COMUNE DI OZZANO DELL'EMILIA
Città Metropolitana di Bologna

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO
Geom. Maura Tassinari
Responsabile Servizi Assetto Territorio e Patrimonio

POC ASN-B EX SINUDYNE

PIANO OPERATIVO COMUNALE

(L.R. 24/03/2000 n. 20 art. 30)

NOGAP PROGETTI srl
COMPLETE BUILDING DESIGN

DIRETTORE TECNICO: ING. VALENTINO RIGHI

PROGETTO: ING. PAOLO VECCHI
COORDINAMENTO: GEOM. CLAUDIO ALVONI
GRUPPO DI LAVORO: ING. ANDREA BERGONZONI

RELAZIONE GEOLOGICA: DR. GRAZIANO GRIMANDI
GEO-PROBE

ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

Elaborato:
POC REL 05
Commessa:
39.03

revisione	data	descrizione	Redatto	Approvato
0	28/02/2019	EMISSIONE ELABORATO	BA	AC

Sommario

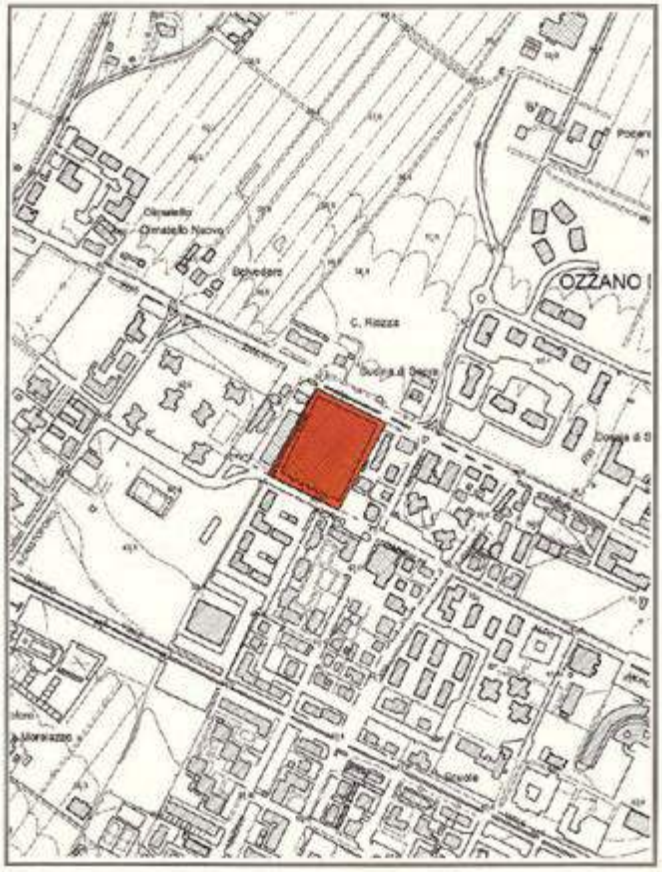
Sommario 2
Premessa: 3
Caratterizzazione geologica dell'area 4
Caratterizzazione sismica dell'area 4
Inquadramento territoriale e vincoli 5
Relazione Geologica, inquadramento sismico e Analisi Geotecnica 7

Premessa:

Su incarico di Futura Costruzioni S.r.l., la Società Geo-Probe ha compiuto uno studio geologico e sismico, parte integrante della richiesta di inserimento nel Piano Operativo Comunale riferito all'Ambito ANS_B del Comune di Ozzano dell'Emilia, definito all'art. 5.5 del vigente PSC come “Ambito specializzato per attività produttive potenzialmente suscettibile di trasformazione”.

Come indicato nella relazione illustrativa del PSC, il progetto urbanistico prevede la riqualificazione dell'ambito, riducendo le superfici impermeabilizzate e incrementando il verde pubblico e privato. In conformità con quanto stabilito dalle direttive del POC invece, le funzioni previste all'interno del lotto sono quella residenziale, del commercio di vicinato e delle medio-piccole strutture di vendita. il progetto riguarda anche la realizzazione di una pista ciclabile di collegamento tra le vie Emilia e Garibaldi, e la realizzazione di una rotonda stradale sull’intersezione tra la via Emilia e le Vie Mazzini e Dell’Ambiente.

Il lotto di intervento relativo alla presente richiesta in variante al POC, interessa una superficie territoriale pari a 12.825 mq, delimitata a Nord-Est dalla via Emilia e a Sud-Ovest da via Garibaldi.



Area in esame

Oggi il lotto, completamente impermeabilizzato, è occupato dallo stabilimento della SEI Sinudyne, dismesso dal 2007. Il progetto prevede la demolizione dei fabbricati esistenti, il recupero totale delle aree e la sistemazione dell'area adiacente alla via Emilia.
Il progetto urbanistico prevede la realizzazione di due edifici a torre residenziali (edifici 2a e 2b) su via Garibaldi, una fascia verde destinata a parco pubblico che divide in due il comparto e un edificio ad uso commerciale (edificio 1) accessibile dalla via Emilia.
Lo studio geologico ha previsto quanto segue:

Caratterizzazione geologica dell'area

Mediante l'ausilio di prove penetrometriche statiche e dinamiche pesanti e con l'esecuzione di sondaggi, si è provveduto ad indagare le caratteristiche litostratigrafiche ed idrogeologiche del comparto, comprendendo la caratterizzazione preliminare dei terreni del primo sottosuolo, allo scopo di fornire la valutazione per la fattibilità delle opere urbanistiche in previsione.

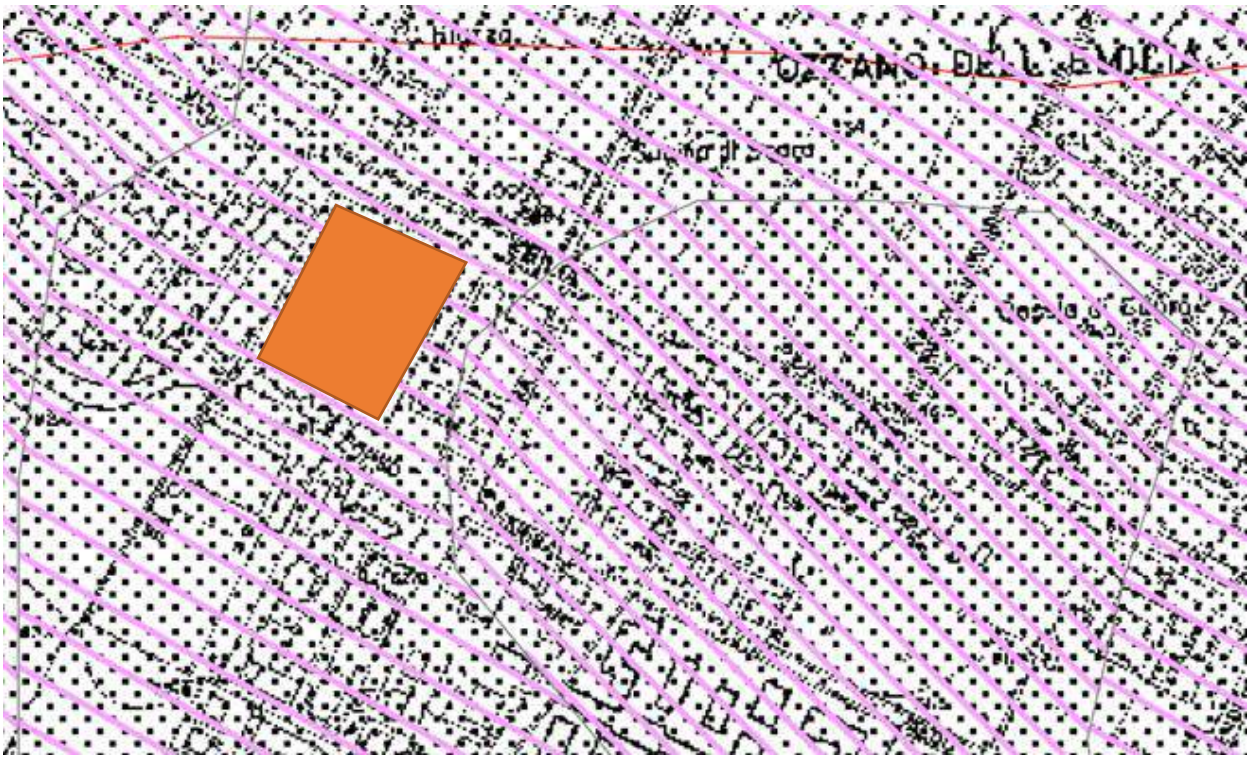
Caratterizzazione sismica dell'area

Si è proceduto alla caratterizzazione sismica dell'area sulla base di quanto previsto dalla delibera 112/2007 e dal D.G.R. 2193 del 21/12/2015, recante "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica".
Facendo inoltre riferimento al documento di PSC Oz.B.1.5.REL, e alle richieste del paragrafo 1.5.3, la presente riporta approfondimenti geologici riguardanti la stratigrafia ed il livello della falda, e sismici, che hanno previsto l'accostamento alle prove geognostiche realizzate della valutazione della VS30 mediante un'indagine MASW abbinata ad un'indagine sismica locale con misura del Rumore Sismico Passivo (microtremori), allo scopo di definire la profondità del bedrock.
Inoltre, facendo riferimento all'art. 2.20 comma 2-3 delle Norme di PSC (documento Oz.PSC.N), si è provveduto ad un'analisi di III livello di approfondimento, arrivando alla definizione di uno spettro di risposta amplificato. La verifica dell'amplificazione locale è stata condotta numericamente con software EERA.

Inquadramento territoriale e vincoli

Facendo riferimento all'elaborato del PSC OzB1.4.a da cui è tratta l'immagine che segue, la categoria di suolo identificata è C, mentre per quanto riguarda la liquefazione i dati sono insufficienti per una valutazione. La presente relazione conferma il tipo di terreno identificato dal PSC ed effettua le più approfondite analisi necessarie ad escludere la possibilità di liquefazione.

In particolare, pur essendo la zona di interesse potenzialmente soggetta a terremoti di magnitudo superiore a 5, e accelerazione massima attesa al piano di campagna superiore a 0,1g, si è verificato chela profondità media stagionale della falda è superiore ai 15 m dal piano di campagna, per strutture con fondazioni superficiali, e che sono inoltre presenti depositi costituiti da ghiaie di elevato addensimento con resistenza penetrometrica normalizzata qc1n >180



Estratto da Oz.B1.4.a

Per quanto concerne la microzonazione sismica si riporta estratto del documento Oz.B.1.6 a. L'area a cui appartiene il lotto di interesse è classificato C-II-1, al quale corrisponde la seguente definizione nel OzB.1.5.REL:

"Sottosuolo di di fondazione C (180<VS30<360 m/sec) sedimenti in cui è possibile che si verifichi liquefazione sotto impulsi ciclici dotati di Magnitudo > 5,5, fattore di amplificazione locale F.A. = 1,8 per periodi da 0,1 sec a 0,5 sec, F.A. = 2,4 per periodi da 0,5 sec a 1 sec"

Estratto da Oz.B1.6.a

Relazione Geologica, inquadramento sismico e Analisi Geotecnica

COMUNE DI OZZANO EMILIA (BO)

STUDIO GEOLOGICO TECNICO E SISMICO DEI TERRENI DEL PRIMO SOTTOSUOLO DI UN'AREA SITA IN VIA EMILIA N. 42, SULLA QUALE È PREVISTO UN PIANO URBANISTICO ATTUATIVO IN VARIANTE AL POC.

Committente:

– Futura Costruzioni S.r.l.

ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA ROMAGNA
DOTT. GRAZIANO GRIMANDI
Emilia-Romagna
GEOLOGO
SEZ. A
N. 407 ALBO P.

Codice Lavoro: 2017.025/RG

Revisione 0.0 Aprile 2017

GEO-PROBE

– Studio Geologico Associato –

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono 051.613.51.18

email: geoprobe@geo-probe.com

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 813.51.18

INDICE

1. PREMESSA 1
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 3
3. MODELLO GEOLOGICO 4
4. INDAGINE GEOGNOSTICA 7
5. LITOLOGIA E CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI 12
6. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO 14
7. PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE 16
8. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA 18
9. MODELLAZIONE SISMICA 20
9.1. Vita nominale 20
9.2. Classi d'uso 20
9.3. Periodo di riferimento 21
9.4. Azione sismica 21
9.5. Categoria di sottosuolo 22
9.6. Condizioni topografiche 23
9.7. Amplificazione stratigrafica 24
9.8. Accelerazione massima al sito 24
9.9. Coefficiente sismico orizzontale e verticale 24
10. MICROZONAZIONE SISMICA 26
11. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE 29
11.1 Definizione dei segnali di riferimento 30
11.2 Elaborazione del modello sismico 33
11.3 Elaborazione dell'amplificazione 35
12. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI 40
13. RESISTENZA DI PROGETTO DEI TERRENI IN CONDIZIONI STATICHE 42
14. CONSIDERAZIONI FINALI 49

ALLEGATI:

- *certificati penetrometrie statiche;*
- *diagrammi penetrometrie statiche;*
- *certificati penetrometrie dinamiche superpesanti;*
- *diagrammi penetrometrie dinamiche superpesanti;*
- *stratigrafie sondaggi a carotaggio continuo;*
- *documentazione fotografica;*
- *indagine sismica.*

***

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

1. PREMESSA

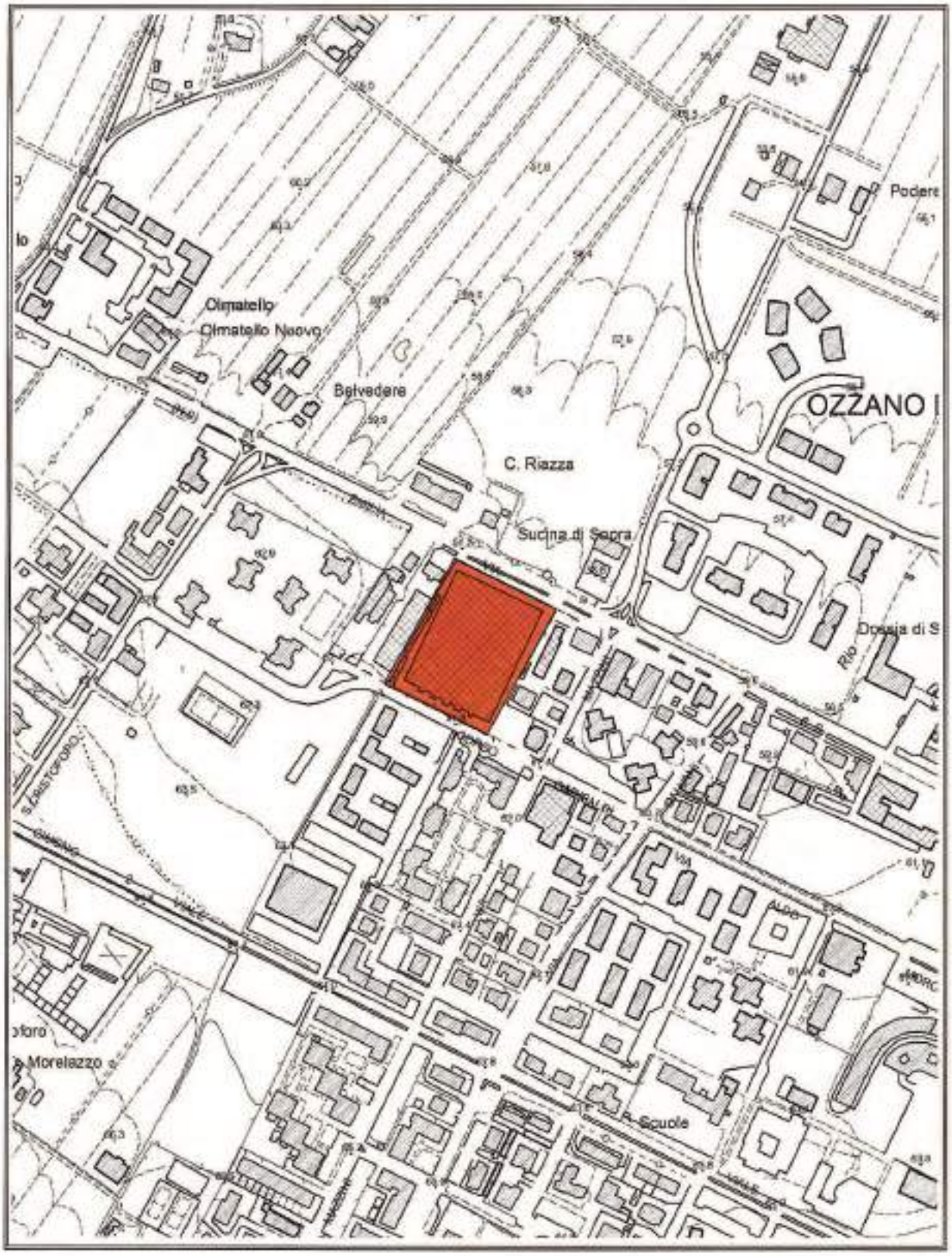
A seguito dell'incarico ricevuto dalla Futura Costruzioni S.r.l. si trasmette, in conformità con le normative vigenti, la seguente relazione geologico-tecnica-sismica riguardante lo studio dei terreni del primo sottosuolo di un'area sulla quale è in progetto un piano urbanistico attuativo in variante al POC.

L'area in esame si ubica in via Emilia n. 42, nella porzione nord-occidentale del centro abitato di Ozzano dell'Emilia, nel comune omonimo (BO) (TAV. 1: estratto C.T.R. Scala 1:5.000; elemento n. 221141 – Ozzano dell'Emilia).

Il presente studio è stato articolato nei seguenti punti:

a) analisi e descrizione della situazione morfologica e geo-litologica generale;
b) determinazione della natura dei terreni costituenti il primo sottosuolo;
c) determinazione delle caratteristiche fisico-meccaniche degli stessi;
d) caratterizzazione e modellazione geologica del sito;
e) modellazione sismica dei terreni di fondazione;
f) analisi della risposta sismica locale;
g) valutazione della resistenza di progetto dei terreni di fondazione in condizioni statiche.

TAV. 1 - UBICAZIONE AREA IN ESAME



Scala 1:5.000

Area in esame

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.16

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della seguente relazione è stata compiuta in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento di seguito elencate:

- "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". D.M. 11 Marzo 1988.
- Istruzioni relative alle "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione". Circ. Min. LL. PP. n. 30483, 24 Settembre 1988.
- AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977.
- AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio, Maggio 1990 (edizione provvisoria).
- Eurocodice Ec7 per l'ingegneria geotecnica, Settembre 1988.
- ISRM International Society for Rock Mechanics: Rock characterization testing and monitoring suggested methods - Commission on Testing Methods; 1981.
- "Norme tecniche per le costruzioni". D.M. 14 Gennaio 2008 (G.U. n. 29 del 04/02/08, supplemento ordinario n. 30).
- Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14/01/2008. Circolare Cons. Sup. LL.PP. n. 617/2009.
- Delibera dell'Assemblea legislativa Regione Emilia Romagna progr. N. 112 – oggetto n. 3121 del 2 maggio 2007.
- Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna progr. N. 1661/2009 del 2 novembre 2009.
- Ordinanza del Commissario Delegato per la Ricostruzione n. 70 del 13/11/2012.
- "Raccomandazioni per la redazione della relazione geologica ai sensi delle N.C.T." a cura del Centro Studi del C.N.G.
- Delibera della Giunta della Regione Emilia Romagna progr. N. 2193/2015 del 21 dicembre 2015.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

3. MODELLO GEOLOGICO

Il territorio in esame ricade nella zona di passaggio compresa tra la fascia collinare pedeappenninica e l'alta Pianura Padana; più esattamente si ubica ad una quota media di 60,00 m s.l.m., in una fascia pressoché pianeggiante e/o moderatamente acclive (2÷3 %) che degrada in direzione Nord - Nord/Est.

L'area in esame occupa la parte apicale delle modeste conoidi del Rio Centonara caratterizzate da alternanze, sia in senso verticale che orizzontale di depositi grossolani (sabbie e ghiaie) e medio fini (limi ed argille) deposti dal torrente per la rapida caduta della capacità di trasporto della corrente allo sbocco della pianura.

La morfologia è pertanto condizionata dai depositi fluviali del Rio Centonara, anche se la stessa risulta in parte o del tutto mascherata dal costante intervento umano, volto a migliorarne l'efficienza dal punto di vista agricolo e dalla realizzazione di opere edificatorie e di urbanizzazione.

L'assetto idrografico del territorio di Ozzano dell'Emilia è definito dalla presenza di due corsi d'acqua principali (Torrenti Idice e Quaderna) e da una serie di rii e canali minori variamente distribuiti lungo la pianura.

Nell'area in esame l'idrologia principale è rappresentata dal Rio Centonara che sviluppa il proprio corso sinuoso ad Est dell'area in esame, mentre quella secondaria da piccoli fossi e scoli che raccolgono le acque eccessive di precipitazione per incanalarle verso le direttrici principali.

L'idrografia secondaria è rappresentata da canali artificiali ad uso scolante, irriguo e promiscuo atti al drenaggio delle acque di circolazione superficiale verso i corsi d'acqua principali.

Dal punto di vista geo-litologico, l'area è caratterizzata dalla presenza di formazioni continentali di deposizione fluviale (AES8), costituite da sedimenti alluvionali fini (limi argillosi e sabbiosi) di piana alluvionale da permeabili a poco permeabili (10^{-4}÷10^{-7} m/sec) ai quali si alternano, in sequenze stratigraficamente non continue, sabbie limose e, più raramente, ghiaie sabbiose generate da fasi attive di canalizzazione; pertanto la litologia principale è rappresentata da limi sabbiosi e/o argillosi sopportati a profondità superiore ai 30,00 m, da depositi a matrice sabbiosa e ghiaiosa di media permeabilità (10^{-3}÷10^{-4} m/sec).

L'ambiente deposizionale in prossimità della superficie è fluviale continentale con alvei a canali frequenti e con tendenza allo sviluppo di meandri, mentre in profondità passa gradualmente ad ambienti di transizione.

L'insieme è pertanto costituito da lenti a granulometria variabile che sfumano rapidamente le une nelle altre sia arealmente che verticalmente.

Più a Sud, in corrispondenza del margine pedeappenninico, si evidenziano le formazioni marine e di ambiente costiero.

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di depositi continentali composti in prevalenza da alluvioni limo sabbiose e francamente sabbiose.

Questa fascia è quella in cui avviene la ricarica delle falde profonde della pianura, per infiltrazione dai fianchi collinari e dispersione dal fondo dei corsi d'acqua nei tratti in cui incidono gli apici dei conoidi.

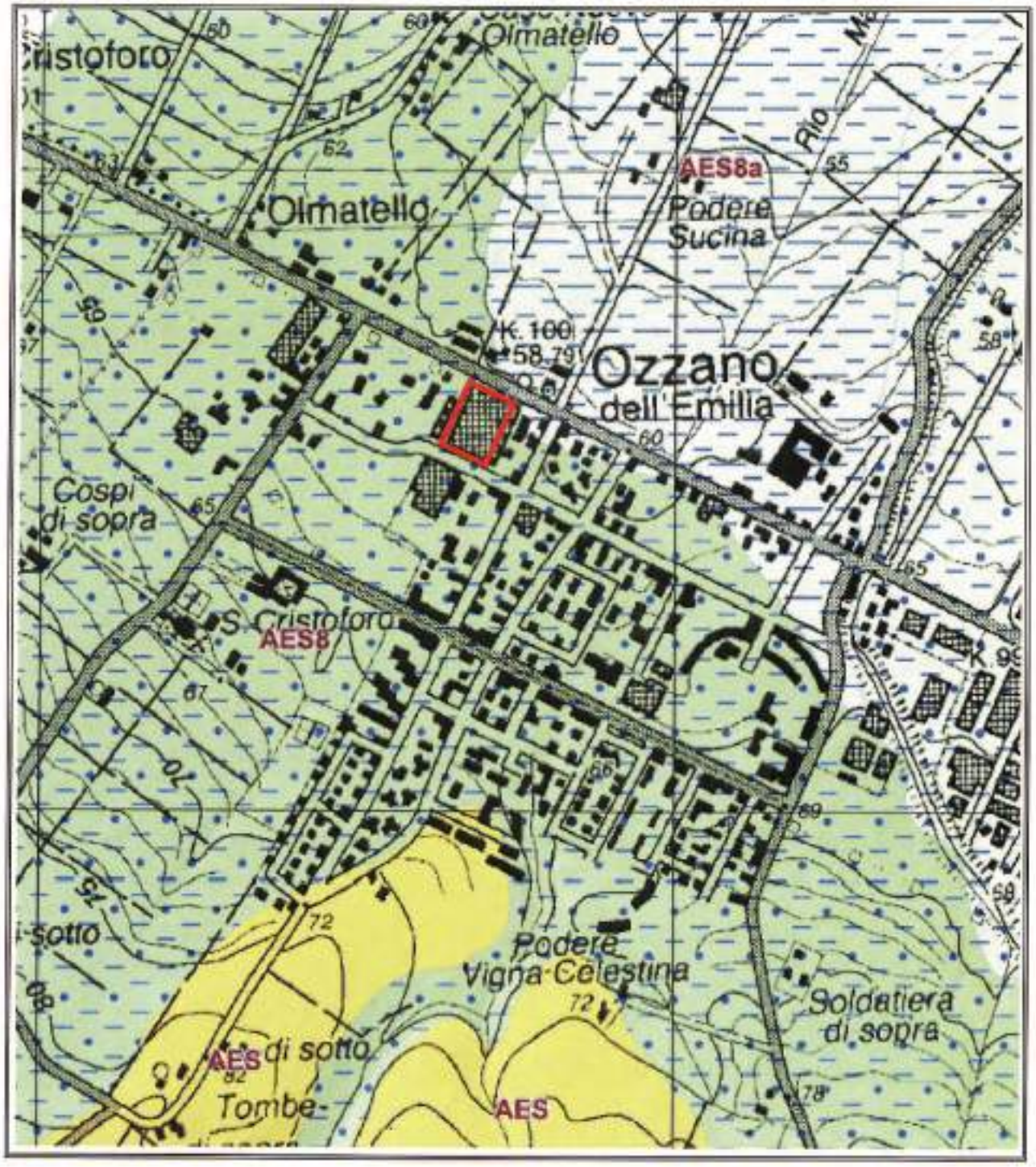
L'acquifero possiede una permeabilità elevata e si presenta multifalda e costituito da elementi intercomunicanti a permeabilità variabile in funzione dei meccanismi deposizionali e quindi a vario contenuto d'acqua.

Lo stesso poggia su un substrato prevalentemente argilloso attribuibile al Quaternario marino.

L'andamento della falda, si attesta generalmente a profondità variabili da 15,00 m a 20,00 m dal p.c. attuale, anche se per le peculiarità dell'acquifero multifalda.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

TAV. 2 - CARTA GEO-LITOLOGICA



Area in esame

Scala 1:10.000

AES *Subsistema Emiliano – Romagnolo Superiore;*

AES8 *Subsistema di Ravenna (Pleistocene sup. – Olocene);*

AES8a *Unità di Modena.*

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

4. INDAGINE GEOGNOSTICA

Nell'area interessata dall'intervento, allo scopo di verificare la successione stratigrafica che caratterizza i terreni del primo sottosuolo e valutare le caratteristiche fisico meccaniche degli stessi, è stata eseguita un'indagine geognostica in sito e un'indagine sismica locale al fine di determinare il parametro V_{S30} per poi classificare il suolo di fondazione.

4.1. Indagine geognostica in sito

L'indagine geognostica, eseguita dalla Geo-Probe S.r.l, è consistita nell'esecuzione di n. 2 penetrometrie statiche con punta meccanica (CPT) della lunghezza rispettivamente di 13,60 m e 14,00 m, di n. 2 penetrometrie dinamiche superpesanti (DPSH) della lunghezza di 8,20 m e 7,80 m, e di n. 3 sondaggi con il metodo del carotaggio continuo di profondità compresa tra 21,00 m e 30,00 m.

I punti di indagine sono stati ubicati per essere rappresentativi dell'area in esame; in particolare le dinamiche superpesanti sono state eseguite sulla stessa verticale delle penetrometrie statiche al fine di superare la prima lente di ghiaia; l'esatta ubicazione degli stessi viene riportata di seguito nella TAV. 3.

Il penetrometro statico utilizzato, montato su cingolato Pagani TG63 con cella di carico da 200 kN, impiega una punta conica con apertura di 60° e superficie di 10 cm^2 per la misurazione della resistenza alla punta ed un manicotto di frizione (*friction jacket*) della superficie di 150 cm^2 per la misurazione dell'attrito laterale locale (punta meccanica tipo *Begemann*).

I risultati delle penetrometrie statiche vengono rappresentati in forma diagrammatica nelle apposite tavole allegate, dove viene riportato il valore q_c (resistenza alla punta), il valore f_s (resistenza attrito laterale locale), espressi rispettivamente in MPa e kPa, ed il rapporto Rf che orientativamente ci permette una classificazione dei terreni attraversati (*Schmertmann J.H.*, 1978). Le suddette letture vengono eseguite per avanzamenti di 20 cm.

Le suddette letture vengono eseguite per avanzamenti di 20 cm.

Il penetrometro dinamico superpesante, montato sul mezzo cingolato, è del tipo *EMILIA-DPSH* e presenta le seguenti caratteristiche.

peso del maglio	= 63,5 kg
altezza di caduta	= 75 cm
diametro base punta	= 50,5 mm
angolo apertura cono	= 60°
area base cono	= 20 cm^2
peso delle aste	= 6,2 kg

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Il conteggio del numero dei colpi (N) necessari all'infissione è stato effettuato ogni 20 cm di avanzamento (N_{20}).

La prova penetrometrica dinamica super pesante (DPSH - *Dynamic Probing Superheavy*) consiste nell'infiggere verticalmente nel terreno una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta di acciaio, prolungabile con successive aste, utilizzando un maglio di massa M per un'altezza di caduta costante H.

La resistenza alla penetrazione è definita come il numero di colpi (N) richiesto per infiggere la punta conica per un tratto definito.

Mediante la formula detta degli "Olandesi" è possibile determinare il valore di resistenza dinamica (qd), tramite il quale si può valutare, in modo approssimativo, la capacità portante dei terreni.

$$qd = \frac{M}{M + M'} \bullet \frac{M \bullet H}{A \bullet e}$$

dove:

M = massa del maglio;
M' = peso totale dell'asta di guida, testa della battuta e batteria delle aste;
H = altezza di caduta;
A = area della sezione trasversale della base della punta conica;
e = penetrazione media di un colpo.

Il numero di colpi (N) misurati nel corso della prova penetrometrica dinamica super pesante consente di risalire al numero di colpi relativi alla prova Standard Penetration Test (N_{SPT}) ed utilizzare le correlazioni messe a punto per questo tipo di prova.

Varie esperienze eseguite in Italia e all'estero in formazioni con materiali compresi in una ampia gamma granulometrica hanno indicato la seguente relazione:

$$N'_{30(DPSH)}/N_{SPT} = 1{,}0 \div 1{,}15$$

I risultati delle penetrometrie dinamiche super pesanti vengono rappresentati in forma diagrammatica negli appositi moduli allegati dove si riporta in numero di colpi (N) misurati per l'avanzamento e il valore **qd** (valore di resistenza dinamica) espresso in kg/cm^2.

Per l'esecuzione dei carotaggi continui è stata utilizzata una sonda perforatrice IPC modello DRILL 830L di proprietà della GEO-PROBE S.r.l. con le seguenti caratteristiche:

- Coppia alla rotazione	1182 Kgm
- Velocità di rotazione	457 rpm
- Corsa continua	400 cm

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

- Spinta testa di rotazione		5000 Kg
- Trazione testa di rotazione		5000 Kg
- Pressione pompe:	1) schiuma	50 bar
	2) a vite	24 bar
- Argano a fune d'acciaio		1100 Kg
- Aste di perforazione con nipples a filetto conico	n. 1 x 3000 mm x	76 mm
	n. 20 x 1500 mm x	76 mm
	n 1 x 750 mm x	76 mm
- Carotieri semplici	n. 2 x 1500 mm x	101 mm

- Campionatore Raymond per esecuzione di S.P.T.
- Campionatore Schelby per prelievo campioni indisturbati
- Rivestimento a filettatura tronco conica con scarpa provvista di widia esterni per alesare il foro - sp. 8 mm — n. 16 x 1500 x 127
- Scandaglio a filo graduato da 50 m
- Freatimetro BFK graduato della lunghezza di 50 m
- Penetrometro tascabile tipo tubolare SEB (scala 0÷4,5 kg/cm^2)
- Scissometro tascabile S75 S76 (scala 0÷2 kg/cm^2)

Nel corso dei sondaggi a carotaggio continuo n. 2 e 3, mediante campionatore a pareti sottili tipo Shelby, a profondità significative, sono stati prelevati complessivamente n. 3 campioni indisturbati da sottoporre ad analisi di laboratorio.

Durante i sondaggi a carotaggio continuo n. 2 e 3 sono state effettuate n. 6 prove S.P.T. (*Standard Penetration Test*), per l'identificazione della resistenza dinamica alla penetrazione del terreno.

La presenza di materiali lapidei grossolani ha sconsigliato l'utilizzo del campionatore *Raymond* che è quindi stato sostituito con una punta conica di diametro esterno di 51 mm e apertura di 60° (in conformità con le "Raccomandazioni A.G.I." del 1977).

La strumentazione utilizzata per l'indagine (modello Nenzi) è costituita da un maglio del peso di 63,5 kg, fatto cadere da una altezza di 760 mm su una testa di battuta fissata alla sommità di una batteria di aste alla cui estremità inferiore è fissata la punta.

Le prove S.P.T. eseguite all'interno dei fori di sondaggio sono state eseguite seguendo le raccomandazioni A.G.I. (Associazione Geotecnica Italiana), secondo le quali si deve procedere alla registrazione dei colpi (N_1, N_2, N_3) necessari

per ottenere tre avanzamenti successivi di 15 cm ognuno della punta conica, interrompendo la prova quando con N_1 = 50 l'avanzamento è inferiore a 15 cm o, in seconda istanza, quando per $N_2 + N_3 = 100$ non si raggiunge l'avanzamento di 30 cm.

Il numero di colpi (N) necessario per una penetrazione della punta pari a 30 cm (15 + 15 cm) (dopo un primo avanzamento di 15 cm per superare i terreni alterati presenti generalmente sul fondo del foro di sonda) è il dato assunto come indice della resistenza alla penetrazione (N_{SPT}).

La resistenza alla penetrazione consente una valutazione della densità relativa (D_R) e dell'angolo di attrito efficace (φ').

All'interno dei foro di carotaggio n. 1 è stato posto in opera un piezometro a tubo aperto microfessurato del diametro di 2,5" e della lunghezza di 27,00 m, allo scopo di verificare nel tempo l'eventuale presenza di falde freatiche o di circolazioni idriche localizzate.

Le stratigrafie dei carotaggi continui e la documentazione fotografica delle cassette catalogatrici vengono riportate in allegato negli appositi moduli.

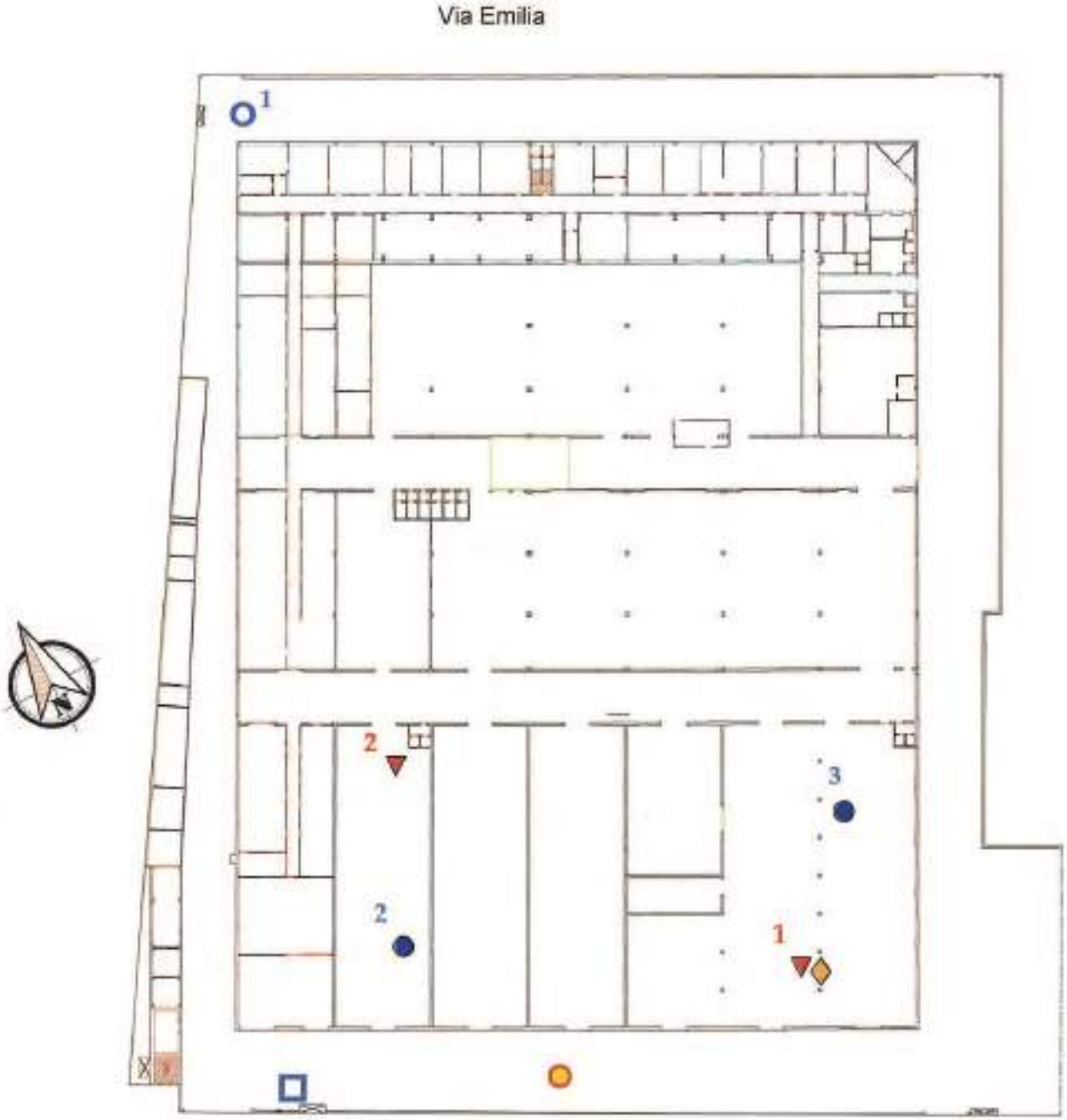
4.2 Indagine sismica

Al fine di determinare le velocità delle onde sismiche di tipo "S" e quindi risalire alla determinazione della V_{S30}, da parte dello Studio Associato C.G.A. è stata eseguita un'indagine sismica MASW (Multichannel Acquisition Surf Wave), abbinata ad un'indagine sismica locale mediante metodologia di sismica passiva con misura del Rumore Sismico Passivo (microtremori) allo scopo di definire la profondità del bedrock sismico e la frequenza di risonanza dei terreni.

La metodologia di indagine e l'elaborazione dei dati ottenuti viene riportata nell'apposita relazione allegata, redatta dallo Studio Associato C.G.A.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

TAV. 3 - UBICAZIONE INDAGINE GEOGNOSTICA



- Penetrometrie statiche e dinamiche superpesanti
- Sondaggi a carotaggio continuo
- Sondaggio a carotaggio continuo con piezometro
- Indagine sismica MASW
- Indagine sismica HVSR
- Pozzo

Scala 1:750

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

5. LITOLOGIA E CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI

L'indagine geognostica eseguita ci consente di ricostruire con discreta precisione la litologia del primo sottosuolo e di valutare le caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati.

Schematicamente, possiamo ricostruire la seguente successione stratigrafica:

al tetto, al di sotto di un orizzonte di terreno di riporto costituito da asfalto cemento e rilevato ghiaioso dello spessore medio di 0,60÷1,00 m, sono inizialmente presenti delle argille limose da grigio a nocciola, di consistenza plastica (q_c = 1,0÷1,6 MPa, Rf = 5,0÷6,6 %) ed umidità medio scarsa, che da una profondità media di 1,60÷1,80 m sono sostituite da argille limose e/o sabbiose di consistenza da plastico dura a dura (q_c = 2,2÷4,4 MPa, Rf = 2,5÷5,4 %) ed umidità medio scarsa.

Da una profondità variabile da 2,80 m a 3,40 m (fascia Nord) si evidenziano delle ghiaie di addensamento da medio ad elevato (q_c = 14,5÷30,6 MPa, Rf = 0,6÷0,9 %) (q_d = 11,0÷42,9 MPa) in abbondante matrice limo sabbiosa e/o argillosa di colore nocciola, prevalente al letto dell'intervallo (q_d = 4,1÷9,8 MPa) ed umidità da medio scarsa a scarsa.

Le prove SPT eseguite all'interno dei suddetti litotipi hanno confermato un addensamento da medio elevato ad elevato, con valori di N_{30} variabili da 62 a 71, dai quali si ottengono valori normalizzati $(N_1)_{60}$ compresi tra 42 e 56 ed una densità relativa variabile dall'86 % al 98 %.

Da una profondità variabile da 7,40÷8,00 m a 9,20 m (fascia Nord) prevalgono delle argille limose di colore da nocciola grigiastro a grigio, di consistenza plastico dura (q_c = 2,0÷3,7 MPa, Rf = 2,6÷5,1 %) ed umidità medio scarsa, inglobanti orizzonti di consistenza plastica (q_c = 1,3÷1,9 MPa, Rf = 4,6÷6,2 %) e orizzonti francamente sabbiosi di colore nocciola di addensamento da medio a medio elevato (q_c = 4,0÷9,5 MPa, Rf = 1,1÷2,2 %), con rari ciottoli.

Suddetti litotipi sono sopportati da ghiaie di addensamento da medio ad elevato in matrice sabbioso limosa di colore nocciola a tratti prevalente, il cui tetto è stato evidenziato ad una profondità variabile da 10,70 m (fascia Nord) a 14,10÷14,60 m; l'umidità inizialmente medio scarsa, aumenta sino alla totale saturazione idrica a partire da una profondità media di 19,70÷20,50 m.

Le prove SPT eseguite all'interno dei suddetti litotipi hanno confermato un addensamento medio elevato, evidenziando valori di N_{30} variabili da 58 a 82, dai

quali si ottengono valori normalizzati $(N_1)_{60}$ compresi tra 23 e 31 e densità relativa tra 62 % e 73%.

Infine a partire da circa 20,10÷21,30 m, e sino alla profondità indagata, sono presenti delle argille limose di colore da grigio a nocciola, di consistenza da plastica (P.P. = 1,2÷1,9 kg/cm^2; V.T. = 0,7÷1,0 kg/cm^2) a plastico dura – dura (P.P. = 2,3÷>4,5 kg/cm^2; V.T. = 1,2÷>2,0 kg/cm^2) ed umidità da media a medio scarsa, con sottili intercalazioni sabbiose e limose.

I suddetti terreni sono caratterizzati dalla presenza di una falda freatica di superficie, presumibilmente in leggera pressione, il cui livello statico al termine dell'indagine, alla data di esecuzione della stessa, rispetto al p.c. è stato misurato ad una profondità variabile da 19,70 m a 20,50 m; una lettura eseguita in data 13/03/2017 all'interno del piezometro posto in opera nel sondaggio a carotaggio n. 1, ha evidenziato come il livello statico della stessa si attesti ad una profondità di circa 18,81 m, mentre nel pozzo presente nella zona cortiliva Sud/Ovest la stessa è stata misurata ad una profondità di circa 23,30 m.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

6. MODELLAZIONE GEOTECNICA DEL SITO

La caratterizzazione geotecnica del sito viene fatta ricostruendo un modello in termini di unità geotecniche del volume significativo del terreno inteso come la parte di sottosuolo influenzata direttamente o indirettamente dalla costruzione dell'opera e che influenza l'opera stessa.

Ciascuna unità geotecnica (U.G.) è ottenuta correlando i dati stratigrafici e i dati di resistenza misurati nel corso dell'indagine geognostica in modo da suddividere il volume significativo in elementi omogenei.

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è possibile distinguere il terreno secondo le unità geotecniche indicate nella tabella successiva.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

UNITÀ GEOTECNICHE

U.G.	Profondità m da p.c.		Litologia prevalente	qc/qd MPa	γ (kN/mc)	P.P. (Kg/cmq)	Cu (kPa)	(N1)60	φ (°)	Dr (%)
	da	a								
0	0,00	0,60÷1,00	R	-	-	-	-	-	-	-
A	0,60÷1,00	1,60÷1,80	AL	1,0÷1,6	19,1÷19,2	-	50÷80	-	0	0
B	1,60÷1,80	2,60÷2,80	ALS	2,2÷4,4	19,3÷19,5	-	107÷176	-	0	0
C	2,60÷3,40	7,40÷8,00	GLS/SLG	4,1÷39,5	18,5÷18,6	-	0	42÷56	32÷44	27÷96
D	7,40÷9,20	10,70÷13,30	ALS	2,0÷3,7	19,3÷19,5	-	100÷153	-	0	0
D1	11,40÷11,80	12,40÷12,80	ALS	1,3÷1,9	19,1÷19,3	-	65÷95	-	0	0
E	12,80÷13,30	14,10÷14,60	SL	5,1÷9,5	18,5÷18,6	-	0	-	33÷36	43÷64
F	10,70÷14,60	20,10÷21,30	GS	-	8,5÷18,5	-	0	23÷31	38÷40	62÷73
F	20,10÷21,30	fine indag.	AL	-	20,0÷20,5	1,2÷>4,5	70÷>200	-	0	0

R = terreno di riporto;
AL = argille limose;
ALS = argille limose e sabbiose;
SL = sabbie limose;
GSL/SLG = ghiaie in matrice limo sabbiosa e/o viceversa;
GS = ghiaie sabbiose.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE - Via Cimarosa, 119 - Castelecchio di Reno (BO) - Telefono (051) 613.51.18

7. PARAMETRIZZAZIONE DELLE UNITÀ GEOTECNICHE

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è stato possibile suddividere il volume significativo di terreno in unità geotecniche, delle quali di seguito, vengono definiti i parametri geomeccanici.

Unità geotecnica 0

È costituita da terreno di riporto e si evidenzia sino ad una profondità media di 0,60÷1,00 m dal p.c. attuale.

Unità geotecnica A

È costituita da argille limose di consistenza plastica ed umidità scarsa.

L'unità A si evidenzia da 0,60÷1,00 m sino ad una profondità media di 1,60÷1,80 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPT 1	1,4	19,1	70	0
CPT 2	1,3	19,1	65	0

Unità geotecnica B

È costituita da argille limose e sabbiose di consistenza plastico dura ed umidità medio scarsa.

L'unità B si evidenzia da 1,60÷1,80 m sino ad una profondità media di 2,60÷2,80 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPT 1	3,2	19,4	139	0
CPT 2	3,6	19,5	150	0

Unità geotecnica C

È costituita da ghiaie in matrice sabbioso argillosa di addensamento da medio elevato ad elevato ed umidità da medio scarsa a scarsa.

L'unità C si evidenzia da 2,60÷3,40 m sino ad una profondità media di 7,40÷8,00 m dal p.c. attuale ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qd (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPT 1	16,8	18,5	0	38
CPT 2	18,7	18,5	0	38

Unità geotecnica D

È costituita da argille limose e/o viceversa debolmente sabbiose di consistenza plastico dura, ed umidità medio scarsa.

L'unità D si evidenzia da 7,40÷9,20 m sino ad una profondità variabile da 10,70 m a 13,30 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPT 1	2,8	19,4	127	0
CPT 2	3,0	19,4	133	0

Unità geotecnica D1

È costituita da argille limose e/o viceversa debolmente sabbiose di consistenza plastica, ed umidità medio scarsa.

L'unità D1 si evidenzia da 11,40÷11,80 m sino ad una profondità media di circa 12,40÷12,80 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPT 1	1,9	19,3	95	0
CPT 2	1,7	19,2	85	0

Unità geotecnica E

È costituita da sabbie limose di addensamento medio elevato ed umidità medio scarsa.

L'unità E si evidenzia da 12,80÷13,30 m sino ad una profondità media di circa 14,10÷14,60 m dal p.c. attuale, ed è caratterizzata dai parametri geotecnici medi riportati in tabella.

Verticale	qc (MPa)	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)
CPT 1	6,2	18,5	0	33
CPT 2	7,0	18,5	0	34

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613 51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613 51.18

8. PERICOLOSITÀ E CLASSIFICAZIONE SISMICA

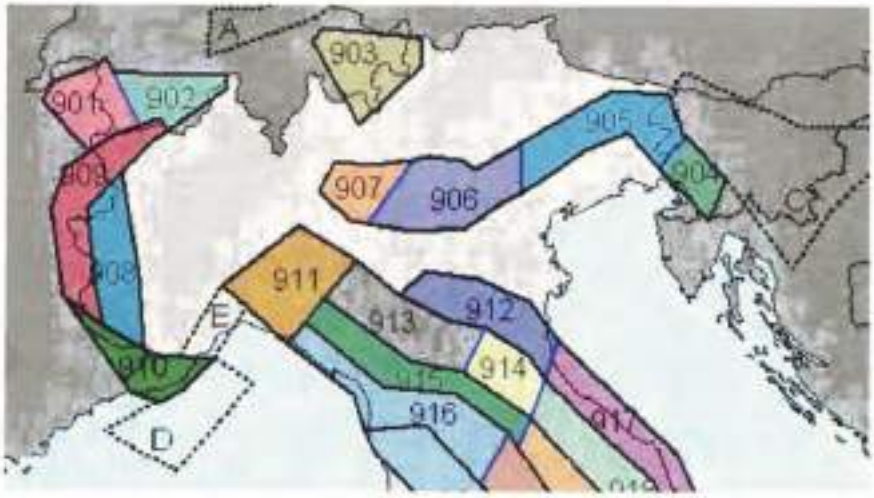
La pericolosità e il rischio sismico del territorio nazionale sono stati affrontati dal Servizio Sismico Nazionale utilizzando il calcolo probabilistico di Cornell, in grado di considerare tutte le possibili sorgenti influenzanti di un sisma.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni ideali di sito di riferimento con superficie topografica orizzontale di categoria A.

Il Comune di Ozzano dell'Emilia (TAV. 4 – Mappa di pericolosità sismica) presenta un accelerazione al suolo tipo A con una probabilità di superamento del 10% in 50 anni PGA = 0,175 – 0,200g.

La Magnitudo dell'area si ottiene, come riportato negli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica – Gruppo di Lavoro MS 2008" sulla base della zonazione sismogenetica ZS 9, secondo la quale la sismicità può essere distribuita in 36 zone, a ciascuna delle quali è associata una magnitudo massima.

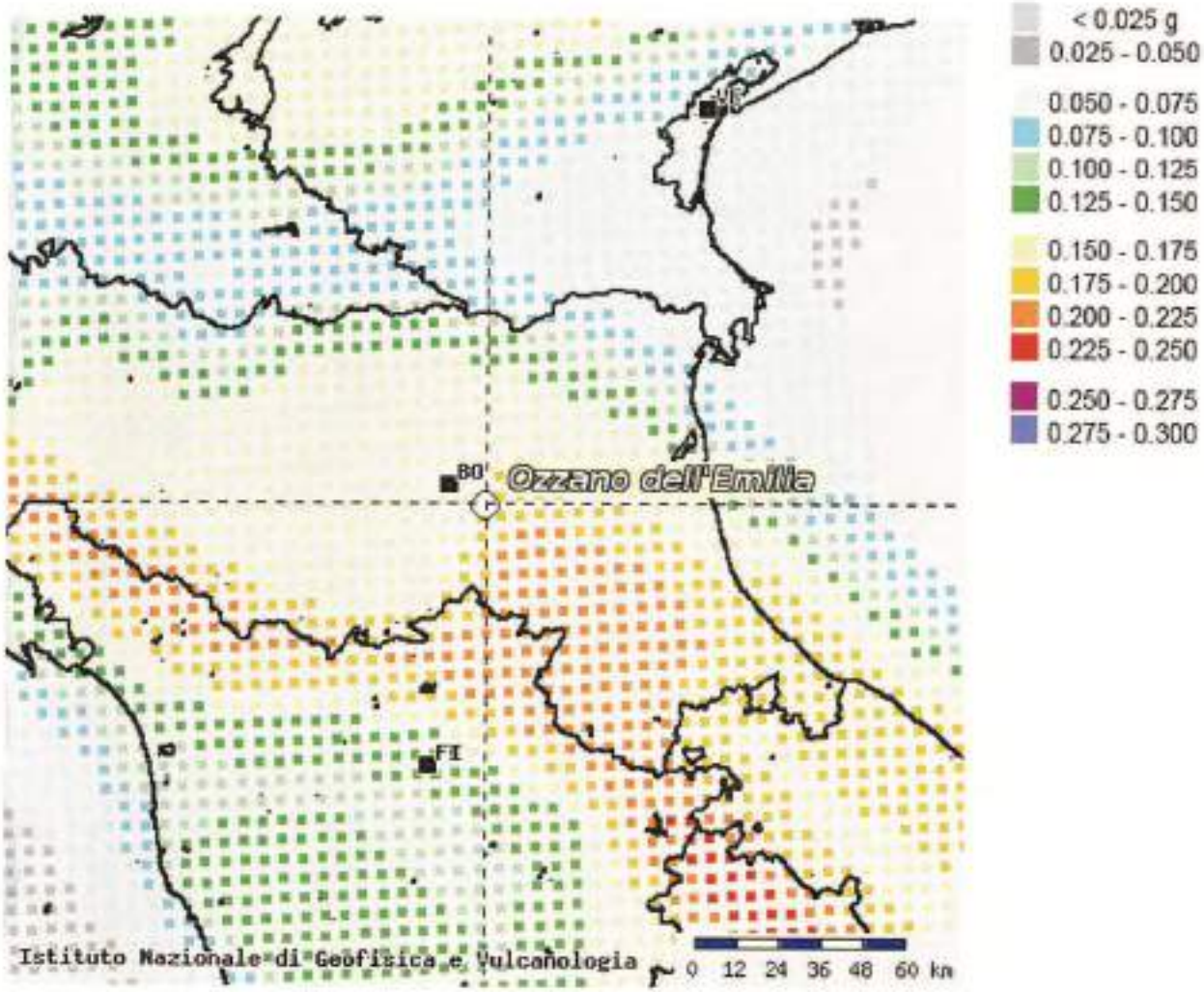
Come evidenziato dalla mappa delle zone sismogenetiche di cui si riporta uno stralcio, l'Emilia Romagna ricade nelle zone 911÷914 alle quali è attribuito un valore di M pari a 6,14.



La pericolosità sismica in un generico sito viene definita in termini di valori di accelerazione orizzontale massima e di spettri di risposta nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale, in corrispondenza dei punti di un reticolo e per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodi di ritorno ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni.

L'azione sismica così individuata viene successivamente variata per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali stratigrafiche del sottosuolo effettivamente presenti nel sito in esame e della morfologia di superficie.

TAV. 4 – MAPPA DI PERICOLOSITÀ SISMICA



Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

9. MODELLAZIONE SISMICA

9.1. Vita nominale

La vita nominale di un'opera strutturale (Vn) è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata.

La vita nominale delle diverse tipologie di opere è riportata nella seguente tabella.

Tabella 2.4.I

TIPI DI COSTRUZIONE		Vita Nominale Vn (in anni)
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	≤ 10
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale	≥ 50
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	≥ 100

Nell'area in esame sono previste opere tipo "2 "per le quali si prevede una vita nominale Vn ≥ 50 anni.

9.2. Classi d'uso

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di un'interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso distinte nel modo seguente:

Classe I	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli
Classe II	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'Uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
Classe III	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
Classe IV	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A e B di cui al D.M. 5/11/2001 n. 6792 "Norme funzionali e geotecniche per la costruzione delle strade" e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A e B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e impianti di produzione di energia.

Ad ogni classe d'uso è associato un coefficiente come da tabella seguente:

Tabella 2.4.II

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

Le opere da realizzare nell'area in esame ricadono nella Classe II pertanto alle stesse è associato un coefficiente d'uso pari a $C_U = 1,0$.

9.3. Periodo di riferimento

Le azioni sismiche su ciascuna costruzione sono valutate in relazione ad un periodo di riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_n per il coefficiente d'uso C_U:

$$V_R = V_n \bullet C_U$$

Per il sito in esame il periodo di riferimento è pari a $V_R = 50$ anni.

9.4. Azione sismica

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria A), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente S(T), con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR}, nel periodo di riferimento V_R.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR}, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- 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.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613 51 18

Nella seguente tabella vengono riportati i suddetti parametri elaborati per il sito in esame (individuato dalle coordinate Lat. 44.44299792; Long. 11.47068143), considerando un periodo di riferimento per l'azione sismica (VR) di 50 anni, in relazione al periodo di ritorno e agli stati limite di esercizio e agli stati limite ultimi e relative probabilità di superamento.

Stato limite		PVR (%)	TR (anni)	ag (g)	Fo (-)	Tc* (s)
Stati limite di esercizio	SLO	81	30	0,058	2,463	0,259
	SLD	63	50	0,074	2,440	0,270
Stati limite ultimi	SLV	10	475	0,181	2,395	0,303
	SLC	5	975	0,228	2,432	0,314

9.5. Categoria di sottosuolo

La nuova Normativa per gli effetti locali identifica cinque categorie di sottosuolo (A÷E) suddivisi sulla base dei valori di velocità equivalente Vs30 di propagazione delle onde di taglio entro i primo 30 m di profondità, riferita per fondazioni superficiali al piano di imposta delle stesse, e due categorie aggiuntive (S1 e S2) per le quali è necessario predisporre specifiche analisi per la definizione della azione sismica.

Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* 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 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	*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 $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Categorie aggiuntive di sottosuolo

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di V_{s30} inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Come si evidenzia dalle relazioni allegate, i terreni del primo sottosuolo, con riferimento il p.c. attuale, presentano una Vs30 dell'ordine di 270÷280 m/sec, pertanto ricadono nella Categoria C, che comprende *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15<N_{SPT30}<50 nei terreni a grana grossa e 70 <Cu_{30}<250 kPa nei terreni a grana fine").*

9.6. Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale mentre per configurazioni semplici può essere adottata la seguente tabella.

Tabella 3.2.IV

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media i > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media 15 °≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media i > 30°

Ad ogni categoria topografica è associato un coefficiente di amplificazione topografica come da tabella seguente:

Tabella 3.2.VI

CATEGORIA	T1	T2	T3	T4
COEFFICIENTE St	1	1,2	1,2	1,4

L'area in esame si pone in un settore di pressoché pianeggiante, perciò si configura una categoria topografica tipo T1 cui è associato un coefficiente di amplificazione topografica pari a 1,0.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Castelvecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

9.7. Amplificazione stratigrafica

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti Ss e Cc valgono 1; per le altre categorie vengono calcolati in funzione di ag, Fo e Tc* mediante le espressioni fornite nella seguente tabella.

Tabella 3.2.V

Categoria sottosuolo	Ss	Cc
A	1,00	1,00
B	$1{,}00 \leq 1{,}4-0{,}4 \bullet F_o \bullet ag/g \leq 1{,}20$	$1{,}10 \bullet (Tc^*)^{-0{,}20}$
C	$1{,}00 \leq 1{,}7-0{,}6 \bullet F_o \bullet ag/g \leq 1{,}50$	$1{,}05 \bullet (Tc^*)^{-0{,}33}$
D	$0{,}90 \leq 2{,}4-1{,}50 \bullet F_o \bullet ag/g \leq 1{,}80$	$1{,}25 \bullet (Tc^*)^{-050}$
E	$1{,}00 \leq 2{,}00-1{,}10 \bullet F_o \bullet ag/g \leq 1{,}60$	$1{,}15 \bullet (Tc^*)^{-0{,}40}$

Per il sito in esame otteniamo:

Stato limite	Ss	Cc
SLO	1,500	1,639
SLD	1,500	1,617
SLV	1,440	1,557
SLC	1,367	1,539

9.8 Accelerazione massima al sito

L'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata mediante la relazione:

$$a_{max} = S \bullet ag = Ss \bullet St \bullet ag$$

Nel nostro caso per i parametri considerati in precedenza e per lo stato limite SLV si ottiene un valore pari a 2,557 m/sec^2

9.9 Coefficiente sismico orizzontale e verticale

Il coefficiente sismico orizzontale si ottiene mediante la relazione:

$$kh = \frac{\beta s \times a_{max}}{g}$$

dove:

βs = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ricavabile dalla sottostante tabella.

	Categoria di sottosuolo	
	A	**B, C, D, E**
	βs	βs
0,2< ag (g) ≤0,4	0,30	0,28
0,1< ag (g) ≤0,2	0,27	0,24
ag (g) ≤0,1	0,20	0,20

Nel nostro caso assumendo un valore di βs pari a 0,24, si ottiene un coefficiente sismico orizzontale (kh) pari a 0,063.

Il coefficiente sismico verticale (kv) si ottiene mediante la relazione:

$$kv = 0{,}5\ kh = 0{,}0315$$

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 - Casalecchio di Reno (BO) - Telefono (051) 613.51.18

10. MICROZONAZIONE SISMICA

Nella Tavola 2C del PTCP della Provincia di Bologna "Rischio Sismico – Carta provinciale degli effetti locali attesi", della quale di eseguito si riporta uno stralcio, l'area in esame (Art. 6.14) ricade in una zona classificata come A. – "Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche" per la quale sono previsti approfondimenti di II livello con valutazione del coefficiente di amplificazione.

Sulla base dei risultati dell'indagine geofisica è stato possibile ricostruire i profili di velocità di propagazione delle onde di taglio Vs.

La stratigrafia che caratterizza il modello per i primi 30 metri deriva dagli esiti delle prove geognostiche eseguite, mentre per l'attribuzione della velocità delle onde sismiche di taglio Vs relativa ai differenti strati della colonna sismica, si sono considerati gli esiti dell'indagine sismica eseguita.

Per la quantificazione della risposta sismica locale, il D.G.R 2193/2015 propone la definizione semi quantitativa degli effetti di amplificazione locale semplificata; l'amplificazione è quantificata secondo i parametri FA PGA e FA SI che sono desunti dagli abachi riportati nell'Allegato A2 della suddetta delibera riferiti a grandi situazioni morfologiche stratigrafiche che tengono conto delle caratteristiche litologiche, e morfologiche e della profondità del bedrock sismico.

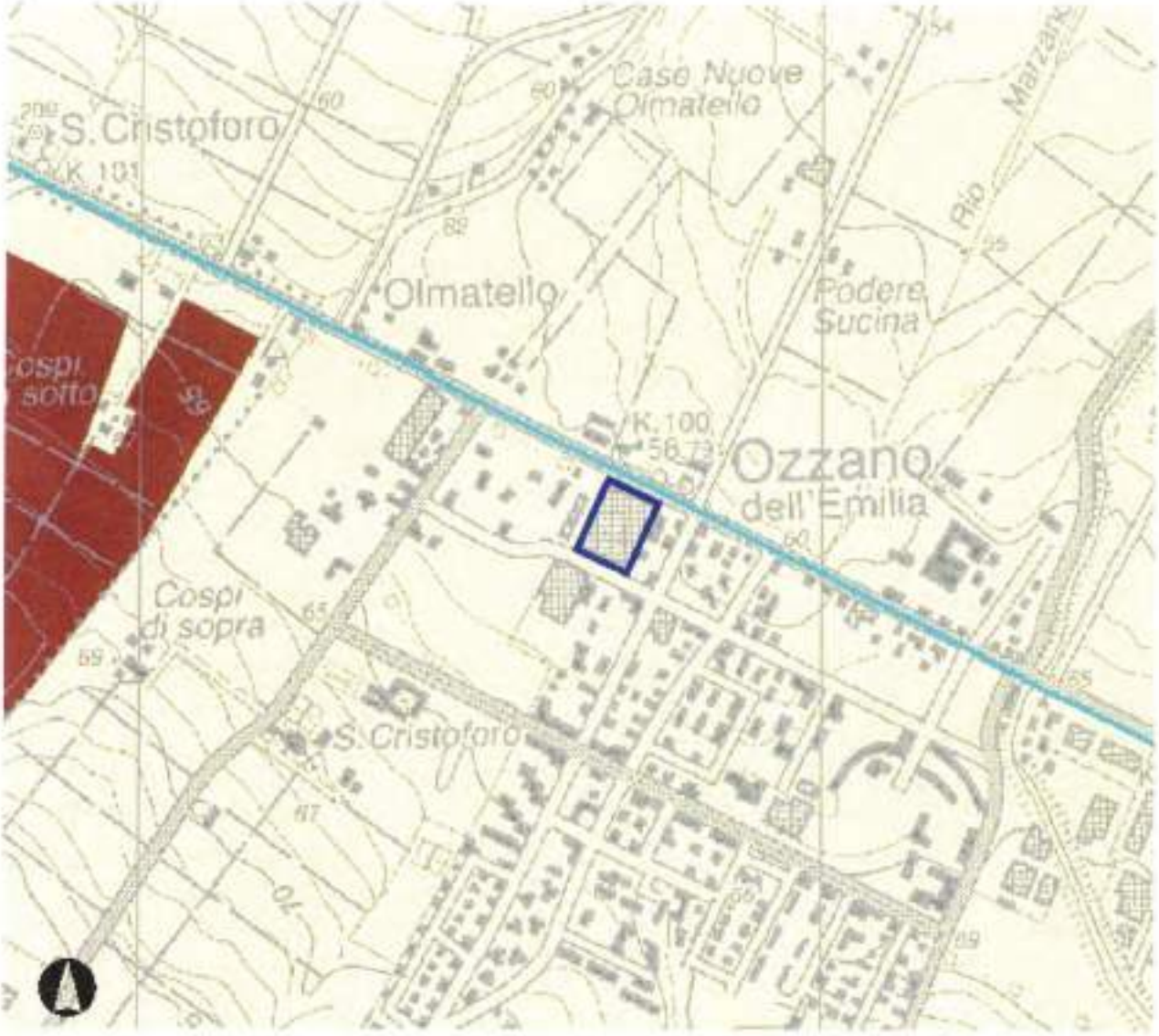
Le variabili da inserire negli abachi per la stima dell'amplificazione locale sono la velocità equivalente delle onde di taglio nel sottosuolo (V_{S30} o V_{SH}) e gli spessori dei sedimenti superficiali che possono amplificare il moto sismico e /o la profondità del bedrock sismico.

I dati del sottosuolo permettono di attribuire l'area di studio al macro contesto geologico "Pianura 2" caratterizzato dalla presenza di sedimenti alluvionali prevalentemente fini e dalla presenza di un'importante discontinuità stratigrafica responsabile di un significativo contrasto di impedenza a circa 100,00 m dal p.c. e dal tetto del substrato rigido a circa 150,00 m

I parametri della microzonazione sismica semplificata sono riportati nella tabella seguente:

Macroambito	V_{S30}	FA PGA	FA SI1 (0,1<T<0,5s)	FA SI2 (0,5<T<1,0s)	FA SI3 (0,5<T<1,5s)
Pianura 2	272 m/sec	1,7	1,9	2,7	2,9

STRALCIO TAVOLA 2C PTCP



Area in esame

Scala 1:10.000

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

TAVOLA 2C PTCP - LEGENDA

D - Fascia soggetta ad amplificazione e potenziali cedimenti differenziali

FP - Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche

F - Area instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche

QP - Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topograf

Q - Area potenzialmente instabile e soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche

P50 - Area potenzialmente instabile per scarpate con acclività > 50°

L1 - Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale presenza di terreni predisponenti la liquefazione

L2 - Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione

G - Area potenzialmente instabile per presenza di cavità sotterranee

R - Aree incoerenti/incerte per caratteristiche litologiche e morfologiche

C - Area soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziali cedimenti

AP - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche e topografiche

A - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche litologiche

P - Area potenzialmente soggetta ad amplificazione per caratteristiche topografiche con acclività 30°-50°

S - Area potenzialmente non soggetta ad effetti locali

c Perimetrazione degli abitati da consolidare o trasferire

1 - Aree in dissesto
2 - Aree di possibile evoluzione del dissesto
4 - Aree da sottoporre a verifica
5 - Aree di influenza sull'evoluzione dei dissesti
A - Zone a più elevata pericolosità
B - Zone di possibile ulteriore evoluzione dei fenomeni franosi
C - Zone individuate come frane antiche
NC - Zone non classificate secondo la Circolare Regionale

h Aree a rischio di frana perimetrate e zonizzate

1 - Aree in dissesto
2 - Aree di possibile evoluzione del dissesto
3 - Aree di possibile influenza del dissesto
4 - Aree da sottoporre a verifica
5 - Aree di influenza sull'evoluzione dei dissesti

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

11. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Trovandoci in ambito di pianificazione viene condotta la valutazione degli effetti sismici di sito di III livello secondo lo schema seguente:

1) Definizione del modello geotecnico del sottosuolo attraverso indagini dirette e indirette;
2) Selezione di un moto di input (terremoto caratteristico) al bedrock;
3) Stima dell'amplificazione del moto in superficie rispetto al bedrock, in funzione della frequenza;
4) Stima dello spettro di risposta dell'oscillatore armonico tipo a un grado di libertà in termini di accelerazioni massime attese in funzione del periodo proprio della struttura per uno smorzamento assunto pari al 5%.

Al fine di effettuare la modellazione numerica per la valutazione degli effetti di sito è necessario avere a disposizione accelerogrammi e spettri di risposta da utilizzare come input sismici nella modellazione stessa.

Il modello geologico di sottosuolo e la correlabilità tra gli esiti litologici e meccanici ottenuti dalle prove geognostiche e geofisiche, consentono l'elaborazione di un'unica modellazione numerica generale di risposta sismica.

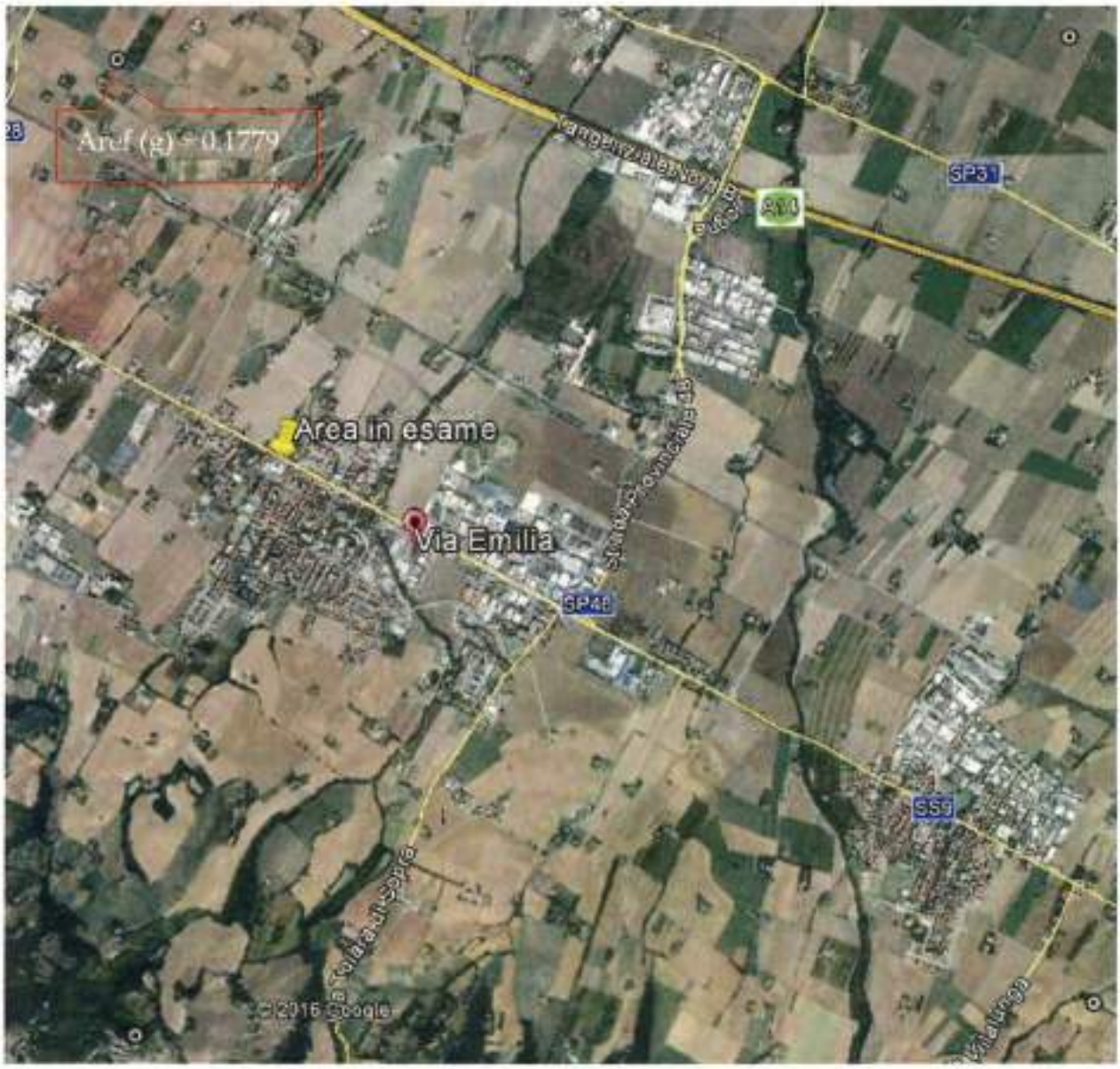
La verifica monodimensionale dell'amplificazione locale è stata eseguita tramite il software EERA e si compone di due fasi:

- elaborazione del modello;
- simulazione degli effetti indotti dal sisma di progetto.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

11.1 Definizione dei segnali di riferimento

Per produrre una simulazione di terremoto si è proceduto a calcolare il moto atteso in superficie a partire dai tre segnali di riferimento relativi ad un sito in roccia (A) forniti dalla regione Emilia Romagna e identificati dalle sigle 046, 126 e 354; il moto sismico per un periodo di ritorno di 475 anni in termini di accelerogrammi relativi al sito analizzato è ottenuto moltiplicando le accelerazioni normalizzate dei segnali di riferimento per il valore di a_{refg} ottenuto da una griglia elaborata da INGV e fornita dal Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna; per il sito in esame è stato utilizzato il valore del punto della griglia più prossimo all'area in esame per il quale a_{refg} = 0,1779g.

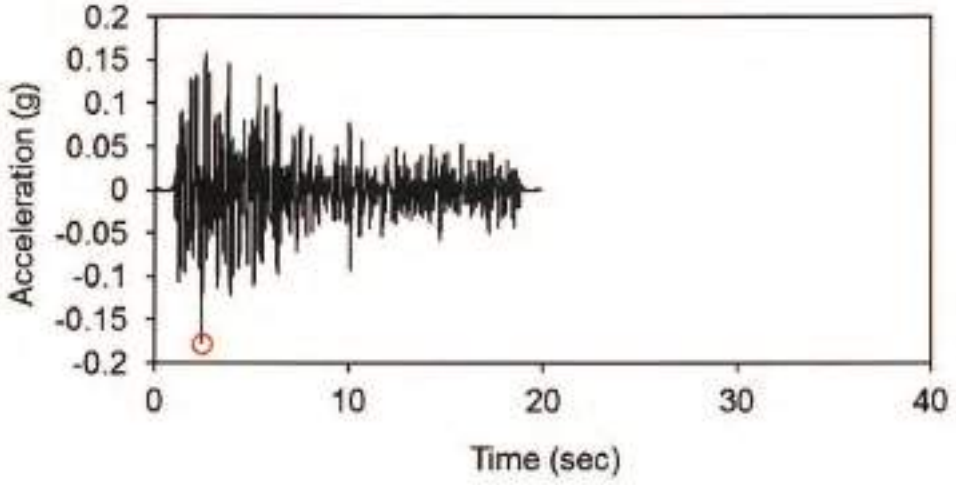


Gli accelerogrammi di input vengono riportati di seguito.

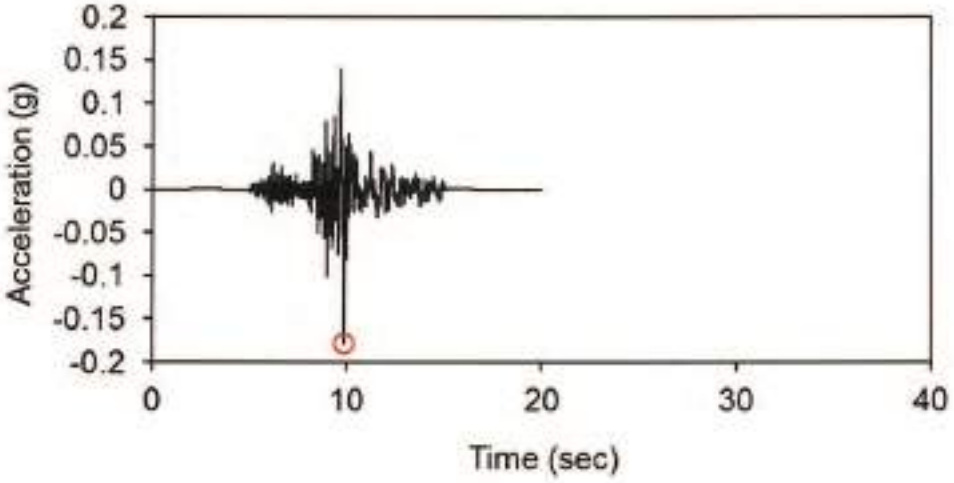
Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

ACCELEROGRAMMI DI INPUT (0,178)

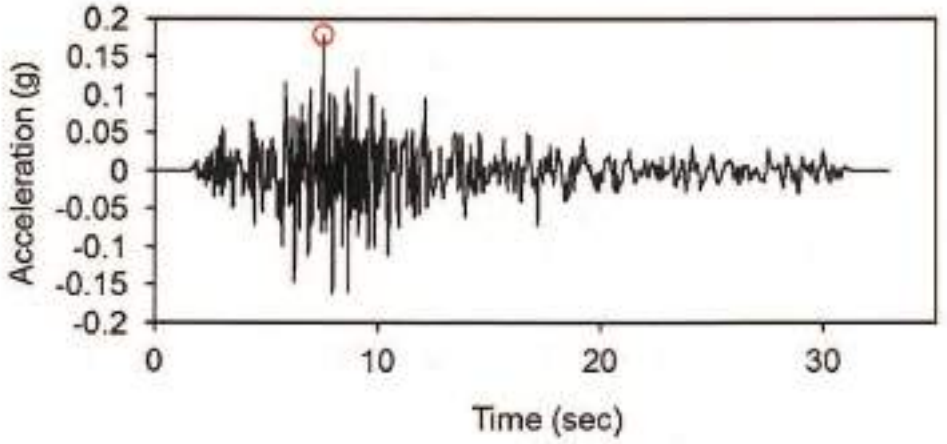
046



126



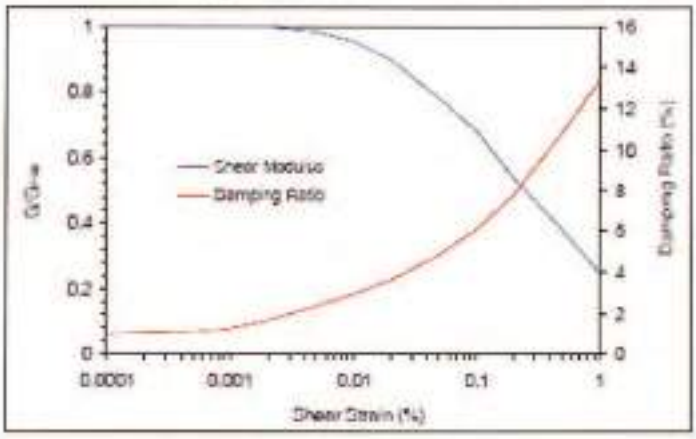
354



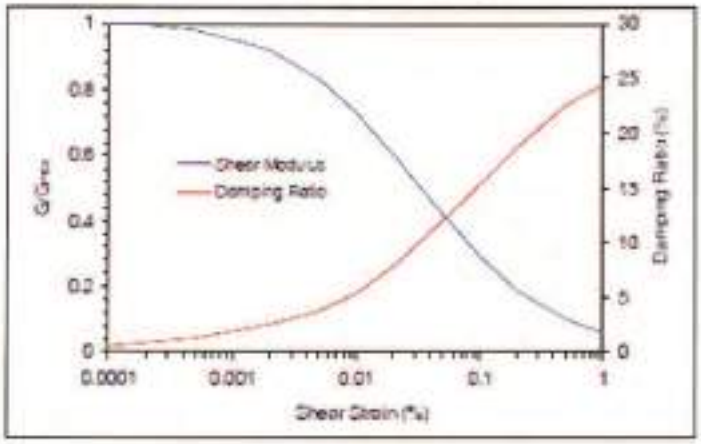
Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

L'analisi è stata effettuata inoltre a partire da curve di variazione del modulo di rigidezza a taglio G e del fattore di smorzamento D in funzione della deformazione per le diverse tipologie di materiale tratte da "Gruppo di Lavoro MS, 2008 – Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica – Conferenza delle Regioni e delle Province Autonome – Dipartimento della Protezione civile, Roma e riportate di seguito".

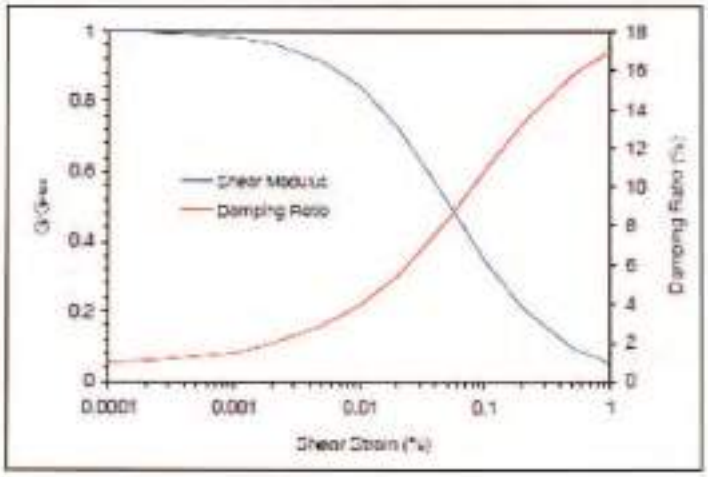
1) Variazione di G e D nelle argille (Vucetic – I.P. 50)



2) Variazione di G e D nelle sabbie (Seed & Idriss)



3) Variazione di G e D nelle ghiaie (Rollins e altri – 1998)



Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 - Casalecchio di Reno (BO) - Telefono (051) 613.51.18

11.2 Elaborazione del modello sismico

La prima fase di elaborazione consiste nel costruire la colonna di sottosuolo di riferimento, rappresentata da strati caratterizzati da diversa tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S (Vs).

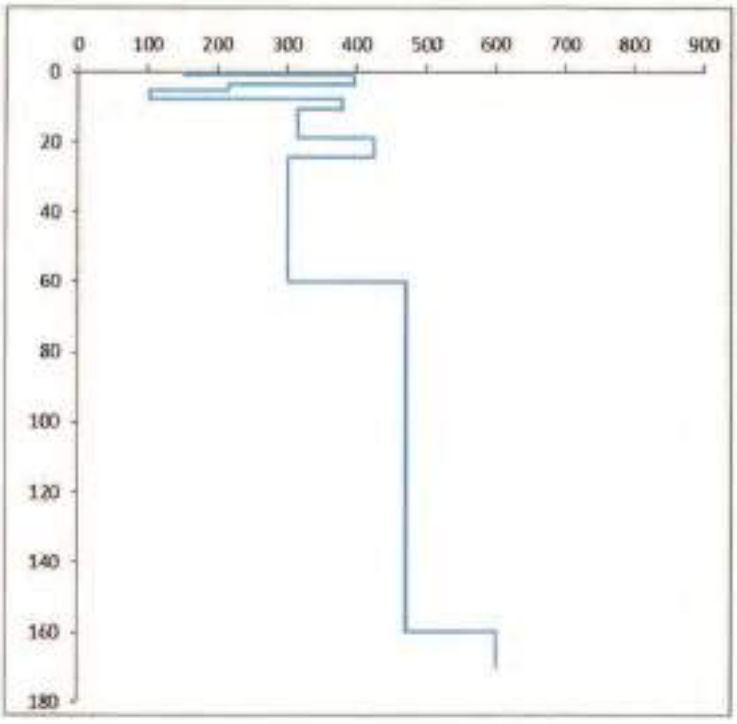
Per l'attribuzione della velocità delle onde sismiche di taglio Vs relativa ai differenti strati della colonna sismica fino a 30,00 m, si sono considerati gli esiti dell'indagine sismica mediante Masw.

L'individuazione degli strati sismici più profondi è stata determinata tramite le registrazioni effettuate con il sismografo digitale Tromino in coppia alla tecnica Masw, ottenendo per il pseudo-bedrock una profondità di 160,00 m dal p.c. attuale

DISTRIBUZIONE DELLE Vs

Strato sismico	Profondità (m)	Vs (m/sec)
1	0,00÷0,95	152
2	0,95÷3,60	396
3	3,60÷5,50	214
4	5,50÷7,80	102
5	7,80÷10,70	379
6	10,70÷18,90	315
7	18,90÷24,60	424
8	24,60÷60,00	300
9	60,00÷160,00	470
10	>160,00	600

PROFILO DI VELOCITÀ

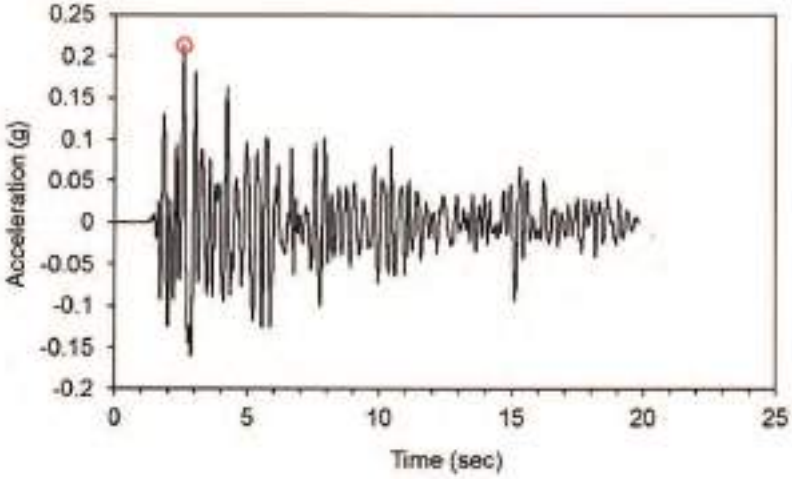


L'interpolazione tra il profilo di sottosuolo e le velocità delle onde sismiche di taglio permette di stimare i valori di accelerazione di picco attesi in superficie per i terremoti caratteristici.

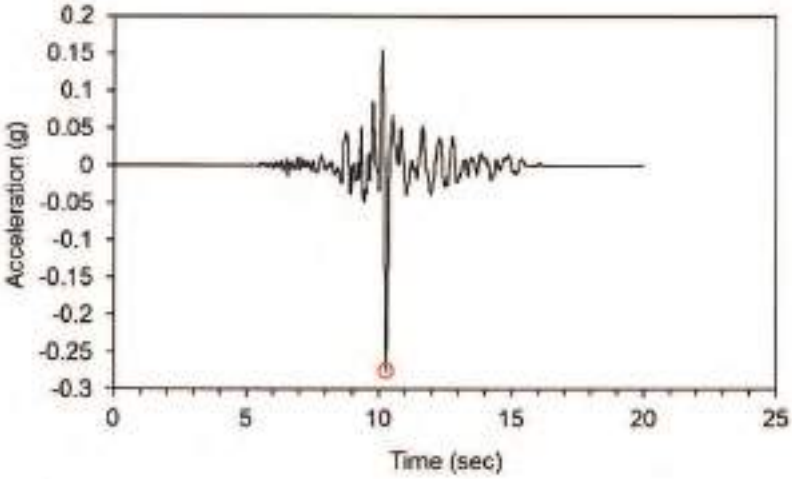
I relativi accelerogrammi vengono riportati nella pagina seguente.

TAV. 5.1 - ACCELEROGRAMMI DEL SITO

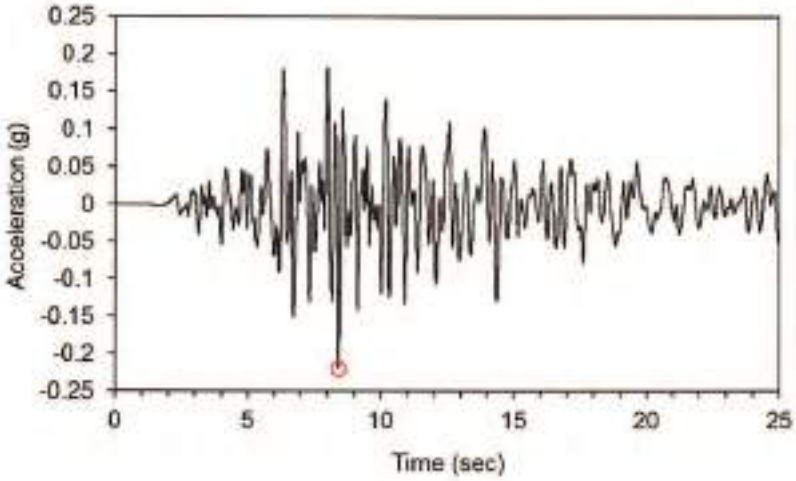
046



126



354



Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.16

Dagli accelerogrammi del sito si ricava il fattore di amplificazione in superficie in termini di accelerazione massima orizzontale come da tabella seguente.

Segnale reg.	PGA	F.A. (PGA/PGA0)
046	0,213	1,2
126	0,275	1,5
354	0,219	1,2

11.3 Elaborazione dell'amplificazione

La seconda fase di elaborazione consente di ottenere differenti spettri di risposta, ognuno dei quali descrive il diverso comportamento relativo ad ogni singolo strato della colonna litologica tipo, rispetto all'input sismico utilizzato.

Nelle TAV. 6.1 vengono riportati i grafici della velocità spettrale; i risultati di questa analisi sono utilizzabili per il calcolo dell'Intensità Spettrale di Housner (IS), indicatore della pericolosità sismica definito come l'area sottesa dallo spettro di pseudovelocità in un intervallo prefissato di frequenze, e direttamente correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante il terremoto.

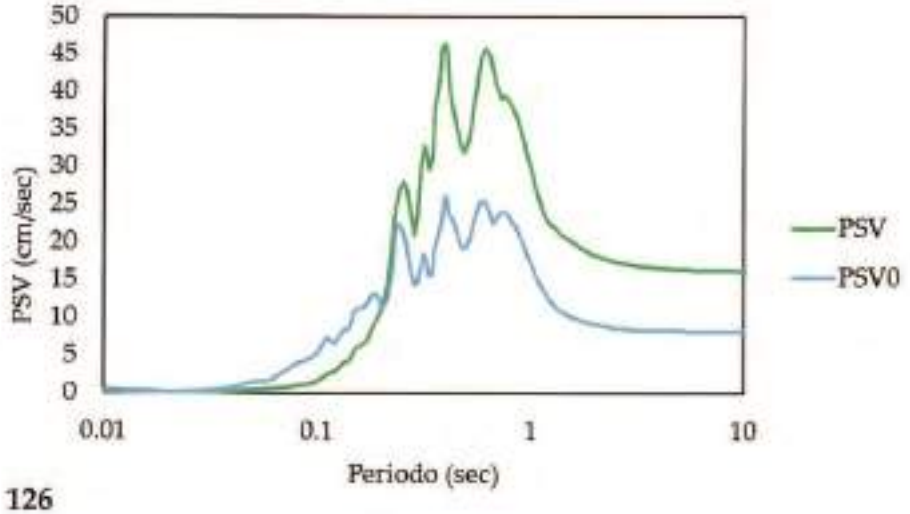
Nella tabella successiva vengono riportati i valori del Fattore di Amplificazione (F.A.), in termini di intensità spettrale ((IS), ottenuti per ciascuno dei tre sismi di progetto.

Segnale reg.	F.A. IS 0,00÷0,50 sec	F.A. IS 0,50÷1,00 sec	F.A. IS 0,50÷1,50 sec
046	1,5	1,7	1,7
126	1,5	1,8	1,8
354	1,4	1,7	1,7

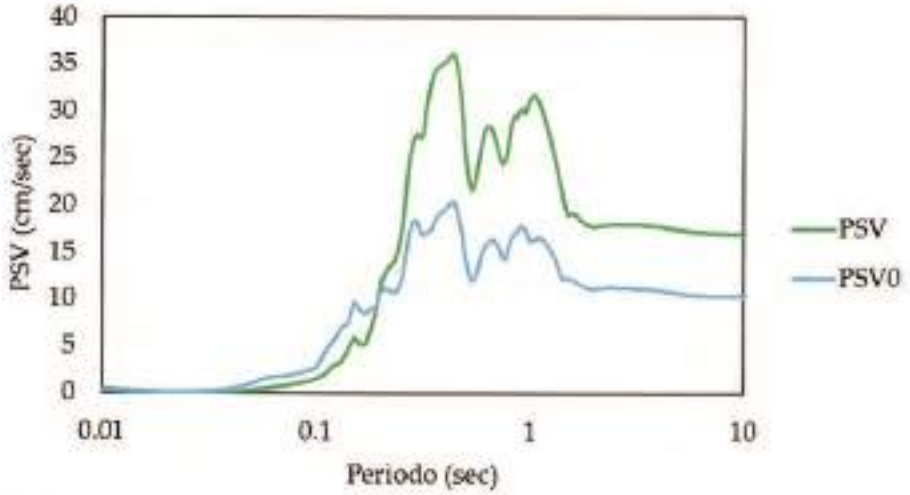
Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Castelecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

TAV. 6.1 – Spettri di risposta relativi alla pseudovelocità (PSV)

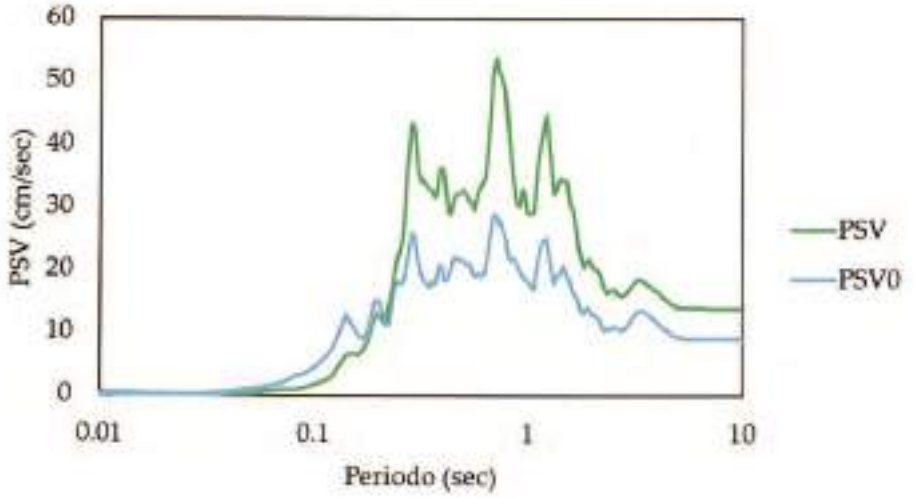
046



126



354



Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Nella TAV. 7 vengono confrontati lo spettro medio dei tre spettri di input, lo spettro elastico di progetto SLV (N.C.T. 3.2.3.5) ottenuto mediante il foglio di calcolo del Ministero dei Lavori Pubblici riferito alla probabilità di superamento nel periodo di riferimento e lo spettro normalizzato dei valori medi del quale in forma tabellare vengono riportati anche i parametri.

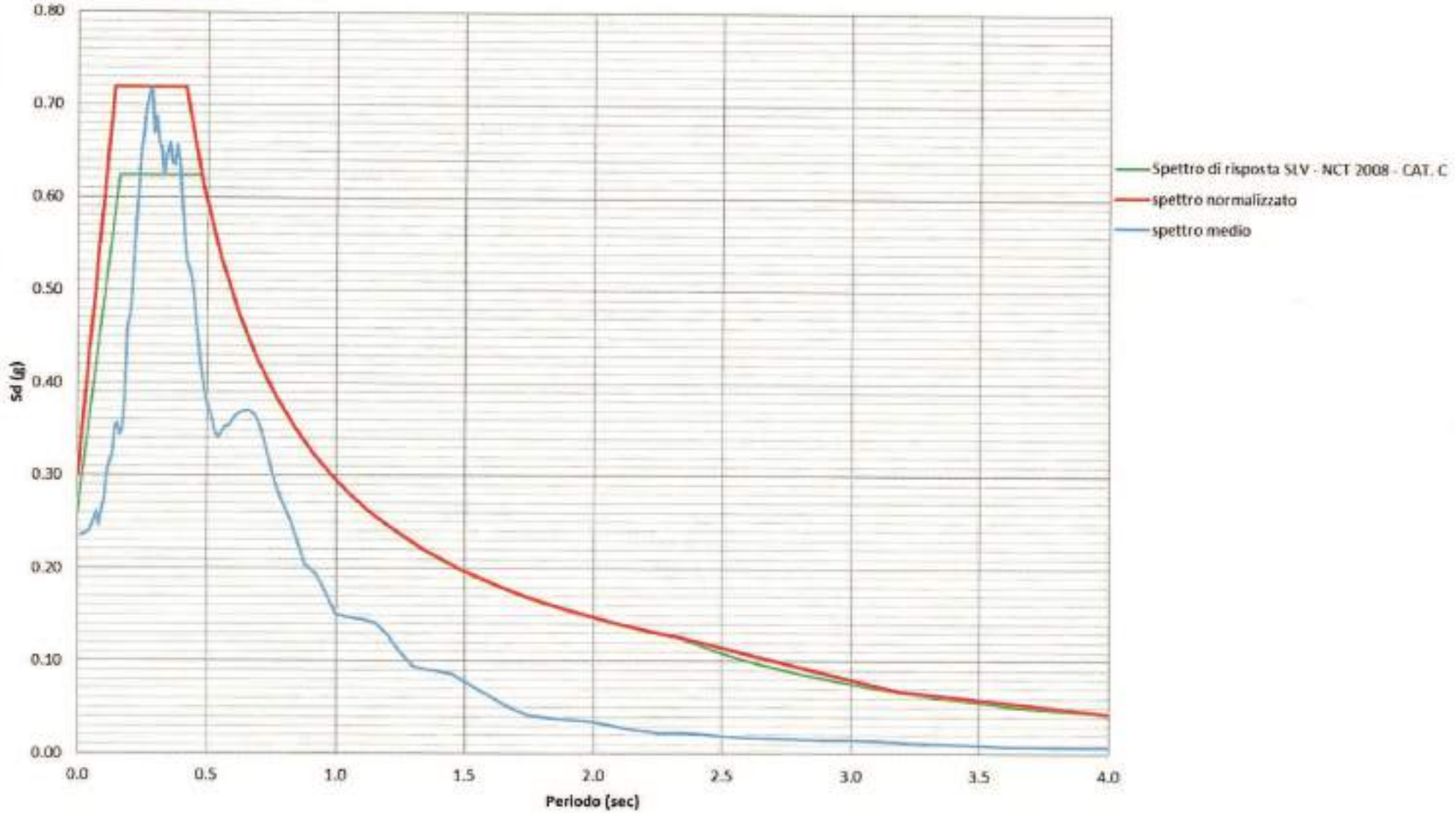
I parametri utilizzati per determinare le forme spettrali sono i seguenti:

Vn = 50
Classe d'uso = II
Coefficiente d'uso = 1,0
Categoria di sottosuolo = C
Categoria topografica = T1
Smorzamento = 5 %
Fattore di struttura = 1

I parametri dello spettro normalizzato sono i seguenti:
Se = 0,719g
S_{RSL} = 1,658
T_B = 0,137 s
T_C = 0,411 s
T_D = 2,324 s

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Castelecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

TAV. 7 – Spettri di risposta



Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Parametri dello spettro di risposta sismica locale e normalizzato

	RSL	RSL-Norm
T (sec)	Se(T)	Se(T)
0.01	0.234*g	**0.331*g**
0.02	0.236*g	**0.362*g**
0.03	0.240*g	**0.392*g**
0.04	0.248*g	**0.423*g**
0.05	0.256*g	**0.453*g**
0.06	0.276*g	**0.484*g**
0.07	0.275*g	**0.514*g**
0.08	0.329*g	**0.545*g**
0.09	0.355*g	**0.576*g**
0.10	0.378*g	**0.606*g**
0.11	0.437*g	**0.637*g**
0.12	0.466*g	**0.667*g**
0.13	0.506*g	**0.698*g**
0.14	0.516*g	**0.719*g**
0.15	0.514*g	**0.719*g**
0.16	0.468*g	**0.719*g**
0.17	0.419*g	**0.719*g**
0.18	0.481*g	**0.719*g**
0.19	0.534*g	**0.719*g**
0.20	0.530*g	**0.719*g**
0.21	0.539*g	**0.719*g**
0.22	0.629*g	**0.719*g**
0.23	0.701*g	**0.719*g**
0.24	0.719*g	**0.719*g**
0.25	0.698*g	**0.719*g**
0.26	0.658*g	**0.719*g**
0.27	0.687*g	**0.719*g**
0.28	0.690*g	**0.719*g**
0.29	0.628*g	**0.719*g**
0.30	0.563*g	**0.719*g**
0.31	0.534*g	**0.719*g**
0.32	0.523*g	**0.719*g**
0.33	0.498*g	**0.719*g**
0.34	0.482*g	**0.719*g**
0.35	0.473*g	**0.719*g**
0.36	0.473*g	**0.719*g**
0.37	0.496*g	**0.719*g**
0.38	0.506*g	**0.719*g**
0.39	0.495*g	**0.719*g**
0.40	0.474*g	**0.719*g**
0.41	0.465*g	**0.719*g**
0.42	0.460*g	**0.704*g**
0.43	0.458*g	**0.688*g**
0.44	0.448*g	**0.672*g**
0.45	0.431*g	**0.657*g**
0.46	0.414*g	**0.643*g**
0.47	0.396*g	**0.629*g**
0.48	0.383*g	**0.616*g**
0.49	0.374*g	**0.603*g**
0.50	0.366*g	**0.591*g**
0.51	0.359*g	**0.580*g**
0.52	0.360*g	**0.569*g**

	RSL	RSL-Norm
T (sec)	Se(T)	Se(T)
0.53	0.357*g	**0.558*g**
0.54	0.344*g	**0.548*g**
0.55	0.331*g	**0.538*g**
0.56	0.331*g	**0.528*g**
0.57	0.332*g	**0.519*g**
0.58	0.337*g	**0.510*g**
0.60	0.343*g	**0.493*g**
0.62	0.339*g	**0.477*g**
0.64	0.339*g	**0.462*g**
0.66	0.338*g	**0.448*g**
0.68	0.333*g	**0.435*g**
0.70	0.321*g	**0.422*g**
0.72	0.303*g	**0.411*g**
0.74	0.279*g	**0.400*g**
0.76	0.258*g	**0.389*g**
0.78	0.249*g	**0.379*g**
0.80	0.237*g	**0.370*g**
0.82	0.223*g	**0.361*g**
0.84	0.208*g	**0.352*g**
0.86	0.193*g	**0.344*g**
0.88	0.179*g	**0.336*g**
0.90	0.176*g	**0.329*g**
0.92	0.170*g	**0.321*g**
0.94	0.160*g	**0.315*g**
0.96	0.150*g	**0.308*g**
0.98	0.140*g	**0.302*g**
1.00	0.135*g	**0.296*g**
1.05	0.133*g	**0.282*g**
1.10	0.134*g	**0.269*g**
1.15	0.131*g	**0.257*g**
1.20	0.118*g	**0.246*g**
1.25	0.100*g	**0.237*g**
1.30	0.086*g	**0.227*g**
1.35	0.085*g	**0.219*g**
1.40	0.083*g	**0.211*g**
1.45	0.080*g	**0.204*g**
1.50	0.072*g	**0.197*g**
1.55	0.065*g	**0.191*g**
1.60	0.057*g	**0.185*g**
1.65	0.049*g	**0.179*g**
1.70	0.042*g	**0.174*g**
1.75	0.038*g	**0.169*g**
1.80	0.037*g	**0.164*g**
1.85	0.035*g	**0.160*g**
1.90	0.035*g	**0.156*g**
1.95	0.033*g	**0.152*g**
2.00	0.032*g	**0.148*g**
2.05	0.030*g	**0.144*g**
2.10	0.027*g	**0.141*g**
2.15	0.025*g	**0.138*g**
2.20	0.024*g	**0.134*g**
2.25	0.022*g	**0.131*g**

	RSL	RSL-Norm
T (sec)	Se(T)	Se(T)
2.30	0.021*g	**0.129*g**
2.35	0.021*g	**0.124*g**
2.40	0.020*g	**0.119*g**
2.50	0.018*g	**0.110*g**
2.60	0.016*g	**0.102*g**
2.70	0.015*g	**0.094*g**
2.80	0.015*g	**0.088*g**
2.90	0.014*g	**0.082*g**
3.00	0.014*g	**0.076*g**
3.10	0.013*g	**0.072*g**
3.20	0.012*g	**0.067*g**
3.30	0.011*g	**0.063*g**
3.40	0.010*g	**0.059*g**
3.50	0.009*g	**0.056*g**
3.60	0.008*g	**0.053*g**
3.70	0.008*g	**0.050*g**
3.80	0.007*g	**0.048*g**
3.90	0.007*g	**0.045*g**
4.00	0.007*g	**0.043*g**

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

12. RISCHIO DI LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

In occasione di un evento sismico particolare attenzione deve essere posta nella liquefazione dei terreni, ovvero la fluidificazione degli stessi con perdita improvvisa della resistenza al taglio, tendenza all'addensamento e conseguente riduzione di volume.

La verifica alla liquefazione può essere omessa quando risulta soddisfatta almeno uno delle seguenti circostanze come da N.T.C. 7.11.3.4.2:

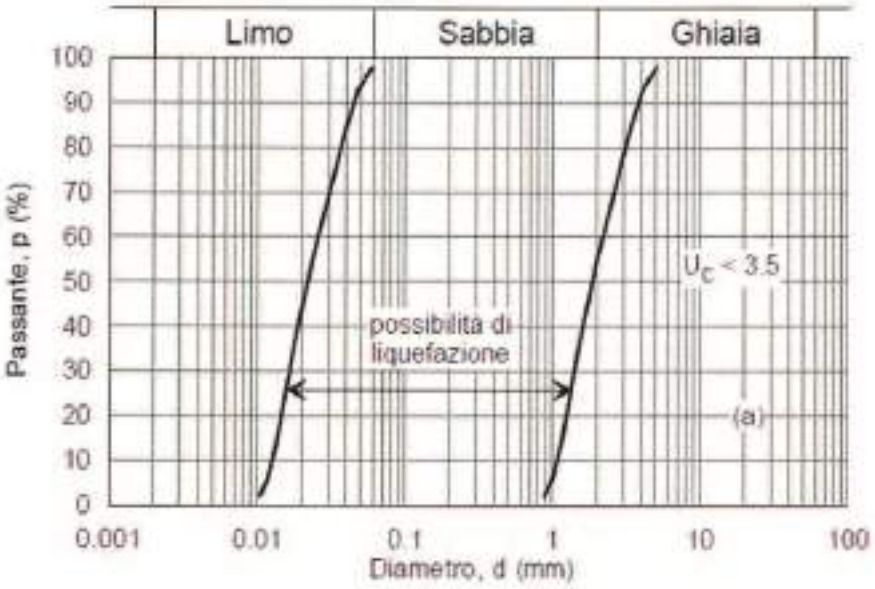
1. Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5; come visto in precedenza sulla base degli "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica – Gruppo di Lavoro MS 2008" le valutazioni vengono effettuate utilizzando la magnitudo massima attesta di 6,14 (***non soddisfatta***);
2. Accelerazione massima attesa al p.c. in condizioni di campo libero minore di 0,1g; nel nostro caso a_{maxs} = F.A. • ag = 0,300g (***non soddisfatta***);

Quando le condizioni 1 e 2 non risultano soddisfatte, le indagini devono essere finalizzate alla determinazione dei parametri necessari per la verifica delle successive condizioni:

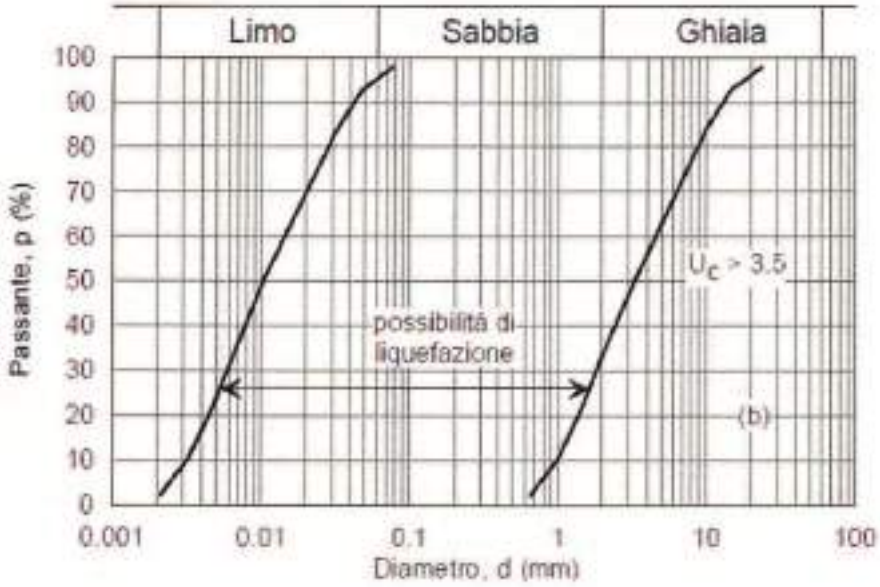
3. Profondità media stagionale della falda superiore a 15,00 m dal p.c., per p.c. suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali; nel nostro caso nel corso delle indagini è stata evidenziata la presenza di una falda freatica di superficie, il cui livello statico al termine dell'indagine, rispetto al p.c. attuale, nel piezometro posto in opera del foro di sondaggio è stato misurato ad una profondità media di 18,81 m (***soddisfatta***);
4. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 >30 oppure (q_{c1n}) > 180; dalle prove penetrometriche eseguite la litologia è rappresentata da limi e argille variabilmente sabbiosi, alternati a ghiaie di elevato addensamento (***soddisfatta***);
5. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura (a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità U < 3,5 ed in figura (b) per terreni con U > 3,5; a livello operativo l'applicazione di questo criterio implica l'esecuzione di un sondaggio con prelievo di campioni di sabbia satura.

Essendo soddisfatta almeno una delle precedenti circostanze previste dalle N.T.C. 7.11.3.4.2, non si è proceduto ad eseguire la verifica alla liquefazione.

(a)



(b)



Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

13. RESISTENZA DI PROGETTO DEI TERRENI IN CONDIZIONI STATICHE

In accordo con le NTC sono stati effettuati i calcoli della resistenza allo stato limite ultimo (SLU).

Secondo la Normativa la valutazione del grado di sicurezza si ottiene adottando il "Metodo semiprobabilistico dei coefficienti parziali" e verificando la relazione:

$$Ed \leq Rd$$

dove:

Ed: valore di progetto dell'azione o degli effetti dell'azione nelle varie combinazioni di calcolo;

Rd: valore di progetto della resistenza del terreno.

Sulla base dei dati di resistenza meccanica ricavati dall'indagine geognostica eseguita è possibile valutare, in questa fase in via orientativa, la resistenza di progetto dei terreni del primo sottosuolo.

Come visto in precedenza i litotipi presenti nell'area indagata, al disotto di un orizzonte di terreno di riporto e/o di alterazione dello spessore medio di 0,60÷1,00 m sono essenzialmente rappresentati da terreni coesivi (limi sabbiosi) di consistenza da plastica plastico dura a dura che, da una profondità media di 2,60÷3,40 m, risultano sopportati da ghiaie in abbondante matrice limo sabbiosa e/o argillosa localmente prevalente, di addensamento da medio ad elevato.

I suddetti terreni sono caratterizzati dalla presenza di una falda freatica di superficie, presumibilmente in leggera pressione, il cui livello statico al termine dell'indagine, alla data di esecuzione della stessa rispetto al p.c. originario è stato misurato ad una profondità media di 19,70÷20,50 m; una lettura eseguita in data 13/03/2017all'interno del piezometro posto in opera nel sondaggio a carotaggio 1, ha evidenziato come il livello statico della stessa si attesti a -18,81 m dal p.c. attuale.

Di seguito, utilizzando i parametri di resistenza meccanica misurati nel corso delle penetrometrie statiche eseguite, in modo indicativo, non essendo a conoscenza della tipologia dei fabbricati in progetto e dell'approfondimento delle fondazioni degli stessi, si verifica la capacità portante dei suddetti terreni prendendo in esame sistemi fondali diretti di tipo nastriforme attestati, sia sui litotipi coesivi (limi e argille) che sui litotipi incoerenti (ghiaie sabbiose e argillose).

Si rimanda ad una analisi più approfondita e dettagliata l'esatta verifica della capacità portante, in relazione anche alle tipologie costruttive ed a particolari esigenze.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

La verifica del valore di progetto della resistenza del terreno viene eseguita secondo la teoria proposta da *Brinch-Hansen* (1970), estensione dell'equazione di *Buisman* (1935) e *Terzaghi* (1943), basata sulle seguenti ipotesi:

- omogeneità ed isotropia del terreno;
- non resistenza del terreno agli sforzi tensionali di trazione;
- rigidezza infinita della struttura di fondazione rispetto al terreno.

Per le considerazioni suddette la formula di *Brinch-Hansen* viene ad assumere la seguente struttura:

$$Rd = (1/2\ \gamma'\ B\ N_\gamma\ s_\gamma\ d_\gamma\ i_\gamma\ g_\gamma\ b_\gamma\ z_\gamma + c'\ N_c\ s_c\ d_c\ i_c\ g_c\ b_c\ z_c + q'\ N_q\ s_q\ d_q\ i_q\ g_q\ b_q\ z_q)\ r_g/\gamma_R$$

dove:

γ' = peso di volume del terreno posto al disotto della fondazione;
B = larghezza della fondazione;
N_γ; N_c; N_q = fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio;
c' = coesione del terreno;
q = (γ • D) = sovraccarico agente ai bordi della fondazione dove γ è il peso di volume del terreno e D è l'incastro della fondazione;
s_γ; s_c; s_q = fattori di forma della fondazione;
d_γ; d_c; d_q = fattori di profondità della fondazione;
i_γ; i_c; i_q = fattori inclinazione carico sulla fondazione;
g_γ; g_c; g_q = fattori dipendenti dall'inclinazione del terreno;
b_γ; b_c; b_q = fattori dipendenti dall'inclinazione della fondazione;
z_γ; z_c; z_q = fattori correzione sismico inerziale;
r_g = fattore riduttivo applicato per elevati valori di B (Bowles);
γ_R = coefficiente parziale per la verifica agli stati ultimi di fondazioni superficiali.

Essendo in fase di pianificazione, la verifica della resistenza di progetto del terreno in condizioni statiche viene eseguita prendendo in esame sistemi fondali diretti di tipo nastriforme attestati, sia sulle argille limose e sabbiose appartenenti alle unità geotecniche A e B che sulle ghiaie in matrice sabbioso argillosa appartenenti all'unità geotecnica C.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 - Castelecchio di Reno (BO) - Telefono (051) 613.51.18

14.A Argille limose e sabbiose

In presenza di terreni prevalentemente coesivi la verifica della capacità portante degli stessi viene eseguita in condizioni non drenate (condizioni più critiche); in questo caso l'angolo di attrito interno del terreno (φ) viene considerato uguale a zero e la resistenza al taglio totale viene affidata alla sola coesione non drenata il cui valore viene ricavato empiricamente mediante la relazione:

$$Cu = \frac{qc_m - \sigma' vo}{Ncp}$$

dove:

qc_m = valore medio di resistenza meccanica del terreno posto al disotto del piano di posa delle fondazioni;

σ'_{VO} = tensione verticale efficace;

N_{cp} = coefficiente adimensionale funzione della litologia e delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni.

Per le condizioni suddette la formula di *Brinch-Hansen*, non considerando i fattori correttivi che tengono conto dell'approfondimento della fondazione, ipotizzando il piano di posa della fondazione orizzontale, che il carico trasmesso sulla stessa risulti centrato, e per una inclinazione del terreno $\beta = 0$, si riduce a:

$$Rd = (cud \cdot N_c \cdot s_c \cdot z_c + q) \cdot r_g / \gamma R$$

dove:

cud = coesione non drenata di progetto;

$N_c = (2 + \pi)$ = fattore capacità portante;

s_c = fattore di forma delle fondazioni; per fondazioni a plinti vale 1,2;

z_c = fattore correzione sismico inerziale;

$q = (\gamma \cdot D)$ = sovraccarico agente ai bordi della fondazione, dove γ è il peso di volume del terreno e D è l'incastro medio della fondazione;

r_g = fattore riduttivo applicato per elevati valori di B (Bowles), pari a $1-0{,}25 \log_{10}(B/2)$; per valori di B<2 m, lo stesso si assume unitario.

Per la verifica del valore di progetto della capacità portante del terreno, la normativa prevede l'utilizzo di valori di progetto (Vd) ottenuti applicando, ai valori caratteristici (Vk), dei coefficienti parziali riduttivi funzione della tipologia di Approccio utilizzata.

Per i calcoli della resistenza allo stato limite ultimo (SLU) verrà utilizzato sia l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2), che risulta dimensionante per le verifiche di sicurezza rispetto agli stati limite di tipo geotecnico, che l'Approccio 2 (A1+M1+R3).

Nella tabella seguente vengono riportati i coefficienti parziali riduttivi previsti dalla normativa per i parametri geotecnici del terreno.

Tabella 6.2.II

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE		
		γ_M	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	tan φ'_k	$\gamma_{\varphi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,00	1,00

Il valore caratteristico della coesione non drenata (c_{uk}), trovandoci in presenza di una fondazione rigida cui è associata un importante volume significativo di terreno, è definito come il 5° percentile della distribuzione lognormale della media dei dati delle verticali indagate nel volume di influenza, al quale viene applicato il coefficiente M1 o M2 previsto dalla Normativa per ottenere il valore di c_{ud}.

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma viene introdotto il fattore correttivo zc ottenuto dalla formula:

$$zc = 1 - 0{,}32 \bullet kh$$

dove:

kh = coefficiente sismico orizzontale.

Il valore γ_R (coefficiente parziale per la verifica agli stati ultimi di fondazioni superficiali) si ricava dalla seguente tabella:

Tabella 6.4.I

Verifica	Coefficiente parziale (R1)	Coefficiente parziale (R2)	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1{,}0$	$\gamma_R = 1{,}8$	$\gamma_R = 2{,}3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1{,}0$	$\gamma_R = 1{,}1$	$\gamma_R = 1{,}1$

14.B Ghiaie e sabbie

In presenza di terreni prevalentemente incoerenti la verifica della capacità portante degli stessi viene eseguita ponendo la coesione uguale a zero e la resistenza al taglio viene affidata solamente all'angolo di attrito interno del terreno.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Castelecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613 51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Per le condizioni suddette la formula di *Brinch-Hansen*, non considerando i fattori correttivi che tengono conto dell'approfondimento della fondazione, ipotizzando il piano di posa della fondazione orizzontale, che il carico trasmesso sulla stessa risulti centrato, e per una inclinazione del terreno $\beta = 0$, si riduce a:

$$Rd = (1/2 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_\gamma \cdot z_\gamma \cdot S_\gamma + q' \cdot N_q \cdot z_q \cdot S_q) \cdot r_g/\gamma_R$$

dove:

N_γ; N_q = fattori di capacità portante dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio;

S_γ; S_q = fattori di forma della fondazione; pari rispettivamente a $1-0{,}4 \cdot (B/L)$ e $1+(B/L) \cdot tg\,\varphi$, con φ = angolo di attrito interno del terreno;

γ' = peso dell'unità di volume del terreno;

$q = (\gamma \cdot D)$ = sovraccarico agente ai bordi della fondazione, dove γ è il peso di volume del terreno e D l'incastro della fondazione assunto unitario;

B = larghezza della fondazione, assunta unitaria;

z_γ ; z_q = fattori correzione sismico inerziale;

r_g = fattore riduttivo applicato per elevati valori di B (Bowles), pari a $1-0{,}25 \log_{10}(B/2)$; nel nostro caso, ipotizzando un valore di B<2 m, lo stesso si assume unitario.

Per la verifica del valore di progetto della capacità portante del terreno, la normativa prevede l'utilizzo di valori di progetto (Vd) ottenuti applicando, ai valori caratteristici (Vk), dei coefficienti parziali riduttivi funzione della tipologia di Approccio utilizzata.

Per i calcoli della resistenza allo stato limite ultimo (SLU) verrà utilizzato sia l'Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2), che risulta dimensionante per le verifiche di sicurezza rispetto agli stati limite di tipo geotecnico, che l'Approccio 2 (A1+M1+R3).

Nella tabella seguente vengono riportati i coefficienti parziali riduttivi previsti dalla normativa per i parametri geotecnici del terreno.

Tabella 6.2.II

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE		
		γ_M	M1	M2
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	tan $\varphi'k$	$\gamma_{\varphi'}$	1,00	1,25
Coesione efficace	c' k	$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata	cuk	γ_{cu}	1,00	1,40
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,00	1,00

Il valore caratteristico dell'angolo di resistenza al taglio del terreno ($\varphi'k$), trovandoci in presenza di una fondazione rigida cui è associata un importante volume significativo di terreno, è definito come il 5° percentile della media dei dati delle verticali indagate nel volume di influenza (distribuzione di Student), al quale viene applicato il coefficiente M1 o M2 previsto dalla Normativa per ottenere il valore di $\varphi'd$.

Per tener conto degli effetti inerziali indotti dal sisma vengono introdotti i fattori correttivi z ottenuti dalle formule:

$$zq = (1 - kh/tg\varphi)^{0,35}$$

$$z\gamma = zq$$

dove:

kh = coefficiente sismico orizzontale.

Il valore γR (coefficiente parziale per la verifica agli stati ultimi di fondazioni superficiali) si ricava dalla seguente tabella:

Tabella 6.4.I

Verifica	Coefficiente parziale (R1)	Coefficiente parziale (R2)	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante	$\gamma R = 1,0$	$\gamma R = 1,8$	$\gamma R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma R = 1,0$	$\gamma R = 1,1$	$\gamma R = 1,1$

Nel nostro caso, non considerando la superficie efficace della fondazione, otteniamo:

Profondità fondazione = 1,20 m; B<2,00 m

sc = 1,0;

rg = 1,0.

- *Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2)*

Punto N	Litologia	Cu*k* (kPa)	Cu*d* (kPa)	$\varphi'k$ (°)	$\varphi'd$ (°)	γR	Rd (kPa)
1	AL/ALS	65	46,4	-	-	1,8	**140,5**
2	AL/ALS	55	39,3	-	-	1,8	**120,7**

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 - Casalecchio di Reno (BO) - Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

- *Approccio 2 (A1+M1+R3)*

Punto N	Litologia	Cu*k* (kPa)	Cu*d* (kPa)	φ'*k* (°)	φ'*d* (°)	γR	Rd (kPa)
1	AL/ALS	65	65	-	-	2,3	**150,7**
2	AL/ALS	55	55	-	-	2,3	**128,9**

Profondità fondazione = 3,50 m; B<2,00 m

sc = 1,0;

rg = 1,0.

- *Approccio 1 Combinazione 2 (A2+M2+R2)*

Punto N	Litologia	Cu*k* (kPa)	Cu*d* (kPa)	φ'*k* (°)	φ'*d* (°)	γR	Rd (kPa)
1	GLS	-	-	34	28,4	1,8	**238,6**
2	GLS	-	-	34	28,4	1,8	**238,6**

- *Approccio 2 (A1+M1+R3)*

Punto N	Litologia	Cu*k* (kPa)	Cu*d* (kPa)	φ'*k* (°)	φ'*d* (°)	γR	Rd (kPa)
1	GLS	-	-	34	34	2,3	**388,5**
2	GLS	-	-	34	34	2,3	**388,5**

Sarà cura del progettista, sulla base della conoscenza dei parametri di progetto, della geometria del sistema fondale e delle azioni di progetto, la verifica della disequazione Ed < Rd.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

14. CONSIDERAZIONI FINALI

L'area in esame ricade nella zona di passaggio compresa tra la fascia collinare pedeappenninica e l'alta Pianura Padana; più esattamente si ubica ad una quota media di 60,00 m s.l.m., in una fascia pressoché pianeggiante e/o moderatamente acclive (2÷3 %) che degrada in direzione Nord - Nord/Est.

La litologia del primo sottosuolo al tetto, al disotto di un orizzonte di terreno di riporto dello spessore medio di 0,60÷1,00 m, risulta inizialmente caratterizzata dalla presenza di argille limose da grigio a nocciola, di consistenza plastica (q_c = 1,0÷1,6 MPa, Rf = 5,0÷6,6 %) ed umidità medio scarsa, che da una profondità media di 1,60÷1,80 m sono sostituite da argille limose e/o sabbiose di consistenza da plastico dura a dura (q_c = 2,2÷4,4 MPa, Rf = 2,5÷5,4 %) ed umidità medio scarsa.

Da una profondità variabile da 2,80 m a 3,40 m (fascia Nord) si evidenziano delle ghiaie di addensamento da medio ad elevato (q_c = 14,5÷30,6 MPa, Rf = 0,6÷0,9 %) (q_d = 11,0÷42,9 MPa) in abbondante matrice limo sabbiosa e/o argillosa di colore nocciola, prevalente al letto dell'intervallo (q_d = 4,1÷9,8 MPa) ed umidità da medio scarsa a scarsa.

Le prove SPT eseguite all'interno dei suddetti litotipi hanno confermato un addensamento da medio elevato ad elevato, con valori di N_{30} variabili da 62 a 71, dai quali si ottengono valori normalizzati $(N_1)_{60}$ compresi tra 42 e 56 ed una densità relativa variabile dall'86 % al 98 %.

Da una profondità variabile da 7,40÷8,00 m a 9,20 m (fascia Nord) prevalgono delle argille limose di colore da nocciola grigiastro a grigio, di consistenza plastico dura (q_c = 2,0÷3,7 MPa, Rf = 2,6÷5,1 %) ed umidità medio scarsa, inglobanti orizzonti di consistenza plastica (q_c = 1,3÷1,9 MPa, Rf = 4,6÷6,2 %) e orizzonti francamente sabbiosi di colore nocciola di addensamento da medio a medio elevato (q_c = 4,0÷9,5 MPa, Rf = 1,1÷2,2 %), con rari ciottoli.

Suddetti litotipi sono sopportati da ghiaie di addensamento da medio ad elevato in matrice sabbioso limosa di colore nocciola a tratti prevalente, il cui tetto è stato evidenziato ad una profondità variabile da 10,70 m (fascia Nord) a 14,10÷14,60 m; l'umidità inizialmente medio scarsa, aumenta sino alla totale saturazione idrica a partire da una profondità media di 19,70÷20,50 m.

Le prove SPT eseguite all'interno dei suddetti litotipi hanno confermato un addensamento medio elevato, evidenziando valori di N_{30} variabili da 58 a 82, dai quali si ottengono valori normalizzati $(N_1)_{60}$ compresi tra 23 e 31 e densità relativa tra 62 % e 73%.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Infine a partire da circa 20,10÷21,30 m, e sino alla profondità indagata, sono presenti delle argille limose di colore da grigio a nocciola, di consistenza da plastica (P.P. = 1,2÷1,9 kg/cm^2; V.T. = 0,7÷1,0 kg/cm^2) a plastico dura – dura (P.P. = 2,3÷>4,5 kg/cm^2; V.T. = 1,2÷>2,0 kg/cm^2) ed umidità da media a medio scarsa, con sottili intercalazioni sabbiose e limose.

I suddetti terreni sono caratterizzati dalla presenza di una falda freatica di superficie, presumibilmente in leggera pressione, il cui livello statico al termine dell'indagine, alla data di esecuzione della stessa, rispetto al p.c. è stato misurato ad una profondità variabile da 19,70 m a 20,50 m; una lettura eseguita in data 13/03/2017 all'interno del piezometro posto in opera nel sondaggio a carotaggio n. 1, ha evidenziato come il livello statico della stessa si attesti ad una profondità di circa 18,81 m, mentre nel pozzo presente nella zona cortiliva Sud/Ovest la stessa è stata misurata ad una profondità di circa 23,30 m.

Sulla base dei risultati dell'indagine geognostica è possibile distinguere il terreno secondo le unità geotecniche indicate nella tabella successiva.

U.G.	Profondità m da p.c.		Litologia prevalente	qc/qd MPa	γ (kN/mc)	Cu (kPa)	φ (°)	Dr (%)
	da	a						
0	0,00	0,60÷1,00	R	-	-	-	-	-
A	0,60÷1,00	1,60÷1,80	AL	1,0÷1,6	19,1÷19,2	50÷80	0	0
B	1,60÷1,80	2,60÷2,80	ALS	2,2÷4,4	19,3÷19,5	107÷176	0	0
C	2,60÷3,40	7,40÷8,00	GLS/SLG	4,1÷39,5	18,5÷18,6	0	32÷44	27÷96
D	7,40÷9,20	10,70÷13,30	ALS	2,0÷3,7	19,3÷19,5	100÷153	0	0
D1	11,40÷11,80	12,40÷12,80	ALS	1,3÷1,9	19,1÷19,3	65÷95	0	0
E	12,80÷13,30	14,10÷14,60	SL	5,1÷9,5	18,5÷18,6	0	33÷36	43÷64
F	10,70÷14,60	20,10÷21,30	GS	-	8,5÷18,5	0	38÷40	62÷73
F	20,10÷21,30	fine indag.	AL	-	20,0÷20,5	70÷>200	0	0

I terreni del primo sottosuolo, con riferimento il p.c. attuale, presentano una Vs30 dell'ordine di 270÷280 m/sec, pertanto ricadono nella Categoria C, che comprende *"Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15<N_{SPT30}<50 nei terreni a grana grossa e 70 <Cu_{30}<250 kPa nei terreni a grana fine")*.

Sulla base dell'indagine geognostica e dell'indagine sismica eseguita e utilizzando le tabelle per il calcolo dei coefficienti di amplificazione sismica pubblicate sul D.G.R 2193/2015 considerando un ambito di "Pianura 2" otteniamo un valore del Fattore di Amplificazione F.A. pari a 1,7.

Utilizzando le stesse tabelle e con gli stessi parametri visti in precedenza si ottengono i valori di rapporto di intensità di Housner (S.I.) riferiti allo spettro di risposta in velocità, che per periodi propri del sito (T_0) compresi tra 0,1 e 0,5 sec vale 1,9 e per periodi compresi tra 0,5 e 1 sec e 0,5 e 1,5 s valgono rispettivamente 2,7 e 2,9.

La modellazione della risposta sismica locale (III Livello) ha consentito di determinare i valori del Fattore di Amplificazione (F.A.), in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) e di intensità spettrale (IS).

Il fattore di amplificazione in superficie F.A. in termini di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0) è compreso tra 1,2 e 1,5.

Dall'analisi della risposta sismica locale risulta che il fattore di amplificazione (F.A.), in termini di intensità spettrale (IS), per periodi propri del sito (T_0) compresi tra 0,1 e 0,5 sec varia da 1,4 a 1,5, e per periodi compresi tra 0,5 e 1,0 sec e 0,5 e 1,5 sec varia da 1,7 a 1,8.

Lo spettro normalizzato determinato sulla base dell'inviluppo dei valori medi presenta un accelerazione spettrale Se pari a 0,717g e un coefficiente di amplificazione locale S_{RSL} = 1,658.

Nell'area in esame sedimenti potenzialmente liquefabili sono inesistenti, essendo la litologia di superficie rappresentata da limi e argille variabilmente sabbiosi, sopportati da una lente ghiaiosa evidenziata ad una profondità media di 24,30÷24,50 m dal p.c. originario.

Per sistemi fondali diretti nastriformi attestati sui litotipi coesivi (argille limose e sabbiose), non considerando la superficie efficace degli stessi, si ottengono valori di resistenza di progetto compresi tra 120,7 kN/m^2 a 140,5 kN/m^2 nel caso di verifica mediante "Approccio 1 Combinazione 2" e tra 128,9 kN/m^2 e 150,7 kN/m^2 nel caso di "Approccio 2", mentre per sistemi fondali nastriformi attestati su litotipi incoerenti, sempre per le stesse condizioni, consentono valori di resistenza di progetto dell'ordine di 238,6 kN/m^2 nel caso di verifica mediante "Approccio 1 Combinazione 2" e di 388,5 kN/m^2 nel caso di "Approccio 2".

Casalecchio di Reno, 04 Aprile 2017

ORDINE DEI GEOLOGI REGIONE EMILIA ROMAGNA
DOTT. GRAZIANO GRIMANDI
Emilia Romagna
GEOLOGO
5224
N. 407 ALBO P.

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

ALLEGATI

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 - Casalecchio di Reno (BO) - Telefono (051) 613.51.18

Indagine geognostica

Committente:	Futura Costruzioni	**Rapporto di prova N°:**	**17.0102 /RSP**
Località :	Ozzano dell'Emilia (BO)		
Cantiere :	via Emilia 42	Data prova:	06/03/2017
n° prova :	1	Quota:	--
Profondità falda :	assente	Codice lavoro:	2017.028
Attrezzatura:	Penetrometro da 200 kN	Procedura di prova:	IO_003
Note:	---		

L1 kg/cm²	L2 kg/cm²	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
10		0,98	65,40	15	6,67	1,0 m
15	25	1,47	91,56	16	6,23	
14	28	1,37	78,48	17	5,72	
13	25	1,27	71,94	18	5,64	
22	33	2,16	98,10	22	4,55	
30	45	2,94	124,26	24	4,22	2,0 m
38	57	3,73	156,96	24	4,21	
44	68	4,31	137,34	31	3,18	
40	61	3,92	117,72	33	3,00	
59	77	5,78	78,48	74	1,36	
139	151	13,63	78,48	174	0,58	3,0 m
238	250	23,33				
						4,0 m
						5,0 m
						6,0 m
						7,0 m
						8,0 m
15	30	1,47	85,02	17	5,78	
16	29	1,57	91,56	17	5,84	
21	35	2,06	104,64	20	5,08	
22	38	2,16	78,48	27	3,64	
25	37	2,45	104,64	23	4,27	9,0 m
28	44	2,75	98,10	28	3,57	
26	41	2,55	98,10	26	3,85	
25	40	2,45	91,56	27	3,74	
27	41	2,65	91,56	29	3,46	
31	45	3,04	98,10	31	3,23	10,0 m

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	06/03/2017	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

Segue Rapporto di Prova N°: 17.0102 /RSP

L1 kg/cm²	L2 kg/cm²	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
32	47	3,14	104,64	30	3,34	
36	52	3,53	104,64	34	2,96	
25	41	2,45	117,72	21	4,80	
41	59	4,02	85,02	47	2,12	
48	61	4,71	98,10	48	2,08	11,0 m
25	40	2,45	117,72	21	4,80	
27	45	2,65	117,72	22	4,45	
28	46	2,75	124,26	22	4,53	
22	41	2,16	104,64	21	4,85	
18	34	1,76	91,56	19	5,19	12,0 m
19	33	1,86	98,10	19	5,27	
20	35	1,96	91,56	21	4,67	
38	52	3,73	104,64	36	2,81	
35	51	3,43	91,56	37	2,67	
52	66	5,10	91,56	56	1,80	13,0 m
65	79	6,37	98,10	65	1,54	
73	88	7,16	104,64	68	1,46	
151	167	14,80				

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	06/03/2017	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

Committente: Futura Costruzioni
Località: Ozzano dell'Emilia (BO)
Cantiere: via Emilia 42
n° prova: 2
Profondità falda: assente
Attrezzatura: Penetrometro da 200 kN
Note: ---

Rapporto di prova N°: 17.0103 /RSP

Data prova: 06/03/2017
Quota: --
Codice lavoro: 2017.028
Procedura di prova: IO_003

L1 kg/cm²	L2 kg/cm²	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
13		1,27	78,48	16	6,16	
16	28	1,57	78,48	20	5,00	1,0 m
15	27	1,47	98,10	15	6,67	
10	25	0,98	65,40	15	6,67	
11	21	1,08	65,40	16	6,06	
21	31	2,06	111,18	19	5,40	
35	52	3,43	170,04	20	4,96	2,0 m
37	63	3,63	176,58	21	4,87	
44	71	4,31	104,64	41	2,43	
42	58	4,12	104,64	39	2,54	
45	61	4,41	111,18	40	2,52	
148	165	14,51	124,26	117	0,86	3,0 m
224	243	21,96	130,80	168	0,60	
228	248	22,35	130,80	171	0,59	
312	332	30,59				
						4,0 m
						5,0 m
						6,0 m
						7,0 m
10	14	0,98	65,40	15	6,67	8,0 m
12	22	1,18	71,94	16	6,11	
27	38	2,65	111,18	24	4,20	
26	43	2,55	85,02	30	3,34	
29	42	2,84	98,10	29	3,45	
26	41	2,55	85,02	30	3,34	9,0 m
29	42	2,84	85,02	33	2,99	
27	40	2,65	78,48	34	2,96	
28	40	2,75	78,48	35	2,86	
31	43	3,04	78,48	39	2,58	
32	44	3,14	85,02	37	2,71	10,0 m

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	06/03/2017	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

Segue Rapporto di Prova N°: 17.0103 /RSP

L1 kg/cm²	L2 kg/cm²	qc MPa	fs kPa	qc/fs -	Rf %	
41	54	4,02	91,56	44	2,28	
42	56	4,12	91,56	45	2,22	
25	39	2,45	91,56	27	3,74	
34	48	3,33	104,64	32	3,14	
32	48	3,14	117,72	27	3,75	11,0 m
26	44	2,55	111,18	23	4,36	
28	45	2,75	111,18	25	4,05	
18	35	1,76	98,10	18	5,56	
17	32	1,67	98,10	17	5,89	
14	29	1,37	85,02	16	6,19	12,0 m
20	33	1,96	98,10	20	5,00	
22	37	2,16	104,64	21	4,85	
19	35	1,86	98,10	19	5,27	
16	31	1,57	91,56	17	5,84	
54	68	5,29	85,02	62	1,61	13,0 m
68	81	6,67	117,72	57	1,77	
97	115	9,51	137,34	69	1,44	
65	86	6,37	71,94	89	1,13	
224	235	21,96	124,26	177	0,57	
345	364	33,82				14,0 m

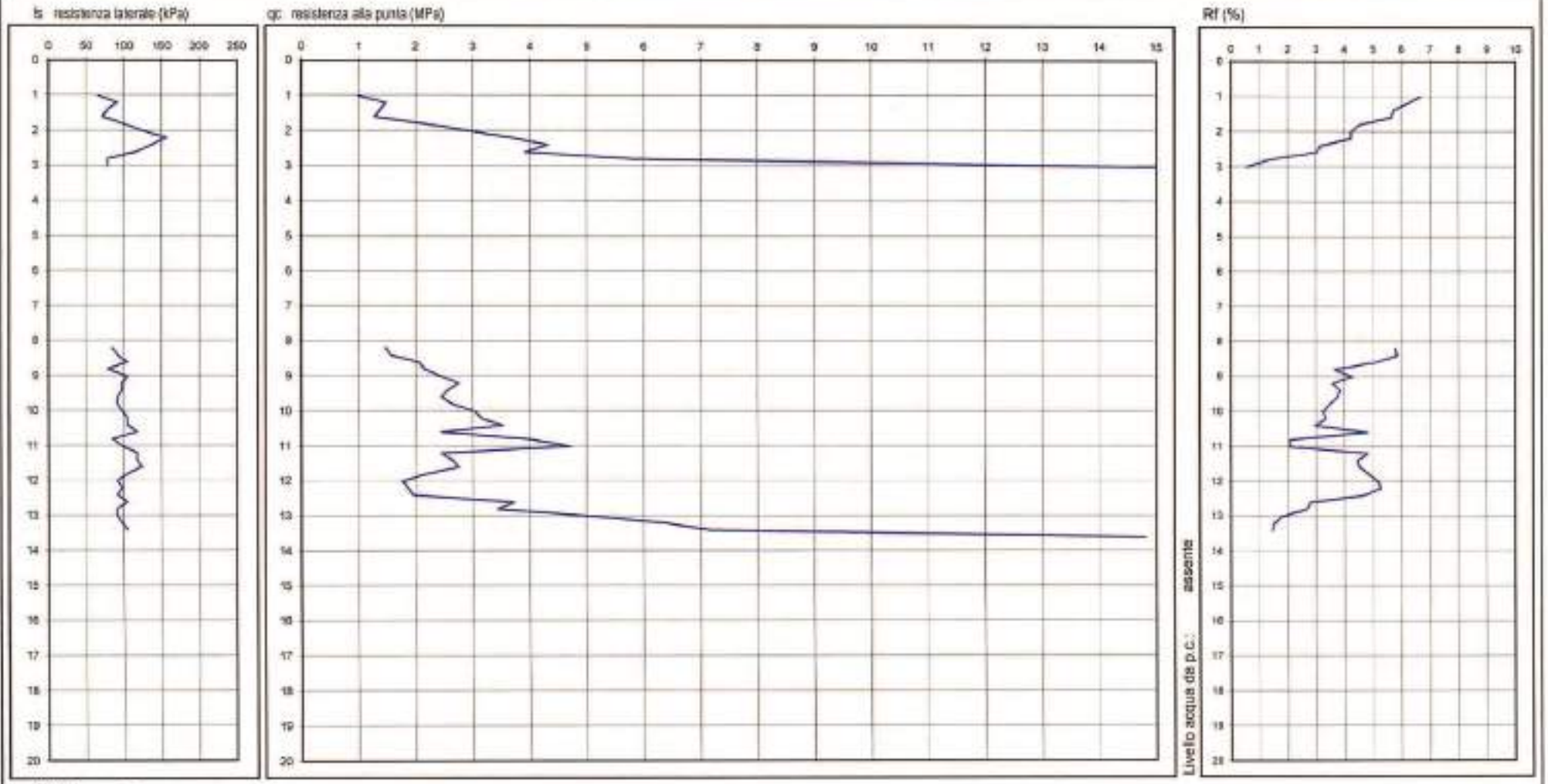
Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	06/03/2017	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

GEO-PROBE s.r.l.
- Indagini Geognostiche -
40033 CASALECCHIO DI RENO
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

C P T (CONE PENETRATION TEST) N. 1

Rapporto di Prova N°: 17.0102 /RSP

Committente :	Futura Costruzioni	Quota:	–
Località :	Ozzano dell'Emilia (BO) via Emilia 42	Data prova :	06/03/2017
Attrezzatura :	Penetrometro da 200 kN	Codice lavoro:	2017.028



Note: ---

Procedura di prova	Normativa di riferimento	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_003	ASTM D 3441-05	0	06/03/2017	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

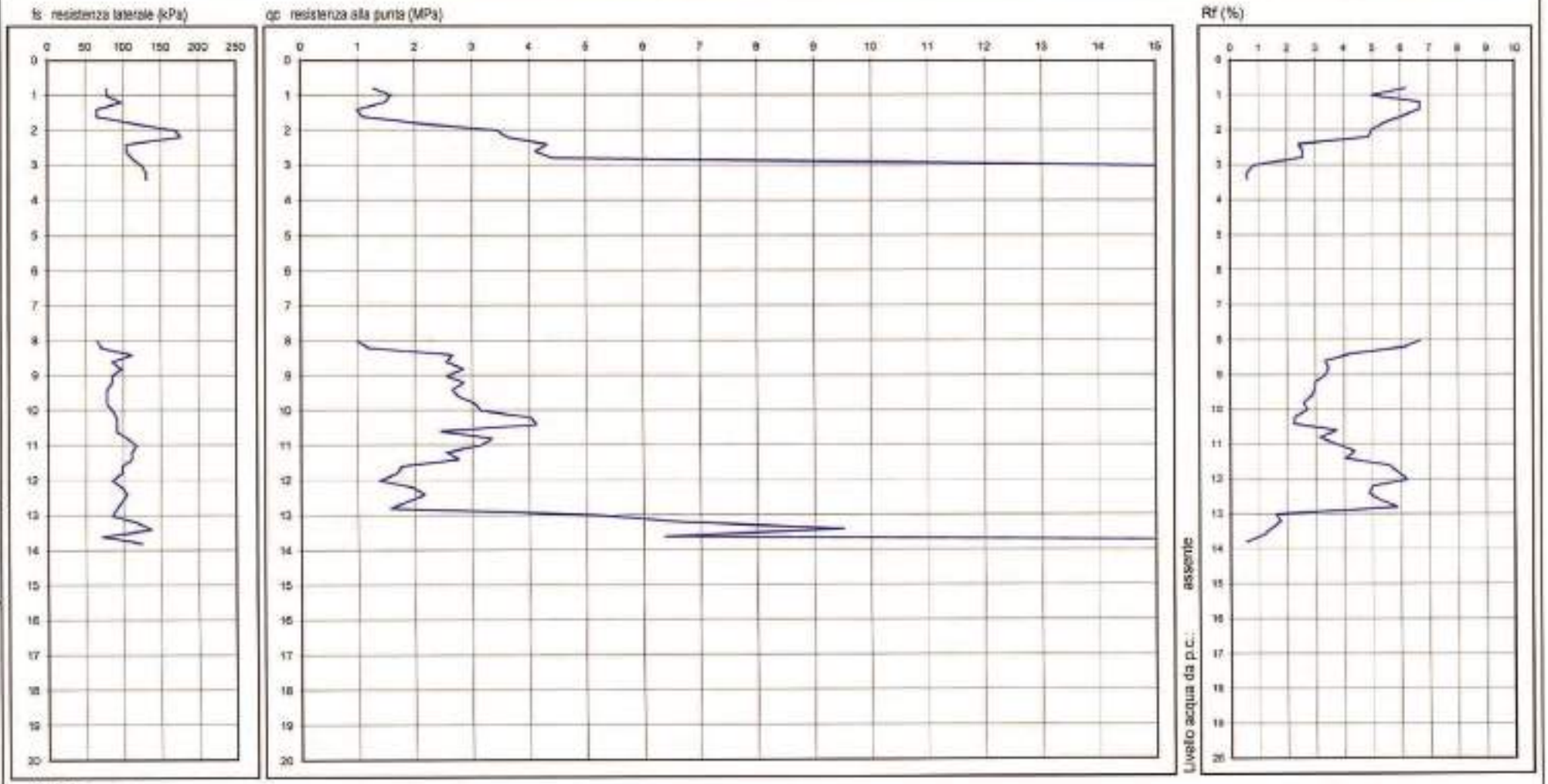
GEO-PROBE S.r.l. Indagini Geognostiche

GEO-PROBE S.r.l.
- Indagini Geognostiche -
40033 CASALECCHIO DI RENO
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072

C P T (CONE PENETRATION TEST) N. 2

Rapporto di Prova N°: 17.0103 /RSP

Committente :	Futura Costruzioni	Quota:	--
Località :	Ozzano dell'Emilia (BO) via Emilia 42	Data prova :	06/03/2017
Attrezzatura :	Penetrometro da 200 kN	Codice lavoro:	2017.028



Note: ---

Procedura di prova	Normativa di riferimento	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_003	ASTM D 3441-05	0	06/03/2017	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

GEO-PROBE S.r.l. Indagini Geognostiche

Committente :	Futura Costruzioni	Rapporto di prova N°:	17.0104 /RSP
Località :	Ozzano dell'Emilia (BO)		
Cantiere :	via Emilia 42	Data prova:	06/03/2017
n° prova :	1	Quota:	---
Profondità falda :	assente	Codice lavoro:	2017.028
Attrezzatura:	Penetrometro dinamico Emilia-DPSH	Procedura di prova:	---
Note:	---		

prof. (m)	N -	qd MPa	
			m 0
0,20	-	-	
0,40	-	-	
0,60	-	-	
0,80	-	-	
1,00	-	-	m 1
1,20	-	-	
1,40	-	-	
1,60	-	-	
1,80	-	-	
2,00	-	-	m 2
2,20	-	-	
2,40	-	-	
2,60	-	-	
2,80	-	-	
3,00	-	-	m 3
3,20	16	13,3	
3,40	20	16,7	
3,60	34	28,3	
3,80	34	28,3	
4,00	31	25,8	m 4
4,20	30	23,4	
4,40	23	17,9	
4,60	21	16,4	
4,80	16	12,5	
5,00	55	42,9	m 5
5,20	48	35,1	
5,40	21	15,4	
5,60	10	7,3	
5,80	25	18,3	
6,00	24	17,6	m 6
6,20	16	11,0	
6,40	17	11,7	
6,60	18	12,4	
6,80	17	11,7	
7,00	22	15,2	m 7
7,20	15	9,8	
7,40	12	7,8	
7,60	10	6,5	
7,80	11	7,2	
8,00	11	7,2	m 8
8,20	4	2,5	

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	06/03/2017	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

Committente :	Futura Costruzioni	Rapporto di prova N°:	**17.0105 /RSP**
Località :	Ozzano dell'Emilia (BO)		
Cantiere :	via Emilia 42	Data prova:	06/03/2017
n° prova :	2	Quota:	---
Profondità falda :	assente	Codice lavoro:	2017.028
Attrezzatura:	Penetrometro dinamico Emilia-DPSH	Procedura di prova:	---
Note:	---		

prof. (m)	N -	qd MPa	
			m 0
0,20	-	-	
0,40	-	-	
0,60	-	-	
0,80	-	-	
1,00	-	-	m 1
1,20	-	-	
1,40	-	-	
1,60	-	-	
1,80	-	-	
2,00	-	-	m 2
2,20	-	-	
2,40	-	-	
2,60	-	-	
2,80	-	-	
3,00	-	-	m 3
3,20	-	-	
3,40	-	-	
3,60	-	-	
3,80	29	24,2	
4,00	19	15,8	m 4
4,20	34	26,5	
4,40	43	33,5	
4,60	44	34,3	
4,80	31	24,2	
5,00	10	7,8	m 5
5,20	29	21,2	
5,40	25	18,3	
5,60	32	23,4	
5,80	54	39,5	
6,00	55	40,2	m 6
6,20	33	22,8	
6,40	10	6,9	
6,60	4	2,8	
6,80	7	4,8	
7,00	6	4,1	m 7
7,20	7	4,6	
7,40	11	7,2	
7,60	5	3,3	
7,80	4	2,6	

Revisione	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
0	06/03/2017	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

GEO-PROBE s.r.l.
40033 Casalecchio di Reno (BO)
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072
P.I. 04135500371

DPSH 1

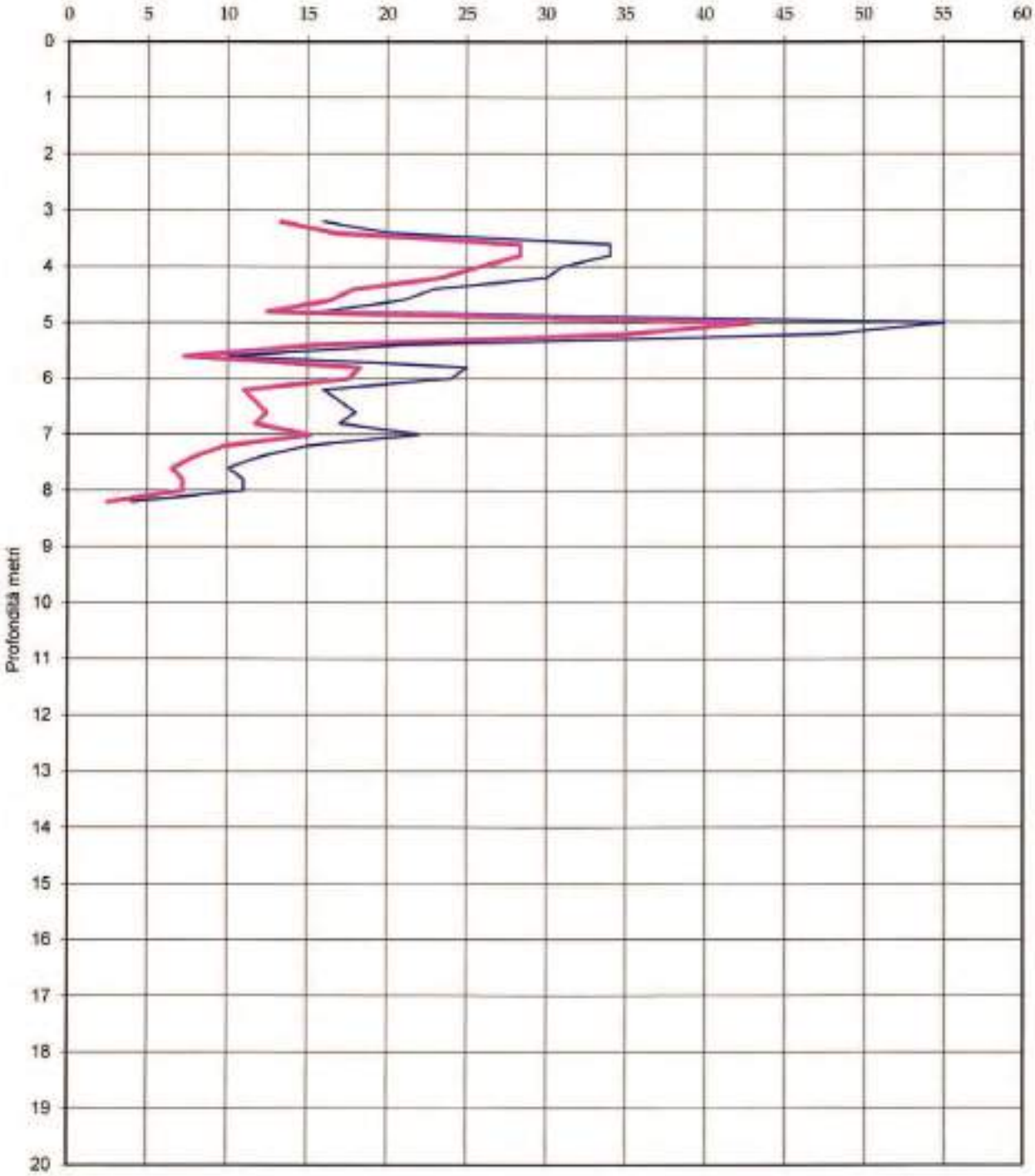
Data prova: 06/03/2017
Quota ---
Codice lavoro: 2017.028

Committente: Futura Costruzioni

Rapporto di prova N. 17.0104 /RSP

Località: Ozzano dell'Emilia (BO) via Emilia 42

Attrezzatura: Penetrometro dinamico Emilia-DPSH



Profondità acqua da p.c. : assente

GEO-PROBE S.r.l. Indagini Geognostiche

Note: ---

Procedure di prova	Rapporto di prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
---	**17.0104 /RSP**	0	06/03/2017	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

GEO-PROBE s.r.l.
40033 Casalecchio di Reno (BO)
Via Cimarosa, 119 - Tel. 051/61.33.072
P.I. 04135500371

DPSH 2

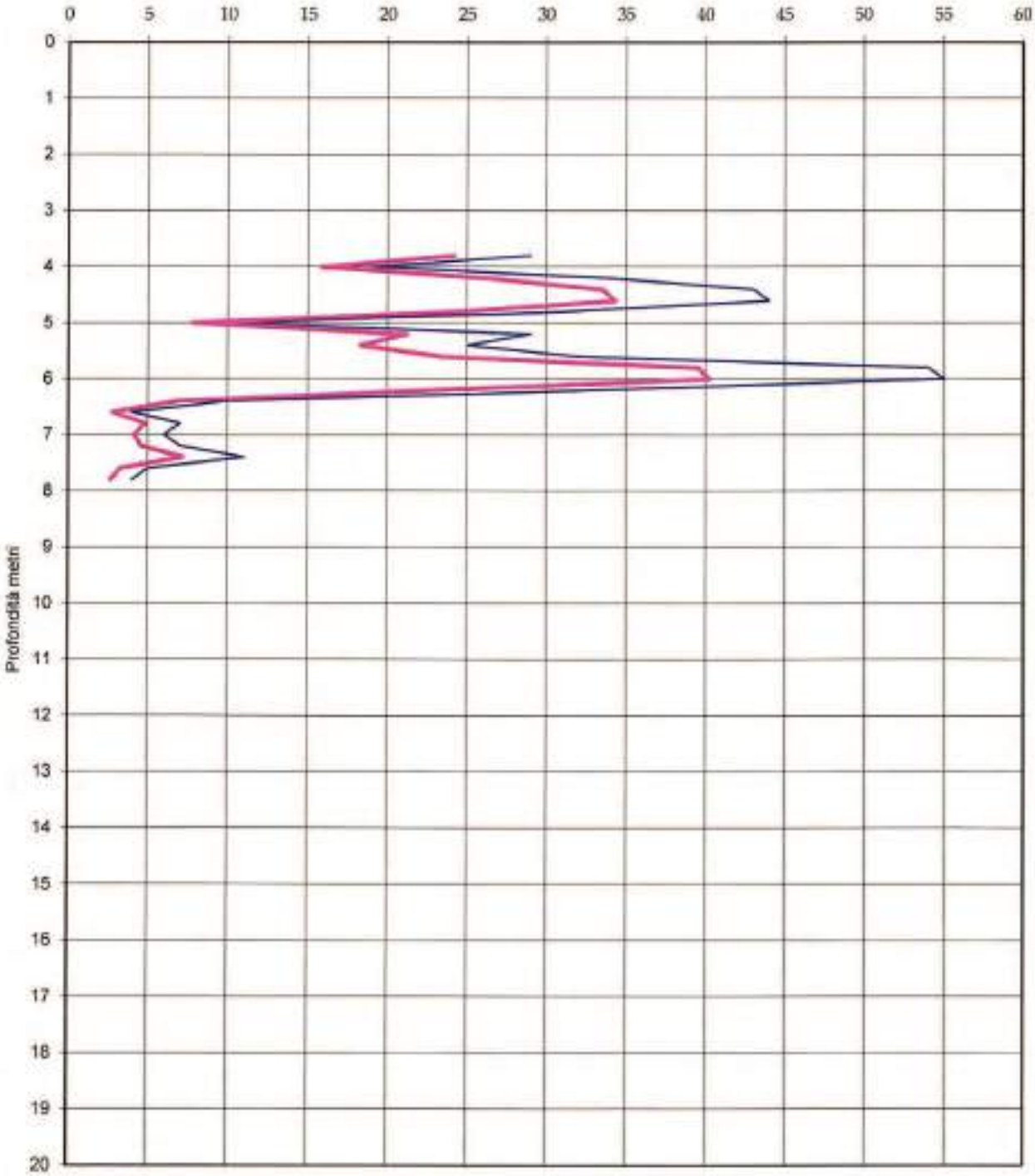
Data prova: 06/03/2017
Quota ---
Codice lavoro: 2017.028

Committente: Futura Costruzioni

Rapporto di prova N. 17.0105 /RSP

Località: Ozzano dell'Emilia (BO) via Emilia 42

Attrezzatura: Penetrometro dinamico Emilia-DPSH



Profondità acqua da p.c. : assente

GEO-PROBE S.r.l. Indagini Geognostiche

Note: ---

Procedure di prova	Rapporto di prova N°	Rev.	Data emissione	Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
---	**17.0105 /RSP**	0	06/03/2017	Dr. Conti	Dr. Luca Conti

MOD_RSP_CARRev. 0 del 12/09)

GEO-PROBE srl *Indagini Geognostiche* 48033 CASALECCHIO DI RENO (BO) Via Cimarosa, 7/H - Tel. 051/611.33.072	Committente: Futura Costruzioni Località: Ozzano dell'Emilia (BO) Cantiere: via Emilia 42 Perforazione: Carotaggio Continuo diam. 101 Attrezzatura: Sonda Drill 6300L	Quota: — Profondità: 30.00 m Data Inizio: 03/03/2017 Data Fine: 06/03/2017 Tecnico: Dr. Conti	Rap. Pr. N° 17.0105/RSP Codice Lavoro 2017.026 SONDAGGIO 1 FOGLIO 1/2		
Procedura di Prova ID_001	Rapporto di Prova N° 17.0105/RSP	Rev. 0	Data di emissione 06/03/2017	Lo Sperimentatore Dr. Ragazzi	Il Direttore di Laboratorio Dr. Conti

Scala 1:50 | Manovre | Lunghezza manovre | Rivestimento | Profondità (m) | Stratigrafia | Descrizione stratigrafica | Percentuale Carotaggio | Campioni | Prof. SPT | N° colpi SPT | Tipo di punta | Scala 1:50 | p. p. [kg/cm] | V. T. [kg/cm] | Falda | Piezometro Norton

Asfalto, ritrovato, ghiaia grossolana in matrice sabbiosa.

1.30

Argilla limosa di colore da nocciola bruno scuro a rossastro; terreno ad umidità medio scarsa.

3.40

Ghiaia (d max 6 cm) in matrice sabbiosa di colore nocciola grigio, da 7.40 m a 8.00 m abbondante limo sabbioso; terreno ad umidità scarsa.

4.50 — 34 — C 4.55

8.00 — 34 — C 8.45

9.20

Argilla limosa di colore da grigio a nocciola, livelli debolmente sabbiosi; terreno ad umidità medio scarsa.

10.30

10.70

Limo sabbioso argilloso di colore nocciola; terreno ad umidità medio scarsa.

Ghiaia (d max 4 cm) in matrice sabbiosa di colore nocciola; da 17.50 m a 17.80 m aumento della matrice limosa di colore nocciola talora prevalente; terreno ad umidità da media ad elevata alla totale saturazione oltre ca 29.50 m.

	p. p. [kg/cm]	V. T. [kg/cm]
2.7	1.3	
2.8	1.4	
3.0	1.5	
3.0	1.5	
3.0	1.7	
3.0	1.8	
>4.5	>2.0	
1.0	0.7	
1.3	0.7	
1.4	0.8	
2.1	1.0	
2.3	1.1	

Rilevamento acqua nel foro di sondaggio

DATA	ORA DI LETTURA	P.F. (QUOTA ASS)	ORA	P. (QUOTA P.F.)	(QUOTA ASS)
03/03/17	09:00				
03/03/17	09:45	13.30 m	asciutto	14:00	15.20 m	22.00 m
04/03/17	08:05	18.80 m	asciutto	15:30	30.00 m	23.04 m

Tubazione in acqua parzialmente microfessurata da 0.30" [accertata di lunghezza cartellata]

MOD_RSP_CAMRev. 0 del 12/09

GEO-PROBE s.r.l. Indagini Geognostiche 40033 CASALECCHIO DI RENO (BO) Via Cimarosa, 7/A - Tel. 051/57.33.072	Committente: Future Costruzioni Località: Ozzano dell'Emilia (BO) Cantiere: via Emilia 42 Perforazione: Carotaggio Continuo diam. 101 Attrezzatura: Scelle Drill 850L	Quota: — Profondità: 30.00 m Data inizio: 02/03/2017 Data fine: 08/03/2017 Tipologia: Dr. Conti	Rap. n. 17.0106/RSP Cantiere Lavoro 0317.005 SONDAGGIO 1 FOGLIO 2/2	

Procedura di Prova	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data di emissione	Lo Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_001	17.0106/RSP	0	09/03/2017	Dr. Reggiani	Dr. Conti

Scala 1:50	Manovre	Lunghezza carotaggio	Rivestimento	Profondità [m]	Stratigrafia	Descrizione stratigrafica	Percentuale Carotaggio	Campioni	Prof. SPT	N° colpi SPT	Tipo di punto	Scala 1:50	P. P. [kg/cm²]	V. T. [kg/cm²]	Falda	Piezometro Nastri
	1.00	1.00				Ghiaia (di max 4 cm) in matrice sabbiosa di colore nocciola, da 17.50 m a 17.80 m aumento della matrice limosa di colore nocciola rispetto prevalente; terreno ad umidità da media ad elevata alla totale saturazione idrica da 20.50 m.										
	0.70	1.40														
	1.00	1.00		01.30		Argilla limosa di colore grigio; terreno ad umidità media.										
	1.00	1.00														
	1.00	1.00														
	1.00	1.00														
	0.80	1.00														
	0.80	1.00		06.00		Sabbia limosa di colore grigio; terreno in totale saturazione idrica.										
	0.80	1.00		06.30		Argilla limosa di colore da grigio nocciola a nocciola; terreno ad umidità media scarsa.										
	0.80	1.00														
	1.00	1.00														
	1.00	1.00														
	0.80	1.00		08.00												

Rilevamento acqua nel foro di sondaggio							
DATA	ORA	SP. (QUOTA P.C.)	QUOTA ASS.	ORA	P. (QUOTA P.C.)	QUOTA ASS.
02/03/17	08:00			17:00	15.30 m	22.20 m
03/03/17	08:00	11.30 m	assente	14:00	16.50 m	assente
06/03/17	08:00	18.80 m	assente	15:00	20.00 m	20.80 m

Rivestimento provvisorio diametro nominale da 2.0" lunghezza di comodo variabile

MOD_RSP_CARRev. 0 del 12/09

GEO-PROBE s.r.l. Indagini Geognostiche, 40013 CASALECCHIO DI RENO (BO), Via Cimarosa, 7/9 - Tel. 051/591.33.97	Committente: Futura Costruzioni	Cliente: —	Rif. PI. N° 17/0121/RSP	
	Località: Ozzano dell'Emilia (BO)	Profondità: 21.00 m	Copia Lavoro 0011 EB	
	Cantiere: via Emilia 42	Data inizio: 07/03/2017	SONDAGGIO 2	FOGLIO 1/2
	Perforazione: Carotaggio Continuo diam. 101	Data Fine: 13/03/2017		
	Attrezzatura: Sonda Drill 630L	Operatore: Dr. Conti		

Procedura di Prova	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data di emissione	Lo Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_001	17/0121/RSP	0	13/03/2017	Dr. Regazzi	Dr. Conti

Scala 1:50	Manovre	Lunghezza carotaggio	Rivestimento	Profondità [m]	Stratigrafia	Descrizione stratigrafica	Percentuale Carotaggio	Campioni	Prof. SPT	N° colpi SPT	Tipo di punta	Scala 1:50	P. P. [kg/cm²]	V. T. [kg/cm²]	Falda	Piezometro Hydon
	0.40	1.00		0.00		Asfalto, cemento.										
	1.10	1.30				Argilla limosa di colore nocciola, terreno ad umidità medio scarsa.							3.0 - 1.5			
	0.75	1.40											2.7 - 1.4			
	0.45	1.00											2.4 - 1.2			
	0.38	1.00											3.0 - 1.5			
	0.90	1.00											2.6 - 1.3			
	1.00	1.00											3.1 - 1.5			
	1.00	1.00														
	0.70	1.30														
	1.35	1.00														
	1.10	1.00														
	1.40	1.00														
	0.60	1.00														
	1.00	1.00														
	1.00	1.00														
	1.30	1.00														
	0.70	1.00														
	0.50	1.00														
	0.75	1.00														
	0.80	1.00														
	0.60	1.00														
	1.00	1.00														
				0.50		Ghiaia (d max 6 cm) in matrice limo sabbiosa di colore nocciola, da 6.40 m aumento della frazione argillosa, da 7.00 m matrice abbondante; terreno ad umidità da medio scarsa a scarsa.		2.20 C.I. 2.00								
									4.00	38	4.00 C 4.45					
				7.50		Limo sabbioso alternato a limo argilloso di colore nocciola; terreno ad umidità media.							5.9 - 3.4			
				8.20		Argilla limosa di colore da nerastro a bruno scuro, abbondanti concrezioni calcaree; terreno ad umidità medio scarsa.							1.0 - 0.5			
				8.80		Limo sabbioso argilloso di colore nocciola; terreno ad umidità medio scarsa.							1.2 - 0.6			
				9.10		Argilla limosa con frequenti livelli di limo sabbioso di colore da nocciola grigiastro a grigio nocciola, concrezioni calcaree di grosse dimensioni; terreno ad umidità medio scarsa.							1.2 - 0.7			
													1.4 - 0.7			
													1.0 - 0.5			
													1.1 - 0.5			
													2.2 - 1.1			
													2.1 - 1.0			
								10.50 C.I. 11.00								
													1.0 - 0.5			
													1.9 - 0.9			
													2.1 - 1.0			
													1.8 - 0.9			
													1.0 - 0.5			
													1.1 - 0.5			
				13.30		Sabbia limosa di colore nocciola alternato a livelli di limo sabbioso talora debolmente argilloso, da 14.40 m ciottoli e sabbie grossolane; terreno ad umidità medio scarsa.							3.6 - 1.9			
													2.2 - 1.0			
													2.1 - 1.0			
													1.2 - 0.6			
				14.80		Ghiaia (d max 6 cm) in abbondante matrice sabbiosa di colore nocciola in diminuzione da 15.00 m; terreno ad umidità scarsa.										
									15.30	36	15.30 37 C 15.75					
				16.10		Ghiaia (d max 6 cm) in abbondante matrice limosa; terreno ad umidità scarsa.			16.50	29	16.50 31 C 16.95					
				17.40		Ghiaia in matrice sabbiosa; terreno in totale saturazione da 19.70 m.										
									18.00	39	18.00 36 C 18.45					

Rilevamento acqua nel foro di sondaggio

DATA	ORA DI LETTURA	P.C. (m da p.c.)	ORA P. (quota p.c.)	P.F. (quota p.c.)
07/03/17	10:00			
10/03/17	09:30	0.00 m asciutto	14:00	6.00 m asciutto
13/03/17	08:45	18.40 m asciutto	16:30	21.00 m 18.75 m

MOD_RSP_CAMRev. 0 del 12/09/

GEO-PROBE s.r.l. Indagini Geognostiche 40013 CASALECCHIO DI RENO (BO) Via Cimarosa, 7/9 - Tel. 051/61.33.072	Committente: Futura Costruzioni Località: Ozzano dell'Emilia (BO) Cantiere: Via Emilia 43 Perforazione: Carotaggio Continuo diam. 101 Attrezzatura: Sonda Drill 630L	Quota: — Profondità: 21.00 m Data Inizio: 07/03/2017 Data Fine: 13/03/2017 Tecnico: Dr. Conti	Rap. P. N° 17.0121/RSP Codice Lavoro 2017.028 SONDAGGIO 2 FOGLIO 2/2

Procedura di Prova	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data di emissione	Lo Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_001	17.0121/RSP	0	13/03/2017	Dr. Ragazzi	Dr. Conti

Scala 1:50	Manovella	Lunghezza carotiere	Rivestimento	Profondità [m]	Stratigrafia	Descrizione stratigrafica	Percentuale Carotaggio	Campioni	Prof. SPT	N° colpi SPT	Tipo di punta	Scala 1:50	p. p. [kg/cm²]	v. t. [kg/cm²]	Falda	Piezometro Norton
	1.00	1.00		20.10		Ghiaia in matrice sabbiosa; terreno in totale saturazione da 19.70 m.							18 - 3.6			
						Argilla limosa di colore nocciola bruno, livello di limo sabbioso; terreno ad umidità media.							16 - 3.8			
				21.00									17 - 3.9			

Rilevamento acqua nel foro di sondaggio

DATA	ORA IN LOCOTA	P.P. (QUOTA ASS)	ORA M. (QUOTA	P.P. (QUOTA ASS)	
10/03/2017	10:00		11:00	8.00 m	assente
12/03/2017	08:30	8.00 m	assente	20.00	20.00 m	assente
13/03/2017	08:45	20.00 m	assente	21:00	21.00 m	19.70 m

GEO-PROBE s.r.l. Indagini Geognostiche 40033 CASALECCHIO DI RENO (BO) Via D'Imola, 114 - Tel. 051/61.33.072	Committente: Fulgra Costruzioni Località: Ozzano dell'Emilia (BO) Cantiere: via Emilia 42 Perforazione: Carotaggio Continuo (diam. 101) Attrezzatura: Soilcia Drill 650L	Quota: — Profondità: 21.00 m Data inizio: 14/03/2017 Data Fine: 16/03/2017 Litologo: Dr. Conti	Rap. N. N° 17.0123/RSP Cantiere Lavoro 0311.006	Sondaggio: 3 Foglio n: 1/2

Procedura di Prova	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data di emissione	La Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_001	17.0123/RSP	0	15/03/2017	Dr. Regazzi	Dr. Conti

Scala 1:50	Manovre	Lunghezza manovre	Rivestimento	Profondità [m]	Stratigrafia	Descrizione stratigrafica	Percentuale Carotaggio	Campioni	Prof. SPT	N° colpi SPT	Tipo di punta	Scala 1:50	P. [kg/cm²]	V.T. [kg/cm²]	Falda	Piezometro Nomad
	0.50	0.50				Asfalto, cemento, ciottolato ghiaioso; terreno ad umidità scarsa.										
	1.00	1.00		0.60		Argilla limosa di colore da grigio a nocciola, con livelli di limo sabbioso; terreno ad umidità medio scarsa.							2.3 - 1.0 2.9 - 1.7 2.2 - 1.0 2.3 - 1.7			
	0.50	1.50						1.00 C.I. 2.10								
	1.00	2.50											2.7 - 1.3 2.6 - 1.4 3.0 - 4.0 3.0 - 1.0			
	0.75	3.25		2.10		Ghiaia (d max 6 cm) in matrice limo sabbiosa di colore nocciola grigio; terreno ad umidità scarsa.										
	1.00	4.25														
	1.00	5.25														
	0.75	6.00														
	0.70	6.70														
	1.00	7.70														
	1.00	8.70		8.00		Argilla limosa di colore grigio; terreno ad umidità medio scarsa.							3.4 - 1.2 2.8 - 1.4 2.9 - 1.4 2.7 - 1.3 2.8 - 1.4 3.2 - 1.5 3.1 - 1.5 2.8 - 1.3 2.5 - 1.3 3.2 - 1.5 2.3 - 1.2 2.3 - 1.1 2.4 - 1.2 1.1 - 0.6 1.0 - 0.5 1.1 - 0.5 0.5 - 0.4 0.0 - 0.4 1.2 - 0.5			
	2.00	10.70														
	2.00	12.70														
	2.00	14.70		12.80 13.00		Limo argilloso sabbioso di colore grigio; terreno ad umidità medio scarsa.										
	1.00	15.70		13.30		Argilla limosa di colore grigio; terreno ad umidità medio scarsa. Limo sabbioso debolmente argilloso di colore grigio; terreno ad umidità medio scarsa.										
	0.70	16.40		14.15		Ghiaia (d max 7 cm) in matrice sabbioso limosa di colore nocciola; terreno ad umidità medio scarsa.			15.00	23	22 21	15.00 C 15.45				
	0.60	17.00														
	0.40	17.40														
	0.60	18.00							16.50	28	28 28	16.50 C 16.95				
	0.50	18.50														
	0.70	19.20														
	0.80	20.00														
	0.80	20.80														
	0.20	21.00		20.00												

Rilevamento acqua nel foro di sondaggio.

DATA	ORA	DATA	ORA	DATA	ORA	DATA	ORA
14/03/2017	14:00						
15/03/2017	09:00	2.10 m	assente	22:00	2.10 m	assente	
16/03/2017	09:00	21.00 m	assente	11:00	21.00 m	assente	

MOD_RSP_CARRev. 0 del 12/06

GEO-PROBE s.r.l. Indagini Geognostiche 40050 CASALECCHIO DI RENO (BO) Via Cimarosa 119 - Tel. 051.61.73.072	Committente: Futura Costruzioni Località: Cazzano dell'Emilia (BO) Cantiere: Via Emilia 42 Perforazione: Carotaggio Continuo diam. 101 Attrezzatura: Sonda Drill 6305	Quota: --- Profondità: 21,00 m Data inizio: 14/03/2017 Data Fine: 16/03/2017 Litologo: Dr. Conti	Rap. N° 17.0123/RSP Codice Lavoro 2017.023	CONTRADDO 3 FOGLIO 2/2

Procedura di Prova	Rapporto di Prova N°	Rev.	Data di emissione	Lo Sperimentatore	Il Direttore di Laboratorio
IO_001	17.0123/RSP	0	16/03/2017	Dr. Regazzi	Dr. Conti

Scala 1:50	Manovra	Lunghezza manovra	Rivestimento	Profondità [m]	Stratigrafia	Descrizione stratigrafica	Percentuale Carotaggio	Campioni	Prof. SPT	N° colpi SPT	Tipo di punta	Scala 1:50	P. P. [kg/cm²]	V. T. [kg/cm²]	Falda	Piezometro Norton
21	1,00	1,00		20,00		Argilla limosa di colore da nocciola a grigio, rari livelli di limo sabbioso; terreno ad umidità medio scarsa.						21	2,8	1,5		
													2,5	1,3		
													2,3	1,2		
				21,00								22	2,0	1,1		
22												22				
23												23				
24												24				
25												25				
26												26				
27												27				
28												28				
29												29				
30												30				
31												31				
32												32				
33												33				
34												34				
35												35				
36												36				
37												37				
38												38				
39												39				
40												40				

Rilevamento acque nel foro di sondaggio

DATA	ORA DI LETTURA	P.P. (QUOTA ASS)	ORA DI LETTURA	P.P. (QUOTA ASS)
14/03/2017	18:00		08:00	2,10 m asslutta
15/03/2017	08:00	2,10 m asslutta	15:15	17,00 m asslutta
16/03/2017	08:00	17,00 m asslutta	11:00	21,00 m 17,00 m

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.19

Documentazione fotografica

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Carotaggio 1 – Cassetta 1 (da 0,00 a 4,00 m)

Carotaggio 1 – Cassetta 2 (da 4,00 a 8,00 m)

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Carotaggio 1 – Cassetta 3 (da 8,00 a 12,00 m)

Carotaggio 1 – Cassetta 4 (da 12,00 a 16,00 m)

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Carotaggio 1 – Cassetta 5 (da 16,00 a 20,00 m)

Carotaggio 1 – Cassetta 6 (da 20,00 a 24,00 m)

Studio Geologico Associato GEO-PROBE

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Ginnerosa, 119 – Castelecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Carotaggio 1 – Cassetta 7 (da 24,00 a 28,00 m)

Carotaggio 1 – Cassetta 8 (da 28,00 a 32,00 m)

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613 51 18

Carotaggio 2 – Cassetta 1 (da 0,00 a 4,00 m)

Carotaggio 2 – Cassetta 2 (da 4,00 a 8,00 m)

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613 51 18

Carotaggio 2 – Cassetta 3 (da 8,00 a 12,00 m)

Carotaggio 2 – Cassetta 4 (da 12,00 a 16,00 m)

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Carotaggio 2 – Cassetta 5 (da 16,00 a 20,00 m)

Carotaggio 2 – Cassetta 6 (da 20,00 a 24,00 m)

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Carotaggio 3 – Cassetta 1 (da 0,00 a 4,00 m)

Carotaggio 3 – Cassetta 2 (da 4,00 a 8,00 m)

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Carotaggio 3 – Cassetta 3 (da 8,00 a 12,00 m)

Carotaggio 3 – Cassetta 4 (da 12,00 a 16,00 m)

Studio Geologico Associato GEO-PROBE

Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Carotaggio 3 – Cassetta 5 (da 16,00 a 20,00 m)

Carotaggio 3 – Cassetta 6 (da 20,00 a 24,00 m)

Studio Geologico Associato GEO-PROBE

Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Indagine sismica con metodologia MASW

Studio Tecnico Associato di Consulenze di Geologia e Ambiente del Dott. Geol. F. Barbieri e del Dott. Geol. M. Ropa
Via E. Fermi n° 11/A – 40017 SAN GIOVANNI IN PERSICETO (BO) Tel. +39 051 6871113 FAX +39 051 6874328
C.F. e Partita IVA 04112290376
Email: cgastudio@cgastudio.eu

Committente:	Geoprobe
Prova:	MASW a 1 Shot
Località:	Ex Synudine - Ozzano (BO)
Data:	30-mar-17
Certificato:	A1186GF551

SOMMARIO

SOMMARIO 2

INTRODUZIONE 3

METODOLOGIA D'INDAGINE 4

INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW 4

MODALITÀ ESECUTIVE 4

ELABORAZIONE DATI 6

SISMICA CON METODOLOGIA MASW 6

Analisi delle immagini di dispersione 6

Interpretazione 6

Densità Dinamica: 7

Modulo di taglio: 7

Modulo di Young: 7

PRESENTAZIONE DEI RISULTATI 8

DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE 9

PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI 10

APPENDICE 1 11

INTRODUZIONE

Su incarico della Ditta

Geoprobe

è stato redatto questo rapporto di prova relativo all'esecuzione di una prova sismica MASW a uno shot presso Ex Synudine - Ozzano (BO)

L'ubicazione della zona di indagine è rappresentata in figura n° 1.

Lo studio ha seguito il seguente sviluppo:

- esecuzione di n° 1 prove sismiche a shot singolo con metodo MASW;
- elaborazione dei dati raccolti.

METODOLOGIA D'INDAGINE

INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

Il metodo MASW (*Multichannel Acquisition Surf Wave*) ha come obiettivo quello di ricostruire il profilo sismostratigrafico di un sito, valutando in particolare la distribuzione della velocità delle onde"S" sia per la ricostruzione del profilo del sottosuolo che per la definizione *in situ* della V_{s30}.
Al fine di migliorare il rapporto segnale disturbo per ogni punto di offset vengo eseguiti, in modalità iterativa, tre shots.
Il metodo MASW prevede la costruzione di una curva di dispersione per le onde di superficie, attraverso l'elaborazione di un'immagine di dispersione derivata dall'analisi della propagazione delle onde di Rayleigh e, quando necessario, delle onde di Love.
La tecnica di prospezione MASW utilizza quindi un'immagine rappresentativa delle frequenze delle onde superficiali, espressa in funzione della velocità di fase delle stesse. Nell'immagine di dispersione (*Over Tone Image*) viene inoltre enfatizzata cromaticamente l'ampiezza delle vibrazioni evidenziando così le aree corrispondenti al miglior rapporto segnale/disturbo.
Una volta individuata la sequenza di frequenze e velocità di fase corrispondenti alla più probabile distribuzione della dispersione nel sottosuolo esaminato (analisi della curva di dispersione) si procede alla ricostruzione delle stratigrafia rappresentativa della distribuzione delle velocità delle onde S tramite l'utilizzo di un algoritmo di inversione.
La tecnica di prospezione MASW può essere così schematizzata:

- acquisizione delle onde superficiali;
- trasformazione delle serie temporali nel dominio *frequenza f – numero d'onda K*;
- costruzione delle curve di dispersione (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- inversione delle curve di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s.

MODALITÀ ESECUTIVE

Le indagini MASW vengono eseguite disponendo sul terreno almeno 24 sensori (geofoni), posti ad intervallo costante, collegati ad un sismografo mediante un cavo multipolare.
Dopo l'allestimento del dispositivo di ricezione si provvede a generare artificialmente vibrazioni impulsive ad alta frequenza in corrispondenza di un punto prestabilito lungo il profilo (*punto di scoppio*): nello stesso istante di partenza della vibrazione viene trasmesso al sismografo il comando di avvio della registrazione (*trigger*). Da questo istante inizia l'acquisizione digitale, con intervallo di campionamento pari a 0.25 ms e tempo di registrazione pari ad almeno 1 secondo.

Ogni scoppio ed ogni registrazione per ogni distanza di offset se necessario vengono ripetuti tre volte.

Lo strumento utilizzato è il sismografo digitale A6000-S di produzione M.A.E. s.r.l. ad acquisizione digitale con dinamica a 24 bit.

Gli impulsi sismici sono stati generati con l'utilizzo di una massa battente da 10.0 Kg.

Nel caso specifico la geometria dell'array di indagine è riassunta nella seguente tabella:

MASW	n° geofoni	Spacing [m]	Offset [m]	Lunghezza array [m]
L1	24	1.00	7.00	30.00

Tabella n° 1 - Array dello stendimento MASW.

Le caratteristiche del sismografo e dei geofoni utilizzati sono di seguito sinteticamente riassunte:

SISMOGRAFO M.A.E. - A6000S

CPU NS Geode GXLV 233MHz
Memoria RAM 128 Mb PC100 Mhz
Hard Disk 512 Mb on Compact Flash Disk Udma/33
Batteria di riserva al Litio
Monitoraggio Hardware Winbond W83781D
Display LCD 10.5" TR Transflective a colori, touch screen
Controller Fast Ethernet Intel 82559ER 10/100 Base-T
Alimentazione con alimentatore Switching 12 Volt 2Ah
Valigia in copolimeri di polypropylene antischiacciamento
Temperatura di funzionamento da 0 a 60°C
Dimensioni e peso 1280 X H220 X P170 mm, 3 Kg

Tabella n° 2 - Tabella delle caratteristiche del sismografo utilizzato.

GEOFONI GEOSPACE GS-11D

Natural Frequency	[illegible]
Coil Resistance @ 25°C ± 5%	[illegible]
Sensitivity Voltage Sensitivity with 300 Ohm Coil ± 10%	[illegible]
Normalized Transduction Constant (Velocity)	[illegible]
Open Circuit Damping	[illegible]
Damping Constant with 300 Ohm Coil	[illegible]
Optimal Coil Resistance ± 5%	[illegible]
Moving Mass ± 5%	[illegible]
Peak Coil to Coil Motion P-P	[illegible]
Harmonic Distortion with Moving Velocity of 0.5 inches/sec (1.27 cm/sec) PEP	[illegible]

Dimensioni

Height (less terminals*)	[illegible]
Diameter	[illegible]
Weight	[illegible]

*Terminal height is [illegible]

Tabella n° 3 - Tabella delle caratteristiche dei geofoni utilizzati.

ELABORAZIONE DATI

SISMICA CON METODOLOGIA MASW

ANALISI DELLE IMMAGINI DI DISPERSIONE

Le immagini di dispersione rappresentano, in forma grafica, lo spettro di dispersione delle onde di Rayleigh che si propagano nel sottosuolo dell'area indagata.

Le immagini illustrano la dispersione vera e propria intesa come variazione della velocità di fase in funzione delle frequenze dello spettro. Evidenziano inoltre l'ampiezza delle vibrazioni (energia associata) utilizzando variazioni di toni di colori.

L'obiettivo dell'analisi dell'immagine di dispersione è l'individuazione del "tono fondamentale" della vibrazione (fundamental mode), distinguendolo da tutti gli ipertoni associati (higher tone) e dai rumori di fondo (noise).

L'individuazione del "tono fondamentale" permette di giungere alla principale chiave di lettura della prospezione cioè all'individuazione della "curva di dispersione" e quindi, tramite inversione, alla ricostruzione della sequenza sismostratigrafica del sito indagato.

INTERPRETAZIONE

Il profilo delle V_s è determinato sulla base di un algoritmo iterativo di inversione che utilizza i dati ottenuti dallo studio della curva di dispersione. L'interpretazione è stata effettuata per entrambi i metodi di filtrazione adottati.

L'algoritmo si basa sulle seguenti considerazioni:

- la frequenza è direttamente legata alla profondità di indagine (basse frequenze alte profondità);
- la velocità di fase dipende essenzialmente dalle proprietà elastiche dei materiali interessati dal propagarsi della perturbazione.

L'algoritmo di inversione tiene inoltre conto della necessità di soddisfare la seguente relazione:

$z_f = a\,\lambda_f$

dove:

z_f = profondità di propagazione della frequenza f;

a = coefficiente adimensionale;

λ_f = lunghezza d'onda corrispondente alla frequenza f.

Le iterazioni necessarie per l'elaborazione in precedenza descritta avvengono tramite l'utilizzo di un programma di calcolo specifico (*Surfseis 5.3* del *Kansas Geological Survey*).

In Appendice 1 sono riportati sia i sismogrammi che le immagini di dispersione (*Over Tone Image*) relative alla somma di ogni shot effettuato, con relative curve di dispersione.

Per quanto concerne il calcolo dei parametri elastici sono state utilizzate le seguenti formule:

Densità Dinamica:

$$\gamma = 0.51 V_p^{0.19}$$

Dove:

γ = densità del mezzo attraversato;

V_p = velocità onde di compressione;

Modulo di taglio:

$$G = \rho V_s^2$$

Dove:

ρ = massa volumica (γ/g);

γ = densità del mezzo attraversato;

g = accelerazione di gravità;

V_s = velocità onde di taglio;

Modulo di Young:

$$E = 2G(1+\nu)$$

Dove:

G = modulo di taglio;

ν = Coefficiente di Poisson.

PRESENTAZIONE DEI RISULTATI

Il certificato dell' indagine sismica MASW eseguita è riportato in appendice 1.

La stratigrafia sismica della prova è riportata nella seguente tabella:

Strato	Spessore medio (m)	Vs (m/s)
1	0.95	152.25
2	1.19	83.05
3	1.49	396.74
4	1.86	214.28
5	2.33	102.03
6	2.91	379.54
7	3.63	316.16
8	4.54	312.90
9	5.68	423.95
10	6.14	726.03

Tabella n° 4 – Stratigrafia da prova sismica e velocità di propagazione dell'onda sismica geofono 1012

Utilizzando le metodologie e le formule di cui al paragrafo relativo alla metodologia MASW e seguendo le prescrizioni dell'OPCM 3274/2003 e del D.M. 14.01.2008 la determinazione della V_{s30} è stata ottenuta utilizzando la formula:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{si}}}$$

dove:

h_i = spessore dello strato iesimo;

V_{si0} = Velocità orizzontale dello strato iesimo.

La V_{s30}, senza specifiche indicazioni dei progettisti, è calcolata per ogni shot di ogni linea sismica MASW eseguita a partire dal piano di campagna.

Vs30 [m/s]	271.93

Tabella n° 5 – Valore calcolato di V_{s30}

DETERMINAZIONE DELLE CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

Utilizzando le tabelle di seguito riportate, si è proceduto alla determinazione della Categoria di appartenenza dei terreni:

Categorie di suolo di fondazione:

A	*Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.
B	*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	*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_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	*Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti* con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} inferiori a 180 m/s.
E	*Terreni dei sottosuoli di tipo C e D e con spessore non superiore a 20 m*, posti sul substrato di riferimento (con V_{s30}> 800 m/s)
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs30<100, che includonouno strato spesso almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza di bassa consistenza oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche
S2	Depositi di terreno suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella n° 6 – Definizione dei profili stratigrafici

I terreni del sito appartengono alla Categoria **C**.

PROPRIETÀ GEOFISICHE DEI TERRENI

In Appendice 1 sono rappresentate graficamente le colonne sismostratigrafiche relative ai parametri geofisici, di seguito riassunti in forma tabellare:

Profondità	Vp (m/s)	Vs (m/s)	γdin (kN/m3)	E (Mpa)	G0 (Mpa)
0.00	372.93	152.25	15.41	101.96	36.42
0.95	372.93	152.25	15.41	101.96	36.42
2.14	203.42	83.05	13.73	27.04	9.66
3.63	971.81	396.74	18.48	830.58	296.64
5.49	524.87	214.28	16.44	215.52	76.97
7.82	249.91	102.03	14.28	42.44	15.16
10.72	929.69	379.54	18.33	753.77	269.20
14.35	774.43	316.16	17.70	505.19	180.42
18.89	766.45	312.90	17.67	493.85	176.37
24.57	1038.46	423.95	18.72	960.43	343.01
30.71	1778.41	726.03	20.73	3119.93	1114.26

Tabella n° 7 – Parametri geofisici

San Giovanni in Persiceto, 31 marzo 2017

I Geologi :

APPENDICE 1

Figure ed elaborati grafici

COMMITTENTE: Geoprobe

CANTIERE: Ex Synudine - Ozzano (BO)

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

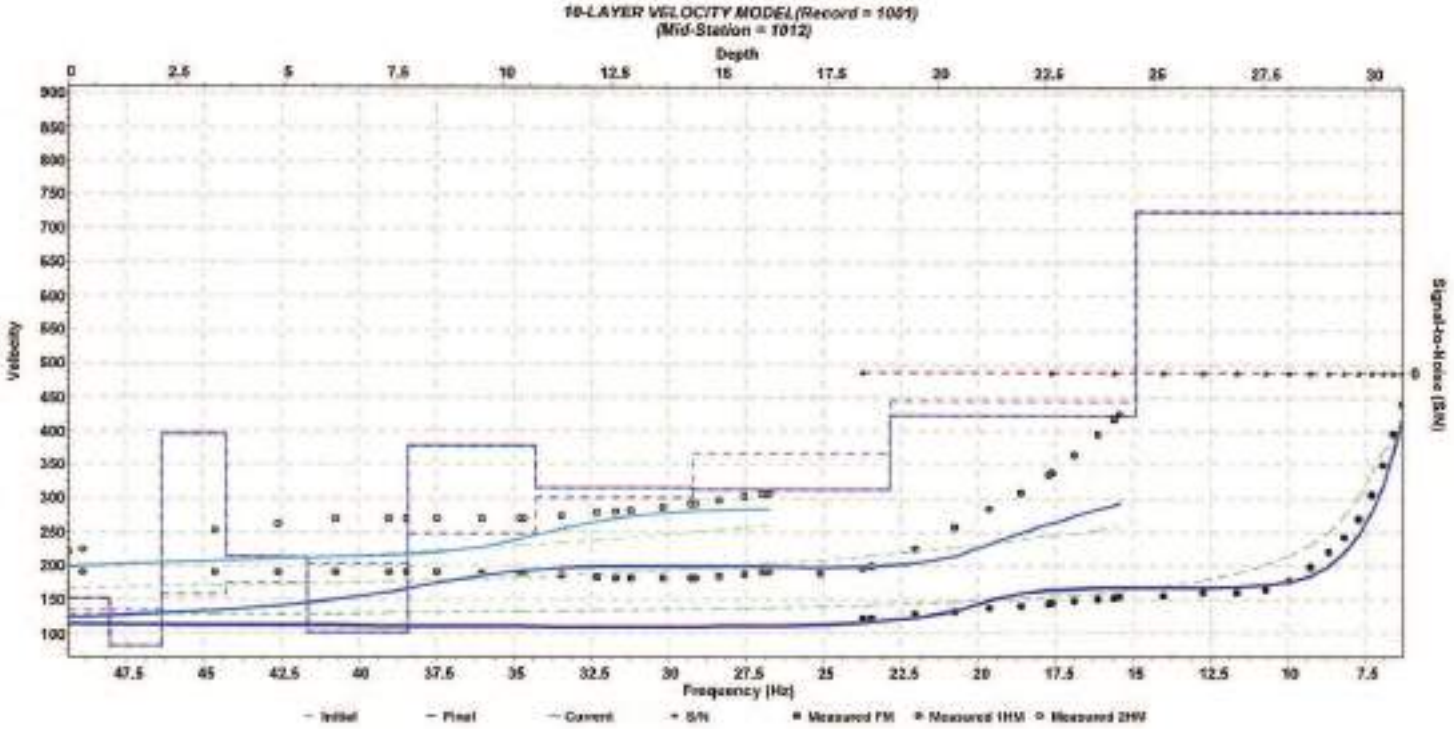
UBICAZIONE PROVA A 1186 GF 551

COMMITTENTE: Geoprobe

CANTIERE: Ex Synudine - Ozzano (BO)

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

INTERPRETAZIONE A 1186 GF 551



Modo fondamentale della vibrazione e iperbori

COMMITTENTE: Geoprobe

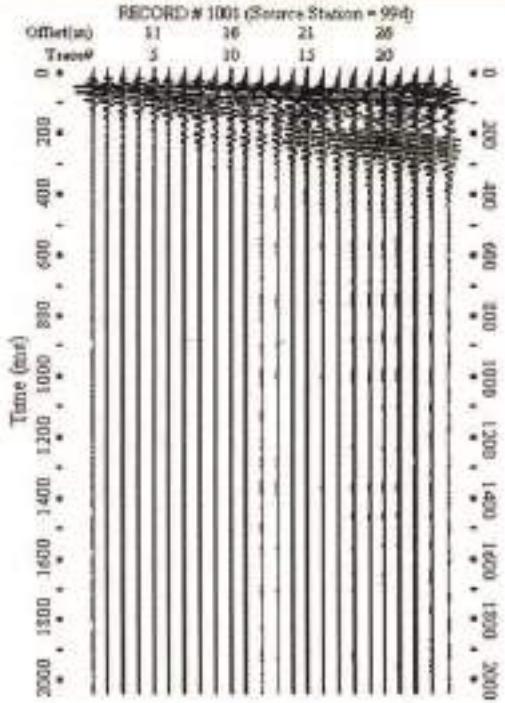
CANTIERE: Ex Synudine - Ozzano (BO)

CONSULENZA GEOFISICA: Studio Tec. Ass. CGA

PROVA: MASW a 1 Shot

DATA DI ESECUZIONE: 30/03/2017

CERTIFICATO N°: A1186GF551



Sismogramma A1186GF551

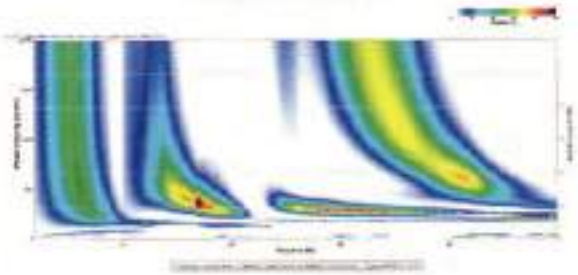


Immagine di dispersione A1186GF551

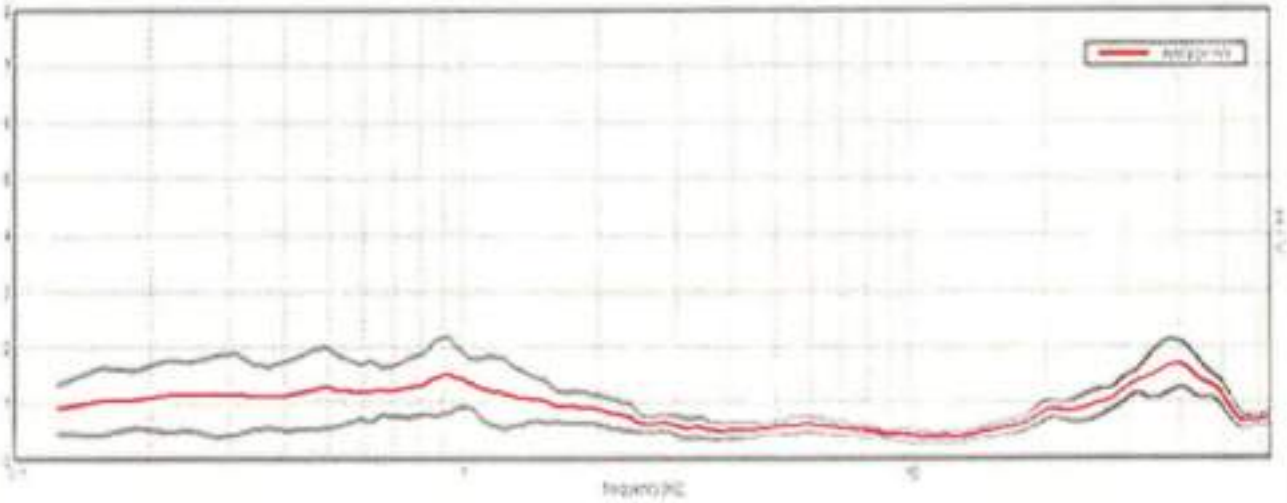
Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 - Casalecchio di Reno (BO) - Telefono (051) 613.51.18

Indagine sismica HVSR

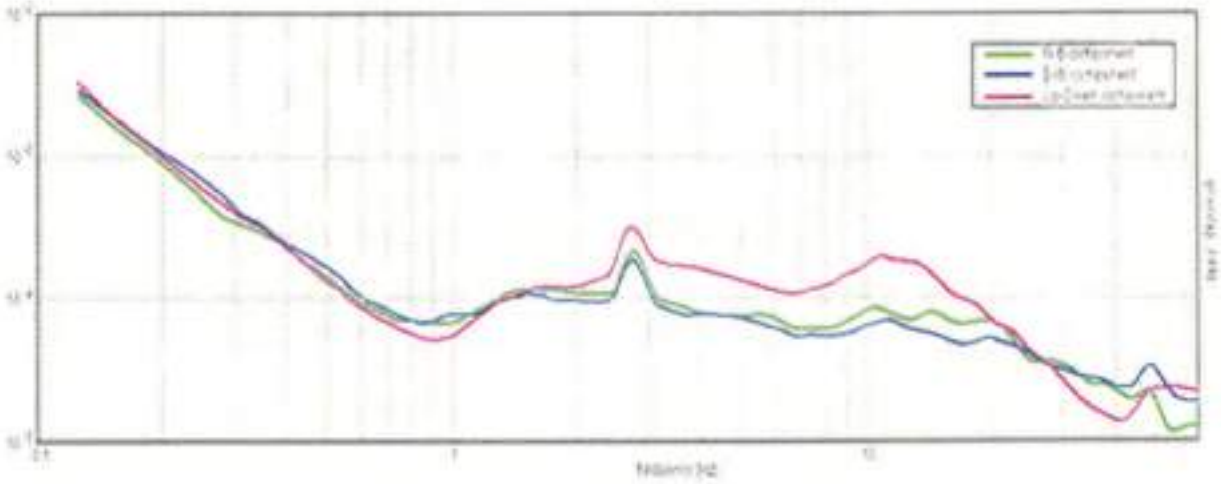
Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Committente:	Futura Costruzioni S.r.l.	Data prova:	29/03/17
Località:	Ozzano dell'Emilia (BO)	Ora inizio registrazione:	06:52:58
Cantiere:	via Emilia 42	Ora fine registrazione:	07:12:58
Strumento:	TRZ-0184/01-12	Procedura di Prova:	
Note:	-	Frequenza di campionamento:	128 Hz

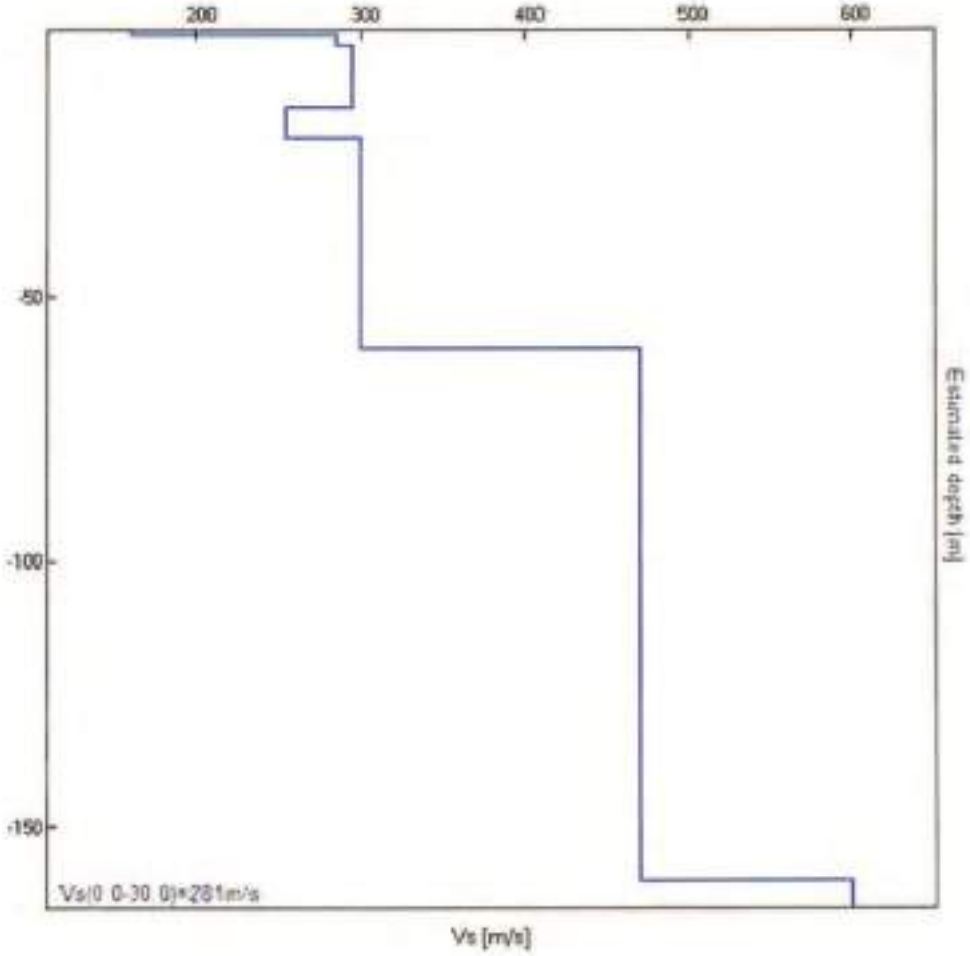
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Studio Geologico Associato GEO-PROBE
Via Cimarosa, 119 – Casalecchio di Reno (BO) – Telefono (051) 613.51.18

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
0.90	0.90	160
2.60	1.70	286
14.60	12.00	295
20.00	5.40	255
60.00	40.00	300
160.00	100.00	470
inf.	inf.	600

Vs(0.0-30.0) = 281 m/s