	18	50	0,500	9,86	19,72	492,79
8,2	5	0,759	2,28	3,00	113,83	18,2					
8,4	4	0,757	1,82	2,40	90,91	18,4					
8,6	6	0,756	2,59	3,42	129,38	18,6					
8,8	5	0,755	2,15	2,85	107,64	18,8					
9	5	0,753	2,15	2,85	107,46	19					
9,2	4	0,752	1,72	2,28	85,83	19,2					
9,4	5	0,751	2,14	2,85	107,12	19,4					
9,6	5	0,750	2,04	2,72	101,90	19,6					
9,8	5	0,749	2,04	2,72	101,75	19,8					
10	3	0,748	1,22	1,63	60,96	20					

PROVA CPT Nr. 5

Profondità (m)	Lettura punta (Mpa)	Lettura laterale (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann	Profondità (m)	Lettura punta (Mpa)	Lettura laterale (Mpa)	qc (Mpa)	fs (Mpa)	qc/fs Begemann
0,2	0,00	0,00	0,01	0,17	0,06	11,2	2,35	3,47	2,51	0,09	27,89
0,4	7,24	9,79	7,25	0,03	241,67	11,4	1,94	3,26	2,1	0,07	30,0
0,6	7,04	7,44	7,05	0,1	70,5	11,6	2,04	3,06	2,2	0,06	36,67
0,8	9,59	11,01	9,6	0,22	43,64	11,8	1,94	2,86	2,1	0,08	26,25
1	9,99	13,26	10,0	0,48	20,83	12	1,84	3,06	2,0	0,06	33,33
1,2	9,28	16,52	9,31	0,59	15,78	12,2	1,94	2,86	2,12	0,08	26,5
1,4	6,63	15,40	6,66	0,2	33,3	12,4	2,04	3,16	2,22	0,09	24,67
1,6	5,71	8,77	5,74	0,33	17,39	12,6	1,84	3,16	2,02	0,07	28,86
1,8	4,49	9,38	4,52	0,31	14,58	12,8	1,84	2,86	2,02	0,09	22,44
2	4,18	8,87	4,21	0,2	21,05	13	1,94	3,26	2,12	0,09	23,56
2,2	4,18	7,24	4,22	0,29	14,55	13,2	1,63	2,96	1,82	0,07	26,0
2,4	3,67	7,95	3,71	0,27	13,74	13,4	1,94	2,96	2,13	0,08	26,63
2,6	5,20	9,18	5,24	0,29	18,07	13,6	1,94	3,16	2,13	0,07	30,43
2,8	2,35	6,63	2,39	0,2	11,95	13,8	1,73	2,75	1,92	0,11	17,45
3	2,35	5,40	2,39	0,14	17,07	14	1,94	3,57	2,13	0,1	21,3
3,2	2,65	4,69	2,7	0,1	27,0	14,2	2,45	3,87	2,65	0,1	26,5
3,4	3,16	4,69	3,21	0,13	24,69	14,4	2,86	4,38	3,06	0,14	21,86
3,6	2,75	4,69	2,8	0,13	21,54	14,6	2,24	4,28	2,44	0,12	20,33
3,8	3,57	5,51	3,62	0,12	30,17	14,8	2,24	3,98	2,44	0,1	24,4
4	3,67	5,40	3,72	0,17	21,88	15	2,96	4,49	3,16	0,14	22,57
4,2	2,86	5,40	2,93	0,14	20,93	15,2	2,45	4,59	2,67	0,12	22,25
4,4	2,86	4,89	2,93	0,14	20,93	15,4	2,35	4,18	2,57	0,11	23,36
4,6	2,96	5,00	3,03	0,12	25,25	15,6	2,04	3,67	2,26	0,1	22,6
4,8	2,24	4,08	2,31	0,08	28,88	15,8	1,63	3,06	1,85	0,08	23,13
5	2,14	3,37	2,21	0,08	27,63	16	2,24	3,37	2,46	0,08	30,75
5,2	2,04	3,26	2,12	0,09	23,56	16,2	1,84	3,06	2,07	0,1	20,7
5,4	2,14	3,47	2,22	0,09	24,67	16,4	1,53	2,96	1,76	0,07	25,14
5,6	1,94	3,26	2,02	0,06	33,67	16,6	1,43	2,45	1,66	0,08	20,75
5,8	1,53	2,35	1,61	0,08	20,13	16,8	1,84	3,06	2,07	0,08	25,88
6	2,24	3,47	2,32	0,08	29,0	17	1,94	3,16	2,17	0,27	8,04
6,2	1,63	2,86	1,72	0,08	21,5	17,2	28,55	32,63	28,79	0,27	106,63
6,4	1,94	3,06	2,03	0,1	20,3	17,4	28,55	32,63	28,55	0,0	
6,6	2,04	3,47	2,13	0,11	19,36	17,6					
6,8	2,96	4,59	3,05	0,1	30,5	17,8					
7	3,16	4,59	3,25	0,12	27,08	18					
7,2	2,86	4,69	2,97	0,11	27,0	18,2					
7,4	2,55	4,18	2,66	0,11	24,18	18,4					
7,6	2,75	4,38	2,86	0,1	28,6	18,6					
7,8	2,96	4,38	3,07	0,13	23,62	18,8					
8	2,75	4,69	2,86	0,11	26,0	19					
8,2	2,55	4,18	2,67	0,12	22,25	19,2					
8,4	2,75	4,59	2,87	0,11	26,09	19,4					
8,6	2,55	4,18	2,67	0,14	19,07	19,6					
8,8	2,35	4,49	2,47	0,1	24,7	19,8					
9	2,45	3,98	2,57	0,11	23,36	20					
9,2	2,35	3,98	2,49	0,1	24,9	20,2					
9,4	2,45	3,87	2,59	0,1	25,9	20,4					
9,6	1,94	3,37	2,08	0,05	41,6	20,6					
9,8	2,35	3,16	2,49	0,08	31,13	20,8					
10	2,65	3,77	2,79	0,1	27,9	21					
10,2	2,75	4,18	2,9	0,14	20,71	21,2					
10,4	2,24	4,38	2,39	0,08	29,88	21,4					
10,6	2,04	3,16	2,19	0,09	24,33	21,6					
10,8	2,65	3,98	2,8	0,14	20,0	21,8					
11	2,75	4,89	2,9	0,08	36,25	22					

