Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale

Via E. Fermi, 113 – Trevozzo
29031 Alta Val Tidone (PC)
Tel.: 348 510 7263
info@geotestsrl.com

Servizi Geologici
Servizi Geotecnici
Servizi Geofisici

REGIONE EMILIA-ROMAGNA
PROVINCIA DI PIACENZA (PC)
COMUNE DI CASTEL SAN GIOVANNI

Relazione geologica

- Modello Geologico
- Modello Geotecnico Preliminare
- Modello Sismico

Oggetto

Relazione Geologico-Tecnica relativa alla verifica di fattibilità geologica del progetto che prevede la realizzazione un nuovo deposito denominato "*Corpo F*" da edificarsi nei pressi del parco Logistico di Castel San Giovanni (PC).

Committente

Spett. 2K Engineering S.p.A.
Strada 1 Palazzo E1
20090 Assago (MI)

Engineering 2K S.p.A.

Tecnici Incaricati

Dott. Geol. Baldini Adriano

GeoTest

Trevozzo, 09 dicembre 2020

Sommario

0) GENERALITÀ 1

1) PREMESSA 1

2) NORMATIVE DI RIFERIMENTO 3

3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO 4

3.1 Inquadramento Geologico – Geomorfologico Regionale 4

3.2 Aspetti Geologici – Geomorfologici dell'area in esame 5

3.3 Idrografia ed Idrogeologia (cenni) 6

3.4 Pericolosità Geo-ambientale e Strumenti Urbanistici 9

4) INDAGINI EFFETTUATE E MODELLO GEOLOGICO GEOTECNICO PRELIMINARE 11

4.1 Modello Geologico Geotecnico Preliminare 14

5) VERIFICA DEL CARICO LIMITE (SLU) E STIMA DEI CEDIMENTI 17

5.1 Dati Generali 18

5.2 Coefficienti Sismici (N.T.C.) 18

5.3 Stratigrafia Terreno 19

5.4 Carico Limite Fondazione combinazione A1+M1+R3 20

5.5 Stima dei Cedimenti Elastici 20

5.6 Stima dei Cedimenti Edometrici 22

6) CONCLUSIONI 23

Indice delle Tavole e delle Figure

Fig. 1: *Corografia – Mappa Open Street Map*

Fig. 2: *Opera in progetto*

Fig. 3a: *Planimetria delle indagini Geognostiche*

Fig. 3b: *Planimetria delle indagini Geofisiche*

Fig. 4: *Estratto Carta Geologica d'Italia 1:100.000 – Fogli n. 59 e n. 60*

Fig. 5: *Estratto Carta Geologica Regionale*

Fig. 6: *Estratto Carta Geologica – Geomorfologica del PSC – Comune di Castel San Giovanni*

Fig. 7: *Sezione Geologica dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:100000 – Foglio 59 Pavia*

Fig. 8: *Estratto Carta Litologica del PSC – Comune di Castel San Giovanni*

Fig. 9: *Estratto Carta Idrogeologica del PSC – Comune di Castel San Giovanni*

Fig. 10: *Sezione Idrogeologica del PSC – Comune di Castel San Giovanni*

Fig. 11: *Schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano-romagnola (da Riserve Idriche Sotterranee – Regione Emilia Romagna)*

Fig. 12: *Estratto Carta della Pericolosità da alluvione del reticolo principale di pianura - Direttiva 2007/60/CE*

Fig. 13: *Estratto Carta della Pericolosità da alluvione del reticolo secondario di pianura - Direttiva 2007/60/CE*

Fig. 14: *Estratto Carta della Fattibilità Geologica del PSC – Comune di Castel San Giovanni*

Fig. 15: *Estratto Carta Vincoli Culturali e Paesaggistici del PSC – Comune di Castel San Giovanni*

Fig. 16: *Estratto Carta della Vulnerabilità Idrogeologica del PSC – Comune di Castel San Giovanni*

Fig. 17: *Estratto Carta delle aree suscettibili di effetti sismici locali del PSC – Comune di Castel San Giovanni*

Fig. 18: *Carta dei rispetti*

Allegati

ALLEGATO 1: PROVE PENETROMETRICHE

ALLEGATO 2: INDAGINI GEOFISICHE DI SUPERFICIE

ALLEGATO 3: VERIFICA PRELIMINARE DEL RISCHIO ALLA LIQUEFAZIONE

ALLEGATO 4: VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' SISMICA DELL'AREA

ALLEGATO 5: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DELLE INDAGINI EFFETTUATE

0) GENERALITÀ

Il sottoscritto Baldini Adriano, iscritto all'Ordine Regionale Geologi dell'Emilia Romagna al n.749, residente in Trevozzo Via Fermi n.113 – Alta Val Tidone (PC), dipendente di Geotest s.r.l., a seguito dello specifico incarico conferitogli da 2K Engineering S.p.A., redige la presente relazione geologica, geofisica e geotecnica preliminare in ossequio a quanto sancito dal D.M. 17/01/2018 e dalle altre normative nazionali e regionali in materia di tutela ambientale.

1) PREMESSA

Con la presente relazione vengono valutati gli aspetti geologici, geotecnici, geomorfologici, geofisici ed idrogeologici relativi alla fattibilità geologica del progetto edilizio che prevede la realizzazione di un nuovo deposito in c.a. L'area interessata dall'intervento edilizio si colloca nei pressi del Polo Logistico di Castel San Giovanni (PC), circa tre chilometri a nord dal centro del Capoluogo (fig.1).

Nel dettaglio l'area di intervento ha una superficie complessiva di circa 41.012 mq e su di essa è prevista la realizzazione di un nuovo deposito, che presenta in pianta le dimensioni indicative di 145 m x 122 m, con annessi uffici e stazione sprinkler per un totale di 17.690 mq di superficie coperta (fig. 2).

Per la descrizione dettagliata dell'intervento/i programmato/i si rimanda alla relazione tecnica allegata alla pratica di progetto.

Ad evasione di una vostra specifica richiesta, e con lo scopo di verificare la compatibilità geologico-geotecnica di quanto programmato, lo scrivente ha eseguito, in ottobre-dicembre 2020, sopralluoghi geologici durante i quali sono state raccolte tutte quelle informazioni di carattere geologico-geomorfologico necessarie per procedere ad una corretta valutazione circa la compatibilità tra quanto in progetto e la realtà geologica locale. Per verificare l'assetto stratigrafico dell'area e per avere informazioni di massima circa i parametri geotecnici del terreno presente in sito, lo scrivente ha condotto, entro il perimetro d'interesse, le seguenti indagini geognostiche/geofisiche, la cui ubicazione è riportata nelle figg. 3a e 3b:

Geotest s.r.l. *soc. unipersonale*
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

- n. 11 *prove penetrometriche di cui n. 10 in configurazione dinamica e n. 1 prova in configurazione statica di tipo CPTu* eseguite con penetrometro Pagani TG 63-200 la cui elaborazione e risultati sono riportati in **allegato 1**;
- *indagini geofisiche di superficie* (trattazione specifica riportata in **allegato 2**) consistite in:

  n. 2 prove MASW/Re.Mi, e n. 3 prove HVSR;

Un importante supporto, che integra ed approfondisce la conoscenza del territorio, sono le informazioni bibliografiche e d'archivio disponibili tra cui risultanze ottenute in occasione di pregresse indagini geognostiche svolte in aree più o meno prossime a quella di interesse e correlabili al contesto geologico locale.

L'insieme dei dati raccolti ed il confronto dei risultati ottenuti hanno contribuito ad incrementare la risoluzione ed il dettaglio conoscitivo sito specifico pervenendo alla caratterizzazione geologica e geotecnica preliminare dei terreni investigati.

Tale modellizzazione costituisce uno strumento base per valutare la compatibilità di quanto in progetto rispetto al contesto in cui si inserisce e ponendo in evidenza eventuali elementi di criticità geologico-tecnica.

Sinteticamente le indagini eseguite si sono sostanziate nelle seguenti operazioni:

a) rilevamento geologico, geomorfologico ed indagini geognostiche/geofisiche di superficie utili alla modellazione geologica ed idrogeologica preliminare sito specifica;
b) caratterizzazione geomeccanica di massima del terreno presente nel sottosuolo dell'area in esame, definizione della categoria di suolo sismico di fondazione e della frequenza sito specifica;
c) considerazioni geotecniche qualitative e semi-quantitative sull'interazione tra opera/e in progetto ed assetto geologico locale;
d) valutazioni in merito alla compatibilità tra l'intervento/i in progetto ed il contesto/pericolosità geoambientale/i in cui si inserisce il volume significativo individuato.

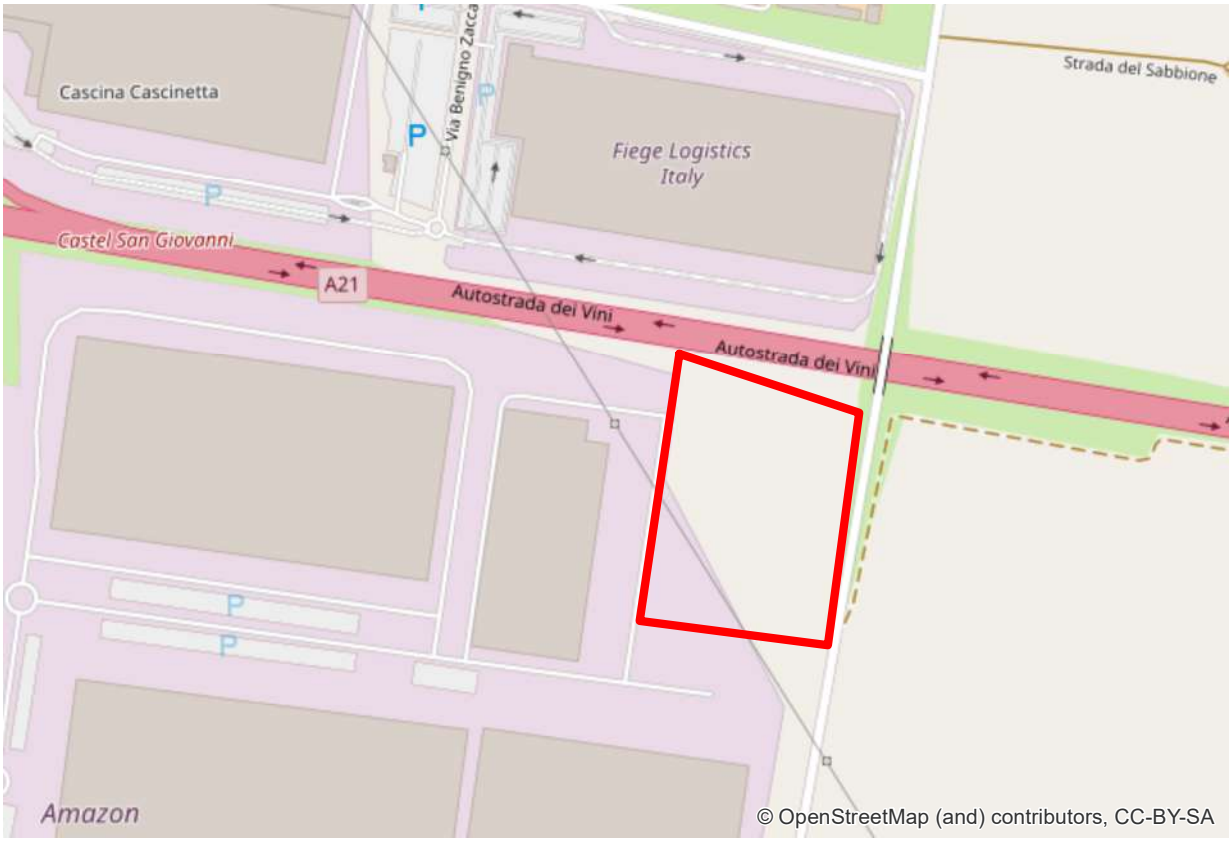


Fig. 1: Corografia – Mappa Open Street Map

Fig. 2: Opere in Progetto

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale

OGGETTO

Comune di CASTEL S. GIOVANNI (PC)
Realizzazione di un nuovo deposito denominato "Corpo F"

TITOLO

PLANIMETRIA DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE

Legenda

DPSH 1 — DPSH

CPTu 6 — CPTu

Perimetro deposito in progetto

Perimetro stazione sprinkler in progetto

COROGRAFIA

N

Engineering 2K S.p.A.

Fig. 3a

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale

OGGETTO

Comune di CASTEL S. GIOVANNI (PC)
Realizzazione di un nuovo deposito denominato "Corpo F"

TITOLO

PLANIMETRIA DELLE INDAGINI GEOFISICHE

Legenda

H/V 1 — HVSR

M1 — MASW/Re.Mi.

Perimetro deposito in progetto

Perimetro stazione sprinkler in progetto

COROGRAFIA

N

Engineering 2K S.p.A.

Fig. 3b

2) NORMATIVE DI RIFERIMENTO

D.M. LL.PP. del 11/03/1988

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

D.M. LL.PP. del 14/02/1992

Norme tecniche per l'esecuzione delle opere in cemento armato normale e precompresso e per le strutture metalliche.

D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche relative ai criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi

D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

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

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

Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

Decreto n. 159 del 14.9.2005

Normative Tecniche per le costruzioni in zona sismica.

Eurocodice 7

Progettazione geotecnica – Parte 1: Regole generali.

Eurocodice 8

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

D.M 14/01/2008

Norme Tecniche per le Costruzioni

D.M 17/01/2018

Aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni

D.G.R n. 630/2019

Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna

3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

La zona interessata dal presente studio è ubicata circa 3.0 Km a nord est dal centro del Capoluogo, ad una quota media di circa 56 m s.l.m. (fig. 1)

3.1 Inquadramento Geologico – Geomorfologico Regionale

L'area di indagine ricade nel Foglio 60 denominato "Piacenza" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100000 (fig. 4). La storia geologica della zona può essere schematicamente rapportata a due importanti eventi geologici che hanno caratterizzato quest'area. Il primo riguarda gli imponenti movimenti tettonici che hanno condizionato l'area a partire dal Cretaceo superiore fino all'Eocene medio (Fase ligure), poi dall'Oligocene sup. - Miocene Inf. (Fase subligure), e nel Burdigaliano Tortoniano (rispettivamente, Fase burdigaliana e toscana), concludendosi con i movimenti plio-quaternari (Fase padano-adriatica), quest'ultimi coinvolgenti il solo sottosuolo del bacino padano e costituendo il Fronte sepolto dell'Appennino. Il risultato finale di tali movimenti è una catena a falde impilate secondo il modello del prisma di accrezione, con una disposizione delle strutture tettoniche secondo una vergenza nord/nord-orientale.
Il secondo evento riguarda invece i diversi processi di deposizione ed erosione tipici dell'ambiente di deposizione continentale instauratosi a partire dal Pliocene Medio circa. Tali processi hanno portato al ricoprimento delle successioni marine attraverso depositi di piana e di conoide alluvionale. Secondo la più recente classificazione dei depositi quaternari, tale successione continentale ricade nel Supersintema Emiliano-Romagnolo ("AE"); a sua volta esso è suddiviso in Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore "AES" (Pleistocene sup. - Olocene), e Sintema Emiliano-Romagnolo Inferiore "AEI" (Pliocene medio). Inoltre, la suddivisione tende ad includere altre categorie minori: i subsintemi e le unità. Il passaggio all'ambiente continentale è avvenuto per diminuzione della subsidenza o per aumento degli apporti o per ambedue le cause, portando così al riempimento del bacino padano – adriatico e al ricoprimento delle strutture positive padane presenti in quest'area.

Geotest s.r.l. soc. unipersonale
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

3.2 Aspetti Geologici – Geomorfologici dell'area in esame

Il territorio del Comune di Castel San Giovanni è compreso entro due macro unità morfologiche sviluppandosi nella fascia di pianura padana compresa tra il margine collinare appenninico, che contraddistingue il settore meridionale del territorio stesso, ed il corso del Fiume Po, che ne rappresenta il limite settentrionale.

Le unità geologiche interessanti il territorio comunale sono riferibili al Dominio Padano-Adriatico, il quale è rappresentato dalla successione post-evaporitica del margine padano-adriatico che si presenta nel suo complesso come un ciclo sedimentario trasgressivo - regressivo, costituito alla base da depositi continentali, seguiti da depositi francamente marini e con al tetto ancora depositi continentali (figg. 5-8).

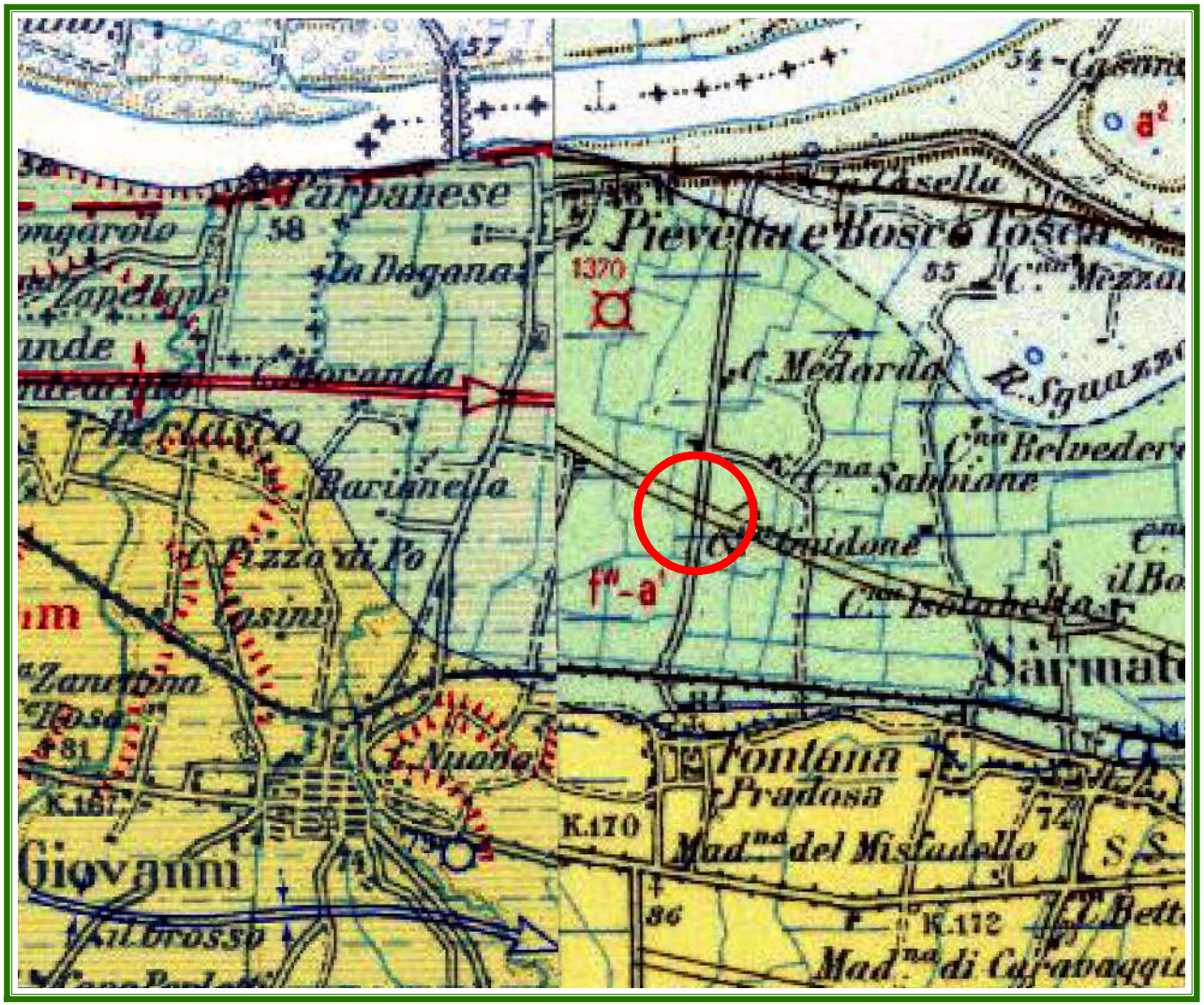
L'area oggetto dell'intervento si inserisce all'interno di un sistema di terrazzi morfologici, impostati entro depositi fluvioglaciali appartenenti alle varie fasi interglaciali. Nello specifico il futuro manufatto verrà realizzato su un terrazzo, impostato nelle "Alluvioni Recenti", che prograda con una pendenza media dello 0.5% verso nord e risulta limitato, verso Nordest, dalla scarpata che fa da raccordo alle geometricamente sottostanti "Alluvioni Attuali", mentre verso Sud il limite è costituito dalla scarpata delimitante il terrazzo deposizionale impostato sulle "Alluvioni Medie" che alla periferia meridionale del Capoluogo sono limitate dalla fascia pedecollinare che, qualche chilometro a Sud del capoluogo, si immerge al di sotto dei già citati depositi fluvioglaciali.

Più nel dettaglio, nell'area interessata dall'intervento (fig. 5), i terreni affioranti sono riconducibili al ***Subsintema di Ravenna - AES8***, stratigraficamente caratterizzabili come: "Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi e limi e limi sabbiosi. Depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati e depositi di interconoide rispettivamente. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m. Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo, e discordante sul substrato pliocenico e su AES2, AES3 e AES7".

Nella cartografia dedicata (fig. 6), la differenziazione del colore dell'unità indica l'ambiente deposizionale prevalente nei primi 1.5 - 2.0 m dal piano campagna che, nel caso specifico, corrisponde all'ambiente di piana inondabile a limi ed argille finemente stratificati con possibili livelli di materiale organico (pi). Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 metri. Pleistocene superiore - Olocene; post circa 18.000 anni B.P.

Geotest s.r.l. *soc. unipersonale*
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA 1:100.000
PAVIA Foglio 59 e PIACENZA Foglio 60



Legenda

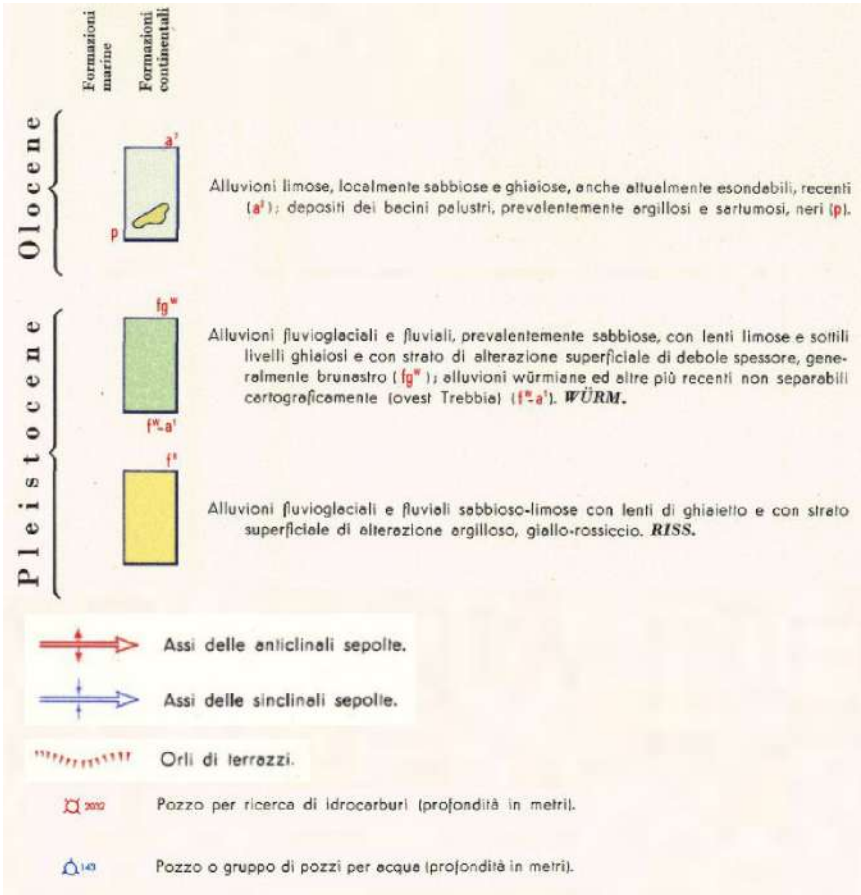


Fig. 4: Estratto Carta Geologica d'Italia 1:100.000 – Fogli n. 59 e n. 60

CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA - ROMAGNA

Legenda

- AES8 - Subsintema di Ravenna
- AES8a - Unità di Modena
- pozzo per acqua

AES8 – Subsintema di Ravenna

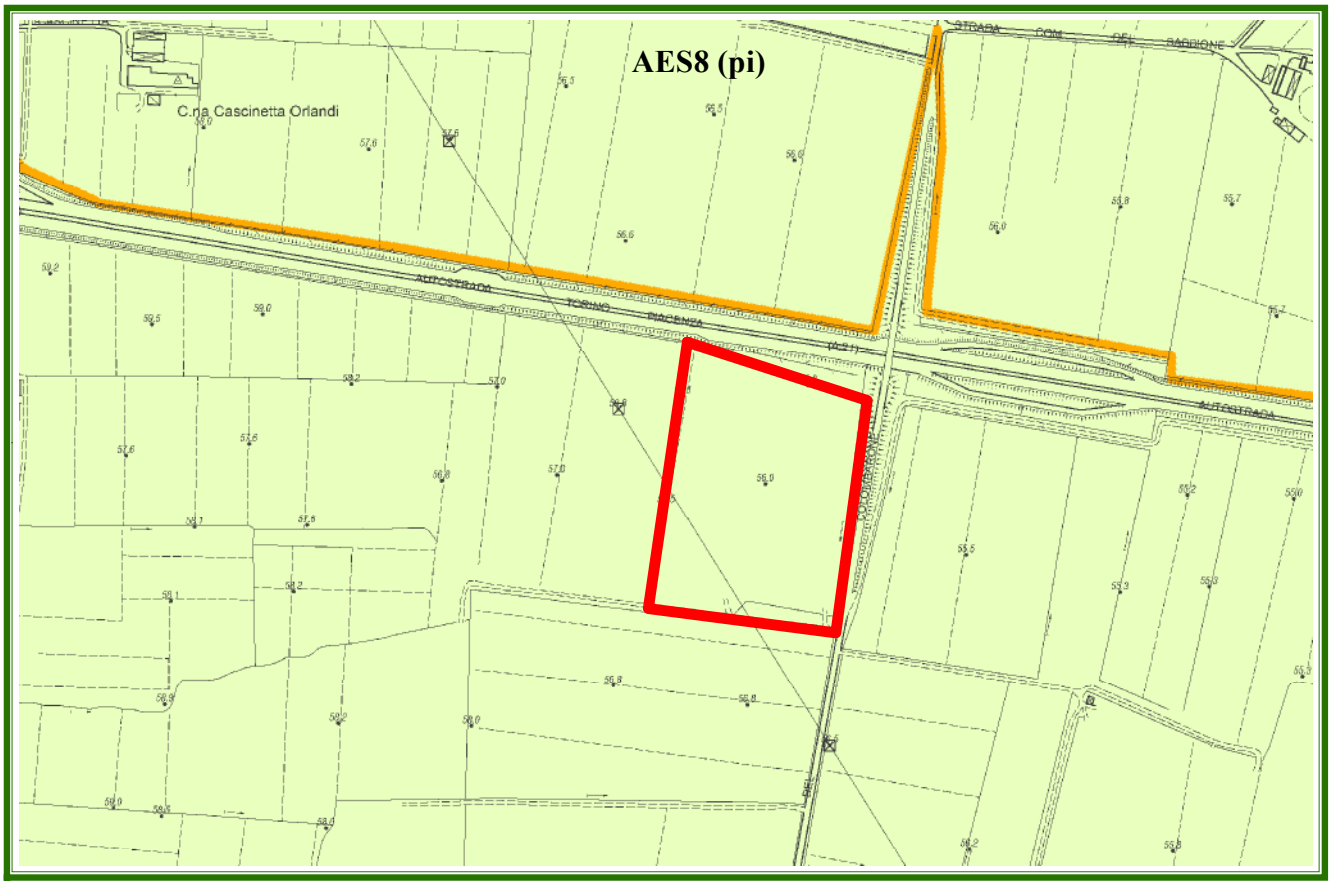
Descrizione tipologica: Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi: depositi intravallivi terrazzati e di conoide ghiaiosa. Limi e limi sabbiosi: depositi di interconoide. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m. Il tetto dell'unità è rappresentato dalla superficie deposizionale, per gran parte relitta, corrispondente al piano topografico, mentre il contatto di base è discordante sulle unità più antiche. Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 metri.

Ambiente: Piana alluvionale

Ubicazione: Pianura

Fig. 5: Estratto Carta Geologica Regionale

CARTA GEOLOGICA - GEOMORFOLOGICA DEL PSC



Legenda

Unità AES8 - Subsintema di Ravenna

Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi e limi e limi sabbiosi. Depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati e depositi di interconoide rispettivamente. Il profilo di alterazione varia da qualche decina di cm fino ad 1 m ed è di tipo A/Bw/Bk(C). Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo e discordante, sul substrato pliocenico e su AES2, AES3 e AES7. La differenziazione del colore dell'unità, indica l'ambiente deposizionale prevalente nei primi 1.5 - 2.0 m dal piano campagna :
(g) ambiente di conoide a ghiaie da grossolane a fini con matrice sabbiosa o, più raramente argillosa;
(it) ambiente di canale-argine-tracimazione indifferenziati in zona intravalliva incastonati in livelli terrazzati;
(pi) ambiente di piana inondabile a limi ed argille finemente stratificati con possibili livelli di materiale organico;
Lo spessore massimo dell'unità è inferiore a 20 metri. Pleistocene superiore - Olocene; post circa 18.000 anni B.P..

Rilevato autostradale PC-TO con funzione di difesa idraulica

Fig. 6: Estratto Carta Geologica – Geomorfologica del PSC – Comune di Castel San Giovanni

SEZIONE GEOLOGICA

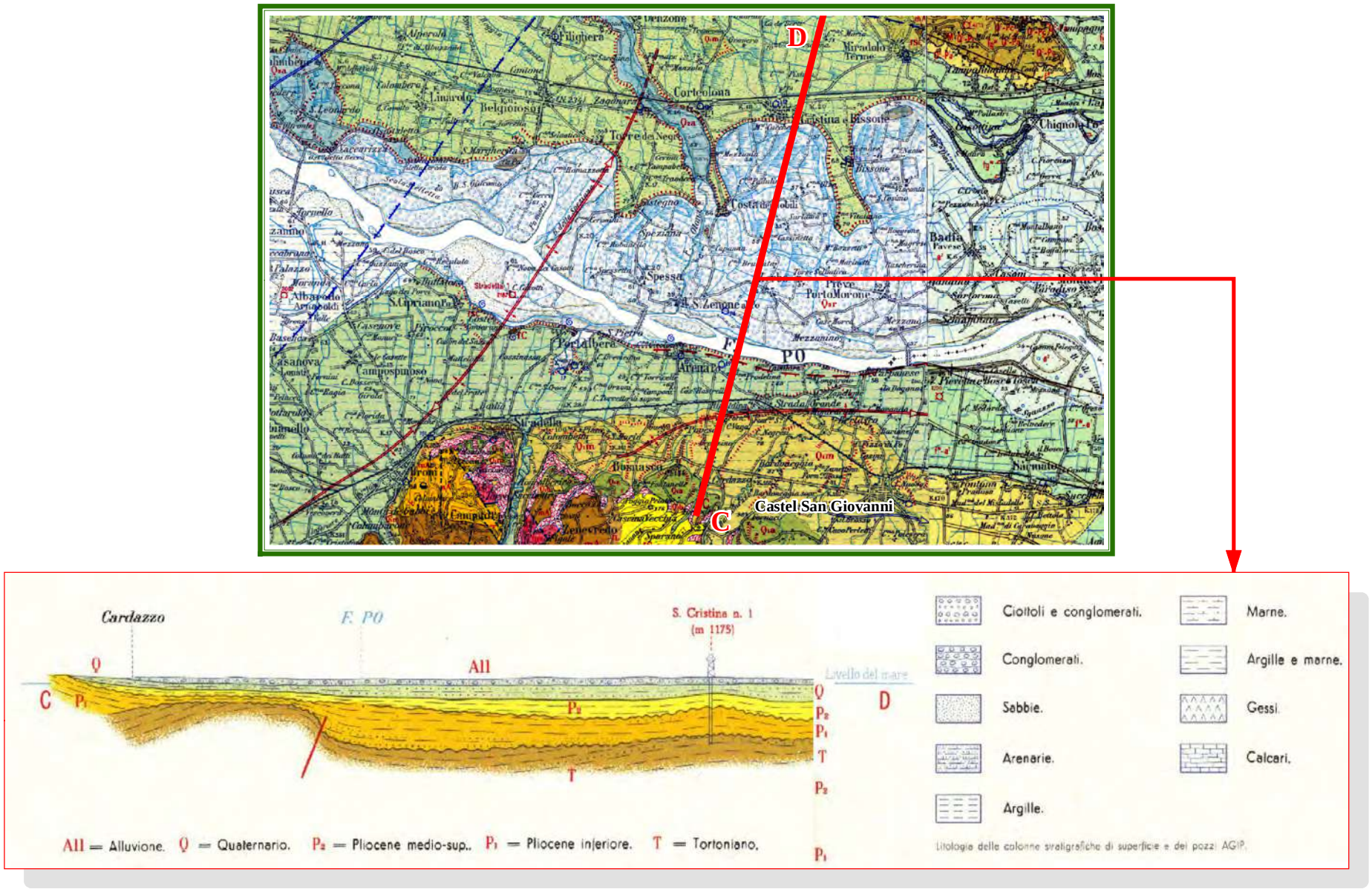
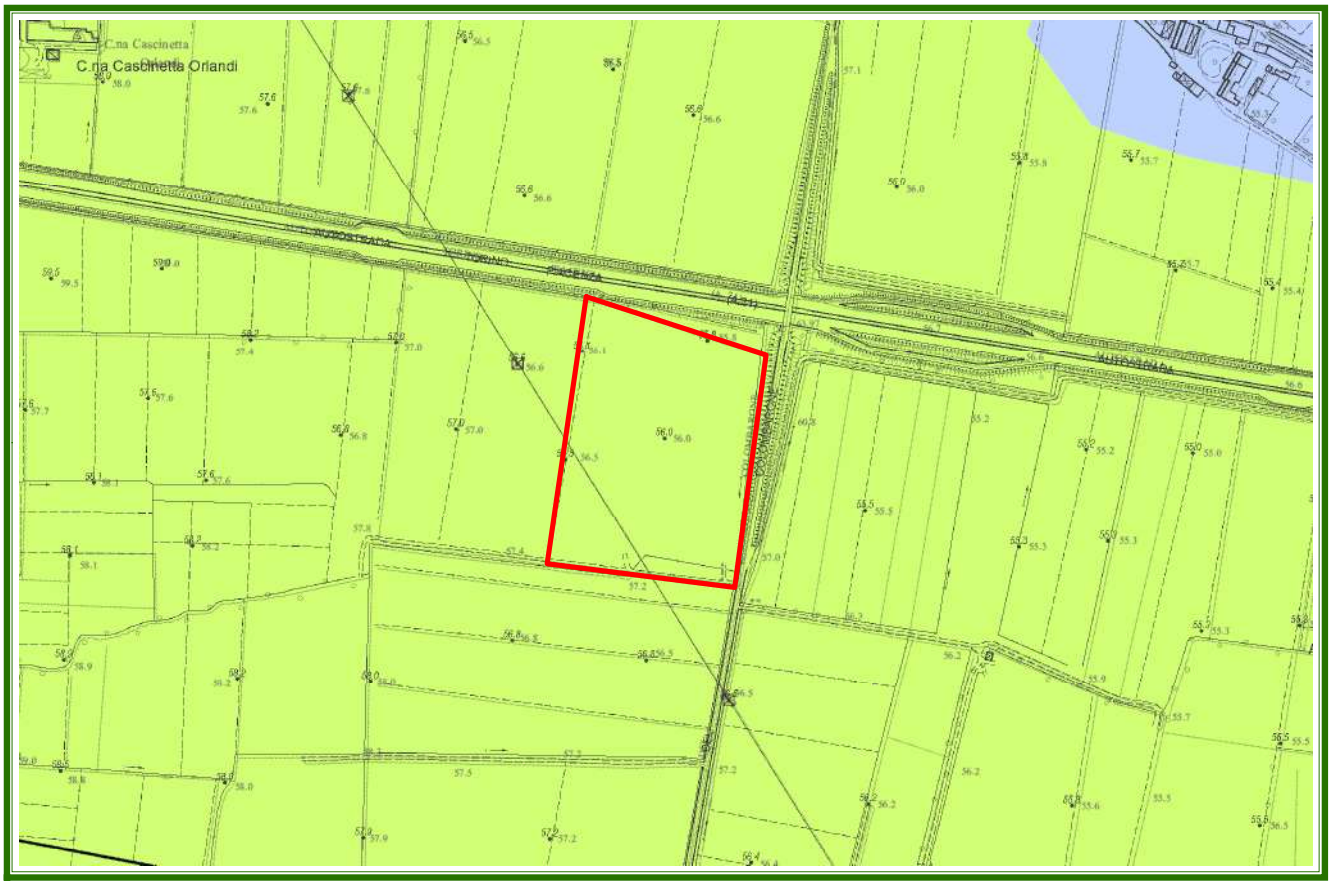


Fig. 7: Sezione Geologica dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:100000 – Foglio 59 Pavia

CARTA LITOLOGICA DEL PSC



Legenda

Zona a meandri
Sedimenti sabbiosi con intercalazioni ghiaiose legati alla sedimentazione attuale del fiume Po.

Depressione pedemontana
Sedimenti limoso argillosi con intercalazioni di torbe e materiale organico indecomposto.
Rare o nulle lenti di sabbia e ghiaia fine

Fig. 8: Estratto Carta Litologica del PSC – Comune di Castel San Giovanni

Il sistema classificativo delle unità geologico-stratigrafiche e tettoniche assume pertanto un'organizzazione gerarchica che trova corrispondenze con la ciclicità climatico-deposizionale delle fasi glaciali ed interglaciali nonché correlazioni con le unità idrostratigrafiche (in termini di gruppi e complessi acquiferi).

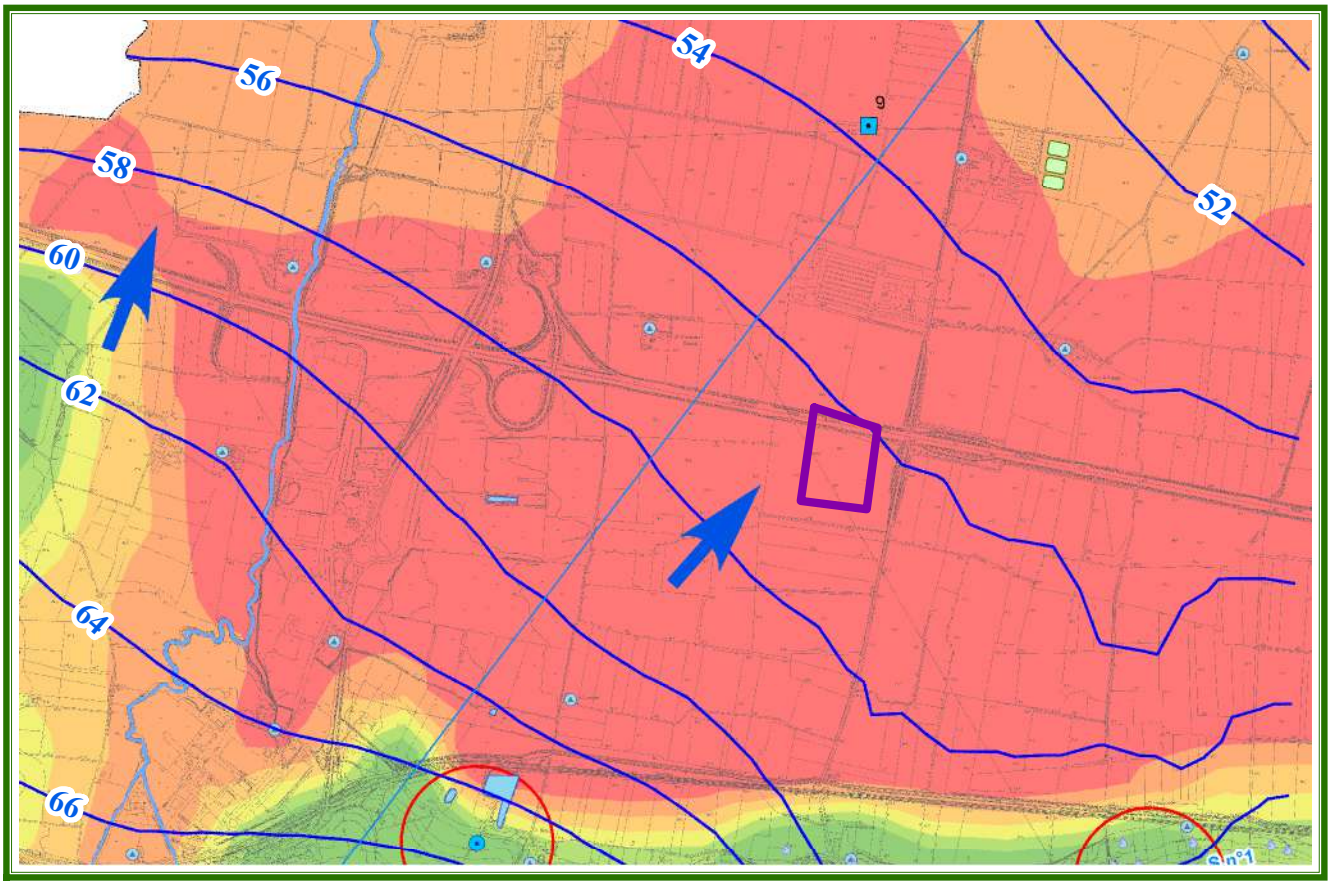
3.3 Idrografia ed Idrogeologia (cenni)

Il reticolo idrografico superficiale è caratterizzato dalla presenza del Fiume Po, che ne costituisce l'elemento principale segnando il limite settentrionale del territorio comunale. A questo si aggiungono i suoi tributari caratterizzati da un orientamento complessivamente perpendicolare alla dorsale appenninica, tra cui il Rio Boriacco che scorre circa 1400 m ad Ovest dell'area dell'intervento. È inoltre presente una fitta rete di corpi idrici secondari (rii e canali di ordine inferiore) tra i quali il canale di bonifica Colombarone, al confine orientale dell'area di interesse.

La suddivisione morfologica del territorio, con distinzione della fascia di pianura e dei terrazzi e della fascia collinare-montana, è utile anche per definire lo schema di circolazione idrica del sottosuolo: le acque sotterranee, infatti, sono ospitate in corpi acquiferi costituiti dagli stessi depositi delle unità terziarie e quaternarie, di permeabilità e trasmissività così caratteristiche da assumere anche il connotato di Unità idrogeologiche (figg. 9-10).
Più nel dettaglio, l'assetto idrogeologico della porzione di Pianura Padana in esame, risulta costituito da un bacino con substrato terziario e quaternario riempito da depositi di origine fluvioglaciale e dalle alluvioni dei corsi d'acqua olocenici, rappresentati da alternanze di ghiaie, sabbie, limi e argille, a struttura difficilmente riconducibile a schemi geometrici ben definiti, che ospitano falde libere, artesiane e semiartesiane. In questa fascia di pianura i depositi continentali costituenti il materasso alluvionale passano in profondità ai depositi neogenici tettonizzati, attraverso una successione argilloso-sabbiosa, a tratti ghiaiosa, in facies marina e talora salmastra (Quaternario marino secondo l'Agip Mineraria), che hanno rappresentato la fase iniziale di colmamento delle depressioni strutturali. Gli ultimi e più recenti studi condotti dalla Regione Emilia Romagna tramite il Progetto CARG hanno portato ad una nuova definizione dei depositi pleistocenici ed olocenici della pianura emiliano-romagnola, finalizzata alla caratterizzazione degli acquiferi principali. Nell'ambito del modello stratigrafico-idrogeologico dell'intera Pianura Padana emiliano-romagnola, vengono distinte e cartografate a scala regionale tre Unità Idro-stratigrafiche di rango superiore, denominate Gruppi di

Geotest s.r.l. *soc. unipersonale*
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

CARTA IDROGEOLOGICA DEL PSC



Legenda

Limite Comunale

Traccia di sezione idrogeologica

Reticolo idrico

Fiume Po

reticolo idrico

Laghi artificiali

Bacini di stoccaggio liquami

Risorgive

Pozzi

Pozzo idrico alimentante l'acquedotto pubblico

A stratigrafia non nota

A stratigrafia nota

Zona di rispetto del pozzo idrico (R=200 m; DLgs 152/2006)

Pozzo privato

Pozzo privato a stratigrafia nota (Il numero accanto al simbolo indica la scheda corrispondente nell'allegato SA.a2 - Stratigrafie pozzi idrici)

Piezometria e soggiacenza:

Pozzi utilizzati per il rilievo freatimetrico Nov-Dic 1977 (Amm.Prov.Piacenza)

Isofreatiche relative rilievo freatimetrico Nov-Dic 1977 (Amm.Prov.Piacenza)

Intervalli di soggiacenza

0-2m 2-4m 4-6m 6-8m 8-10m >10m

Direzione di deflusso principale della falda

Fig. 9: Estratto Carta Idrogeologica del PSC – Comune di Castel San Giovanni

SEZIONE IDROGEOLOGICA

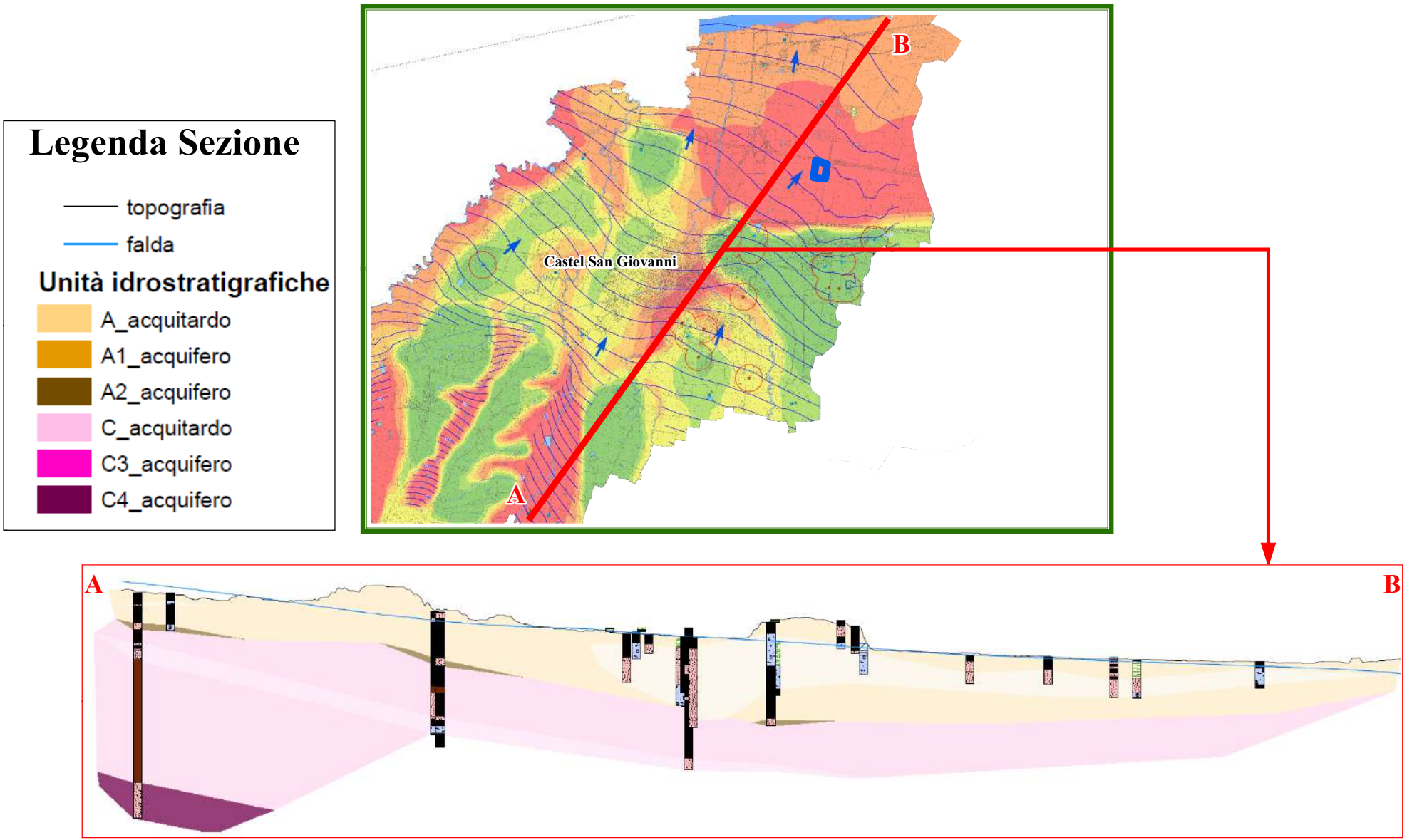


Fig. 10: Sezione Idrogeologica del PSC – Comune di Castel San Giovanni

Acquiferi A, B e C (fig. 11), che affiorano sul margine meridionale del Bacino Padano e si immergono verso nord, al di sotto dei sedimenti deposti dal fiume Po e dai suoi affluenti nell'Olocene (ultimi 20.000 anni circa), contenenti acquiferi di scarsa estensione e potenzialità (Acquifero Superficiale). I corpi geologici che fungono da serbatoio idrico (= acquifero) sono costituiti da sedimenti ghiaiosi e sabbiosi di origine deltizia, litorale e alluvionale, deposti dai fiumi appenninici a partire da circa 3.5 milioni di anni fa.

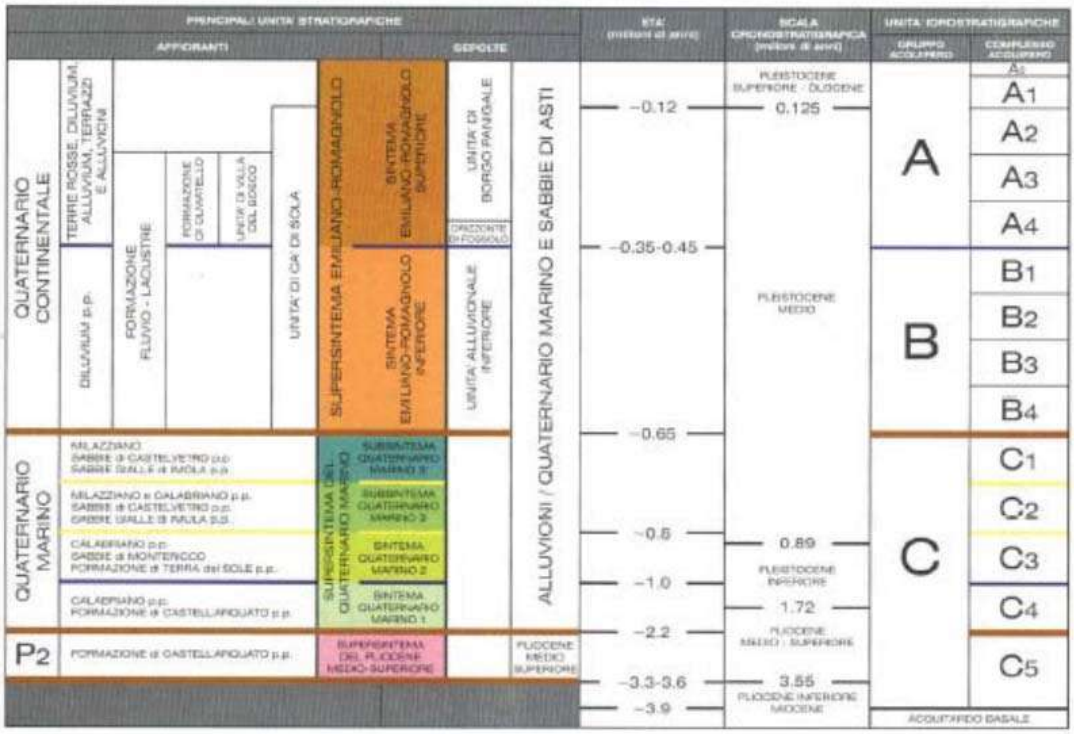


Fig. 11: Schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano-romagnola (da Riserve Idriche Sotterranee – Regione Emilia Romagna)

Ciascun Gruppo di Acquiferi risulta relativamente ben separato dagli altri sotto il profilo idraulico, grazie a spessi livelli argillosi, ed è rappresentato da diversi serbatoi acquiferi sovrapposti o giustapposti, suddivisi in Complessi e Sistemi Acquiferi.

Nell'ambito del territorio di Castel San Giovanni è possibile sintetizzare il quadro idrogeologico nel seguente modo:

- i serbatoi acquiferi del Bacino Idrogeologico della Pianura Padana si formano a partire da circa 1 milione di anni fa, dapprima all'interno di un sistema deposizionale di delta-conoide alluvionale

(Gruppo Acquifero C3) e quindi, nel Pleistocene medio e superiore, all'interno di piane e conoidi alluvionali attribuibili ai corsi d'acqua appenninici (Gruppi Acquiferi B e A);
- gli elementi che condizionano la formazione delle conoidi alluvionali e l'evoluzione del drenaggio appenninico sono l'evoluzione strutturale della catena appenninica e le oscillazioni climatiche quaternarie;
- i depositi grossolani ascritti al Gruppo Acquifero C3 costituiscono serbatoi acquiferi di grande estensione, solitamente in pressione, intercalati da barriere di permeabilità di notevole spessore e continuità, la cui correlazione è estendibile a tutta l'alta pianura;
- i Gruppi Acquiferi B e A, di origine alluvionale, non costituiscono un acquifero monostrato indifferenziato, ma risultano molto complessi e più articolati del Gruppo C, con numerosi livelli idrici sovrapposti e giustapposti.

Il Gruppo Acquifero A, che contiene i livelli acquiferi generalmente captati per uso potabile o produttivo, si estende in modo degradante dal margine collinare verso l'asse padano, passando da profondità di pochi metri fino a circa - 60 m al limite nord-est del territorio comunale.
Lo spessore dei livelli permeabili tende ad aumentare procedendo in direzione della valle del Fiume Po, in relazione all'aumento dei sedimenti sabbiosi legati alla sedimentazione del corso d'acqua.
Sulla base dei dati a disposizione il Gruppo Acquifero B assume importanza ridotta nel settore padano in esame, con prevalenza di sedimenti impermeabili e spessore degli orizzonti acquiferi sostanzialmente nulla.
In relazione agli studi idrogeologici condotti da Arpa sono distinguibili due complessi idrogeologici connessi a differenti sistemi deposizionali, riferibili alle conoidi alluvionali "intermedie" del Tidone e dei corsi d'acqua minori (Carona e Bardoneggia) ed alla pianura alluvionale padana. I due complessi trovano separazione in corrispondenza della scarpata morfologica, ben individuabile a nord di Fontana Pradosa, che separa i ripiani alluvionali più antichi connessi all'attività deposizionale dei corsi d'acqua appenninici dalla piana alluvionale riferibile all'attività del Fiume Po. Il settore delle conoidi è formato dalla coalescenza della porzione occidentale della conoide del Torrente Tidone e di quelle minori del Rio Carona e del Torrente Bardoneggia, caratterizzati da un limitato sviluppo di orizzonti permeabili, in relazione al bacino di alimentazione da cui hanno avuto origine.
In corrispondenza del limite del terrazzo alluvionale medio-antico, su cui sorge l'abitato di Fontana Pradosa, si verifica il fenomeno delle risorgive, che assumono le caratteristiche di risorgive di "terrazzo", conseguenti all'interruzione morfologica del ripiano superiore.

Geotest s.r.l. *soc. unipersonale*
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

Per quanto riguarda la "prima falda", dati di letteratura relativi alla quota isofreatica della superficie piezometrica del primo acquifero indicano, nell'area in esame, valori di soggiacenza dal piano campagna inferiori a 2 m (fig. 9) con andamento della superficie piezometrica abbastanza regolare.
La direzione di deflusso risulta ad orientamento prevalente verso NE subendo modificazioni in corrispondenza della piana a meandri posta nel settore nord orientale del territorio comunale in quanto influenzata da alimentazioni di subalveo del fiume Po.
I valori di soggiacenza della superficie piezometrica misurati durante la campagna geognostica di sito, eseguita nei mesi di ottobre-dicembre 2020, presentano un valore medio di soggiacenza pari a circa 2.5/2.8 m dal p.c., risultando leggermente superiori a quanto riportato sulla cartografia del PSC (fig. 9).

La presenza di orizzonti saturi superficiali, pur non essendo particolarmente rilevante ai fini idrogeologici, è significativa soprattutto dal punto di vista geomeccanico. La variabilità spazio/temporale che caratterizza la falda superficiale può essere condizionata da diversi fattori tra cui la ciclicità del regime climatico stagionale in cui i periodi siccitosi (estate) portano alla depressione del livello piezometrico mentre i periodi climatici piovosi ne aumentano il livello portando alla coalescenza tra le falde sospese. Anche l'attività antropica potrebbe perturbare l'evoluzione dei processi naturali sovrapponendovi fattori contraddistinti anch'essi da una certa variabilità. La competenza dei corpi idrici presenti nel primo sottosuolo si riconosce quindi nel ruolo geotecnico (più che in quello idrogeologico): la presenza di orizzonti saturi superficiali, infatti, condiziona le proprietà geomeccaniche del terreno con possibili conseguenze sulle strutture fondazionali interagenti. Gli effetti delle variazioni cicliche nel contenuto naturale di umidità nel terreno interessano in modo particolare i minerali argillosi costituenti che, per struttura, sono più di altri soggetti a variazioni reologiche. Questo fenomeno, schematizzabile in un'alternanza ciclica di umattazione ed essicamento, può causare locali ed indesiderati cedimenti strutturali, specie nel caso di una errata scelta della quota del piano fondazionale.

Geotest s.r.l. *soc. unipersonale*
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

3.4 Pericolosità Geo-ambientale e Strumenti Urbanistici

Come evidenziato nelle carte della pericolosità da alluvione della Direttiva 2007/60/CE (Direttiva alluvioni), l'area di studio ricade all'esterno degli scenari di rischio relativamente al reticolo principale di pianura (fig. 12) mentre è classificata a pericolosità media (alluvioni poco frequenti con tempo di ritorno tra 100 e 200 anni) relativamente al reticolo secondario di pianura (fig. 13).
Per quanto concerne la gestione territoriale in termini di strumentazione urbanistica, l'area di interesse viene inserita nella cartografia della Fattibilità Geologica del PSC (fig. 14) tra le ***aree con limitazioni relativamente consistenti – aree di bassa pianura con soggiacenza della falda inferiore ai 2 m***. Si tratta di aree caratterizzate da superfici sub-pianeggianti, coltri limoso argillose di spessore plurimetrico, con soggiacenza della falda freatica < 2 m. Edificabili con normali tecniche costruttive previi accertamenti geotecnici ed idrogeologici, volti a verificare l'intercettazione della falda e la determinazione dettagliata dei cedimenti del terreno. Probabile impiego di fondazioni indirette per il contenimento dei cedimenti. Sconsigliata la realizzazione di scantinati e interrati a profondità superiore a 1 m; in ogni caso prevedere l'adozione di adeguate opere di impermeabilizzazione delle strutture interrate.
Dall'analisi della Carta dei Vincoli Culturali e Paesaggistici del PSC (fig. 15) si evince che all'interno dell'area di studio non sono presenti particolari vincoli. Ai confini orientali dell'area sono evidenziati "siepi e filari" ed "elementi di viabilità storica e di centuriazione romana".

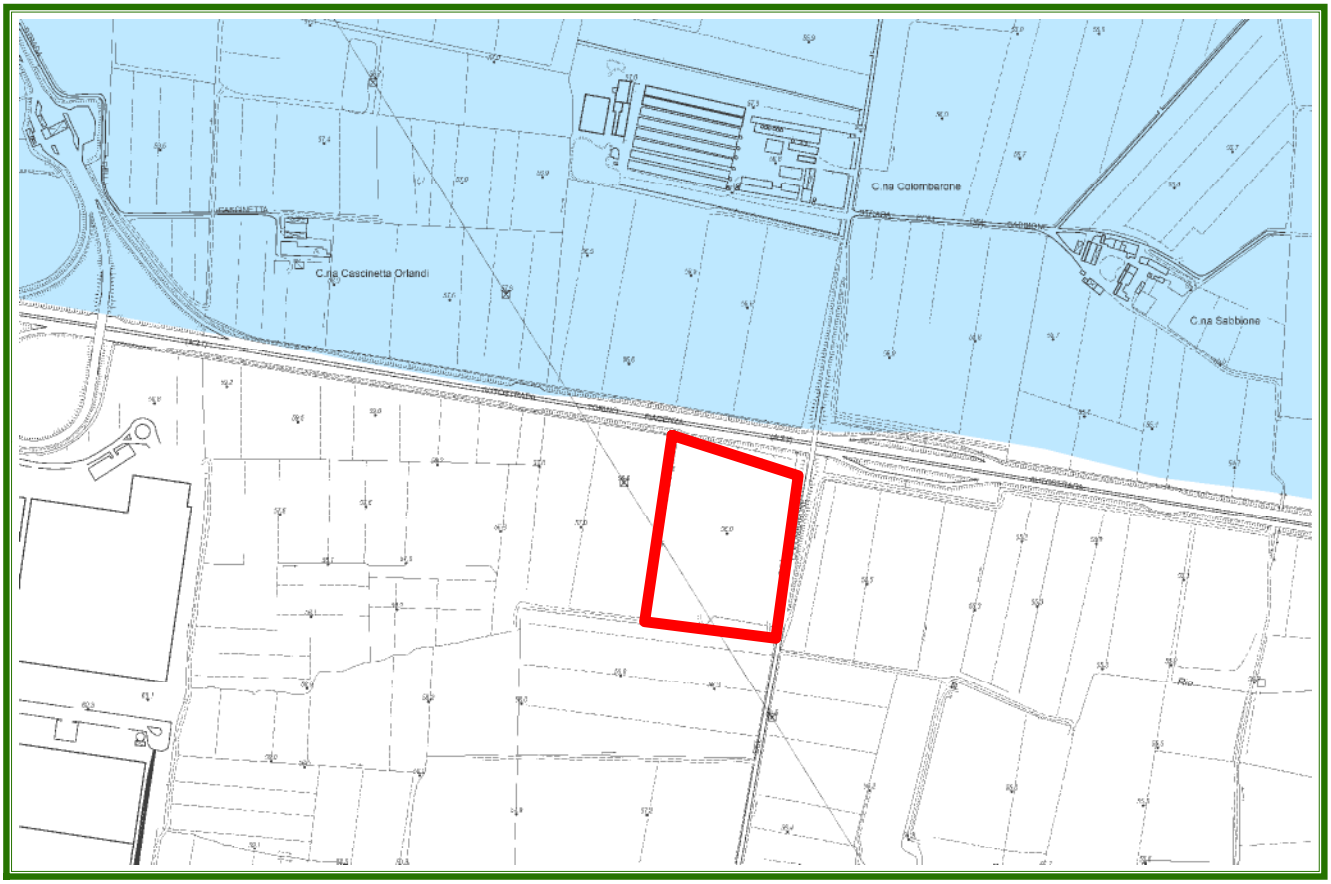
La vulnerabilità idrogeologica nel PSC viene classificata "Bassa – loc. media" (fig. 16), in quanto l'area è ubicata su lembi di terrazzi alluvionali antichi caratterizzati dalla presenza di suoli argillosi impostati su substrato litologicamente eterogeneo costituito da alternanze irregolari di depositi ghiaiosi e limoso-argillosi passanti in una limitata porzione meridionale a sedimenti marini prevalentemente sabbiosi. Falda libera a profondità elevata.

Secondo quanto si evince dalla Carta delle Aree Suscettibili di Effetti Sismici Locali del PSC (fig. 17), nell'area di interesse come effetto di sito viene segnalata l'amplificazione litologica e si richiede un approfondimento di II livello.

Da segnalare infine, come si evince dalla fig. 18, le fasce di rispetto ed i limiti di edificabilità, adiacenti al nuovo deposito in progetto, relativi all'Austostrada A21 e ad un elettrodotto.

Geotest s.r.l. *soc. unipersonale*
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE DEL RETICOLO PRINCIPALE DI PIANURA



Legenda

Pericolosità da alluvione del reticolo principale di pianura

- P3 - H (Alluvioni frequenti: tempo di ritorno tra 20 e 50 anni - elevata probabilità)
- P2 - M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità)
- P1 - L (Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi)

Fig. 12: Estratto Carta della Pericolosità da alluvione del reticolo principale di pianura - Direttiva 2007/60/CE

PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE DEL RETICOLO SECONDARIO

Legenda

Pericolosità da alluvione del reticolo secondario di pianura

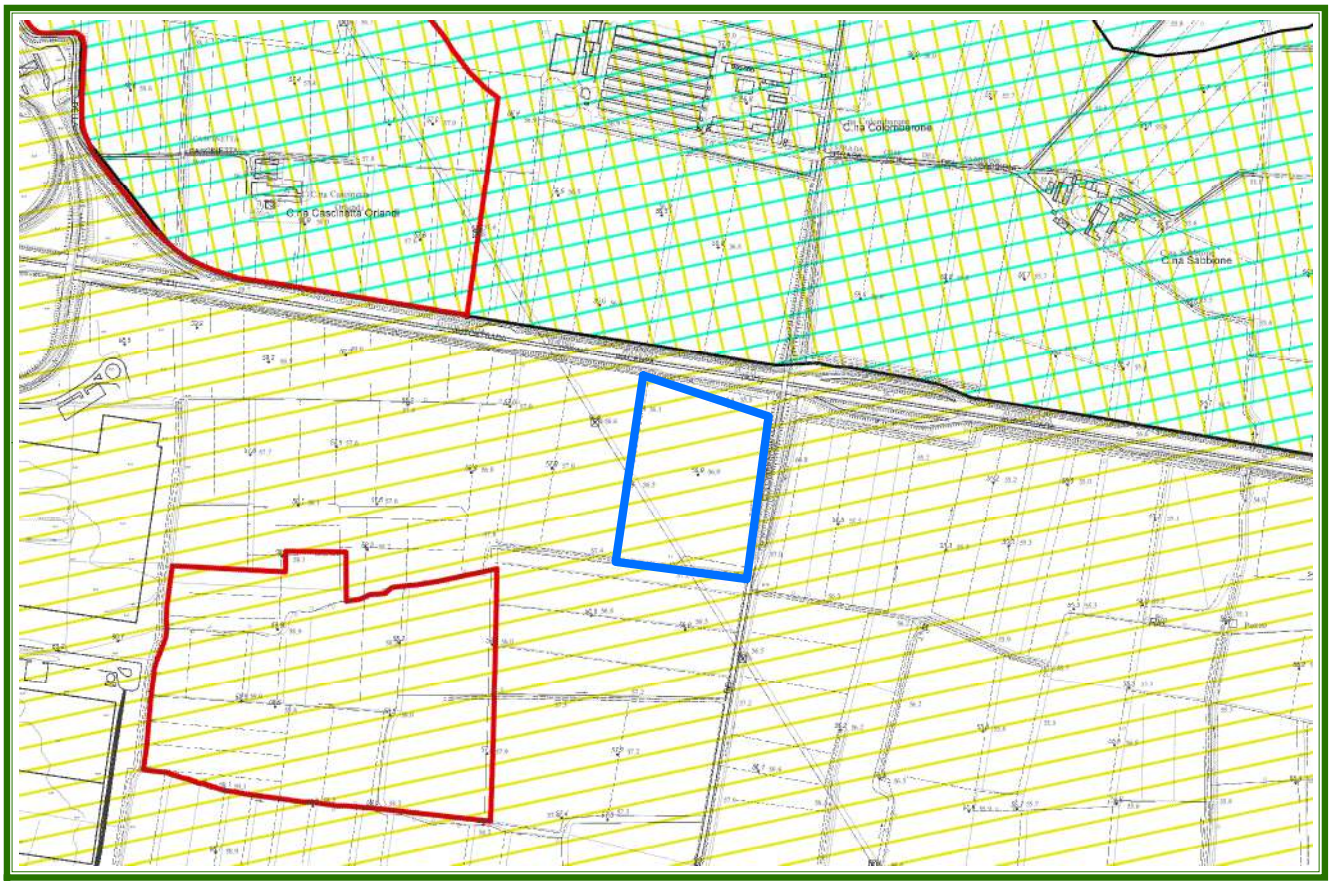
P3 - H (Alluvioni frequenti: tempo di ritorno tra 20 e 50 anni - elevata probabilità)

P2 - M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità)

P1 - L (Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi)

Fig. 13: Estratto Carta della pericolosità da alluvione del reticolo secondario di pianura - Direttiva 2007/60/CE

FATTIBILITÀ GEOLOGICA



Legenda

Aree a fattibilità geologica con limitazione relativamente consistenti

Area a limitato rischio di esondazione

Aree a limitato rischio di esondazione coincidenti alla zona designata alla fascia C dal PTCP costituita dalla porzione di territorio esterna alla fascia B, può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento. Comprende anche la fascia di integrazione fluviale dei corsi d'acqua.
Edificabili nei casi previsti dalla normativa PTCP, previa valutazione del rischio idraulico ed accertamenti geotecnici.

Area a limitato rischio di esondazione e soggiacenza falda < 2m

Aree a limitato rischio di esondazione coincidenti alla zona designata alla fascia C dal PTCP costituita dalla porzione di territorio esterna alla fascia B, può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento. Comprende anche la fascia di integrazione fluviale dei corsi d'acqua.
Edificabili nei casi previsti dalla normativa PTCP, previa valutazione del rischio idraulico ed accertamenti geotecnici.
Sconsigliata la realizzazione di scantinati e interrati a profondità superiore a 1 m.; in ogni caso necessario prevedere l'adozione di adeguate opere di impermeabilizzazione delle strutture interrate.

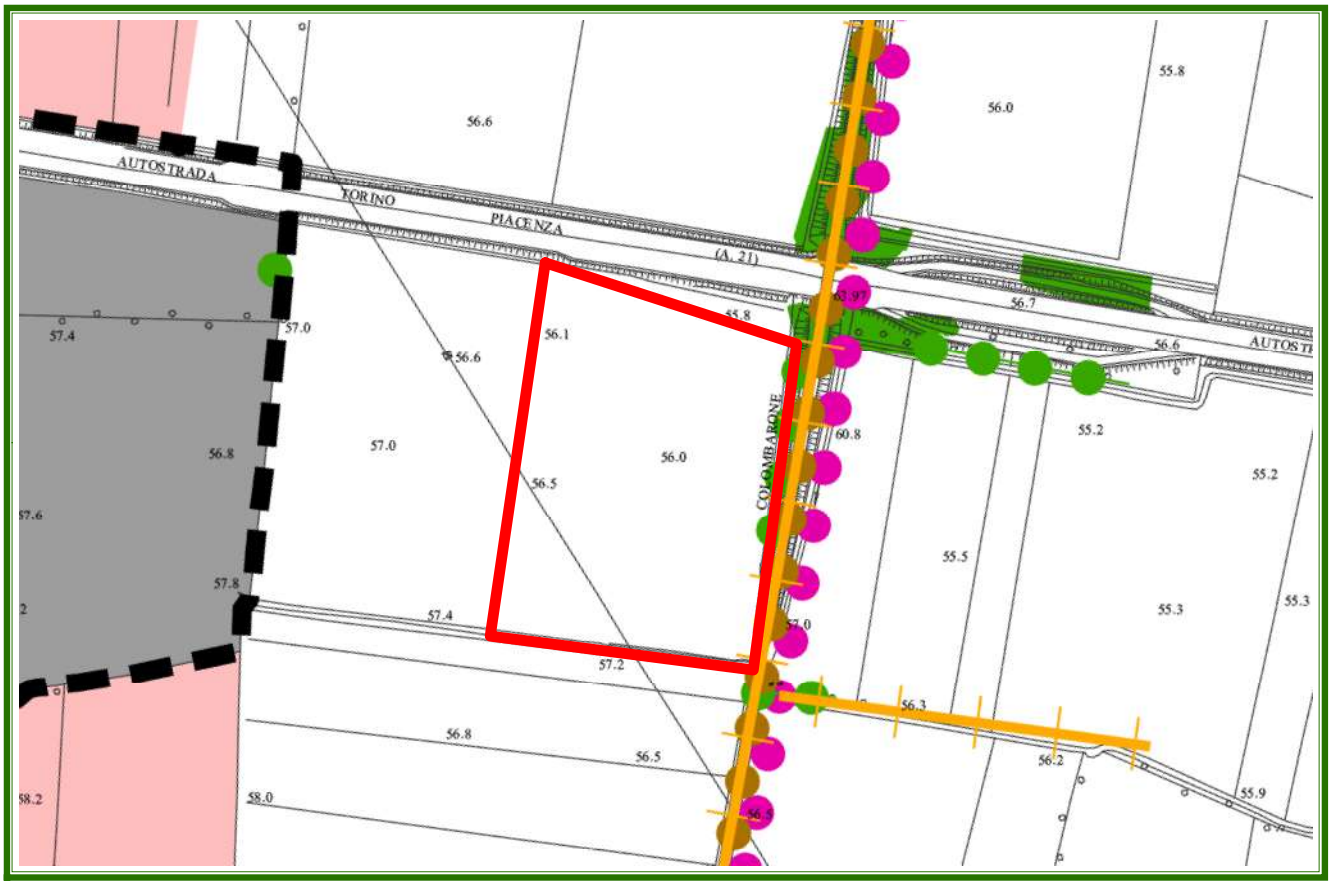
Aree di bassa pianura con soggiacenza falda <2m

Aree di bassa pianura con soggiacenza < 2m caratterizzate da superfici sub-pianeggianti, coltri limoso argillose di spessore plurimetrico, con soggiacenza della falda freatica < 2 m..
Edificabili con normali tecniche costruttive previi accertamenti geotecnici ed idrogeologici, volti a verificare l'intercettazione della falda e la determinazione dettagliata dei cedimenti del terreno. Probabile impiego di fondazioni indirette per il contenimento dei cedimenti. Sconsigliata la realizzazione di scantinati e interrati a profondità superiore a 1 m.; in ogni caso necessario prevedere l'adozione di adeguate opere di impermeabilizzazione delle strutture interrate.

Ambiti per nuovi insediamenti

Fig. 14: Estratto Carta della Fattibilità Geologica del PSC – Comune di Castel San Giovanni

VINCOLI CULTURALI E PAESAGGISTICI



Legenda

Elementi della struttura centuriata. Elementi localizzati - art. 55 N.T.S.

Viabilità storica - art. 54 N.T.S.

Siepi e filari - art. 39 N.T.S.

Sistema forestale e boschivo - art. 37 N.T.S.

Area di progetto (Settore planiziale di Fontana Pradosa) - art. 48 N.T.S.

Perimetro del centro abitato

Territorio urbanizzato

Territorio urbanizzabile

Fig. 15: Estratto Carta Vincoli Culturali e Paesaggistici del PSC – Comune di Castel San Giovanni

VULNERABILITA' IDROGEOLOGICA

Legenda

Classe di vulnerabilità idrogeologica

Bassa-loc. media

Lembi di terrazzi alluvionali antichi caratterizzati dalla presenza di suoli argillosi impostati su substrato litologicamente eterogeneo costituito da alternanze irregolari di depositi ghiaiosi e limoso argillosi passanti in una limitata porzione meridionale a sedimenti marini prevalentemente sabbiosi.
Falda libera a profondità elevata.

Media

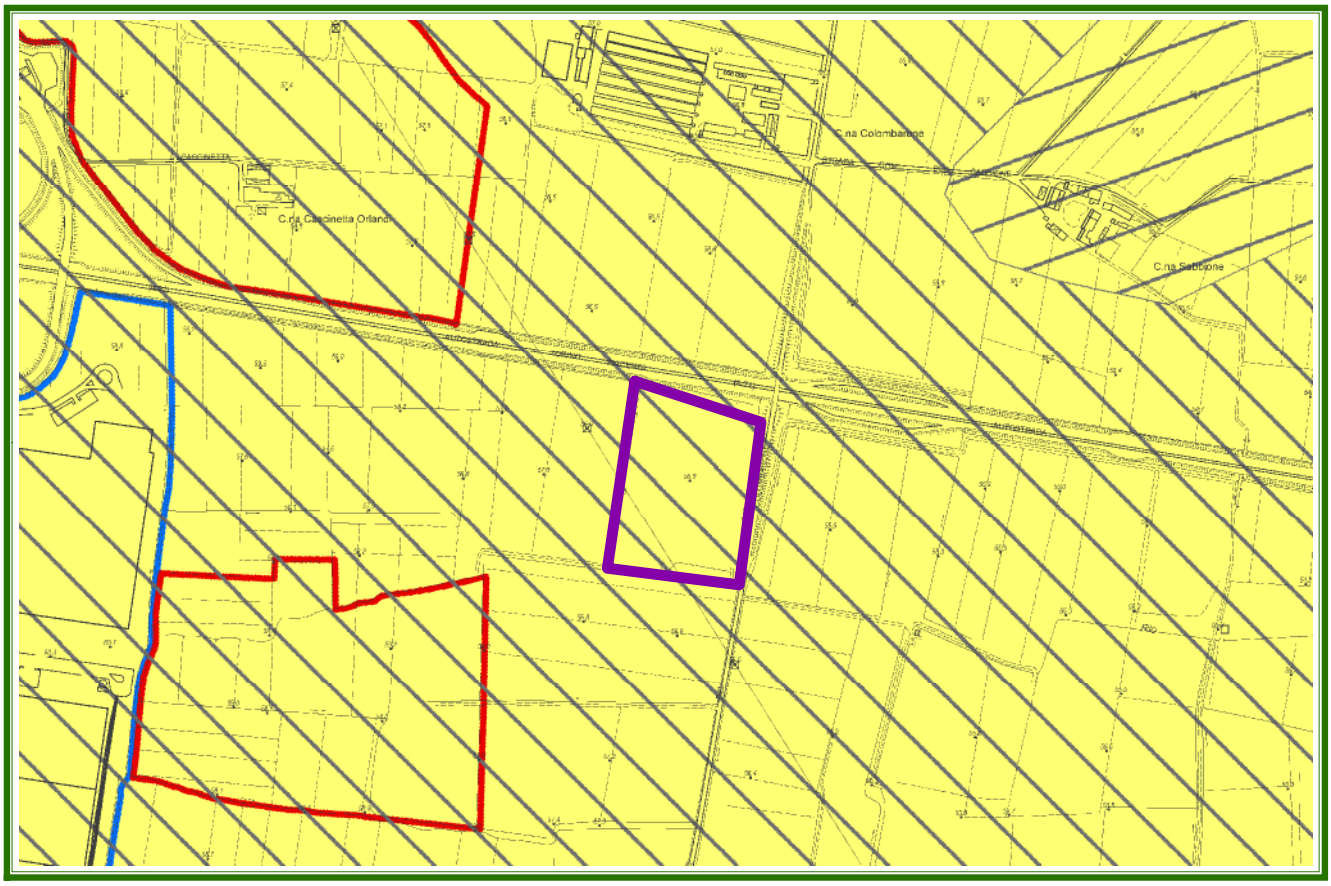
Ripiani alluvionali antichi caratterizzati dalla continua presenza di suoli limoso argillosi ed argillosi sottendenti sedimenti limoso argillosi confinanti acquiferi ghiaioso sabbiosi a matrice argillosa.
Falda confinata localmente libera.

Elevata

Zona della fascia a meandri del fiume Po costituita da depositi sabbioso ghiaiosi permeabili con ridotta copertura di suolo.
Zone ad elevata sensibilità in quanto idraulicamente connesse agli acquiferi superficiali.

Fig. 16: Estratto Carta della Vulnerabilità Idrogeologica del PSC – Comune di Castel San Giovanni

EFFETTI SISMICI LOCALI



Legenda

Depressione pedemontana — *Depositi prevalentemente argillosi localmente poco consistenti. Suscettibili di amplificazione sismica stratigrafica e per possibile sviluppo di cedimenti.*

Zona a meandri — *Sedimenti sabbiosi con intercalazioni ghiaiose legati alla sedimentazione del fiume Po. Suscettibili di amplificazione sismica stratigrafica e per possibile sviluppo di cedimenti.*

Ambiti per nuovi insediamenti

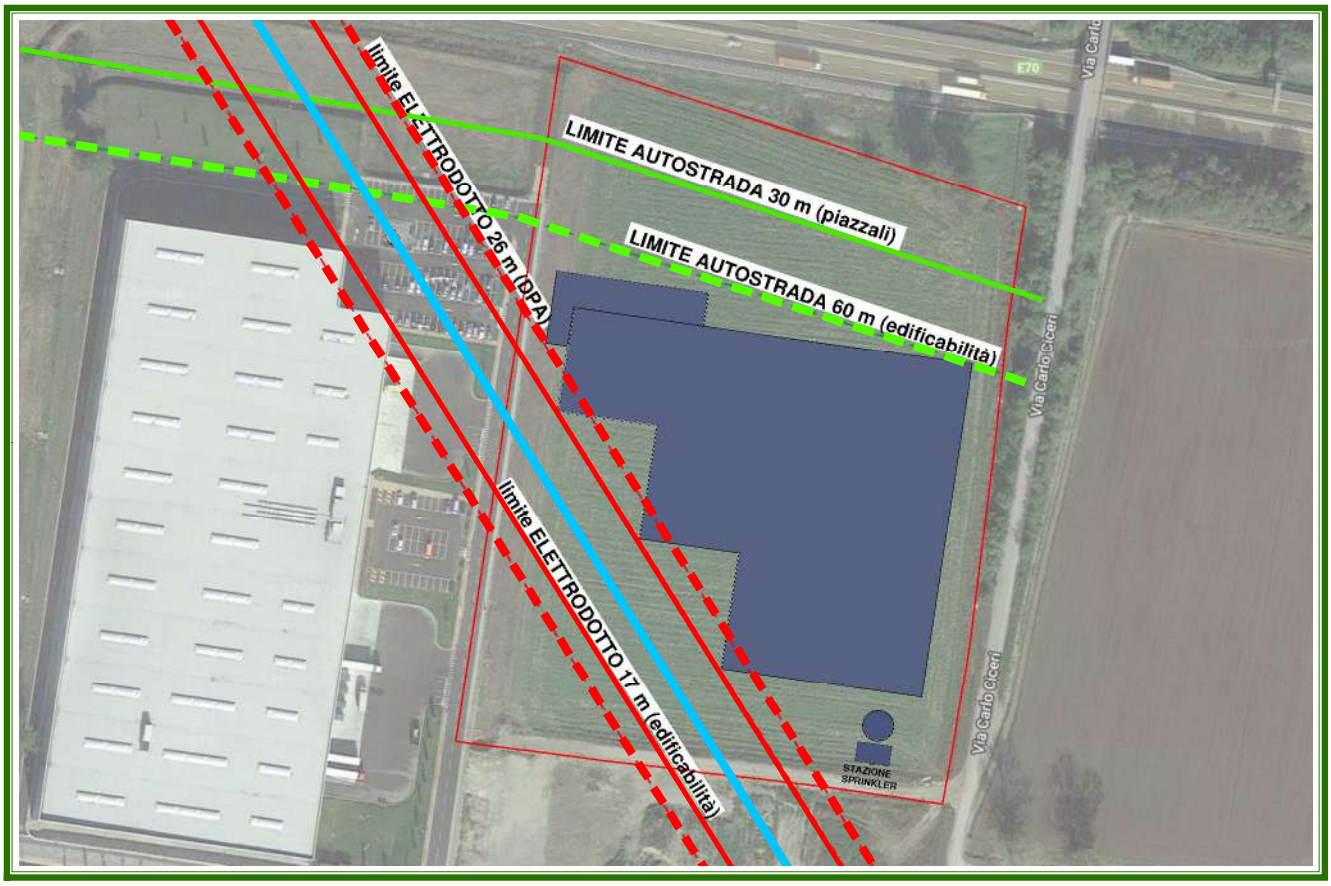
Urbanizzato consolidato

Effetti attesi

	Livello di approfondimento [rif. delib.A.L.n°112 2-05-2007]
Depositi alluvionali ghiaiosi, limosi o indifferenziati (effetti di sito: amplificazione litologica)	II
Frane quiescenti (effetti di sito: amplificazione litologica, potenziale instabilità dei versanti)	III

Fig. 17: Estratto Carta delle Aree suscettibili di Effetti Sismici Locali del PSC – Comune di Castel San Giovanni

CARTA DEI RISPETTI



Legenda

- elettrodotto
- limite elettrodotto17 m (edificabilità)
- limite elettrodotto 26 m (DPA)
- limite autostrada 30 m (piazzali)
- limite autostrada 60 m (edificabilità)

Fig. 18: Carta dei Rispetti

4) INDAGINI EFFETTUATE E MODELLO GEOLOGICO GEOTECNICO PRELIMINARE

Allo scopo di verificare la fattibilità di quanto in progetto e valutarne la compatibilità rispetto al contesto geologico-idrogeologico in cui si inserisce, lo scrivente ha effettuato, nei mesi di ottobre-dicembre 2020, una serie di sopralluoghi di carattere geologico geomorfologico generale. Osservazione e rilevamento di superficie sono stati integrati con indagini sito specifiche finalizzate alla modellazione geologica ed individuazione delle principali unità litotecniche costituenti il primo sottosuolo dell'area di studio.

La campagna geognostica – geofisica condotta (ubicazione prove illustrata nelle figg. 3a e 3b) si è sostanziata nell'esecuzione di:

- n. *11 prove penetrometriche di cui n. 10 in configurazione dinamica e n. 1 prova in configurazione statica di tipo CPTu* eseguite con penetrometro Pagani TG 63-200 il quale, in configurazione dinamica, presenta un maglio di 63.5 Kg di peso che cade da 75 cm di altezza, infiggendo nel terreno una serie di aste lunghe un metro cadauna all'estremità delle quali vi è una punta standardizzata di 20.43 cm^2 di sezione. Le letture su passo strumentale (n. di colpi ogni 20 cm di infissione dell'asta), elaborazione e risultati sono riportati in **allegato 1**. La prova penetrometrica statica CPTu, di cui si riporta una breve descrizione nella scheda presente in allegato 1, è stata invece realizzata utilizzando il Piezocono MK – Pagani con sensore saturato con olio di silicone.
- Indagini geofisiche di superficie (trattazione specifica in **allegato 2**) consistite in n. 2 prove MASW/Re.Mi. per la caratterizzazione della categoria di suolo sismico (VS_{eq}) e n. 3 prove HVSR tipo Nakamura per la determinazione della frequenza sito specifica.

Una preliminare analisi dei contenuti derivanti dallo stato dell'arte nonché il reperimento di documentazione tecnica esistente costituiscono passi necessari alla comprensione della realtà indagata e, pertanto, alla limitazione del grado di incertezza interpretativa.

Dalla sinergia degli strumenti conoscitivi sopra descritti è stato possibile definire in via preliminare un modello geologico rappresentativo dell'assetto lito-stratigrafico di sito, nonché l'individuazione e caratterizzazione delle principali unità litotecniche interagenti con l'opera in progetto.

Geotest s.r.l. soc. unipersonale
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

La campagna di indagini eseguita è stata dimensionata in relazione all'attuale fase di stato progettuale. Ne consegue una finalità ed un grado di definizione del modello geologico coerente con il livello di approfondimento adottato. In considerazione del fatto che la definizione del piano delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica è responsabilità del progettista (con riferimento alla normativa nazionale), potranno effettuarsi integrazioni alle prove eseguite sotto indicazione e richiesta di quest'ultimo. Di seguito, per maggior chiarezza sull'argomento, si riportano estratti normativi dedicati alla progettazione geotecnica (DECRETO 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle «Norme tecniche perle costruzioni»).

Estratto Articolo 6.2.1 "Caratterizzazione e Modellazione Geologica del Sito"

Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018)

"Il modello geologico di riferimento è la ricostruzione concettuale della storia evolutiva dell'area di studio. La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito deve comprendere la ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, descritti e sintetizzati dal modello geologico di riferimento. In funzione del tipo di opera, di intervento e della complessità del contesto geologico nel quale si inserisce l'opera, specifiche indagini saranno finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico. Il modello geologico deve essere sviluppato in modo da costituire elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche".

Geotest s.r.l. *soc. unipersonale*
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

Estratto Articolo 6.2.2 "Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica" Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 17.01.2018).

"Le indagini geotecniche devono essere programmate in funzione del tipo di opera e/o di intervento e devono riguardare il volume significativo di terreno (parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente, dalla costruzione del manufatto e che influenza il manufatto stesso). Le indagini devono permettere la definizione dei modelli geotecnici di sottosuolo necessari alla progettazione. Della definizione del piano delle indagini, della caratterizzazione e della modellazione geotecnica è responsabile il progettista. I valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni devono essere ottenuti mediante specifiche prove di laboratorio su campioni indisturbati di terreno e attraverso l'interpretazione dei risultati di prove e misure in sito. Per valore caratteristico di un parametro geotecnico deve intendersi una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato. Ai fini dell'analisi quantitativa di uno specifico problema, per modello geotecnico di sottosuolo si intende uno schema rappresentativo del volume significativo di terreno, suddiviso in unità omogenee sotto il profilo fisico-meccanico, che devono essere caratterizzate con riferimento allo specifico problema geotecnico.
È responsabilità del progettista la definizione del piano delle indagini, la caratterizzazione e la modellazione geotecnica. Nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata su preesistenti indagini e prove documentate sull'esperienza e sulle conoscenze disponibili, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali".

Il modello di sottosuolo schematizzato può definirsi *"Modello geologico – geotecnico preliminare"* in quanto oltre a costituire un primo rapporto di prefattibilità ambientale di quanto in progetto, supportato da valutazioni ed indagini geologiche – idrogeologiche, introduce una preliminare definizione del "livello di pericolosità geologica" e del "comportamento" del sito in quanto accompagnato da indagini e prove geotecniche finalizzate al problema specifico, ante operam.

Geotest s.r.l. soc. unipersonale
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

La redazione di un modello geologico-geotecnico "definitivo" potrà essere sviluppata sulla base di un progetto esecutivo ad opera del progettista, mediante disamina approfondita delle "problematiche esaminate" e delle "verifiche analitiche in sede di progettazione esecutiva".
Nel modello proposto, la scelta dei valori caratteristici da attribuire alle grandezze fisiche e meccaniche del terreno si basa sulla valutazione di più fattori: analisi cautelativa dei risultati ottenuti da specifiche prove e misure eseguite in sito; condizioni di stato limite considerato; complessità della realtà geologica sito specifica e pericolosità geologiche riscontrate entro il volume significativo indagato. La variabilità nei valori dei parametri geomeccanici relativi a differenti porzioni di terreno coinvolte nel volume significativo ed ottenuti a seguito dell'elaborazione delle prove eseguite, è riconducibile all'eterogeneità latero-verticale della realtà geologica-geolitologica locale.
Ad integrazione delle conoscenze di sito e a supporto interpretativo delle indagini condotte, sono state inoltre utilizzate le informazioni bibliografiche e d'archivio disponibili.

4.1 Modello Geologico Geotecnico Preliminare

Unità 0. Profondità da 0.0 a 0.2/0.8 metri circa: orizzonte costituito da terreno vegetale di natura argilloso-limosa. Le proprietà geomeccaniche risultano scadenti e caratterizzate da un'importante variabilità. La caratterizzazione geomeccanica non è riportata in quanto non pertinente.

Unità 1. Profondità da 0.2/0.8 a 4.0/6.0 metri circa: terreno a comportamento geotecnico prettamente coesivo, costituito principalmente da argilla/argilla debolmente limosa e limo argilloso. Le caratteristiche geomeccaniche medie possono così riassumersi: peso unità di volume γ = 1.65 – 1.70 T/mc; coesione non drenata Cu = 2.4/3.0 – 3.5/4.5 T/mq; modulo edometrico Ed = 25/30 - 35/45 kg/cmq. Nspt = 2.45 – 4.97.

Localmente, la parte più superficiale di questa unità può presentare un sovraconsolidamento dovuto ad essiccamento. Si ricorda infatti che la porzione più superficiale di sottosuolo (circa primo metro/metro e mezzo di profondità) è soggetta a ripetuti cicli stagionali che determinano una variazione nel contenuto naturale di acqua (nei periodi siccitosi il terreno si presenta sovraconsolidato). Per terreni in cui i minerali argillosi costituenti appaiono in percentuale non trascurabile, l'alternanza di umattazzione ed essicamento comporta un decadimento delle proprietà

Geotest s.r.l. soc. unipersonale
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

fisiche e geomeccaniche del materiale. Generalmente oltre al metro - metro e mezzo di profondità tale aspetto può considerarsi trascurabile.

Unità 2. Profondità da 4.0/6.0 a 8.4/10.0 metri circa (verticale penetrometrica spinta fino ad una profondità massima di 10 m circa): si registra un incremento nella resistenza alla penetrazione dinamica imputabile verosimilmente ad un generale aumento di consistenza del materiale e/o ad una percentuale crescente nella componente granulare costituente il deposito (limo sabbioso/sabbia da limosa a debolmente limosa con locali intercalazioni di materiale più fine). Le caratteristiche geomeccaniche principali possono essere così sintetizzate: peso unità di volume γ = 1.70/1.75 – 1.80/1.85 T/mc; angolo di resistenza al taglio φ = 26°/30°; modulo di Young = 65/70 – 105/110 kg/cmq. Nspt = 7.45 – 14.05.

Unità 3. Profondità superiore a 8.4/8.6 metri circa (verticale penetrometrica spinta fino a una profondità massima di 10 m dal p.c): si registra un netto miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche per la presenza di materiale attritivo granulare (ghiaia sabbiosa o debolmente sabbiosa). L'unità, che è stata intercettata unicamente in corrispondenza delle prove P.4, P.5, P.8 e P.9 (settore settentrionale dell'area indagata), risulta avere le seguenti caratteristiche geotecniche: peso unità di volume γ = 1.90/2.00 T/mc; angolo di resistenza al taglio ϕ = 32°/ 36°; modulo di Young = 130/160 kg/cmq. Nspt = 17.85 – 26.03.

I risultati ottenuti con le prove geofisiche, così come quelli relativi alla prova penetrometrica statica, sono in accordo con le prove dinamiche nell'individuare uno spessore del materiale più allentato di circa 4.0-5.0 m. Oltre tale valore di profondità, si registra un netto aumento della velocità delle onde S e della resistenza alla punta, verosimilmente imputabile ad un incremento nel grado di addensamento del terreno e/o alla presenza di terrreni incoerenti.

Geotest s.r.l. *soc. unipersonale*
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

La superficie piezometrica della falda è stata intercettata ad una profondità pari a circa 2.5-2.8 m dal p.c. attuale. Si ricorda che il livello piezometrico è soggetto ad oscillazioni dipendenti dal regime climatico e dalla ciclicità stagionale (naturale ed antropica). Questo aspetto dovrà essere considerato in fase progettuale quale elemento condizionante le caratteristiche geomeccaniche del materiale, con effetti sull'interazione terreno/struttura fondazionale. Le falde idriche superficiali hanno infatti un ruolo geomeccanico importante di cui si dovrà tenere debitamente conto in sede di dimensionamento e scelta fondazionale.

Geotest s.r.l. *soc. unipersonale*
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

5) VERIFICA DEL CARICO LIMITE/Stato Limite Ultimo - Formula Brich-Hansen (EC7–EC8)

Il presente capitolo illustra l'ipotesi fondazionale preliminare riferita agli interventi oggetto della presente relazione.
La verifica riportata costituisce uno strumento ulteriore per valutare la compatibilità geologica dell'intervento/i in progetto: non assume, pertanto, una valenza ed un significato ingegneristico.
Rimanendo, lo scopo della verifica preliminare, confinato all'individuazione qualitativa di eventuali problematiche geotecniche del sistema terreno/fondazione, si prenderà in esame solamente un'ipotesi di pressione normale di progetto e non il completo schema delle forze agenti.
Segnalazioni emerse in questa fase verranno valutate e quantificate dal progettista incaricato in fase di progettazione definitiva.
Nella simulazione di verifica condotta, l'impronta fondazionale è stata collocata ad una profondità pari a circa 1.8 m dal p.c.
Considerando l'eterogeneità litologica e geomeccanica che caratterizza il sito d'interesse, alle risultanze scaturite dall'ipotesi formulata è corretto attribuire una valenza di carattere localizzato in quanto, sull'intero areale esaminato, le stesse presentano una certa variabilità.
Il differente comportamento tra settori distinti del medesimo lotto definisce problematiche geotecniche importanti tra cui i cedimenti differenziali.

Il Carico Limite, determinato secondo le direttive NTC 2018, è stato calcolato utilizzando la formula di Brinch - Hansen (1970), supponendo condizioni non drenate ed ipotizzando una fondazione superficiale con plinti aventi dimensioni di 4.0 m x 4.0 m.

La presa visione dello scavo fondazionale da parte dello scrivente costituisce condizione necessaria per confermare l'affidabilità del modello geologico e geotecnico preliminare formulato nonché le valutazioni relative alla compatibilità del contesto specifico con l'intervento in progetto.

Geotest s.r.l. *soc. unipersonale*
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

5.1 Dati Generali

Coordinate Lat./Long.	45.072042/9.461029
Normativa	NTC 2018
Larghezza fondazione	4,0 m
Lunghezza fondazione	4,0 m
Profondità piano di posa	1,8 m
Altezza di incastro	1,8 m
Effetto sismico secondo	NTC 2018 (Cascone Maugeri)

5.2 Coefficienti Sismici (N.T.C.)

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.284	2.517	0.198
S.L.D.	50.0	0.353	2.554	0.218
S.L.V.	475.0	0.902	2.463	0.281
S.L.C.	975.0	1.196	2.464	0.285

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.426	0.2	0.0087	0.0043
S.L.D.	0.5295	0.2	0.0108	0.0054
S.L.V.	1.353	0.2	0.0276	0.0138
S.L.C.	1.794	0.24	0.0439	0.022

Geotest s.r.l. soc. unipersonale
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

5.3 Stratigrafia Terreno

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [Kg/m³]	Peso unità di volume saturo [Kg/m³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [Kg/cm²]	Coesione non drenata [Kg/cm²]	Modulo Elastico [Kg/cm²]	Modulo Edometrico [Kg/cm²]	Poisson
0.4	1520.0	1850.0	0.0	0.0	0.14	14.7	16.79	0.0
1.2	1630.0	1730.0	0.0	0.0	0.28	35.0	31.78	0.0
4.2	1620.0	1720.0	0.0	0.0	0.26	33.0	29.64	0.35
3.2	1850.0	1940.0	29.0	0.0	0.0	105.0	90.0	0.33

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [Kg/cm²]	N [Kg]	Mx [Kg·m]	My [Kg·m]	Hx [Kg]	Hy [Kg]	Tipo
1	A1+M1+R3	0.80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	SISMA	0.80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
3	S.L.E.	0.80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
4	S.L.D.	0.80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio

Sisma + Coeff. parziali parametri geotecnici terreno + Resistenze

Nr.	Correzione Sismica	Tangente angolo di resistenza al taglio	Coesione efficace	Coesione non drenata	Peso Unità volume in fondazione	Peso unità volume copertura	Coef. Rid. Capacità portante verticale	Coef. Rid. Capacità portante orizzontale
1	No	1	1	1	1	1	2.3	1.1
2	Si	1	1	1	1	1	1.8	1.1
3	No	1	1	1	1	1	1	1
4	No	1	1	1	1	1	1	1

Geotest s.r.l. soc. unipersonale
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

5.4 Carico Limite Fondazione combinazione A1+M1+R3 (Condizione non drenata)

Autore: Brinch - Hansen 1970 (Condizione non drenata)

Fattore [Nq]	1.0
Fattore [Nc]	5.14
Fattore forma [Sc]	1.2
Fattore profondità [Dc]	1.0
Fattore inclinazione carichi [Ic]	1.0
Fattore inclinazione pendio [Gc]	1.0
Fattore inclinazione base [Bc]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zq]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zg]	1.0
Fattore correzione sismico inerziale [zc]	1.0
Carico limite	1.89 Kg/cm²
Costante di sottofondo	0.76 Kg/cm³

5.5 Stima dei Cedimenti Elastici

I cedimenti immediati di una fondazione di dimensioni B x L posta sulla superficie di un semispazio elastico si possono calcolare in base aduna equazione basata sulla teoria dell'elasticità (Timoshenko e Goodier -1951):

$$\Delta H = q_0 B' \frac{1-\mu^2}{E_S}\left(I_1 + \frac{1-2\mu}{1-\mu} I_2\right) I_F \qquad (1)$$

dove:

q0 = *Intensità della pressione di contatto*

B' = *Minima dimensione dell'area reagente,*

E e μ = *Parametri elastici del terreno.*

I_i = *Coefficienti di influenza dipendenti da: L'/B', spessore dello strato H, coefficiente di Poisson μ, profondità del piano di posa D;*

Geotest s.r.l. soc. unipersonale
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

Il modulo elastico per terreni stratificati viene calcolato come media pesata dei moduli elastici degli strati interessati dal cedimento immediato.

Pressione normale di progetto	0.8 Kg/cm²
Spessore strato	4.0 m
Profondità substrato roccioso	4.0 m
Modulo Elastico	35.0 Kg/cm²
Coefficiente di Poisson	0.35

==========

Coefficiente di influenza I1	0.29
Coefficiente di influenza I2	0.06
Coefficiente di influenza Is	0.33

==========

Cedimento al centro della fondazione *25.78 mm*

==========

Coefficiente di influenza I1	0.14
Coefficiente di influenza I2	0.08
Coefficiente di influenza Is	0.18
Cedimento al bordo	*7.39 mm*

Geotest s.r.l. *soc. unipersonale*
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

5.6 Stima dei Cedimenti Edometrici

Il calcolo dei cedimenti con l'approccio edometrico consente di valutare un cedimento di consolidazione di tipo monodimensionale, prodotto dalle tensioni indotte da un carico applicato in condizioni di espansione laterale impedita.
Il cedimento edometrico viene calcolato per stimare l'entità dei cedimenti a medio e lungo termine (Cedimento di consolidazione + Cedimento viscoso) con il Metodo logaritmico di Terzaghi.
Nel caso fondazionale ipotizzato si ottiene:

Pressione normale di progetto 0.8 Kg/cm²

Z: Profondità media dello strato; Dp: Incremento di tensione; Wc: Cedimento consolidazione; Ws:Cedimento secondario; Wt: Cedimento totale.

Strato	Z (m)	Tensione (Kg/cm²)	Dp (Kg/cm²)	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
2	3.8	0.496	0.358	Edometrico	4.8353	--	4.8353
3	7.4	0.79	0.103	Edometrico	0.3649	--	0.3649

Cedimento totale Wt = 5.2 cm

L'esame dei cedimenti è stato condotto al fine di ottenere una stima di massima dei loro termini "assoluti". In base all'ipotesi fondazionale fatta e con un carico stimato di 0.8 Kg/cm², i valori ottenuti risultano pari ad un massimo totale di circa 76.0/78.0 mm, suddivisi in 52.0 mm circa nel medio e lungo periodo e circa 25.0/26.0 mm come cedimento immediato, simultaneo alle diverse fasi di carico. Si ricorda che il margine di errore afferente la stima dei cedimenti sia piuttosto ampio in quanto si possono verificare differenze pari a circa il ± 20% o ± 30% rispetto a quanto stimato.

Si lascia comunque il compito al progettista incaricato di verificare la compatibilità tra la struttura in progetto ed i cedimenti attesi nel tempo in funzione dei reali carichi di esercizio.

Geotest s.r.l. soc. unipersonale
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

6) CONCLUSIONI

Considerate le dimensioni e la tipologia del manufatto da realizzare e valutate le risultanze delle indagini espletate si evince come lo stesso possa essere considerato, nel complesso, come **geologicamente compatibile.**

Da quanto esposto nel presente documento si evince quindi che la compatibilità dell'intervento in progetto rispetto al contesto geologico in cui si inserisce non dipende dalla tipologia deli manufatto in sé, ma piuttosto risulta subordinata ad alcune prescrizioni costruttive di seguito esposte:

- Il contesto geologico caratterizzato dalla presenza di orizzonti litologici superficiali significativamente comprimibili, potrebbe comportare cedimenti edometrici non trascurabili e, data la loro eterogenea distribuzione spaziale (verticale ed orizzontale), cedimenti differenziali altrettanto significativi. In tal caso si segnala che la tipologia fondazionale più idonea a conferire le migliori garanzie di stabilità nel tempo per il futuro manufatto sia costituita da fondazioni profonde (pali battuti o vibro-infissi o colonne jet grouting da dimensionarsi in funzione degli effettivi carichi strutturali) che possano trasferire in profondità i carichi strutturali evitando così di gravare sui livelli superficiali caratterizzati da mediocri proprietà geomeccaniche;
- Data la natura prevalentemente coesiva dei terreni costituenti il primo sottosuolo atto a sorreggere le pavimentazioni della struttura, si consiglia di mettere in atto idonee soluzioni finalizzate al miglioramento delle caratteristiche geotecniche degli stessi come, per esempio, il trattamento a calce/cemento del terreno avente lo scopo di migliorarne le proprietà geotecniche nonché di minimizzare eventuali problematiche di rigonfiamento;
- Eseguire verifiche post trattamento del rilevato atto a sorreggere la pavimentazione (prove su piastra/DPSH ecc) al fine di verificarne la corretta realizzazione;

Geotest s.r.l. *soc. unipersonale*
Servizi Geologici – Geotecnici e Geofisici
email: info@geotestsrl.com

- Per quanto possibile cercare di mantenere asciutto il terreno di fondazione, avendo una particolare cura per l'allontanamento delle acque meteoriche, da realizzarsi mediante la costruzione di un efficiente sistema di pluviali che impedisca alle acque di infiltrarsi in aderenza alla fondazione del futuro manufatto, compromettendo nel tempo la stabilità dello stesso.

Nel dichiararmi a disposizione per eventuali ulteriori delucidazioni integrative colgo l'occasione per porgere distinti saluti.

Trevozzo V.T. 09/12/2020

Geotest s.r.l.

Dott. Geologo Adriano Baldini

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale

Via E. Fermi, 113 – Trevozzo
29031 Alta Val Tidone (PC)
Tel.: 348 510 7263
info@geotestsrl.com

Servizi Geologici
Servizi Geotecnici
Servizi Geofisici

Allegato 1

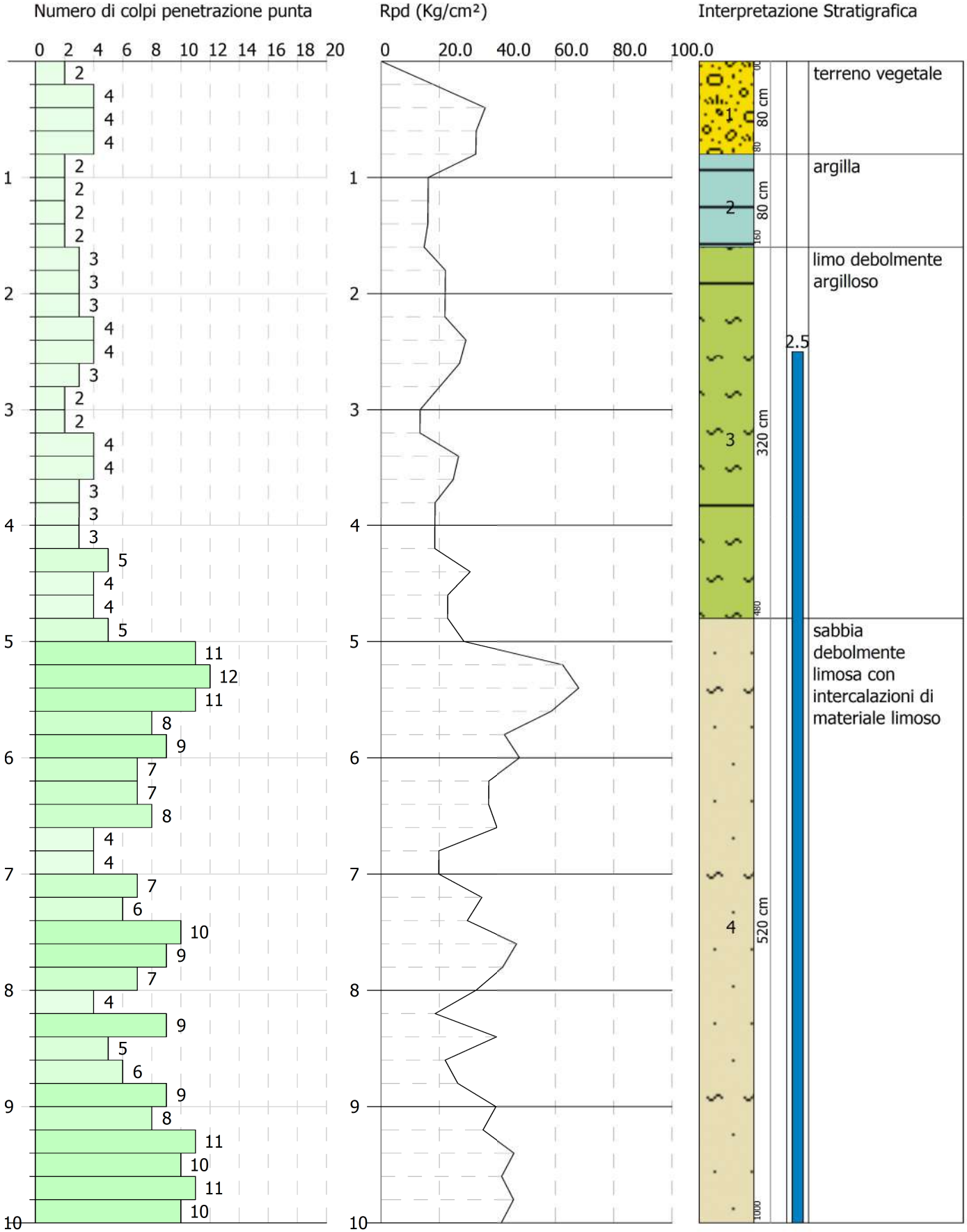
Prove Penetrometriche

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale
info@geotestsrl.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: 2K Engineering S.p.A.
Descrizione: Realizzazione di nuovo deposito (Corpo "F")
Località: Castel San Giovanni (PC)

Scala 1:47



ESECUTORE INDAGINI:

GeoTest s.r.l.

COMMITTENTE: 2K Engineering S.p.A.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	5.14	0.00-0.80	Schmertmann 1975	0.50
Strato (2) argilla	2.94	0.80-1.60	Schmertmann 1975	0.28
Strato (3) limo debolmente argilloso	4.97	1.60-4.80	Schmertmann 1975	0.48

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	5.14	0.00-0.80	Robertson (1983)	10.28
Strato (2) argilla	2.94	0.80-1.60	Robertson (1983)	5.88
Strato (3) limo debolmente argilloso	4.97	1.60-4.80	Robertson (1983)	9.94

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	5.14	0.00-0.80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	54.22
Strato (2) argilla	2.94	0.80-1.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	31.78
Strato (3) limo debolmente argilloso	4.97	1.60-4.80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	52.48

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	5.14	0.00-0.80	Apollonia	51.40
Strato (2) argilla	2.94	0.80-1.60	Apollonia	29.40
Strato (3) limo debolmente argilloso	4.97	1.60-4.80	Apollonia	49.70

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	5.14	0.00-0.80	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (2) argilla	2.94	0.80-1.60	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) limo debolmente argilloso	4.97	1.60-4.80	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	5.14	0.00-0.80	Meyerhof	1.77
Strato (2) argilla	2.94	0.80-1.60	Meyerhof	1.63
Strato (3) limo debolmente argilloso	4.97	1.60-4.80	Meyerhof	1.76

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	5.14	0.00-0.80	Meyerhof	1.88
Strato (2) argilla	2.94	0.80-1.60	Meyerhof	1.86
Strato (3) limo debolmente argilloso	4.97	1.60-4.80	Meyerhof	1.88

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.76	4.80-10.00	11.76	Skempton 1986	36.75

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.76	4.80-10.00	11.76	Malcev (1964)	29.11

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.76	4.80-10.00	11.76	Schmertmann (1978) (Sabbie)	94.08

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.76	4.80-10.00	11.76	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	90.45

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.76	4.80-10.00	11.76	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.76	4.80-10.00	11.76	Meyerhof et al.	1.79

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.76	4.80-10.00	11.76	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.93

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.76	4.80-10.00	11.76	(A.G.I.)	0.33

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.76	4.80-10.00	11.76	Ohsaki (Sabbie pulite)	659.32

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.76	4.80-10.00	11.76	Seed e Idriss (1971)	1.127

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.76	4.80-10.00	11.76	Navfac 1971-1982	2.47

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

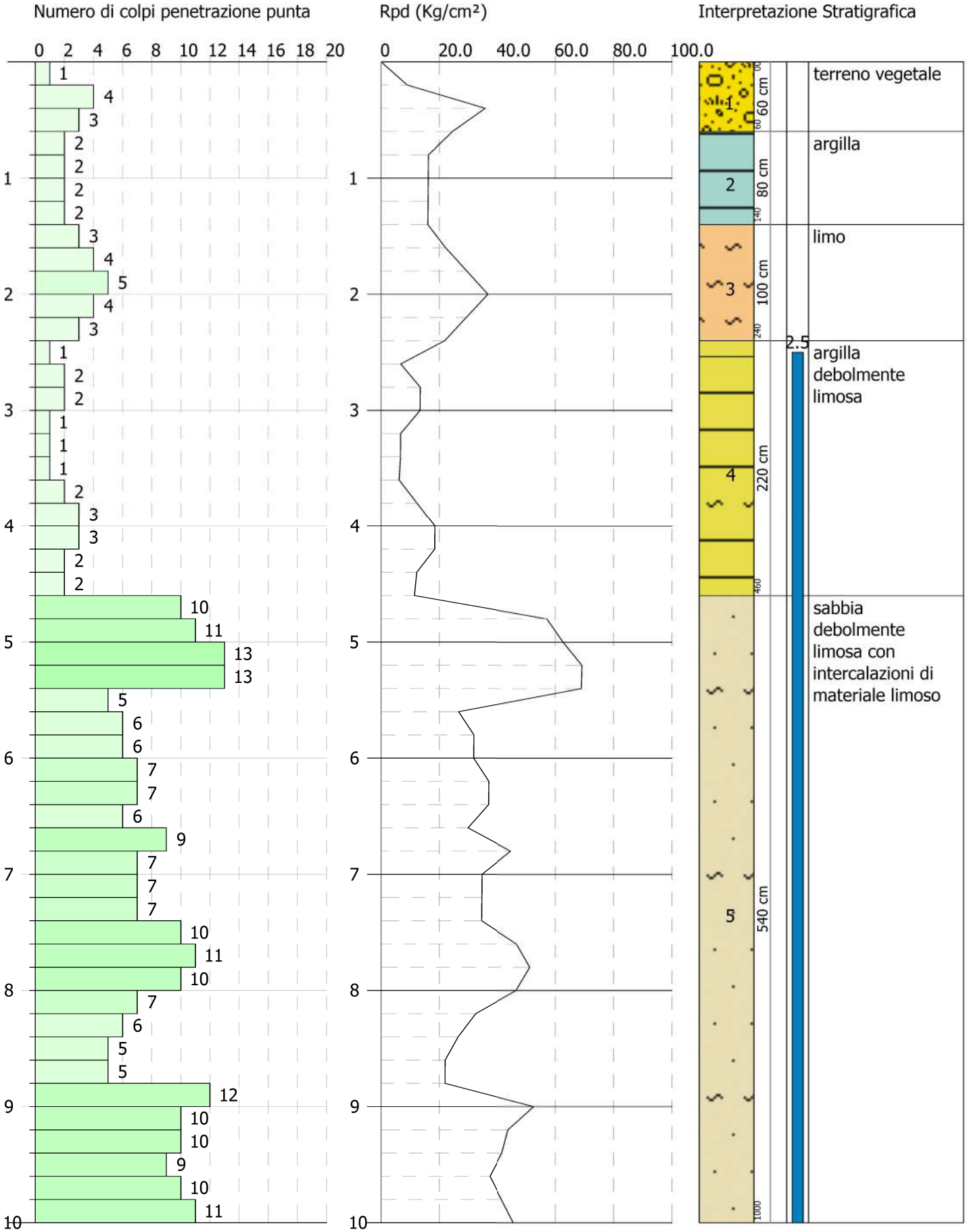
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.76	4.80-10.00	11.76	Robertson 1983	23.52

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale
info@geotestsrl.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: 2K Engineering S.p.A.
Descrizione: Realizzazione di nuovo deposito (Corpo "F")
Località: Castel San Giovanni (PC)

Scala 1:47



ESECUTORE INDAGINI:

GeoTest s.r.l.

COMMITTENTE: 2K Engineering S.p.A.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 2

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	3.92	0.00-0.60	Schmertmann 1975	0.38
Strato (2) argilla	2.94	0.60-1.40	Schmertmann 1975	0.28
Strato (3) limo	5.59	1.40-2.40	Schmertmann 1975	0.55
Strato (4) argilla debolmente limosa	2.68	2.40-4.60	Schmertmann 1975	0.26

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	3.92	0.00-0.60	Robertson (1983)	7.84
Strato (2) argilla	2.94	0.60-1.40	Robertson (1983)	5.88
Strato (3) limo	5.59	1.40-2.40	Robertson (1983)	11.18
Strato (4) argilla debolmente limosa	2.68	2.40-4.60	Robertson (1983)	5.36

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	3.92	0.00-0.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	41.77
Strato (2) argilla	2.94	0.60-1.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	31.78
Strato (3) limo	5.59	1.40-2.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	58.81
Strato (4) argilla debolmente limosa	2.68	2.40-4.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	29.13

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	3.92	0.00-0.60	Apollonia	39.20
Strato (2) argilla	2.94	0.60-1.40	Apollonia	29.40
Strato (3) limo	5.59	1.40-2.40	Apollonia	55.90
Strato (4) argilla debolmente limosa	2.68	2.40-4.60	Apollonia	26.80

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	3.92	0.00-0.60	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (2) argilla	2.94	0.60-1.40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) limo	5.59	1.40-2.40	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (4) argilla debolmente limosa	2.68	2.40-4.60	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	3.92	0.00-0.60	Meyerhof	1.69
Strato (2) argilla	2.94	0.60-1.40	Meyerhof	1.63
Strato (3) limo	5.59	1.40-2.40	Meyerhof	1.79
Strato (4) argilla debolmente limosa	2.68	2.40-4.60	Meyerhof	1.61

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	3.92	0.00-0.60	Meyerhof	1.87
Strato (2) argilla	2.94	0.60-1.40	Meyerhof	1.86
Strato (3) limo	5.59	1.40-2.40	Meyerhof	1.88
Strato (4) argilla debolmente limosa	2.68	2.40-4.60	Meyerhof	1.86

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (5) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.52	4.60-10.00	12.52	Skempton 1986	38.29

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (5) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.52	4.60-10.00	12.52	Malcev (1964)	29.23

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (5) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.52	4.60-10.00	12.52	Schmertmann (1978) (Sabbie)	100.16

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (5) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.52	4.60-10.00	12.52	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	93.84

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (5) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.52	4.60-10.00	12.52	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (5) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.52	4.60-10.00	12.52	Meyerhof et al.	1.81

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (5) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.52	4.60-10.00	12.52	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.93

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (5) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.52	4.60-10.00	12.52	(A.G.I.)	0.33

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (5) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.52	4.60-10.00	12.52	Ohsaki (Sabbie pulite)	699.30

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (5) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.52	4.60-10.00	12.52	Seed e Idriss (1971)	1.183

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (5) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.52	4.60-10.00	12.52	Navfac 1971-1982	2.63

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

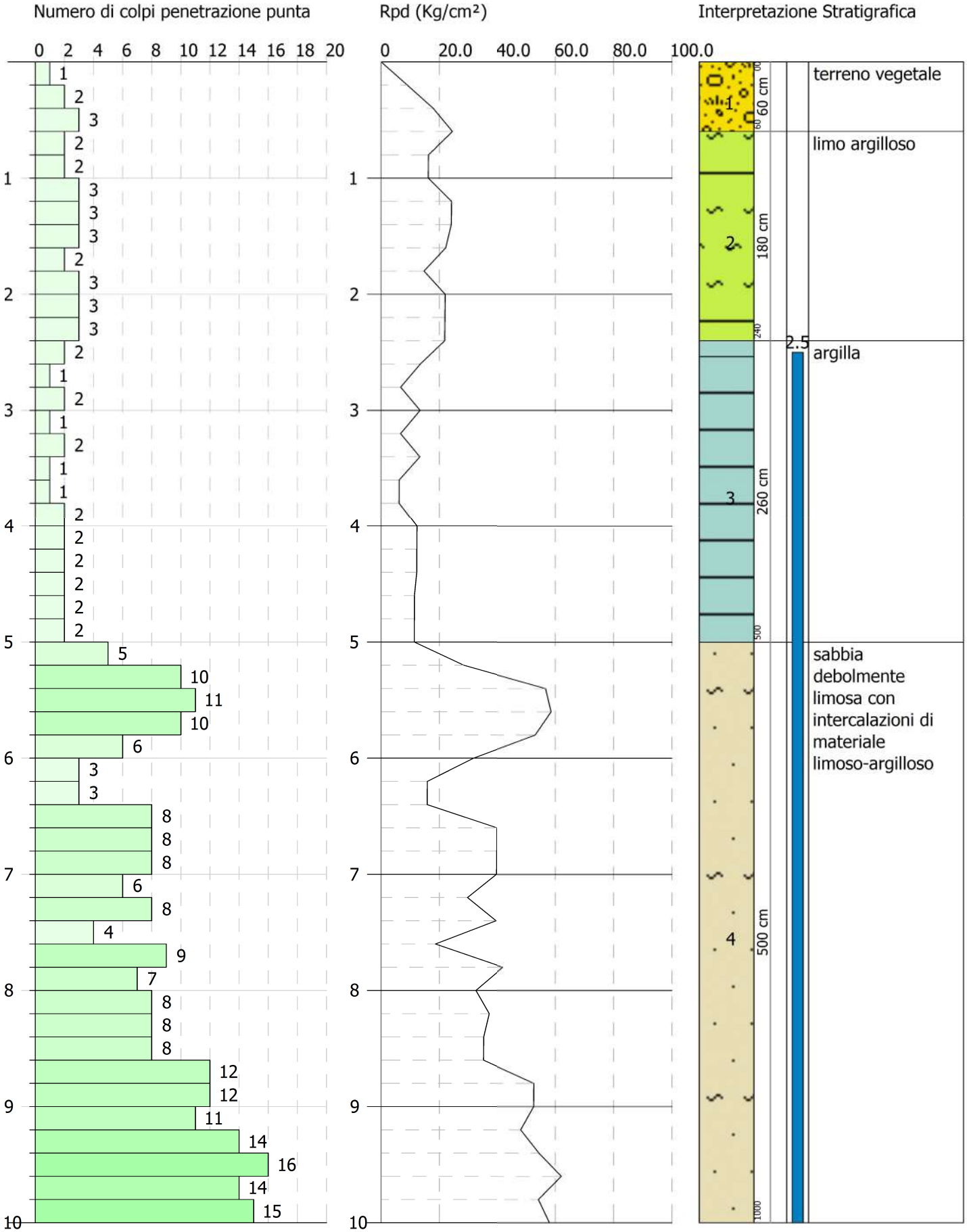
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (5) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.52	4.60-10.00	12.52	Robertson 1983	25.04

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale
info@geotestsrl.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: 2K Engineering S.p.A.
Descrizione: Realizzazione di nuovo deposito (Corpo "F")
Località: Castel San Giovanni (PC)

Scala 1:47



ESECUTORE INDAGINI:

GeoTest s.r.l.

COMMITTENTE: 2K Engineering S.p.A.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 3

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.60	Schmertmann 1975	0.28
Strato (2) limo argilloso	3.92	0.60-2.40	Schmertmann 1975	0.38
Strato (3) argilla	2.48	2.40-5.00	Schmertmann 1975	0.24

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.60	Robertson (1983)	5.88
Strato (2) limo argilloso	3.92	0.60-2.40	Robertson (1983)	7.84
Strato (3) argilla	2.48	2.40-5.00	Robertson (1983)	4.96

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	31.78
Strato (2) limo argilloso	3.92	0.60-2.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	41.77
Strato (3) argilla	2.48	2.40-5.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	27.09

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.60	Apollonia	29.40
Strato (2) limo argilloso	3.92	0.60-2.40	Apollonia	39.20
Strato (3) argilla	2.48	2.40-5.00	Apollonia	24.80

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.60	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (2) limo argilloso	3.92	0.60-2.40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) argilla	2.48	2.40-5.00	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.60	Meyerhof	1.63
Strato (2) limo argilloso	3.92	0.60-2.40	Meyerhof	1.69
Strato (3) argilla	2.48	2.40-5.00	Meyerhof	1.60

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.60	Meyerhof	1.86
Strato (2) limo argilloso	3.92	0.60-2.40	Meyerhof	1.87
Strato (3) argilla	2.48	2.40-5.00	Meyerhof	1.86

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	13.17	5.00-10.00	13.17	Skempton 1986	39.57

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	13.17	5.00-10.00	13.17	Malcev (1964)	29.3

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	13.17	5.00-10.00	13.17	Schmertmann (1978) (Sabbie)	105.36

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	13.17	5.00-10.00	13.17	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	96.74

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	13.17	5.00-10.00	13.17	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	13.17	5.00-10.00	13.17	Meyerhof et al.	1.83

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	13.17	5.00-10.00	13.17	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.94

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	13.17	5.00-10.00	13.17	(A.G.I.)	0.33

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	13.17	5.00-10.00	13.17	Ohsaki (Sabbie pulite)	733.37

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	13.17	5.00-10.00	13.17	Seed e Idriss (1971)	1.215

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	13.17	5.00-10.00	13.17	Navfac 1971-1982	2.76

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

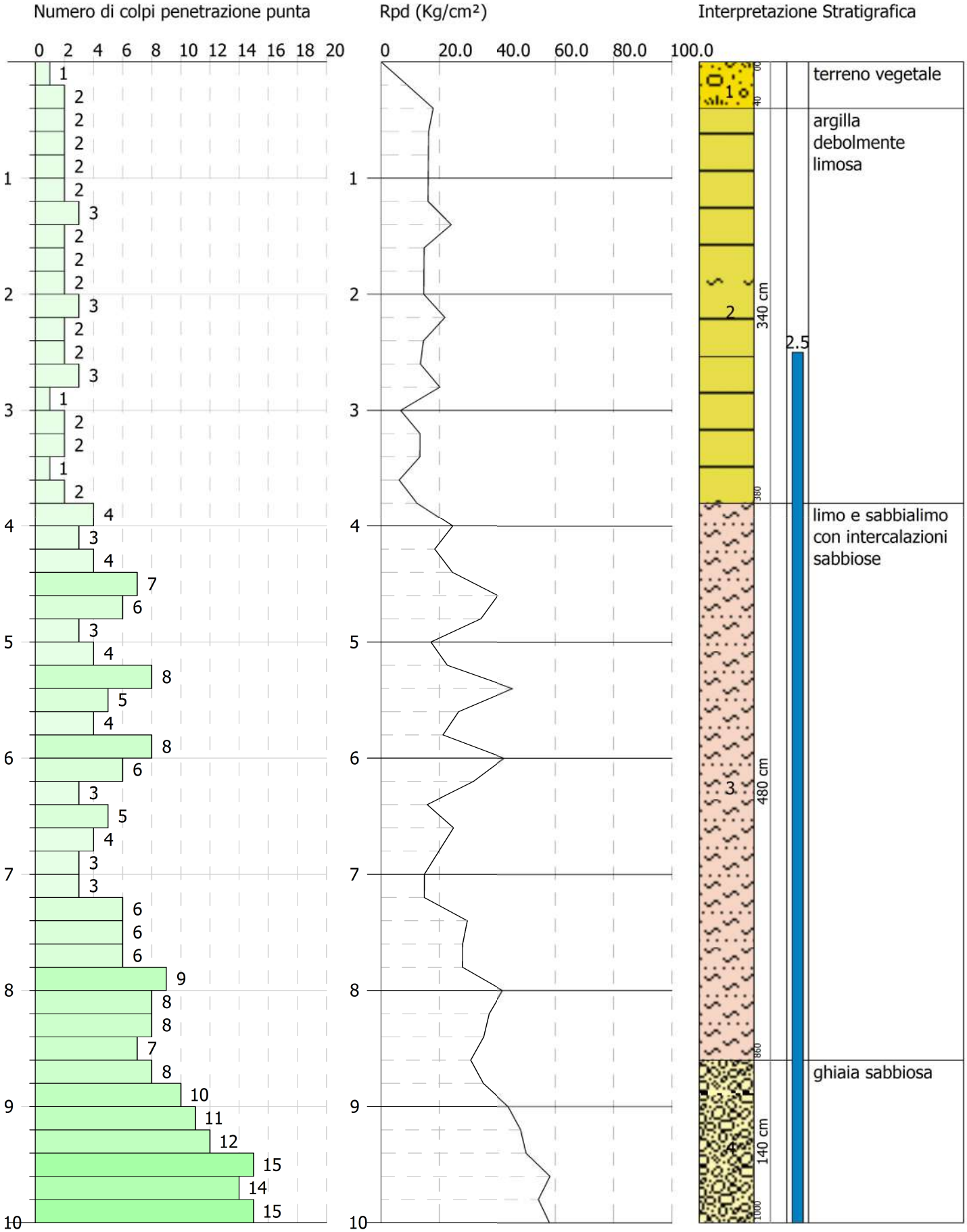
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	13.17	5.00-10.00	13.17	Robertson 1983	26.34

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale
info@geotestsrl.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: 2K Engineering S.p.A.
Descrizione: Realizzazione di nuovo deposito (Corpo "F")
Località: Castel San Giovanni (PC)

Scala 1:47



ESECUTORE INDAGINI:

GeoTest s.r.l.

COMMITTENTE: 2K Engineering S.p.A.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 4

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.40	Schmertmann 1975	0.21
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.03	0.40-3.80	Schmertmann 1975	0.29
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	Schmertmann 1975	0.78

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.40	Robertson (1983)	4.40
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.03	0.40-3.80	Robertson (1983)	6.06
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	Robertson (1983)	15.94

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	24.23
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.03	0.40-3.80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	32.70
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	83.08

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.40	Apollonia	22.00
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.03	0.40-3.80	Apollonia	30.30
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	Apollonia	79.70

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.03	0.40-3.80	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.40	Meyerhof	1.58
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.03	0.40-3.80	Meyerhof	1.64
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	Meyerhof	1.90

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.40	Meyerhof	1.85
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.03	0.40-3.80	Meyerhof	1.86
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	Meyerhof	1.91

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	7.97	Skempton 1986	28.33
Strato (4) ghiaia sabbiosa	17.85	8.60-10.00	16.43	Skempton 1986	45.53

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	7.97	Malcev (1964)	29.02
Strato (4) ghiaia sabbiosa	17.85	8.60-10.00	16.43	Malcev (1964)	29.8

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	7.97	Schmertmann (1978) (Sabbie)	63.76
Strato (4) ghiaia sabbiosa	17.85	8.60-10.00	16.43	Schmertmann (1978) (Sabbie)	131.40

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	7.97	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	73.55
Strato (4) ghiaia sabbiosa	17.85	8.60-10.00	16.43	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	111.26

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	7.97	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4) ghiaia sabbiosa	17.85	8.60-10.00	16.43	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	7.97	Meyerhof et al.	1.66
Strato (4) ghiaia sabbiosa	17.85	8.60-10.00	16.43	Meyerhof et al.	1.92

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	7.97	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.91
Strato (4) ghiaia sabbiosa	17.85	8.60-10.00	16.43	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.96

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	7.97	(A.G.I.)	0.34
Strato (4) ghiaia sabbiosa	17.85	8.60-10.00	16.43	(A.G.I.)	0.32

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	7.97	Ohsaki (Sabbie pulite)	457.39
Strato (4) ghiaia sabbiosa	17.85	8.60-10.00	16.43	Ohsaki (Sabbie pulite)	902.59

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	7.97	Seed e Idriss (1971)	0.966
Strato (4) ghiaia sabbiosa	17.85	8.60-10.00	16.43	Seed e Idriss (1971)	1.475

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	7.97	Navfac 1971-1982	1.66
Strato (4) ghiaia sabbiosa	17.85	8.60-10.00	16.43	Navfac 1971-1982	3.40

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

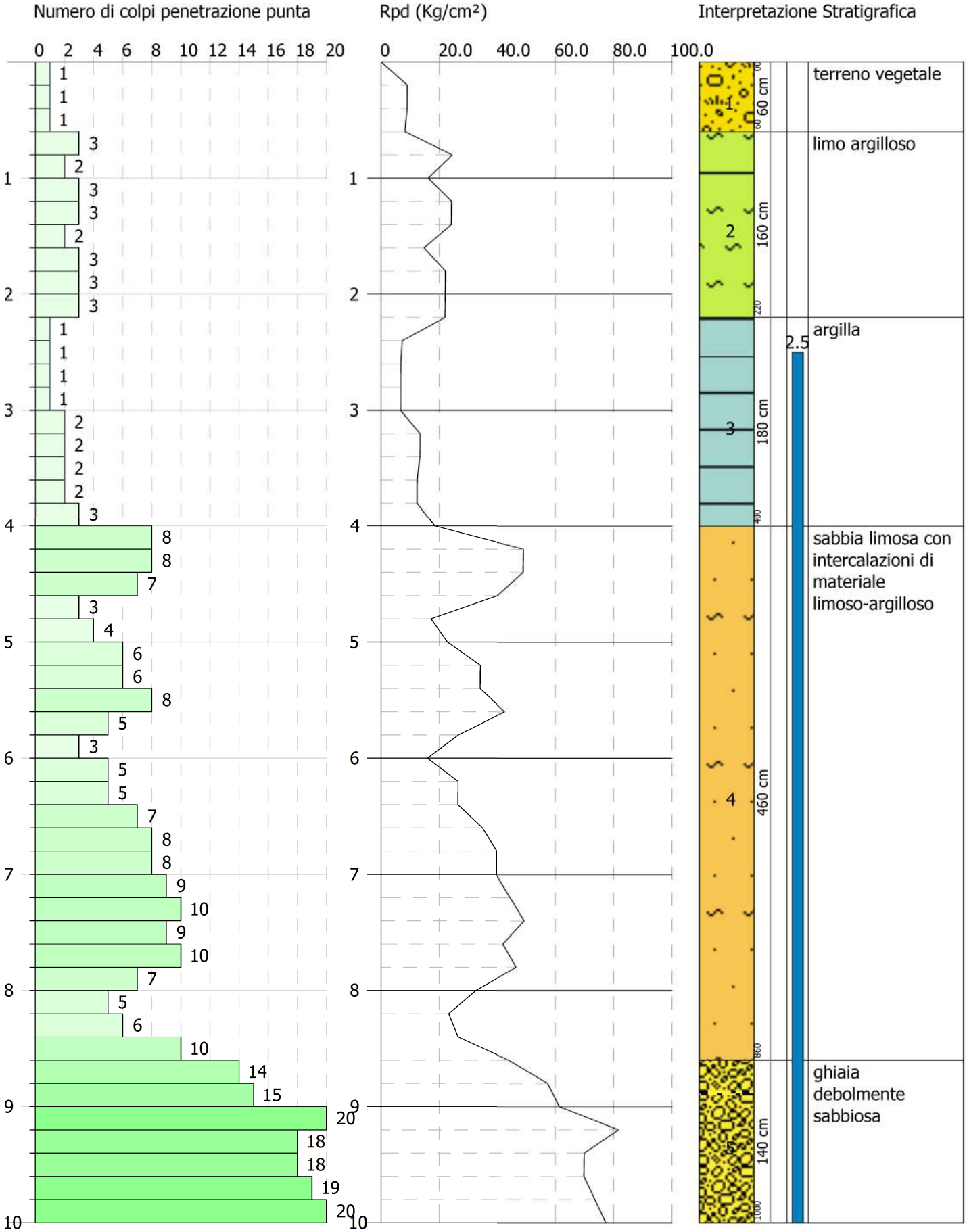
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (3) limo e sabbialimo con intercalazioni sabbiose	7.97	3.80-8.60	7.97	Robertson 1983	15.94
Strato (4) ghiaia sabbiosa	17.85	8.60-10.00	16.43	Robertson 1983	32.85

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale
info@geotestsrl.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.5
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: 2K Engineering S.p.A.
Descrizione: Realizzazione di nuovo deposito (Corpo "F")
Località: Castel San Giovanni (PC)

Scala 1:47



ESECUTORE INDAGINI:
GeoTest s.r.l.

COMMITTENTE: 2K Engineering S.p.A.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 5

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.60	Schmertmann 1975	0.14
Strato (2) limo argilloso	4.04	0.60-2.20	Schmertmann 1975	0.39
Strato (3) argilla	2.45	2.20-4.00	Schmertmann 1975	0.24
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	Schmertmann 1975	0.99

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.60	Robertson (1983)	2.94
Strato (2) limo argilloso	4.04	0.60-2.20	Robertson (1983)	8.08
Strato (3) argilla	2.45	2.20-4.00	Robertson (1983)	4.90
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	Robertson (1983)	20.08

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	16.79
Strato (2) limo argilloso	4.04	0.60-2.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	43.00
Strato (3) argilla	2.45	2.20-4.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	26.78
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	104.19

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.60	Apollonia	14.70
Strato (2) limo argilloso	4.04	0.60-2.20	Apollonia	40.40
Strato (3) argilla	2.45	2.20-4.00	Apollonia	24.50
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	Apollonia	100.40

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.60	A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato (2) limo argilloso	4.04	0.60-2.20	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (3) argilla	2.45	2.20-4.00	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.60	Meyerhof	1.52
Strato (2) limo argilloso	4.04	0.60-2.20	Meyerhof	1.70
Strato (3) argilla	2.45	2.20-4.00	Meyerhof	1.60
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	Meyerhof	1.97

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.60	Meyerhof	1.85
Strato (2) limo argilloso	4.04	0.60-2.20	Meyerhof	1.87
Strato (3) argilla	2.45	2.20-4.00	Meyerhof	1.86
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	Meyerhof	2.17

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	10.04	Skempton 1986	33.08
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	26.03	8.60-10.00	20.52	Skempton 1986	51.99

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	10.04	Malcev (1964)	29.2
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	26.03	8.60-10.00	20.52	Malcev (1964)	29.88

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	10.04	Schmertmann (1978) (Sabbie)	80.32
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	26.03	8.60-10.00	20.52	Schmertmann (1978) (Sabbie)	164.12

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	10.04	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	82.78
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	26.03	8.60-10.00	20.52	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	129.50

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	10.04	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	26.03	8.60-10.00	20.52	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	10.04	Meyerhof et al.	1.73
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	26.03	8.60-10.00	20.52	Meyerhof et al.	2.00

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	10.04	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.92
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	26.03	8.60-10.00	20.52	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.98

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	10.04	(A.G.I.)	0.33
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	26.03	8.60-10.00	20.52	(A.G.I.)	0.31

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	10.04	Ohsaki (Sabbie pulite)	568.25
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	26.03	8.60-10.00	20.52	Ohsaki (Sabbie pulite)	1112.40

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	10.04	Seed e Idriss (1971)	1.094
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	26.03	8.60-10.00	20.52	Seed e Idriss (1971)	2.225

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	10.04	Navfac 1971-1982	2.11
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	26.03	8.60-10.00	20.52	Navfac 1971-1982	4.14

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

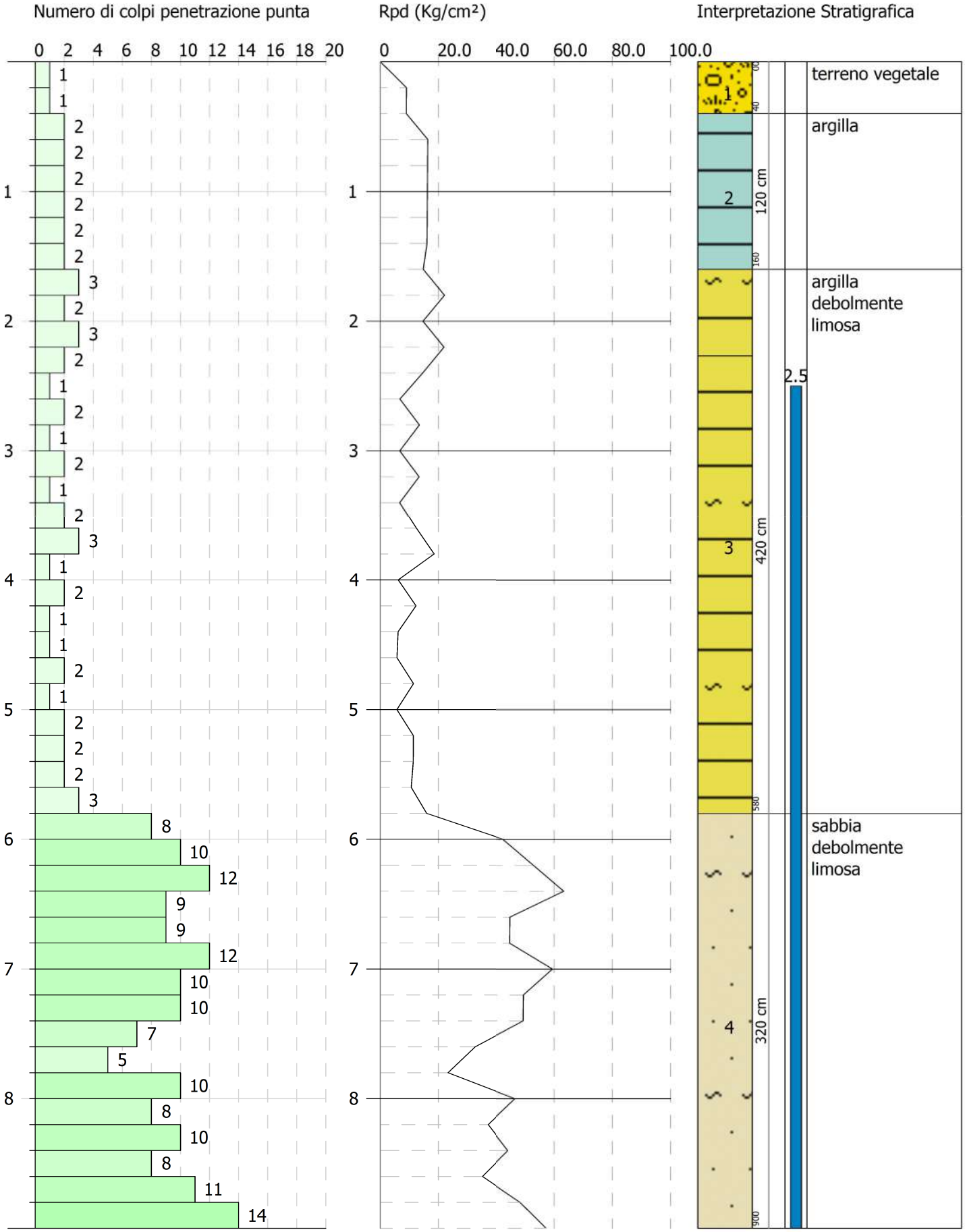
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso-argilloso	10.04	4.00-8.60	10.04	Robertson 1983	20.08
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	26.03	8.60-10.00	20.52	Robertson 1983	41.03

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale
info@geotestsrl.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.7
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: 2K Engineering S.p.A.
Descrizione: Realizzazione di nuovo deposito (Corpo "F")
Località: Castel San Giovanni (PC)

Scala 1:42



ESECUTORE INDAGINI:
GeoTest s.r.l.

COMMITTENTE: 2K Engineering S.p.A.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 7

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Schmertmann 1975	0.14
Strato (2) argilla	2.94	0.40-1.60	Schmertmann 1975	0.28
Strato (3) argilla debolmente limosa	2.73	1.60-5.80	Schmertmann 1975	0.26

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Robertson (1983)	2.94
Strato (2) argilla	2.94	0.40-1.60	Robertson (1983)	5.88
Strato (3) argilla debolmente limosa	2.73	1.60-5.80	Robertson (1983)	5.46

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	16.79
Strato (2) argilla	2.94	0.40-1.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	31.78
Strato (3) argilla debolmente limosa	2.73	1.60-5.80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	29.64

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Apollonia	14.70
Strato (2) argilla	2.94	0.40-1.60	Apollonia	29.40
Strato (3) argilla debolmente limosa	2.73	1.60-5.80	Apollonia	27.30

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato (2) argilla	2.94	0.40-1.60	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) argilla debolmente limosa	2.73	1.60-5.80	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Meyerhof	1.52
Strato (2) argilla	2.94	0.40-1.60	Meyerhof	1.63
Strato (3) argilla debolmente limosa	2.73	1.60-5.80	Meyerhof	1.62

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Meyerhof	1.85
Strato (2) argilla	2.94	0.40-1.60	Meyerhof	1.86
Strato (3) argilla debolmente limosa	2.73	1.60-5.80	Meyerhof	1.86

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (4) sabbia debolmente limosa	14.05	5.80-9.00	14.05	Skempton 1986	41.26

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (4) sabbia debolmente limosa	14.05	5.80-9.00	14.05	Malcev (1964)	29.54

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa	14.05	5.80-9.00	14.05	Schmertmann (1978) (Sabbie)	112.40

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa	14.05	5.80-9.00	14.05	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	100.66

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (4) sabbia debolmente limosa	14.05	5.80-9.00	14.05	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (4) sabbia debolmente limosa	14.05	5.80-9.00	14.05	Meyerhof et al.	1.85

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (4) sabbia debolmente limosa	14.05	5.80-9.00	14.05	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.94

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (4) sabbia debolmente limosa	14.05	5.80-9.00	14.05	(A.G.I.)	0.33

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa	14.05	5.80-9.00	14.05	Ohsaki (Sabbie pulite)	779.34

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (4) sabbia debolmente limosa	14.05	5.80-9.00	14.05	Seed e Idriss (1971)	1.309

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (4) sabbia debolmente limosa	14.05	5.80-9.00	14.05	Navfac 1971-1982	2.94

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

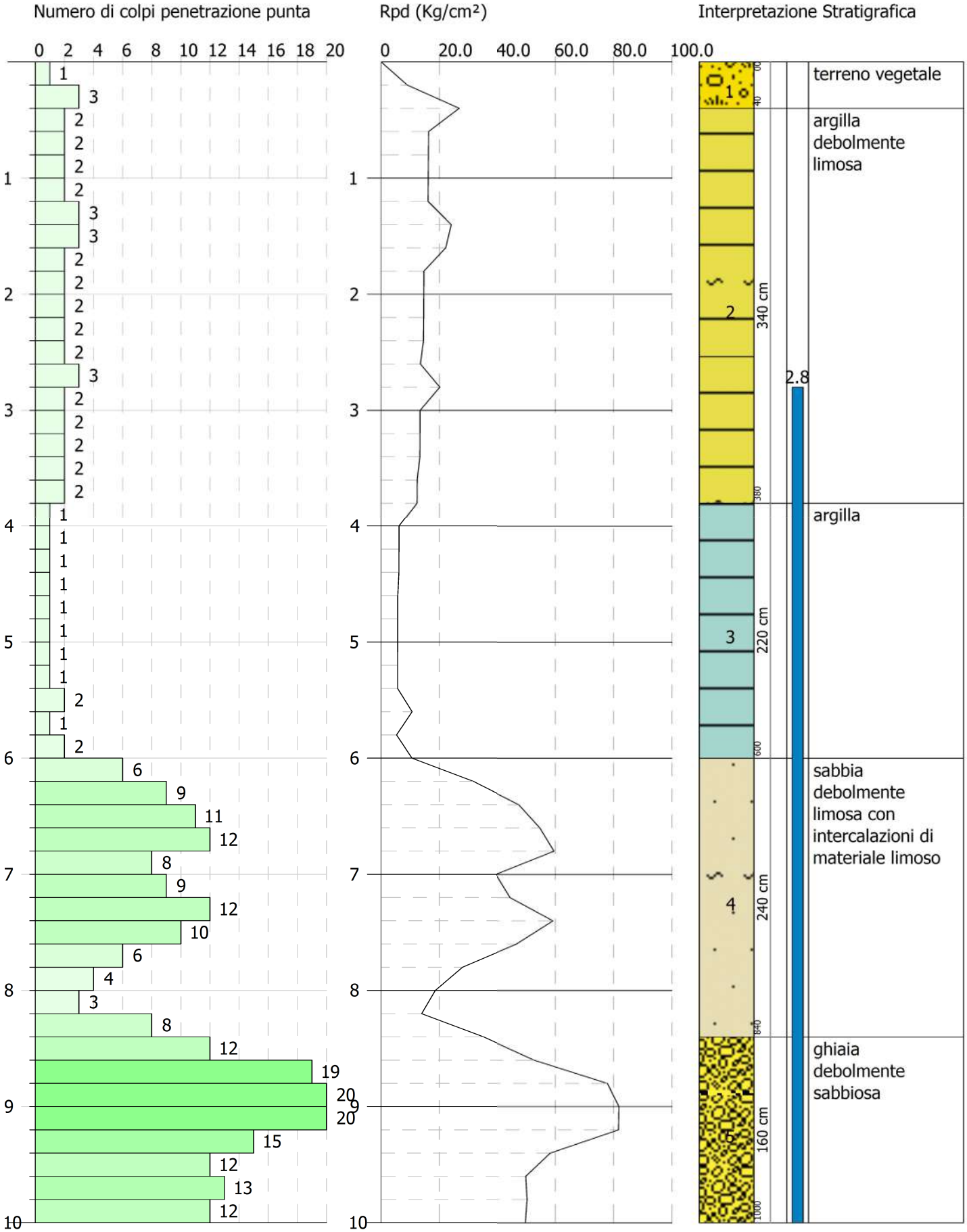
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa	14.05	5.80-9.00	14.05	Robertson 1983	28.10

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale
info@geotestsrl.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.8
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: 2K Engineering S.p.A.
Descrizione: Realizzazione di nuovo deposito (Corpo "F")
Località: Castel San Giovanni (PC)

Scala 1:47



ESECUTORE INDAGINI:

GeoTest s.r.l.

COMMITTENTE: 2K Engineering S.p.A.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 8

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.40	Schmertmann 1975	0.28
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.20	0.40-3.80	Schmertmann 1975	0.31
Strato (3) argilla	1.73	3.80-6.00	Schmertmann 1975	0.17

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.40	Robertson (1983)	5.88
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.20	0.40-3.80	Robertson (1983)	6.40
Strato (3) argilla	1.73	3.80-6.00	Robertson (1983)	3.46

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	31.78
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.20	0.40-3.80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	34.43
Strato (3) argilla	1.73	3.80-6.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	19.44

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.40	Apollonia	29.40
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.20	0.40-3.80	Apollonia	32.00
Strato (3) argilla	1.73	3.80-6.00	Apollonia	17.30

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.20	0.40-3.80	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) argilla	1.73	3.80-6.00	A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.40	Meyerhof	1.63
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.20	0.40-3.80	Meyerhof	1.65
Strato (3) argilla	1.73	3.80-6.00	Meyerhof	1.54

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.40	Meyerhof	1.86
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.20	0.40-3.80	Meyerhof	1.86
Strato (3) argilla	1.73	3.80-6.00	Meyerhof	1.85

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.01	6.00-8.40	12.01	Skempton 1986	37.26
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	22.61	8.40-10.00	18.81	Skempton 1986	49.42

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.01	6.00-8.40	12.01	Malcev (1964)	29.3
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	22.61	8.40-10.00	18.81	Malcev (1964)	29.87

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.01	6.00-8.40	12.01	Schmertmann (1978) (Sabbie)	96.08
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	22.61	8.40-10.00	18.81	Schmertmann (1978) (Sabbie)	150.44

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.01	6.00-8.40	12.01	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	91.56
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	22.61	8.40-10.00	18.81	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	121.87

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.01	6.00-8.40	12.01	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	22.61	8.40-10.00	18.81	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.01	6.00-8.40	12.01	Meyerhof et al.	1.80
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	22.61	8.40-10.00	18.81	Meyerhof et al.	1.97

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.01	6.00-8.40	12.01	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.93
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	22.61	8.40-10.00	18.81	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.97

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.01	6.00-8.40	12.01	(A.G.I.)	0.33
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	22.61	8.40-10.00	18.81	(A.G.I.)	0.32

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.01	6.00-8.40	12.01	Ohsaki (Sabbie pulite)	672.49
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	22.61	8.40-10.00	18.81	Ohsaki (Sabbie pulite)	1025.02

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.01	6.00-8.40	12.01	Seed e Idriss (1971)	1.185
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	22.61	8.40-10.00	18.81	Seed e Idriss (1971)	1.923

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.01	6.00-8.40	12.01	Navfac 1971-1982	2.52
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	22.61	8.40-10.00	18.81	Navfac 1971-1982	3.84

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

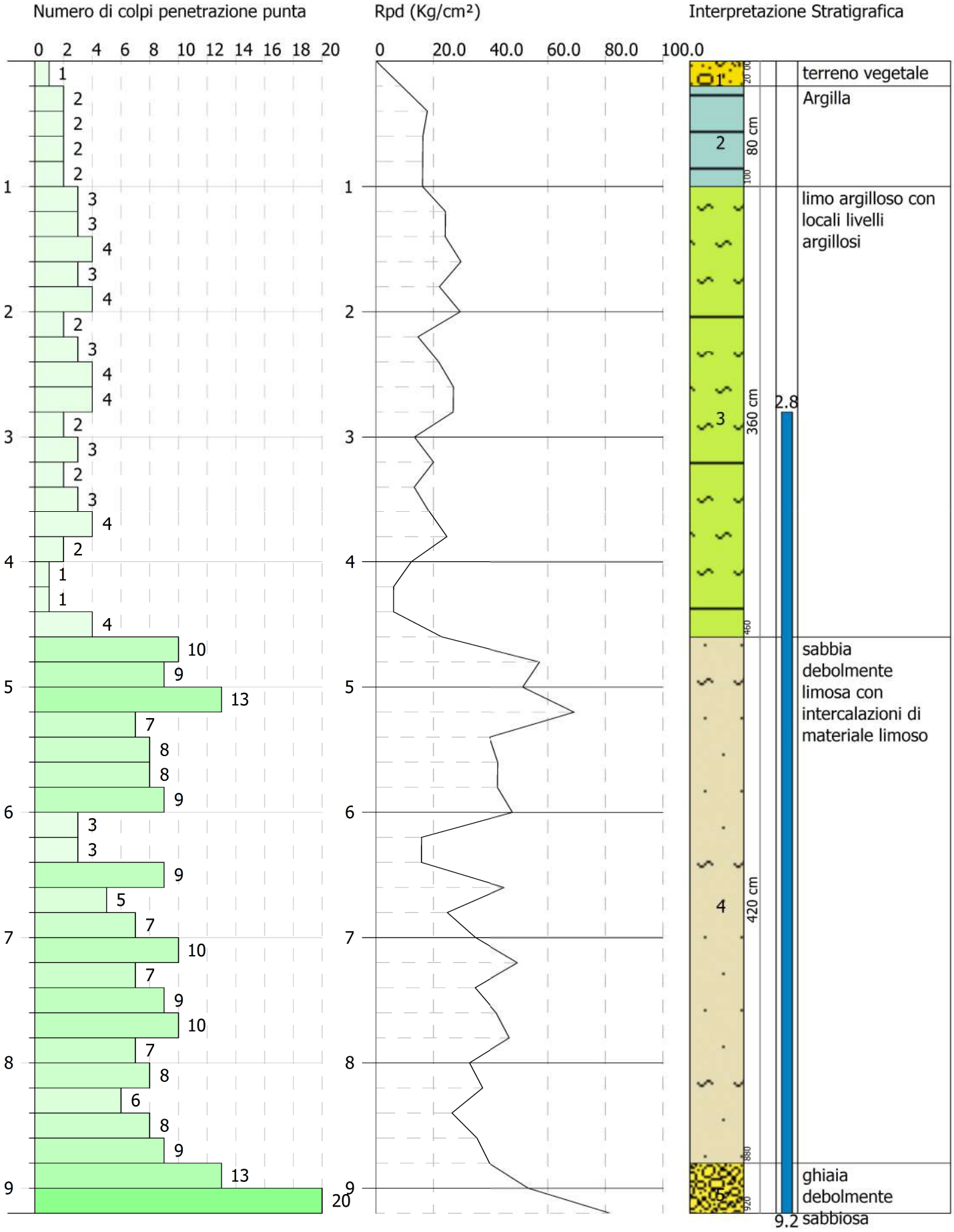
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	12.01	6.00-8.40	12.01	Robertson 1983	24.02
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	22.61	8.40-10.00	18.81	Robertson 1983	37.61

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale
info@geotestsrl.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.9
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: 2K Engineering S.p.A.
Descrizione: Realizzazione di nuovo deposito (Corpo "F")
Località: Castel San Giovanni (PC)

Scala 1:43



ESECUTORE INDAGINI:
GeoTest s.r.l.

COMMITTENTE: 2K Engineering S.p.A.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 9

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.20	Schmertmann 1975	0.14
Strato (2) Argilla	2.94	0.20-1.00	Schmertmann 1975	0.28
Strato (3) limo argilloso con locali livelli argillosi	4.25	1.00-4.60	Schmertmann 1975	0.41

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.20	Robertson (1983)	2.94
Strato (2) Argilla	2.94	0.20-1.00	Robertson (1983)	5.88
Strato (3) limo argilloso con locali livelli argillosi	4.25	1.00-4.60	Robertson (1983)	8.50

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	16.79
Strato (2) Argilla	2.94	0.20-1.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	31.78
Strato (3) limo argilloso con locali livelli argillosi	4.25	1.00-4.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	45.14

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.20	Apollonia	14.70
Strato (2) Argilla	2.94	0.20-1.00	Apollonia	29.40
Strato (3) limo argilloso con locali livelli argillosi	4.25	1.00-4.60	Apollonia	42.50

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.20	A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato (2) Argilla	2.94	0.20-1.00	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) limo argilloso con locali livelli argillosi	4.25	1.00-4.60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.20	Meyerhof	1.52
Strato (2) Argilla	2.94	0.20-1.00	Meyerhof	1.63
Strato (3) limo argilloso con locali livelli argillosi	4.25	1.00-4.60	Meyerhof	1.72

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.20	Meyerhof	1.85
Strato (2) Argilla	2.94	0.20-1.00	Meyerhof	1.86
Strato (3) limo argilloso con locali livelli argillosi	4.25	1.00-4.60	Meyerhof	1.87

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.55	4.60-8.80	11.55	Skempton 1986	36.31
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	24.26	8.80-9.20	19.63	Skempton 1986	50.68

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.55	4.60-8.80	11.55	Malcev (1964)	29.24
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	24.26	8.80-9.20	19.63	Malcev (1964)	29.51

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.55	4.60-8.80	11.55	Schmertmann (1978) (Sabbie)	92.40
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	24.26	8.80-9.20	19.63	Schmertmann (1978) (Sabbie)	157.04

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.55	4.60-8.80	11.55	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	89.51
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	24.26	8.80-9.20	19.63	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	125.55

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.55	4.60-8.80	11.55	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	24.26	8.80-9.20	19.63	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.55	4.60-8.80	11.55	Meyerhof et al.	1.78
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	24.26	8.80-9.20	19.63	Meyerhof et al.	1.99

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.55	4.60-8.80	11.55	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.93
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	24.26	8.80-9.20	19.63	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.98

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.55	4.60-8.80	11.55	(A.G.I.)	0.33
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	24.26	8.80-9.20	19.63	(A.G.I.)	0.32

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.55	4.60-8.80	11.55	Ohsaki (Sabbie pulite)	648.25
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	24.26	8.80-9.20	19.63	Ohsaki (Sabbie pulite)	1067.23

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.55	4.60-8.80	11.55	Seed e Idriss (1971)	1.189
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	24.26	8.80-9.20	19.63	Seed e Idriss (1971)	1.758

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.55	4.60-8.80	11.55	Navfac 1971-1982	2.43
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	24.26	8.80-9.20	19.63	Navfac 1971-1982	3.98

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

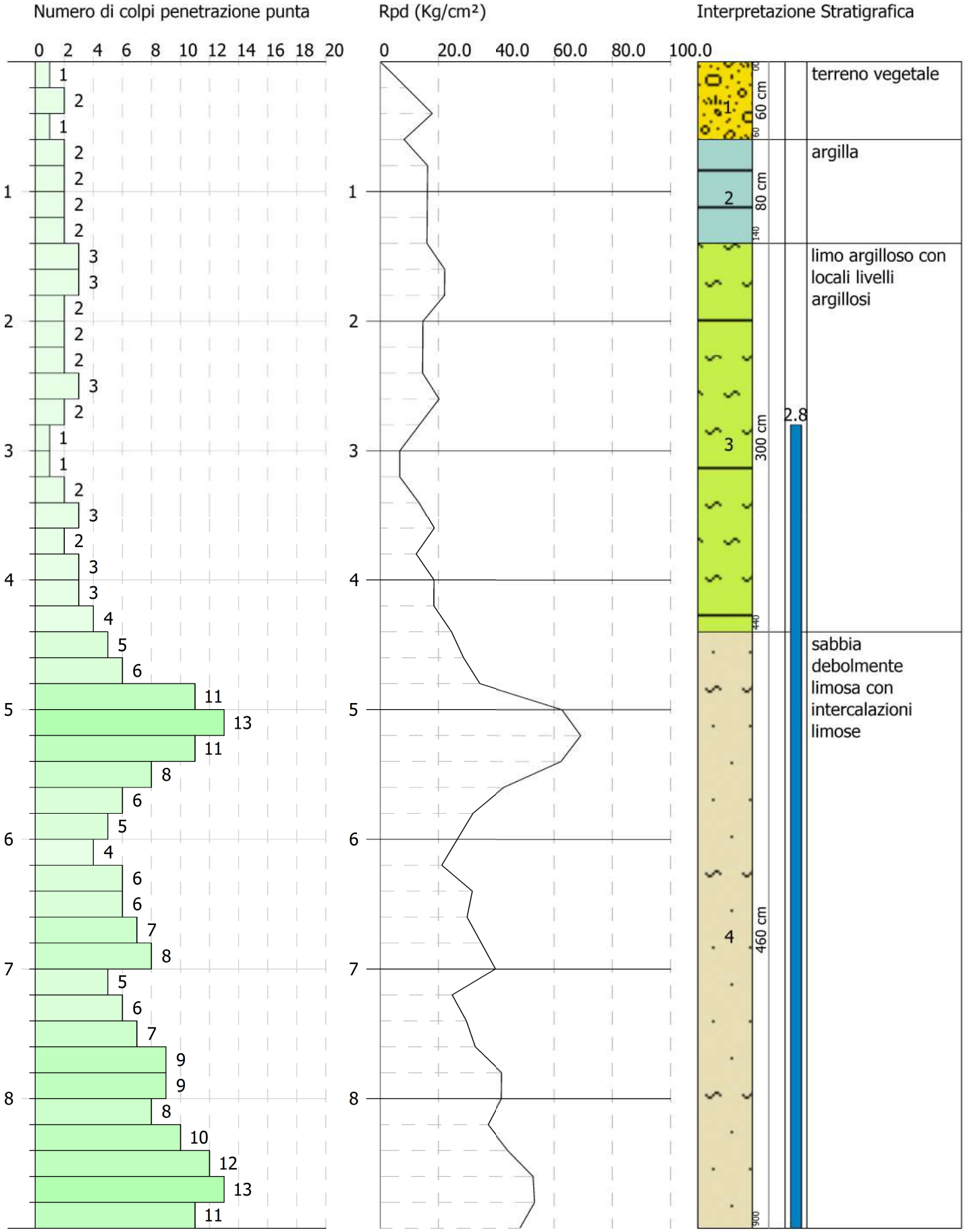
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni di materiale limoso	11.55	4.60-8.80	11.55	Robertson 1983	23.10
Strato (5) ghiaia debolmente sabbiosa	24.26	8.80-9.20	19.63	Robertson 1983	39.26

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale
info@geotestsrl.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.10
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: 2K Engineering S.p.A.
Descrizione: Realizzazione di nuovo deposito (Corpo "F")
Località: Castel San Giovanni (PC)

Scala 1:42



ESECUTORE INDAGINI:
GeoTest s.r.l.

COMMITTENTE: 2K Engineering S.p.A.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 10

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	1.96	0.00-0.60	Schmertmann 1975	0.19
Strato (2) argilla	2.94	0.60-1.40	Schmertmann 1975	0.28
Strato (3) limo argilloso con locali livelli argillosi	3.53	1.40-4.40	Schmertmann 1975	0.34

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	1.96	0.00-0.60	Robertson (1983)	3.92
Strato (2) argilla	2.94	0.60-1.40	Robertson (1983)	5.88
Strato (3) limo argilloso con locali livelli argillosi	3.53	1.40-4.40	Robertson (1983)	7.06

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	1.96	0.00-0.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	21.78
Strato (2) argilla	2.94	0.60-1.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	31.78
Strato (3) limo argilloso con locali livelli argillosi	3.53	1.40-4.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	37.80

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	1.96	0.00-0.60	Apollonia	19.60
Strato (2) argilla	2.94	0.60-1.40	Apollonia	29.40
Strato (3) limo argilloso con locali livelli argillosi	3.53	1.40-4.40	Apollonia	35.30

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	1.96	0.00-0.60	A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato (2) argilla	2.94	0.60-1.40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) limo argilloso con locali livelli argillosi	3.53	1.40-4.40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	1.96	0.00-0.60	Meyerhof	1.56
Strato (2) argilla	2.94	0.60-1.40	Meyerhof	1.63
Strato (3) limo argilloso con locali livelli argillosi	3.53	1.40-4.40	Meyerhof	1.67

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	1.96	0.00-0.60	Meyerhof	1.85
Strato (2) argilla	2.94	0.60-1.40	Meyerhof	1.86
Strato (3) limo argilloso con locali livelli argillosi	3.53	1.40-4.40	Meyerhof	1.87

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni limose	11.89	4.40-9.00	11.89	Skempton 1986	37.01

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni limose	11.89	4.40-9.00	11.89	Malcev (1964)	29.29

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni limose	11.89	4.40-9.00	11.89	Schmertmann (1978) (Sabbie)	95.12

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni limose	11.89	4.40-9.00	11.89	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	91.03

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni limose	11.89	4.40-9.00	11.89	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni limose	11.89	4.40-9.00	11.89	Meyerhof et al.	1.79

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni limose	11.89	4.40-9.00	11.89	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.93

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni limose	11.89	4.40-9.00	11.89	(A.G.I.)	0.33

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni limose	11.89	4.40-9.00	11.89	Ohsaki (Sabbie pulite)	666.17

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni limose	11.89	4.40-9.00	11.89	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni limose	11.89	4.40-9.00	11.89	Navfac 1971-1982	2.50

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

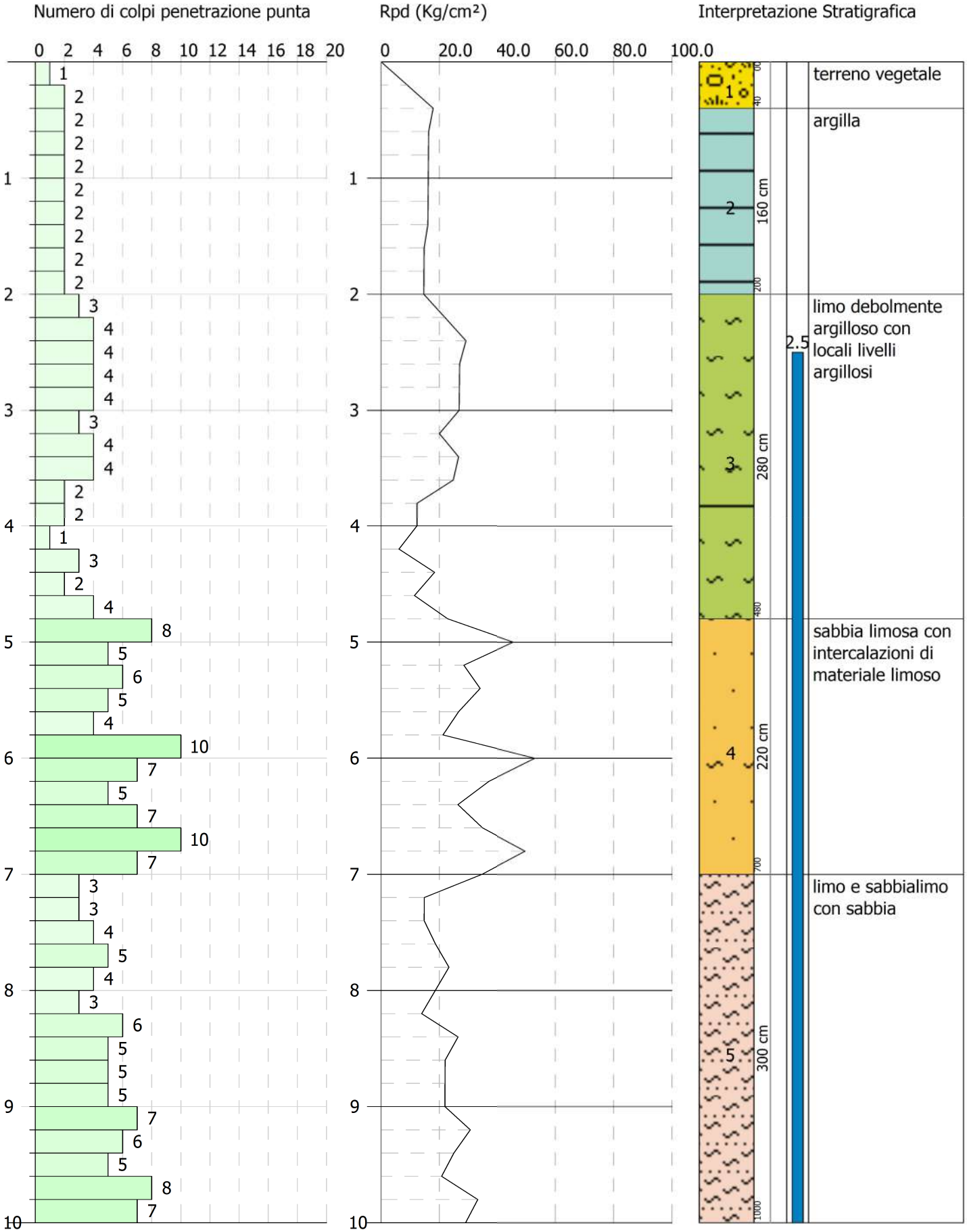
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia debolmente limosa con intercalazioni limose	11.89	4.40-9.00	11.89	Robertson 1983	23.78

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale
info@geotestsrl.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.11
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: 2K Engineering S.p.A.
Descrizione: Realizzazione di nuovo deposito (Corpo "F")
Località: Castel San Giovanni (PC)

Scala 1:47



ESECUTORE INDAGINI:
GeoTest s.r.l.

COMMITTENTE: 2K Engineering S.p.A.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 11

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.40	Schmertmann 1975	0.21
Strato (2) argilla	2.94	0.40-2.00	Schmertmann 1975	0.28
Strato (3) limo debolmente argilloso con locali livelli argillosi	4.62	2.00-4.80	Schmertmann 1975	0.45
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	Schmertmann 1975	0.97
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	Schmertmann 1975	0.73

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.40	Robertson (1983)	4.40
Strato (2) argilla	2.94	0.40-2.00	Robertson (1983)	5.88
Strato (3) limo debolmente argilloso con locali livelli argillosi	4.62	2.00-4.80	Robertson (1983)	9.24
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	Robertson (1983)	19.78
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	Robertson (1983)	14.90

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	24.23
Strato (2) argilla	2.94	0.40-2.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	31.78
Strato (3) limo debolmente argilloso con locali livelli argillosi	4.62	2.00-4.80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	48.91
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	102.66
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	77.78

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm²)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.40	Apollonia	22.00
Strato (2) argilla	2.94	0.40-2.00	Apollonia	29.40
Strato (3) limo debolmente argilloso con locali livelli argillosi	4.62	2.00-4.80	Apollonia	46.20
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	Apollonia	98.90
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	Apollonia	74.50

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (2) argilla	2.94	0.40-2.00	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) limo debolmente argilloso con locali livelli argillosi	4.62	2.00-4.80	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m^3)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.40	Meyerhof	1.58
Strato (2) argilla	2.94	0.40-2.00	Meyerhof	1.63
Strato (3) limo debolmente argilloso con locali livelli argillosi	4.62	2.00-4.80	Meyerhof	1.74
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	Meyerhof	1.96
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	Meyerhof	1.88

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m³)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.40	Meyerhof	1.85
Strato (2) argilla	2.94	0.40-2.00	Meyerhof	1.86
Strato (3) limo debolmente argilloso con locali livelli argillosi	4.62	2.00-4.80	Meyerhof	1.87
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	Meyerhof	2.16
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	Meyerhof	1.90

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	9.89	Skempton 1986	32.75
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	7.45	Skempton 1986	27.08

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	9.89	Malcev (1964)	29.37
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	7.45	Malcev (1964)	28.25

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	9.89	Schmertmann (1978) (Sabbie)	79.12
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	7.45	Schmertmann (1978) (Sabbie)	59.60

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	9.89	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	82.11
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	7.45	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	71.23

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	9.89	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	7.45	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m³)
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	9.89	Meyerhof et al.	1.73
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	7.45	Meyerhof et al.	1.64

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m³)
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	9.89	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.92
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	7.45	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.90

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	9.89	(A.G.I.)	0.33
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	7.45	(A.G.I.)	0.34

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	9.89	Ohsaki (Sabbie pulite)	560.27
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	7.45	Ohsaki (Sabbie pulite)	429.28

Liquefazione

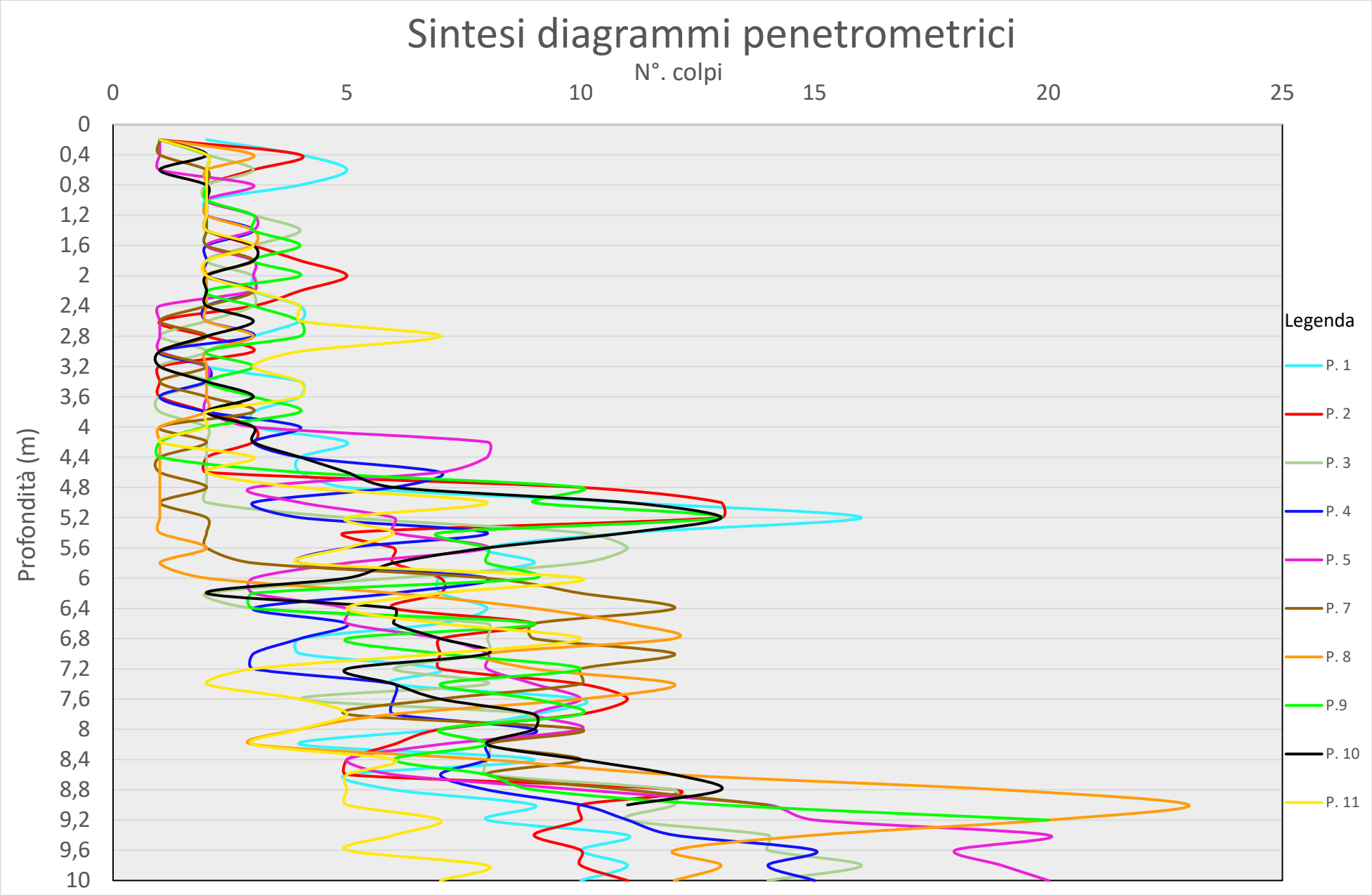
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	9.89	Seed e Idriss (1971)	--
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	7.45	Seed e Idriss (1971)	--

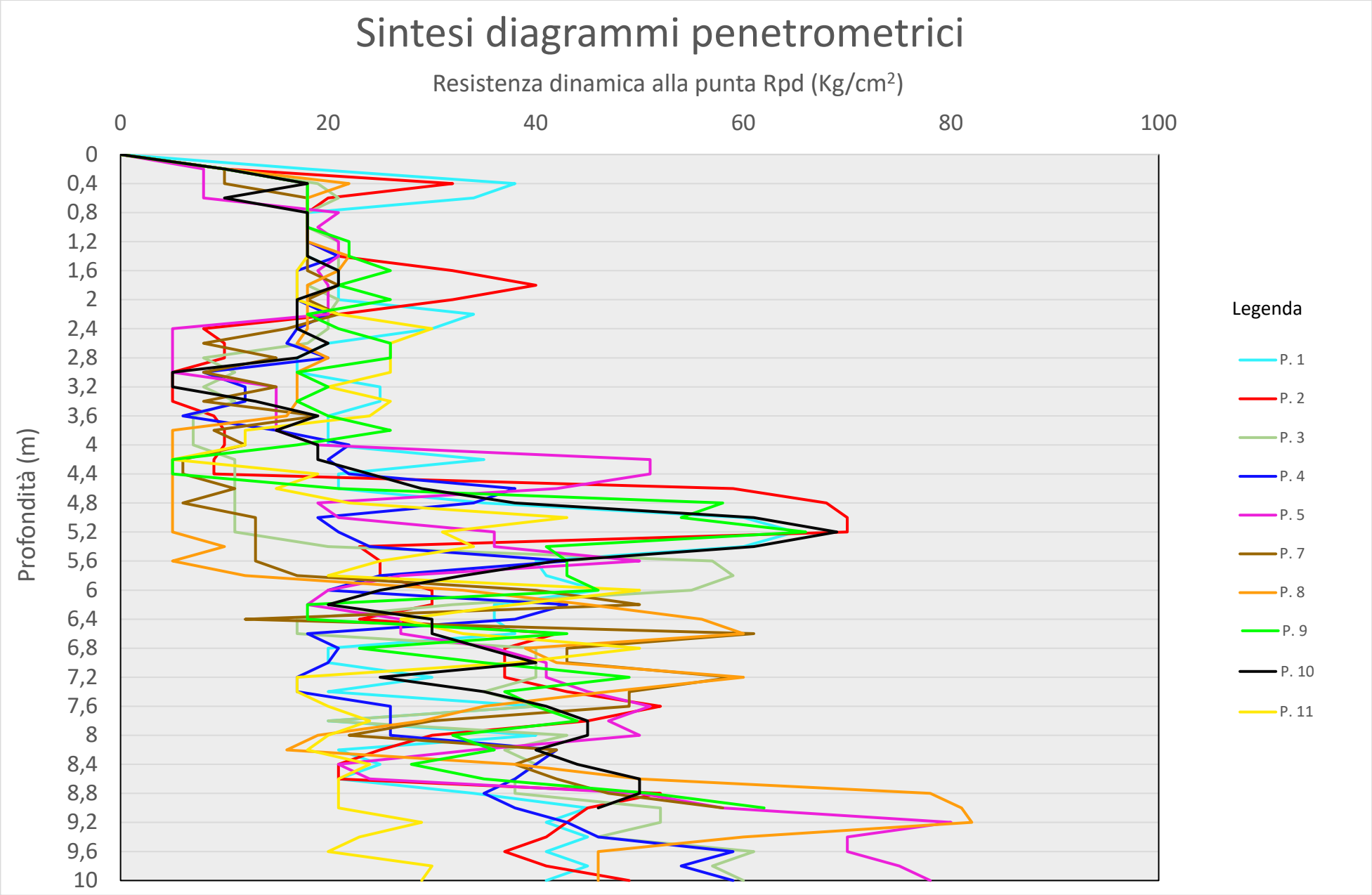
Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	9.89	Navfac 1971-1982	2.08
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	7.45	Navfac 1971-1982	1.55

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm²)
Strato (4) sabbia limosa con intercalazioni di materiale limoso	9.89	4.80-7.00	9.89	Robertson 1983	19.78
Strato (5) limo e sabbialimo con sabbia	7.45	7.00-10.00	7.45	Robertson 1983	14.90


Sintesi diagrammi penetrometrici
N°. colpi
0
5
10
15
20
25
Profondità (m)
0
0,4
0,8
1,2
1,6
2
2,4
2,8
3,2
3,6
4
4,4
4,8
5,2
5,6
6
6,4
6,8
7,2
7,6
8
8,4
8,8
9,2
9,6
10
Legenda
P. 1
P. 2
P. 3
P. 4
P. 5
P. 7
P. 8
P.9
P. 10
P. 11


Sintesi diagrammi penetrometrici
Resistenza dinamica alla punta Rpd (Kg/cm²)
0
20
40
60
80
100
Profondità (m)
0
0,4
0,8
1,2
1,6
2
2,4
2,8
3,2
3,6
4
4,4
4,8
5,2
5,6
6
6,4
6,8
7,2
7,6
8
8,4
8,8
9,2
9,6
10
Legenda
P. 1
P. 2
P. 3
P. 4
P. 5
P. 7
P. 8
P. 9
P. 10
P. 11

CPTE – CPTU

Prove Penetrometriche Statiche

PIEZOCONO MK - PAGANI

Il piezocono è uno strumento che consente di effettuare prove autoperforanti in sito statiche elettroniche di tipo CPTU (in condizioni di saturazione strumentale con misurazione delle pressioni interstiziali eseguibili nei soli terreni saturi sottofalda) e/o CPTE (sensore non saturato).

Tale strumento è, difatto, un penetrometro statico a punta elettrica predisposto all'acquisizione dei parametri di resistenza qc ed fs che, con l'aggiunta di un elemento poroso (filtro completamente saturato), integra la misurazione e registrazione con i valori di pressione interstiziale prodotti dalla perturbazione strumentale.

In fase di predisposizione operativa è quindi possibile stabilire la tipologia di prova da eseguirsi (CPTE o CPTU) mediante specifica preparazione condizionante la modalità di registrazione.

MODALITÀ ESECUTIVE

Le prove condotte con piezocono si basano sul principio esecutivo delle C.P.T. con punta meccanica (prova penetrometrica statica - Cone Penetration Test) che prevede l'infissione nel terreno di una punta conica standardizzata (diametro 35.8 mm e angolo di apertura 60°), mediante un dispositivo di spinta che, agendo sulla batteria di aste a cui la punta stessa è collegata, ne determina a pressione l'avanzamento strumentale mantenendo una velocità costante pari a circa 2 cm/sec.

L'evoluzione del penetrometro statico elettrico rispetto alla versione meccanica con manicotto d'attrito, consiste nella modalità di acquisizione delle misure di pressione alla punta (qc) e di tensione laterale (fs) che avviene localmente ed in modo fra loro indipendente attraverso trasduttori elettrici che inviano un segnale alla centralina posta in superficie. L'acquisizione informativa risulta estremamente dettagliata e continua, prevedendo determinazioni ad ogni centimetro di avanzamento.

I trasduttori elettrici per la misura di qc ed fs, sono posti all'interno della sonda stessa: una cella di carico è montata subito a tergo della punta conica ed una all'interno del manicotto laterale. Il trasduttore di pressione interstiziale (sempre all'interno della punta elettrica) è invece collegato ad un filtro la cui posizione, non essendo ancora stata standardizzata, può variare da strumento a strumento.
Nel caso del Piezocono Mk – Pagani, il filtro si trova immediatamente a tergo della punta (u2).
L'allestimento strumentale è inoltre comprensivo di inclinometro in grado di misurare la deviazione dalla verticale e, conseguentemente, di correggerne gli errori in fase di elaborazione dati.
I valori di qc e di fs restituiti, traducono la resistenza che il terreno oppone alle condizioni di rottura indotta dalla penetrazione dello strumento.
La deducibilità interpretativa si esplica nel riconoscimento litologico dei terreni attraversati da cui consegue una ricostruzione della successione stratigrafica.
Un ulteriore elemento conoscitivo riguarda le condizioni geotecniche al contorno che risultano estremamente condizionate dalla permeabilità del terreno attraversato stabilendone modalità tipologica drenata o non drenata. Il modello interpretativo del fenomeno di rottura, e quindi la successiva deduzione delle caratteristiche meccaniche a partire dalle grandezze misurate, è pertanto condizionato dal tipo di terreno cui si riferiscono i dati di resistenza misurati.
Integrando lo stato informativo base CPTE con la misura delle pressioni interstiziali (prove CPTU), è inoltre possibile incrementare la capacità interpretativa della prova statica nei contesti geologici con terreni saturi sottofalda.

GeoTest s.r.l.
Via E. Fermi, 113
Trevozzo
29031 Alta Val Tidone (PC)
Cell. 348.5107263

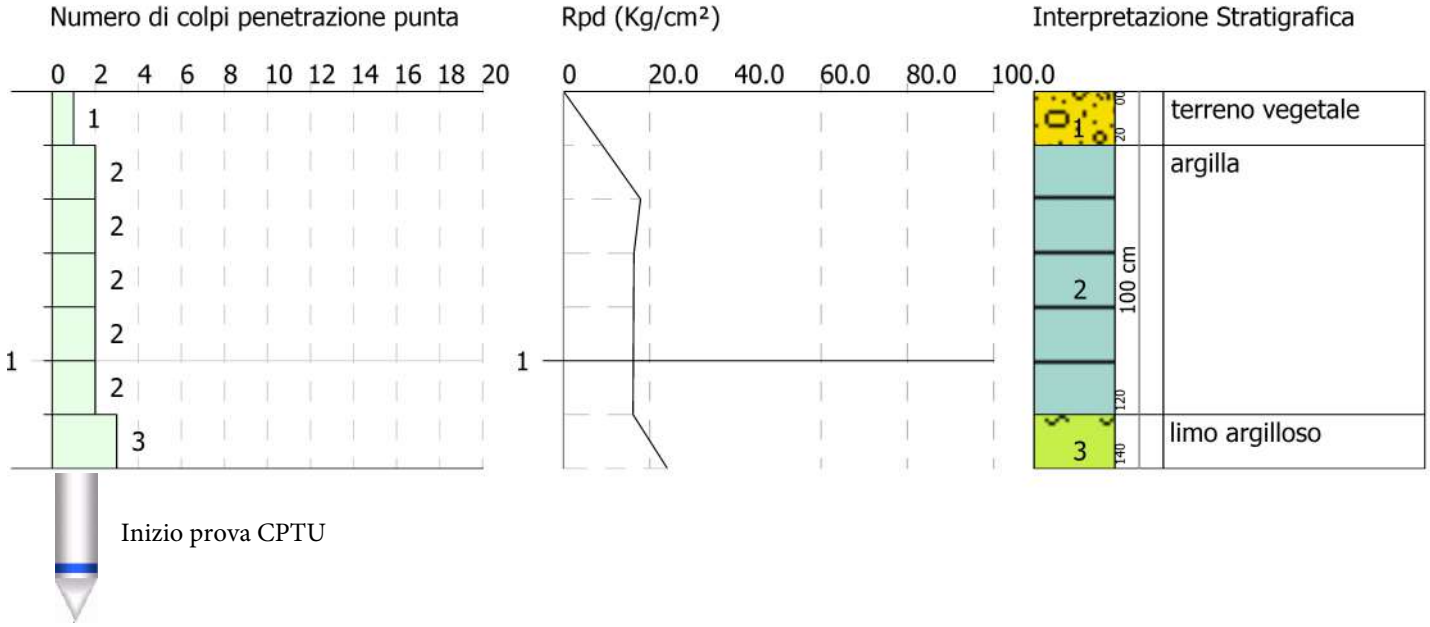
Penetrometro Pagani TG-63200. Configurazione statica per esecuzione prova CPTU6

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale
info@geotestsrl.com

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.6 (Preforo Cptu)
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: 2K Engineering S.p.A.
Descrizione: Realizzazione di nuovo deposito (Corpo "F")
Località: Castel San Giovanni (PC)

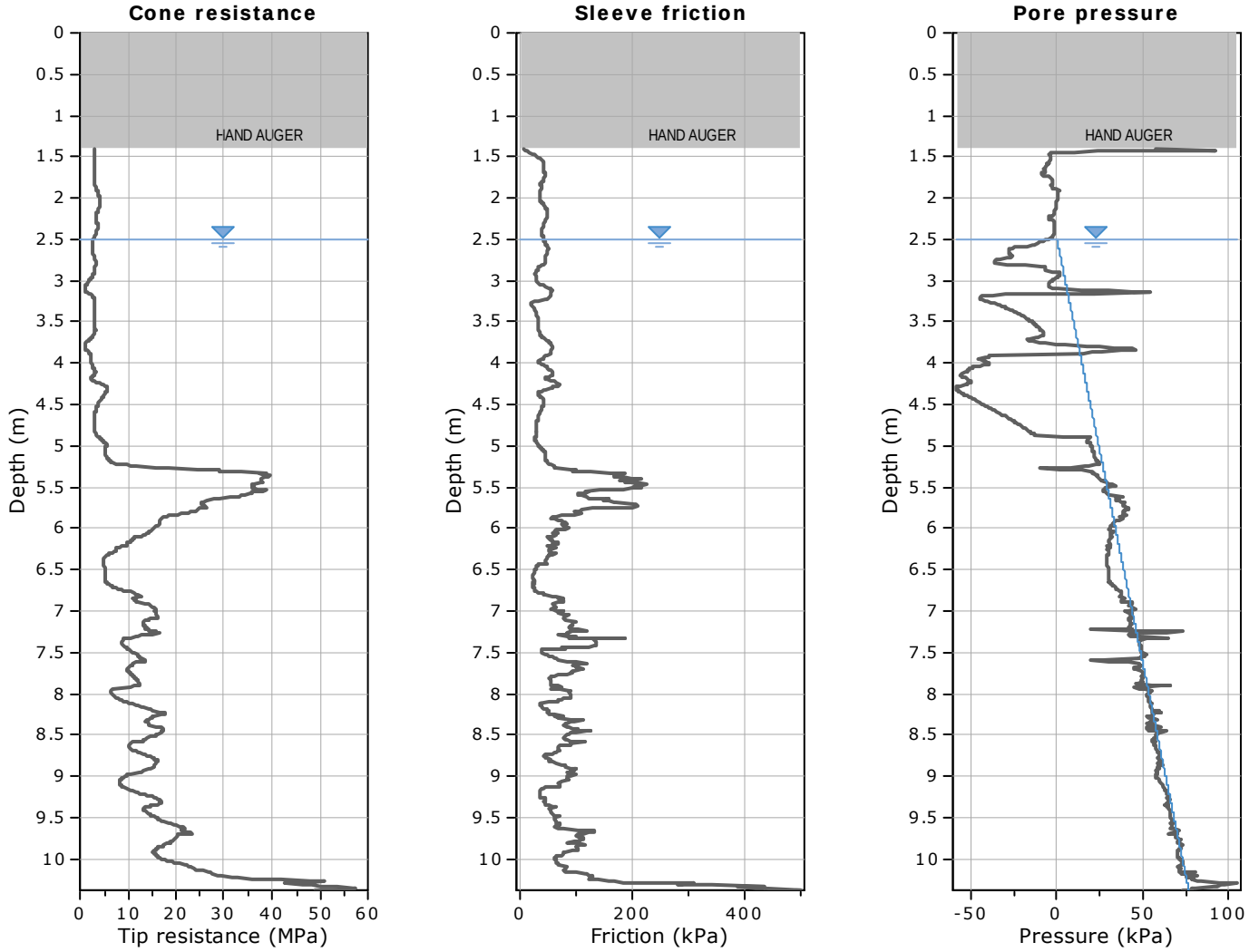
Scala 1:30



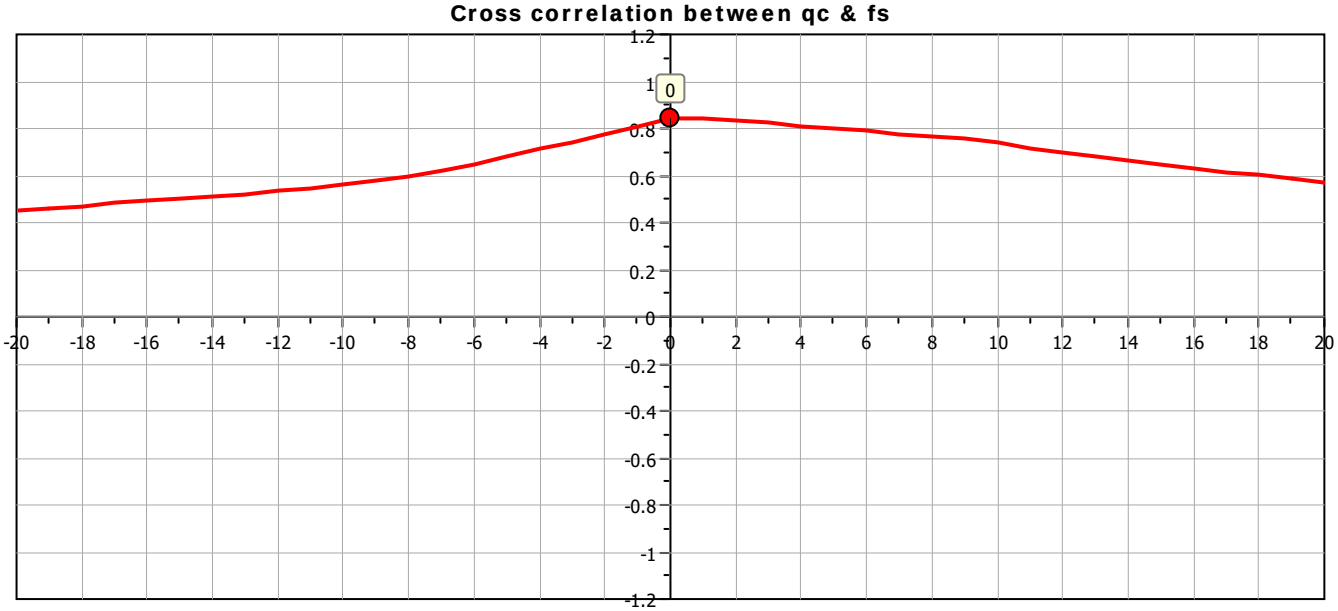
Inizio prova CPTU

Project: Realizzazione di un nuovo deposito - "Corpo F"
Location: Polo Logistico - Castel San Giovanni (PC)

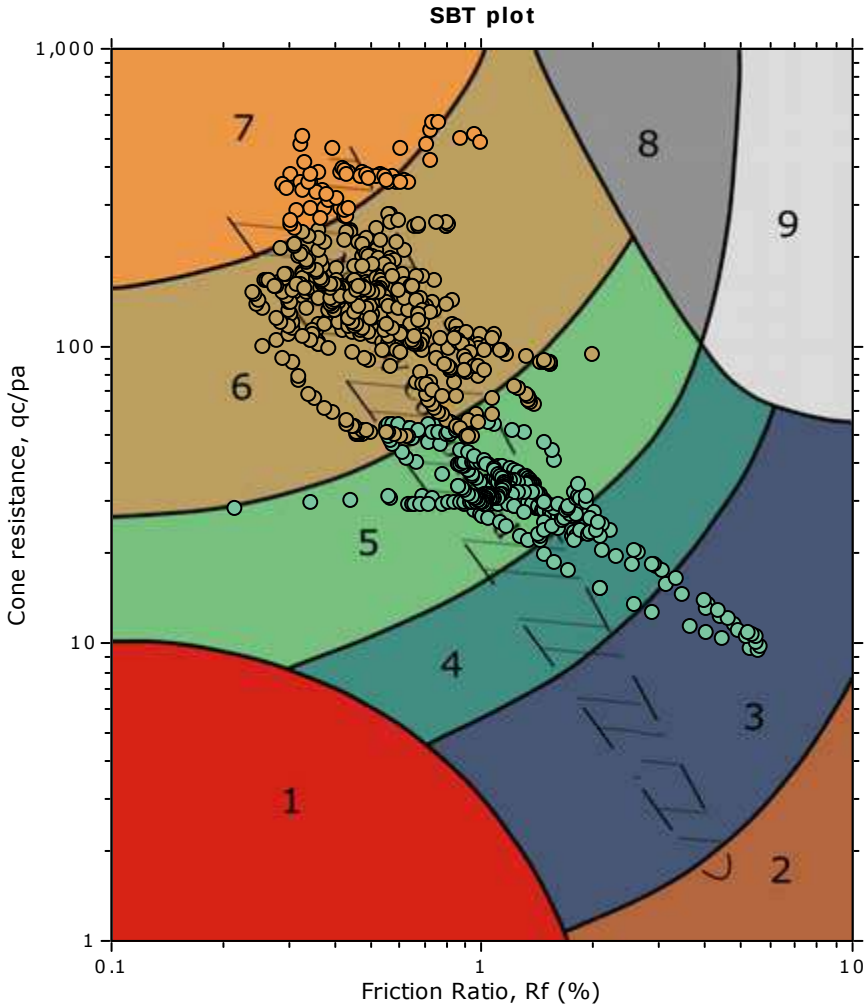
CPT: cptu6
Total depth: 10.38 m

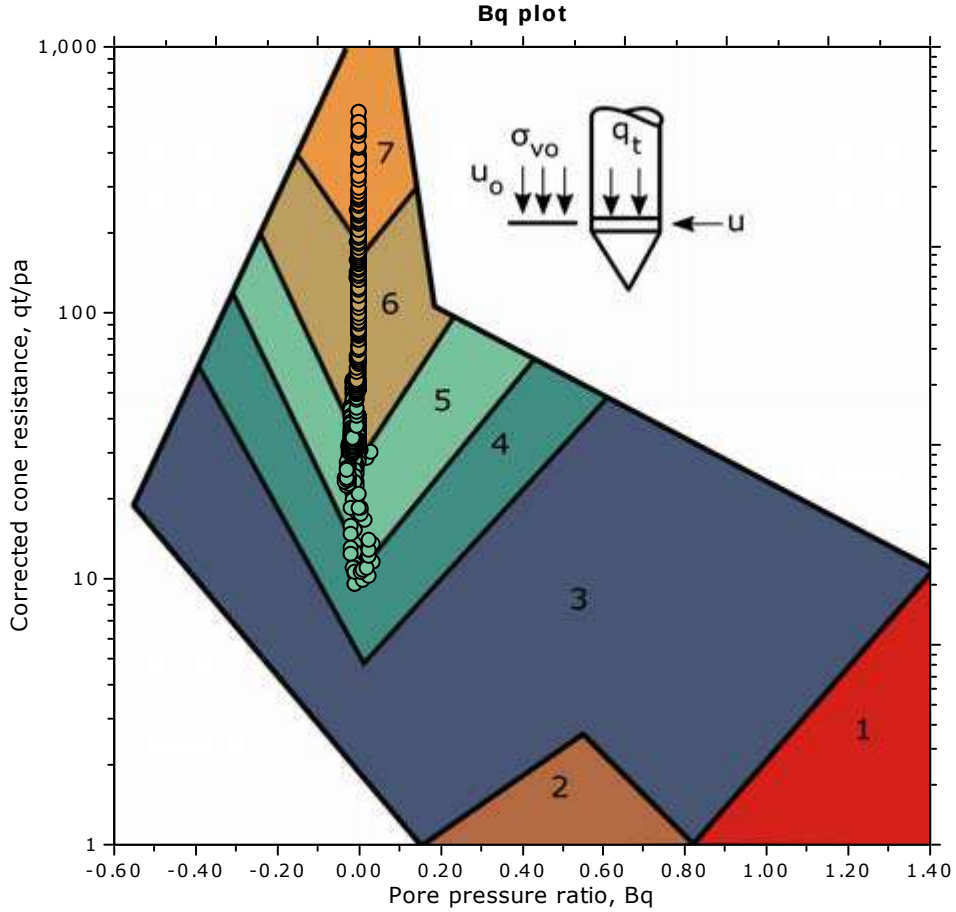


The plot below presents the cross correlation coeficient between the raw qc and fs values (as measured on the field). X axes presents the lag distance (one lag is the distance between two sucessive CPT measurements).



SBT - Bq plots

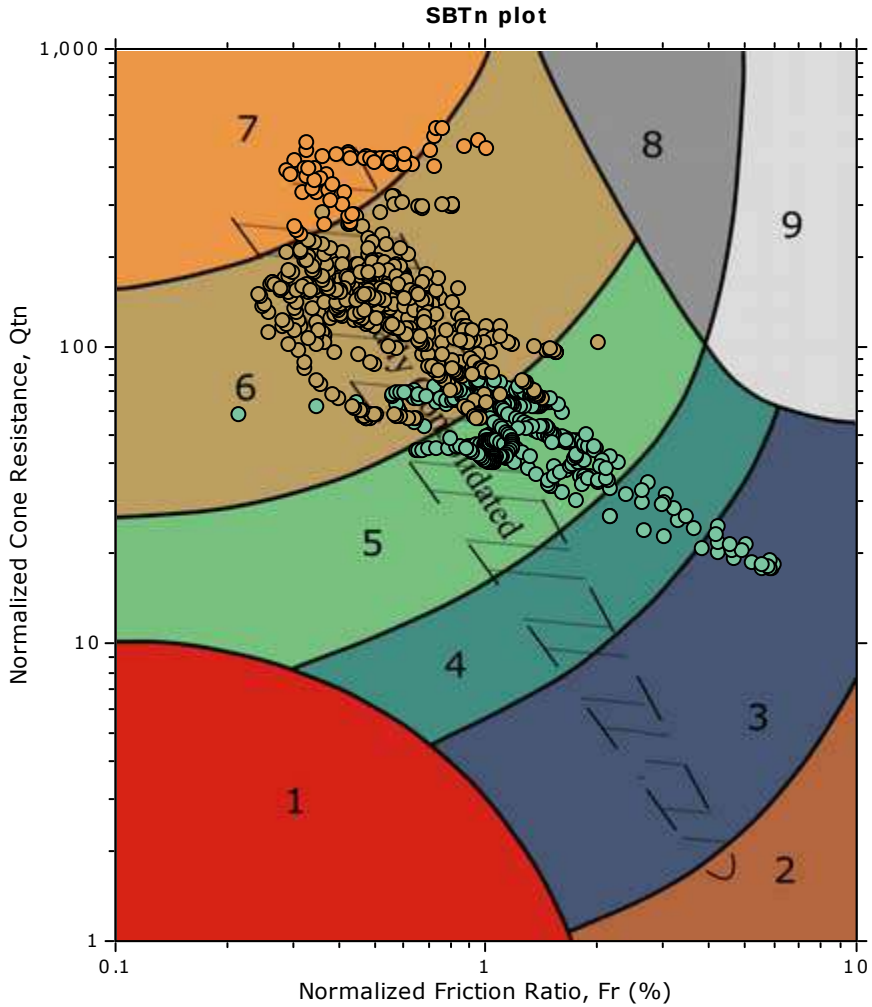


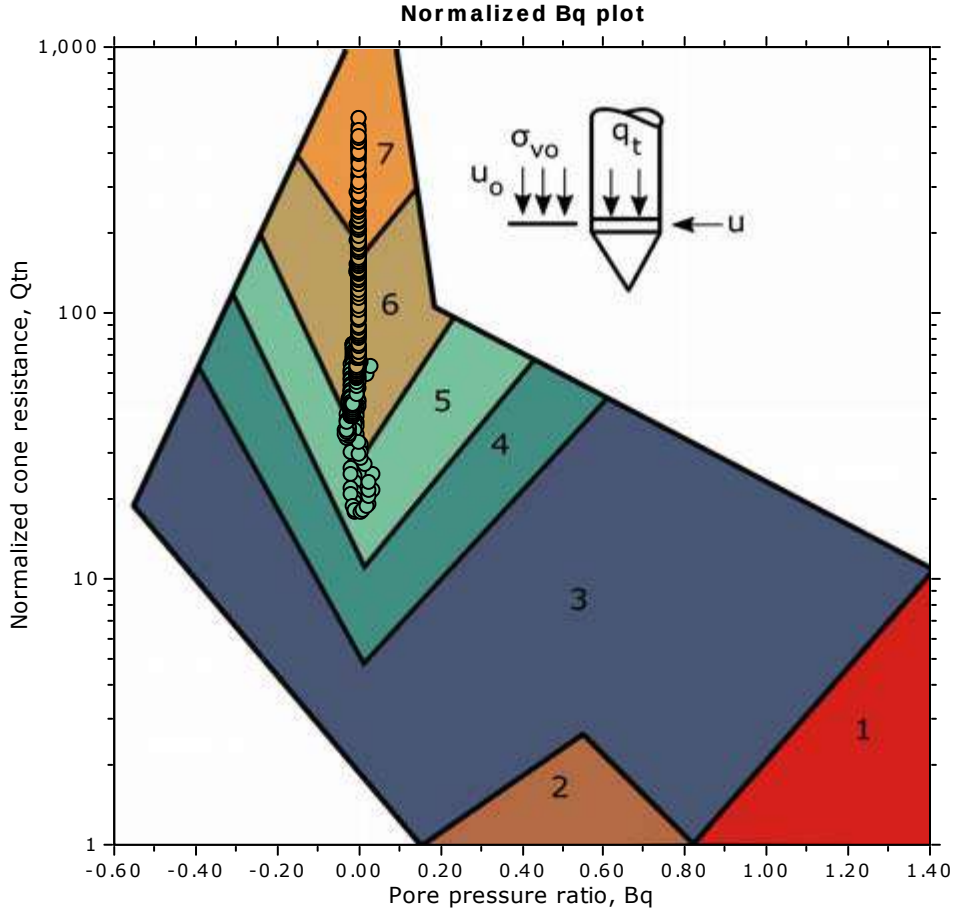


SBT legend

1. Sensitive fine grained
2. Organic material
3. Clay to silty clay
4. Clayey silt to silty clay
5. Silty sand to sandy silt
6. Clean sand to silty sand
7. Gravelly sand to sand
8. Very stiff sand to clayey sand
9. Very stiff fine grained

SBT - Bq plots (normalized)

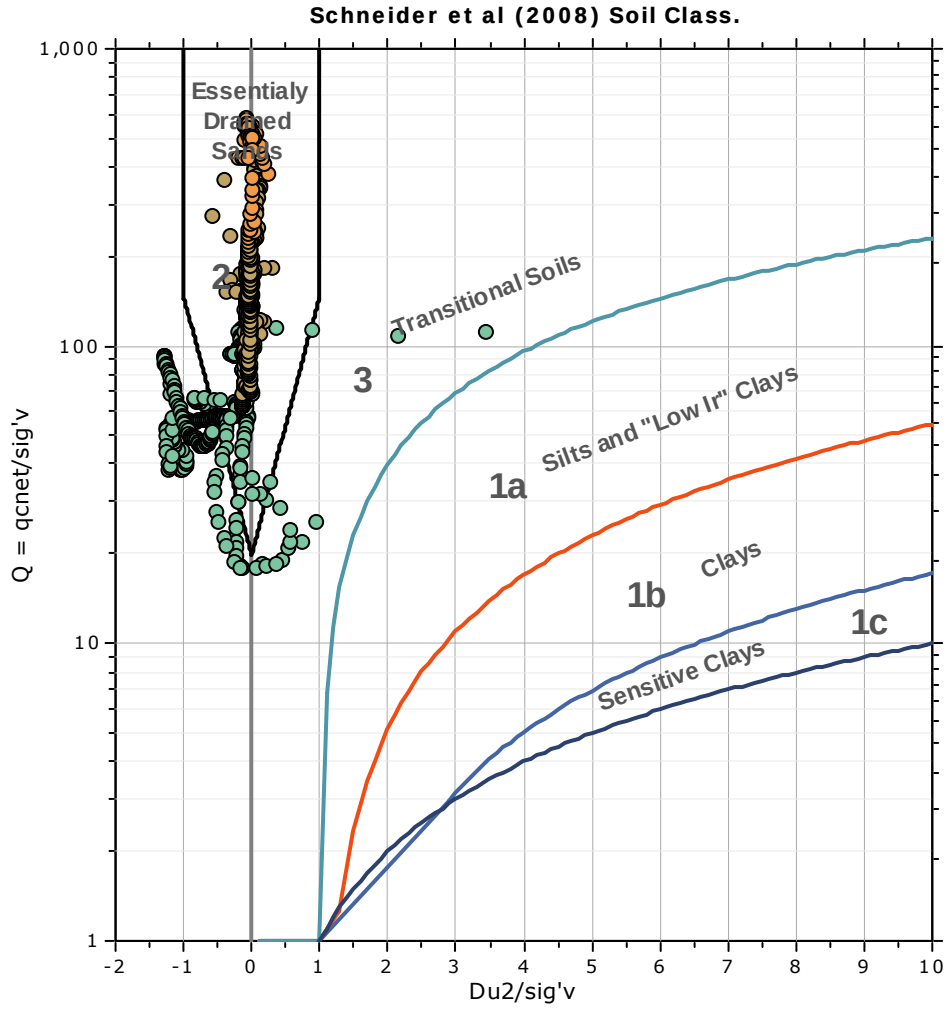


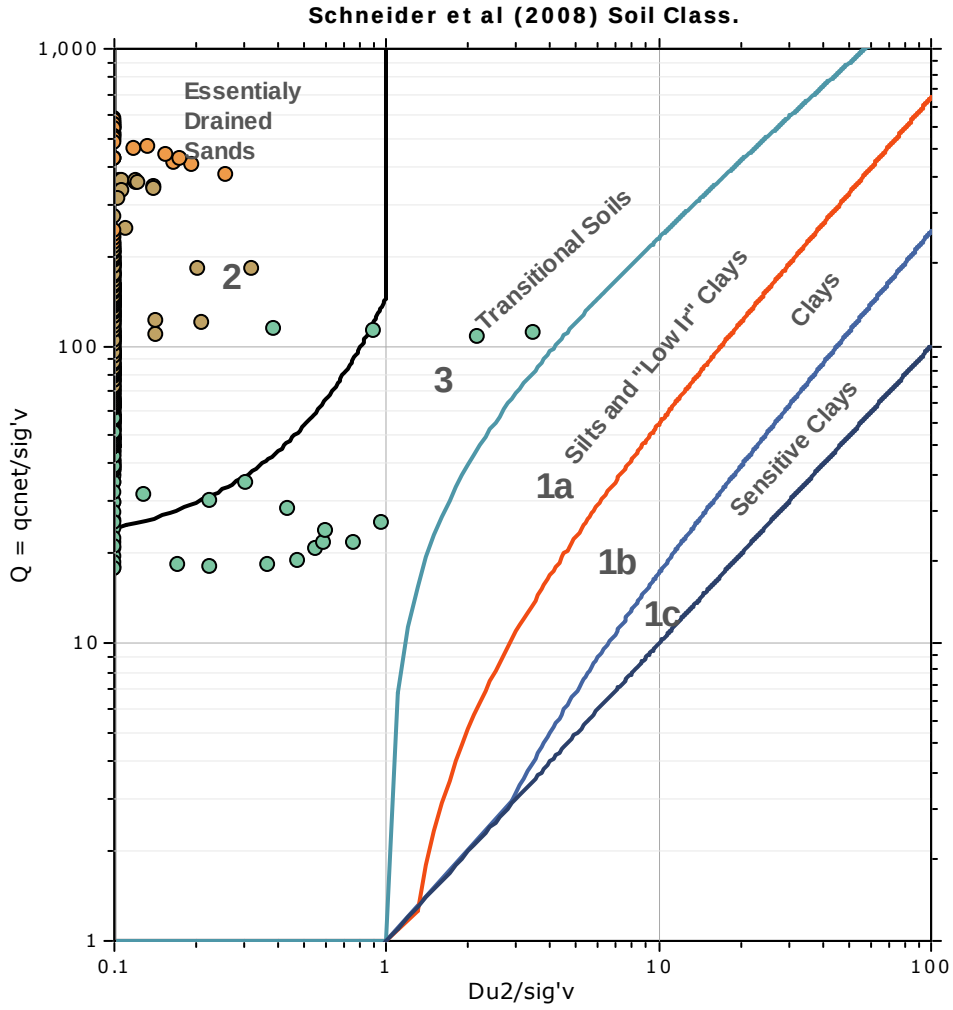


SBTn legend

- 1. Sensitive fine grained
- 2. Organic material
- 3. Clay to silty clay
- 4. Clayey silt to silty clay
- 5. Silty sand to sandy silt
- 6. Clean sand to silty sand
- 7. Gravelly sand to sand
- 8. Very stiff sand to clayey sand
- 9. Very stiff fine grained

Bq plots (Schneider)

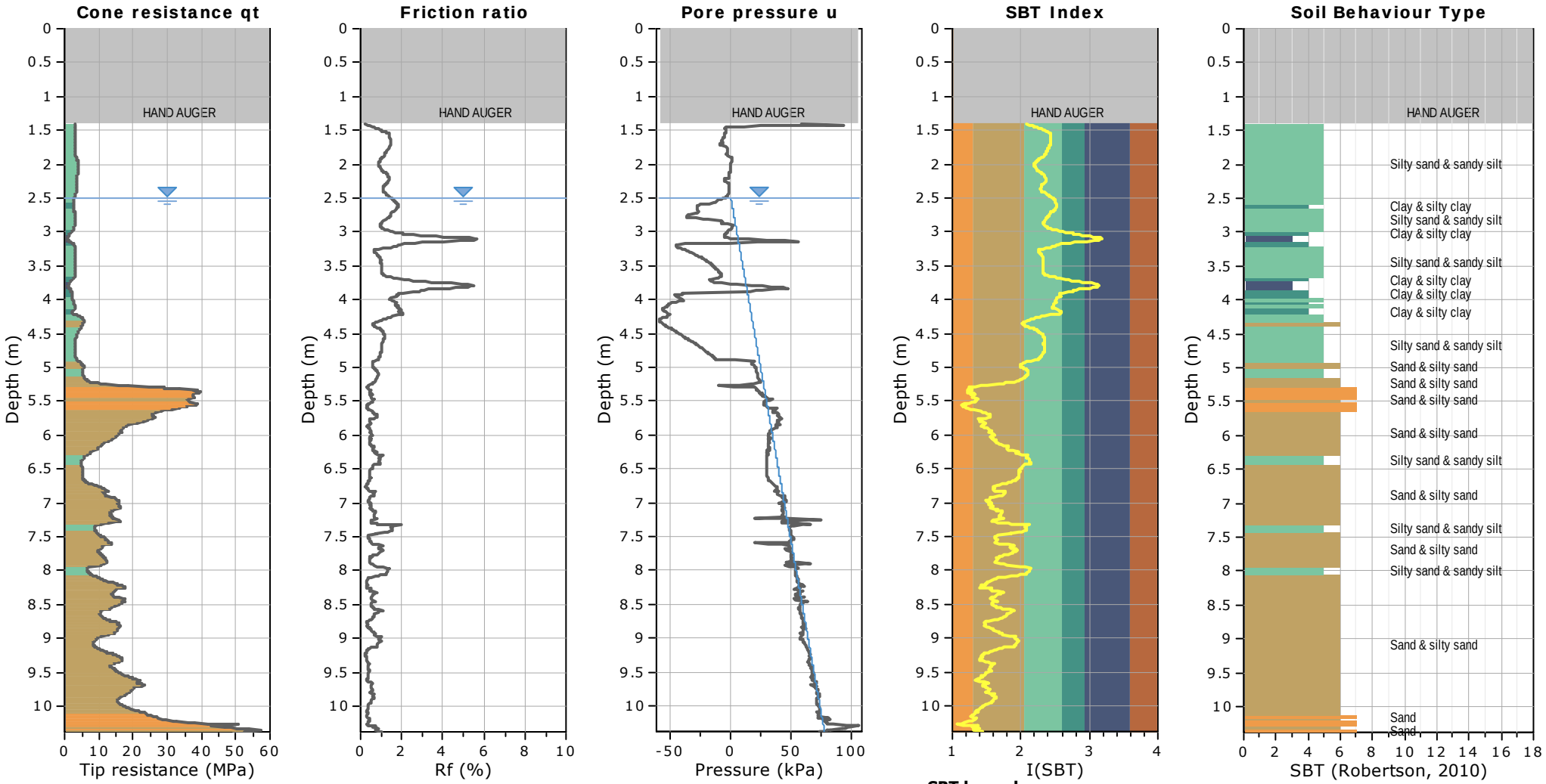




Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale

Project: Realizzazione di un nuovo deposito - "Corpo F"
Location: Polo Logistico - Castel San Giovanni (PC)

CPT: cptu6
Total depth: 10.38 m

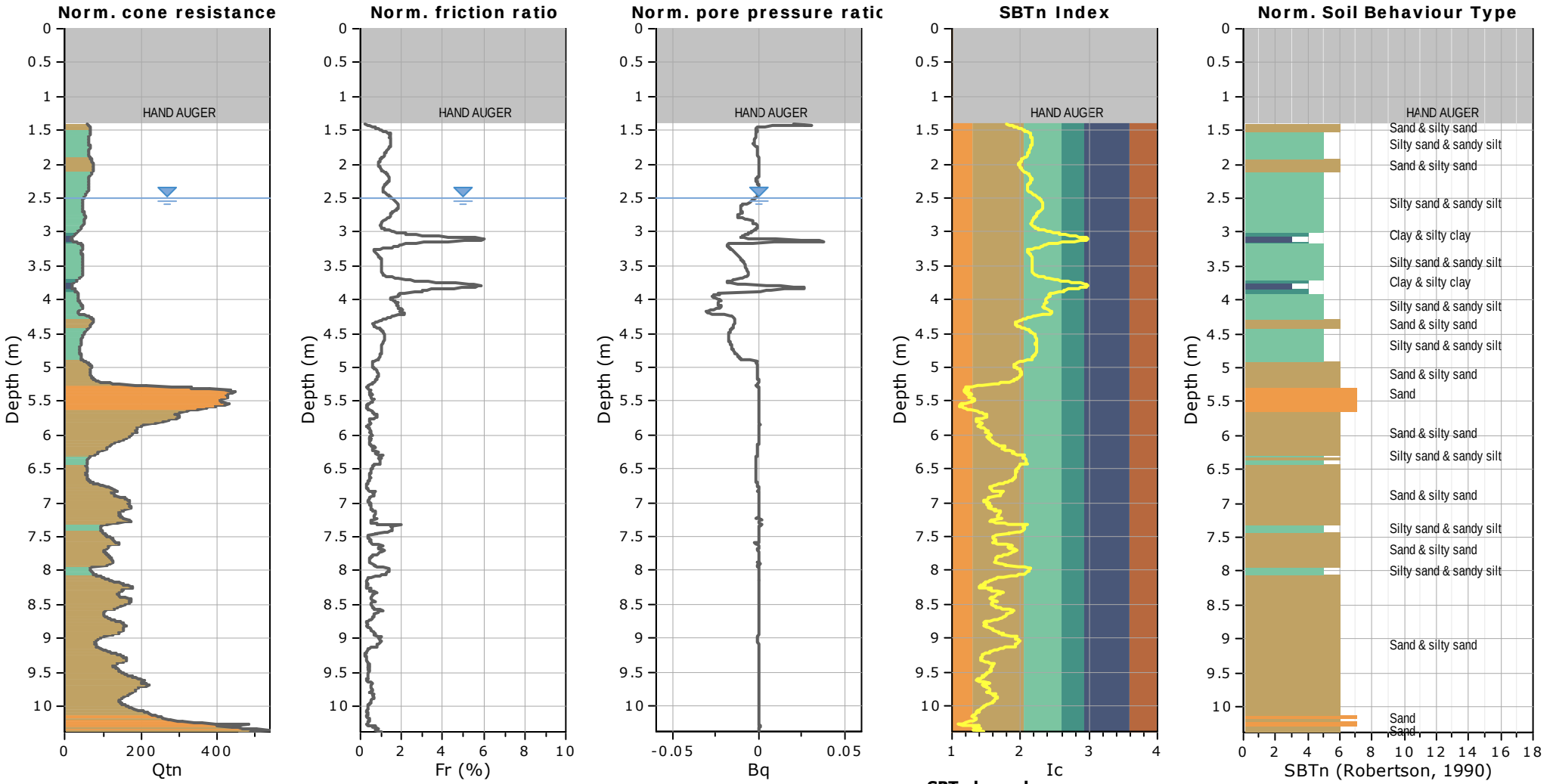


SBT legend

1. Sensitive fine grained
2. Organic material
3. Clay to silty clay
4. Clayey silt to silty clay
5. Silty sand to sandy silt
6. Clean sand to silty sand
7. Gravely sand to sand
8. Very stiff sand to clayey sand
9. Very stiff fine grained

Project: Realizzazione di un nuovo deposito - "Corpo F"
Location: Polo Logistico - Castel San Giovanni (PC)

CPT: cptu6
Total depth: 10.38 m



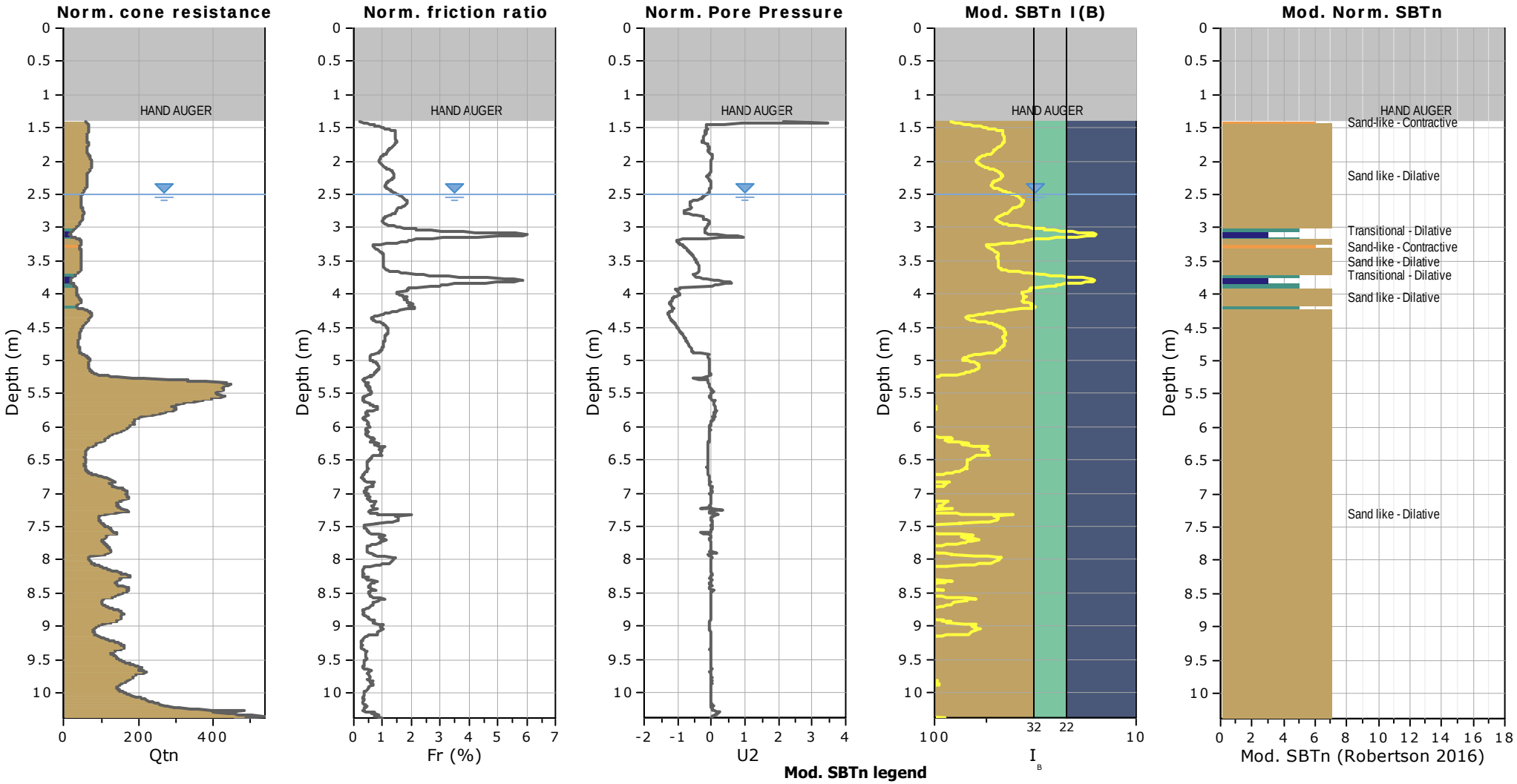
SBTn legend

1. Sensitive fine grained
2. Organic material
3. Clay to silty clay
4. Clayey silt to silty clay
5. Silty sand to sandy silt
6. Clean sand to silty sand
7. Gravely sand to sand
8. Very stiff sand to clayey sand
9. Very stiff fine grained

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale

Project: Realizzazione di un nuovo deposito - "Corpo F"
Location: Polo Logistico - Castel San Giovanni (PC)

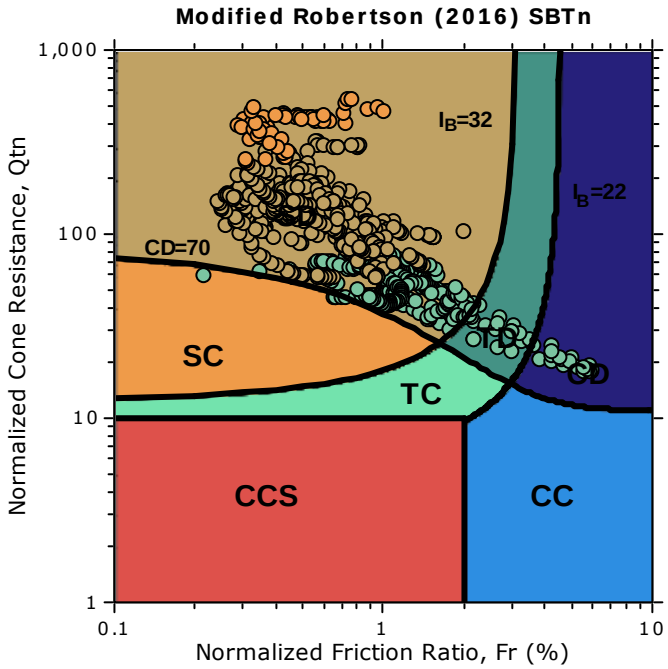
CPT: cptu6
Total depth: 10.38 m

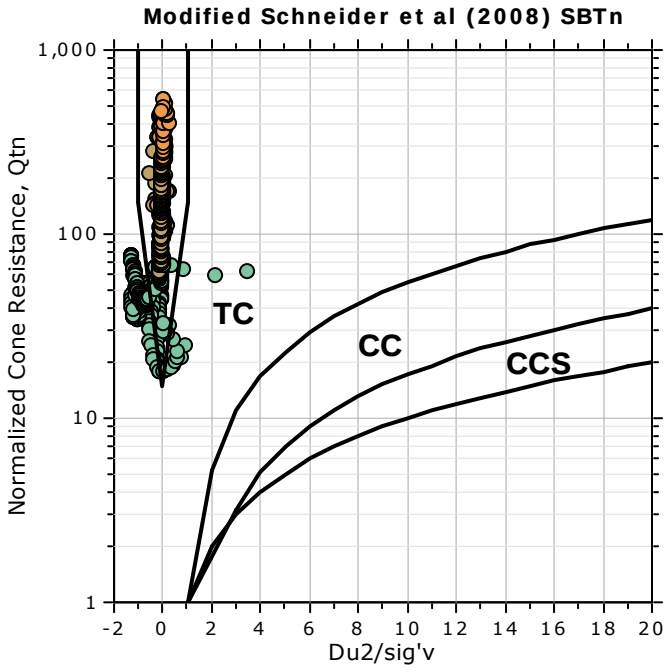


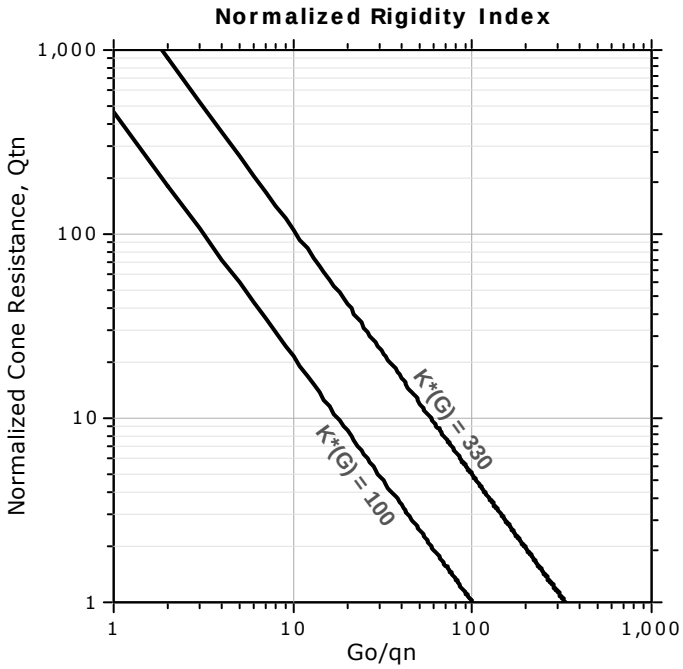
Mod. SBTn legend

1. CCS: ClayLike - Contractive, Sensitive
2. CC: Clay-like - Contractive
3. CD: Clay-Like: Dilative
4. TC: Transitional - Contractive
5. TD: Transitional - Dilative
6. SC: Sand-like - Contractive
7. SD: Sand-like - Dilative

Updated SBTn plots





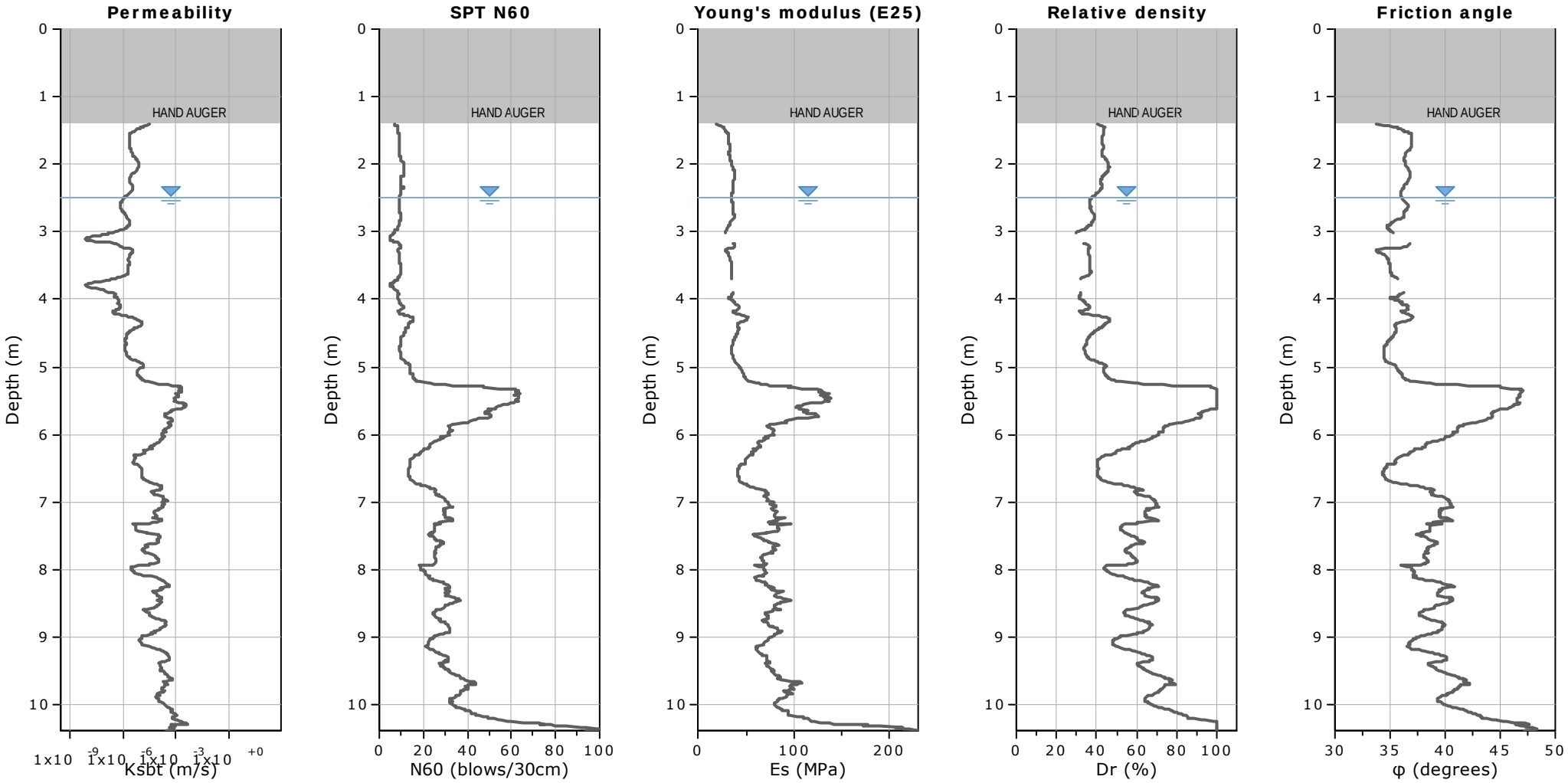


CCS: Clay-like - Contractive - Sensitive
CC: Clay-like - Contractive
CD: Clay-like - Dilative
TC: Transitional - Contractive
TD: Transitional - Dilative
SC: Sand-like - Contractive
SD: Sand-like - Dilative

K(G) > 330: Soils with significant microstructure (e.g. age/cementation)

Project: Realizzazione di un nuovo deposito - "Corpo F"
Location: Polo Logistico - Castel San Giovanni (PC)

CPT: cptu6
Total depth: 10.38 m

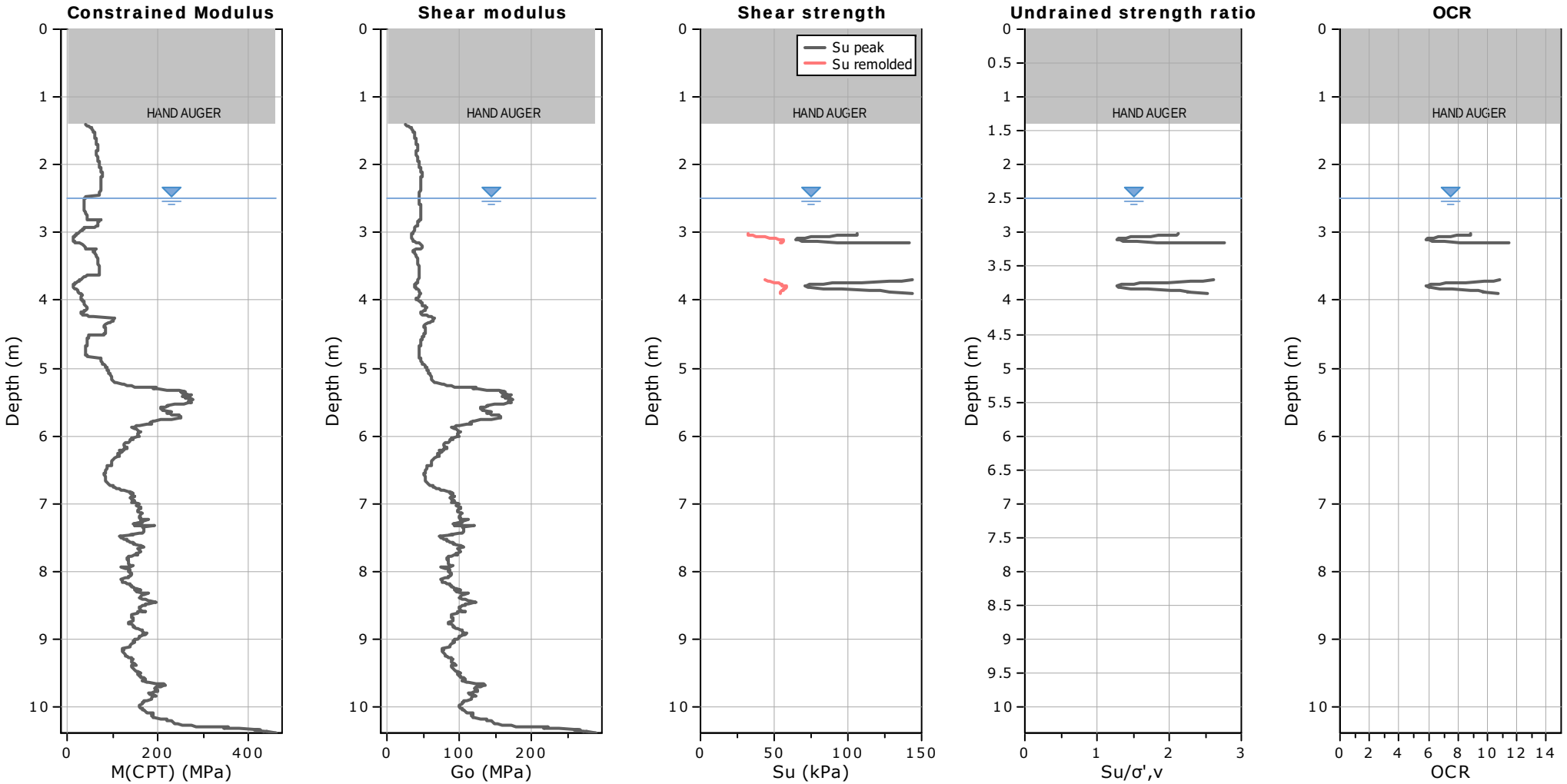


Calculation parameters

Permeability: Based on SBT_n
SPT N_{60}: Based on I_c and q_t
Young's modulus: Based on variable alpha using I_c (Robertson, 2009)
Relative density constant, C_{Dr}: 350.0
Phi: Based on Kulhawy & Mayne (1990)
User defined estimation data

Project: **Realizzazione di un nuovo deposito - "Corpo F"**
Location: **Polo Logistico - Castel San Giovanni (PC)**

CPT: cptu6
Total depth: 10.38 m



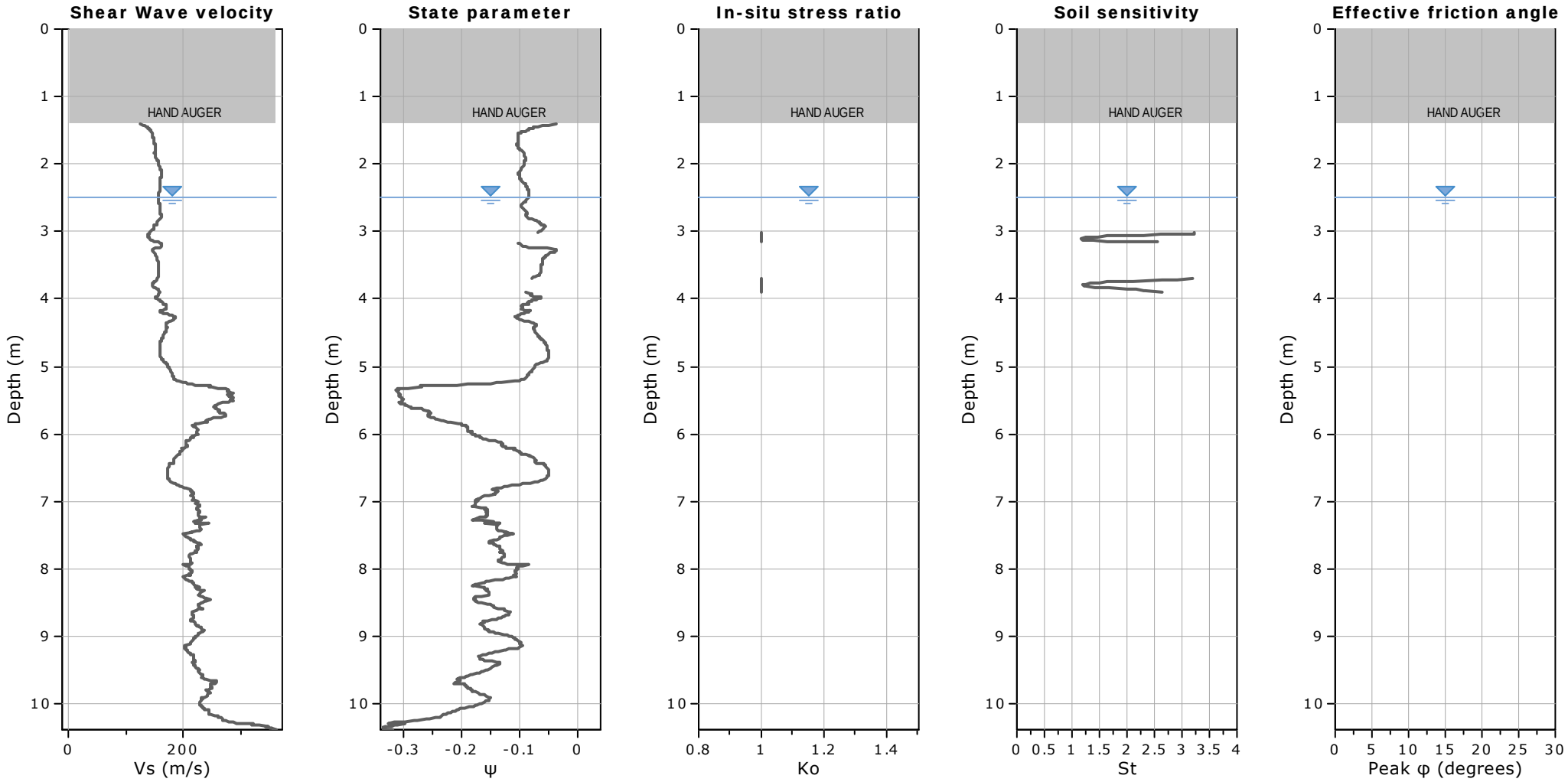
Calculation parameters

Constrained modulus: Based on variable *alpha* using I_c and Q_{tn} (Robertson, 2009)
Go: Based on variable *alpha* using I_c (Robertson, 2009)
Undrained shear strength cone factor for clays, N_{kt}: 14

OCR factor for clays, N_{kt}: 0.33
User defined estimation data
Flat Dilatometer Test data

Project: **Realizzazione di un nuovo deposito - "Corpo F"**
Location: **Polo Logistico - Castel San Giovanni (PC)**

CPT: cptu6
Total depth: 10.38 m



Calculation parameters

Soil Sensitivity factor, N_S: 7.00

User defined estimation data

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale

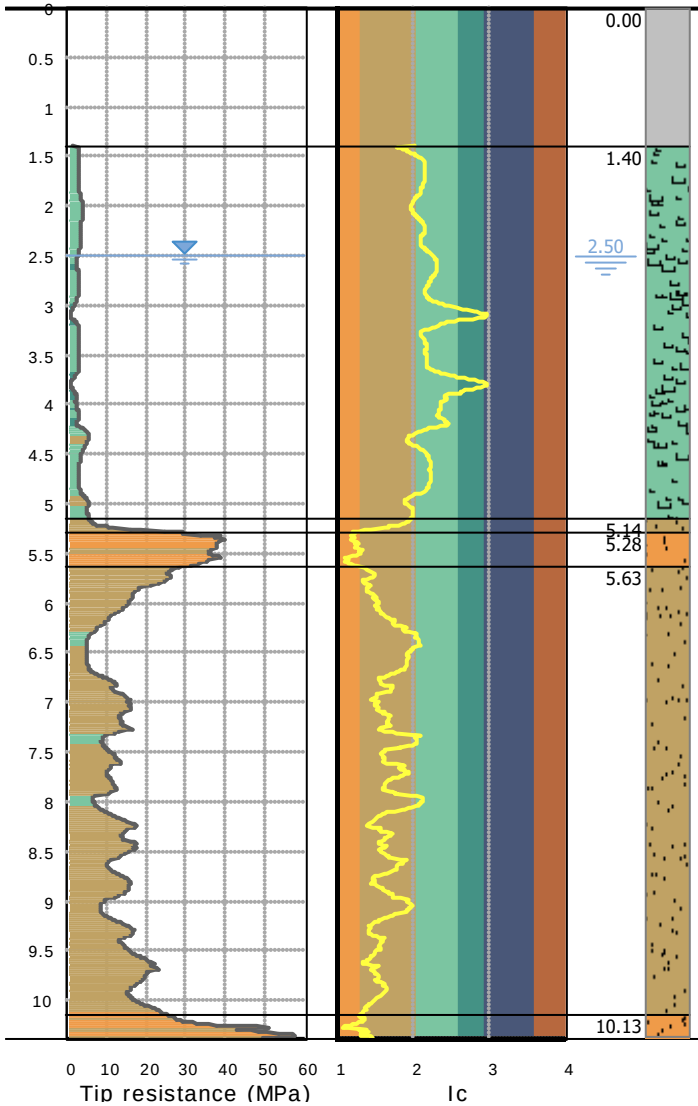
Project: **Realizzazione di un nuovo deposito - "Corpo F"**

Location: **Polo Logistico - Castel San Giovanni (PC)**

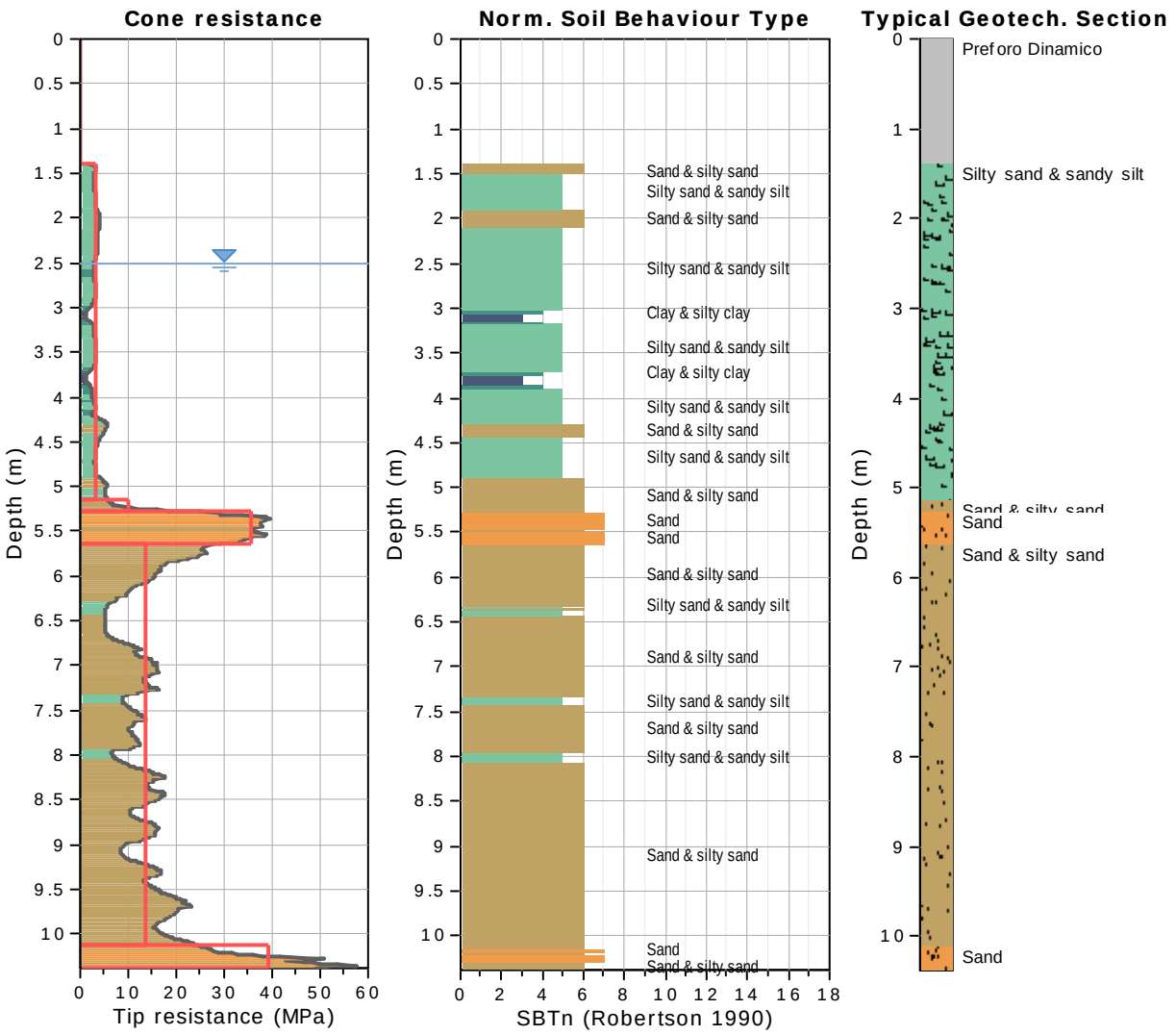
CPT: cptu6

Total depth: 10.38 m

Depth (m) Elevation: 0.00 (m)



	Description	qt (MPa)	Ksbt (m/s)	N60	Es (MPa)	Dr	Phi (°)	M (MPa)	Go (MPa)	Su (kPa)	Su ratio	OCR	Gamma (kN/m³)
0.00	Preforo Dinamico				-	-	-			-	-	-	
1.40	Silty sand & sandy silt	3.2	3.18E-6	9.7	36.5	39.2	35.8	56.4	45.1	-	-	-	17.6
5.14	Sand & silty sand	9.9	1.62E-4	21.3	58.8	56.8	38.1	117.7	73.7	-	-	-	18.4
5.28	Sand	35.5	1.83E-3	58.1	120.6	99.4	46.3	241.3	151.2	-	-	-	20.1
5.63	Sand & silty sand	13.4	1.56E-4	28.2	74.6	61.8	39.0	149.2	93.5	-	-	-	18.8
10.13	Sand	39.1	1.36E-3	66.4	143.5	94.0	45.5	287.0	179.8	-	-	-	20.3

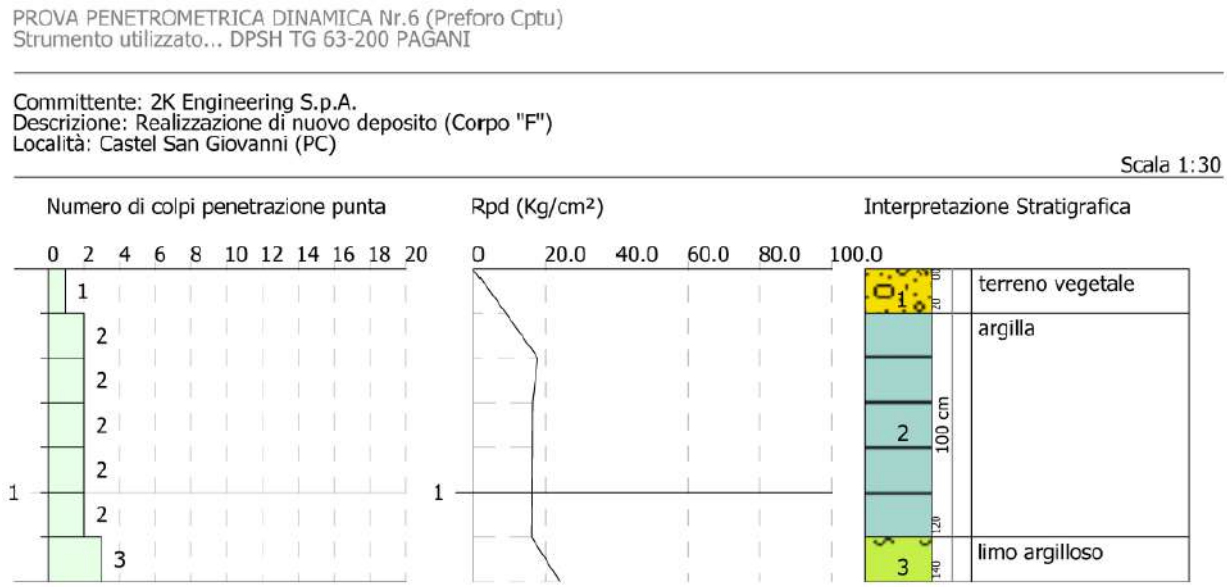


Tabular results

.:: Layer No: 1 ::.

Code: 1 **Start depth:** 0.00 (m), **End depth:** 1.40 (m)

Description: Preforo Dinamico



.:: Layer No: 2 ::.

Code: 2 **Start depth:** 1.40 (m), **End depth:** 5.14 (m)

Description: Silty sand & sandy silt

Basic results	**Estimation results**	
Total cone resistance: 3.19 ±0.96 MPa	Permeability: 3.18E-06 ±3.68E-06 m/s	Constrained Mod.: 56.35 ±21.81 MPa
Sleeve friction: 39.84 ±10.03 kPa	N_{60}: 9.67 ±2.06 blows	Go: 45.15 ±6.35 MPa
Ic: 2.22 ±0.22	Es: 36.49 ±5.01 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
SBT_n: 5	Dr (%): 39.20 ±4.27	Su ratio: 0.00 ±0.00
SBTn description: Silty sand & sandy silt	φ (degrees): 35.78 ±0.86 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 17.61 ±0.36 kN/m³	

.:: Layer No: 3 ::.

Code: 3 **Start depth:** 5.14 (m), **End depth:** 5.28 (m)

Description: Sand & silty sand

Basic results	**Estimation results**	
Total cone resistance: 9.90 ±5.67 MPa	Permeability: 1.62E-04 ±3.12E-04 m/s	Constrained Mod.: 117.66 ±24.24 MPa
Sleeve friction: 54.80 ±11.83 kPa	N_{60}: 21.33 ±8.06 blows	Go: 73.73 ±15.19 MPa
Ic: 1.76 ±0.23	Es: 58.83 ±12.12 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
SBT_n: 6	Dr (%): 56.82 ±13.78	Su ratio: 0.00 ±0.00
SBTn description: Sand & silty sand	φ (degrees): 38.12 ±2.44 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 18.41 ±0.40 kN/m³	

.:: Layer No: 4 ::.

Code: 4 **Start depth:** 5.28 (m), **End depth:** 5.63 (m)

Description: Sand

Basic results	**Estimation results**	
Total cone resistance: 35.54 ±3.55 MPa	Permeability: 1.83E-03 ±8.19E-04 m/s	Constrained Mod.: 241.28 ±29.55 MPa
Sleeve friction: 159.97 ±44.01 kPa	N_{60}: 58.08 ±6.04 blows	Go: 151.20 ±18.52 MPa
Ic: 1.23 ±0.06	Es: 120.64 ±14.77 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
SBT_n: 7	Dr (%): 99.37 ±1.92	Su ratio: 0.00 ±0.00
SBTn description: Sand	φ (degrees): 46.29 ±0.74 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 20.15 ±0.37 kN/m³	

.:: Layer No: 5 ::.

Code: 5 **Start depth:** 5.63 (m), **End depth:** 10.13 (m)

Description: Sand & silty sand

Basic results	**Estimation results**	
Total cone resistance: 13.42 ±4.98 MPa	Permeability: 1.56E-04 ±1.68E-04 m/s	Constrained Mod.: 149.23 ±30.68 MPa
Sleeve friction: 73.28 ±31.67 kPa	N_{60}: 28.18 ±7.78 blows	Go: 93.52 ±19.23 MPa
Ic: 1.67 ±0.20	Es: 74.61 ±15.34 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
SBT_n: 6	Dr (%): 61.77 ±11.55	Su ratio: 0.00 ±0.00
SBTn description: Sand & silty sand	φ (degrees): 39.01 ±2.10 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 18.79 ±0.60 kN/m³	

.:: Layer No: 6 ::.

Code: 6 **Start depth:** 10.13 (m), **End depth:** 10.38 (m)

Description: Sand

Basic results	**Estimation results**	
Total cone resistance: 39.06 ±11.32 MPa	Permeability: 1.36E-03 ±1.14E-03 m/s	Constrained Mod.: 286.97 ±91.14 MPa
Sleeve friction: 207.35 ±136.33 kPa	N_{60}: 66.44 ±19.69 blows	Go: 179.83 ±57.12 MPa
Ic: 1.29 ±0.09	Es: 143.48 ±45.57 MPa	Su: 0.00 ±0.00 kPa
SBT_n: 7	Dr (%): 93.99 ±7.28	Su ratio: 0.00 ±0.00
SBTn description: Sand	φ (degrees): 45.46 ±2.03 °	O.C.R.: 0.00 ±0.00
	Unit weight: 20.29 ±0.80 kN/m³	

Summary table of mean values

From depth To depth (m)	Thickness (m)	Permeability (m/s)	SPT_{N60} (blows/30cm)	E_s (MPa)	D_r (%)	Friction angle	Constrained modulus, M (MPa)	Shear modulus, G_O (MPa)	Undrained strength, S_U (kPa)	Undrained strength ratio	OCR	Unit weight (kN/m³)
0.00	1.40	5.93E-06	4.0	0.0	0.0	0.0	26.6	16.7	0.0	0.0	0.0	19.0
1.40		(±5.93E-06)	(±4.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±26.6)	(±16.7)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)
1.40	3.74	3.18E-06	9.7	36.5	39.2	35.8	56.4	45.1	0.0	0.0	0.0	17.6
5.14		(±3.68E-06)	(±2.1)	(±5.0)	(±4.3)	(±0.9)	(±21.8)	(±6.4)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)
5.14	0.14	1.62E-04	21.3	58.8	56.8	38.1	117.7	73.7	0.0	0.0	0.0	18.4
5.28		(±3.12E-04)	(±8.1)	(±12.1)	(±13.8)	(±2.4)	(±24.2)	(±15.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)
5.28	0.35	1.83E-03	58.1	120.6	99.4	46.3	241.3	151.2	0.0	0.0	0.0	20.1
5.63		(±8.19E-04)	(±6.0)	(±14.8)	(±1.9)	(±0.7)	(±29.5)	(±18.5)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.4)
5.63	4.50	1.56E-04	28.2	74.6	61.8	39.0	149.2	93.5	0.0	0.0	0.0	18.8
10.13		(±1.68E-04)	(±7.8)	(±15.3)	(±11.6)	(±2.1)	(±30.7)	(±19.2)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.6)
10.13	0.25	1.36E-03	66.4	143.5	94.0	45.5	287.0	179.8	0.0	0.0	0.0	20.3
10.38		(±1.14E-03)	(±19.7)	(±45.6)	(±7.3)	(±2.0)	(±91.1)	(±57.1)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.0)	(±0.8)

Depth values presented in this table are measured from free ground surface

Presented below is a list of formulas used for the estimation of various soil properties. The formulas are presented in SI unit system and assume that all components are expressed in the same units.

:: Unit Weight, g (kN/m³) ::

$$g = g_w \cdot \left(0.27 \cdot \log(R_f) + 0.36 \cdot \log(\frac{q_t}{p_a}) + 1.236\right)$$

where g_w = water unit weight

:: Permeability, k (m/s) ::

$I_c < 3.27$ and $I_c > 1.00$ then $k = 10^{0.952-3.04 \cdot I_c}$

$I_c \leq 4.00$ and $I_c > 3.27$ then $k = 10^{-4.52-1.37 \cdot I_c}$

:: N_{SPT} (blows per 30 cm) ::

$$N_{60} = \left(\frac{q_c}{P_a}\right) \cdot \frac{1}{10^{1.1268-0.2817 \cdot I_c}}$$

$$N_{1(60)} = Q_{tn} \cdot \frac{1}{10^{1.1268-0.2817 \cdot I_c}}$$

:: Young's Modulus, Es (MPa) ::

$$(q_t - \sigma_v) \cdot 0.015 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

(applicable only to $I_c < I_{c_cutoff}$)

:: Relative Density, Dr (%) ::

$$100 \cdot \sqrt{\frac{Q_{tn}}{k_{DR}}}$$

(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8 or $I_c < I_{c_cutoff}$)

:: State Parameter, ψ ::

$$\psi = 0.56 - 0.33 \cdot \log(Q_{tn,cs})$$

:: Drained Friction Angle, φ (°) ::

$$\varphi = \varphi'_{cv} + 15.94 \cdot \log(Q_{tn,cs}) - 26.88$$

(applicable only to SBT_n: 5, 6, 7 and 8 or $I_c < I_{c_cutoff}$)

:: 1-D constrained modulus, M (MPa) ::

If $I_c > 2.20$
$\alpha = 14$ for $Q_{tn} > 14$
$\alpha = Q_{tn}$ for $Q_{tn} \leq 14$
$M_{CPT} = \alpha \cdot (q_t - \sigma_v)$

If $I_c \geq 2.20$

$$M_{CPT} = 0.03 \cdot (q_t - \sigma_v) \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

:: Small strain shear Modulus, Go (MPa) ::

$$G_0 = (q_t - \sigma_v) \cdot 0.0188 \cdot 10^{0.55 \cdot I_c + 1.68}$$

:: Shear Wave Velocity, Vs (m/s) ::

$$V_s = \left(\frac{G_0}{\rho}\right)^{0.50}$$

:: Undrained peak shear strength, Su (kPa) ::

$N_{kt} = 10.50 + 7 \cdot \log(F_r)$ or user defined

$$S_u = \frac{(q_t - \sigma_v)}{N_{kt}}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Remolded undrained shear strength, Su(rem) (kPa) ::

$S_{u(rem)} = f_s$ (applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Overconsolidation Ratio, OCR ::

$$k_{OCR} = \left[\frac{Q_{tn}^{0.20}}{0.25 \cdot (10.50 \cdot +7 \cdot \log(F_r))}\right]^{1.25}$$ or user defined

$$OCR = k_{OCR} \cdot Q_{tn}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: In situ Stress Ratio, Ko ::

$$K_O = (1 - \sin\varphi') \cdot OCR^{\sin\varphi'}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Soil Sensitivity, S_t ::

$$S_t = \frac{N_S}{F_r}$$

(applicable only to SBT_n: 1, 2, 3, 4 and 9 or $I_c > I_{c_cutoff}$)

:: Peak Friction Angle, φ' (°) ::

$$\varphi' = 29.5° \cdot B_q^{0.121} \cdot (0.256 + 0.336 \cdot B_q + \log Q_t)$$

(applicable for $0.10 < B_q < 1.00$)

References

• Robertson, P.K., Cabal K.L., Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering, Gregg Drilling & Testing, Inc., 5th Edition, November 2012

• Robertson, P.K., Interpretation of Cone Penetration Tests - a unified approach., Can. Geotech. J. 46(11): 1337–1355 (2009)

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale

Via E. Fermi, 113 – Trevozzo
29031 Alta Val Tidone (PC)
Tel.: 348 510 7263
info@geotestsrl.com

Servizi Geologici
Servizi Geotecnici
Servizi Geofisici

Allegato 2

Indagine Geofisica di Superficie

Indagine Geofisica di Superficie

- PROVA SISMICA MULTICANALE MASW

- MISURA DEI RAPPORTI SPETTRALI HVSR

1. PREMESSA

Il rapporto illustra e commenta la campagna geofisica di superficie realizzata nei mesi di ottobre-dicembre 2020 presso un areale denominato *"Corpo F"*, sito all'interno del Polo Logistico di Castel San Giovanni (PC).

Le indagini svolte costituiscono un importante supporto conoscitivo addizionandosi alla base informativa sito specifica ed implementando, quali strumenti di complementarietà interpretativa, l'attendibilità delle risultanze scaturite da altre prove geognostiche condotte.

Oltre al ruolo di supporto per un inquadramento geo litologico-stratigrafico con ricostruzione della geometria e del grado di addensamento delle unità presenti nel sottosuolo, le indagini geofisiche di superficie condotte hanno come finalità la determinazione della categoria di suolo di fondazione e la valutazione della frequenza di vibrazione caratteristica del sito.

La prospezione sismica ha previsto la realizzazione delle seguenti prove:

- n. 2 prove "Masw" (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- n. 3 prove HVSR (Microtremori tipo Nakamura).

DATI GENERALI

- **COMMITTENTE** : SPETT.LE 2K ENGINEERING S.P.A.
- **CANTIERE** : STUDIO PRELIMINARE DI FATTIBILITÀ RELATIVO ALLA REALIZZAZIONE DI UN NUOVO DEPOSITO DENOMINATO "CORPO F"
- **LOCALITÀ** : POLO LOGISTICO
  29015 CASTEL SAN GIOVANNI (PC)

COROGRAFIA

INDAGINI CONDOTTE

PLANIMETRIA DELLE INDAGINI

LEGENDA

MASW/ReMi. Prova Masw/Re.Mi.

H/V Prova Microtremori tipo Nakamura

N
W E
S

2. PROVA SISMICA MULTICANALE MASW (MULTICHANNEL ANALYSIS OF SURFACE WAVES)

2.1 PREMESSA

Su incarico e per conto di 2K Engineering S.p.A., sono state condotte, nei mesi di ottobre-dicembre 2020, n. 2 prove geofisiche mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), presso un areale denominato "Corpo F" sito all'interno del Polo Logistico di Castel San Giovanni (PC).

L'utilizzo di tale metodologia ha permesso di ricavare le velocità delle onde di taglio S, le quali hanno consentito il calcolo del valore del parametro V_{S30}, necessario per la definizione della categoria di suolo di fondazione come previsto da normativa vigente "Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni" (D.M. 17 Gennaio 2018).

2.2 CENNI METODOLOGICI

Il metodo M.A.S.W. (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è una tecnica di indagine non invasiva che permette di individuare il profilo di velocità delle onde di taglio V_S, sulla base della misura delle onde superficiali eseguita in corrispondenza di diversi sensori (geofoni nel caso specifico) posti sulla superficie del suolo secondo uno stendimento lineare.

Tale metodo di indagine è di tipo attivo in quanto le onde superficiali sono generate in un punto sulla superficie del suolo (tramite energizzazione con mazza battente parallelamente all'array). Il metodo attivo generalmente consente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente nel range di frequenze compreso tra 5 Hz e 70Hz, quindi fornisce informazioni sulla parte più superficiale del suolo, generalmente compresa tra i 30 m ed i 50 m, in funzione della rigidezza del suolo e delle caratteristiche della sorgente e presenta una maggiore affidabilità per profondità di circa 20 m.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive (fenomeno della dispersione geometrica), cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano anche gli strati più profondi del suolo.

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale.

L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possible identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

La profondità investigata dalle onde di Rayleigh dipende dalla lunghezza d'onda, dalla velocità delle onde di taglio Vs e dalla frequenza (Stokoe II and Santamarina, 2000): onde di Rayleigh con diversa lunghezza d'onda forniscono informazioni a diverse profondità del sito. Le informazioni sulla velocità delle onde di taglio Vs del sito fornite, sono da intendersi come informazioni medie lungo la profondità.

Il risultato finale del processo di elaborazione è il *profilo verticale delle velocità delle onde S*.

I **vantaggi** della tecnica M.A.S.W. possono essere così riassunti:

1. particolarmente indicata per terreni attenuanti ed ambienti rumorosi;
2. è in grado di evidenziare inversioni di velocità nel profilo di velocità;
3. buona risoluzione.

I **limiti teorici** del metodo MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli, orizzontali ed omogenei, quindi una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere appresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 20°. Si rammenta, in ogni caso, che la valutazione delle velocità e degli spessori dei singoli strati viene effettuata con un margine di incertezza, insita proprio nei metodi geofisici, che si aggira generalmente attorno al 10-20 %.

L'**elaborazione** dei dati con il metodo M.A.S.W. prevede tre principali fasi di lavoro:

1. la prima fase prevede il calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale;

2. la seconda fase consiste nel calcolare la velocità di fase apparente numerica;

3. la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, agendo sui parametri sotto elencati mediante loro modifica fino a raggiungere la sovrapposizione ottimale tra la velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale e la velocità di fase (o curva di dispersione) numerica corrispondente al modello di suolo assegnato:

   3.1 spessore strati considerati (h_{iesimo});

   3.2 velocità delle onde di taglio (Vs) e delle onde di compressione (Vp) o, in alternativa alle velocità Vp, è possibile assegnare il coefficiente di Poisson (σ);

   3.3 densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo.

Generalmente l'operatore simula un modello geotecnico sintetico iniziale definendo un certo numero di strati ed assegnando a ciascuno di essi il corrispettivo valore del peso dell'unità di volume e del coefficiente di Poisson. Le principali variabili al raggiungimento del miglior fitting fra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione teorica, saranno pertanto lo spessore dei singoli strati (h_{iesimo}) e la corrispettiva velocità (Vs).

La curva di dispersione teorica ottenuta manualmente tramite intervento attivo dell'utente nella definizione di un primo modello di sottosuolo (e quindi di profilo di velocità delle onde di taglio verticali), si affianca una combinazione automatica di ricerca del profilo di velocità / modello di sottosuolo ottimale. Quest'ultima si affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale per minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica.

Il processo descritto è detto **"di Inversione"** e consiste, appunto, nella modifica reiterata dei parametri del modello geotecnico sintetico fino ad avvicinare il più possibile (tendenza alla sovrapposizione) la curva di dispersione teorica con quella sperimentale ed ottenere il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidezza.

In genere quando l'errore relativo, tra curva sperimentale e curva numerica è compresa tra il 5% ed il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due pertanto, il profilo di velocità delle onde di taglio Vs e la definizione di suolo sismico conseguente rappresentano una soluzione valida dal punto di vista ingegneristico.

2.3 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E MODALITÀ ESECUTIVE

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati consiste in un sismografo a 24 canali *ECHO 12-24/2010 della "Ambrogeo"*, n° 12 geofoni verticali con periodo proprio di 4,5 Hz, mazza battente di 8 kg dotata di uno starter da accoppiare al circuito trigger del sismografo, piastra di battuta in alluminio 15x15x2.5 cm, batteria ricaricabile 12V, cavo per sismica a rifrazione 75 mt con 12 takeouts a 5 metri di intervallo.

AMBRGEO Strumenti per Geofisica

Seismograph ECHO 24/2010 Seismic Unit

• Monitor:	Touchscreen/External laptop
• Number of channels:	12-24+1
• A/D Conversion:	24 bits
• Dynamic range:	130dB @1ms PG=0dB 120dB @1ms PG=18dB
• Cross talk:	>90db
• Preamplify gain:	0db, 6db, 12db, 24db, 30 db, 36 db
• Frequency response:	0 to 6KHz (30kSPS) 0 to 4,8KHz (15kSPS), 0 to 3KHz (7,5kSPS), 0 to 1,5KHz (3,5kSPS), 0 to 800Hz (2kSPS), 0 to 400Hz (1kSPS)
• Acquisition and display filter:	Low Cut Out 10.15.25.35.50.70.100.200.280.400 Hz
• Sampling interval:	32us,64us,128us,256us,480us,960us
• Record length:	16000 samples
• Stacking trigger accuracy:	1/32 of samples interval
• Distorsion (THD):	0,0004 %
• Max input signal:	2Vpp,0Db
• CMR:	110dB (fCM =60Hz. fDATA = 30kSPS
• Noise:	0,25uV,2ms,36Db
• Pre-trigger data:	524ms @ 32us sample interval
• Delay:	0 to 2500ms step 10ms
• Temperature range:	- 30°C/+70°C
• Power:	12 V
• Continuous recording:	HVSR
• Output format:	SEG-Y/SG2 / SAF (SESAME ASCII FORMAT)
• **Connector:**	**61-pin Bendix connector - NK27-pin Cannon connector**

61 pins connector

Figura 1: Sismografo Echo 24/2010 Seismic UNIT Ambrogeo

La geometria di acquisizione ha previsto stendimenti di 12 geofoni spaziati di 5 m (distanza intergeofonica) con offset sorgente di 5 m (distanza di energizzazione dal primo geofono).

La configurazione temporale di acquisizione è consistita in durata di acquisizione pari a 1002.3 msec e periodo di campionamento 0.478 msec.

Si ricorda che il punto di determinazione del profilo delle Vs in profondità, si riferisce al centro dello stendimento geofonico.

I dati sismici registrati in campagna sono stati elaborati utilizzando il software *"winMASW 2018 versione Academy della Eliosoft"* il quale consente l'operazione di processing mediante "modellazione diretta" e fitting tra la curva di dispersione e lo spettro di velocità ottenuto dai dati acquisiti per arrivare ad un modello del profilo verticale Vs il più coerente possibile con l'andamento della curva di dispersione sperimentale misurata.

2.4 ELABORAZIONE DATI

I dati sismici registrati in campagna sono stati elaborati utilizzando il software *"winMASW 2018 versione Academy della Eliosoft"*. In una prima fase è stata calcolata la velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale.

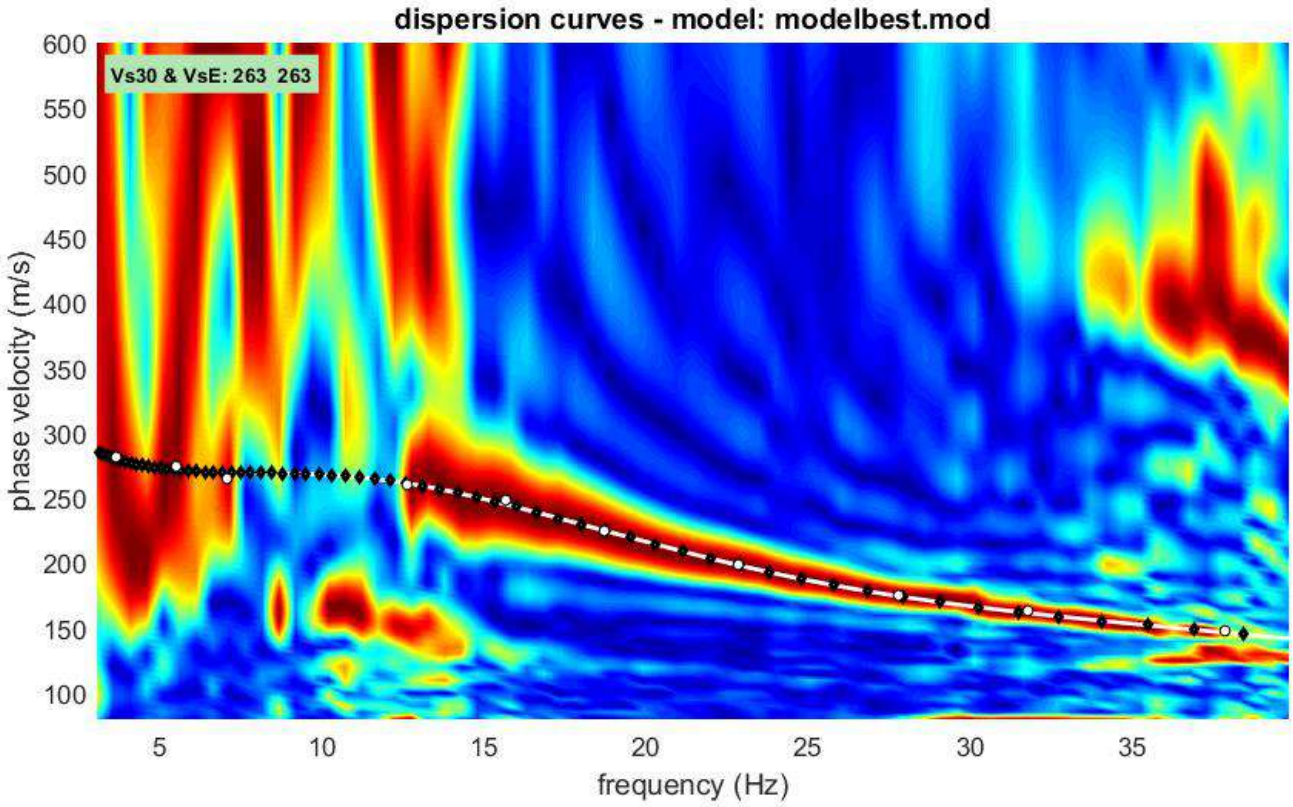


Figura 2: Grafico velocità di fase-frequenza e curva di dispersione della prova 1

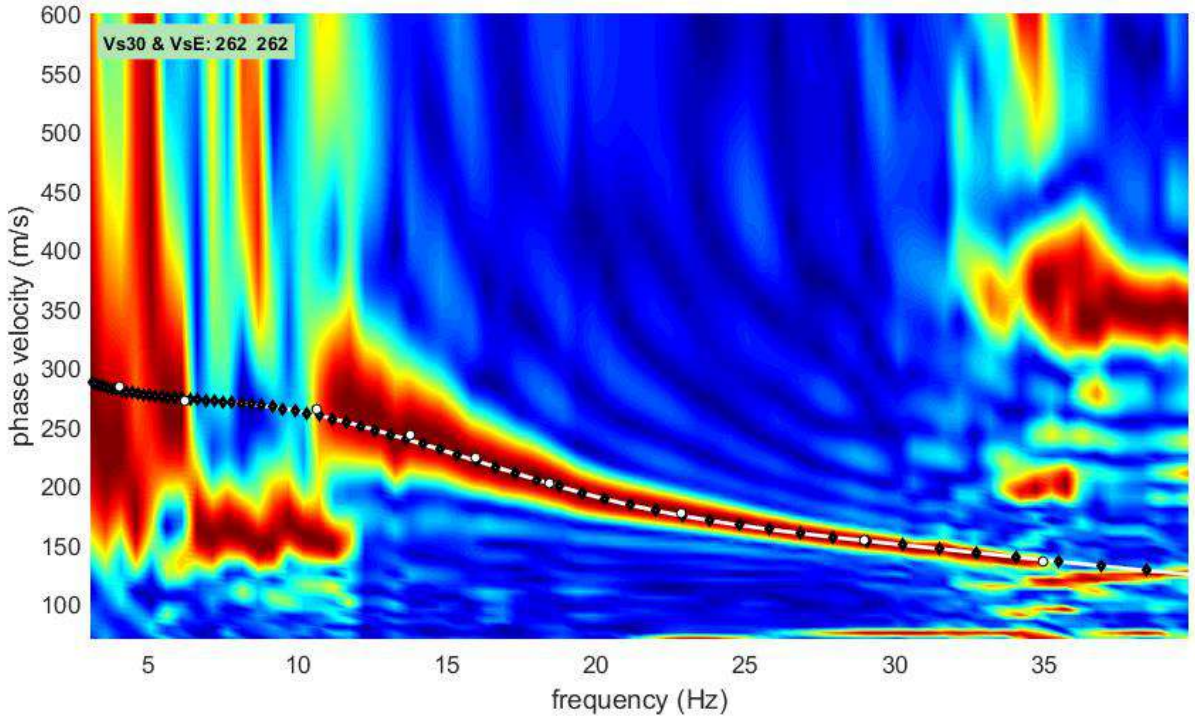


Figura 3: Grafico velocità di fase-frequenza e curva di dispersione della prova 2

Successivamente è stato definito il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, modificando opportunamente, per ciascun strato individuato, i seguenti parametri: spessore h, velocità delle onde di taglio Vs e di compressione Vp o, in alternativa, il coefficiente di Poisson (σ) e il peso dell'unità di volume. Lo scopo è quello di ottenere un modello di velocità, e quindi di sottosuolo, a cui corrisponda una curva di dispersione numerica che si sovrapponga (o avvicini) alla velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale.

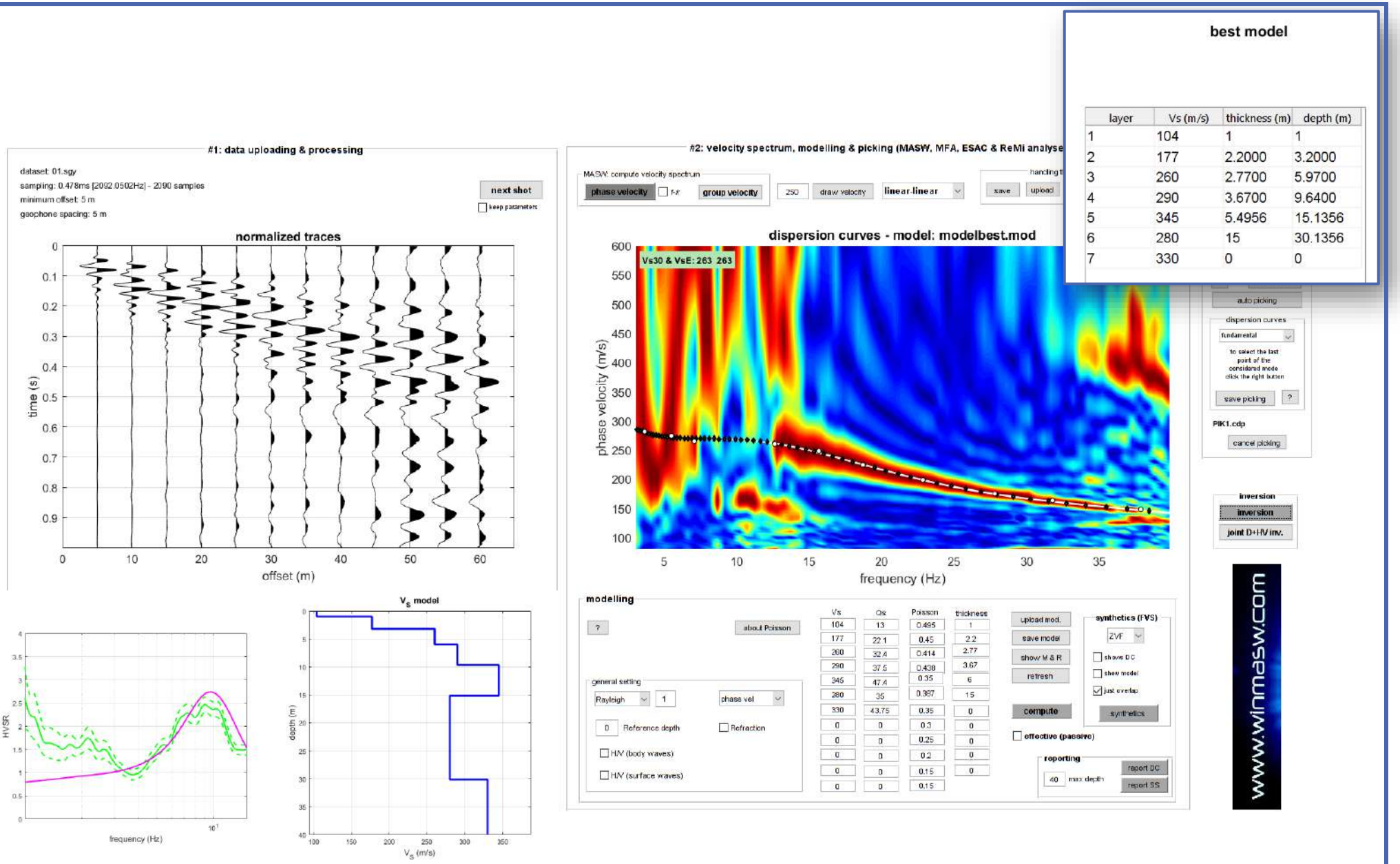
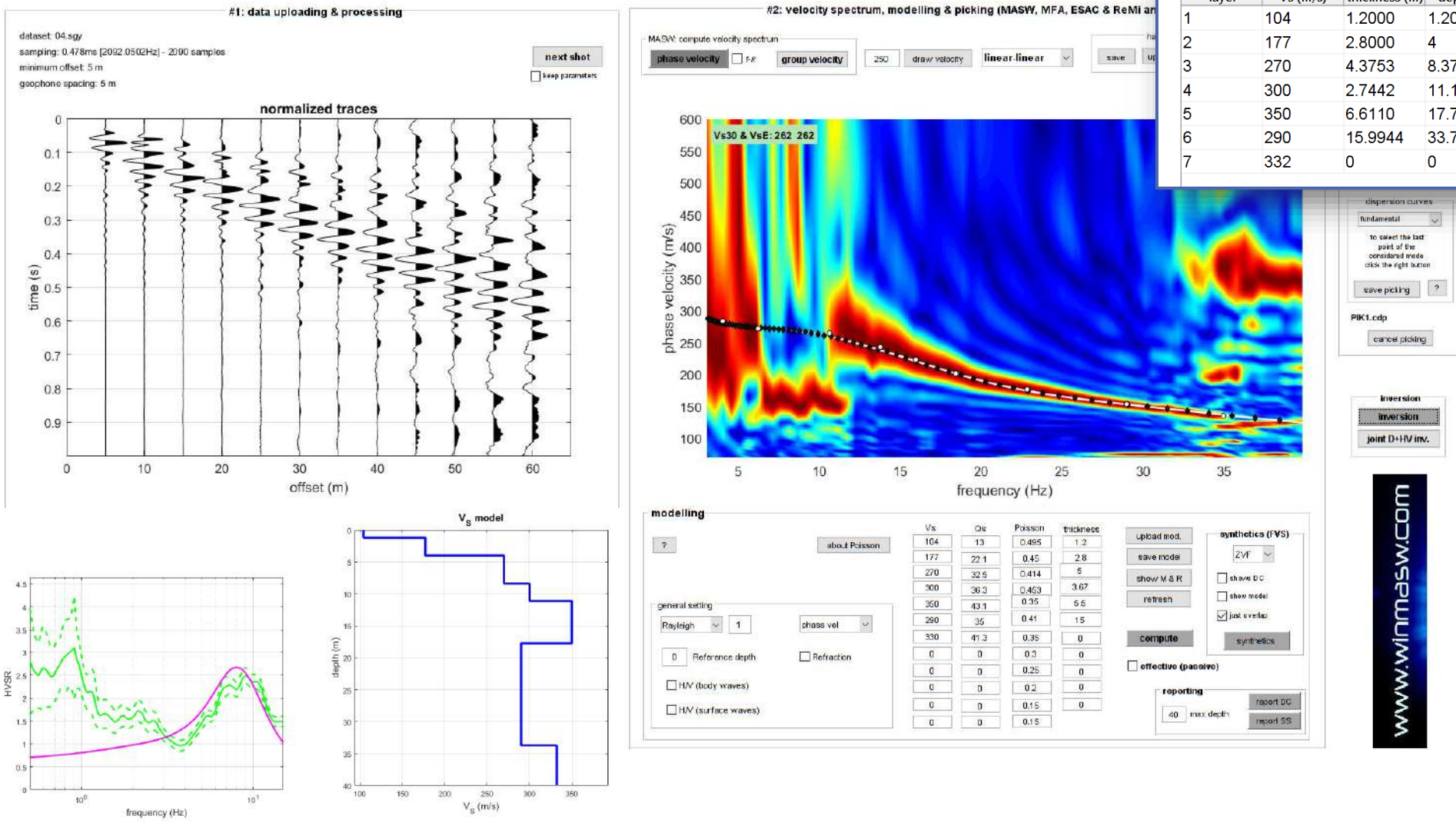


Figura 4: Sulla sinistra i dati di campagna e sulla destra lo spettro di velocità calcolato (prova 1)



best model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	104	1.2000	1.2000
2	177	2.8000	4
3	270	4.3753	8.3753
4	300	2.7442	11.1195
5	350	6.6110	17.7305
6	290	15.9944	33.7250
7	332	0	0

Figura 5: Sulla sinistra i dati di campagna e sulla destra lo spettro di velocità calcolato (prova 2)

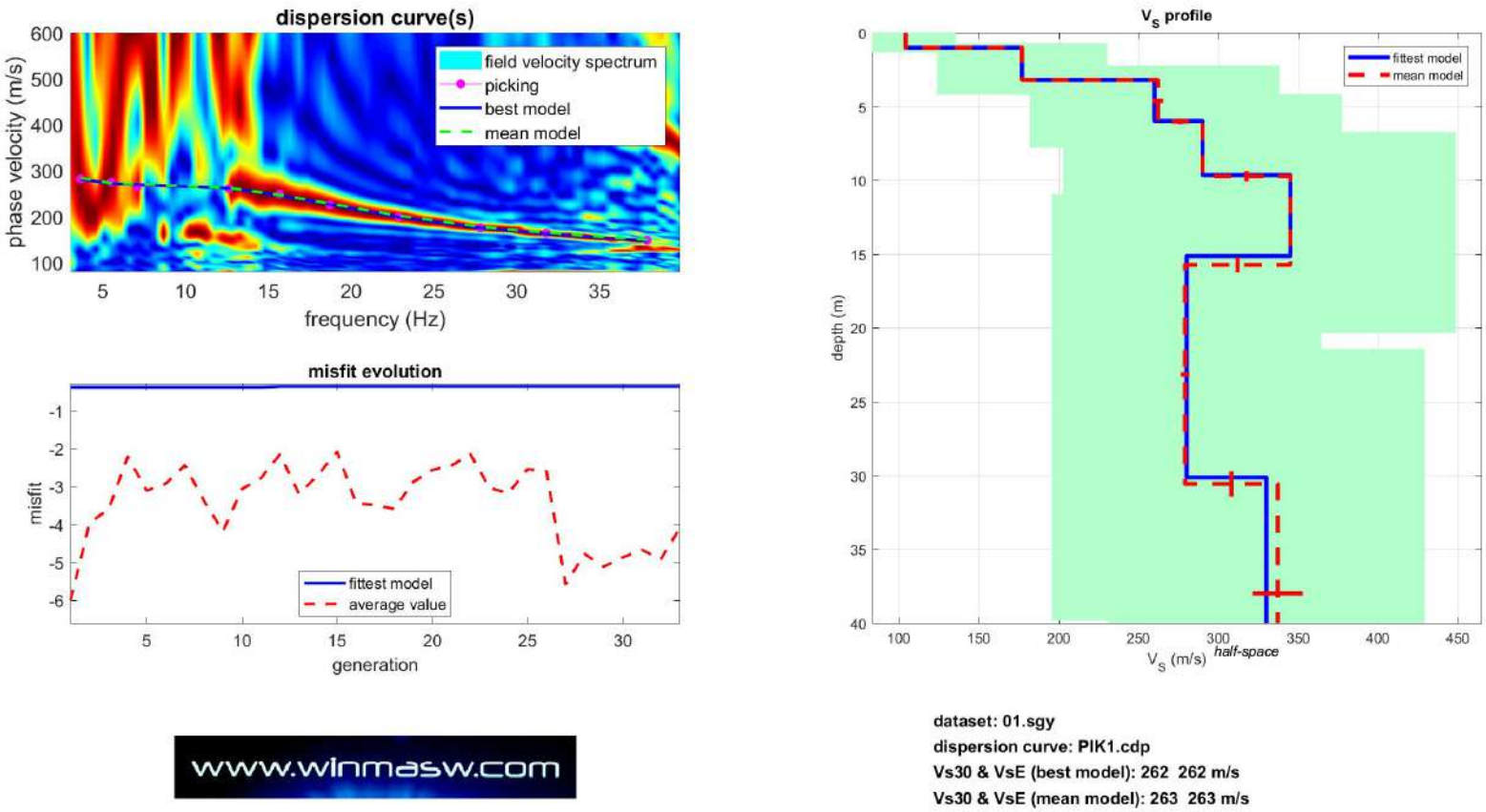


Figura 6: Risultati della modellazione diretta con relativa curva di dispersione. A destra Profilo verticale Vs successivo al processo di inversione (Prova 1)

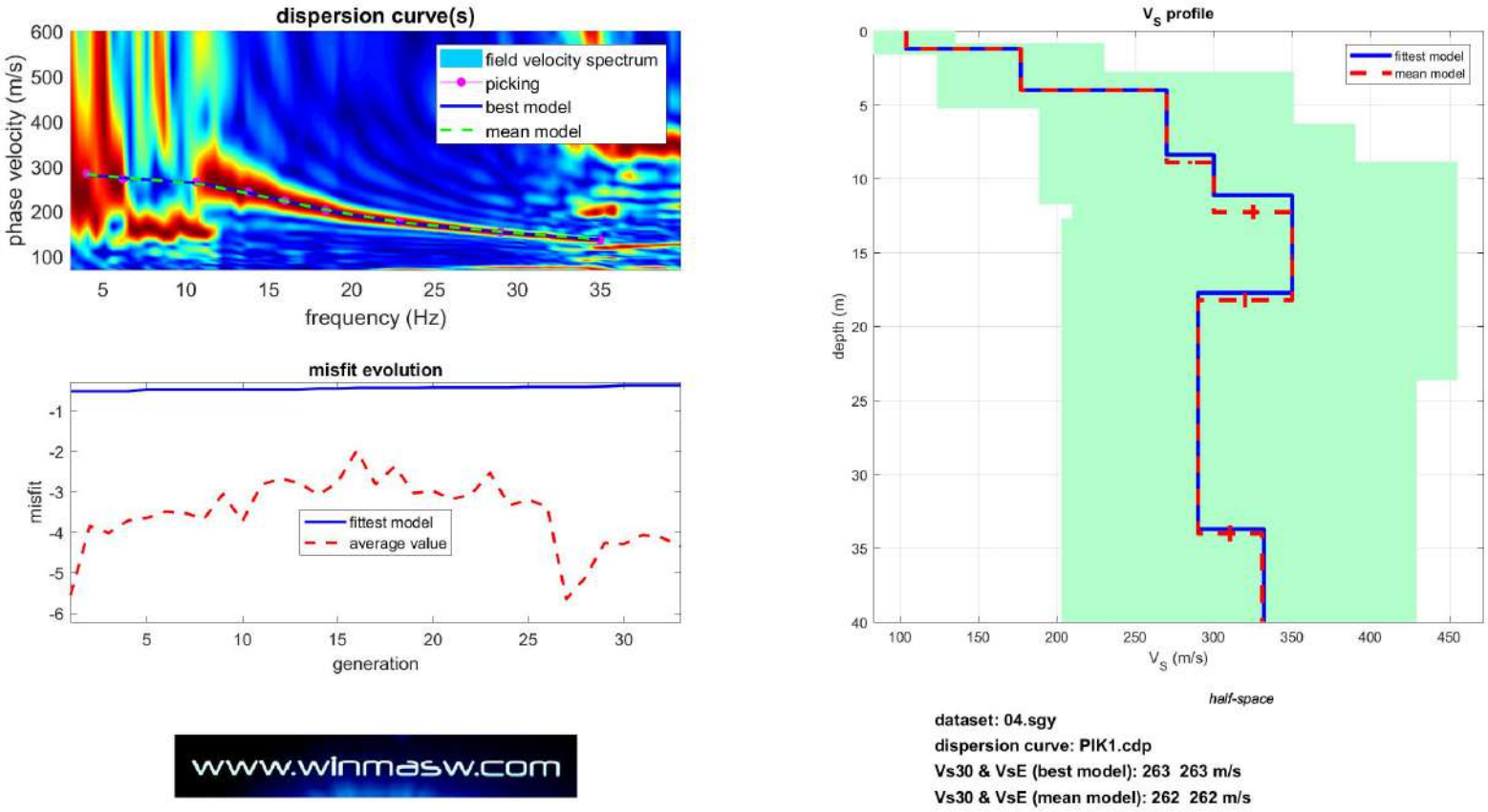


Figura 7: Risultati della modellazione diretta con relativa curva di dispersione. A destra Profilo verticale Vs successivo al processo di inversione (Prova 2)

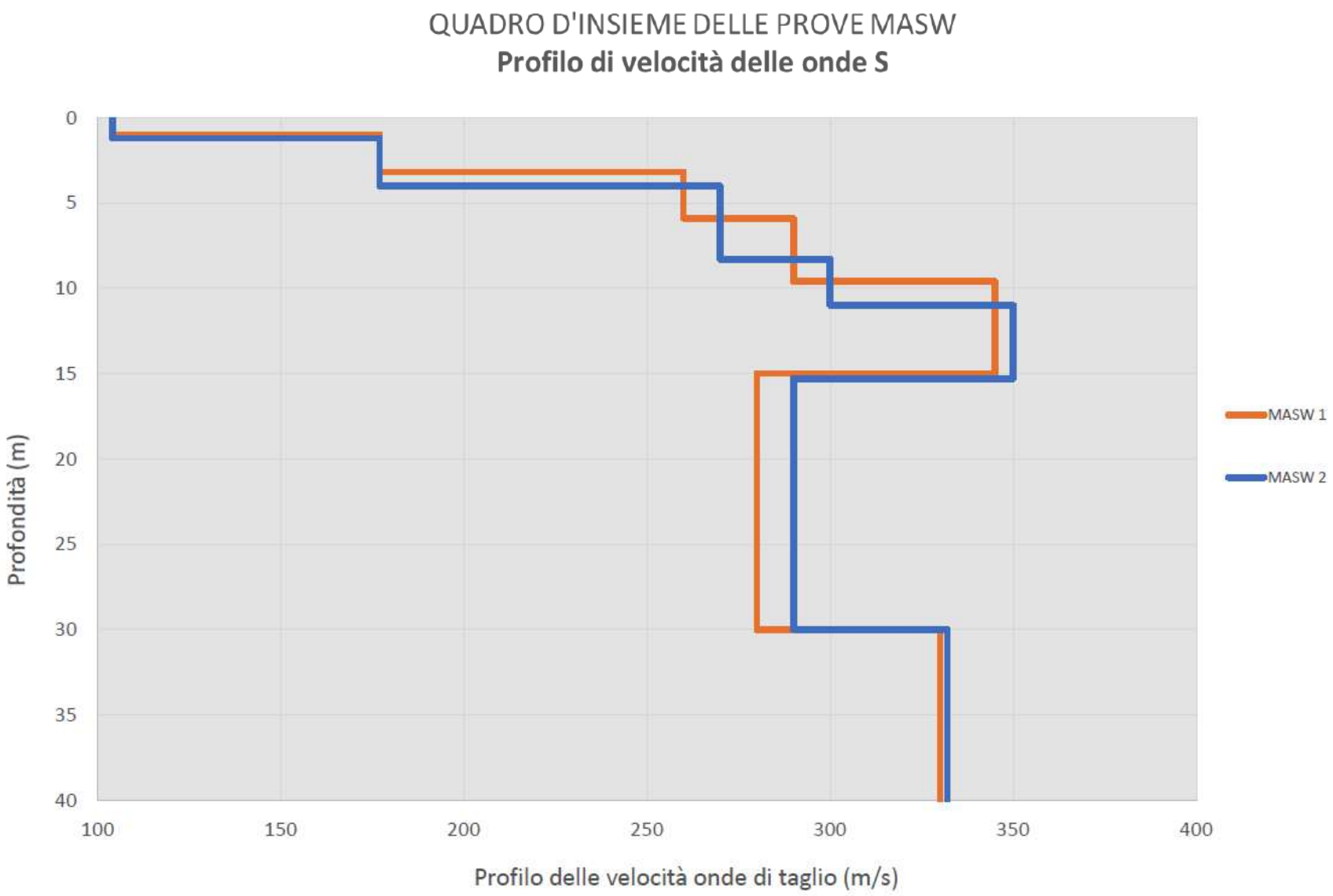


Figura 8: Quadro d'insieme delle prove MASW

2.5 ANALISI DEI RISULTATI

Per ciascuna delle 2 prove effettuate, i dati sismici acquisiti ed elaborati, hanno consentito di interpretare un profilo di velocità delle onde "S" fino ad oltre 30 m dal p.c.

Tale risultato costituisce un importante supporto nell'interpretazione della successione litostratigrafica di sito. L'indagine geofisica M.A.S.W., unitamente alle risultanze di prove geognostiche (tra cui penetrometrie dinamiche e/o statiche) nonché di informazioni bibliografiche e d'archivio, consente la definizione dei principali orizzonti geotecnici. La velocità di propagazione delle onde di taglio costituisce un parametro geomeccanico del mezzo attraversato, pertanto fornisce indicazioni sulle caratteristiche e sullo stato dello scheletro del materiale stesso (le velocità variano al variare delle caratteristiche geomeccaniche e fisiche dei litotipi coinvolti): generalmente la velocità delle onde di taglio aumenta in corrispondenza di materiali addensati e con buone caratteristiche geomeccaniche, mentre diminuisce in materiali poco consistenti e con scadenti caratteristiche geotecniche.

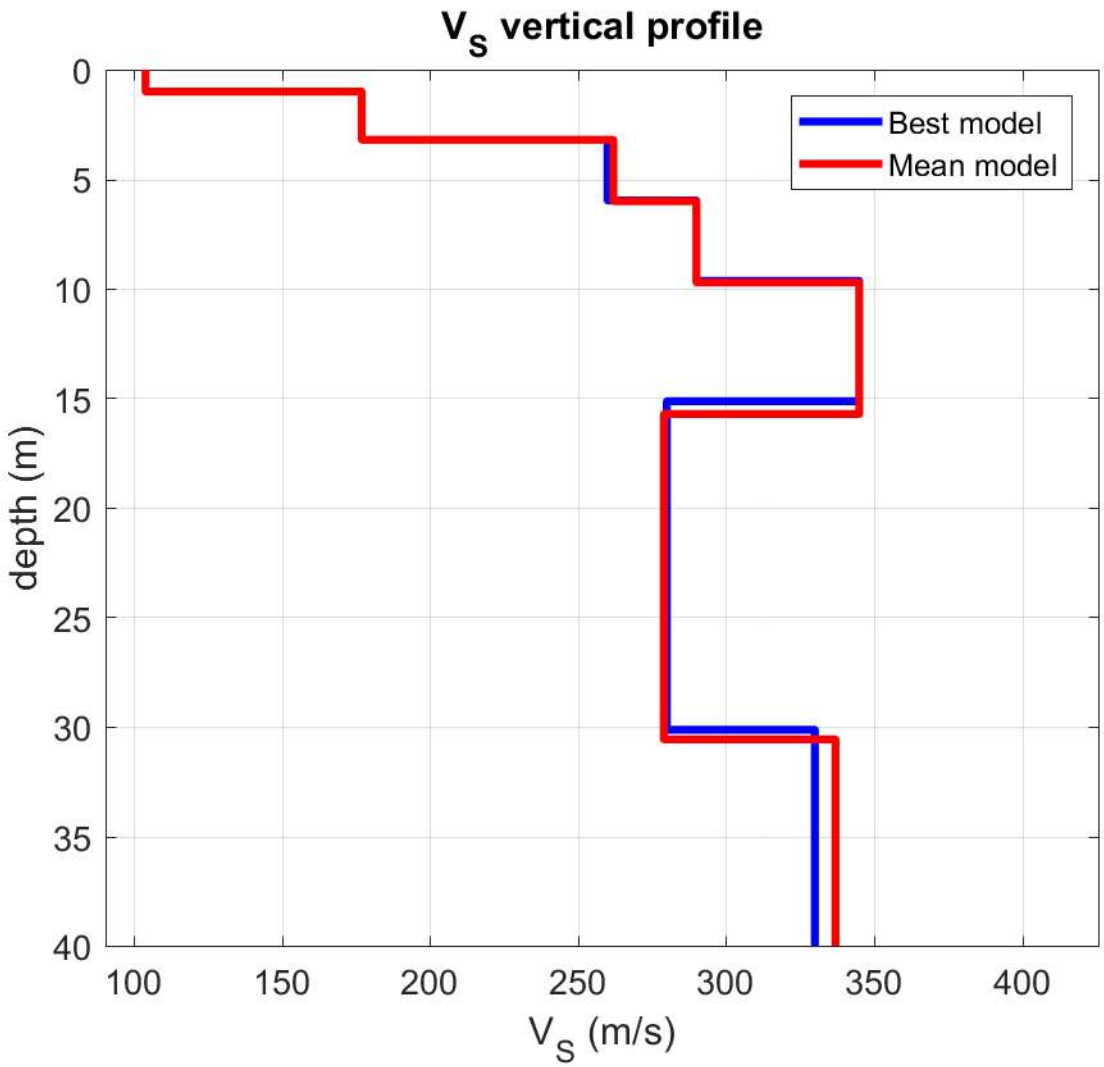


Figura 9: Profilo verticale di velocità delle onde "S" (Vs) – Prova 1

2.6 CONSIDERAZIONI INTERPRETATIVE CONCLUSIVE

I risultati delle prove MASW appaiono coerenti con l'assetto geologico sito specifico.

In ottemperanza a quanto definito dalla vigente normativa "Aggiornamento Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 17 Gennaio 2018", la classificazione di suolo sismico relativo al sito oggetto di studio, è stata ottenuta sulla base delle condizioni stratigrafiche e del valore di velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $Vs,_{eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

h_i spessore dell'i-esimo strato;
$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
N numero di strati;
H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da Vs non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, tale profondità è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Nei depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $Vs,_{eq}$ è definita dal parametro $Vs,_{30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità (da intendersi i primi 30 m di profondità rispetto al piano fondazionale ovvero, velocità media delle onde di taglio nei primi 30 m di profondità, considerando come quota di riferimento il piano fondazionale p.f. = 0 m). In altri termini, ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente Vs,30 di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

Nei depositi con profondità H del substrato inferiore a 30 m la categoria di suolo non è più definita sulla base del calcolo del Vs relativo a 30 m ma la classificazione del sottosuolo dovrà effettuarsi in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio Vs,eq (rispetto al piano di imposta) entro lo spessore H del substrato, caratterizzato da Vs non inferiori a 800 m/s: per strati con Vs ≥ 800 m/s posti a profondità inferiore ai 30 m si considera infatti solo tale profondità.

Prove eseguite	Profondità da p.c.	Vs equivalente (m/sec)	Categoria di sottosuolo
MASW 1	0 m	Vs30, eq = **262**	**C**
	-1.0 m	Vs30, eq = **278**	**C**
	-2.0 m	Vs30, eq = **285**	**C**
	-3.0 m	Vs30, eq = **292**	**C**
MASW 2	0 m	Vs30, eq = **263**	**C**
	-1.0 m	Vs30, eq = **278**	**C**
	-2.0 m	Vs30, eq = **286**	**C**
	-3.0 m	Vs30, eq = **293**	**C**

Tabella per la classificazione del suolo di fondazione

Categoria	Descrizione	Vs min [m/sec]	Vs max [m/sec]
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteri-stiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.	800	-
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consi-stenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.	360	800
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consi-stenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento del-le proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	180	360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consi-stenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento del-le proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.	100	180
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le catego-rie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.	-	-

Su incarico conferito da 2K Engineering S.p.A., sono state eseguite nei mesi di ottobre-dicembre 2020, n. 2 indagini geofisiche mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW, presso un areale denominato "Corpo F" sito all'interno del Polo Logistico di Castel San Giovanni (PC).

Dall'esame dei profili verticali di velocità delle onde "S" (Vs) ottenuti, è stato possibile caratterizzare sismicamente l'area di studio, qualificando e quantificando le caratteristiche geosismiche dei terreni coinvolti. I modelli simo-stratigrafici restituiti, hanno mostrato un'apprezzabile correlatività con l'assetto geologico della zona; a seguire le considerazioni e deduzioni scaturite:

- I profili di velocità ricostruiti presentano un andamento sostanzialmente simile denotando una buona omogeneità litostratigrafica dell'area;
- Lo spessore del materiale areato molto allentato con Vs inferiore a 110 m/s è di 1.0-1.5 m circa;
- Più in profondità, fino a circa 3.0-4.0 m, i valori subiscono un primo netto incremento portandosi sui 170-180 m/s, segnalando la presenza di materiale comunque sempre poco compatto;
- Oltre i 3.0-4.0 m fino a 10.0-12.0 m, i valori aumentano ulteriormente collocandosi sui 260-300 m/s per la presenza di litotipi prevalentemente sabbiosi discretamente addensati. L'incremento di velocità con la profondità, è quindi verosimilmente accompagnato da un generale aumento della frazione attritiva costituente;
- Ancora più in profondità i valori di Vs sono mediamente di 340-350 m/s, indicando litotipi prevalentemente sabbiosi ben addensati;
- A partire da circa 15.0-18.0 m fino a circa 30.0-34.0 m di profondità, si assiste ad una leggera inversione di velocità, con valori di Vs che si mantengono comunque intorno ai 280-300 m/s. Tale comportamento è verosimilmente imputabile ad un incremento, entro la successione, delle intercalazioni coesive fini;
- Ancora più in profondità i valori di Vs tornano ad aumentare attestandosi intorno ai 330-340 m/s;
- I valori di Vs eq calcolati entro i primi 30 m rispetto ad un piano fondazionale posto a diverse profondità (da p.c. a -3.0 m da p.c.), variano da 262 m/s a 293 m/s definendo un suolo di fondazione sito specifico di tipo "**C**".

3. MISURA DEI RAPPORTI SPETTRALI HVSR - HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO (IPOTESI DI NAKAMURA)

3.1 CENNI METODOLOGICI

Il metodo dei rapporti spettrali di singola stazione (HVSR) è largamente utilizzato in paesi con elevato rischio sismico, quali il Giappone, per la stima degli effetti di amplificazione di sito.

Tale metodo si basa sulla misura del microtremore, un'impercettibile oscillazione naturale del suolo presente in qualsiasi punto della superficie terrestre, che consiste per lo più nelle onde sismiche prodotte dal vento e dal moto ondoso marino negli strati superficiali della Terra. Anche le attività umane (industrie, traffico stradale ecc.) possono produrre localmente microtremore, ma in genere tale segnale viene attenuato piuttosto rapidamente a causa delle sue caratteristiche di alta frequenza.

Il microtremore naturale del suolo, agendo da oscillatore naturale, permette tramite adeguata strumentazione, la misura diretta delle frequenze di vibrazione dei terreni e dei manufatti.

La tecnica utilizzata, proposta da Nakamura (Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR of RTRI, Vol. 30, No.1, 25-33) per lo studio delle amplificazioni di sito, assume che i microtremori consistano principalmente di onde di Rayleigh che si propagano in un singolo strato soffice su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito. Tale tecnica permette di separare i termini di sorgente-percorso e di sito tramite i rapporti tra le componenti del moto, senza utilizzare alcun sito di riferimento.

Le ipotesi su cui si basa la tecnica di Nakamura sono le seguenti:

- *I microtremori sono generati da sorgenti locali, e non da sorgenti profonde i cui contributi sono trascurabili;*
- *Le sorgenti dei microtremori in superficie non influenzano i microtremori alla base dello strato considerato;*
- *La componente verticale del moto non risente di effetti di amplificazione locale;*
- *Il picco visibile nei rapporti H/V (rapporto tra l'ampiezza spettrale della componente orizzontale e l'ampiezza spettrale della componente verticale) è indipendente dalle caratteristiche della sorgente del rumore ed è invece fortemente dipendente dalle condizioni stratigrafico-litologiche del terreno. Tale picco è inoltre ben correlato con la frequenza fondamentale di vibrazione del terreno soggetto alla propagazione di onde S verticali e con il picco fondamentale delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.*

Le principali applicazioni delle prove H/V si possono così sintetizzare:

- *Misura delle frequenze di risonanza dei suoli;*
- *Effetti di sito e microzonazione sismica (curve H/V, metodo di Nakamura);*
- *Stratigrafia sismica passiva;*
- *Vs30 da fit vincolato della curva H/V;*
- *Segnalazione dei possibili fenomeni di doppia risonanza suolo-struttura.*

Di particolare importanza è la frequenza di vibrazione del sito, caratterizzata dal maggiore rapporto di ampiezze **H/V**, nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico (frequenze generalmente inferiori a 10 Hz), denominata frequenza fondamentale di vibrazione $\mathbf{f_0}$.

È possibile poi determinare la profondità degli strati sismici mediante la misura diretta delle frequenze di vibrazione, associata alla misura delle velocità delle onde S tramite la relazione:

$$f_0 = \frac{Vs}{4H}$$

dove:

- **Vs** è la velocità media delle onde di taglio;
- **H** è la profondità dello strato sismico in corrispondenza di un netto aumento di velocità sismiche.

Le misure HVSR permettono inoltre, se associate a misure di dispersione delle onde di superficie (Masw, Esac, ReMi ecc.), di vincolare il profilo Vs e quindi di ottenere una ricostruzione più "robusta" del profilo di velocità e raggiungere profondità non direttamente raggiungibili dalle altre prove.

A causa della pesante non-univocità della soluzione, una modellazione del solo HVSR senza quantitative informazioni sulle Vs ottenute da misure Masw / Esac-ReMi. e un solido ancoraggio di taratura, non risulta affidabile per la determinazione del profilo di velocità delle onde S e quindi della valutazione della Vs30.

3.2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA E MODALITA' DI ACQUISIZIONE

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato "**TROMINO® BLU**", tromografo digitale di ultima generazione.

"**TROMINO®**" è uno strumento compatto, ultra leggero che opera in alta risoluzione.

Al suo interno racchiude:

- 3 canali velocimetrici a guadagno variabile
- 3 canali accelerometrici
- 1 canale analogico
- ricevitore GPS
- modulo radio ricevente/trasmittente (per la sincronizzazione tra diverse unità)
- sistema di trigger radio (per prove MASW e simili)

Possibilità di campionamento nell'intervallo di frequenze compreso tra 0.1 e 1024 Hz. Nel caso specifico, le 4 registrazioni hanno avuto una lunghezza di 20 minuti, con un campionamento a 128 Hz.

- 3 canali velocimetrici a guadagno e sensibilità variabile: dal microtremore (fino a ±0.5 mm/s) alle vibrazioni forti (fino a ± 5 cm/s)
- 3 canali accelerometrici (±2 g)
- 1 canale analogico (es. trigger esterno per MASW e rifrazione)
- frequenze di lavoro [0.1, 1024] Hz su tutti i canali con conversione A/D a 24 bit reali
- ricevitore GPS con antenna interna o esterna per posizionamento e sincronizzazione tra diverse unità
- modulo radio trasmittente e ricevente integrato per sincronizzazione tra diverse unità e trasmissione di allarmi (es. superamento di soglie)

3.3 ELABORAZIONE ED ANALISI DEI DATI

Per l'elaborazione dei dati sismici è stato utilizzato il software winMASW 2018 versione Academy della Eliosoft.

Di seguito i risultati ottenuti dall'elaborazione delle prove effettuate:

3.3.1 DATA ACQUISITION

- Località = Polo Logistico – Corpo "F", 29015 – Castel San Giovanni (PC)
- Station Coordinates HVSR 1 = 009°27.6785 E, 45°04.4068 N
- Station Coordinates HVSR 2 = 009°27.7173 E, 45°04.3819 N
- Station Coordinates HVSR 3 = 009°27.7198 E, 45°04.3429 N

3.3.2 DATA PROCESSING

- Sampling frequency (Hz): 64
- Window length (sec): 20
- Minimum frequency soundly determined [10 cycles]: 0.5Hz
- Tapering (%): 5
- Smoothing (%): 10

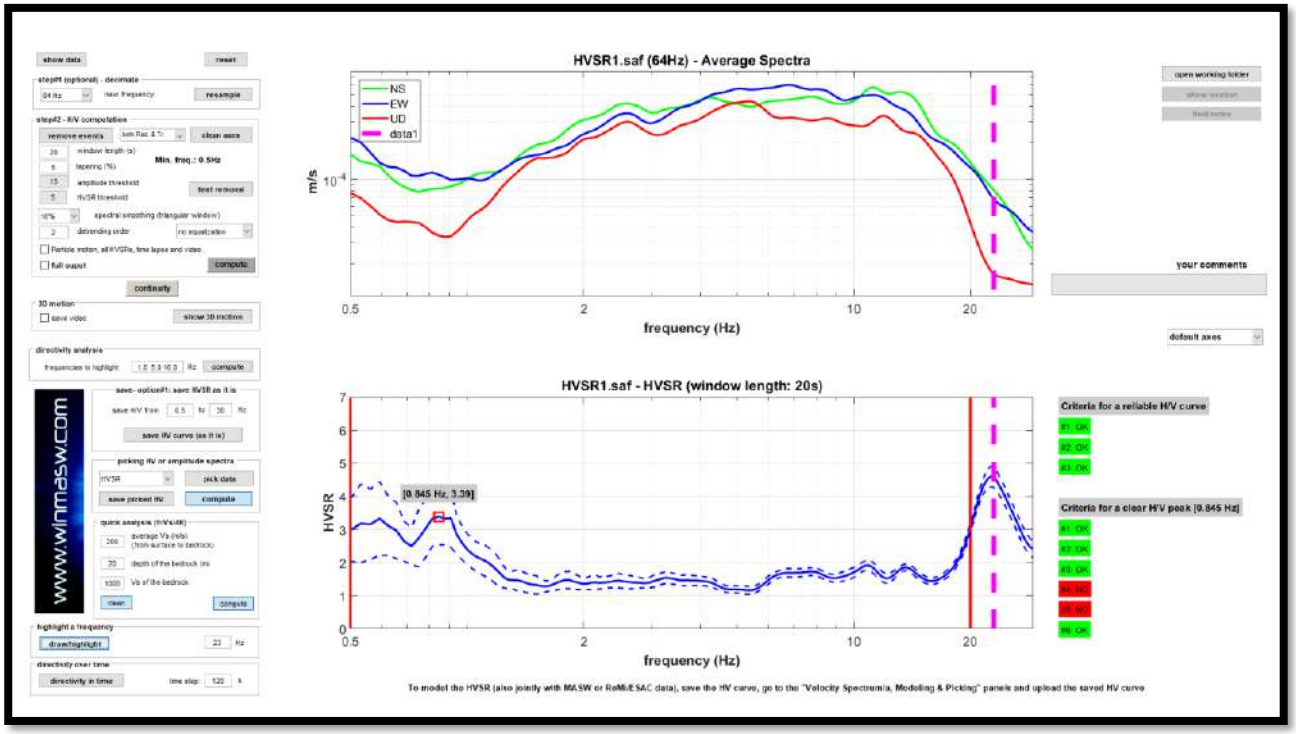


Figura 10: Prova HVSR_1 la riga continua indica il valore medio, le tratteggiate le deviazioni standard

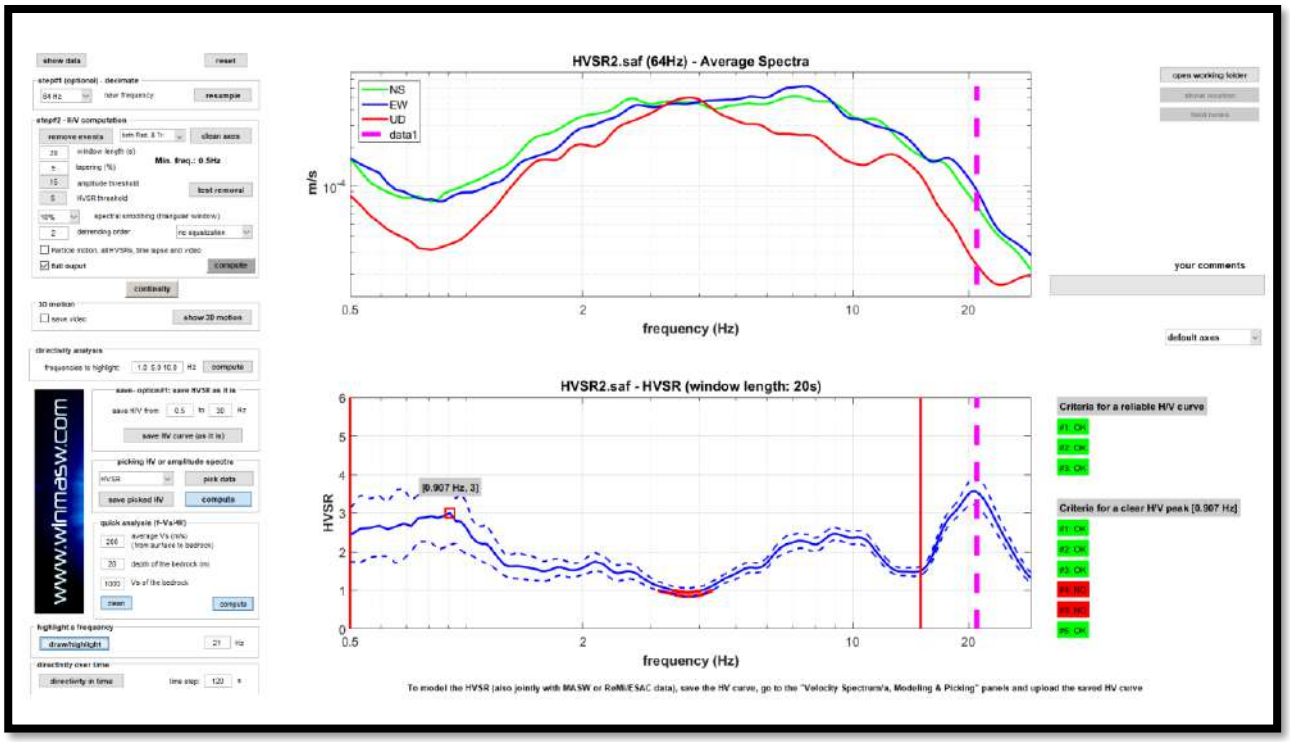


Figura 11: Prova HVSR_2 la riga continua indica il valore medio, le tratteggiate le deviazioni standard

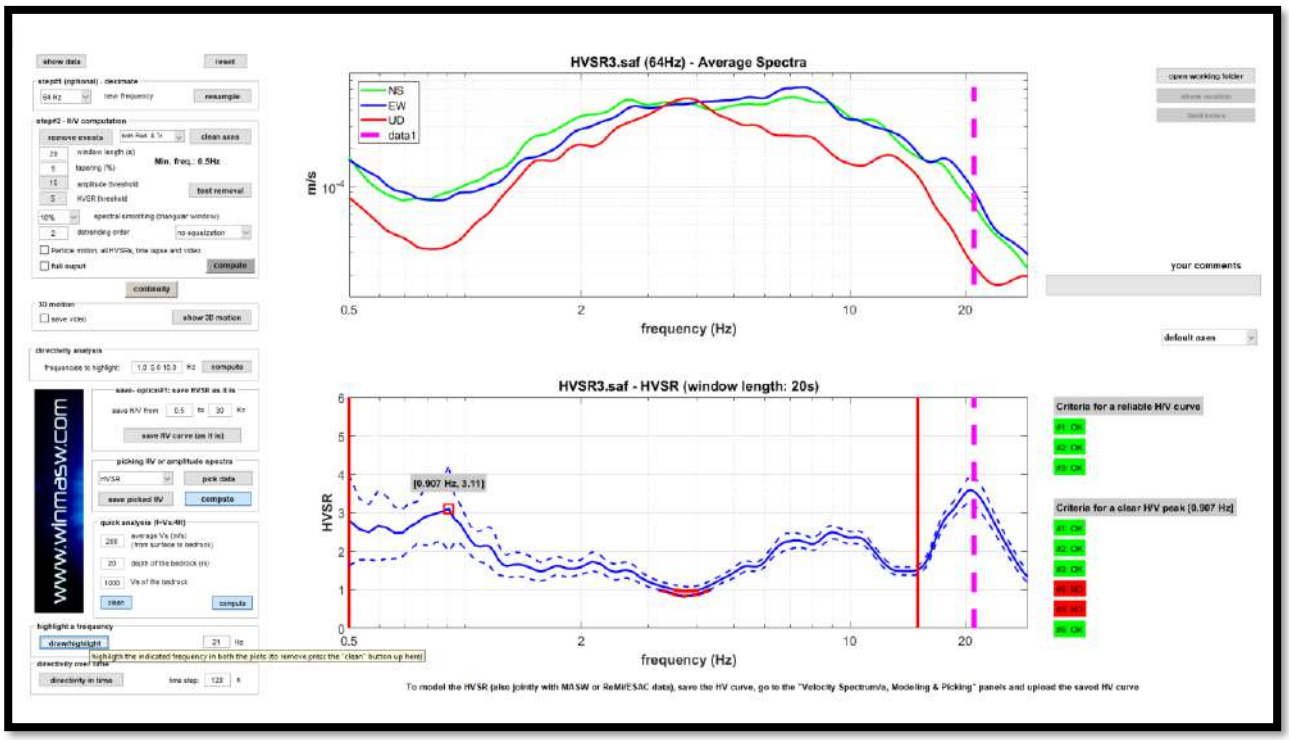


Figura 12: Prova HVSR_3 la riga continua indica il valore medio, le tratteggiate le deviazioni standard

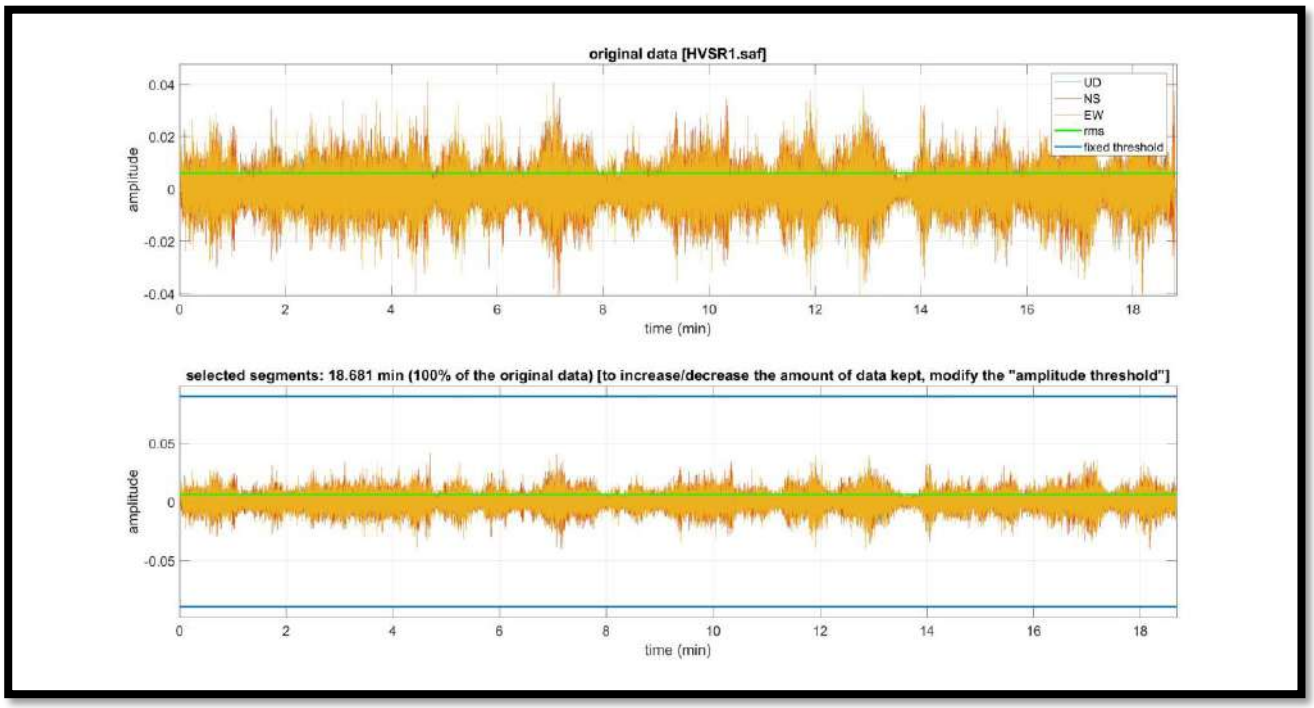


Figura 13: Prova HVSR_1 dati originali e dati "puliti"

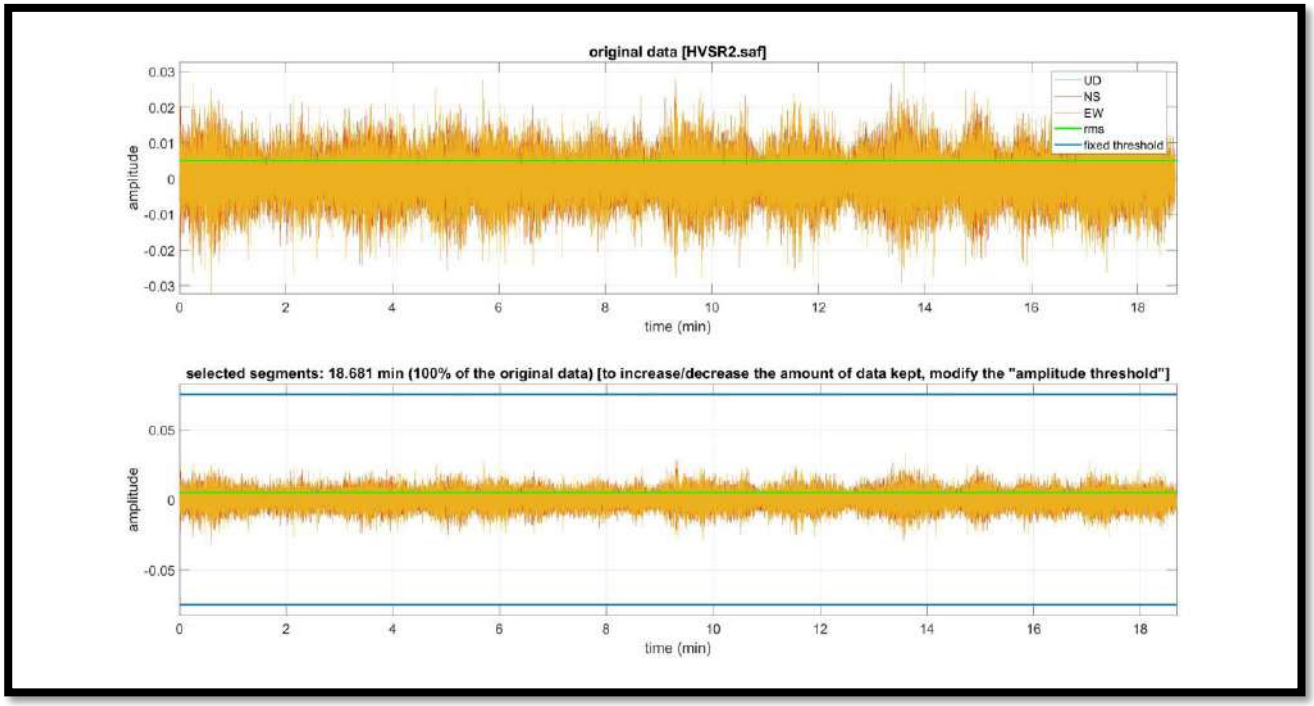


Figura 14: Prova HVSR_2 dati originali e dati "puliti"

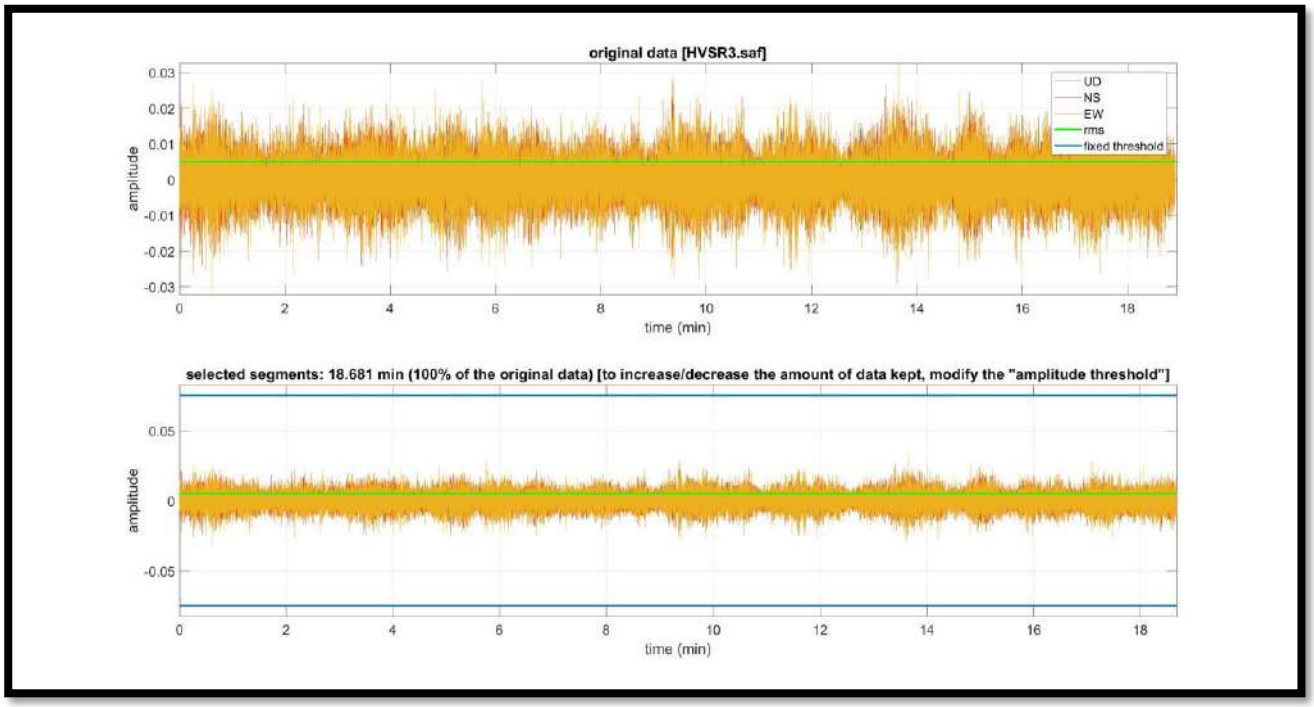


Figura 15: Prova HVSR_3 dati originali e dati "puliti"

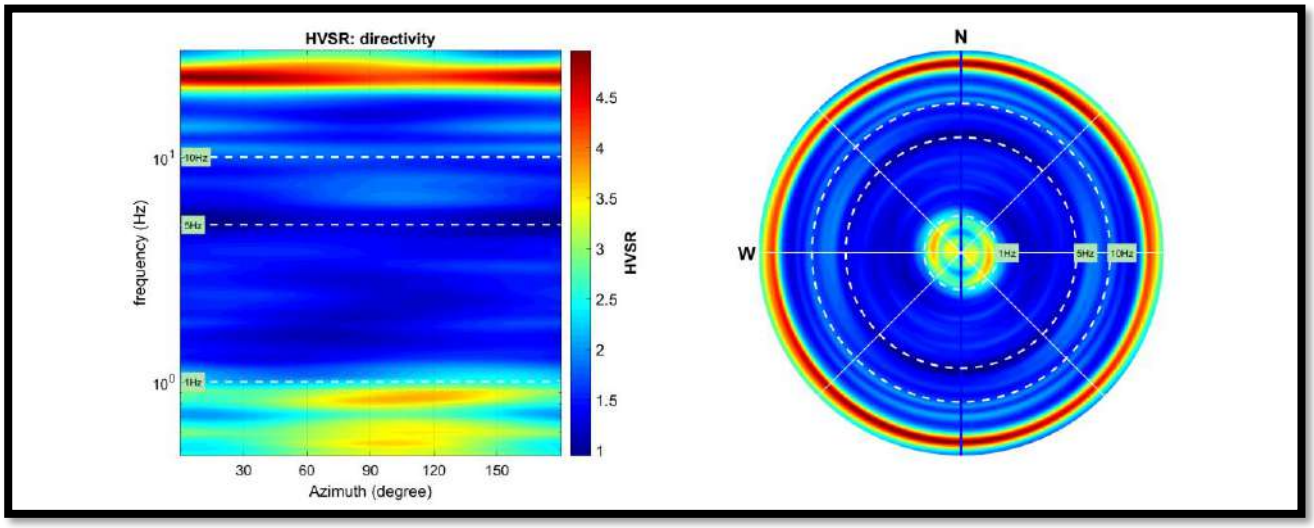


Figura 16: Prova HVSR_1 directivity

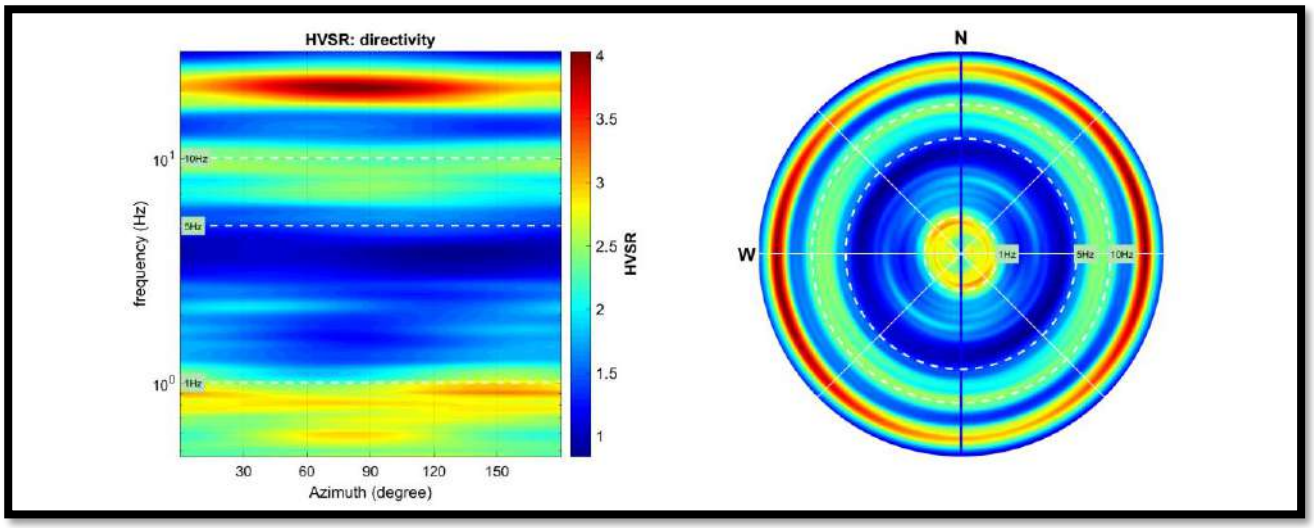


Figura 17: Prova HVSR_2 directivity

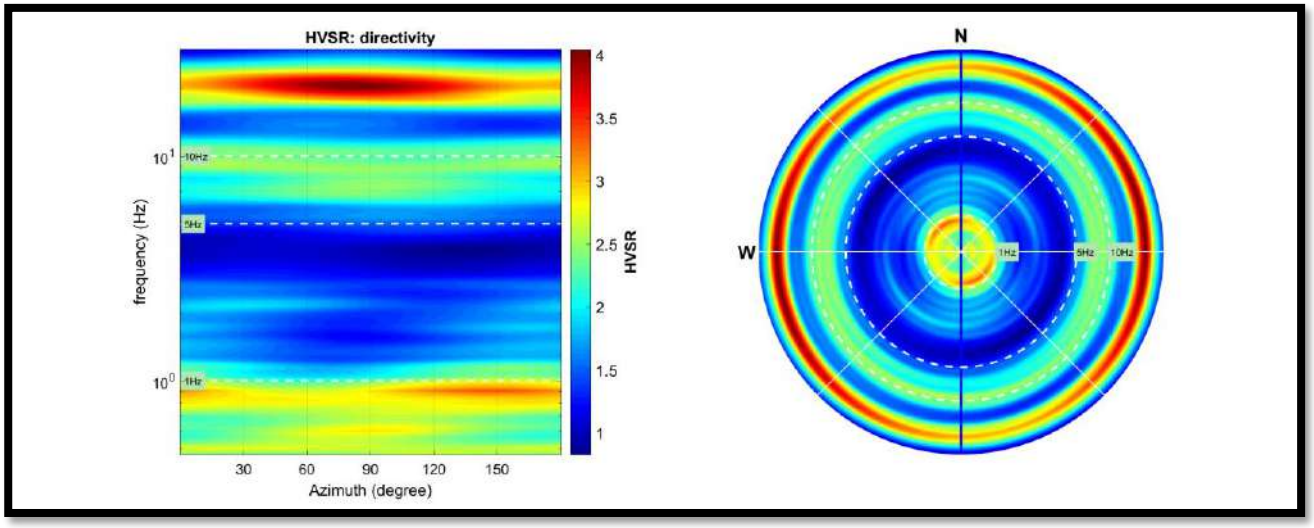


Figura 18: Prova HVSR_3 directivity

Per consentire un più agevole confronto fra le prove, i risultati delle stesse sono stati riportati in un unico grafico.

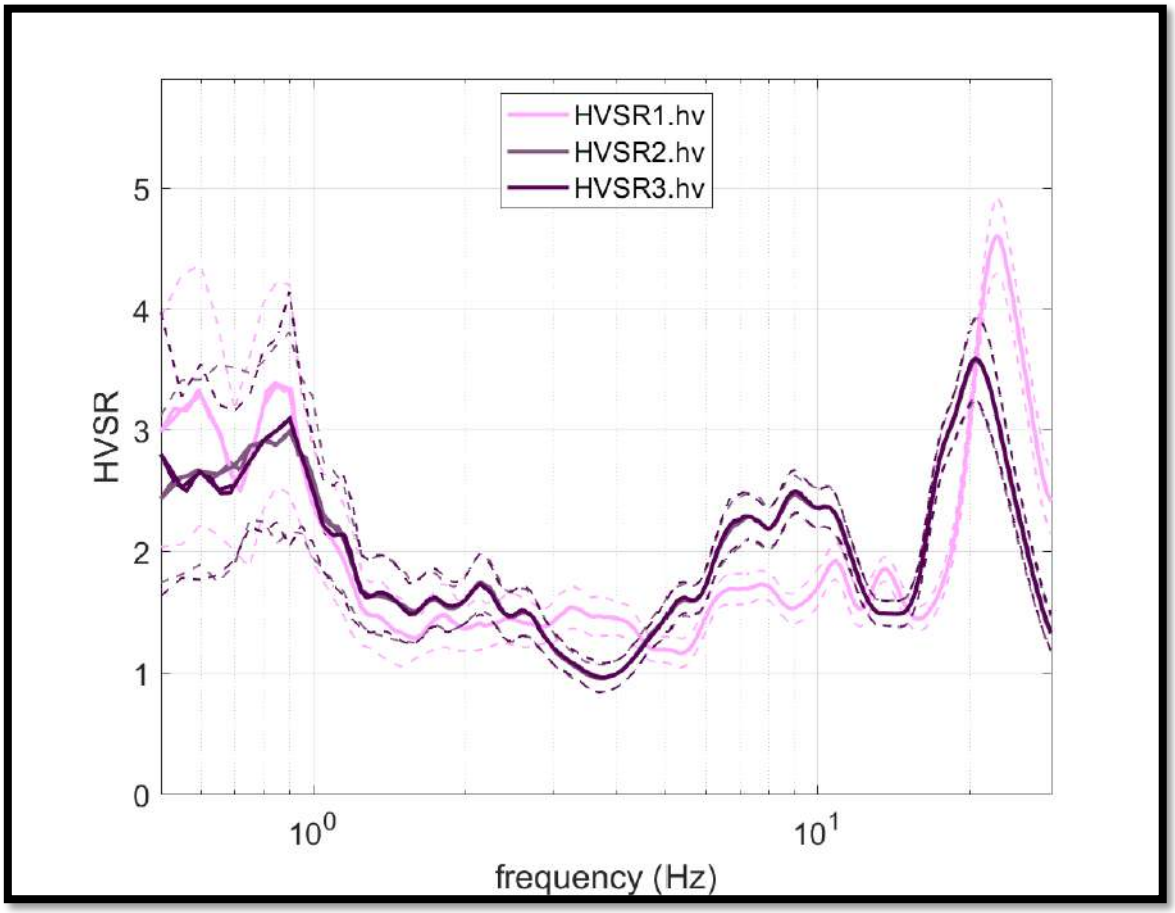


Figura19: Quadro d'insieme delle prove HVSR

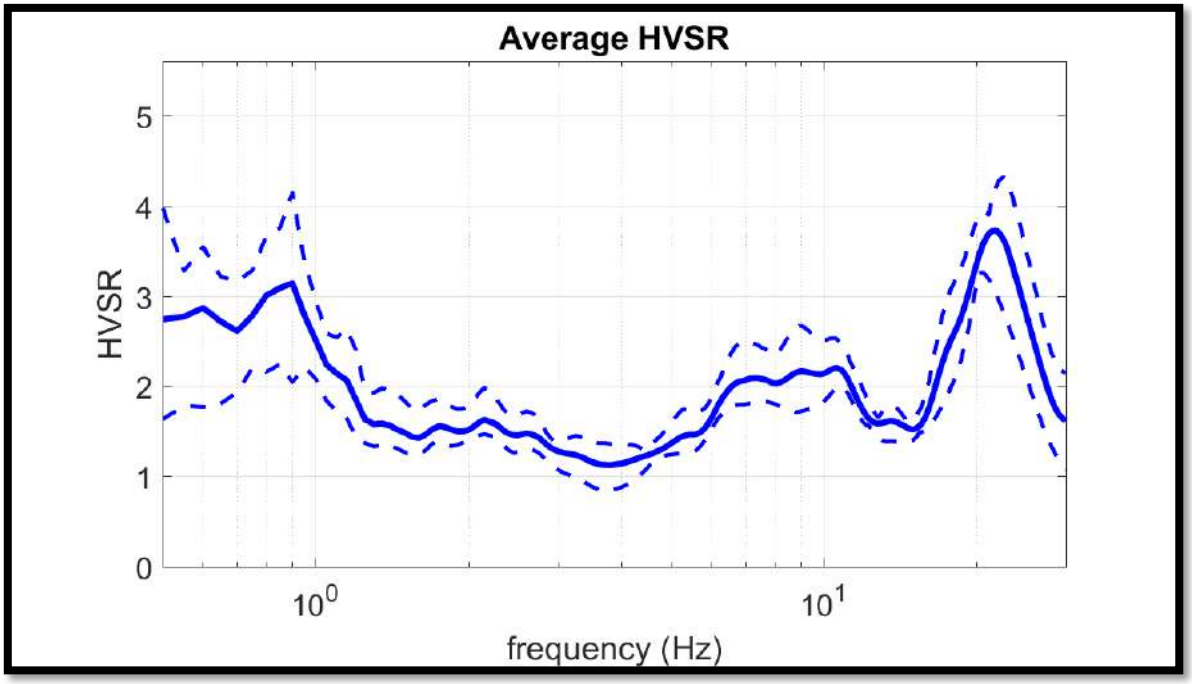


Figura 20: Average HVSR

3.4 ELABORAZIONE ED ANALISI DEI DATI con "Grilla"

I dati sismici acquisiti sono stati elaborati anche con il software “Grilla”.

Il programma consente di effettuare:

- Analisi spettrale completa delle tracce, calcolo delle curve H/V per la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo;
- Procedure di pulizia delle tracce nel dominio del tempo e delle frequenze;
- Test sulla significatività dei picchi secondo le linee guida europee (Criteri Sesame);
- Determinazione delle frequenze dei modi di vibrare delle strutture con rimozione dell’effetto di sottosuolo;
- Creazione di un report automatico con tabelle e illustrazioni;
- Estrapolazione del profilo di velocità Vs mediante inversione della prova HVSR

Si precisa che il profilo di velocità ottenuto, costituisce una stima qualitativa ed approssimativa. I valori di Vs rappresentano quantità mediate sfruttando l'applicazione di formule empiriche.

L'affidabilità del modello proposto è proporzionale al dettaglio conoscitivo del contesto geologico-stratigrafico locale. Da una corretta predisposizione dei dati di partenza per la stima del profilo di Vs, ne scaturisce quindi una migliore rappresentatività del profilo ottenuto nonché l'individuazione dell’interfaccia/e costituente il/i contrasto/i di impedenza principale del sito investigato.

Sul piano operativo si procede "fittando" (ovvero approssimando il più possibile) la curva sperimentale misurata HVSR, con una curva teorica costruita a partire da un modello di sottosuolo ipotizzato. Generalmente le prospezioni geofisiche sono supportate da indagini geotecniche propedeutiche alla caratterizzazione geo-litotecnica sito specifica (per esempio prove penetrometriche).

Le informazioni sperimentali e bibliografiche disponibili, rappresentano una prima taratura per vincolare i dati di input degli orizzonti più superficiali del modello teorico.

A partire da un profilo di primo tentativo semplificato, i parametri che definiscono il modello verranno, pertanto, variati fino all'individuazione del set che minimizza la differenza fra la curva H/V sperimentale e quella H/V sintetica.

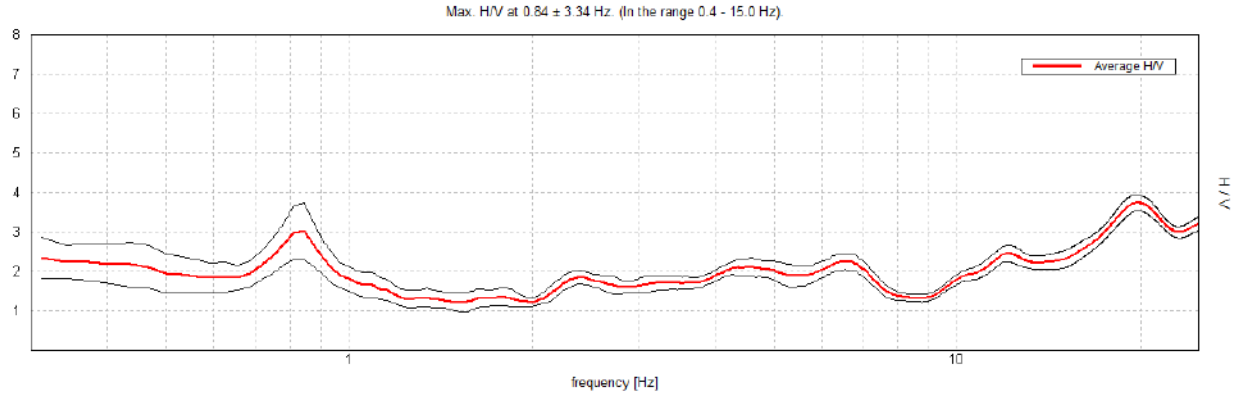
Si perverrà ad un modello stratigrafico-sismico dell’andamento di Vs con la profondità dal quale ricavare il valore di Vs_eq (che nel caso in esempio è Vs30=295m/s) attraverso la media ponderata del contributo dei vari orizzonti.

TROMINO®
www.moho.world

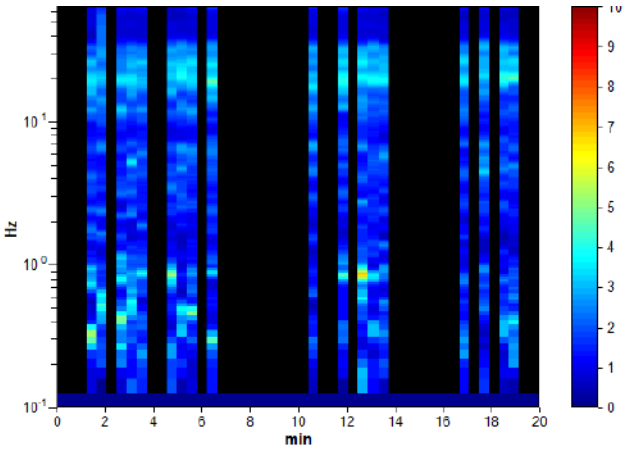
Castel San Giovanni – CORPO F, HVSR1

Instrument: TEB-0510/01-19
Data format: 32 byte
Full scale [mV]: 89
Start recording: 12/10/20 12:36:16 End recording: 12/10/20 12:56:16
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS location: 009°27.6785 E, 45°04.4068 N (35.3 m)
(UTC time synchronized to the first recording sample): not available in this acquisition mode + 0 + 0 samples
Satellite no.: 5
Trace length: 0h20'00''. Analyzed 38% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 25 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

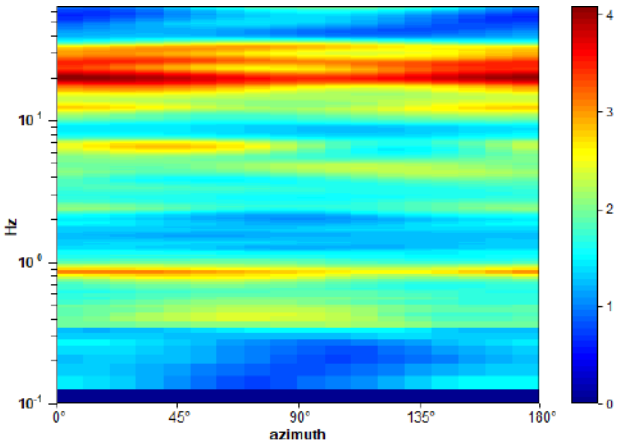
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY

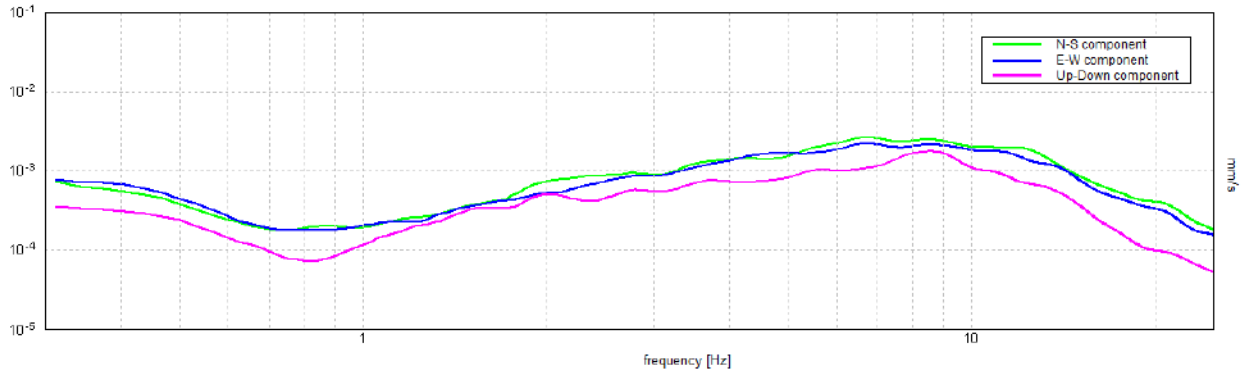


DIRECTIONAL H/V

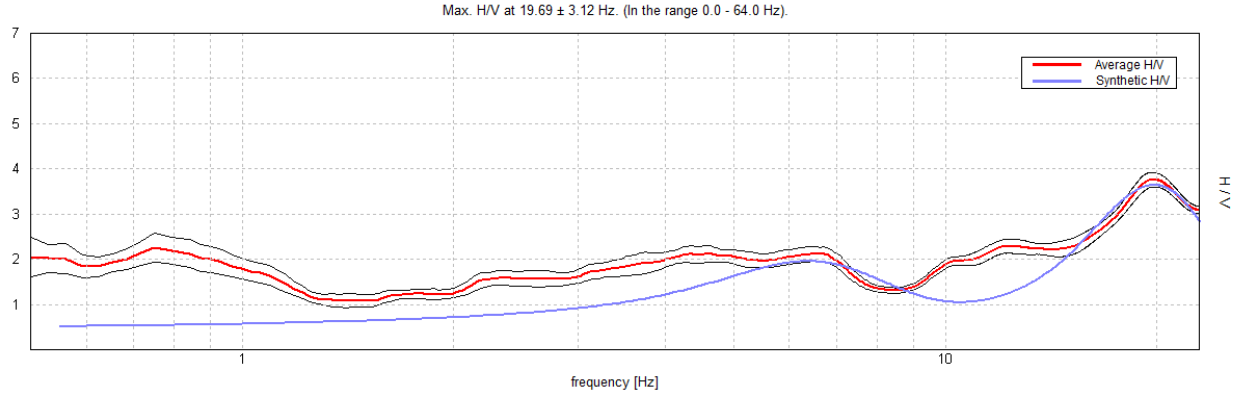


TROMINO®
www.moho.world

SINGLE COMPONENT SPECTRA

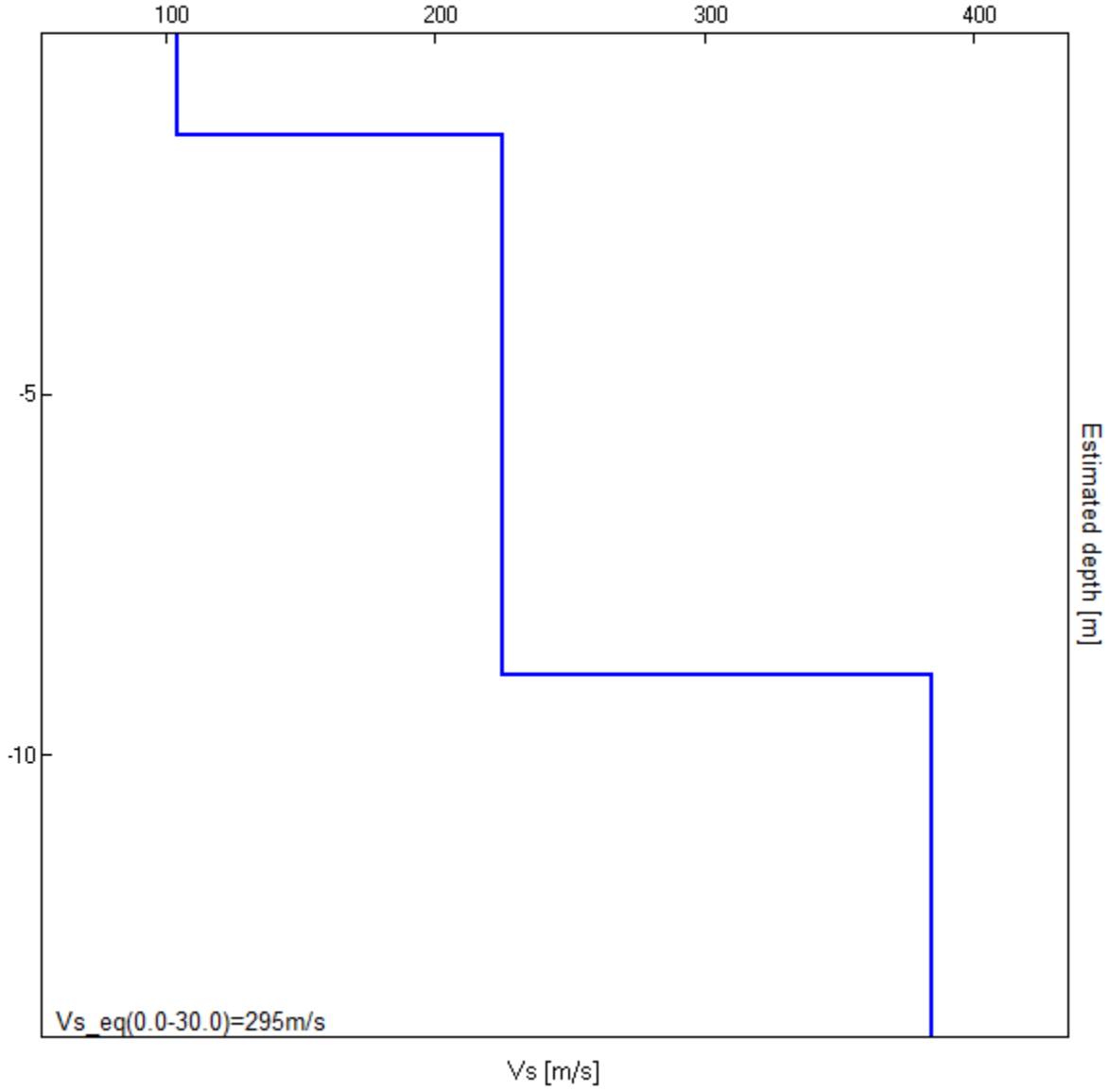


EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.40	1.40	104	0.45
8.90	7.50	225	0.35
inf.	inf.	385	0.30

Vs_eq(0.0-30.0)=295m/s


100
200
300
400
-5
-10
Estimated depth [m]
Vs_eq(0.0-30.0)=295m/s
Vs [m/s]

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

Max. H/V at 0.84 ± 3.34 Hz (in the range 0.4 - 15.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	0.84 > 0.40	OK	
$n_c(f_0) > 200$	379.7 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 42 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.188 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.02 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|3.95849| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	3.33998 < 0.12656		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.7254 < 2.0	OK	

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

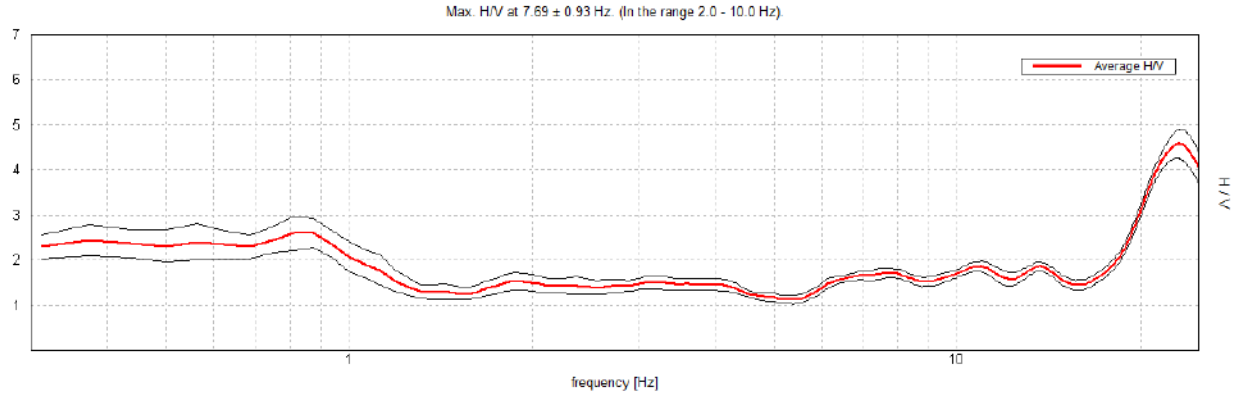
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TROMINO®
www.moho.world

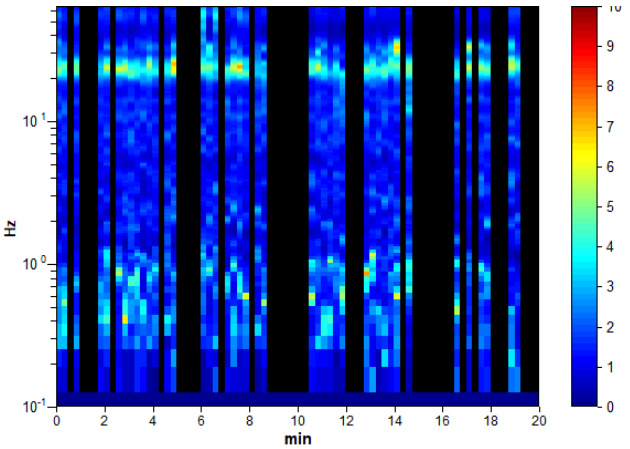
Castel San Giovanni – CORPO F, HVSR2

Instrument: TEB-0510/01-19
Data format: 32 byte
Full scale [mV]: 89
Start recording: 12/10/20 12:58:43 End recording: 12/10/20 13:18:43
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS location: 009°27.7173 E, 45°04.3819 N (34.2 m)
(UTC time synchronized to the first recording sample): not available in this acquisition mode + 0 + 0 samples
Satellite no.: 5
Trace length: 0h20'00''. Analyzed 52% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 15 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

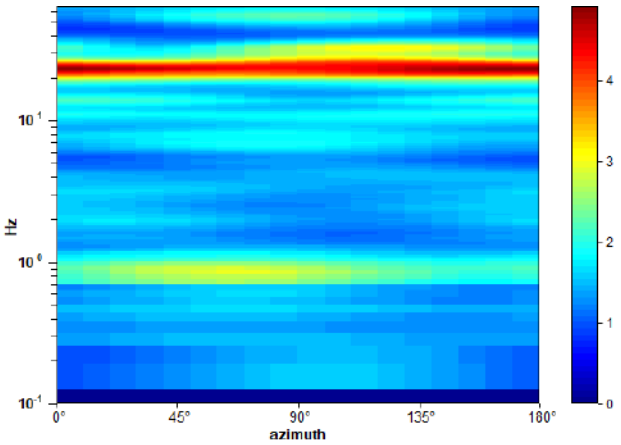
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



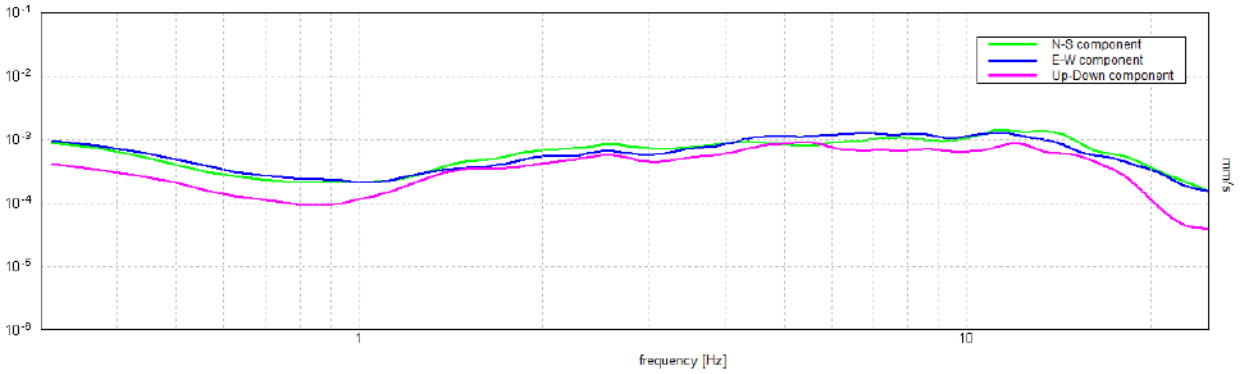
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



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

Max. H/V at 7.69 ± 0.93 Hz (in the range 2.0 - 10.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	7.69 > 0.67	OK	
$n_c(f_0) > 200$	4843.1 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz **$\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz**	Exceeded 0 out of 186 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	1.72 > 2		NO
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.12063| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.92738 < 0.38438		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1077 < 1.58	OK	

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

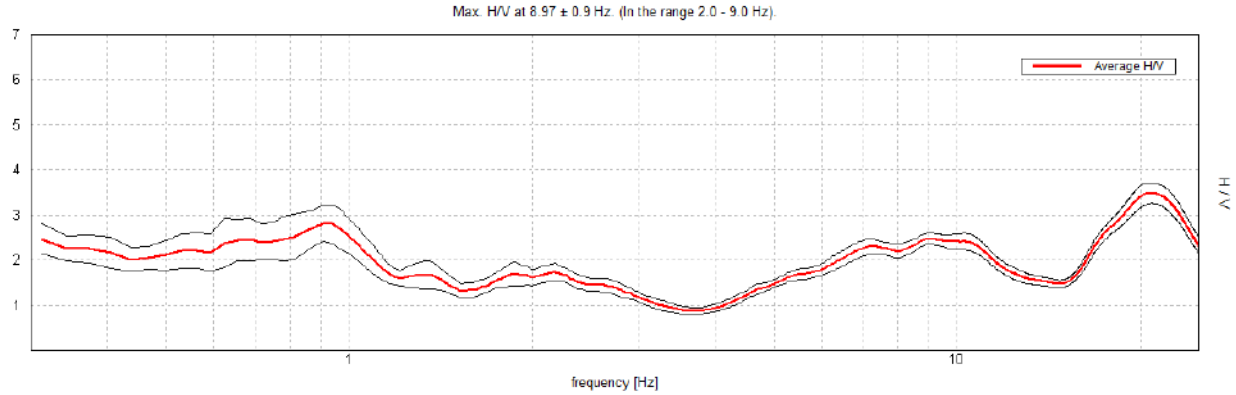
Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 f_0	0.2 f_0	0.15 f_0	0.10 f_0	0.05 f_0
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{logH/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

TROMINO®
www.moho.world

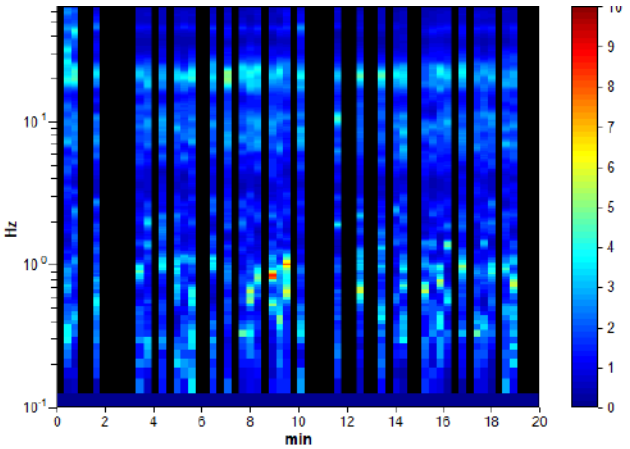
Castel San Giovanni – CORPO F, HVSR3

Instrument: TEB-0510/01-19
Data format: 32 byte
Full scale [mV]: 89
Start recording: 12/10/20 13:20:42 End recording: 12/10/20 13:40:42
Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
GPS location: 009°27.7198 E, 45°04.3429 N (34.1 m)
(UTC time synchronized to the first recording sample): not available in this acquisition mode + 0 + 0 samples
Satellite no.: 5
Trace length: 0h20'00''. Analyzed 50% trace (manual window selection)
Sampling rate: 128 Hz
Window size: 18 s
Smoothing type: Triangular window
Smoothing: 10%

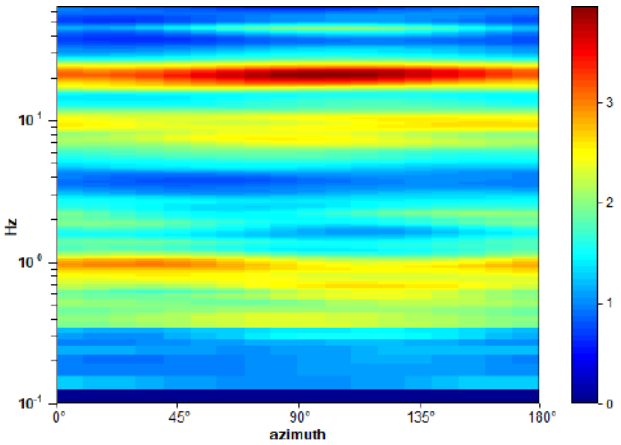
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



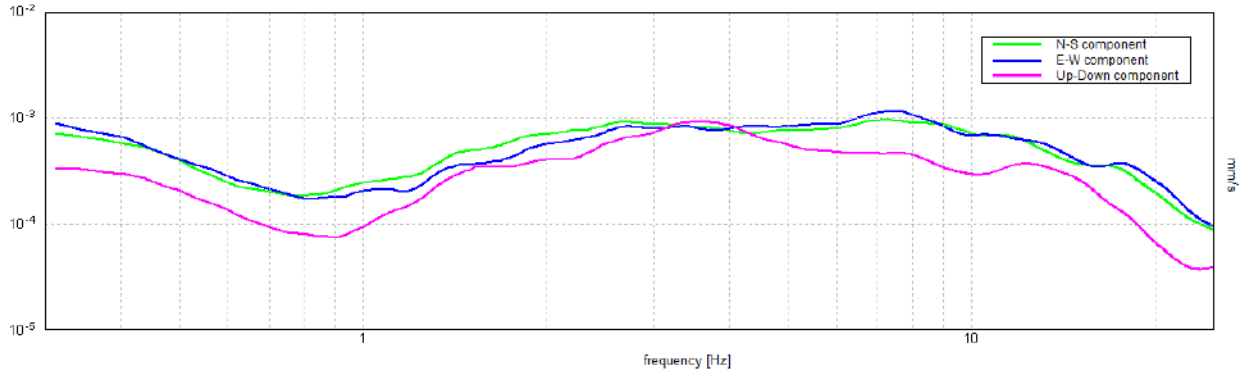
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



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

Max. H/V at 8.97 ± 0.9 Hz (in the range 2.0 - 9.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve [All 3 should be fulfilled]			
$f_0 > 10 / L_w$	8.97 > 0.56	OK	
$n_c(f_0) > 200$	5327.4 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5$Hz $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5$Hz	Exceeded 0 out of 432 times	OK	
Criteria for a clear H/V peak [At least 5 out of 6 should be fulfilled]			
Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ | $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	4.5 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ | $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	29.813 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.48 > 2	OK	
$f_{peak}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	|0.1008| < 0.05		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.90406 < 0.44844		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1239 < 1.58	OK	

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

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

3.5 CONSIDERAZIONI INTERPRETATIVE CONCLUSIVE

Analizzando i risultati delle prove si possono fare le seguenti considerazioni:

- Le prove condotte hanno un andamento nel complesso simile, a testimonianza di un sito caratterizzato da una buona uniformità sismo-stratigrafica;
- La frequenza caratteristica dell'area è stata registrata intorno a **21.0-23.0 Hz**. Dal punto di vista ingegneristico, valori di risonanza superiori a 20 Hz appaiono di scarso interesse. Il rapporto H/V risulta piuttosto elevato (superiore a 3,5/4,0) indicando un contrasto d'impedenza significativo nella successione litostratigrafica. In prima approssimazione possiamo collocare tale passaggio intorno a 1.0-1.5 m di profondità;
- In tutte e tre le prove, la frequenza di vibrazione fondamentale dell'area sembra attestarsi intorno a **0.85-0.91 Hz**. Anche in questo caso i picchi individuati, seppur di scarso interesse ingegneristico, presentano valori significativi [**3.0**(±0.8)] a testimonianza di forte contrasto d'impedenza sismica nella successione litostratigrafica collocabile, verosimilmente, intorno a 80-100 m di profondità circa, in corrispondenza di materiale più compatto;
- Considerando l'intervallo di frequenze a maggior interesse ingegneristico (normalmente 1 – 15 Hz), si osservano picchi del rapporto H/V nel range compreso tra 6 e 11 Hz. In particolare, si rileva una frequenza di vibrazione comune per tutte le acquisizioni intorno a 7.2-7.7 Hz. Il valore medio è pari a 2 e, probabilmente, segnala il passaggio tra materiali fini allentati superficiali ed i sottostanti depositi complessivamente più compatti. Nelle registrazioni HVSR2 e HVSR 3, si segnala inoltre un altro picco a circa 9.0 Hz con valore di 2.5, mentre nella HVSR1 a 11Hz con valore prossimo a 2.

Trevozzo, 09 dicembre 2020

Geotest s.r.l.

Dott. Geol. Adriano Baldini

Dott. Geol. Sara Bozzini

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale

Via E. Fermi, 113 – Trevozzo
29031 Alta Val Tidone (PC)
Tel.: 348 510 7263
info@geotestsrl.com

Servizi Geologici
Servizi Geotecnici
Servizi Geofisici

Allegato 3

Verifica preliminare del rischio alla liquefazione

1) PREMESSA

Lo scopo di questo documento, integrativo alla relazione inerente al progetto che prevede la realizzazione di un nuovo deposito denominato "Corpo F" sito nel Polo Logistico di Castel San Giovanni (PC), è quello di effettuare una verifica preliminare del rischio a liquefazione dei suoli dell'area di progetto. L'esecuzione di tale verifica è stata possibile grazie al reperimento delle informazioni riguardanti la sismicità della zona nonché degli aspetti geologico-geotecnici e geofisici acquisiti in sito. I dati sono stati raccolti nel corso di sopralluoghi e indagini geotecniche – geofisiche, eseguite sull'areale di interesse, e mediante la consultazione della bibliografia esistente e dell'archivio interno Geotest. Tali indagini hanno consentito di costruire un modello stratigrafico caratterizzato da specifici parametri geotecnici del terreno. Il risultato delle indagini ha permesso di svolgere una verifica preliminare del rischio a liquefazione in funzione delle condizioni locali di sottosuolo.

2) NORMATIVE DI RIFERIMENTO

Eurocodice 8

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

D.M 14/01/2008

Norme Tecniche per le Costruzioni

D.M 17/01/2018

Aggiornamento alle Norme Tecniche per le Costruzioni

3) LIQUEFAZIONE DEL TERRENO

La liquefazione è un fenomeno che si sviluppa entro i primi 20 metri di suolo, in terreni di classe granulometrica appartenente alle sabbie, saturi e poco addensati, quando questi sono soggetti a sforzi di taglio ciclici dovuti ad uno scuotimento sismico. Il risultato di tale azione è una perdita parziale o totale della resistenza al taglio e della rigidezza dello strato coinvolto, a causa dell'aumento delle pressioni neutre (u) tale da poter eguagliare il valore della pressione efficace (σ'). Il periodo di tempo del fenomeno durante il quale permane lo stato di liquefazione e l'estensione dello stesso dipendono dalle condizioni di drenaggio del deposito e dalla durata di applicazione degli sforzi di taglio ciclici.
I terreni maggiormente colpiti dalla liquefazione sono tipici di depositi fluviali, eolici e di ambienti di transizione (spiagge ed estuari).
La liquefazione può presentarsi in differenti aspetti e con diversi gradi di severità:

- vulcanelli di sabbia, costituenti fenomeni puntuali;
- fratture e vulcanelli di sabbia coalescenti, raggruppati in geometrie lineari;
- lateral spreading, fenomeni di grande portata che si scaturiscono su deboli pendii (argini fluviali, terrazzi fluviali).

Le norme per la verifica alla liquefazione dei terreni sono esplicitate all'interno dell'Eurocodice 8 (ENV 1998-5) al p.to 4.1.3 "terreni potenzialmente liquefacibili" a cui si aggiungono ulteriori indicazioni che si possono trovare nell'appendice B. Tale codice pone un valore limite del Fattore di Sicurezza 1.25, al di sotto del quale i terreni possono risultare suscettibili a liquefazione.
La verifica può essere omessa quando si manifesta almeno una delle seguenti circostanze (Norme Tecniche per le Costruzioni 2018):

- accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace

verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

- elevata presenza, nel fuso granulometrico, di terreni a componente fine (limi e argille) o di componente grossolana (ghiaie).

Sebbene le ricerche scientifiche abbiano evidenziato che tale fenomenologia scaturisca a partire da terremoti con Magnitudo Momento uguale o superiore a 6.0/6.5, le Norme Tecniche per le Costruzioni suggeriscono di applicare la verifica anche con Magnitudo inferiore a 5.

Dalle prove geognostiche effettuate nell'area di interesse si evince che l'intera lottizzazione è caratterizzata da una porzione più superficiale (mediamente i primi 4.0/6.0 m circa) costituita da materiale di natura argilloso-limosa e limoso-argillosa. Successivamente con l'aumentare della profondità si assiste, ad un incremento della frazione granulare, localmente ancora intervallata o frammista a materiale più fine; tale aumento risulta essere tuttavia più consistente a partire da 6-7 m, localmente a partire da 9 m di profondità, oltre la quale si riscontra la presenza di sabbie più pulite e lenti di materiale ghiaioso. Anche le prove geofisiche MASW evidenziano un cambio nella litologia tra 3.5 e 7 m circa. Solo a partire da circa 10.0/11.0 m e fino a 15.0/17.0 m si assiste ad un aumento delle velocità superiore a 300 m/s, imputabili ad un aumento della granulometria e/o alla presenza di lenti ghiaiose o sabbioso-ghiaiose. Successivamente, fino a 20 m, la velocità diminuisce leggermente per tornare poi ad aumentare.
Il livello medio della falda, al momento dell'esecuzione delle prove, si attestava a 2.5 m circa di profondità dal p.c.
Tale situazione geologica ha portato ad una ulteriore verifica circa lo stato di rischio che tali strati possano incorrere nel fenomeno di liquefazione nel caso di scuotimento sismico. I dati utili per tale analisi sono stati acquisiti eseguendo:

- *n°. 1 prova penetrometrica statica con piezocono (CPTu)* eseguita con penetrometro Pagani TG 63-200;
- *n.° 2 prove geofisiche MASW* per la caratterizzazione della categoria di suolo sismico (Vs_{eq}).

3.1 Caratteri sismici dell'area

L'area in cui verrà realizzata l'opera in progetto appartiene al territorio comunale di Castel San Giovanni (PC). La zona sismica per il territorio di Castel San Giovanni, indicata nell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n°. 3274/2003, aggiornata con la Deliberazione della Giunta Regionale n°. 1435 del 21 luglio 2003 e successivamente con la n°. 1164 del 23 luglio 2018, rientra all'interno della **zona sismica 3 (Zona con pericolosità media, che può essere soggetta a scuotimenti modesti)** e caratterizzata da un valore di **PGA 0,05 < a_g ≤ 0,15 g** (Fig.1). In specifico l'areale in questione è caratterizzato da un valore di accelerazione del suolo di **0.092 g** misurato su substrato rigido e pianeggiante (V_s > 800 m/s) con una probabilità del 10% di essere superata in un intervallo di tempo di 50 anni.
Secondo la Carta Sismogenetica d'Italia (2012), tale comune ricade entro la zona sismogenetica chiamata "Tortona-Bobbio" (Fig. 2). Individuando questa peculiarità è possibile ricavare il valore della Magnitudo momento massima M_{Wmax} per la località ricadente all'interno della zona sismogenetica; tale valore risulta importante per poter performare il calcolo del Fattore di Sicurezza a liquefazione. La Magnitudo momento massima di questa zona assume così un valore di **M_{Wmax} = 6.14.**

3.2 Valutazione del fattore di sicurezza di liquefazione – Introduzione generale

La verifica di rischio a liquefazione è stata effettuata mediante la determinazione del Fs nei confronti della liquefazione, in relazione al rapporto tra la resistenza del terreno alle sollecitazioni di taglio (Cyclic Resistance Ratio, CRR) e le sollecitazioni indotte dal terremoto (Cyclic Stress Ratio, CSR). Tale metodologia prende il nome di *metodo semplificato* e necessita di parametri relativi sia all'evento sismico, sia del terreno. La resistenza del deposito alla liquefazione viene quindi valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione:

$$Fs = \frac{CRR}{CSR}$$

CARTA DELLA PERICOLOSITA' SISMICA

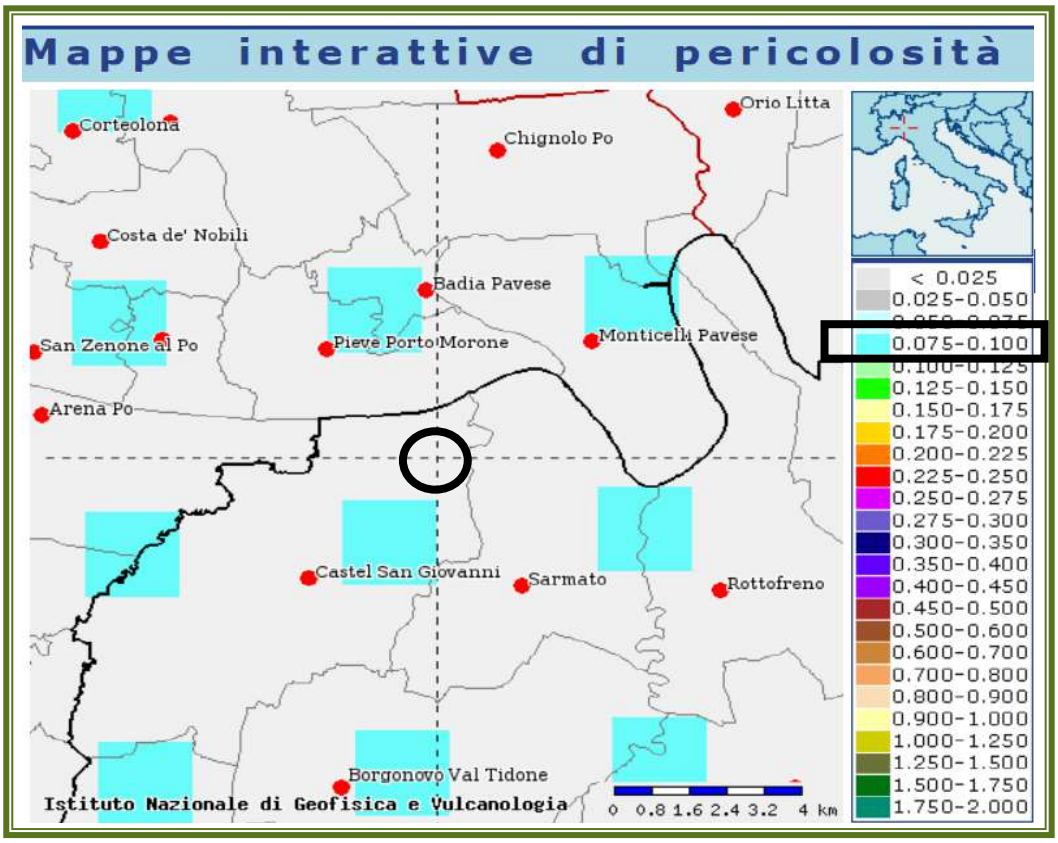
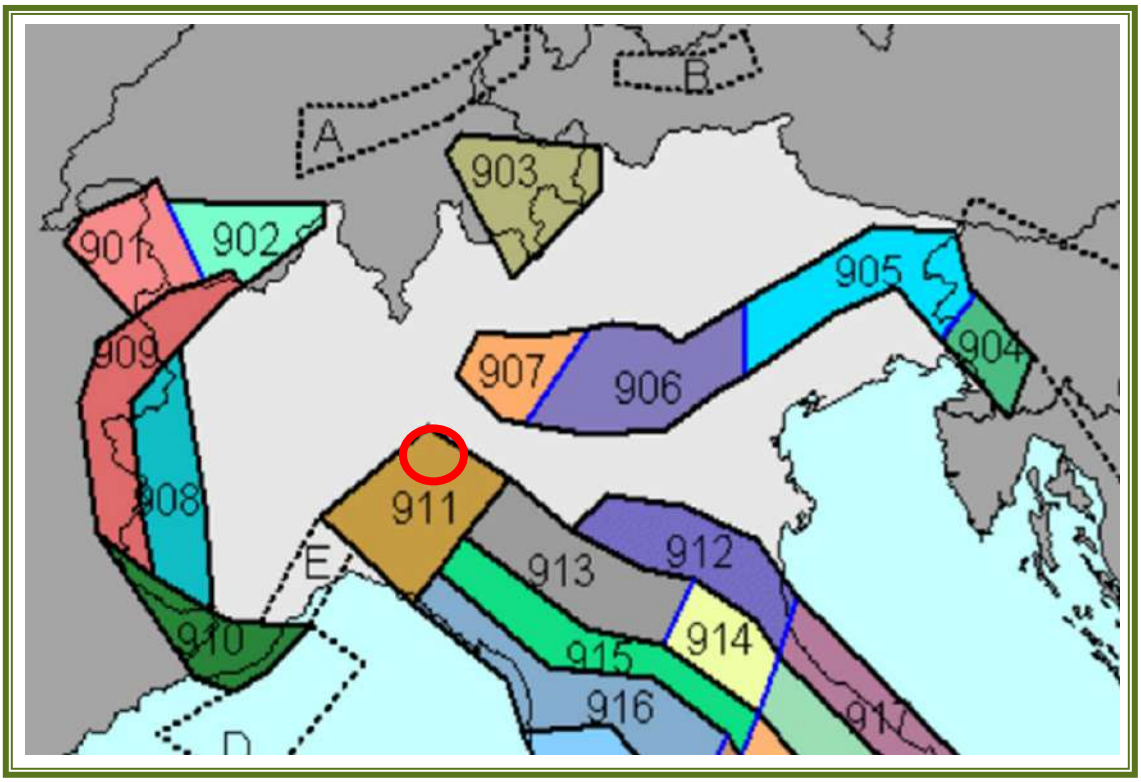


Fig. 1: Estratto Carta della Pericolosità Sismica (I.N.G.V.).

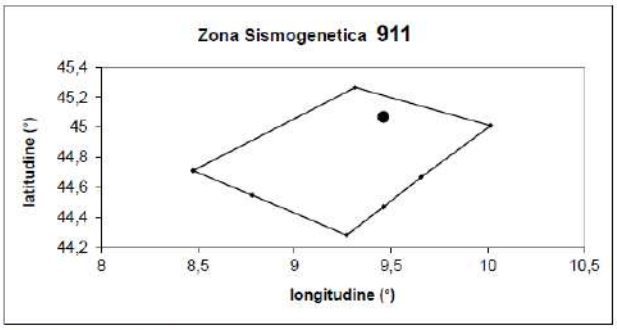
CARTA SISMOGENETICA D'ITALIA



ZONA SISMOGENETICA 911 **TORTONA-BOBBIO** M_w = 6,14

CORDINATE DEI VERTICI:

longitudine	latitudine	distanza (km)
8,47533	44,712498	87
9,31408	45,265541	25
10,015694	45,011757	44
9,656718	44,669632	47
9,461147	44,4715	66
9,270211	44,283428	89
8,779481	44,549854	79
8,47553	44,712498	87



PUNTO RICHIESTO: **Castel San Giovanni, deposito "Corpo F"**

longitudine	latitudine
9,46	45,07

Fig. 2: Estratto della Carta sismogenetica d'Italia e localizzazione dell'areale di indagine.

Il valore soglia definito dalla normativa rispetto al quale il terreno diventa suscettibile a liquefazione è di 1.25. I metodi semplificati differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata la resistenza alla liquefazione CRR; esistono relazioni empiriche tra la resistenza a liquefazione e la resistenza penetrometrica dinamica N_{SPT}, con la resistenza alla penetrazione statica q_{c1N} e con l'uso della velocità di propagazione delle onde di taglio Vs, metodologia caratterizzata però da un numero di dati storici limitato.

Metodologie di verifica utilizzate

La valutazione dei parametri di resistenza a liquefazione CRR si è basata principalmente sull'utilizzo di due tipologie di prove effettuate in sito:

- prova CPTu;
- profili verticali delle onde di taglio V_S attraverso il metodo MASW.

Il primo approccio proposto si basa sull'uso della metodologia "NCEER & Robertson", la quale fa riferimento unicamente sui metodi "Robertson & Wride 1998" e "Robertson 2009". Nello specifico, è stato utilizzato il criterio NCEER (Yould et al. 2001) contenente "Robertson & Wride 1998".
Per il calcolo della resistenza alla liquefazione CRR si tengono in considerazione i seguenti parametri derivati dalle prove penetrometriche statiche con piezocono CPTu:

- la resistenza alla punta q_c;
- la resistenza laterale f_s;
- pressione litostatica e pressione litostatica efficace σ_{v0}, σ_{v0}';

Tale valutazione utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo I_c e che viene calcolato come:

$$I_c = [3.47 - log_{10}Q^2] + (log_{10} R^f + 1.22)^2]^{0.5}$$

dove:

F = resistenza per attrito laterale normalizzata;

$$F = \frac{f_s}{(q_c - \sigma_{v0})} 100$$

Q = resistenza alla punta normalizzata;

$$Q = \frac{(q_n - \sigma_{v0})}{100} C_n$$

C = fattore normalizzato della resistenza alla penetrazione;

$$C_n = \left(\frac{100}{\sigma_{v0}'} \right)^n$$

L'esponente *n*, parametro che dipende dal tipo di terreno, assume differenti valori in funzione del valore di I_c:

- se $I_c < 1{,}64$, allora n = 0,5;
- se $1{,}64 < I_c < 3{,}30$, allora n = (I_c – 1,64) 0,3 + 0,5;
- se $I_c \geq 3{,}30$, allora n = 1,0.

Ora si procede con la correzione della resistenza alla punta q_c, ammettendo che la prova venga effettuata su sabbie pulite (CS):

$$(q_{1N})_{CS} = K_C Q$$

Il parametro Kc, fattore correttivo che tiene conto delle caratteristiche del terreno, assume differenti valori in funzione di I_c:

- se $I_c \leq 1{,}64$, allora $K_c = 1{,}0$;
- se $1{,}64 < I_c < 2{,}60$, allora $K_c = -0{,}403\ I_c^4 + 5{,}5811\ I_c^3 - 21{,}631\ I_c^2 + 33{,}75\ I_c - 17{,}88$;
- se $I_c \geq 2{,}60$ valutare di utilizzare altri criteri;
- probabile non liquefacibile se F > 1%, ma se $1.64 < I_c < 2{,}36$ e F < 0,5 %, impostare $K_c = 1{,}0$.

In questo modo è possibile valutare il rapporto di resistenza ciclica CRR in funzione del valore di $(q_{c1N})_{cs}$:

- se $50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$

$$CRR_{7,5} = 93 * \left[\frac{(q_{c1N})_{CS}}{1000}\right]^3 + 0{,}08$$

- se $(q_{c1N})_{cs} < 50$

$$CRR = 0{,}833 \left[\frac{(q_{c1N})_{CS}}{1000}\right] + 0{,}005$$

Lo sforzo ciclico di taglio CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$CSR = 0{,}65 \frac{a_g}{g} * S \frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}'} \frac{r_d}{MSF}$$

dove:

- r_d = coefficiente d riduzione dello sforzo;
- a_{max} = accelerazione orizzontale di picco alla superficie;
- 0,65 = cicli di ampiezza equivalenti al massimo sforzo di taglio per un terremoto di magnitudo 7,5;
- MSF = fattore di correzione della magnitudo secondo Ambraseys e consigliato dalla normativa
- S = il coefficiente di profilo stratigrafico, definito come segue:

Magnitudo	***Ambraseys N. N. (1988)***
5.5	2.86
6.0	2.20
6.5	1.69
7.0	1.30
7.5	1.00
8.0	0.67
8.5	0.44

Per poter caratterizzare al meglio l'area potenzialmente liquefacibile, è stato performato anche il calcolo dell'Indice del Potenziale di Liquefazione (LPI), il quale viene utilizzato per interpretare la gravità del fenomeno di liquefazione in relazione alla profondità dello strato interessato. Esso tiene conto dello spessore dello strato liquefacibile, della sua profondità e del Fattore di Sicurezza. La procedura di calcolo si basa sul metodo elaborato da Iwasaki (1982):

$$LPI = \int_0^{20} (10 - 0{,}5_z)\ F_L d_z$$

dove:

- $F_L = 1 - F_S$, quando FS è minore di 1;
- $F_L = 0$ quando F_S è maggiore di 1.

In funzione del valore raggiunto dall'indice, si individuano 4 categorie:

LPI	**RISCHIO**
0	Rischio molto basso (non liquefacibile)
0 < LPI ≤ 2	Rischio basso
2 < LPI ≤ 5	Rischio medio
5 < LPI ≤ 15	Rischio alto
LPI > 15	Rischio molto alto

Per poter comprendere al meglio quali possano essere gli effetti in superficie di un potenziale fenomeno di liquefazione, Tonkin e Taylor (2013) hanno ideato un parametro conosciuto come Liquefaction Severity Number (LSN). Tale indice rappresenta anche un metodo alternativo per stimare la risposta delle strutture alla liquefazione.

$$LSN = 1000 \int \frac{\varepsilon v}{z} dz$$

dove:

- εv = funzione di FS
- Z= profondità dello strato di interesse

LSN	Descrizione
0 ≤ LSN < 10	Da nessuna a poche manifestazioni di liquefazione, effetti minori.
10 ≤ LSN < 20	Basse manifestazioni di liquefazione in superficie; comparsa di alcuni vulcanelli di sabbia.
20 ≤ LSN < 30	Moderate manifestazioni di liquefazione in superficie, con vulcanelli di sabbia; primi danni strutturali.
30 ≤ LSN < 40	Moderate/gravi manifestazioni di liquefazione in superficie; moderati danni strutturali.
40 ≤ LSN < 50	Importanti manifestazioni di fenomeni di liquefazione, ondulazioni e danni sulla superficie; gravi assestamenti degli edifici.
LSN ≥ 50	Prove di estesi e potenti fenomeni di liquefazione superficiale; assestamenti gravi di edifici, danni ai principali servizi.

Il secondo approccio si basa sul metodo Kyen et al (2013) utilizzata per la valutazione dei parametri di resistenza alla liquefazione (CRR). Il calcolo si basa sul profilo verticale delle onde di taglio V_S derivato dalle prove geofisiche MASW, per profondità < 20 m dal p.c. Per il calcolo, si tengono in considerazione i seguenti parametri:

- la velocità delle onde di taglio V_S (m/s);
- profondità di interesse z (m);
- pressione litostatica e pressione litostatica efficace σ_{v0}, σ_{v0}';

Il contenuto entro il deposito di materiale fine FC (%) risulta ininfluente per questa metodologia.

Il valore di CRR si ricava da questa relazione:

$$CRR_{7.5} = (CRR)_{PL(15\%)} = 0.2218\left(\frac{V_{S1}}{100}\right)^6 - 1.8945\left(\frac{V_{S1}}{100}\right)^5 + 6.6934\left(\frac{V_{S1}}{100}\right)^4 - 12.379\left(\frac{V_{S1}}{100}\right)^3 + 12.607\left(\frac{V_{S1}}{100}\right)^2 - 6.6488\left(\frac{V_{S1}}{100}\right)^1 + 1.4599$$

dove:

- V_{S1} = valore di normalizzazione della velocità delle onde di taglio:

$$V_{S1} = V_S\, C_V = \pi r^2 = V_S\left(\frac{p_a}{\sigma'_{V0}}\right)^{0.25}$$

Lo sforzo ciclico di taglio CSR viene stimato con l'espressione semplificata:

$$CSR = 0{,}65\left(\frac{a_g}{g}\right) * \left(\frac{\sigma_{v0}}{\sigma_{v0}'}\right)\frac{r_d}{MSF}$$

dove:

- a_{max} = accelerazione orizzontale di picco alla superficie;
- 0,65 = cicli di ampiezza equivalenti al massimo sforzo di taglio per un terremoto di magnitudo 7,5;
- r_d = coefficiente d riduzione dello sforzo espresso come:

$$r_d\left(d, M_w, a_{\max}, V^*_{s,12m}\right) = \frac{\left(1 + \dfrac{-23.013 - 2.949 \cdot a_{\max} + 0.999 \cdot M_w + 0.0525 \cdot V^*_{s,12m}}{16.258 + 0.201 \cdot e^{0.341 \cdot (-d + 0.0785 \cdot V^*_{s,12} + 7.586)}}\right)}{\left(1 + \dfrac{-23.013 - 2.949 \cdot a_{\max} + 0.999 \cdot M_w + 0.0525 \cdot V^*_{s,12m}}{16.258 + 0.201 \cdot e^{0.341 \cdot (0.0785 \cdot V^*_{s,12m} + 7.586)}}\right)} \pm \sigma_{\varepsilon rd}$$

$V_{S,12m}$ = velocità onde di taglio a 12 metri di profondità

- MSF = DWF = fattore di correzione della magnitudo secondo Ambraseys.

3.3 Verifica di liquefazione

I dati provenienti dalle prove penetrometriche, dinamiche e statiche, evidenziano la presenza di strati a natura sabbiosa nel sottosuolo del lotto di interesse. L'areale in questione è caratterizzato da una morfologia sub-pianeggiante, costituita da una porzione più superficiale del suolo/sottosuolo (primi 4.0.5.5/6.0 m circa) avente un comportamento geotecnico prevalentemente coesivo, mentre più in profondità si ha un aumento graduale di depositi a comportamento prevalentemente attritivo, fino alla preponderanza di questi ultimi al di sotto di 6-7 m, localmente anche 9 m.
Tale assetto stratigrafico è riconducibile ad un ambiente deposizionale continentale di tipo alluvionale, caratterizzato dalla presenza di sottoambienti (piana alluvionale, depositi di canale, barre di meandro, ventagli di rotta ecc.) i quali sono l'espressione dell'energia posseduta dal corso d'acqua al momento della deposizione.
I possibili effetti di sito che si possono presentare nell'area possono essere ricondotti essenzialmente a fenomeni di amplificazione stratigrafica, con la formazione di fenomeni di "intrappolamento" delle onde sismiche per effetto di riflessioni multiple e fenomeni di risonanza tra le onde sismiche incidenti e quelle riflesse. Data la presenza di falda a profondità prossima al p.c., e alla tipologia dei materiali che costituiscono il sottosuolo, non si possono escludere a priori fenomeni di liquefazione.
Gli aspetti sismici della zona nonché gli aspetti geologico-geotecnici e geofisici acquisiti in sito posso così essere riassunti:

- la PGA prevista per l'areale di interesse è di **0.092 g**;

- la categoria di suolo è **C** ("*depositi di sabbie e ghiaie mediamente addensate, o di argille di media consistenza*"), emersa dall'analisi delle prove MASW;
- la categoria topografica in cui ricade tale area è assimilabile a **T1** ("superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media ≤ 15°");
- coefficiente amplificazione stratigrafica **Ss** = 1.5;
- coefficiente di amplificazione topografica **ST** = 1;
- **accelerazione massima** di **0.138 g** derivante dalla seguente relazione:

$$a_{max} = a_g \, S_S \, S_T$$

- valore di magnitudo momento massima pari a 6.14;
- profondità di falda di 2.5 m.

3.3.1 Verifica attraverso prova CPTu

Di seguito, saranno sintetizzati i risultati della prova penetrometrica statica eseguita con piezocono (CPTu). Nella tabella allegata sono contenuti tutti quegli strati in cui il Fattore di Sicurezza a liquefazione risulta inferiore al valore soglia di 1.25, decretato all'interno dell'Eurocodice 8 (ENV 1998-5), indicando così un possibile rischio.

Prova CPTu:

N°. strato	Profondità strato potenzialmente liquefacibile (cm)	Fattore di Sicurezza	LPI	Rischio	LSN
/	/	1.25	/	Rischio molto basso (non liquefacibile)	/

La tabella mostra come lungo la verticale penetrometrica non siano stati riscontrati livelli o strati caratterizzati da un Fattore di Sicurezza inferiore a 1.25.

A seguire, sono rappresentati i dati e i grafici derivanti dall'analisi effettuata attraverso il software Cliq di GEOLOGISMIKI.

GEOLOGISMIKI Geotechnical Software

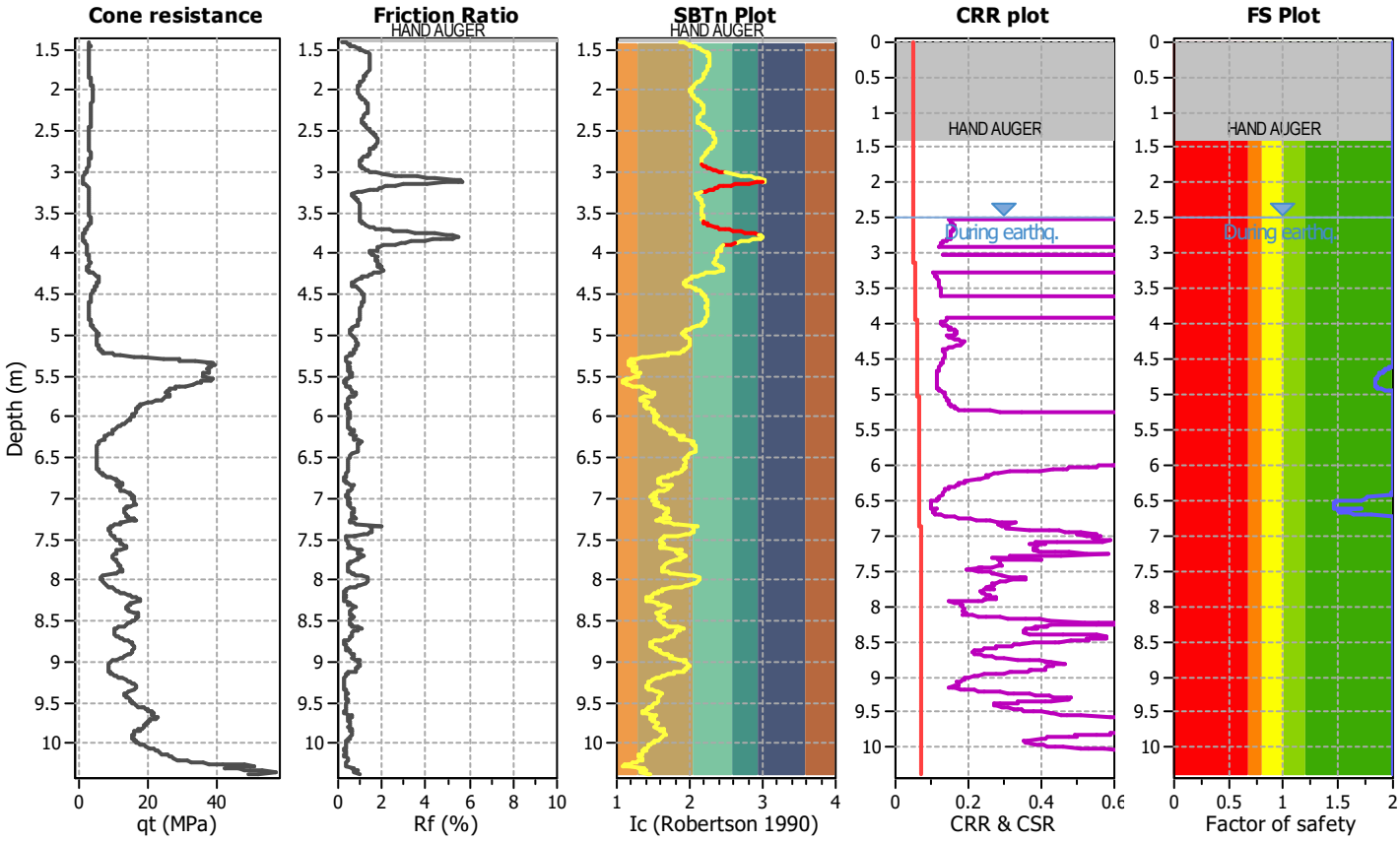
LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

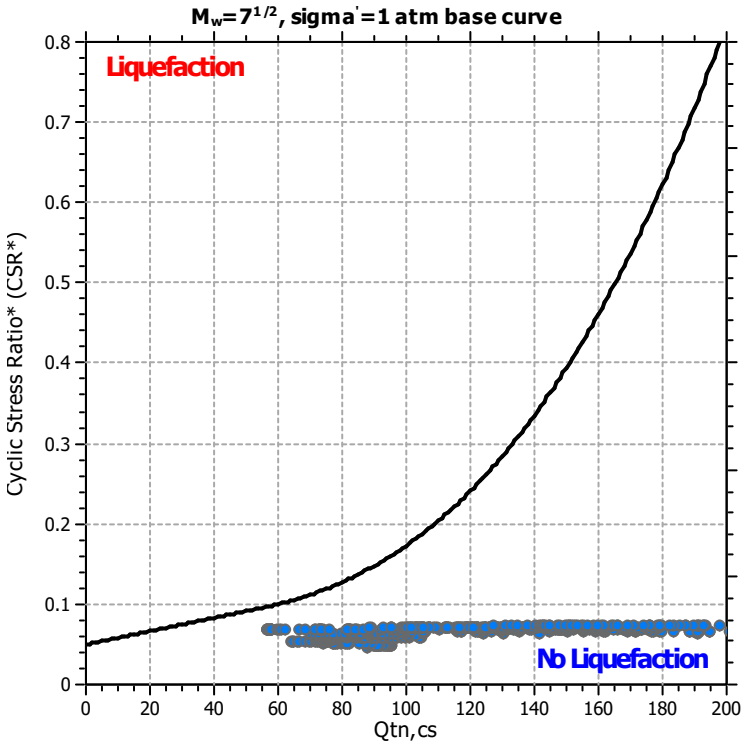
Project title : Realizzazione di un nuovo deposito - "Corpo F" **Location : Polo Logistico - Castel San Giovanni (PC)**

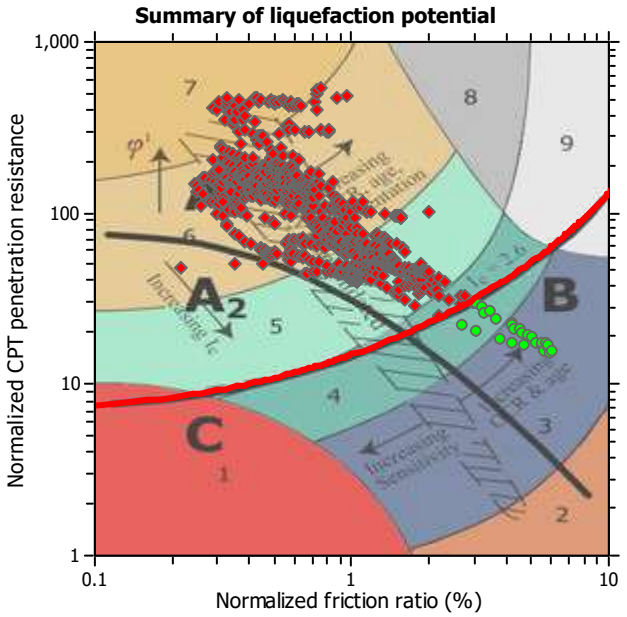
CPT file : cptu1

Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	G.W.T. (in-situ):	2.50 m	Use fill:	No	Clay like behavior applied:	Sands only
Fines correction method:	NCEER (1998)	G.W.T. (earthq.):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Average results interval:	1	Fill weight:	N/A	Limit depth:	20.00 m
Earthquake magnitude M_w:	6.14	Ic cut-off value:	2.60	Trans. detect. applied:	Yes	MSF method:	Method based
Peak ground acceleration:	0.12	Unit weight calculation:	Based on SBT	K_σ applied:	Yes		

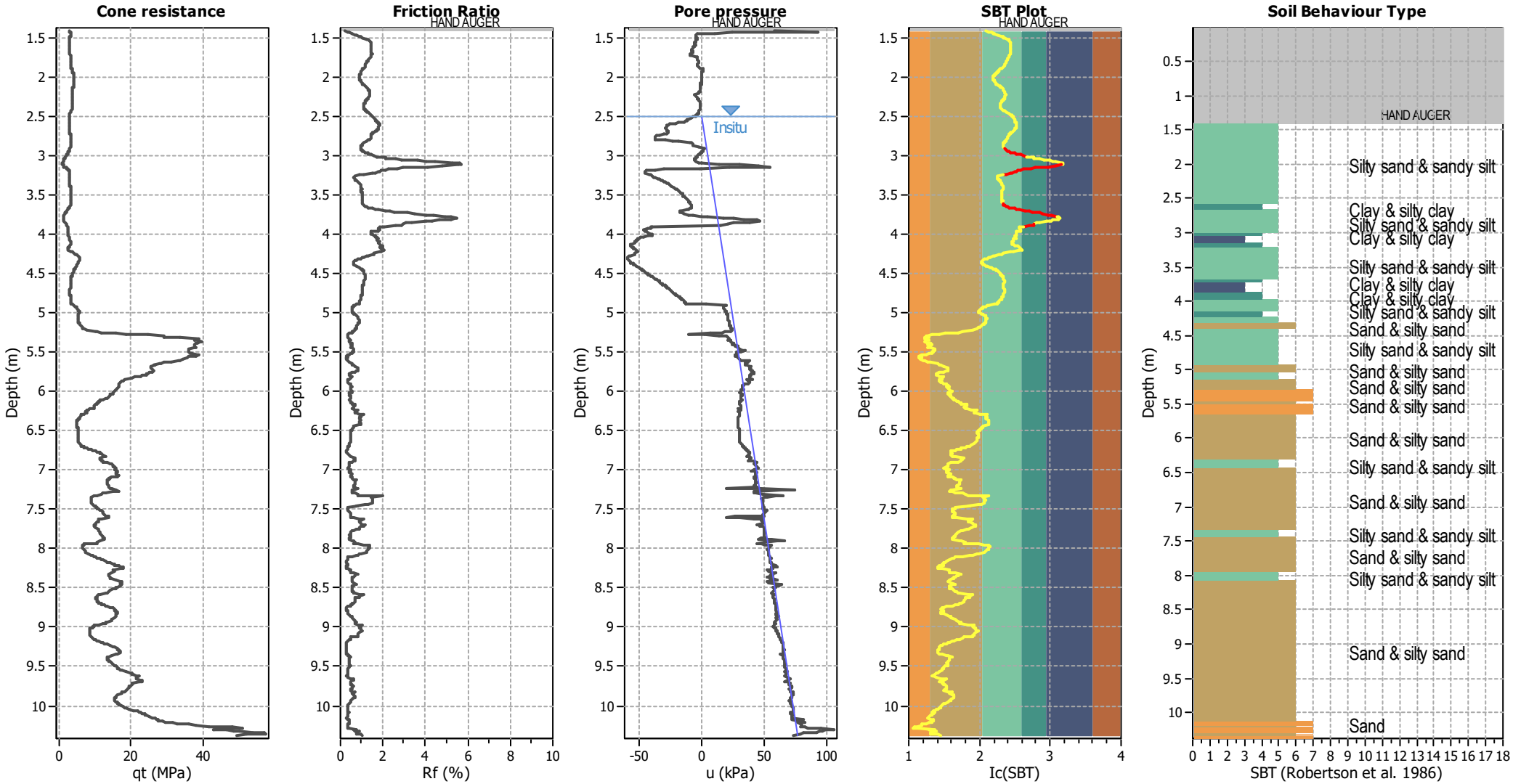






Zone A_1: Cyclic liquefaction likely depending on size and duration of cyclic loading
Zone A_2: Cyclic liquefaction and strength loss likely depending on loading and ground geometry
Zone B: Liquefaction and post-earthquake strength loss unlikely, check cyclic softening
Zone C: Cyclic liquefaction and strength loss possible depending on soil plasticity, brittleness/sensitivity, strain to peak undrained strength and ground geometry

CPT basic interpretation plots



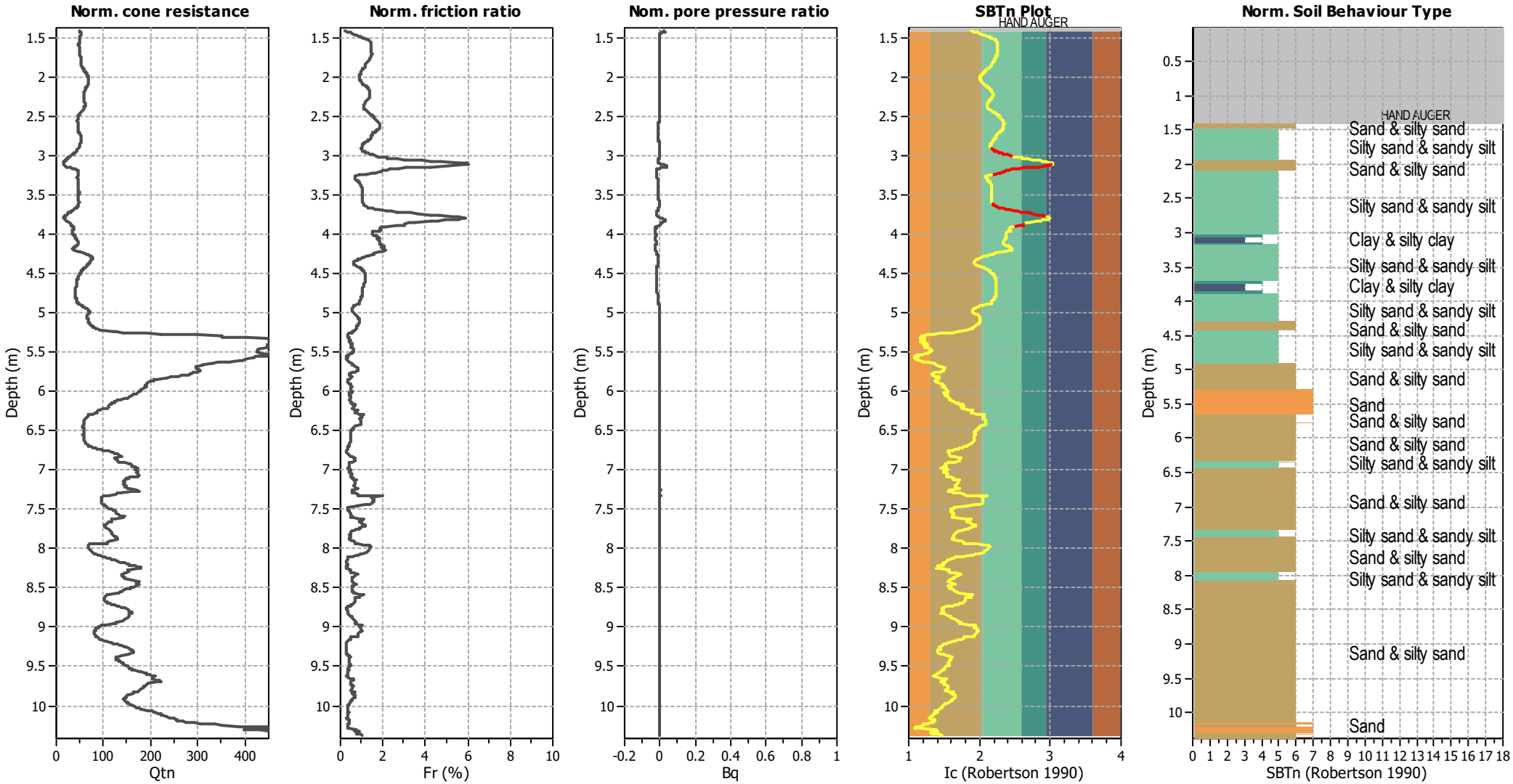
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	2.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w:	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.12	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBT legend

1. Sensitive fine grained
2. Organic material
3. Clay to silty clay
4. Clayey silt to silty
5. Silty sand to sandy silt
6. Clean sand to silty sand
7. Gravely sand to sand
8. Very stiff sand to
9. Very stiff fine grained

CPT basic interpretation plots (normalized)



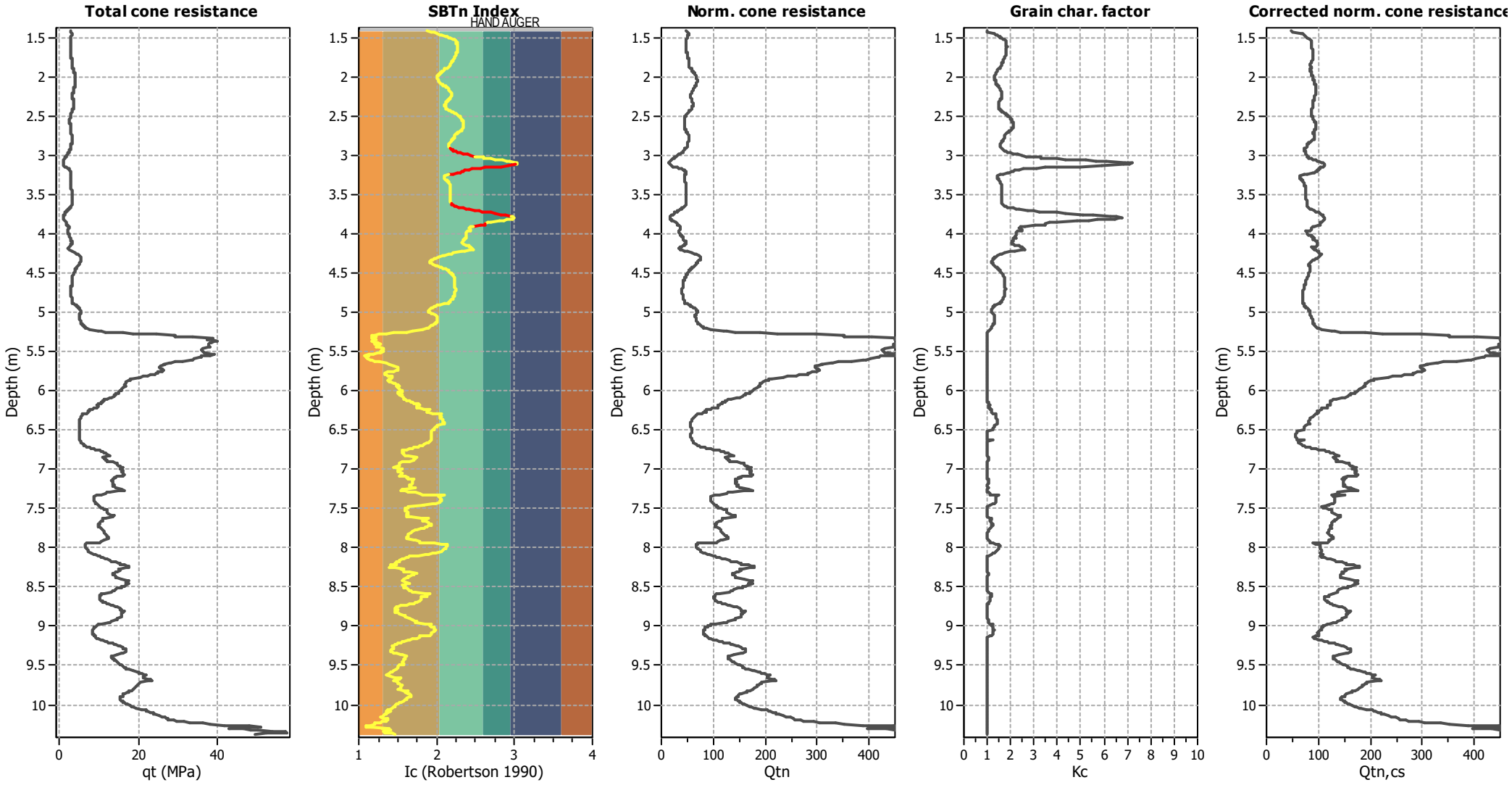
Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	2.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w:	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.12	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

SBTn legend

1. Sensitive fine grained
2. Organic material
3. Clay to silty clay
4. Clayey silt to silty
5. Silty sand to sandy silt
6. Clean sand to silty sand
7. Gravely sand to sand
8. Very stiff sand to
9. Very stiff fine grained

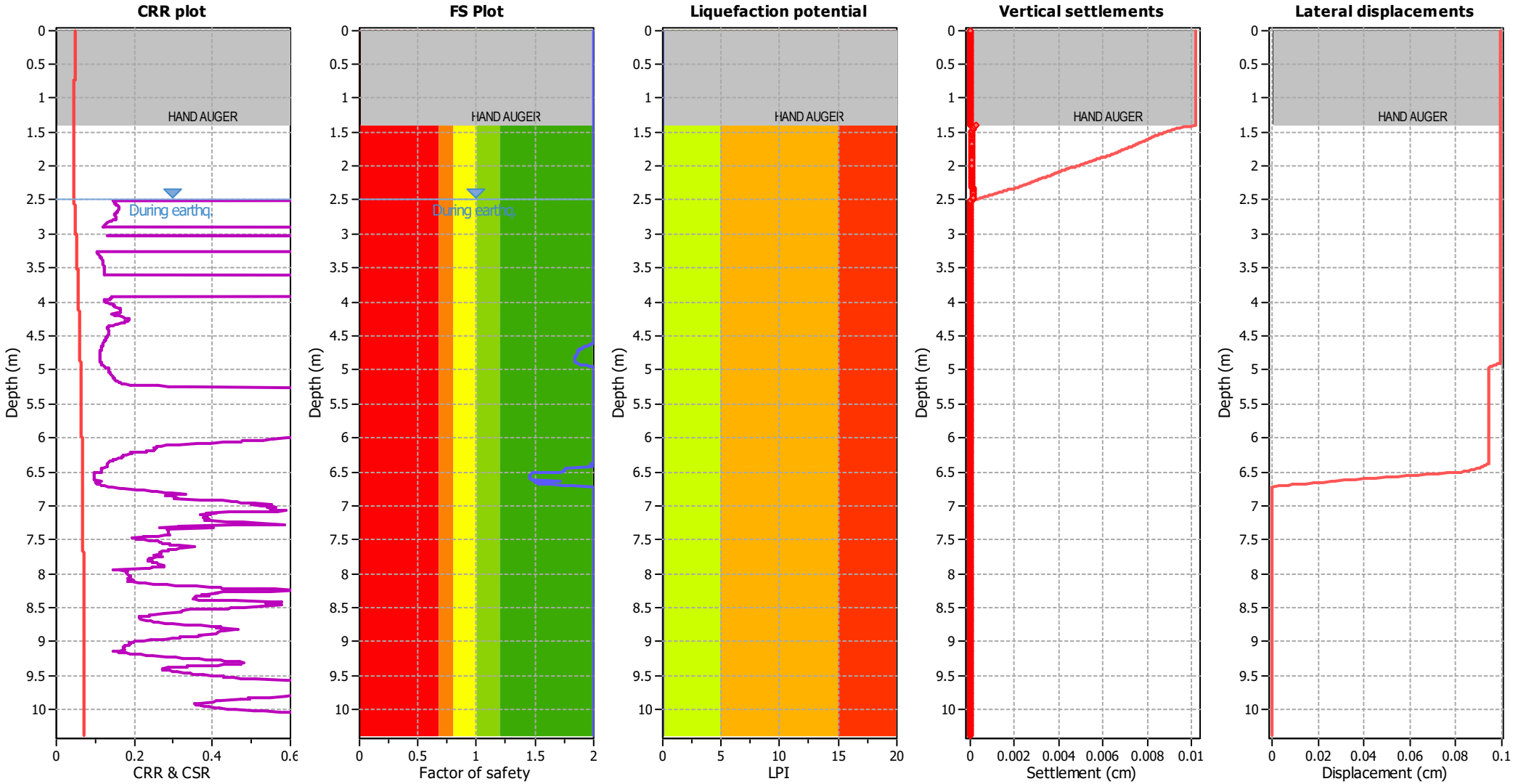
Liquefaction analysis overall plots (intermediate results)



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	2.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w:	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.12	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Liquefaction analysis overall plots



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	2.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w:	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.12	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

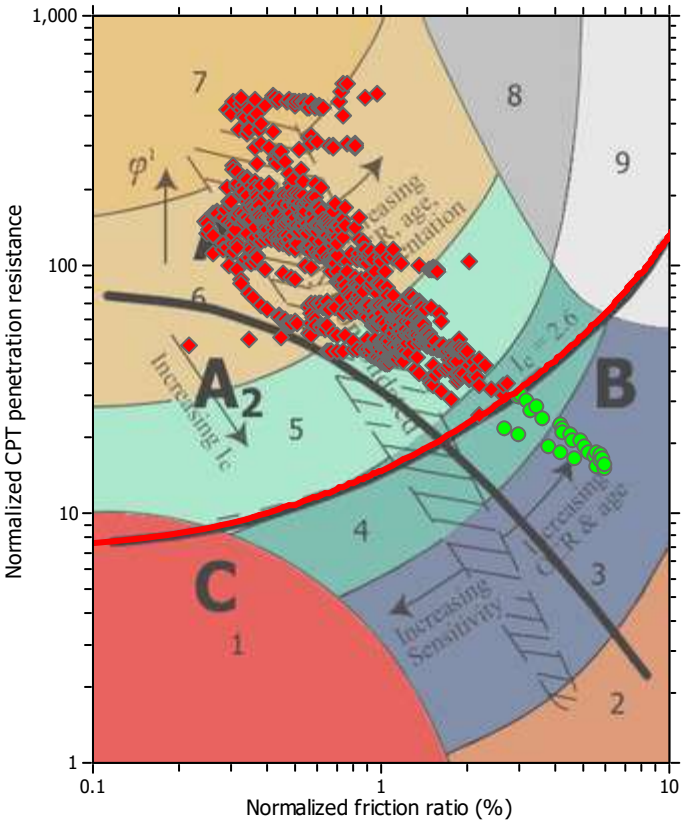
F.S. color scheme

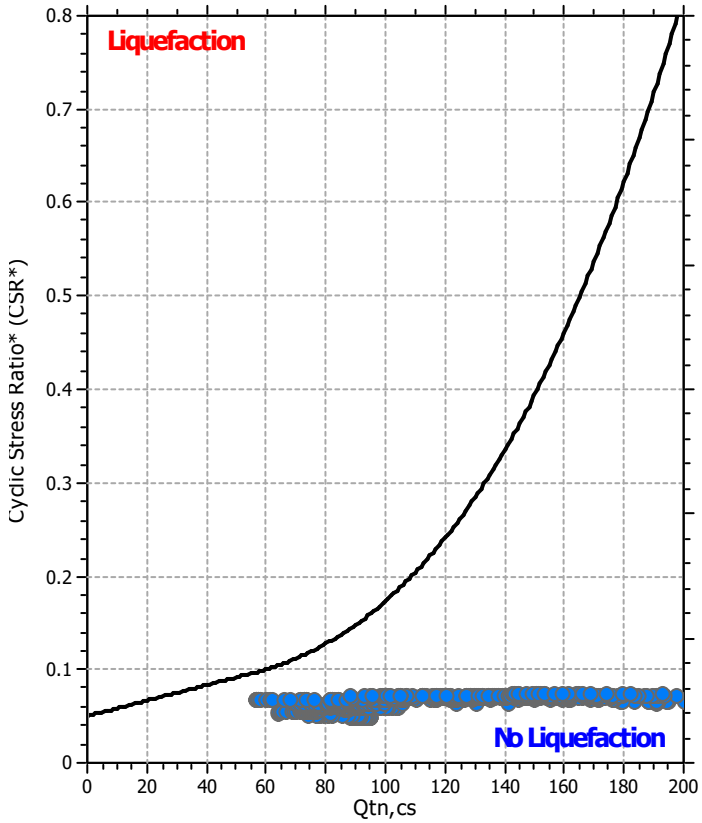
- Almost certain it will liquefy
- Very likely to liquefy
- Liquefaction and no liq. are equally likely
- Unlike to liquefy
- Almost certain it will not liquefy

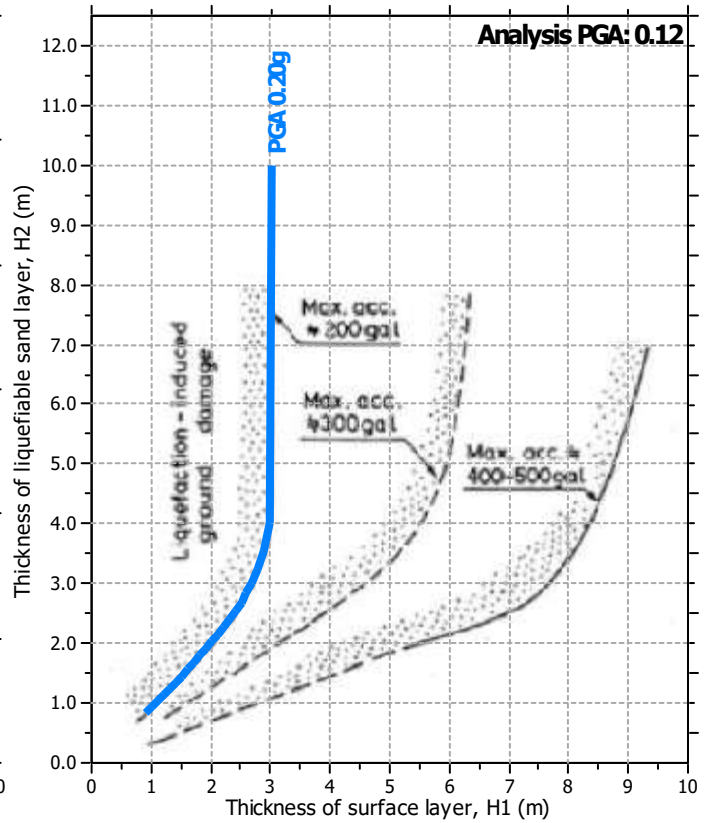
LPI color scheme

- Very high risk
- High risk
- Low risk

Liquefaction analysis summary plots



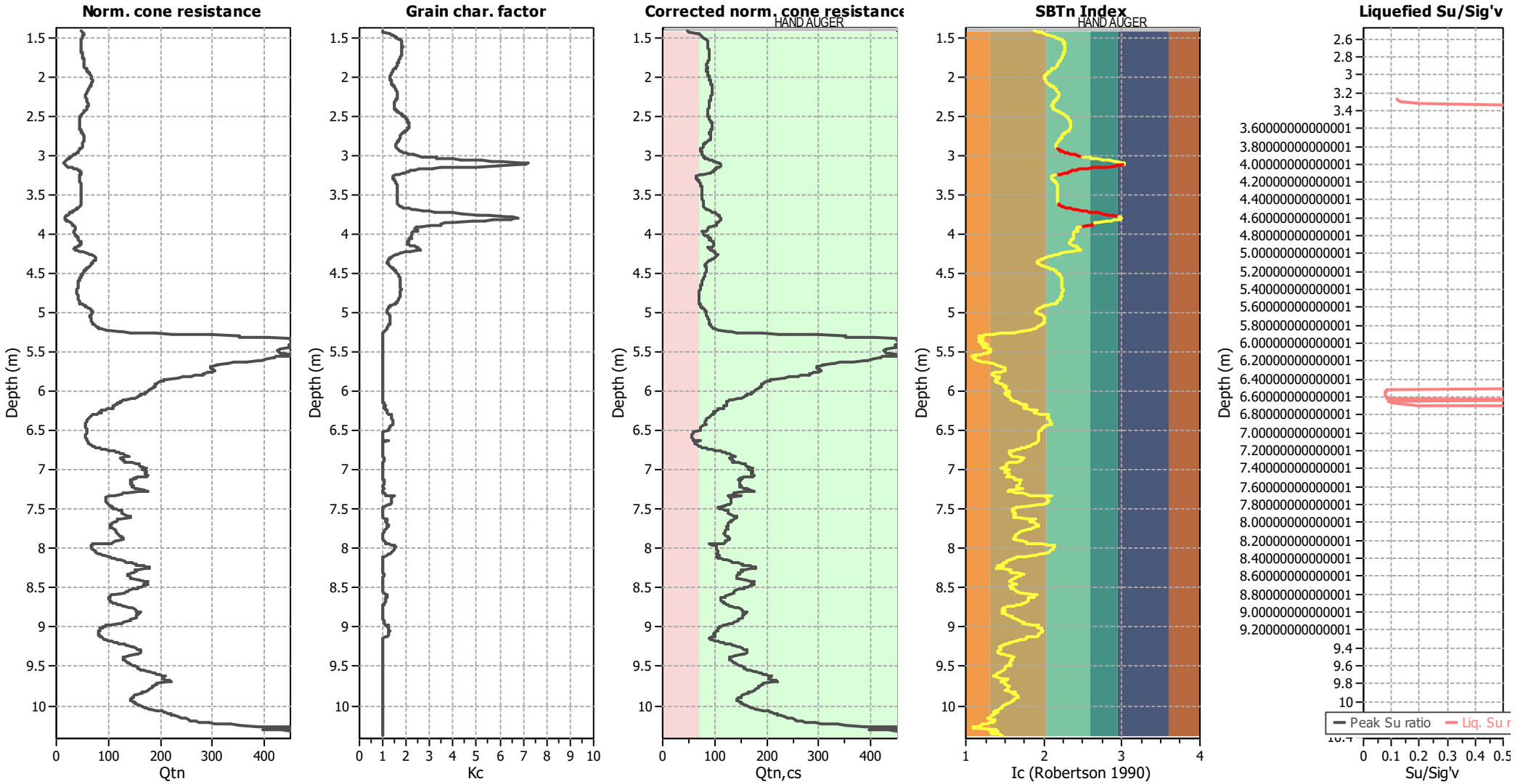




Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	2.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w:	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.12	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

Check for strength loss plots (Robertson (2010))



Input parameters and analysis data

Analysis method:	NCEER (1998)	Depth to water table (erthq.):	2.50 m	Fill weight:	N/A
Fines correction method:	NCEER (1998)	Average results interval:	1	Transition detect. applied:	Yes
Points to test:	Based on Ic value	Ic cut-off value:	2.60	K_σ applied:	Yes
Earthquake magnitude M_w:	6.14	Unit weight calculation:	Based on SBT	Clay like behavior applied:	Sands only
Peak ground acceleration:	0.12	Use fill:	No	Limit depth applied:	Yes
Depth to water table (insitu):	2.50 m	Fill height:	N/A	Limit depth:	20.00 m

3.3.2 Verifica attraverso prove MASW

La metodologia di Kayen et al. (2013) ha permesso così di calcolare il Fattore di Sicurezza per ogni sismostrato individuato in seguito all'elaborazione delle prove geofisiche MASW.
I sismostrati qui esposti sono il risultato di un modello che meglio approssima i due profili sismici elaborati dalle due prove MASW:

Sismostrato	Spessore (m)	Z (m)	γ (kN/m^3)	σ_{v0} (kPa)	u (kPa)	σ'_{v0} (kPa)	V_S (m/s)	$V_{S,12m}$ (m/s)	LPI (Iwasaki et al. (1984)
1	1,1	1,1	16,0	17,1	0	17,1	104	251,6	0
2	2,5	3,6	16,5	58,4	11	47,4	177		0
3	3,5	7,1	17,0	118	46	71,9	265		0
4	3,2	10,3	17,5	174	78	95,9	295		0
5	6	16,3	19,5	291	138	153	347,5		0
6	3,6	19,99	18,5	360	175	185	285		0

- Fs 1° sismostrato = 2.14;
- Fs 2° sismostrato = 4.83;
- Fs 3° sismostrato = 34.54;
- Fs 4° sismostrato = 43.91;
- Fs 5° sismostrato = 66.30;
- Fs 6° sismostrato = 7.00.

Il Fattore di Sicurezza calcolato è risultato essere nettamente maggiore rispetto al limite di 1.25 imposto dall'Eurocodice EC8 per ciascun sismostrato modellato. L'Indice Potenziale di Liquefazione LPI infatti si mantiene su un valore nullo, corrispondente ad un rischio di liquefazione molto basso (non liquefacibile).

4) CONCLUSIONI

La verifica del Fattore di Sicurezza a liquefazione è stata effettuata mediante l'utilizzo dei risultati di due tipologie di prove:

- prova CPTu, applicando la metodologia "NCEER & Robertson";
- profilo verticale delle onde di taglio V_S, applicando il metodo di Kayen et al (2013).

La prima metodologia tiene in considerazione l'Indice del Tipo di Suolo e diversi parametri intrinseci dello strumento utilizzato (resistenza alla punta, resistenza laterale, pressione dei pori). Tale approccio permette di poter individuare, con precisione centimetrica, ogni livello potenzialmente liquefacibile lungo la verticale penetrometrica.
Il secondo metodo, tiene in considerazione la velocità delle onde di taglio V_S derivate dal profilo sismico delle prove geofisiche MASW. Tale metodologia considera del tutto trascurabile la presenza di materiale fine ed è applicabile fino ad una profondità superiore a 20 m, seppur con una qualità di dettaglio minore rispetto alle prove CPTu. L'utilizzo dei profili sismici permette di estendere le valutazioni sul potenziale di liquefazione dei terreni fin oltre il limite teorico dei 20 metri di profondità, limite oltre cui non sussisterebbero più le condizioni per tale fenomeno.

1. I risultati della prova penetrometrica statica con piezocono (CPTu) possono essere così riassunti:
   - Dall'analisi della verticale penetrometrica non sussistono livelli potenzialmente liquefacibili; il Fattore di Sicurezza mostra valori superiori al limite di 1.25; l'indice potenziale di liquefazione LPI rientranti nella categoria a rischio **"molto basso (non liquefacibile)"**.
     La presenza di uno spesso strato superficiale di natura argilloso-limosa, l'elevato contenuto di materiale fine entro i depositi granulari, la presenza di depositi ghiaiosi tra 10.0 e 17.0 m di profondità, e in generale il basso scuotimento sismico previsto, permettono un allontanamento dalle condizioni di rischio a liquefazione dei terreni.

2. Applicando il metodo Kayen et al (2013) per quanto riguarda i dati derivanti dai profili sismici delle velocità delle onde di taglio V_S, i risultati sono i seguenti:

   - Fs 1° sismostrato = 2.14;
   - Fs 2° sismostrato = 4.83;
   - Fs 3° sismostrato = 34.54;

- Fs 4° sismostrato = 43.91;
- Fs 5° sismostrato = 66.30;
- Fs 6° sismostrato = 7.00.

In base alle verifiche eseguite, i sismostrati considerati possono essere classificati come non suscettibili a liquefazione, essendo il valore del Fattore di Sicurezza, calcolato per ciascuno di essi, superiore al valore limite di 1.25.
L'Indice Potenziale di Liquefazione calcolato secondo il metodo proposto da Iwasaki et al. (1984) risulta infine essere:

- LPI 1° sismostrato = 0;
- LPI 2° sismostrato = 0;
- LPI 3° sismostrato = 0;
- LPI 4° sismostrato = 0;
- LPI 5° sismostrato = 0;
- LPI 6° sismostrato = 0.

La verifica globale effettuata circa la suscettibilità a liquefazione dei terreni consente di affermare che in tale sito vi sia un rischio a liquefazione di grado **"molto basso (non liquefacibile)"**.

Sul sito in esame, date le particolari condizioni lito-stratigrafiche, idrogeologiche e sismiche, non sussistono le condizioni affinché scaturiscano fenomeni di liquefazione. Il rischio per l'areale di interesse si pone ad un livello **"molto basso (non liquefacibile)"**.

Trevozzo V.T. 09/12/2020 *Geotest s.r.l.*

Dott. Geologo Adriano Baldini

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale

Via E. Fermi, 113 – Trevozzo
29031 Alta Val Tidone (PC)
Tel.: 348 510 7263
info@geotestsrl.com

Servizi Geologici
Servizi Geotecnici
Servizi Geofisici

Allegato 4

Valutazione della pericolosità sismica dell'area

1. PREMESSA

Di seguito verranno esaminati gli aspetti sismici dell'area, ubicata all'interno del polo logistico di Castel San Giovanni (PC), che sarà interessata dal nuovo intervento di trasformazione urbanistica che prevede la realizzazione di un nuovo deposito denominato "*Corpo F*" (Figura 1).

***Figura 1** - Ubicazione dell'area di interesse (immagine satellitare).*

In particolare, per la stesura del seguente approfondimento si è fatto riferimento alla **"DELIBERA DELLA GIUNTA REGIONALE N. 630 DEL 29 APRILE 2019 - atto di coordinamento tecnico sugli studi di microzonazione sismica per la pianificazione territoriale e urbanistica (artt. 22 e 49, l. r. n. 24/2017)".**

1.1 OBIETTIVI DELLA DELIBERA

Lo scopo dell'atto di indirizzo e di coordinamento preso come riferimento è quello di fornire i criteri per l'individuazione delle aree soggette ad effetti locali e per la microzonazione sismica del territorio in modo da orientare le scelte della pianificazione verso aree caratterizzate da minore pericolosità sismica.

Lo studio della pericolosità di base e della pericolosità locale hanno come obiettivi:

- l'individuazione delle aree dove in occasione dei terremoti attesi possono verificarsi effetti locali;
- la stima quantitativa della risposta sismica locale dei depositi e delle morfologie presenti nell'area di indagine ("Analisi della Risposta Sismica Locale" - RSL);
- la suddivisione del territorio in sottozone a diversa pericolosità sismica locale ("Microzonazione Sismica" - MZS).

1.2 LIVELLI DI APPROFONDIMENTO

Gli studi di risposta sismica locale e microzonazione sismica vanno condotti a diversi livelli di approfondimento a seconda delle finalità e delle applicazioni nonché degli scenari di pericolosità locale.

Si identificano due fasi di analisi con diversi livelli di approfondimento:

- La **prima fase** è diretta a definire gli scenari di pericolosità sismica locale (**primo livello di approfondimento**), cioè a identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.). L'individuazione delle aree soggette ad effetti locali si basa su rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolte a scala territoriale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati. Tale analisi viene svolta soprattutto mediante elaborazione dei dati disponibili in sede di elaborazione del PTCP e del PSC e concorre alla definizione delle scelte di piano, fornendo prime indicazioni sui limiti e le condizioni per la pianificazione nelle suddette aree.

- La **seconda fase** (analisi della risposta sismica locale e microzonazione sismica del territorio) è richiesta per la predisposizione e approvazione degli strumenti di pianificazione urbanistica comunale e deve interessare le aree già urbanizzate e quelle indicate come suscettibili di urbanizzazione, i corridoi infrastrutturali e gli agglomerati posti in territorio rurale che possano considerarsi significativi, per dimensione e/o interesse insediativo, in rapporto alla realtà territoriale locale, ricadenti nelle aree potenzialmente soggette ad effetti locali individuate nella prima fase.

  Sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase, nella seconda fase si attuano due diversi livelli di approfondimento:

  1) nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili con acclività ≤ 15° in cui il deposito ha spessore costante si ritiene

sufficiente un'analisi semplificata (**secondo livello di approfondimento**), cioè l'analisi della pericolosità locale può essere basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologici più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche in sito e su prove geotecniche di tipo standard. Il numero delle verticali indagate deve essere tale da consentire un'adeguata caratterizzazione geotecnica spaziale dei terreni e delle formazioni presenti nell'area di studio;

2) un'analisi più approfondita (**terzo livello di approfondimento**) è invece richiesta nei seguenti casi:
   a. Aree soggette a liquefazione e densificazione;
   b. Aree instabili e potenzialmente instabili;
   c. Aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti;
   d. Aree suscettibili di effetti differenziali (zone di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse, zone di faglia attiva e capace, zone con cavita sepolte).
   e. Aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

L'analisi approfondita richiede un significativo numero di prove geofisiche e geotecniche, sia in sito che in laboratorio, rivolte alla definizione del comportamento dei terreni sotto sollecitazione dinamica. In queste parti del territorio la pericolosità potrebbe essere molto elevata e perciò deve essere attentamente valutata la possibilità di renderle suscettibili di trasformazione urbanistica.

2. CARATTERI SISMICI DELL'AREA DI INTERESSE (Primo livello)

2.1 CLASSIFICAZIONE SISMICA DEL TERRITORIO COMUNALE E SISMICITÀ DI BASE

Secondo la vigente classificazione sismica del territorio nazionale, di cui all'OPCM 3274/03, tutti i Comuni sono classificati sismici in base a 4 classi di sismicità, con grado di rischio decrescente dalla zona 1 alla zona 4. La descrizione relativa a ciascuna delle quattro classi ed i rispettivi valori di riferimento di accelerazione massima orizzontale ($\mathbf{a_g}$), su substrato rigido (Vs>800 m/s), sono riportati nella tabella seguente (Tabella 1).

Zona	Descrizione	a_g
1	Indica la zona più pericolosa, dove possono verificarsi fortissimi terremoti.	0.35
2	Zona dove possono verificarsi forti terremoti.	0.25
3	Zona che può essere soggetta a forti terremoti ma rari.	0.15
4	Zona meno pericolosa, dove i terremoti sono rari ed è facoltà delle Regioni prescrivere l'obbligo della progettazione antisismica.	0.05

Tabella 1 *- Classi sismiche definite dall'OPCM 3274/03.*

Il territorio Comunale di Castel San Giovanni è passato dalla zona sismica **4** alla zona sismica **3**, con deliberazione della Giunta Regionale n.1164 del 23 luglio 2018. In base alla nuova carta della pericolosità sismica del territorio nazionale (Figura 3), i valori di PGA (accelerazione di picco orizzontale) su suolo rigido con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, per il Comune di Castel San Giovanni sono compresi fra 0.075 e 0.100 g. Nel dettaglio per l'area del polo logistico il valore di PGA previsto è di 0.092 g.

Dal punto di vista sismo-strutturale l'area ricade nella zona sismogenetica 911 (Figura 2), in cui i meccanismi di fagliazione prevalenti sono legati a faglie trascorrenti e le profondità dei terremoti prevalentemente compresi fra 8 e 12 Km. Le magnitudo massime attese nella zona sismogenetica d'interesse sono di 5.7-6.1.

Le serie storiche dei terremoti contenuti nell'archivio della Regione Emilia-Romagna non segnalano eventi sismici rilevanti nell'area di Castel San Giovanni.

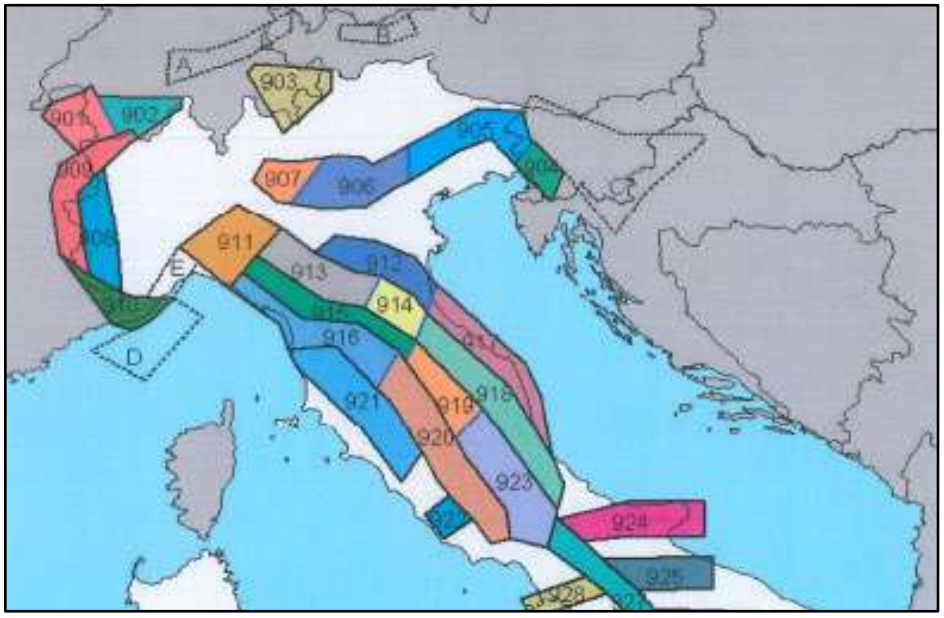


Figura 2 *- Zonazione sismogenetica ZS9; le diverse zone sono individuate da un numero.*

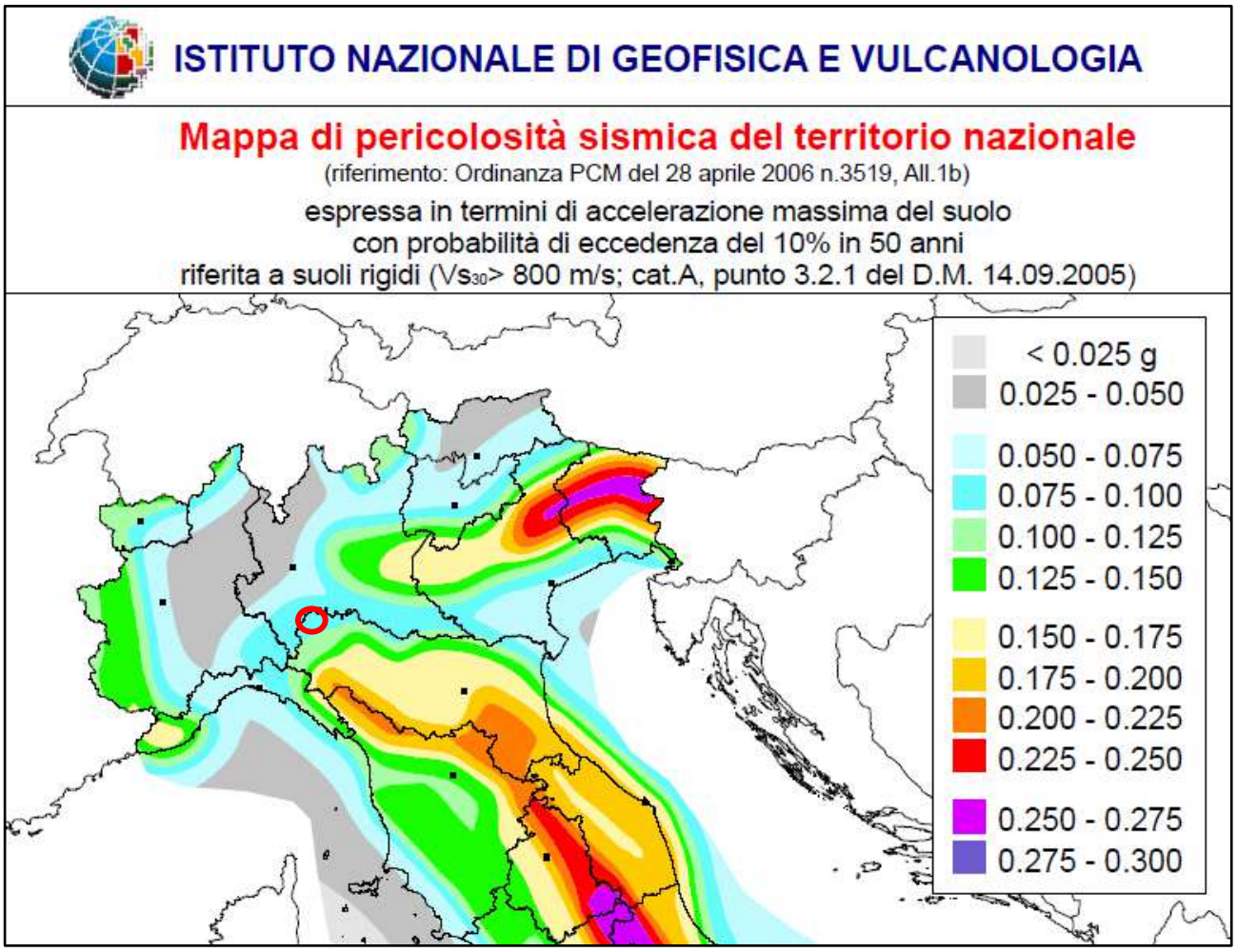


***Figura 3** – Mappa della pericolosità sismica del territorio nazionale (il cerchio rosso indica l'area esaminata).*

2.2 CARATTERI GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICI DELL'AREA

L'area di interesse è collocata nella bassa pianura piacentina su un ripiano alluvionale medio-recente. I depositi affioranti sul sito oggetto del presente studio appartengono alla successione quaternaria del margine appenninico padano, e risultano ascrivibili al Subsintema di Ravenna - AES8, stratigraficamente caratterizzabili come: "Ghiaie sabbiose, sabbie e limi stratificati con copertura discontinua di limi argillosi e limi e limi sabbiosi. Depositi di conoide ghiaiosa e depositi intravallivi terrazzati e depositi di interconoide rispettivamente. Il contatto di base è discontinuo, spesso erosivo, e discordante sul substrato pliocenico e su AES2, AES3 e AES7".

In base alla cartografia allegata al PTCP vigente, gli effetti sismici di sito possono essere legati ad amplificazioni stratigrafiche e a possibili cedimenti post-sismici (Figura 4) pertanto l'area esaminata necessita di un'analisi approfondita (terzo livello di approfondimento), nel caso in cui non sia possibile escludere il rischio di cedimenti.

Legenda

S Depositi alluvionali sabbiosi

C Depositi alluvionali argillosi

CLASSE	EFFETTI DI SITO					LIVELLO DI APPROFONDIMENTO (rif. Delib. A.L. n. 112/2007)
	amplificazione litologica	amplificazione topografica	instabilità di versante	cedimenti	liquefazione	
F1i	X	X	X			III
F1	X		X			III
F2i	X	X	X			III
F2	X		X			III
Di	X	X	X			III
Si	X	X	X		X	III (classe Di se si esclude il rischio di liquefazione)
Ci	X	X	X	X		III (classe Di se si esclude il rischio di cedimenti)
S	X				X	III (II, classe D, se si esclude il rischio di liquefazione)
C	X			X		III (II, classe D, se si esclude il rischio di cedimenti)
T	X					II (III, classe Di, in caso di inclinazione critica degli eventuali orizzonti di alterazione/fratturazione di spessore > 5m)
I		X				II (III, classe Di, in caso di orizzonti di alterazione/fratturazione di spessore > 5m)
D	X					II
R						I (II, classe D, in caso di orizzonti di alterazione/fratturazione di spessore > 5m)

Figura 4 *- Estratto della Carta delle Aree suscettibili di effetti sismici locali del PTCP di Piacenza con relativa legenda; il cerchio giallo indica l'area esaminata.*

3 ANALISI SEMPLIFICATA DI RISPOSTA SISMICA LOCALE (Secondo livello)

Per la definizione dell'amplificazione, ove è ritenuta sufficiente l'analisi semplificata, si utilizzeranno le tabelle, le formule e le procedure indicate nell'Allegato A2 del D.G.R. n. 630/2019. La scelta delle tabelle per la stima dell'amplificazione non dipende dalle sole caratteristiche litologiche e morfologiche dell'area ma deve essere attentamente valutata anche sulla base delle caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo, in particolare della profondità e del tipo di substrato. Per l'utilizzo delle tabelle è pertanto necessario determinare la stratigrafia del sottosuolo, in particolare: lo spessore H della copertura, la profondità del *bedrock* sismico e il valore di Vs nell'intervallo di spessore H.

3.1 PROVE SISMICHE REALIZZATE

Nell'area di interesse, oltre a numerose prove penetrometriche dinamiche sono state realizzate le seguenti prove sismiche (Figura 5):

- n. 2 prove Masw (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- n. 3 prove HVSR (Microtremori tipo Nakamura).

***Figura 5** - Ubicazione delle indagini geofisiche condotte con relativa legenda.*

3.1.1 RISULTATI DELLE PROVE MASW

I risultati delle prove si possono così sintetizzare:

- I profili di velocità ricostruiti presentano un andamento sostanzialmente simile denotando una buona omogeneità litostratigrafica dell'area (Figura 6);
- Lo spessore del materiale areato molto allentato con Vs inferiore a 110 m/s è di 1.0-1.5 m circa;
- Più in profondità, fino a circa 3.0-4.0 m, i valori subiscono un primo netto incremento portandosi sui 170-180 m/s, segnalando la presenza di materiale comunque sempre poco compatto;
- Oltre i 3.0-4.0 m fino a 10.0-12.0 m, i valori aumentano ulteriormente collocandosi sui 260-300 m/s per la presenza di litotipi prevalentemente sabbiosi discretamente addensati. L'incremento di velocità con la profondità, è quindi verosimilmente accompagnato da un generale aumento della frazione attritiva costituente;
- Ancora più in profondità i valori di Vs sono mediamente di 340-350 m/s, indicando litotipi prevalentemente sabbiosi ben addensati;
- A partire da circa 15.0-18.0 m fino a circa 30.0-34.0 m di profondità, si assiste ad una leggera inversione di velocità, con valori di Vs che si mantengono comunque intorno ai 280-300 m/s. Tale comportamento è verosimilmente imputabile ad un incremento, entro la successione, delle intercalazioni coesive fini;
- Ancora più in profondità i valori di Vs tornano ad aumentare attestandosi intorno ai 330-340 m/s;
- I valori di Vs eq calcolati entro i primi 30 m rispetto ad un piano fondazionale posto a diverse profondità (da p.c. a -3.0 m da p.c.), variano da 262 m/s a 293 m/s definendo un suolo di fondazione sito specifico di tipo "**C**" (Tabella 2).

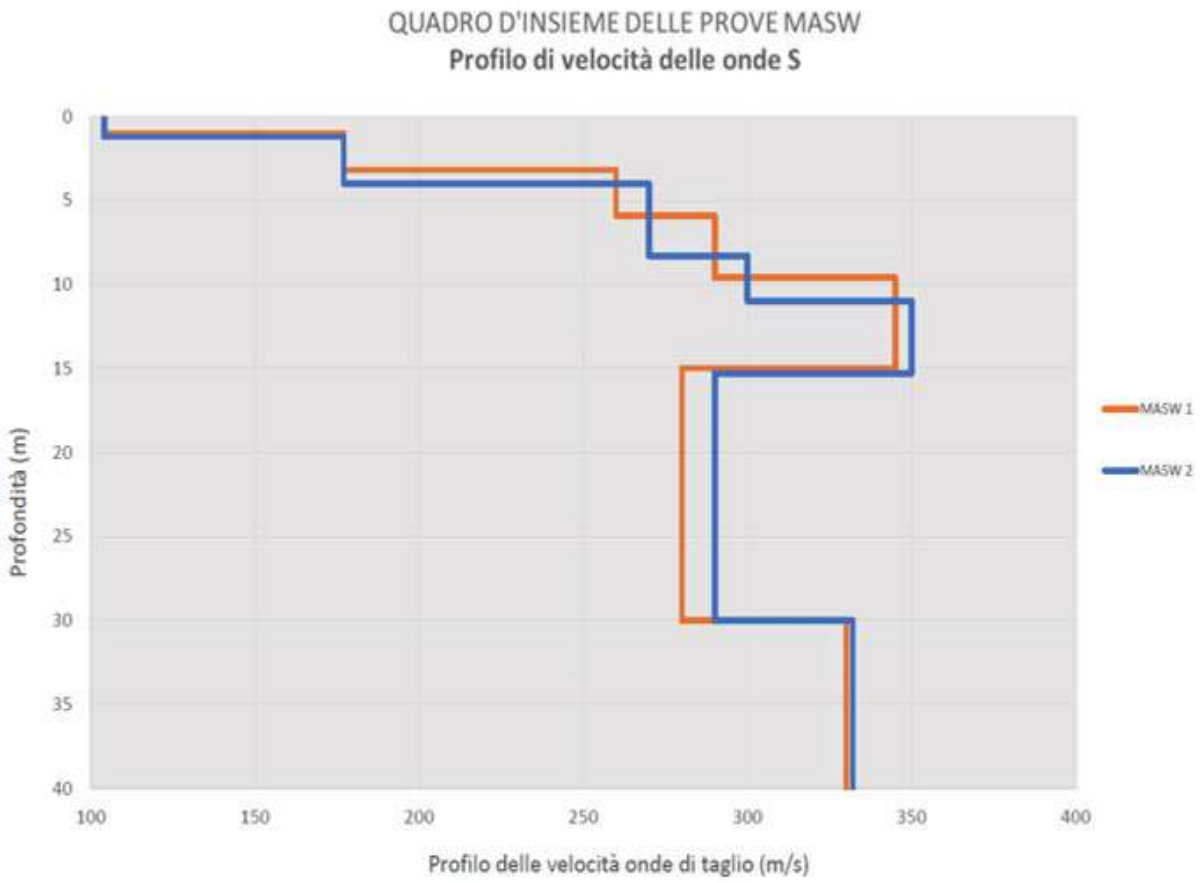


Figura 6 - Quadro d'insieme delle prove MASW.

Prove eseguite	Profondità da p.c.	Vs equivalente (m/sec)	Categoria di sottosuolo
MASW 1	0 m	Vs30, eq = **262**	**C**
	-1.0 m	Vs30, eq = **278**	**C**
	-1.5 m	Vs30, eq = **281**	**C**
	-2.0 m	Vs30, eq = **285**	**C**
	-3.0 m	Vs30, eq = **292**	**C**
MASW 2	0 m	Vs30, eq = **263**	**C**
	-1.0 m	Vs30, eq = **278**	**C**
	-1.5 m	Vs30, eq = **282**	**C**
	-2.0 m	Vs30, eq = **286**	**C**
	-3.0 m	Vs30, eq = **293**	**C**

Tabella 2 *– Valori della Vs equivalente calcolati per diverse profondità dal piano campagna in base alle prove Masw e classificazione del suolo di fondazione.*

3.1.2 RISULTATI DELLE PROVE HVSR

Analizzando i risultati delle prove si possono fare le seguenti considerazioni:

- Le prove condotte hanno un andamento nel complesso simile, a testimonianza di un sito caratterizzato da una buona uniformità sismo-stratigrafica;
- La frequenza caratteristica dell'area è stata registrata intorno a **21.0-23.0 Hz**. Dal punto di vista ingegneristico, valori di risonanza superiori a 20 Hz appaiono di scarso interesse. Il rapporto H/V risulta piuttosto elevato (superiore a 3,5/4,0) indicando un contrasto d'impedenza significativo nella successione litostratigrafica. In prima approssimazione possiamo collocare tale passaggio intorno a 1.0-1.5 m di profondità;
- In tutte e tre le prove, la frequenza di vibrazione fondamentale dell'area sembra attestarsi intorno a **0.85-0.91 Hz**. Anche in questo caso i picchi individuati, seppur di scarso interesse ingegneristico, presentano valori significativi [**3.0**(±0.8)] a testimonianza di forte contrasto d'impedenza sismica nella successione litostratigrafica collocabile, verosimilmente, intorno a 80-100 m di profondità circa, in corrispondenza di materiale più compatto;
- Considerando l'intervallo di frequenze a maggior interesse ingegneristico (normalmente 1 – 15 Hz), si osservano picchi del rapporto H/V nel range compreso tra 6 e 11 Hz. In particolare, si rileva una frequenza di vibrazione comune per tutte le acquisizioni intorno a 7.2-7.7 Hz. Il valore medio è pari a 2 e, probabilmente, segnala il passaggio tra materiali fini allentati superficiali ed i sottostanti depositi complessivamente più compatti. Nelle registrazioni HVSR2 e HVSR 3, si segnala inoltre un altro picco a circa 9.0 Hz con valore di 2.5, mentre nella HVSR1 a 11Hz con valore prossimo a 2.

3.2 VALUTAZIONE DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE

Il fattore di amplificazione (FA) rappresenta il rapporto fra lo scuotimento sismico valutato per la condizione geo-litologica specifica ed il corrispondente scuotimento relativo alla categoria di sottosuolo "A" (definito nella tabella 3.2.2 delle NTC 2018). I FA riportati nelle tabelle sono stati calcolati per un tempo di ritorno TR = 475 anni, con smorzamento ζ = 5%, e sono relativi ai seguenti parametri rappresentativi dello scuotimento sismico:

- Accelerazione di picco orizzontale (PGA);
- Intensità spettrale (SA) dello spettro di risposta in accelerazione calcolata in quattro intervalli di periodo proprio T (Tabella 3);
- Intensità spettrale (SI) dello spettro di risposta in velocità calcolata in tre intervalli di periodo proprio T (Tabella 4);

	T_1	T_2
SA1	0,1 s	0,5 s
SA2	0,4 s	0,8 s
SA3	0,7 s	1,1 s
SA4*	0,5 s	1,5 s

Tabella 3 *- Intervalli di periodo proprio T considerati per il calcolo dell'intensità spettrale SA.*

	T_1	T_2
SI1	0,1 s	0,5 s
SI2	0,5 s	1,0 s
SI3*	0,5 s	1,5 s

Tabella 4 *- Intervalli di periodo proprio T considerati per il calcolo dell'intensità spettrale SI.*

Secondo gli scenari sismo-stratigrafici previsti dallo studio RER del 2015, l'area d'interesse risulta essere collocata nella zona di **Pianura 1:** settore di pianura con sedimenti alluvionali prevalentemente fini, alternanze di limi, argille e sabbie, caratterizzato dalla presenza di un'importante discontinuità stratigrafica responsabile di un contrasto di impedenza significativo, tale da essere considerato coincidente con il tetto del substrato rigido, a profondità ≤ 100 m dal p.c. I fattori di amplificazione per lo scenario Pianura 1 sono riportati nelle tabelle 5, 6 e 7.

Vs_{30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
PGA	1,7	1,7	1,7	1,6	1,6	1,5

Tabella 5 *- Fattore di amplificazione PGA.*

Vs_{30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SA1	1,8	1,8	1,8	1,7	1,6	1,5
SA2	2,6	2,5	2,4	2,2	2,0	1,9
SA3	3,2	3,2	3,0	2,7	2,5	2,2
SA4	3,1	3,0	2,7	2,4	2,2	2,0

Tabella 6 *- Fattore di amplificazione SA1 (0.1 s ≤ T ≤ 0.5 s), SA2 (0.4 s ≤ T ≤ 0.8 s), SA3 (0.7 s ≤ T ≤ 1.1 s), SA4 (0.5 s ≤ T ≤ 1.5 s).*

Vs_{30} (m/s) →	150	200	250	300	350	400
SI1	1,9	1,9	1,9	1,8	1,6	1,5
SI2	3,0	2,9	2,7	2,5	2,3	2,1
SI3	3,4	3,2	2,8	2,5	2,2	2,0

Tabella 7 *- Fattore di amplificazione SI1 (0.1 s ≤ T ≤ 0.5 s), SI2 (0.5 s ≤ T ≤ 1.0 s), SI3 (0.5 s ≤ T ≤ 1.5 s).*

In base ai risultati delle prove Masw realizzate e considerando il valore di -1.5 m come piano di posa delle fondazioni, i fattori di amplificazione calcolati per i singoli profili di velocità Vs sono riassunti nella tabella 8.

PROVA	Vs_{30} (m/s)	PGA	SA1	SA2	SA3	SA4	SI1	SI2	SI3
MASW1	281	1.6	1.7	2.2	2.7	2.4	1.8	2.5	2.5
MASW2	282	1.6	1.7	2.2	2.7	2.4	1.8	2.5	2.5

Tabella 8 *- Fattori di amplificazione calcolati per i singoli profili di velocità Vs.*

4 ANALISI APPROFONDITA DI RISPOSTA SISMICA LOCALE (Terzo livello)

Questo livello di analisi è finalizzato a valutare l'effettivo grado di pericolosità sismica locale delle aree instabili e potenzialmente instabili e di quelle soggette a liquefazione e densificazione (individuate attraverso il primo livello di analisi nella cartografia delle aree suscettibili di effetti locali). Per le aree in cui viene effettuato il terzo livello di approfondimento è necessario fornire lo spettro di risposta riferito a tali aree, per un periodo di ritorno TR = 475 anni con smorzamento ζ = 5%, e valutare la suscettibilità del terreno alla liquefazione, se sono presenti importanti spessori di terreni granulari saturi nei primi 20 m dal piano campagna.

4.1 SPETTRO DI RISPOSTA DELL'AREA

Lo spettro di risposta in accelerazione a probabilità uniforme, che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni nel sito analizzato si ottiene moltiplicando lo spettro di risposta (Figura 8) normalizzato e mediato sul territorio della regione Emilia-Romagna per il valore dell'accelerazione massima orizzontale su suolo di riferimento (a_{refg}) del sito di interesse (0.092) e per il fattore di amplificazione PGA (1.6).

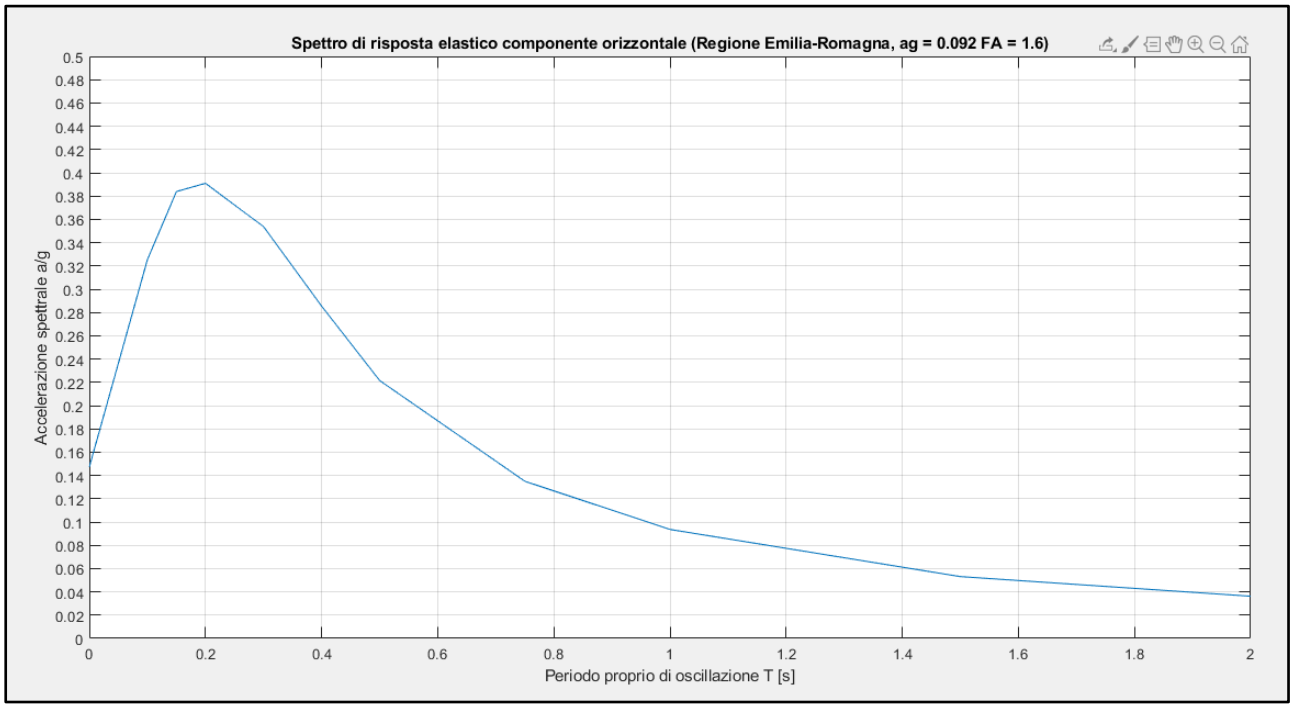


Figura 8 - Spettro di risposta del sito in base alle norme della Regione Emilia-Romagna.

4.2 VERIFICA DELLA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

Nonostante la cartografia allegata al PTCP vigente non indichi la liquefazione tra gli effetti sismici di sito che possono interessare l'area di interesse (Figura 4), si è deciso di eseguire comunque una verifica della suscettibilità a tale fenomeno. Questa decisione è stata supportata dalle prove geognostiche e geofisiche eseguite, le quali hanno evidenziato la presenza di importanti spessori di terreni granulari saturi nei primi 20 m dal piano campagna.

4.2.1 METODI IMPIEGATI

Per la verifica alla liquefazione sono stati adoperati due metodi semplificati diversi che valutano il rischio di liquefazione determinando il **fattore di sicurezza (FS)** nei confronti della liquefazione, calcolato come rapporto tra lo sforzo di taglio indotto dal terremoto (CRR) ad una certa profondità e la resistenza al taglio ciclica del terreno (CSR) alla stessa profondità:

$$FS = \frac{CRR}{CSR}$$

Alla profondità per cui risulta CSR > CRR il terreno è considerato liquefacibile. Nello specifico, il valore soglia definito dalla normativa rispetto al quale il terreno diventa suscettibile a liquefazione è di 1.25.

I metodi semplificati differiscono fra loro soprattutto per il modo con cui viene ricavata la resistenza alla liquefazione CRR; esistono infatti alcune relazioni empiriche che correlano la resistenza a liquefazione alla resistenza penetrometrica dinamica N_{SPT}, alla resistenza alla penetrazione statica q_{c1N} o anche alla velocità di propagazione delle onde di taglio Vs. Per quanto concerne il presente documento, al fine della valutazione dei parametri di resistenza a liquefazione CRR sono stati utilizzati i dati derivati dalle prove effettuate in sito, in particolare:

- la resistenza alla penetrazione statica dedotta tramite la prova CPTu;
- i profili verticali delle onde di taglio V_S modellati grazie alle acquisizioni sismiche MASW.

I risultati delle verifiche della suscettibilità alla liquefazione eseguite per il sito indagato sono di seguito riportati mentre per la trattazione specifica dei metodi utilizzati e dei parametri inseriti si rimanda all'allegato 3.

4.2.2 VERIFICA ATTRAVERSO LA PROVA CPTu

L'analisi sulla liquefacibilità dei terreni caratterizzanti l'areale indagato tramite i parametri ottenuti dalla prova CPTu è stata eseguita con il software CLiq di *Geologismiki*. Nella tabella 9 sono riportati gli strati potenzialmente liquefacibili con la relativa profondità ed il relativo Fattore di Sicurezza. Come si può notare non sono stati individuati strati potenzialmente liquefacibili lungo la verticale penetrometrica.

N°. strato	Profondità strato potenzialmente liquefacibile (cm)	Fattore di Sicurezza	LPI	Rischio
/	/	1.25	/	Rischio molto basso (non liquefacibile)

Tabella 9 *- Sintesi dei risultati della verifica alla liquefazione eseguita tramite la prova CPTu.*

4.2.3 VERIFICA ATTRAVERSO LE PROVE MASW

La metodologia sviluppata da Kayen et al. (2013) ha permesso di calcolare il Fattore di Sicurezza per ogni sismostrato individuato in seguito all'elaborazione delle prove geofisiche MASW.

I sismostrati, esposti nella tabella 10, sono il risultato di un modello che meglio approssima i due profili sismici restituiti dalle due prove MASW.

Sismostrato	Spessore (m)	Z (m)	γ (kN/m^3)	σ_{v0} (kPa)	u (kPa)	σ'_{v0} (kPa)	V_S (m/s)	$V_{S,12m}$ (m/s)	LPI (Iwasaki et al. (1984)
1	1,1	1,1	16,0	17,1	0	17,1	104	251,6	0
2	2,5	3,6	16,5	58,4	11	47,4	177		0
3	3,5	7,1	17,0	118	46	71,9	265		0
4	3,2	10,3	17,5	174	78	95,9	295		0
5	6	16,3	19,5	291	138	153	347,5		0
6	3,6	19,99	18,5	360	175	185	285		0

Tabella 10 *- Modello sismico del sito di interesse, sulla base di cui è stata eseguita la verifica.*

L'Eurocodice 8 suggerisce, nel caso di impiego di correlazioni semi-empiriche, che un terreno debba essere considerato liquefacibile se lo sforzo di taglio indotto dal terremoto supera l'80% della resistenza mobilitata dal terreno (CSR>=0.80CRR). Questo comporta un coefficiente di sicurezza limite Fs uguale a: CRR/CSR = 1.25. Il valore di Fs calcolato dovrà essere quindi maggiore o uguale di questo valore limite. Tali valori sono riportati qui di seguito, per ciascun sismostrato:

Sismostrato	Fs
1	2.14
2	4.83
3	34.54
4	43.91
5	66.30
6	7.00

Dalle verifiche effettuate, il fattore di sicurezza risulta sempre nettamente superiore a 1.25. L'indice potenziale di liquefazione (LPI) infatti si mantiene su un valore nullo, indicando un rischio di liquefazione molto basso.

5 CONCLUSIONI

I caratteri sismici dell'area d'interesse e i risultati dell'approfondimento condotto si possono così riassumere:

- In base alla normativa antisismica vigente il territorio comunale di Castel San Giovanni è inserito in zona **3** (medio-bassa sismicità);
- In base alla mappa della pericolosità sismica il valore di $\mathbf{a_g}$ atteso al sito e di 0.092 g;
- In relazione alle caratteristiche geologico-geomorfologiche dell'area, gli effetti di sito possono ricondursi quasi esclusivamente a fenomeni di amplificazione litologica;
- In base alle verifiche effettuate è emerso che il rischio di liquefazione per il sito indagato è molto basso;
- I valori di Vs eq calcolati entro i primi 30 m rispetto ad un piano fondazionale posto a diverse profondità (da p.c. a -3.0 m da p.c.), variano da 262 m/s a 293 m/s definendo un suolo di fondazione sito specifico di tipo "**C**" (Tabella 2).
- I fattori di amplificazione, calcolati in base alla delibera regionale in materia antisismica e considerando il valore di -1.5 m come piano di posa per le fondazioni, per lo scenario sismo-stratigrafico **Pianura 1** sono riassunti nella tabella sotto riportata:

PROVA	Vs_{30} (m/s)	PGA	SA1	SA2	SA3	SA4	SI1	SI2	SI3
MASW1	281	1.6	1.7	2.2	2.7	2.4	1.8	2.5	2.5
MASW2	282	1.6	1.7	2.2	2.7	2.4	1.8	2.5	2.5

In conclusione, si può affermare che l'intervento di trasformazione urbanistica previsto è sicuramente compatibile con l'assetto sismico dell'area.

Trevozzo, 09/12/2020

Geotest s.r.l.
geologia tecnica e ambientale

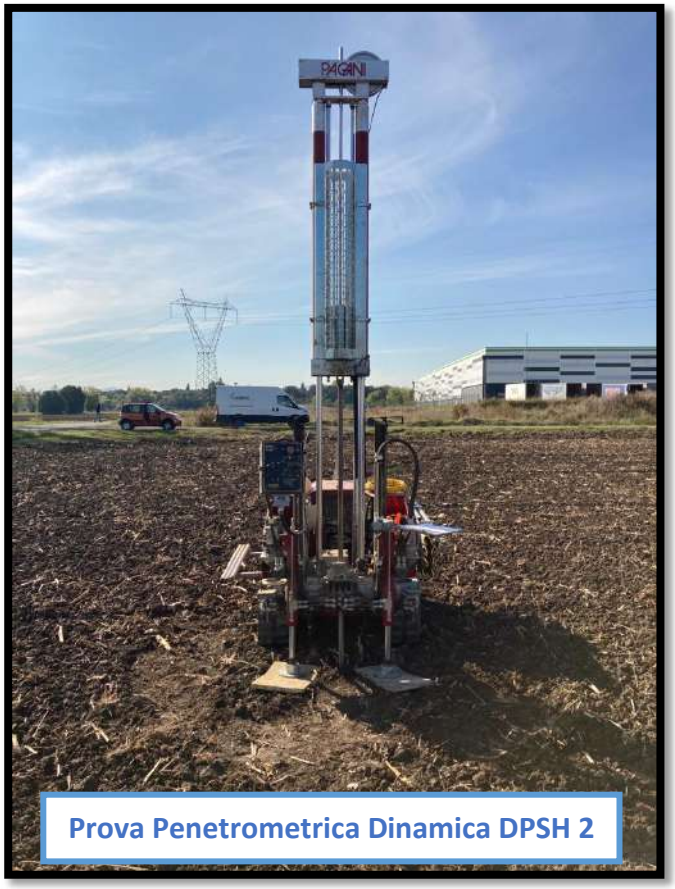
Via E. Fermi, 113 – Trevozzo
29031 Alta Val Tidone (PC)
Tel.: 348 510 7263
info@geotestsrl.com

Servizi Geologici
Servizi Geotecnici
Servizi Geofisici

Allegato 5

Documentazione fotografica delle indagini effettuate

Prova Penetrometrica Dinamica DPSH 1



Prova Penetrometrica Dinamica DPSH 2

Prova Penetrometrica Dinamica DPSH 3

Prova Penetrometrica Dinamica DPSH 4

Prova Penetrometrica Dinamica DPSH 5

Prova Penetrometrica Dinamica DPSH 8

Prova Penetrometrica Dinamica DPSH 9

Prova Penetrometrica Dinamica DPSH 10

Prova Penetrometrica Dinamica DPSH 11

Prova Penetrometrica Statica CPTu 6

Stendimento linea sismica per
acquisizione prova M 1

Stendimento linea sismica per
acquisizione prova M 2

Acquisizione HVSR
TROMINO