

COMUNE DI ALESSANDRIA

Provincia di Alessandria

PIANO ESECUTIVO DI LIBERA INIZIATIVA PER NUOVO INSEDIAMENTO INDUSTRIALE IN LOCALITA' SAN MICHELE

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

IL PROGETTISTA:

Dott. Ing. ELIO BOERO

Via Don Givogre, 15 Villafranca d'Asti (AT)
tel/fax 0141.943366 e-mail eliboero@tin.it

IL TECNICO REDATTORE:

Dott. MASSIMO CASTELLARO
Geologo

Via Giovanelli Edoardo, 28 Asti (AT)
tel/fax 0141.351106

IL PROPONENTE:

DOC.7

DATA: GIUGNO 2017

DOTT. GEOL. MASSIMO CASTELLARO

Geologia Applicata – Geotecnica – Idrogeologia – Rilevamento geologico e geomorfologico
Cartografia tematica – Geologia strutturale – Fotogeologia – Indagini geognostiche



REGIONE PIEMONTE

PROVINCIA DI ALESSANDRIA



COMUNE DI ALESSANDRIA

Proponente:

"SVAB Srl"

con sede in Via Valleggio n.2/bis - 22100 Como (CO)

P.IVA: 02079830135

Piano Esecutivo di Libera Iniziativa

per nuovo insediamento industriale in loc. San Michele

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

ai sensi dei:

D.M. 11/03/88 N. 47 E S.M.I. E D.M. 14/01/2008 N.T.C.

E SUCC. CIRC. 02/02/2009 N. 617, ART. 16 N.T.A. DEL P.R.G.

Asti, 15 giugno 2017

Il Tecnico incaricato



Dr. Geol. Massimo Castellaro

Iscrizione Albo dei Geologi Professionisti del Piemonte Sez. A n° 573

Via E. Giovanelli, 28 – 14100 ASTI

Tel.: 0141 351106 – Cell. 393 9558998 – Fax: 0141 293152

email: massimo.castellaro@geologi piemonte.it

1. PREMESSA E LOCALIZZAZIONE DELL'AREA D'INTERVENTO

Su incarico della Committenza, società **"SVAB Srl"**, viene redatta la presente *Relazione Geologica e Geotecnica* a completamento ed integrazione degli atti progettuali riguardanti il ***Piano Esecutivo di Libera Iniziativa per nuovo insediamento industriale in loc. San Michele*** a firma del dott. ing. Elio Boero cui si rimanda per i particolari d'interesse.

Verranno delineate, per tanto, le principali caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geotecniche del sito sul quale si prevede, l'edificazione di nuova area a destinazione industriale presso loc. San Michele di Alessandria.

Nello specifico, la superficie territoriale ambito del piano esecutivo ammonta a 472.915 mq, attualmente sfruttata a fini agricoli, completamente libera da fabbricati e/o impianti stabili (recentemente il preesistente canile comunale è stato smantellato) già di proprietà della società **"Valorizzazione Immobili Alessandria Srl"** acquisita in frazioni successive dalla società semplice **"Società Agricola Podere dei Fiori"**, nella persona dei soci amministratori sig. **Vigna Romano Giovanni** e **Vagheggini Mario**, con sede legale in Grosseto, Via Aurelia nord n.60.

L'area è suddivisa in n. 8 comparti edificatori giacenti su 308.495 mq, con relativa viabilità, aree destinate a parcheggi, a verde e a servizi sociali per un totale di superficie di standard urbanistico pari a 23,9% della superficie territoriale.

Per quanto concerne gli aspetti di tipo geologico – geotecnici, la presente relazione viene redatta ai sensi dei:

- **D.M. LL. PP. 11/03/1988, n. 47** recante *"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" e relative Istruzioni applicative con Circ. LL.PP. 24/09/1988 n° 30483;

- **D.M. 14/01/2008 "Approvazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni" e succ. Circ. 02/02/2009 n. 617;**
- **Piano Regolatore Generale** con variante di cui alla legge 56/77 e s.m.i., approvato con D.C.R. n. 384-28589 del 05/10/2004, costituisce anche adeguamento alla Circolare P.G.R. 8 maggio 1996 n°7 LAP ed al Piano per l'Assetto Idrogeologico;
- **O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/2003** e succ. modifiche del 2005, contenente "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per la costruzione in zona sismica".
- **Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale** approvato dal Consiglio Regionale con D.C.R. n. 384-28589 del 05/10/2004.

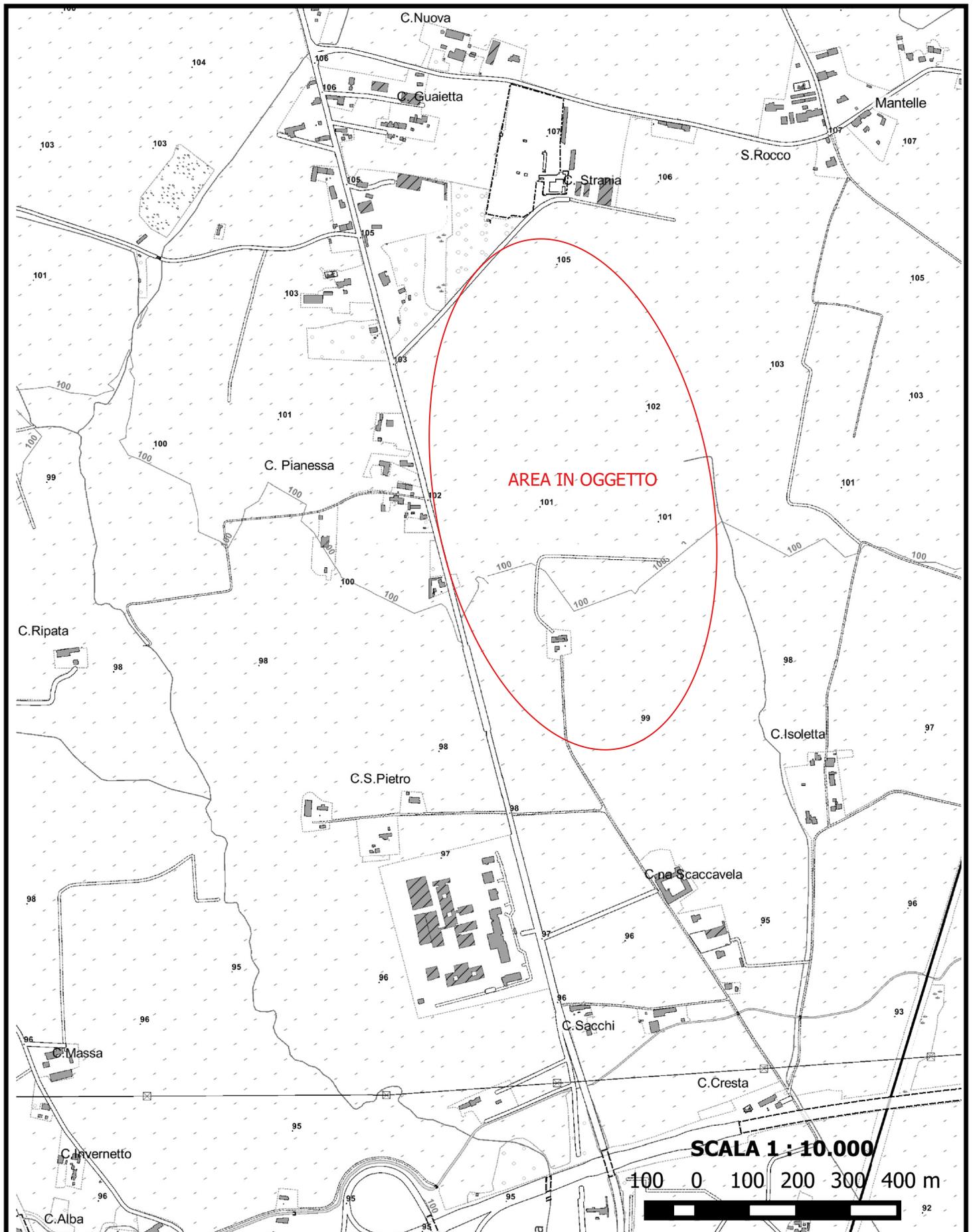
Lo studio di seguito riportato consiste in un prima parte di inquadramenti geologico – geomorfologici dell'area vasta, seguita da una caratterizzazione idrogeologica ed in una parte di aspetti geotecnici, in cui sono esposti i risultati di indagini geognostiche svolte nell'intorno significativo.

Il sito d'indagine è localizzato in un settore pianeggiante a nord del concentrico comunale di Alessandria (AL), presso la S.P. 31 ad una quota media di circa 102 m s.l.m. ed è ubicato sulla Carta Tecnica Regionale in scala 1:10.000, nella Sez. n. 176030 nonché BDTRE Piemonte riportata in **Fig. 1**.

Il presente studio si è basato in particolare:

- sui dati rilevati durante vari sopralluoghi eseguiti sull'area d'intervento e su un suo intorno significativo;
- sulla consultazione di cartografie geologiche e geomorfologiche specifiche riguardanti l'area in esame, nonché sugli elaborati geologici allegati al P.R.G.C. in scala 1:10.000;

Fig. 1 - Corografia su base BDTRE Piemonte



- su pubblicazioni scientifiche e dati bibliografici;
- su un'indagine geognostica in situ consistita in n°4 Prove Penetrometriche Statiche (C.P.T.), n°1 indagine geofisica tipo MASW per la stima delle Vs30, n°1 indagine di sismica a rifrazione e n°1 indagine sismica passiva HVSR.

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

2.1. Assetto geologico

Dal punto di vista geo-litologico locale, anche sulla base delle indicazioni riportate sul Foglio 70 "Alessandria" della CARTA GEOLOGICA D'ITALIA in scala 1:100.000 (seconda edizione, 1970 – **Fig. 2**), il lotto in esame si colloca nel settore settentrionale del Bacino Terziario Ligure Piemontese, che rappresenta un bacino di tipo sedimentario-detritico, dove si deposita dal Paleocene al Miocene superiore una successione sedimentaria costituita da formazioni arenacee, marnose ed evaporitiche testimoniando una fase regressiva che dal cretaceo prosegue per buona parte del Terziario. Successivamente, nel Plio-Pleistocene, questi depositi vengono coperti dai sedimenti della piana di Asti-Alessandria, costituiti da sedimenti di ambiente marino (Argille di Lugagnano e Sabbie di Asti – Pliocene) e da sedimenti di ambiente subaereo (Villafranchiano). Infine, la successione stratigrafica, dal Pleistocene all'Olocene, viene ricoperta dai depositi alluvionali, terrazzati e non, dei corsi d'acqua.

Nell'area in esame il Bacino Terziario Ligure Piemontese è caratterizzato da una struttura sinclinale il cui asse con direzione E-W, è ubicato, in questo settore, in corrispondenza della Valle Tanaro. Pertanto il sito si colloca sul fianco settentrionale della suddetta struttura.

Il Bacino terziario Ligure Piemontese strutturalmente si può considerare composto da tre grandi Unità:

- **l'Unità del Basso Monferrato posta a Nord**, costituita da terreni e rocce prevalentemente sedimentari, che formano i rilievi collinari che si estendono da Torino a Casale-Voghera (Collina Torino-Casale);
- **l'Unità della Sinclinale (o Bacino) di Asti, posta al centro**, costituita da una successione di terreni sedimentari marnosi e arenacei nelle formazioni più profonde; argillosi e sabbiosi nelle formazioni più superficiali (Argille Azzurre del Lugagnano e Sabbie di Asti e Villafranchiano);
- **l'Unità delle Langhe, posta a Sud** quindi al margine del Bacino Terziario stesso, costituita da successioni di alternanze di formazioni di materiali sedimentari marnosi e arenaceo-sabbiosi.

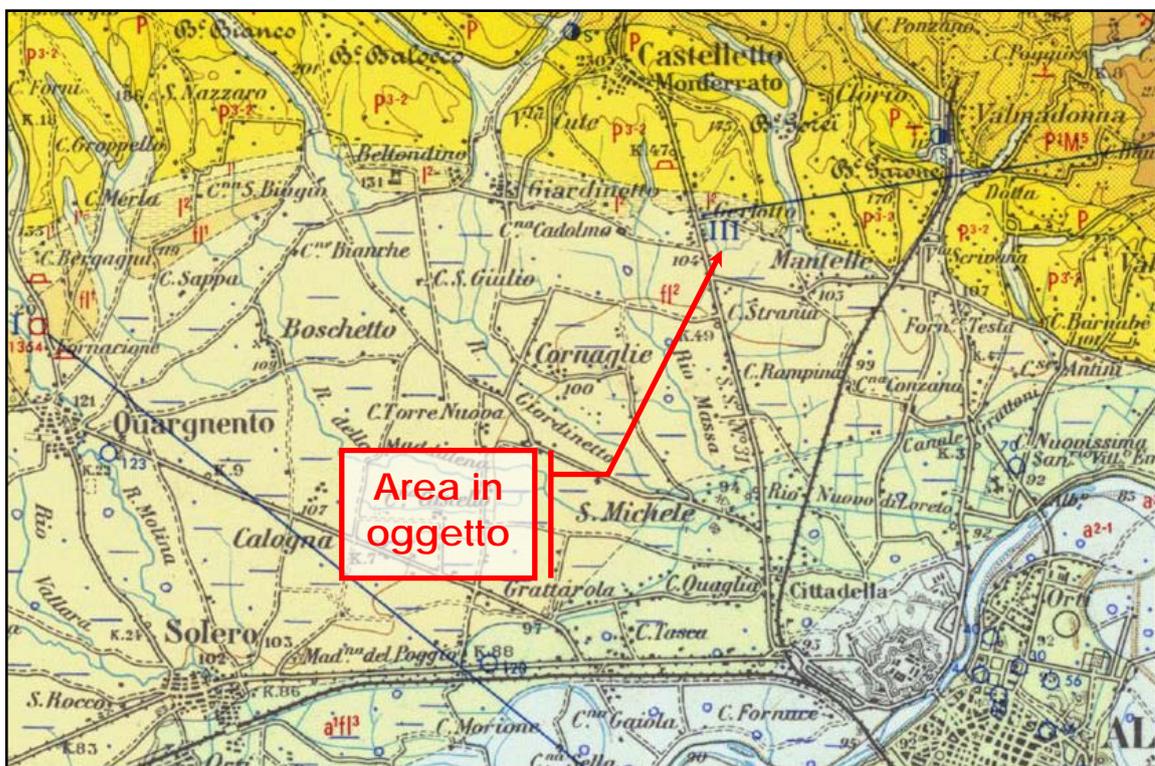


Fig. 2a – Stralcio della Carta Geologica d'Italia Foglio 70 "Alessandria"

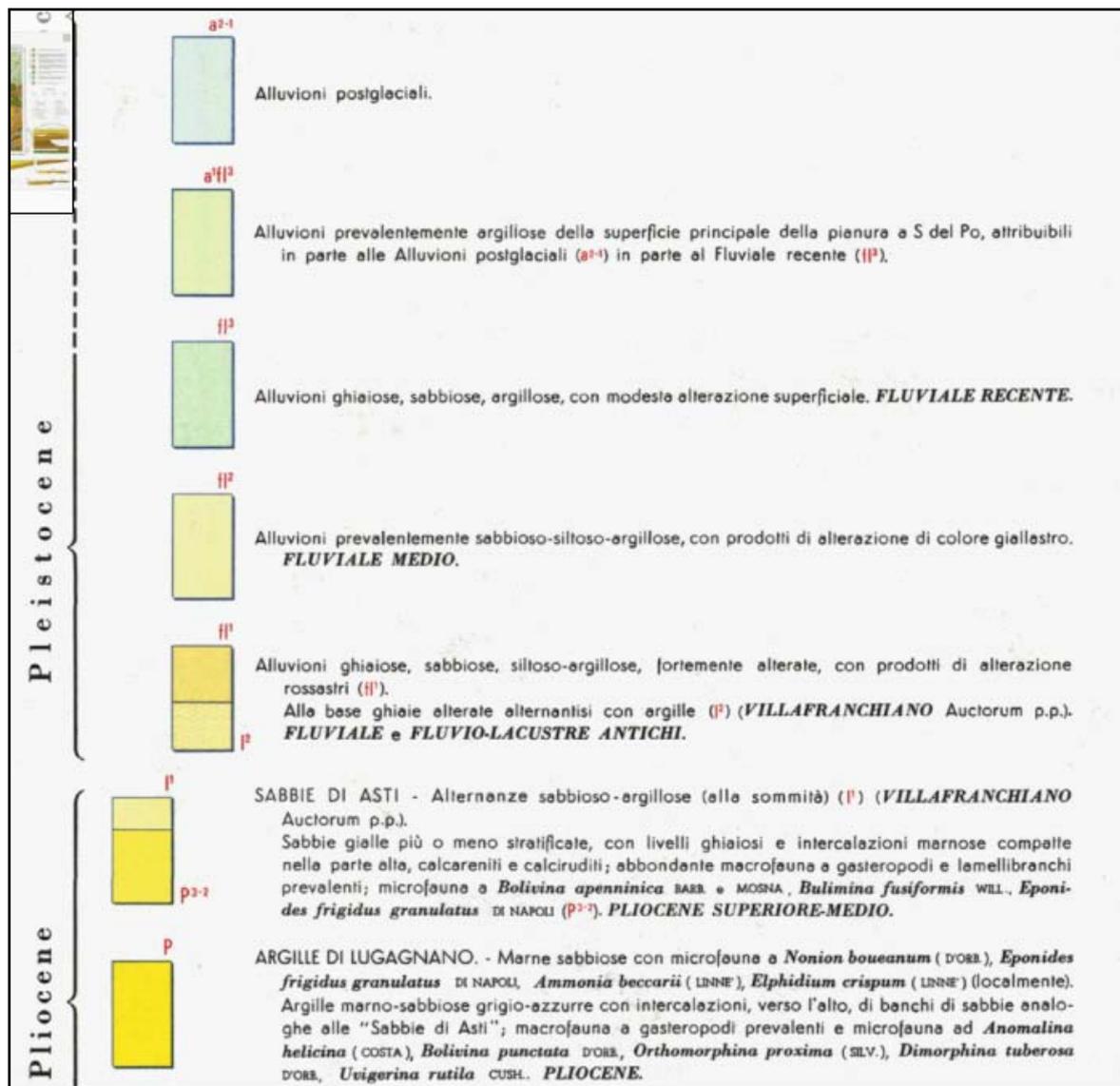


Fig. 2b – Legenda della Carta Geologica d'Italia Foglio 70 "Alessandria"

Dal punto di vista geologico locale, l'area in questione è caratterizzata da terreni sedimentari appartenenti a formazioni di età plio-pleistocenica che costituiscono il fianco settentrionale di una sinclinale con asse circa E-W e giaciture immergenti verso S-SW con inclinazioni di 10° - 15°.

Secondo quanto riportato dalla cartografia ufficiale, il settore in studio è caratterizzato dalla presenza, in sequenza dal basso verso l'alto, dei seguenti litotipi:

- **Formazione delle Argille di Lugagnano** (Pliocene medio-inferiore): denominate **P** nella C.G.I. "Alessandria", rappresentano sedimenti di mare aperto, non troppo profondo di piattaforma continentale; sono argille limoso-marnose grigio-azzurre, a volte debolmente sabbiose, compatte, con abbondanti resti fossili (in prevalenza gasteropodi); la potenza si aggira sui 70-80 m mentre la giacitura è tranquilla con inclinazione degli strati poco accentuate ed immersione verso S;
- **Formazione della Sabbie di Asti** (Pliocene medio-superiore): denominate **P³⁻²** nella C.G.I. "Alessandria", affiorano in continuità stratigrafica sulle *Argille di Lugagnano*; si tratta di una formazione costituita prevalentemente da "sabbie gialle più o meno stratificate con livelli ghiaiosi ed intercalazioni marnose, calcareniti e calciruditi (PLIOCENE)"; questa formazione rappresenterebbe un deposito marino avvenuto a profondità limitate (10 – 40 m) e controllato dalla forte energia idrodinamica del moto ondoso e delle correnti di marea; alternanze sabbiose-argillose alla sommità (**I¹** "Villafranchiano auct.");
- **Fluviale e Fluvio-lacustre antichi** costituiti da alluvioni ghiaiose, sabbiose, siltoso-argillose, fortemente alterate con prodotti di alterazione rossastri (**fl²**); alla base ghiaie alterate alternantisi con argille (**I²** "Villafranchiano auct.");
- **Fluviale medio (settore in esame)** costituito da alluvioni prevalentemente sabbioso-siltoso-argillose, con prodotti di alterazione di colore giallastro.

La sequenza stratigrafica della Serie dei Depositi Marini di età pliocenica, affiorante in corrispondenza dei rilievi collinari del Monferrato si approfondisce rapidamente procedendo verso il centro della pianura stessa sino a non risultare più raggiungibili da pozzi e sondaggi. In tale settore questa fa parte integrante delle strutture sepolte, essendo stata anch'essa deformata dai movimenti tettonici responsabili della formazione di un bacino asimmetrico,

allungato SE-NW (da Serravalle Scrivia ad Alessandria), interpretabile come un bacino piggy-back, formatosi alle spalle dei thrust rappresentanti il modello deformativo sepolto della zona. La dorsale Tortona-Montecastello rappresenta in quest'ottica la culminazione assiale di uno di questi thrust separando il bacino di Alessandria (a S della dorsale) dal bacino della pianura tortonese (posto a N della dorsale) che si raccorda più a N con la Pianura Padana. In corrispondenza della parte apicale di tale dorsale, i sedimenti marini sono stati in parte erosi.

Il substrato ed i depositi alluvionali sono parzialmente mascherati da una estesa coltre di copertura di origine eluvio-colluviale, tipicamente di natura limoso-sabbiosa e/o limoso-argillosa; la coltre superficiale presenta spessori variabili, che possono raggiungere valori di alcuni metri nelle zone a bassa acclività e di raccordo tra i versanti e la pianura.

2.2. Rapporti con gli strumenti urbanistici comunali (P.R.G.C.)

Secondo quanto riporta la "Carta di Sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'utilizzazione urbanistica, alla scala 1:10.000" allegata alla III Variante Strutturale di Adeguamento al Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.) del P.R.G.C., i terreni d'interesse (interessanti un settore di pianura privo di fenomeni di esondazione da parte del reticolo idrografico) ricadono in **Classe I**; le N.T.A. all'art. 16 definiscono e prevedono:

"La Classe I comprende le aree in cui le condizioni di pericolosità, geomorfologica sono tali da non porre limiti alle scelte urbanistiche: gli interventi sia pubblici, sia privati, sono di norma consentiti nel rispetto delle prescrizioni ispirate al Decreto Ministeriale 11 marzo 1988". In particolare sono aree dove le condizioni di pericolosità geomorfologica sono tali da non porre limitazioni alle scelte urbanistiche.

Alla luce di tali considerazioni, il progetto in oggetto rispetta i dettami delle N.T.A. del P.R.G.: per tanto non sussistono, in questo contesto, vincoli alla realizzazione del progetto stesso.

2.3. Assetto geomorfologico

Per quanto riguarda la morfologia generale, la Provincia di Alessandria (nel settore in esame) si viene a collocare nell'area del Monferrato dove si è sviluppato tutto un susseguirsi di dolci colline incise da valli. Tali colline, caratteristiche del Monferrato, presentano una variegata tipologia di terreni che vanno dalle cosiddette "terre bianche" ricche in fossili, alle "terre rosse" ricche di limo ed argilla e alle "terre grasse" tipiche delle aree alluvionali di fondovalle. Dal punto di vista geomorfologico locale, l'area di studio corrisponde al relitto di un'estesa pianura compresa tra i rilievi della Collina di Torino - Monferrato a N e quelli delle Langhe a S e che rappresentava il collegamento tra la pianura cuneese e quella alessandrina. Da un substrato terziario si passa ad una sottile, ma diffusa copertura di depositi fluviali prevalentemente limosi, riferibili al Pleistocene medio-superiore.

Tracce di un corso d'acqua a meandri con raggio di curvatura chilometrico e direzione di flusso E - W, risultano conservati in maniera estesa. Quest'ultimo, come descritto in dettaglio successivamente, rappresentava il collettore meridionale del bacino piemontese (Forno M.G., 1982).

Nel settore occidentale questa originaria pianura fluviale appare conservata in modo più continuo ed è rappresentata dall'Altopiano di Poirino: è caratterizzato da una superficie debolmente ondulata e modestamente disseccata dal reticolato idrografico sovrainposto.

Nel settore orientale corrispondente ai Rilievi dell'Astigiano, detta pianura fluviale appare sensibilmente obliterata e caratterizzata da una morfologia più accidentata dovuta alla presenza di una notevole densità del reticolato idrografico.

L'area, ricompresa tra la quota massima $q = 106,00$ m s.l.m. e la quota minima $q = 97,00$ m s.l.m. è caratterizzata altresì da una dorsale corrente parallelamente ed all'incirca alla stessa quota della S.P. 31 ma da essa distanziata verso est di 340 m circa, come meglio evidenziato nella tavola

grafica redatta dal Dott. Ing. Elio Boero riportante i flussi superficiali e a cui si rimanda per i particolari di interesse.

Detta dorsale quindi funge da dispiuvio e scolo delle acque superficiali verso i fossi correnti lungo i fronti longitudinali, adiacente alla S.P. n.31 e lungo il margine est dell'area oggetto della trasformazione urbanistica.

Dal punto di vista **geomorfologico locale**, l'area si colloca in corrispondenza di un settore pianeggiante (**esente da fenomeni di esondazione da parte del reticolo idrografico**) lievemente degradante verso SE (Fiume Tanaro) con pendenza pari al 7‰ , **ivi esente da fenomeni franosi** in atto o potenziali.

Per quanto riguarda, invece, la compatibilità degli interventi in oggetto con la situazione geomorfologica ed idrogeologica locale, si può affermare che le opere di nuova edificazione a destinazione industriale non incideranno sull'assetto di equilibrio e per tanto se ne attesta la loro fattibilità.

3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO GENERALE

In generale il Bacino Terziario Piemontese è contraddistinto da una serie di complessi idrogeologici con differenti caratteristiche.

Dal basso verso l'alto si possono distinguere:

- **Complesso limoso argilloso:** corrispondente alle ARGILLE DI LUGAGNANO, in generale impermeabili con locali livelli sabbiosi semipermeabili, che rappresentano la base del sovrastante Complesso sabbioso.
- **Complesso sabbioso:** corrispondente ai depositi sabbiosi pliocenici (SABBIE DI ASTI), costituiti da alternanze di livelli sabbiosi permeabili, livelli sabbioso limosi e limoso sabbiosi semipermeabili e livelli limoso argillosi impermeabili; si tratta di un sistema acquifero multifalda, in cui i vari

livelli acquiferi, con ridotta continuità laterale, possono essere intercomunicanti verticalmente.

- **Complesso delle alternanze (argille, ghiaie, sabbie):** corrispondente alla parte superiore del Villafranchiano inferiore, al VILLAFRANCHIANO SUPERIORE ed ai depositi fluviali del PLEISTOCENE MEDIO SUPERIORE, è costituito da un'alternanza di livelli limoso argillosi impermeabili o semipermeabili e livelli ghiaioso sabbiosi permeabili; si tratta di un sistema acquifero multifalda in cui i vari livelli acquiferi sono tra loro intercomunicanti.
- **Complesso dei depositi alluvionali:** con permeabilità e spessore variabili, sede di una falda libera in equilibrio con il reticolo idrografico.

Nel dettaglio l'area in oggetto interessa il sistema acquifero ospitato nei terreni appartenenti al **Complesso delle alternanze**.

Dal punto di vista idrogeologico locale, sia la serie di origine alluvionale che le sottostanti serie plio-pleistoceniche, si caratterizzano per la presenza di orizzonti acquiferi la cui produttività risulta variabile in funzione delle caratteristiche di permeabilità dei depositi e dell'entità e provenienza dell'alimentazione. Sulla base della ricostruzione litostratigrafica, l'assetto del sito in esame risulta caratterizzato da un complesso acquifero superficiale, che ha sede nella serie deposizionale di origine alluvionale e che presenta caratteristiche di falda a superficie libera (falda freatica) con limitate capacità produttive. Tale complesso, di spessore complessivo pari a circa 20,00 m, risulta caratterizzato dalla presenza di sabbie da fini a medio grossolane, intercalate da livelli limoso-argillosi. I litotipi sopra descritti appartengono ad un unico acquifero, caratterizzato da un deflusso con direzione condizionata dall'andamento del substrato semipermeabile: in questo caso la falda superficiale alimenta il collettore di fondovalle con direzione circa NW-SE ed un gradiente idraulico di 0,0125.

Si è provveduto a misurare i livelli della falda idrica superficiale: questa si attesta a quote comprese tra -3,0 e -5,0 m da p.c. procedendo rispettivamente da Nord verso Sud, come confermato dalla misura piezometrica entro i fori di sondaggio delle n°4 prove penetrometriche statiche *in situ* e tramite l'indagine di sismica a rifrazione, la quale ha consentito di individuare l'interfaccia tra i depositi alluvionali non saturi e quelli saturi a quote comprese tra -2,8 e -3,4 m da p.c. lungo lo stendimento presso la prova penetrometrica statica Nr.1.

4. ASPETTI GEOTECNICI: INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE *IN SITU*

La valutazione degli aspetti geotecnici e delle problematiche geotecniche è da ricondursi essenzialmente alla:

- Indagine geognostica *in situ* consistita in n°4 prove penetrometriche statiche C.P.T. condotte con penetrometro Super-pesante Pagani "Tg 63/200";
- Indagine geofisica tipo MASW per la stima delle Vs30, n°1 indagine di sismica a rifrazione e n°1 indagine sismica passiva HVSr.
- Ricostruzione dell'assetto stratigrafico locale;
- Parametrizzazione geotecnica dei terreni in sito.
- Azione sismica: categoria del suolo di fondazione;

4.1. Indagine geognostica

Le indagini sono state svolte con la finalità di riconoscere i litotipi presenti e di individuare i parametri di resistenza meccanica dei terreni attraversati, atti a redigere il progetto delle fondazioni e le eventuali opere provvisorie necessarie. Si sono scelte le metodologie normalmente in uso consigliate dalla letteratura, dalla prassi e dai D.M. 11/03/88 e 14/01/2008 "N.T.C."

4.1.2 - Prove Penetrometriche Statiche (C.P.T.)

La prova penetrometrica statica C.P.T. (Cone Penetration Test) viene realizzata infiggendo nel terreno, dalla superficie, alla velocità standardizzata di 20 mm/sec, una punta conica collegata ad una batteria di aste. Per separare la resistenza alla punta da quella dovuta all'attrito lungo la batteria di aste si agisce su una serie di aste, interne ed indipendenti da quelle principali, che agiscono direttamente solo sulla punta che può penetrare di qualche centimetro prima di trascinare anche le aste esterne. Le punte inizialmente costruite, "punte semplici" (mantle cone) misurano solo la resistenza di punta e, successivamente, lo sforzo totale da infiggere la punta e la batteria di aste esterne. La punta meccanica cosiddetta "di Begemann", dal nome dell'ingegnere che l'ha progettata e realizzata, è dotata di un manicotto cilindrico, posto sopra la punta. Spingendo sulle aste interne si fa penetrare dapprima la punta (1° lettura) ma, dopo circa 40 mm di penetrazione, viene agganciato anche il manicotto cilindrico e si misura pertanto la resistenza alla punta più quella dovuta all'attrito sul manicotto (2° lettura). Per differenza si può ottenere pertanto anche il valore dell'attrito laterale (adesione terreno-acciaio). Spingendo sulle aste esterne, si ricompatta dapprima la punta precedentemente estesa e, insistendo, si può misurare lo sforzo totale necessario per far avanzare la punta, il manicotto e la batteria di aste esterne. I valori misurati vengono rilevati da una cella di carico che, nel penetrometro Pagani, è elettrica; la cella è collegata ad una unità di acquisizione e trasformazione dei segnali elettrici in sforzi totali o sforzi per unità di superficie. I dati vengono poi inseriti in un programma di elaborazione che calcola la resistenza alla punta e quella per l'attrito laterale sul manicotto. Le letture vengono eseguite, per praticità, ogni 200 mm di penetrazione.

Le prove penetrometriche statiche sono state eseguite mediante penetrometro meccanico con punta standard meccanica tipo Begemann,

in accordo con la procedura di riferimento ISSMFE con attrezzatura di spinta ancorata da 20 ton.

La prova penetrometrica statica in generale trova applicazione per:

- rilevare l'andamento stratigrafico lungo la verticale
- individuare i tipi di terreni attraversati
- interpolare l'andamento degli strati fra verticali di sondaggio
- misurare la pressione interstiziale

I parametri che si ottengono sono essenzialmente quelli della resistenza al taglio (ϕ') per i terreni granulari, della coesione (c') per i terreni coesivi e del peso di volume (γ), indispensabili per eseguire le verifiche della capacità portante dei terreni di fondazioni e il calcolo dei cedimenti.

Da notare che la procedura di riferimento indica l'espressione di q_c e f_s in Pa, kPa o MPa; per una migliore comprensione dei dati si è preferito esprimere i parametri in kg/cm^2 .

Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 63 (200 kN)

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

PROVE C.P.T. (Cone Penetration Test) : metodologia dell'indagine

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($v = 2 \text{ cm / sec} \pm 0,5 \text{ cm / sec}$).

La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo con coppie di coclee ad infissione, che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica.

La punta conica (del tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale : punta / manicotto tipo "**Begemann**".

Le dimensioni della punta / manicotto sono standardizzate, e precisamente :

- diametro Punta Conica meccanica	\varnothing	= 35,7 mm
- area di punta	A_p	= 10 cm ²
- angolo di apertura del cono	α	= 60°
- superficie laterale del manicotto	A_m	= 150 cm ²

Sulla batteria di aste esterne può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'infissione.

REGISTRAZIONE DATI.

Una cella di carico, che rileva gli sforzi di infissione, è montata all'interno di un'unità rimovibile, chiamata "selettore", che preme alternativamente sull'asta interna e su quella esterna.

Durante la fase di spinta le aste sono azionate automaticamente da un comando idraulico. L'operatore deve solamente controllare i movimenti di spinta per l'infissione delle aste.

I valori acquisiti dalla cella di carico sono visualizzati sul display di una Sistema Acquisizione Automatico (qualora presente) o sui manometri.

Per mezzo di un software (in alcuni strumenti) è possibile sia durante l'acquisizione, che in un secondo momento a prove ultimate trasferire i dati ad un PC.

Le letture di campagna (che possono essere rilevate dal sistema di acquisizione sia in Kg che in Kg/cm²) durante l'infissione sono le seguenti:

- Lettura alla punta **LP** = prima lettura di campagna durante l'infissione relativa all'infissione della sola punta
- Lettura laterale **LT** = seconda lettura di campagna relativa all'infissione della punta+manicotto
- Lettura totale **LLTT** = terza lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (tale lettura non sempre viene rilevata in quanto non è influente metodologicamente ai fini interpretativi).

METODOLOGIA DI ELABORAZIONE

I dati rilevati della prova sono quindi una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta). Trasferiti i dati ad un PC vengono elaborati da un programma di calcolo "**STATIC PROBING**" della GeoStru.

La resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP**) e **Ql** (Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale tenendo in debito conto che:

$$A_p = \text{l'area punta (base del cono punta tipo "Begemann")} = 10 \text{ cm}^2$$

$$A_m = \text{area del manicotto di frizione} = 150 \text{ cm}^2$$

$$C_t = \text{costante di trasformazione} = 10$$

Il programma Static Probing permette inoltre l'archiviazione, la gestione e l'elaborazione delle Prove Penetrometriche Statiche.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno. L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

I dati di uscita principali sono **RP** (Resistenza alla punta) e **RL** (Resistenza laterale o **fs**, attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) che il programma calcola automaticamente; inoltre viene calcolato il Rapporto **RP/RL** (Rapporto Begemann 1965) e il Rapporto **RL/RP** (Rapporto Schmertmann 1978 – FR %-).

I valori sono calcolati con queste formule:

$$Q_c \text{ (RP)} = (LP \times C_t) / 10 \text{ cm}^2. \quad \text{Resistenza alla punta}$$

$$Q_l \text{ (RL) (fs)} = [(LT - LP) \times C_t] / 150 \text{ cm}^2. \quad \text{Resistenza laterale}$$

$$Q_c \text{ (RP)} = \text{Lettura alla punta } LP \times \text{Costante di Trasformazione } C_t / \text{Superficie Punta } A_p$$

$$Q_l \text{ (RL) (fs)} = \text{Lettura laterale } LT - \text{Lettura alla punta } LP \times \text{Costante di Trasformazione } C_t / A_m \text{ area del manicotto di frizione.}$$

N.B.

$$- A_p = 10 \text{ cm}^2 \quad \text{e} \quad A_m = 150 \text{ cm}^2$$

- la resistenza laterale viene conteggiata **20 cm sotto** (alla quota della prima lettura della punta)

VALUTAZIONI STATISTICHE

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Static Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Medio Media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Media minima Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Massimo Valore massimo dei valori del numero della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Minimo Valore minimo dei valori del numero della resistenza alla punta sullo strato considerato.

Media + s Media + scarto (valore statistico) dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.
Media – s Media - scarto (valore statistico) dei valori della resistenza alla punta sullo strato considerato.

CORRELAZIONI

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica (consigliata o meno a seconda del tipo di penetrometro utilizzato) si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati. Il programma esegue inoltre il grafico (per i vari autori) Profondità/Valutazioni litologiche, per visualizzare in maniera diretta l'andamento delle litologie presenti lungo la verticale indagata.

INTERPRETAZIONI LITOLOGICHE (Autori di riferimento)

- a) Searle 1979
- b) Douglas Olsen 1981 (consigliato per CPTE)
- c) A.G.I. 1977 (consigliato per CPT)
- d) Schmertmann 1978 (consigliato per CPT)
- e) Robertson 1983-1986 (consigliato per CPTE)
- f) Begemann 1965 (consigliato per CPT)

Suddivisione delle metodologie di indagine con i Penetrometri statici

CPT (Cone Penetration Test – punta Meccanica tipo Begemann)

CPTE (Cone Penetration Test Electric – punta elettrica)

CPTU (Piezocono)

Area punta del cono (area esterna punta)

Area interna punta del cono (area del restringimento in prossimità del setto poroso – interna cono-manicotto). Generalmente il rapporto tra le aree varia da (0,70 – 1,00).

Il Passo del penetrometro (l'intervallo entro cui effettua la lettura, generalmente per penetrometri normali è 20 cm., per le punte elettriche-piezoconi può essere di 2 cm).

Il programma elabora quindi i dati di resistenza alla punta e laterale f_s con le opportune correzioni dovute alla normalizzazione (con la tensione litostatica e con la pressione dei pori). Robertson definisce infine il valore caratteristico del I_c (Indice di tipo dello strato) e Contenuto in materiale fine FC % (cioè la percentuale di contenuto argilloso < 2 micron).

CORRELAZIONI GEOTECNICHE

Scegliendo il tipo di interpretazione litologica si ha in automatico la stratigrafia con il passo dello strumento ed interpolazione automatica degli strati.

Ad ogni strato mediato il programma calcola la Q_c media, la f_s media, il peso di volume naturale medio, il comportamento geotecnico (coesivo, incoerente o coesivo-incoerente), ed applica una texture.

L'utilizzo dei dati dovrà comunque essere trattato con spirito critico e possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

TERRENI INCOERENTI

Angolo di Attrito

Angolo di Attrito (Durgunouglu-Mitchell 1973-1975) – per sabbie N.C. e S.C. non cementate

Angolo di Attrito (Meyerhof 1951) – per sabbie N.C. e S.C.

Angolo di Attrito Herminier

Angolo di Attrito (Caquot) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

Angolo di Attrito (Koppejan) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

Angolo di Attrito (De Beer 1965-1967) - per sabbie N.C. e S.C. non cementate e per prof. > 2 mt. in terreni saturi o > 1 mt. non saturi

Angolo di Attrito (Robertson & Campanella 1983) - per sabbie non cementate quarzose

Angolo di Attrito (Schmertmann 1977-1982) – per varie litologie (correlazione che generalmente sovrastima il valore)

Densità relativa (%)

Densità Relativa (Baldi ed altri 1978-1983 - Schmertmann 1976) - per sabbie NC non cementate

Densità Relativa (Schmertmann)

Densità Relativa (Harman 1976)

Densità Relativa (Lancellotta 1983)

Densità Relativa (Jamiolkowski 1985)

Densità Relativa (Larsson 1995) - per sabbie omogenee non gradate

Modulo di Young

Modulo di Young (Schmertmann 1970-1978) Ey (25) – Ey(50) - modulo secante riferito rispettivamente al 25 % e 50 % del valore di rottura – prima fase della curva carico/deformazione

Modulo di Young secante drenato (Robertson & Campanella 1983) Ey (25) – Ey(50)- per sabbie NC quarzose

Modulo di Young (ISOPT-1 1988) Ey (50) - per sabbie OC sovraconsolidate e SC

Modulo Edometrico

Modulo Edometrico (Robertson & Campanella) da Schmertmann

Modulo Edometrico (Lunne-Christoffersen 1983 - Robertson and Powell 1997) - valido per sabbie NC

Modulo Edometrico (Kulhawy-Mayne 1990)

Modulo Edometrico (Mitchell & Gardner 1975) – valido per sabbie

Modulo Edometrico (Buisman - Sanglerat) – valido per sabbie argillose

Peso di Volume Gamma

Peso di Volume Gamma (Meyerhof) -

Peso di Volume Gamma saturo (Meyerhof) -

Modulo di deformazione di taglio

Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per **sabbie** e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Potenziale di Liquefazione

Verifica alla liquefazione dei suoli incoerenti (Metodo di Robertson e Wride 1997 – C.N.R. – GNDT) – coefficiente di sicurezza relativo alle varie zone sismiche I-I-III-IV cat. – N.B. la liquefazione è assente per $F_s \geq 1,25$, possibile per $F_s=1,0-1,25$ e molto probabile per $F_s < 1$

Fattori di compressibilità

Ramo di carico C (autori vari)

Ramo di carico medio Crm (autori vari)

OCR - Grado di Sovraconsolidazione

Grado di Sovraconsolidazione OCR - (metodo Stress-History)

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Larsson 1991 S.G.I.)

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

Grado di Sovraconsolidazione OCR - (Ladd e Foot - Ladd ed altri 1977)

MODULO DI REAZIONE K_0 (Kulhawy Maine, 1990).

CORRELAZIONE NSPT

Meardi – Meigh 1972

Meyerhof

TERRENI COESIVI

Coesione Non Drenata

Coesione non drenata (Lunne & Eide)

Coesione non drenata (Rolf Larsson SGI 1995) - suoli fini granulari

Coesione non drenata (Baligh ed altri 1976-1980) in tale elaborazione occorre inserire il valore di N_k (generalmente variabile da 11 a 25)

Coesione non drenata (Marsland 1974-Marsland e Powell 1979)

Coesione non drenata Sunda (relazione sperimentale)

Coesione non drenata (Lunne T.-Kleven A. 1981)

Coesione non drenata (Kjekstad. 1978)

Coesione non drenata (Lunne, Robertson and Powell 1977)

Coesione non drenata (Terzaghi - valore minimo)

Coesione non drenata (Begemann)

Coesione non drenata (De Beer) - valida per debole coesione.

Indice Di Compressione C

Indice di Compressione Vergine C_c (Schmertmann)

Indice di Compressione Vergine C_c (Schmertmann 1978)

Fattore di compressibilità ramo di carico C (Piacentini-Righi Inacos 1978)

Fattore di compressibilità medio ramo di carico C_{rm} (Piacentini-Righi Inacos 1978).

Modulo Edometrico-Confinato

Mitchell - Gardnerr (1975) M_o (Eed) (Kg/cmq) per limi e argille.

Metodo generale del modulo edometrico.

Buisman correlazione valida per limi e argille di media plasticità – Alluvioni attuali argille plastiche – suoli organici ($W = 90-130$)

Buisman e Sanglerat valida per litotipi argille compatte

Valore medio degli autori su suoli coesivi

Modulo di deformazione non drenato

Modulo di deformazione non drenato E_u (Cancelli ed altri 1980)

Modulo di deformazione non drenato E_u (Ladd ed altri 1977) – (Inserire valore $n = 30 < n < 1500$ sulla base di esperienze acquisite e del tipo litologico)

Peso di Volume Gamma

Peso di Volume terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

Peso di Volume saturo terreni coesivi (t/mq) (Meyerhof)

Modulo di deformazione di taglio

Imai & Tonouchi (1982)

OCR

Grado di Sovraconsolidazione OCR - (metodo Stress-History)

Grado di Sovraconsolidazione OCR (P.W. Mayne 1991) - per argille ed argille sovraconsolidate

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Larsson 1991 S.G.I.)

Grado di Sovraconsolidazione OCR (Piacentini-Righi Inacos 1978)

Grado di Sovraconsolidazione Jamiolkowski et altri 1979 – valida per argilla di Taranto

Grado di Sovraconsolidazione Schmertmann 1978

Coefficiente Di Consolidazione Verticale

Coefficiente di Consolidazione C_v (Piacentini-Righi, 1988)

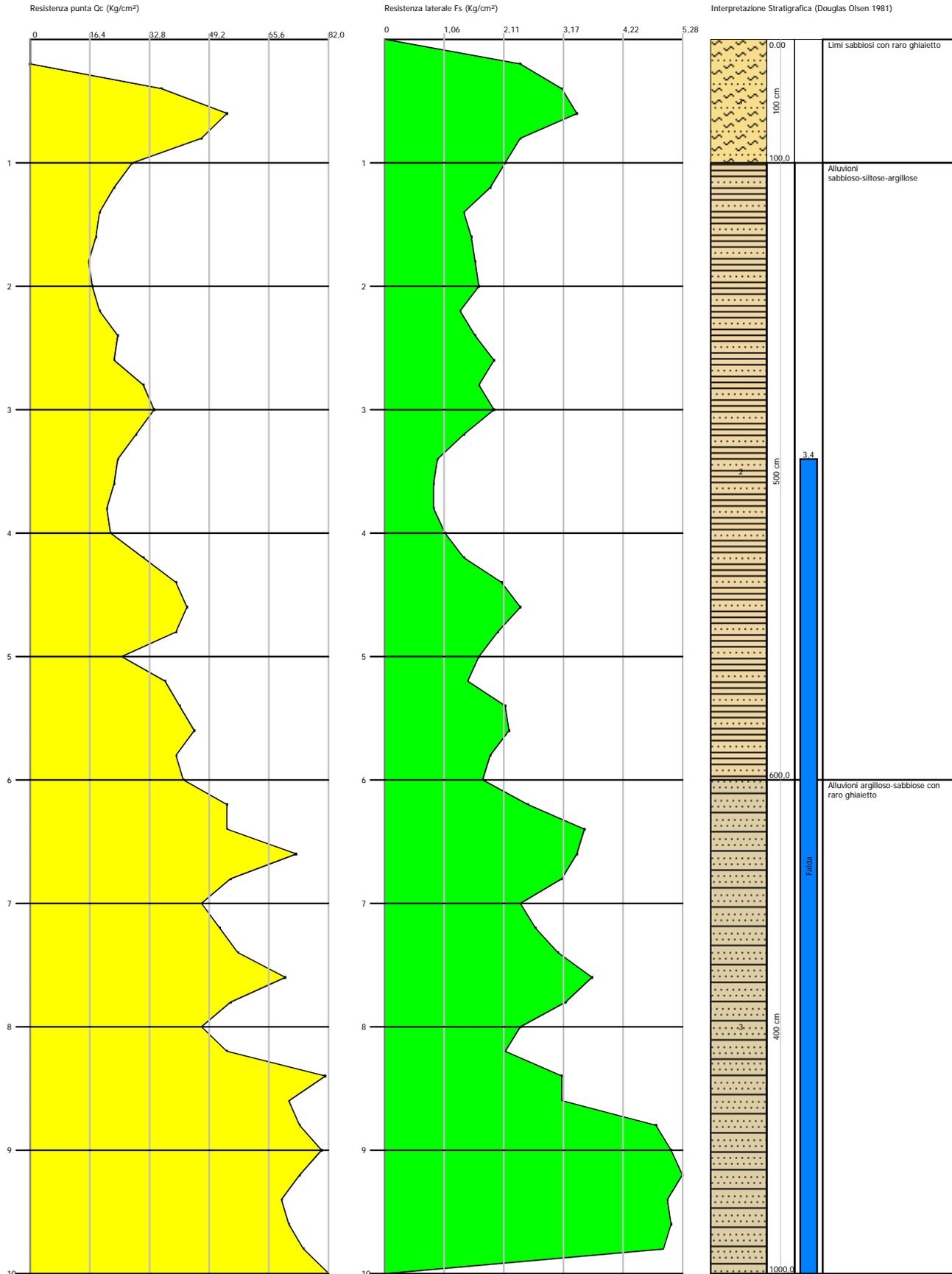
Permeabilità

Coefficiente di Permeabilità K (Piacentini-Righi, 1988) .

Probe CPT - Cone Penetration Nr. 1
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: P.E.C. Area industriale - San Michele
 Cantiere: San Michele - Alessandria
 Località: San Michele - Alessandria

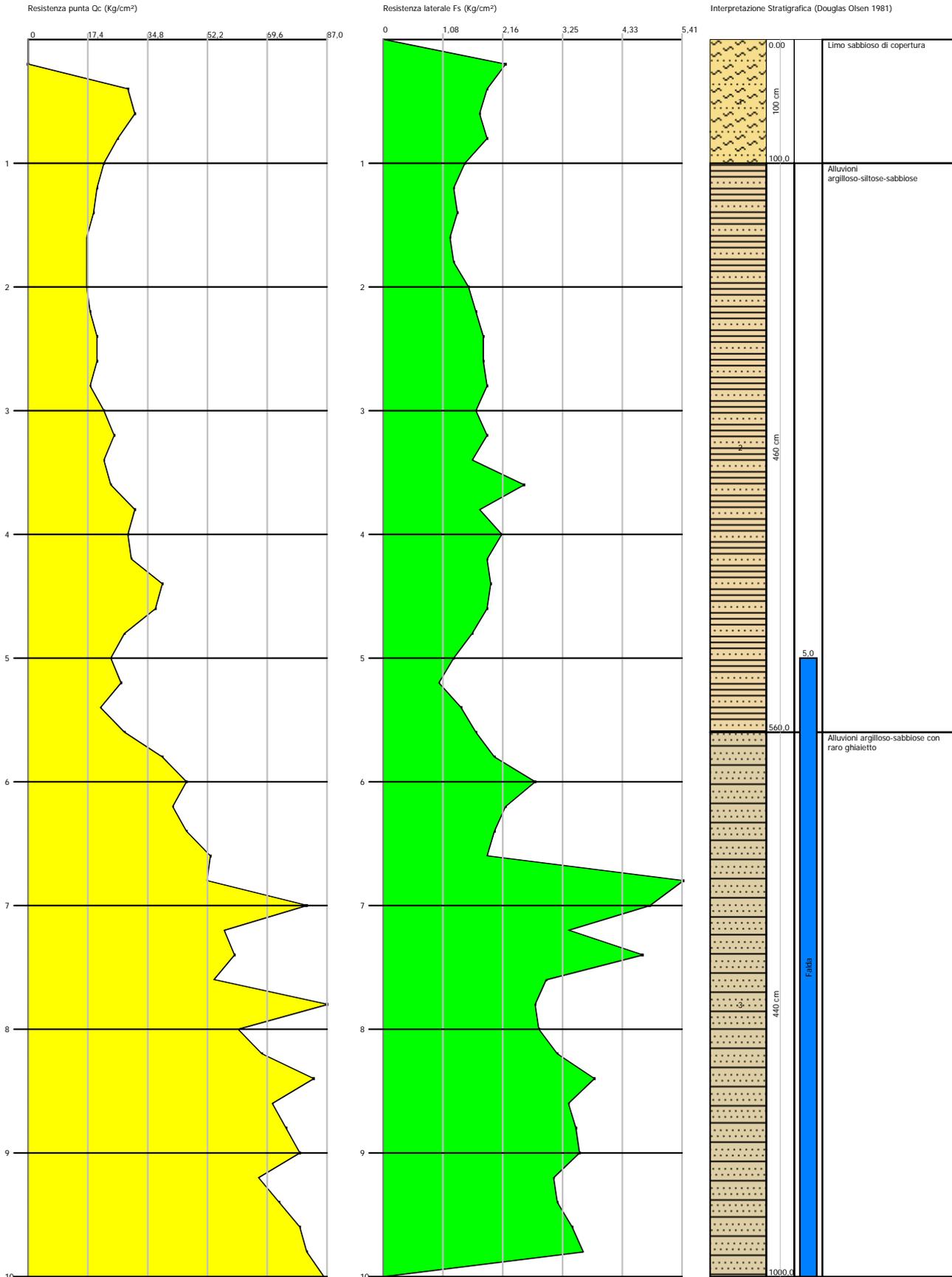
Data: 21/10/2016



Probe CPT - Cone Penetration Nr.2
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: P.E.C. Area industriale - San Michele
 Cantiere: San Michele - Alessandria
 Località: San Michele - Alessandria

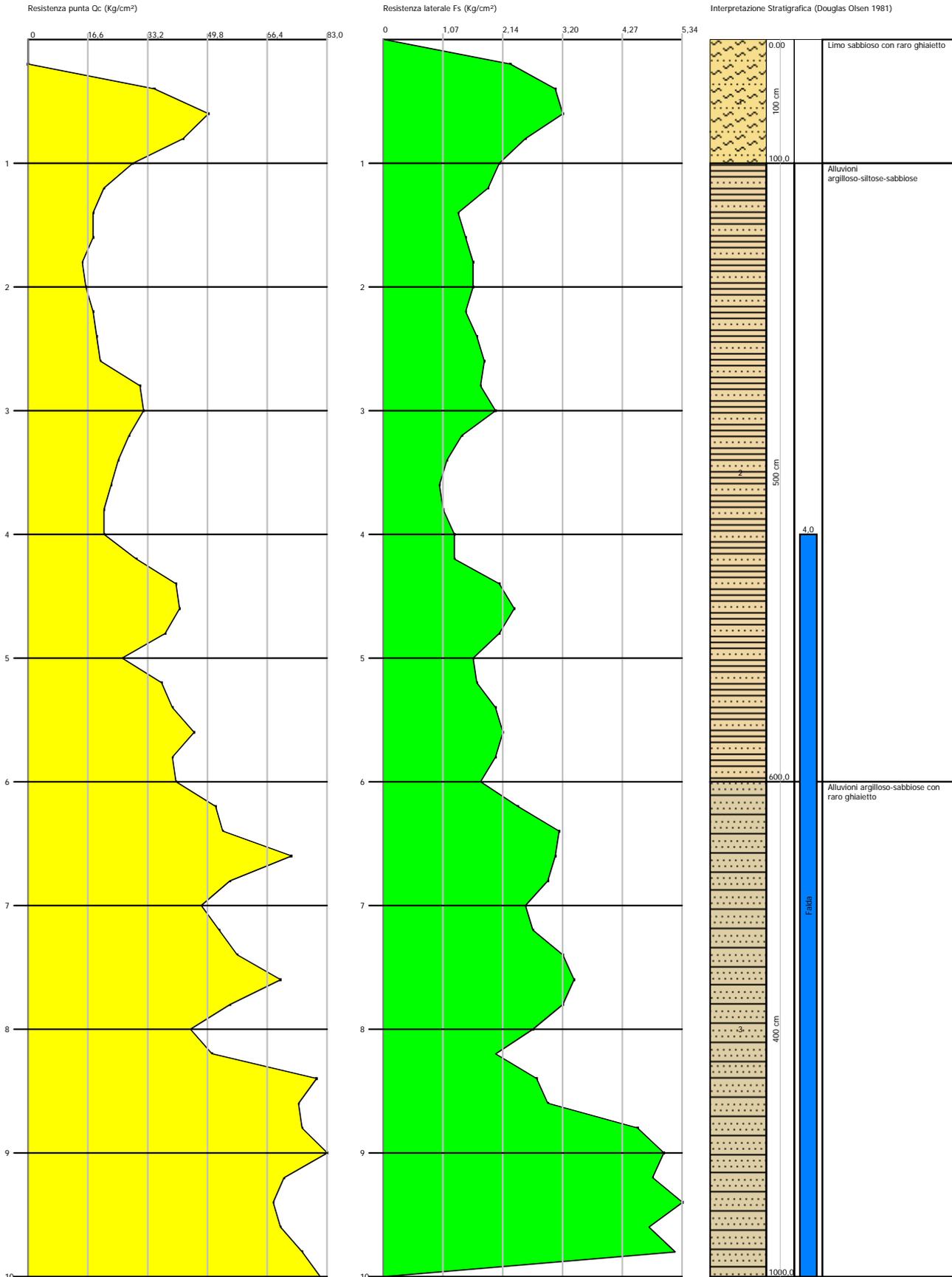
Data: 21/10/2016



Probe CPT - Cone Penetration Nr. 3
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: P.E.C. Area industriale - San Michele
 Cantiere: San Michele - Alessandria
 Località: San Michele - Alessandria

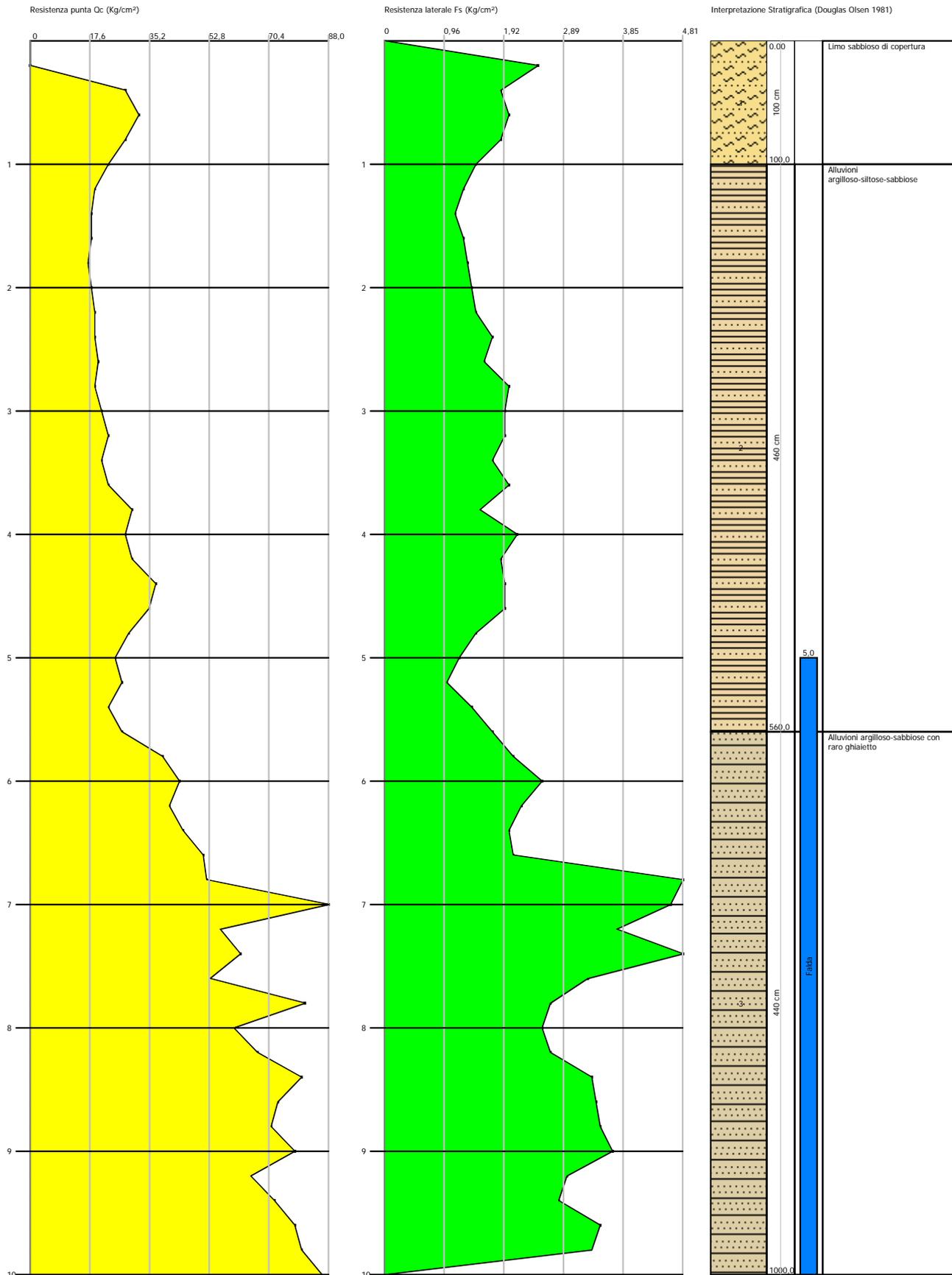
Data: 21/10/2016



Probe CPT - Cone Penetration Nr.4
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: P.E.C. Area industriale - San Michele
 Cantiere: San Michele - Alessandria
 Località: San Michele - Alessandria

Data: 21/10/2016



PROVA ... Nr.1

Committente: SVAB srl
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 21/10/2016
 Profondità prova: 10,00 mt
 Località: San Michele - Alessandria

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	15,0	0,0	2,4	0,0	
0,40	36,00	72,0	36,0	3,133	11,491	8,7
0,60	54,00	101,0	54,0	3,4	15,882	6,3
0,80	47,00	98,0	47,0	2,4	19,583	5,1
1,00	28,00	64,0	28,0	2,133	13,127	7,6
1,20	23,00	55,0	23,0	1,867	12,319	8,1
1,40	19,00	47,0	19,0	1,4	13,571	7,4
1,60	18,00	39,0	18,0	1,533	11,742	8,5
1,80	16,00	39,0	16,0	1,6	10,0	10,0
2,00	17,00	41,0	17,0	1,667	10,198	9,8
2,20	19,00	44,0	19,0	1,333	14,254	7,0
2,40	24,00	44,0	24,0	1,6	15,0	6,7
2,60	23,00	47,0	23,0	1,933	11,899	8,4
2,80	31,00	60,0	31,0	1,667	18,596	5,4
3,00	34,00	59,0	34,0	1,933	17,589	5,7
3,20	29,00	58,0	29,0	1,4	20,714	4,8
3,40	24,00	45,0	24,0	0,933	25,723	3,9
3,60	23,00	37,0	23,0	0,867	26,528	3,8
3,80	21,00	34,0	21,0	0,867	24,221	4,1
4,00	22,00	35,0	22,0	1,067	20,619	4,9
4,20	31,00	47,0	31,0	1,4	22,143	4,5
4,40	40,00	61,0	40,0	2,067	19,352	5,2
4,60	43,00	74,0	43,0	2,4	17,917	5,6
4,80	40,00	76,0	40,0	2,0	20,0	5,0
5,00	25,00	55,0	25,0	1,667	14,997	6,7
5,20	37,00	62,0	37,0	1,467	25,222	4,0
5,40	41,00	63,0	41,0	2,133	19,222	5,2
5,60	45,00	77,0	45,0	2,2	20,455	4,9
5,80	40,00	73,0	40,0	1,867	21,425	4,7
6,00	42,00	70,0	42,0	1,733	24,235	4,1
6,20	54,00	80,0	54,0	2,533	21,319	4,7
6,40	54,00	92,0	54,0	3,533	15,284	6,5
6,60	73,00	126,0	73,0	3,4	21,471	4,7
6,80	55,00	106,0	55,0	3,133	17,555	5,7
7,00	47,00	94,0	47,0	2,4	19,583	5,1
7,20	52,00	88,0	52,0	2,667	19,498	5,1
7,40	57,00	97,0	57,0	3,067	18,585	5,4
7,60	70,00	116,0	70,0	3,667	19,089	5,2
7,80	55,00	110,0	55,0	3,2	17,188	5,8
8,00	47,00	95,0	47,0	2,4	19,583	5,1
8,20	54,00	90,0	54,0	2,133	25,316	4,0
8,40	81,00	113,0	81,0	3,133	25,854	3,9
8,60	71,00	118,0	71,0	3,133	22,662	4,4
8,80	74,00	121,0	74,0	4,8	15,417	6,5
9,00	80,00	152,0	80,0	5,067	15,788	6,3
9,20	74,00	150,0	74,0	5,267	14,05	7,1

9,40	69,00	148,0	69,0	5,0	13,8	7,2
9,60	71,00	146,0	71,0	5,067	14,012	7,1
9,80	75,00	151,0	75,0	4,933	15,204	6,6
10,00	82,00	156,0	82,0	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1,00	33,0	2,693	1,7	Incoerente	Limi sabbiosi con raro ghiaietto
6,00	29,08	1,624	2,0	Incoerente-Coesivo	Alluvioni sabbioso-siltose-argillose
10,00	64,75	3,427	2,2	Incoerente-Coesivo	Alluvioni argilloso-sabbiose con raro ghiaietto

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Terzaghi	1,5
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Terzaghi	3,2

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Metodo generale del modulo Edometrico	58,2
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Metodo generale del modulo Edometrico	129,5

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eu (Kg/cm ²)
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Cancelli 1980	1065,8
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Cancelli 1980	2385,0

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Imai & Tomauchi	219,5
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Imai & Tomauchi	358,0

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Piacentini Righi 1978	>9

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Meyerhof	2,0
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Meyerhof	2,2

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	C	Crn
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	0,11274	0,01466
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	0,10011	0,01301

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Meyerhof	2,1
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Meyerhof	2,2

Velocità onde di taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Jamiolkowski et al 1985	260,17
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Jamiolkowski et al 1985	305,10

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	1,00	33,0	2,693	0,1	0,1	Harman	93,2
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Harman	39,6
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Harman	53,7

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	1,00	33,0	2,693	0,1	0,1	Herminier	40,1
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Herminier	24,2
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Herminier	25,0

Modulo di Young

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato 1	1,00	33,0	2,693	0,1	0,1		0,0
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7		0,0
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2		0,0

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 1	1,00	33,0	2,693	0,1	0,1	Buisman - Sanglerat	99,0
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Buisman - Sanglerat	145,4
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Buisman - Sanglerat	97,1

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 1	1,00	33,0	2,693	0,1	0,1	Imai & Tomauchi	237,1
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Imai & Tomauchi	219,5
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Imai & Tomauchi	358,0

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 1	1,00	33,0	2,693	0,1	0,1	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Larsson 1991 S.G.I.	2,2

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ko
Strato 1	1,00	33,0	2,693	0,1	0,1	Kulhawy & Mayne (1990)	0,00
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Kulhawy & Mayne (1990)	0,35
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Kulhawy & Mayne (1990)	0,42

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	C	Crn
Strato 1	1,00	33,0	2,693	0,1	0,1	0,1182	0,01537
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	0,11274	0,01466
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	0,10011	0,01301

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	1,00	33,0	2,693	0,1	0,1	Meyerhof	1,8
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Meyerhof	1,8
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Meyerhof	1,8

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	1,00	33,0	2,693	0,1	0,1	Meyerhof	2,1
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Meyerhof	2,1
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Meyerhof	2,1

Liquefazione - **Accelerazione sismica massima (g)=0,15**

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 1	1,00	33,0	2,693	0,1	0,1	Robertson & Wride 1997	51,941
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Robertson & Wride 1997	8,487
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Robertson & Wride 1997	37,972

Velocità onde di taglio.

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 1	1,00	33,0	2,693	0,1	0,1	Jamiolkowski et al 1985	317,60
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Jamiolkowski et al 1985	308,30
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Jamiolkowski et al 1985	372,11

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	1,00	33,0	2,693	0,1	0,1	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm ² /s)
Strato 1	1,00	33,0	2,693	0,1	0,1	Piacentini-Righi 1988	9,9E-07
Strato 2	6,00	29,08	1,624	0,7	0,7	Piacentini-Righi 1988	8,724E-07
Strato 3	10,00	64,75	3,427	1,6	1,2	Piacentini-Righi 1988	1,9425E-06

PROVA ... Nr.2

Committente: SVAB srl
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 21/10/2016
 Profondità prova: 10,00 mt
 Località: San Michele - Alessandria

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	43,0	0,0	2,2	0,0	
0,40	29,00	62,0	29,0	1,867	15,533	6,4
0,60	31,00	59,0	31,0	1,733	17,888	5,6
0,80	26,00	52,0	26,0	1,867	13,926	7,2
1,00	22,00	50,0	22,0	1,467	14,997	6,7
1,20	20,00	42,0	20,0	1,267	15,785	6,3
1,40	19,00	38,0	19,0	1,333	14,254	7,0
1,60	17,00	37,0	17,0	1,2	14,167	7,1
1,80	17,00	35,0	17,0	1,267	13,418	7,5
2,00	17,00	36,0	17,0	1,533	11,089	9,0
2,20	18,00	41,0	18,0	1,667	10,798	9,3
2,40	20,00	45,0	20,0	1,8	11,111	9,0
2,60	20,00	47,0	20,0	1,8	11,111	9,0
2,80	18,00	45,0	18,0	1,867	9,641	10,4
3,00	22,00	50,0	22,0	1,667	13,197	7,6
3,20	25,00	50,0	25,0	1,867	13,39	7,5
3,40	22,00	50,0	22,0	1,6	13,75	7,3
3,60	24,00	48,0	24,0	2,533	9,475	10,6
3,80	31,00	69,0	31,0	1,733	17,888	5,6
4,00	29,00	55,0	29,0	2,133	13,596	7,4
4,20	30,00	62,0	30,0	1,867	16,069	6,2
4,40	39,00	67,0	39,0	1,933	20,176	5,0
4,60	37,00	66,0	37,0	1,867	19,818	5,0
4,80	28,00	56,0	28,0	1,6	17,5	5,7
5,00	24,00	48,0	24,0	1,267	18,942	5,3
5,20	27,00	46,0	27,0	1,0	27,0	3,7
5,40	21,00	36,0	21,0	1,4	15,0	6,7
5,60	28,00	49,0	28,0	1,667	16,797	6,0
5,80	39,00	64,0	39,0	2,0	19,5	5,1
6,00	46,00	76,0	46,0	2,733	16,831	5,9
6,20	42,00	83,0	42,0	2,2	19,091	5,2
6,40	46,00	79,0	46,0	2,0	23,0	4,3
6,60	53,00	83,0	53,0	1,867	28,388	3,5
6,80	52,00	80,0	52,0	5,4	9,63	10,4
7,00	81,00	162,0	81,0	4,8	16,875	5,9
7,20	57,00	129,0	57,0	3,333	17,102	5,8
7,40	60,00	110,0	60,0	4,667	12,856	7,8
7,60	54,00	124,0	54,0	2,933	18,411	5,4
7,80	87,00	131,0	87,0	2,733	31,833	3,1
8,00	61,00	102,0	61,0	2,8	21,786	4,6
8,20	68,00	110,0	68,0	3,133	21,704	4,6
8,40	83,00	130,0	83,0	3,8	21,842	4,6
8,60	71,00	128,0	71,0	3,333	21,302	4,7
8,80	75,00	125,0	75,0	3,467	21,633	4,6
9,00	79,00	131,0	79,0	3,533	22,361	4,5
9,20	67,00	120,0	67,0	3,067	21,845	4,6

9,40	73,00	119,0	73,0	3,133	23,3	4,3
9,60	79,00	126,0	79,0	3,4	23,235	4,3
9,80	81,00	132,0	81,0	3,6	22,5	4,4
10,00	86,00	140,0	86,0	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1,00	21,6	1,827	1,6	Incoerente	Limo sabbioso di copertura
5,60	24,043	1,646	2,0	Coesivo	Alluvioni argilloso-siltose-sabbiose
10,00	65,455	3,088	2,2	Incoerente-Coesivo	Alluvioni argilloso-sabbiose con raro ghiaietto

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 2	5,60	24,043	1,646	0,6	0,6	Terzaghi	1,2
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Terzaghi	3,3

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 2	5,60	24,043	1,646	0,6	0,6	Metodo generale del modulo Edometrico	48,1
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Metodo generale del modulo Edometrico	130,9

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eu (Kg/cm ²)
Strato 2	5,60	24,043	1,646	0,6	0,6	Cancelli 1980	878,4
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Cancelli 1980	2406,4

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
Strato 2	5,60	24,043	1,646	0,6	0,6	Imai & Tomauchi	195,4
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Imai & Tomauchi	360,3

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 2	5,60	24,043	1,646	0,6	0,6	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Piacentini Righi 1978	>9

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 2	5,60	24,043	1,646	0,6	0,6	Meyerhof	2,0
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Meyerhof	2,2

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	C	Crm
Strato 2	5,60	24,043	1,646	0,6	0,6	0,12232	0,0159
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	0,09991	0,01299

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 2	5,60	24,043	1,646	0,6	0,6	Meyerhof	2,1
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Meyerhof	2,2

Velocità onde di taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 2	5,60	24,043	1,646	0,6	0,6	Jamiolkowski et al 1985	250,51
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Jamiolkowski et al 1985	305,76

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	1,00	21,6	1,827	0,1	0,1	Harman	80,1
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Harman	51,4

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	1,00	21,6	1,827	0,1	0,1	Herminier	36,1
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Herminier	24,7

Modulo di Young

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato 1	1,00	21,6	1,827	0,1	0,1		0,0
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3		0,0

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 1	1,00	21,6	1,827	0,1	0,1	Buisman - Sanglerat	108,0
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Buisman - Sanglerat	98,2

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 1	1,00	21,6	1,827	0,1	0,1	Imai & Tomauchi	183,0
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Imai & Tomauchi	360,3

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 1	1,00	21,6	1,827	0,1	0,1	Larsson 1991 S.G.I.	0,7
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Larsson 1991 S.G.I.	3,2

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ko
Strato 1	1,00	21,6	1,827	0,1	0,1	Kulhawy & Mayne (1990)	1,16
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Kulhawy & Mayne (1990)	0,39

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	C	Crm
Strato 1	1,00	21,6	1,827	0,1	0,1	0,12857	0,01671
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	0,09991	0,01299

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	1,00	21,6	1,827	0,1	0,1	Meyerhof	1,8
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Meyerhof	1,8

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	1,00	21,6	1,827	0,1	0,1	Meyerhof	2,1
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Meyerhof	2,1

Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,15

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 1	1,00	21,6	1,827	0,1	0,1	Robertson & Wride 1997	30,34
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Robertson & Wride 1997	27,296

Velocità onde di taglio.

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 1	1,00	21,6	1,827	0,1	0,1	Jamiolkowski et al 1985	287,49
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Jamiolkowski et al 1985	373,05

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	1,00	21,6	1,827	0,1	0,1	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 2	5,60	24,043	1,646	0,6	0,6	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Piacentini-Righi 1988	6,72E-11

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione e (cm ² /s)
Strato 1	1,00	21,6	1,827	0,1	0,1	Piacentini-Righi 1988	6,48E-07
Strato 2	5,60	24,043	1,646	0,6	0,6	Piacentini-Righi 1988	7,2129E-07
Strato 3	10,00	65,455	3,088	1,6	1,3	Piacentini-Righi 1988	1,318985E-05

PROVA ... Nr.3

Committente: SVAB srl

Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)

Prova eseguita in data: 21/10/2016

Profondità prova: 10,00 mt

Località: San Michele - Alessandria

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	13,0	0,0	2,267	0,0	
0,40	35,00	69,0	35,0	3,067	11,412	8,8
0,60	50,00	96,0	50,0	3,2	15,625	6,4
0,80	43,00	91,0	43,0	2,533	16,976	5,9
1,00	29,00	67,0	29,0	2,067	14,03	7,1
1,20	21,00	52,0	21,0	1,867	11,248	8,9
1,40	18,00	46,0	18,0	1,333	13,503	7,4
1,60	18,00	38,0	18,0	1,467	12,27	8,2
1,80	15,00	37,0	15,0	1,6	9,375	10,7
2,00	16,00	40,0	16,0	1,6	10,0	10,0
2,20	18,00	42,0	18,0	1,467	12,27	8,2
2,40	19,00	41,0	19,0	1,667	11,398	8,8
2,60	20,00	45,0	20,0	1,8	11,111	9,0
2,80	31,00	58,0	31,0	1,733	17,888	5,6
3,00	32,00	58,0	32,0	2,0	16,0	6,3
3,20	28,00	58,0	28,0	1,4	20,0	5,0
3,40	25,00	46,0	25,0	1,133	22,065	4,5
3,60	23,00	40,0	23,0	1,0	23,0	4,3
3,80	21,00	36,0	21,0	1,067	19,681	5,1

4,00	21,00	37,0	21,0	1,267	16,575	6,0
4,20	30,00	49,0	30,0	1,267	23,678	4,2
4,40	41,00	60,0	41,0	2,067	19,836	5,0
4,60	42,00	73,0	42,0	2,333	18,003	5,6
4,80	38,00	73,0	38,0	2,067	18,384	5,4
5,00	26,00	57,0	26,0	1,6	16,25	6,2
5,20	37,00	61,0	37,0	1,667	22,196	4,5
5,40	40,00	65,0	40,0	2,0	20,0	5,0
5,60	46,00	76,0	46,0	2,133	21,566	4,6
5,80	40,00	72,0	40,0	2,0	20,0	5,0
6,00	41,00	71,0	41,0	1,733	23,658	4,2
6,20	52,00	78,0	52,0	2,4	21,667	4,6
6,40	54,00	90,0	54,0	3,133	17,236	5,8
6,60	73,00	120,0	73,0	3,067	23,802	4,2
6,80	56,00	102,0	56,0	2,933	19,093	5,2
7,00	48,00	92,0	48,0	2,533	18,95	5,3
7,20	53,00	91,0	53,0	2,667	19,873	5,0
7,40	58,00	98,0	58,0	3,2	18,125	5,5
7,60	70,00	118,0	70,0	3,4	20,588	4,9
7,80	56,00	107,0	56,0	3,2	17,5	5,7
8,00	45,00	93,0	45,0	2,667	16,873	5,9
8,20	51,00	91,0	51,0	2,0	25,5	3,9
8,40	80,00	110,0	80,0	2,733	29,272	3,4
8,60	75,00	116,0	75,0	2,933	25,571	3,9
8,80	76,00	120,0	76,0	4,533	16,766	6,0
9,00	83,00	151,0	83,0	5,0	16,6	6,0
9,20	71,00	146,0	71,0	4,8	14,792	6,8
9,40	68,00	140,0	68,0	5,333	12,751	7,8
9,60	70,00	150,0	70,0	4,733	14,79	6,8
9,80	76,00	147,0	76,0	5,2	14,615	6,8
10,00	81,00	159,0	81,0	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1,00	31,4	2,627	1,9	Incoerente	Limo sabbioso con raro ghiaietto
6,00	28,28	1,651	2,0	Incoerente-Coesivo	Alluvioni argilloso-siltose-sabbiose
10,00	64,8	3,323	2,2	Incoerente-Coesivo	Alluvioni argilloso-sabbiose con raro ghiaietto

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Terzaghi	1,4
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Terzaghi	3,2

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Metodo generale del modulo Edometrico	56,6
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Metodo generale del modulo Edometrico	129,6

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eu (Kg/cm ²)
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Cancelli 1980	1034,6
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Cancelli 1980	2368,9

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Imai & Tomauchi	215,8
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Imai & Tomauchi	358,1

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Piacentini Righi 1978	>9

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Meyerhof	2,0
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Meyerhof	2,2

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	C	Crn
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	0,11403	0,01482
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	0,10009	0,01301

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Meyerhof	2,1
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Meyerhof	2,2

Velocità onde di taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Jamiolkowski et al 1985	258,73
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Jamiolkowski et al 1985	305,15

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	1,00	31,4	2,627	0,1	0,1	Harman	88,8
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Harman	37,5
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Harman	45,3

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	1,00	31,4	2,627	0,1	0,1	Herminier	38,5
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Herminier	24,0
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Herminier	23,9

Modulo di Young

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato 1	1,00	31,4	2,627	0,1	0,1		0,0
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7		0,0
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6		0,0

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 1	1,00	31,4	2,627	0,1	0,1	Buisman - Sanglerat	94,2
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Buisman - Sanglerat	141,4
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Buisman - Sanglerat	97,2

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 1	1,00	31,4	2,627	0,1	0,1	Imai & Tomauchi	230,0
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Imai & Tomauchi	215,8
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Imai & Tomauchi	358,1

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 1	1,00	31,4	2,627	0,1	0,1	Larsson 1991 S.G.I.	0,6
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ko
Strato 1	1,00	31,4	2,627	0,1	0,1	Kulhawy & Mayne (1990)	1,32
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Kulhawy & Mayne (1990)	0,34
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Kulhawy & Mayne (1990)	0,33

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	C	Crm
Strato 1	1,00	31,4	2,627	0,1	0,1	0,12001	0,0156
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	0,11403	0,01482
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	0,10009	0,01301

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	1,00	31,4	2,627	0,1	0,1	Meyerhof	1,8
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Meyerhof	1,8
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Meyerhof	1,8

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	1,00	31,4	2,627	0,1	0,1	Meyerhof	2,1
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Meyerhof	2,1
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Meyerhof	2,1

Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,15

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 1	1,00	31,4	2,627	0,1	0,1	Robertson & Wride 1997	50,428

Velocità onde di taglio.

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 1	1,00	31,4	2,627	0,1	0,1	Jamiolkowski et al 1985	313,91
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Jamiolkowski et al 1985	306,28
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Jamiolkowski et al 1985	372,17

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	1,00	31,4	2,627	0,1	0,1	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm ² /s)
Strato 1	1,00	31,4	2,627	0,1	0,1	Piacentini-Righi 1988	9,42E-07
Strato 2	6,00	28,28	1,651	0,7	0,7	Piacentini-Righi 1988	8,484E-07
Strato 3	10,00	64,8	3,323	1,6	1,6	Piacentini-Righi 1988	1,944E-06

PROVA ... Nr.4

Committente: SVAB srl
 Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data: 21/10/2016
 Profondità prova: 10,00 mt
 Località: San Michele - Alessandria

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	41,0	0,0	2,467	0,0	
0,40	28,00	65,0	28,0	1,867	14,997	6,7
0,60	32,00	60,0	32,0	2,0	16,0	6,3
0,80	28,00	58,0	28,0	1,867	14,997	6,7
1,00	23,00	51,0	23,0	1,467	15,678	6,4
1,20	19,00	41,0	19,0	1,267	14,996	6,7
1,40	18,00	37,0	18,0	1,133	15,887	6,3
1,60	18,00	35,0	18,0	1,267	14,207	7,0
1,80	17,00	36,0	17,0	1,333	12,753	7,8
2,00	18,00	38,0	18,0	1,4	12,857	7,8
2,20	19,00	40,0	19,0	1,467	12,952	7,7
2,40	19,00	41,0	19,0	1,733	10,964	9,1
2,60	20,00	46,0	20,0	1,6	12,5	8,0
2,80	19,00	43,0	19,0	2,0	9,5	10,5
3,00	21,00	51,0	21,0	1,933	10,864	9,2
3,20	23,00	52,0	23,0	1,933	11,899	8,4
3,40	21,00	50,0	21,0	1,733	12,118	8,3
3,60	23,00	49,0	23,0	2,0	11,5	8,7
3,80	30,00	60,0	30,0	1,533	19,569	5,1
4,00	28,00	51,0	28,0	2,133	13,127	7,6
4,20	30,00	62,0	30,0	1,867	16,069	6,2
4,40	37,00	65,0	37,0	1,933	19,141	5,2
4,60	35,00	64,0	35,0	1,933	18,107	5,5
4,80	29,00	58,0	29,0	1,467	19,768	5,1
5,00	25,00	47,0	25,0	1,2	20,833	4,8
5,20	27,00	45,0	27,0	1,0	27,0	3,7
5,40	23,00	38,0	23,0	1,4	16,429	6,1
5,60	27,00	48,0	27,0	1,733	15,58	6,4
5,80	39,00	65,0	39,0	2,067	18,868	5,3
6,00	44,00	75,0	44,0	2,533	17,371	5,8
6,20	41,00	79,0	41,0	2,2	18,636	5,4
6,40	45,00	78,0	45,0	2,0	22,5	4,4
6,60	51,00	81,0	51,0	2,067	24,673	4,1
6,80	52,00	83,0	52,0	4,8	10,833	9,2
7,00	88,00	160,0	88,0	4,6	19,13	5,2
7,20	56,00	125,0	56,0	3,733	15,001	6,7
7,40	62,00	118,0	62,0	4,8	12,917	7,7
7,60	53,00	125,0	53,0	3,267	16,223	6,2
7,80	81,00	130,0	81,0	2,667	30,371	3,3
8,00	60,00	100,0	60,0	2,533	23,687	4,2
8,20	67,00	105,0	67,0	2,667	25,122	4,0
8,40	80,00	120,0	80,0	3,333	24,002	4,2
8,60	73,00	123,0	73,0	3,4	21,471	4,7
8,80	71,00	122,0	71,0	3,467	20,479	4,9
9,00	78,00	130,0	78,0	3,667	21,271	4,7
9,20	65,00	120,0	65,0	2,933	22,162	4,5

9,40	72,00	116,0	72,0	2,8	25,714	3,9
9,60	78,00	120,0	78,0	3,467	22,498	4,4
9,80	80,00	132,0	80,0	3,333	24,002	4,2
10,00	86,00	136,0	86,0	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1,00	22,2	1,934	1,8	Incoerente	Limo sabbioso di copertura
5,60	23,739	1,609	2,0	Incoerente-Coesivo	Alluvioni argilloso-siltose-sabbiose
10,00	64,636	3,015	2,2	Incoerente-Coesivo	Alluvioni argilloso-sabbiose con raro ghiaietto

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Terzaghi	1,2
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Terzaghi	3,2

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Metodo generale del modulo Edometrico	47,5
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Metodo generale del modulo Edometrico	129,3

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eu (Kg/cm ²)
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Cancelli 1980	866,2
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Cancelli 1980	2364,5

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Imai & Tomauchi	193,9

Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Imai & Tomauchi	357,6
----------	-------	--------	-------	-----	-----	-----------------	-------

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Piacentini Righi 1978	>9

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Meyerhof	2,0
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Meyerhof	2,2

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	C	Crm
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	0,12303	0,01599
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	0,10014	0,01302

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Meyerhof	2,1
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Meyerhof	2,2

Velocità onde di taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Jamiolkowski et al 1985	249,88
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Jamiolkowski et al 1985	304,99

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	1,00	22,2	1,934	0,1	0,1	Harman	78,2
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Harman	33,3
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Harman	46,0

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	1,00	22,2	1,934	0,1	0,1	Herminier	35,2
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Herminier	23,7
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Herminier	24,0

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 1	1,00	22,2	1,934	0,1	0,1	Buisman - Sanglerat	111,0
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Buisman - Sanglerat	118,7
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Buisman - Sanglerat	97,0

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	G (Kg/cm ²)
Strato 1	1,00	22,2	1,934	0,1	0,1	Imai & Tomauchi	186,1
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Imai & Tomauchi	193,9
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Imai & Tomauchi	357,6

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 1	1,00	22,2	1,934	0,1	0,1	Larsson 1991 S.G.I.	0,7
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Larsson 1991 S.G.I.	<0.5

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ko
Strato 1	1,00	22,2	1,934	0,1	0,1	Kulhawy & Mayne (1990)	1,09
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Kulhawy & Mayne (1990)	0,32
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Kulhawy &	0,34

							Mayne (1990)
--	--	--	--	--	--	--	-----------------

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	C	Crm
Strato 1	1,00	22,2	1,934	0,1	0,1	0,12691	0,0165
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	0,12303	0,01599
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	0,10014	0,01302

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	1,00	22,2	1,934	0,1	0,1	Meyerhof	1,8
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Meyerhof	1,8
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Meyerhof	1,8

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	1,00	22,2	1,934	0,1	0,1	Meyerhof	2,1
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Meyerhof	2,1
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Meyerhof	2,1

Liquefazione - Accelerazione sismica massima (g)=0,15

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Fattore di sicurezza a liquefazione
Strato 1	1,00	22,2	1,934	0,1	0,1	Robertson & Wride 1997	32,928

Velocità onde di taglio.

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 1	1,00	22,2	1,934	0,1	0,1	Jamiolkowski et al 1985	289,35
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Jamiolkowski et al 1985	293,94
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Jamiolkowski et al 1985	371,95

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	1,00	22,2	1,934	0,1	0,1	Piacentini-	1,00E-11

						Righi 1988	
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Piacentini-Righi 1988	1,00E-11
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Piacentini-Righi 1988	1,09E-10

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm ² /s)
Strato 1	1,00	22,2	1,934	0,1	0,1	Piacentini-Righi 1988	6,660001E-07
Strato 2	5,60	23,739	1,609	0,6	0,6	Piacentini-Righi 1988	7,1217E-07
Strato 3	10,00	64,636	3,015	1,6	1,6	Piacentini-Righi 1988	2,109098E-05

4.2. Azione sismica: categoria del suolo di fondazione

Le onde sismiche legate ad un evento tellurico, subiscono riflessioni e rifrazioni durante la loro propagazione, a causa delle eterogeneità crostali.

Negli strati più superficiali, dal punto di vista geotecnico, questo può causare variazioni della capacità portante, oppure dar luogo a incrementi della spinta sulle opere di sostegno, o ancora causare veri e propri fenomeni di instabilità, particolarmente nei terreni potenzialmente liquefacibili.

Le onde meccaniche generate da un terremoto inducono effetti diversi in relazione al tipo di terreno, a seconda che questo abbia un comportamento stabile o instabile sotto l'effetto del moto vibratorio legato al sisma. Il terreno ha un comportamento stabile quando le sollecitazioni del sisma sono inferiori alla resistenza al taglio del terreno, quando i terreni sono costituiti da ghiaie, sabbie addensate e argille consistenti.

Il terreno ha un comportamento instabile quando le sollecitazioni del sisma superano la resistenza al taglio del terreno e questo si verifica in terreni caratterizzati dalla presenza di argille molli e in terreni saturi, con effetto di degradazione legati alla pressione interstiziale.

Il piano di indagini ha previsto la realizzazione di una prova MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) finalizzata ad ottenere la stratigrafia

di velocità delle onde trasversali V_s da cui ricavare il parametro V_{s30} (velocità media di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano campagna, parametro di riferimento per la classificazione sismica dei suoli secondo il D.M. 14/01/08): si illustrano nel seguito le metodologie adottate ed i risultati ottenuti.

4.2.1. Prospezione geofisica MASW

L'indagine sismica di tipo MASW (Multi Channel Analysis of Surface Waves) attivo e passivo sfrutta le onde di superficie (onde di Rayleigh) e il fenomeno della dispersione delle stesse (variazione della velocità di fase con il variare della frequenza).

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga: questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (V_s), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali. Questo tipo di analisi fornisce i parametri fondamentali comunemente utilizzati per valutare la rigidità superficiale, una proprietà critica per molti studi geotecnici.

L'intero processo comprende tre passi successivi: l'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore.

Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati. Dei valori approssimati per il rapporto di Poisson e per la densità sono necessari per ottenere il profilo verticale Vs dalla curva di dispersione e vengono solitamente stimati utilizzando misure prese in loco o valutando le tipologie dei materiali.

Quando si generano le onde piane della modalità fondamentale delle onde di Reyleigh, vengono generate anche una molteplicità di tipi diversi di onde. Fra queste le onde di corpo, le onde superficiali non piane, le onde riverberate (back scattered) dalle disomogeneità superficiali, il rumore ambientale e quello imputabile alle attività umane.

Le onde di corpo sono in vario modo riconoscibili in un sismogramma multicanale. Quelle rifratte e riflesse sono il risultato dell'interazione fra le onde e l'impedenza acustica (il contrasto di velocità) fra le superfici di discontinuità, mentre le onde di corpo dirette viaggiano, come è implicito nel nome, direttamente dalla sorgente ai ricevitori (geofoni).

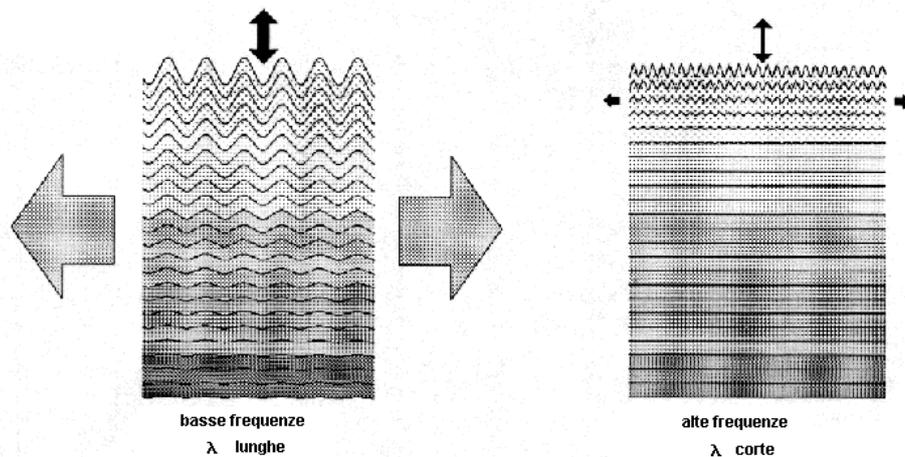
Le onde che si propagano a breve distanza dalla sorgente sono sempre onde superficiali. Queste onde, in prossimità della sorgente, seguono un complicato comportamento non lineare e non possono essere trattate come onde piane.

Le onde superficiali riverberate (back scattered) possono essere prevalenti in un sismogramma multicanale se in prossimità delle misure sono presenti discontinuità orizzontali quali fondazioni e muri di contenimento. Le ampiezze relative di ciascuna tipologia di rumore generalmente cambiano con la frequenza e la distanza dalla sorgente. Ciascun rumore, inoltre, ha diverse velocità e proprietà di attenuazione che possono essere identificate sulla registrazione multicanale grazie all'utilizzo di modelli di coerenza e in base ai tempi di arrivo e all'ampiezza di ciascuno.

La scomposizione di un campo di onde registrate in un formato a frequenza variabile consente l'identificazione della maggior parte del rumore, analizzando la fase e la frequenza dipendentemente dalla distanza dalla sorgente. La scomposizione può essere quindi utilizzata in associazione con la registrazione multicanale per minimizzare il rumore durante l'acquisizione. La scelta dei parametri di elaborazione così come del miglior intervallo di frequenza per il calcolo della velocità di fase, può essere fatto con maggior accuratezza utilizzando dei sismogrammi multicanale. Una volta scomposto il sismogramma, una opportuna misura di coerenza applicata nel tempo e nel dominio della frequenza può essere utilizzata per calcolare la velocità di fase rispetto alla frequenza.

La velocità di fase e la frequenza sono le due variabili (x ; y), il cui legame costituisce la curva di dispersione. E' anche possibile determinare l'accuratezza del calcolo della curva di dispersione analizzando la pendenza lineare di ciascuna componente di frequenza delle onde superficiali in un singolo sismogramma: in questo caso la MASW permette la miglior registrazione e separazione ad ampia banda ed elevati rapporti S/N.

Un buon rapporto S/N assicura accuratezza nel calcolo della curva di dispersione, mentre l'ampiezza di banda migliora la risoluzione e la possibile profondità di indagine del profilo V_s di inversione.



L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte), hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali quale la MASW può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

Il principale vantaggio di un metodo di registrazione multicanale è la capacità di riconoscimento dei diversi comportamenti, che consente di identificare ed estrarre il segnale utile dall'insieme di varie e differenti tipi di onde sismiche. Quando un impatto è applicato sulla superficie del terreno, tutte queste onde vengono simultaneamente generate con differenti proprietà di attenuazione, velocità e contenuti spettrali. Queste proprietà sono individualmente identificabili in una registrazione multicanale e lo stadio successivo del processo fornisce grande versatilità nell'estrazione delle informazioni utili.

4.2.2. Strumentazione utilizzata e stendimento effettuato

L'acquisizione è stata effettuata con un sismografo GEA24 della PASI s.r.l. dotato di convertitore analogico/digitale integrato con un computer portatile su cui è installato un apposito programma che gestisce la visualizzazione, l'analisi e la memorizzazione delle forme d'onda registrate.

I geofoni utilizzati possiedono una frequenza di risonanza pari 4.5 Hz con distorsione inferiore allo 0.2%. L'energizzazione è stata ottenuta con massa battente da 8 Kg su piastra metallica in alluminio; per l'innesco (trigger) si è utilizzato uno "shock sensor" collegato alla mazza battente e connesso via cavo al sismografo.

Per l'acquisizione dei dati di campo è stato realizzato uno stendimento geofonico di lunghezza pari a 46 m, posizionando n°24 geofoni con un interasse di 2 m. Sono individuati 2 punti di energizzazione all'estremità dello stendimento, distanti 2,0 m dall'estremità dello stesso (ovvero alle progressive relative 0 m e +50 m). Per ogni punto di energizzazione sono stati generati almeno 3 impulsi sismici.

4.2.3. Risultati dell'indagine MASW

Il calcolo del profilo delle velocità delle onde di Rayleigh, $V(\text{fase})/\text{freq.}$, può essere convertito nel profilo $V_s/\text{profondità}$. Il metodo passivo sfrutta il rumore naturale, mentre il metodo attivo sfrutta sorgenti sismiche (massa battente).

Tale metodo non è univoco e quindi il modello che ne scaturisce è un modello teorico; per questo motivo è preferibile operare in presenza di dati di taratura (come nel caso specifico) onde ricavare il modello reale.

I dati acquisiti in campagna sono stati quindi elaborati e, grazie ai dati di taratura forniti, è stato possibile ricostruire un modello $V_s/\text{profondità}$ attendibile.

L'indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento della velocità delle V_s fino a circa 30 m di profondità, con il locale substrato rigido

che si colloca a partire da 10,3 m circa da p.c. (incremento delle Vs di circa il doppio).

In seguito sono riportati i risultati della prova MASW elaborata tramite il software della Geostru EasyMASW.

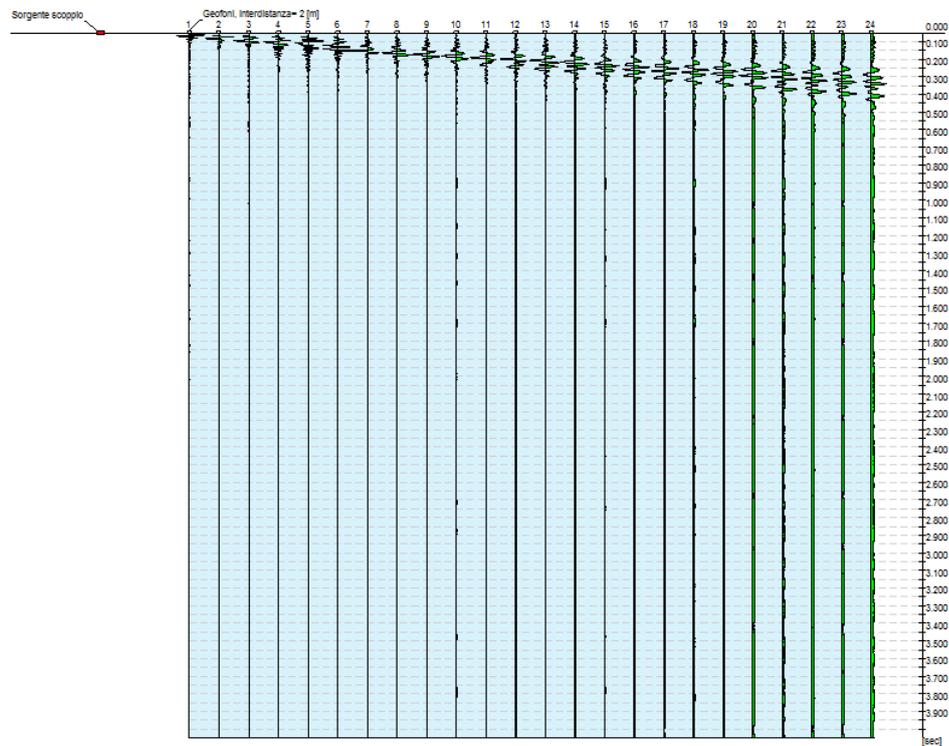
Dati generali

Cantiere	P.E.C.L.I. - San Michele
Località	San Michele - Alessandria (AL)
Operatore	Dott. Geol. Ulderico Ferrero
Responsabile	Dott. Geol. Massimo Castellaro
Data	20/10/2016 15:27
Latitudine	44.9544
Longitudine	8.5822

Tracce

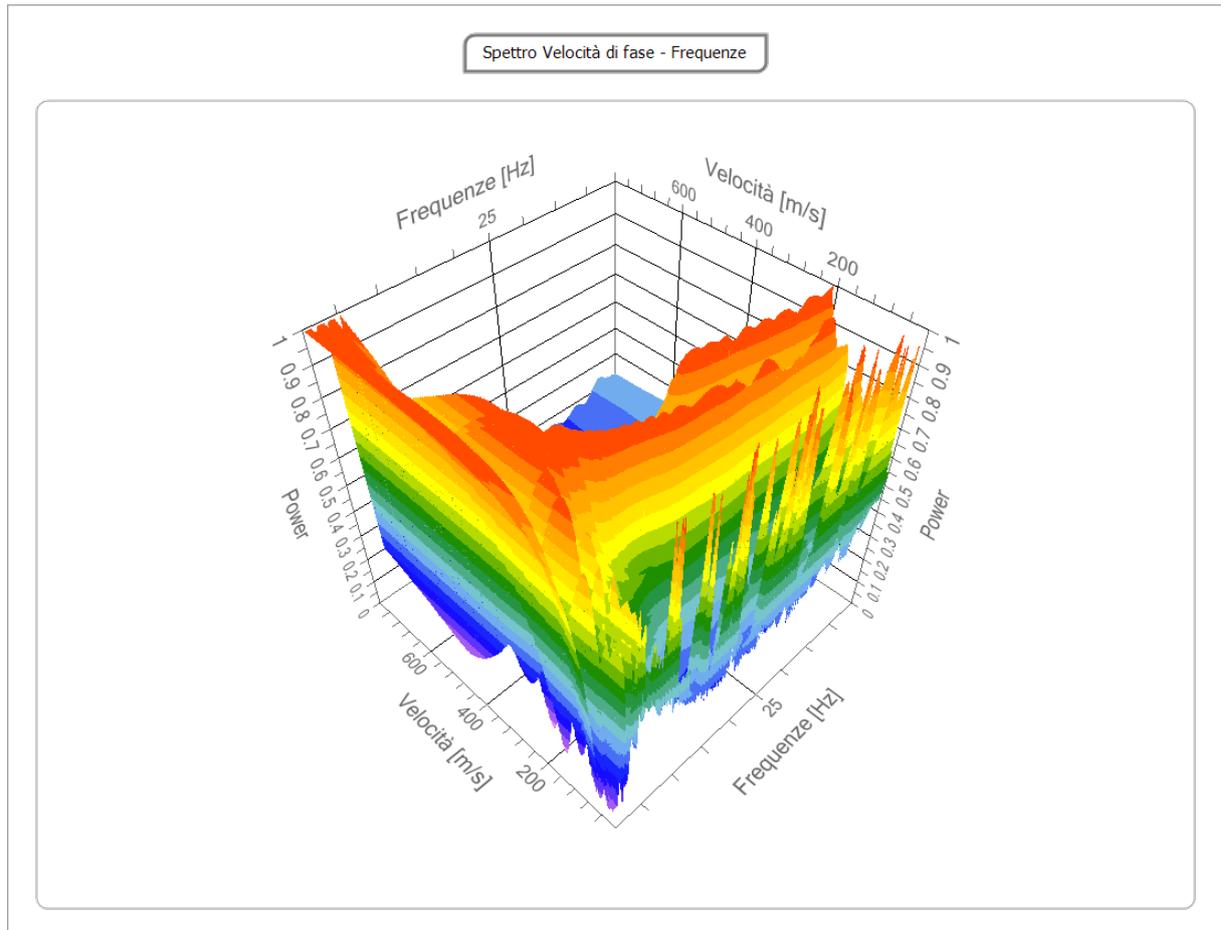
N. tracce	24
Durata acquisizione [msec]	4000.0
Interdistanza geofoni [m]	2.0
Periodo di campionamento [msec]	0.25

Cantiere: P.E.C.L.I. - San Michele
 Località: San Michele - Alessandria (AL)
 Operatore: Dott. Geol. Ulderico Ferrero
 Responsabile: Dott. Geol. Massimo Castellaro
 Data: 20/10/2016
 Latitudine: 44.9544°, Longitudine: 8.5822°



Analisi spettrale

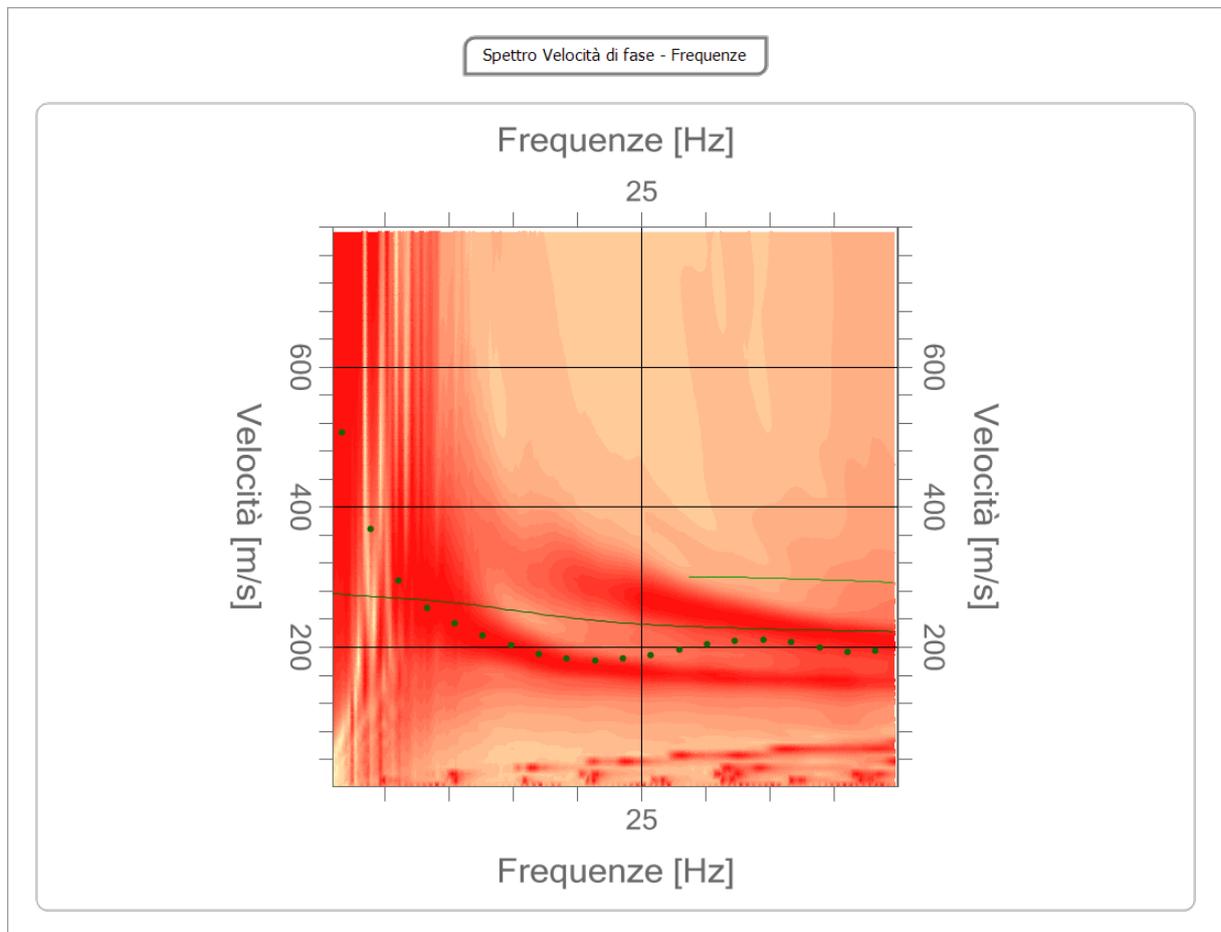
Frequenza minima di elaborazione [Hz]	1
Frequenza massima di elaborazione [Hz]	45
Velocità minima di elaborazione [m/sec]	1
Velocità massima di elaborazione [m/sec]	800
Intervallo velocità [m/sec]	1



Curva di dispersione

n.	Frequenza [Hz]	Velocità [m/sec]	Modo
1	1.7	505.9	0
2	3.9	368.0	0
3	6.1	294.8	0
4	8.3	256.1	0
5	10.5	233.2	0
6	12.7	216.6	0
7	14.8	202.4	0
8	17.0	190.6	0
9	19.2	182.8	0
10	21.4	180.7	0
11	23.6	183.0	0
12	25.8	188.4	0
13	27.9	195.8	0
14	30.1	203.3	0
15	32.3	208.8	0
16	34.5	210.2	0
17	36.7	206.8	0
18	38.9	199.4	0

19	41.1	192.4	0
20	43.2	194.6	0



Inversione

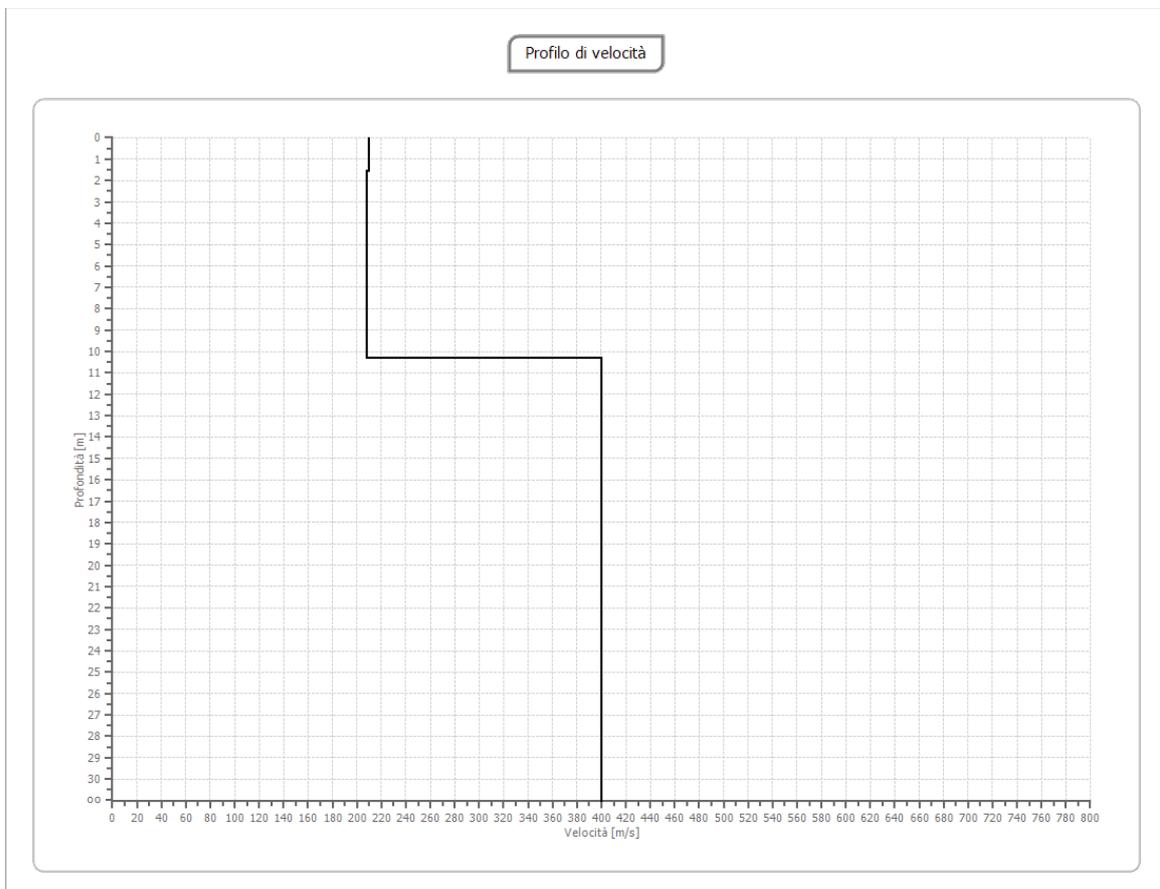
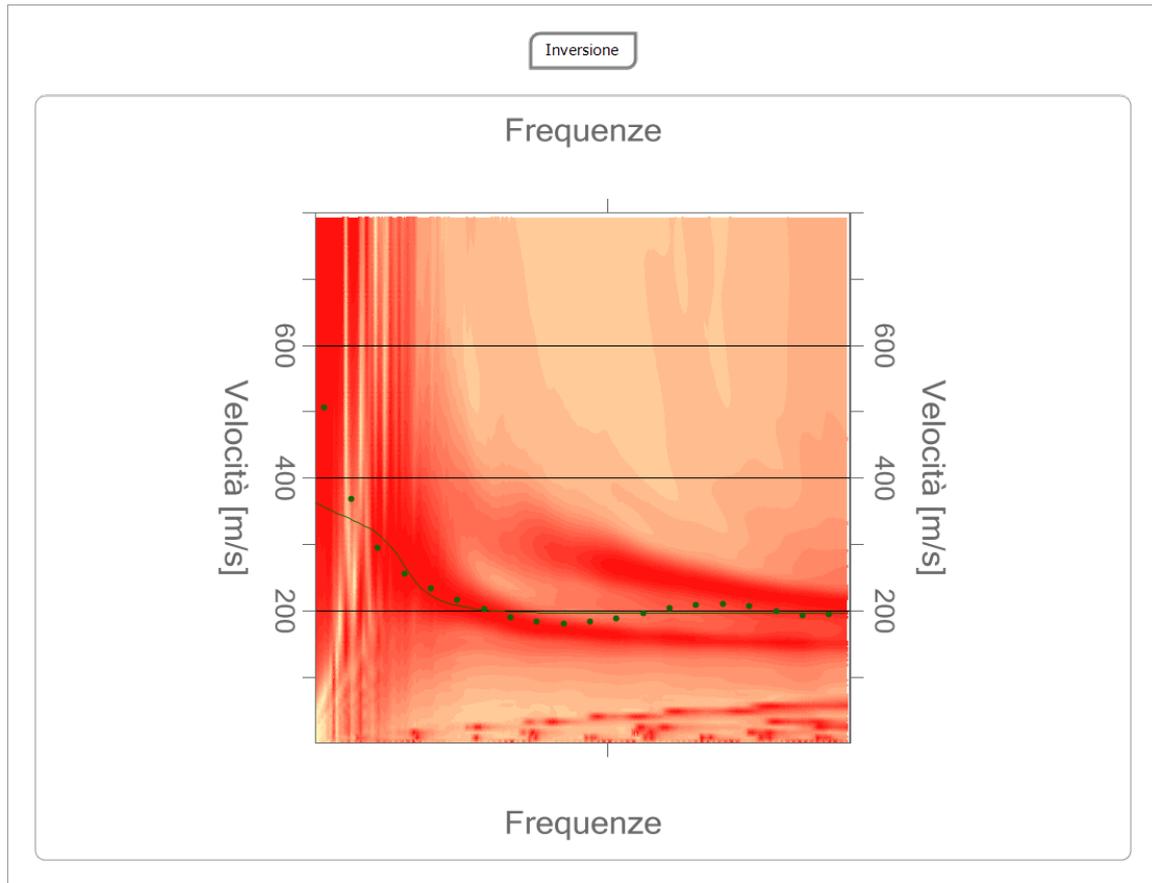
n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso unità volume [kg/mc]	Coefficiente Poisson	Falda	Vp [m/sec]	Vs [m/sec]
1	1.56	1.56	1700.0	0.3	No	393.0	210.1
2	10.30	8.73	1700.0	0.3	Si	389.0	208.0
3	oo	oo	1900.0	0.3	Si	748.0	399.8

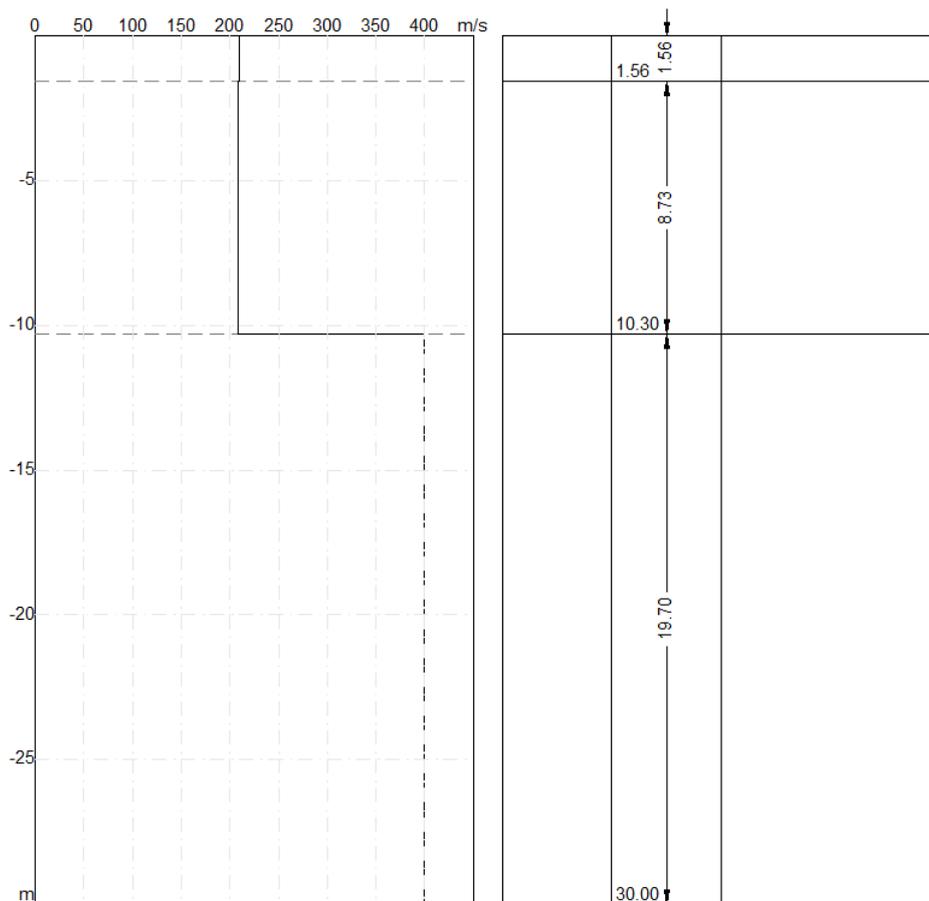
Percentuale di errore

2.159 %

Fattore di disadattamento della soluzione

0.084





Per il calcolo del modulo di taglio è stata usata una formula approssimata per la valutazione della densità, non nota. La formula utilizzata è la seguente:

$$\text{densità} = 1,5 + Vs/1000$$

Poiché il valore del modulo di taglio G in MegaPascal si ottiene dalla formula:

$$G = Vs \times Vs \times \text{Densità} / 10^3$$

è facile ricalcolare il modulo G esatto quando si disponesse di valori più precisi di densità.

Con una curva di colore rosso è stato tracciato il valore di V_s progressiva: dalla curva si può quindi ricavare il valore di V_{s10} , V_{s20} e così via, e quindi anche il valore di V_{s30} , quest'ultimo ovviamente alla profondità 30.

A destra è visibile il sismogramma mentre in basso è riportato il valore del parametro V_{s30} calcolato utilizzando la stratigrafia V_s e la formula:

$$V_{s30} = 30 / [(\sum_{i=1, N} h_i / V_i)]$$

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio (m/s) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori.

Come illustrato a fondo testo, il valore di **Vs30** ottenuto tramite la prova MASW effettuata è risultato pari a **303,88 m/s** a partire dal piano campagna.

In riferimento al D.M. 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni", le indagini effettuate consentono di inquadrare il sedime nell'ambito della **categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione di tipo C**, ovvero "Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{U,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina)".

Altri parametri geotecnici

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Vp [m/s]	Densità [kg/mc]	Coeff. Poisson	G0 [MPa]	Ed [MPa]	M0 [MPa]	Ey [MPa]	NSPT	Qc [kPa]
1	1.56	1.56	210.08	393.03	1600.0	0.30	70.62	247.16	153.00	183.60	N/A	973.70
2	10.30	8.73	207.95	389.04	1800.0	0.30	77.84	272.44	168.65	202.38	N/A	925.10
3	oo	oo	399.82	747.99	2000.0	0.30	319.71	1118.9	692.70	831.24	N/A	N/A

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young.

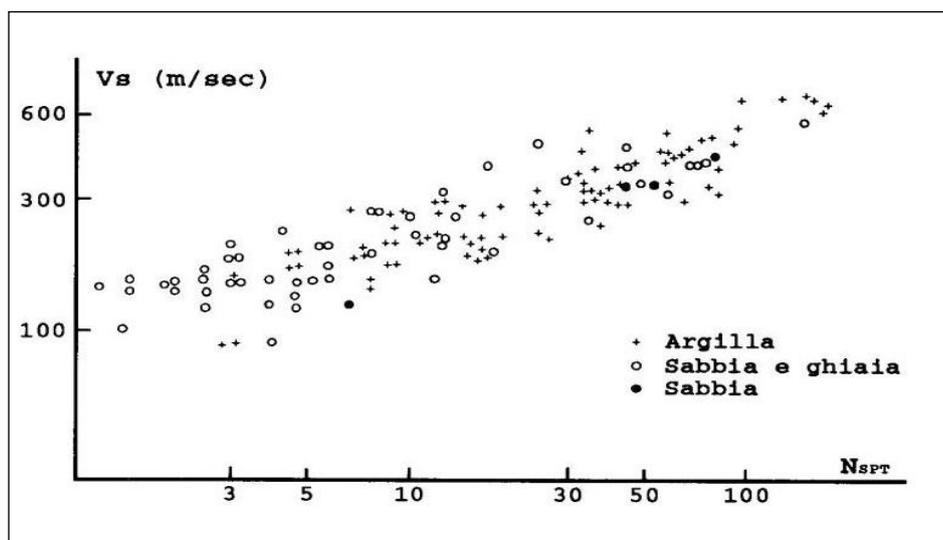
Ai sensi dell'O.P.C.M. n° 3274 del 20/03/2003 e succ. modifiche (aggiornamento 15/01/2005) e dell'O.P.C.M. n°3519 del 20/04/2006, il numero di zone sismiche è fissato pari a 4, corrispondenti ai 4 valori di accelerazione orizzontale (a_g / g) di ancoraggio dello spettro di risposta elastico. Il **Comune di Alessandria** ricade in **zona sismica 3**, cui corrisponde un'accelerazione sismica orizzontale $0,05 < g < 0,15$, con probabilità di superamento non

maggiore del 10% in 50 anni, che si traduce in un'accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico pari a **0,15 (a_g / g)**.

Sulla base di quanto esposto, si è proceduto alla ricostruzione del profilo stratigrafico correlando i dati ricavati dai sondaggi effettuati nel cosiddetto intorno significativo, dalle prove penetrometriche svolte *in situ* e dalle conoscenze geologiche bibliografiche.

Attraverso una mirata indagine geofisica è stato possibile fornire dati sulle velocità delle onde di taglio V_s .

I valori delle velocità delle onde di taglio V_s sono stati anche confrontati graficamente con le relazioni sperimentali tra V_s e N_{SPT} per argille, sabbie e ghiaie di MAI & YOSHIMURA (1975). Il grafico conferma i calcoli sopra effettuati:



Nel sito in oggetto, ai sensi del D.M. 14/01/2008 "N.T.C." e s.m.i., i parametri e coefficienti sismici, in riferimento alle opere di nuova realizzazione sono i seguenti:

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e fondazioni
Muro rigido: 0

Sito in esame

latitudine: 44,953738
longitudine: 8,584205
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 14471	Lat: 44,9329	Lon: 8,5482	Distanza: 3657,502
Sito 2 ID: 14472	Lat: 44,9358	Lon: 8,6187	Distanza: 3368,186
Sito 3 ID: 14250	Lat: 44,9857	Lon: 8,6147	Distanza: 4288,693
Sito 4 ID: 14249	Lat: 44,9829	Lon: 8,5442	Distanza: 4514,012

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,018 g
Fo: 2,529
Tc*: 0,161 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,023 g
Fo: 2,509
Tc*: 0,191 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,052 g
Fo: 2,580
Tc*: 0,279 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,065 g
Fo: 2,603
Tc*: 0,292 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,920
St: 1,000
Kh: 0,005
Kv: 0,003
Amax: 0,259
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,810
St: 1,000
Kh: 0,007
Kv: 0,003
Amax: 0,336
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,500
Cc: 1,600
St: 1,000
Kh: 0,016
Kv: 0,008
Amax: 0,770
Beta: 0,200

SLC:

Ss: 1,500
Cc: 1,580
St: 1,000
Kh: 0,020
Kv: 0,010
Amax: 0,959
Beta: 0,200

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - www.geostru.com

Coordinate WGS84

latitudine: 44.952785

longitudine: 8.583142

4.3 Indagine di sismica a rifrazione

L'indagine sismica a rifrazione consiste nella registrazione dei tempi d'arrivo delle onde di compressione (P), create allo scopo tramite opportuna energizzazione, e rifratte dalle superfici che costituiscono contrasti di impedenza del sottosuolo. La registrazione si realizza attraverso uno stendimento di geofoni disposti ad intervalli regolari lungo il profilo da indagare. L'equidistanza tra i geofoni ed il loro numero dipendono dal dettaglio e dal target (profondità di indagine). La misura dei tempi d'arrivo delle onde P ai diversi geofoni permette di ricostruire l'andamento e la profondità degli orizzonti rifrattori presenti nel sottosuolo e, nel caso di misura anche delle onde secondarie o di taglio (S), di calcolare le caratteristiche elastiche dinamiche dei terreni e degli ammassi rocciosi investigati.

La n°1 indagine eseguita ha permesso la determinazione dell'andamento dei riflettori circa nei primi 12 m di profondità: **in seguito è riportata la elaborazione tramite il software Easy Refract di Geostru.**

Lo strumento utilizzato è il sismografo PASI GEA24 della PASI S.r.l (Via Galliari, 5/e - Torino) a 24 canali. Nello specifico è stato realizzato uno stendimento della lunghezza di 48,0 m, posizionando il primo geofono di riferimento (G1) in corrispondenza del punto avente coordinate x,y (0,0) e distanziando successivamente gli altri geofoni di 4,0 m ottenendo una configurazione del tipo G1 (2;0), G2 (4;0), G3 (6;0), G5 (8;0), G6 (10;0), G7 (12;0), G8 (14;0), G9 (16;0), G10 (18;0), G11 (20;0), G12 (22;0), G13 (24;0), G14 (26;0), G15 (28;0), G16 (30;0), G17 (32;0), G18 (34;0), G19 (36;0), G20 (38;0), G21 (40;0), G22 (42;0), G23 (44;0), G24 (46;0).

Per la sismica a rifrazione, mantenendo la medesima configurazione della MASW, si è energizzato a -12m, 0m, +11m, +23m, +35m, +47m, +58m di distanza dal primo geofono G1. Utilizzando il software **Easy Refract®** della GeoStru, è stata analizzata ogni singola traccia per individuare gli strati con velocità differenti di propagazione delle onde sismiche.

Con la sismica a rifrazione è stato possibile discriminare orizzonti stratigrafici caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde sismiche V_p e V_s . La profondità d'indagine è all'incirca pari a 1/5 - 1/4 della lunghezza dello stendimento, ovvero, nel caso specifico, circa 12 m. Oltre a ricavare una stratigrafia del sottosuolo rappresentante l'andamento morfologico dei rifrattori individuati dall'indagine, sono stati anche ricavati alcuni parametri geotecnici dei terreni attraversati.

Easy Refract

Le indagini di sismica a rifrazione consentono di interpretare la stratigrafia del sottosuolo attraverso il principio fisico del fenomeno della rifrazione totale di un'onda sismica che incide su una discontinuità, individuata fra due corpi aventi proprietà meccaniche diverse (orizzonte rifrattorio). La condizione fondamentale per eseguire studi di sismica a rifrazione è quella per cui la successione di strati da investigare sia caratterizzata da velocità sismiche crescenti all'aumentare della profondità. In questo modo si possono valutare fino a 4 o 5 orizzonti rifrattori differenti. Le prove si basano sulla misura dei tempi di percorso delle onde elastiche per le quali, ipotizzando le superfici di discontinuità estese rispetto alla lunghezza d'onda o, comunque, con deboli curvature, i fronti d'onda sono rappresentati mediante i relativi raggi sismici. L'analisi si avvale, poi, del principio di Fermat e della legge di Snell. Il principio di Fermat stabilisce che il raggio sismico percorre la distanza tra sorgente e rilevatore seguendo il percorso per cui il tempo di tragitto è minimo. Per tale principio, dato un piano che separa due mezzi con caratteristiche elastiche diverse, il raggio sismico è quello che si estende lungo un piano perpendicolare alla discontinuità contenente sia la sorgente che il ricevitore. La legge di Snell è una formula che descrive le modalità di rifrazione di un raggio sismico nella transizione tra due mezzi caratterizzati da diversa velocità di propagazione delle onde o, equivalentemente, da diversi indici di rifrazione. L'angolo formato tra la superficie di discontinuità e il raggio sismico è chiamato angolo di incidenza θ_i mentre quello formato tra il raggio rifratto e la superficie normale è detto angolo di rifrazione θ_r . La formulazione matematica è:

$$v_2 \sin \theta_i = v_1 \sin \theta_r$$

Dove v_1 e v_2 sono le velocità dei due mezzi separati dalla superficie di discontinuità.

Per $v_1 > v_2$ si ha che $\theta_i > \theta_r$ e la sismica a rifrazione non è attuabile poiché il raggio rifratto andrebbe ad inclinarsi verso il basso. Per $v_1 < v_2$ si ha che $\theta_i < \theta_r$ ed esiste un angolo limite di incidenza per cui $\theta_r = 90^\circ$ ed il raggio rifratto viaggia parallelamente alla superficie di discontinuità. L'espressione che definisce l'angolo limite è:

$$\theta_i = \arcsin(v_1 / v_2)$$

Il modo più semplice per analizzare i dati di rifrazione è quello di costruire un diagramma tempi-distanze in cui l'origine del sistema di riferimento è posto in corrispondenza della sorgente di generazione delle onde elastiche. In ascissa sono rappresentate le posizioni dei geofoni ed in ordinata i tempi dei primi arrivi. Ai geofoni più vicini alla sorgente giungono per primi gli impulsi che hanno seguito il percorso diretto in un tempo T dato dalla relazione:

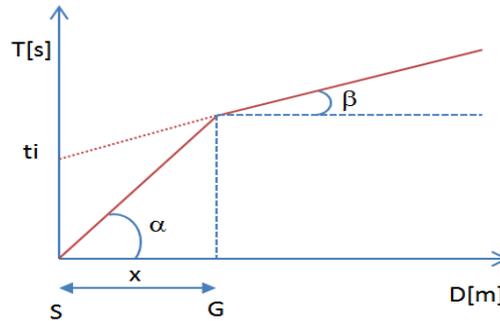
$$T = x_i / V_1$$

dove x_i è la distanza tra il punto di energizzazione e il punto di rilevazione.

L'equazione precedente rappresenta una retta che passa per l'origine degli assi tempi-distanze e il suo coefficiente angolare consente di calcolare la velocità V_1 del primo mezzo come:

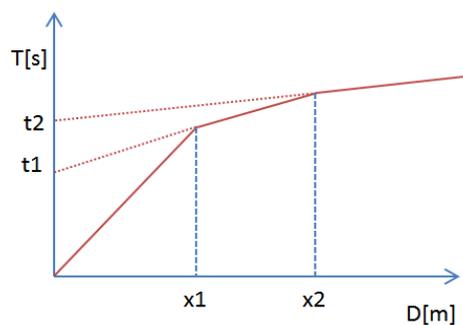
$$V_1 = 1 / \tan \alpha$$

I tempi di arrivo dei raggi rifratti, nel diagramma tempi-distanze, si dispongono secondo una retta che avrà pendenza minore di quella delle onde dirette.



La curva tempi-distanze tende ad avere un andamento regolare secondo una spezzata i cui vertici sono i chiamati *punti di ginocchio* e rappresentano, fisicamente, la condizione in cui si verifica l'arrivo contemporaneo delle onde dirette e rifratte. Per ciascuno di segmenti individuati si determina, dunque, il tempo di ritardo t_i che rappresenta la differenza tra il tempo che il raggio sismico impiega a percorrere un tratto alla velocità propria dello strato in cui si trasmette ed il tempo che impiegherebbe a viaggiare lungo la componente orizzontale di quel tratto alla massima velocità raggiunta in tutto il percorso di rifrazione.

Graficamente il tempo di ritardo è dato dall'intersezione della retta che comprende un segmento della curva tempi-distanze con l'asse dei tempi.

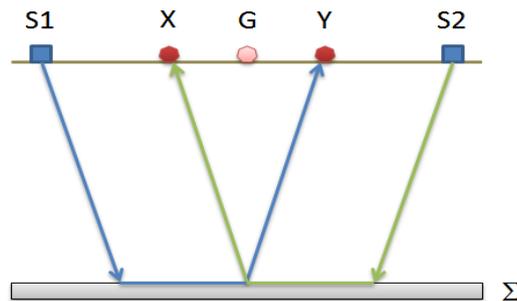


Infine, dalla conoscenza dei tempi t_i è possibile ricavare gli spessori dei rifrattori mediante la relazione:

$$h_{(i-1)} = \frac{V_{(i-1)}V_i}{2\sqrt{V_i^2 - V_{(i-1)}^2}} \left(t_i - \frac{2h_1\sqrt{V_i^2 - V_1^2}}{V_1V_i} - \dots - \frac{2h_{(i-2)}\sqrt{V_i^2 - V_{(i-2)}^2}}{V_1V_{(i-2)}} \right)$$

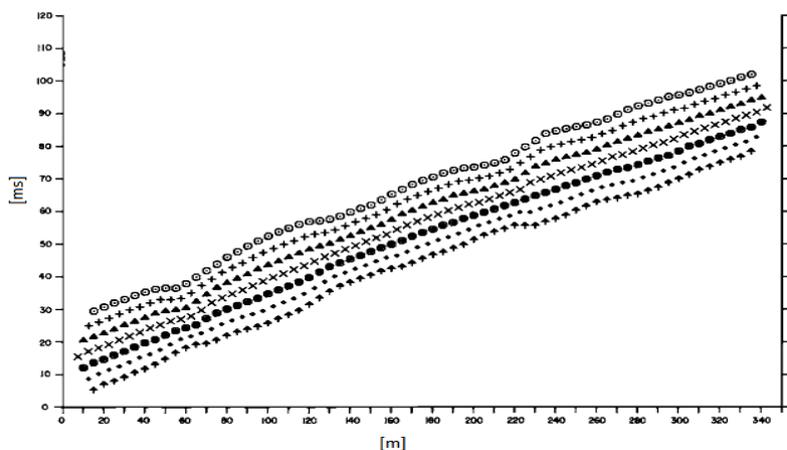
In situazioni morfologiche complesse può essere utilizzato come metodo di elaborazione il Metodo Reciproco Generalizzato (Generalized Reciprocal Method) discusso da Palmer nel 1980.

Il metodo è basato sulla ricerca di una distanza intergeofonica virtuale XY tale che i raggi sismici che partono da punti di energizzazione simmetrici rispetto allo stendimento, arrivino al geofono posto in posizione X e a quello posto in posizione Y provenendo da un medesimo punto del rifrattore.



Il primo passo operativo è quello di costruire un diagramma tempi-distanze individuando nei sismogrammi ottenuti dai dati di campagna i primi arrivi delle onde sismiche. Per determinare la distanza XY ottimale è necessario considerare più punti di energizzazione tanto agli estremi quanto all'interno dello stendimento. Ciò permette di individuare con maggiore accuratezza i tempi relativi ad un medesimo rifrattore utili a caratterizzare le dromocrone, fondamentali all'interpretazione. Nelle interpretazioni multi strato, la generazione delle dromocrone può sfruttare tecniche di phantoming per sopperire alla mancanza dei dati per alcuni rifrattori. Dalla costruzione delle dromocrone è possibile determinare *la funzione velocità* secondo l'equazione:

$$T_v = \frac{T_{S_1Y} - T_{S_2X} + T_{S_1S_2}}{2}$$



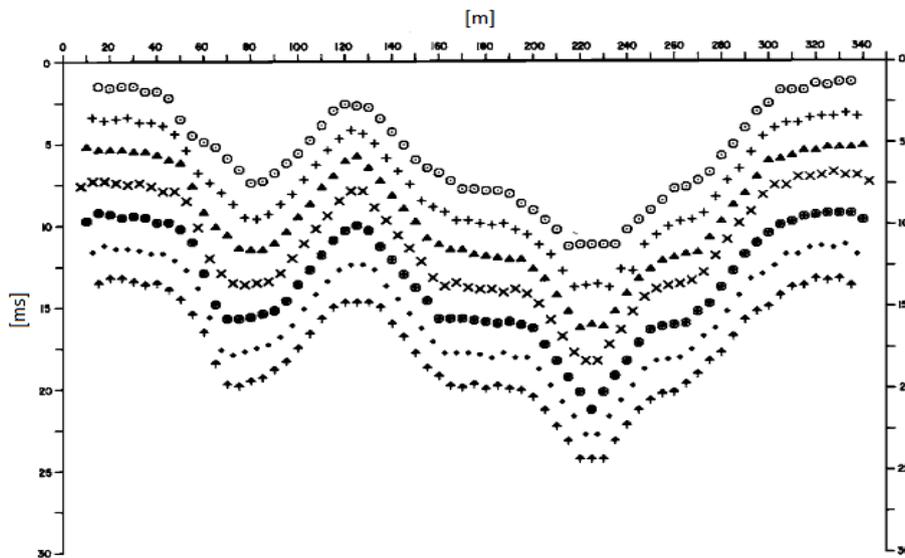
dove T_{S_1Y} e T_{S_2X} sono i tempi di percorrenza dei raggi sismici per giungere, rispettivamente, dalla sorgente S1 ad X e dalla sorgente S2 ad Y mentre $T_{S_1S_2}$ è il tempo di tragitto tra i due punti di scoppio S1 ed S2, esternamente simmetrici rispetto allo stendimento. T_V è il tempo calcolato su un geofono G posto tra X ed Y, non necessariamente coincidente con la posizione di un geofono dello stendimento.

Il calcolo della funzione T_V viene eseguito per ogni valore di XY compreso tra zero e metà dello stendimento con variazione pari alla distanza reale tra i geofoni dello stendimento. La migliore retta di regressione delle funzioni velocità ottenute, permette di determinare l'XY ottimo e la velocità del rifrattore che è ricavata dal coefficiente angolare.

Per mezzo della **funzione tempo-profondità** è possibile trovare la profondità del rifrattore espressa in unità di tempo. L'espressione di tale funzione è:

$$T_G = \frac{T_{S_1Y} + T_{S_2X} - \left(T_{S_1S_2} + \frac{XY}{V_n} \right)}{2}$$

Dove V_n è la velocità del rifrattore.



Analogamente a quanto avviene per la funzione velocità si determinano diverse funzioni tempo-profondità per l'insieme dei valori XY di studio. Tra le funzioni trovate, quella che presenta la maggiore articolazione compete al valore di XY ottimo.

Infine, è possibile determinare lo spessore del rifrattore in corrispondenza delle posizioni dei geofoni G mediante la relazione:

$$h = T_G \sqrt{\frac{V_n XY}{2T_G}}$$

h rappresenta la profondità minima dal geofono G dunque la morfologia del rifrattore è definita dall'involuppo delle semicirconferenze di raggio h.

Uno dei principali vantaggi del G.R.M. è che il fattore di conversione della profondità è relativamente insensibile alle inclinazioni fino a circa 20°.

Dati generali

Descrizione	Indagine geofisica tramite sismica a rifrazione
Zona	Zona sismica 3
Data	20/10/2016
Via	Loc. San Michele, Alessandria (AL)
Latitudine	44.9544[°]
Longitudine	8.5822[°]
Altitudine	100[m]

Geometria geofoni

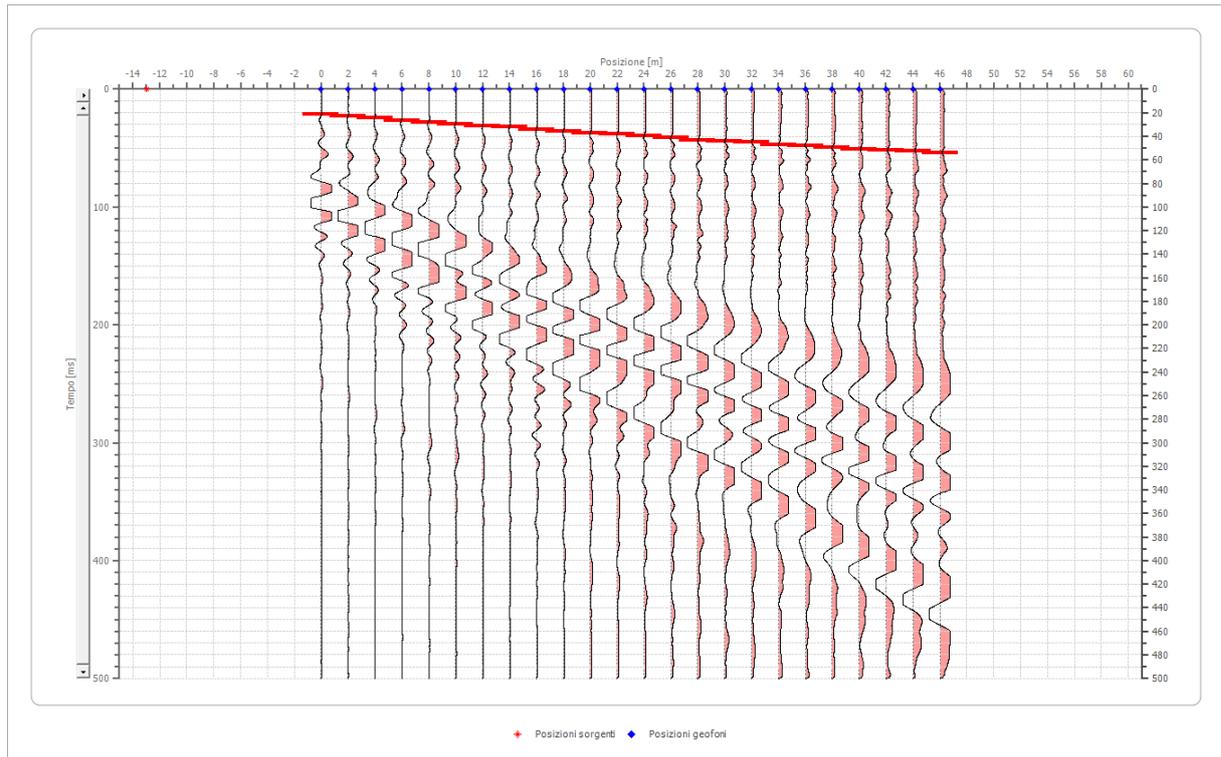
	Posizione X [m]	Posizione Z [m]
1	0.0	0.0
2	2.0	0.0
3	4.0	0.0
4	6.0	0.0
5	8.0	0.0
6	10.0	0.0
7	12.0	0.0
8	14.0	0.0
9	16.0	0.0
10	18.0	0.0
11	20.0	0.0
12	22.0	0.0
13	24.0	0.0
14	26.0	0.0
15	28.0	0.0
16	30.0	0.0
17	32.0	0.0
18	34.0	0.0
19	36.0	0.0
20	38.0	0.0
21	40.0	0.0
22	42.0	0.0
23	44.0	0.0
24	46.0	0.0

Dati battute

Battuta 1

Posizione sorgente X -13 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	21.3196
2.0	22.8425
4.0	24.3653
6.0	26.6495
8.0	28.1724
10.0	29.6952
12.0	31.2180
14.0	31.9795
16.0	34.2637
18.0	35.7865
20.0	37.3094
22.0	38.0708
24.0	39.5936
26.0	41.1164
28.0	43.4007
30.0	44.1621
32.0	44.9235
34.0	47.2078
36.0	47.9692
38.0	49.4920
40.0	51.0148
42.0	51.7763
44.0	52.5377
46.0	54.0605

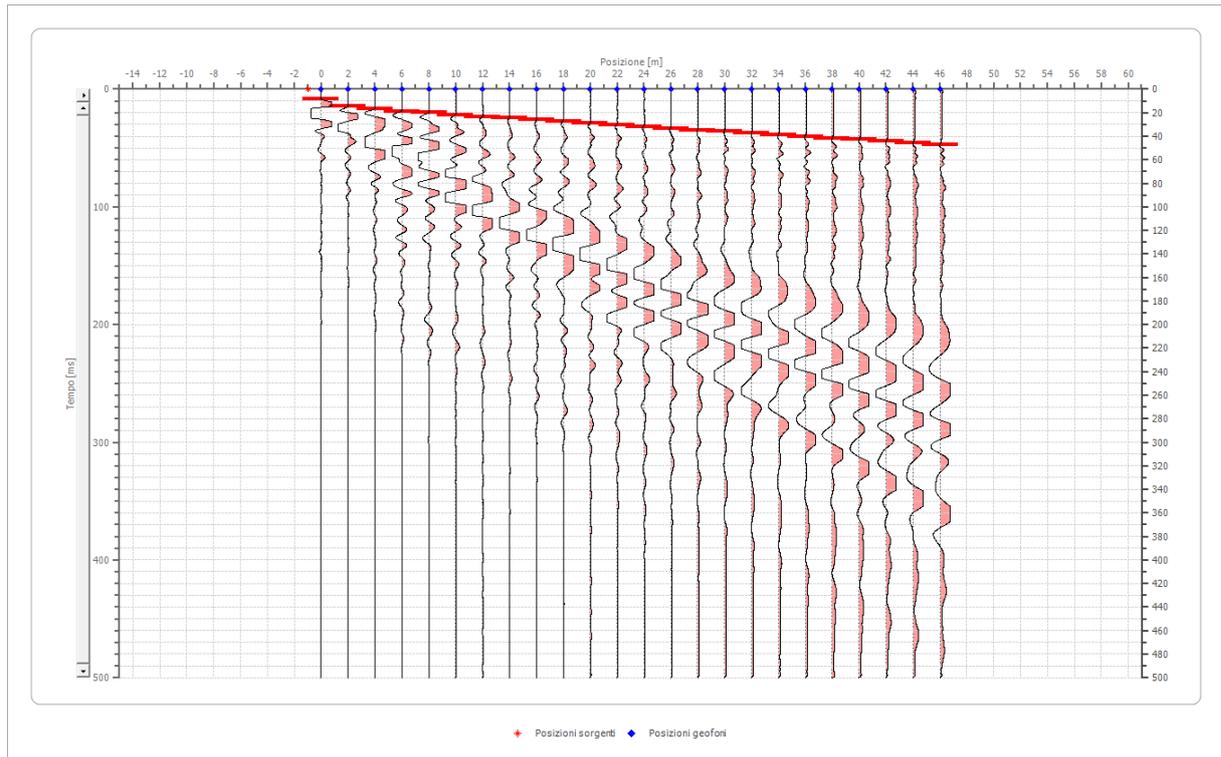


Battuta 2

Posizione sorgente X -1 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	8.3756
2.0	14.4669
4.0	16.7511
6.0	19.0354
8.0	19.7968
10.0	21.7500
12.0	23.6039
14.0	24.3653
16.0	25.8881
18.0	27.4110
20.0	28.9338
22.0	30.4566
24.0	31.9795
26.0	33.5023
28.0	35.0251
30.0	35.7865
32.0	37.3094
34.0	38.8322

36.0	40.3550
38.0	41.8779
40.0	42.6393
42.0	44.1621
44.0	45.6849
46.0	47.2078

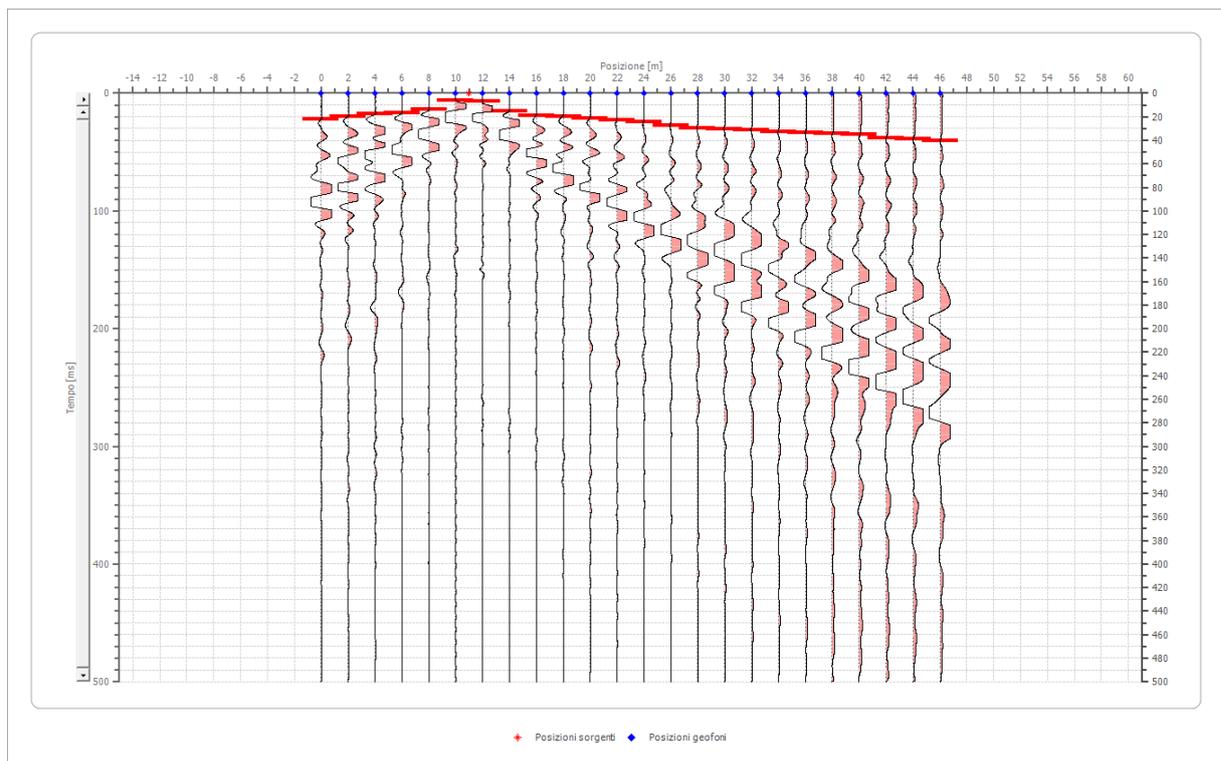


Battuta 3

Posizione sorgente X 11 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	22.0811
2.0	20.0000
4.0	17.5126
6.0	16.7511
8.0	13.7055
10.0	6.0913
12.0	6.8527
14.0	15.2283
16.0	19.0354

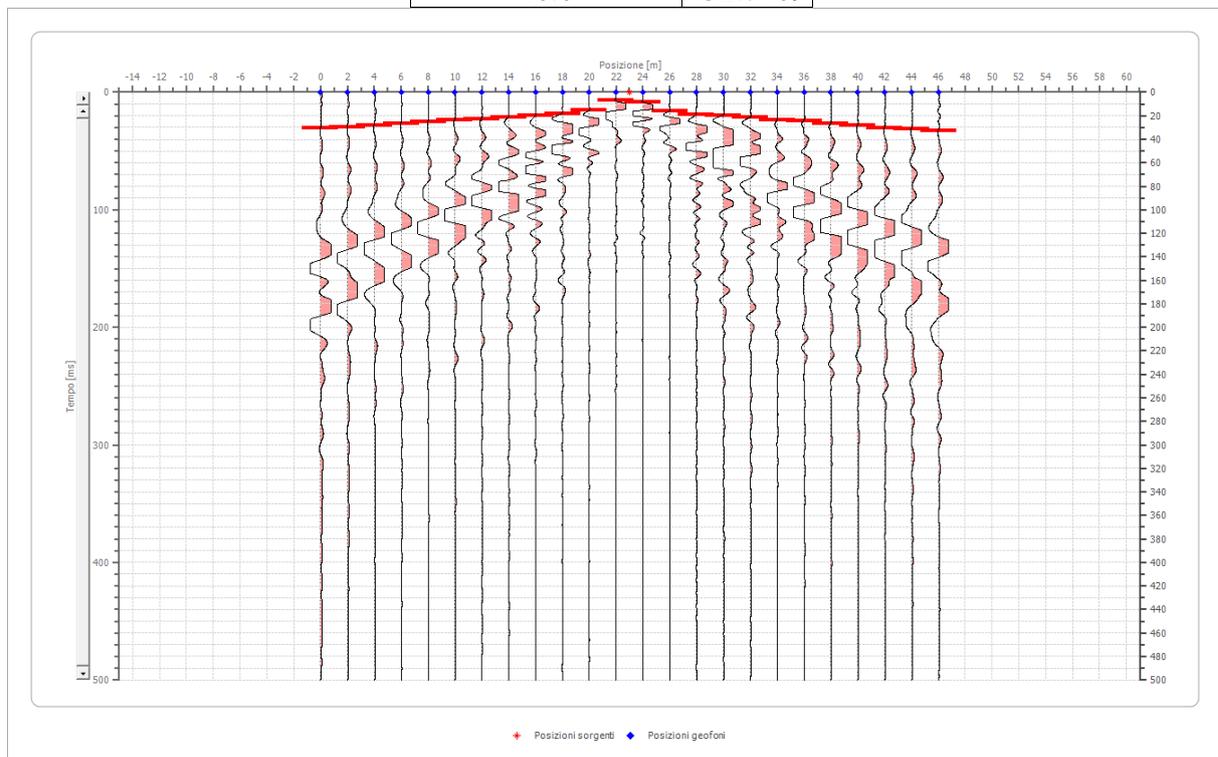
18.0	20.0000
20.0	21.2500
22.0	23.0000
24.0	24.2500
26.0	27.4110
28.0	29.6952
30.0	30.4566
32.0	31.2180
34.0	32.7409
36.0	33.5023
38.0	34.2637
40.0	35.0251
42.0	38.0708
44.0	38.8322
46.0	40.3550



Battuta 4

Posizione sorgente X 23 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

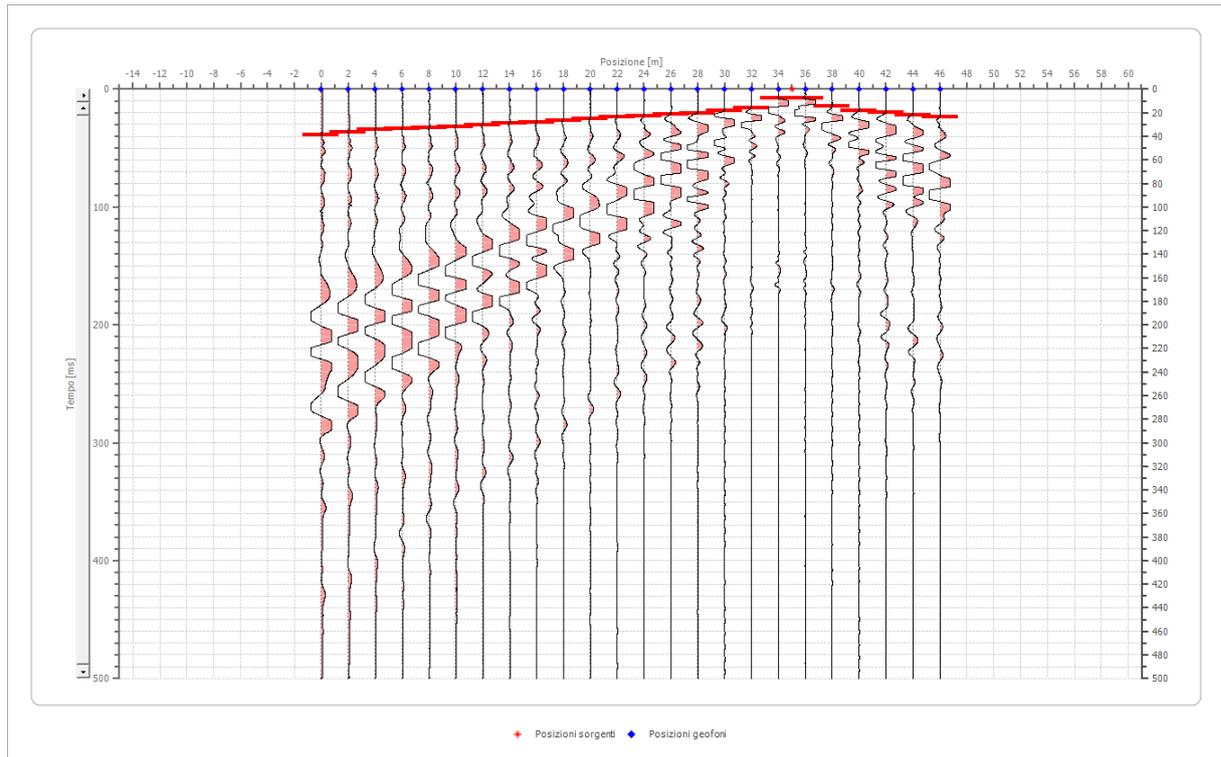
Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	30.4566
2.0	29.6952
4.0	28.1724
6.0	26.6495
8.0	25.1267
10.0	23.6039
12.0	22.5000
14.0	21.3196
16.0	20.0000
18.0	18.2740
20.0	15.2283
22.0	6.8527
24.0	8.3756
26.0	15.9897
28.0	19.0354
30.0	19.7968
32.0	21.5000
34.0	23.5000
36.0	24.5000
38.0	26.7500
40.0	28.1724
42.0	30.4566
44.0	31.2180
46.0	32.7409



Battuta 5

Posizione sorgente X 35 [m]
Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	38.8322
2.0	36.5479
4.0	34.2637
6.0	33.5023
8.0	32.7409
10.0	31.9795
12.0	30.4566
14.0	28.9338
16.0	28.1724
18.0	26.6495
20.0	25.5000
22.0	23.7500
24.0	22.8425
26.0	21.3196
28.0	20.5582
30.0	18.2740
32.0	15.9897
34.0	7.6142
36.0	7.6142
38.0	14.4669
40.0	18.2740
42.0	19.7968
44.0	22.0811
46.0	23.6039

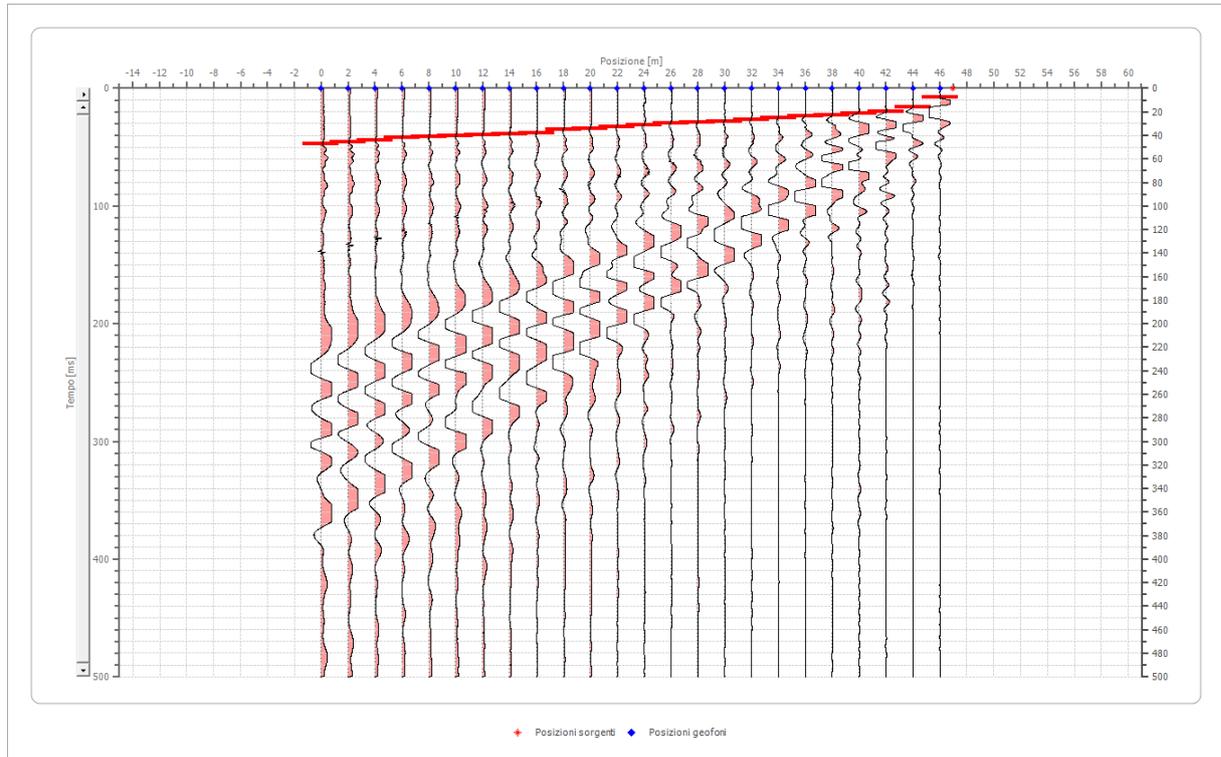


Battuta 6

Posizione sorgente X 47 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	47.2078
2.0	45.6849
4.0	44.1621
6.0	41.8779
8.0	41.1164
10.0	40.3550
12.0	39.5936
14.0	38.8322
16.0	38.0708
18.0	35.0251
20.0	34.2637
22.0	32.7409
24.0	31.2180
26.0	29.6952
28.0	28.9338
30.0	28.1724
32.0	26.7500
34.0	25.2500

36.0	23.5000
38.0	22.5000
40.0	21.3196
42.0	20.0000
44.0	15.9897
46.0	7.6142

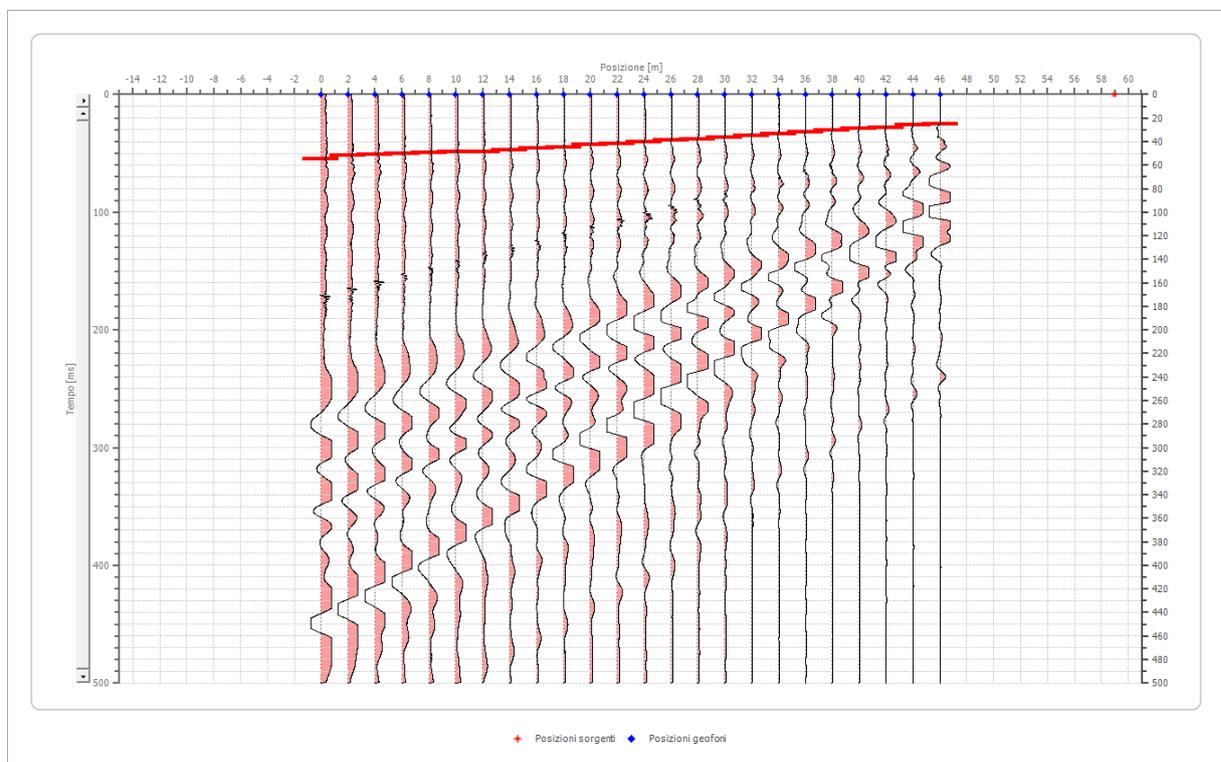


Battuta 7

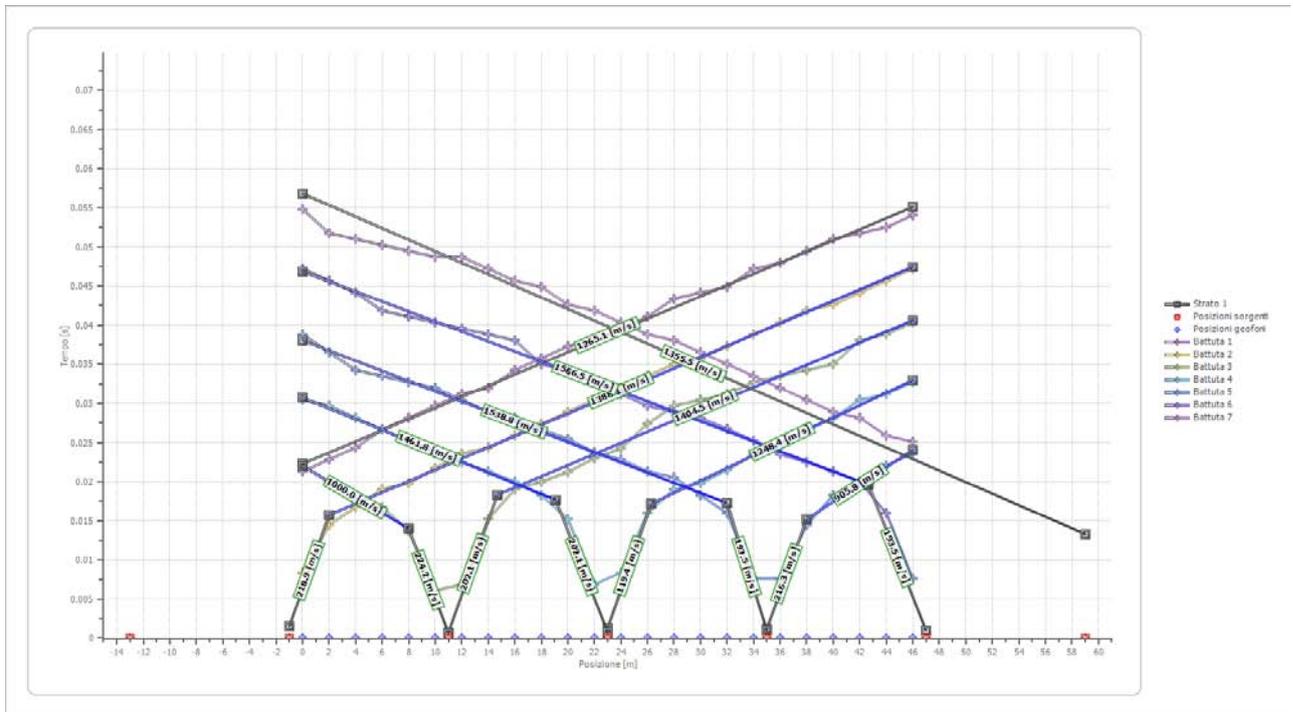
Posizione sorgente X 59 [m]
 Posizione sorgente Z 0 [m]

Posizione geofono [m]	Tempo [ms]
0.0	54.8219
2.0	51.7763
4.0	51.0148
6.0	50.2534
8.0	49.4920
10.0	48.7306
12.0	48.7306
14.0	47.2078
16.0	45.6849
18.0	44.9235

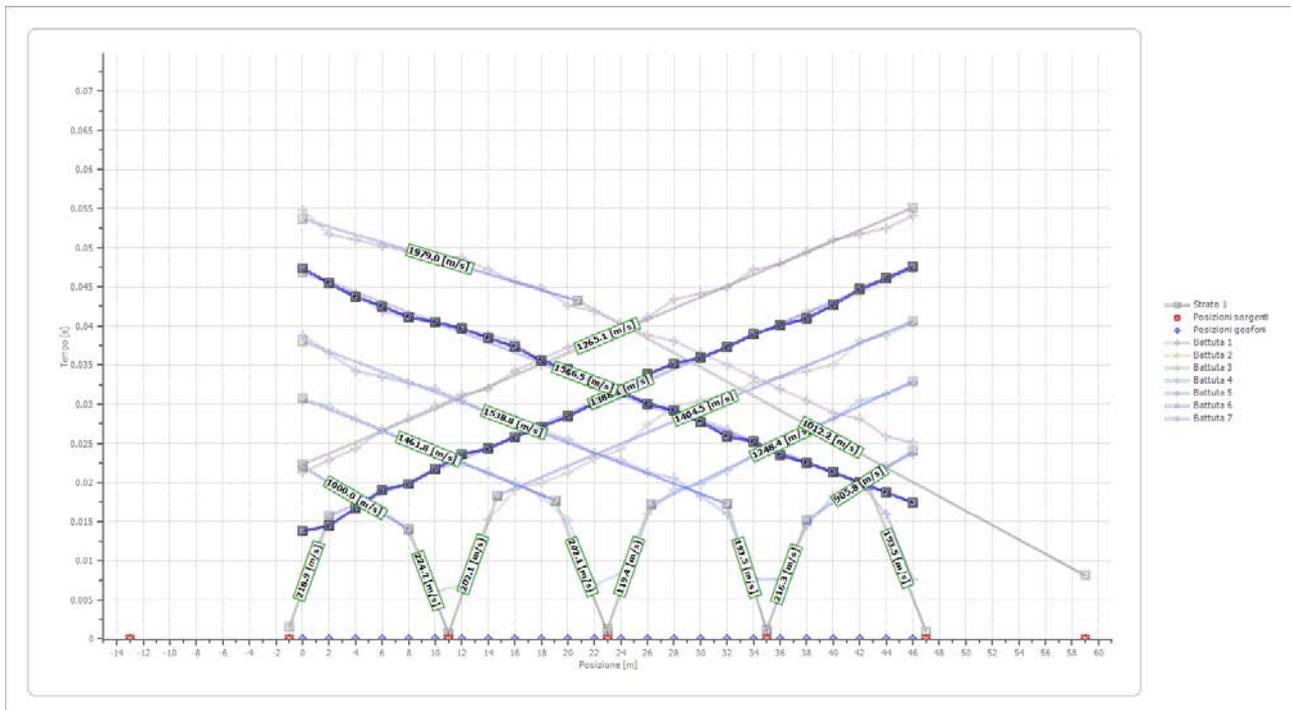
20.0	42.6393
22.0	41.8779
24.0	40.3550
26.0	38.8322
28.0	38.0708
30.0	36.5479
32.0	35.0251
34.0	33.5023
36.0	31.9795
38.0	30.4566
40.0	28.9338
42.0	28.1724
44.0	25.8881
46.0	25.1267



Dromocrone



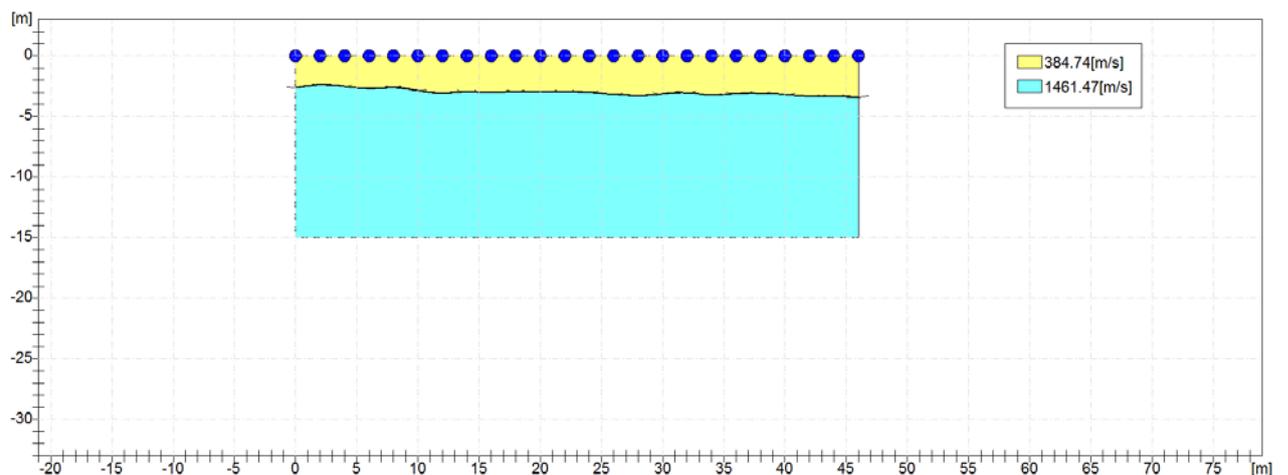
Dromocrone traslate

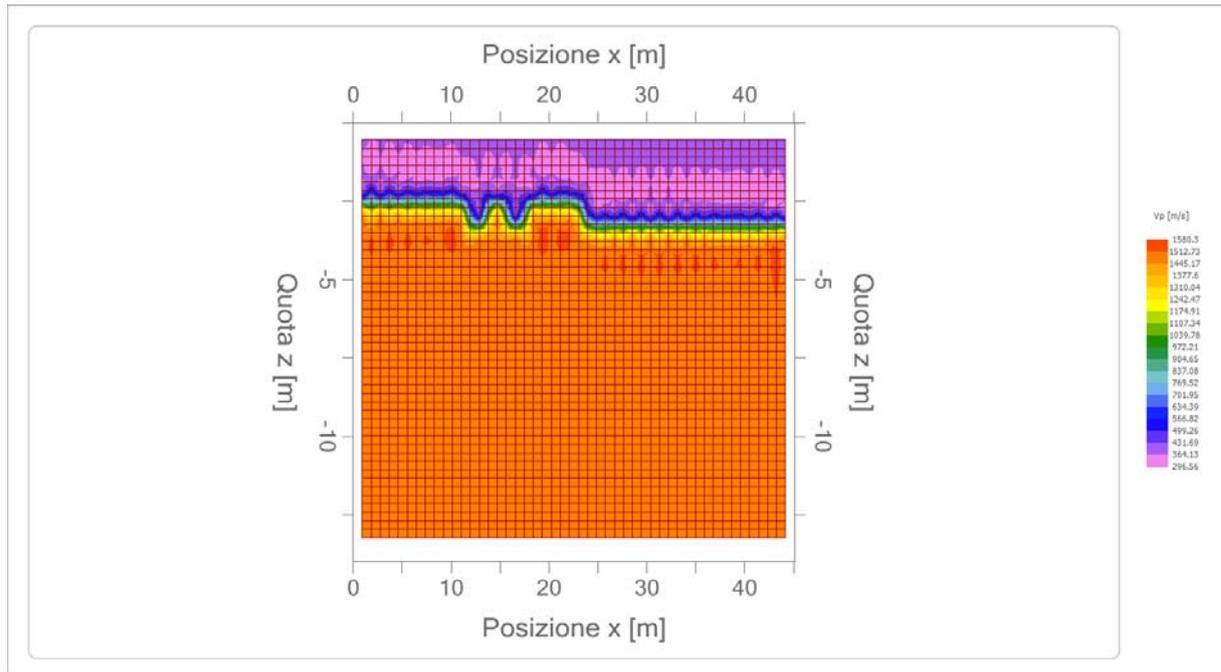


Interpretazione col metodo G,,R.M.

XY: 0

	Strato n. 1	Strato n. 2
G= 0.0 [m]	2.9	--
G= 2.0 [m]	2.7	--
G= 4.0 [m]	2.8	--
G= 6.0 [m]	3.0	--
G= 8.0 [m]	2.8	--
G= 10.0 [m]	3.1	--
G= 12.0 [m]	3.3	--
G= 14.0 [m]	3.2	--
G= 16.0 [m]	3.3	--
G= 18.0 [m]	3.1	--
G= 20.0 [m]	3.3	--
G= 22.0 [m]	3.3	--
G= 24.0 [m]	3.3	--
G= 26.0 [m]	3.5	--
G= 28.0 [m]	3.6	--
G= 30.0 [m]	3.4	--
G= 32.0 [m]	3.3	--
G= 34.0 [m]	3.6	--
G= 36.0 [m]	3.4	--
G= 38.0 [m]	3.4	--
G= 40.0 [m]	3.5	--
G= 42.0 [m]	3.7	--
G= 44.0 [m]	3.7	--
G= 46.0 [m]	3.7	--
Velocità [m/sec]	419.1	1459.3
Descrizione	Terreno di copertura alluvionale	Terreno alluvionale in falda





Altri parametri geotecnici

	Strato n. 1	Strato n. 2
Coefficiente Poisson	0.35	0.35
Densità [kg/m ³]	1800.00	1800.00
Vp [m/s]	419.06	1459.31
Vs [m/s]	201.31	701.03
G0 [MPa]	72.95	884.60
Ed [Mpa]	316.11	3833.26
M0 [MPa]	243.16	2948.66
Ey [Mpa]	196.96	2388.42

G0: Modulo di deformazione al taglio;

Ed: Modulo edometrico;

M0: Modulo di compressibilità volumetrica;

Ey: Modulo di Young.

4.3 Indagine di sismica passiva HVSR

La tecnica HVSR permette in primo luogo di valutare la frequenza di vibrazione naturale di un sito. Successivamente, come ulteriore sviluppo, la stima del parametro normativo V_{s30} attraverso un processo di inversione del problema iniziale. Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate.

Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.

Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce.

Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione.

Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee.

Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio, una semplice media aritmetica o una somma euclidea.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile valutarne il parametro normativo V_{s30} .

Nome progetto: Indagine di sismica passiva HVSR
 Cantiere: P.E.C.L.I. San Michele
 Località: Loc. San Michele - Alessandria (AL)
 Operatore: Dott. Geol. Ulderico Ferrero
 Responsabile: Dott. Geol. Massimo Castellaro
 Data: 20/10/2016 00:00:00
 Zona: Loc. San Michele - Alessandria (AL)
 Latitudine: 44.9544
 Longitudine: 8.5822

Tracce in input

Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
 Durata registrazione: 1500 s
 Frequenza di campionamento: 250.00 Hz
 Numero campioni: 375000
 Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 73
 Numero finestre incluse nel calcolo: 73
 Dimensione temporale finestre: 20.000 s
 Tipo di lisciamento: Triangolare proporzionale
 Percentuale di lisciamento: 10.00 %

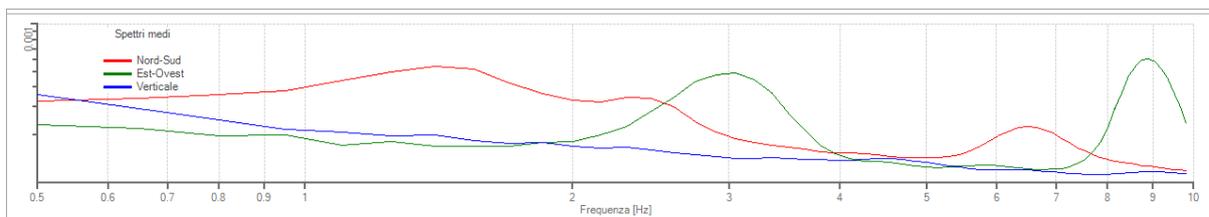
Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	20	Inclusa
2	20	40	Inclusa
3	40	60	Inclusa
4	60	80	Inclusa
5	80	100	Inclusa
6	120	140	Inclusa
7	140	160	Inclusa
8	160	180	Inclusa
9	180	200	Inclusa
10	200	220	Inclusa
11	220	240	Inclusa

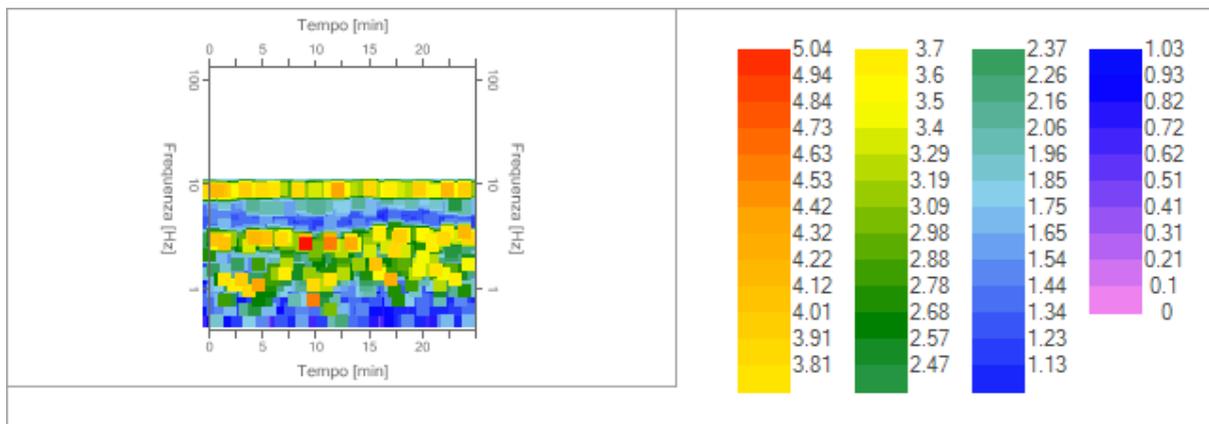
12	240	260	Inclusa
13	260	280	Inclusa
14	280	300	Inclusa
15	300	320	Inclusa
16	320	340	Inclusa
17	340	360	Inclusa
18	360	380	Inclusa
19	380	400	Inclusa
20	400	420	Inclusa
21	420	440	Inclusa
22	440	460	Inclusa
23	460	480	Inclusa
24	480	500	Inclusa
25	500	520	Inclusa
26	520	540	Inclusa
27	540	560	Inclusa
28	560	580	Inclusa
29	580	600	Inclusa
30	600	620	Inclusa
31	620	640	Inclusa
32	640	660	Inclusa
33	660	680	Inclusa
34	680	700	Inclusa
35	700	720	Inclusa
36	720	740	Inclusa
37	740	760	Inclusa
38	760	780	Inclusa
39	780	800	Inclusa
40	800	820	Inclusa
41	820	840	Inclusa
42	840	860	Inclusa
43	860	880	Inclusa
44	880	900	Inclusa
45	900	920	Inclusa
46	920	940	Inclusa
47	940	960	Inclusa
48	960	980	Inclusa
49	980	1000	Inclusa
50	1000	1020	Inclusa
51	1020	1040	Inclusa
52	1040	1060	Inclusa
53	1060	1080	Inclusa
54	1080	1100	Inclusa
55	1100	1120	Inclusa
56	1120	1140	Inclusa
57	1140	1160	Inclusa
58	1160	1180	Inclusa

59	1180	1200	Inclusa
60	1200	1220	Inclusa
61	1220	1240	Inclusa
62	1240	1260	Inclusa
63	1260	1280	Inclusa
64	1280	1300	Inclusa
65	1300	1320	Inclusa
66	1320	1340	Inclusa
67	1340	1360	Inclusa
68	1360	1380	Inclusa
69	1380	1400	Inclusa
70	1400	1420	Inclusa
71	1420	1440	Inclusa
72	1440	1460	Inclusa
73	1460	1480	Inclusa

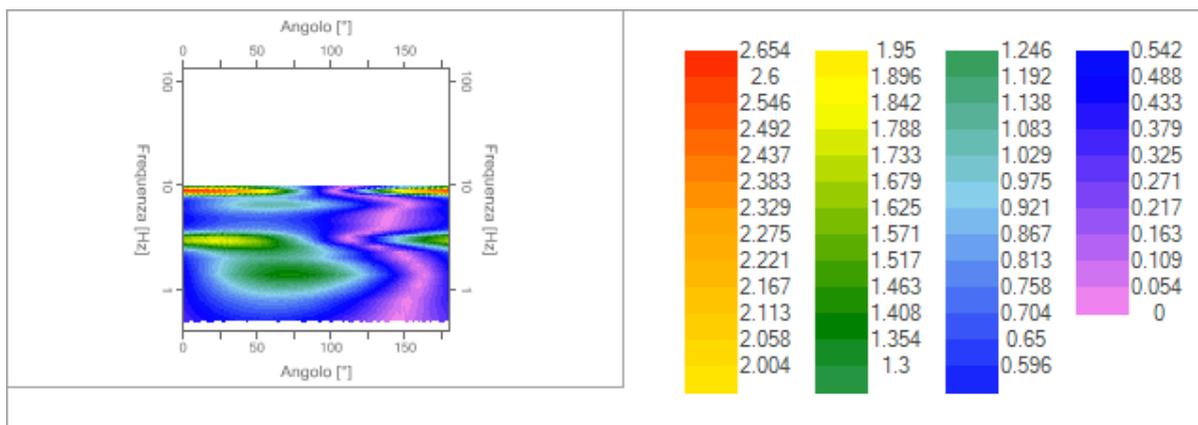
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

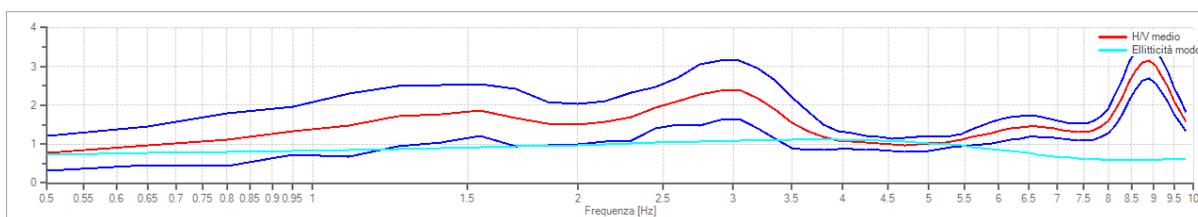
Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	10.00 Hz
Frequenza minima:	0.50 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamento::	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	10.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 8.90 Hz ±0.14 Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Verifiche SESAME:

Verifica

$$f_0 > 10/l_w$$

$$n_c(f_0) > 200$$

$$\sigma_A(f) < 2 \text{ per } 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \text{ se } f_0 > 0.5H.$$

$$\sigma_A(f) < 3 \text{ per } 0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0 \text{ se } f_0 < 0.5H.$$

$$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$$

Esito

Ok

Ok

Ok

Ok

$$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$$

$$A_0 > 2$$

$$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$$

$$\sigma_f < \varepsilon(f)$$

$$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$$

Non superato

Ok

Ok

Ok

Ok

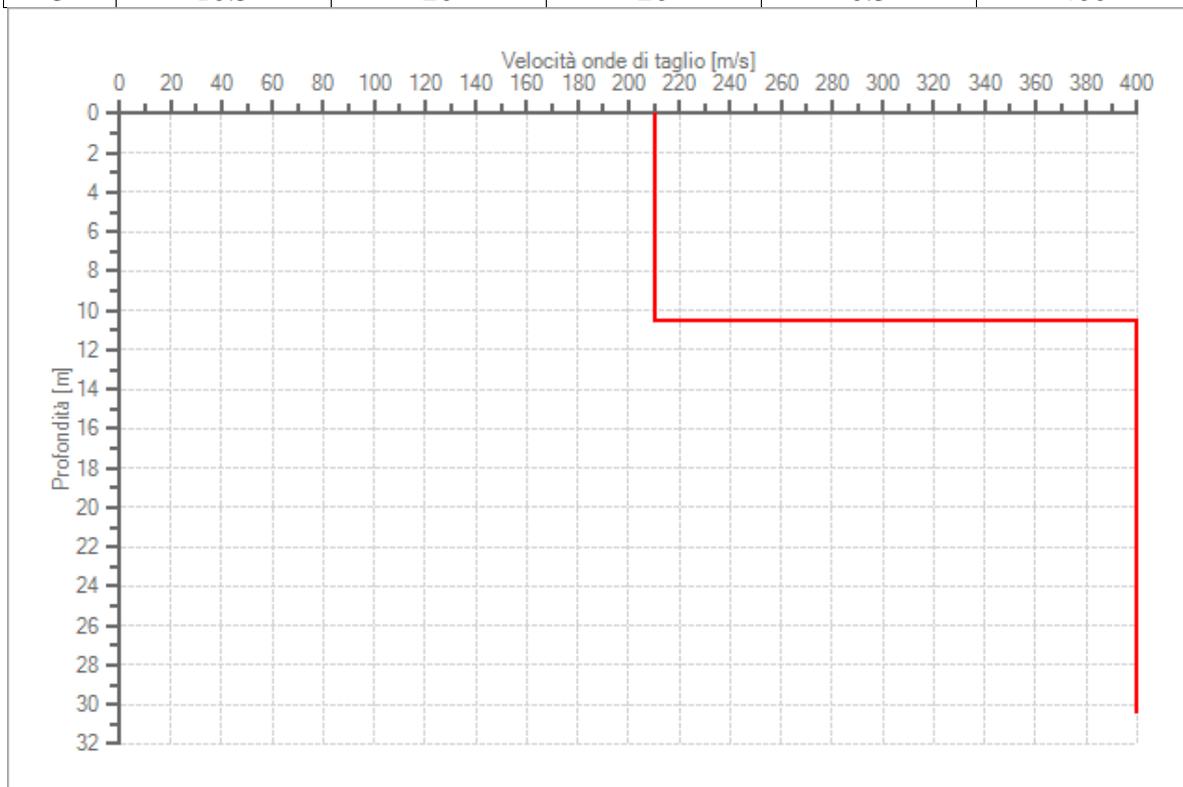
Modello stratigrafico

Dati riepilogativi:

Numero strati: 3
 Frequenza del picco dell'ellitticità: 3.80 Hz
 Valore di disadattamento: -1.00
 Valore Vs30: 303.80 m/s

Dati della stratigrafia:

Strato	Profondità [m]	Spessore [m]	Peso per Unità di Vol. [kN/m ³]	Coeff. di Poisson	Velocità onde di taglio [m/s]
1	0	1.5	16	0.3	210
2	1.5	9	18	0.3	210
3	10.5	20	20	0.3	400



Profilo delle velocità delle onde di taglio.

5. CONCLUSIONI E PRESCRIZIONI

Nel corso dell'indagine sono state descritte le caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche del sito oggetto d'intervento ed è stata ricostruita la caratterizzazione geotecnica del terreno sul quale è prevista una nuova area industriale denominata PECLI San Michele. Tale caratterizzazione si è basata principalmente sui risultati delle n°4 Prove Penetrometriche Statiche (C.P.T.) *in situ*, n°1 stendimento di sismica tipo MASW per la caratterizzazione delle Vs30, n°1 stendimento di sismica a rifrazione e n°1 indagine di geofisica passiva HVSR. Di seguito vengono riportati, per strati, i parametri geotecnici caratteristici ricavati dalla Prova Penetrometrica Statica (C.P.T.):

Strato 1 - Terreno di copertura limoso-sabbioso: da 0 a 1,00 m circa da p.c.:

- $c_k = 0,0 \text{ kg/cm}^2$ (0 kPa);
- $\varphi'_k = 26^\circ$;
- $\gamma = 1,6 \text{ t/m}^3$ (16 kN/m³);
- $\gamma_{\text{sat}} = 1,7 \text{ t/m}^3$ (17 kN/m³).

Strato 2 – Alluvioni argilloso-siltose-sabbiose: da 1,600 m circa a 6,00 m circa:

- $c_{u_k} = 1,2 \text{ kg/cm}^2$ (120 kPa);
- $\varphi'_k = 25^\circ$;
- $\gamma = 1,9 \text{ t/m}^3$ (19 kN/m³);
- $\gamma_{\text{sat}} = 2,0 \text{ t/m}^3$ (20 kN/m³).

Strato 3 – Alluvioni argilloso-sabbiose con raro ghiaietto: da 6,00 m circa a 10,00 m:

- $c_{u_k} = 3,0 \text{ kg/cm}^2$ (300 kPa);
- $\varphi'_k = 26^\circ$;
- $\gamma = 2,1 \text{ t/m}^3$ (21 kN/m³);
- $\gamma_{\text{sat}} = 2,2 \text{ t/m}^3$ (22 kN/m³).

In base a tali risultati emerge chiaramente:

- la presenza di uno strato superficiale di copertura limoso-sabbiosa talora con locale ghiaietto potente circa 1,00 m rispetto il p.c. con mediocri caratteristiche geomeccaniche;
- seguono terreni alluvionali argilloso-siltoso-sabbiosi con accettabili caratteristiche geomeccaniche, a partire da 1,00 m da p.c., sede di falda idrica a quote variabili tra 3,0 e 5,0 m dal locale p.c.;
- infine si rinvencono alluvioni argilloso-sabbiose in falda con raro ghiaietto e dalle discrete caratteristiche geomeccaniche fino a 10 m da p.c.
- dal punto di vista sismico tramite l'indagine sismica tipo MASW si è individuata una **Vs30 pari a 303,88 m/s**, la quale corrisponde una **categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione di tipo C**.
- la prova di sismica a rifrazione ha consentito di individuare presso il settore settentrionale dell'area in esame la presenza, a partire da profondità comprese tra 2,8 e 3,4 m dal locale p.c. di mezzi alluvionali saturi, in accordo con le misure piezometriche effettuate entro i fori di sondaggio delle prove *C.P.T. in situ*.
- la prova di sismica passiva HVSR ha individuato come frequenza del picco del rapporto H/V il valore di **8.9 Hz ±0.14 Hz**.

Si consiglia:

- di porre particolare attenzione durante gli scavi ed i lavori, soprattutto in caso di forti precipitazioni, che potrebbero causare temporanei rigonfiamenti e problemi di stabilità dei fronti di scavo; si raccomandano, dunque, le più attente cautele nella esecuzione di scavi e sbancamenti; sarà sicuramente necessario proteggere le pareti di scavo con **adeguate opere di sostegno**; si raccomanda, inoltre, di non basare carichi provvisori, silos, gru, depositi e accumuli di materiali a meno di tre metri del bordo degli scavi per non provocarne crolli.

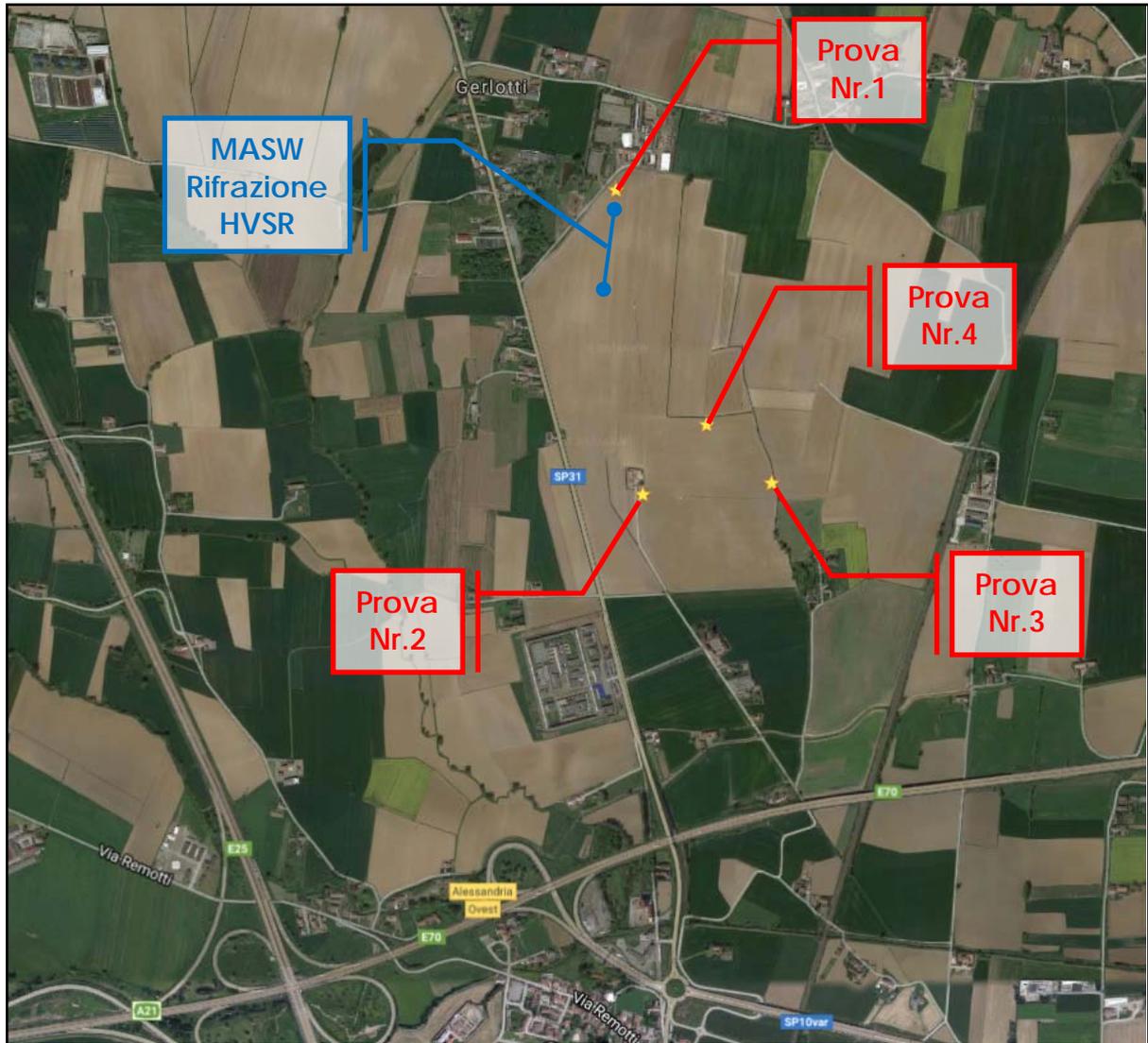
Sulla base di quanto sopra espresso, in relazione ai disposti previsti dalla normativa di cui al D.M. LL.PP. 11/03/1988 n. 47 e relative istruzioni applicative emanate con Circolari LL.PP. 24/09/88 n. 30483 si ritiene che le opere in progetto, così come rappresentate negli elaborati progettuali visionati, se realizzati secondo le corrette regole costruttive e le prescrizioni specificate, non inducono modificazioni al preesistente assetto geologico ed idrogeologico del sito e del suo immediato contorno; pertanto se ne attesta la fattibilità geologica e geotecnica.

Asti, 15 giugno 2017

Il Tecnico incaricato
Dr. Geol. Massimo Castellaro

SOMMARIO

1. Premessa e localizzazione dell'area d'intervento.....	2
2. Inquadramento geologico e geomorfologico.....	4
3. Inquadramento idrogeologico generale.....	11
4. Aspetti geotecnici: indagini geognostiche e geofisiche.....	13
5. Conclusioni e prescrizioni.....	83



Inquadramento su aerofoto tratta da Google maps



Prova C.P.T. Nr.1



Prova C.P.T. Nr.2



Prova C.P.T. Nr.3



Prova C.P.T. Nr.4



Tubo piezometrico per misura della falda



Misura piezometrica in pozzo nell'area in esame



Indagine sismica MASW



Indagine sismica a rifrazione



Geofono triassiale per indagine sismica passiva HVSR