

Relazione geologica

- Modello Geologico
- Modello Geotecnico Preliminare
- Modello Sismico

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



Oggetto

Relazione Geologico-Tecnica relativa alla verifica di fattibilità geologica del progetto che prevede la realizzazione di n. 2 nuovi depositi denominati "Corpo X" e "Corpo Y" da edificarsi nei pressi del parco Logistico di Castel San Giovanni (PC).

Tecnici Incaricati

Dott. Geol. Baldini Adriano



Committente

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



Trevozzo, 9 dicembre 2020

Sommario

0) GENERALITÀ.....	1
1) PREMESSA.....	1
2) NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	3
3) INQUADRAMENTO GEOLOGICO GEOMORFOLOGICO E MODELLO GEOLOGICO	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.....	10
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.....	16
5.1 Dati Generali	17
5.2 Coefficienti Sismici (N.T.C.).....	17
5.3 Stratigrafia Terreno	18
5.4 Carico Limite Fondazione combinazione A1+M1+R3	19
5.5 Stima dei Cedimenti Elastici.....	19
5.6 Stima dei Cedimenti Edometrici.....	21
6) LIQUEFAZIONE TERRENI.....	22
6.1 Verifica Preliminare di Liquefazione	22
7) CONCLUSIONI.....	24

Indice delle Tavole e delle Figure

- Fig. 1: Corografia*
- Fig. 2: Planimetria generale dei depositi in progetto*
- Fig. 3: Ubicazione Indagini Effettuate*
- Fig. 4: Sezione dello Schema Tettonico dei Thrust Appenninici*
- Fig. 5: Estratto Carta Geologica Regionale*
- Fig. 6: Estratto Carta Litologica del PSC*
- Fig. 7: Estratto Carta Geologica-geomorfologica del PSC*
- Fig. 8: Estratto Carta Idrogeologica del PSC*
- Fig. 9: Schema Stratigrafico del Margine Appenninico e della
Pianura Emiliano - Romagnola*
- Fig. 10: Estratto Carta della Vulnerabilità Idrogeologica del PSC*
- Fig. 11: Estratto Carta della Fattibilità geologica del PSC*
- Fig. 12: Estratto Carta delle aree suscettibili di effetti sismici locali del PSC*

Allegati

ALLEGATO 1: PROVE PENETROMETRICHE

ALLEGATO 2: INDAGINE GEOFISICA DI SUPERFICIE

ALLEGATO 3: VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DELL'AREA

ALLEGATO 4: 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 n. 2 nuovi depositi 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 207.000 mq e su di essa è prevista la realizzazione di n. 2 manufatti (nuovi depositi) denominati rispettivamente edificio X ed edificio Y. Ogni edificio presenta in pianta le dimensioni indicative di 300 m x 150 m (45.000 mq) con l'aggiunta di un locale uffici di dimensione di 12 m x 50 m circa (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, nel mese di settembre/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:

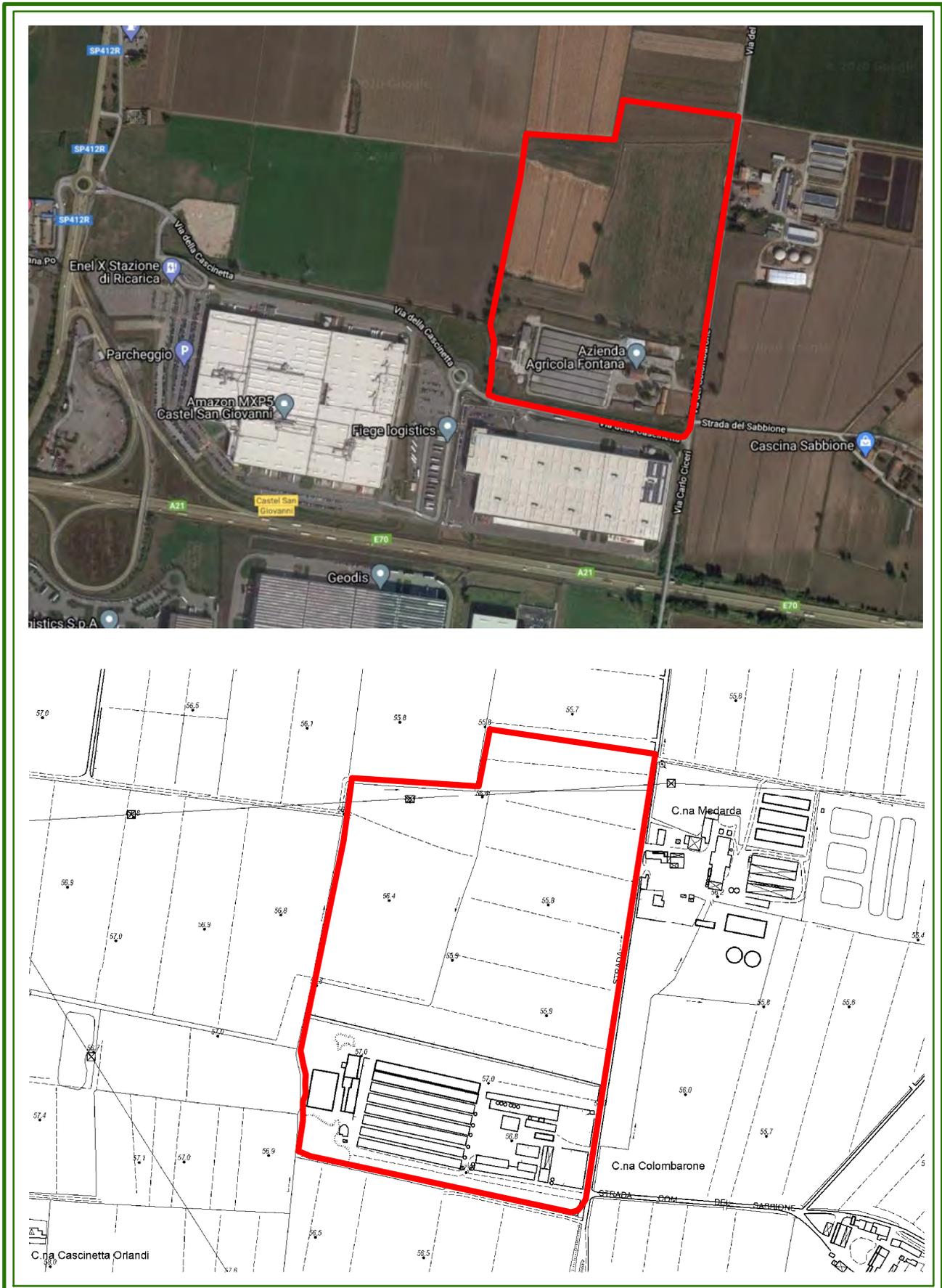
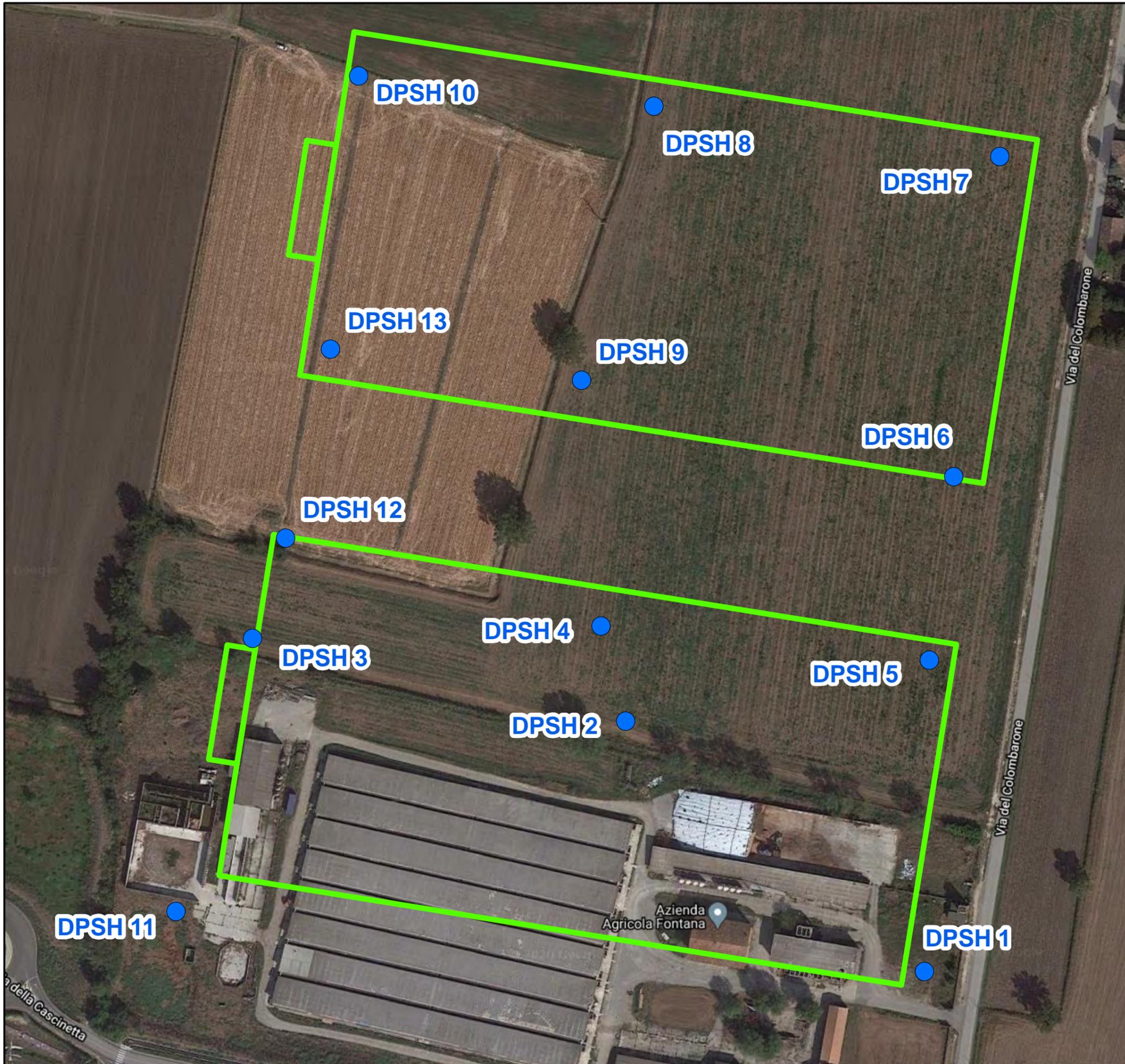


Fig. 1: Corografia – Carta Tecnica Regionale 1:5000



Fig. 2: Opere in Progetto



OGGETTO

Comune di CASTEL S. GIOVANNI (PC)
Realizzazione di due nuovi depositi

TITOLO

**PLANIMETRIA DELLE INDAGINI
GEOGNOSTICHE**

Legenda

DPSH 1
● DPSH

□ Perimetro deposito in progetto



COROGRAFIA



OGGETTO

Comune di CASTEL S. GIOVANNI (PC)
Realizzazione di due nuovi depositi

TITOLO

**PLANIMETRIA DELLE INDAGINI
GEOFISICHE**

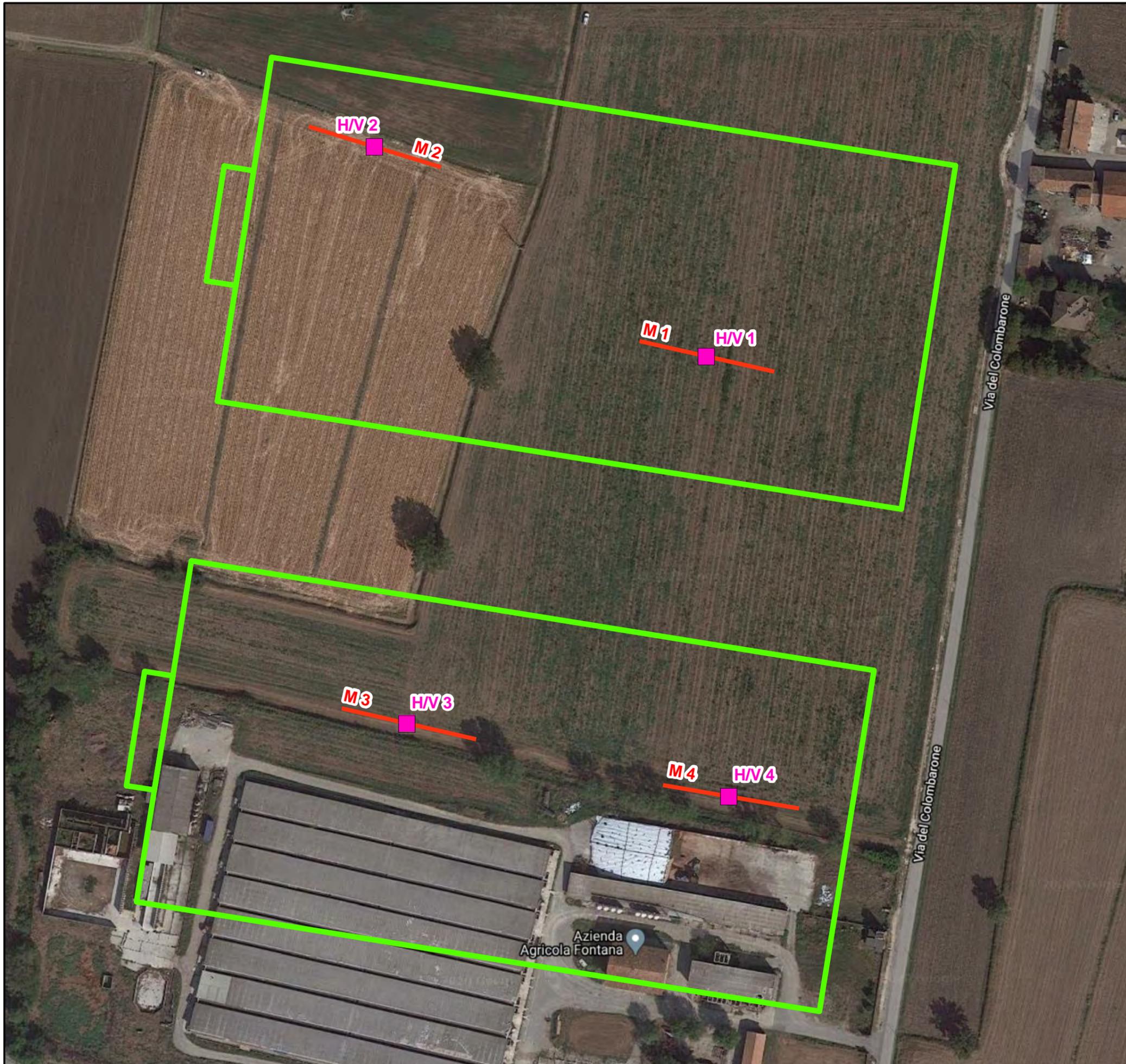
Legenda

- HV 1 HVSR
- M1 MASW/Re.Mi.

Perimetro deposito in progetto



COROGRAFIA



- n. 13 prove penetrometriche dinamiche 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. 4 prove MASW/Re.Mi, e n. 4 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.

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

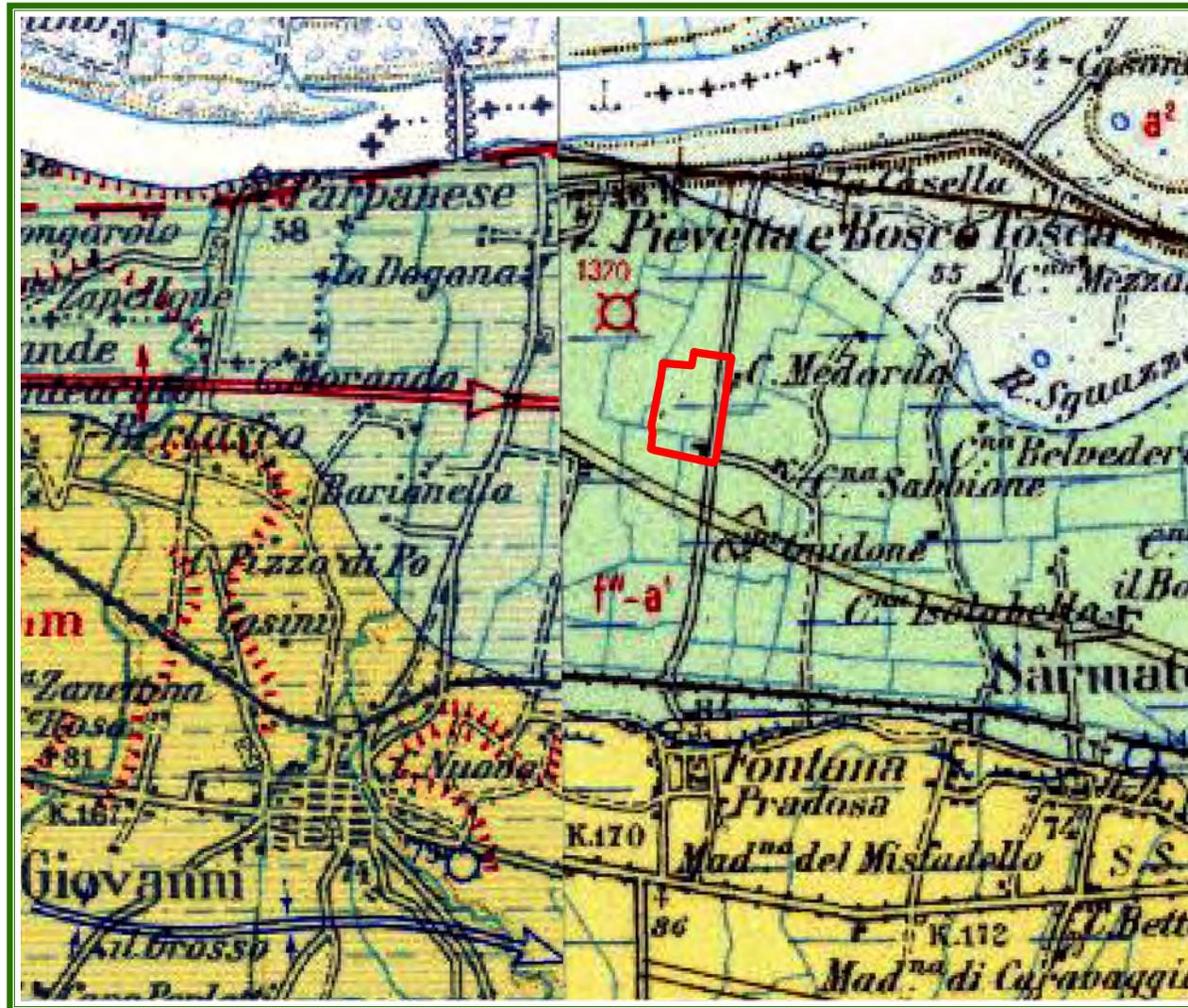
La zona interessata dal presente studio è ubicata circa 3.0 Km a nord est dal centro del Capoluogo, ad una quota media di circa 56 m s.l.m. (fig. 1)

3.1 Inquadramento Geologico – Geomorfológico 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-quadernari (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 quadernari, tale successione continentale ricade nel Supersistema Emiliano-Romagnolo (“AE”); a sua volta esso è suddiviso in Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore “AES” (Pleistocene sup-Olocene), e Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore “AEI” (Pliocene medio). Inoltre, la suddivisione tende ad includere altre categorie minori: i subsistemi 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.

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



Legenda

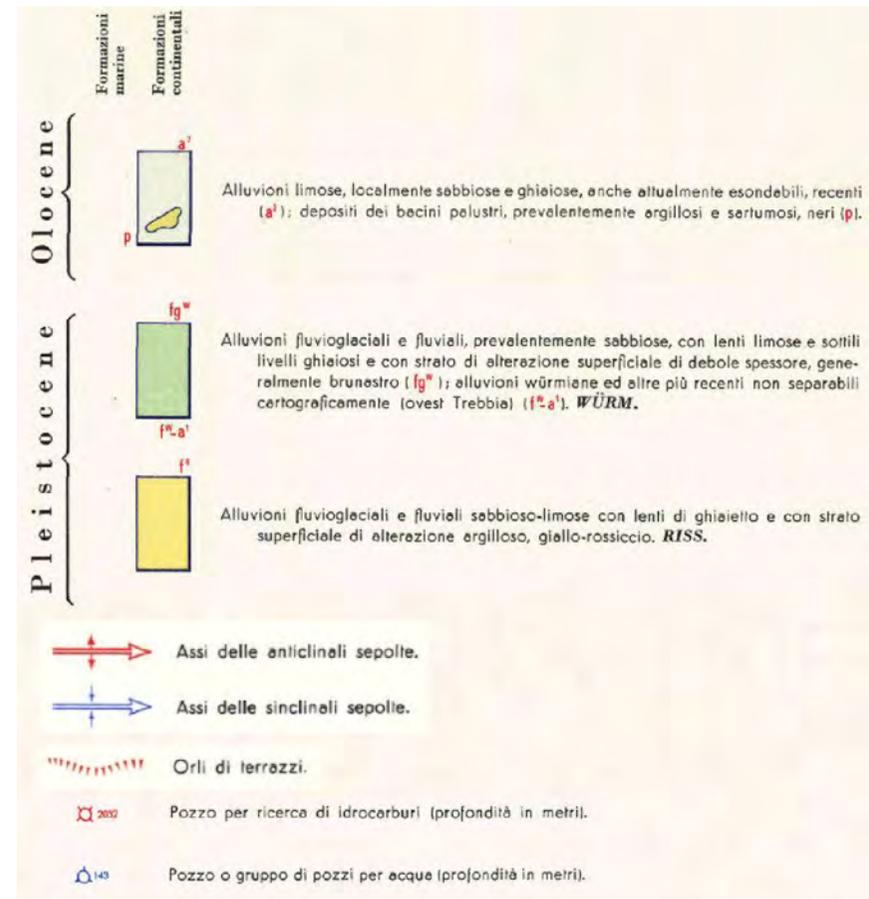


Fig. 4: Estratto Carta Geologica d'Italia 1:100.000 – Fogli n. 59 e n. 60

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.

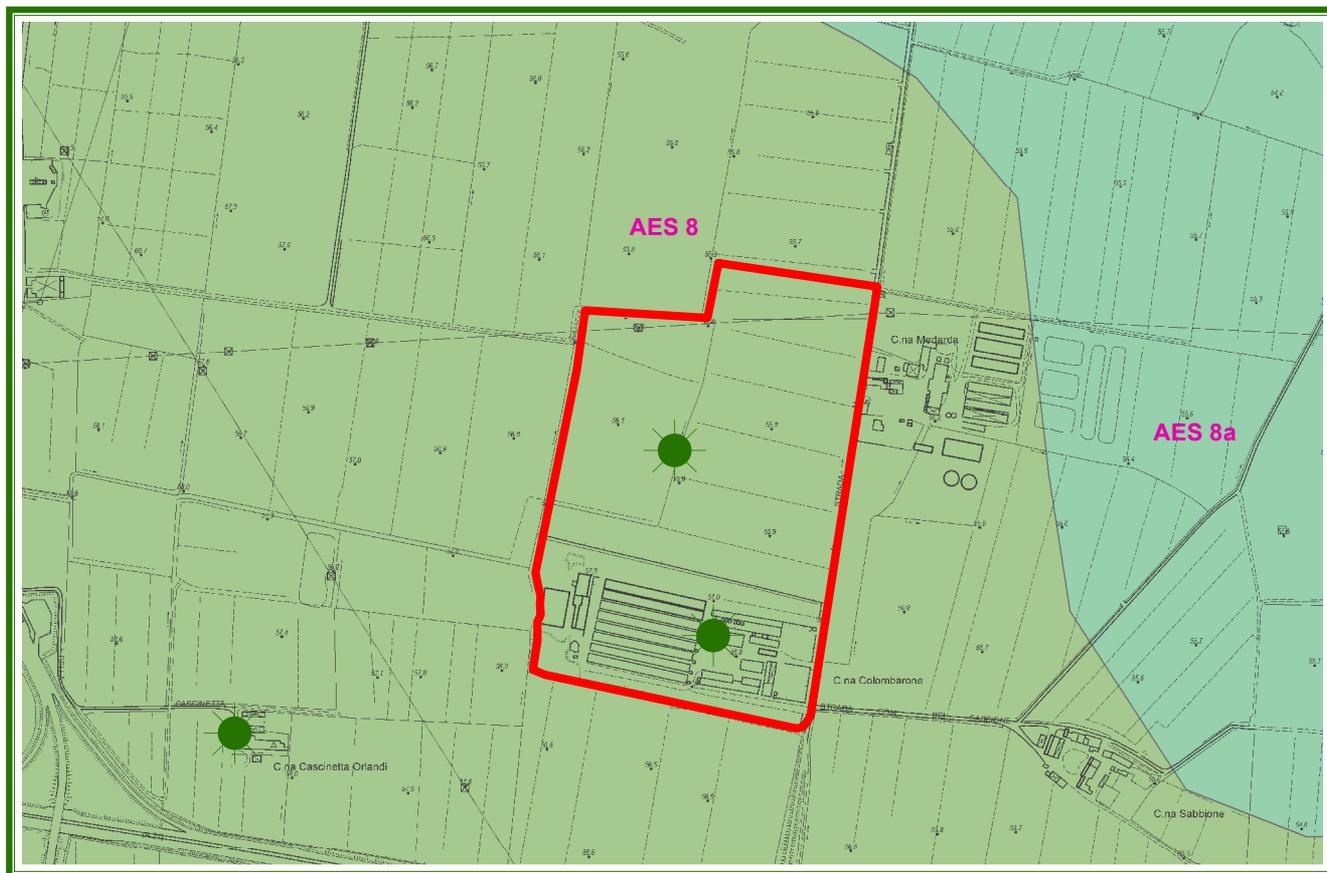
Le unità geologiche interessanti il territorio comunale sono riferibili al Dominio Padano-Adriatico, il quale è rappresentato dalla successione post-evaporitica del margine padano-adriatico che si presenta nel suo complesso come un ciclo sedimentario trasgressivo - regressivo, costituito alla base da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

L'area oggetto degli interventi si inserisce all'interno di un sistema di terrazzi morfologici, impostati entro depositi fluvioglaciali appartenenti alle varie fasi interglaciali. Nello specifico i futuri manufatti verranno realizzati su un terrazzo, impostato nelle "Alluvioni Recenti", che progredisce 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 **Subsistema 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.

CARTA GEOLOGICA DELLA REGIONE EMILIA - ROMAGNA



Legenda

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

AES8 – Subsistema 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 - Substema 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.

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

SEZIONE GEOLOGICA

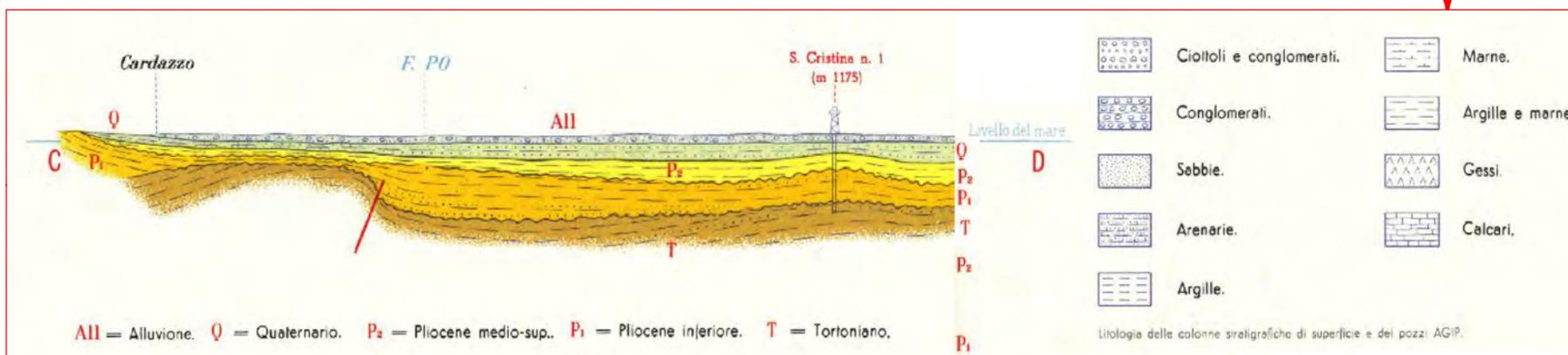
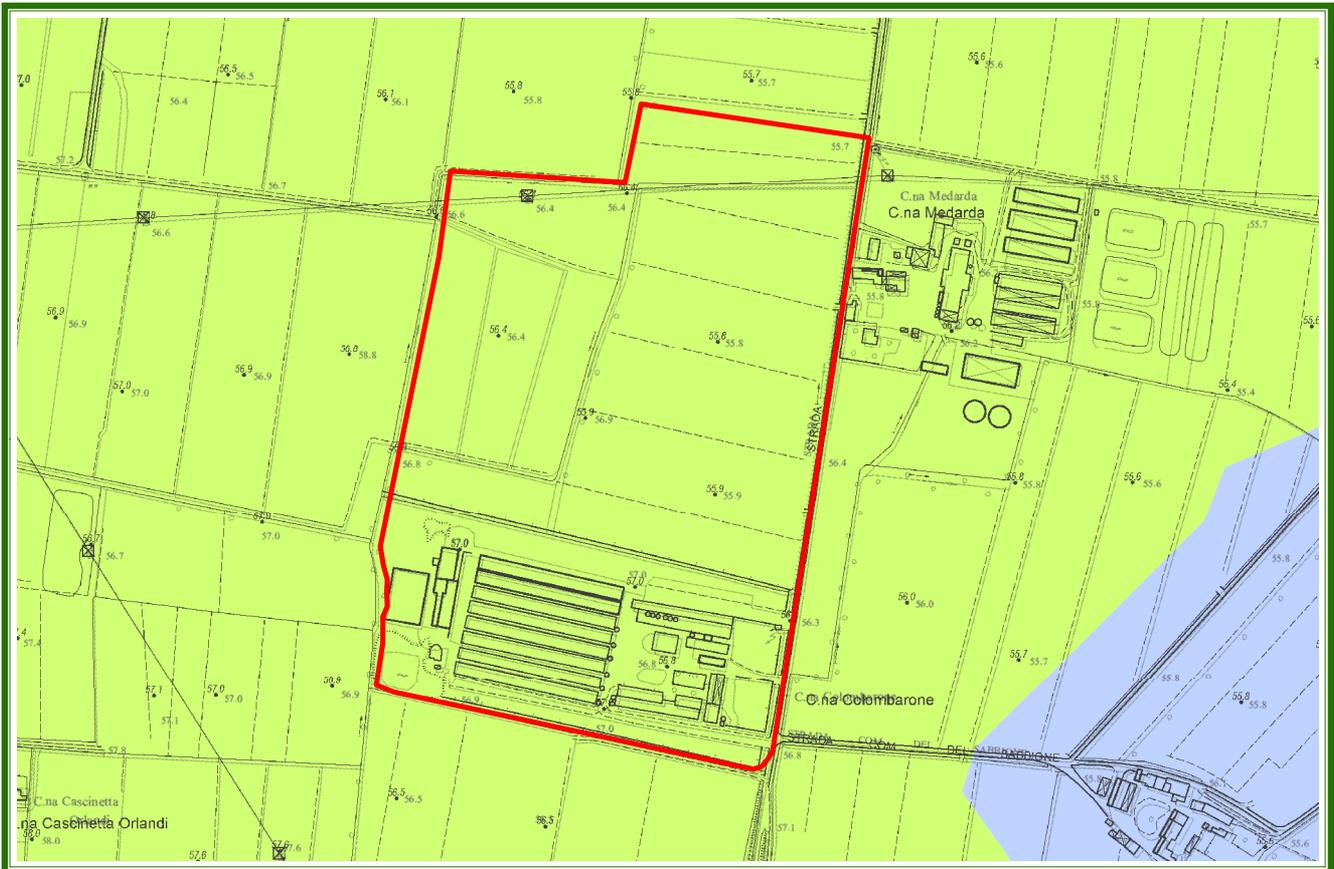


Fig. 7: Sezione Geologica dalla Carta Geologica d'Italia in scala 1:100000 – Foglio 59 Pavia

CARTA LITOLOGICA DEL PSC

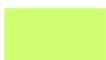


Legenda



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).

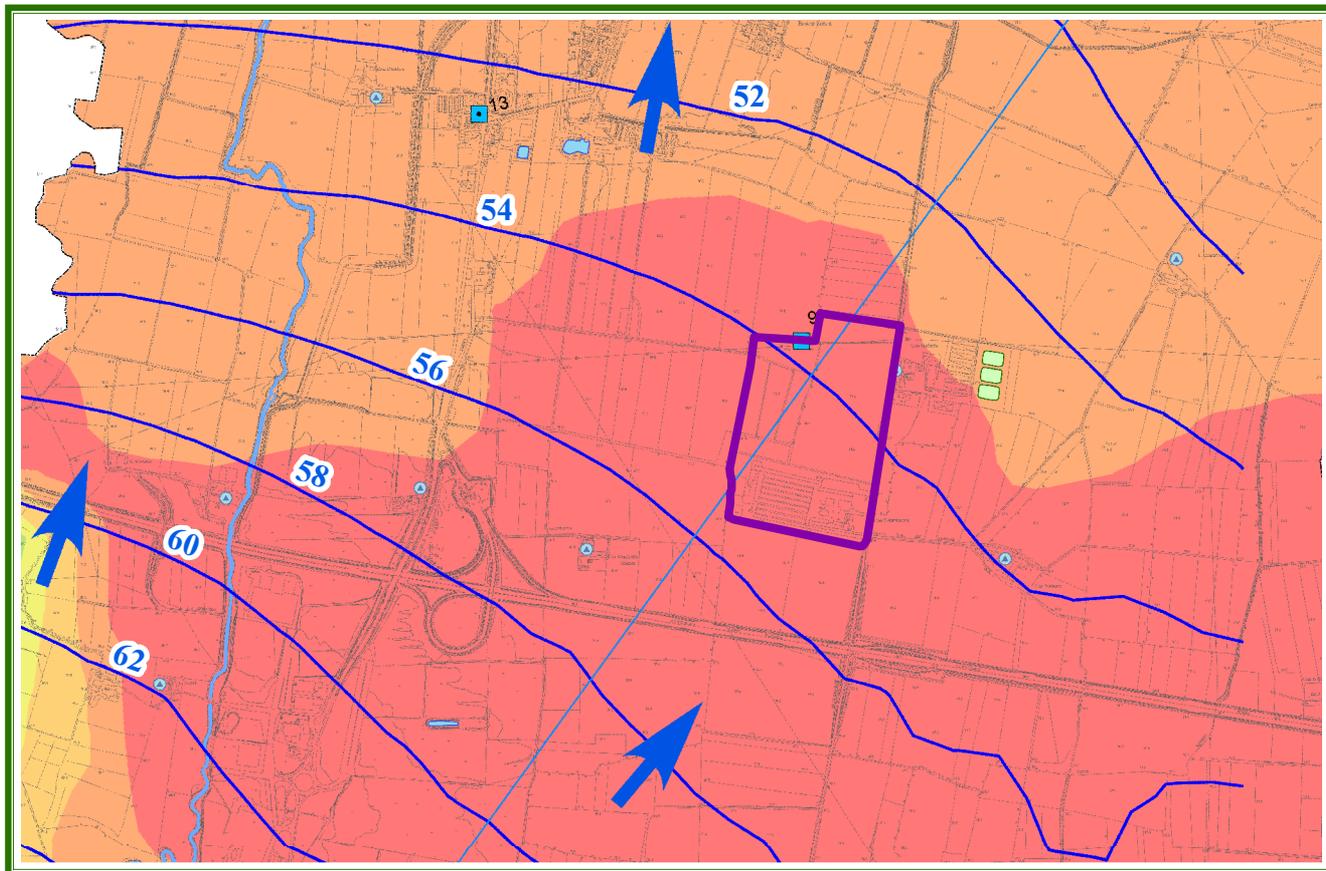
3.3 Idrografia ed Idrogeologia (cenni)

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 circa 1200 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 i canali di bonifica Sforza-Fellegara e Colombarone, ai confini rispettivamente occidentale ed 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 fluvio-glaciale 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

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

Intervalli di soggiacenza



- Direzione di deflusso principale della falda

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

SEZIONE IDROGEOLOGICA

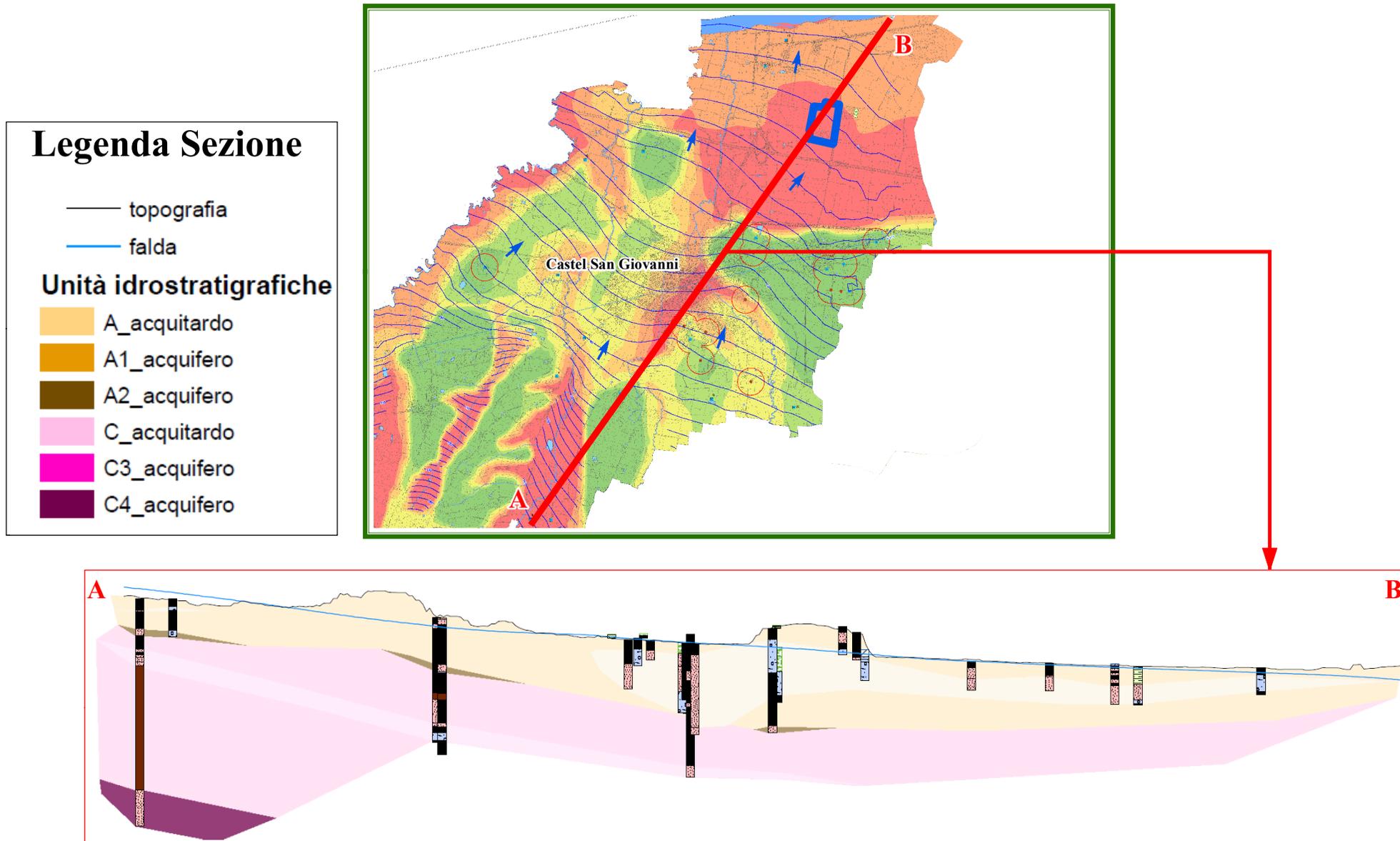


Fig. 10: Sezione Idrogeologica del PSC – Comune di Castel San Giovanni

e cartografate a scala regionale tre Unità Idro-stratigrafiche di rango superiore, denominate Gruppi di 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 depositi 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, depositi dai fiumi appenninici a partire da circa 3.5 milioni di anni fa.

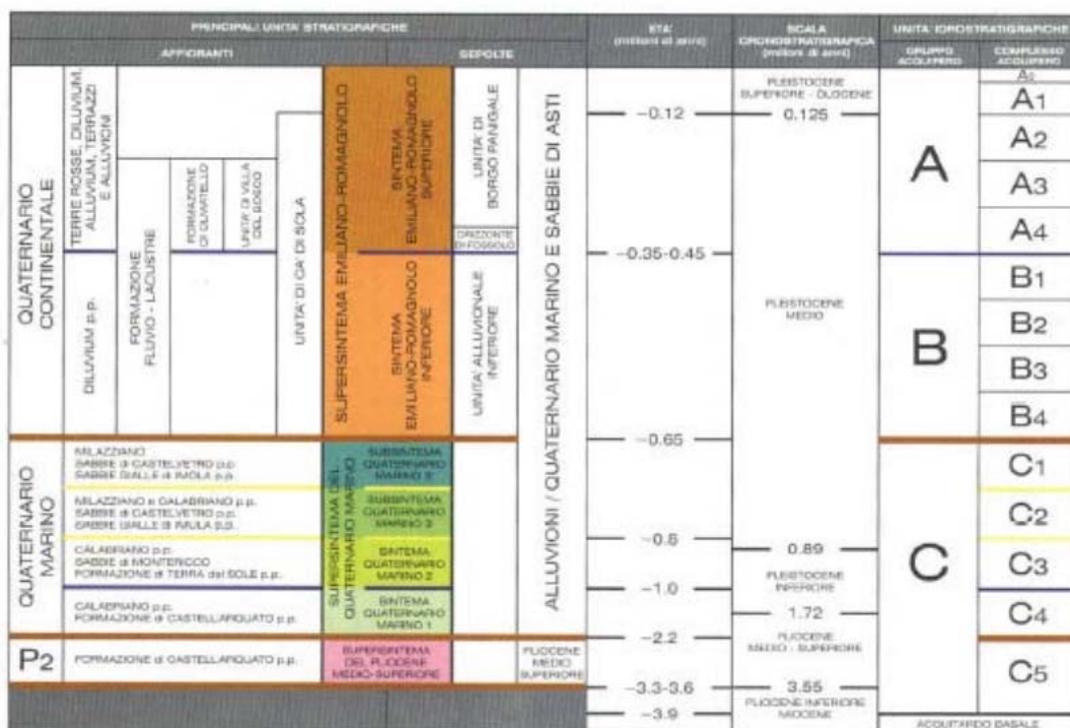


Fig. 11: Schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano-romagnola (da Riserve Idriche Sotterranee – Regione Emilia Romagna)

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 riassumere il seguente quadro idrogeologico:

- 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 pianure 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.

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 nell’ambito della campagna geognostica di sito, eseguita nei mesi di settembre-dicembre 2020, presentano un valore medio di soggiacenza pari a circa -2.0/2.5 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 essiccamento, può causare locali ed indesiderati cedimenti strutturali, specie nel caso di una errata scelta della quota del piano fondazionale.

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 viene classificata a pericolosità bassa (scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi) per quanto riguarda il reticolo principale di pianura (fig. 12) e a pericolosità media (alluvioni poco frequenti con tempo di ritorno tra 100 e 200 anni) relativamente al reticolo secondario di pianura (fig. 13).

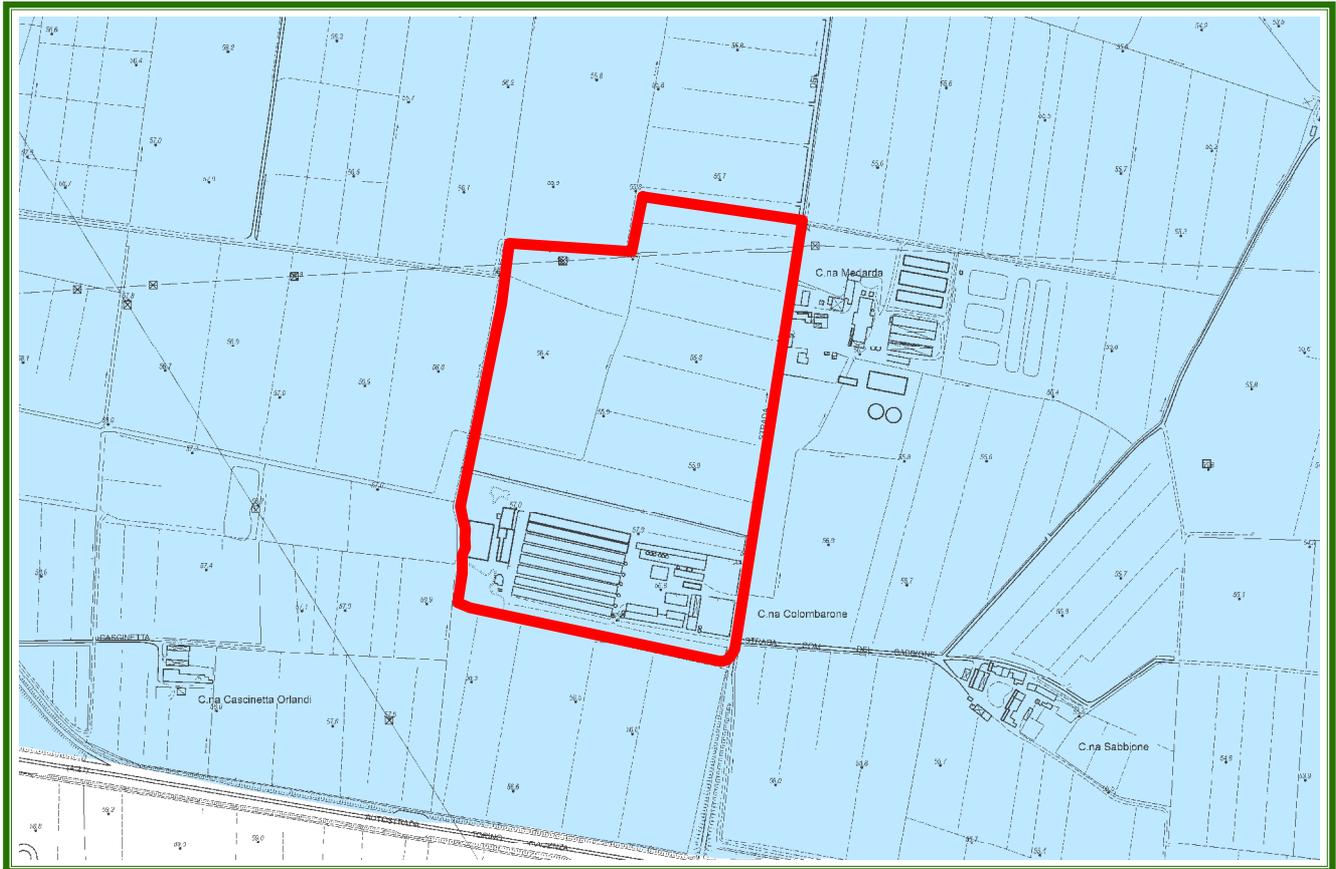
Per quanto concerne la gestione territoriale in termini di strumentazione urbanistica, l'area di interesse viene inserita nella cartografia della Fattibilità Geologica del PSC (fig. 14) tra le **aree con limitazioni relativamente consistenti – aree a limitato rischio di esondazione e soggiacenza della falda inferiore ai 2 m**. Si tratta di aree a limitato rischio di esondazione coincidenti alla zona designata alla fascia C dal PTCP, costituita dalla porzione di territorio esterna alla fascia B, che può essere interessata da inondazione al verificarsi di eventi di piena più gravosi di quelli di riferimento. Essa comprende anche la fascia di integrazione fluviale dei corsi d'acqua. Tali aree sono edificabili nei casi previsti dalla normativa PTCP, previa valutazione del rischio idraulico ed accertamenti geotecnici. È sconsigliata la realizzazione di scantinati e interrati a profondità superiore a 1 m.; in ogni caso è necessario 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 dell'area sono evidenziati ad Ovest “siepi e filari”, mentre ad est “elementi di viabilità storica e di centuriazione romana”.

La vulnerabilità idrogeologica nel PSC viene classificata “media” (fig. 16), in quanto l'area è ubicata su 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.

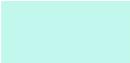
Secondo quanto si evince dalla Carta delle Aree Suscettibili di Effetti Sismici Locali del PSC (fig. 17), nell'area di interesse come effetto di sito viene segnalata l'amplificazione litologica e si richiede un approfondimento di II livello.

PERICOLOSITÀ DA ALLUVIONE DEL RETICOLO PRINCIPALE DI PIANURA



Legenda

Pericolosità da alluvione del reticolo principale di pianura

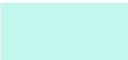
-  P3 - H (Alluvioni frequenti: tempo di ritorno tra 20 e 50 anni - elevata probabilità)
-  P2 - M (Alluvioni poco frequenti: tempo di ritorno tra 100 e 200 anni - media probabilità)
-  P1 - L (Scarsa probabilità di alluvioni o scenari di eventi estremi)

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)

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 interrato.



Aree di bassa pianura con soggiacenza falda < 2m

Aree di bassa pianura con soggiacenza < 2m caratterizzate da superfici sub-pianeggianti, coltri limose argillose di spessore plurimetrico, con soggiacenza della falda freatica < 2 m..

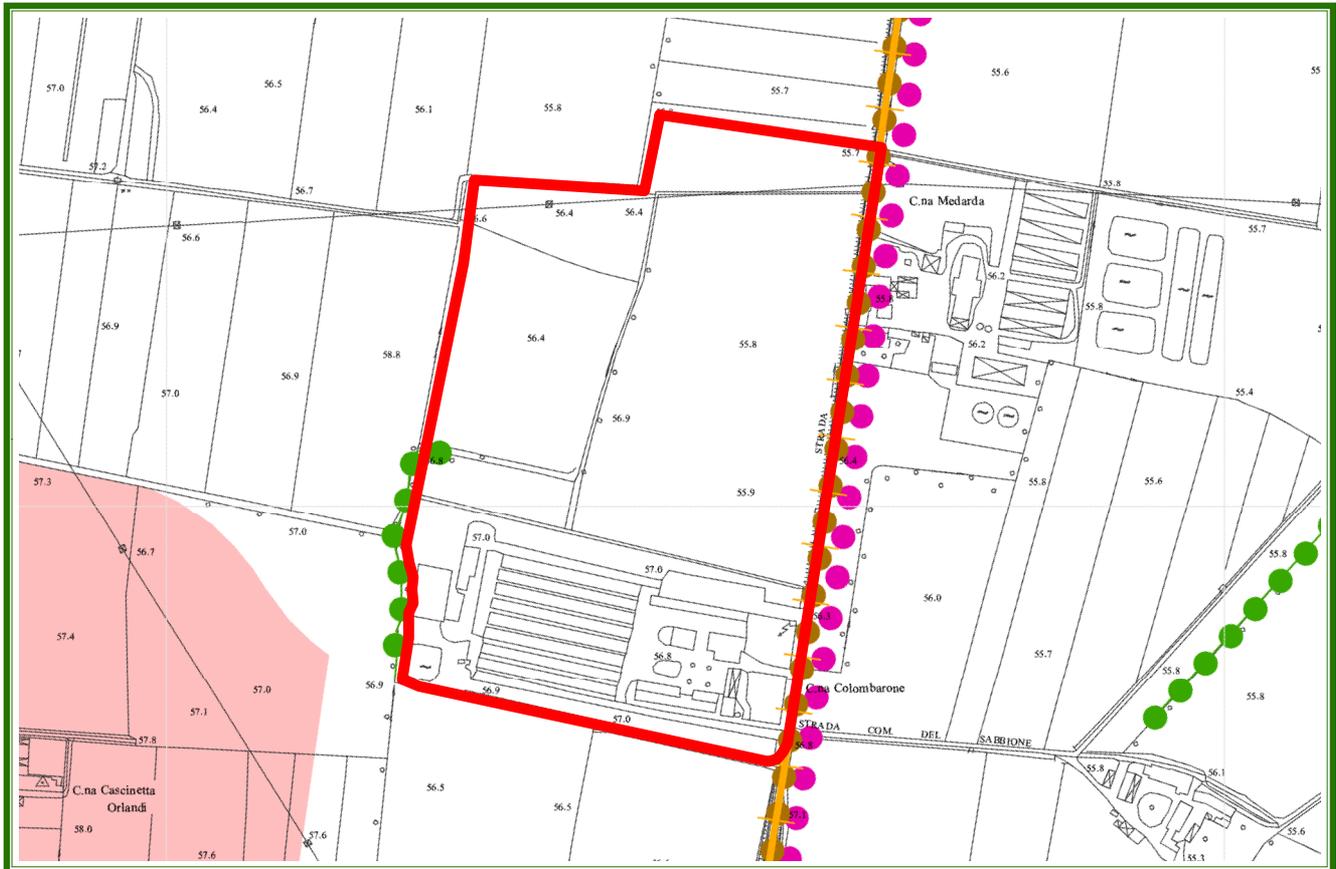
Edificabili con normali tecniche costruttive previa accertamenti geotecnici ed idrogeologici, volti a verificare l'intercettazione della falda e la determinazione dettagliata dei cedimenti del terreno. Probabile impiego di fondazioni indirette per il contenimento dei cedimenti. Sconsigliata la realizzazione di scantinati e interrati a profondità superiore a 1 m., in ogni caso necessario prevedere l'adozione di adeguate opere di impermeabilizzazione delle strutture interrato.



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

Lombi 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.

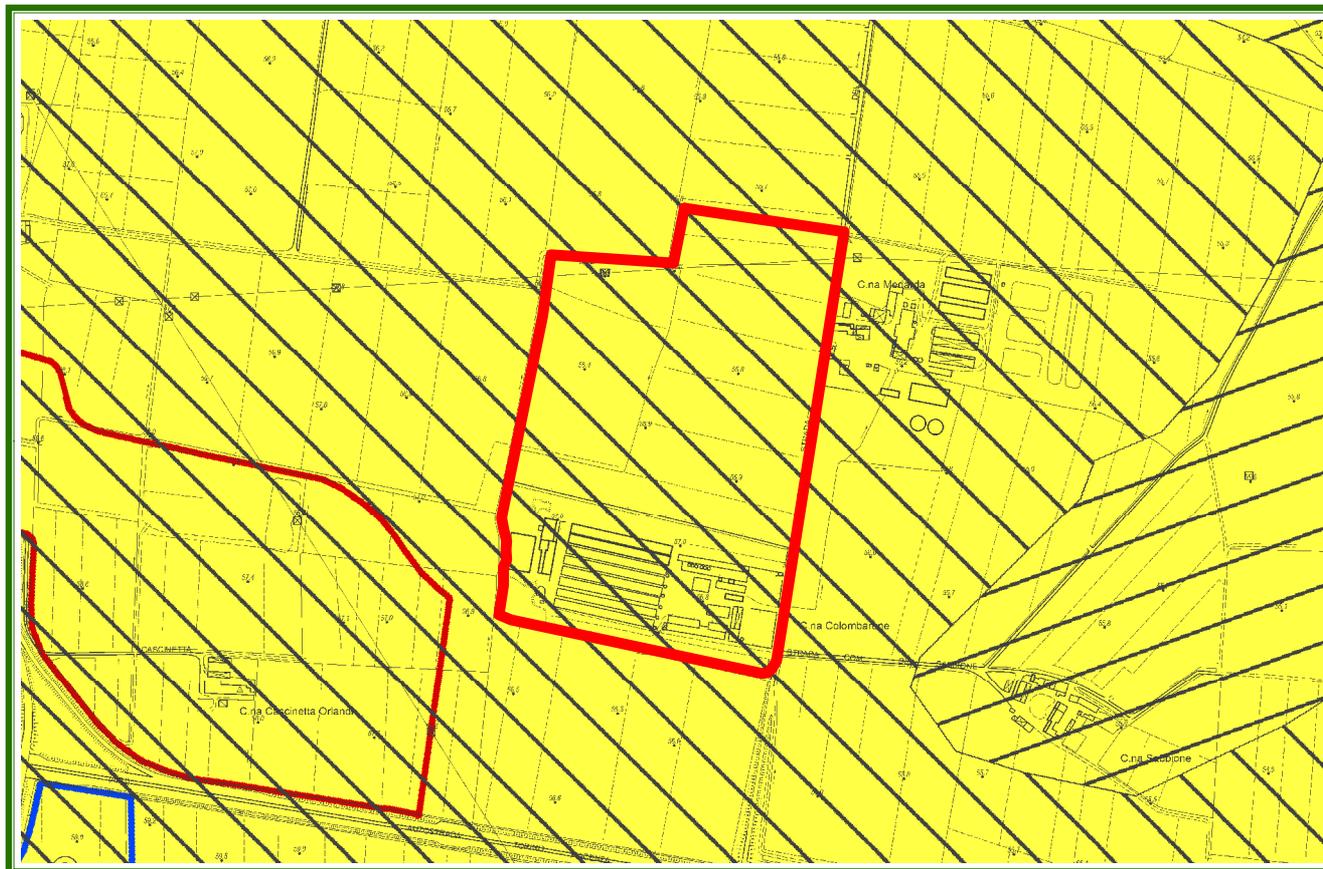


Elevata

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

Aree suscettibili di effetti sismici locali

- 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

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 settembre-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. 13 *prove penetrometriche dinamiche* eseguite con penetrometro Pagani TG 63-200 il quale, tramite un maglio di 63.5 Kg di peso che cade da 75 cm di altezza, infigge nel terreno una serie di aste lunghe un metro cadauna all'estremità delle quali vi è una punta standardizzata di 20.43 cm² 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**.
- Indagini geofisiche di superficie (trattazione specifica in **allegato 2**) consistite in n. 4 prove MASW/Re.Mi. per la caratterizzazione della categoria di suolo sismico ($V_{S_{eq}}$) e n. 4 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.

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 per le 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”.

**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.

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 0.4/1.6 metri circa, orizzonte costituito da terreno vegetale di natura argilloso-limosa. Le proprietà geomeccaniche risultano scadenti e sono caratterizzate da un’importante variabilità. La porzione più superficiale di sottosuolo (circa primo metro/metro e mezzo di profondità) è infatti 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 umattazione ed essiccamento comporta un decadimento delle proprietà fisiche e geomeccaniche del materiale. Generalmente oltre al metro - metro e mezzo di profondità tale aspetto può considerarsi trascurabile. Le caratteristiche geomeccaniche principali possono così riassumersi: peso unità di volume $\gamma = 1.65/1.70$ T/mc; coesione non drenata $C_u = 1.5/3.0$ T/mq; modulo edometrico $E_d = 16/37$ kg/cmq. $N_{spt} = 1.47-3.57$.

Unità 1. Profondità da 0.4/1.6 a 4.0/6.0 metri circa, nel settore sudorientale dell’area indagata, e 3.0/6.5 metri circa, nella restante parte dell’area: orizzonte costituito da materiale a comportamento geotecnico principalmente coesivo (argilla debolmente limosa). Le caratteristiche geomeccaniche complessive possono così riassumersi: peso unità di volume $\gamma = 1.60/1.65$ T/mc; coesione non drenata $C_u = 2.5/3.5$ T/mq; modulo edometrico $E_d = 23/35$ kg/cmq. $N_{spt} = 2.16 - 3.54$. In corrispondenza

delle prove P.8 e P.9 il terreno coesivo (argilla limosa) presenta caratteristiche geomeccaniche leggermente migliori: peso unità di volume $\gamma = 1.65/1.70$ T/mc; coesione non drenata $C_u = 4.0/4.5$ T/mq; modulo edometrico $E_d = 40/45$ kg/cmq. $N_{spt} = 4.45 - 4.82$.

Unità 2. Profondità da 3.0/6.5 metri circa a 10.0/13.0 metri: 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 limosa con possibili intercalazioni di sostanza organica nella parte settentrionale dell'area). Vengono di seguito riportati i principali parametri geomeccanici di tale unità, la quale non è stata intercettata nel settore sudorientale del sito: peso di volume $\gamma = 1.70/1.75$ T/mc; angolo di resistenza al taglio $\phi = 25^\circ/28^\circ$; Modulo di Young = 60/80 kg/cmq. $N_{spt} = 7.35 - 9.89$.

Unità 3. Profondità superiore a 4.0/6.0 metri circa, nel settore sudorientale (verticale penetrometrica spinta fino a 12 metri), e profondità superiore a 10.0/13.0 metri circa, per la restante parte del sito (verticale penetrometrica spinta fino a 14.4 metri): si registra un netto miglioramento delle caratteristiche geomeccaniche per la presenza di materiale attritivo granulare. Nella porzione sudorientale l'unità risulta essere costituita da sabbia debolmente limosa, con le seguenti caratteristiche geotecniche: peso unità di volume $\gamma = 1.75/1.80$ T/mc; angolo di resistenza al taglio $\phi = 26^\circ/29^\circ$; modulo di Young = 80/100 kg/cmq. $N_{spt} = 10.25 - 13.30$. Nella restante parte dell'area il terreno (sabbia debolmente ghiaiosa) presenta un grado di addensamento maggiore e le seguenti caratteristiche geomeccaniche: peso unità di volume $\gamma = 1.9/2.0$ T/mc; angolo di resistenza al taglio $\phi = 30^\circ/32^\circ$; modulo di Young ≥ 130 kg/cmq. $N_{spt} = 19.74 - 31.61$.

Dall'indagine geofisica MASW, in accordo con le prove penetrometriche, i litotipi poco addensati sembrano estendersi fino a circa 2.5-4.0 m di profondità, oltre alla quale si registra un incremento dei valori di velocità riconducibile alla presenza di materiale più addensato e ad un aumento della componente attritiva fino a circa 10.0 - 12.0 m di profondità (14.0 - 15.0 m nel profilo n. 3). Al di sotto un ulteriore aumento di velocità indica la presenza di litotipi prevalentemente sabbiosi discretamente addensati.

5) VERIFICA DEL CARICO LIMITE/Stato Limite Ultimo - Formula Brinch-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 1.5 m da 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.

5.1 Dati Generali

Coordinate Lat./Long.	45.078727/ 9.461937
Normativa	NTC 2018
Larghezza fondazione	4,0 m
Lunghezza fondazione	4,0 m
Profondità piano di posa	1,5 m
Altezza di incastro	1,5 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/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.28	2.52	0.20
S.L.D.	50.0	0.35	2.56	0.22
S.L.V.	475.0	0.90	2.47	0.28
S.L.C.	975.0	1.19	2.46	0.29

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.42	0.2	0.0086	0.0043
S.L.D.	0.525	0.2	0.0107	0.0054
S.L.V.	1.35	0.2	0.0275	0.0138
S.L.C.	1.785	0.24	0.0437	0.0218

5.3 Stratigrafia Terreno

Spessore strato [m]	Peso unità di volume [Kg/m ³]	Peso unità di volume saturo [Kg/m ³]	Angolo di attrito [°]	Coesione [Kg/cm ²]	Coesione non drenata [Kg/cm ²]	Modulo Elastico [Kg/cm ²]	Modulo Edometrico [Kg/cm ²]	Poisson
1,6	1670,0	1770,0	0,0	0,0	0,30	35,0	37,0	0,0
4,2	1590,0	1690,0	0,0	0,0	0,35	23,8	25,0	0,0
4,6	1750,0	1850,0	26,0	1,05	0,0	80,0	80,0	0,33

Carichi di progetto agenti sulla fondazione

Nr.	Nome combinazione	Pressione normale di progetto [Kg/cm ²]	N [Kg]	Mx [Kg·m]	My [Kg·m]	Hx [Kg]	Hy [Kg]	Tipo
1	A1+M1+R3	0,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
2	SISMA	0,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Progetto
3	S.L.E.	0,9	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	Servizio
4	S.L.D.	0,9	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

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	2,1 Kg/cm ²
Costante di sottofondo	0,84 Kg/cm ³

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 ad una equazione basata sulla teoria dell'elasticità (Timoshenko e Goodier -1951):

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

dove:

q_0 = 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 ;

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

Pressione normale di progetto	0,9 Kg/cm ²
Spessore strato	1,6 m
Profondità substrato roccioso	3,5 m
Modulo Elastico	35,0 Kg/cm ²
Coefficiente di Poisson	0,35

Coefficiente di influenza I1	0,1
Coefficiente di influenza I2	0,08
Coefficiente di influenza Is	0,14

Cedimento al centro della fondazione 14,43 mm

Coefficiente di influenza I1	0,03
Coefficiente di influenza I2	0,07
Coefficiente di influenza Is	0,06
<i>Cedimento al bordo</i>	3,2 mm

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 0,9 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/cm ²)	Dp (Kg/cm ²)	Metodo	Wc (cm)	Ws (cm)	Wt (cm)
1	1,55	0,259	0,649	Edometrico	0,1755	--	0,1755
2	3,7	0,466	0,424	Edometrico	7,1214	--	7,1214
3	8,1	0,806	0,099	Edometrico	0,5678	--	0,5678

Cedimento totale Wt = 7,86 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 0.9 Kg/cm², i valori ottenuti risultano pari ad un massimo totale di circa 93 mm, suddivisi in 78.0/79.0 mm circa nel medio e lungo periodo e circa 14.0/14.5 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 $\pm 20\%$ o $\pm 30\%$ 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.

6) LIQUEFAZIONE DEI TERRENI

Le norme per la verifica alla liquefazione dei terreni sono esplicitate nell'Euro Codice 8 "UNI-ENV 1998-5-1998" al p.to 4.1.3 "terreni potenzialmente liquefacibili". Per liquefazione si intende il fenomeno in base al quale un terreno incoerente, avente particolari caratteristiche, durante una sollecitazione sismica tende a comportarsi come un fluido, vale a dire perde la resistenza al taglio e può colare anche su pendenze molto modeste. Questo fenomeno interessa solitamente terreni granulari saturi (sabbia) quando sottoposti a sollecitazioni dinamiche e cicliche non drenate, come appunto accade durante un sisma di magnitudo superiore ai 5.5° con $PGA > 0.15 g$ e durata almeno 15 – 20 secondi. Durante il sisma i terreni sciolti tendono ad una diminuzione del loro volume che, essendo impedita (condizioni non drenate), genera un incremento della pressione interstiziale. Ne consegue una degradazione della rigidezza con deformazioni sempre più evidenti e consistenti. I siti più soggetti a questo rischio sono generalmente quelli ubicati in prossimità di mari, fiumi, laghi, depositi fluviali, pianure. Il fenomeno dipende quindi dal tipo di sedimenti, dal loro grado di compattazione, dalle pressioni iniziali agenti e soprattutto dal livello della falda acquifera (condizioni di saturazione). In Italia, malgrado l'elevata pericolosità sismica, il fenomeno è molto limitato; ciò può essere dovuto al fatto che le aree più sismiche sono prevalentemente montuose, mentre i terreni potenzialmente liquefacibili sono situati nella Pianura Padana o lungo le coste.

6.1 Verifica Preliminare di Liquefazione

Rielaborando i risultati ottenuti dalle prove sismiche Masw effettuate, è stato possibile eseguire una preliminare verifica alla liquefazione. Nello specifico è stato impiegato il metodo semplificato "NCEER (1998)" che utilizza come dati in ingresso la velocità delle onde sismiche S, per determinare il fattore di sicurezza FS nei confronti della liquefazione.

Data la presenza di falda superficiale (profondità media di circa -2.5 m circa dal p.c.) e la tipologia dei materiali che costituiscono il primo sottosuolo, non si possono escludere a priori fenomeni di liquefazione. Tuttavia, dalle verifiche effettuate, il fattore di sicurezza risulta essere sempre nettamente superiore a 1.25, valore decretato come soglia di sicurezza dall'Eurocodice 8 (ENV 1998-5). Solo localmente (intorno ai 3 ed ai 12 metri), assume valori prossimi a 1.25.

Nel complesso quindi si può affermare che il rischio di liquefazione per l'area considerata è estremamente basso. I risultati sono sintetizzati nella tabella seguente, mentre per una trattazione approfondita della verifica si rimanda all'**allegato 3** del presente documento.

:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Depth (m)	Unit Weight (pcf)	$\sigma_{v,eq}$ (kPa)	$u_{o,eq}$ (kPa)	$\sigma'_{v,eq}$ (kPa)	r_d	α	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{σ}	CSR^*	FS	
1.00	16.50	16.50	0.00	16.50	0.99	1.00	0.090	1.70	0.053	1.00	0.053	2.000	●
3.00	16.50	49.50	7.85	41.65	0.98	1.00	0.106	1.70	0.062	1.00	0.062	1.360	●
4.00	17.50	67.00	17.66	49.34	0.97	1.00	0.120	1.70	0.071	1.00	0.071	2.000	●
6.00	17.50	102.00	37.28	64.72	0.96	1.00	0.137	1.70	0.081	1.00	0.081	2.000	●
8.00	17.50	137.00	56.90	80.10	0.94	1.00	0.146	1.70	0.086	1.00	0.086	2.000	●
10.00	17.50	172.00	76.52	95.48	0.90	1.00	0.148	1.70	0.087	1.00	0.087	1.625	●
12.00	17.50	207.00	96.14	110.86	0.86	1.00	0.146	1.70	0.086	0.98	0.087	1.401	●
13.00	17.50	224.50	105.95	118.55	0.83	1.00	0.142	1.70	0.084	0.97	0.087	2.000	●
14.00	18.50	243.00	115.76	127.24	0.79	1.00	0.138	1.70	0.081	0.95	0.085	2.000	●
15.00	18.50	261.50	125.57	135.93	0.76	1.00	0.133	1.70	0.079	0.94	0.083	2.000	●
17.00	18.50	298.50	145.19	153.31	0.70	1.00	0.123	1.70	0.073	0.92	0.079	2.000	●
20.00	18.50	354.00	174.62	179.38	0.62	1.00	0.111	1.70	0.065	0.89	0.073	2.000	●

Qualora il progettista incaricato lo ritenga opportuno, si potrà comunque integrare il livello informativo in materia.

7) CONCLUSIONI

Considerate le dimensioni e la tipologia dei manufatti da realizzare e valutate le risultanze delle indagini espletate si evince come gli stessi possano essere considerati, nel complesso, come **geologicamente compatibili**.

Da quanto esposto nel presente documento si evince quindi che la compatibilità degli interventi in progetto rispetto al contesto geologico in cui si inseriscono, non dipende dalla tipologia dei manufatti in sé, ma piuttosto risulta subordinata ad alcune prescrizioni costruttive di seguito esposte:

- Visto il contesto geologico caratterizzante l'area in oggetto, si segnala come la tipologia fondazionale più idonea a conferire le migliori garanzie di stabilità per i futuri manufatti sia costituita da una fondazione superficiale con plinti opportunamente dimensionati da posizionarsi alla quota minima indicata nell'ipotesi fondazionale. Si rimanda comunque al progettista la valutazione ed il dimensionamento della tipologia fondazionale più idonea in funzione dei reali carichi di esercizio ed in modo da trasmettere al sistema terreno-fondazione pressioni compatibili;
- Da preventivare in via cautelativa è il possibile comportamento eterogeneo del sistema terreno/fondazione rapportato all'intero lotto in esame, quale causa di problematiche geotecniche tra cui cedimenti differenziali;
- Nel caso in cui siano previste attività di scavo con realizzazione di scarpate e rilevati, questi dovranno essere progettati secondo la vigente normativa e dovranno essere adottati di necessari accorgimenti tecnici al fine di assicurarne la stabilità;
- Alla luce delle considerazioni di cui sopra, nonché dei significativi cedimenti attesi (vedi ipotesi fondazionale) si consiglia l'impiego di opere speciali di fondazione al fine di minimizzare le problematiche geotecniche ed assicurare le necessarie garanzie di stabilità al manufatto in progetto:
 - Impiego di fondazioni profonde (pali battuti, trivellati o vibro-infissi o colonne jet-grouting) in grado di conferire al manufatto in progetto le migliori condizioni di stabilità;
 - Esecuzione di adeguati trattamenti (per esempio a calce o cemento) per il consolidamento del materiale su cui verrà realizzata la pavimentazione del deposito. Da prevedersi anche verifiche pre e post trattamento (prove su piastra/CPT). Come alternativa si propongono interventi migliorativi tipo Deep Soil Mixing;

- 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 dei futuri manufatti, compromettendo nel tempo la stabilità degli stessi.

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

Allegato 1

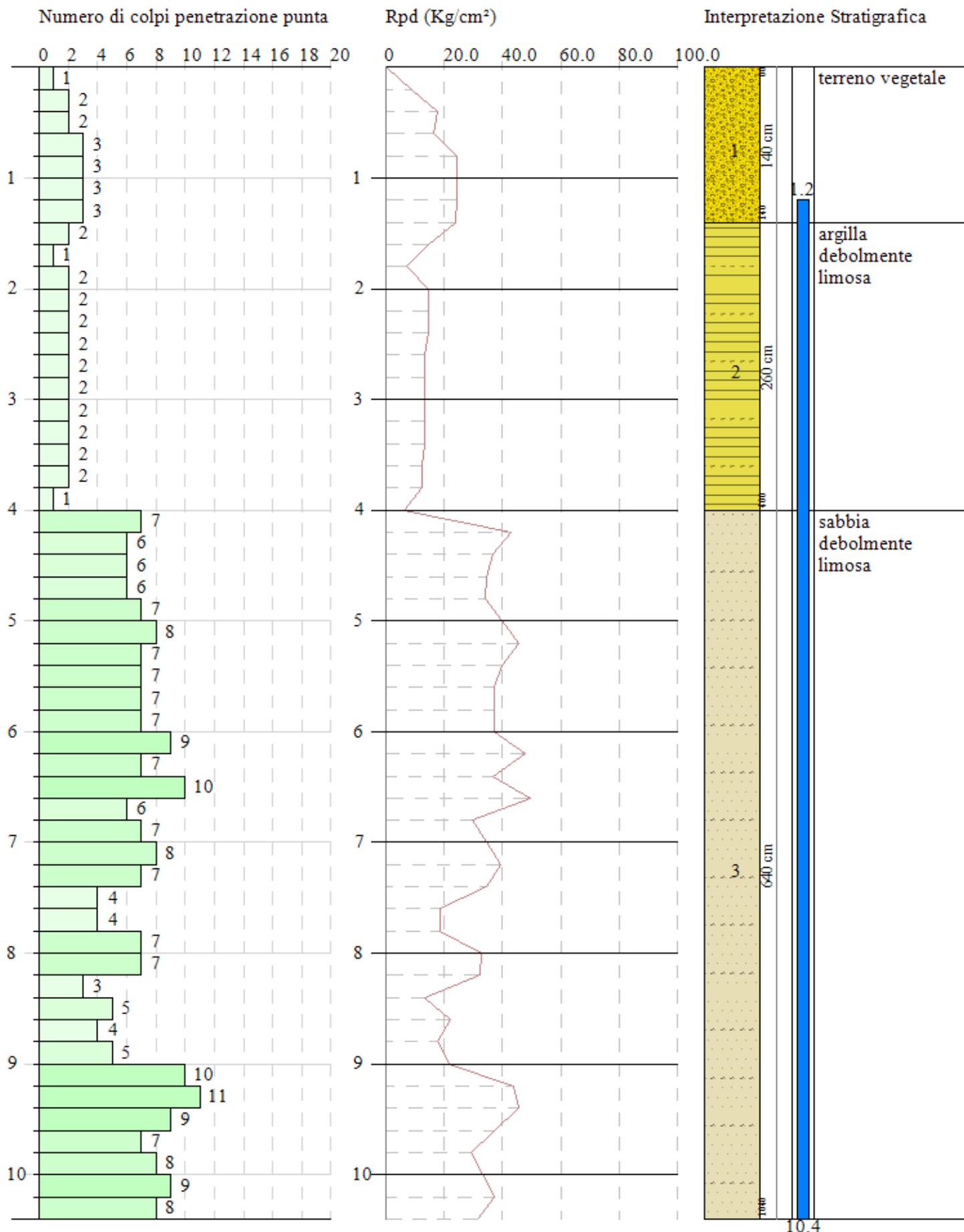
Prove Penetrometriche

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

Committente: 2K Engineering S.p.A
Descrizione: Realizzazione di n. 2 nuovi depositi (edificio "A" ed edificio "B")
Località: Castel San Giovanni (PC)

04-09-2020

Scala 1:49



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/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	3.57	0.00-1.40	Schmertmann 1975	0.35
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.72	1.40-4.00	Schmertmann 1975	0.26
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	Schmertmann 1975	1.01

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	3.57	0.00-1.40	Robertson (1983)	7.14
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.72	1.40-4.00	Robertson (1983)	5.44
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	Robertson (1983)	20.50

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	3.57	0.00-1.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	38.20
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.72	1.40-4.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	29.53
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	106.34

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	3.57	0.00-1.40	Apollonia	35.70
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.72	1.40-4.00	Apollonia	27.20
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	Apollonia	102.50

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	3.57	0.00-1.40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.72	1.40-4.00	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	3.57	0.00-1.40	Meyerhof	1.67
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.72	1.40-4.00	Meyerhof	1.61
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	Meyerhof	1.97

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	3.57	0.00-1.40	Meyerhof	1.87
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.72	1.40-4.00	Meyerhof	1.86
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	Meyerhof	2.17

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	10.25	Skempton 1986	33.54

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	10.25	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	27.4

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	10.25	Schmertmann (1978) (Sabbie)	82.00

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	10.25	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	83.71

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	10.25	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	10.25	Meyerhof et al.	1.74

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	10.25	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.92

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	10.25	(A.G.I.)	0.33

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	10.25	Ohsaki (Sabbie pulite)	579.42

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	10.25	Seed e Idriss (1971)	0.949

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	10.25	Navfac 1971-1982	2.16

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

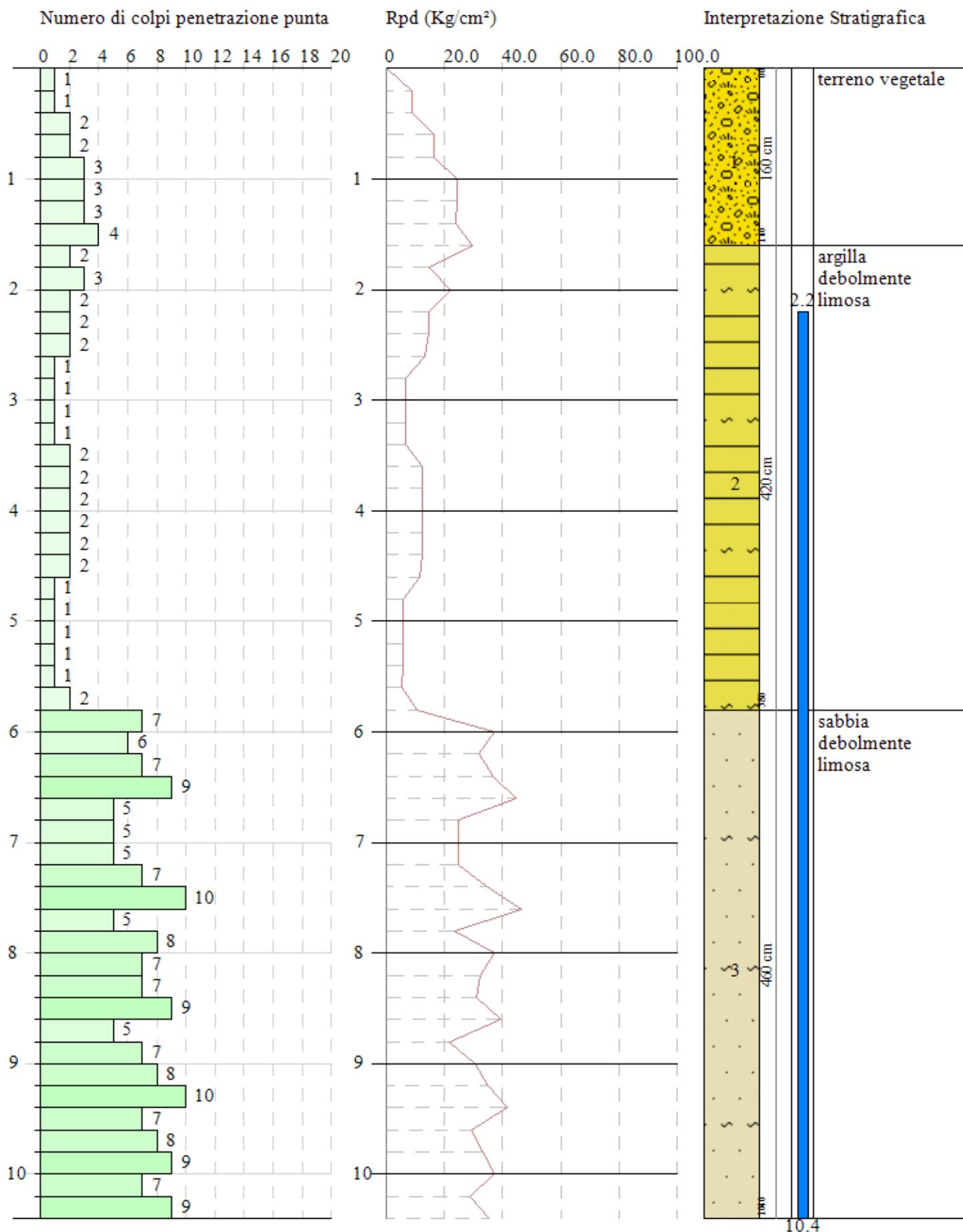
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.25	4.00-10.40	10.25	Robertson 1983	20.50

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

Committente: 2K Engineering S.p.A
Descrizione: Realizzazione di n. 2 nuovi depositi (edificio "A" ed edificio "B")
Località: Castel San Giovanni (PC)

04-09-2020

Scala 1:49



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/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	3.50	0.00-1.60	Schmertmann 1975	0.34
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.38	1.60-5.80	Schmertmann 1975	0.23
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	Schmertmann 1975	1.05

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	3.50	0.00-1.60	Robertson (1983)	7.00
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.38	1.60-5.80	Robertson (1983)	4.76
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	Robertson (1983)	21.34

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	3.50	0.00-1.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	37.49
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.38	1.60-5.80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	26.07
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	110.62

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	3.50	0.00-1.60	Apollonia	35.00
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.38	1.60-5.80	Apollonia	23.80
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	Apollonia	106.70

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	3.50	0.00-1.60	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.38	1.60-5.80	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	3.50	0.00-1.60	Meyerhof	1.67
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.38	1.60-5.80	Meyerhof	1.59
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	Meyerhof	1.99

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	3.50	0.00-1.60	Meyerhof	1.87
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.38	1.60-5.80	Meyerhof	1.86
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	Meyerhof	2.19

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	10.67	Skempton 1986	34.45

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	10.67	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	27.65

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	10.67	Schmertmann (1978) (Sabbie)	85.36

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	10.67	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	85.59

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	10.67	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	10.67	Meyerhof et al.	1.75

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	10.67	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.92

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	10.67	(A.G.I.)	0.33

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	10.67	Ohsaki (Sabbie pulite)	601.71

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	10.67	Seed e Idriss (1971)	0.937

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	10.67	Navfac 1971-1982	2.24

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

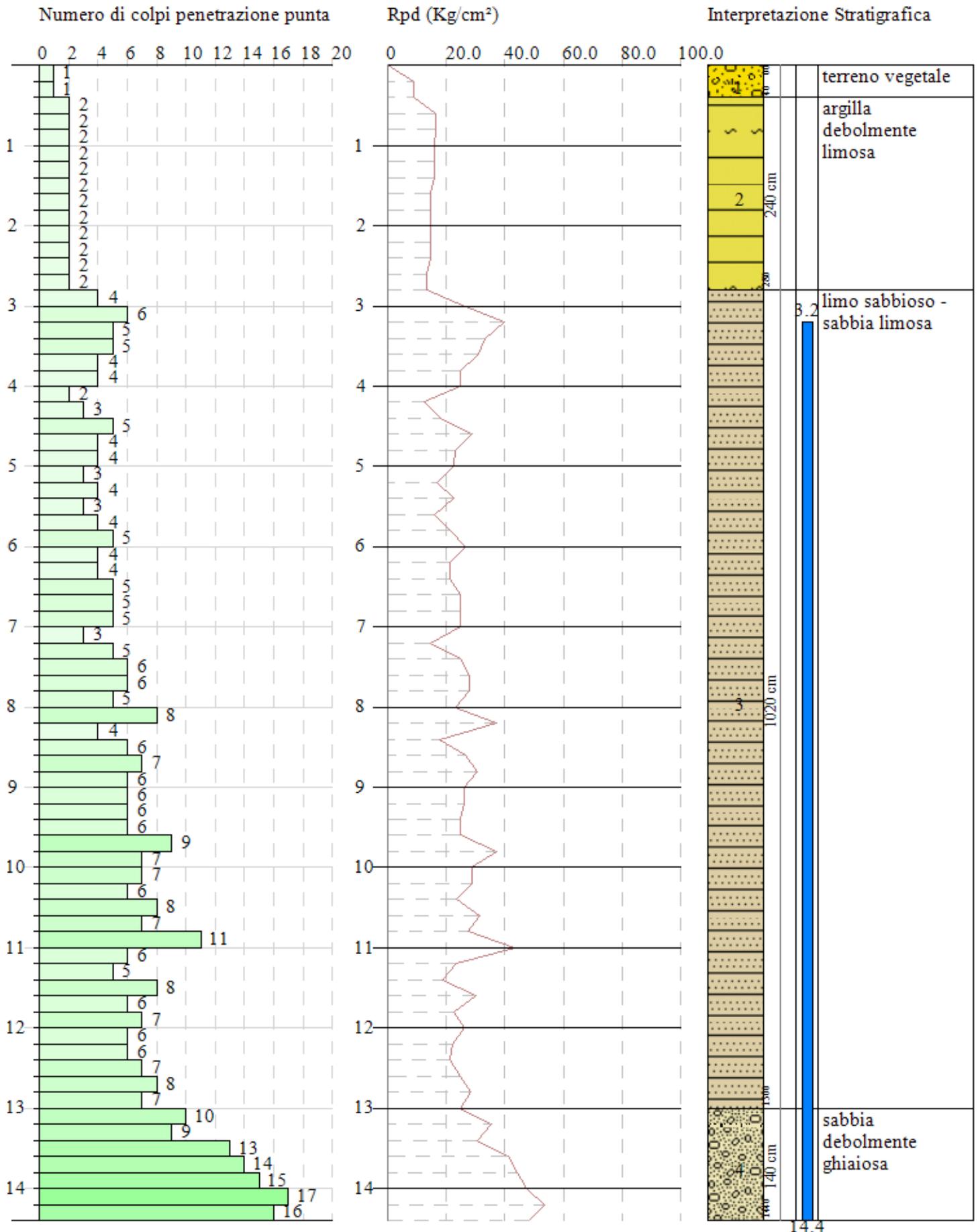
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.67	5.80-10.40	10.67	Robertson 1983	21.34

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

Committente: 2K Engineering S.p.A
Descrizione: Realizzazione di n. 2 nuovi depositi (edificio "A" ed edificio "B")
Località: Castel San Giovanni (PC)

04-09-2020

Scala 1:68



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/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Schmertmann 1975	0.14
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.94	0.40-2.80	Schmertmann 1975	0.28
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	Schmertmann 1975	0.80

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Robertson (1983)	2.94
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.94	0.40-2.80	Robertson (1983)	5.88
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	Robertson (1983)	16.32

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	16.79
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.94	0.40-2.80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	31.78
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	85.02

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Apollonia	14.70
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.94	0.40-2.80	Apollonia	29.40
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	Apollonia	81.60

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 debolmente limosa	2.94	0.40-2.80	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Meyerhof	1.52
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.94	0.40-2.80	Meyerhof	1.63
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	Meyerhof	1.91

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Meyerhof	1.85
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.94	0.40-2.80	Meyerhof	1.86
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	Meyerhof	2.10

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	8.16	Skempton 1986	28.78
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.74	13.00-14.40	17.37	Skempton 1986	47.12

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	8.16	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	26.06
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.74	13.00-14.40	17.37	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	31.14

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	8.16	Schmertmann (1978) (Sabbie)	65.28
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.74	13.00-14.40	17.37	Schmertmann (1978) (Sabbie)	138.96

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	8.16	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	74.39
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.74	13.00-14.40	17.37	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	115.47

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	8.16	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.74	13.00-14.40	17.37	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	8.16	Meyerhof et al.	1.66
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.74	13.00-14.40	17.37	Meyerhof et al.	1.94

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	8.16	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.91
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.74	13.00-14.40	17.37	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.96

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	8.16	(A.G.I.)	0.34
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.74	13.00-14.40	17.37	(A.G.I.)	0.32

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	8.16	Ohsaki (Sabbie pulite)	467.63
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.74	13.00-14.40	17.37	Ohsaki (Sabbie pulite)	951.32

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	8.16	Seed e Idriss (1971)	0.943
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.74	13.00-14.40	17.37	Seed e Idriss (1971)	1.204

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	8.16	Navfac 1971-1982	1.70
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.74	13.00-14.40	17.37	Navfac 1971-1982	3.58

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

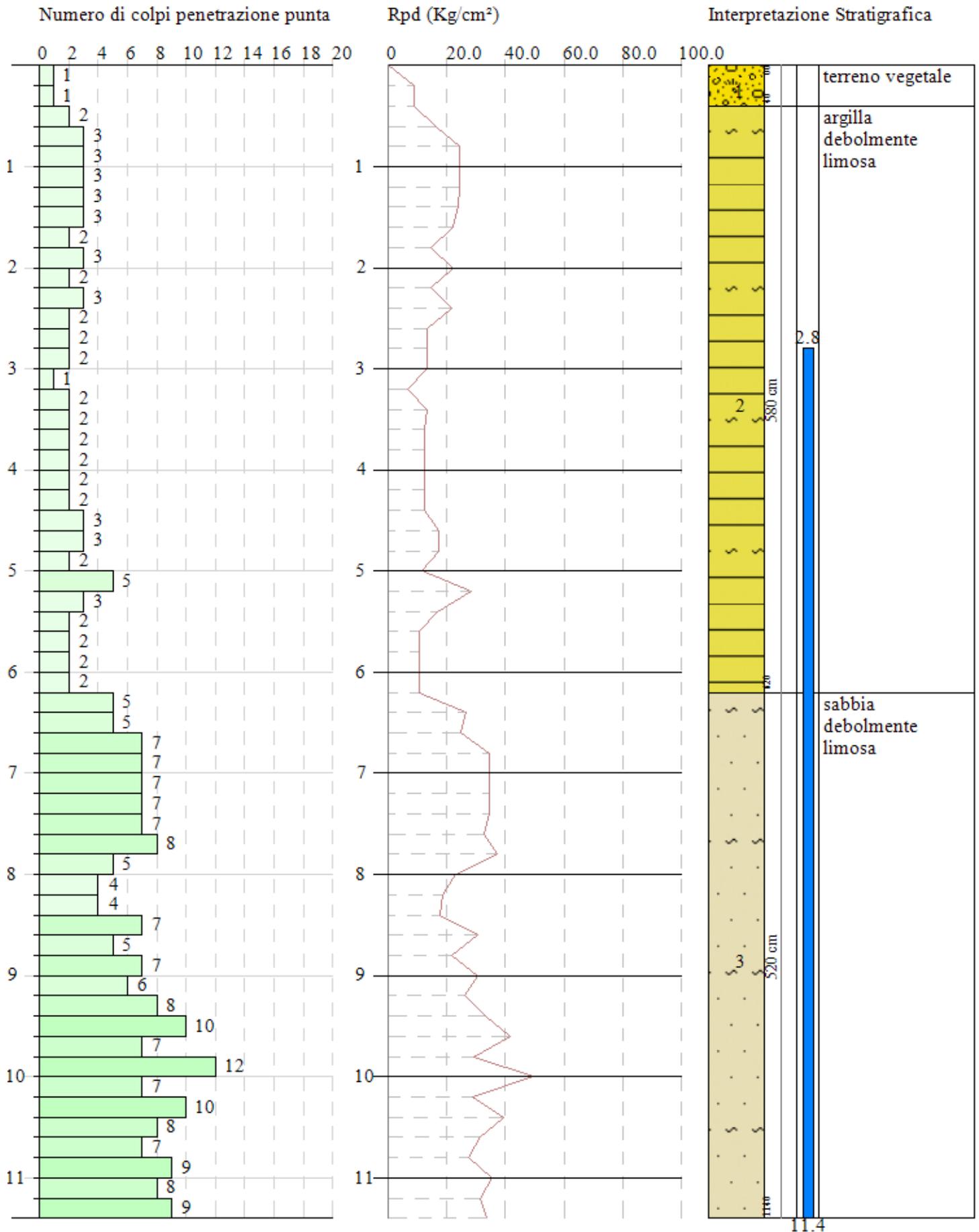
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.16	2.80-13.00	8.16	Robertson 1983	16.32
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.74	13.00-14.40	17.37	Robertson 1983	34.74

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

Committente: 2K Engineering S.p.A
Descrizione: Realizzazione di n. 2 nuovi depositi (edificio "A" ed edificio "B")
Località: Castel San Giovanni (PC)

04-09-2020

Scala 1:54



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/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Schmertmann 1975	0.14
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.54	0.40-6.20	Schmertmann 1975	0.34
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	Schmertmann 1975	1.03

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Robertson (1983)	2.94
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.54	0.40-6.20	Robertson (1983)	7.08
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	Robertson (1983)	21.02

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	16.79
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.54	0.40-6.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	37.90
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	108.99

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Apollonia	14.70
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.54	0.40-6.20	Apollonia	35.40
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	Apollonia	105.10

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 debolmente limosa	3.54	0.40-6.20	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Meyerhof	1.52
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.54	0.40-6.20	Meyerhof	1.67
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	Meyerhof	1.98

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Meyerhof	1.85
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.54	0.40-6.20	Meyerhof	1.87
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	Meyerhof	2.18

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	10.51	Skempton 1986	34.11

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	10.51	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	27.56

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	10.51	Schmertmann (1978) (Sabbie)	84.08

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	10.51	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	84.87

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	10.51	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	10.51	Meyerhof et al.	1.75

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	10.51	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.92

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	10.51	(A.G.I.)	0.33

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	10.51	Ohsaki (Sabbie pulite)	593.23

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	10.51	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	10.51	Navfac 1971-1982	2.21

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

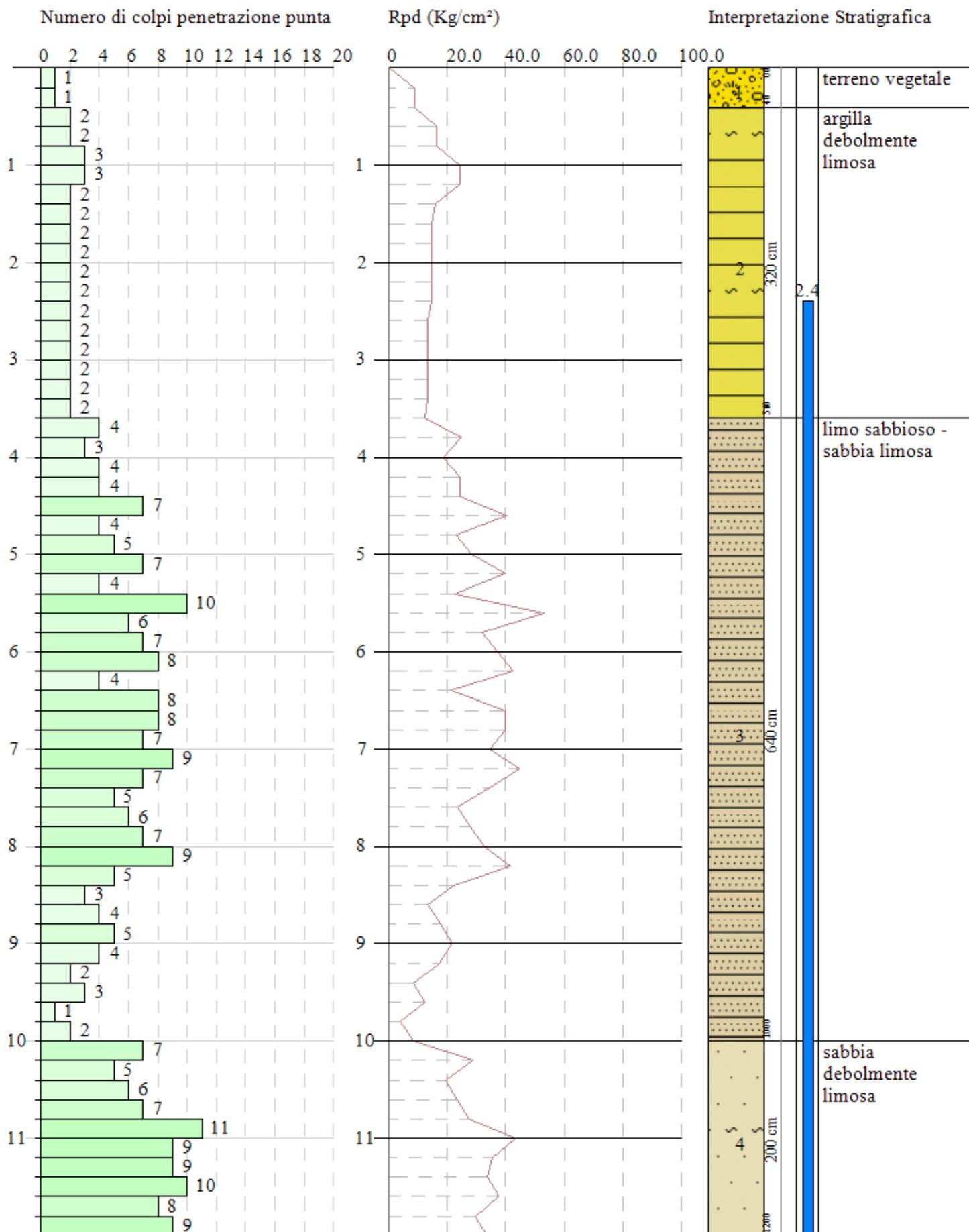
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	10.51	6.20-11.40	10.51	Robertson 1983	21.02

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

Committente: 2K Engineering S.p.A
Descrizione: Realizzazione di n. 2 nuovi depositi (edificio "A" ed edificio "B")
Località: Castel San Giovanni (PC)

04-09-2020

Scala 1:56



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/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Schmertmann 1975	0.14
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.12	0.40-3.60	Schmertmann 1975	0.30
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	Schmertmann 1975	0.77

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Robertson (1983)	2.94
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.12	0.40-3.60	Robertson (1983)	6.24
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	Robertson (1983)	15.82

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	16.79
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.12	0.40-3.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	33.61
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	82.47

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Apollonia	14.70
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.12	0.40-3.60	Apollonia	31.20
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	Apollonia	79.10

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 debolmente limosa	3.12	0.40-3.60	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	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	1.47	0.00-0.40	Meyerhof	1.52
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.12	0.40-3.60	Meyerhof	1.64
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	Meyerhof	1.90

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.40	Meyerhof	1.85
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.12	0.40-3.60	Meyerhof	1.86
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	Meyerhof	1.90

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	7.91	Skempton 1986	28.19
Strato (4) sabbia debolmente limosa	11.91	10.00-12.00	11.91	Skempton 1986	37.05

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	7.91	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	25.89
Strato (4) sabbia debolmente limosa	11.91	10.00-12.00	11.91	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	28.37

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	7.91	Schmertmann (1978) (Sabbie)	63.28
Strato (4) sabbia debolmente limosa	11.91	10.00-12.00	11.91	Schmertmann (1978) (Sabbie)	95.28

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	7.91	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	73.28
Strato (4) sabbia debolmente limosa	11.91	10.00-12.00	11.91	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	91.12

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	7.91	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4) sabbia debolmente limosa	11.91	10.00-12.00	11.91	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	7.91	Meyerhof et al.	1.66
Strato (4) sabbia debolmente limosa	11.91	10.00-12.00	11.91	Meyerhof et al.	1.79

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	7.91	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.90
Strato (4) sabbia debolmente limosa	11.91	10.00-12.00	11.91	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.93

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	7.91	(A.G.I.)	0.34
Strato (4) sabbia debolmente limosa	11.91	10.00-12.00	11.91	(A.G.I.)	0.33

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	7.91	Ohsaki (Sabbie pulite)	454.15
Strato (4) sabbia debolmente limosa	11.91	10.00-12.00	11.91	Ohsaki (Sabbie pulite)	667.22

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	7.91	Seed e Idriss (1971)	0.919
Strato (4) sabbia debolmente limosa	11.91	10.00-12.00	11.91	Seed e Idriss (1971)	0.979

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	7.91	Navfac 1971-1982	1.65
Strato (4) sabbia debolmente limosa	11.91	10.00-12.00	11.91	Navfac 1971-1982	2.50

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

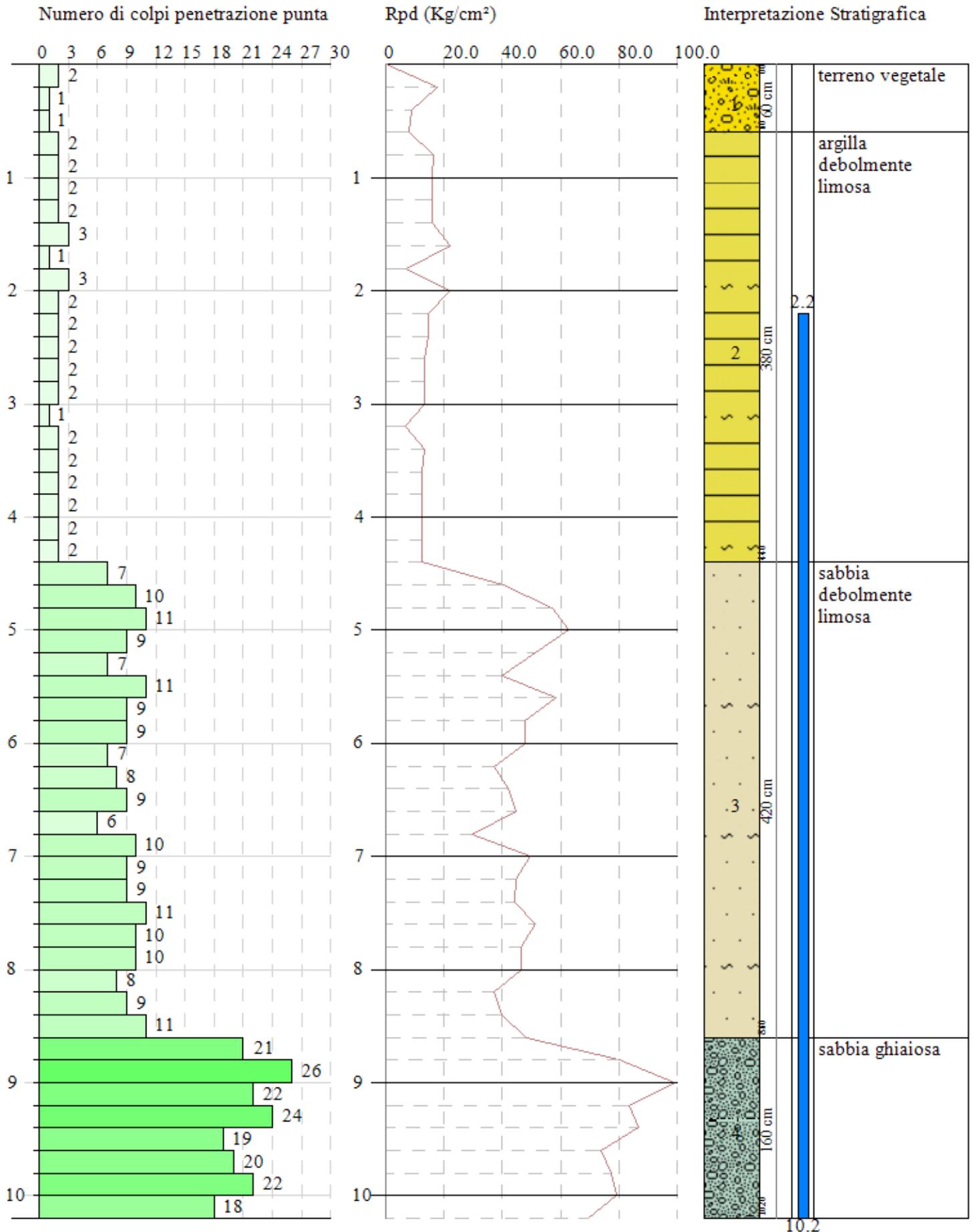
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	7.91	3.60-10.00	7.91	Robertson 1983	15.82
Strato (4) sabbia debolmente limosa	11.91	10.00-12.00	11.91	Robertson 1983	23.82

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.6
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: 2K Engineering S.p.A
Descrizione: Realizzazione di n. 2 nuovi depositi (edificio "A" ed edificio "B")
Località: Castel San Giovanni (PC)

04-09-2020

Scala 1:48



ESECUTORE INDAGINI:

GeoTest s.r.l.

COMMITTENTE: 2K Engineering S.p.A.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 6

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.96	0.00-0.60	Schmertmann 1975	0.19
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.94	0.60-4.40	Schmertmann 1975	0.28

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.96	0.00-0.60	Robertson (1983)	3.92
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.94	0.60-4.40	Robertson (1983)	5.88

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.96	0.00-0.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	21.78
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.94	0.60-4.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	31.78

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.96	0.00-0.60	Apollonia	19.60
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.94	0.60-4.40	Apollonia	29.40

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 debolmente limosa	2.94	0.60-4.40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	1.96	0.00-0.60	Meyerhof	1.56
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.94	0.60-4.40	Meyerhof	1.63

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	1.96	0.00-0.60	Meyerhof	1.85
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.94	0.60-4.40	Meyerhof	1.86

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	13.30	4.40-8.60	13.30	Skempton 1986	39.83
Strato (4) sabbia ghiaiosa	31.61	8.60-10.20	23.31	Skempton 1986	55.82

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	13.30	4.40-8.60	13.30	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	29.12
Strato (4) sabbia ghiaiosa	31.61	8.60-10.20	23.31	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	33.7

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	13.30	4.40-8.60	13.30	Schmertmann (1978) (Sabbie)	106.40
Strato (4) sabbia ghiaiosa	31.61	8.60-10.20	23.31	Schmertmann (1978) (Sabbie)	186.44

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	13.30	4.40-8.60	13.30	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	97.32
Strato (4) sabbia ghiaiosa	31.61	8.60-10.20	23.31	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	141.94

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) sabbia debolmente limosa	13.30	4.40-8.60	13.30	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO
Strato (4) sabbia ghiaiosa	31.61	8.60-10.20	23.31	Classificazione A.G.I	ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	13.30	4.40-8.60	13.30	Meyerhof et al.	1.83
Strato (4) sabbia ghiaiosa	31.61	8.60-10.20	23.31	Meyerhof et al.	2.05

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	13.30	4.40-8.60	13.30	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.94
Strato (4) sabbia ghiaiosa	31.61	8.60-10.20	23.31	Terzaghi-Peck 1948-1967	2.00

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) sabbia debolmente limosa	13.30	4.40-8.60	13.30	(A.G.I.)	0.33
Strato (4) sabbia ghiaiosa	31.61	8.60-10.20	23.31	(A.G.I.)	0.31

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	13.30	4.40-8.60	13.30	Ohsaki (Sabbie pulite)	740.17
Strato (4) sabbia ghiaiosa	31.61	8.60-10.20	23.31	Ohsaki (Sabbie pulite)	1254.05

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (3) sabbia debolmente limosa	13.30	4.40-8.60	13.30	Seed e Idriss (1971)	1.327
Strato (4) sabbia ghiaiosa	31.61	8.60-10.20	23.31	Seed e Idriss (1971)	3.44

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) sabbia debolmente limosa	13.30	4.40-8.60	13.30	Navfac 1971-1982	2.79
Strato (4) sabbia ghiaiosa	31.61	8.60-10.20	23.31	Navfac 1971-1982	4.61

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

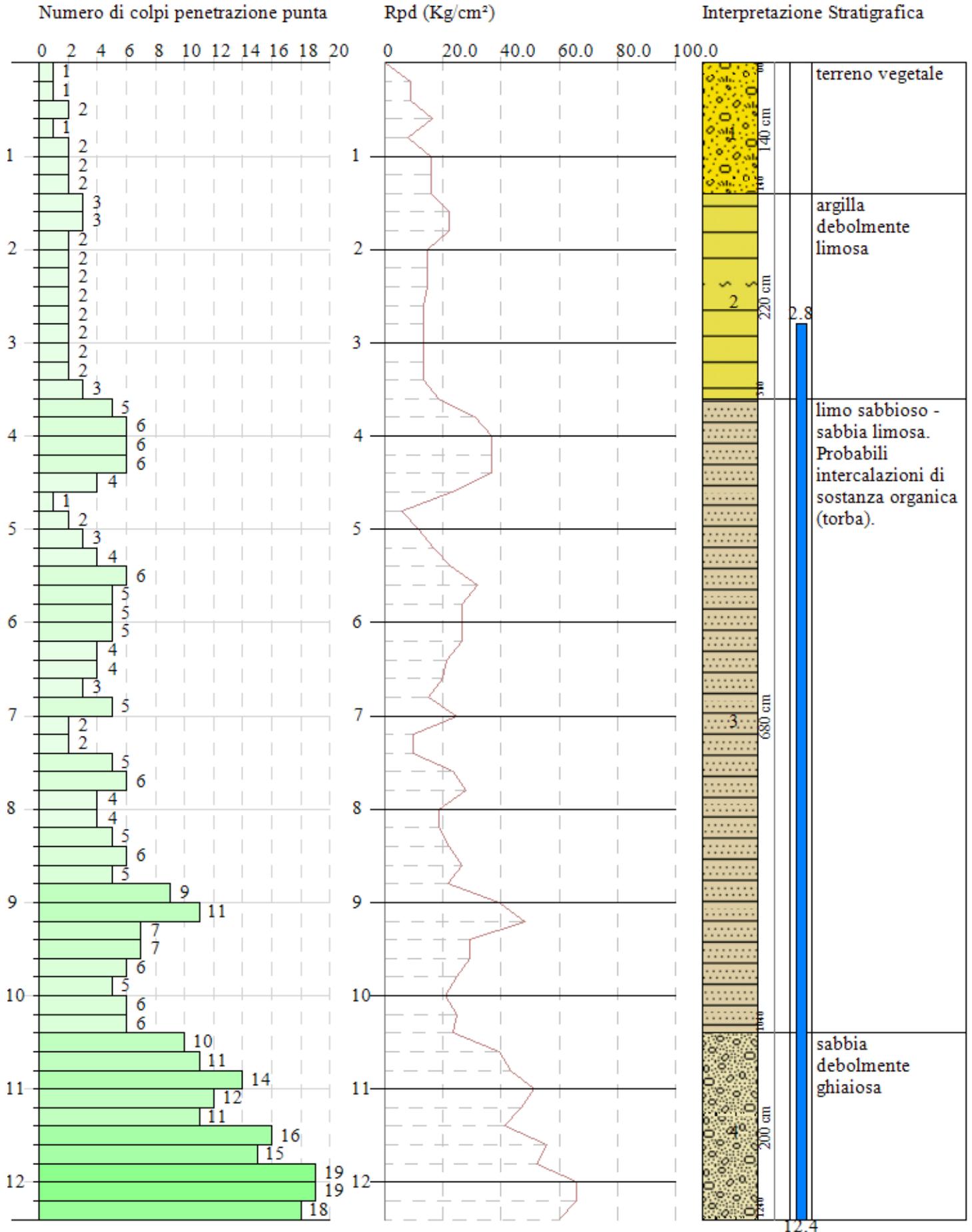
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (3) sabbia debolmente limosa	13.30	4.40-8.60	13.30	Robertson 1983	26.60
Strato (4) sabbia ghiaiosa	31.61	8.60-10.20	23.31	Robertson 1983	46.61

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

Committente: 2K Engineering S.p.A
Descrizione: Realizzazione di n. 2 nuovi depositi (edificio "A" ed edificio "B")
Località: Castel San Giovanni (PC)

04-09-2020

Scala 1:58



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/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2.31	0.00-1.40	Schmertmann 1975	0.22
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.34	1.40-3.60	Schmertmann 1975	0.32
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	Schmertmann 1975	0.72

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2.31	0.00-1.40	Robertson (1983)	4.62
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.34	1.40-3.60	Robertson (1983)	6.68
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	Robertson (1983)	14.70

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2.31	0.00-1.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	25.35
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.34	1.40-3.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	35.86
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	76.76

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2.31	0.00-1.40	Apollonia	23.10
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.34	1.40-3.60	Apollonia	33.40
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	Apollonia	73.50

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	2.31	0.00-1.40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.34	1.40-3.60	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	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	2.31	0.00-1.40	Meyerhof	1.58
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.34	1.40-3.60	Meyerhof	1.66
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	Meyerhof	1.87

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	2.31	0.00-1.40	Meyerhof	1.85
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.34	1.40-3.60	Meyerhof	1.86
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	Meyerhof	1.90

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	7.35	Skempton 1986	26.83
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.32	10.40-12.40	18.16	Skempton 1986	48.4

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	7.35	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	25.5
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.32	10.40-12.40	18.16	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	31.5

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	7.35	Schmertmann (1978) (Sabbie)	58.80
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.32	10.40-12.40	18.16	Schmertmann (1978) (Sabbie)	145.28

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	7.35	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	70.78
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.32	10.40-12.40	18.16	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	118.99

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	7.35	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.32	10.40-12.40	18.16	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	7.35	Meyerhof et al.	1.63
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.32	10.40-12.40	18.16	Meyerhof et al.	1.96

Peso unità di volume saturo

	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	7.35	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.90
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.32	10.40-12.40	18.16	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.97

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	7.35	(A.G.I.)	0.34
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.32	10.40-12.40	18.16	(A.G.I.)	0.32

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	7.35	Ohsaki (Sabbie pulite)	423.86
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.32	10.40-12.40	18.16	Ohsaki (Sabbie pulite)	991.93

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	7.35	Seed e Idriss (1971)	--
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.32	10.40-12.40	18.16	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	7.35	Navfac 1971-1982	1.52
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.32	10.40-12.40	18.16	Navfac 1971-1982	3.72

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di sostanza organica (torba).	7.35	3.60-10.40	7.35	Robertson 1983	14.70
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.32	10.40-12.40	18.16	Robertson 1983	36.32

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/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2.45	0.00-1.20	Schmertmann 1975	0.24
Strato (2) argilla limosa	4.82	1.20-6.20	Schmertmann 1975	0.47
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	Schmertmann 1975	0.73

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2.45	0.00-1.20	Robertson (1983)	4.90
Strato (2) argilla limosa	4.82	1.20-6.20	Robertson (1983)	9.64
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	Robertson (1983)	14.88

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2.45	0.00-1.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	26.78
Strato (2) argilla limosa	4.82	1.20-6.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	50.95
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	77.68

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2.45	0.00-1.20	Apollonia	24.50
Strato (2) argilla limosa	4.82	1.20-6.20	Apollonia	48.20
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	Apollonia	74.40

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	2.45	0.00-1.20	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (2) argilla limosa	4.82	1.20-6.20	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	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	2.45	0.00-1.20	Meyerhof	1.60
Strato (2) argilla limosa	4.82	1.20-6.20	Meyerhof	1.75
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	Meyerhof	1.88

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	2.45	0.00-1.20	Meyerhof	1.86
Strato (2) argilla limosa	4.82	1.20-6.20	Meyerhof	1.88
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	Meyerhof	1.90

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	7.44	Skempton 1986	27.05
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.58	9.80-11.40	17.79	Skempton 1986	47.8

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	7.44	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	25.56
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.58	9.80-11.40	17.79	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	31.34

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	7.44	Schmertmann (1978) (Sabbie)	59.52
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.58	9.80-11.40	17.79	Schmertmann (1978) (Sabbie)	142.32

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	7.44	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	71.18
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.58	9.80-11.40	17.79	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	117.34

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	7.44	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.58	9.80-11.40	17.79	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	7.44	Meyerhof et al.	1.64
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.58	9.80-11.40	17.79	Meyerhof et al.	1.95

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	7.44	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.90
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.58	9.80-11.40	17.79	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.97

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	7.44	(A.G.I.)	0.34
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.58	9.80-11.40	17.79	(A.G.I.)	0.32

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	7.44	Ohsaki (Sabbie pulite)	428.74
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.58	9.80-11.40	17.79	Ohsaki (Sabbie pulite)	972.92

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	7.44	Seed e Idriss (1971)	--
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.58	9.80-11.40	17.79	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	7.44	Navfac 1971-1982	1.54
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.58	9.80-11.40	17.79	Navfac 1971-1982	3.65

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

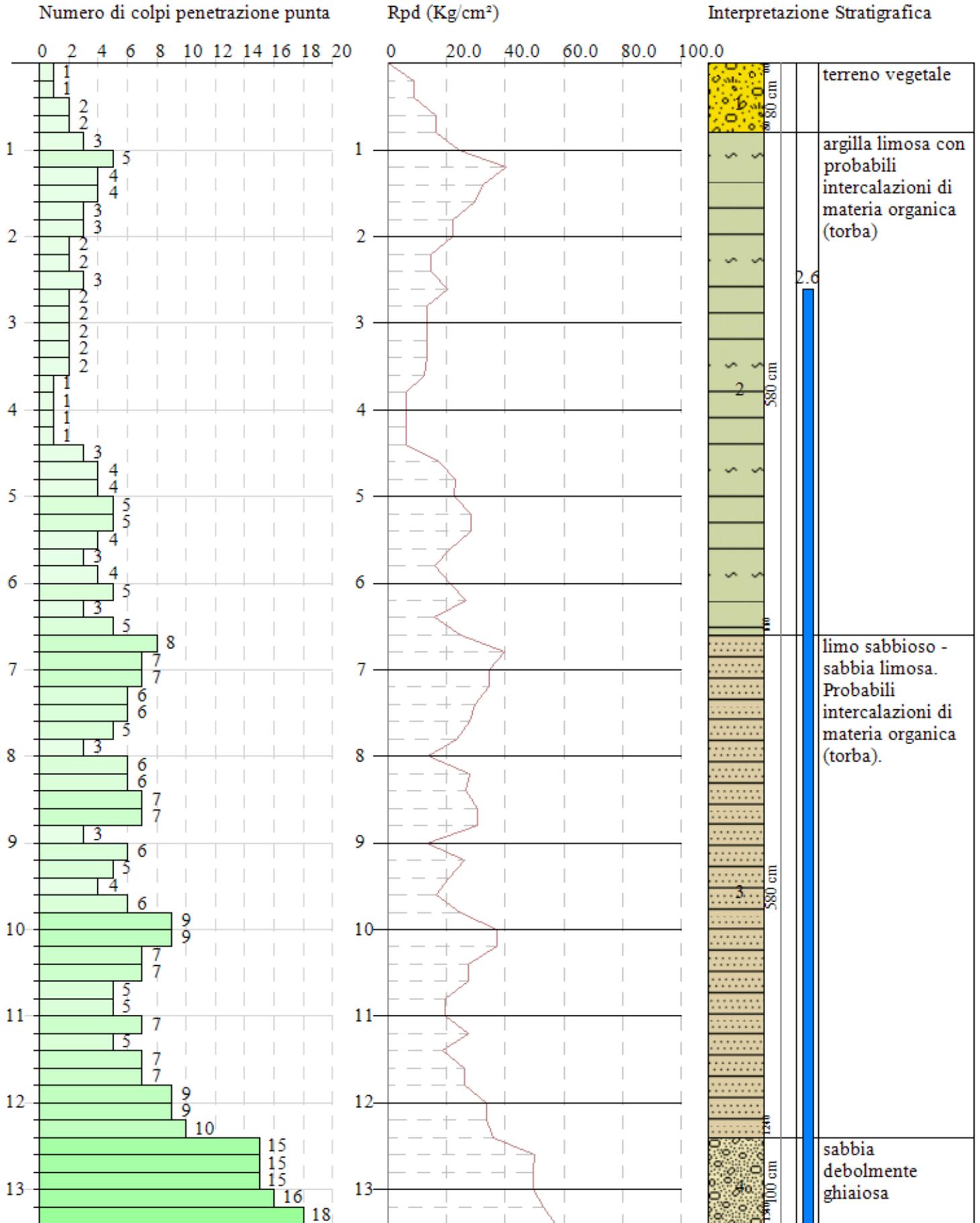
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	7.44	6.20-9.80	7.44	Robertson 1983	14.88
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.58	9.80-11.40	17.79	Robertson 1983	35.58

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

Committente: 2K Engineering S.p.A
Descrizione: Realizzazione di n. 2 nuovi depositi (edificio "A" ed edificio "B")
Località: Castel San Giovanni (PC)

07-09-2020

Scala 1:63



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/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.80	Schmertmann 1975	0.21
Strato (2) argilla limosa con probabili intercalazioni di materia organica (torba)	4.45	0.80-6.60	Schmertmann 1975	0.43
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	Schmertmann 1975	0.94

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.80	Robertson (1983)	4.40
Strato (2) argilla limosa con probabili intercalazioni di materia organica (torba)	4.45	0.80-6.60	Robertson (1983)	8.90
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	Robertson (1983)	19.06

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	24.23
Strato (2) argilla limosa con probabili intercalazioni di materia organica (torba)	4.45	0.80-6.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	47.18
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	98.99

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.80	Apollonia	22.00
Strato (2) argilla limosa con probabili intercalazioni di materia organica (torba)	4.45	0.80-6.60	Apollonia	44.50
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	Apollonia	95.30

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.80	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (2) argilla limosa con probabili intercalazioni di materia organica (torba)	4.45	0.80-6.60	A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.80	Meyerhof	1.58
Strato (2) argilla limosa con probabili intercalazioni di materia organica (torba)	4.45	0.80-6.60	Meyerhof	1.73
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	Meyerhof	1.95

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	2.20	0.00-0.80	Meyerhof	1.85
Strato (2) argilla limosa con probabili intercalazioni di materia organica (torba)	4.45	0.80-6.60	Meyerhof	1.87
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	Meyerhof	2.14

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	9.53	Skempton 1986	31.94
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	23.23	12.40-13.40	19.12	Skempton 1986	49.9

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	9.53	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	26.96
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	23.23	12.40-13.40	19.12	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	31.93

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	9.53	Schmertmann (1978) (Sabbie)	76.24
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	23.23	12.40-13.40	19.12	Schmertmann (1978) (Sabbie)	152.92

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	9.53	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	80.50
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	23.23	12.40-13.40	19.12	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	123.25

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	9.53	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	23.23	12.40-13.40	19.12	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	9.53	Meyerhof et al.	1.71
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	23.23	12.40-13.40	19.12	Meyerhof et al.	1.98

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	9.53	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.91
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	23.23	12.40-13.40	19.12	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.97

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	9.53	(A.G.I.)	0.34
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	23.23	12.40-13.40	19.12	(A.G.I.)	0.32

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	9.53	Ohsaki (Sabbie pulite)	541.08
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	23.23	12.40-13.40	19.12	Ohsaki (Sabbie pulite)	1040.89

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	9.53	Seed e Idriss (1971)	--
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	23.23	12.40-13.40	19.12	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	9.53	Navfac 1971-1982	2.00
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	23.23	12.40-13.40	19.12	Navfac 1971-1982	3.89

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	9.53	6.60-12.40	9.53	Robertson 1983	19.06
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	23.23	12.40-13.40	19.12	Robertson 1983	38.23

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/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.76	0.00-1.00	Schmertmann 1975	0.17
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.51	1.00-6.60	Schmertmann 1975	0.34
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	Schmertmann 1975	0.97

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.76	0.00-1.00	Robertson (1983)	3.52
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.51	1.00-6.60	Robertson (1983)	7.02
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	Robertson (1983)	19.78

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.76	0.00-1.00	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	19.74
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.51	1.00-6.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	37.59
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	102.66

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.76	0.00-1.00	Apollonia	17.60
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.51	1.00-6.60	Apollonia	35.10
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	Apollonia	98.90

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	1.76	0.00-1.00	A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.51	1.00-6.60	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	1.76	0.00-1.00	Meyerhof	1.54
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.51	1.00-6.60	Meyerhof	1.67
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	Meyerhof	1.96

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	1.76	0.00-1.00	Meyerhof	1.85
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.51	1.00-6.60	Meyerhof	1.87
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	Meyerhof	2.16

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	9.89	Skempton 1986	32.75
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.09	11.80-13.00	17.55	Skempton 1986	47.4

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	9.89	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	27.18
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.09	11.80-13.00	17.55	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	31.22

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	9.89	Schmertmann (1978) (Sabbie)	79.12
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.09	11.80-13.00	17.55	Schmertmann (1978) (Sabbie)	140.36

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	9.89	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	82.11
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.09	11.80-13.00	17.55	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	116.25

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	9.89	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.09	11.80-13.00	17.55	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	9.89	Meyerhof et al.	1.73
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.09	11.80-13.00	17.55	Meyerhof et al.	1.94

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	9.89	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.92
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.09	11.80-13.00	17.55	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.96

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	9.89	(A.G.I.)	0.33
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.09	11.80-13.00	17.55	(A.G.I.)	0.32

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	9.89	Ohsaki (Sabbie pulite)	560.27
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.09	11.80-13.00	17.55	Ohsaki (Sabbie pulite)	960.32

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	9.89	Seed e Idriss (1971)	--
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.09	11.80-13.00	17.55	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	9.89	Navfac 1971-1982	2.08
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.09	11.80-13.00	17.55	Navfac 1971-1982	3.61

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	9.89	6.60-11.80	9.89	Robertson 1983	19.78
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	20.09	11.80-13.00	17.55	Robertson 1983	35.09

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/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.80	Schmertmann 1975	0.14
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.09	0.80-4.80	Schmertmann 1975	0.30
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	Schmertmann 1975	0.78

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.80	Robertson (1983)	2.94
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.09	0.80-4.80	Robertson (1983)	6.18
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	Robertson (1983)	16.00

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	16.79
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.09	0.80-4.80	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	33.31
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	83.39

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.80	Apollonia	14.70
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.09	0.80-4.80	Apollonia	30.90
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	Apollonia	80.00

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.80	A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.09	0.80-4.80	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	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	1.47	0.00-0.80	Meyerhof	1.52
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.09	0.80-4.80	Meyerhof	1.64
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	Meyerhof	1.90

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.80	Meyerhof	1.85
Strato (2) argilla debolmente limosa	3.09	0.80-4.80	Meyerhof	1.86
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	Meyerhof	1.91

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	8.00	Skempton 1986	28.4
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	22.05	11.20-12.60	18.53	Skempton 1986	48.98

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	8.00	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	25.95
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	22.05	11.20-12.60	18.53	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	31.67

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	8.00	Schmertmann (1978) (Sabbie)	64.00
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	22.05	11.20-12.60	18.53	Schmertmann (1978) (Sabbie)	148.20

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	8.00	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	73.68
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	22.05	11.20-12.60	18.53	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	120.62

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	8.00	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	22.05	11.20-12.60	18.53	Classificazione A.G.I	MODERAT. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	8.00	Meyerhof et al.	1.66
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	22.05	11.20-12.60	18.53	Meyerhof et al.	1.96

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	8.00	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.91
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	22.05	11.20-12.60	18.53	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.97

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	8.00	(A.G.I.)	0.34
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	22.05	11.20-12.60	18.53	(A.G.I.)	0.32

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	8.00	Ohsaki (Sabbie pulite)	459.01
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	22.05	11.20-12.60	18.53	Ohsaki (Sabbie pulite)	1010.66

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	8.00	Seed e Idriss (1971)	--
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	22.05	11.20-12.60	18.53	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	8.00	Navfac 1971-1982	1.67
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	22.05	11.20-12.60	18.53	Navfac 1971-1982	3.79

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

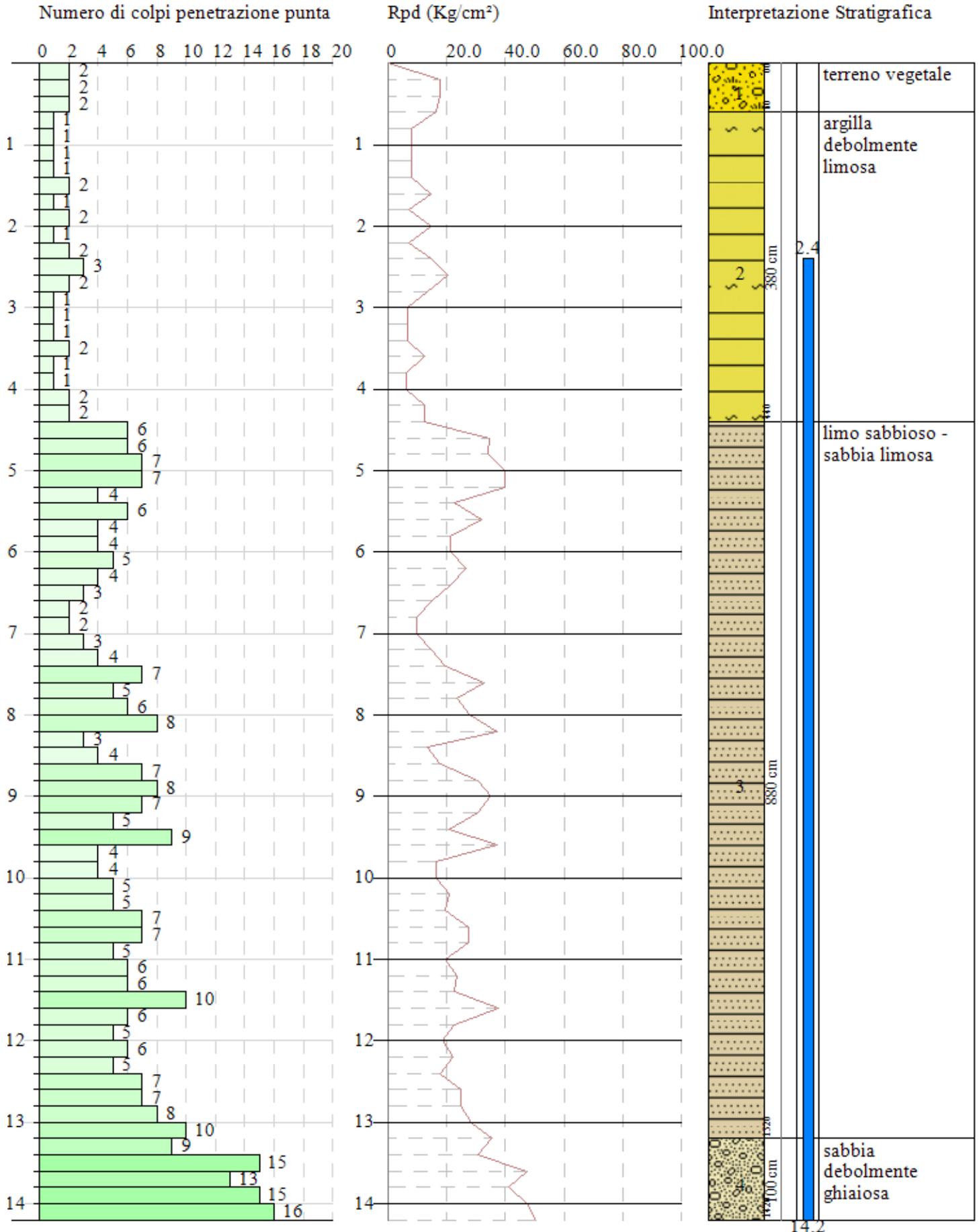
Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.00	4.80-11.20	8.00	Robertson 1983	16.00
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	22.05	11.20-12.60	18.53	Robertson 1983	37.05

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.12
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: 2K Engineering S.p.A
Descrizione: Realizzazione di n. 2 nuovi depositi (edificio "A" ed edificio "B")
Località: Castel San Giovanni (PC)

07-09-2020

Scala 1:67



ESECUTORE INDAGINI:

GeoTest s.r.l.

COMMITTENTE: 2K Engineering S.p.A.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 12

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.60	Schmertmann 1975	0.28
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.16	0.60-4.40	Schmertmann 1975	0.21
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	Schmertmann 1975	0.82

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.60	Robertson (1983)	5.88
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.16	0.60-4.40	Robertson (1983)	4.32
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	Robertson (1983)	16.64

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	31.78
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.16	0.60-4.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	23.82
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	86.65

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.60	Apollonia	29.40
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.16	0.60-4.40	Apollonia	21.60
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	Apollonia	83.20

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) argilla debolmente limosa	2.16	0.60-4.40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.60	Meyerhof	1.63
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.16	0.60-4.40	Meyerhof	1.57
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	Meyerhof	1.91

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	2.94	0.00-0.60	Meyerhof	1.86
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.16	0.60-4.40	Meyerhof	1.85
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	Meyerhof	2.10

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	8.32	Skempton 1986	29.16
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.99	13.20-14.20	17.50	Skempton 1986	47.32

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	8.32	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	26.17
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.99	13.20-14.20	17.50	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	31.2

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	8.32	Schmertmann (1978) (Sabbie)	66.56
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.99	13.20-14.20	17.50	Schmertmann (1978) (Sabbie)	139.96

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	8.32	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	75.11
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.99	13.20-14.20	17.50	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	116.03

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	8.32	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.99	13.20-14.20	17.50	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	8.32	Meyerhof et al.	1.67
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.99	13.20-14.20	17.50	Meyerhof et al.	1.94

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	8.32	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.91
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.99	13.20-14.20	17.50	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.96

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	8.32	(A.G.I.)	0.34
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.99	13.20-14.20	17.50	(A.G.I.)	0.32

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	8.32	Ohsaki (Sabbie pulite)	476.24
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.99	13.20-14.20	17.50	Ohsaki (Sabbie pulite)	957.75

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	8.32	Seed e Idriss (1971)	--
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.99	13.20-14.20	17.50	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	8.32	Navfac 1971-1982	1.74
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.99	13.20-14.20	17.50	Navfac 1971-1982	3.60

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa	8.32	4.40-13.20	8.32	Robertson 1983	16.64
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	19.99	13.20-14.20	17.50	Robertson 1983	34.99

ESECUTORE INDAGINI:

GeoTest s.r.l.

COMMITTENTE: 2K Engineering S.p.A.

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH 13

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.60	Schmertmann 1975	0.14
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.73	0.60-3.40	Schmertmann 1975	0.26
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	Schmertmann 1975	0.82

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.60	Robertson (1983)	2.94
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.73	0.60-3.40	Robertson (1983)	5.46
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	Robertson (1983)	16.82

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.60	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	16.79
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.73	0.60-3.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	29.64
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner	87.57

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Ey (Kg/cm ²)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.60	Apollonia	14.70
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.73	0.60-3.40	Apollonia	27.30
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	Apollonia	84.10

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) argilla debolmente limosa	2.73	0.60-3.40	A.G.I. (1977)	POCO CONSISTENTE
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	A.G.I. (1977)	CONSISTENTE

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.60	Meyerhof	1.52
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.73	0.60-3.40	Meyerhof	1.62
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	Meyerhof	1.92

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato (1) terreno vegetale	1.47	0.00-0.60	Meyerhof	1.85
Strato (2) argilla debolmente limosa	2.73	0.60-3.40	Meyerhof	1.86
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	Meyerhof	2.11

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	8.41	Skempton 1986	29.37
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.68	13.40-14.20	18.34	Skempton 1986	48.69

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	8.41	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	26.23
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.68	13.40-14.20	18.34	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	31.59

Modulo di Young

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	8.41	Schmertmann (1978) (Sabbie)	67.28
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.68	13.40-14.20	18.34	Schmertmann (1978) (Sabbie)	146.72

Modulo Edometrico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	8.41	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	75.51
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.68	13.40-14.20	18.34	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)	119.80

Classificazione AGI

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	8.41	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.68	13.40-14.20	18.34	Classificazione A.G.I	MODERATAM. ADDENSATO

Peso unità di volume

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità di Volume (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	8.41	Meyerhof et al.	1.67
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.68	13.40-14.20	18.34	Meyerhof et al.	1.96

Peso unità di volume saturo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (t/m ³)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	8.41	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.91
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.68	13.40-14.20	18.34	Terzaghi-Peck 1948-1967	1.97

Modulo di Poisson

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Poisson
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	8.41	(A.G.I.)	0.34
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.68	13.40-14.20	18.34	(A.G.I.)	0.32

Modulo di deformazione a taglio dinamico

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	8.41	Ohsaki (Sabbie pulite)	481.08
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.68	13.40-14.20	18.34	Ohsaki (Sabbie pulite)	1001.17

Liquefazione

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Fs liquefazione
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	8.41	Seed e Idriss (1971)	--
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.68	13.40-14.20	18.34	Seed e Idriss (1971)	--

Coefficiente spinta a Riposo

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	K0
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	8.41	Navfac 1971-1982	1.76
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.68	13.40-14.20	18.34	Navfac 1971-1982	3.75

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

Descrizione	NSPT	Prof. Strato (m)	N. Calcolo	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
Strato (3) limo sabbioso - sabbia limosa. Probabili intercalazioni di materia organica (torba).	8.41	3.40-13.40	8.41	Robertson 1983	16.82
Strato (4) sabbia debolmente ghiaiosa	21.68	13.40-14.20	18.34	Robertson 1983	36.68

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 settembre-dicembre 2020 presso un areale sito all'interno del Polo Logistico di Castel San Giovanni, a circa 3.0 km di distanza dal centro storico, in direzione nord-est.

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.

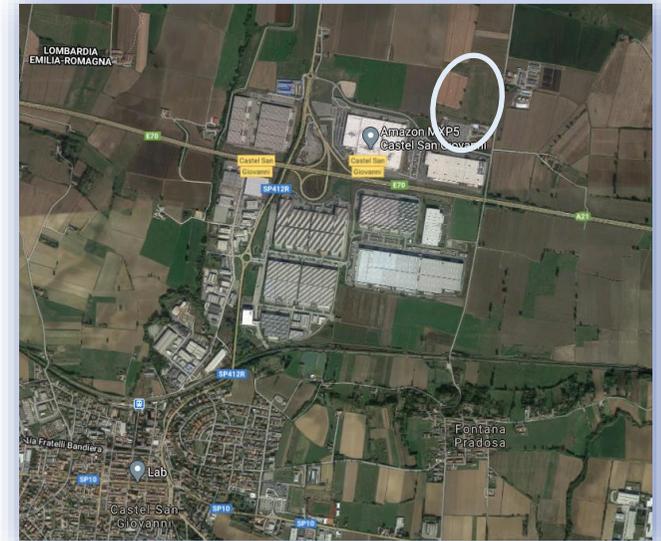
La prospezione sismica ha previsto la realizzazione delle seguenti prove:

- n. 4 prove "Masw" (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- n. 4 prove HVSr (Microtremori tipo Nakamura).

DATI GENERALI

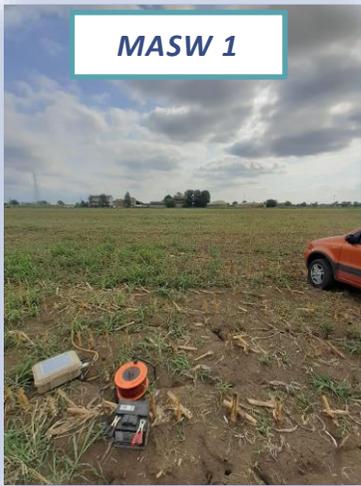
- **COMMITTENTE** : SPETT.LE 2K ENGINEERING S.P.A.
- **CANTIERE** : STUDIO PRELIMINARE DI FATTIBILITÀ
RELATIVO ALLA REALIZZAZIONE DI N.2
NUOVI DEPOSITI
- **LOCALITÀ** : POLO LOGISTICO
29015 CASTEL SAN GIOVANNI (PC)

COROGRAFIA



INDAGINI CONDOTTE

MASW 1



MASW 2



MASW 3



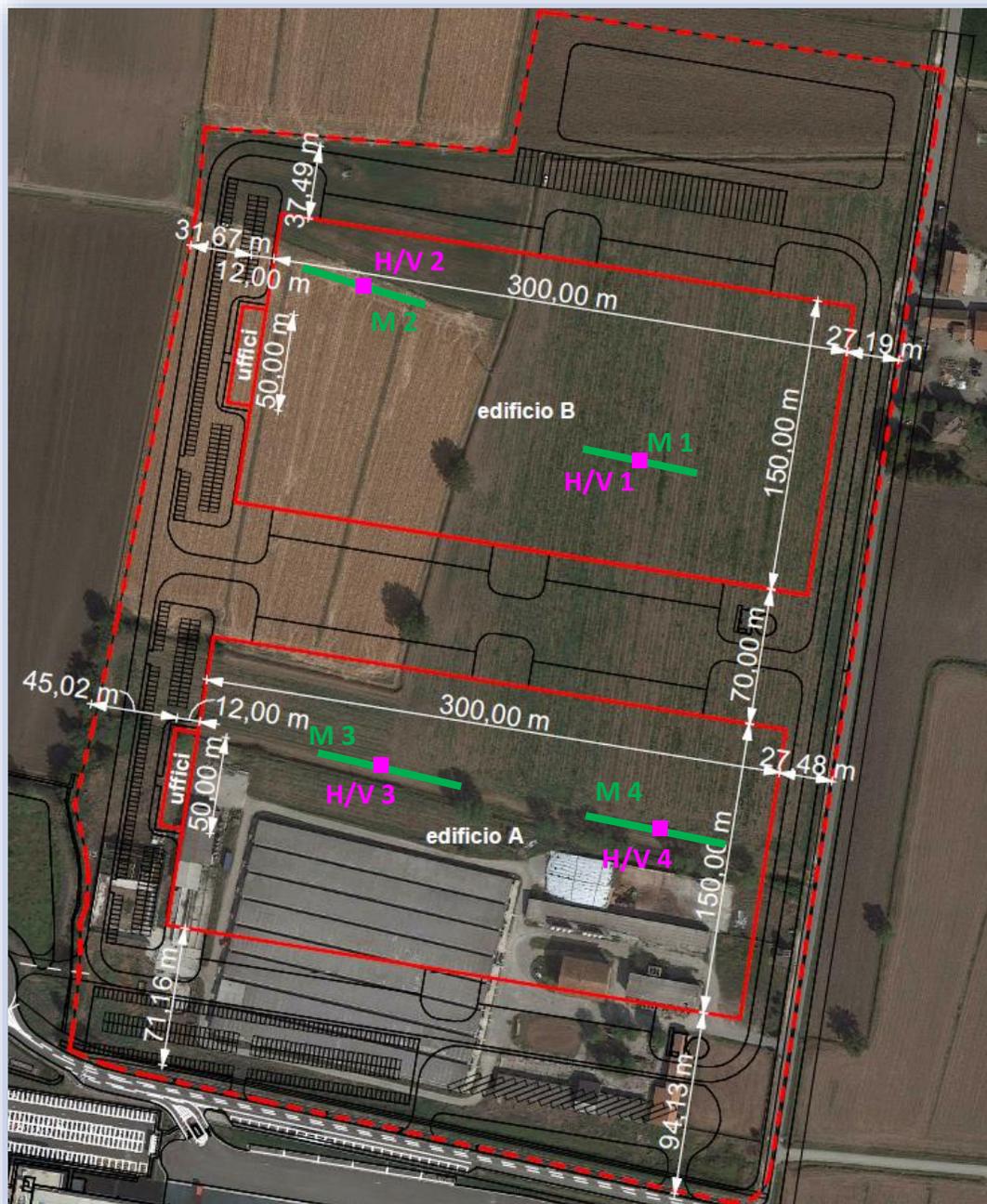
MASW 4



STRUMENTAZIONE PER ACQUISIZIONE HVSR



PLANIMETRIA DELLE
INDAGINI



LEGENDA

 Prova Masw/Re.Mi.

 Prova Microtremori tipo Nakamura



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 settembre-dicembre 2020, n. 4 prove geofisiche mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), presso un areale sito nel settore nord orientale del Polo Logistico di Castel San Giovanni, circa 3 km a nord-est dal centro storico del Capoluogo.

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 rigidità 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 rigidità 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 possibile 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 V_s 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 V_s 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 V_s , 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 (V_s) e delle onde di compressione (V_p) o, in alternativa alle velocità V_p , 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 (V_s).

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 affida 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 rigidità.

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 V_s 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.



Seismograph ECHO 24/2010 Seismic Unit







61 pins connector

<ul style="list-style-type: none"> • 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 (ICM =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 	
---	--

Figura 1: Sismografo Echo 24/2010 Seismic UNIT Ambrogeo

La geometria di acquisizione ha previsto stendimenti di 12 geofoni spazati 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.

L'approccio utilizzato per interpretare le registrazioni acquisite, ha previsto l'elaborazione "congiunta" della prova Masw con registrazioni Remi. In particolare, nell'analisi spettrale, si è sfruttato il sismogramma della prova Masw per visualizzare il segnale alle alte frequenze, mentre è stato impiegato lo spettro di velocità Remi per frequenze più basse.

La curva di dispersione è stata quindi estrapolata analizzando i segnali registrati con entrambe le metodologie di acquisizione pervenendo, infine, ad una curva di dispersione congiunta Masw-Remi da cui è stato ricavato il profilo di velocità Vs del sito.

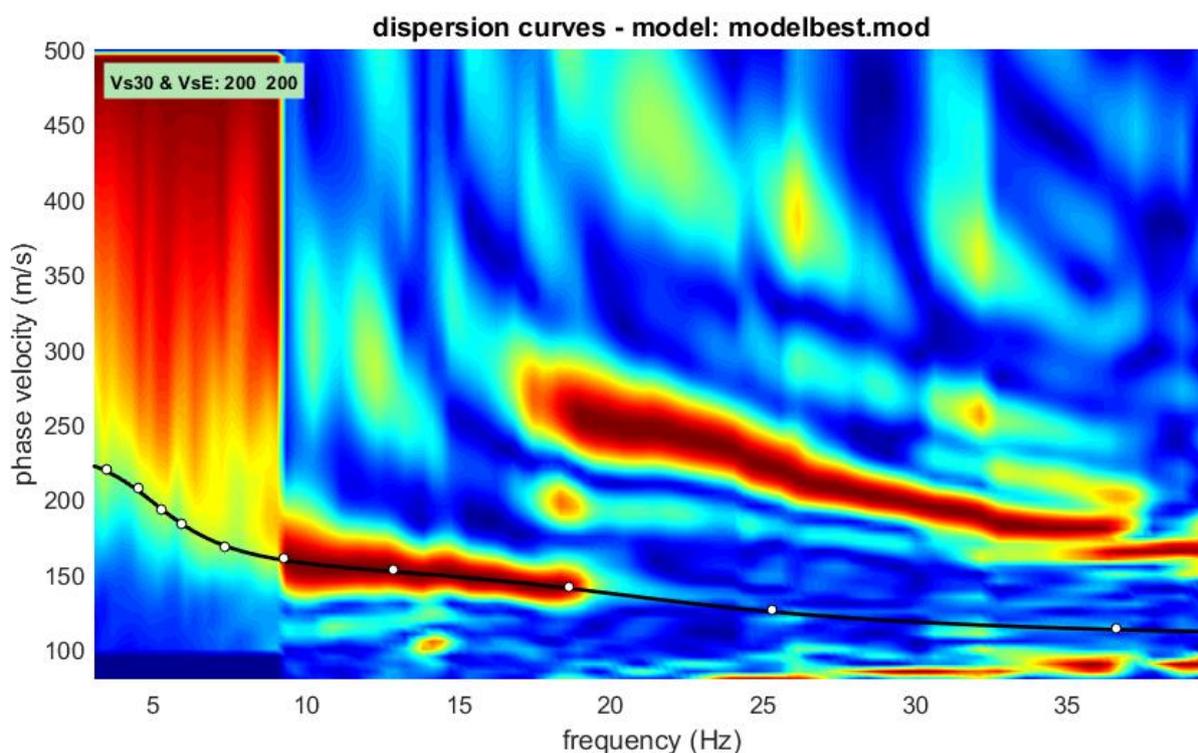


Figura 2: Grafico velocità di fase-frequenza e curva di dispersione dell'area d'interesse prova 1 (sismogramma Masw per frequenza > 9 Hz; spettro Remi per frequenze < 9 Hz).

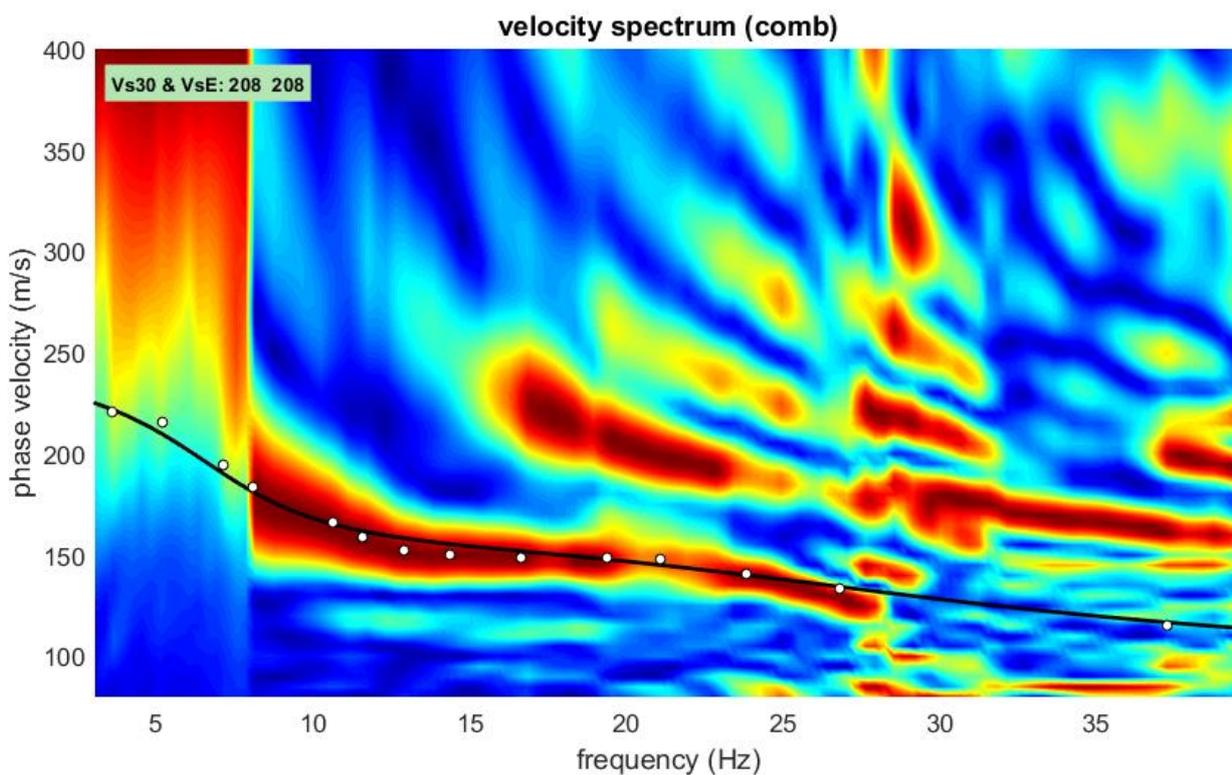


Figura 3: Grafico velocità di fase-frequenza e curva di dispersione dell'area d'interesse prova 2 (sismogramma Masw per frequenza > 8 Hz; spettro Remi per frequenze < 8 Hz).

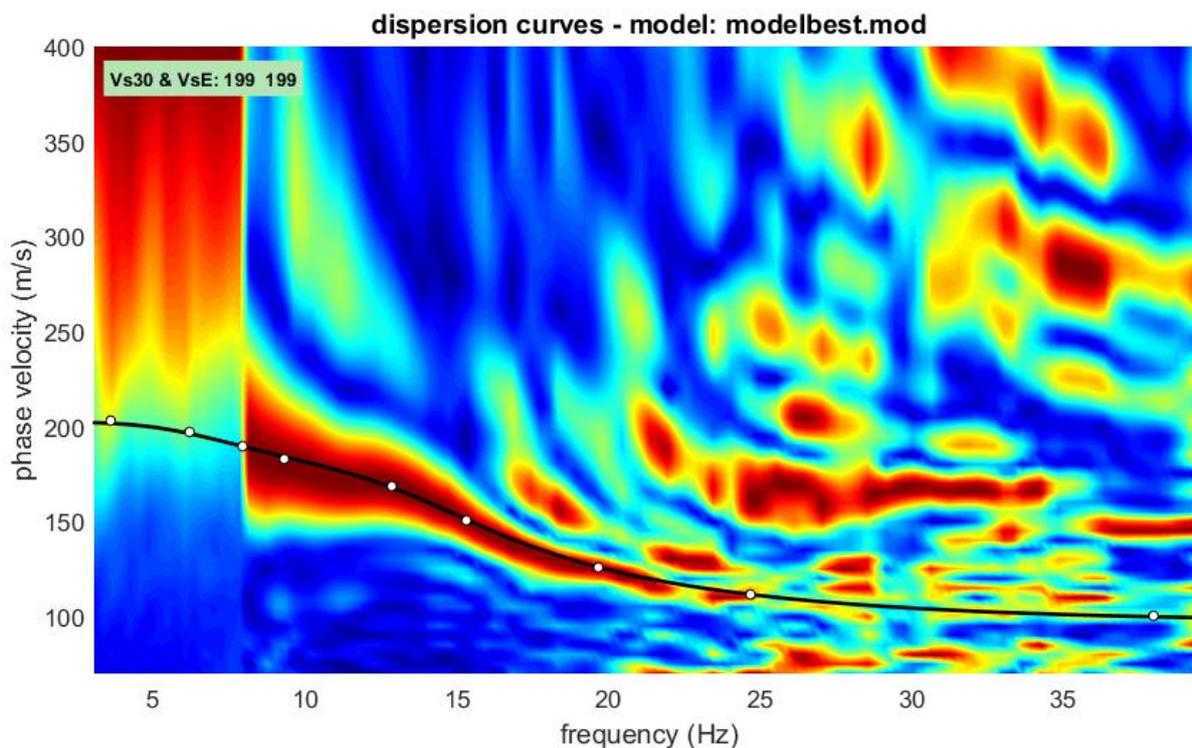


Figura 4: Grafico velocità di fase-frequenza e curva di dispersione dell'area d'interesse prova 3 (sismogramma Masw per frequenza > 8 Hz; spettro Remi per frequenze < 8 Hz).

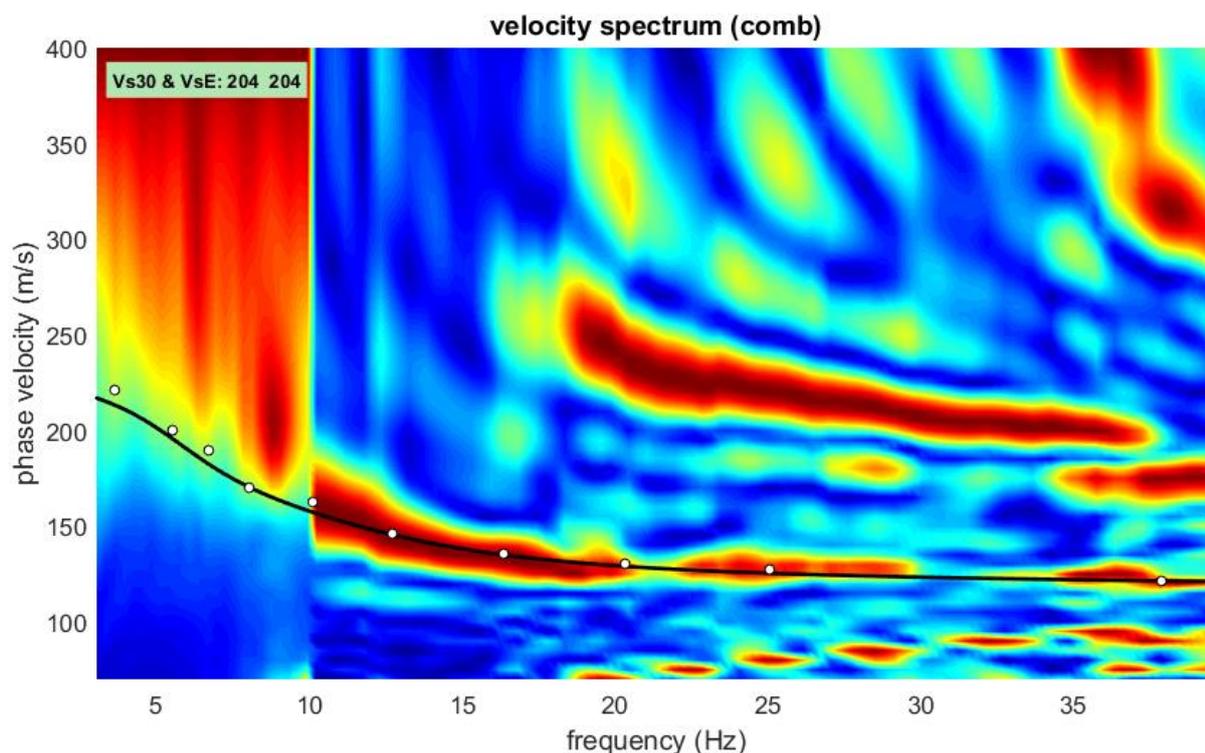


Figura 5: Grafico velocità di fase-frequenza e curva di dispersione dell'area d'interesse prova 4 (sismogramma Masw per frequenza > 10 Hz; spettro Remi per frequenze < 10 Hz).

Successivamente è stato definito il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s , modificando opportunamente, per ciascun strato individuato, i seguenti parametri: spessore h , velocità delle onde di taglio V_s e di compressione V_p 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.

#1: data uploading & processing

dataset: comb.mat
 sampling: 0.478ms [2092.0502Hz] - 0 samples
 minimum offset: 5 m

next shot
 keep parameters

resampling: 0.5
 resample
 accept

data selection: activate
 select 60
 cancel save

filtering & spectra: filter cancel
 AutoSpectra
 spectrum spectrogram

refr. & refl.: refr. refl. 0.2
 upload save
 flip polarity refresh

other tools & setting: time to visualize (s) done cut
 zeros/flips flip all traces show 3D data test amplitude zero padding

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, MFA, ESAC & ReMi analysis)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity 250 draw velocity linear-linear save upload

dispersion curves - model: modelbest.mod

modelling

about Poisson

Vs	Qs	Poisson	thickness
110	13.8	0.489	1.04
124	15.5	0.38	1.3
170	21.3	0.459	9.94
235	29.4	0.324	8
260	38.8	0.249	0
0	0	0.35	0
0	0	0.35	0
0	0	0.3	0
0	0	0.25	0
0	0	0.2	0
0	0	0.15	0
0	0	0.15	0

general setting: Rayleigh 1 phase vel
 HV (body waves) Refraction
 HV (surface waves)

upload mod. save model show M & R refresh compute
 synthetics (FVS): ZVF shows DC show model just overlap report DC report SS

best model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	110	1.0400	1.0400
2	124	1.3000	2.3400
3	173	9.9400	12.2800
4	225	8	20.2800
5	260	0	0

picking

? show f-k
 auto picking

dispersion curves: fundamental
 to select the last point of the considered mode click the right button
 save picking ?

pik1.cdp
 cancel picking

inversion
 inversion
 joint D+HV inv.

www.wimmasw.com

Figura 6: Spettro di velocità calcolato (prova 1)

#1: data uploading & processing

dataset: comb.mat
 sampling: 0.478ms [2092.0502Hz] - 0 samples
 minimum offset: 5 m

next shot
 keep parameters

resampling: 0.5
 resample
 accept

data selection
 activate
 select 60
 cancel save

filtering & spectra
 filter cancel
 AutoSpectra
 spectrum spectrogram

refr. & refl.
 refr.:refl. 0.2
 upload save
 flip polarity refresh

other tools & setting
 time to visualize (s) done cut
 zeros/flips flip all traces show 3D data test amplitude zero padding

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, MFA, ESAC & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f-k group velocity 250 draw velocity linear-linear
 save upload

velocity spectrum (comb)

Vs30 & VsE: 208 208

modelling

about Poisson

Vs	Qs	Poisson	thickness
102	12.8	0.497	1.11
149	18.6	0.321	1.25
174	21.8	0.459	7.05
220	27.5	0.497	7.1
260	36.8	0.198	0
0	0	0.35	0
0	0	0.35	0
0	0	0.3	0
0	0	0.25	0
0	0	0.2	0
0	0	0.15	0
0	0	0.15	0

general setting
 Rayleigh 1 phase vel
 Reference depth Refraction
 HV (body waves)
 HV (surface waves)

upload mod. save model show M & R refresh compute
 synthetics (FVS)
 ZVF
 shows DC
 show model
 just overlap
 synthetics

effective (passive)
 reporting 40 max depth report DC report SS

best model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	102	1.1100	1.1100
2	149	1.2500	2.3600
3	174	7.0500	9.4100
4	220	7.1000	16.5100
5	260	0	0

picking
 show f-k
 auto picking
 dispersion curves
 fundamental
 to select the last point of the considered mode click the right button
 save picking
 pik1.cdp
 cancel picking

inversion
 inversion
 joint D+HV inv.

www.winmasw.com

Figura 7: Spettro di velocità calcolato (prova 2)

#1: data uploading & processing

dataset: comb.mat
 sampling: 0.478ms [2092.0502Hz] - 2090 samples
 minimum offset: 5 m
 geophone spacing: 5 m

next shot
 keep parameters

normalized traces

resampling: 0.5
 resample
 accept

data selection: activate, select 60, cancel, save

filtering & spectra: filter, cancel, AutoSpectra, spectrum, spectrogram

other tools & setting: 0.99854; time to visualize (s) done cut, zeros/flips, flip all traces, show 3D data, test amplitude, zero padding

refr. & refl.: refr./refl. 0.2, upload, save, flip polarity, refresh

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, MFA, ESAC & ReMi analysis)

MASW: compute velocity spectrum
 phase velocity f.k group velocity 250 draw velocity linear-linear save upload

dispersion curves - model: modelbest.mod

Vs30 & VsE: 199 199

modelling

about Poisson

Vs	Qs	Poisson	thickness
101	12.6	0.497	1.88
151	18.9	0.297	1.99
211	26.4	0.469	10.43
230	28.8	0.497	9.15
220	26.3	0.437	0
0	0	0.35	0
0	0	0.35	0
0	0	0.3	0
0	0	0.25	0
0	0	0.2	0
0	0	0.15	0
0	0	0.15	0

general setting: Rayleigh 1 phase vel
 Reference depth Refraction
 HV (body waves)
 HV (surface waves)

upload mod. save model show M & R refresh compute
 synthetics (FVS): ZVF, shows DC, show model, just overlap, synthetics
 effective (passive)
 reporting: 40 max depth report DC report SS

best model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	101	1.8800	1.8800
2	151	1.9900	3.8700
3	211	10.4300	14.3000
4	230	9.1500	23.4500
5	220	0	0

dispersion curves
 fundamental
 to select the last point of the considered mode click the right button
 save picking ?
 pik1.cdp
 cancel picking

inversion
 inversion
 joint D+HV inv.

www.winmasw

Figura 8: Spettro di velocità calcolato (prova 3)

#1: data uploading & processing

dataset: comb.mat
 sampling: 0.478ms [2092.0502Hz] - 0 samples
 minimum offset: 5 m

keep parameters

resampling: 0.5

data selection: select: 60

filtering & spectra:

other tools & setting:

refr. & refl.: 0.2

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW, MFA, ESAC & ReMI analyses)

MASW: compute velocity spectrum f-k 250 linear-linear

handling the s...

velocity spectrum (comb)

phase velocity (m/s)

frequency (Hz)

modelling

Vs	Qs	Poisson	thickness
125	15.6	0.425	1.5
135	16.9	0.349	2.5
167	20.9	0.401	2
190	24.3	0.357	7
250	22.5	0.368	0
0	0	0.35	0
0	0	0.35	0
0	0	0.3	0
0	0	0.25	0
0	0	0.2	0
0	0	0.15	0
0	0	0.15	0

general setting: 1

Reference depth Refraction

HV (body waves) HV (surface waves)

synthetics (FVS): shows DC show model just overlap

effective (passive)

reporting: max depth

best model

layer	Vs (m/s)	thickness (m)	depth (m)
1	125	1.6954	1.6954
2	138	2.3088	4.0042
3	172	1.6634	5.6676
4	179	5.1630	10.8306
5	250	0	0

auto picking

dispersion curves:

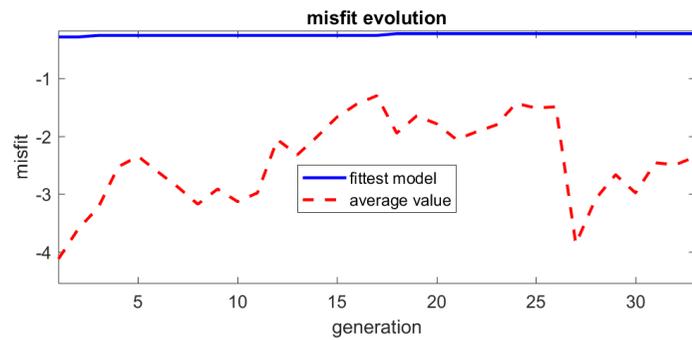
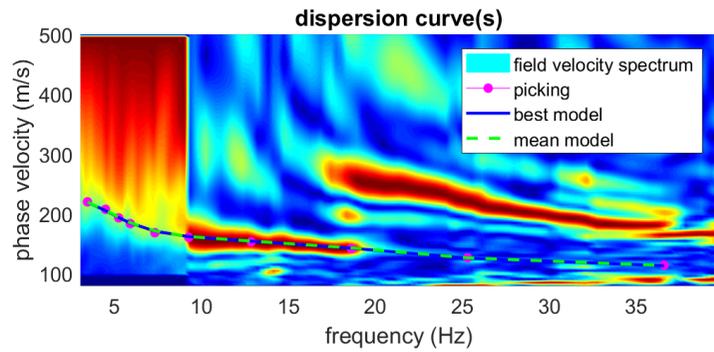
to select the last point of the considered mode click the right button

pik1.cdp

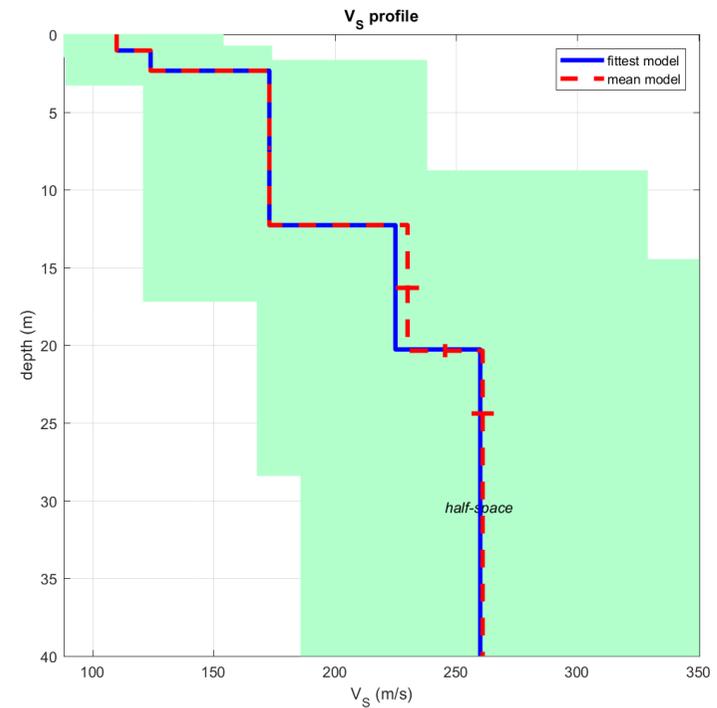
inversion

www.winmasw.com

Figura 9: Spettro di velocità calcolato (prova 4)

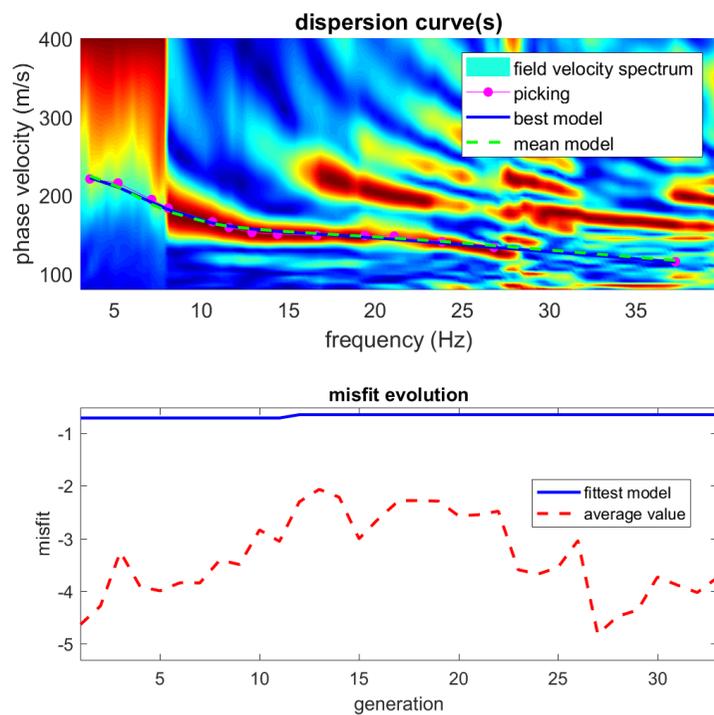


www.winmasw.com

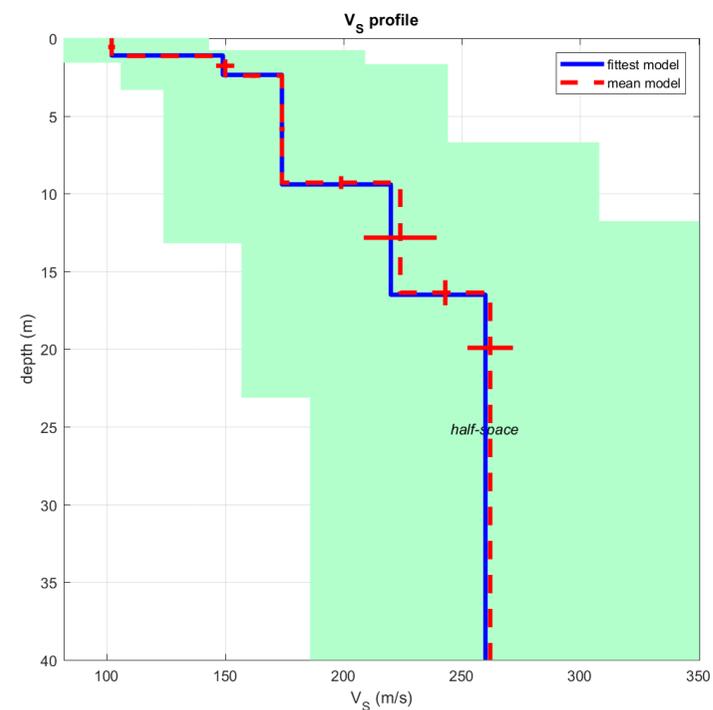


dataset: comb.mat
dispersion curve: pik1.cdp
Vs30 & VsE (best model): 200 200 m/s
Vs30 & VsE (mean model): 201 201 m/s

Figura 10: Risultati della modellazione diretta con relativa curva di dispersione. A destra Profilo verticale Vs successivo al processo di inversione (Prova 1)

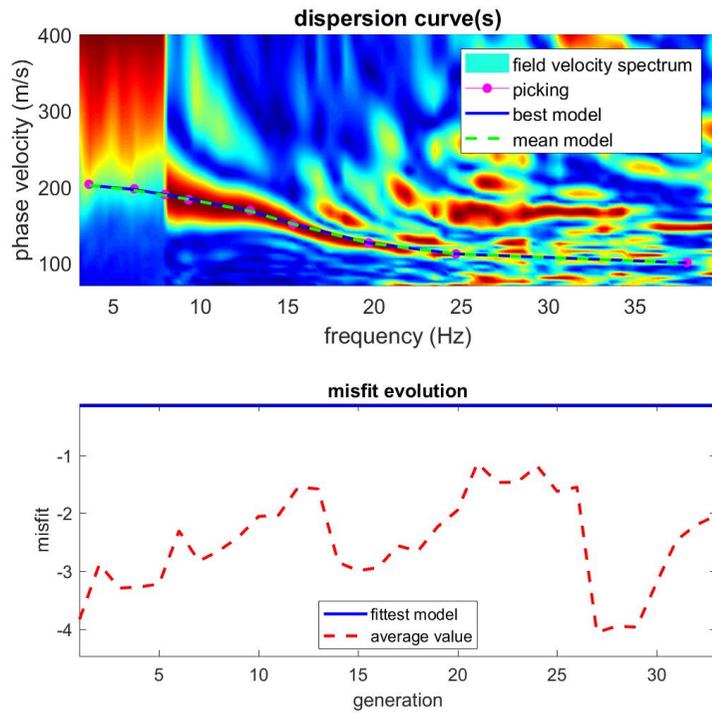


www.winmasw.com

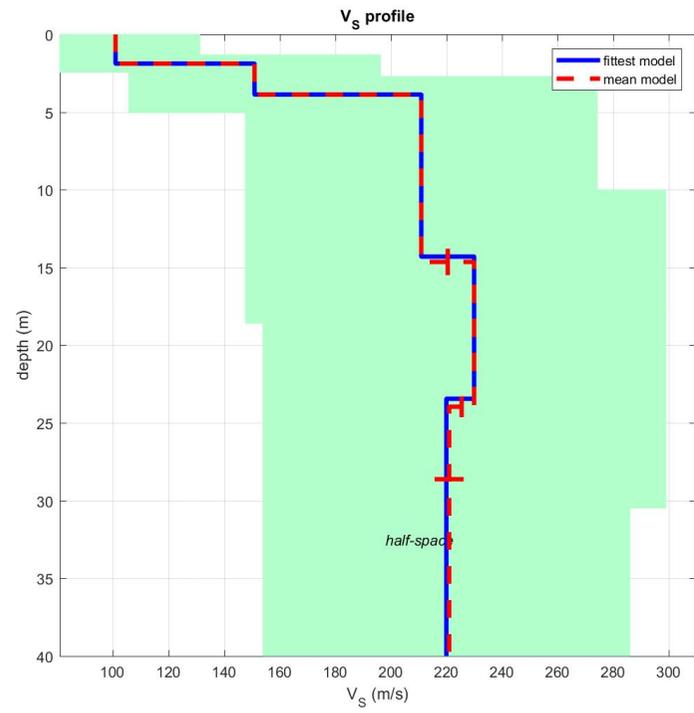


dataset: comb.mat
dispersion curve: pik1.cdp
Vs30 & VsE (best model): 208 208 m/s
Vs30 & VsE (mean model): 210 210 m/s

Figura 11: Risultati della modellazione diretta con relativa curva di dispersione. A destra Profilo verticale Vs successivo al processo di inversione (Prova 2)

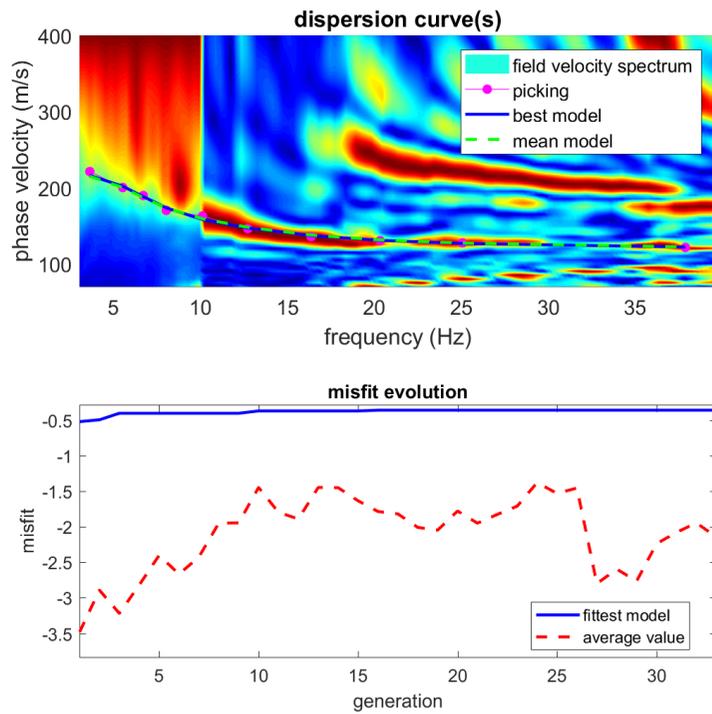


www.winmasw.com

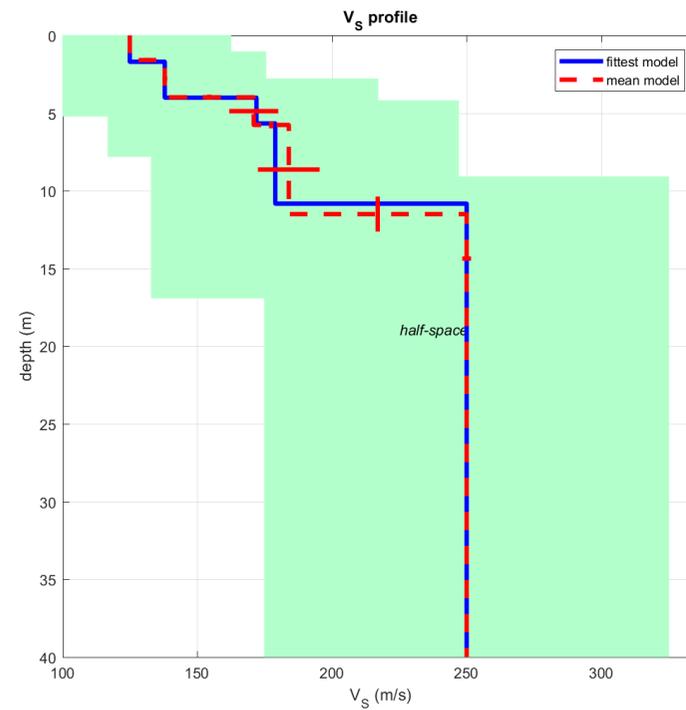


dataset: comb.mat
 dispersion curve: pik1.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 199 199 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 199 199 m/s

Figura 12: Risultati della modellazione diretta con relativa curva di dispersione. A destra Profilo verticale Vs successivo al processo di inversione (Prova 3)



www.winmasw.com



dataset: comb.mat
 dispersion curve: pik1.cdp
 Vs30 & VsE (best model): 206 206 m/s
 Vs30 & VsE (mean model): 206 206 m/s

Figura 13: Risultati della modellazione diretta con relativa curva di dispersione. A destra Profilo verticale Vs successivo al processo di inversione (Prova 4)

QUADRO D'INSIEME DELLE PROVE MASW Profilo di velocità delle onde S

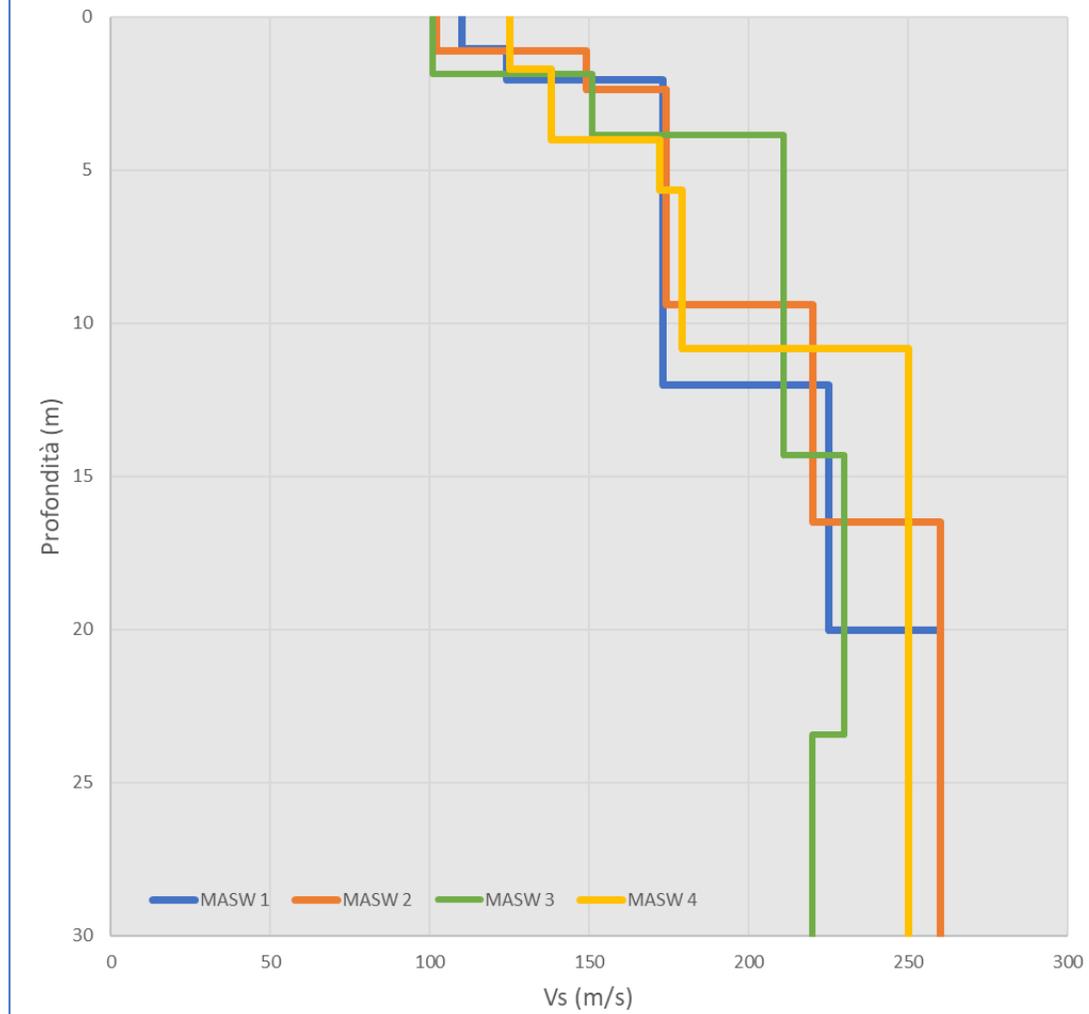


Figura 14: Quadro d'insieme delle prove MASW

2.5 ANALISI DEI RISULTATI

Per ciascuna delle 4 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.

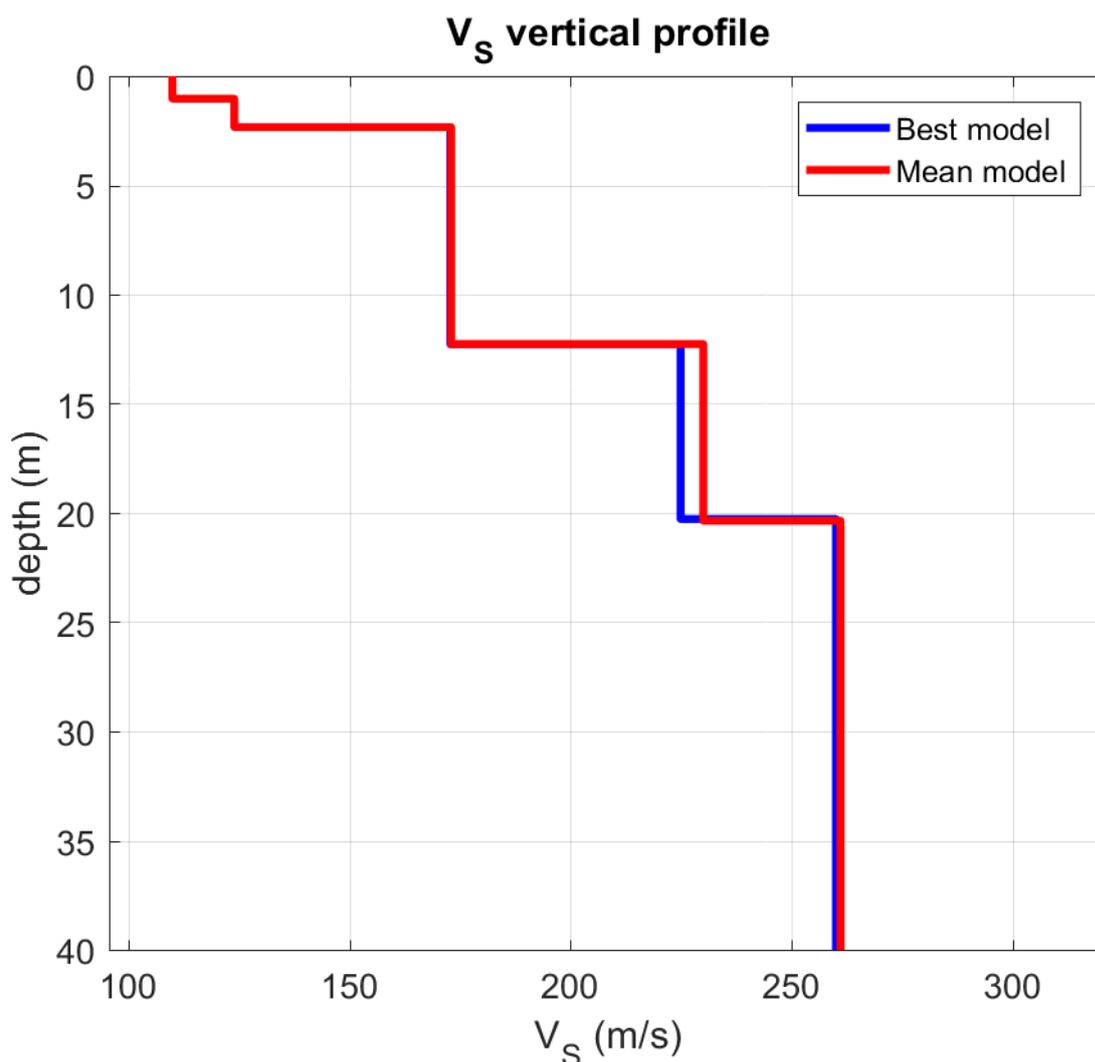


Figura 15: Profilo verticale di velocità delle onde "S" (V_S) - Prova 1

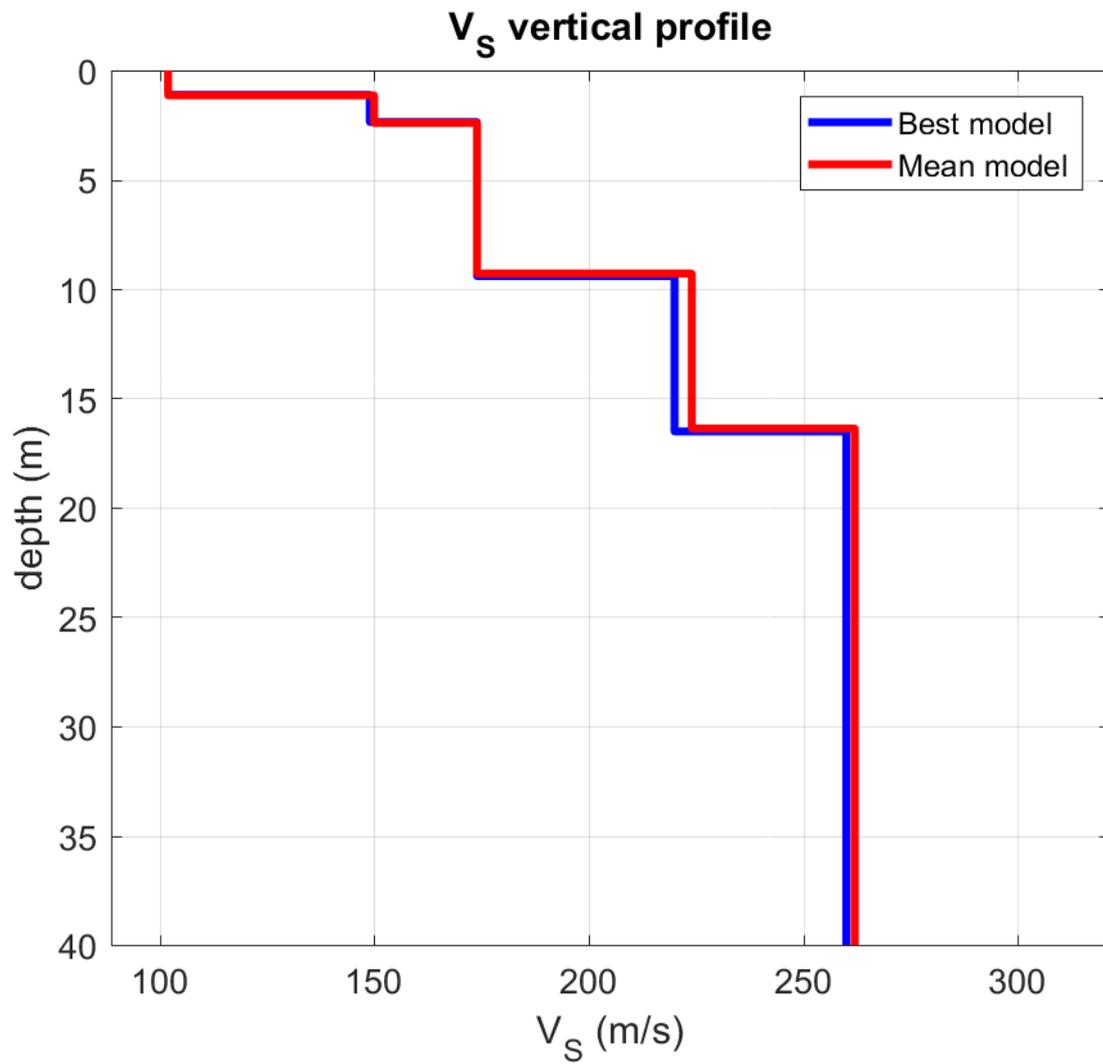


Figura 16: Profilo verticale di velocità delle onde "S" (Vs) - Prova 2

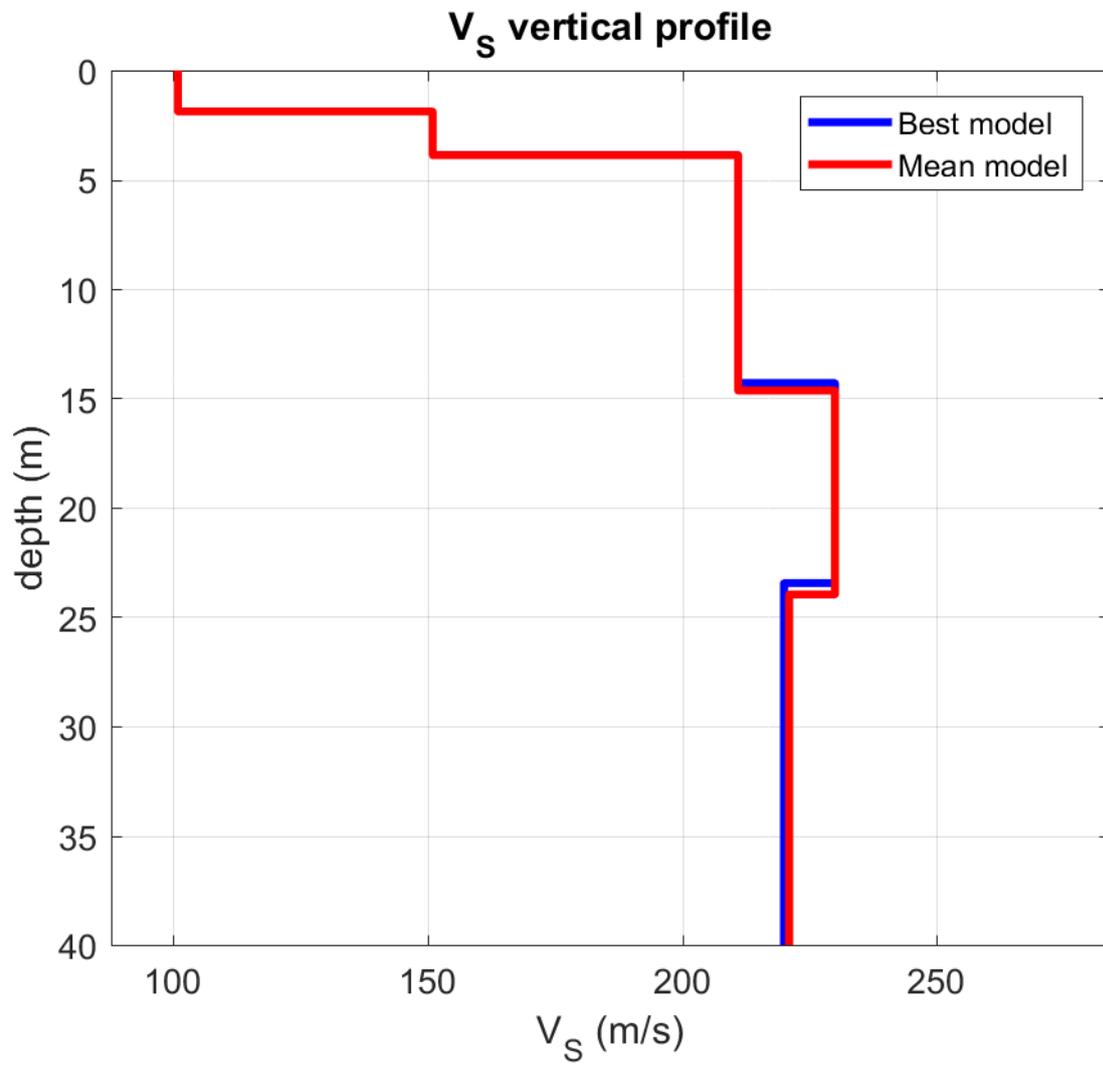


Figura 17: Profilo verticale di velocità delle onde "S" (V_S) - Prova 3

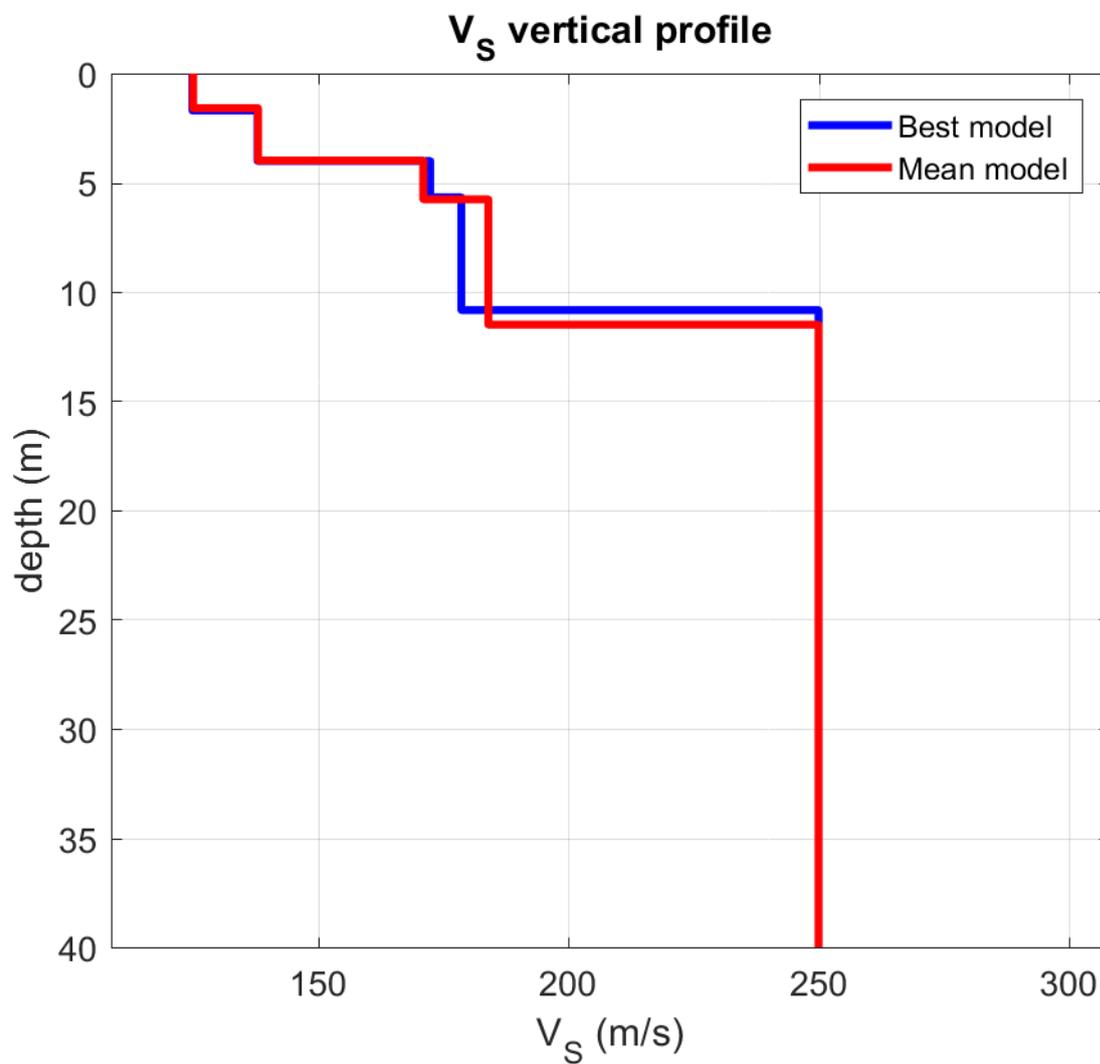


Figura 18: Profilo verticale di velocità delle onde "S" (Vs) - Prova 4

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 $V_{S,eq}$ (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 V_s 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 $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, 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 $V_{S,30}$ 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 V_s relativo a 30 m ma la classificazione del sottosuolo dovrà effettuarsi in base ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (rispetto al piano di imposta) entro lo spessore H del substrato, caratterizzato da V_s non inferiori a 800 m/s: per strati con $V_s \geq 800$ 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 = 200	C
	-1.5 m	Vs30, eq = 210	C
	-2.0 m	Vs30, eq = 213	C
MASW 2	0 m	Vs30, eq = 208	C
	-1.5 m	Vs30, eq = 220	C
	-2.0 m	Vs30, eq = 223	C
MASW 3	0 m	Vs30, eq = 199	C
	-1.5 m	Vs30, eq = 210	C
	-2.0 m	Vs30, eq = 214	C
MASW 4	0 m	Vs30, eq = 206	C
	-1.5 m	Vs30, eq = 215	C
	-2.0 m	Vs30, eq = 218	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 caratteristiche 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 consistenti, 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 consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.	180	360
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.	100	180
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie 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 settembre-dicembre 2020, n. 4 indagini geofisiche mediante il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW, in un'area sita nel settore nord orientale 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;
- Il sismostrato più superficiale ha valori di Vs inferiori a 150 m/s, denotando la presenza di materiale molto allentato. Trattasi di terreni poco compatti di natura litotecnica coesiva. Lo spessore si attesta intorno a 2.5 m negli stendimenti n. 1 e 2, mentre raggiunge i 4 m circa nei profili 3 e 4;
- Oltre i 2.5 – 4.0 m fino a 10.0 – 12.0 m di profondità circa, i valori di velocità aumentano attestandosi mediamente sui 175 m/s per la presenza di litotipi complessivamente più addensati. Nel profilo n. 3 tale incremento appare più netto e marcato dove Vs raggiunge i 210 m/s fino a 14.0 – 15.0 m circa da p.c. L'incremento di velocità con la profondità, è verosimilmente accompagnato da un generale aumento della frazione attritiva costituente anche se la componente coesiva rimane non trascurabile;
- Più in profondità si assiste ad un ulteriore aumento di velocità, con valori di Vs che superano i 220 – 230 m/s indicando litotipi prevalentemente sabbiosi discretamente addensati.
- I valori di Vs eq calcolati entro i primi 30 m rispetto ad un piano fondazionale posto a -1.5 m da p.c., variano da 210 m/s (M1-M3) a 220 m/s (M2) 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 sovrapposto 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 **f₀**.

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:

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

dove:

- **V_s** 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, 29015 – Castel San Giovanni (PC)
- Station Coordinates HVSr 1 = 009°27.6337 E, 45°04.8623 N
- Station Coordinates HVSr 2 = 009°27.5993 E, 45°04.8633 N
- Station Coordinates HVSr 3 = 009°27.7075 E, 45°04.7055 N
- Station Coordinates HVSr 4 = 009°27.8000 E, 45°04.6887 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

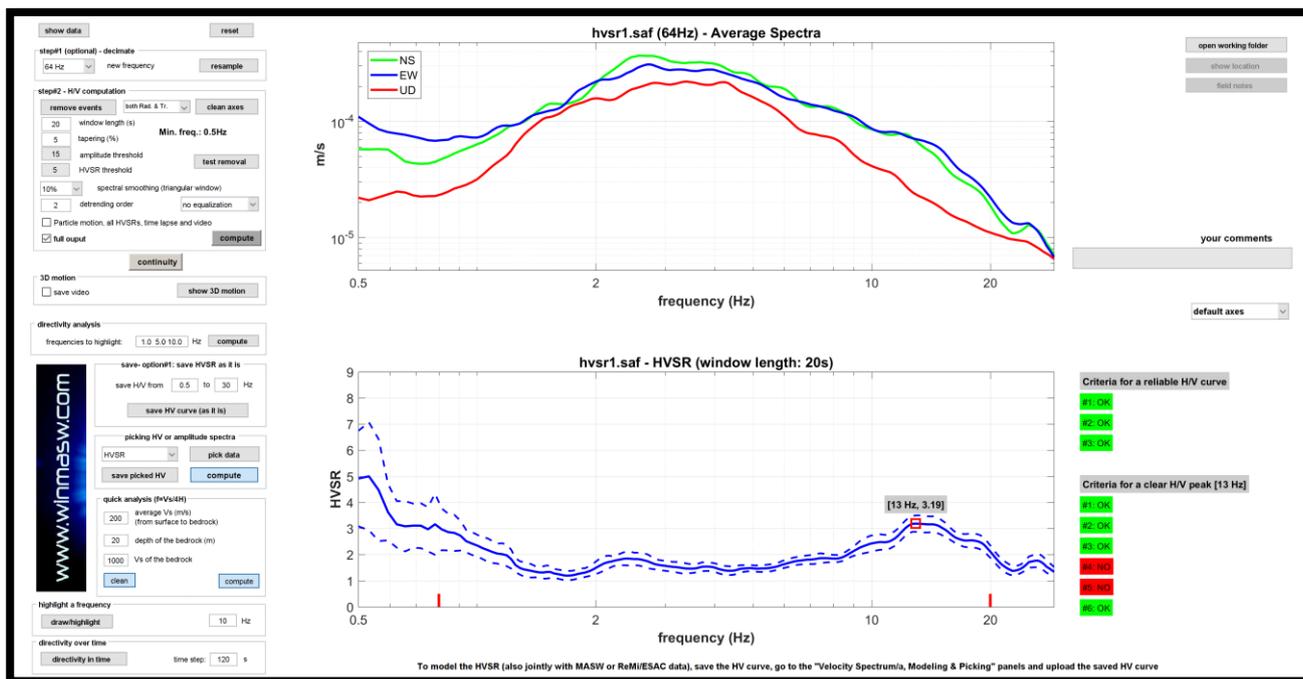


Figura 19: Prova HVSR_1 la riga continua indica il valore medio, le tratteggiate le deviazioni standard

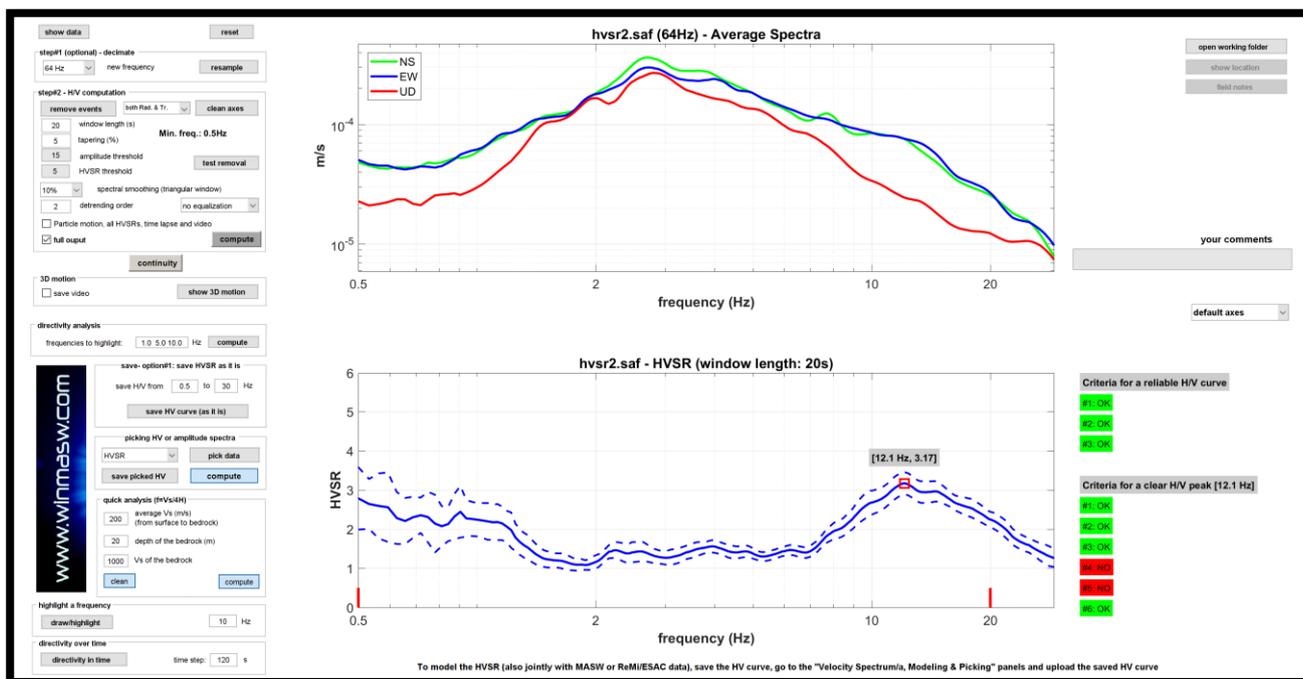


Figura 20: Prova HVSR_2 la riga continua indica il valore medio, le tratteggiate le deviazioni standard

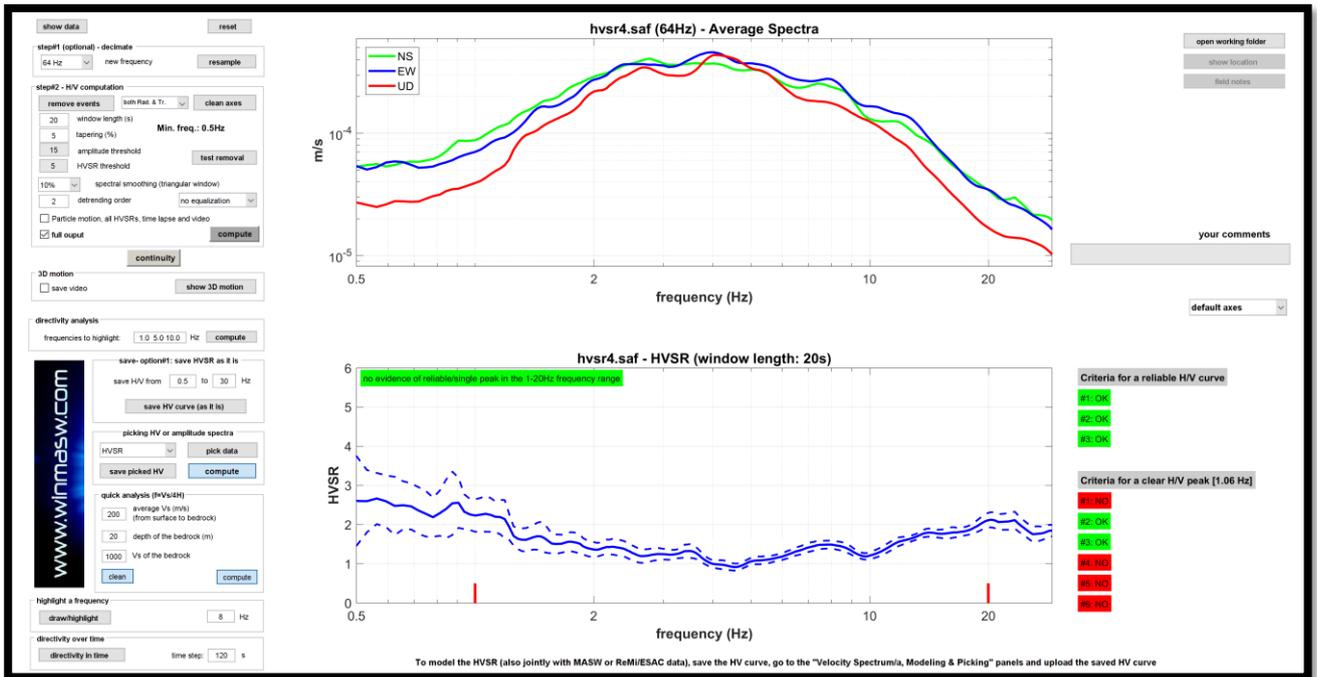


Figura 21: Prova HVSR_3 la riga continua indica il valore medio, le tratteggiate le deviazioni standard

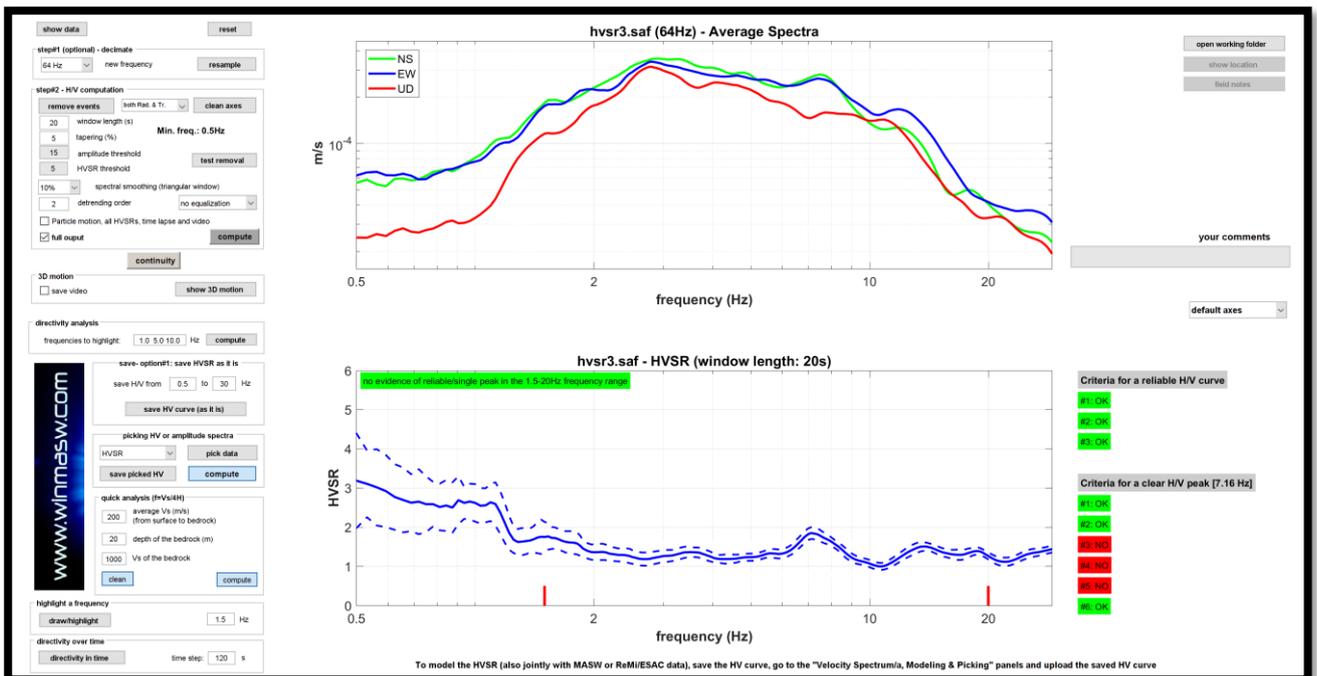


Figura 22: Prova HVSR_4 la riga continua indica il valore medio, le tratteggiate le deviazioni standard

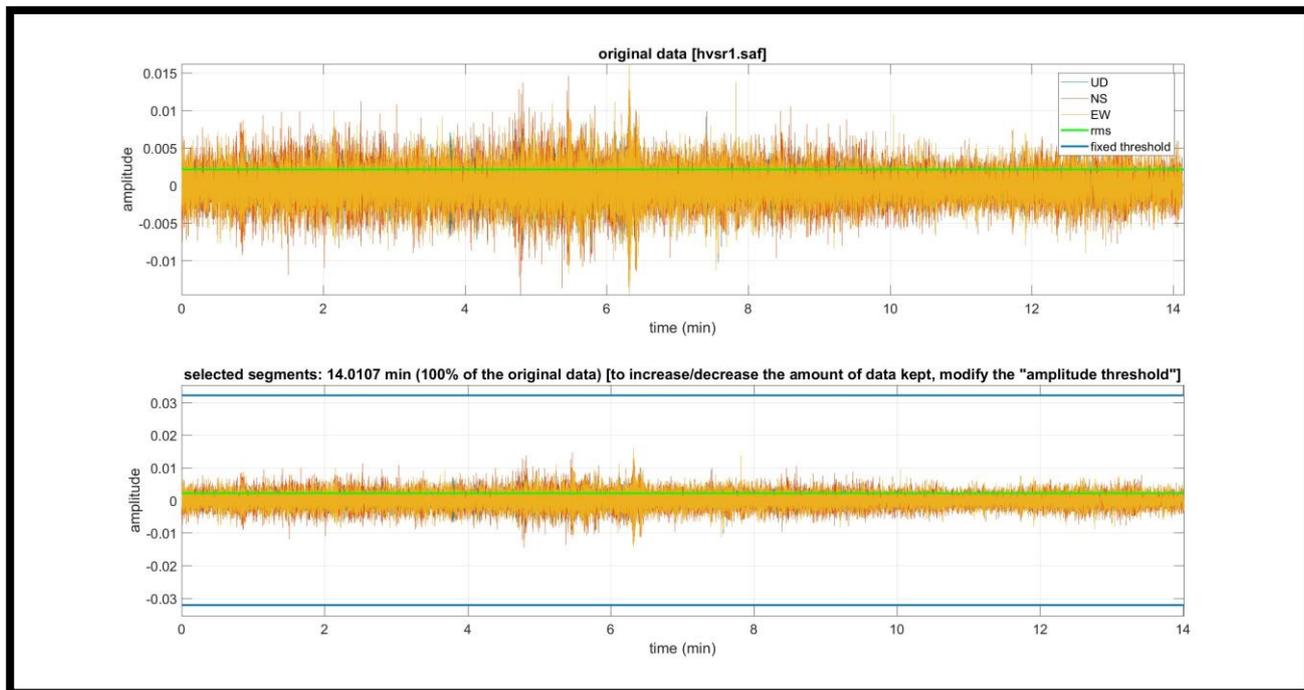


Figura 23: Prova HVSr_1 dati originali e dati "puliti"

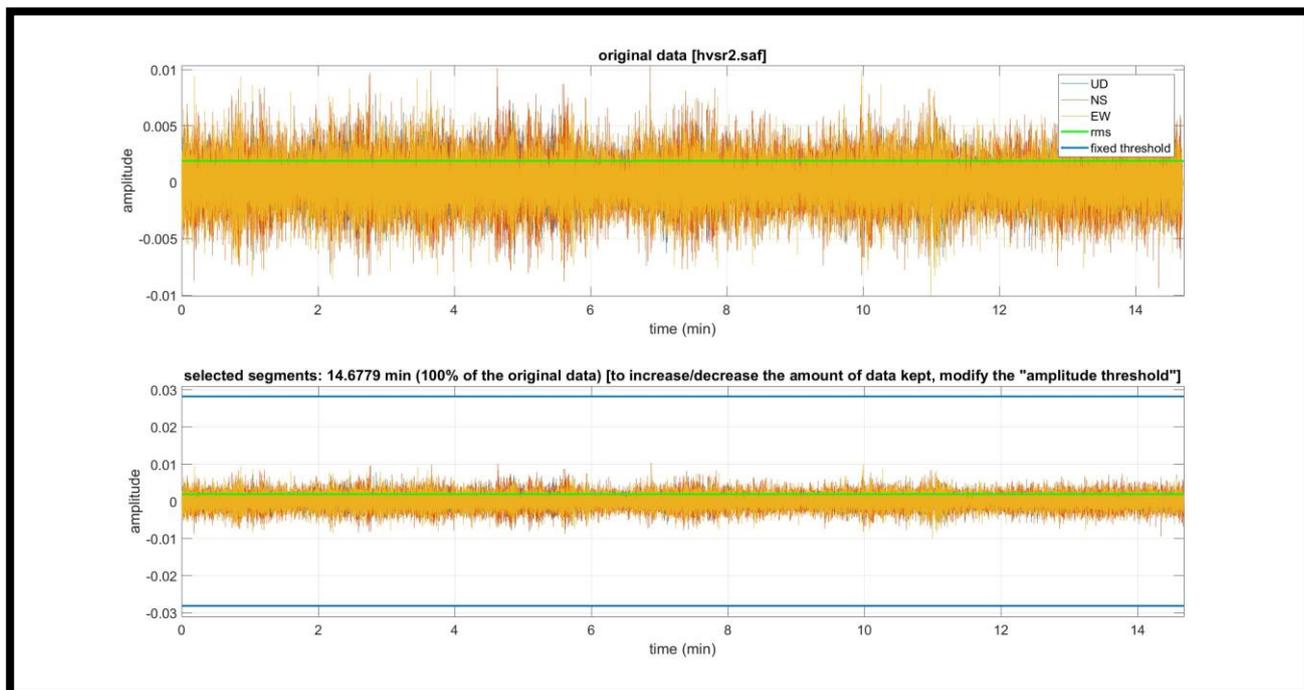


Figura 24: Prova HVSr_2 dati originali e dati "puliti"

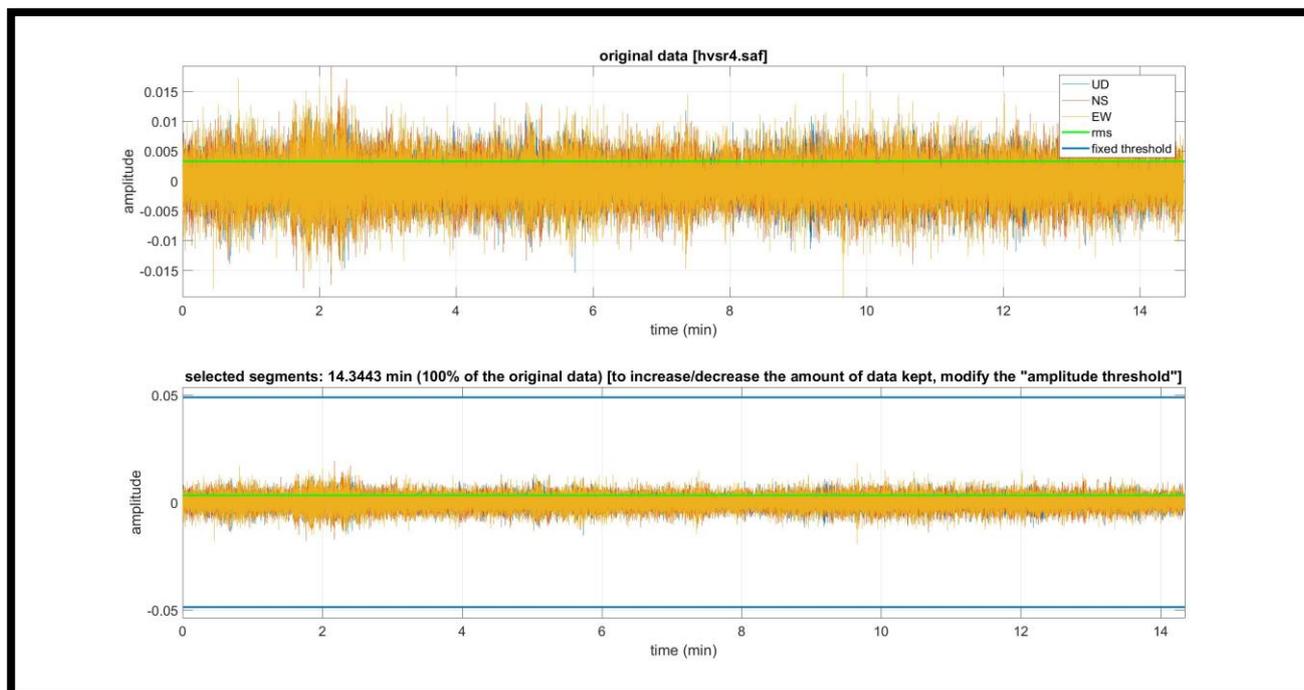


Figura 25: Prova HVSr_3 dati originali e dati "puliti"

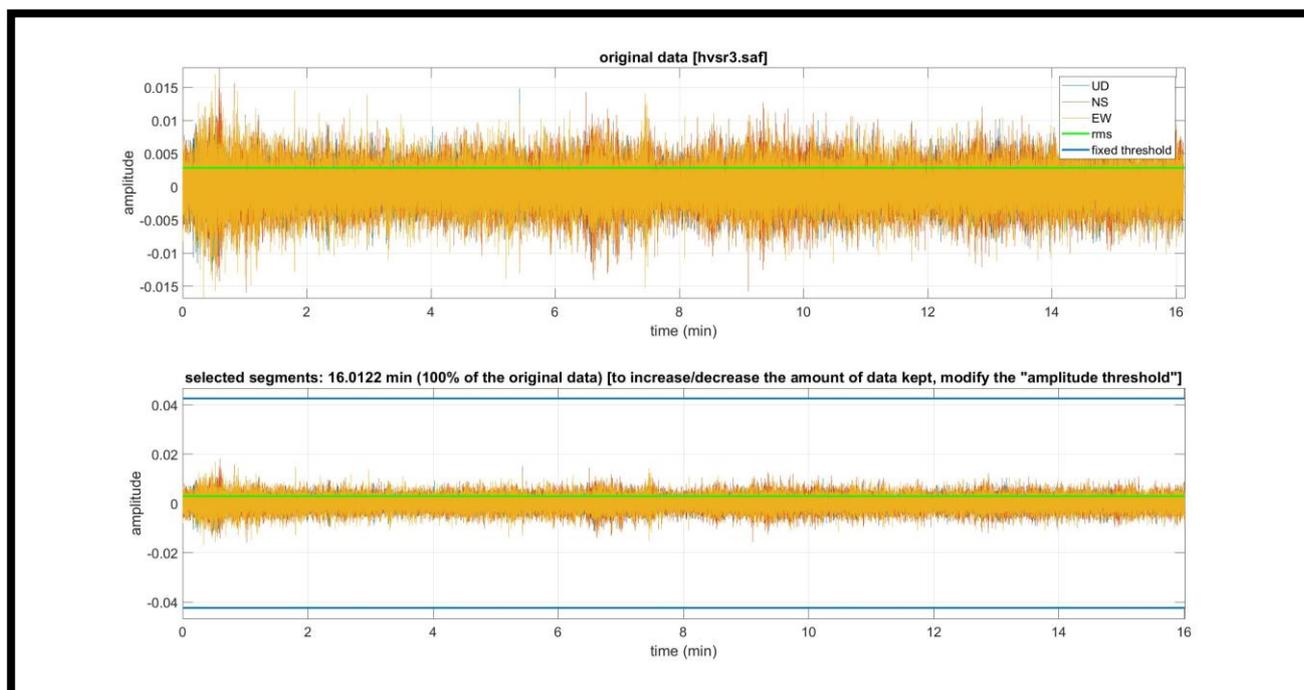


Figura 26: Prova HVSr_4 dati originali e dati "puliti"

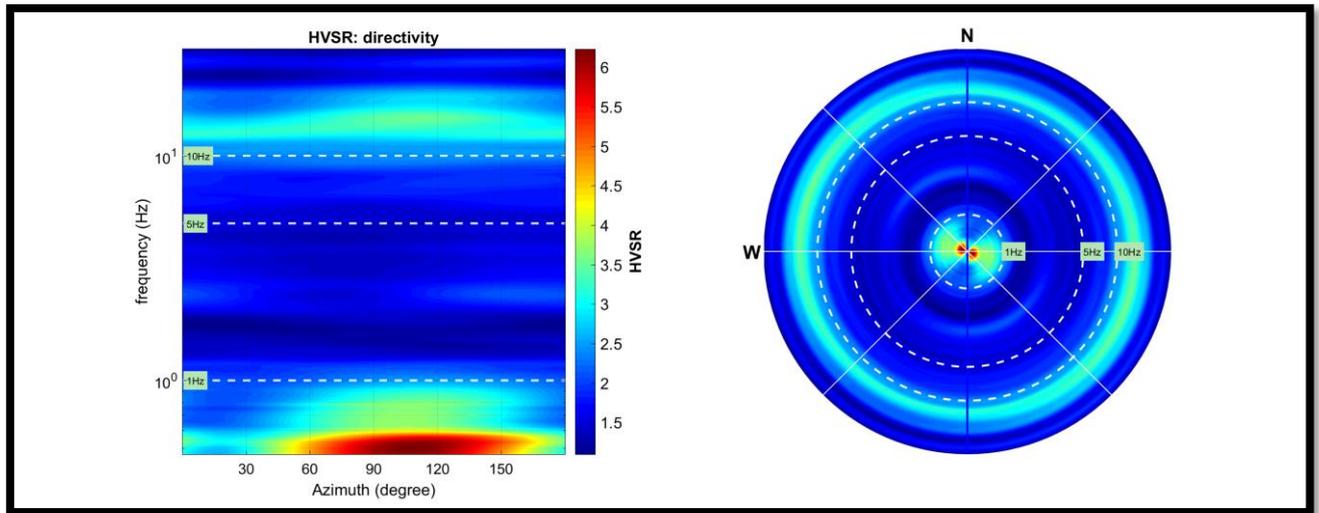


Figura 27: Prova HVSr_1 directivity

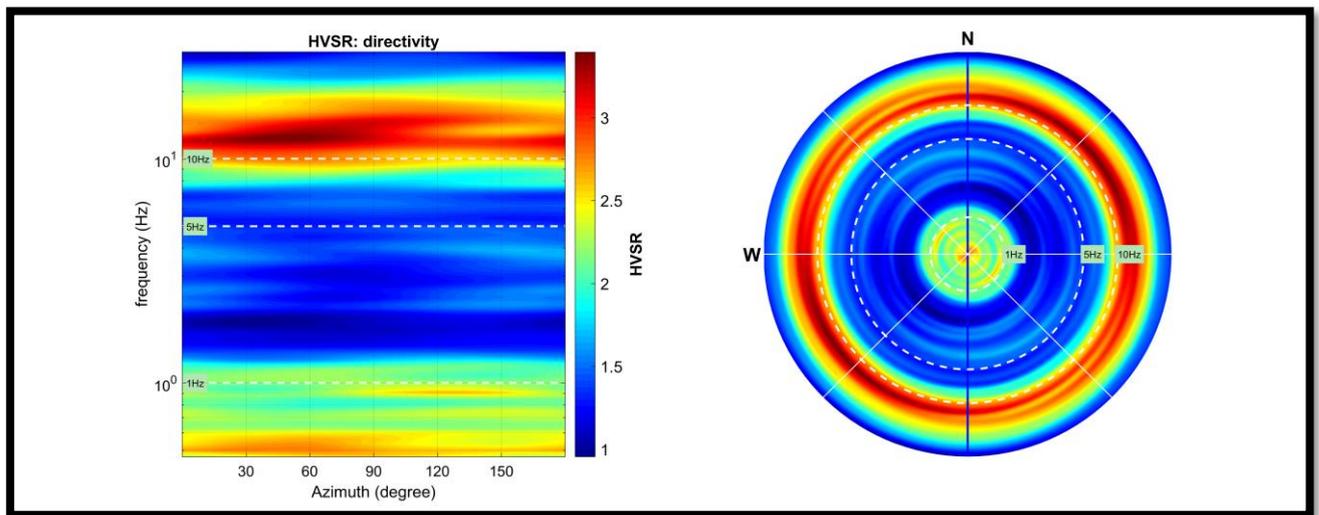


Figura 28: Prova HVSr_2 directivity

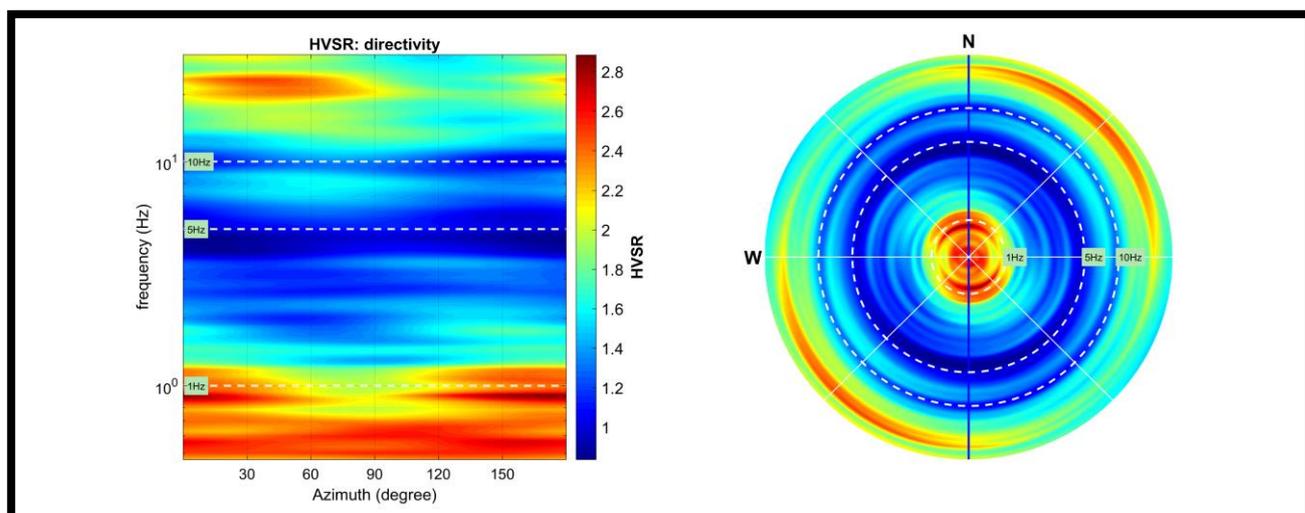


Figura 29: Prova HVSr_3 directivity

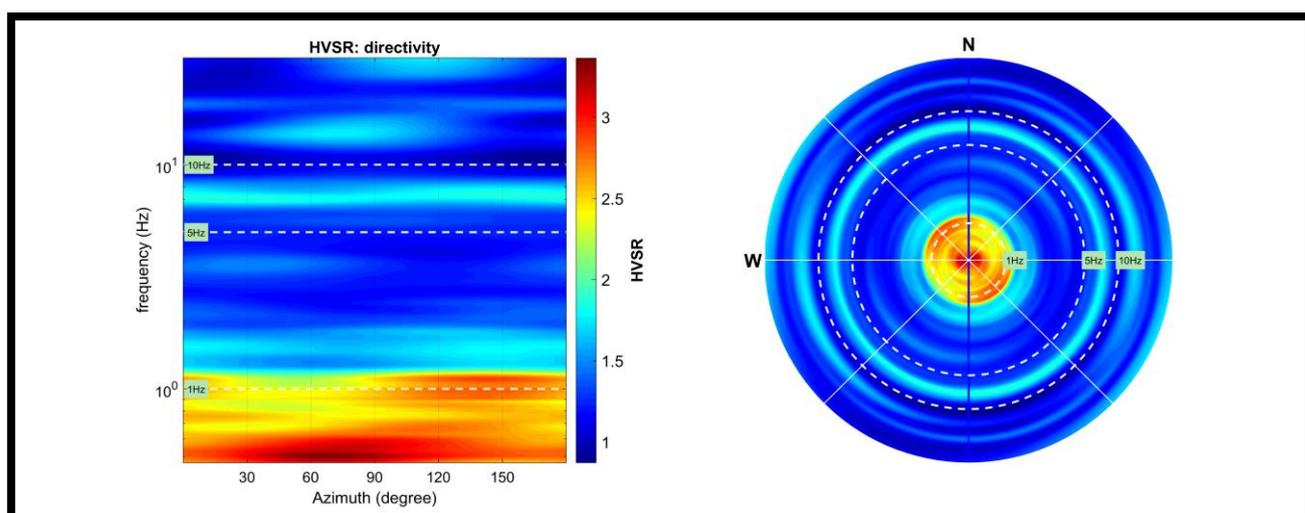


Figura 30: Prova HVSr_4 directivity

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

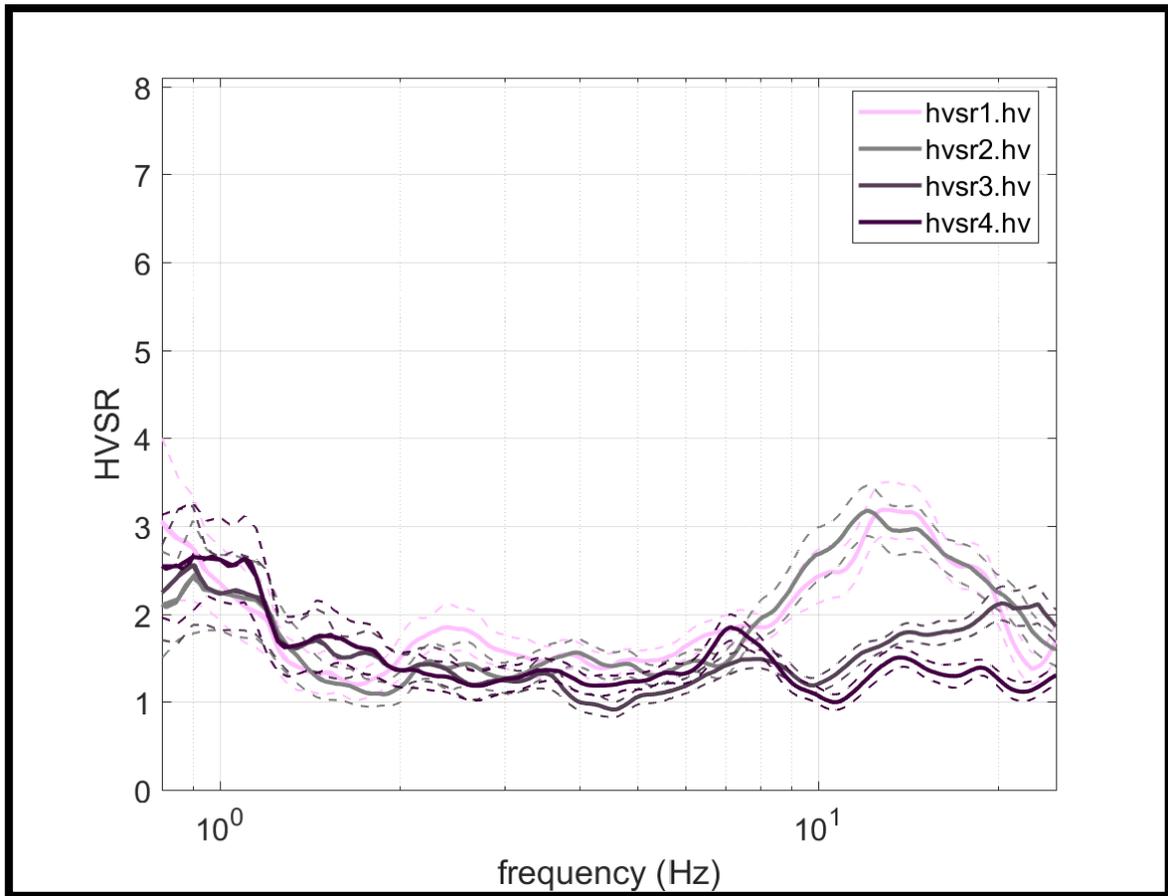


Figura 31: Quadro d'insieme delle prove HVSR

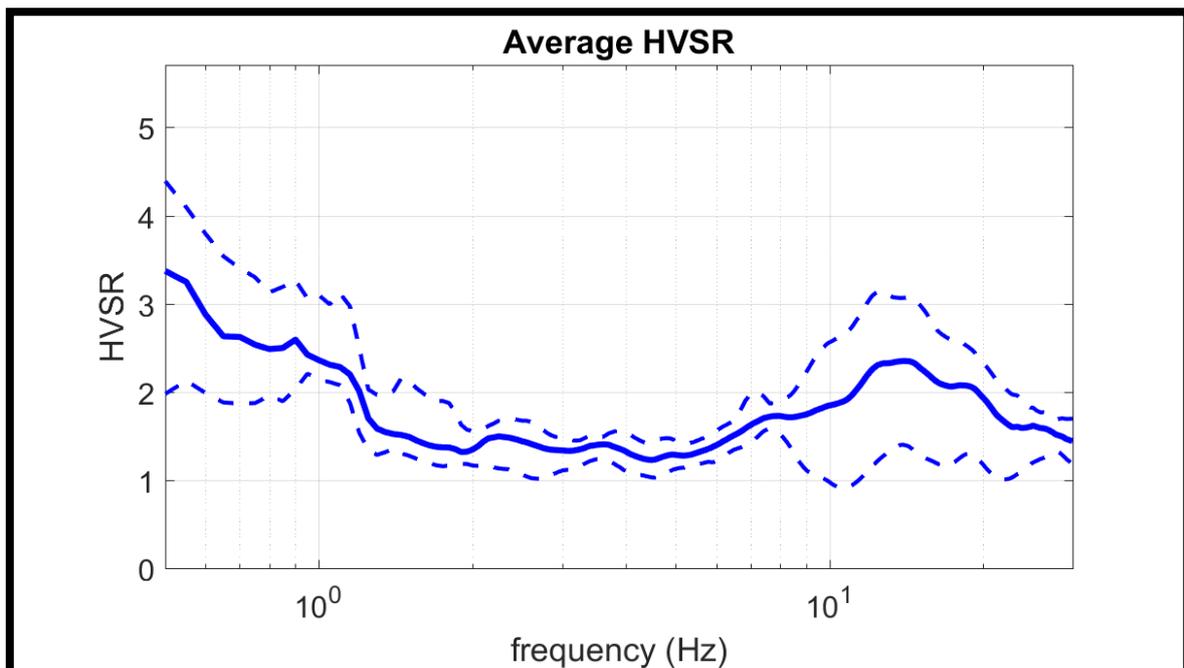


Figura 32: Average HVSR

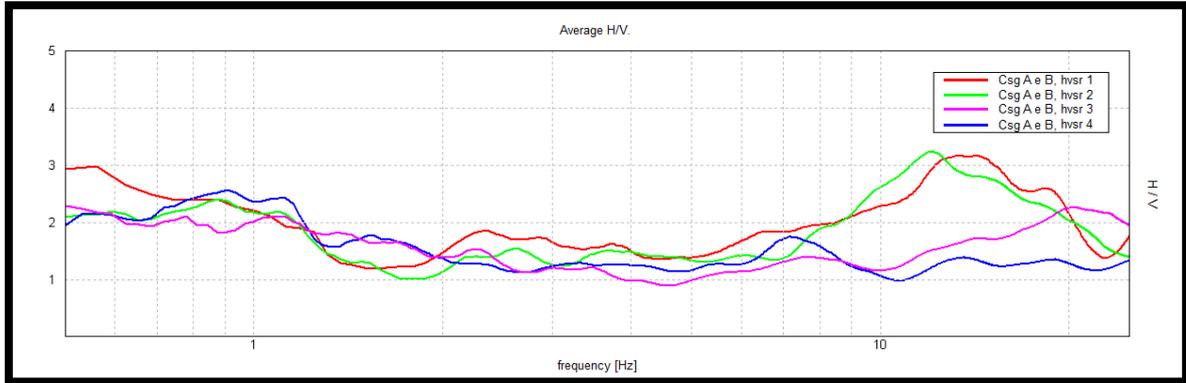


Figura 33: Quadro d'insieme delle prove HVSR - "Grilla"

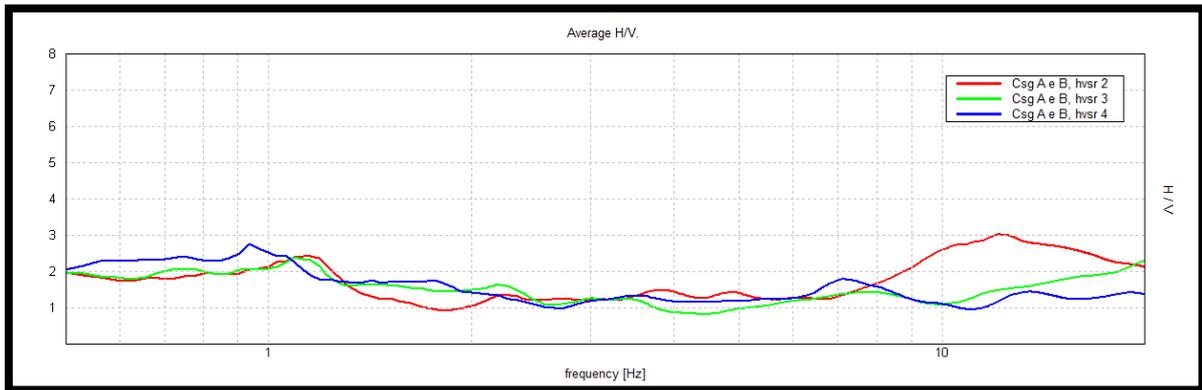


Figura 34: Quadro d'insieme delle prove HVSR - "Grilla"

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 V_s mediante inversione della prova HVSR

Si precisa che il profilo di velocità ottenuto, costituisce una stima qualitativa ed approssimativa. I valori di V_s 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 V_s , 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 V_s con la profondità dal quale ricavare il valore di V_{s_eq} attraverso la media ponderata del contributo dei vari orizzonti.

CSG A E B, HVSR 1

Instrument: TEB-0510/01-19

Data format: 32 byte

Full scale [mV]: 89

Start recording: 02/09/20 10:17:02 End recording: 02/09/20 10:33:02

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS location: 009°27.6337 E, 45°04.8623 N (31.6 m)

(UTC time synchronized to the first recording sample): not available in this acquisition mode + 0 + 0 samples

Satellite no.: 6

Trace length: 0h16'00". Analyzed 44% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

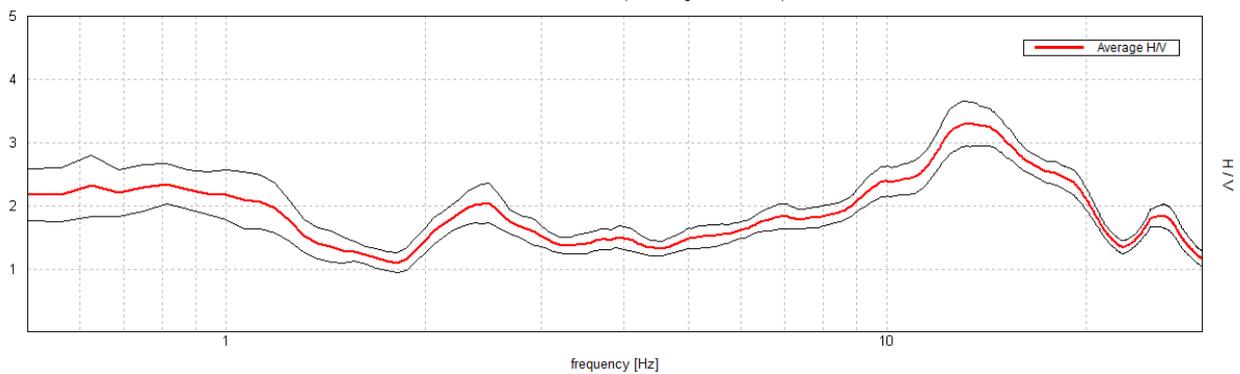
Window size: 15 s

Smoothing type: Triangular window

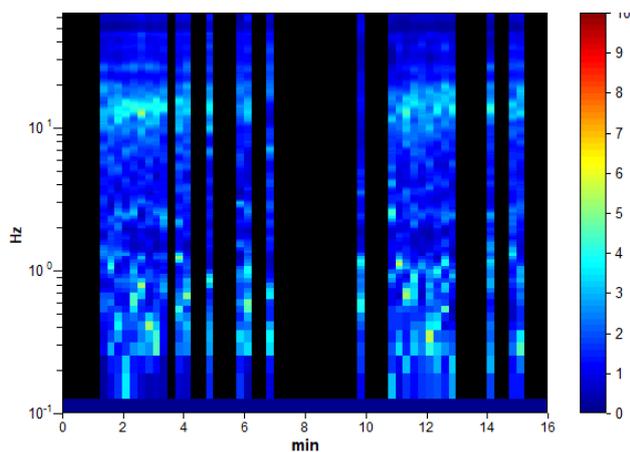
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

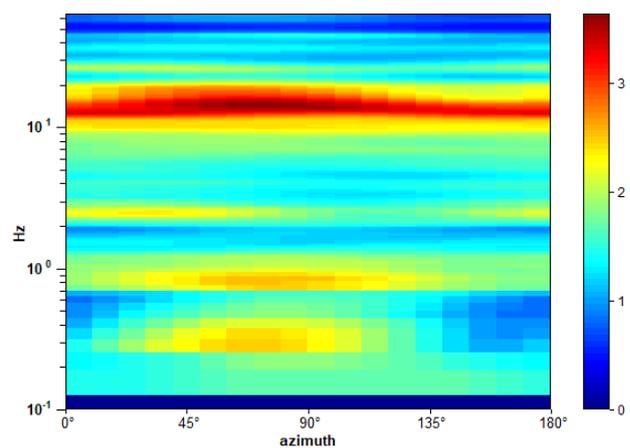
Max. H/V at 13.13 ± 0.22 Hz. (In the range 0.0 - 30.0 Hz).



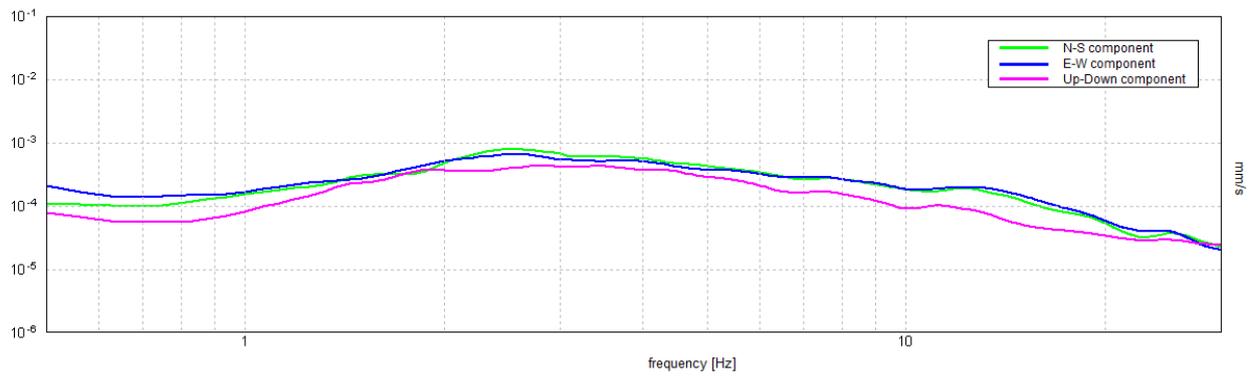
H/V TIME HISTORY



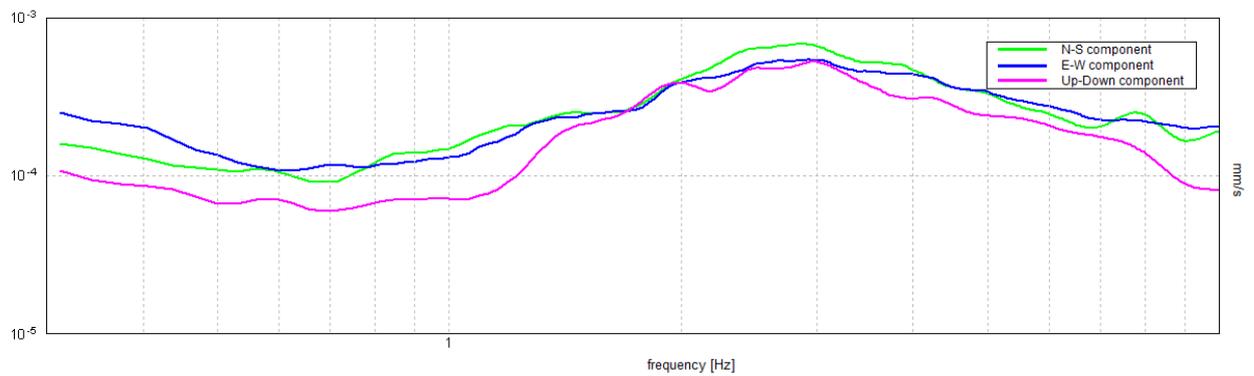
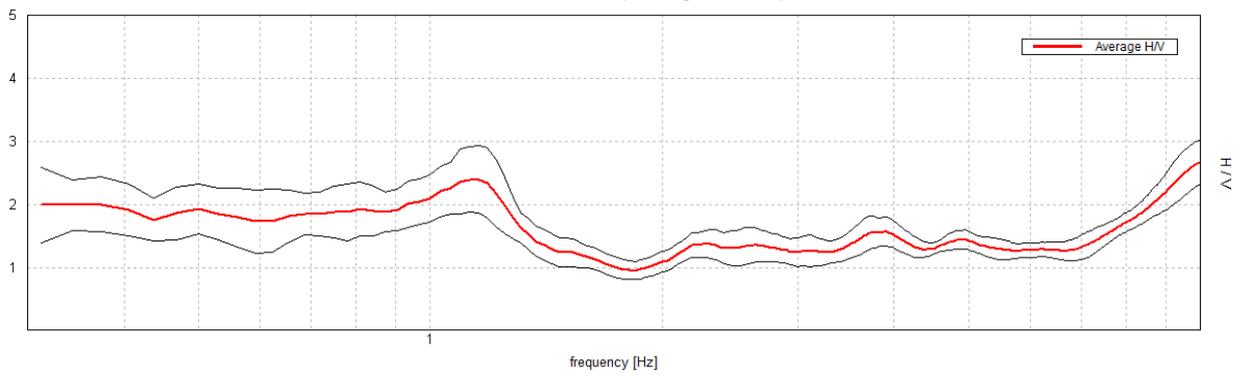
DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



Max. H/V at 12.19 ± 6.19 Hz. (In the range 0.0 - 25.0 Hz).



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

Max. H/V at 13.13 ± 0.22 Hz (in the range 0.0 - 30.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	13.13 > 0.67	OK	
$n_c(f_0) > 200$	5512.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 316 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	6.125 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	21.25 Hz	OK	
$A_0 > 2$	3.29 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01703 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.22348 < 0.65625$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.356 < 1.58$	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
$\sigma_{\log H/V}(f)$	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 $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

CSG A E B, HVSR 2

Instrument: TEB-0510/01-19

Data format: 32 byte

Full scale [mV]: 89

Start recording: 02/09/20 09:59:01 End recording: 02/09/20 10:15:01

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS location: 009°27.5993 E, 45°04.8633 N (38.9 m)

(UTC time synchronized to the first recording sample): not available in this acquisition mode + 0 + 0 samples

Satellite no.: 8

Trace length: 0h16'00". Analyzed 60% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

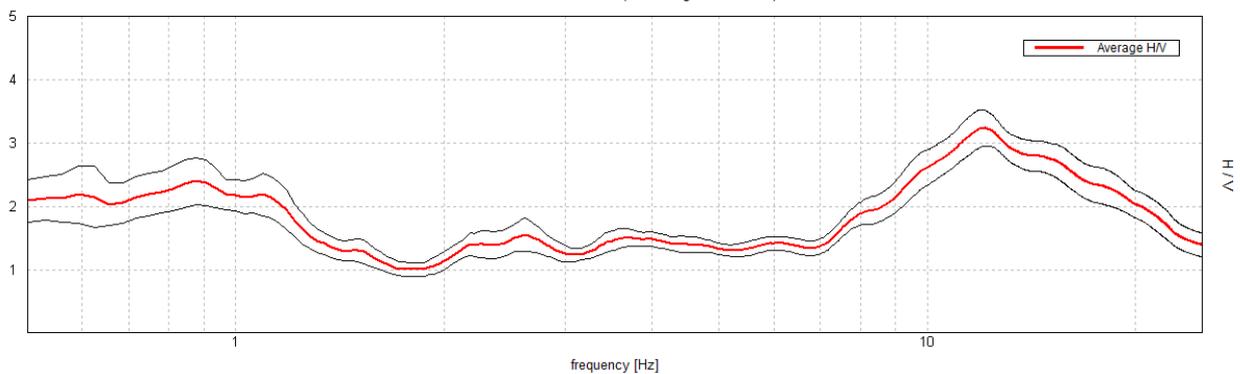
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

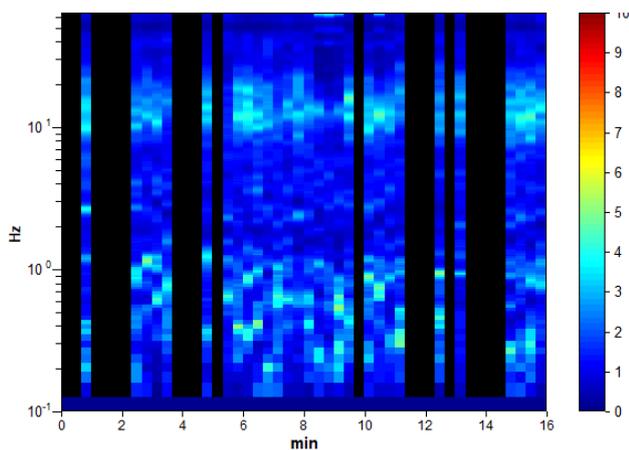
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

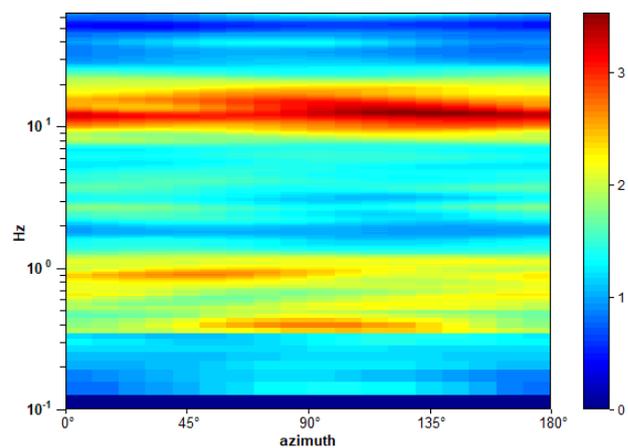
Max. H/V at 2.63 ± 0.01 Hz. (In the range 1.5 - 5.0 Hz).



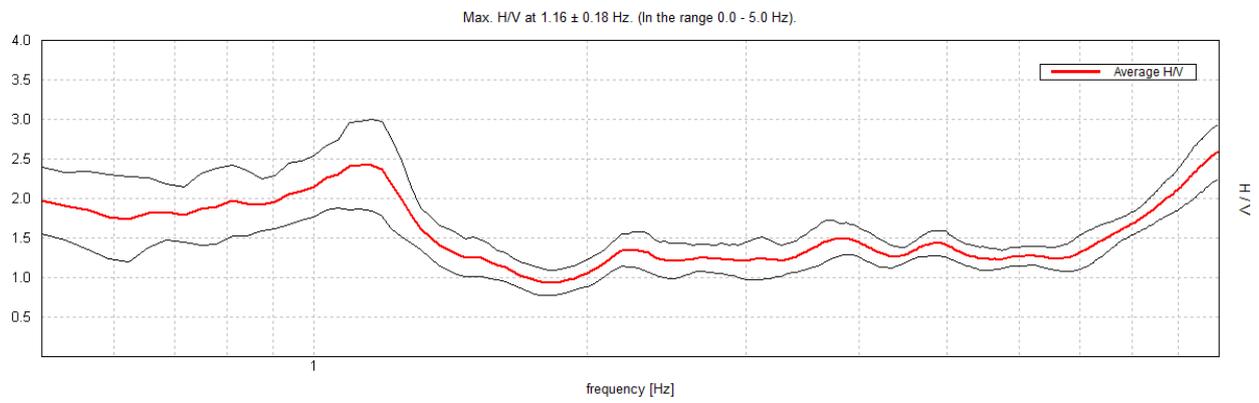
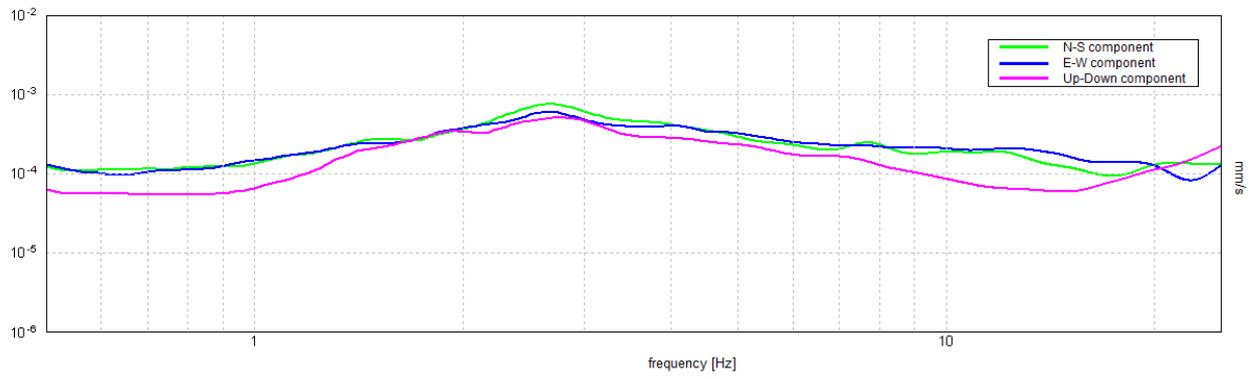
H/V TIME HISTORY



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 2.63 ± 0.01 Hz (in the range 1.5 - 5.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	2.63 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	1522.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 127 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
$A_0 > 2$	1.55 > 2		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.00221 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0058 < 0.13125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2596 < 1.58$	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
$\sigma_{\log H/V}(f)$	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 $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

CSG A E B, HVSR 3

Instrument: TEB-0510/01-19

Data format: 32 byte

Full scale [mV]: 89

Start recording: 02/09/20 08:56:03 End recording: 02/09/20 09:16:03

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS location: 009°27.7075 E, 45°04.7055 N (59.5 m)

(UTC time synchronized to the first recording sample): not available in this acquisition mode + 0 + 0 samples

Satellite no.: 7

Trace length: 0h20'00". Analyzed 62% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

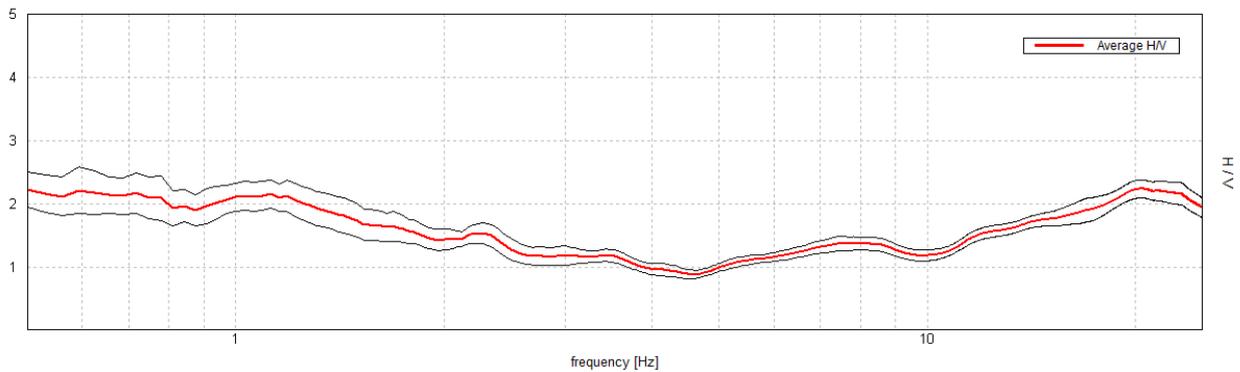
Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

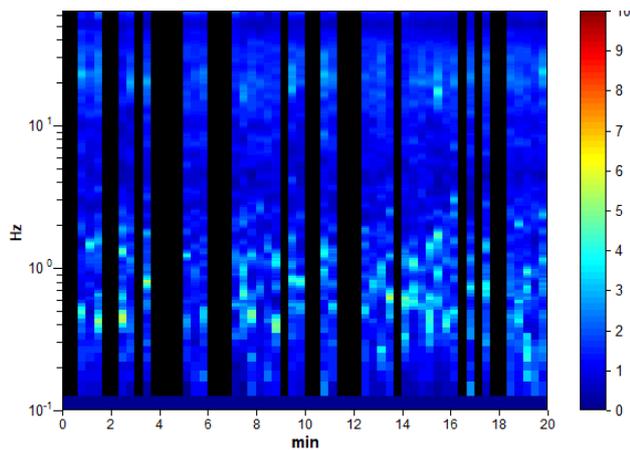
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

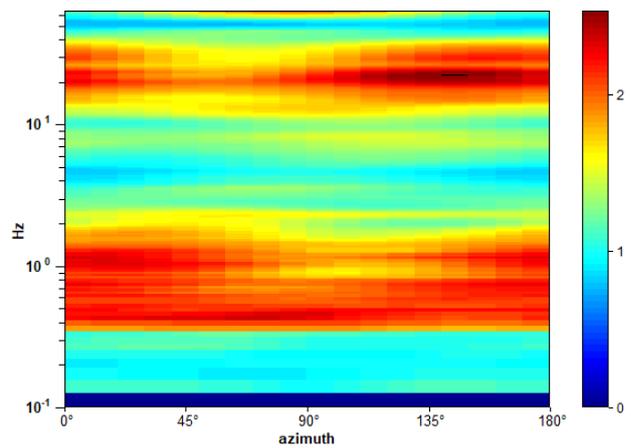
Max. H/V at 20.31 ± 14.43 Hz. (In the range 1.0 - 25.0 Hz).



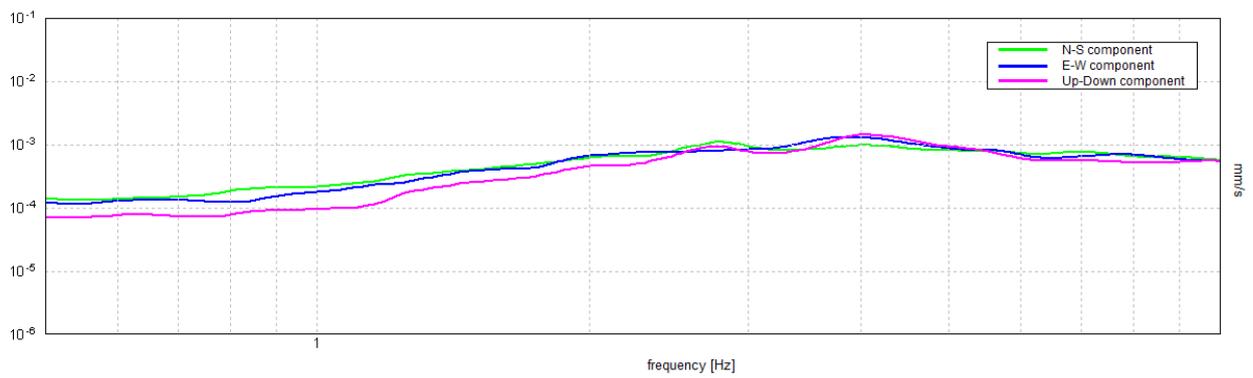
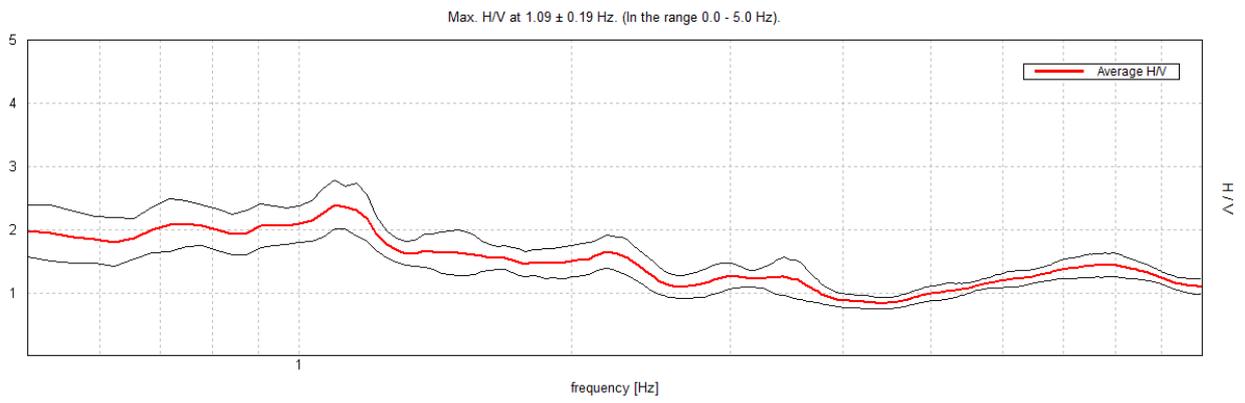
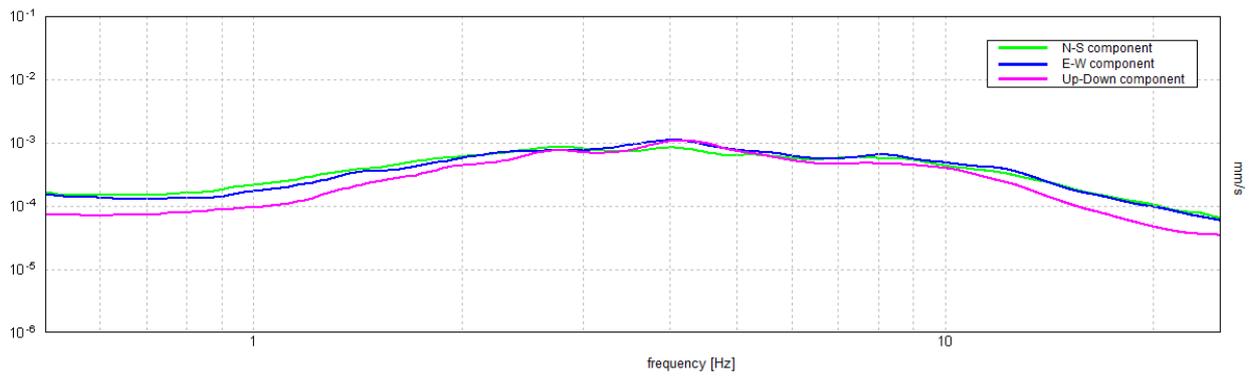
H/V TIME HISTORY



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 20.31 ± 14.43 Hz (in the range 1.0 - 25.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	20.31 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	15031.3 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 976 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	5.594 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	45.625 Hz	OK	
$A_0 > 2$	2.23 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.7105 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	14.43198 < 1.01563		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1416 < 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
$\sigma_{\log H/V}(f)$	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 $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

CSG A E B, HVSR 4

Instrument: TEB-0510/01-19

Data format: 32 byte

Full scale [mV]: 89

Start recording: 02/09/20 08:24:40 End recording: 02/09/20 08:44:40

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS location: 009°27.8000 E, 45°04.6887 N (42.1 m)

(UTC time synchronized to the first recording sample): not available in this acquisition mode + 0 + 0 samples

Satellite no.: 8

Trace length: 0h20'00". Analyzed 55% trace (manual window selection)

Sampling rate: 128 Hz

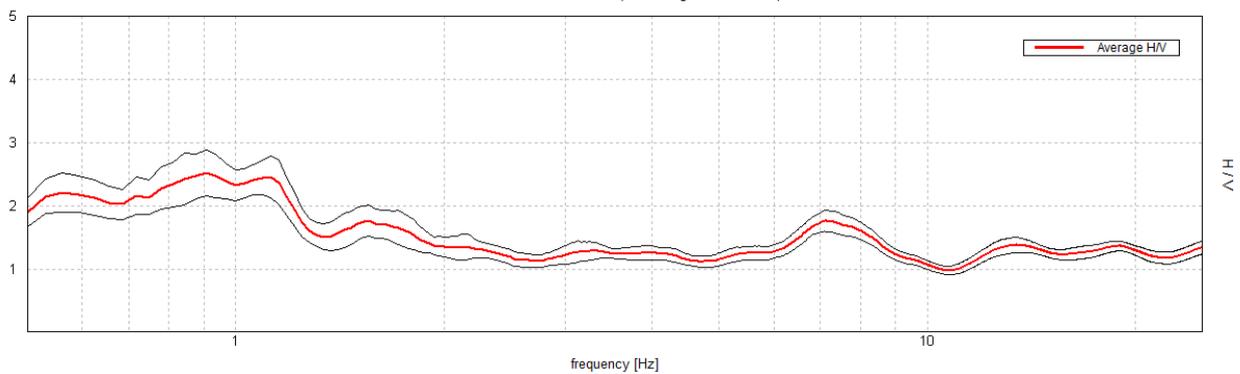
Window size: 18 s

Smoothing type: Triangular window

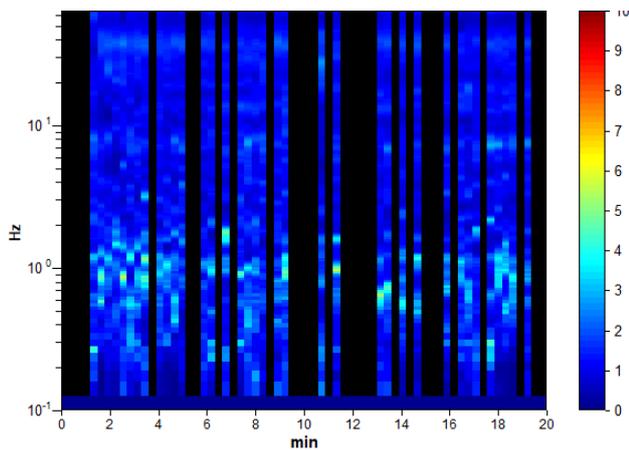
Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

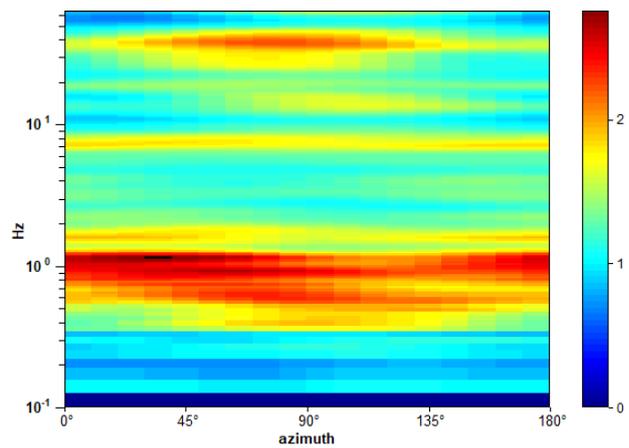
Max. H/V at 7.09 ± 0.57 Hz. (In the range 5.0 - 10.0 Hz).



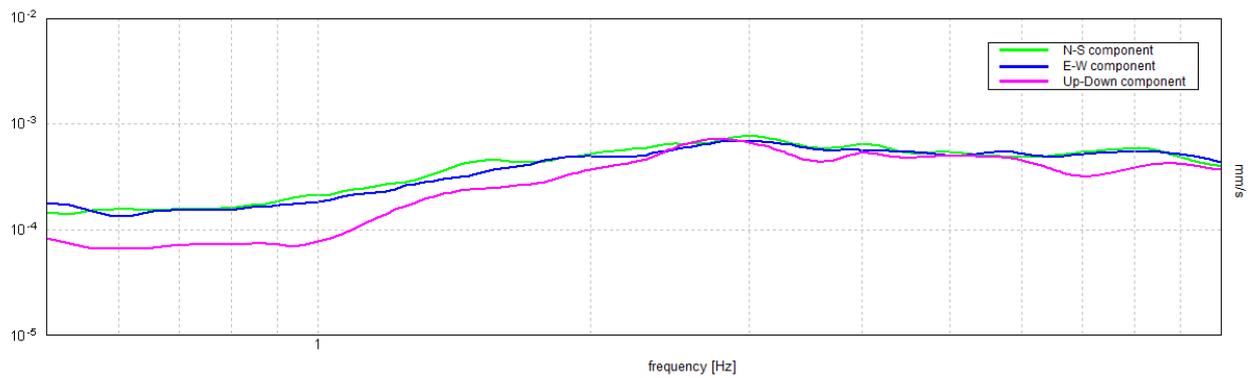
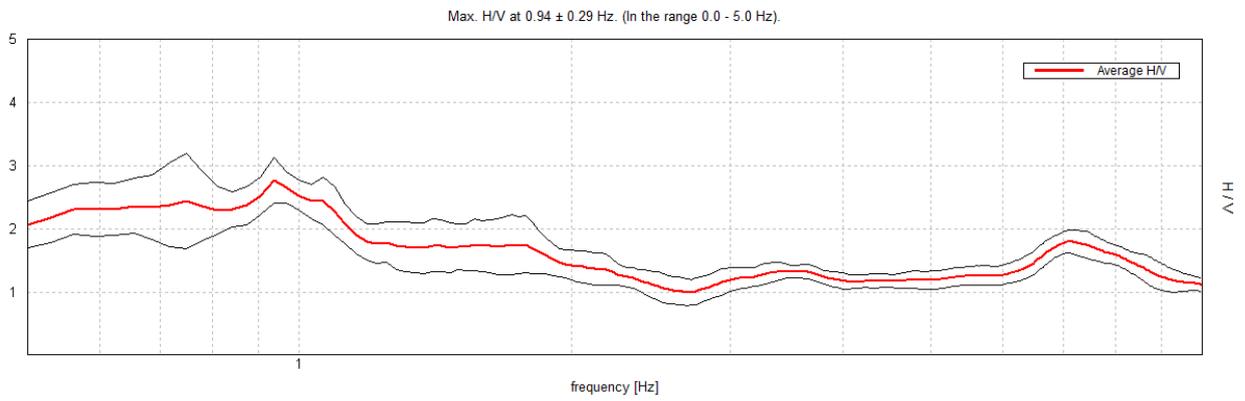
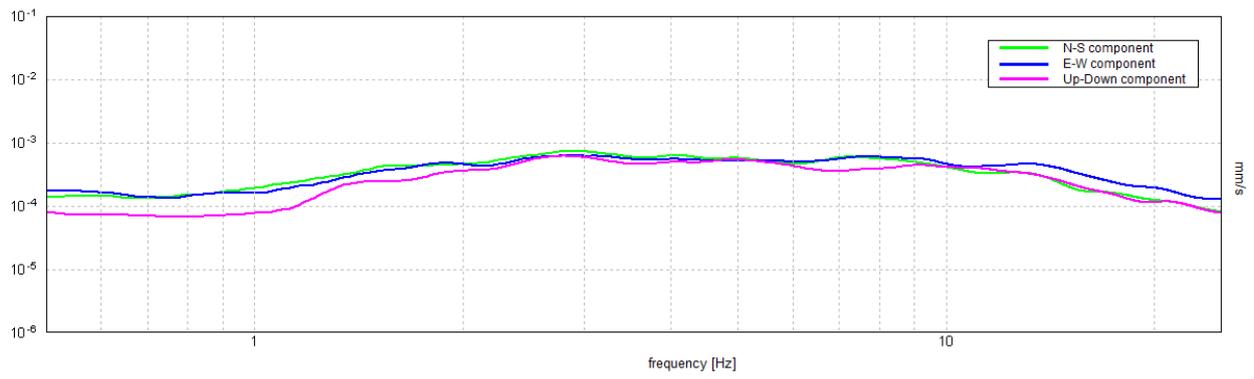
H/V TIME HISTORY



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 7.09 ± 0.57 Hz (in the range 5.0 - 10.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$7.09 > 0.56$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$4596.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 342 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
$A_0 > 2$	$1.76 > 2$		NO
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.08085 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.57353 < 0.35469$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.163 < 1.58$	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
$\sigma_{\log H/V}(f)$	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 $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	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;
- Nelle prove HVSr 1 e HVSr 2, si registra un picco significativo (valore di **3.2**), per frequenze di **12 – 13 Hz**, associabile ad un contrasto d'impedenza sismica rilevante piuttosto superficiale. Verosimilmente possiamo collocare tale passaggio fra i 2.5 e i 3 m di profondità circa, in corrispondenza del passaggio fra i materiali più fini allentati ed i sottostanti depositi complessivamente più compatti. Un altro picco di maggior interesse ingegneristico ma non particolarmente rilevante in termini di intensità (inferiore a 2), si rileva per valori di frequenza pari a circa 2.3-2.5 Hz, testimoniando un contrasto d'impedenza sismica più profondo (verosimilmente intorno a 12/15 m circa);
- Le registrazioni HVSr 3 e HVSr 4 rilevano una frequenza di risonanza, anche se non particolarmente significativa (valori inferiori a due), intorno a 7-8 Hz, definendo un più sviluppato orizzonte allentato superficiale;
- In tutte e quattro le prove condotte, la frequenza di vibrazione fondamentale dell'area, è stata individuata intorno a 0.95-1.2 Hz. Il contrasto d'impedenza sismica nella successione litostratigrafica può considerarsi significativo in quanto il valore di picco si attesta intorno a 2.5. Come prima interpretazione possiamo collocare tale passaggio intorno ai 40-50 m di profondità circa, in corrispondenza di materiale complessivamente più grossolano e compatto.

Trevozzo, 09 dicembre 2020

Geotest s.r.l.



Dott. Geol. Adriano Baldini



Dott. Geol. Sara Bozzini

Allegato 3

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 due edifici ("edificio A" ed "edificio B") (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 $\leq 15^\circ$ 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 cavità 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 (a_g), su substrato rigido ($V_s > 800$ 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.

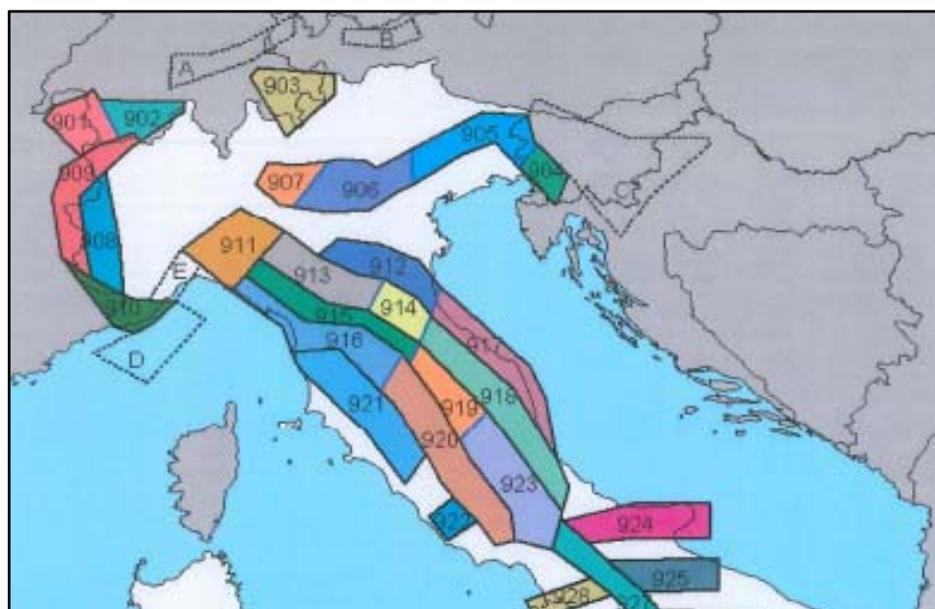


Figura 2 - Zonazione sismogenetica ZS9; le diverse zone sono individuate da un numero.

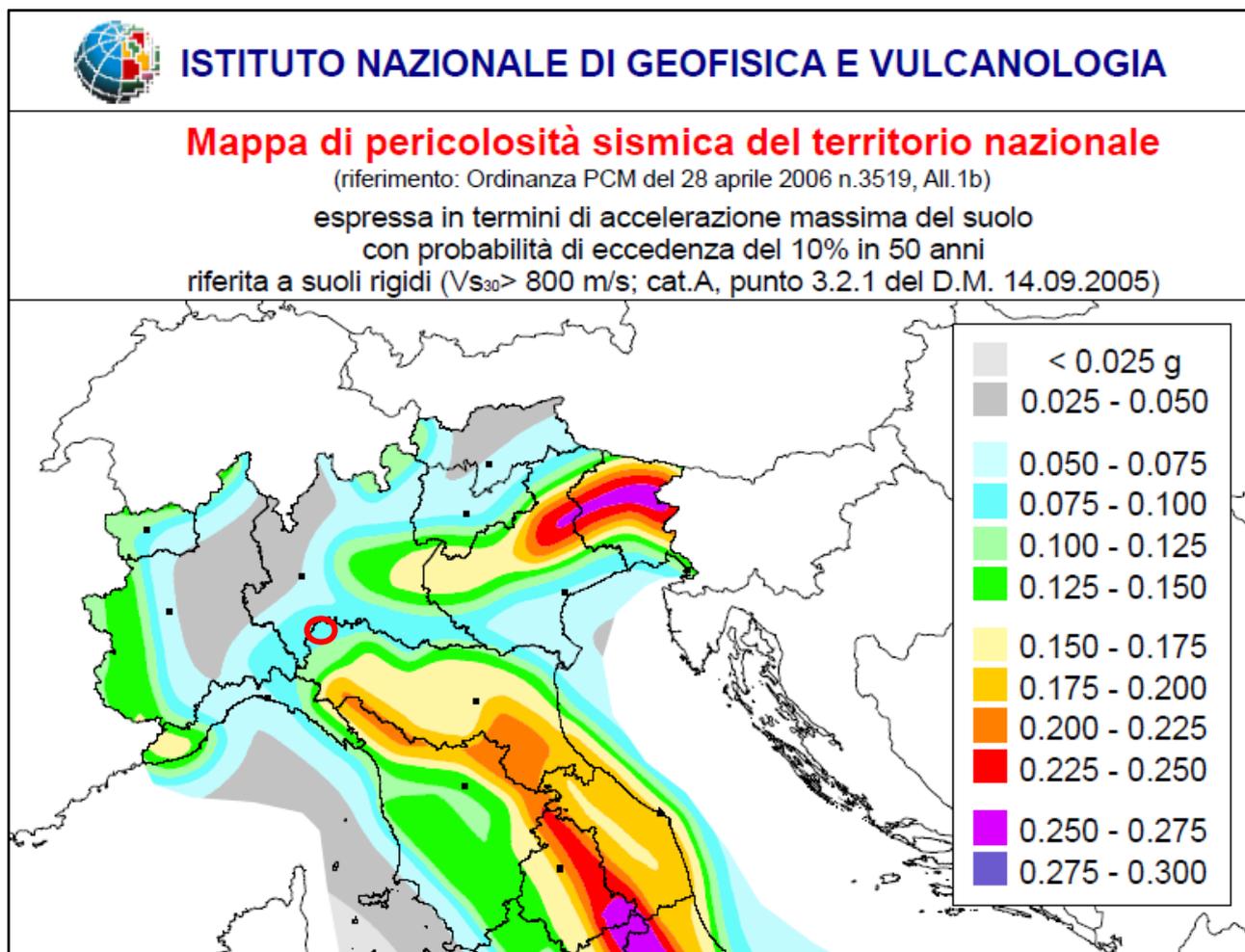
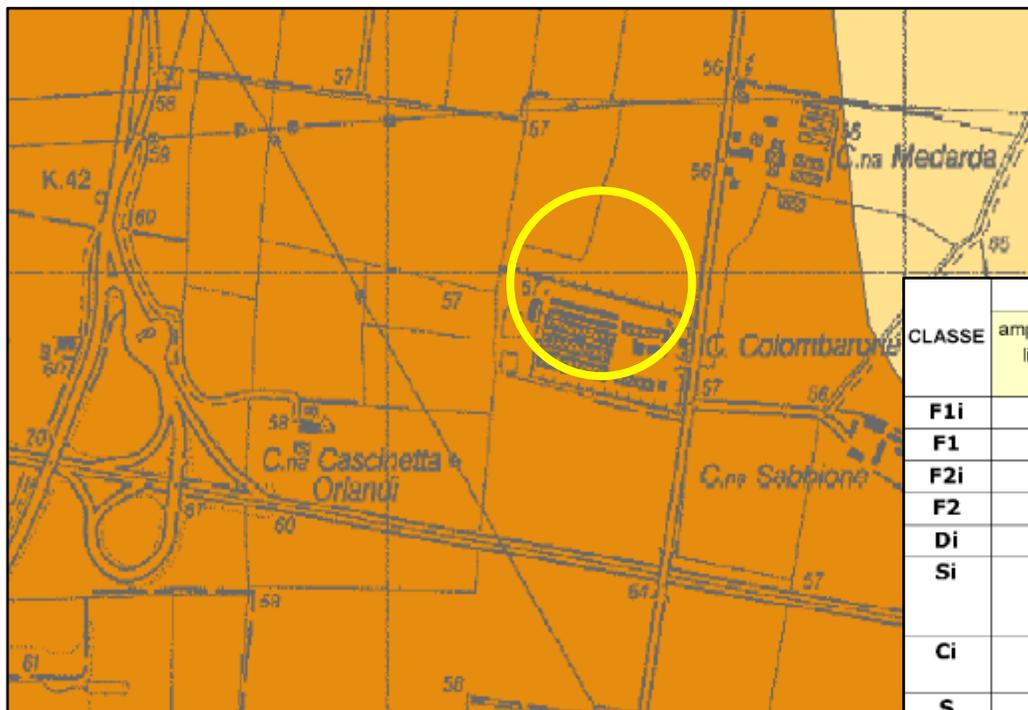


Figura 3 - Mapa della pericolosità sismica del territorio nazionale (il cerchio rosso indica l'area esaminata).

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 Substema 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. 4 prove Masw (Multichannel Analysis of Surface Waves);
- n. 4 prove HVSr (Microtremori tipo Nakamura).

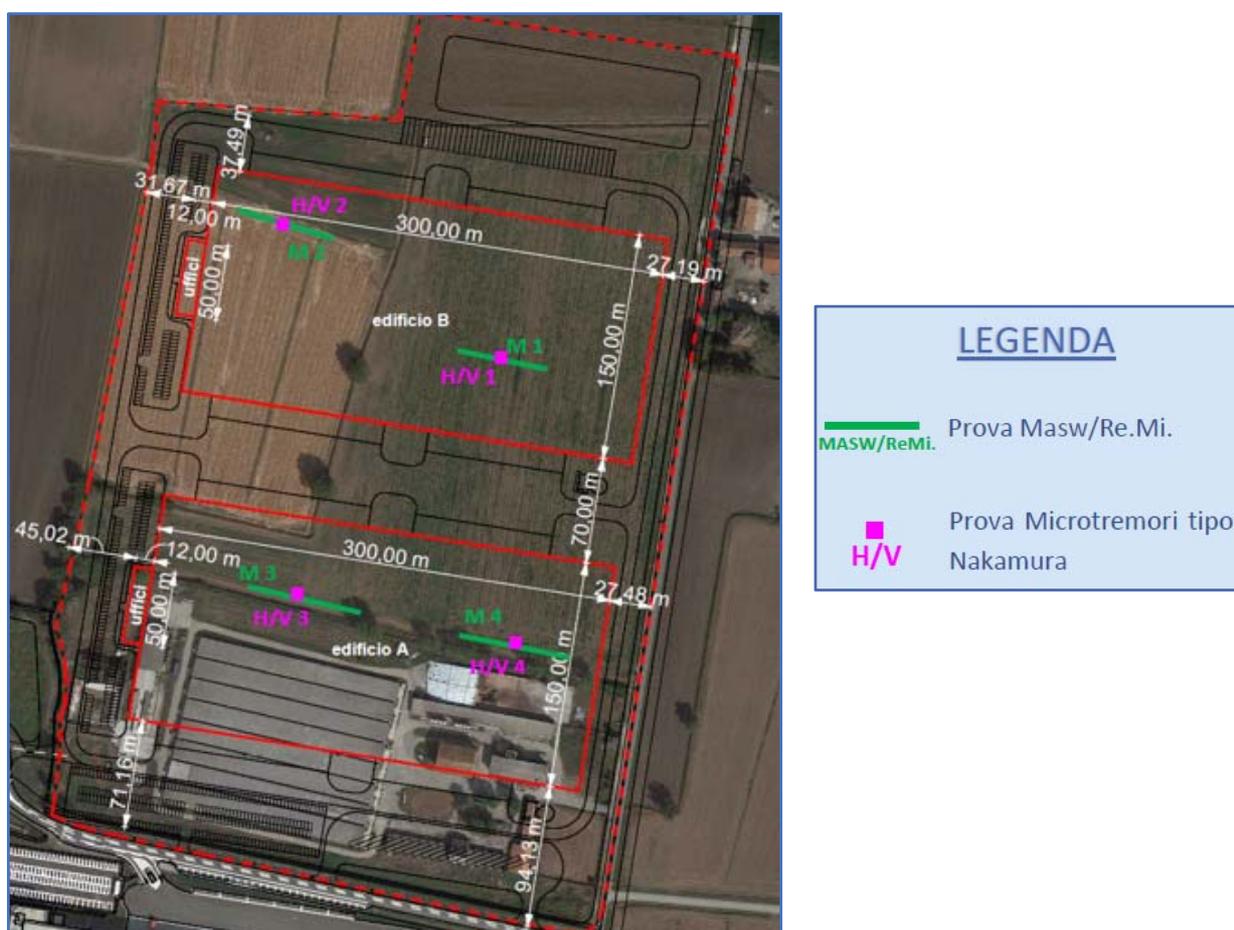


Figura 5 - Ubicazione delle indagini geofisiche condotte con relativa legenda.

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;
- Il sismostrato più superficiale ha valori di V_s inferiori a 150 m/s, denotando la presenza di materiale molto allentato. Trattasi di terreni poco compatti di natura litotecnica coesiva. Lo spessore si attesta intorno a 2.5 m negli stendimenti n. 1 e 2, mentre raggiunge i 4 m circa nei profili 3 e 4;
- Oltre i 2.5 - 4.0 m fino a 10.0 - 12.0 m di profondità circa, i valori di velocità aumentano attestandosi mediamente sui 175 m/s per la presenza di litotipi complessivamente più addensati. Nel profilo n. 3 tale incremento appare più netto e marcato dove V_s raggiunge i 210 m/s fino a 14.0 - 15.0 m circa da p.c. L'incremento di velocità con la profondità, è verosimilmente accompagnato da un generale aumento della frazione attritiva costituente anche se la componente coesiva rimane non trascurabile;
- Più in profondità si assiste ad un ulteriore aumento di velocità, con valori di V_s che superano i 220 - 230 m/s indicando litotipi prevalentemente sabbiosi discretamente addensati.
- I valori di V_s eq calcolati entro i primi 30 m rispetto ad un piano fondazionale posto a -1.5 m da p.c., variano da 210 m/s (M1-M3) a 220 m/s (M2) definendo un suolo di fondazione sito specifico di tipo "C" (Tabella 2).

Prove eseguite	Profondità da p.c.	V_s equivalente (m/sec)	Categoria di sottosuolo
MASW 1	0 m	$V_{s30, eq} = 200$	C
	-1.5 m	$V_{s30, eq} = 210$	C
	-2.0 m	$V_{s30, eq} = 213$	C
MASW 2	0 m	$V_{s30, eq} = 208$	C
	-1.5 m	$V_{s30, eq} = 220$	C
	-2.0 m	$V_{s30, eq} = 223$	C
MASW 3	0 m	$V_{s30, eq} = 199$	C
	-1.5 m	$V_{s30, eq} = 210$	C
	-2.0 m	$V_{s30, eq} = 214$	C
MASW 4	0 m	$V_{s30, eq} = 206$	C
	-1.5 m	$V_{s30, eq} = 215$	C
	-2.0 m	$V_{s30, eq} = 218$	C

Tabella 2 - Valori della V_s equivalente calcolati per diverse profondità dal piano campagna in base alle 4 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;
- Nelle prove HVSR 1 e HVSR 2, si registra un picco significativo (valore di 3.2), per frequenze di 12 - 13 Hz, associabile ad un contrasto d'impedenza sismica rilevante piuttosto superficiale. Verosimilmente possiamo collocare tale passaggio fra i 2.5 e i 3 m di profondità circa, in corrispondenza del passaggio fra i materiali più fini allentati ed i sottostanti depositi complessivamente più compatti. Un altro picco di maggior interesse ingegneristico ma non particolarmente rilevante in termini di intensità (inferiore a 2), si rileva per valori di frequenza pari a circa 2.3-2.5 Hz, testimoniando un contrasto d'impedenza sismica più profondo (verosimilmente intorno a 12/15 m circa);
- Le registrazioni HVSR 3 e HVSR 4 rilevano una frequenza di risonanza, anche se non particolarmente significativa (valori inferiori a due), intorno a 7-8 Hz, definendo un più sviluppato orizzonte allentato superficiale;
- In tutte e quattro le prove condotte (Figura 6), la frequenza di vibrazione fondamentale dell'area è stata individuata intorno a 0.95-1.2 Hz. Il contrasto d'impedenza sismica nella successione litostratigrafica può considerarsi significativo in quanto il valore di picco si attesta intorno a 2.5. Come prima interpretazione possiamo collocare tale passaggio intorno ai 40-50 m di profondità circa, in corrispondenza di materiale complessivamente più grossolano e compatto.

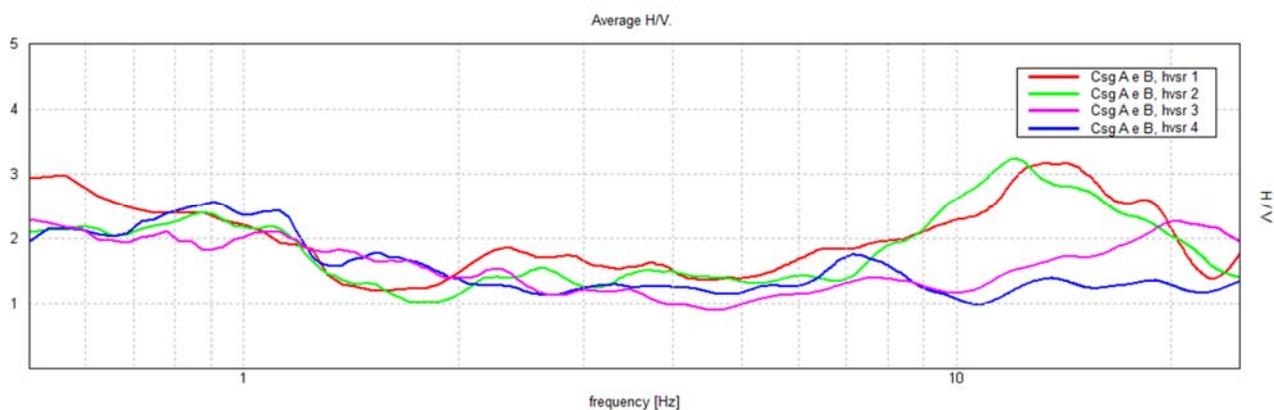


Figura 6 - Quadro d'insieme delle prove HVSR.

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 $\zeta = 5\%$, 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);

	T₁	T₂
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.

	T₁	T₂
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.

V_{S30} (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.

V_{S30} (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 ($0.1 s \leq T \leq 0.5 s$), SA2 ($0.4 s \leq T \leq 0.8 s$), SA3 ($0.7 s \leq T \leq 1.1 s$), SA4 ($0.5 s \leq T \leq 1.5 s$).

V_{S30} (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 ($0.1 s \leq T \leq 0.5 s$), SI2 ($0.5 s \leq T \leq 1.0 s$), SI3 ($0.5 s \leq T \leq 1.5 s$).

In base ai risultati delle prove Masw realizzate, i fattori di amplificazione calcolati per i singoli profili di velocità V_s sono riassunti nella tabella 8.

PROVA	V_{S30} (m/s)	PGA	SA1	SA2	SA3	SA4	SI1	SI2	SI3
MASW1	200	1,7	1,8	2,5	3,2	3,0	1,9	2,9	3,2
MASW2	208	1,7	1,8	2,5	3,2	3,0	1,9	2,9	3,2
MASW3	199	1,7	1,8	2,5	3,2	3,0	1,9	2,9	3,2
MASW4	206	1,7	1,8	2,5	3,2	3,0	1,9	2,9	3,2

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

4 ANALISI APPROFONDATA 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 $\zeta = 5\%$, 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 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 (1.7).

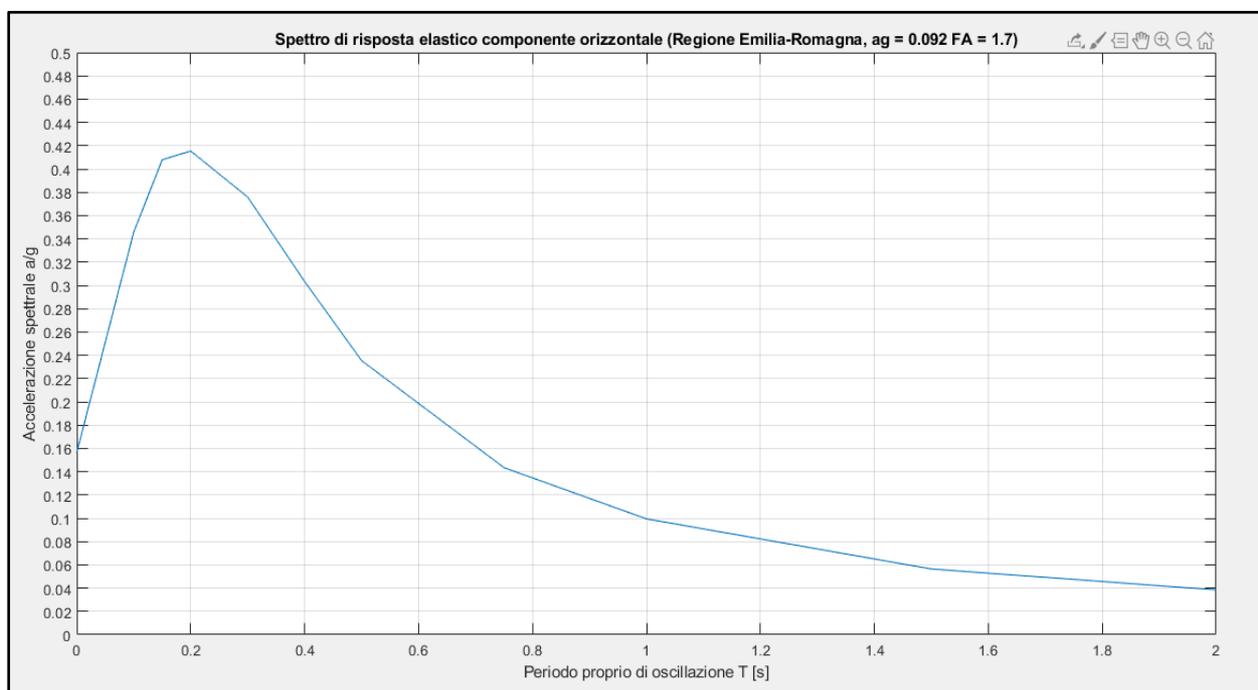


Figura 7 - Spettro di risposta del sito in base alle norme della Regione Emilia-Romagna.

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 geonostiche 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 METODO IMPIEGATO

Per la verifica alla liquefazione è stato utilizzato il software *LiqSVs*, prodotto dalla società "GeoLogismiki", che implementa i metodi semplificati che prevedono come dato d'ingresso la velocità delle onde sismiche "S" (Andrus e Stokoe 2000 e NCEER 1998).

I metodi semplificati 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.

4.2.2 PARAMETRI IN INGRESSO

Come già visto, in base alla mappa della pericolosità sismica la PGA attesa per l'area di interesse è di 0.092 g ed il suolo di fondazione è di tipo "C", per il quale è previsto un fattore di amplificazione stratigrafica di 1.5. Di conseguenza la PGA attesa al suolo risulta 0.138 (0.092 x 1.5).

Le magnitudo massime di riferimento sono, secondo quanto previsto dalla zona sismogenetica di riferimento, pari a 6.1.

Pertanto, nelle verifiche sono stati utilizzati i seguenti dati di ingresso:

- Accelerazione massima al suolo = 0.14;
- Magnitudo del sisma = 6.1;
- Profondità della falda = 2.2 m;

Come modello sismico-stratigrafico di input è stato selezionato quello restituito dall'elaborazione dello stendimento Masw n. 1 (settore nord-orientale dell'area), sintetizzato nella tabella 9.

Strato	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Vs (m/s)	Percentuale di materiale fine FC (%)
1	0	3	117	70 (argilla debolmente limosa)
2	3	12	173	20 (sabbia limosa/debolmente limosa)
3	12	20	225	5 (sabbia ghiaiosa)

Tabella 9 - Modello sismo-stratigrafico inserito per la verifica della suscettibilità alla liquefazione.

4.2.3 RISULTATI

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 mobilizzata dal terreno ($CSR \geq 0.80CRR$). Questo comporta un coefficiente di sicurezza limite F_s uguale a: $CRR/CSR = 1.25$.

Il valore di F_s calcolato dovrà essere quindi maggiore o uguale di questo valore limite.

Dalle verifiche effettuate (Figure 8 e 9), il fattore di sicurezza risulta sempre nettamente superiore a 1. Solo localmente (intorno ai 3 ed ai 12 metri), assume valori prossimo a 1.25. Nel complesso quindi si può affermare che il rischio di liquefazione per l'area considerata è estremamente basso.

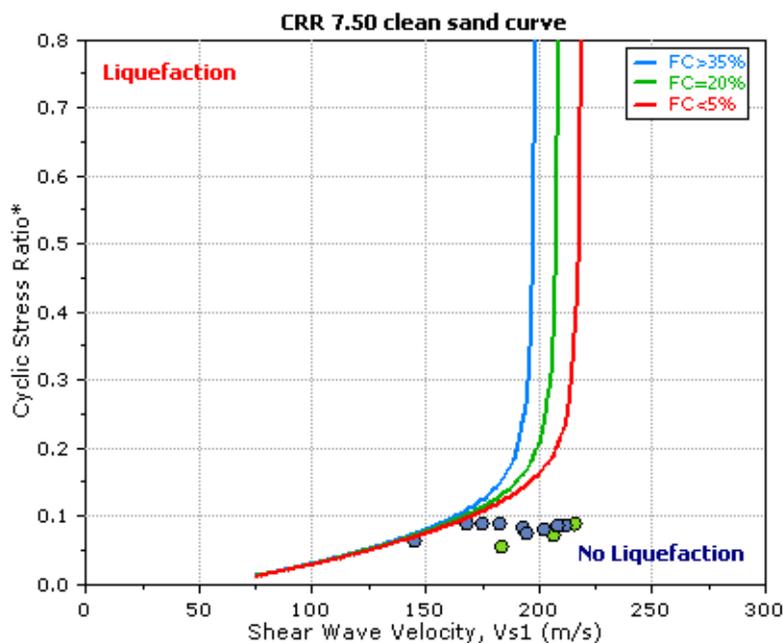
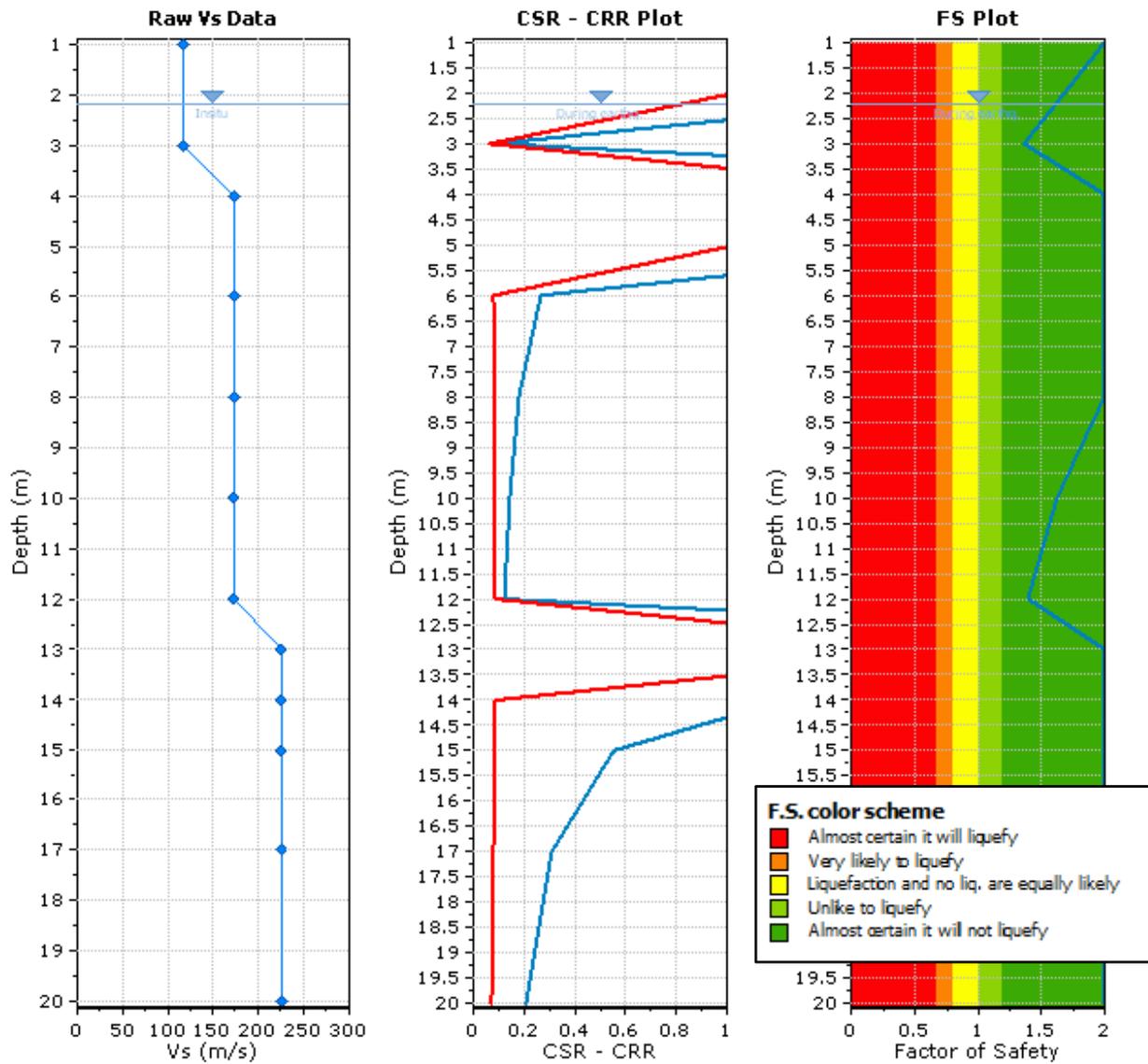


Figura 8 - Curva di resistenza alla liquefazione per il sito di interesse.



:: Cyclic Stress Ratio calculation (CSR fully adjusted and normalized) ::

Depth (m)	Unit Weight (pcf)	$\sigma_{v,eq}$ (kPa)	$u_{0,eq}$ (kPa)	$\sigma'_{v,0,eq}$ (kPa)	r_d	α	CSR	MSF	$CSR_{eq,M=7.5}$	K_{σ}	CSR^*	FS
3.00	16.50	49.50	7.85	41.65	0.98	1.00	0.106	1.70	0.062	1.00	0.062	1.360
4.00	17.50	67.00	17.66	49.34	0.97	1.00	0.120	1.70	0.071	1.00	0.071	2.000
6.00	17.50	102.00	37.28	64.72	0.96	1.00	0.137	1.70	0.081	1.00	0.081	2.000
8.00	17.50	137.00	56.90	80.10	0.94	1.00	0.146	1.70	0.086	1.00	0.086	2.000
10.00	17.50	172.00	76.52	95.48	0.90	1.00	0.148	1.70	0.087	1.00	0.087	1.625
12.00	17.50	207.00	96.14	110.86	0.86	1.00	0.146	1.70	0.086	0.98	0.087	1.401
13.00	17.50	224.50	105.95	118.55	0.83	1.00	0.142	1.70	0.084	0.97	0.087	2.000
14.00	18.50	243.00	115.76	127.24	0.79	1.00	0.138	1.70	0.081	0.95	0.085	2.000
15.00	18.50	261.50	125.57	135.93	0.76	1.00	0.133	1.70	0.079	0.94	0.083	2.000
17.00	18.50	298.50	145.19	153.31	0.70	1.00	0.123	1.70	0.073	0.92	0.079	2.000
20.00	18.50	354.00	174.62	179.38	0.62	1.00	0.111	1.70	0.065	0.89	0.073	2.000

Figura 9- Grafici della verifica alla liquefazione: profilo Vs in input, CSR e CRR, fattore di sicurezza.

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 a_g atteso al sito è 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 è molto basso;
- I valori di V_s eq calcolati entro i primi 30 m rispetto al piano campagna, variano da 199 m/s (M1-M3) a 208 m/s (M2) definendo un suolo di fondazione sito specifico di tipo "C";
- I fattori di amplificazione calcolati in base alla delibera regionale in materia antisismica, per lo scenario sismo-stratigrafico Pianura 1, sono riassunti nella tabella sotto riportata:

PROVA	V_{S30} (m/s)	PGA	SA1	SA2	SA3	SA4	SI1	SI2	SI3
MASW1	200	1.7	1.8	2.5	3.2	3.0	1.9	2.9	3.2
MASW2	208	1.7	1.8	2.5	3.2	3.0	1.9	2.9	3.2
MASW3	199	1.7	1.8	2.5	3.2	3.0	1.9	2.9	3.2
MASW4	206	1.7	1.8	2.5	3.2	3.0	1.9	2.9	3.2

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

Treviso, 09/12/2020

Allegato 4

Documentazione Fotografica



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 6





Prova Penetrometrica Dinamica DPSH 9



Prova Penetrometrica Dinamica DPSH 10



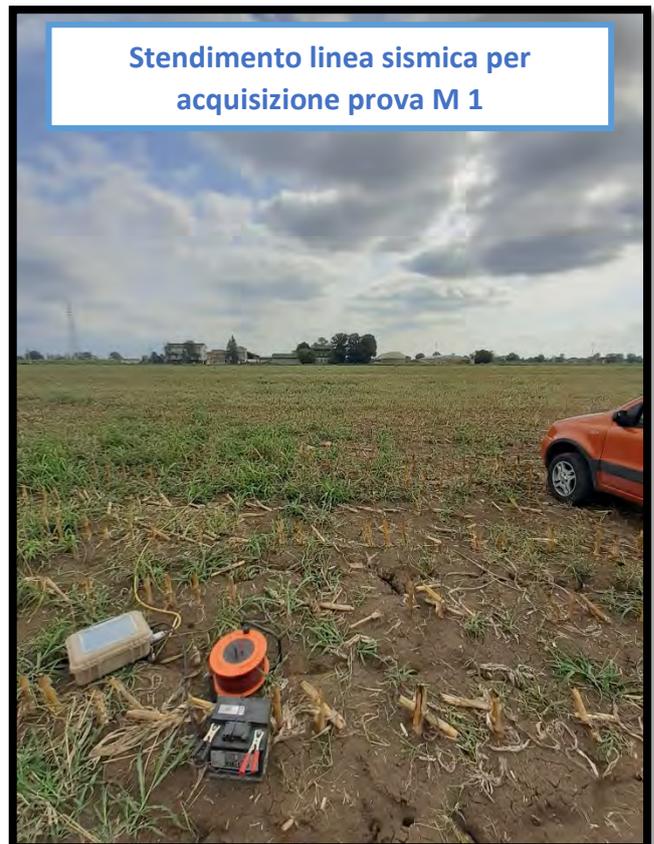
Prova Penetrometrica Dinamica DPSH 11



Prova Penetrometrica Dinamica DPSH 12



Prova Penetrometrica Dinamica DPSH 13



**Stendimento linea sismica per
acquisizione prova M 1**

**Stendimento linea sismica per acquisizione
prova M 2**



**Stendimento linea sismica per
acquisizione prova M 3**



**Stendimento linea sismica per
acquisizione prova M 4**



Acquisizione HVSR

