

COMUNE DI CASALGRANDE			
<i>COMMITTENTE</i>			
IMMOBILIARE POGGIO 70 S.R.L. SASSUOLO (MO) Via RADICI IN PIANO n. 475 - P.IVA 03759270360			
<i>TITOLO DEL PROGETTO</i>			
Proposta di Accordo Operativo art.38 della L.R. n.24/2017 Sub-Ambito AT3 - "EX POGGIO 70" (Via A.Toscanini – Loc. Veggia)			
<i>TITOLO DELLA TAVOLA</i>			
<ul style="list-style-type: none"> - RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA - RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI - RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA E SULLA RISPOSTA SISMICA LOCALE 			
<i>NUM. TAV.</i>	<i>TIMBRO E FIRMA</i>	<i>DATA</i>	<i>AGGIORNAMENTI</i>
C.05	<i>il progettista</i>	MAGGIO 2019	
		STUDIO TECNICO ARCHITETTO MARCO GELSOMINO P.zza Martiri della Libertà n°7/b 42013 Casalgrande (RE) tel 0522 840058 – cell. 335 5422208 e-mail: studio@mgarchitetto.it	

COMUNE DI CASALGRANDE

PROVINCIA DI REGGIO NELL'EMILIA

**PROPOSTA DI ACCORDO OPERATIVO ART.38 DELLA L.R. N.24/2017
SUB-AMBITO AT3 - "EX POGGIO 70" UBICATO IN LOCALITA' VEGGIA**

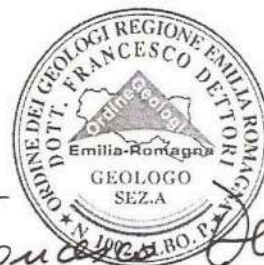
- **RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA**
- **RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI**
- **RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA E SULLA RISPOSTA SISMICA
LOCALE**

COMMITTENTE: IMMOBILIARE POGGIO 70 SRL

PROGETTISTA: ARCH. MARCO GELSOMINO

maggio 2019

Dott. Geol. Francesco Dettori



INDICE

1. PREMESSA	3
2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO	4
3. RELAZIONE GEOLOGICA, IDROGEOLOGICA E SISMICA DI INQUADRAMENTO	5
3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	5
3.2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	5
3.3 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA DELL'AREA	7
3.4 RISCHIO ALLUVIONI: VERIFICA DI COMPATIBILITÀ CON LE CRITICITÀ IDRAULICHE DELL'AREA	7
3.4.1 NORMATIVA E PUBBLICAZIONI DI RIFERIMENTO	8
3.4.2 TAVOLE DI QUADRO CONOSCITIVO PER LA VALUTAZIONE DEI RISCHI DI ALLUVIONE. LE MAPPE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO ALLUVIONE.....	8
3.4.3 PGRA RETICOLO SECONDARIO DI PIANURA: MAPPA DELLA PERICOLOSITÀ	9
3.4.4 PGRA RETICOLO SECONDARIO DI PIANURA: MAPPA DEL RISCHIO	10
3.4.5 DISPOSIZIONI SPECIFICHE PER LA RIDUZIONE DELLA VULNERABILITÀ E PER IL RISPETTO DEL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICA.....	10
3.5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA	11
3.5.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE: SISMICITÀ DEL TERRITORIO	11
3.6 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA	13
3.6.1 MAPPA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA DELL'AREA.....	14
3.6.2 MAPPE DI MICROZONAZIONE SISMICA (LIVELLO 2) E DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE.....	15
4. CARATTERIZZAZIONE DI DETTAGLIO DEL SITO MEDIANTE INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE.....	17
4.1 PROVE PENETROMETRICHE: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE	17
4.2 PROVA MASW: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE	19
4.3 PROVA MICROTREMORE A STAZIONE SINGOLA: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE	20
5. RELAZIONE GEOLOGICA SULLE INDAGINI.....	22
5.1 MODELLO IDROGEOLOGICO-LITOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO.....	22
5.1.1 MODELLO GEOLOGICO DPSH 1.....	24
5.1.2 MODELLO GEOLOGICO DPSH 2.....	26
5.1.3 MODELLO GEOLOGICO DPSH 3.....	28
5.1.4 MODELLO GEOLOGICO DPSH 4.....	30
5.1.5 MODELLO GEOLOGICO DPSH 5.....	32
6. RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI	34
6.1 MODELLO GEOTECNICO E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO.....	34
6.1.1 MODELLO GEOTECNICO DPSH 1	34
6.1.2 MODELLO GEOTECNICO DPSH 2	34
6.1.3 MODELLO GEOTECNICO DPSH 3	35
6.1.4 MODELLO GEOTECNICO DPSH 4	35
6.1.5 MODELLO GEOTECNICO DPSH 5	35
7. CARATTERIZZAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA DEL COMPARTO POGGIO 70.....	36
7.1 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA MASW	36
7.2 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA HVSR.....	38
7.3 CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO AI SENSI DELLE NTC 2018	39
8. RISPOSTA SISMICA LOCALE DEL COMPARTO POGGIO 70	40
8.1 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA IN SUPERFICIE ALLE NTC 2018	40
8.1.1 DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICO	40
8.1.2 DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICO	41
8.1.3 COEFFICIENTI SISMICI E ACCELERAZIONE MASSIMA IN SUPERFICIE A _{MAX} PER I DIVERSI STATI LIMITE	41
8.2 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO ATTESO IN SUPERFICIE DI CUI ALLE NTC 2018	42
8.3 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE	43
9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	44
ALLEGATI	46



1. PREMESSA

Su incarico della Committenza e in accordo con i Tecnici Progettisti si è eseguita la caratterizzazione geologica, geotecnica e geofisica di un'area di lottizzazione residenziale oggetto di Proposta di Accordo Operativo art.38 della L.R. n.24/2017 Sub-Ambito AT3 - "Ex Poggio 70" ubicato in località Veggia, nel Comune di Casalgrande (RE).

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

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

Il documento è suddiviso nelle seguenti parti:

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



Figura 1: Rappresentazione tridimensionale del progetto del complesso edificatorio che si svilupperà all'interno della lottizzazione.

2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

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

- *Deliberazione della Giunta Regionale (DGR) n.2193/2015, Art.16 c.1, L.R. 20/2000. Approvazione aggiornamento dell'atto di coordinamento tecnico denominato "Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale ed urbanistica", di cui alla deliberazione dell'Assemblea legislativa 2 maggio 2007, n.112;*
- *Deliberazione della Giunta Regionale (DGR) n. 1919/2013 avente ad oggetto "Approvazione dei criteri per gli studi di microzonazione sismica ed assegnazione e concessione dei contributi di cui all'ordinanza del Capo Dipartimento della Protezione Civile n. 52/2013 a favore degli enti locali".*
- *"Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" approvati dal Dipartimento della Protezione Civile e dalla Conferenza delle Regioni e P.A. nel novembre 2008;*
- *L.R. 30 ottobre 2008, n. 19 "NORME PER LA RIDUZIONE DEL RISCHIO SISMICO" e ss. mm. e ii.;*
- *Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, che approva le NTC 2018;*
- *Associazione Geotecnica Italiana: "Aspetti geotecnici della progettazione in zona sismica". Linee Guida. Ed. Marzo 2005;*
- *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) – Autorità di Bacino Po, approvato con D.P.C.M. 24/05/2001;*

3.1 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'abitato storico di Veggia si colloca in corrispondenza dell'alveo abbandonato del fiume Secchia, in zona a morfologia sub-pianeggiante. Con il passare degli anni l'abitato si è espanso maggiormente verso nord e verso sud-sud-est lungo le principali direttrici di traffico stradale che collegano Sassuolo a Casalgrande, e in parte sui primi rilievi che formano le colline reggiane, dove si trova appunto la zona oggetto di interesse. Il comparto è topograficamente posto alla quota compresa tra 140 e 145 m s.l.m., con un leggera pendenza verso sud-est.

- nella Sezione della C.T.R. 219020 - denominata "Villalunga" in scala 1:10.000 (**Tavola n.1**).

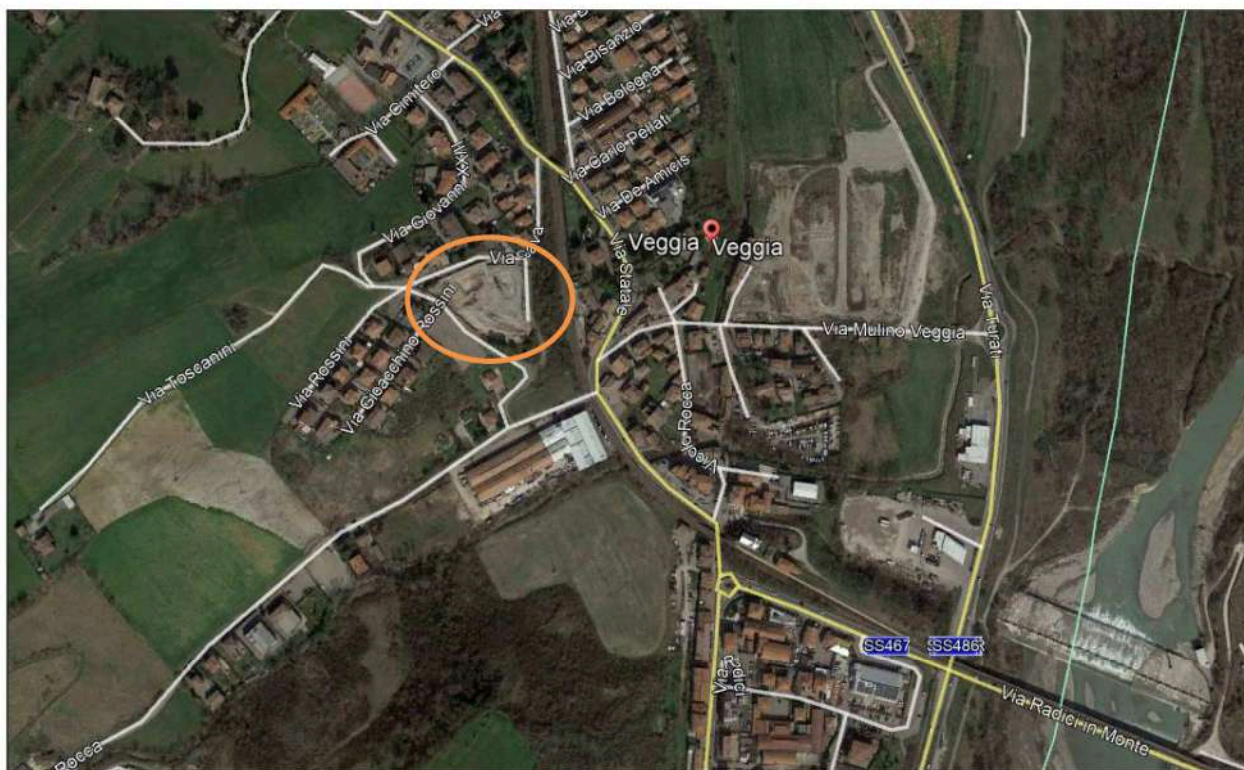


Figura n.2: Area di interesse da foto aerea tratta Google Earth

Dal punto di vista geologico l'area è caratterizzata da un edificio a falde di ricoprimento, originatosi in seguito a più fasi di raccorciamento, che hanno determinato la sovrapposizione di unità tettoniche spesso differenziate per ambiente di sedimentazione e, conseguentemente, per caratteristiche litologiche. Il settore pedemontano e di alta pianura, in cui ricade l'abitato di Veggia, è costituito da depositi di ambiente continentale riferibili al Quaternario, che ricoprono la struttura marginale dell'Appennino e la struttura profonda della Pianura Padana.

Come è possibile vedere dalla Carta Geologica allegata (**Figura 3**), tratta dal progetto CARG del Servizio Sismico e Geologico della Regione Emilia-Romagna, in corrispondenza dell'area di studio affiorano le unità nel Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore e Inferiore. Più in particolare in una stretta fascia che



dal cimitero si spinge sino alla linea ferroviaria affiorano i depositi di piana pedemontana del Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore. Sul resto del territorio affiorano depositi attribuiti al Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore.

Il Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore (AEI), che caratterizza quasi per intero il comparto oggetto di studio, è costituito da "Alternanze di ghiaie limoso-sabbiose e limi; contatto inferiore in discontinuità su FAA attraverso una superficie di discontinuità di importanza regionale. In aree non erose al tetto suoli decarbonatati con fronte di alterazione superiore a 5 m. Potenza affiorante variabile da pochi metri a circa 100. Pleistocene medio?".

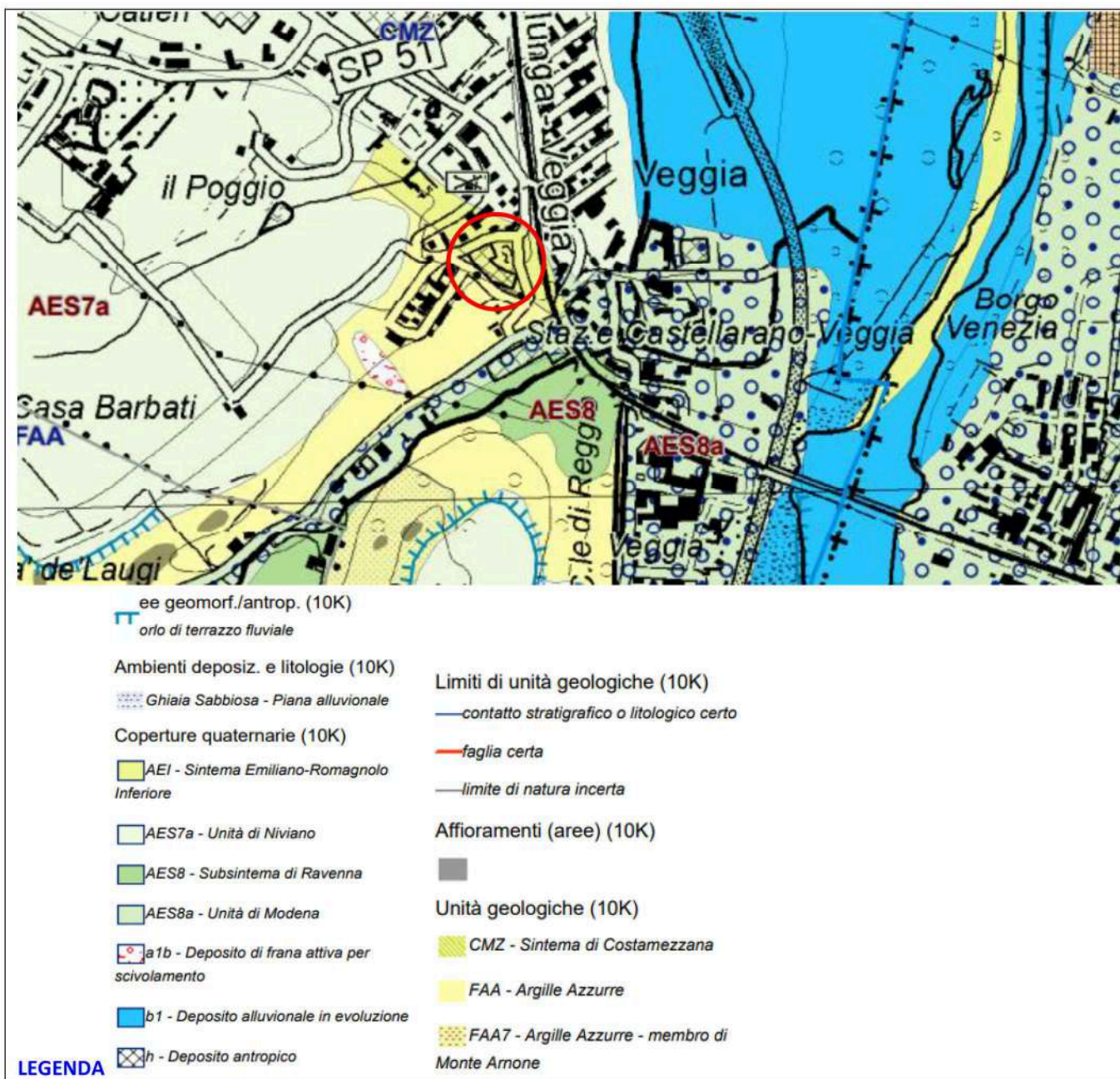


Figura 3: Carta Geologica tratta da "Servizio Sismico, Geologico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna" – stralcio in scala grafica

In relazione alla stabilità dell'area non vi sono corpi di frana o fenomeni di dissesto che interessano il comparto oggetto di intervento. Si osserva un fenomeno gravitativo costituito da una frana di scivolamento attiva, a sud-ovest dell'area. Tale dissesto si colloca ad una distanza tale da escludere ogni possibile coinvolgimento della stabilità della zona oggetto di intervento.

I lineamenti morfologici dell'area sono caratterizzati dal passaggio del Fiume Secchia, del suo affluente Rio della Rocca e da altri corsi d'acqua minori (con direzione approssimata NE-SW), ai cui lati si sviluppano versanti con pendenze moderate tipiche dell'ambiente pedecollinare. Il versante ha una debole acclività (pendenza media inferiore a 10°) con direzione est. La morfologia di versante in questo tratto che comprende la parte alta dell'abitato di Veggia è stata parzialmente modificata dall'uomo per le realizzazioni infrastrutturali e edilizie, mediante gradonature, terrazzamenti e opere di sostegno. A quote superiore si osserva un paesaggio per lo più collinare costituito da rari boschi e campi coltivati a seminativo. Da un attento rilevamento delle forme del paesaggio non sono emersi segni indicativi di fenomeni superficiali di soliflusso sui pendii o subsidenza sui terreni pianeggianti.

3.3 IDROGRAFIA E IDROGEOLOGIA DELL'AREA

L'area di interesse ricade nel bacino idrografico del corso d'acqua del Fiume Secchia, che corre a circa 0,7 km in direzione est. A circa 200 m in direzione sud si trova il Rio delle Rocca affluente del F. Secchia. Nelle immediate vicinanze dell'area di interesse non si segnalano altri corsi d'acqua significativi. A parte il Fiume Secchia, tutti gli altri corsi d'acqua citati hanno carattere torrentizio.

A scala di dettaglio le caratteristiche di circolazione idrica superficiale dell'area sono direttamente correlabili con le variazioni litologiche dei depositi alluvionali e, nel caso delle aree urbanizzate, dalla presenza di superfici impermeabilizzanti. Su suolo naturale, le alluvioni limo-sabbiose della zona costituiscono solo una parziale barriera all'infiltrazione dell'acqua in profondità. Le occasionali acque in eccesso tendono a raccogliersi in rivoli o fossi di ruscellamento concentrato per poi raggiungere le direttrici idrografiche principali. Il rischio idraulico è limitato e comunque funzione dell'efficienza dei fossi di raccolta delle acque superficiali. Sui suoli impermeabilizzati lo smaltimento delle acque superficiali è in stretta relazione all'efficienza dei sistemi di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche. Il rischio idraulico in questo caso è maggiore e funzione anche della pendenza del versante. Dal punto di vista idrogeologico, le acque di origine meteorica che oltrepassano gli strati di terreno "areato" raggiungono in tempi ridotti gli acquiferi posti al tetto del substrato costituito dalle Argille Azzurre. In prossimità dei corsi d'acqua, si incontrano le conoidi ghiaiose, che data la loro elevata permeabilità, sono veicolo per le acque superficiali di origine meteorica, che raggiungono velocemente la falda a pelo libero in profondità.

FALDA DA PROVE PENETROMETRICHE: il monitoraggio del livello piezometrico misurato all'interno dei fori di sondaggio ha consentito di identificare il seguente livello di falda rispetto al piano di campagna:

DPSH	1 (prof. -10.0 m)	2 (prof. -10.0 m)	3 (prof. -4.4 m)	4 (prof. -6.0 m)	5 (prof. -10.0 m)
Data 17/04/2019	Acqua assente	Acqua assente	Acqua assente	Acqua assente	Acqua assente

Le misure sono riferibili ad una misura puntuale e limitata nel tempo. Eventuali acque di circolazione sotterranea potrebbero essere presenti nel sottosuolo in stretta relazione alle portate ed ai livelli di piena delle linee di impluvio presenti. Non si esclude che le acque di provenienza meteorica possano transitare, in occasione di forti e/o prolungate precipitazioni, in strati di terreno superficiali.

3.4 RISCHIO ALLUVIONI: VERIFICA DI COMPATIBILITÀ CON LE CRITICITÀ IDRAULICHE DELL'AREA

Si è eseguita la valutazione delle caratteristiche di pericolosità e rischio riferibili al reticolo idrografico naturale presente in prossimità dell'edificio oggetto di intervento, con particolare riferimento al Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA), le cui disposizioni attuative sono contenute nel DGR 1300/2016.

Il PGRA, predisposto in ottemperanza della Direttiva Europea 2007/60/CE e del D.Lgs. 49/2010 (valutazione e gestione dei rischi di alluvioni), ha avuto il supporto di un Gruppo di Lavoro (Det.



3757/2011, D.G.R. 1244/2014) che ha prodotto, nell'ambito del quadro conoscitivo, una cartografia della pericolosità di alluvioni relativa al reticolo idrografico naturale e degli elementi potenzialmente esposti.

Nel presente documento è stata valutata la compatibilità del progetto edilizio nei confronti delle criticità idrauliche riscontrate, connesse principalmente allo studio della morfologia e della topografia, alla previsione e alla delimitazione di quelle che saranno le aree inondabili, alla presenza di ostacoli che possano ostacolare il regolare deflusso delle acque e alla presenza di superfici impermeabili.

A seconda delle criticità riscontrate saranno indicate le opportune misure per ridurre il danneggiamento dei beni e delle strutture oggetto di intervento.

3.4.1 NORMATIVA E PUBBLICAZIONI DI RIFERIMENTO

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

- *Decreto Legislativo 3 aprile 2006, n. 152, "Norme in materia ambientale";*
- *Legge 28 dicembre 2015, n. 221 "Disposizioni in materia ambientale per promuovere misure di green economy e per il contenimento dell'uso eccessivo di risorse naturali" ed in particolare l'art. 51 "Norme in materia di Autorità di bacino";*
- *Decreto Legislativo 23 febbraio 2010, n. 49, "Attuazione della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni";*
- *Decreto Legislativo 10 dicembre 2010, n. 219, recante "Attuazione della direttiva 2008/105/CE relativa a standard di qualità ambientale nel settore della politica delle acque, recante modifica e successiva abrogazione delle direttive 82/176/CEE, 83/513/CEE, 84/156/CEE, 84/491/CEE, 86/280/CEE, nonché modifica della direttiva 2000/60/CE e recepimento della direttiva 2009/90/CE che stabilisce, conformemente alla direttiva 2000/60/CE, specifiche tecniche per l'analisi chimica e il monitoraggio dello stato delle acque";*
- *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Po (in seguito PAI), adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino con deliberazione n. 18 del 26 aprile 2001, approvato con DPCM 4 maggio 2001;*
- *Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico del Delta del fiume Po (in seguito PAI Delta), adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino con deliberazione n. 5 del 19 luglio 2007, approvato con DPCM 13 novembre 2008;*
- *Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (PTCP) di Modena relative all'attuazione del "Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Po" (PAI);*
- *Decreto Giunta Regionale dell'Emilia Romagna 1300/2016 "Prime disposizioni regionali concernenti l'attuazione del Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni con particolare riguardo alla pianificazione di emergenza, territoriale ed urbanistica, ai sensi dell'art. 58 dell'Elaborato n. 7 (Norme di Attuazione) e dell'art.22 dell'Elaborato n. 5 (Norme di Attuazione) del "Progetto di Variante al Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del bacino del fiume Po (PAI) e al Piano stralcio per l'assetto idrogeologico del Delta del fiume Po (PAI Delta)", adottato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di bacino del fiume Po, con deliberazione n. 5 del 17/12/2015;*
- *Autorità di Bacino del Fiume Po e dell'Università degli studi di Pavia (febbraio 2009): "EDIFICI IN AREE A RISCHIO DI ALLUVIONE. COME RIDURRE LA VULNERABILITÀ".*

3.4.2 TAVOLE DI QUADRO CONOSCITIVO PER LA VALUTAZIONE DEI RISCHI DI ALLUVIONE. LE MAPPE DELLA PERICOLOSITÀ E DEL RISCHIO ALLUVIONE

In epoche diverse e a vari livelli di pianificazione (provinciale, comunale e di bacino) sono state prodotte una serie di mappe per la valutazione della pericolosità e del rischio di alluvioni del territorio di pianura.



Strumento cardine per la valutazione e la gestione del rischio sono le mappe della pericolosità e del rischio di alluvioni (art. 6 D.Lgs. 49/2010 e art. 6 Dir. 2007/60/CE). Le mappe della pericolosità rappresentano l'estensione potenziale delle inondazioni causate dai corsi d'acqua (naturali e artificiali) e dal mare, con riferimento a tre scenari (alluvioni rare, poco frequenti e frequenti) rappresentati con tre diverse tonalità di blu, associando al diminuire della frequenza di allagamento il diminuire dell'intensità del colore. Le mappe della pericolosità di alluvioni sono redatte per tre ambiti: reticolo naturale (principale e secondario), reticolo secondario di pianura (canali artificiali di bonifica) e aree costiere marine.

Le mappe del rischio indicano la presenza degli elementi potenzialmente esposti (popolazione coinvolta, servizi, infrastrutture, attività economiche, etc.) che ricadono nelle aree allagabili e la corrispondente rappresentazione in 4 classi da molto elevata (R4) a moderata o nulla (R1). Le 4 categorie di rischio sono rappresentate mediante una serie di colori che va dal giallo (rischio moderato o nullo) al viola (rischio molto elevato), passando per l'arancione (rischio medio) e il rosso (rischio elevato).

Per l'area di interesse si riportano solo le mappe del reticolo secondario in quanto il reticolo principale ha come elemento di pericolosità il solo fiume Secchia, che ricade a quote e distanza non influenti con il comparto oggetto di studio.

3.4.3 PGRA RETICOLO SECONDARIO DI PIANURA: MAPPA DELLA PERICOLOSITÀ

La cartografia rappresenta la pericolosità di alluvioni relativa al reticolo secondario di pianura artificiale (canali di bonifica) e degli elementi potenzialmente esposti. La perimetrazione delle aree potenzialmente allagabili è stata effettuata con riferimento a due scenari: alluvioni frequenti (per tempi di ritorno fino a 50 anni) e alluvioni poco frequenti (per tempi di ritorno fino a 200 anni). Il metodo di individuazione delle aree soggette ad alluvioni è di tipo prevalentemente storico-inventariale e si è sviluppato a partire dai dati e dalle informazioni sugli eventi avvenuti orientativamente in epoca successiva al 1990 censiti dai Consorzi di Bonifica.

A questa tipologia di aree si aggiungono limitate zone individuate mediante modelli idrologico-idraulici (metodo completo) e aree delimitate sulla base del giudizio esperto degli enti gestori (metodo conoscitivo) in relazione alla generale incapacità del reticolo di far fronte ad eventi di precipitazione caratterizzati da T_r superiori (in media) a 50 anni: in questo caso (alluvioni poco frequenti), le aree perimetrate coincidono con gran parte dei settori di pianura dei bacini idrografici.

Le mappe di pericolosità non tengono conto della possibilità che si verifichino rotture arginali o malfunzionamenti degli impianti di sollevamento e delle opere di gestione delle piene (chiaviche, paratoie, ecc.). Si riporta uno stralcio della carta con evidenziata l'area di interesse (**Figura 4**).

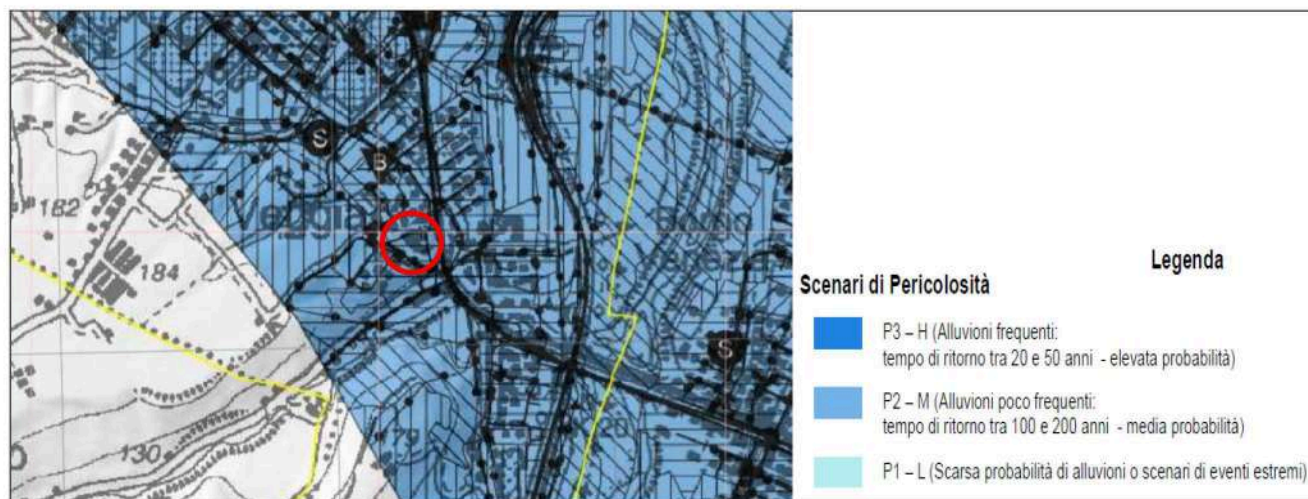


Figura 4: Mappa della pericolosità del reticolo secondario di pianura – PGRA – stralcio in scala grafica

Come si evince dalla scala cromatica la porzione di territorio di interesse ricade interamente su aree caratterizzate da alluvioni poco frequenti, aventi tempi di ritorno tra 100 e 200 anni (P2-M).

3.4.4 PGRA RETICOLO SECONDARIO DI PIANURA: MAPPA DEL RISCHIO

Il rischio tiene conto della pericolosità e del danno potenziale inteso come prodotto della vulnerabilità per il valore del bene esposto, secondo l'equazione: $\text{Rischio} = \text{Pericolosità} \times \text{Valore bene esposto} \times \text{Vulnerabilità}$.

La mappa del rischio che segue, basata sull'equazione appena descritta, riporta la seguente situazione (Figura 5).

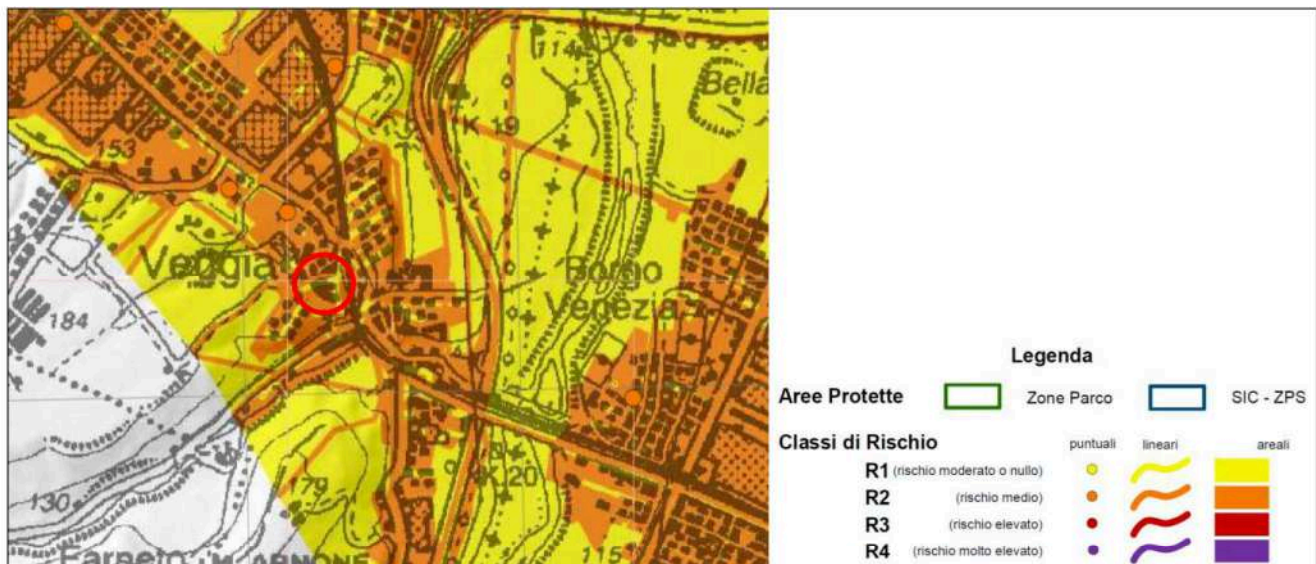


Figura 5: Mappa del rischio del reticolo secondario di pianura – PGRA – stralcio in scala grafica

Come si evince dalla scala cromatica gli scenari di pericolosità molto elevata (R4) ed elevata (R3) non compaiono nella mappa. Lo scenario di rischio medio (R2) coinvolge tutti i centri abitati, le frazioni, gli agglomerati rurali e la maggior parte degli edifici rurali. La restante parte di territorio è caratterizzata da un rischio moderato o nullo (R1). Per il rischio medio (R2), in cui ricade la quasi totalità dell'area di interesse, sono possibili danni minori agli edifici, alle infrastrutture e al patrimonio ambientale che non pregiudicano l'incolumità delle persone, l'agibilità degli edifici e la funzionalità delle attività economiche.

3.4.5 DISPOSIZIONI SPECIFICHE PER LA RIDUZIONE DELLA VULNERABILITÀ E PER IL RISPETTO DEL PRINCIPIO DELL'INVARIANZA IDRAULICA

In relazione alle caratteristiche di pericolosità e rischio descritte nei paragrafi precedenti, con riferimento alle criticità rilevate nello studio di dettaglio, sono da adottarsi misure di riduzione della vulnerabilità dei beni e delle strutture esposte, anche ai fini della tutela della vita umana, e misure volte al rispetto del principio dell'invarianza idraulica, finalizzate a salvaguardare la capacità ricettiva del sistema idrico e a contribuire alla difesa idraulica del territorio.

Nell'ambito dei procedimenti inerenti richiesta/rilascio di permesso di costruire e/o segnalazione certificata di inizio attività, si riportano quindi alcuni accorgimenti utili per la mitigazione del rischio e che devono essere assunti in sede di progettazione al fine di garantire la compatibilità degli interventi con le condizioni di pericolosità rilevate:

1. la quota minima del primo piano utile dell'edificio deve essere all'altezza sufficiente a ridurre la vulnerabilità del bene esposto e adeguata al livello di pericolosità ed esposizione. In questo caso si suggerisce di portare la quota del primo piano utile a 50/60 cm sopra il piano di campagna naturale, ovvero evitando anche la realizzazione di piani interrati;

2. nel caso si volesse/dovesse portare la quota del primo piano utile ad una altezza inferiore saranno da assumersi comunque i seguenti accorgimenti:

- le pareti perimetrali e il solaio di base siano realizzati a tenuta d'acqua;
- vengano previste scale/rampe interne di collegamento tra il piano dell'edificio potenzialmente allagabile e gli altri piani (se presenti);
- siano evitati nella costruzione intercapedini non accessibili, vespai areati non visitabili e sia curata la rete di drenaggio esterna all'edificio;
- gli impianti elettrici siano realizzati con accorgimenti tali da assicurare la continuità del funzionamento dell'impianto anche in caso di allagamento;
- le aperture siano a tenuta stagna e/o provviste di protezioni idonee;
- le rampe di accesso siano provviste di accorgimenti tecnico-costruttivi (dossi, sistemi di paratie, etc);
- siano previsti sistemi di sollevamento delle acque da ubicarsi in condizioni di sicurezza idraulica.

3. favorire il deflusso/assorbimento delle acque di esondazione, evitando interventi che ne comportino l'accumulo ovvero che comportino l'aggravio delle condizioni di pericolosità/rischio per le aree circostanti. Nel caso specifico saranno da assumersi i seguenti accorgimenti:

- evitare barriere sulle aree circostanti l'edificio che ostacolino il defluire dell'acqua;
- evitare di impermeabilizzare le aree circostanti l'edificio. Saranno da preferire la posa di pavimentazioni drenanti.

A completamento delle precedenti indicazioni si attesta che l'intervento proposto non crea modifiche del sistema idraulico nell'area oggetto d'intervento.

3.5 CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

La componente pericolosità del rischio sismico dipende:

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

3.5.1 PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE: SISMICITÀ DEL TERRITORIO

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

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

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

Le citate zone sono principalmente collegate a meccanismi focali compressivi e trascorrenti, che si originano nella Dorsale Ferrarese ma risentono anche dell'attività sismica del margine appenninico e,



seppur in modo subordinato, della sismicità della zona alpina. Risultano secondari e subordinati i meccanismi focali distensivi.

Gli eventi sismici di maggiore intensità per l'area di interesse si sono verificati nel territorio reggiano, parmense, frignano, modenese, la pianura emiliana e la Lunigiana, con ipocentri concentrati prevalentemente nei primi 10/15 km del sottosuolo (attività sismogenetica di tipo superficiale); la distribuzione degli ipocentri focali che si generano tra -15 e -40 km dal piano campagna, è simile a quella più superficiale ma contraddistinta da intensità e frequenza inferiori.

L'Ordinanza PCM 3519/2006 ha indicato i Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone. A tale ordinanza è allegata la Mappa di Pericolosità Sismica di riferimento a scala nazionale (progetto DPC-INGV-S1) nella quale è possibile verificare che il territorio del Comune di **Casalgrande** è compreso nell'area caratterizzata da valori dell'accelerazione massima al suolo (a_{max}), con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita ai suoli molto rigidi ($V_{s30} > 800$ m/s; cat. A, All. 2, 3.1), **compresi tra 0,150 e 0,175 g**.

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

Con l'aggiornamento apportato dalla DGR n.2193/2015 la Regione Emilia-Romagna ha disposto che la pericolosità sismica sia valutata a partire dai valori di a_{refg} elaborati da INGV per il territorio nazionale, resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0,05 gradi, e disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, tema "Sismica – Microzonazione Sismica". Il valore di a_{refg} relativo al sito analizzato si ottiene interpolando i valori di a_{refg} definiti nei punti della griglia più prossimi al sito oppure utilizzando il valore del punto della griglia più vicino. A tal riguardo, per il sito di interesse si è ottenuto il valore **$a_{refg}=0,162$** .

Le Nuove NTC (2018), col sostegno dei risultati del progetto S1-INGV, consentono di definire la pericolosità sismica di base attraverso le forme spettrali per differenti periodi di ritorno T_R , a iniziare dai valori dei parametri:

a_g accelerazione orizzontale massima;

F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T_c^* periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

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

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

latitudine: 44,553377

longitudine: 10,763953

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 16500 Lat: 44,5534 Lon: 10,7550 Distanza: 709,412

Sito 2 ID: 16501 Lat: 44,5550 Lon: 10,8250 Distanza: 4840,450

Sito 3 ID: 16723 Lat: 44,5050 Lon: 10,8272 Distanza: 7354,227

Sito 4 ID: 16722 Lat: 44,5034 Lon: 10,7573 Distanza: 5580,169

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

Operatività (SLO):		Danno (SLD):	
Probabilità di superamento:	81 %	Probabilità di superamento:	63 %
Tr:	30[anni]	Tr:	50[anni]
ag:	0,052 g	ag:	0,065 g
Fo:	2,483	Fo:	2,492
Tc*:	0,252 [s]	Tc*:	0,265 [s]
Salvaguardia della vita (SLV):		Prevenzione dal collasso (SLC):	
Probabilità di superamento:	10 %	Probabilità di superamento:	5 %
Tr:	475[anni]	Tr:	975[anni]
ag:	0,162 g	ag:	0,204 g
Fo:	2,404	Fo:	2,410
Tc*:	0,288 [s]	Tc*:	0,298 [s]

3.6 PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE E MICROZONAZIONE SISMICA

Le azioni sismiche definite in precedenza su scala territoriale possono assumere, anche a distanze di poche decine di metri, caratteristiche differenti in funzione delle diverse condizioni geologiche che caratterizzano un dato ambito locale (morfologia superficiale, morfologia del substrato roccioso sepolto, presenza e profondità della falda freatica, costituzione e proprietà del sottosuolo, presenza di faglie, ecc.). Si possono così avere effetti temporanei, che cessano quando cessa il terremoto (es. amplificazione del moto sismico), e, in caso di forti terremoti, modifiche permanenti del paesaggio (frane, rotture del terreno, cedimenti, ecc.).

La microzonazione sismica si propone di studiare e valutare quantitativamente l'influenza che le condizioni geologiche locali hanno sui movimenti del suolo durante un evento sismico.

L'elemento base della microzonazione sismica è la valutazione della "risposta sismica locale" (RSL). Con tale termine s'intende l'insieme delle modifiche in intensità, ampiezza e frequenza, che un moto sismico relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), posta ad una certa profondità nel sottosuolo, subisce attraverso gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie.

La microzonazione sismica è quindi uno strumento di riduzione del rischio che si attua nel rispetto di specifiche normative nazionali e regionali e che viene applicato fino dalle prime fasi della pianificazione urbanistica.

Gli aspetti e i principi fondamentali degli studi di MS sono:

- 1) definizione degli scenari di pericolosità sismica locale, cioè identificazione delle parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.);
- 2) suddivisione del territorio in zone a diversa pericolosità sismica locale e stima quantitativa della risposta sismica locale dei depositi e delle morfologie presenti nelle aree indagate ("Microzonazione Sismica", MS);
- 3) tre livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle condizioni di pericolosità sismica locale;
- 4) gli studi di MS fanno riferimento ad un periodo di ritorno dell'evento atteso di 474 anni (probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni).

Gli studi di Microzonazione Sismica (MS) consentono quindi di caratterizzare il territorio in base alla risposta sismica locale, cioè al comportamento del terreno durante e dopo il terremoto, individuando e delimitando le aree a comportamento omogeneo, distinguendo tra:

- zone stabili,
- zone suscettibili di amplificazione del moto sismico,
- zone soggette a instabilità, quali frane, fratturazioni superficiali e liquefazioni.

La Regione Emilia-Romagna per la programmazione territoriale e di pianificazione territoriale ed urbanistica ha recepito i numerosi studi di microzonazione sismica finora realizzati, tra cui lo Studio di microzonazione sismica di II livello del Comune di **Casalgrande**, effettuato dallo studio di geologia del dott. Stefano Castagnetti, in attuazione dell'articolo 11 della legge 24 giugno 2009, n.77.

I risultati dello studio di microzonazione sismica del Comune di **Casalgrande** sono stati approvati dalla RER nel 2015 e pubblicati dal Comune in un documento con allegate diverse tavole tra cui le Mappe delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, le Mappe delle Frequenze Naturali dei terreni e le Mappe dei Fattori di Amplificazione in termini di rapporto di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA_0), sia di rapporto di Intensità di Housner (SI/SI_0) per prefissati intervalli di periodo.

3.6.1 MAPPA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA DELL'AREA

In questa cartografia sono indicate le aree in cui si ritiene necessario effettuare indagini e analisi di microzonazione sismica e i livelli di approfondimento ritenuti necessari, distinguendo tra zone suscettibili di instabilità, ove sono richiesti approfondimenti di terzo livello, e zone suscettibili di amplificazioni locali, oggetto di approfondimenti di secondo livello, all'interno delle quali sono state operate ulteriori distinzioni, identificando delle microzone omogenee, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche.

Si riporta per l'area di interesse la "Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica" MOPS (Figura n.6):

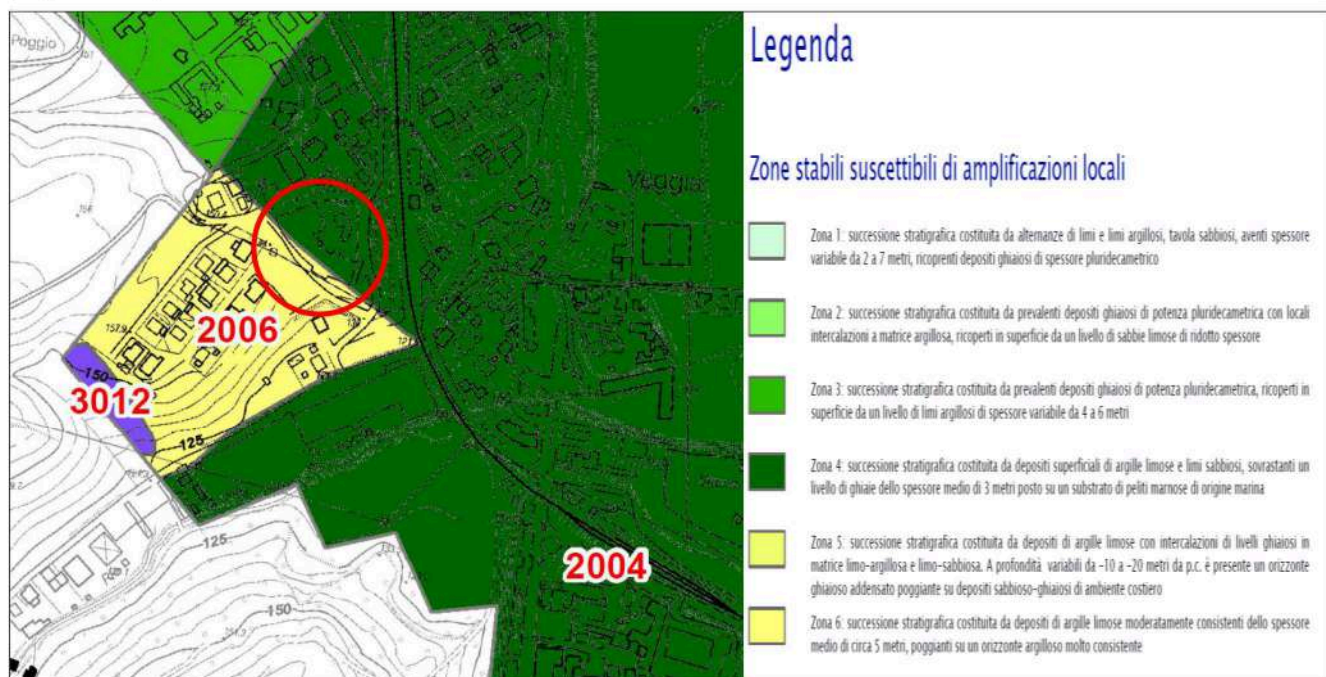


Figura n.6: Carta delle MOPS

OSSERVAZIONI: l'area in oggetto ricade interamente in "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali". Si tratta di aree in cui sono attese amplificazioni del moto sismico, causate dall'assetto litostratigrafico e/o morfologico locale. In queste zone sono richiesti approfondimenti di secondo livello. La suddetta zona è poi distinta, sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche. Il sito ricade tra la micro zona 4 caratterizzata da "successione stratigrafica costituita da depositi superficiali di argille limose e limi sabbiosi, sovrastanti un livello di ghiaie dello spessore medio di 3 metri posto su un substrato di peliti marnose di origine marina" e (in piccola parte) la micro zona 6 caratterizzata da "successione stratigrafica costituita da depositi di argille limose moderatamente consistenti dello spessore medio di circa 5 metri, poggianti su un orizzonte argilloso molto consistente".

3.6.2 MAPPE DI MICROZONAZIONE SISMICA (LIVELLO 2) E DEI FATTORI DI AMPLIFICAZIONE

Altre Tavole di interesse sono le seguenti carte dei Fattori di Amplificazione:

- Carta di microzonazione sismica Livello 2 - FA P.G.A. (Figura n.7a)
- Carta di microzonazione sismica Livello 2 - FA I.S. 0,1-0,5s (Figura n.7b)
- Carta di microzonazione sismica Livello 2 - FA I.S. 0,5-1,0s (Figura n.7c)

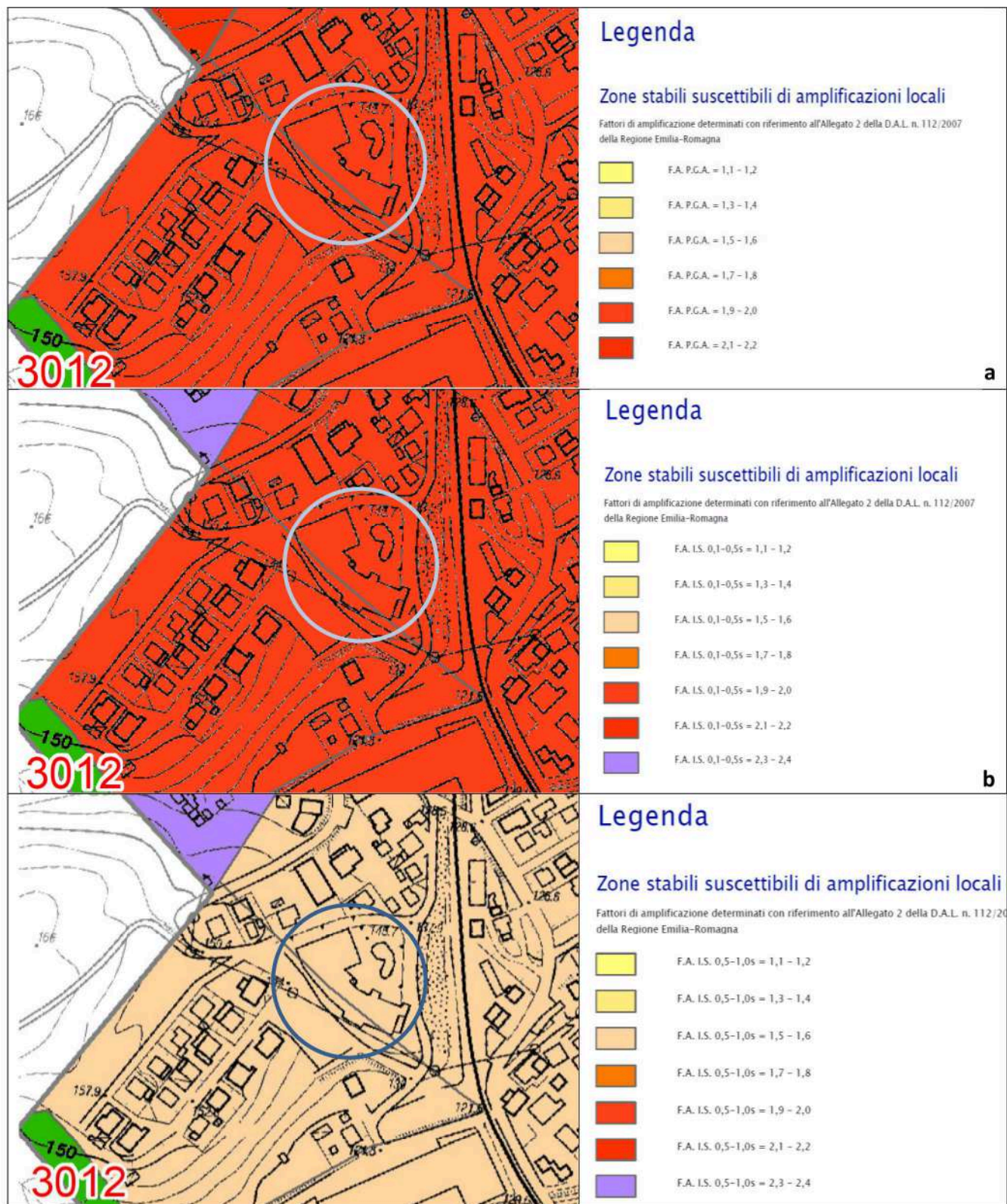


Figura n. 7a, 7b, 7c: carte dei F.A.

OSSERVAZIONI:

Per la definizione dei Fattori di Amplificazione (FA) rispetto ad un suolo di riferimento, sono state utilizzate le tabelle e le formule indicate dell'Allegato A2 degli indirizzi regionali della Delibera dell'Assemblea Legislativa Regione Emilia- Romagna n° 112 del 2 maggio 2007.

Più in particolare è stata impiegata la tabella degli indirizzi regionali denominata "Appennino e margine appenninico-padano", con substrato marino caratterizzato da $V_s < 800$ m/s.

Per ciascuna zona sono state definite le velocità medie delle onde di taglio (V_{s30} e V_{sH}), analizzando sia i valori derivanti dalle indagini MASW e RE.MI, in parte di nuova esecuzione e in parte reperite presso l'archivio dell' U.T. comunale. Per le due zone i valori di riferimento delle V_{s30} , determinati sulla base delle classi di velocità contenuti nelle tabelle dell'Allegato A2 degli indirizzi regionali, sono i seguenti:

- Zona 2004 _ $V_{sH} = 327$ m/s con $H = 20$ m

- Zona 2006 _ $V_{sH} = 250$ m/s con $H = 10$ m

Utilizzando la citata tabella "Margine con substrato lento", ovvero caratterizzato da $V_s < 800$ m/s, i fattori di amplificazione per gli areali oggetto di microzonazione erano i seguenti:

	ZONE	
	2004	2006
F.A. P.G.A.	1.9	2.0
F.A. I_s ($0.1s < T_0 < 0.5s$)	1.9	1.9
F.A. I_s ($0.5s < T_0 < 1.0s$)	1.5	1.5

A seguito dell'aggiornamento normativo di cui al D.G.R. n° 2193 del 21.12.2015 è stato aggiornato l'Atto di indirizzo e coordinamento tecnico di cui alla DAL 112/2007 e, all'Allegato 2, sono state prodotte nuove tabelle di calcolo.

Pertanto, si è provveduto a verificare la rispondenza dei F.A. definiti con le precedenti tabelle, alla luce delle nuove conoscenze scientifiche.

Per quanto riguarda le tabelle di riferimento, per la Zona 2006 si è fatto riferimento alla tabella "Margine di tipo A", che considera V_{sH} comprese tra 150 e 300 m/s.

Viceversa, per la Zona 2004, considerata la V_s pari a 327 m/s, si è ritenuto di fare riferimento alla tabella "Appennino con substrato non rigido" ($V_s < 800$ m/s), che considera velocità V_{sH} comprese tra 150 e 700 m/s.

I fattori di amplificazione che ne derivano sono i seguenti:

	ZONE	
	2004	2006
F.A. P.G.A.	1.9	2.0
F.A. I_s ($0.1s < T_0 < 0.5s$)	1.8	2.0
F.A. I_s ($0.5s < T_0 < 1.0s$)	1.4	1.8

Confrontando le risultanze delle due tabelle, si osserva che i valori di FA in termini di PGA sono invariati. Per quanto riguarda i FA in termini di I_s per intervalli di breve periodo ($0.1s < T_0 < 0.5s$) sono ridotti di un decimale (da 1.9 a 1.8) per la Zona 2004 e incrementati di un decimale (da 1.9 a 2.0) per la Zona 2006.

Infine, per quanto riguarda i FA in termini di I_s per intervalli di lungo periodo ($0.5s < T_0 < 1s$) si osserva ancora un calo di un solo decimale (da 1.5 a 1.4) per la Zona 2004 e un incremento più significativo di 3 decimali (da 1.5 a 1.8) per la Zona 2006.

I nuovi valori dei FA sostituiscono i precedenti.

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

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

- n.5 prove penetrometriche dinamiche superpesanti DPSH;
- n.1 prova di sismica attiva MASW;
- n.1 prova di sismica passiva HVSR.

L'ubicazione delle indagini è riportata in **Figura 8**.

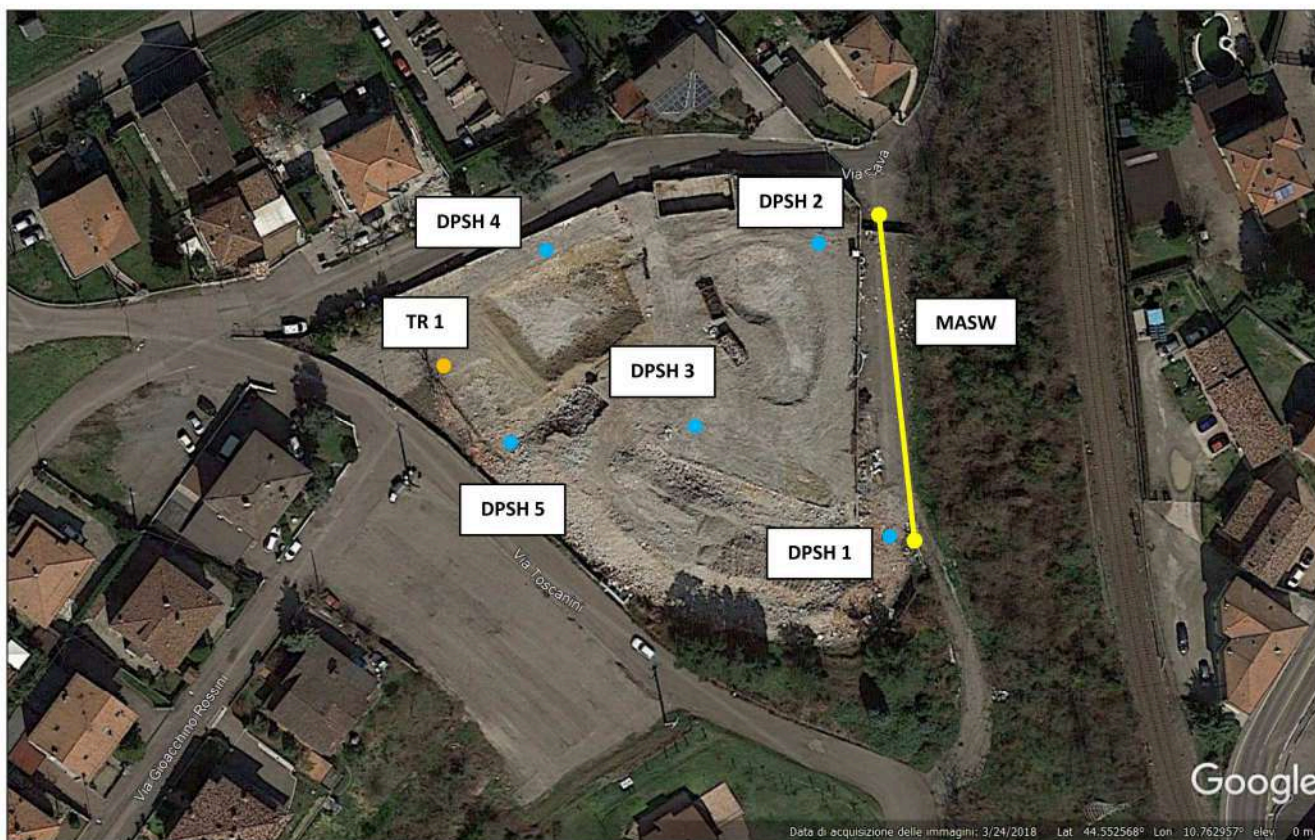


Figura n. 8: ubicazione indagini geognostiche.

4.1 PROVE PENETROMETRICHE: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE

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

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

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

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

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

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

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

Alcune fasi delle indagini geognostiche sono riportate in **Figure n. 9a, 9b, 9c, 9d e 9e**.



Figura 9: immagini delle prove penetrometriche DPSH 1, 2, 3, 4 e 5.

4.2 PROVA MASW: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE

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

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

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

Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza del peso di 8 kg e una piastra di battuta di alluminio. L'indagine sismica di tipo MASW consente la determinazione diretta della velocità delle onde trasversali (Onde di taglio - onde Sh/Sv) dei terreni del sottosuolo in modo da ottenere una corretta caratterizzazione della categoria sismica del sottosuolo dell'area indagata.

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

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

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

- fase di pre-processing per migliorare la qualità del dato acquisito;
 - passaggio dal sismogramma al dominio spettrale mediante trasformata FK;
 - picking dei punti dello spettro per ottenere la curva di dispersione sperimentale; la procedura consiste nel trovare per ogni frequenza dei massimi assoluti/relativi dello spettro FK, finalizzata alla individuazione del modo fondamentale di propagazione dell'onda (ovvero quello a velocità minore), senza trascurare (analisi multimodale) di ricercare anche eventuali modi superiori;
 - estrazione curva di dispersione sperimentale tramite la procedura sopra indicata dallo spettro FK;
 - inversione: tale procedura è avviata per ottimizzare un modello stratigrafico che sia sovrapponibile alla curva di dispersione sperimentale del sito; il programma utilizza una tecnica di inversione lineare che presenta il vantaggio di minimizzare l'errore quadratico medio tra dati sperimentali e dati teorici;
- Fase di ottimizzazione e di taratura della curva teorica, realizzata contestualmente alla procedura d'inversione, con inserimento (eventuale) di strati, assegnazione di moduli di Poisson e taratura dello spessore degli strati mediante confronto con prove dirette (prove penetrometriche, stratigrafie, ecc.). Alcune fasi delle indagini geofisiche sono riportate in **Figura n.10**.



Figura n.10: immagini della prova geofisica MASW

4.3 PROVA MICROTREMORE A STAZIONE SINGOLA: ATTREZZATURA ED ELABORAZIONE

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

Il rumore di fondo (microtremore), presente ovunque sulla superficie terrestre ed associato sia a fenomeni atmosferici che all'attività antropica, è relativo ad oscillazioni molto piccole (10^{-15} m/s^2), con componenti spettrali che vengono scarsamente attenuate nello spazio e misurabili con tecniche di acquisizione dette passive.

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

Il metodo considera i microtremori come composti in massima parte da onde di superficie (di Rayleigh) nelle componenti orizzontali e verticali, che vengono amplificate per effetto di sito a causa della

presenza di discontinuità stratigrafiche nel sottosuolo. È quindi possibile ricostruire la forma spettrale del microtremore, in cui i picchi alle diverse frequenze rappresentano il rapporto tra la componente orizzontale e verticale dei segnali registrati.

Per la campagna di indagine è stato utilizzato uno strumento della SARA Electronic Instruments srl denominato Sara Geobox con sensore Sara SS45PACK, con sensore integrato da 4,5 Hz.

L'acquisizione dei dati è stata effettuata alla frequenza di 300 Hz con un tempo di singola registrazione pari a 20 minuti.

Le registrazioni sono state elaborate utilizzando un modulo del software "GeoExplorer HVSR 2.0.0 Alfa version" per la modellazione delle curve H/V nell'intervallo 0,0 – 128 Hz, impostando una larghezza delle finestre di analisi tra 25 e 40 secondi, e lisciamento secondo una finestra triangolare con ampiezza pari al 20%.

Alcune fasi delle indagini geofisiche sono riportate in **Figura n.11**.



Figura n11: immagini della prova geofisica HVSR 1

5. RELAZIONE GEOLOGICA SULLE INDAGINI

La ricostruzione della stratigrafia del sottosuolo, finalizzata alla creazione del modello geologico è stata ottenuta mediante un rilievo geologico-geomorfologico, la consultazione delle note bibliografiche disponibili e acquisendo i dati di prove penetrometriche.

In relazione alle esigenze progettuali e alle caratteristiche di resistenza del terreno, l'indagine geognostica è stata spinta ad una profondità massima di -10.0 m. Durante l'esecuzione delle indagini non si sono riscontrate anomalie di funzionamento delle apparecchiature sia meccaniche che digitali. La trattazione statistica dei dati numerici di resistenza ha quindi permesso la suddivisione in strati per la creazione di un modello geologico. I criteri per la suddivisione del volume significativo in strati sono di carattere stratigrafico-litologico, idrogeologico e di resistenza (intesa come resistenza all'infissione). Le elaborazioni numeriche delle penetrometrie per conseguire informazioni geologiche sono state supportate da un programma di calcolo della GeoStru Software, in licenza allo Scrivente. A partire dalla caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche si sono definiti i parametri di resistenza utilizzando la **Media** ovvero il valore statistico riferito alla media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

5.1 MODELLO IDROGEOLOGICO-LITOSTRATIGRAFICO DEL TERRENO

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

- l'area è fortemente antropizzata e presenta sbancamenti e riporti di terreno talvolta considerevoli, perlopiù concentrati nella parte centrale e settentrionale del comparto. Gli accumuli sono costituiti in parte da terreno naturale autoctono (sottostante), in parte si tratta di terreno alloctono (inerti fini e grossolani) e scarti di varia natura quasi sempre edile (posizionati perlopiù in superficie). Parte del detrito attualmente presente in superficie risulta dalla demolizione pressoché totale delle infrastrutture esistenti, di cui permangono cumuli di macerie e strutture sotterranee. Gli accumuli costituiscono dei veri e propri rilevati il cui spessore diviene via via più consistente nella parte est e nord-est del comparto, dove si superano i 4,0 m di altezza. Un muro di contenimento in cemento armato, orientato verso est e nord (in parte sud) delimita il rilevato;
- le prove DPSH 2 e 3 hanno attraversato un sottofondo ghiaioso costipato, di spessore complessivo compreso tra 50 cm a 1 m. Oltre tale quota è presente ancora terreno di riporto (di spessore non rilevabile ma presumibilmente >4 m) a matrice più fine e minore consistenza (si vedano i diagrammi di resistenza delle prove e la interpretazione stratigrafia). La prova DPSH 4, così come la prova DPSH 5, sono state eseguite al margine NW e SW del comparto a partire da terreni eterogenei di riporto a spessore minore. La prova DPSH 1, posizionata ad est del comparto, a valle del muro di contenimento, ha raggiunto il terreno naturale dopo pochi decimetri di terreno di riporto;
- il grado di consistenza del terreno di riporto è variabile, dipendente dalla composizione litologica, in alcuni casi medio-basso come riscontrato nella prova DPSH 2. Il terreno naturale posto al di sotto del riporto è costituito da limo sabbioso e argilloso con intercalazioni ghiaiose. Il grado di consistenza del terreno naturale è generalmente medio o medio elevato, in aumento con la profondità. In corrispondenza della prova DPSH 3, alla quota da -4,4m la penetrazione si è interrotta bruscamente su un suolo estremamente duro/rigido, probabilmente connesso con la porzione interrata di un manufatto esistente;
- il substrato marino argilloso, sovraconsolidato, è stato ipotizzato a quote inferiori a -10,0 m, tuttavia non si esclude che la formazione delle Argille Azzurre possa ricadere in alcuni punti anche a quote più superficiali;

- la permeabilità dei terreni si modifica in relazione alle variazioni granulometriche e al grado di consistenza e/o addensamento dei litotipi. In funzione della granulometria dei litotipi si possono definire i valori orientativi del coefficiente di permeabilità del sottosuolo, (riportati nella Tabella sottostante) in cui si distinguono i terreni a grana grossa (ghiaie e sabbie) caratterizzati da valori di permeabilità media e alta ($k > 10^{-5}$ m/s), e i terreni a grana fine (limi e argille) caratterizzati da valori di permeabilità bassa (10^{-7} m/s $< k < 10^{-5}$ m/s), molto bassa (10^{-9} m/s $< k < 10^{-7}$ m/s) o impermeabile (10^{-11} m/s $< k < 10^{-9}$ m/s).

Tabella 1 – Permeabilità dei vari terreni											
k (m/s)	1	10^{-1}	10^{-2}	10^{-3}	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}	10^{-8}	10^{-9}	10^{-10} 10^{-11}
Grado di permeabilità	alto			medio		basso		molto basso		impermeabile	
Drenaggio	buono					povero			praticamente impermeabile		
Tipo di terreno	ghiaia pulita		sabbia pulita e miscele di sabbia e ghiaia pulita			sabbia fine, limi organici e inorganici, miscele di sabbia, limo e argilla, depositi di argilla stratificati			terreni impermeabili argille omogenee sotto la zona alterata dagli agenti atmosferici		
					terreni impermeabili modificati dagli effetti della vegetazione e del tempo						

In base alla descrizione stratigrafica vista in precedenza (e riscontrabile nei modelli geologici che seguono) è possibile fare una distinzione di massima delle diverse unità stratigrafiche come segue:

Unità Litostratigrafica	Permeabilità k	Grado di permeabilità	Drenaggio
Terreno vegetale alterato superficialmente	10^{-5} m/s $< k < 10^{-4}$ m/s	Medio	Buono
riporto eterogeneo	10^{-6} m/s $< k < 10^{-2}$ m/s	Alto-medio	Buono
limo argilloso e sabbioso	10^{-7} m/s $< k < 10^{-5}$ m/s	Basso	Povero
limo sabbioso e argilloso con intercalazioni ghiaiose	10^{-6} m/s $< k < 10^{-4}$ m/s	Medio-basso	Buono
limo sabbioso e ghiaioso	10^{-5} m/s $< k < 10^{-3}$ m/s	Medio	Buono

FALDA

Il monitoraggio del livello piezometrico misurato all'interno dei fori di sondaggio ha escluso la presenza di un livello acquifero superficiale:

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

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

Le singole verticali d'indagine sono dettagliate nei modelli dei prossimi paragrafi.



5.1.1 MODELLO GEOLOGICO DPSH 1

Sulla base dei riscontri penetrometrici si può ipotizzare la seguente sequenza stratigrafica:

Unità Litostratigrafica	Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Peso unità di volume (KN/m³)	Peso unità di volume saturo (KN/m³)	Tensione efficace (KPa)	NSPT	Descrizione
A	2.2	6.82	6.26	Incoerente - coesivo	19.32	21.28	21.25	9.96	limo argilloso medio consistente
B	5.4	13.31	10.24	Incoerente - coesivo	20.59	22.65	75.45	19.43	limo argilloso e sabbioso con intercalazioni ghiaiose
C	10	19.48	11.88	Incoerente - coesivo	20.99	22.75	156.67	28.44	limo sabbioso e ghiaioso

Modello del Terreno - legenda e metodologia prova DPSH

I valori sono calcolati con queste formule:

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

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

Nspt: correlazione con la prova SPT, $N_{spt} = \beta_t N$ dove β_t è un fattore che dipende da M (peso massa battente); M' (peso aste); H (altezza di caduta); A (area base punta conica); δ (passo di avanzamento).

Peso di Volume: formula di Meyerhof

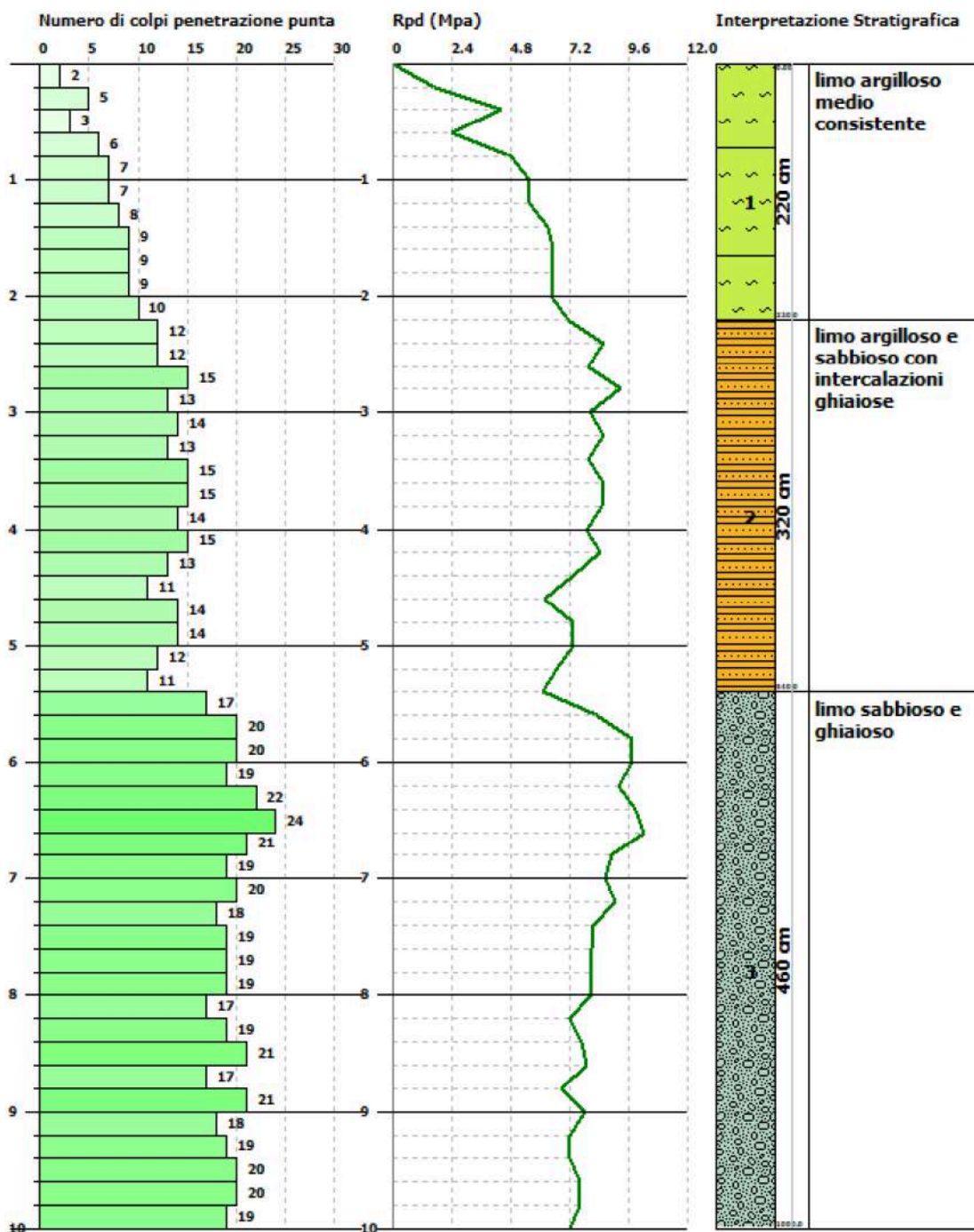
La verticale d'indagine può essere rappresentata graficamente come segue (**Figura 12**):

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI

Committente: Immobiliare Poggio 70
Descrizione: Intervento edilizio
Località: Veggia, Casalgrande (RE)

Data: 17/04/2019

Scala 1:50



1

Figura 12: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica Dpsh1

5.1.2 MODELLO GEOLOGICO DPSH 2

Sulla base dei riscontri penetrometrici si può ipotizzare la seguente sequenza stratigrafica:

Unità Litostratigrafica	Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Peso unità di volume (KN/m³)	Peso unità di volume saturo (KN/m³)	Tensione efficace (KPa)	NSPT	Descrizione
A	2.8	7.86	7.38	Incoerente - coesivo	19.71	21.67	27.59	11.48	riporto eterogeneo
B	4.8	3.00	2.29	Incoerente - coesivo	16.87	18.34	72.06	4.38	argilla limosa a medio bassa consistenza (riporto)
C	7.4	10.31	6.84	Incoerente - coesivo	20.3	22.36	115.32	15.05	limo argilloso e sabbioso con intercalazioni ghiaiose
D	10.0	16.62	9.55	Incoerente - coesivo	20.69	21.57	168.61	24.27	limo sabbioso e ghiaioso

Modello del Terreno - legenda e metodologia prova DPSH

I valori sono calcolati con queste formule:

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

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

Nspt: correlazione con la prova SPT, $N_{spt} = \beta_t N$ dove β_t è un fattore che dipende da M (peso massa battente); M' (peso aste); H (altezza di caduta); A (area base punta conica); δ (passo di avanzamento).

Peso di Volume: formula di Meyerhof

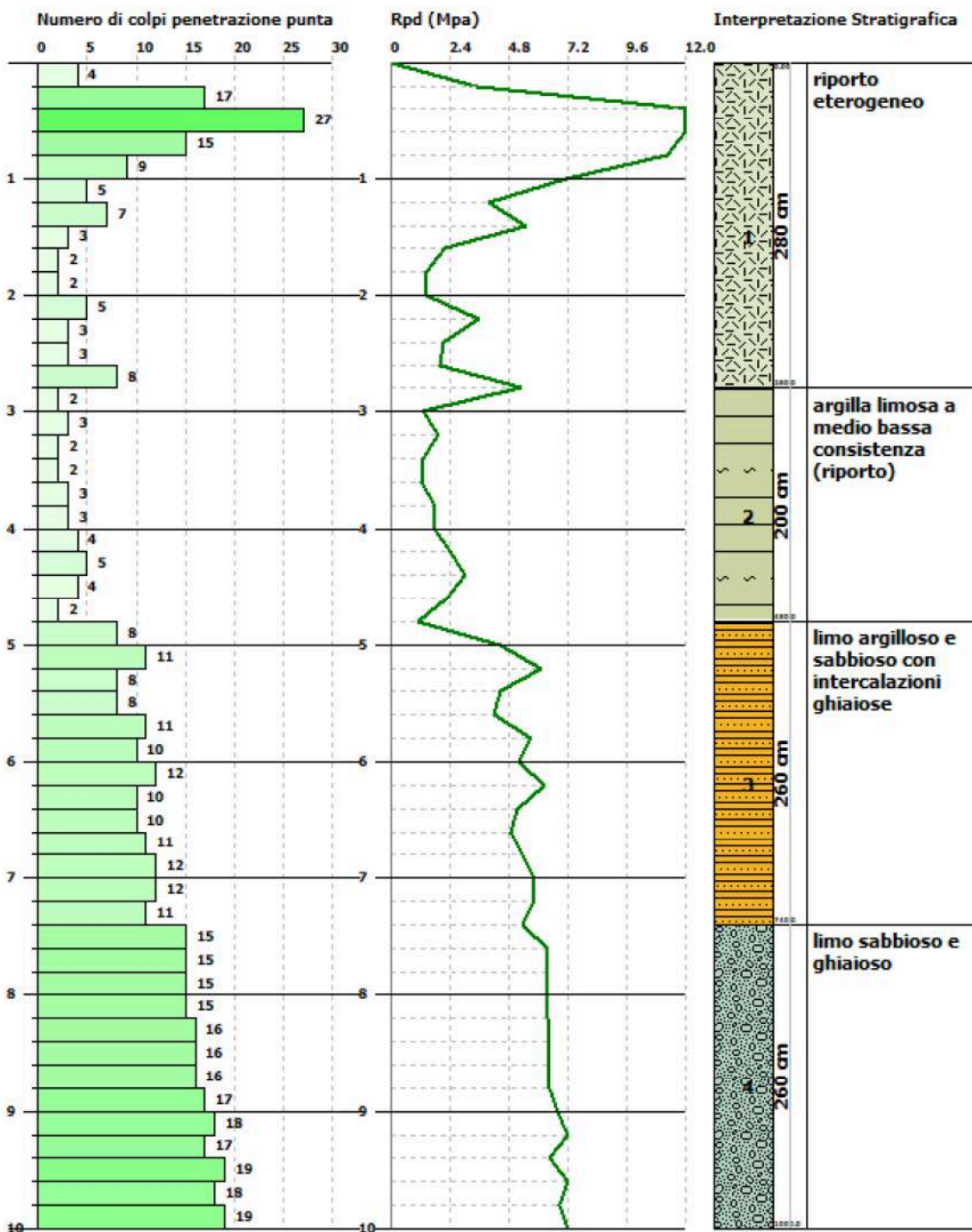
La verticale d'indagine può essere rappresentata graficamente come segue (**Figura 13**):

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI

Committente: Immobiliare Poggio 70
Descrizione: Intervento edilizio
Località: Veggia, Casalgrande (RE)

Data: 17/04/2019

Scala 1:50



2

Figura 13: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica Dpsh2



5.1.3 MODELLO GEOLOGICO DPSH 3

Sulla base dei riscontri penetrometrici si può ipotizzare la seguente sequenza stratigrafica:

Unità Litostratigrafica	Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Peso unità di volume (KN/m ³)	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)	Tensione efficace (KPa)	NSPT	Descrizione
A	2.4	8.25	7.71	Incoerente - coesivo	19.81	21.77	23.77	12.05	riporto eterogeneo
B	4.2	7.22	5.64	Incoerente - coesivo	19.42	21.38	65.02	10.54	limo argilloso medio consistente (riporto)
C	4.4	50	22.78	Incoerente - coesivo	--	--	--	--	substrato di natura incerta

Modello del Terreno - legenda e metodologia prova DPSH

I valori sono calcolati con queste formule:

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

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

Nspt: correlazione con la prova SPT, $N_{spt} = \beta_t N$ dove β_t è un fattore che dipende da M (peso massa battente); M' (peso aste); H (altezza di caduta); A (area base punta conica); δ (passo di avanzamento).

Peso di Volume: formula di Meyerhof

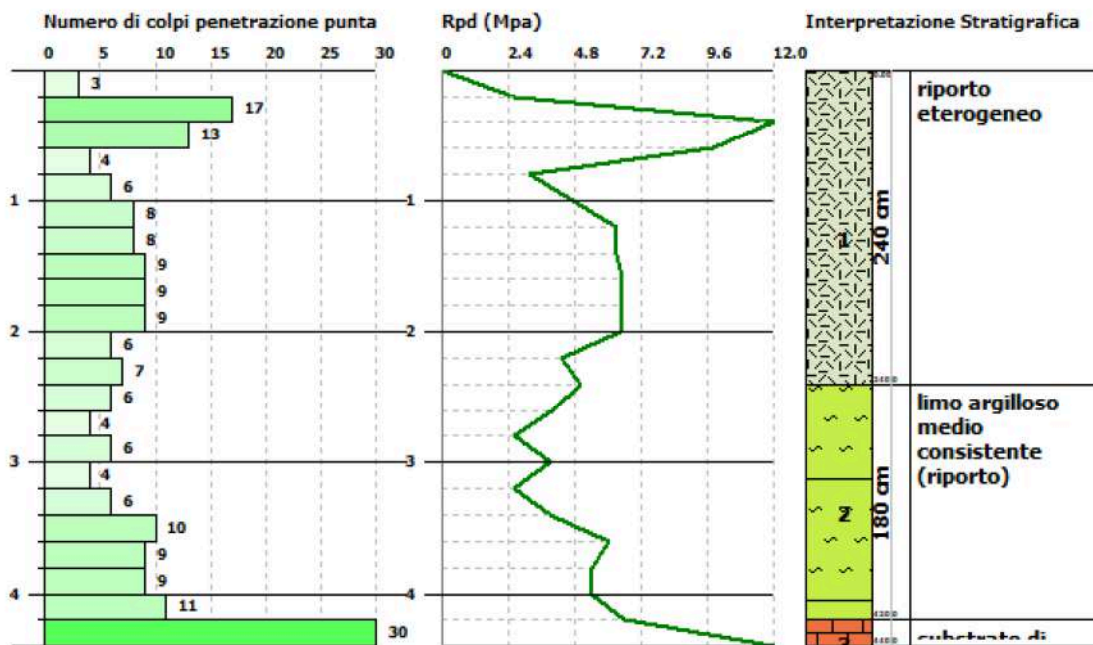
La verticale d'indagine può essere rappresentata graficamente come segue (**Figura 14**):

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI

Committente: Immobiliare Poggio 70
Descrizione: Intervento edilizio
Località: Veggia, Casalgrande (RE)

Data: 17/04/2019

Scala 1:50



3

Figura 14: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica Dpsh3

5.1.4 MODELLO GEOLOGICO DPSH 4

Sulla base dei riscontri penetrometrici si può ipotizzare la seguente sequenza stratigrafica:

Unità Litostratigrafica	Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Peso unità di volume (KN/m ³)	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)	Tensione efficace (KPa)	NSPT	Descrizione
A	2.6	5.77	5.22	Incoerente - coesivo	18.83	20.69	24.48	8.42	limo argilloso medio consistente
B	5.2	10.62	8.15	Incoerente - coesivo	20.3	22.36	75.35	15.51	limo argilloso e sabbioso con intercalazioni ghiaiose
C	6.0	24.0	16.2	Incoerente - coesivo	21.46	23.52	110.72	35.04	limo sabbioso e ghiaioso

Modello del Terreno - legenda e metodologia prova DPSH

I valori sono calcolati con queste formule:

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

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

Nspt: correlazione con la prova SPT, $N_{spt} = \beta_t N$ dove β_t è un fattore che dipende da M (peso massa battente); M' (peso aste); H (altezza di caduta); A (area base punta conica); δ (passo di avanzamento).

Peso di Volume: formula di Meyerhof

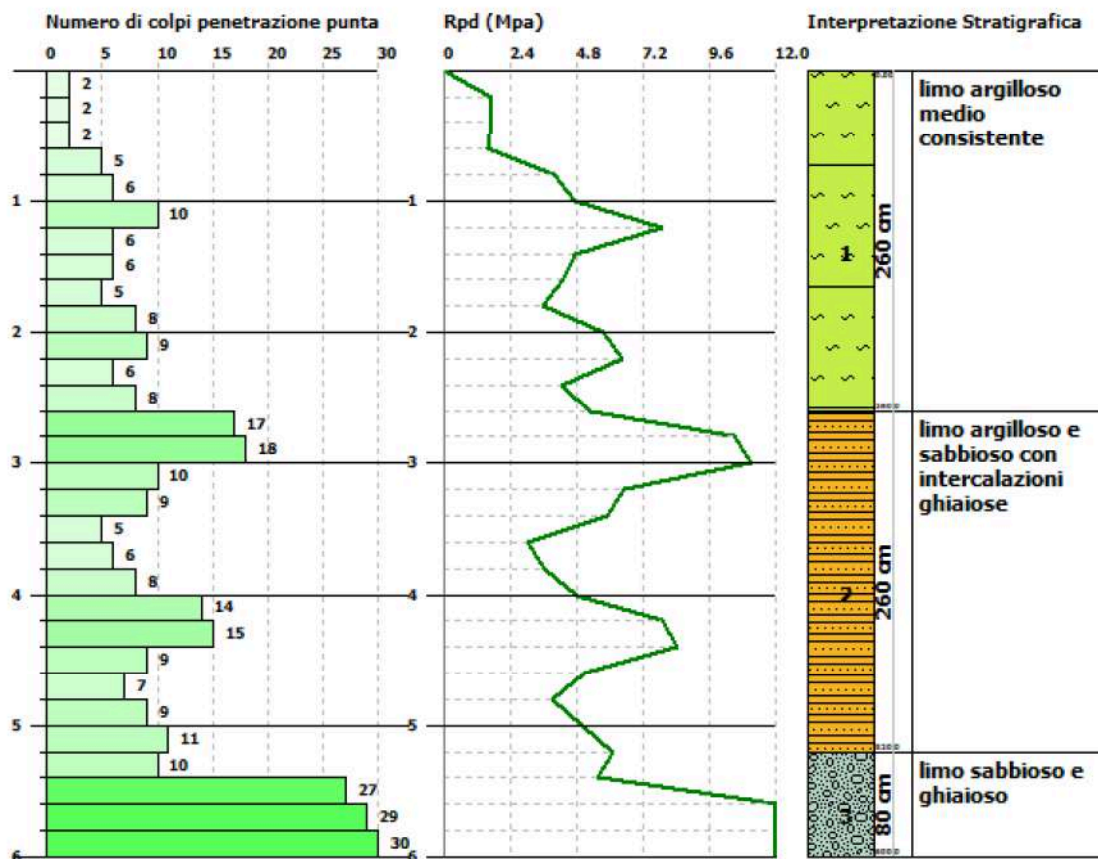
La verticale d'indagine può essere rappresentata graficamente come segue (**Figura 15**):

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI

Committente: Immobiliare Poggio 70
Descrizione: Intervento edilizio
Località: Veggia, Casalgrande (RE)

Data: 17/04/2019

Scala 1:50



4

Figura 15: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica Dpsh4

5.1.5 MODELLO GEOLOGICO DPSH 5

Sulla base dei riscontri penetrometrici si può ipotizzare la seguente sequenza stratigrafica:

Unità Litostratigrafica	Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Mpa)	Tipo	Peso unità di volume (KN/m ³)	Peso unità di volume saturo (KN/m ³)	Tensione efficace (KPa)	NSPT	Descrizione
A	2.6	6.08	5.55	Incoerente - coesivo	18.93	20.79	24.61	8.88	limo argilloso medio consistente
B	5.8	12.44	9.2	Incoerente - coesivo	20.5	22.56	82.02	18.16	limo argilloso e sabbioso con intercalazioni ghiaiose
C	10.0	17.81	10.75	Incoerente - coesivo	20.79	22.06	158.48	26.0	limo sabbioso e ghiaioso

Modello del Terreno - legenda e metodologia prova DPSH

I valori sono calcolati con queste formule:

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

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

Nspt: correlazione con la prova SPT, $N_{spt} = \beta_t N$ dove β_t è un fattore che dipende da M (peso massa battente); M' (peso aste); H (altezza di caduta); A (area base punta conica); δ (passo di avanzamento).

Peso di Volume: formula di Meyerhof

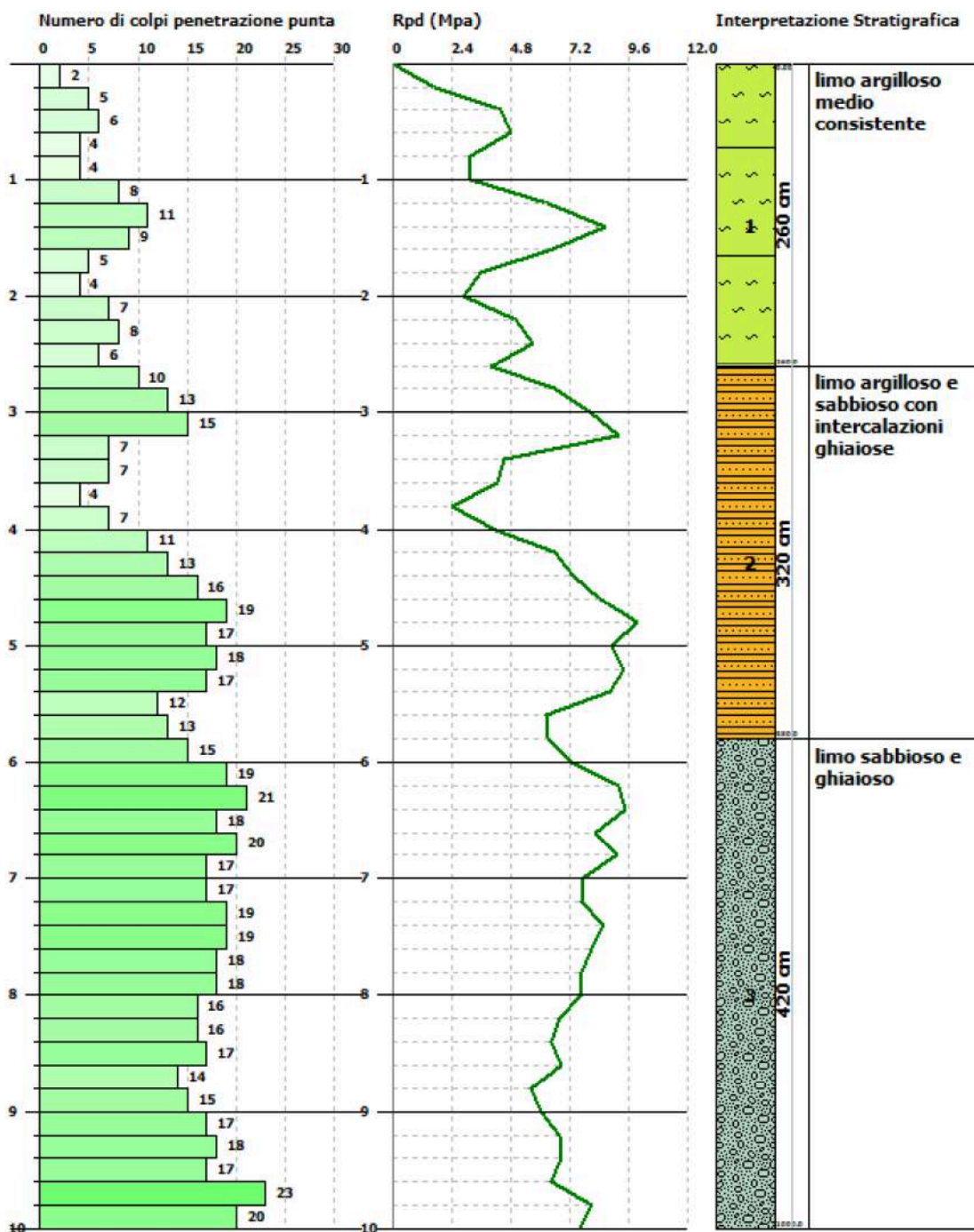
La verticale d'indagine può essere rappresentata graficamente come segue (**Figura 16**):

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.5
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-100 PAGANI

Committente: Immobiliare Poggio 70
Descrizione: Intervento edilizio
Località: Veggia, Casalgrande (RE)

Data: 17/04/2019

Scala 1:50



5

Figura 16: modello stratigrafico interpretativo della prova penetrometrica Dpsh5

6. RELAZIONE GEOTECNICA SULLE INDAGINI

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

6.1 MODELLO GEOTECNICO E PARAMETRI GEOTECNICI DEL TERRENO

I valori di resistenza meccanica del terreno hanno consentito la suddivisione in strati del terreno per la creazione di un **Modello Geotecnico** per ciascuna verticale di indagine. Il modello geotecnico tiene conto dell'insieme delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni coinvolti nell'intervento in progetto, entro un volume reputato significativo. Tutti i parametri e i valori di resistenza al taglio indicati sono stati estrapolati da una "stima ragionata e cautelativa" del dato sperimentale acquisito.

6.1.1 MODELLO GEOTECNICO DPSH 1

Le elaborazioni numeriche per conseguire informazioni geotecniche sono state effettuate con il supporto di un programma di calcolo della GeoStru Software, in licenza allo Scrivente.

Si riporta quindi, per ogni strato, la stima dei parametri geotecnici medi:

Strato	Prof. (m)	Peso unità di volume (KN/m³)	Peso unità di volume saturo (KN/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (KPa)	Modulo Edometrico (Mpa)	Modulo Elastico (Mpa)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Mpa)
limo argilloso medio consistente	0.00-2.20	19.32	21.28	27.22	85.81	10.14	9.77	0.33	55.31
limo argilloso e sabbioso con intercalazioni ghiaiose	2.20-5.40	20.59	22.65	32.07	108.48	19.61	19.05	0.32	103.66
limo sabbioso e ghiaioso	5.40-10.00	20.99	22.75	35.65	--	28.62	27.89	0.3	148.30

6.1.2 MODELLO GEOTECNICO DPSH 2

Le elaborazioni numeriche per conseguire informazioni geotecniche sono state effettuate con il supporto di un programma di calcolo della GeoStru Software, in licenza allo Scrivente.

Si riporta quindi, per ogni strato, la stima dei parametri geotecnici medi:

Strato	Prof. (m)	Peso unità di volume (KN/m³)	Peso unità di volume saturo (KN/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (KPa)	Modulo Edometrico (Mpa)	Modulo Elastico (Mpa)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Mpa)
riporto eterogeneo	0.00-2.80	19.71	21.67	28.12	90.72	11.66	11.26	0.33	63.21
argilla limosa a medio bassa consistenza (riporto)	2.80-4.80	16.87	18.34	23.11	41.78	4.56	4.30	0.34	25.55
limo argilloso e sabbioso con intercalazioni ghiaiose	4.80-7.40	20.30	22.36	30.02	95.53	15.23	14.76	0.32	81.53
limo sabbioso e ghiaioso	7.40-10.00	20.69	21.57	34.08	--	24.45	23.80	0.31	127.76

6.1.3 MODELLO GEOTECNICO DPSH 3

Le elaborazioni numeriche per conseguire informazioni geotecniche sono state effettuate con il supporto di un programma di calcolo della GeoStru Software, in licenza allo Scrivente.

Si riporta quindi, per ogni strato, la stima dei parametri geotecnici medi:

Strato	Prof. (m)	Peso unità di volume (KN/m³)	Peso unità di volume saturo (KN/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (KPa)	Modulo Edometrico (Mpa)	Modulo Elastico (Mpa)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Mpa)
riporto eterogeneo	0.00-2.40	19.81	21.77	28.44	96.21	12.23	11.82	0.33	66.15
limo argilloso medio consistente (riporto)	2.40-4.20	19.42	21.38	27.57	87.50	10.72	10.34	0.33	58.33
substrato di natura incerta	4.20-4.40	--	--	--	--	--	--	--	--

6.1.4 MODELLO GEOTECNICO DPSH 4

Le elaborazioni numeriche per conseguire informazioni geotecniche sono state effettuate con il supporto di un programma di calcolo della GeoStru Software, in licenza allo Scrivente.

Si riporta quindi, per ogni strato, la stima dei parametri geotecnici medi:

Strato	Prof. (m)	Peso unità di volume (KN/m³)	Peso unità di volume saturo (KN/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (KPa)	Modulo Edometrico (Mpa)	Modulo Elastico (Mpa)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Mpa)
limo argilloso medio consistente	0.00-2.60	18.83	20.69	26.24	78.90	8.60	8.26	0.34	47.23
limo argilloso e sabbioso con intercalazioni ghiaiose	2.60-5.20	20.30	22.36	30.25	99.04	15.69	15.21	0.32	83.87
limo sabbioso e ghiaioso	5.20-6.00	21.46	23.52	37.93	--	35.22	34.36	0.28	180.44

6.1.5 MODELLO GEOTECNICO DPSH 5

Le elaborazioni numeriche per conseguire informazioni geotecniche sono state effettuate con il supporto di un programma di calcolo della GeoStru Software, in licenza allo Scrivente.

Si riporta quindi, per ogni strato, la stima dei parametri geotecnici medi:

Strato	Prof. (m)	Peso unità di volume (KN/m³)	Peso unità di volume saturo (KN/m³)	Angolo di resistenza al taglio (°)	Coesione non drenata (KPa)	Modulo Edometrico (Mpa)	Modulo Elastico (Mpa)	Modulo Poisson	Modulo di taglio G (Mpa)
limo argilloso medio consistente	0.00-2.60	18.93	20.79	26.54	80.32	9.06	8.71	0.34	49.65
limo argilloso e sabbioso con intercalazioni ghiaiose	2.60-5.80	20.50	22.56	31.5	103.03	18.34	17.81	0.32	97.28
limo sabbioso e ghiaioso	5.80-10.00	20.79	22.06	34.75	--	26.18	25.50	0.3	136.30

7. CARATTERIZZAZIONE SISMOSTRATIGRAFICA DEL COMPARTO POGGIO 70

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

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

L'indagine è stata svolta con l'obiettivo primario di determinare la sismostratigrafia dell'area di intervento, nonché la velocità ponderata delle onde sismiche di taglio a partire da piano campagna Vs, in riferimento al D.M. 17/01/18 ("Nuove NTC").

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

7.1 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA MASW

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

➤ Numero geofoni 24	➤ Spaziatura geofoni 2,0 m
➤ Lunghezza stendimento geofonico 46,0 m	➤ Distanza punto di shot da ultimo geofono 4 m
➤ Lunghezza complessiva 50 m	

I diagrammi di "dispersione Frequenza (Hz)/Vel. di Fase (m/s) con analisi spettrale (picking)" – e di "inversione" sono riportati in **Figura n.17**.

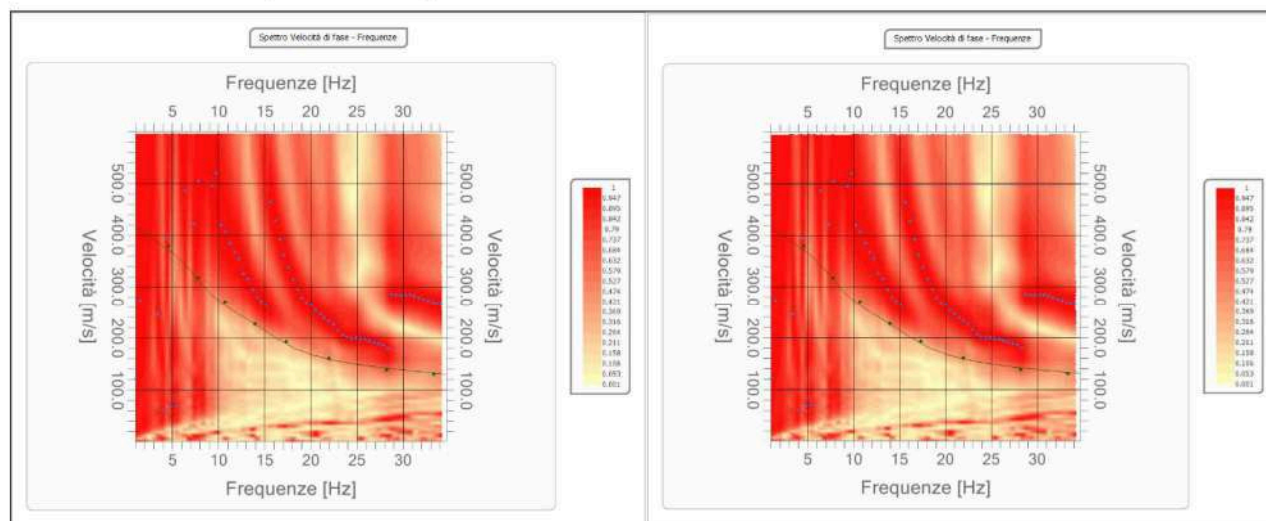


Figura n.17: diagrammi della curva di dispersione e di inversione del sito in oggetto

Di seguito si riporta il modello sismostratigrafico in forma tabellare e l'andamento della curva delle onde S con la profondità (**Figura n.16**). I valori della velocità media delle onde di taglio Vs risultano:

Profondità da p.c. (m)	Spessore (m)	Velocità onde S (m/sec)
3.00	3.00	143.5
7.78	4.77	322.5
13.75	5.98	386.2
21.12	7.37	441.0
30.05	8.93	482.3
oo	oo	489.3

Ai vari sismo-strati è stato associato il valore della velocità V_s , consentendo di ottenere il seguente profilo di velocità di propagazione delle onde di taglio (**Figura n.18**).

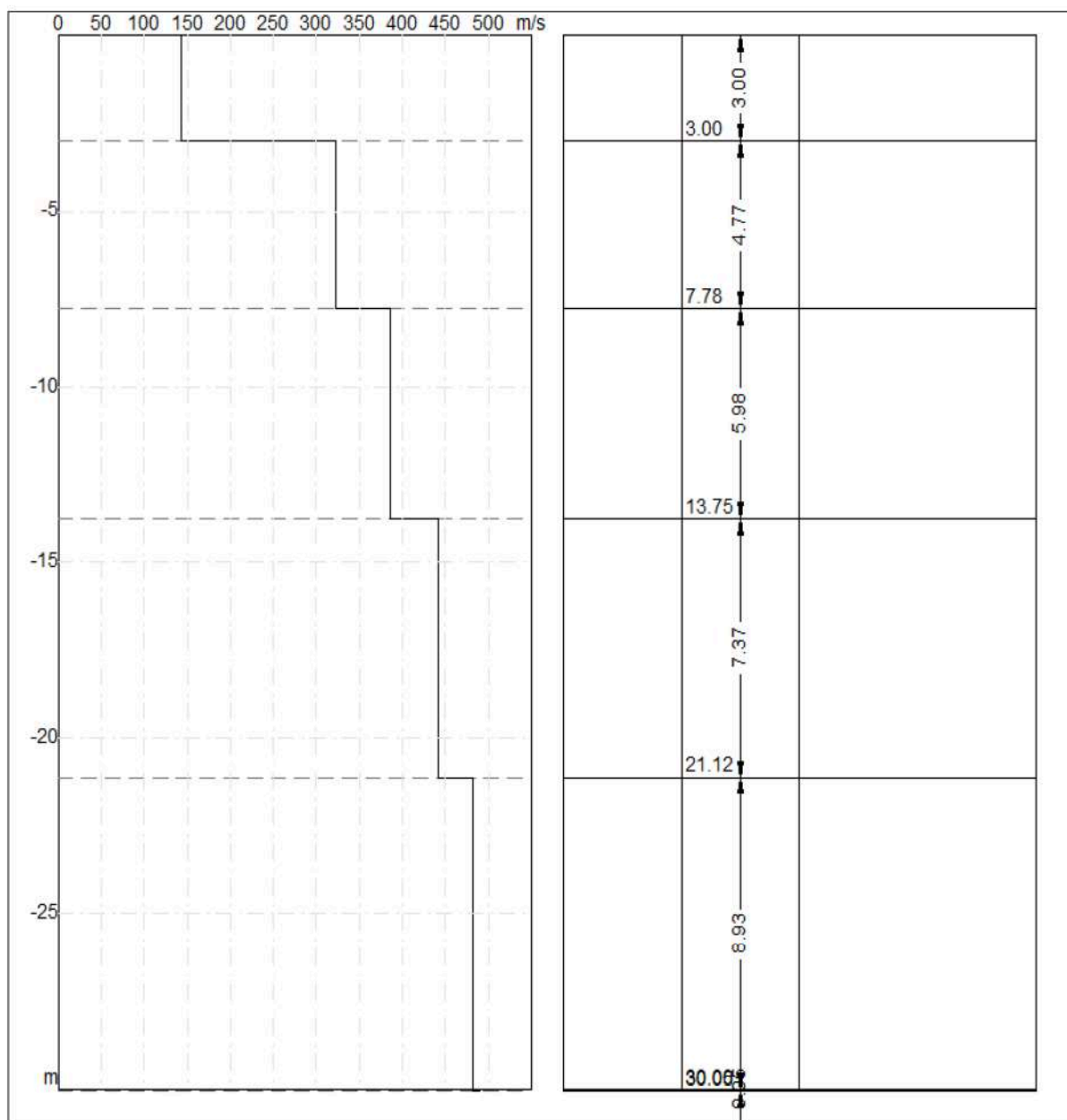


Figura n.18: diagramma velocità V_s /profondità da prova MASW

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, di cui si riporta il valore per i primi 30 m di sottosuolo:

$V_{s,30} = 347.6 \text{ m/sec}$ (da p.c. a -30,0 m).

7.2 RISULTATI INDAGINE GEOFISICA CON TECNICA HVSR

La misura con tromografo **TR1** ha consentito di rilevare diversi picchi di frequenza tra cui è stata selezionata la seguente frequenza (diagrammi in **Figura 19**):

	TR1
Selected f_0 frequency	30.361 Hz
A0 amplitude	2.181
Average f_0	29.658 ± 1.487

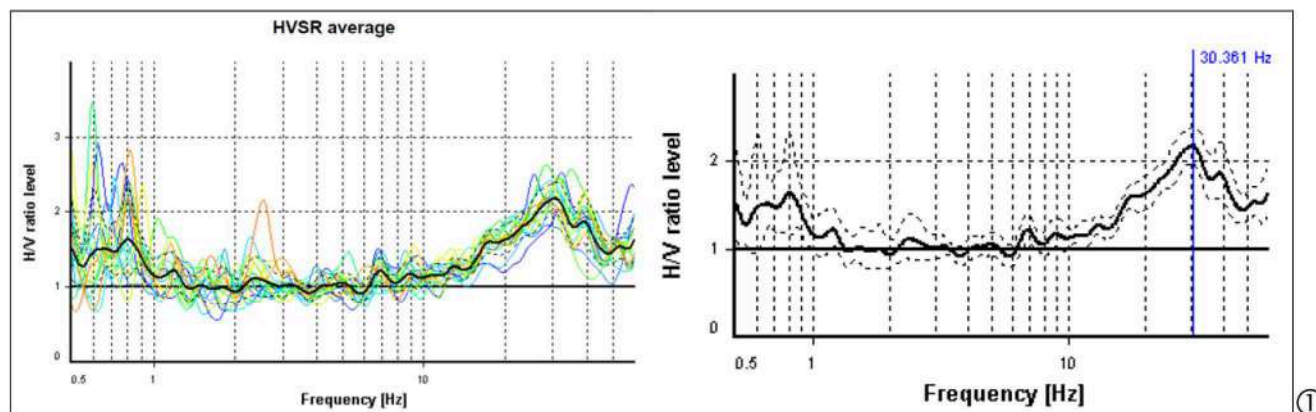


Figura 19: diagrammi delle tre differenti prove HVSR/f delle singole finestre considerate e curve risultanti dalla media delle misure effettuate, con evidenziata la frequenza di picco

Il massimo rapporto spettrale H/V individuato indica una possibile frequenza fondamentale del terreno compresa tra **29 Hz < f_0 < 31 Hz**, con un valore del rapporto H/V di circa 2.2. Questo picco corrisponde al contrasto sismico dovuto al passaggio fra terreni a differente rigidità a quote molto ridotte, comprese tra -0,5 m e -1,5 m di profondità. Altri picchi meno evidenti rappresentano superfici di contatto tra terreni alluvionali a differente rigidità a quote superiori.

Di seguito (**Figure 20 a-b**) si riporta la sovrapposizione tra la curva sperimentale e la curva sintetica HVSR, il modello sismostratigrafico per ciascuna prova e l'andamento delle curve delle onde S con la profondità.

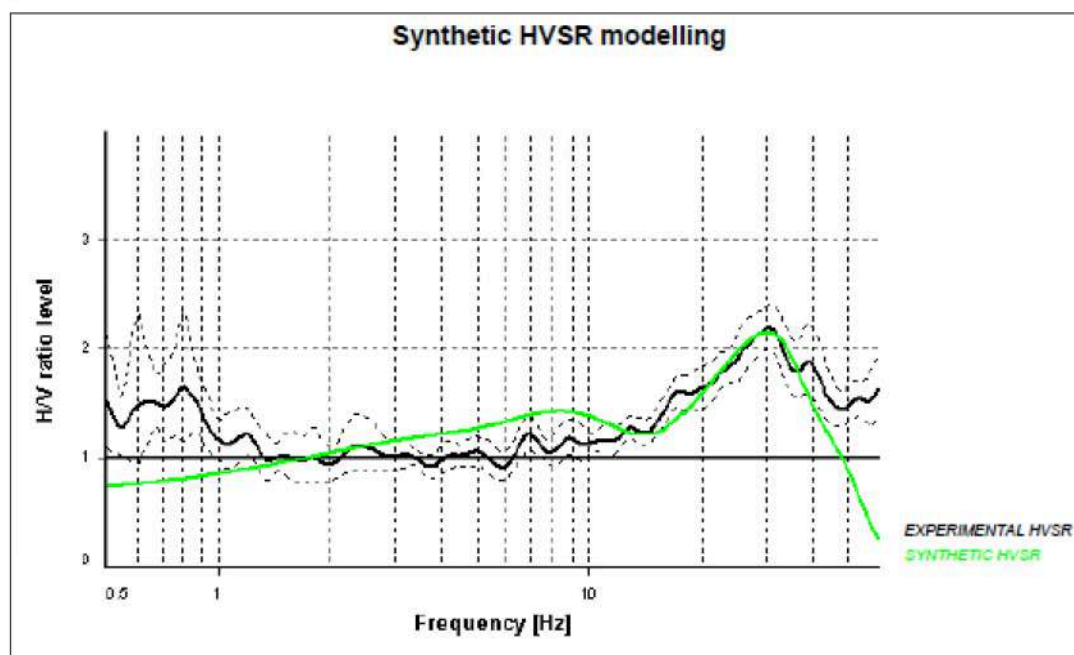


Figura 20a: curva sperimentale e curva sintetica HVSR

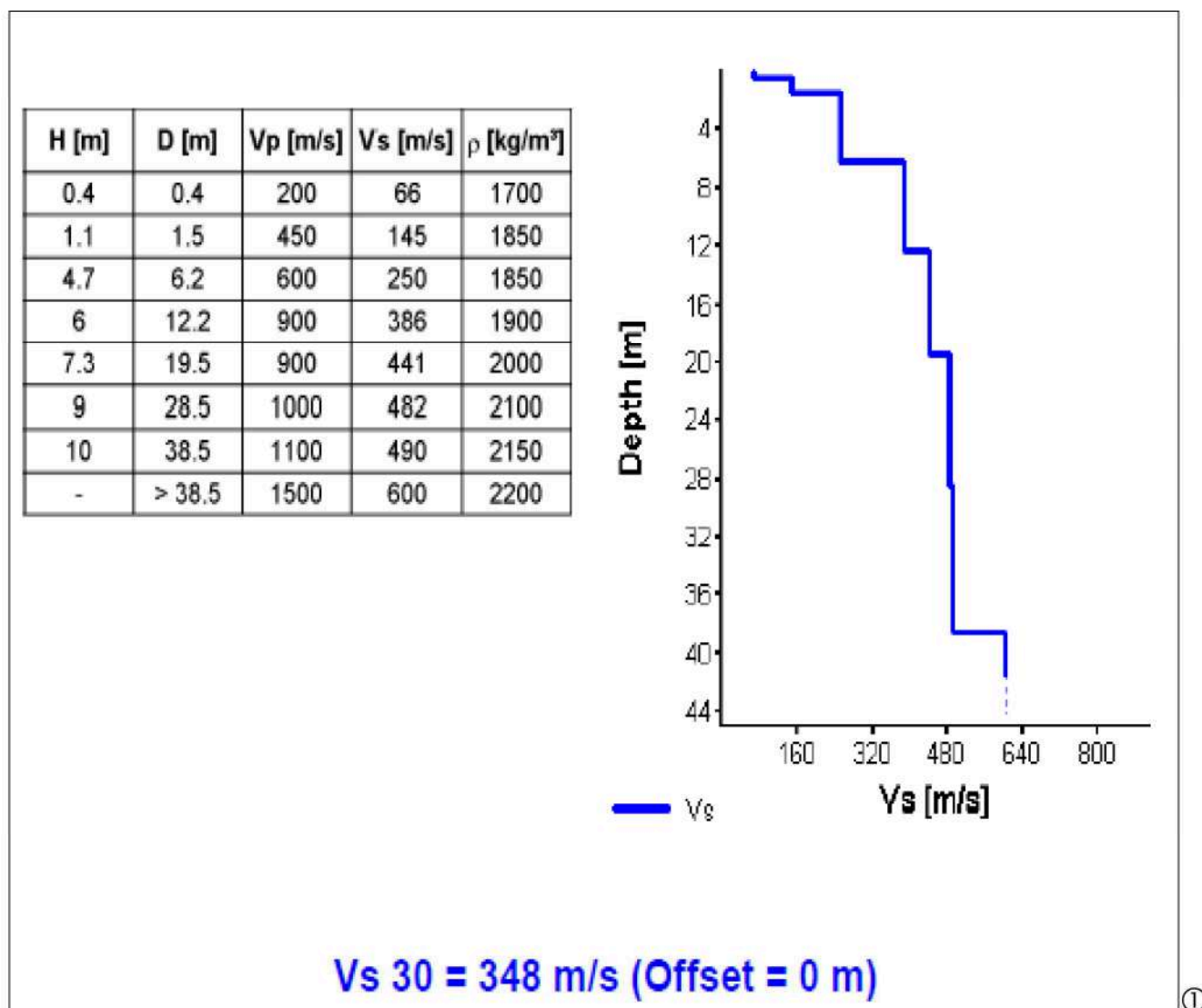


Figura 20b: modello sismostratigrafico del terreno-TR1

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, di cui si riporta il valore per i primi 30 m di sottosuolo:

$$V_{s,30} = 348 \text{ m/sec (da p.c. a -30,0 m).}$$

7.3 CATEGORIA SISMICA DI SOTTOSUOLO AI SENSI DELLE NTC 2018

I risultati delle indagini geofisiche hanno permesso la ricostruzione del modello di sottosuolo per l'analisi di risposta sismica locale riferita a un approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in relazione alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'equazione 3.2.1 delle NTC 2018.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nell'equazione 3.2.1 e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

Dalle verifiche si evince che la descrizione e i valori di V_s corrispondono alla **categoria** del suolo di fondazione di **tipo C**, definita "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".

8. RISPOSTA SISMICA LOCALE DEL COMPARTO POGGIO 70

Gli studi di Microzonazione Sismica consentono di caratterizzare il territorio in base alla risposta sismica locale, cioè al comportamento del terreno durante e dopo il terremoto, individuando e delimitando le aree a comportamento omogeneo, distinguendo tra zone stabili; zone suscettibili di amplificazione del moto sismico; zone soggette a instabilità, quali frane, fratturazioni superficiali e liquefazioni.

Nei precedenti capitoli si sono approfonditi gli aspetti stratigrafici e sismostratigrafici mediante indagini specifiche, opportunamente distribuite su tutto il comparto. Alla luce dei risultati ottenuti si può affermare che l'intero comparto Poggio 70 presenta caratteristiche uniformi per quel che concerne la Risposta Sismica Locale, rientrando completamente in quelle porzioni di territorio definite "zone stabili suscettibili di amplificazioni locali".

La Risposta Sismica Locale (RSL) studia i fenomeni di amplificazione locale del segnale sismico ovvero la modificazione in ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico dovuta alle specifiche condizioni lito stratigrafiche e morfologiche di un sito. Si può quantificare mediante il rapporto tra il moto sismico alla superficie del sito e quello che si osserverebbe per lo stesso evento sismico su un ipotetico affioramento di roccia rigida con morfologia orizzontale.

Per il calcolo dell'analisi di Risposta Sismica Locale si è fatto riferimento al metodo empirico di cui al capitolo 3.2.3 delle Norme Tecniche per le Costruzioni, NTC (2018).

8.1 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA IN SUPERFICIE ALLE NTC 2018

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

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

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

8.1.1 DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICO

Per le componenti orizzontali dell'azione sismica il coefficiente S_S è definito nella Tabella 3.2.IV delle NTC. Esso è il rapporto tra il valore dell'accelerazione massima attesa in superficie e quello su sottosuolo di categoria A ed è definito in funzione della categoria di sottosuolo e del livello di pericolosità sismica del sito (descritto dal prodotto $F_0 \cdot a_g$). Delle seguenti espressioni si evidenzia quella corrispondente alla categoria precedentemente identificata.

Tab. 3.2.IV - Espressioni di S_S e di C_C		
Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,35}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$



8.1.2 DEFINIZIONE DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICO

La modifica delle caratteristiche del moto sismico per effetto della geometria superficiale del terreno va attribuita alla focalizzazione delle onde sismiche in prossimità della cresta dei rilievi a seguito dei fenomeni di riflessione delle onde sismiche ed all'interazione tra il campo d'onda incidente e quello diffratto. I fenomeni di amplificazione cresta-base aumentano in proporzione al rapporto tra l'altezza del rilievo e la sua larghezza. Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III), di cui si evidenzia la **categoria T1** come quella corrispondente al sito in oggetto.

Tab. 3.2.III – <i>Categorie topografiche</i>	
Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

In funzione delle categorie topografiche i valori del coefficiente topografico S_T sono riportati nella Tab. 3.2.V

Tab. 3.2.V – <i>Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T</i>		
Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

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

Sulla base delle caratteristiche litologiche e di risposta sismica riscontrate al contorno dell'area e della classificazione contenuta nelle NTC 2018, tenuto conto dell'accelerazione al suolo di riferimento, si riportano i seguenti **coefficienti sismici e accelerazione massima in superficie A_{MAX}** per i diversi stati limite:

SLO:		SLD:	
	Ss: 1,500		Ss: 1,500
	Cc: 1,660		Cc: 1,630
	St: 1,000		St: 1,000
	Kh: 0,016		Kh: 0,020
	Kv: 0,008		Kv: 0,010
	Amax: 0,770		Amax: 0,958
	Beta: 0,200		Beta: 0,200
SLV:		SLC:	
	Ss: 1,470		Ss: 1,400
	Cc: 1,580		Cc: 1,570
	St: 1,000		St: 1,000
	Kh: 0,057		Kh: 0,080
	Kv: 0,029		Kv: 0,040
	Amax: 2,338		Amax: 2,803
	Beta: 0,240		Beta: 0,280



8.2 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO ATTESO IN SUPERFICIE DI CUI ALLE NTC 2018

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione è espresso da una forma spettrale (spettro normalizzato) riferita ad uno smorzamento convenzionale del 5%, moltiplicata per il valore della accelerazione orizzontale massima a_g su sito di riferimento rigido orizzontale. Sia la forma spettrale che il valore di a_g variano al variare della probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR (v. § 2.4 e § 3.2.1). Gli spettri così definiti possono essere utilizzati per strutture con periodo fondamentale minore o uguale a 4,0 s. Per strutture con periodi fondamentali superiori lo spettro deve essere definito da apposite analisi ovvero l'azione sismica deve essere descritta mediante accelerogrammi.

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

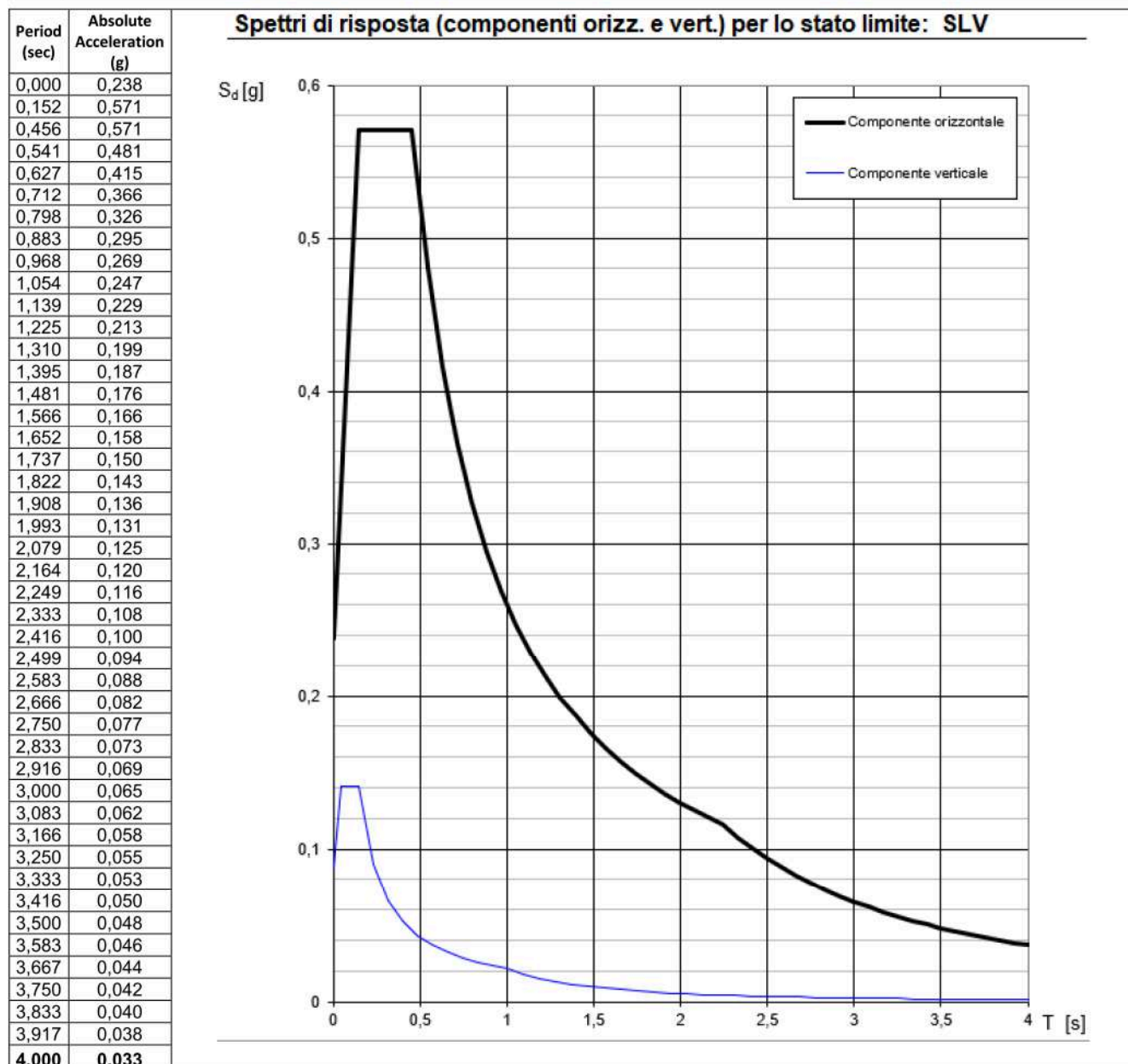


Figura 21: forma grafica dello spettro in accelerazione di cui alla categoria di sottosuolo C

8.3 SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

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

Nel sito in oggetto i terreni posizionati nei primi metri dal piano di campagna corrispondono a depositi alluvionali coesivi e granulari da mediamente a molto consistenti o addensati, privi di falda. Non sono stati rinvenuti acquiferi fino alla profondità di -10 m.

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

9. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

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

I rilevamenti e la **modellazione geologica e idrogeologica** del sito hanno evidenziato che l'area è fortemente antropizzata e presenta sbancamenti e riporti di terreno talvolta considerevoli, perlopiù concentrati nella parte centrale e settentrionale del comparto. Gli accumuli sono costituiti in parte da terreno naturale autoctono (sottostante), in parte si tratta di terreno alloctono (inerti fini e grossolani) e scarti di varia natura quasi sempre edile (posizionati perlopiù in superficie). Parte del detrito attualmente presente in superficie risulta dalla demolizione pressoché totale delle infrastrutture esistenti, di cui permangono cumuli di macerie e strutture sotterranee. Gli accumuli costituiscono dei veri e propri rilevati il cui spessore diviene via via più consistente nella parte est e nord-est del comparto, dove si superano i 4,0 m di altezza.

Il terreno naturale posto al di sotto del riporto è costituito da limo sabbioso e argilloso con intercalazioni ghiaiose. Il grado di consistenza del terreno naturale è generalmente medio o medio elevato, in aumento con la profondità. Il substrato marino argilloso, sovraconsolidato, è stato ipotizzato a quote inferiori a -10,0 m, tuttavia non si esclude che la formazione delle Argille Azzurre possa ricadere in alcuni punti anche a quote più superficiali.

Il livello di **falda** non è stato rilevato durante la campagna d'indagine fino alla massima profondità indagata (-10 m).

I valori di resistenza meccanica del terreno hanno consentito la creazione di un **Modello Geotecnico** per ogni verticale di indagine.

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

Le indagini geofisiche hanno consentito di ottenere un modello sismostratigrafico di dettaglio utile all'**Analisi di Risposta Sismica Locale**, con un grado di approfondimento conforme a quanto specificato nello studio di pericolosità sismica locale e di microzonazione sismica comunale. L'analisi di risposta sismica locale è stata quindi riferita a un approccio semplificato, che si basa sulla classificazione del sottosuolo in relazione alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'equazione 3.2.1 delle NTC 2018.

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

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

Sulla base dei dati emersi dall'elaborazione delle indagini in sito e in relazione alle verifiche eseguite, il terreno, entro un congruo campo d'azione, è risultato **idoneo** dal punto di vista geologico, idrogeologico, geotecnico e sismico **alla realizzazione degli interventi urbanistici proposti**.

Le opere, nell'insieme, non comportano variazioni delle condizioni idrogeologiche dell'area, non modificano sostanzialmente il regime di deflusso delle acque superficiali e sotterranee e non creano condizioni sfavorevoli alla stabilità generale del terreno.

In fase esecutiva occorrerà provvedere ad un approfondimento di indagini geologiche proporzionato al progetto. A seconda delle dimensioni e dei carichi imposti dai manufatti sul terreno di fondazione si potrà decidere se utilizzare fondazioni dirette superficiali ovvero distribuire i carichi a maggiore profondità.

Dal punto di vista idrografico e idrologico sarà necessario prevedere opere ed interventi tecnici tesi alla riduzione dell'impermeabilizzazione delle superfici.

08/05/2019

Dott. Geol. Francesco Dettori



ALLEGATI

- **Tavole**

TAVOLA 1 Carta topografica scala 1:25000

- **Tabelle prove Penetrometriche**

TAVOLA n.1

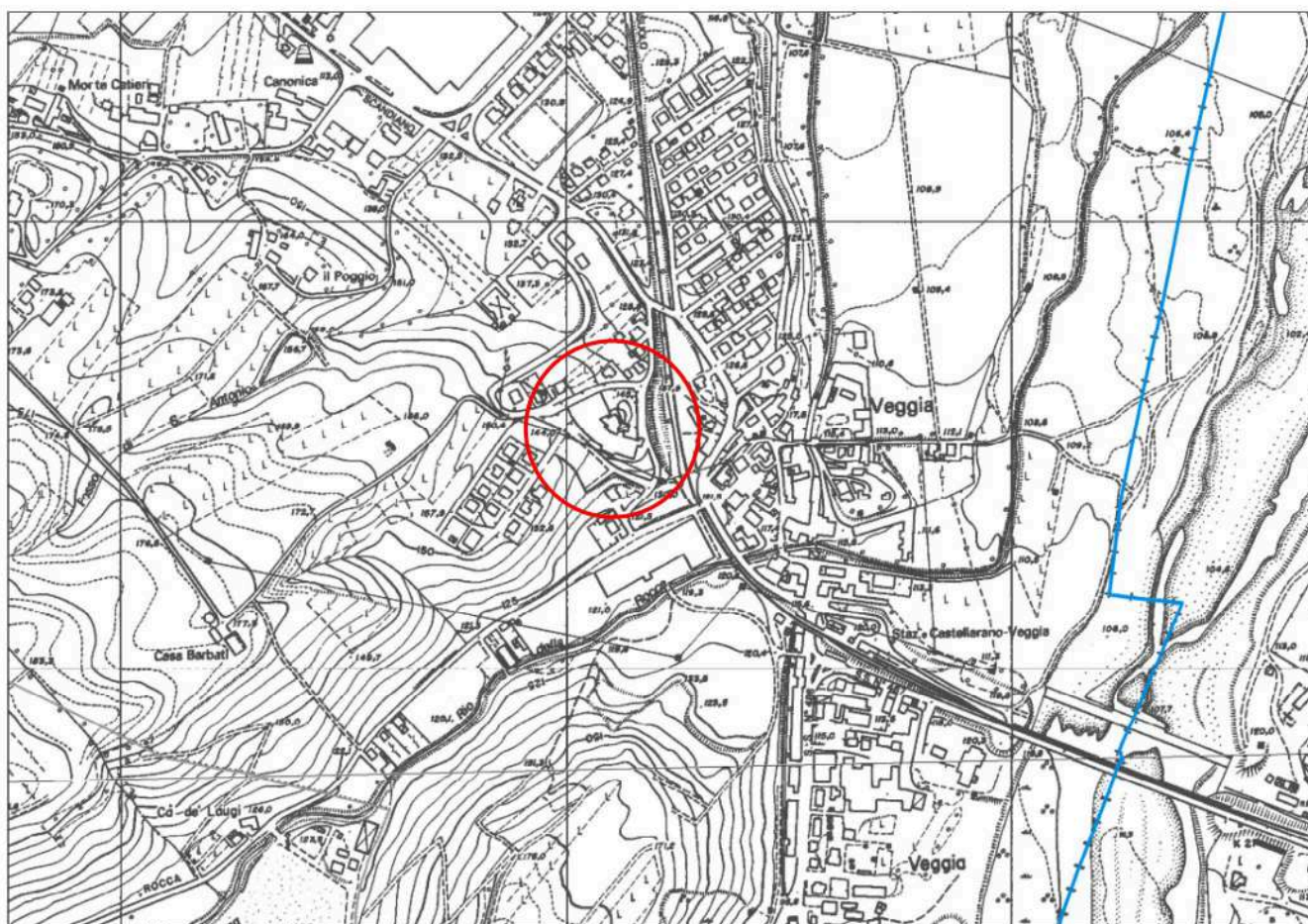
COROGRAFIA

ESTRATTO DALLA SEZIONE C.T.R. 219020 - "Villalunga"

Scala 1:10.000



Ubicazione area in esame



ALLEGATO: certificati penetrometrici

Tabulati penetrometrie PROVE DPSH

Committente: IMMOBILIARE POGGIO 70 SRL
Cantiere: Intervento Edilizio
Località: Comune di Casalgrande (RE) loc. Veggia

Caratteristiche Tecniche-Strumentali PENETROMETRO: DPSH TG 63-100 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63.5 Kg
Altezza di caduta libera	0.75 m
Peso sistema di battuta	0.6 Kg
Diametro punta conica	51.00 mm
Area di base punta	20.43 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6.3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0.40 m
Avanzamento punta	0.20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1.46
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVA DPSH Nr. 1

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.20	2	0.855	1.76	2.06	88.11	103.10
0.40	5	0.851	4.39	5.15	219.29	257.75
0.60	3	0.847	2.40	2.84	120.23	141.95
0.80	6	0.843	4.79	5.68	239.42	283.89
1.00	7	0.840	5.56	6.62	278.14	331.21
1.20	7	0.836	5.54	6.62	276.98	331.21
1.40	8	0.833	6.31	7.57	315.26	378.53
1.60	9	0.830	6.53	7.87	326.44	393.52
1.80	9	0.826	6.50	7.87	325.18	393.52
2.00	9	0.823	6.48	7.87	323.94	393.52
2.20	10	0.820	7.17	8.74	358.59	437.24
2.40	12	0.817	8.57	10.49	428.75	524.69
2.60	12	0.814	7.94	9.75	397.09	487.68
2.80	15	0.761	9.28	12.19	464.16	609.59
3.00	13	0.759	8.02	10.57	400.82	528.31
3.20	14	0.756	8.60	11.38	430.13	568.95
3.40	13	0.753	7.96	10.57	398.03	528.31
3.60	15	0.751	8.55	11.39	427.56	569.42
3.80	15	0.748	8.52	11.39	426.16	569.42
4.00	14	0.746	7.93	10.63	396.48	531.46
4.20	15	0.744	8.47	11.39	423.48	569.42
4.40	13	0.741	7.32	9.87	365.90	493.50
4.60	11	0.789	6.18	7.84	309.19	391.76
4.80	14	0.737	7.35	9.97	367.52	498.60
5.00	14	0.735	7.33	9.97	366.49	498.60
5.20	12	0.783	6.69	8.55	334.64	427.37
5.40	11	0.781	6.12	7.84	305.98	391.76
5.60	17	0.729	8.31	11.40	415.75	570.19
5.80	20	0.727	9.76	13.42	487.87	670.82
6.00	20	0.725	9.73	13.42	486.66	670.82
6.20	19	0.724	9.22	12.75	461.21	637.28
6.40	22	0.672	9.92	14.76	495.88	737.90
6.60	24	0.670	10.20	15.21	509.93	760.69
6.80	21	0.669	8.90	13.31	445.12	665.60
7.00	19	0.717	8.64	12.04	431.89	602.21
7.20	20	0.716	9.07	12.68	453.65	633.91
7.40	18	0.714	8.15	11.41	407.44	570.52
7.60	19	0.713	8.14	11.42	406.81	570.80
7.80	19	0.711	8.12	11.42	406.01	570.80
8.00	19	0.710	8.10	11.42	405.22	570.80
8.20	17	0.709	7.24	10.21	361.88	510.72
8.40	19	0.707	8.07	11.42	403.70	570.80
8.60	21	0.656	7.87	11.99	393.33	599.62
8.80	17	0.705	6.84	9.71	342.07	485.41
9.00	21	0.653	7.84	11.99	391.84	599.62
9.20	18	0.702	7.22	10.28	360.95	513.96
9.40	19	0.701	7.61	10.85	380.36	542.51
9.60	20	0.700	7.62	10.88	380.84	544.10
9.80	20	0.699	7.60	10.88	380.22	544.10
10.00	19	0.698	7.21	10.34	360.63	516.89

PROVA DPSH Nr. 2

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.20	4	0.855	3.52	4.12	176.23	206.20
0.40	17	0.801	14.04	17.53	701.76	876.35
0.60	27	0.747	19.09	25.55	954.32	1277.53
0.80	15	0.793	11.26	14.19	563.06	709.74
1.00	9	0.840	7.15	8.52	357.60	425.84
1.20	5	0.836	3.96	4.73	197.84	236.58
1.40	7	0.833	5.52	6.62	275.85	331.21
1.60	3	0.830	2.18	2.62	108.81	131.17
1.80	2	0.826	1.45	1.75	72.26	87.45
2.00	2	0.823	1.44	1.75	71.99	87.45
2.20	5	0.820	3.59	4.37	179.30	218.62
2.40	3	0.817	2.14	2.62	107.19	131.17
2.60	3	0.814	1.99	2.44	99.27	121.92
2.80	8	0.811	5.28	6.50	263.81	325.12
3.00	2	0.809	1.31	1.63	65.73	81.28
3.20	3	0.806	1.97	2.44	98.27	121.92
3.40	2	0.803	1.31	1.63	65.30	81.28
3.60	2	0.801	1.22	1.52	60.80	75.92
3.80	3	0.798	1.82	2.28	90.93	113.88
4.00	3	0.796	1.81	2.28	90.65	113.88
4.20	4	0.794	2.41	3.04	120.52	151.85
4.40	5	0.791	3.00	3.80	150.22	189.81
4.60	4	0.789	2.25	2.85	112.43	142.46
4.80	2	0.787	1.12	1.42	56.06	71.23
5.00	8	0.785	4.47	5.70	223.67	284.92
5.20	11	0.783	6.13	7.84	306.75	391.76
5.40	8	0.781	4.45	5.70	222.53	284.92
5.60	8	0.779	4.18	5.37	209.06	268.33
5.80	11	0.777	5.74	7.38	286.78	368.95
6.00	10	0.775	5.20	6.71	260.10	335.41
6.20	12	0.774	6.23	8.05	311.42	402.49
6.40	10	0.772	5.18	6.71	258.94	335.41
6.60	10	0.770	4.88	6.34	244.17	316.95
6.80	11	0.769	5.36	6.97	268.02	348.65
7.00	12	0.767	5.84	7.61	291.79	380.34
7.20	12	0.766	5.82	7.61	291.21	380.34
7.40	11	0.764	5.33	6.97	266.42	348.65
7.60	15	0.713	6.42	9.01	321.17	450.64
7.80	15	0.711	6.41	9.01	320.53	450.64
8.00	15	0.710	6.40	9.01	319.91	450.64
8.20	15	0.709	6.39	9.01	319.31	450.64
8.40	16	0.707	6.80	9.61	339.96	480.68
8.60	16	0.706	6.45	9.14	322.52	456.85
8.80	16	0.705	6.44	9.14	321.95	456.85
9.00	17	0.703	6.83	9.71	341.48	485.41
9.20	18	0.702	7.22	10.28	360.95	513.96
9.40	17	0.701	6.81	9.71	340.32	485.41
9.60	19	0.700	7.24	10.34	361.80	516.89
9.80	18	0.699	6.84	9.79	342.20	489.69
10.00	19	0.698	7.21	10.34	360.63	516.89



PROVA DPSH Nr. 3

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.20	3	0.855	2.64	3.09	132.17	154.65
0.40	17	0.801	14.04	17.53	701.76	876.35
0.60	13	0.797	9.80	12.30	490.24	615.10
0.80	4	0.843	3.19	3.79	159.61	189.26
1.00	6	0.840	4.77	5.68	238.40	283.89
1.20	8	0.836	6.33	7.57	316.55	378.53
1.40	8	0.833	6.31	7.57	315.26	378.53
1.60	9	0.830	6.53	7.87	326.44	393.52
1.80	9	0.826	6.50	7.87	325.18	393.52
2.00	9	0.823	6.48	7.87	323.94	393.52
2.20	6	0.820	4.30	5.25	215.16	262.35
2.40	7	0.817	5.00	6.12	250.10	306.07
2.60	6	0.814	3.97	4.88	198.54	243.84
2.80	4	0.811	2.64	3.25	131.90	162.56
3.00	6	0.809	3.94	4.88	197.19	243.84
3.20	4	0.806	2.62	3.25	131.02	162.56
3.40	6	0.803	3.92	4.88	195.90	243.84
3.60	10	0.801	6.08	7.59	304.02	379.61
3.80	9	0.798	5.46	6.83	272.78	341.65
4.00	9	0.796	5.44	6.83	271.96	341.65
4.20	11	0.794	6.63	8.35	331.43	417.58
4.40	30	0.691	15.75	22.78	787.44	1138.84

PROVA DPSH Nr. 4

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.20	2	0.855	1.76	2.06	88.11	103.10
0.40	2	0.851	1.75	2.06	87.71	103.10
0.60	2	0.847	1.60	1.89	80.15	94.63
0.80	5	0.843	3.99	4.73	199.51	236.58
1.00	6	0.840	4.77	5.68	238.40	283.89
1.20	10	0.836	7.91	9.46	395.69	473.16
1.40	6	0.833	4.73	5.68	236.45	283.89
1.60	6	0.830	4.35	5.25	217.63	262.35
1.80	5	0.826	3.61	4.37	180.65	218.62
2.00	8	0.823	5.76	7.00	287.95	349.79
2.20	9	0.820	6.45	7.87	322.73	393.52
2.40	6	0.817	4.29	5.25	214.37	262.35
2.60	8	0.814	5.29	6.50	264.72	325.12
2.80	17	0.761	10.52	13.82	526.05	690.87
3.00	18	0.759	11.10	14.63	554.98	731.51
3.20	10	0.806	6.55	8.13	327.56	406.40
3.40	9	0.803	5.88	7.32	293.85	365.76
3.60	5	0.801	3.04	3.80	152.01	189.81
3.80	6	0.798	3.64	4.56	181.85	227.77
4.00	8	0.796	4.83	6.07	241.75	303.69
4.20	14	0.744	7.90	10.63	395.25	531.46
4.40	15	0.741	8.44	11.39	422.19	569.42
4.60	9	0.789	5.06	6.41	252.97	320.53
4.80	7	0.787	3.92	4.99	196.23	249.30
5.00	9	0.785	5.03	6.41	251.62	320.53
5.20	11	0.783	6.13	7.84	306.75	391.76
5.40	10	0.781	5.56	7.12	278.16	356.15
5.60	27	0.679	12.30	18.11	615.03	905.60
5.80	29	0.677	13.18	19.45	658.78	972.68
6.00	30	0.675	13.59	20.12	679.68	1006.23

PROVA DPSH Nr. 5

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0.20	2	0.855	1.76	2.06	88.11	103.10
0.40	5	0.851	4.39	5.15	219.29	257.75
0.60	6	0.847	4.81	5.68	240.46	283.89
0.80	4	0.843	3.19	3.79	159.61	189.26
1.00	4	0.840	3.18	3.79	158.93	189.26
1.20	8	0.836	6.33	7.57	316.55	378.53
1.40	11	0.833	8.67	10.41	433.48	520.47
1.60	9	0.830	6.53	7.87	326.44	393.52
1.80	5	0.826	3.61	4.37	180.65	218.62
2.00	4	0.823	2.88	3.50	143.97	174.90
2.20	7	0.820	5.02	6.12	251.02	306.07
2.40	8	0.817	5.72	7.00	285.83	349.79
2.60	6	0.814	3.97	4.88	198.54	243.84
2.80	10	0.811	6.60	8.13	329.76	406.40
3.00	13	0.759	8.02	10.57	400.82	528.31
3.20	15	0.756	9.22	12.19	460.85	609.59
3.40	7	0.803	4.57	5.69	228.55	284.48
3.60	7	0.801	4.26	5.31	212.82	265.73
3.80	4	0.798	2.42	3.04	121.24	151.85
4.00	7	0.796	4.23	5.31	211.53	265.73
4.20	11	0.794	6.63	8.35	331.43	417.58
4.40	13	0.741	7.32	9.87	365.90	493.50
4.60	16	0.739	8.42	11.40	421.24	569.83
4.80	19	0.737	9.98	13.53	498.78	676.68
5.00	17	0.735	8.90	12.11	445.02	605.45
5.20	18	0.733	9.40	12.82	469.90	641.06
5.40	17	0.731	8.85	12.11	442.61	605.45
5.60	12	0.779	6.27	8.05	313.59	402.49
5.80	13	0.727	6.34	8.72	317.12	436.03
6.00	15	0.725	7.30	10.06	365.00	503.11
6.20	19	0.724	9.22	12.75	461.21	637.28
6.40	21	0.672	9.47	14.09	473.34	704.36
6.60	18	0.720	8.22	11.41	410.98	570.52
6.80	20	0.719	9.11	12.68	455.62	633.91
7.00	17	0.717	7.73	10.78	386.43	538.82
7.20	17	0.716	7.71	10.78	385.60	538.82
7.40	19	0.714	8.60	12.04	430.07	602.21
7.60	19	0.713	8.14	11.42	406.81	570.80
7.80	18	0.711	7.69	10.82	384.64	540.76
8.00	18	0.710	7.68	10.82	383.89	540.76
8.20	16	0.709	6.81	9.61	340.59	480.68
8.40	16	0.707	6.80	9.61	339.96	480.68
8.60	17	0.706	6.85	9.71	342.68	485.41
8.80	14	0.705	5.63	7.99	281.71	399.75
9.00	15	0.703	6.03	8.57	301.30	428.30
9.20	17	0.702	6.82	9.71	340.89	485.41
9.40	18	0.701	7.21	10.28	360.34	513.96
9.60	17	0.700	6.47	9.25	323.71	462.48
9.80	23	0.649	8.12	12.51	405.97	625.71
10.00	20	0.698	7.59	10.88	379.62	544.10