

COMMENDA di SAN GIOVANNI di PRÈ
ADEGUAMENTO FUNZIONALE, RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO
MEI | MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA



COMMITTENTE | COMUNE DI GENOVA DIREZIONE PROGETTAZIONE | arch. Luca Patrone
arch. Mirco Grassi | RUP direttore attuazione nuove opere
dott. Pierangelo Campodonico | direzione scientifica progetto espositivo

☐ PROGETTO DEFINITIVO

☒ PROGETTO ESECUTIVO | **lotto 1**



GNOSIS progetti
via medina 40 | 80133 | **napoli**
+39 081 5523312
corso alcide de gasperi 278 | 70125 | **bari**
gnosis@gnosis.it
www.gnosis.it

resp. integrazioni specialistiche e coordinamento:
arch. Francesco Felice BUONFANTINO
project manager:
arch. Federica DE STEFANO
rapporti con gli enti e supporto al coordinamento:
arch. Andrea MARTINUZZI
tecnologie per l'allestimento museografico:
Limite A0

responsabile architettura:
arch. Francesco F. BUONFANTINO
responsabile strutture:
ing. Riccardo AUTIERI
responsabile impianti meccanici:
ing. Enrico LANZILLO
responsabile impianti elettrici:
ing. Antonio PERILLO
responsabile geologia:
geol. Antonio RIVIELLO
responsabile sicurezza:
arch. Francesco F. BUONFANTINO
consulenza scientifica restauro architettonico:
prof. arch. Renata PICONE
consulenza scientifica diagnosi energetica:
arch. Tiziana D'ANIELLO



GN.62-18-GP

RELAZIONE GEOLOGICA, IDROLOGICA E IDRAULICA

PE-G-GEO

cod. commessa

Tit. Tavola

cod. tavola

Gnosis\2018\GN.62.18_GP-Genova Museo dell'Emigrazione

rev.	descrizione	scala	data	formato	elaborato da	controllato da	approvato da
00	PRIMA EMISSIONE	---	14.12.2019	A4	AR	FDS	
01	revisione per primo report validazione	---	20.03.2020	A4	AR	FDS	
02	revisione lotti funzionali	---	10.05.2020	A4	AR	FDS	

INDICE

1. PREMESSA	pag. 3
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO	pag. 4
3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	pag. 5
4. INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI E MODELLO GEOLOGICO TECNICO DEL SOTTOSUOLO	pag. 7
5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI	pag. 11
6. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE E VERIFICA DI STABILITA'	pag. 14
7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO	pag. 22
8. AZIONE SISMICA DI PROGETTO (MICROZONAZIONE SISMICA DI III LIVELLO)	pag. 28
9. INQUADRAMENTO DEL SITO DI PROGETTO CON GLI STRUMENTI URBANISTICI	pag. 32
10. INTERVENTI PROGETTUALI ED INTERAZIONE STRUTTURA-SOTTOSUOLO	pag. 34
11. CONCLUSIONI	pag. 34

Allegati:

- **Profilo Geolitologico**
- **Analisi di Risposta Sismica locale**
- **Report Indagini geofisiche, geognostiche e geotecniche**

1. PREMESSA

In qualità di geologo dello Studio Gnosis Progetti soc.coop. lo scrivente ha redatto la presente Relazione Geologica e Sismica di supporto alla Progettazione definitiva ed esecutiva delle opere di adeguamento funzionale, restauro e risanamento conservativo in previsione della realizzazione del Museo Nazionale della Migrazione Italiana presso la Commenda di S.Giovanni di Prè nel Comune di Genova.

Tale elaborato è stato redatto in conformità alla Normativa Nazionale (D.M. 17/03/88, NTC2018 e s.m.i.), alla Normativa regionale (DGR 216/2017 “Nuova classificazione sismica del territorio”), ed alle Norme Geologiche di accompagnamento al PUC del Comune di Genova.

In base a quanto richiesto dalla normativa (NTC2018 ¶ 6.2.1.) la Relazione Geologica e Sismica illustra nel dettaglio il modello geologico-tecnico del sottosuolo ricostruendo i caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio e del sito su cui insistono i manufatti interessati dal progetto definitivo ed esecutivo. Per poter giungere alla caratterizzazione di dettaglio del sottosuolo ed alla parametrizzazione circa le qualità geomeccaniche dei litotipi presenti ci si è avvalsi dei risultati di una campagna geognostica programmata di comune accordo con i progettisti ed autorizzata dalla Committenza.

Essa è stata realizzata mediante le seguenti prove:

- N.1 Sondaggio a carotaggio continuo(S1), spinto fino alla profondità di -20 mt dal p.c. con prelievo di carote conservate in apposite cassette per la stratigrafia del sottosuolo fino ad una profondità adeguata alle esigenze del progetto;
- Esecuzione di n. 3 Standard Penetration Test (SPT), eseguite lungo la verticale del sondaggio S1 ;
- Prelievo di n. 3 campioni indisturbati e disturbati in apposita fustella per le analisi di laboratorio;
- Installazione di n.1 piezometro a scatola aperta nel sondaggio S1 per la determinazione del livello piezometrico di falda;

- Analisi geotecniche sui 3 campioni indisturbati , atti a determinare le caratteristiche fisiche (peso di volume secco, peso di volume saturo, porosità, ecc.ecc.), e le caratteristiche geomeccaniche di resistenza al taglio ed alla deformazione (prove di taglio);
- Prova geofisica tipo MASW per la determinazione delle velocità delle onde P ed S e la conseguente *classificazione del terreno secondo* la tabella delle NTC2018;
- Prova geofisica di tipo sismica a rifrazione per la stima dei parametri necessari per la determinazione della risposta sismica locale, ovvero della reazione in loco del terreno alle sollecitazioni delle onde sismiche.
- Prova geoelettrica con restituzione in tomografia 2D per la verifica delle zone umide, della presenza di acqua nel terreno e le eventuali linee di deflusso sotterraneo.
- Verifica con tubazione in pvc per la potenza dell'acquifero.

La caratterizzazione dell'area è stata eseguita anche sulla scorta del quadro conoscitivo degli Strumenti Urbanistici vigenti costituiti dal Piano Urbanistico Comunale (PUC) e dagli elaborati ad esso allegati, nonché alle Norme Geologiche afferenti ad esso, oltre che dalle cartografie di riferimento del P.A.I. dei bacini regionali e dalla cartografia delle zone sismiche (DGR n.216/2017).

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Il sito in esame è ubicato in pieno centro urbano, nel quartiere Prè – Municipio centro est , nel settore del centro storico appena retrostante l'area portuale.

La configurazione geologica di questo settore del capoluogo ligure è caratterizzata da unità litologiche afferenti a terreni che appartengono al distretto appenninico, interessate comunque dalla chiusura del bacino ligure-piemontese e dal relativo accavallamento delle falde sia alpine che appenniniche, le une sulle altre.

In particolare, durante l'orogenesi appenninica che ha determinato questo accavallamento tra le diverse falde si sono impostati bacini di limitata estensione entro cui si è avuta una sedimentazione clastica a prevalente componente pelitica.

Ciò che risulta alla fine del processo orogenetico è un'area occupata dall'Unità flyscioide ascrivibile **all'Unità di Antola** e caratterizzata in questo settore dell'agglomerato urbano da terreni calcareo-marnosi, con una fitta alternanza di calcari marnosi, calcareniti, ed argilliti emipelagiche, in facies litoide, quindi a consistenza rocciosa o semicoerente.

Nel settore compreso tra la stazione Principe e Piazza della Vittoria i terreni sopra menzionati sono sovrastati in contatto stratigrafico trasgressivo dalle cd. **Argille di Ortovero**, una unità costituita da argille marnose, argille limose grigio-azzurre o grigio cinereo spesso massive, raramente stratificate.

Queste rappresentano il substrato geologico del settore considerato, ovvero al di sotto della Piazza della Commenda, laddove il sondaggio a carotaggio continuo eseguito per tale lavoro le ha intercettate a circa – 8 metri di profondità dal piano campagna. Ad una distanza di qualche decina di metri un secondo sondaggio eseguito in anni passati e la cui stratigrafia è disponibile sul portale cartografico della regione Liguria (vd. allegato in calce) intercetta il substrato a – 12 metri di profondità.

E' più che ovvio, trovandoci in una zona totalmente urbanizzata, ritrovare uno spessore considerevole di terreni provenienti da riporti antichi e recenti che , a partire da una profondità di qualche metro assumono la consistenza di un deposito vero e proprio (non destrutturato e sciolto come lo possono essere i riporti superficiali), con matrice sabbioso-limosa, nel complesso molto eterogenea e a discreta consistenza dovuta al costipamento continuo.

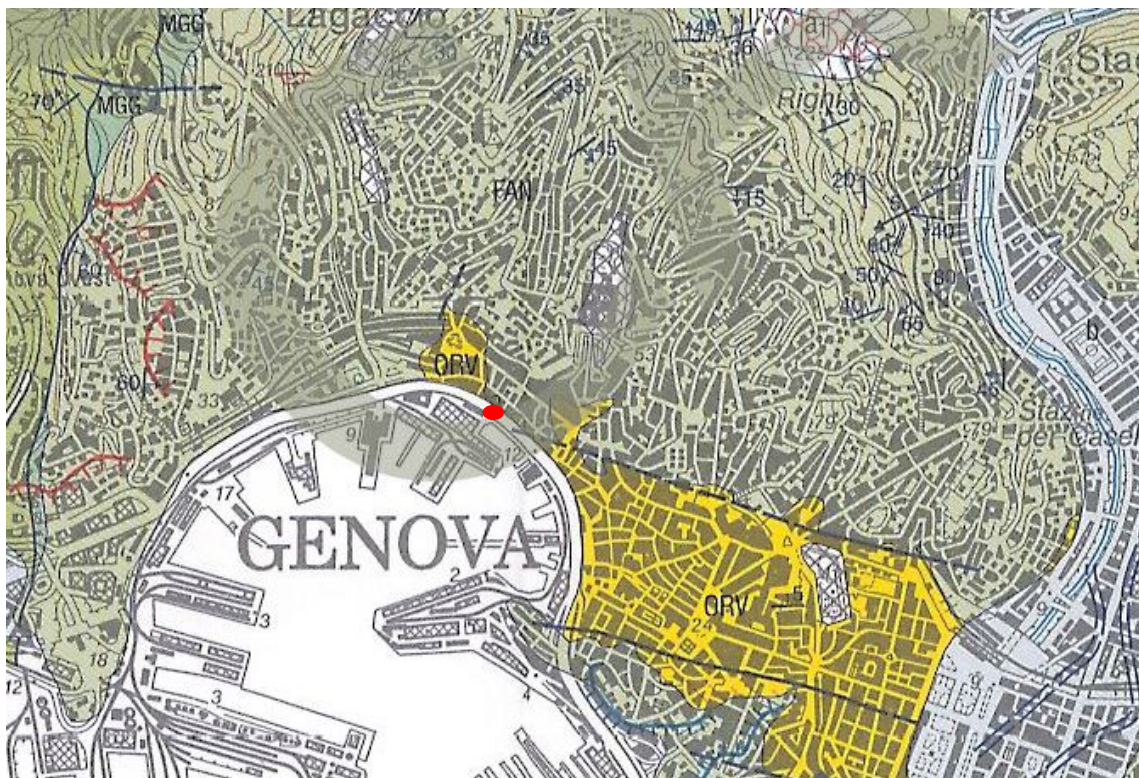


Fig.1 – Stralcio del Foglio 213-230 “Genova della Carta Geologica nazionale CARG. (Legenda: FAN= Unità di Monte Antola, Cretaceo; ORV= Argille di Ortovero, Pliocene). In rosso l’area di indagine.

Dal punto di vista geomorfologico il sito non presenta peculiarità rilevanti, la piazza antistante la Commenda è posta a circa 16 mt slm, con un dislivello di qualche decimetro tra il settore ad ovest e quello ad est separato da una breve scalinata ed una stradina in salita.

Il luogo è contornato da edifici di diversa epoca storica che hanno completamente nascosto la conformazione originaria. La parte antistante la piazza, delimitata da via Antonio Gramsci è un settore di risulta realizzato per creare la zona portuale che pertanto ha allontanato la linea di costa naturale di qualche decina di metri.

In tale contesto urbano ovviamente non sono presenti criticità di tipo geomorfologico.

3. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Per quanto concerne le caratteristiche idrologiche ed idrogeologiche valgono le stesse risultanze della geomorfologia, in quanto ci si trova in ambiente totalmente urbanizzato.

COMUNE DI GENOVA | COMMENDA di SAN GIOVANNI di PRÈ
 ADEGUAMENTO FUNZIONALE, RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO
MEI | MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA

L'impermeabilizzazione del tessuto urbano è prossima al 100% con la presenza di una rete capillare di sottoservizi per lo smaltimento delle acque reflue.

Nel settore della Commenda, proprio al di sotto della struttura in esame, bisogna rilevare la presenza di un piccolo torrente, il Rio S.Ugo, completamente tombinato e impermeabilizzato.

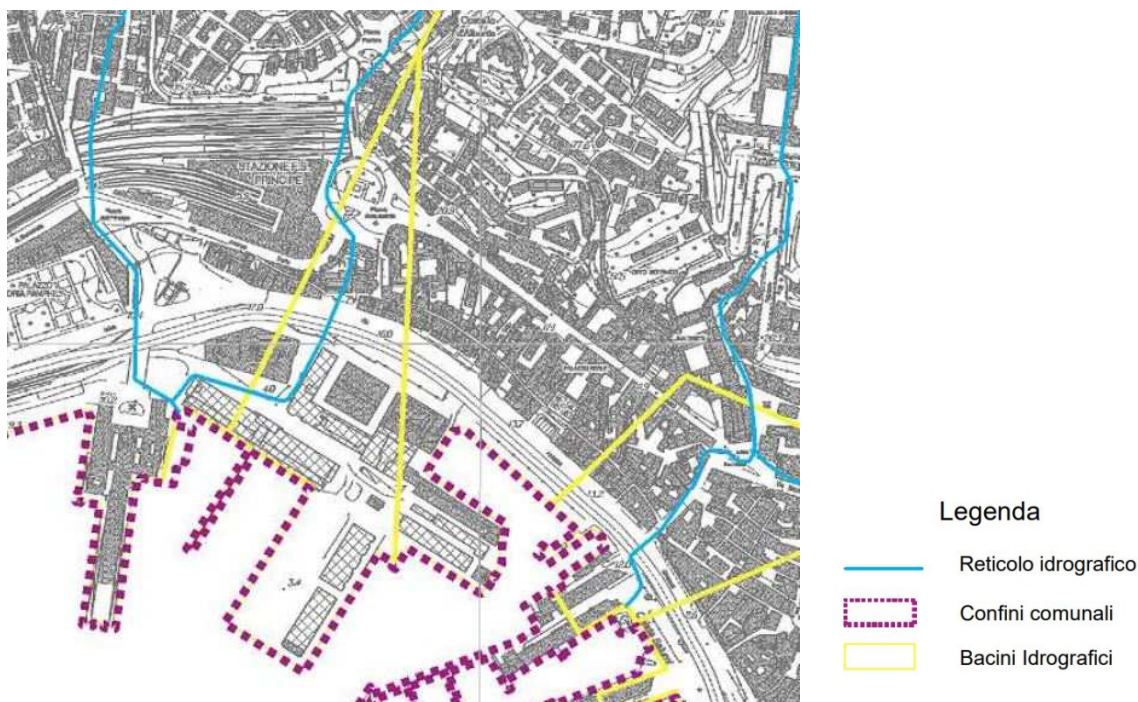


Fig. 2 – Stralcio della Carta del Reticolo Idrografico Regionale (scala 1:10.000).

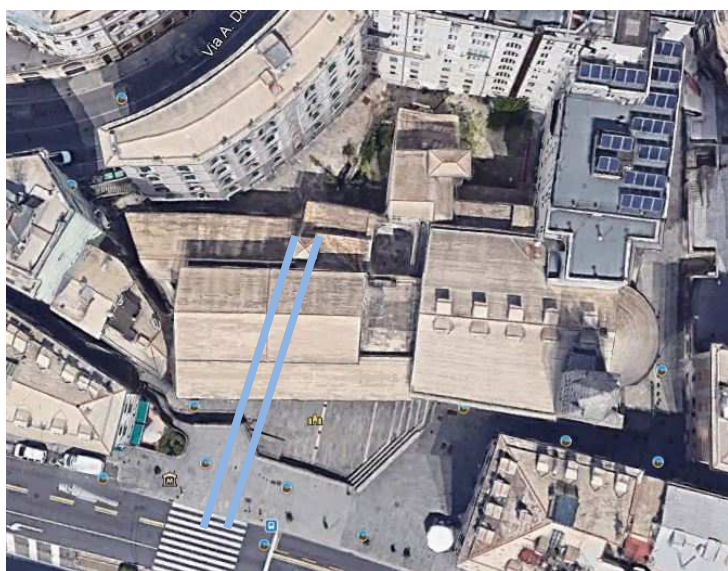


Fig. 3 – Probabile andamento del Rio S.Ugo al di sotto della Commenda.

Dal punto di vista della permeabilità dei terreni che occupano il sottosuolo nel sito in esame, se presente, essa è tutta concentrata nella porzione superficiale, afferente al materiale di riporto antico e recente, laddove la frazione ghiaiosa-sabbiosa sia rilevante.

Infatti da dati desunti da prove di permeabilità eseguiti per lavori scientifici e di progetti pregressi il substrato, costituito dalle argille e argille marnose e siltose, ascrivibili alla cd. Formazione delle Argille di Ortovero, presenta valori di permeabilità molto bassi, dell'ordine di $k = 10^{-4}$.

Si può pertanto considerare con buona approssimazione il substrato impermeabile.

La parte sovrastante è costituita da materiale eterogeneo, con componente sabbiosa e limosa prevalente ma molto variabile nelle proporzioni lungo la verticale: ciò si traduce in una permeabilità variabile, comunque con valori abbastanza bassi, tali da consentire scarsi accumuli di acqua.

Al termine dei lavori è stato eseguito uno spurgo del pozzo piezometrico che ha evidenziato la presenza di uno scarso acquifero; utilizzando una pompa Grundfoss SQ3" posizionata ad una profondità di 15 m il pozzo è stato prosciugato in 3' e 20" e solo la mattina successiva si è ristabilita la quota iniziale. **Pertanto, si può affermare che nel sottosuolo si è in presenza di sporadici accumuli idrici di scarsa importanza e di portata esigua.**

Alla luce di quanto appena detto è evidente che risulterebbe antieconomico la realizzazione di opere di captazione a supporto di impianti di raffreddamento /riscaldamento in quanto la portata emunta non soddisferebbe il fabbisogno per il suo funzionamento.

4. INTERPRETAZIONE DELLE INDAGINI E MODELLO GEOLOGICO TECNICO DEL SOTTOSUOLO

La campagna geognostica è stata eseguita all'inizio con un rilevamento mediante sonda Georadar per il rilevamento di sottoservizi ed altre strutture sepolte che potessero interferire con le prove successive. Per i dettagli sulla strumentazione e le modalità di esecuzione si rimanda al report in calce alla presente relazione.

Lo stendimento delle prime tre è stato posto parallelamente al lato lungo della Commenda per una lunghezza totale di circa 50 metri.

La tomografia che si ricava mostra un sottosuolo con tre sismostrati a velocità crescente con gradini posti a -1 mt, -4 mt, -8mt e -12mt. Se per i primi due si può ragionevolmente pensare al passaggio da riporti sciolti a depositi addensati gli altri passaggi indicano velocità crescenti gradualmente in cui le caratteristiche di rigidità non hanno grosse differenze (si passa infatti da 520 m/sec a 560m/sec a 580 m/sec) ed individuano il substrato delle argille plioceniche (Argille di Ortovero).

Nelle tomografie (fig. 4), inoltre, sono evidenti alcune distorsioni dei valori di velocità nella parte centrale a profondità compresa tra -5 e -7, probabilmente dovute alla presenza di materiali rigidi (muretti antichi o manufatti in cemento?). Tali anomalie risultano ancora più evidenti nei profili della geoelettrica, apparendo come settori ad alta conduttività.

Nella stessa geoelettrica (fig.5) nel settore spostato a sinistra all'incirca a 12 mt dall'inizio dello stendimento e a circa -3 mt di profondità è presente un bulbo ad alta resistività che con ogni probabilità corrisponde alla tombinatura del Rio S.Ugo.

COMUNE DI GENOVA | COMMENDA di SAN GIOVANNI di PRÈ
ADEGUAMENTO FUNZIONALE, RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO
MEI | MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA

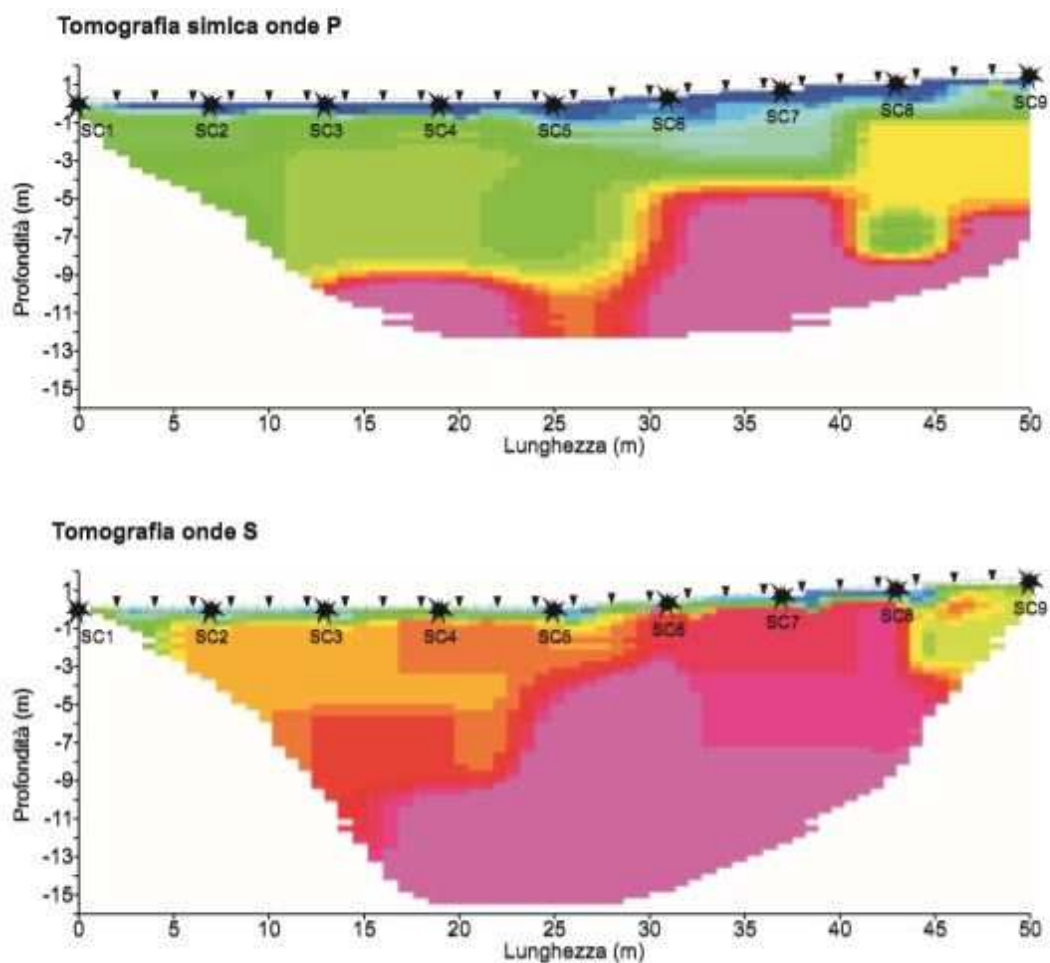


Fig. 4 – Tomografie sismiche in onda P e S eseguite lungo la Commenda.

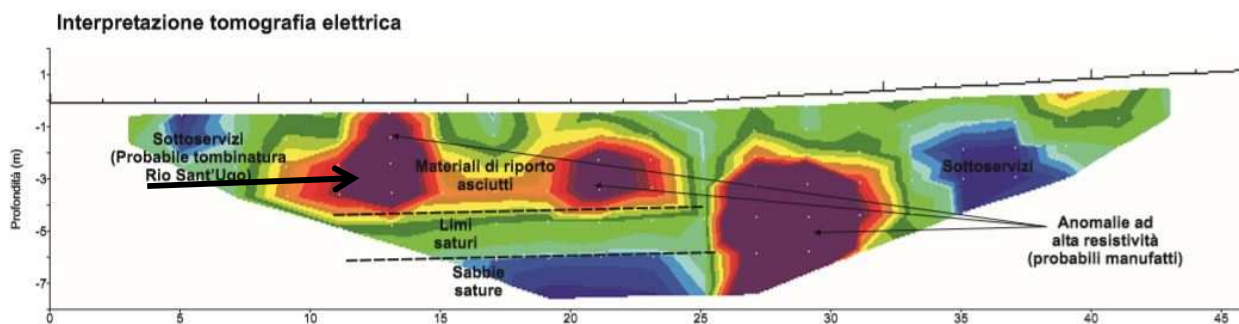


Fig. 5 – Tomografia geoelettrica con anomalie rilevate

Il sondaggio geognostico è stato effettuato mediante macchina perforatrice idraulica Beretta T44 montate su cingoli gommati a cura della ditta M3D Costruzioni speciali srl di Genova, operante a carotaggio continuo a rotazione ed avanzamento idraulico, carotiere semplice e diametro dei tubi di rivestimento 106/116mm.

Nel corso della perforazione sono state allestite cassette catalogatrici in plastica, per la realizzazione della certificazione stratigrafica e relativa documentazione fotografica della perforazione a carotaggio continuo effettuata per scopi geotecnici (vedi allegati). In fase di avanzamento delle perforazioni sono stati prelevati complessivamente tre campioni di terreno indisturbati in fustelle Shelby, analizzati in seguito in laboratorio geotecnico certificato. Durante la perforazione sono state eseguite n. 3 prove S.P.T. (Standard Penetration Test) a fondo foro in fase di avanzamento, secondo le procedure standard che vedono la infissione in questo caso con punta aperta mediante battute da 63,5kg di peso e volata di 75cm.

L'analisi stratigrafica del sondaggio a carotaggio continuo eseguito per l'occasione e integrato con l'analisi di quello realizzato in passato ha permesso una ricostruzione molto affidabile della successione litologica e litotecnica nei primi 15-20 metri di profondità, corrispondenti allo spessore che sarà interessato dalle sollecitazioni di carico dei nuovi manufatti e di quelli esistenti.

Dal piano di calpestio è possibile riconoscere:

- **Orizzonte 1**: materiale di riporto attuale, dello spessore di circa 2.95 mt, caratterizzato da limo sabbioso con ghiaia eterogenea, i cui ciottoli eterometrici sono rappresentati anche da frammenti di laterizi. Il colore è marroncino chiaro e si presenta con un grado di addensamento medio-basso.
- **Orizzonte 2**: fino alla profondità di 7.30 mt sono presenti limi argillosi rimaneggiati con colore da grigio-verdastro a giallo ocra, limi sabbiosi, estremamente consistenti (Nspt compreso tra 52 e 63) e addensati, con livelli di ghiaie i cui ciottoletti a spigoli vivi hanno un diametro centimetrico e sono essenzialmente a composizione calcarea.
- **Orizzonte 3**: può essere considerato il substrato naturale costituito da una argilla limosa molto consistente e compatta con presenza di livelli sabbioso-argillosi ed un colore generalmente grigio-verdastro.

Sono state eseguite n. 3 prove SPT, la prima delle quali a -1.5 mt che ha dato come risultati un Nspt pari a 7, denotando un materiale sciolto, scarsamente resistente.

La seconda SPT è stata eseguita a profondità di 3.0 mt ed ha fornito un Nspt pari a 63, rivelando un materiale molto compatto e resistente.

La terza prova, a -4.5 mt ha rivelato un lieve decremento del Nspt che si attesta su un valore pari a 53, che comunque rivela una buona compattezza del materiale terrigeno.

5. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Ai fini della caratterizzazione geotecnica si è trascurato il primo orizzonte, ovvero quello costituito dal materiale di riporto attuale, sciolto, alterato e discontinuo per la presenza dei sottoservizi. E' ovvio che in una eventuale realizzazione di nuovi manufatti (ma al momento non prevista in progetto) tale strato di terreno verrebbe totalmente asportato.

Le analisi si sono concentrate, pertanto, sul materiale limoso intermedio (Campione 1 a 3.5 mt) e sul substrato (campione 2 a - 9.5 mt).

Il primo granulometricamente presenta una percentuale superiore all'85% di sedimenti fini (argilloso-limoso), e, in subordine di sabbia (14,0%), con peso di volume pari a 18.88 kN/m^3 , contenuto d'acqua pari a 24%.

Il Limite Liquidità è pari a 39, l'Indice di Plasticità pari a 18: ciò colloca il materiale nel settore delle argille a bassa plasticità.

Il secondo campione, che caratterizza il substrato (la parte alta dello stesso essendo stato prelevato a 9.5 mt) si presenta come un'argilla (89% nel fuso granulometrico) debolmente sabbiosa (10%), con peso di volume uguale a 18.15 kN/m^3 e contenuto d'acqua pari a 23.1.

Il Limite di Liquidità è pari a 44 con Indice di Plasticità uguale a 21, per cui anche in questo caso ci si trova di fronte ad un materiale argilloso a bassa plasticità.

Durante la perforazione si è tentato di prelevare anche un campione intermedio, posto a - 6.5 mt, ma essendo disturbato e presentandosi sciolto si sono potute ricavare soltanto alcune proprietà fisiche: granulometricamente è una ghiaia (60% circa) con sabbia (35%), con percentuale di fino irrilevante (< 5%), con contenuto d'acqua uguale a 19.9.

COMUNE DI GENOVA | COMMENDA di SAN GIOVANNI di PRÈ
ADEGUAMENTO FUNZIONALE, RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO
MEI | MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA

Per determinare la resistenza al taglio del materiale si è deciso di eseguire una prova di taglio diretto ed una triassiale non consolidata sul campione rappresentativo dello strato che più subirà le sollecitazioni di carico.

La prova di taglio ha fornito un attrito efficace ϕ uguale a 31° con coesione $c' = 10.1$ kPa. La prova triassiale fornisce un angolo di attrito uguale a 30.2 e una $c_u = 13.2$ kPa.

Il costipamento negli anni del materiale e la componente pelitica preponderante hanno consentito al sedimento antropico di acquisire col tempo una compattezza elevata che si traduce in buone caratteristiche di resistenza ai carichi.

Per quanto concerne il substrato, le sue più che discrete qualità geomeccaniche sono da relazionarsi anche alla storia geologica del sedimento ed alla composizione granulometrica. Non è trascurabile il fatto che trattasi di materiale sovraconsolidato.

La prova di taglio diretto ha fornito un angolo di attrito pari a 31° ed una coesione di 12.7 kPa.

Nella tabella seguente sono riportati in sintesi i parametri appena illustrati.

PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL SOTTOSUOLO

TIPO DI TERRENO	N colpi SPT (Nspt)	Peso di volume (kn/m ³)	Angolo di attrito (°)	Coesione c' (kPa)	Carta Plasticità
<u>Orizzonte 1</u> Riporto attuale	7	-	-	-	-
<u>Orizzonte 2</u> Sabbie limose e limi sabbiosi antropizzati	52/63	18.88	$31^\circ (\phi)$ $30.2^\circ (\phi_u)$	10.1–13.2(c_u)	CL
<u>Orizzonte 3</u> Argille limose consistenti con livelli sabbioso-argillosi	Probabile rifiuto	18.15	31°	14 - 21	CL

Utilizzando i dati provenienti dalla prova geofisica, ed in particolare dai dati relativi alla velocità delle onde sismiche è stata eseguita una elaborazione tramite formule empiriche di correlazione che hanno fornito i parametri elastici utili per una corretta progettazione. Si sottolinea che i parametri ricavati sono empirici e non misurati con prove dirette.

COMUNE DI GENOVA | COMMENDA di SAN GIOVANNI di PRÈ
ADEGUAMENTO FUNZIONALE, RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO
MEI | MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA

Nella tabella sono riassunti i parametri più importanti.

CLASSIFICAZIONE SISMICA			
Strato	Profondità (m)		Vs (m/s)
	da	a	
1	0.0	-1.0	200
2	-1.0	-4.0	430
3	-4.0	-8.0	520
4	-8.0	-12.0	540
5	-12.0	-30.0	580

ELABORAZIONE DEI RISULTATI E CALCOLO DEI PARAMETRI GEOTECNICI							
SISMICA A RIFRAZIONE							
Strati n°	V _P [m/s]	γ [kg/m ³]	ν	ρ [kg/m ³]	V _S [m/s]	Ed [kg/cm ²]	Go [kg/cm ²]
1	663.5	2243	0.45	228.72235	200.052777	2654.579677	915.3723023
2	1428	2243	0.45	228.72235	430.5582	12296.18322	4240.063178
3	1725	2243	0.45	228.72235	520.107069	17942.87822	6187.199387
4	1924	2243	0.45	228.72235	580.107827	22321.53446	7697.080847

V _P	Velocità medie onde longitudinali
V _S	Velocità medie onde di Taglio
γ	Peso di volume della litologia
ν	Modulo di Poisson (numero puro)
ρ	densità media per lo strato considerato
Ed	Modulo di deformazione dinamico di Young
Go	Modulo di taglio dinamico

6. VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE E VERIFICA DI STABILITA'

I fenomeni di liquefazione interessano in genere depositi sabbiosi saturi e dipendono principalmente dalle proprietà geotecniche dei terreni, dalle caratteristiche delle vibrazioni sismiche e dalla loro durata, nonché dalla genesi e storia geologica dei terreni.

Le NTC2018 (par. 7.11.3.4) richiedono una verifica alla suscettibilità di liquefazione dei terreni del sito sul quale insiste la progettazione di un manufatto. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione.

Nei metodi di analisi avanzata si deve tenere conto della natura polifase dei terreni, considerando l'accoppiamento tra fase solida e fase fluida, e si deve descrivere adeguatamente il comportamento meccanico delle terre in condizioni cicliche. Le metodologie di carattere semi-empirico possono permettere una verifica di tipo puntuale o una verifica di tipo globale.

Nelle prime, la sicurezza alla liquefazione viene valutata localmente, a diverse profondità, calcolando il rapporto tra la resistenza ciclica alla liquefazione, $CRR = \tau_f / \sigma'_{v0}$, e la sollecitazione ciclica indotta dall'azione sismica, $CSR = \tau_{media} / \sigma'_{v0}$.

Nelle verifiche globali, si valuta preliminarmente il profilo della sollecitazione e della resistenza ciclica, CSR e CRR, e si valuta, per l'intervallo di profondità in esame, il potenziale di liquefazione, IL, funzione dell'area racchiusa tra i due profili.

La verifica a liquefazione può essere omessa (NTC 2018, 7.11.3.4.2) quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e

qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone di liquefazione nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Pur avendo verificato che l'accumulo idrico sotterraneo è di modesta entità e trascurabile e la granulometria di tutto il deposito terrigeno sovrastante il substrato è sensibilmente spostata verso termini più fini (limi e argille) per maggiore cautela si è proceduto alla verifica alla liquefazione, concentrandosi sui livelli granulometricamente più sensibili alla liquefazione all'interno dell'orizzonte 2, le cui caratteristiche fisiche, geomeccaniche e sismiche sono riportate nei paragrafi precedenti (come riferimento vedasi il campione S1C1 e campione S1CI1) .

Sono state eseguite n.3 verifiche con metodi diversi (Andreas & Stokoe, Seed & Idriss e Iwasaki).

I parametri inseriti nella fase di input sono relativi a:

- Velocità delle onde Vs per la profondità considerata;
- Magnitudo attesa M (per Genova pari a 5.0);
- Ag attesa (per Genova pari a 0,150 ag/g);
- Vs1c (in base al FC delle analisi granulometriche);
- Profondità della falda (350 cm);
- Valore rd in funzione della profondità;
- Nspt in corrispondenza della profondità considerata;
- N_f valore variabile in funzione di D₅₀ ricavato dall'analisi granulometrica .

Per poter estrapolare i risultati così ottenuti a tutta la verticale di investigazione si è calcolato l'Indice del potenziale di Liquefazione IL (Iwasaki, 1978)

$$\sum_{i=1}^n FW(z) \Delta z$$

-
- n = numero intervalli di calcolo di Fs lungo la verticale;
- F = (funzione del fattore di sicurezza) $1 - F_s$ per $F_s < 1$ ed $F = 0$ per $F_s > 1$ (F_s = fattore di sicurezza)
- Dz = spessore intervallo di calcolo;
- $W(z) = 10 - 0,5z$, con z = profondità di calcolo (max 20 m).

COMUNE DI GENOVA | COMMENDA di SAN GIOVANNI di PRÈ
ADEGUAMENTO FUNZIONALE, RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO
MEI | MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA

Nel caso in esame l'IPL = 0, che indica un rischio di liquefazione **MOLTO BASSO**.

Nelle figure seguenti si riportano le verifiche così come descritte in precedenza con i dati di input ed i corrispondenti valori di F_s , tali da escludere l'eventualità di fenomeni di liquefazione.

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE									
(da prove sismiche a rifrazione)									
Metodo semplificato									
Metodo di Andrus e Stokoe (1997) modificato									
PARAMETRI:									
γ	=	1,8	g/cm ³						
σ_{vo}	=	0,72	kg/cm ²						
σ'_{vo}	=	0,67	kg/cm ²						
profondità della prova	=	400	cm						
profondità falda	=	350	cm						
γ_{sso}	=	1	g/cm ³						
Pressione neutra	=	0,05	kg/cm ²						
z	=	4	m						
V_s	=	430							
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%	FC>35%			
				220	210	200			
V_{s1}	=	475,28							
M	=	5,0							
MSF	=	3,81	se $M \leq 7,5$						
		2,82	se $M > 7,5$						
FORMULE:									
V_{s1}	=	$V_s [1/\sigma_{vo}]^{0,25}$					475,28	V_{s1}	
R	=	$0,03 \cdot (V_{s1}/100)^2 \cdot (0,9/(V_{s1c} - V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$					0,670057461	R	
T	=	$0,65 \cdot ((a_{max}/g) \cdot (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})) \cdot r_d \cdot 1/MSF$	se $M \leq 7,5$				0,025911951	$T_{MSF,5}$	
			se $M > 7,5$				0,034991654	$T_{M>7,5}$	
a_{max}/g	=	0,15							
r_d	=	0,942625							
$F_s = R/T$	>	1	se $M \leq 7,5$				25,85901269	Verificato F_s	
			se $M > 7,5$				19,149065	Verificato F_s	

COMUNE DI GENOVA | COMMENDA di SAN GIOVANNI di PRÈ
ADEGUAMENTO FUNZIONALE, RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO
MEI | MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE					
(da prove dinamiche SPT)					
Metodo semplificato					
Metodo di Seed e Idris (1982)					
PARAMETRI:					
γ	=	1,8	g/cm ³		
σ_{vo}	=	0,72	kg/cm ²		
σ'_{vo}	=	0,67	kg/cm ²		
profondità della prova	=	400	cm		
N_{SPT}	=	63			
profondità falda	=	350	cm		
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0,050	kg/cm ²		
z	=	4	m		
				<div>R= Resistenza al taglio mobilitata</div> <div>T= Sforzo di taglio indotto dal sisma</div> <div>d_{50}= Diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50%</div>	
FORMULE:			RISULTATI:		
Na	=	$(N_{SPT} \cdot (1,7 / (\sigma_{vo} + 0,7))) + N_f$		=	78,17518248
				Na	
N_f		=	0		
R	=	$Na/90$		=	0,868613139
				R	
T	=	$0,65 \cdot ((a_{max}/g) \cdot (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})) \cdot r_d$		=	0,114904478
				T	
a_{max}/g		=	0,175		
r_d		=	0,94		
1,3	≤	Fs=R/T Sabbie sature		=	7,559436819
				Verificato Fs	

COMUNE DI GENOVA | COMMENDA di SAN GIOVANNI di PRÈ
ADEGUAMENTO FUNZIONALE, RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO
MEI | MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (da prove dinamiche SPT)					
Metodo semplificato					
Metodo di Iwasaki et al. (1978 1984) modificato come da D.M. 14/01/2008 e Circolare 617 del 02/02/2009					
PARAMETRI:					
Diametro Perforazione	=	101	mm		
γ	=	1.8	g/cm ³		
σ_{vo}	=	0.72	kg/cm ²		
σ'_{vo}	=	0.67	kg/cm ²		
profondità della prova	=	400	cm		
profondità falda	=	350	cm		
γ_{H2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0.05	kg/cm ²		
z	=	4	m		
N _{SPT}	=	62			
C _N [Liao e Whitmann, 1968a]	=	1,23366944	Verificato		
Percentuale di Fine (FC)	=	0	%		
d ₅₀	=	1			
M ₅₀	=	4.90			
MSF	=	4.07	se M ≤ 7.5		
	=	2.97	se M > 7.5		
FORMULE:					
CRR	=	$0,0882 \cdot \text{RADQ}(E16/(E9+0,7)) + 0,225 \log(0,35/E17)$		se $0,04 \leq d_{50} \leq 0,6$	
CRR	=	$0,0882 \cdot \text{RADQ}(E16/(E9+0,7)) - 0,05$		se $0,6 < d_{50} \leq 1,5$	
CSR	=	$0,65 \cdot ((a_{max}/g) \cdot (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})) \cdot r_d \cdot 1/MSF$		se M ≤ 7.5	
				se M > 7.5	
a _{max} /g	=	0.15			
r _d	=	0.9694			
F _s =CRR/CSR	>	1,25			
		se M ≤ 7.5	se $0,04 \leq d_{50} \leq 0,6$	=	19,0069046
			se $0,6 < d_{50} \leq 1,5$	=	21,11625679
		se M > 7.5	se $0,04 \leq d_{50} \leq 0,6$	=	13,8660999
			se $0,6 < d_{50} \leq 1,5$	=	15,40493481
					Verificato F _s
					Verificato F _s
					Verificato F _s
					Verificato F _s

COMUNE DI GENOVA | COMMENDA di SAN GIOVANNI di PRÈ
ADEGUAMENTO FUNZIONALE, RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO
MEI | MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE									
(da prove sismiche a rifrazione)									
Metodo semplificato									
Metodo di Andrus e Stokoe (1997) modificato									
PARAMETRI:									
γ	=	1,99	g/cm ³	<div> R= Resistenza al taglio mobilitata T= Sforzo di taglio indotto dal sisma FC= Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia Vs= Velocità dell'onda di taglio S </div>					
σ_{vo}	=	1,2935	kg/cm ²						
σ'_{vo}	=	0,9935	kg/cm ²						
profondità della prova	=	650	cm						
profondità falda	=	350	cm						
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³						
Pressione neutra	=	0,3	kg/cm ²						
z	=	6,5	m						
V _s	=	520							
V _{s1c}	=	220	m/s						
				220	210	200			
V _{s1}	=	520,85							
M	=	5,0							
MSF	=	3,81	se M≤7,5						
		2,82	se M>7,5						
FORMULE:									
V _{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$					520,85		V _{s1}
R	=	$0,03 \cdot (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$					0,806766874		R
T	=	$0,65 \cdot ((a_{max}/g) \cdot (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}))^n \cdot r_d \cdot 1/MSF$			se M≤7,5	=	0,03139359	T _{M≤7,5}	
					se M>7,5	=	0,042394092	T _{M>7,5}	
a _{max} /g	=	0,15							
r _d	=	0,942625							
F _s =R/T	>	1			se M≤7,5	=	25,69845898	Verificato F _s	
					se M>7,5	=	19,03017208	Verificato F _s	

COMUNE DI GENOVA | COMMENDA di SAN GIOVANNI di PRÈ
ADEGUAMENTO FUNZIONALE, RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO
MEI | MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE				
(da prove dinamiche SPT)				
Metodo semplificato				
Metodo di Seed e Idris (1982)				
PARAMETRI:				
γ	=	1,99	g/cm^3	
σ_{vo}	=	1,29	kg/cm^2	
σ'_{vo}	=	0,99	kg/cm^2	
profondità della prova	=	650	cm	
N_{SPT}	=	52		
profondità falda	=	350	cm	
γ_{H_2O}	=	1	g/cm^3	
Pressione neutra	=	0,300	kg/cm^2	
z	=	6,5	m	
<div> <div>$R=$</div> <div>Resistenza al taglio mobilitata</div> </div> <div> <div>$T=$</div> <div>Sforzo di taglio indotto dal sisma</div> </div> <div> <div>$d_{50}=$</div> <div>Diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50%</div> </div>				
FORMULE:		RISULTATI:		
N_a	=	$(N_{SPT} * (1,7 / (\sigma_{vo} + 0,7))) + N_f$	=	63,24180691 N_a
N_f	=	0		
R	=	$N_a / 90$	=	0,702686743 R
T	=	$0,65 * ((a_{max} / g) * (\sigma_{vo} / \sigma'_{vo})) * r_d$	=	0,133658683 T
a_{max} / g	=	0,175		
r_d	=	0,9025		
1,3	≤	$F_s = R / T$ Sabbie sature	=	5,257322066 Verificato F_s

COMUNE DI GENOVA | COMMENDA di SAN GIOVANNI di PRÈ
ADEGUAMENTO FUNZIONALE, RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO
MEI | MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (da prove dinamiche SPT)					
Metodo semplificato					
Metodo di Iwasaki et al. (1978 1984) modificato come da D.M. 14/01/2008 e Circolare 617 del 02/02/2009					
PARAMETRI:					
Diametro Perforazione	=	101	mm		
γ	=	1,99	g/cm ³		
σ_{vo}	=	1,2935	kg/cm ²		
σ'_{vo}	=	0,9935	kg/cm ²		
profondità della prova	=	650	cm		
profondità falda	=	350	cm		
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0,3	kg/cm ²		
z	=	6,5	m		
N_{SPT}	=	52			
C_H [Liao e Whitmann, 1968a]	=	1,0130999	Verificato		
Percentuale di Fine (FC)	=	0	%		
d_{50}	=	8,8			
M_w	=	5,00			
MSF	=	3,81	se $M \leq 7.5$		
	=	2,82	se $M > 7.5$		
			CRR= Resistenza al taglio mobilitata		
			CSR= Sforzo di taglio indotto dal sisma		
			d_{50} = Diametro della curva granulometrica corrispondente al passante al 50%		
			V_s = Velocità dell'onda di taglio S		
FORMULE:			RISULTATI:		
CRR	=	$0,0882 \cdot \text{RADQ}(E16/(E9+0,7)) + 0,225 \log(0,35/E17)$	se $0,04 \leq d_{50} \leq 0,6$	=	0,139776244
CRR	=	$0,0882 \cdot \text{RADQ}(E16/(E9+0,7)) - 0,05$	se $0,6 < d_{50} \leq 1,5$	=	0,404869535
			CRR		
CSR	=	$0,65 \cdot ((a_{max}/g) \cdot (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})) \cdot r_d \cdot 1/MSF$	se $M \leq 7.5$	=	0,031648368
			se $M > 7.5$	=	0,042738147
			$CSR_{M \leq 7.5}$		
			$CSR_{M > 7.5}$		
			$a_{max}/g = 0,15$		
			$r_d = 0,950275$		
			$F_s = CRR/CSR > 1,25$		
			se $M \leq 7.5$	se $0,04 \leq d_{50} \leq 0,6$	= 4,416538686 Verificato F_s
			se $M \leq 7.5$	se $0,6 < d_{50} \leq 1,5$	= 12,79274587 Verificato F_s
			se $M > 7.5$	se $0,04 \leq d_{50} \leq 0,6$	= 3,270526504 Verificato F_s
			se $M > 7.5$	se $0,6 < d_{50} \leq 1,5$	= 9,473258899 Verificato F_s

Per quanto concerne la verifica di stabilità, poichè il sito ha una conformazione morfologica subpianeggiante ed è inserita in un contesto urbano scevro da condizioni di criticità legate alla presenza di scarpate o tagli subverticali che possano indurre smottamenti o fenomeni simili, si ritiene la verifica priva di significato e si omette.

7. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEL SITO

I criteri per l'aggiornamento della mappa di pericolosità sismica sono stati definiti nell'Ordinanza del PCM n. 3519/2006, che ha suddiviso l'intero territorio nazionale in quattro zone sismiche sulla base del valore dell'accelerazione orizzontale massima su suolo rigido o pianeggiante a_g , che ha una probabilità del 10% di essere superata in 50 anni.

A ciascuna zona, inoltre, viene attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione (fig. 6), espresso in termini di accelerazione massima su roccia (zona 1=0.35 g, zona 2=0.25 g, zona 3=0.15 g, zona 4=0.05 g).

Nella classificazione sismica della Regione Liguria (ai sensi del DGR n.216/2017) il Comune di Genova nel cui agglomerato urbano si inquadra l'intervento in oggetto si colloca in zona 3; la fascia di pericolosità attribuibile al sito è la fascia corrispondente ad una $P_g = 0,15g$.

Zona sismica	Descrizione	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)
Zona 1	E' la zona più pericolosa. Possono verificarsi fortissimi terremoti	$a_g > 0.25$
Zona 2	In questa zona possono verificarsi forti terremoti	$0.15 < a_g \leq 0.25$
Zona 3	In questa zona possono verificarsi forti terremoti ma rari	$0.05 < a_g \leq 0.15$
Zona 4	E' la zona meno pericolosa. I terremoti sono rari	$a_g \leq 0.05$

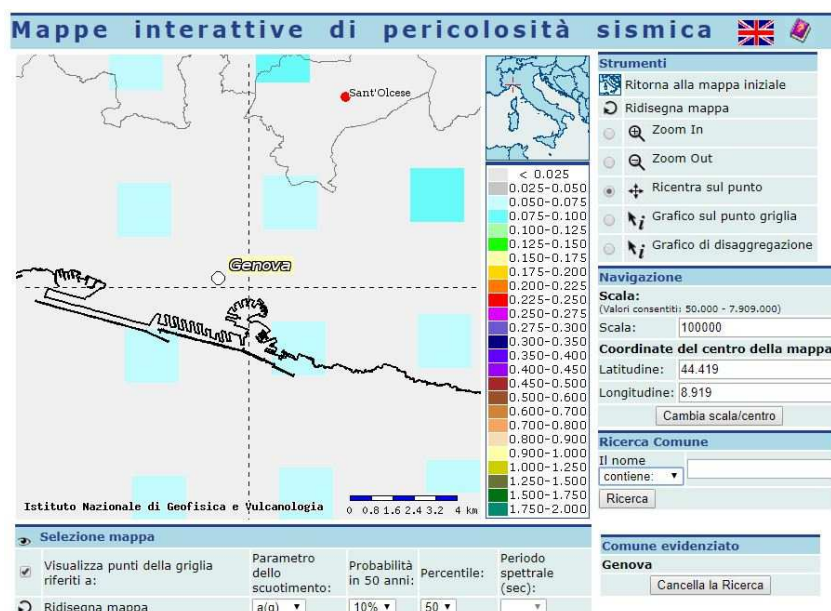


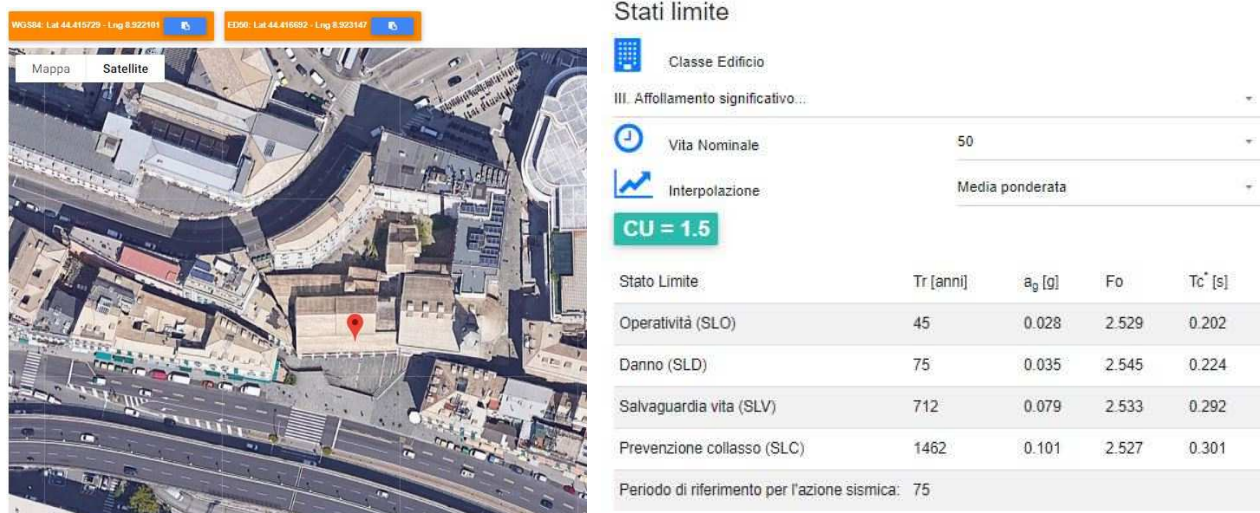
Fig. 6 – Mappa della pericolosità sismica e tabella di riferimento.

COMUNE DI GENOVA | COMMENDA di SAN GIOVANNI di PRÈ
ADEGUAMENTO FUNZIONALE, RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO
MEI | MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA

In ottemperanza alle Norme tecniche delle Costruzioni del 17.01.2018, al fine della determinazione delle azioni sismiche di progetto si forniscono i parametri che definiscono la pericolosità sismica del sito.

Questa è definita come la probabilità (Pvr) che in un determinato lasso di tempo (cd. Periodo di riferimento "Vr") in un determinato sito si verifichi un terremoto di entità almeno pari al valore prefissato. Le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di riferimento per una fissata Pvr si ritengono individuate quando si conoscano l'accelerazione massima ed il corrispondente spettro di risposta.

Attraverso procedimento automatizzato, in base alla latitudine e longitudine del sito oggetto di esame si calcolano i valori dell'accelerazione a_g ed i parametri che forniscono lo spettro di risposta. Per l'area di Genova, considerando l'opera rientrante tra quelle di categoria III (NTC D.M. 17.01.2018), con vita nominale di 50 anni, con terreno di categoria B e coefficiente topografico T1 i parametri sono riportati nella tabella seguente :



COMUNE DI GENOVA | COMMENDA di SAN GIOVANNI di PRÈ
ADEGUAMENTO FUNZIONALE, RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO
MEI | MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

☐ Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m): 1 us (m): 0,1

Cat. Sottosuolo: B

Cat. Topografica: T1

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20
CC Coeff. funz categoria	1,51	1,48	1,41	1,40
ST Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

☒ Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]: 0,6

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0.012	0.012	0.012	0.015
kv	0.006	0.006	0.006	0.007
Amax [m/s²]	0.600	0.600	0.600	0.600
Beta	0.200	0.200	0.200	0.240

Tab.1 – Parametri sismici di sito

Per la determinazione della **Categoria di suolo** è stato eseguito un accertamento in sito mediante **prova geofisica di tipo MASW**, a cura della ditta M3D Costruzioni Speciali Srl di Genova. Per le attrezzature, la strumentazione e le modalità della prova si rimanda al report allegato.

Il profilo verticale che riporta i valori di velocità delle onde Vs rileva l'esistenza di 4 orizzonti sismici, i primi 3 corrispondenti molto verosimilmente allo spessore di materiale di riporto recente e antico che con la profondità aumenta la compattezza e, quindi, la rigidità: si ha infatti un incremento netto della velocità dopo il primo metro di profondità, quindi a -4 mt passando da circa 200 m/sec a 400 m/sec, ed infine a -8 mt quando le velocità si attestano sui 500 m/sec. Nell'ambito del substrato gli aumenti sono più gradualmente ma costanti come si vede dalla figura sottostante. (fig.7).

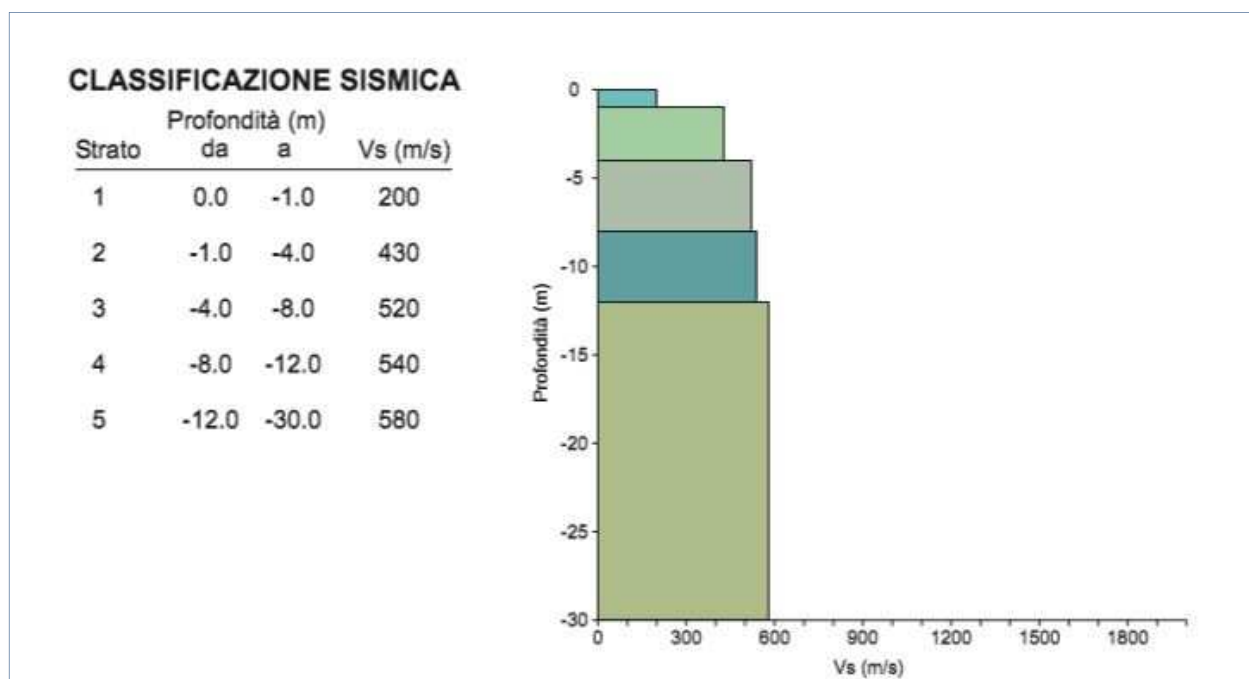


Fig. 7 – Andamento della velocità delle onde sismiche Vs con la profondità.

Usualmente la verifica della categoria di suolo di fondazione viene calcolata utilizzando una media ponderata dei valori di velocità delle onde di taglio dei primi 30 m di profondità mediante una espressione nota (vd. allegato).

In funzione però dell'evidente contrasto di impedenza sismica tra la copertura ed il substrato e dei loro rapporti geometrici, la migliore interpretazione dei criteri di attribuzione delle categorie di sottosuolo indicate dalle NTC 2018 per l'approccio semplificato di cui alla tab 3.2.II delle NTC/2018, consente di identificare la **categoria di suolo B in base ad un valore di V_{sEq} (ex Vs30) pari a 516 m/sec.** ovvero *"Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s."*

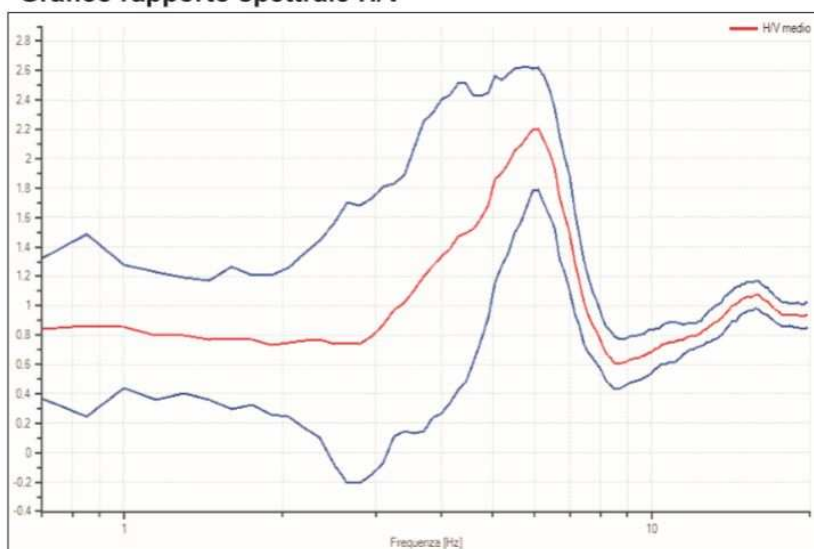
Per completezza di indagine in relazione all'importanza della struttura su cui intervenire è stata eseguita una **prova HVSr**. L'utilizzo di questa tecnica geofisica consente di ottenere tutta una serie di informazioni, in particolare sulle frequenze di risonanza dei terreni di sottosuolo, utili per verificare l'interazione dal punto di vista sismico del sistema terreno-strutture.

Le misure di microtremore a stazione singola consentono infatti, attraverso l'analisi dei rapporti spettrali, di ottenere immediatamente, come misura diretta, la frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, direttamente correlabile al periodo di oscillazione proprio del sito, senza stimare quest'ultimo sulla base delle Vs.

In estrema sintesi la tecnica H/V mette in relazione le variazioni del rapporto tra la componente orizzontale e verticale dei microtremori ambientali alle varie frequenze, con le variazioni litostratigrafiche che si incontrano nel sottosuolo al di sotto del punto di misura. Laddove il rapporto H/V ha un picco si ha un contrasto di impedenza che è tanto più marcato tanto più grande è il picco in questione.

I risultati riassunti nella figura sottostante evidenziano un picco di frequenza in corrispondenza di una frequenza pari a 6.0 Hz, tale però da determinare un fattore di amplificazione medio-basso.

Grafico rapporto spettrale H/V



Dati riepilogativi:

Frequenza massima:	20.00 Hz
Frequenza minima:	0.70 Hz
Passo frequenze:	0.15 Hz
Tipo lisciamento:	Media mobile
Percentuale di lisciamento:	10.00 %
Tipo di somma direzionale:	Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V:
6.10 +/- 0.19 Hz

Fig. 8 – Rapporto spettrale H/V con picco a 6.0 Hz.

COMUNE DI GENOVA | COMMENDA di SAN GIOVANNI di PRÈ
ADEGUAMENTO FUNZIONALE, RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO
MEI | MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA

Nell'ambito della pianificazione urbanistica e, quindi degli elaborati del PUC (Piano Urbanistico Comunale) la carta di Microzonazione sismica di 1° livello (fig. 9) colloca il settore urbano considerato nel settore delle Zone suscettibili di amplificazione locale per amplificazione stratigrafica.

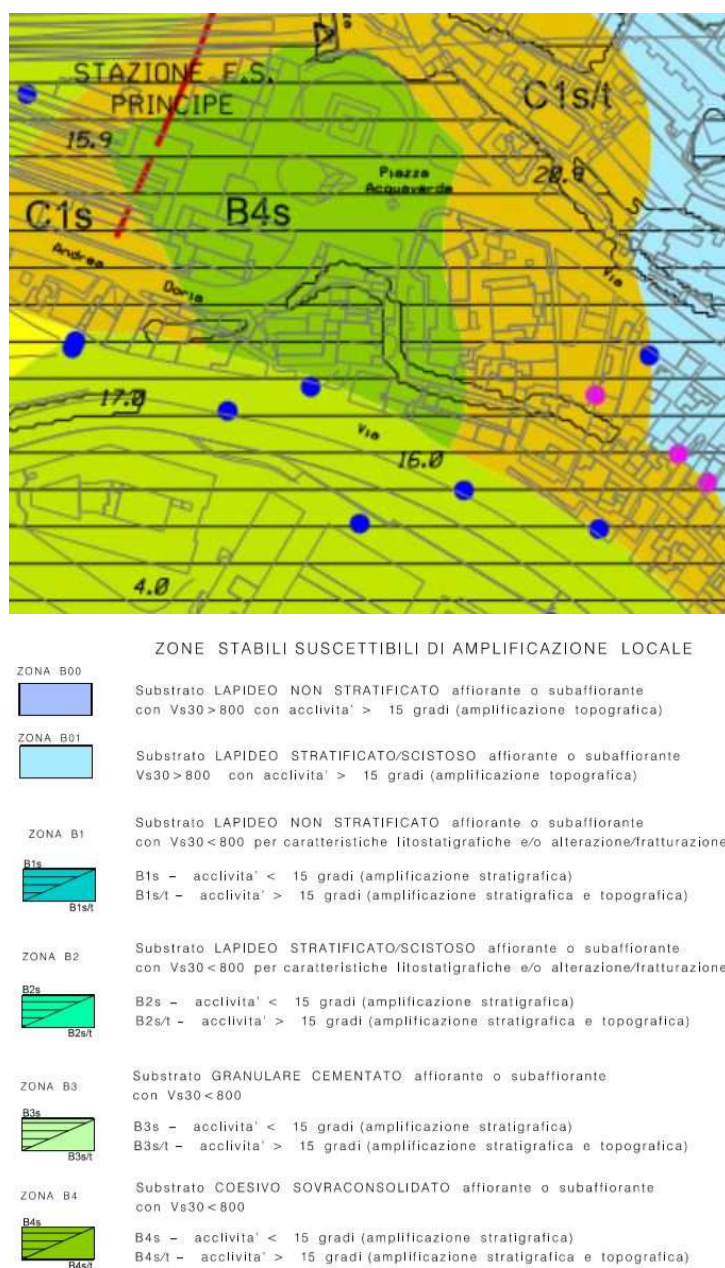


Fig. 9 – Stralcio della Carta di Microzonazione sismica di Genova (PUC Comune Genova).

8. AZIONE SISMICA DI PROGETTO (MICROZONAZIONE SISMICA DI III LIVELLO)

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

- Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
- Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
 - Stima della funzione di trasferimento;
 - Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
 - Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;

Le operazioni sopraindicate sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;

- Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile "trasferire" l'accelerogramma dal bedrock in superficie.

Il programma RSL è un software per la valutazione della risposta sismica locale secondo un approccio locale di 3° livello. Con l'approccio locale è possibile valutare quantitativamente il fattore di amplificazione puntuale di una particolare stratigrafia in base ad una modellazione monodimensionale degli strati di terreno presenti in situ.

La procedura di calcolo adoperata da RSL si basa su metodi numerici che simulano la propagazione delle onde sismiche in un deposito di terreno orizzontalmente stratificato a partire dalla sottostante formazione rocciosa.

Il metodo numerico utilizzato dal programma si basa su un modello lineare equivalente che semplifica la trattazione del problema della non linearità del comportamento dei terreni sottoposti a cicli di carico.

Per queste sollecitazioni il legame tensione-deformazione si mostra non lineare e si manifesta con la dissipazione di energia e l'accumulo di deformazioni permanenti (fig.10).

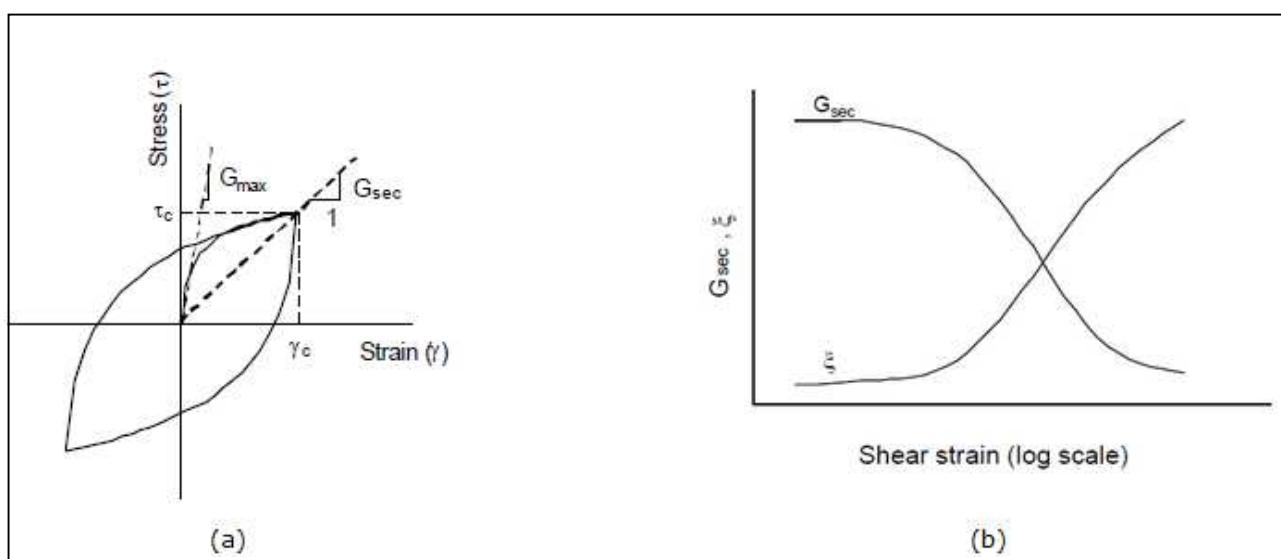


Fig. 10 - Comportamento non lineare per un ciclo di carico-scarico-ricarico. (b) Variazione modulo secante e smorzamento con l'ampiezza della deformazione a taglio.

Nel modello lineare equivalente il comportamento dei terreni è governato da "parametri equivalenti": il modulo di taglio equivalente G è assunto pari al modulo secante G_{sec} definito come rapporto τ_c/γ_c . Analogamente, lo smorzamento equivalente è quello che produce la stessa

perdita di energia di un ciclo di isteresi prodotto dal carico- scarico di un terreno a comportamento irreversibile.

Nel modello lineare equivalente modulo di taglio e il rapporto di smorzamento sono variabili con l'ampiezza della deformazione a taglio Fig 6 (b); sono, altresì, esclusi dalla modellazione alcuni importanti fenomeni fisici come il rammollimento.

Dati generali

Descrizione COMMENDA DI PRÈ IN GENOVA PROPEDEUTICHE ALLA PROGETTAZIONE DEL FUTURO MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA.

Committente COMUNE DI GENOVA

Operatore della prova Dott. Geol. Antonio Riviello

Responsabile della prova Dott. Geol. Antonio Riviello

Data della prova d.C./06/2019

Via CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA

Latitudine 44.415966[°]

Longitudine 8.922252[°]

Mediante il software RSL III della Geostru, sono state effettuate analisi contemporaneamente su più accelerogrammi forniti come input ed è stata utilizzare come unità di misura per l'accelerazione g.

Le tracce da importare sono quelle riferite al bedrock sismico la cui scelta, nelle analisi di livello 3, è legata alla verifica delle condizioni definite dalle NTC 2018 al par. 3.2.3.6 e al par. 7.3.5.

La selezione degli accelerogrammi è stata effettuata utilizzando il sito SEISM-HOME della Fondazione EUCENTRE di Pavia per scaricare le registrazioni accelerometriche (settopla n. TR475_ID16918) spettro-compatibili (in media) allo spettro di risposta definito su suolo di categoria A per il sito avente coordinate Latitudine 44.415966° Longitudine 8.922252° per il periodo di ritorno 475 anni (azione sismica definita secondo il DM 17 Gennaio 2018, Norme tecniche per le costruzioni).

Il sito web SEISM-HOME è stato sviluppato in collaborazione tra le sezioni Geotecnica e sismologia applicata e Strutture in muratura e monumenti nell'ambito del progetto esecutivo EUCENTRE 2009-2012 E5/2 finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile.

In calce alla presente relazione viene riportato il procedimento automatizzato con gli steps intermedi per la verifica. In tale paragrafo si riporta il risultato finale di più immediata comprensione e con i risultati utili per il progetto.

Il risultato della elaborazione automatizzata è riassumibile nella seguente figura 11, da cui si ricava che **lo spettro di normativa per un suolo di categoria B (spettro blu in figura) è più conservativo rispetto allo spettro risultante dalle analisi di risposta sismica locale effettuata con accelerogrammi reali (spettro rosso in figura), pertanto si può affermare che gli spettri di normativa sovrastimano le accelerazioni attese sul sito in esame, risultando più cautelativi e pertanto è data facoltà al progettista di utilizzare questi nel calcolo delle azioni sismiche.**

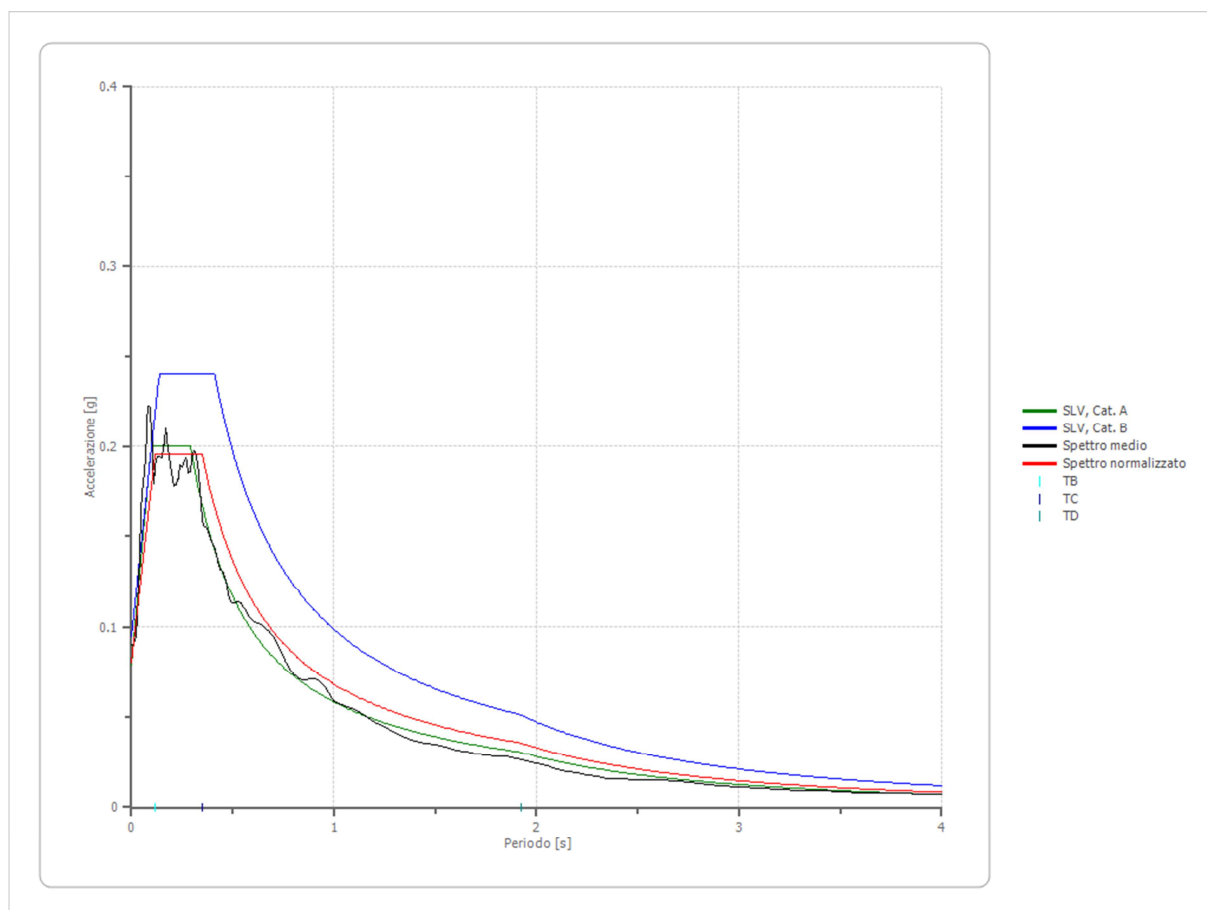


Fig. 11 – Confronto tra spettro di normativa (rosso), spettro di sito (verde), e spettro di riferimento (blu).

9. INQUADRAMENTO DEL SITO DI PROGETTO CON GLI STRUMENTI URBANISTICI

Il sito in esame è inserito in un contesto urbano soggetto al Piano Urbanistico Comunale, il quale prevede una zonazione del territorio comunale in base al tematismo indagato.

Prima ancora esso è inserito nel contesto urbano della pianificazione di Bacino regolata dall'Autorità di Bacino che ha redatto le Carte del Rischio e della Pericolosità da frana e idraulica del territorio. In base a tali elaborati (fig. 12) non si riscontrano vincoli di alcun genere, per entrambi i rischi, come si può notare dagli stralci seguenti:

❖ Carta del rischio geologico: moderato R1



	RISCHIO MOLTO ELEVATO	R4
	RISCHIO ELEVATO	R3
	RISCHIO MEDIO	R2
	RISCHIO MODERATO	R1
	RISCHIO LIEVE O TRASCURABILE	R0

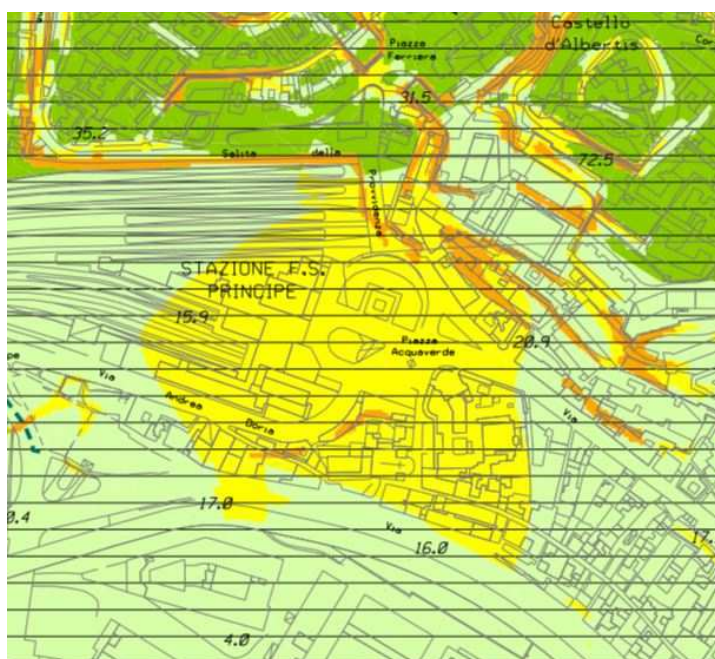
❖ Carta delle fasce di inondabilità: area esterna alle fasce



FASCE FLUVIALI	NORME DI ATTUAZIONE
 FASCIA A	Art. 18, c. 2
 FASCIA A*	Art. 15, c. 4bis
 FASCIA B	Art. 15, c. 3
 FASCIA B* (Aree storicamente inondate in tratti non indagati o con indagini non sufficienti)	Art. 15, c. 4bis
 FASCIA C	Art. 15, c. 4
 FASCIA C (Aree ex inondabili)	Art. 15, c. 4
 FASCIA C (Aree storicamente inondate in tratti indagati)	Art. 15, c. 4
 ALVEO	Art. 13

Fig. 12 – Stralcio delle Carte del Rischio di frana e del Rischio Idraulico redatte dall'AdB.

COMUNE DI GENOVA | COMMENDA di SAN GIOVANNI di PRÈ
ADEGUAMENTO FUNZIONALE, RESTAURO E RISANAMENTO CONSERVATIVO
MEI | MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA



LEGENDA

- Zona A: Aree con suscettività d'uso non condizionata
- Zona B: Aree con suscettività d'uso parzialmente condizionata
- Zona C: Aree con suscettività d'uso limitata
- Zona D: Aree con suscettività d'uso limitata e/o condizionata all'adozione di cautele specifiche
- Zona E: Aree con suscettività d'uso fortemente condizionata
- Zona urbanizzata
- Limiti amministrativi: Comune e Municipi

LEGENDA

VINCOLI GEOMORFOLOGICI IMPOSTI DAL PUC

- FRANA ATTIVA da Carta Geomorfologica del PUC
- FRANA QUIESCENTE da Carta Geomorfologica del PUC

VINCOLI GEOMORFOLOGICI IMPOSTI DAI SOVRAORDINATI PIANI DI BACINO

- FRANA ATTIVA /Pg4
- FRANA QUIESCENTE /Pg3a
- TIPO A - Cave attive e discariche in esercizio
- TIPO B1 - Cave inattive
- TIPO B2 - Discariche dismesse e rifiuti antropici

- AREA SOGGETTA A VINCOLO IDROGEOLOGICO (triangolo verso zona vincolata)

VINCOLI IDRAULICI IMPOSTI DAI SOVRAORDINATI PIANI DI BACINO

- ALVEO ATTUALE
- AREE INONDABILI CON DIVERSI TEMPI DI RITORNO
- FASCIA RIASETTO FLUVIALE FASCIA DI RISPETTO DELLO SCOLMATORE per quanto riguarda lo scolmatore del T. Bisagno (R. PoB del T. Bisagno art. 17 bis)
- RETICOLO IDROGRAFICO

ACQUIFERI SIGNIFICATIVI Piano di Tutela delle Acque (D.C.R. 32/09)

- ACQUIFERI SIGNIFICATIVI (triangolo verso zona vincolata)

CAPTAZIONI AD USO UMANO (aggiornamento giugno 2016) Ambiente in Liguria: banca dati "Derivazioni idriche"

- Sorgenti e pozzi
- Fascia di collocazione Scolmatore Rio Vernazzola (Fonte: Area Tecnica-Direzione Manutenzione Infrastrutture e Verde Pubblico)
- Limiti amministrativi: Comune e Municipi



Fig. 13 – Stralci degli elaborati tecnici del PUC del Comune di Genova (spiegazione vd. testo).

Per quanto concerne la pianificazione urbana si fa riferimento agli elaborati del PUC; nella Carta della Zonizzazione geologica e suscettività d'uso del territorio il settore ricade nella classe "Aree con suscettività d'uso limitata".

Sempre dal PUC la Carta dei Vincoli geomorfologici ed idraulici per il settore considerato non riporta alcun vincolo.

10. INTERVENTI PROGETTUALI ED INTERAZIONE STRUTTURA-SOTTOSUOLO

Il progetto non prevede la realizzazione di alcun manufatto nuovo che aggiunga volumetria a quella già esistente con conseguenti carichi aggiuntivi.

Gli interventi previsti si riferiscono principalmente alla ristrutturazione dell'esistente con particolare attenzione ad i solai

In conseguenza di ciò l'interazione della struttura con il sottosuolo non subirà variazioni tali da prevedere opere accessorie più di quelle già previste in progetto. I manufatti presenti di epoca storica, peraltro, non presentano un quadro di degrado che fa presumere criticità legate a cedimenti o a particolarità legate alla configurazione geologica e geomorfologica.

Le analisi di Risposta Sismica Locale, inoltre, con i risultati riportati nella presente relazione permettono di adeguare le strutture esistenti anche dal punto di vista della resistenza alle azioni di un sisma.

11. CONCLUSIONI

E' stato eseguito uno studio geologico di supporto alla Progettazione definitiva ed esecutiva delle opere di adeguamento funzionale, restauro e risanamento conservativo in previsione della realizzazione del Museo Nazionale della Migrazione Italiana presso la Commenda di S.Giovanni di Prè nel Comune di Genova.

Sono state fornite indicazioni riguardanti il modello geologico-tecnico del sottosuolo, le caratteristiche geomorfologiche e idrogeologiche del sito anche riguardo ai rischi connessi con le componenti ambientali e di tipo geologico-geotecnico.

Per avere un quadro puntuale, dettagliato ed utile ai fini della progettazione esecutiva è stato ritenuto opportuno eseguire una campagna geognostica articolata in diversi tipi di prove illustrate nella presente relazione e nei report allegati da cui sono stati desunti i dati geomeccanici di resistenza al taglio ed alla deformazione dei terreni di fondazione, nonché delle caratteristiche sismiche di sito, così come richiesto dalla Normativa tecnica nazionale.

Sono state inoltre eseguite e verificate alla liquefazione come richiesto dalla NTC2018.

E' stato integrato lo studio riguardante l'azione sismica di progetto con un approfondito studio di Risposta Sismica Locale e con una microzonazione sismica di III livello, in considerazione dell'importanza rilevante dell'opera.

Le risultanze a cui si è pervenuti hanno messo in luce una configurazione geologica de sito che non presenta alcuna criticità, sia per quanto riguarda la pericolosità geomorfologica e idrogeologica e sia per quanto concerne le caratteristiche geomeccaniche del materiale che costituisce il sottosuolo. In particolare, pur intercettando il substrato a profondità considerevoli (a circa – 7.3 mt) i terreni soprastanti presentano parametri geotecnici elevati denotando discrete qualità in termini di resistenza alle sollecitazioni di carichi esterni.

Alla luce di quanto detto sono consentiti gli interventi proposti in progetto senza particolari accorgimenti e seguendo le regole dettate dalla normativa.

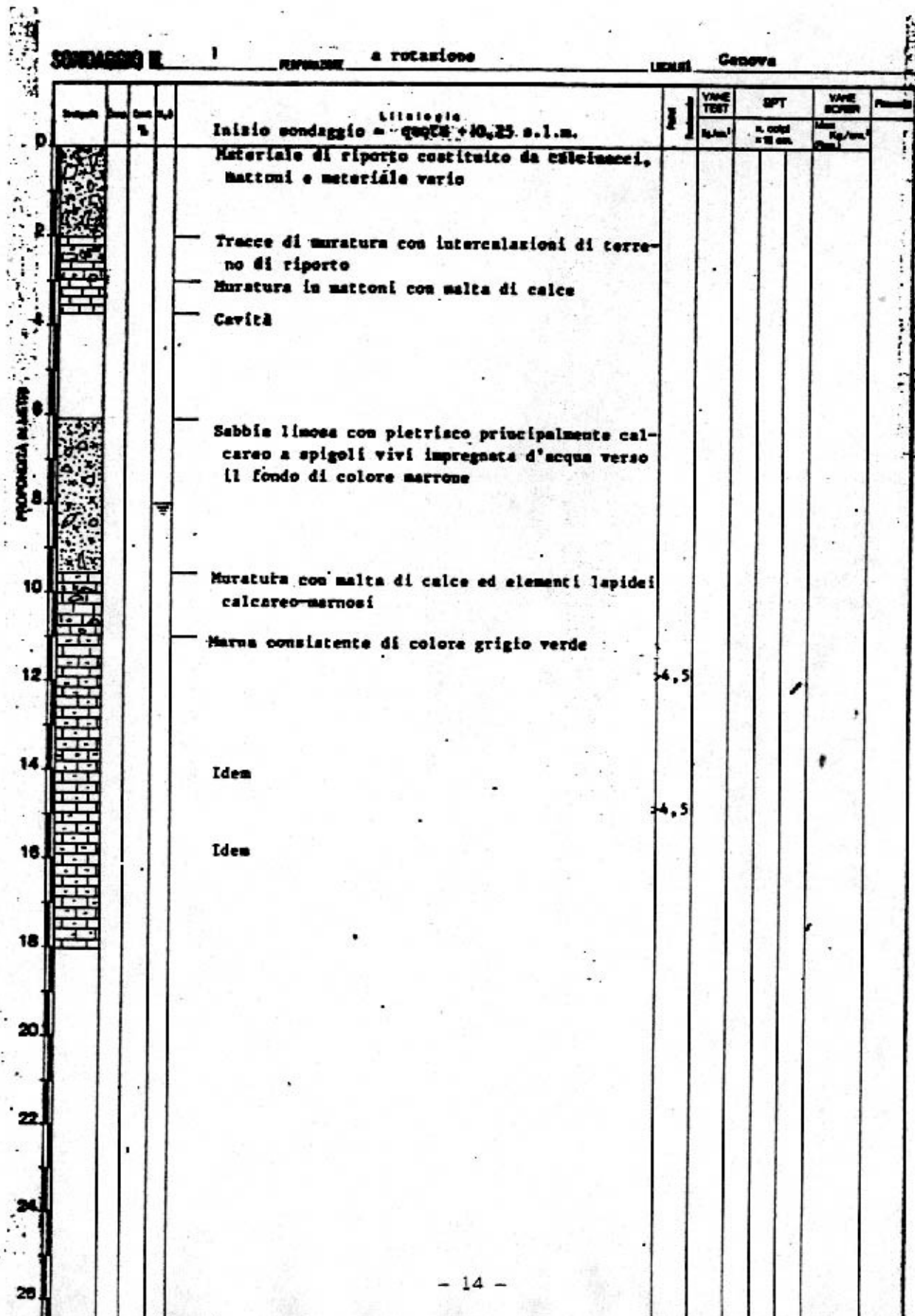
Napoli, febbraio 2020

Dott. Antonio Riviello



ALLEGATI

Stratigrafia del sondaggio eseguito anni addietro nella Piazza della Commenda e riportato sul seguente portale della regione Liguria : <http://geoportale.regione.liguria.it>





M3D Costruzioni Speciali S.r.l.
Via al Santuario di N.S. della Guardia 49A rosso
16162 GENOVA
tel. 010 2518889 e-mail: info@m3dsrl.com

**STRATIGRAFIA
SONDAGGIO GEOGNOSTICO**

Sigla sondaggio

S1

Committente: **MUMA - Comune di Genova**

Cantiere: **Museo Migrazione Italiana Commenda di Prè**


Località: **Genova**

Data: **Inizio e fine 22/05/2019**

Quota: **p.c.**

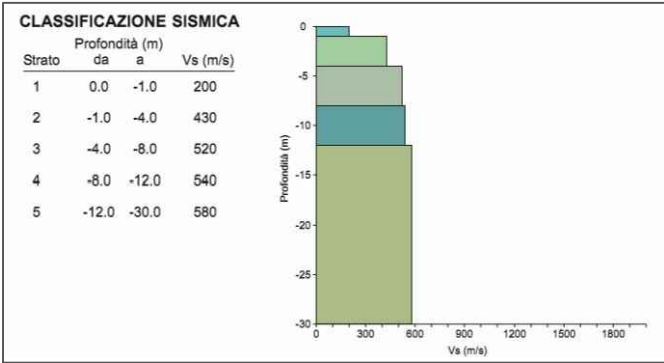
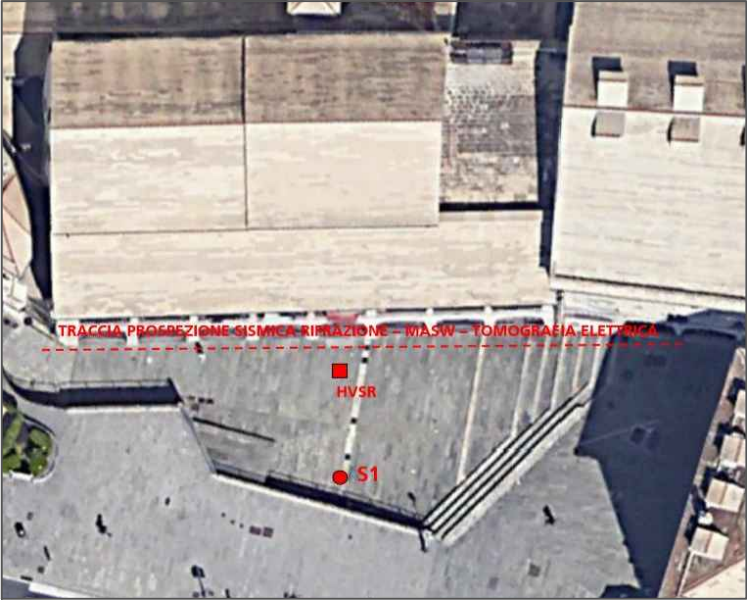
Dati di perforazione - computo metrico

Tipo e diametro di perforazione: *carotaggio continuo - 101 mm*
Rivestimento diam. 127 mm: *10.00 m* Casse: *n. 4*
Carotiere semplice: *20.00 m*
Carotiere doppio: -
Corona diamantata: -
Strumentazione: *Piezometro 3" profondità 20.00 m*

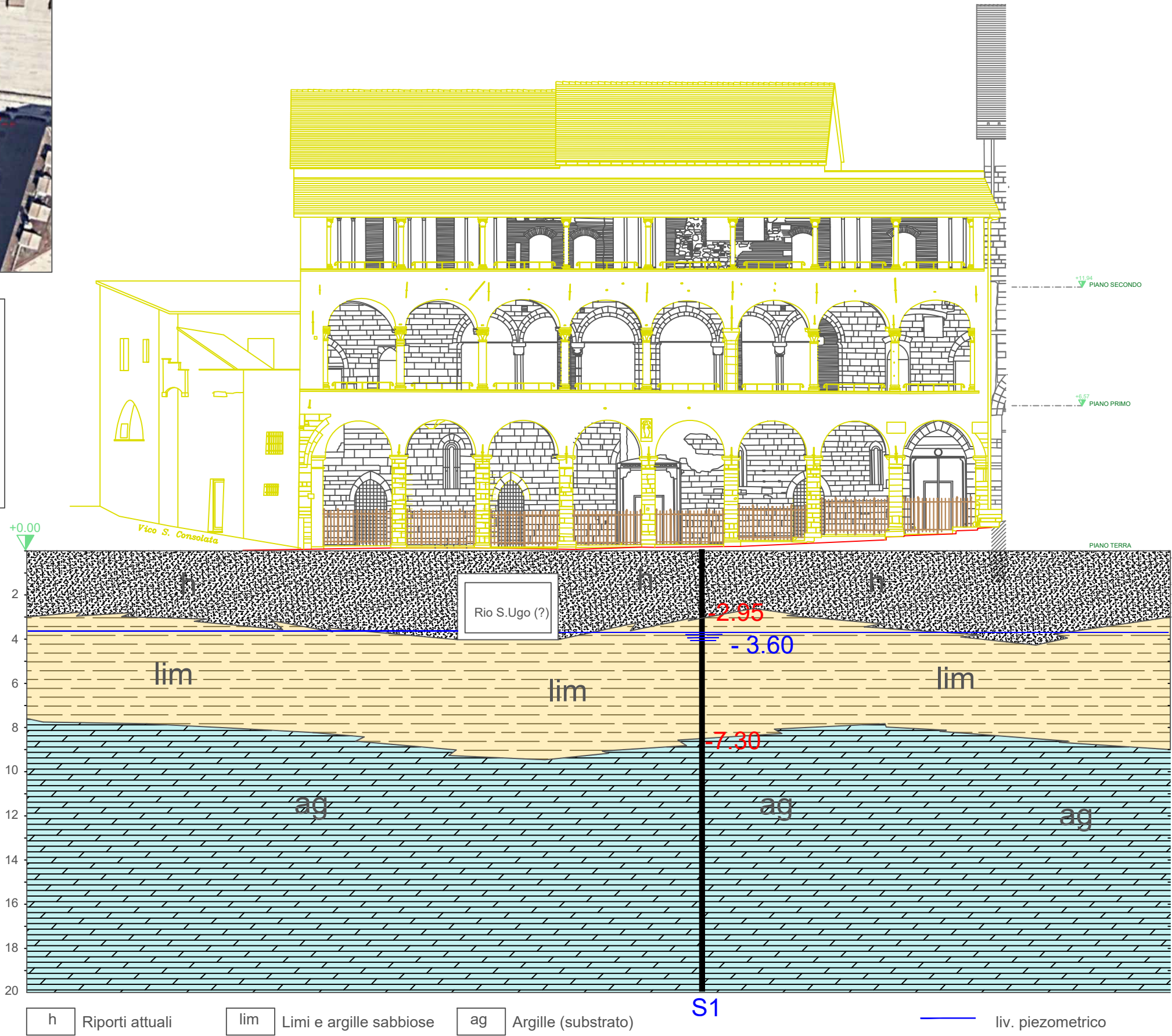
Litologia	Profondità e potenza strato (m)		Descrizione litologica	% Carotaggio	Manovre % RQD	Campioni	Prove geotecniche in foro				Inclinometro	Piezometro a tubo aperto	Utensile			Falda	
							Standard Penetration Test		Leifranc	Lugeon			Menard	Carotiere semplice	Carotiere doppio		Corona Diamantata
	0.00	0.15		10 30 50 70 90	10 30 50 70 90		prof.	Risultato			N _{spt}						
	0.15	2.80	Sottofondo pavimentazione in CLS.	100	0.15												
			Materiale di riporto costituito da limo sabbioso con ghiaia eterogenea ed eterometrica e presenza di laterizi; poco addensato (valore di N _{SPT} pari a 7 a 1.50 m di profondità); colore marrone chiaro.		1.50	1.95	3 - 4 - 3	7									
	2.95	1.25	Limo argilloso rimaneggiato; estremamente consistente (valore di N _{SPT} pari a 63 a 3.00 m di profondità); colore grigio-verdastro.		3.00	3.45	13 - 33 - 30	63									
	4.20		0.60		Limo argilloso rimaneggiato con presenza di ghiaia medio-fine calcarea angolare; molto addensato (valore di N _{SPT} pari a 52 a 4.50 m di profondità); colore marrone / grigio-verdastro.	4.50	4.95	15 - 22 - 30	52								
	4.80	1.20			Limo sabbioso debolmente argilloso; colore da grigio-verdastro a giallo ocra.												
	6.00		1.30		Sabbia limosa; colore giallo ocra.	6.00											
	7.30				Argilla limosa, localmente presenza di livelli centimetrici sabbiosi; colore grigio-verdastro.	7.60											
						9.30											
						10.90											
						12.50											
						14.10											
						15.65											
						17.30											
						18.80											
						20.00											
	20.00	12.70											10				
							</										

22/05/2019
3.60

UBICAZIONE INDAGINI



PROFILO GEOLITOLOGICO



Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com



COMMITTENTE

RAPPORTO INDAGINI GEOGNOSTICHE

CAMPAGNA DI INDAGINI GEOGNOSTICHE PRESSO LA COMMENDA DI PRÈ IN
GENOVA PROPEDEUTICHE ALLA PROGETTAZIONE DEL FUTURO MUSEO
DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA.

COMUNE DI GENOVA
CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA

Genova, 07 _06_2019



Dott. Geol. Luca Maldotti
(Direttore Tecnico Indagini Geognostiche)

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)

Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

INDICE

1. PREMESSA	03
2. SONDAGGI GEOGNOSTICI	05
2.1 PERFORAZIONE	
2.2 STRATIGRAFIA	
3. PROVE GEOTECNICHE IN SITU	08
3.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE S.P.T.	
4. PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO	09
5. TUBI PIEZOMETRICI	10
6. INDAGINE SISMICHE	12
6.1 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE	
6.2 PROSPEZIONE SISMICA MASW	
6.3 PROSPEZIONE SISMICA TRAMITE TECNICA HVSR	
6.4 TOMOGRAFIA ELETTRICA	

ALLEGATI AL TESTO

1. ORTOFOTO
2. PLANIMETRIA CON UBICAZIONE INDAGINI
3. DOCUMENTAZIONE SONDAGGIO GEOGNOSTICO A C.C. S1
4. ELABORATI PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE
5. ELABORATI PROSPEZIONE SISMICA MASW
6. ELABORATI PROSPEZIONE SISMICA TRAMITE TECNICA HVSR
7. ELABORATI TOMOGRAFIA ELETTRICA
8. CERTIFICATI PROVE DI LABORATORIO

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

1. PREMESSA

L'Impresa M3D Costruzioni Speciali S.r.l. è stata incaricata da MUMA "Istituzione Musei del Mare e della Migrazione" del Comune di Genova, di eseguire una campagna di indagini geognostiche nell'ambito del progetto del futuro Museo della Migrazione Italiana che sarà realizzato presso la Commenda di Prè in Comune di Genova GE.

L'appalto ha previsto la realizzazione delle seguenti lavorazioni:

1. Approntamento cantiere e delimitazione, delle aree di lavoro per ogni punto di sondaggio;
2. Mappatura Georadar per la verifica di eventuali sottoservizi presenti mediante strumentazione OPERA DUO della IDS Georadar S.r.l. a doppia antenna da 250 e 700 Mhz .



3. Realizzazione di n°1 sondaggio geognostico, a rotazione in parte a carotaggio continuo, ad andamento verticale, delle profondità di 20 ml.

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)

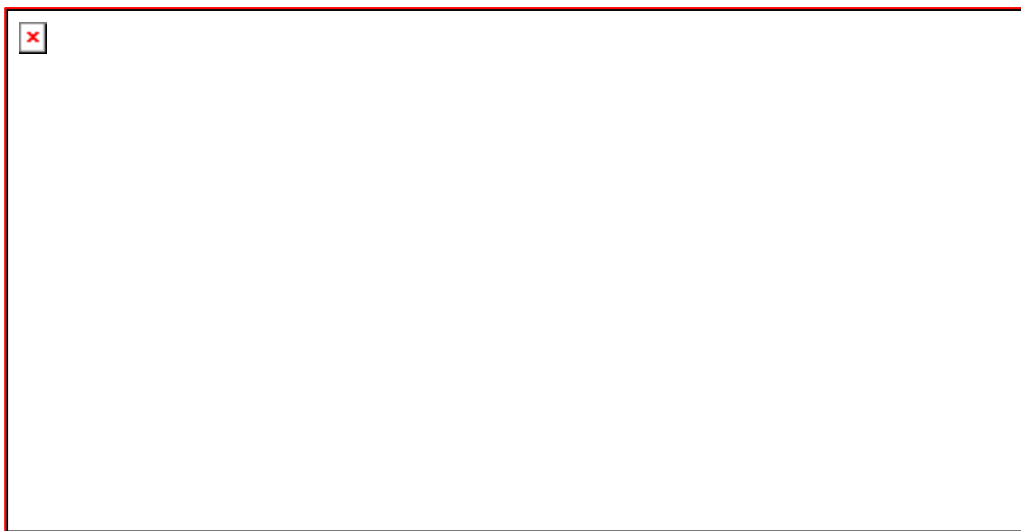
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com



4. Esecuzione di n°03 prove Standard Penetration Test.
5. Prelievo di n° 03 campioni di terre da sottoporre successivamente a prove di laboratorio;
6. Allestimento all'interno della verticale di indagine S1 di una tubazione in PVC Ø 3" per valutare la potenza dell'acquifero presente.
7. Esecuzione di N°01 indagine sismica a rifrazione
8. Esecuzione di N°01 indagine sismica MASW
9. Esecuzione di N°01 indagine sismica con metodologia HVSR
10. Esecuzione di N°01 indagine sismica mediante tomografia elettrica
11. Rimozione cantiere.

Si rimanda ai paragrafi successivi per la verifica delle singole voci.

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

2. SONDAGGI GEOGNOSTICI

2.1 PERFORAZIONE

Le perforazioni sono state eseguite utilizzando una perforatrice idraulica Beretta T44 ed una perforatrice idraulica Beretta T44, montate su cingoli gommati, aventi le seguenti caratteristiche:

- Velocità di rotazione : 550 rpm
- Coppia massima : 650 Kgm
- Corsa continua : 330 cm
- Spinta : 4000 Kg
- Tiro : 4000 Kg
- Pompa per fluidi di perforazione pressione 50 Bar portata 200 lt

Durante l'avanzamento nei terreni sciolti , avvenuto a secco senza l'utilizzo di acqua di perforazione, sono stati utilizzati carotieri semplici, muniti di corone ad inserti di widia, con le seguenti caratteristiche:

Diametro nominale Øest = 101 / 116 mm

Lunghezza utile L = 150 cm.



In assenza di sufficiente autosostentamento delle pareti del foro ad ogni manovra di carotaggio è seguita una manovra di rivestimento utilizzando tubi di diametro 127 mm, dotati di una scarpa ad inserti di widia. Le operazioni di rivestimento sono state condotte a secco, in assenza di circolazione di acqua.



Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

Le carote sono stati ordinati in successione continua, entro apposite cassette catalogatrici in PVC di centimetri 100 x 50 e d'altezza adeguata. Le cassette sono state in seguito fotografate da un'angolazione di circa 90°, previa l'installazione di un riferimento indicante la località del cantiere, il numero del sondaggio e le quote di riferimento delle carote. Le fotografie sono state eseguite con una fotocamera digitale.



2.2 STRATIGRAFIA

Per il sondaggio geognostico è stata redatto il relativo modulo stratigrafico allegato alla presente relazione, riportante tutte le informazioni riguardanti le operazioni di perforazione e le caratteristiche delle carote e dei cuttings, come di seguito indicato:

a) informazioni generali del sondaggio:

- metodo di perforazione;
- diametro del foro;
- utensili utilizzati;
- lunghezza del tratto rivestito;
- metri realizzati con i diversi carotieri e le diverse corone.

b) informazioni relative ai terreni:

- tipo di terreno;
- colore;
- massime dimensioni dei clasti e forma predominante per i terreni ghiaiosi;
- uniformità dei terreni granulari;
- struttura del terreno;
- presenza di materiale organico.

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

Nella stesura della descrizione è stato elencato per primo il nome del costituente principale seguito dal costituente secondario nella seguente forma, in accordo alle Raccomandazioni AGI (1977):

- preceduto dalla congiunzione "con" se rappresenta una percentuale compresa tra il 25% ed il 50 %;
- seguito dal suffisso "oso" se rappresenta una percentuale compresa tra il 10% ed il 25%;
- preceduto da "debolmente" e seguito dal suffisso "oso" se rappresenta una percentuale compresa tra il 5% ed il 10%.

Per le carote è stato inoltre determinato in sito il recupero percentuale.

Nella descrizione dei terreni sciolti è stato fatto riferimento alla seguente tabella:

Definizione		Diametro dei grani [mm]	Criteri d'identificazione
blocchi		> 200	Visibili ad occhio nudo
Ciottoli		60-200	Visibili ad occhio nudo
Ghiaia	grossolana	20-60	Visibile ad occhio nudo
	media	6-20	
	fine	2-6	
Sabbia	grossolana	0.6-2	Visibile ad occhio nudo
	media	0.2-0.6	
	fine	0.06-0.2	
Limo		0.002-0.06	Solo se grossolano è visibile a occhio nudo, poco plastico, dilatante, lievemente granulare al tatto, si disgrega velocemente in acqua, si essicca velocemente, possiede coesione ma può essere polverizzato tra le dita
Argilla		<0.002	Plastica, non dilatante, liscia al tatto, appiccica alle dita, si disgrega in acqua lentamente, asciuga lentamente, si ritira durante l'essiccazione, i frammenti asciutti possono essere rotti ma non polverizzati fra le dita
terreno organico vegetale	o		Contiene una rilevante percentuale di sostanze organiche vegetali
Torba			Predominano i resti lignei non mineralizzati, colore scuro, bassa densità

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

3. PROVE GEOTECNICHE IN SITU

3.1 PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE SPT

Durante l'esecuzione della perforazione è stata richiesta l'esecuzione di alcune prove Standard Penetration Test; tale prova consente di determinare la resistenza che un terreno offre alla penetrazione dinamica di un campionatore infisso a partire dal fondo di un foro di sondaggio.

L'attrezzatura utilizzata per l'esecuzione della prova S.P.T. è stata quella di dimensioni standard (Raccomandazioni A.G.I. per la programmazione e l'esecuzione delle indagini geotecniche, 1977).

Il dispositivo di percussione comprende: testa di battitura avvitata sulle aste, un maglio del peso di 63.5 kg (± 0.5 kg), ed un sistema di guida sganciamento automatico del maglio, che assicura una corsa a caduta libera di 75 cm. La prova d'infissione, avvenuta in fondo al foro



precedentemente pulito, consiste nel far penetrare il campionatore in questo caso a punta aperta per tratti successivi di 15 cm., registrando ogni volta il numero di colpi necessari (N_1 , N_2 , N_3). Con il primo tratto, detto di "avviamento",

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)

Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

s'intende superare la zona di terreno rimaneggiata in fase di perforazione; se con $N_1 = 50$ colpi l'avviamento è minore di 15 cm., l'infissione deve essere sospesa e la prova si dichiara conclusa, annotando la relativa penetrazione.

Se il tratto di avviamento è stato superato, si conteggiano N_2 e N_3 (da 15 a 30 e da 30 a 45 cm.) fino ad un limite complessivo di 100 colpi ($N_2 + N_3$), raggiunto il quale si sospende la prova annotando l'avanzamento ottenuto. Il parametro caratteristico della prova $N_{s.p.t.}$ è: $N_{s.p.t.} = N_2 + N_3$

Si rimanda alle schede stratigrafiche in allegato per la verifica dei dati ottenuti.

4. PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati alcuni campioni di terre e/o rocce che sono stati consegnati al Laboratorio Geotecnico Certificato RINA – GET S.r.l. di Genova – Bolzaneto il cui certificato viene riportato in Allegato 8.

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

5. TUBI PIEZOMETRICI

Al termine della perforazione, la verticale di indagine S1 è stata allestita con una tubazione 3" del tipo a circuito aperto.

Questi strumenti di monitoraggio consentiranno di verificare il livello di falda presente nel terreno per tutta la durata degli accertamenti tecnici.

I piezometri a tubo aperto constano di una colonna di tubi in PVC rigido, fessurati ed eventualmente rivestiti di tessuto non tessuto per la parte in falda e ciechi per il rimanente tratto.

Vanno posti in opera entro un foro rivestito con una tubazione provvisoria, di diametro utile pari almeno al doppio del diametro dei tubi di misura adottati.

Una volta eseguita a quota la pulizia del foro, si inserisce la colonna fino a fondo foro; quindi si procede all'immissione, nell'intercapedine colonna -

tubazione, di materiale granulare (sabbia, sabbia - ghiaietto) in modo da realizzare un filtro poroso attorno al tratto di colonna fenestrato.

Tale operazione va eseguita ritirando la tubazione provvisoria mano a mano che si procede con l'immissione dall'alto del materiale filtrante, curando di



Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)

Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

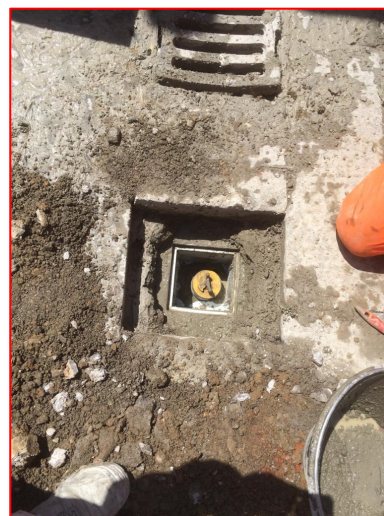
Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

controllare la quota di questo con idonei sistemi di misura (cordelle metriche, etc.). Il bordo inferiore della tubazione dovrà sempre trovarsi al di sotto della quota raggiunta dal materiale di riempimento.

Al termine della formazione del filtro, si procede all'esecuzione di un tappo impermeabile di circa 1 metro di altezza, formato generalmente da palline di bentonite o argilla opportunamente pestellate, onde separare la zona filtrante dal tratto di foro superficiale, che andrà poi riempito con materiale di risulta, oppure cementato a seconda delle esigenze.

Il piezometro, al termine della posa in opera è stato protetto con un tombino carrabile mentre la tubazione in PVC è stata chiusa con un tappo packer che ne garantisce l'impermeabilità. Inoltre vista la presenza di una pavimentazione in lastricato lapideo il tombino è stato posizionato a quota sottomessa e la lastra originale Vi è stata riposizionata sopra al fine di non creare impatto visivo.



Al termine dei lavori è stata realizzato uno spurgo del pozzo piezometrico che ha evidenziato la presenza di uno scarso acquifero; utilizzando una pompa Grundfoss SQ3" posizionata ad una profondità di 15 ml. il pozzo è stato prosciugato in 3' e 20" e solo la mattina successiva si è ristabilita la quota iniziale.

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

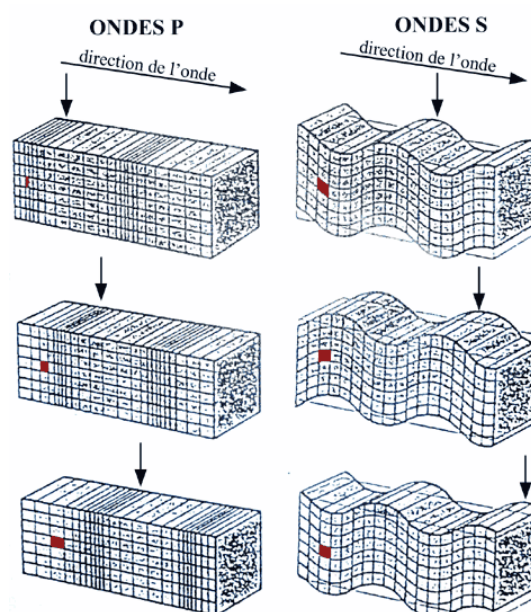
6. INDAGINE SISMICA



6.1 PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

Le indagini sismiche si basano sulla misura della velocità di propagazione delle onde elastiche in rocce e terreni. Le onde elastiche vengono create artificialmente e la loro propagazione viene rilevata in punti diversi in superficie tramite trasduttori veloci metrici (geofoni) che generano un segnale elettrico misurabile corrispondente alla sollecitazione elastica del terreno nel punto di misura.

La sismica a rifrazione misura sia la velocità delle onde longitudinali o di



Schema di propagazione onde sismiche

compressione dette onde P, sia la velocità delle onde S trasversali.

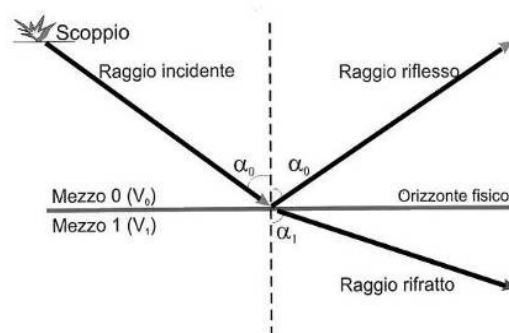
Le onde longitudinali (che sono le più veloci), la cui vibrazione avviene nella stessa direzione della propagazione dell'onda, sono spesso più facilmente individuabili e sono quindi state tradizionalmente le più utilizzate per le prospezioni.

Le onde trasversali sono generate da forze di taglio e provocano nelle rocce variazioni di forma, ma non di volume; sono dette trasversali perché provocano oscillazioni delle particelle delle rocce dal basso verso l'alto e viceversa, perpendicolarmente alla direzione di propagazione.

Le prospezioni sismiche sono fondate sul fatto che i diversi tipi di onde si propagano con velocità differente all'interno del corpo in oggetto di indagine e che le velocità di propagazione sono correlabili con i moduli elastici del mezzo. Lo studio della propagazione delle onde consente quindi di ottenere informazioni

sulle caratteristiche meccaniche e sulle loro variazioni nello spazio all'interno del corpo.

La sismica a rifrazione rappresenta, nell'ambito delle prospezioni geofisiche, la metodologia più speditiva ed affidabile. La metodologia sfrutta la legge di Snell, per cui le onde rifrangendosi sulle superfici di confine dei mezzi fisici, caratterizzati da una differenza di velocità tra



Schema legge di Snell

sismostrato superiore (V_0) e sismostrato ad esso sottostante (V_1), producono dei raggi rifratti, oltre che riflessi, che viaggeranno parallelamente alla superficie di discontinuità (con la stessa velocità dello strato più veloce) rifrangendo continuamente energia elastica verso l'alto.

Una delle condizioni principali per l'applicazione del metodo della sismica a rifrazione è che la velocità delle onde aumenti con la profondità ($V_0 < V_1 < V_2$). La figura mostra l'incidenza di un raggio sismico su una superficie di transizione elastica (orizzonte fisico) e la produzione di riflessione e rifrazione al cambiamento di velocità tra i due mezzi coinvolti.

Operativamente, ciò che viene eseguito in campagna è una disposizione in linea di geofoni posizionati seguendo una ripetitività geometrica (equidistanti) lungo l'allineamento che si desidera ispezionare. I punti di produzione dell'energia elastica saranno piazzati in funzione della risoluzione e delle profondità ricercate. Come accennato lo scopo della sismica a rifrazione è di ricostruire un profilo sismo stratigrafico lungo l'allineamento geofonico di investigazione. Secondo i tempi di primo arrivo delle onde longitudinali P e le distanze relative alla configurazione geometrica adottata sarà possibile dimensionare gli spessori dei sismo strati attraversati dalla radiazione elastica.

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

Per la realizzazione di una stesa sismica a rifrazione è necessaria la seguente strumentazione:

- Sismografo acquirente;
- Geofoni;
- Sorgente;
- Cavi sismici
- Trigger e cavo del trigger.

Le indagini sono state eseguite mediante sistema di acquisizione a 24 canali, costituito da sismografo digitale AMBROGEO modello ECHO 24/2002, collegato ad una catena di 24 geofoni con una frequenza di 10Hz, verticali per lo studio delle onde P, orizzontali per le S. Per l'energizzazione è stata utilizzata una mazza battente di 10 kg



La procedura esecutiva dello stendimento sismico a rifrazione ha seguito una prassi standardizzata per permettere l'elaborazione dei dati con il metodo tomografico, tale procedura consiste nell'ubicare i punti di energizzazione simmetricamente rispetto al centro dello stendimento, in modo da avere una

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

copertura dei raggi sismici sia in andata che in ritorno. In particolare nella realizzazione dell'indagine sono stati realizzati n°9 scoppi per ogni stesa sismica. Ad energizzazione avvenuta i tempi di arrivo delle onde generate vengono registrati e visualizzati nel contempo, tramite il software specifico di acquisizione e gestione dei sismogrammi; tale metodologia permette un'analisi immediata della validità delle tracce sismiche ricavate ed una valutazione dell'eventuale "disturbo" del segnale primario, così da offrire, a discrezione dell'operatore, la possibilità di ripetere e/o integrare l'energizzazione per ottenere un segnale più chiaramente interpretabile. Il sistema infatti consente la sommatoria del segnale in seguito a più energizzazioni dallo stesso punto.

Successivamente alla fase di acquisizione è stato effettuato il picking dei tempi di primo arrivo delle onde sismiche utilizzando il programma WINSISM 2013, i tempi ottenuti sono stati elaborati ed interpretati tramite il metodo delle tomografia sismica, utilizzando la metodologia di calcolo - G. S. A. O. (Generalized Simulated Annealing Optimization) con il programma SeisOpt 2v.

Il G.S.A.O. è un modello di calcolo che consente l'ottimizzazione non lineare dell'inversione dei tempi di primo arrivo delle fasi dirette e rifratte delle onde sismiche registrate durante una prospezione sismica superficiale a rifrazione.

Il vantaggio di tale tecnica è nell'assoluta indipendenza dal modello iniziale di velocità.

Le fasi di calcolo che vengono eseguite nel processo d'elaborazione dei dati, possono essere così sintetizzate:

Calcolo dei travel-time attraverso un modello iniziale di velocità e determinazione dell'errore minimo quadrato (E_0 = least-square error), tra il travel – time calcolato e quello osservato. Per ogni iterazione i è possibile definire il "least – square error" secondo la formula:

$$E_i = \frac{1}{N} \left[\sum_{j=1}^N (t_j^{obs} - t_j^{cal})^2 \right] \quad (1)$$

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

dove N è il numero di campioni, j denota ogni osservazione, e tobs e tcal sono rispettivamente il tempo osservato e calcolato.

Perturbazione del modello di velocità mediante l'inserimento di una costante di velocità casuale, mantenendo la non linearità del sistema, e calcolo del nuovo "least - square error" E1.

Determinazione della probabilità P di ammettere il nuovo modello (cioè che il modello sia accettabile):

$$P = 1; \quad E_1 \leq E_0 \quad (2)$$

$$P = P_c = \exp \left[\frac{(E_{\min} - E_1)^q \Delta E}{T} \right]; \quad E_1 > E_0 \quad (3)$$

dove Pc è la probabilità di accettare la condizione, $\Delta E = E_0 - E_1$, q è una costante d'integrazione (che si determina empiricamente), ed Emin è il valore oggettivo della funzione dei minimi totali. Teoricamente si ha Emin = 0. L'equazione (2), media tutti i valori accettati dal nuovo modello, laddove l'errore minimo quadrato (least - square error) è minore nell'iterazione prevista. Ciò consente, durante l'inversione dei dati, di sfuggire dall'intorno dei minimi, andando alla ricerca del minimo globale.

Ripetizione delle inversioni fino al raggiungimento della convergenza richiesta tra la differenza dell'errore minimo quadrato ed il successivo modello e la probabilità di accettare nuovi modelli di velocità a minimo errore.

Nella elaborazione sono state effettuate correzioni topografiche.

Poiché la velocità di propagazione delle onde sismiche dipende dalle caratteristiche meccaniche dei mezzi, è possibile associare dei range di valori di velocità ai diversi litotipi e ai fluidi che essi possono contenere. Al fine di meglio

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

valutare i risultati ottenuti si riportano i range delle velocità delle onde P dei principali materiali desunti dalla bibliografia scientifica.

– Rifiuti di discarica	200-800 m/s
– Calcestruzzo	3000-3500 m/s
– Basalti	5000-7000 m/s
– Marmi	3800-7000 m/s
– Gneiss	3500-7500 m/s
– Graniti	4000-6000 m/s
– Arenarie	2000-4500 m/s
– Calcarl	1800-6000 m/s
– Lave	2500-4000 m/s
– Terreni sedimentari profondi	3000-3500 m/s
– Terreni alluvionali sciolti (superficiali)	400-2000 m/s
– Argilla	1000-2900 m/s
– Sabbia umida	1200-1800 m/s
– Sabbia asciutta	300-1000 m/s
– Terreno superficiale areato	100-500 m/s
– Petrolio	1300-1400 m/s
– Neve	350-3000 m/s
– Acqua	1450-1500 m/s
– Aria	330 m/s

Per quanto riguarda le Vs, di seguito è riportata una tabella tratta da Head e Jardine, 1992, riportante velocità sismiche e moduli elastici in terreni e rocce. I valori tra parentesi si riferiscono al materiale non saturo.

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

Materiale		Velocità sismiche in sito (a piccole deformazioni)		Coefficiente di Poisson ν	Densità ρ (g/cm ³)	Modulo di elasticità tangenziale G (MN/m ²)
		Vp (m/s)	Vs(m/s)			
Sabbia (in prossimità della superficie)	Sciolta	1450-1550 (180-450)	100-250	0.48-0.50 (0.3-0.35)	1.5-1.8	15-110
	Media	1500-1750 (320-650)	200-350	0.47-0.49 (0.2-0.3)	1.7-2.1	70-250
	Addensata	1700-2000 (550-1300)	350-700	0.45-0.48 (0.15-0.3)	1.9-2.2	230-1000
Argilla	Moder. Consist.	1450-1550	80-180	0.47-0.5	1.6-2.0	10-65
	Consistente	1500-1700	180-300	0.47-0.5	1.7-2.1	55-190
	Molto consist.	1600-1900	300-500	0.47-0.5	1.8-2.3	160-450
Arenaria e scisti non alterati		1500-4000	800-2000	0.25-0.35	2.0-2.4	1300-9500
Calcare		2000-6000	1200-3000	0.25-0.35	1.8-2.5	2600-20000
Roccia cristallina o metamorfica non alterata		3500-7000	2000-3500	0.25-0.30	2.2-2.6	8500-32000

Nei dati riportati è importante notare che i valori di velocità per ogni materiale possono variare in intervalli abbastanza ampi, al variare delle condizioni del materiale stesso (fatturazione, compattazione, presenza di fluidi, saturazione, stato tensionale, ecc...) e che i valori di velocità non identificano univocamente un particolare litotipo, ma che materiali diversi possono presentare analoghi valori di velocità di propagazione delle onde sismiche.

Si rimanda all'Allegato 4 per l'analisi dei dati rilevati.

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

6.2 PROSPEZIONE SISMICA TIPO MASW

Nell'area oggetto d'indagine è stata svolta n.1 prospezione sismica MASW ubicata come riportato in allegato, lo stendimento sismico ha consentito di determinare la risposta dinamica del sottosuolo e individuare le principali unità sismostratigrafiche con le relative proprietà meccanico elastiche.

Verificati gli spazi disponibili e le condizioni dell'area, in funzione degli obiettivi richiesti per la ricostruzione del modello geofisico del sito in esame, è stata eseguita una campagna di prospezioni sismiche superficiali di tipo MASW come di seguito descritto

La geometria della stesa ed i parametri di acquisizione sono stati scelti tenendo conto dei seguenti fattori:

- buon dettaglio nella definizione degli orizzonti superficiali;
- adeguata lunghezza per indagare a sufficiente profondità;
- spazio realmente a disposizione e condizioni del versante.

Il sistema di energizzazione del terreno è rappresentato da una mazza del peso di 10 Kg battente verticalmente su una piastra circolare del diametro di 25 cm posta a diretto contatto con la superficie del terreno.

Tale sistema di energizzazione consente di generare prevalentemente onde di compressione P e secondariamente onde trasversali SV, in grado di produrre treni di onde elastiche ad alta frequenza ricche di energia, con forme d'onda ripetibili e direzionali.

Il sistema di ricezione è costituito da n.12 geofoni verticali monocomponente di tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa con frequenza propria di 4.5 Hz, adatti sia per indagini a rifrazione sia per indagini di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves).

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

I geofoni sono dei trasduttori di velocità in grado di tradurre in segnale elettrico la velocità con cui il suolo registra il passaggio delle onde sismiche longitudinali e trasversali prodotte dalla sorgente.

Il sistema di acquisizione del segnale è rappresentato da un sismografo multicanale Doremi che incorpora e distribuisce nel cavo sismico tutto l'hardware e la strumentazione necessaria per l'acquisizione dati sia per sismica attiva sia passiva.

Le specifiche tecniche sono descritte in allegato, il sistema di acquisizione consente fino a 155 dB di dinamica (con uso del PGA) a qualsiasi frequenza di campionamento, riduzione massima del disturbo con registrazione dei dati in digitale, zero diafonia (crosstalk), profondità di memoria fino 30 mila campioni, campionamenti da 2 millisecondi fino a 50 microsecondi (da 500Hz a 20000Hz), connessione fino a 255 canali per singolo cavo.

In ultimo il sistema di trigger (geofono starter) che consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui la massa energizzante colpisce la base di battuta, scaricando la carica elettrica accumulata precedentemente da un condensatore e aprendo quindi la finestra di acquisizione dati, in questo modo è possibile individuare con precisione l'istante esatto in cui la sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.

Il segnale è risultato di buona qualità seppure influenzato da alcuni contributi di rumore di fondo legato alla presenza di traffico veicolare, i tiri sono stati eseguiti in intervalli caratterizzati da scarso traffico in modo da ridurre al minimo il rumore antropico in grado di interferire con il segnale sismico.

La MASW (Multichannel Analysis of Seismic Waves) è una metodologia di indagine geofisica che consente di ricavare la velocità delle onde di taglio verticali (Vs) dall'analisi delle caratteristiche di propagazione delle onde sismiche superficiali (principalmente onde di Rayleigh).

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)

Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

La porzione che predomina nelle onde superficiali è infatti costituita dalle onde di Rayleigh, la cui velocità è correlata alla rigidità e ai parametri elastici dei suoli attraversati.

E' importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive: le alte frequenze (lunghezze d'onda corte) si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno, invece le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi.

Pertanto Onde di Rayleigh ad alte frequenze e piccole lunghezze d'onda trasportano informazioni relative agli strati più superficiali mentre quelle a basse frequenze e lunghezze d'onda maggiori interessano anche gli strati più profondi. Disposti i geofoni sul terreno ed energizzato il terreno, viene registrato l'accelerogramma che descrive come i treni d'onda attraversano il terreno con tempi di arrivo, frequenze e relative ampiezze caratteristiche.

La successiva elaborazione consente di ottenere un diagramma 1D (profondità/velocità onde di taglio) tramite modellizzazione ed elaborazione matematica con algoritmi capaci di minimizzare le differenze tra i modelli elaborati e i dati di partenza.

La procedura elaborativa, che prevede l'utilizzo di software dedicato (Wave eq) è sinteticamente descrivibile nei passi seguenti:

- Acquisizione dei dati e trasformazione in formato compatibile
- Immissione delle geometrie di acquisizione (Encoding Field Geometry)
- Generazione dell'immagine di dispersione (Analysis Dispersion Overtone)
- Estrazione della curva di dispersione (Curve extraction)
- Inversione (Analysis inversion)
- Estrazione del profilo delle velocità in onde S (S-Velocity Vs Profile)

In generale i sistemi di elaborazione dati prevedono una prima azione in cui si esegue il calcolo delle velocità di fase apparente sperimentale (curva di dispersione).

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

Al termine della prima parte si passa al calcolo della velocità di fase apparente numerica corrispondente al modello di suolo assegnato attraverso una procedura manuale o automatica. Infine si estrapola il profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s .

In allegato oltre all'ubicazione degli stendimenti utile alla ricostruzione del profilo di velocità in onde S è fornita la curva di dispersione relativa. Gli andamenti delle velocità di taglio V_s alle varie profondità investigate sono illustrati nell'apposito grafico.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, stante le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2 delle NTC 2018, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_S

I valori indicati sono stati utilizzati per una prima stima del parametro $V_{S,eq}$ inteso come la velocità equivalente di propagazione fino al reperimento del substrato rigido o terreno molto rigido con V_S non inferiori a 800 m/s:

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

dove

h_i = spessore dell'i-esimo strato;

$V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati.

H = profondità del substrato costituito da roccia o terreno molto rigido caratterizzato da V_s non inferiori a 800 m/s

Si rimanda all'Allegato 5 per la verifica dei dati ottenuti.

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

6.3 PROSPEZIONE SISMICA TRAMITE TECNICA HVSR

Al fine di determinare le caratteristiche sismo-stratigrafiche del sottosuolo in corrispondenza dell'area oggetto di indagini è stata eseguita un'indagine geofisica di sismica passiva a stazione singola mediante misura di microtremori ambientali (HVSR).

L'utilizzo di questa tecnica geofisica consente di ottenere tutta una serie di informazioni, in particolare sulle frequenze di risonanza dei terreni di sottosuolo, utili per verificare l'interazione dal punto di vista sismico del sistema terreno-strutture.

Le misure di microtremore a stazione singola consentono infatti, attraverso l'analisi dei rapporti spettrali, di ottenere immediatamente, come misura diretta, la frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo, direttamente correlabile al periodo di oscillazione proprio del sito, senza stimare quest'ultimo sulla base delle Vs.

Inoltre, opportunamente invertite, permettono anche di stimare in maniera rapida sia la stratigrafia che il Vs30, e di ricostruire un modello geofisico del sottosuolo, che può essere utilizzato per la valutazione degli effetti sismici di sito. Dall'elaborazione dei dati relativi alla misure di sismica passiva a stazione singola è possibile ottenere:

- la misura diretta delle frequenze di risonanza dei terreni di sottosuolo, utile anche ai fini degli studi di Risposta Sismica Locale (RSL), anche a livello di pianificazione territoriale (microzonazione sismica);
- la misura diretta delle frequenze di risonanza delle strutture;
- i profili di velocità delle onde di taglio Vs utili al calcolo della Vs30 (velocità media delle onde S nei primi trenta metri di sottosuolo), tramite opportuna inversione in presenza di un vincolo, ossia della profondità di un riflettore di cui si riconosca il marker nella curva H/V oppure della stima di Vs dello strato superficiale (Castellaro e Mulargia, 2009);

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)

Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

- la stratigrafia del sottosuolo e la presenza di eventuali discontinuità all'interno del bedrock. Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di contrasto di impedenza. Per strato si intende cioè un'unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

In estrema sintesi la tecnica H/V mette in relazione le variazioni del rapporto tra la componente orizzontale e verticale dei microtremiti ambientali alle varie frequenze, con le variazioni litostratigrafiche che si incontrano nel sottosuolo al di sotto del punto di misura. Laddove il rapporto H/V ha un picco si ha un contrasto di impedenza che è tanto più marcato tanto più grande è il picco in questione.

Il passo ulteriore è mettere in rapporto la frequenza a cui avviene questo passaggio con la sua profondità (inversione) operazione questa usualmente eseguita tramite i punti di taratura.

Condizione necessaria per trasformare una curva H/V in un profilo di Vs medie è il possesso di un vincolo, che normalmente è la profondità di un contatto tra litologie diverse, anche molto superficiale, riconoscibile nella curva H/V oppure la conoscenza della Vs media del primo strato a partire da tecniche indipendenti (Castellaro e Mulargia, 2009). In assenza di qualsiasi vincolo esistono infiniti modelli (cioè combinazioni, Vs-H) che soddisfano la stessa curva H/V. Una curva H/V piatta non può dare informazioni sulle Vs medie del sottosuolo perché mancherebbero gli elementi a cui vincolare il fit: un modello di sottosuolo che preveda un singolo strato con Vs media costante (e di qualsiasi valore) fitterebbe ugualmente bene la curva. In presenza di terreni senza contrasti di impedenza, in altre parole, non si possono ricavare informazioni sulla Vs con il solo metodo H/V+vincolo.

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

Il rumore sismico, generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica, è presente ovunque sulla superficie terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole (10^{-15} [m/s²]² in termini di accelerazione di quelle indotte dai terremoti nel campo

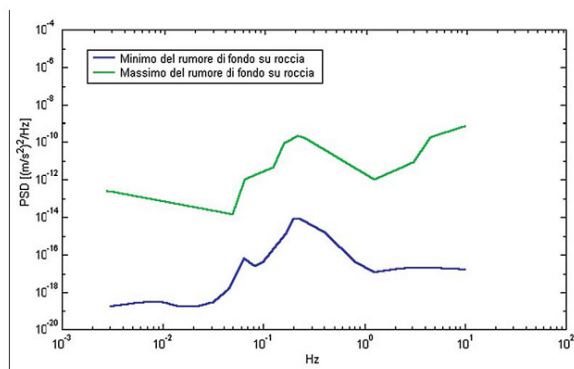


Figura 1

prossimo all'epicentro.

I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in figura 1, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo, di riferimento mentre la curva verde rappresenta il 'massimo' di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti delle onde oceaniche sulle coste.

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

Nel tragitto dalla sorgente al sito le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda e attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

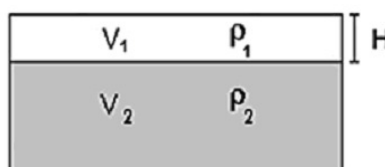
E-mail info@m3dsrl.com

sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di raytracing, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore impiegato per la rilevazione del microtremore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazione. Questa informazione è però sepolta all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). Il metodo fu in seguito reso popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale.

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione. Purtroppo, esiste abbondante letteratura comprovante il fatto che l'ampiezza del picco H/V, pur essendo legata all'entità del contrasto di impedenza tra strati, non è correlabile all'amplificazione sismica in modo semplice (cfr. Mucciarelli e Gallipoli, 2001; SESAME, 2005 e referenze ivi contenute).



Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach et al., 2002) e picchi a frequenze minori di quella del

Figura 2 - Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità ρ e velocità di propagazione V bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier et al., 2005). Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo H/V può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D).

Consideriamo il sistema di Figura 2 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$(f_r) = V_{s1}/4H \quad (f_r) = V_{p1}/4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh. Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

sono prodotte da interferenza costruttiva di onde di volume P o S e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1].

L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente.

Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana.

L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D.

L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini.

Le misure di microtremore ambientale sono state effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico.

Lo strumento Tromino® (Micromed S.p.A.), è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) ortogonali, orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V e senza cavi esterni.

Il rumore sismico ambientale è stato acquisito ad una frequenza di campionamento di 128 Hz, amplificato e digitalizzato a 24 bit equivalenti e

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

registrato per 20 minuti. In tutte le prove lo strumento è stato posizionato direttamente su terreno naturale.

La ricerca dei picchi da interpretare è stata effettuata, congiuntamente, nel grafico H/V ed in quello degli spettri delle singole componenti. In particolare, i picchi H/V di origine stratigrafica sono quelli generati da un minimo nella componente verticale del moto, che significa minimo delle onde di Rayleigh alla frequenza di risonanza.

Si rimanda all'Allegato 6 per la verifica dei dati ottenuti.

6.4 PROSPEZIONE SISMICA MEDIANTE TOMOGRAFIA ELETTRICA

Le indagini geoelettriche sono basate sulla distribuzione nel sottosuolo di un campo elettrico creato artificialmente. Il campo elettrico viene creato immettendo corrente continua o alternata a due elettrodi infissi nel terreno e la sua distribuzione viene desunta dal valore della corrente immessa e da misure di potenziale eseguite, sempre mediante elettrodi infissi nel terreno, in punti diversi della superficie topografica. Da ciò è possibile risalire ad una distribuzione della resistività nel sottosuolo definendo un modello delle caratteristiche elettriche che permette di fare considerazioni fisiche, idrauliche e litologiche delle formazioni oggetto di indagine.

Il risultato di una tomografia elettrica è quindi la distribuzione della resistività nell'area di indagine, la cui definizione è così riassumibile: se agli estremi di un conduttore si applica una differenza di potenziale ΔV , nel conduttore si ha il passaggio di una corrente I legata al valore della differenza di potenziale dalla Legge di Ohm:

$$\Delta V/I = R$$

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)

Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

Dove R è definita come resistenza elettrica e dipende dalla geometria e dal materiale costituente il conduttore, la cui unità di misura è l'Ohm*m.

Al fine di meglio discutere i risultati ottenuti nella prima parte della campagna geoelettrica sulla spiaggia di Cogoleto, di seguito vengono riportate le variazioni di resistività per i principali terreni e rocce presenti in natura, ripresi dalla letteratura scientifica:

Acqua dolce	10-100 Ω *m
Acqua di mare	2-3 Ω *m
Arenarie	200-5000 Ω *m
Argille	1-50 Ω *m
Calcari	300-10000 Ω *m
Detrito alluvionale	50-1000 Ω *m
Dolomie	500-10000 Ω *m
Ghiaia e sabbia secca	1000-10000 Ω *m
Ghiaia e sabbia sature d'acqua dolce	50-500 Ω *m
Ghiaia e sabbia sature d'acqua salata	2-5 Ω *m
Gneiss e graniti sani	1000-10000 Ω *m
Gneiss e graniti alterati	100-1000 Ω *m
Marne	50-500 Ω *m
Piroclastiti	50-600 Ω *m
Rocce ignee	100-10000 Ω *m
Suolo di copertura	10-200 Ω *m
Tufi	150-900 Ω *m

Appare evidente che per i terreni le variazioni di resistività sono legate più a variazioni del grado di saturazione che a differenze granulometriche, mentre le rocce appaiono meno resistenti quando alterate. Un'altra differenza importante è la minore resistività dell'acqua salata rispetto a quella dolce.

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

Esistono in letteratura alcune modalità di acquisizione differenti nel posizionamento degli elettrodi di immissione corrente (AB) e di ricezione potenziale(MN).

Per i due stendimenti eseguiti sono state effettuate le acquisizioni in modalità Wenner

La geometria utilizzata è caratterizzata da 24 elettrodi con distanza tra elettrodi di 2 m, con lunghezza totale di 46 m. Di seguito è riportato il profilo topografico utilizzato nell'elaborazione.

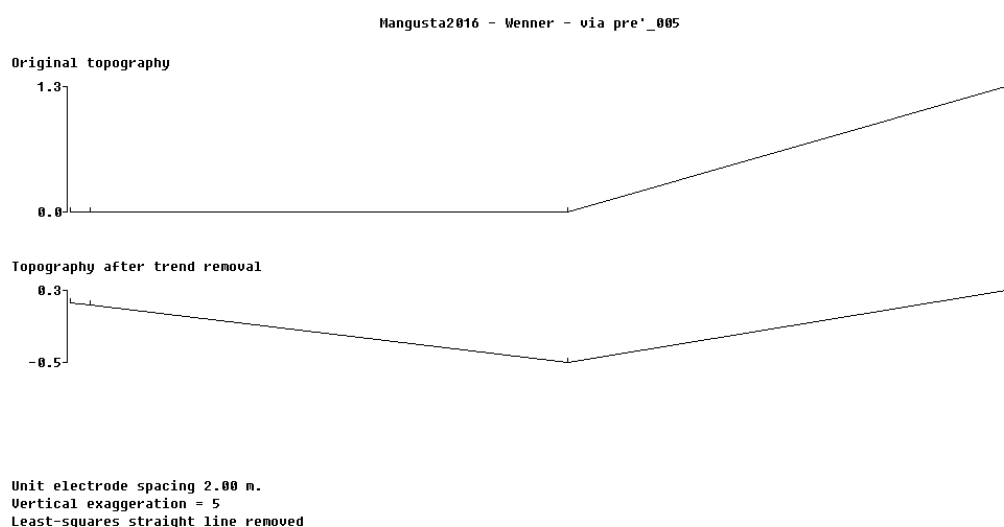


Figura 3 Schema topografico stesa elettrica

Le tomografie elettriche sono state realizzate con la seguente strumentazione:

N°1 Acquisitore AMBROGEO MANGUSTA;

N°2 Cavi con connettori per 12 elettrodi A-B-M-N, distanza elettroica 5 m, lunghezza totale 85 m;

N°24 Elettrodi per tomografia costituiti da picchetti in acciaio inox;

N°1 Energizzatore per geoelettrica P-300T.

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com



Certi di aver adempiuto correttamente ed in modo esaustivo all'incarico conferitoci, rimaniamo comunque a disposizione per eventuali chiarimenti e/o approfondimenti di indagine.

Genova, 07_06_2019



Dott. Geol. Luca Maldotti
(Direttore Tecnico Indagini Geognostiche)



Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

ALLEGATI

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com



1 ORTOFOTO

N° **allegato**

M3D045_19

codice

07_06_2019

data

-

scala

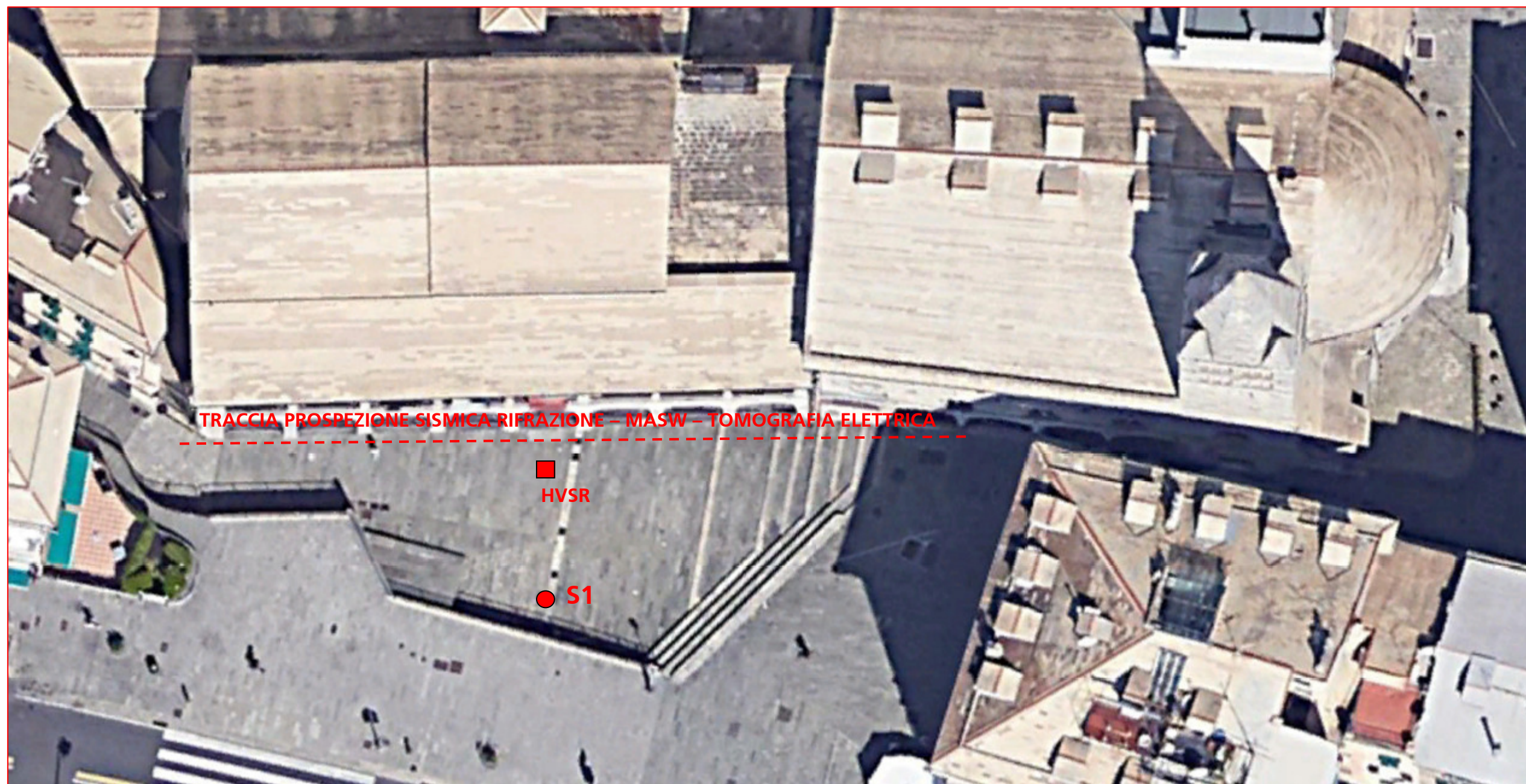
Luca Maldotti

redatto



committente

Cod. Fisc. P. IVA > 01293970990 N° Iscr. Reg. Impr. Genova > 01293970990 R.E.A. della CCIAA Genova > 398554



Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com



3 DOCUMENTAZIONE SONDAGGIO GEOGNOSTICO A C.C. 51

N° allegato

M3D045_19

codice

07_06_2019

data

-

scala

Luca Maldotti

redatto



committente

Cod. Fisc. P. IVA > 01293970990 N° Iscr. Reg. Impr. Genova > 01293970990 R.E.A. della CCIAA Genova > 398554



M3D Costruzioni Speciali S.r.l.
Via al Santuario di N.S. della Guardia 49A rosso
16162 GENOVA
tel. 010 2518889 e-mail: info@m3dsrl.com

**STRATIGRAFIA
SONDAGGIO GEOGNOSTICO**

Sigla sondaggio

S1

Committente: **MUMA - Comune di Genova**

Cantiere: **Museo Migrazione Italiana Commenda di Prè**



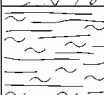


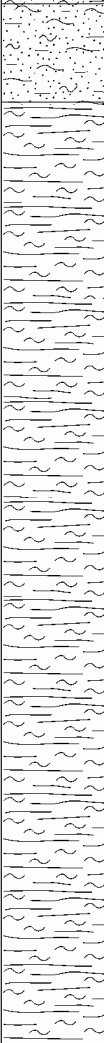

Località: **Genova**

Data: **Inizio e fine 22/05/2019**

Quota: **p.c.**

Dati di perforazione - computo metrico

Tipo e diametro di perforazione: *carotaggio continuo - 101 mm*
Rivestimento diam. 127 mm: *10.00 m* Casse: *n. 4*
Carotiere semplice: *20.00 m*
Carotiere doppio: -
Corona diamantata: -
Strumentazione: *Piezometro 3" profondità 20.00 m*

Litologia	Profondità e potenza strato (m)		Descrizione litologica	% Carotaggio	Manovre % RQD	Campioni	Prove geotecniche in foro				Inclinometro	Piezometro a tubo aperto	Utensile			Falda																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
							Standard Penetration Test		Leifranc	Lugeon			Menard	Carotiere semplice	Carotiere doppio		Corona Diamantata																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				
	0.00	0.15		10 30 50 70 90	10 30 50 70 90		prof.	Risultato			N _{spt}							3"																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																			
	0.15	2.80	Sottofondo pavimentazione in CLS.	100	0.15		C.R. 1 3.50-4.00m	1.50	3 - 4 - 3	7																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
			1.95																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	2.95	1.25	Limo argilloso rimaneggiato; estremamente consistente (valore di N _{SPT} pari a 63 a 3.00 m di profondità); colore grigio-verdastro.		3.00			3.45	13 - 33 - 30	63																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	4.20	0.60	Limo argilloso rimaneggiato con presenza di ghiaia medio-fine calcarea angolare; molto addensato (valore di N _{SPT} pari a 52 a 4.50 m di profondità); colore marrone / grigio-verdastro.		4.50			4.95	15 - 22 - 30	52																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																											
	4.80	1.20	Limo sabbioso debolmente argilloso; colore da grigio-verdastro a giallo ocra.		6.00				C.L. 1 6.00-6.30m																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
	6.00	1.30	Sabbia limosa; colore giallo ocra.																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																		
	7.30	12.70	Argilla limosa, localmente presenza di livelli centimetrici sabbiosi; colore grigio-verdastro.		7.60				C.R. 2 9.50-9.90m																		9.30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																										
					10.90																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
					12.50																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
					14.10																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
					15.65																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
					17.30																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
					18.80																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
					20.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
					20.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
					20.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																
	20.00																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																				</

22/05/2019
3.60

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com



Committente: **MUMA - COMUNE DI GE**
 Sondaggio: **S1** - Cassetta: **n°1**
 Prof. da **0.00 m. a 5.00 m.** →



Committente: **MUMA - COMUNE DI GE**
 Sondaggio: **S1** - Cassetta: **n°2**
 Prof. da **5.00 m. a 10.00 m.** →

C.F. e P.IVA> 01293970990 - N° Iscr. Reg. Impr. GE> 01293970990 - R.E.A. della CCIAA GE> 398554

Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com



Committente: MUMA - COMUNE DI GE
Sondaggio: S1 - Cassetta: n°3
Prof. da 10.00 m. a 15.00 m. →



Committente: MUMA - COMUNE DI GE
Sondaggio: S1 - Cassetta: n°4
Prof. da 15.00 m. a 20.00 m. →

C.F. e P.IVA> 01293970990 - N° Iscr. Reg. Impr. GE> 01293970990 - R.E.A. della CCIAA GE> 398554



Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

4 | ELABORATI PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE

N° allegato

M3D045_19

codice

07_06_2019

data

-

scala

Luca Maldotti

redatto



committente

Cod. Fisc. P. IVA > 01293970990 N° Iscr. Reg. Impr. Genova > 01293970990 R.E.A. della CCIAA Genova > 398554



Associazione Imprese Fondazioni
consolidamenti - indagini nel sottosuolo





Argille limose



Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

5 | ELABORATI PROSPEZIONE SISMICA MASW

N° **allegato**

M3D045_19

codice

07_06_2019

data

-

scala

Luca Maldotti

redatto



committente

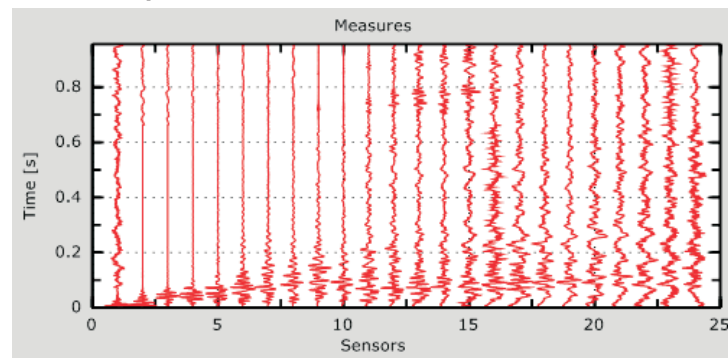
Cod. Fisc. P. IVA > 01293970990 N° Iscr. Reg. Impr. Genova > 01293970990 R.E.A. della CCIAA Genova > 398554



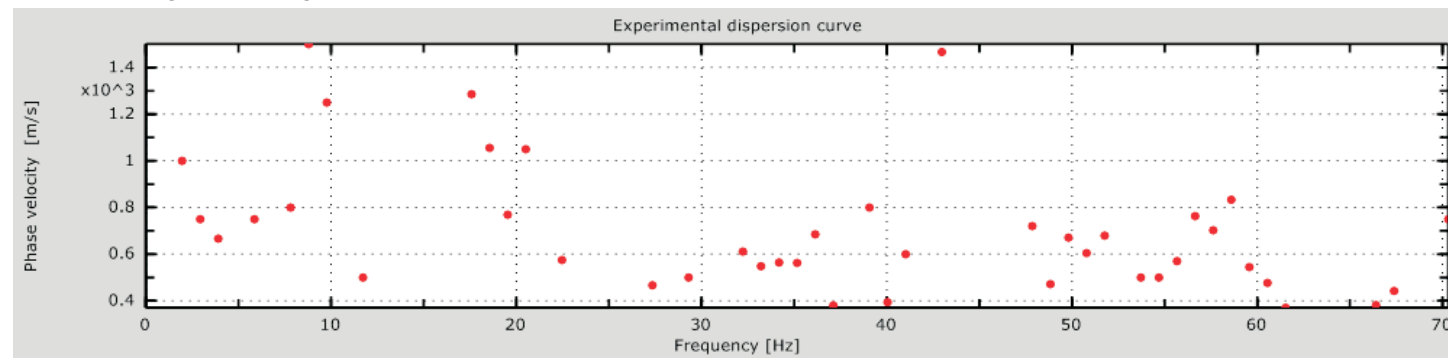
Associazione Imprese Fondazioni
consolidamenti - indagini nel sottosuolo



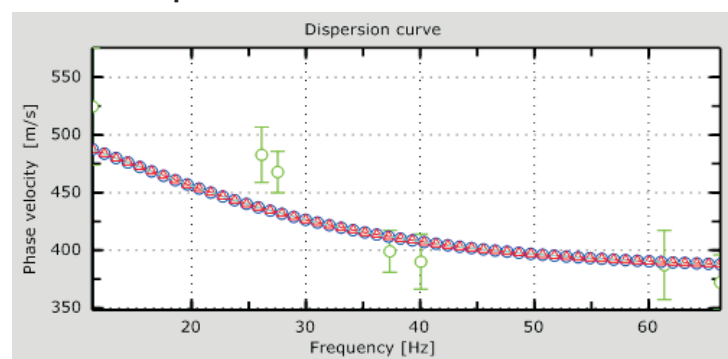
Tracce acquisizioni



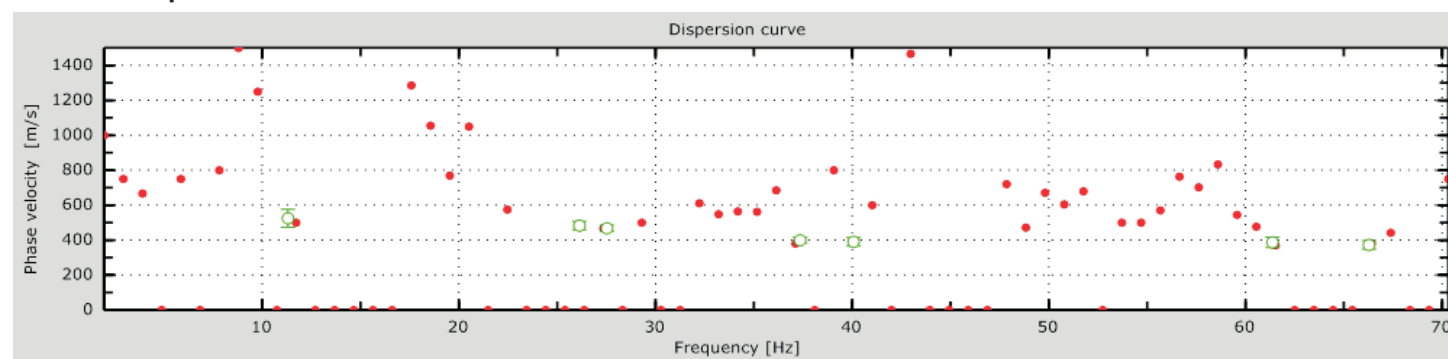
Curva di dispersione sperimentale



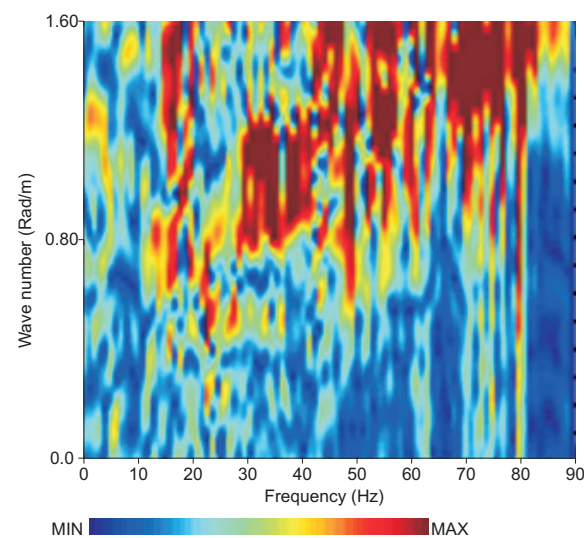
Curve di dispersione elaborate



Curva di dispersione

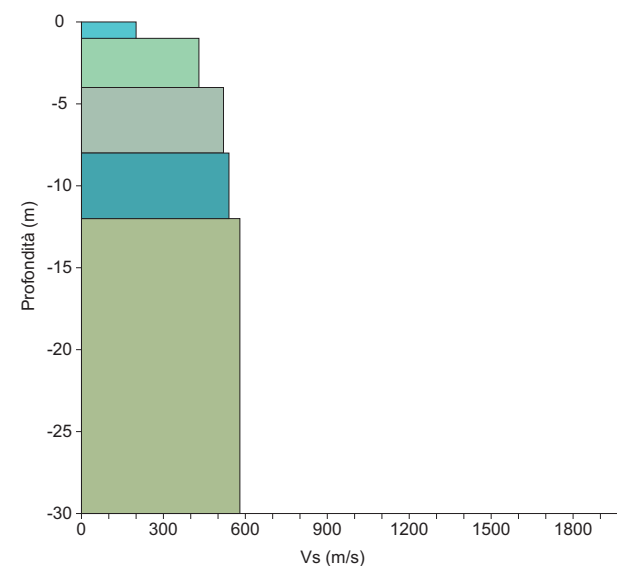


Spettro f/k



CLASSIFICAZIONE SISMICA

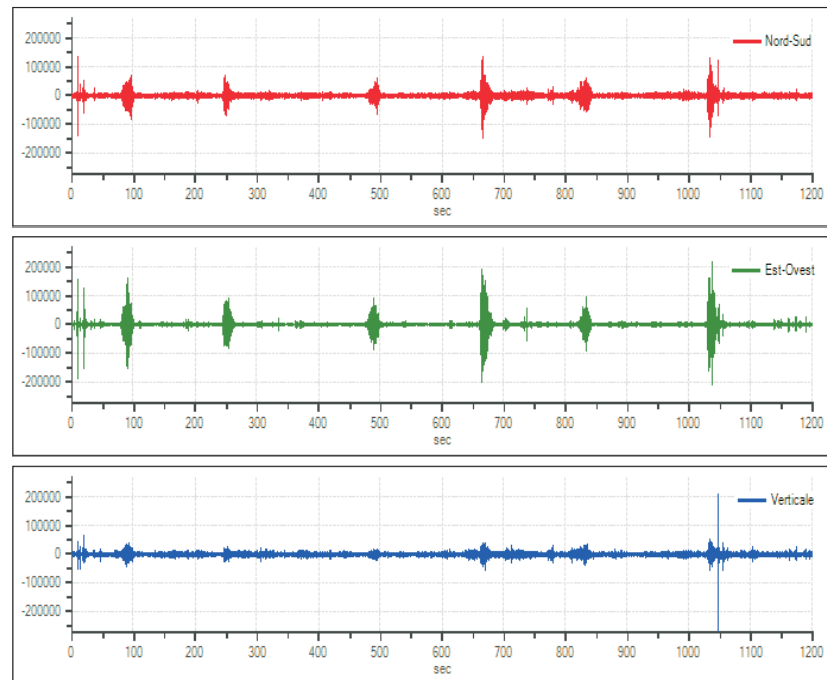
Strato	Profondità (m)		Vs (m/s)
	da	a	
1	0.0	-1.0	200
2	-1.0	-4.0	430
3	-4.0	-8.0	520
4	-8.0	-12.0	540
5	-12.0	-30.0	580



Vs30 = 516 m/s
Vs,eq = 516 m/s
Categoria di sottosuolo B
D.M. 17/01/2018

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Grafici tracce



Grafici tracce con finestre selezionate

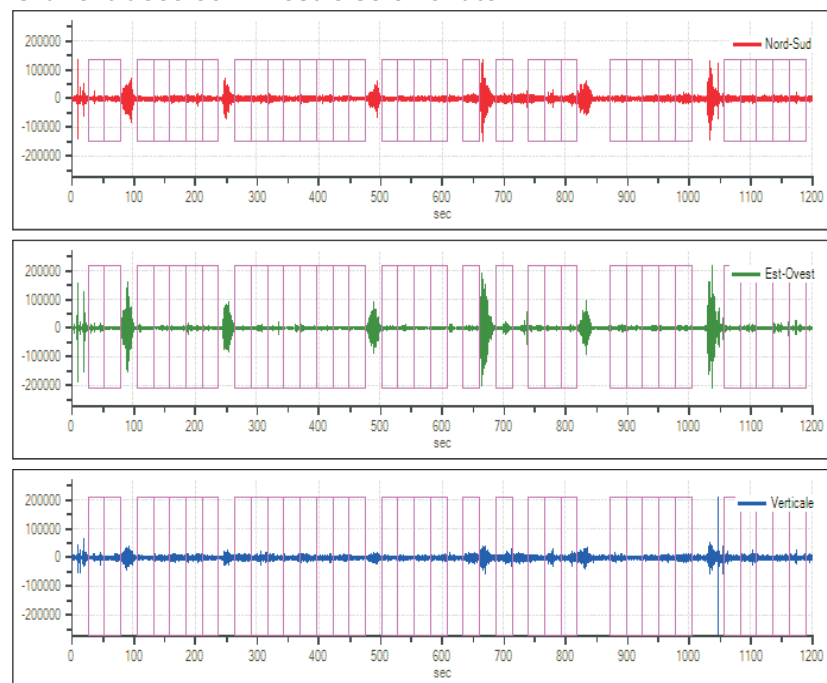


Grafico degli spettri

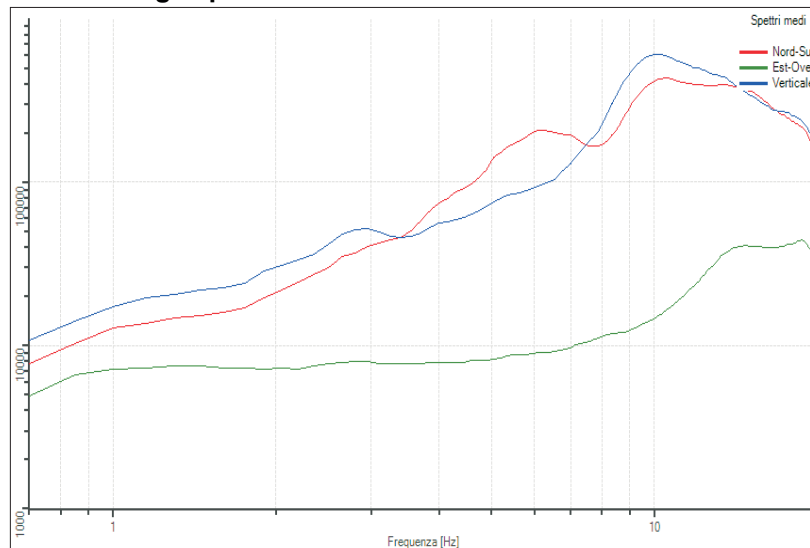
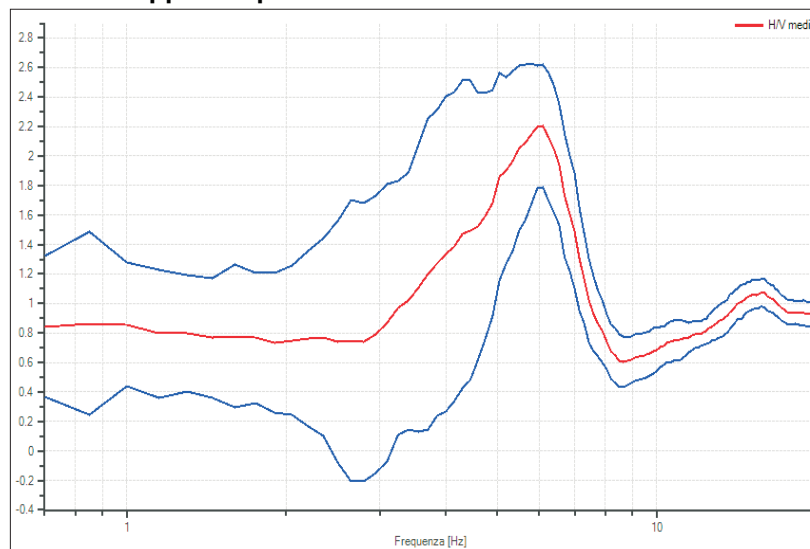


Grafico rapporto spettrale H/V



Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1200 s
Frequenza di campionamento: 155.00 Hz
Numero campioni: 186000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

Numero totale finestre selezionate: 34
Numero finestre incluse nel calcolo: 34
Dimensione temporale finestre: 26.426 s
Tipo di lisciamiento: Media mobile
Percentuale di lisciamiento: 10.00 %

Dati riepilogativi:

Frequenza massima: 20.00 Hz
Frequenza minima: 0.70 Hz
Passo frequenza: 0.15 Hz
Tipo lisciamiento: Media mobile
Percentuale di lisciamiento: 10.00 %
Tipo di somma direzionale: Media geometrica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V:
6.10 +/- 0.19 Hz

VERIFICHE SESAME

$f_0 > 10I_w$
 $n_c(f_0) > 200$
 $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz
 $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz
 $\exists f' \in (f_0/4, f_0) / A_{H/V}(f') < A_0/2$

OK
OK
OK
OK
OK

$\exists f' \in (f_0/4, f_0) / A_{H/V}(f') < A_0/2$
 $A_0 > 2$
 $f_{picco}(A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)) = f_0 \pm 5\%$
 $\sigma_i < \varepsilon(f)$
 $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$

OK
OK
OK
OK
OK



Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

6 | ELABORATI PROSPEZIONE SISMICA TRAMITE TECNICA HVSR

N° **allegato**

M3D045_19

codice

07_06_2019

data

-

scala

Luca Maldotti

redatto



committente

Cod. Fisc. P. IVA > 01293970990 N° Iscr. Reg. Impr. Genova > 01293970990 R.E.A. della CCIAA Genova > 398554



Associazione Imprese Fondazioni
consolidamenti - indagini nel sottosuolo





Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

7 | ELABORATI PROSPEZIONE SISMICA MEDIANTE TOMOGRAFIA ELETTRICA

N° **allegato**

M3D045_19

codice

07_06_2019

data

-

scala

Luca Maldotti

redatto



committente

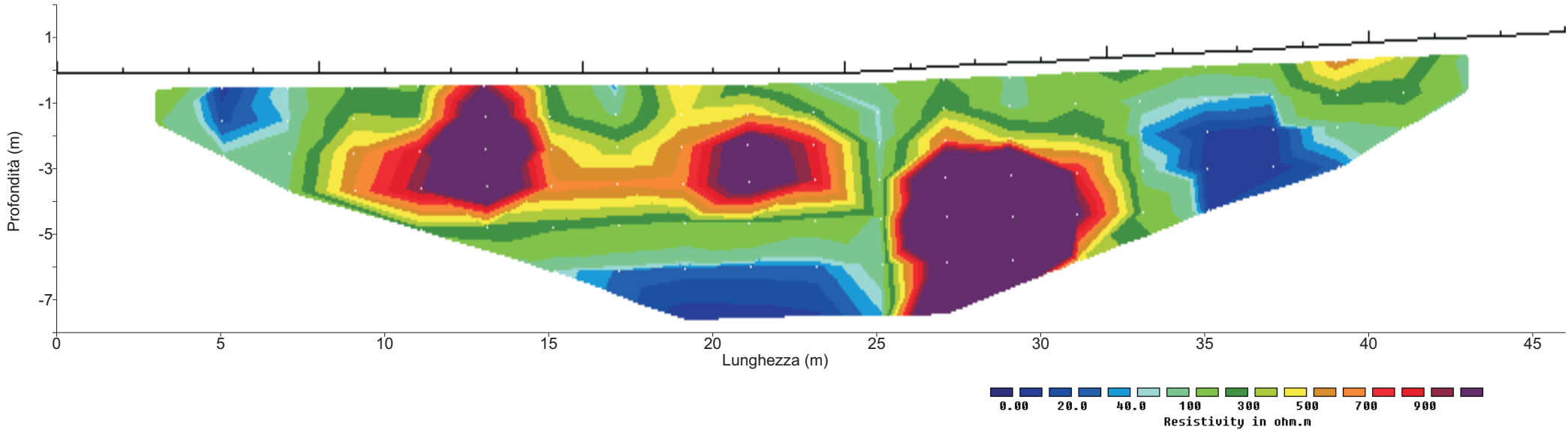
Cod. Fisc. P. IVA > 01293970990 N° Iscr. Reg. Impr. Genova > 01293970990 R.E.A. della CCIAA Genova > 398554



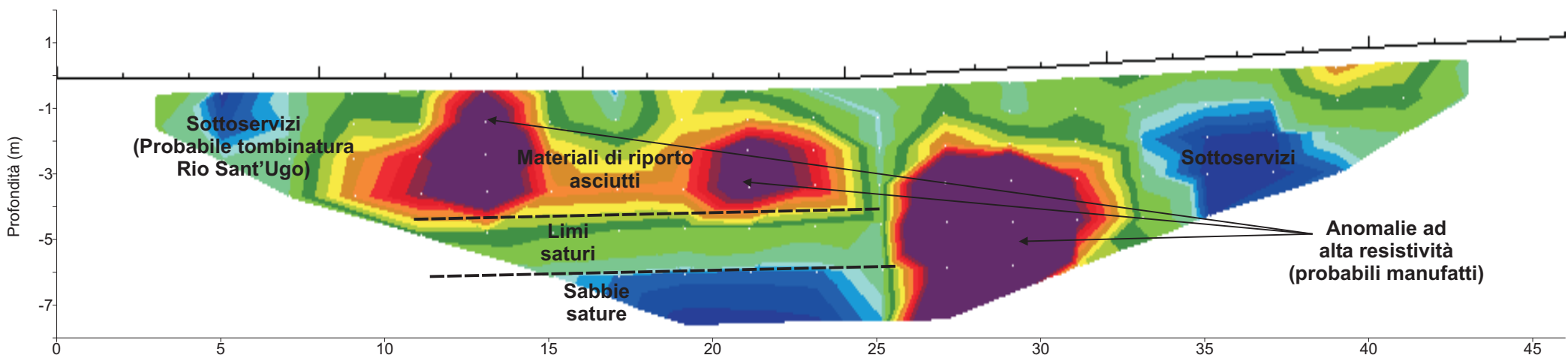
Associazione Imprese Fondazioni
consolidamenti - indagini nel sottosuolo



Tomografia elettrica



Interpretazione tomografia elettrica





Sede Operativa e uffici Via al Santuario N.S. della Guardia 49 A rosso - 16162 Genova (GE)
Sede Legale Via Trento 4/2 - 16013 Campo Ligure (GE)

T> +39 010 2518889

F> +39 010 2517028

Web www.m3dsrl.com

E-mail info@m3dsrl.com

8 CERTIFICATI PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO

N° **allegato**

M3D045_19

codice

07_06_2019

data

-

scala

Luca Maldotti

redatto



committente

Cod. Fisc. P. IVA > 01293970990 N° Iscr. Reg. Impr. Genova > 01293970990 R.E.A. della CCIAA Genova > 398554



Associazione Imprese Fondazioni
consolidamenti - indagini nel sottosuolo



RAPPORTO DI PROVA n. 19060-01

Verbale di accettazione N. 19060 del 23/05/2019

Data di emissione: 05/06/2019

Cliente: M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL

Cantiere: Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova

Genova, 05/06/2019

Paolo Brasey
(Direttore del laboratorio)

a RINA company

RINA Consulting - GET S.r.l.

Società soggetta a direzione e coordinamento amministrativo e finanziario del socio unico RINA Consulting S.p.A.

Via Albisola, 64-66 - 16162 Genova

Tel. +39 010 6506644 - Fax +39 010 6591896 - www.rinaconsulting.org - rinaconsulting@rina.org

C.F. / P. IVA 01650450990 - REA GE 425381 - Cap. Soc. € 25.000,00 i.v.

Sede legale: Via S. Nazaro, 19 - 16145 Genova (GE)

CONTENUTO NATURALE IN ACQUA - ASTM D2216-10

Cliente : M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL
 Località : Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova

Identificazione Campione : S1 C1

Profondità (m) : 3.50 - 4.00

Data Ricevimento : 23/05/2019

Tipo Campione : Semi-indisturbato

Data Esecuzione Prova : 28/05/2019

Descrizione del Materiale : Argilla di bassa plasticità

Peso lordo umido	(g)	883.95
Peso lordo secco	(g)	771.18
Peso tara	(g)	307.46
Peso netto secco	(g)	463.72
Peso acqua	(g)	112.77
Contenuto in acqua	(%)	24.3

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Paolo Brasey
 Sperimentatore : Dott. Geol. Cristiano Pastore

Note :

ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO - ASTM D422-63

Cliente : M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL
Località : Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova

Identificazione Campione : S1 C1
Profondità (m) : 3.50 - 4.00
Tipo Campione : Semi-indisturbato
Descrizione del Materiale : Argilla di bassa plasticità

Data Ricevimento : 23/05/2019
Data Esecuzione Prova : 30/05/2019
Class. U.S.C.S. : CL

DATI GRANULOMETRICI

Ciottoli (%)	0.00
Ghiaia (%)	0.50
Sabbia (%)	14.44
Limo (%)	N.D.
Argilla (%)	N.D.
Fini (%)	85.06
D. max (mm)	6.3

ALTRI PARAMETRI

D ₉₀ (mm)	0.123
D ₆₀ (mm)	N.D.
D ₅₀ (mm)	N.D.
D ₃₀ (mm)	N.D.
D ₁₀ (mm)	N.D.
C _c	N.D.
C _u	N.D.

GHIAIA E SABBIA

Forma : angolare
Durezza : dura e resistente
Note:

SETACCIATURA

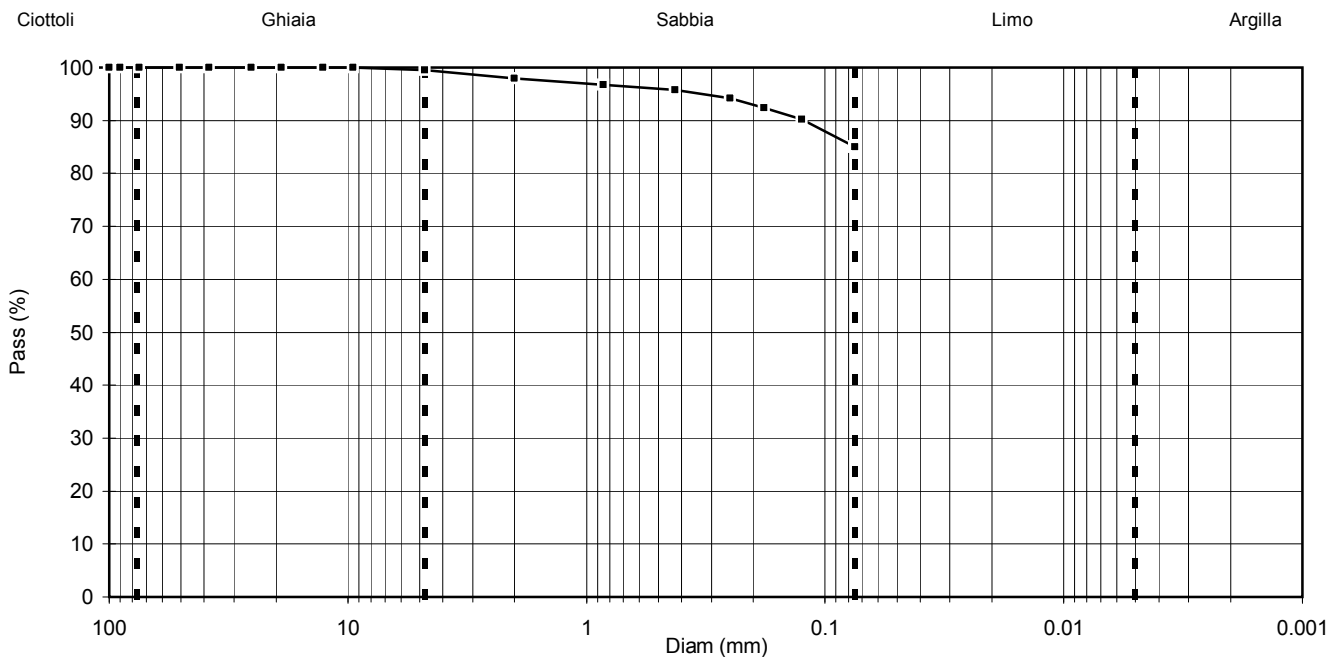
D (mm)	Pass (%)
125.00	100.00
100.00	100.00
90.00	100.00
75.00	100.00
50.80	100.00
38.10	100.00
25.40	100.00
19.00	100.00
12.70	100.00

SETACCIATURA

D (mm)	Pass (%)
9.50	100.00
4.75	99.50
2.00	97.97
0.85	96.71
0.425	95.74
0.250	94.22
0.180	92.34
0.125	90.16
0.075	85.06

SEDIMENTAZIONE

D (mm)	Pass (%)
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-



Direttore Tecnico : Dott. Geol. Paolo Brasey
Sperimentatore : Dott. Geol. Andrea Botti

LIMITI DI ATTERBERG - ASTM D4318-10

Cliente : M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL
Località : Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova

Identificazione Campione : S1 C1
Profondità (m) : 3.50 - 4.00
Tipo Campione : Semi-indisturbato
Descrizione del Materiale : Argilla di bassa plasticità

Data Ricevimento : 23/05/2019
Data Esecuzione Prova : 31/05/2019
Class. U.S.C.S. : CL

LIMITE LIQUIDO (MULTIPOINT)

Numero di colpi	(#)	31	24	17
Peso lordo umido	(g)	54.83	52.41	54.68
Peso lordo secco	(g)	47.12	45.02	46.47
Tara	(g)	26.45	26.13	26.23
Peso netto secco	(g)	20.67	18.89	20.24
Peso acqua	(g)	7.71	7.39	8.21
Contenuto acqua	(%)	37.3	39.1	40.6

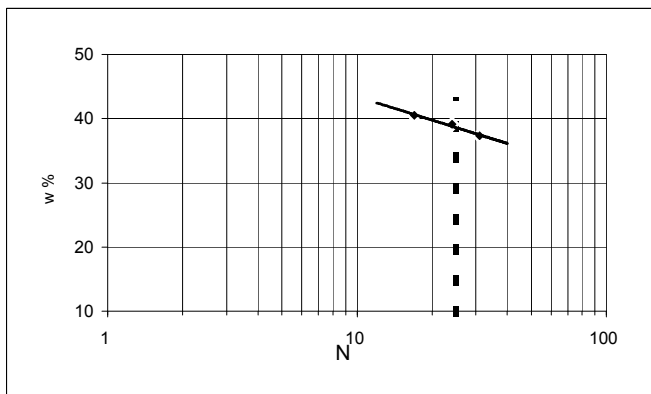
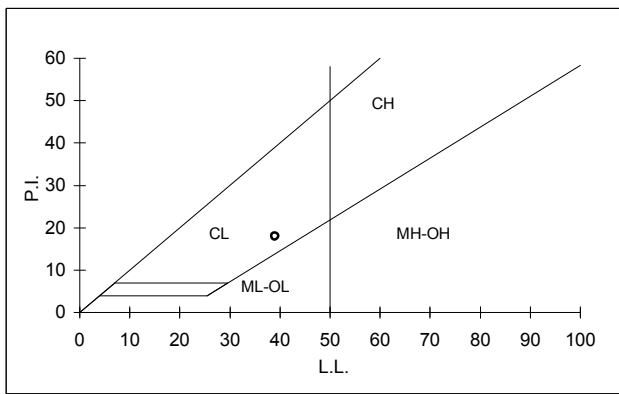
w % (per N=25) 39.0

LIMITE PLASTICO

Peso lordo umido	(g)	31.43	33.25
Peso lordo secco	(g)	30.27	31.85
Tara	(g)	24.73	25.38
Peso netto secco	(g)	5.54	6.47
Peso acqua	(g)	1.16	1.40
Contenuto acqua	(%)	21.0	21.6

w % medio 21.3

LIMITE DI LIQUIDITA' 39
LIMITE DI PLASTICITA' 21
INDICE PLASTICITA' 18

DETERMINAZIONE LIMITE LIQUIDO**CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE**

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Paolo Brasey
Sperimentatore : Dott. Geol. Andrea Botti

DETERMINAZIONE DEL PESO DI VOLUME - ASTM D7263-09

Cliente :	M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL		
Località :	Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova		
Identificazione Campione :	S1 C1		
Profondità (m) :	3.50 - 4.00		Data Ricevimento : 23/05/2019
Tipo Campione :	Semi-indisturbato		Data Esecuzione Prova : 28/05/2019
Descrizione del Materiale :	Argilla di bassa plasticità		

Geometria della sezione del provino : circolare

Diametro	(cm)	8.49
Altezza	(cm)	9.77
Peso lordo	(g)	1064.24
Peso tara	(g)	0.00
Peso netto	(g)	1064.24
Volume	(cm ³)	553.10
Peso di volume	(kN/m³)	18.88

Direttore Tecnico :	Dott. Geol. Paolo Brasey
Sperimentatore :	Dott. Geol. Cristiano Pastore

Note :

CONTENUTO NATURALE IN ACQUA - ASTM D2216-10

Cliente : M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL
 Località : Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova

Identificazione Campione : S1 C2

Profondità (m) : 9.50 - 9.90

Data Ricevimento : 23/05/2019

Tipo Campione : Semi-indisturbato

Data Esecuzione Prova : 28/05/2019

Descrizione del Materiale : Argilla di bassa plasticità

Peso lordo umido	(g)	738.06
Peso lordo secco	(g)	653.42
Peso tara	(g)	286.60
Peso netto secco	(g)	366.82
Peso acqua	(g)	84.64
Contenuto in acqua	(%)	23.1

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Paolo Brasey
 Sperimentatore : Dott. Geol. Cristiano Pastore

Note :

ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO - ASTM D422-63

Cliente : M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL
Località : Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova

Identificazione Campione : S1 C2
Profondità (m) : 9.50 - 9.90
Tipo Campione : Semi-indisturbato
Descrizione del Materiale : Argilla di bassa plasticità

Data Ricevimento : 23/05/2019
Data Esecuzione Prova : 30/05/2019
Class. U.S.C.S. : CL

DATI GRANULOMETRICI

Ciottoli (%)	0.00
Ghiaia (%)	0.00
Sabbia (%)	10.83
Limo (%)	N.D.
Argilla (%)	N.D.
Fini (%)	89.17
D. max (mm)	-

ALTRI PARAMETRI

D ₉₀ (mm)	0.085
D ₆₀ (mm)	N.D.
D ₅₀ (mm)	N.D.
D ₃₀ (mm)	N.D.
D ₁₀ (mm)	N.D.
C _c	N.D.
C _u	N.D.

GHIAIA E SABBIA

Forma : N.D.
Durezza : N.D.

Note:

SETACCIATURA

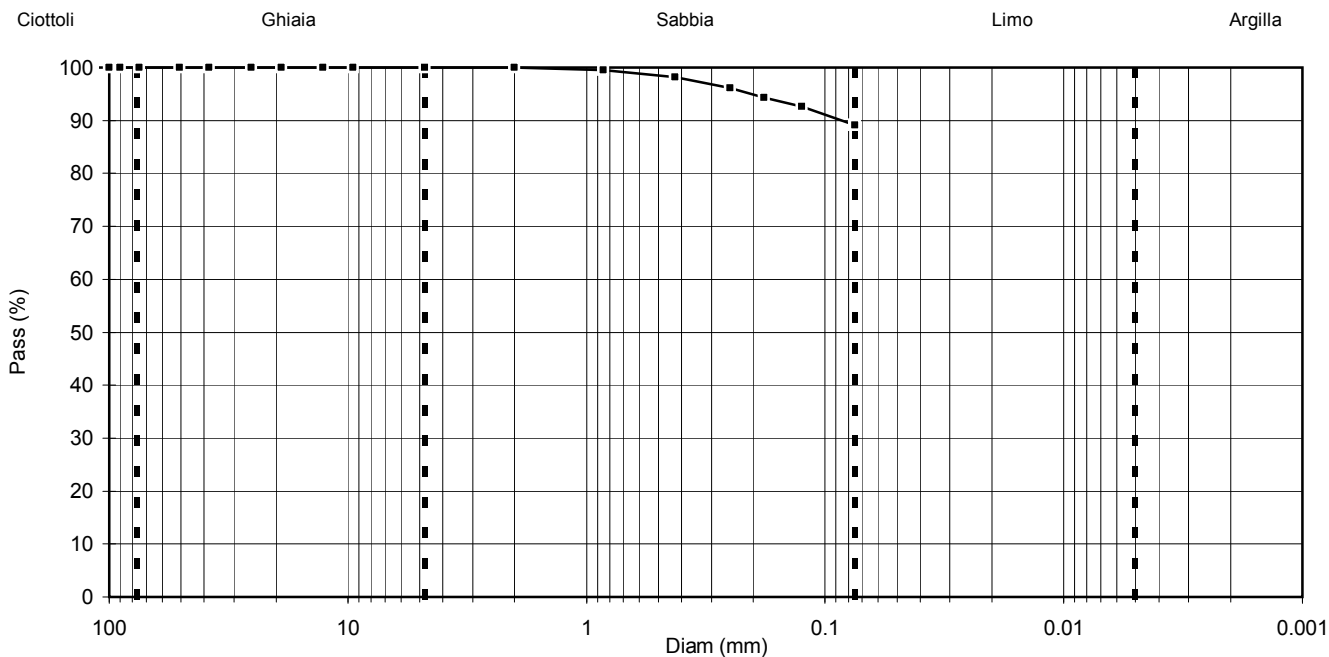
D (mm)	Pass (%)
125.00	100.00
100.00	100.00
90.00	100.00
75.00	100.00
50.80	100.00
38.10	100.00
25.40	100.00
19.00	100.00
12.70	100.00

SETACCIATURA

D (mm)	Pass (%)
9.50	100.00
4.75	100.00
2.00	99.94
0.85	99.56
0.425	98.23
0.250	96.13
0.180	94.31
0.125	92.60
0.075	89.17

SEDIMENTAZIONE

D (mm)	Pass (%)
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-



Direttore Tecnico : Dott. Geol. Paolo Brasey
Sperimentatore : Dott. Geol. Andrea Botti

LIMITI DI ATTERBERG - ASTM D4318-10

Cliente : M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL
Località : Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova

Identificazione Campione : S1 C2
Profondità (m) : 9.50 - 9.90
Tipo Campione : Semi-indisturbato
Descrizione del Materiale : Argilla di bassa plasticità

Data Ricevimento : 23/05/2019
Data Esecuzione Prova : 31/05/2019
Class. U.S.C.S. : CL

LIMITE LIQUIDO (MULTIPOINT)

Numero di colpi	(#)	33	26	20
Peso lordo umido	(g)	56.85	58.19	54.12
Peso lordo secco	(g)	47.78	48.49	45.35
Tara	(g)	26.26	26.57	26.38
Peso netto secco	(g)	21.52	21.92	18.97
Peso acqua	(g)	9.07	9.70	8.77
Contenuto acqua	(%)	42.1	44.3	46.2

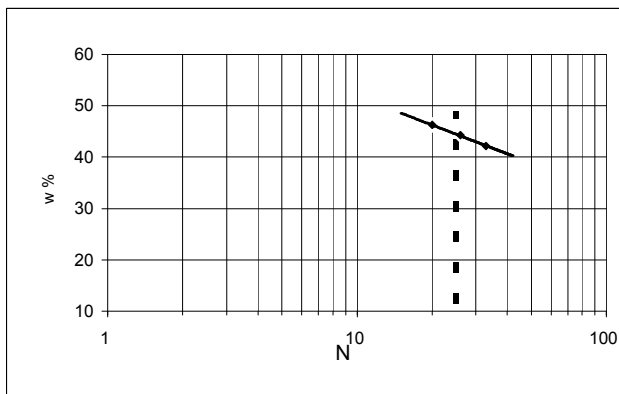
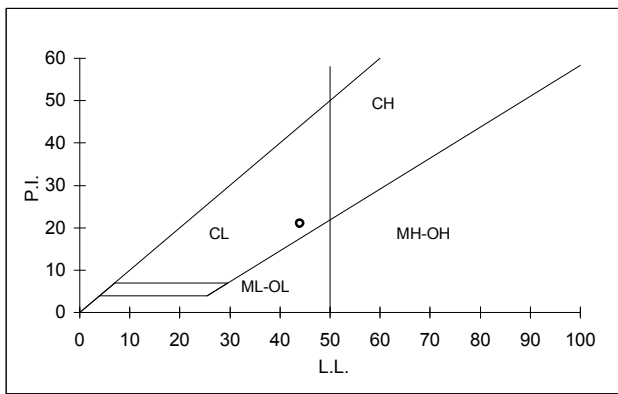
w % (per N=25) 44.0

LIMITE PLASTICO

Peso lordo umido	(g)	32.65	33.32
Peso lordo secco	(g)	31.49	32.02
Tara	(g)	26.41	26.38
Peso netto secco	(g)	5.08	5.64
Peso acqua	(g)	1.16	1.30
Contenuto acqua	(%)	22.8	23.0

w % medio 22.9

LIMITE DI LIQUIDITA' 44
LIMITE DI PLASTICITA' 23
INDICE PLASTICITA' 21

DETERMINAZIONE LIMITE LIQUIDO**CARTA DI PLASTICITA' DI CASAGRANDE**

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Paolo Brasey
Sperimentatore : Dott. Geol. Andrea Botti

DETERMINAZIONE DEL PESO DI VOLUME - ASTM D7263-09

Cliente :	M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL		
Località :	Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova		
Identificazione Campione :	S1 C2		
Profondità (m) :	9.50 - 9.90		Data Ricevimento : 23/05/2019
Tipo Campione :	Semi-indisturbato		Data Esecuzione Prova : 28/05/2019
Descrizione del Materiale :	Argilla di bassa plasticità		

Geometria della sezione del provino : circolare

Diametro	(cm)	8.42
Altezza	(cm)	13.25
Peso lordo	(g)	1364.96
Peso tara	(g)	0.00
Peso netto	(g)	1364.96
Volume	(cm ³)	737.79
Peso di volume	(kN/m³)	18.15

Direttore Tecnico :	Dott. Geol. Paolo Brasey
Sperimentatore :	Dott. Geol. Cristiano Pastore

Note :

CONTENUTO NATURALE IN ACQUA - ASTM D2216-10

Cliente : M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL
 Località : Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova

Identificazione Campione : S1 CI1

Profondità (m) : 6.00 - 6.30

Data Ricevimento : 23/05/2019

Tipo Campione : Indisturbato

Data Esecuzione Prova : 28/05/2019

Descrizione del Materiale : Ghiaia ben gradata con sabbia

Peso lordo umido	(g)	971.98
Peso lordo secco	(g)	894.39
Peso tara	(g)	284.03
Peso netto secco	(g)	610.36
Peso acqua	(g)	77.59
Contenuto in acqua	(%)	12.7

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Paolo Brasey
 Sperimentatore : Dott. Geol. Cristiano Pastore

Note :

ANALISI GRANULOMETRICA DI UN TERRENO - ASTM D422-63

Cliente : M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL
Località : Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova

Identificazione Campione : S1 CI1
Profondità (m) : 6.00 - 6.30
Tipo Campione : Indisturbato
Descrizione del Materiale : Ghiaia ben gradata con sabbia

Data Ricevimento : 23/05/2019
Data Esecuzione Prova : 30/05/2019
Class. U.S.C.S. : GW

DATI GRANULOMETRICI

Ciottoli (%)	0.00
Ghiaia (%)	60.68
Sabbia (%)	35.28
Limo (%)	N.D.
Argilla (%)	N.D.
Fini (%)	4.04
D. max (mm)	33.0

ALTRI PARAMETRI

D ₉₀ (mm)	54.267
D ₆₀ (mm)	15.370
D ₅₀ (mm)	8.872
D ₃₀ (mm)	2.408
D ₁₀ (mm)	0.442
C _c	0.85
C _u	34.81

GHIAIA E SABBIA

Forma : angolare
Durezza : alterata e friabile

Note:

Presena di concrezioni calcaree

SETACCIATURA

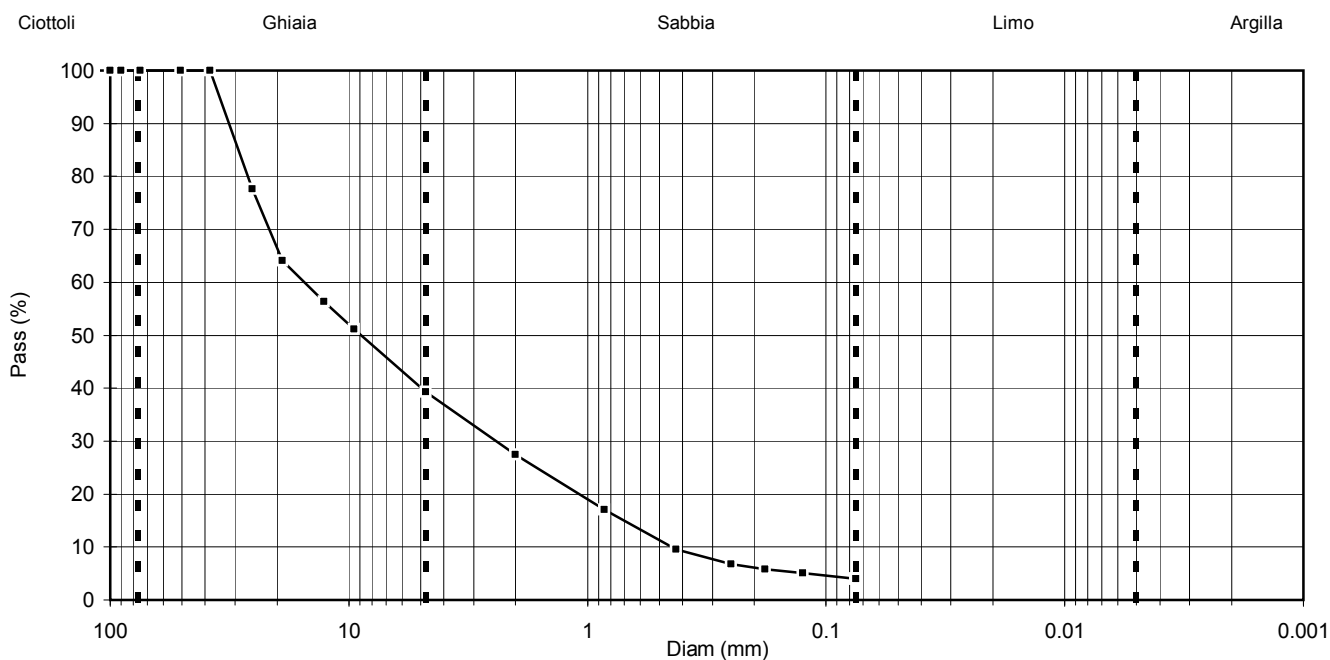
D (mm)	Pass (%)
125.00	100.00
100.00	100.00
90.00	100.00
75.00	100.00
50.80	100.00
38.10	100.00
25.40	77.58
19.00	64.11
12.70	56.30

SETACCIATURA

D (mm)	Pass (%)
9.50	51.17
4.75	39.32
2.00	27.45
0.85	17.04
0.425	9.59
0.250	6.76
0.180	5.76
0.125	5.02
0.075	4.04

SEDIMENTAZIONE

D (mm)	Pass (%)
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-



Direttore Tecnico : Dott. Geol. Paolo Brasey
Sperimentatore : Dott. Geol. Andrea Botti

DETERMINAZIONE DEL PESO DI VOLUME - ASTM D7263-09

Cliente :	M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL		
Località :	Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova		
Identificazione Campione :	S1 CI1		
Profondità (m) :	6.00 - 6.30		Data Ricevimento : 23/05/2019
Tipo Campione :	Indisturbato		Data Esecuzione Prova : 28/05/2019
Descrizione del Materiale :	Ghiaia ben gradata con sabbia		

Geometria della sezione del provino : circolare

Diametro	(cm)	3.55
Altezza	(cm)	4.94
Peso lordo	(g)	188.25
Peso tara	(g)	88.74
Peso netto	(g)	99.51
Volume	(cm ³)	48.90
Peso di volume	(kN/m³)	19.96

Direttore Tecnico :	Dott. Geol. Paolo Brasey
Sperimentatore :	Dott. Geol. Cristiano Pastore

Note :

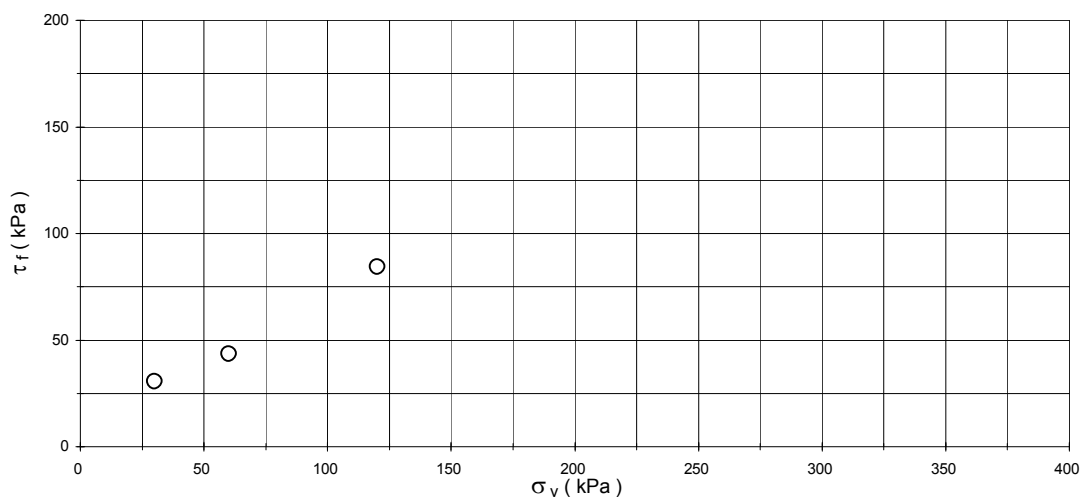
PROVA DI TAGLIO DIRETTO - ASTM D3080-11

Test eseguito in scatola di Casagrande, con provino immerso, a sezione circolare

Cliente :	M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL	
Località :	Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova	
Id. Campione :	S1 C1	
Profondità (m) :	3.50 - 4.00	
Tipo del campione :	semi-indisturbato	Data Ricevimento : 23/05/2019
Descrizione :	Argilla di bassa plasticità	Data Prova : 28/05/2019

CONDIZIONI INIZIALI			Provino 1	Provino 2	Provino 3
H	(cm)		2.31	2.31	2.31
D	(cm)		6.00	6.00	6.00
γ_t	(kN/m ³)		18.82	18.83	18.81
W_i	(%)		24.3	24.5	24.1
γ_d	(kN/m ³)		15.14	15.13	15.16
G_s	(-)	(stimato)	2.65	2.65	2.65

ROTTURA		Provino 1	Provino 2	Provino 3
Velocità di avanzamento	(mm/min)	0.005	0.005	0.005
σ_v	(kPa)	30	60	120
ΔH_c	(mm)	0.20	0.77	1.02
ΔH_f	(mm)	0.03	0.14	0.23
d_h	(mm)	1.52	2.29	4.81
τ_f	(kPa)	30.6	43.4	84.5
W_f	(%)	27.7	29.7	30.5
γ_{df}	(kN/m ³)	14.98	14.55	14.38



Note :

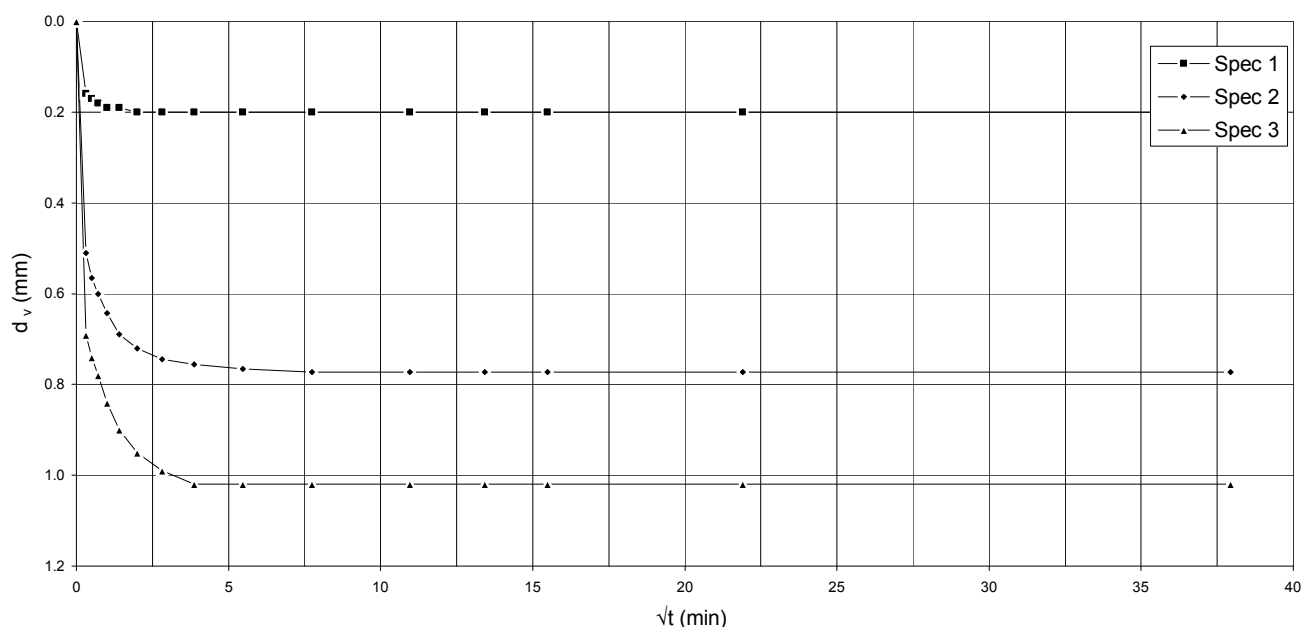
Direttore tecnico :	Dott. Geol. Paolo Brasey	Operatore :	Dott. Geol. Cristiano Pastore
---------------------	--------------------------	-------------	-------------------------------

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - ASTM D3080-11

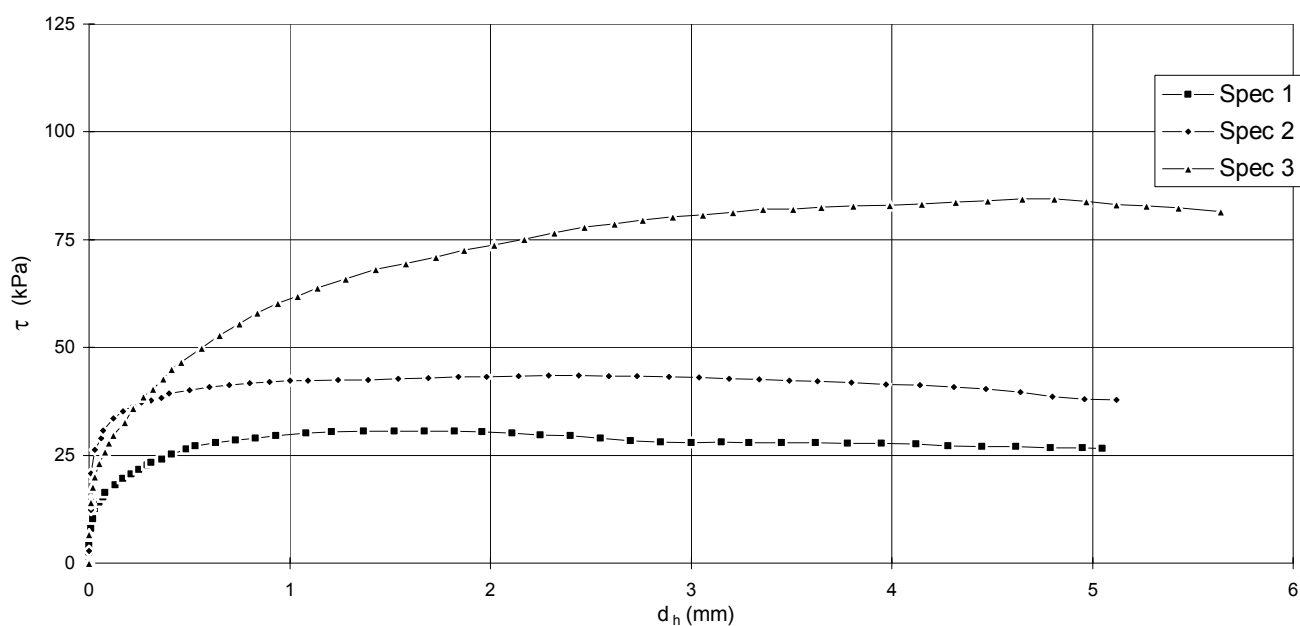
Test eseguito in scatola di Casagrande, con provino immerso, a sezione circolare

Cliente : M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL
 Località : Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova
 Id. Campione : S1 C1
 Profondità (m) : 3.50 - 4.00

FASE DI CONSOLIDAZIONE



FASE DI TAGLIO



Direttore tecnico : Dott. Geol. Paolo Brasey

Operatore : Dott. Geol. Cristiano Pastore

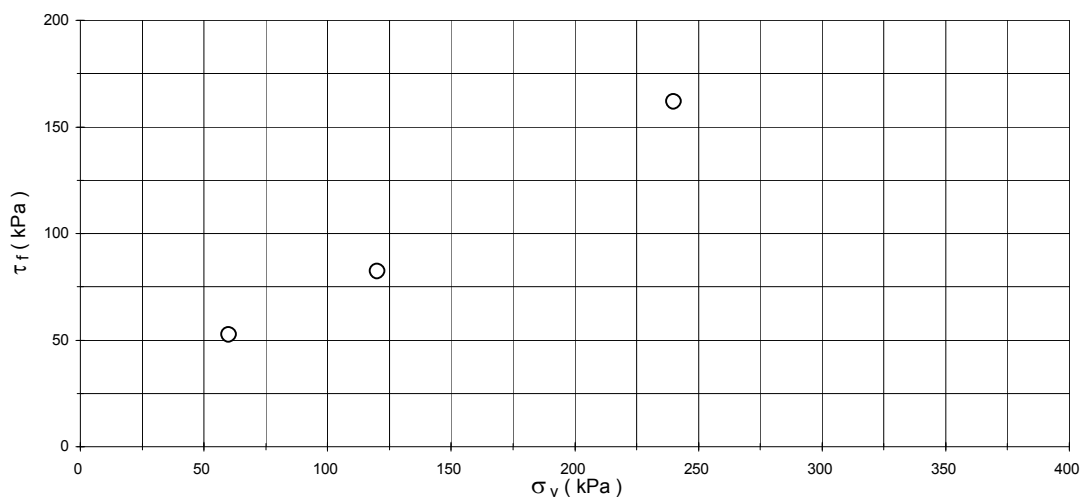
PROVA DI TAGLIO DIRETTO - ASTM D3080-11

Test eseguito in scatola di Casagrande, con provino immerso, a sezione circolare

Cliente :	M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL	
Località :	Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova	
Id. Campione :	S1 C2	
Profondità (m) :	9.50 - 9.90	
Tipo del campione :	semi-indisturbato	Data Ricevimento : 23/05/2019
Descrizione :	Argilla di bassa plasticità	Data Prova : 28/05/2019

CONDIZIONI INIZIALI		Provino 1	Provino 2	Provino 3
H	(cm)	2.31	2.31	2.31
D	(cm)	6.00	6.00	6.00
γ_t	(kN/m ³)	18.13	18.16	18.15
W_i	(%)	23.1	23.2	23.0
γ_d	(kN/m ³)	14.73	14.74	14.75
G_s	(-) (stimato)	2.65	2.65	2.65

ROTTURA		Provino 1	Provino 2	Provino 3
Velocità di avanzamento	(mm/min)	0.005	0.005	0.005
σ_v	(kPa)	60	120	240
ΔH_c	(mm)	0.32	0.80	1.76
ΔH_f	(mm)	0.11	0.28	0.47
d_h	(mm)	3.21	4.61	4.16
τ_f	(kPa)	52.5	82.2	161.8
W_f	(%)	29.9	31.9	35.4
γ_{df}	(kN/m ³)	14.50	14.09	13.42



Note :

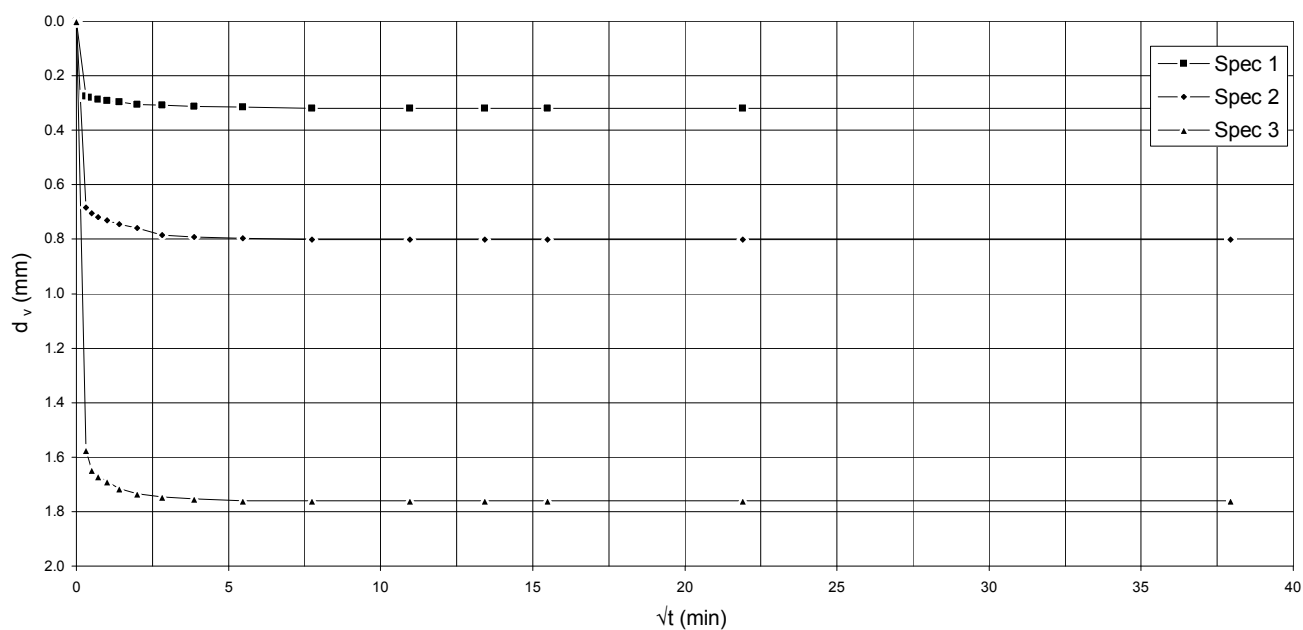
Direttore tecnico :	Dott. Geol. Paolo Brasey	Operatore :	Dott. Geol. Cristiano Pastore
---------------------	--------------------------	-------------	-------------------------------

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - ASTM D3080-11

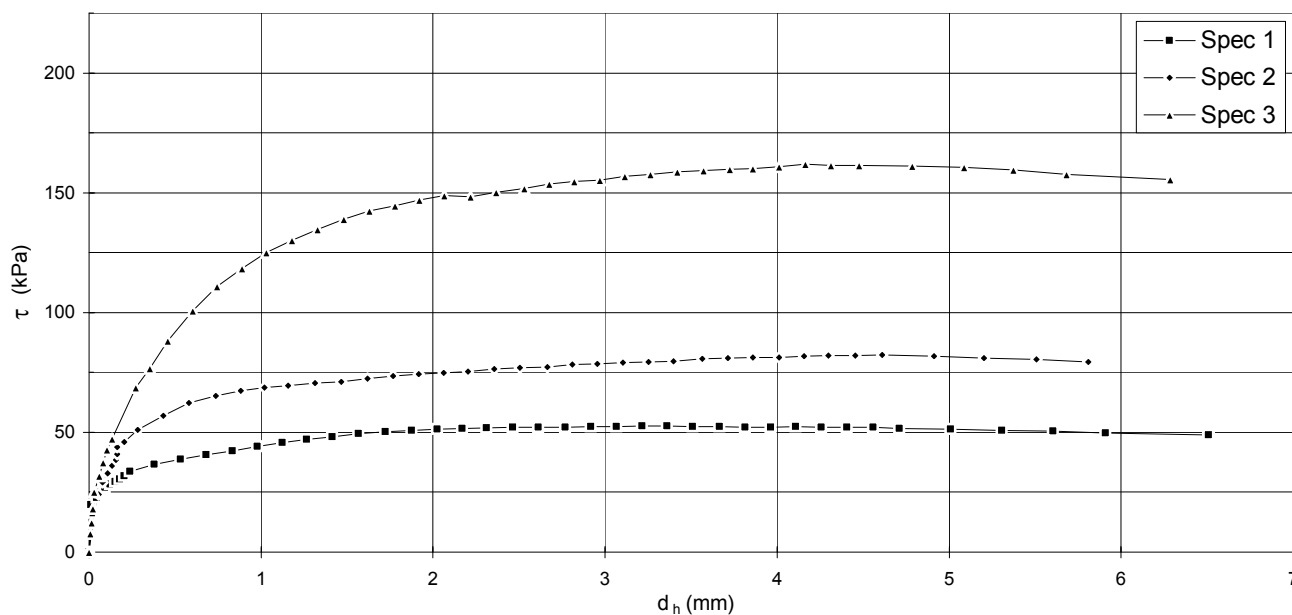
Test eseguito in scatola di Casagrande, con provino immerso, a sezione circolare

Cliente : M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL
 Località : Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova
 Id. Campione : S1 C2
 Profondità (m) : 9.50 - 9.90

FASE DI CONSOLIDAZIONE



FASE DI TAGLIO



Direttore tecnico : Dott. Geol. Paolo Brasey

Operatore : Dott. Geol. Cristiano Pastore

PROVA TRIASSIALE CONSOLIDATA - NON DRENATA - ASTM D 4767-04

Cliente : M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL
Località : Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova

Campione : S1 C1
Prof. (m) : 3.50-4.00
Tipo di campione : Indisturbato
Descrizione : Argilla di bassa plasticità

Data Ricevimento : 23/05/2019

Data Prova : 30/05/2019

Condizioni iniziali

	H (mm)	D (mm)	w _c * (%)	γ (kN/m ³)	γ _d (kN/m ³)	G _s ** (-)	e (-)	S (-)	n (-)
Provino 1	100.0	50.0	24.24	18.76	15.10	2.70	0.754	0.87	0.43
Provino 2	100.0	50.0	24.32	18.84	15.15	2.70	0.748	0.88	0.43
Provino 3	100.0	50.0	23.66	18.88	15.26	2.70	0.735	0.87	0.42

* contenuto in acqua su porzione di campione

** peso specifico stimato

Consolidazione isotropa (condizioni finali)

Back Pressure : 400 (kPa)

	σ _H ' (kPa)	σ _V ' (kPa)	σ _H ' / σ _V ' (-)	ΔH (mm)	ΔV (cm ³)	ΔH/H (%)	ΔV/V (%)	e (-)	B (-)
Provino 1	50	50	1	0.14	0.81	0.14%	0.41%	0.747	0.97
Provino 2	100	100	1	0.33	1.93	0.33%	0.98%	0.732	0.95
Provino 3	200	200	1	0.35	2.06	0.35%	1.05%	0.718	0.96

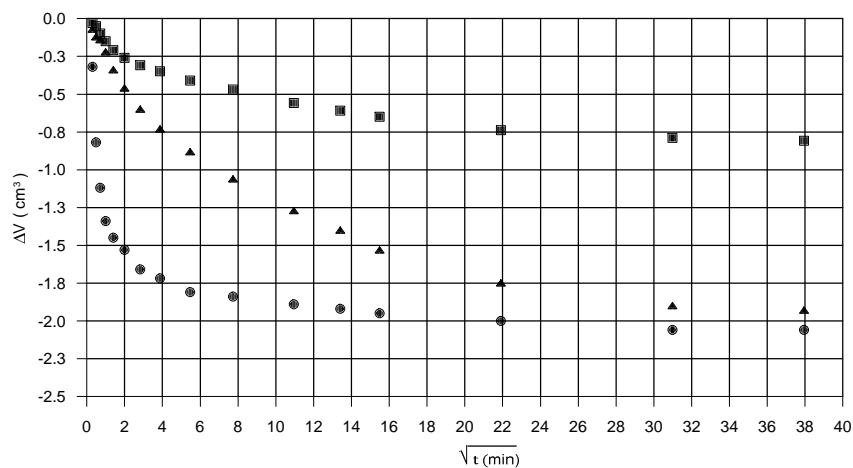
Parametri a rottura

	vel. def. (mm/min)	def. (%)	A (-)	$\frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2}$ (kPa)	σ ₁ /σ ₃ (-)	σ ₁ -σ ₃ (kPa)	$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ (kPa)
Provino 1	0.015	6.15	0.21	75	4.17	89	45
Provino 2	0.015	10.35	0.21	155	4.48	196	98
Provino 3	0.015	7.04	0.33	240	3.30	256	128

Direttore Tecnico : Dott. Geol. Paolo Brasey

Sperimentatore : Dott. Geol. Sergio Vergano

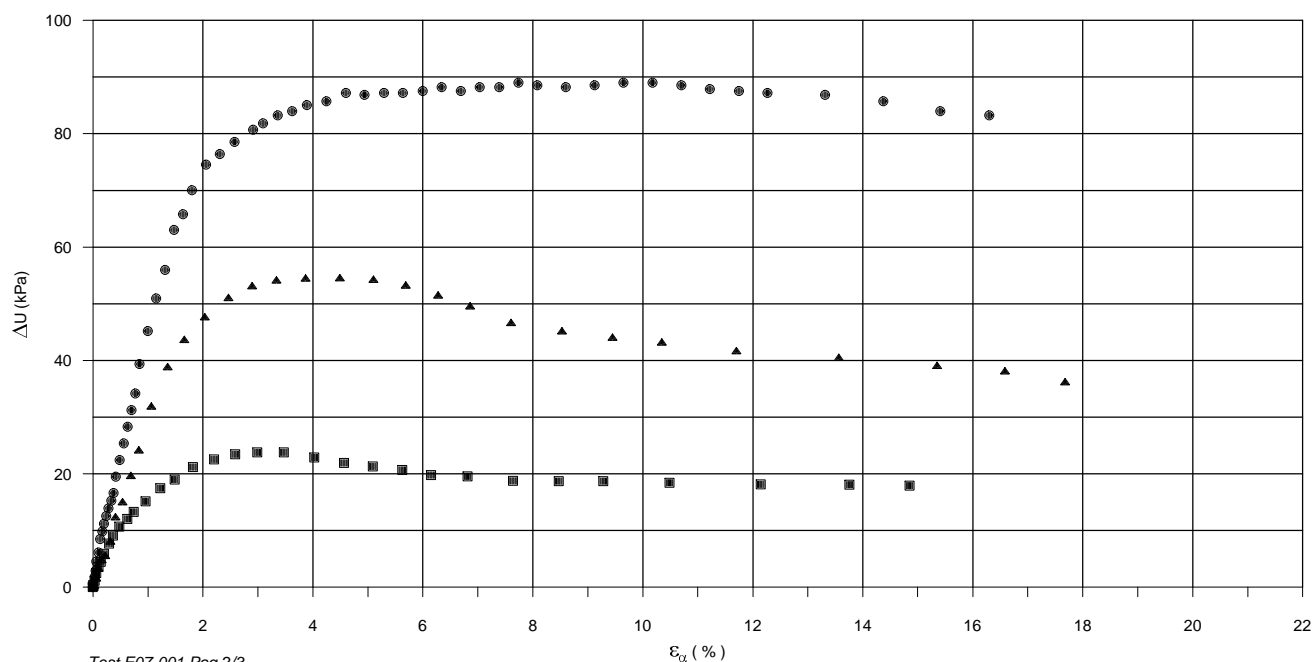
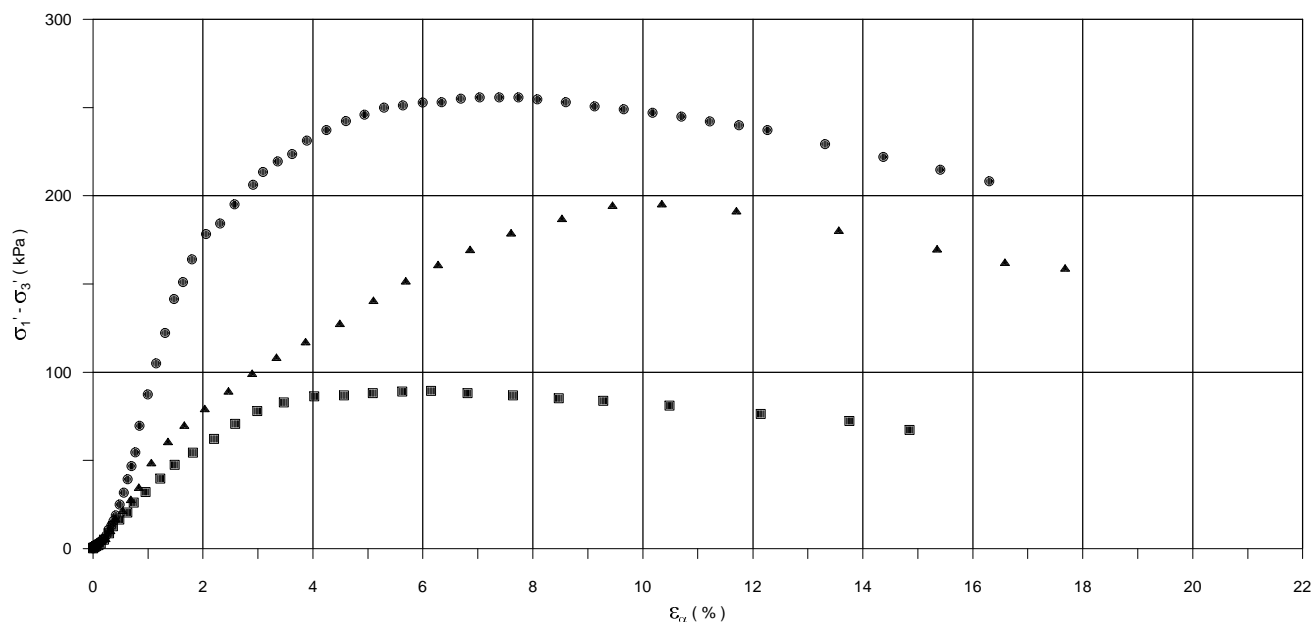
PROVA TRIASSIALE CONSOLIDATA - NON DRENATA - ASTM D 4767-04



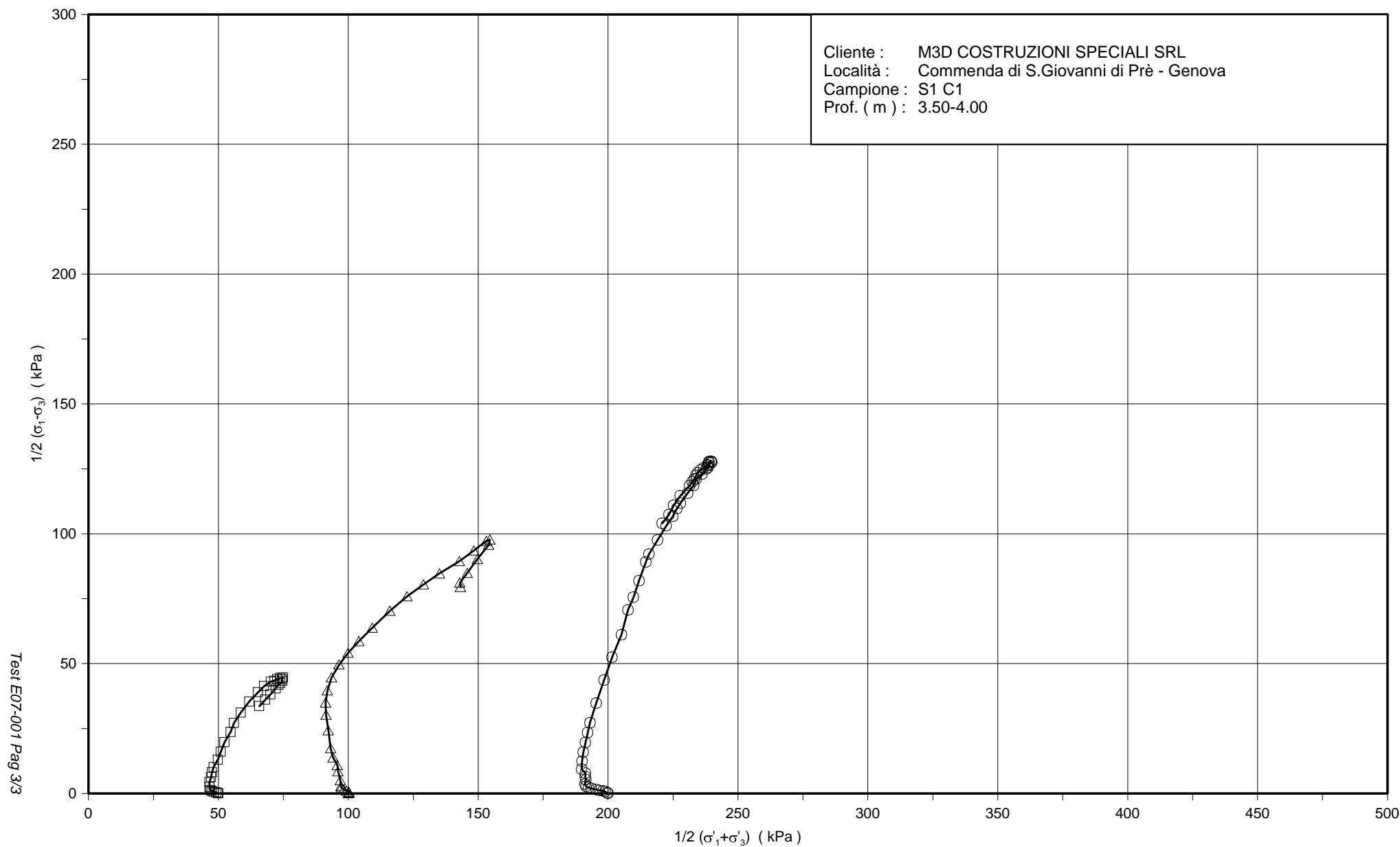
Cliente : M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL
 Località : Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova
 Id Campione : S1 C1
 Profondità (m) : 3.50-4.00

Legenda

- provino 1
- ▲ provino 2
- provino 3



PROVA TRIASSIALE CONSOLIDATA - NON DRENATA - ASTM D 4767-04



PROVA DI PERMEABILITÀ DI UN TERRENO - ASTM D5084-10 - Method B

Cliente :	M3D COSTRUZIONI SPECIALI SRL		
Località :	Commenda di S.Giovanni di Prè - Genova		
Id. campione :	S1 C1		
Profondità (m) :	3.50 - 4.00		
Tipo campione :	Indisturbato	Data ricevimento : 23/05/2019	
Descrizione:	Argilla di bassa plasticità	Data Prova : 29/05/2019	

CONDIZIONI INIZIALI			
Diametro	(cm)	3.80	
Altezza	(cm)	7.60	
Peso di volume	(kN/m ³)	18.73	
Contenuto in acqua	(%)	24.32	
Densità secca	(kN/m ³)	15.07	
Peso specifico	(stimato) (-)	2.65	
Indice dei vuoti	(-)	0.73	
Grado di saturazione	(%)	88.8	

Diametro Buretta :	(cm)	1.6	
H0	(cm)	128.5	
H1	(cm)	80.5	
T1-T0	(s)	217500	
Coeff. perm. k	(cm/s)	2.90E-06	
H0	(cm)	129.0	
H1	(cm)	73.3	
T1-T0	(s)	211500	
Coeff. perm. k	(cm/s)	3.60E-06	
H0	(cm)	128.0	
H1	(cm)	75.3	
T1-T0	(s)	205500	
Coeff. perm. k	(cm/s)	3.48E-06	

VALORE MEDIO DI k	(cm/s)	3.33E-06	T (°C)	21.5
VALORE DI k (20°C)	(cm/s)	3.20E-06		

NOTE :	Prova eseguita in cella triassiale
Sperimentatore:	Dott. Geol. Cristiano Pastore
Direttore Tecnico :	Dott. Geol. Paolo Brasey

Pericolosità sismica di base

INTRODUZIONE

PROCEDURA DI CALCOLO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
 - 2.1. Stima della funzione di trasferimento;
 - 2.2. Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
 - 2.3. Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;
3. Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile “trasferire” l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M - 1}{10}$$

dove M rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l' N -esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno

strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt $\left[\tau = G\gamma + \eta \frac{\partial \gamma(z, t)}{\partial z \partial t} \right]$, la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta \frac{\partial^3 u}{\partial z^2 \partial t} \quad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z, t) = U(z)^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega\eta) \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (3)$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^* \frac{d^2 U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega} \xi \quad (6)$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z, t) = Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$

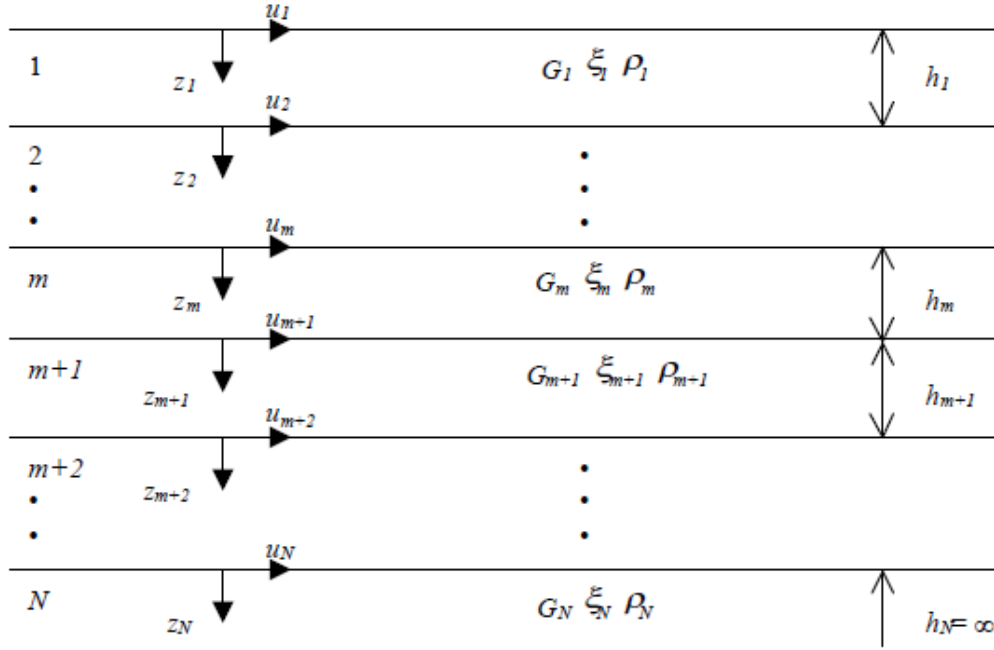


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega \sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z, t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \right] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato m di spessore h_m gli spostamenti, rispettivamente in sommità ($z = 0$) ed al fondo ($z = h_m$), sono:

$$u_m(0, t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m, t) = (E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m}) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell'm-esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0, t) = ik_m^* G_m^* [E_m - F_m] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m, t) = ik_m^* G_m^* [E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} (E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m}) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 + \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 - \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m (1 - \alpha_m^*) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m (1 + \alpha_m^*) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati m ed $m+1$, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0, t) = ik_1^* G_1^* [E_1 - F_1] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che $E_1 = F_1$.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m . La funzione di trasferimento A_{mn} che lega gli spostamenti in sommità degli strati m ed n è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

A_{mn} rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti m e n .

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z, t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z, t) \quad \ddot{u}(z, t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z, t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento A_{mn} può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati n ed m :

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità z e al tempo t dalla relazione:

$$\gamma(z, t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* (E e^{ik^* z} - F e^{-ik^* z}) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z, t) = G^* \gamma(z, t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

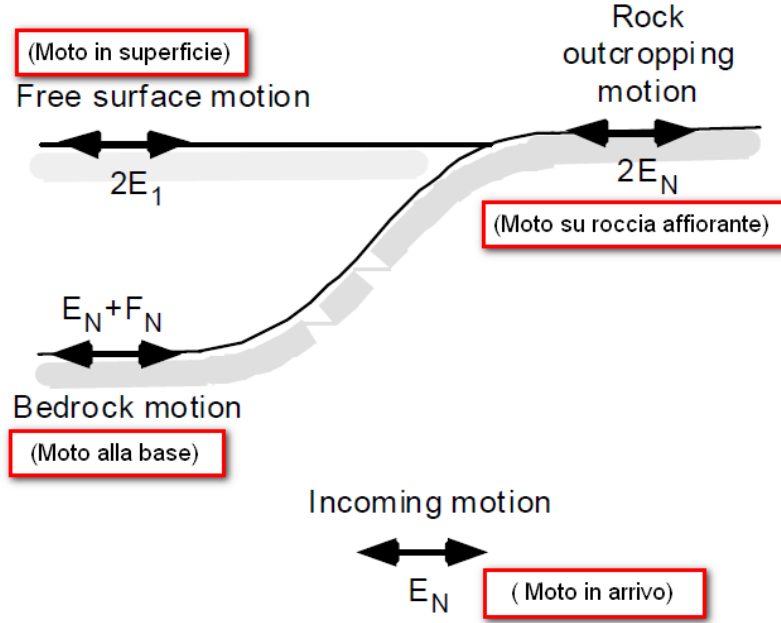


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad E_N ; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a $E_N + F_N$. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle ($E_N = F_N$), il moto avrà ampiezza pari a $2E_N$. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché G è funzione di γ . Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ . Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo G così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per $G(\gamma)$ adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI) (\sigma'_m)^{m(\gamma, PI) - m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5 \left\{ 1 + \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000102 + n(PI)}{\gamma} \right)^{0.492} \right] \right\} \quad (25)$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272 \left\{ 1 - \tanh \left[\ln \left(\frac{0.000556}{\gamma} \right)^{0.4} \right] \right\} \exp(-0.0145 PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & \text{per } PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & \text{per } 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & \text{per } 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & \text{per } PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

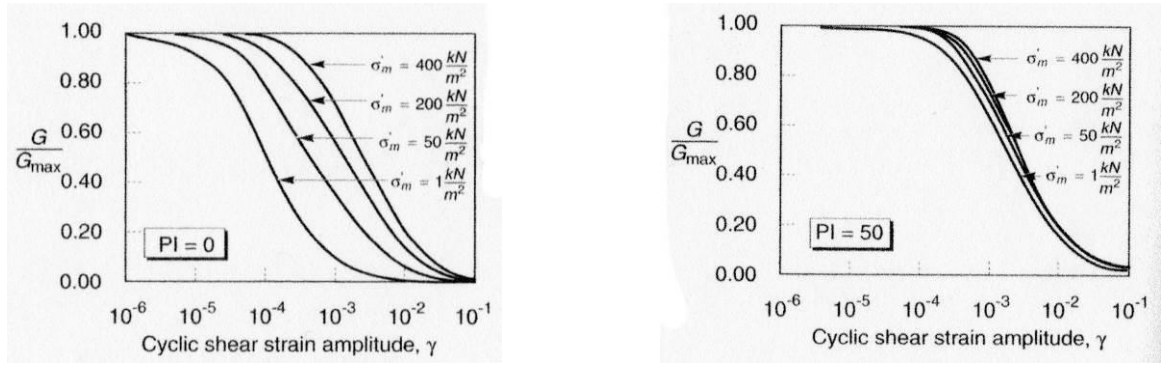


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ , in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.3})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

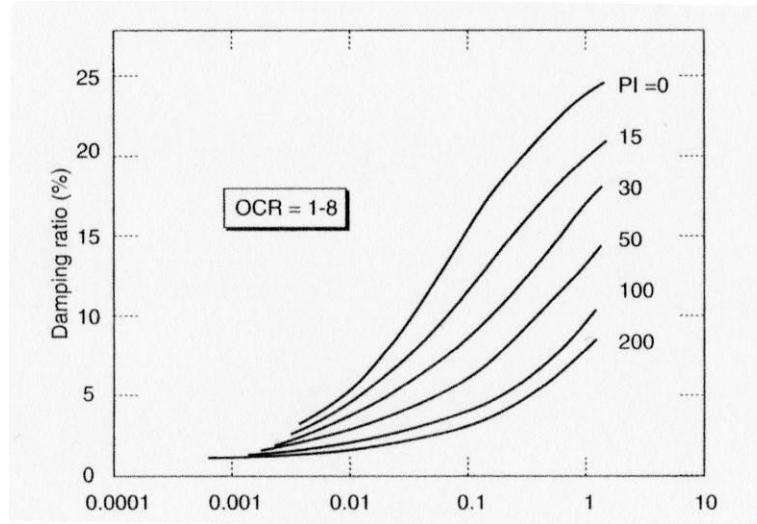
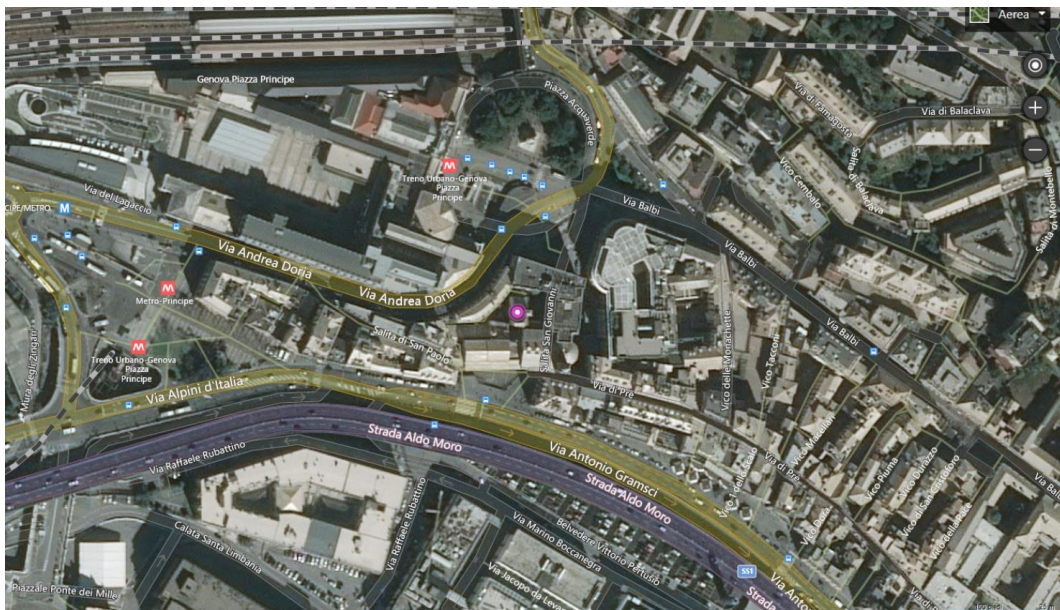


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

Dati generali

Descrizione	COMMENDA DI PRÈ IN GENOVA PROPEDEUTICHE
ALLA PROGETTAZIONE DEL FUTURO MUSEO DELL'EMIGRAZIONE ITALIANA.	
Committente	COMUNE DI GENOVA
Operatore della prova	Dott. Geol. Antonio Riviello
Responsabile della prova	Dott. Geol. Antonio Riviello
Data della prova	d.C./06/2019
Via	CITTA' METROPOLITANA DI GENOVA
Latitudine	44.415966[°]
Longitudine	8.922252[°]



Mediante il software RSL III della Geostru, sono state effettuate analisi contemporaneamente su più accelerogrammi forniti come input ed è stata utilizzare come unità di misura per l'accelerazione g.

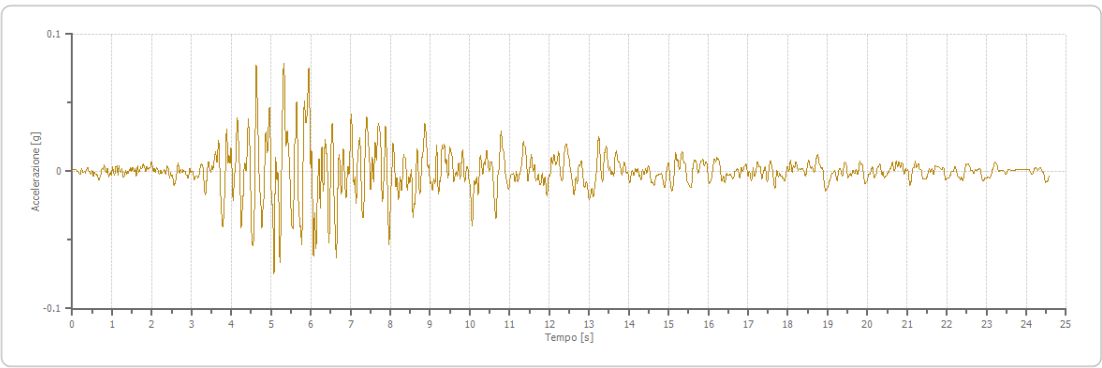
Le tracce da importare sono quelle riferite al bedrock sismico la cui scelta, nelle analisi di livello 3, è legata alla verifica delle condizioni definite dalle NTC 2018 al par. 3.2.3.6 e al par. 7.3.5.

La selezione degli accelerogrammi è stata effettuata utilizzando il sito SEISM-HOME della Fondazione EUCENTRE di Pavia per scaricare le registrazioni accelerometriche (settopla n. TR475_ID16918) spettro-compatibili (in media) allo spettro di risposta definito su suolo di categoria A per il sito avente coordinate Latitudine 44.415966° Longitudine 8.922252° per il periodo di ritorno 475 anni (azione sismica definita secondo il DM 17 Gennaio 2018, Norme tecniche per le costruzioni).

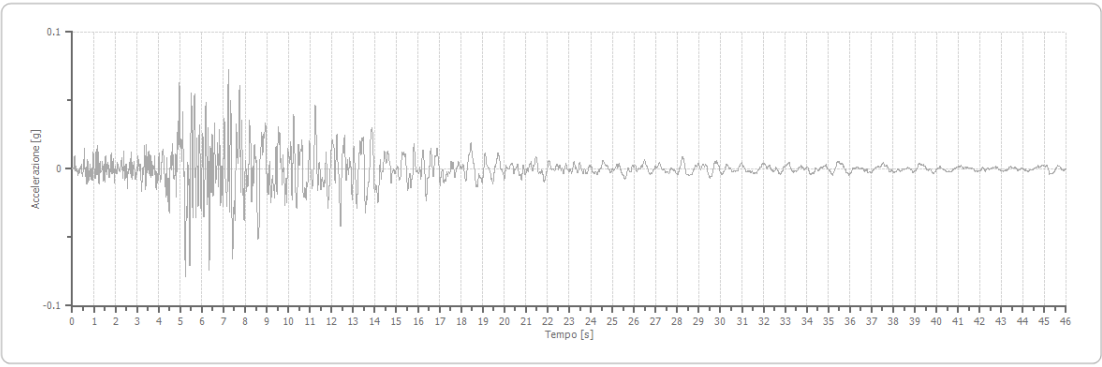
Il sito web SEISM-HOME è stato sviluppato in collaborazione tra le sezioni Geotecnica e sismologia applicata e Strutture in muratura e monumenti nell'ambito del progetto esecutivo EUCENTRE 2009-2012 E5/2 finanziato dal Dipartimento della Protezione Civile.

I sette accelerogrammi selezionati sono di seguito riportati.

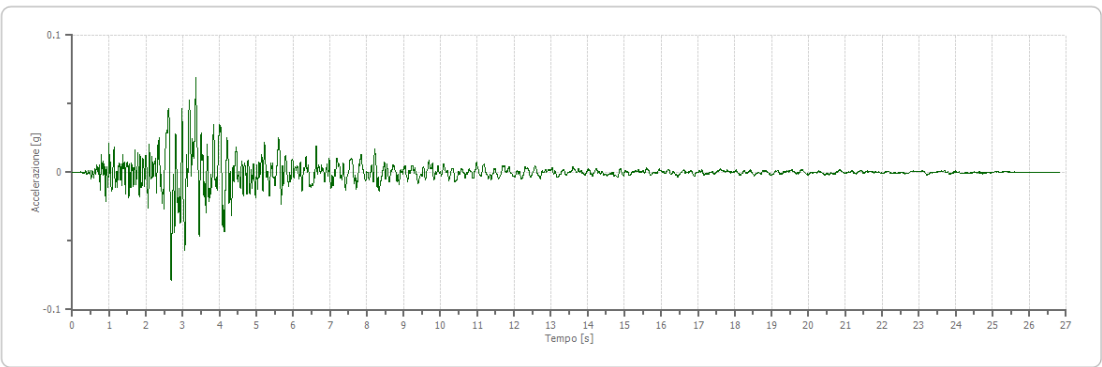
ACCELEROGRAMMI



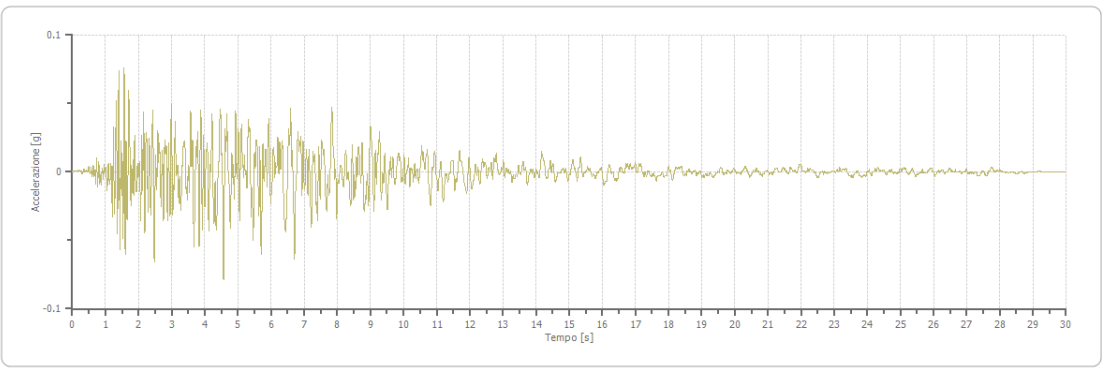
TR475_ID16918_1



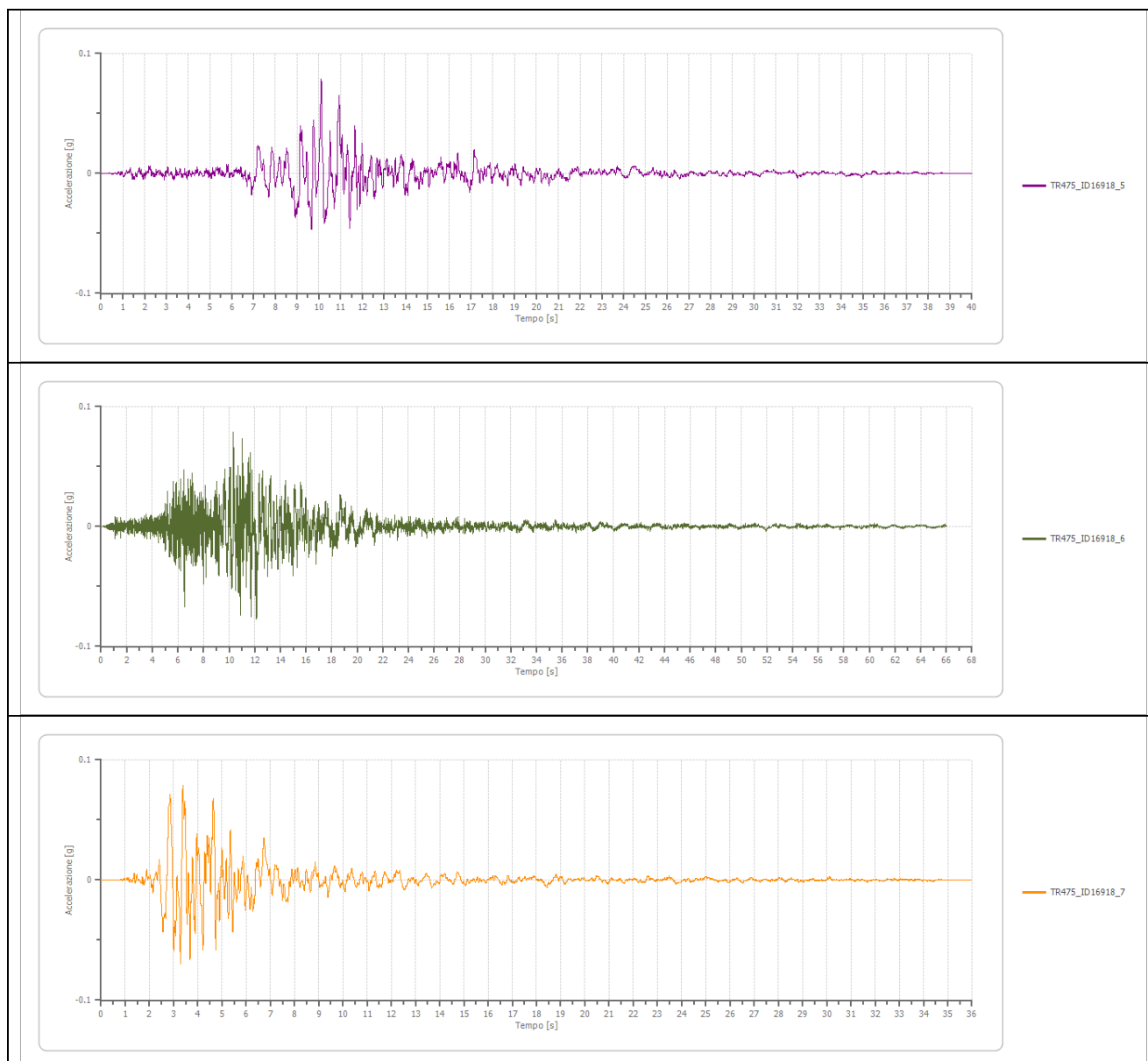
TR475_ID16918_2



TR475_ID16918_3



TR475_ID16918_4

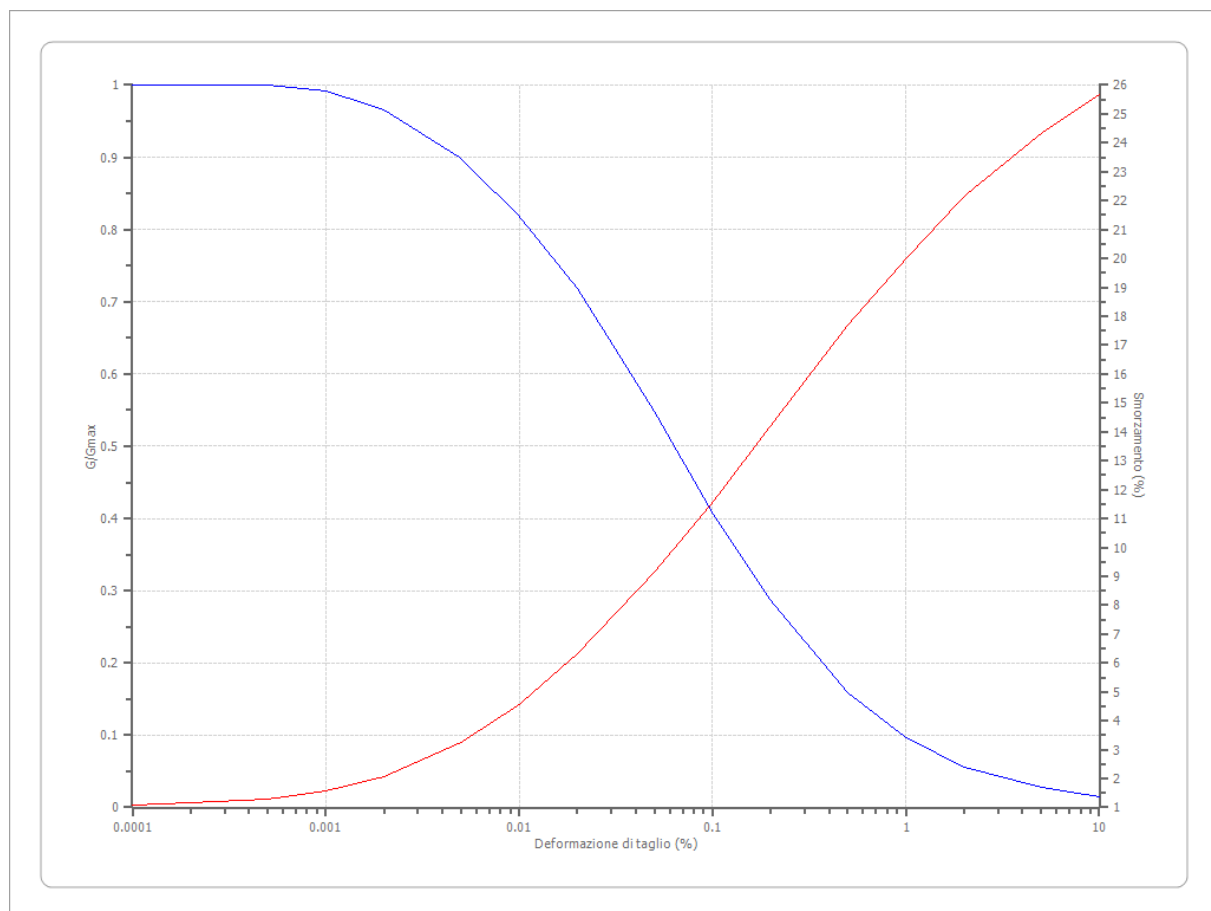


Gli accelerogrammi importati, sono stati scalati all'accelerazione di progetto (a_g) dello stato limite SLV, definita preliminarmente utilizzando il software Geostru PS.

Terreni

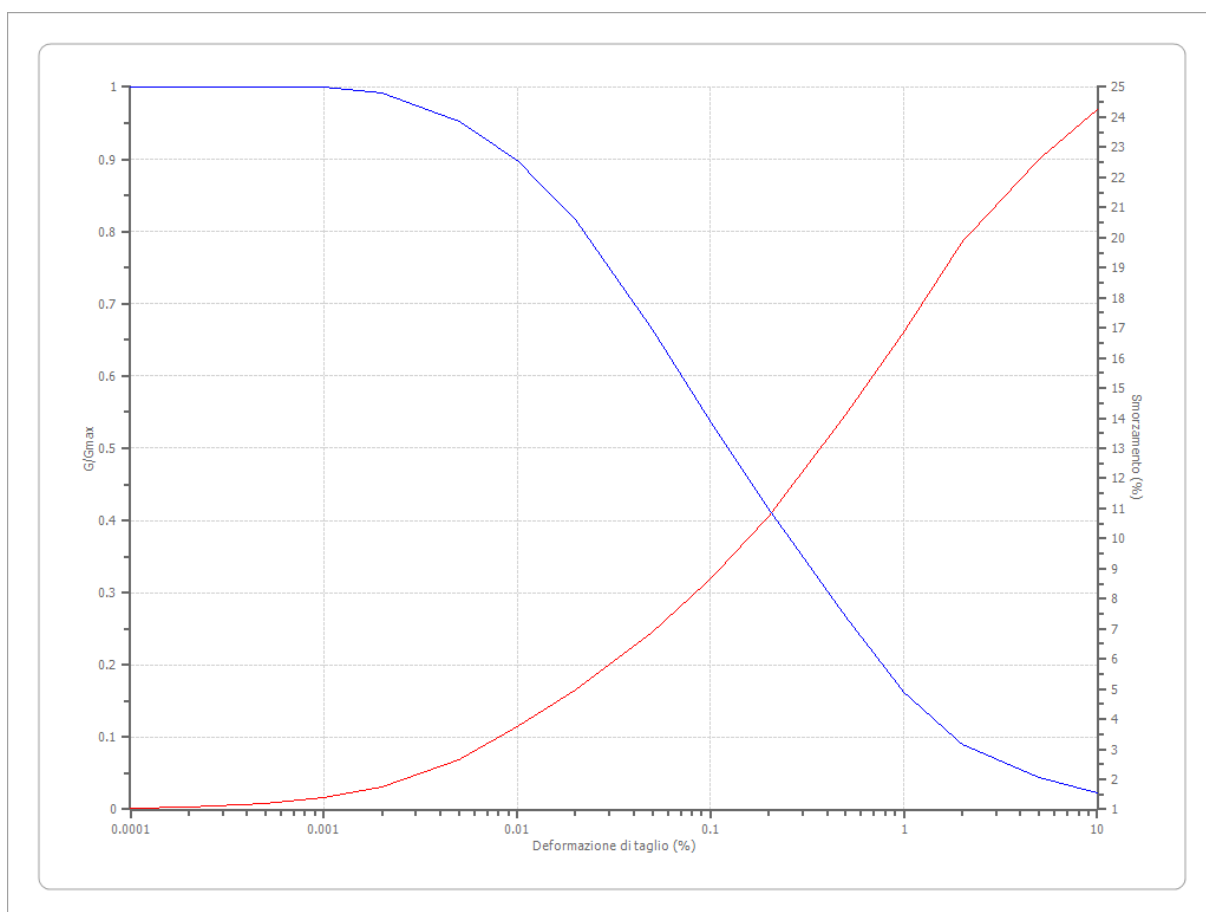
Vucetic & Dorby (1991) PI=15

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	1.097
0.0002	1.000	0.0002	1.163
0.0005	1.000	0.0005	1.287
0.001	0.992	0.001	1.578
0.002	0.965	0.002	2.076
0.005	0.898	0.005	3.239
0.010	0.818	0.010	4.568
0.020	0.719	0.020	6.312
0.050	0.549	0.050	9.136
0.100	0.408	0.100	11.550
0.200	0.287	0.200	14.200
0.500	0.158	0.500	17.690
1.000	0.096	1.000	19.980
2.000	0.055	2.000	22.140
5.000	0.028	5.000	24.340
10.000	0.014	10.000	25.660



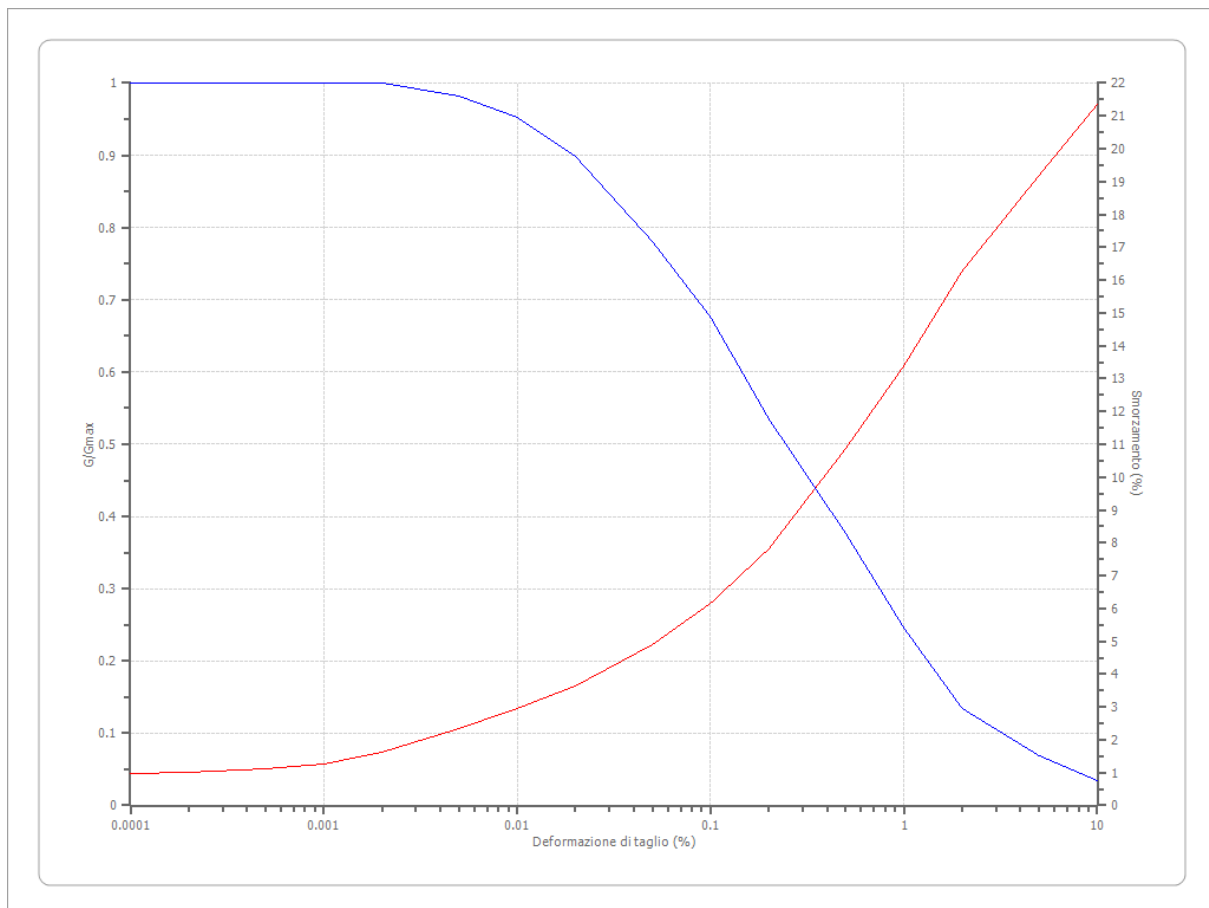
Vucetic & Dorby (1991) PI=30

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	1.030
0.0002	1.000	0.0002	1.080
0.0005	1.000	0.0005	1.194
0.001	1.000	0.001	1.412
0.002	0.992	0.002	1.744
0.005	0.953	0.005	2.658
0.010	0.898	0.010	3.738
0.020	0.816	0.020	4.983
0.050	0.664	0.050	6.894
0.100	0.537	0.100	8.640
0.200	0.416	0.200	10.760
0.500	0.266	0.500	14.120
1.000	0.162	1.000	16.860
2.000	0.090	2.000	19.850
5.000	0.045	5.000	22.590
10.000	0.023	10.000	24.250



Vucetic & Dorby (1991) PI=50

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.964
0.0002	1.000	0.0002	0.997
0.0005	1.000	0.0005	1.100
0.001	1.000	0.001	1.274
0.002	1.000	0.002	1.620
0.005	0.982	0.005	2.326
0.010	0.953	0.010	2.949
0.020	0.898	0.020	3.654
0.050	0.781	0.050	4.900
0.100	0.676	0.100	6.146
0.200	0.535	0.200	7.807
0.500	0.377	0.500	10.880
1.000	0.246	1.000	13.410
2.000	0.135	2.000	16.280
5.000	0.068	5.000	19.190
10.000	0.034	10.000	21.350



Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamen to critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	V _s [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1	Riporto	--	1.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=50	0	89.70	--	22.0	200.0	11.0
2	Riporto	1.0	3.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=30	0	414.66	--	22.0	430.0	55.0
3	Limo argilloso	4.0	8.0	Vucetic & Dorby (1991) PI=30	0	606.40	--	22.0	520.0	176.0
4	Argilla limosa	oo	--	Vucetic & Dorby (1991) PI=15	0	754.41	--	22.0	580.0	264.0

Strato rilevamento accelerogramma: 4 Affiorante

Profilo			Velocità onde di taglio		Tensione verticale	
	1.00 [m]	1.00 [m]	200.0 [m/s]		11.0 [kPa]	
	3.00 [m]	4.00 [m]	430.0 [m/s]		55.0 [kPa]	
	8.00 [m]		520.0 [m/s]		176.0 [kPa]	
	12.00 [m]					
			580.0 [m/s]		264.0 [kPa]	
	oo					

Elaborazione SLV

Numero di iterazioni 50
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza 1.70 E-05

Fattori di amplificazione ICMS 2018

Tai	0.170 [s]
Tvi	0.720 [s]
Tao	0.090 [s]
Tvo	0.720 [s]
Sami	1.771 [m/s ²]
Svmi	0.106 [m/s]
Samo	1.921 [m/s ²]
Svmo	0.107 [m/s]
Fa	1.084 [-]
Fv	1.007 [-]
TB	0.116 [s]
TC	0.349 [s]
TD	1.923 [s]
SA(0)	0.081 [g]
SA(TB)	0.196 [g]

Nella sezione Amplificazione viene restituita la curva di amplificazione, ossia la variazione del fattore di amplificazione in funzione della frequenza.

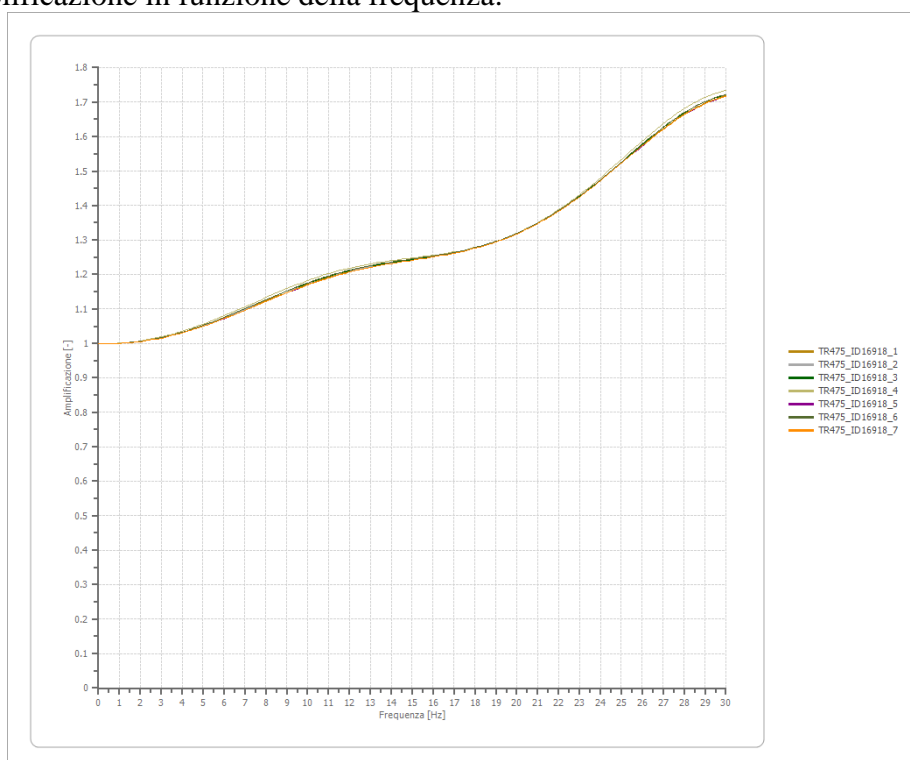


Fig. 1 Funzione di amplificazione.

Si ricorda che il **Fattore di amplificazione**, **A**, è il rapporto $a_{\max,r}/a_{\max,s}$ tra l'accelerazione di picco su affioramento rigido $a_{\max,r}$ e l'accelerazione sulla superficie del deposito $a_{\max,s}$, mentre la sua variazione in funzione della frequenza viene chiamata **Funzione di Amplificazione**.

In Fig. 1 è riportata la raffigurazione delle funzioni di amplificazione relative ad un deposito costituito da due strati poggianti su bedrock rigido. Dalla funzione di amplificazione si traggono importanti informazioni sul comportamento del deposito: in particolare il moto sismico risulta amplificato in corrispondenza di determinate frequenze f_n che corrispondono alle frequenze naturali del deposito. Si ricorda che la frequenza è data da:

$$f_n = \frac{1}{T_n}$$

Con T_n , periodi naturali del terreno ($n = 1, 2, 3, \dots, n$).

La frequenza fondamentale è quella corrispondente al primo periodo naturale T_1 del deposito e il suo valore è pari a:

$$f_1 = \frac{1}{T_1} = \frac{V_s}{4H}$$

Ed è quella in cui la funzione di amplificazione ha il suo valore massimo. La coincidenza tra frequenza del moto sismico e frequenza fondamentale del deposito determina il fenomeno della risonanza.

Il valore della funzione di amplificazione in corrispondenza della frequenza fondamentale dipende dal contrasto dell'impedenza I tra i terreni del deposito e il bedrock e dalle proprietà dissipative del deposito.

Nella determinazione della funzione di amplificazione il programma utilizza il modello *SHAKE*, che assume che ξ è costante ed indipendente da w : il che implica che anche il modulo di taglio complesso G^* è indipendente da w . In tal caso si ha la seguente relazione tra il modulo di taglio complesso G^* e quello reale G :

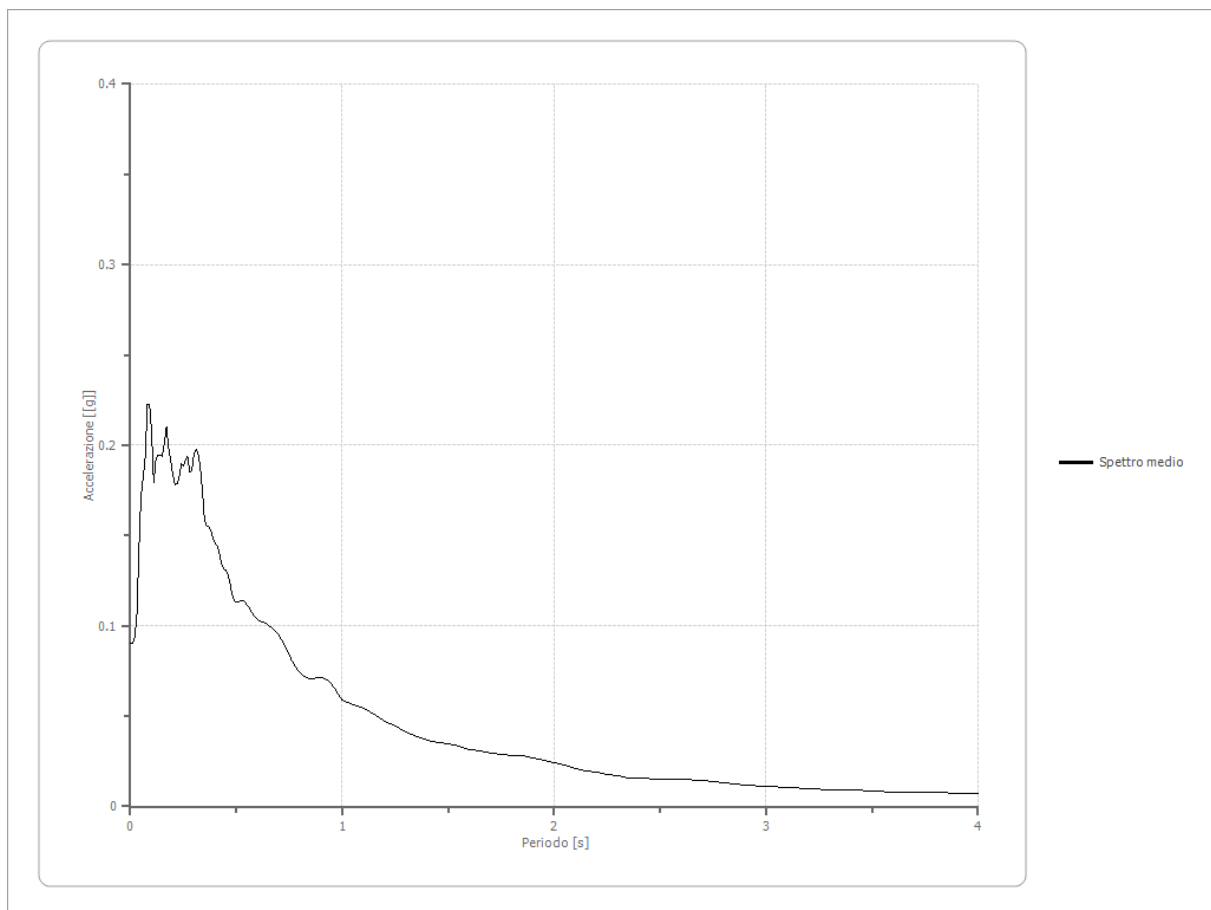
$$|G^*| = G \sqrt{1 + 4\xi^2}$$

Fattori di amplificazione su intensità spettrale

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	4.000	0.333	0.336	0.025	1.008

Spettro medio di risposta elastico

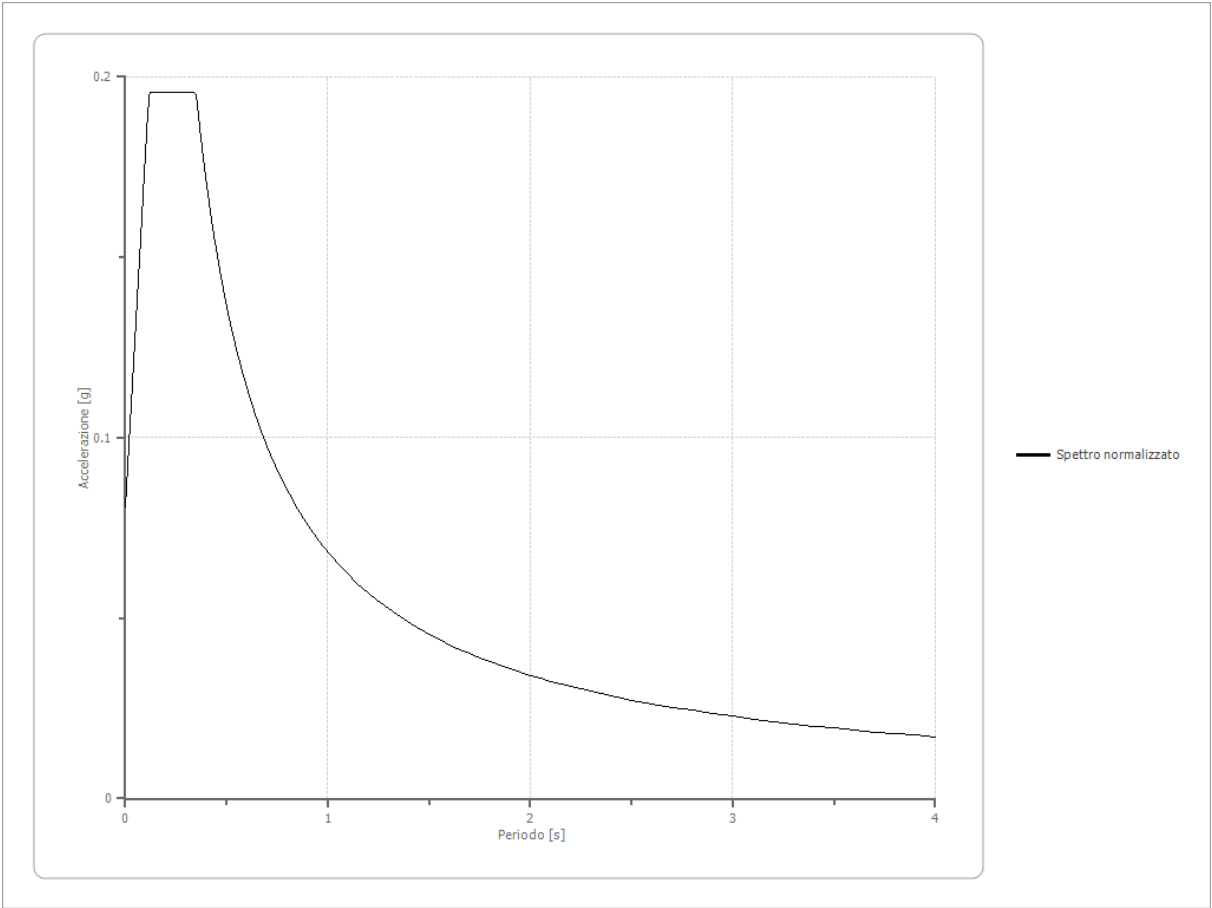
Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]
0.00	0.0906	0.26	0.1919	0.52	0.1139	0.98	0.0624	2.25	0.0178
0.01	0.0906	0.27	0.1938	0.53	0.1142	1.00	0.0591	2.30	0.0169
0.02	0.0937	0.28	0.1852	0.54	0.1133	1.05	0.0561	2.35	0.0160
0.03	0.1054	0.29	0.1858	0.55	0.1115	1.10	0.0540	2.40	0.0154
0.04	0.1404	0.30	0.1954	0.56	0.1097	1.15	0.0513	2.50	0.0151
0.05	0.1715	0.31	0.1974	0.57	0.1080	1.20	0.0474	2.60	0.0148
0.06	0.1819	0.32	0.1953	0.58	0.1060	1.25	0.0447	2.70	0.0141
0.07	0.1941	0.33	0.1875	0.60	0.1032	1.30	0.0414	2.80	0.0131
0.08	0.2223	0.34	0.1739	0.62	0.1018	1.35	0.0386	2.90	0.0120
0.09	0.2227	0.35	0.1585	0.64	0.1016	1.40	0.0367	3.00	0.0112
0.10	0.2073	0.36	0.1554	0.66	0.0993	1.45	0.0354	3.10	0.0104
0.11	0.1796	0.37	0.1550	0.68	0.0978	1.50	0.0349	3.20	0.0098
0.12	0.1919	0.38	0.1523	0.70	0.0951	1.55	0.0333	3.30	0.0094
0.13	0.1946	0.39	0.1485	0.72	0.0912	1.60	0.0317	3.40	0.0089
0.14	0.1943	0.40	0.1457	0.74	0.0865	1.65	0.0307	3.50	0.0085
0.15	0.1937	0.41	0.1440	0.76	0.0811	1.70	0.0294	3.60	0.0081
0.16	0.2009	0.42	0.1401	0.78	0.0773	1.75	0.0289	3.70	0.0078
0.17	0.2101	0.43	0.1339	0.80	0.0739	1.80	0.0284	3.80	0.0076
0.18	0.1990	0.44	0.1318	0.82	0.0717	1.85	0.0278	3.90	0.0074
0.19	0.1918	0.45	0.1309	0.84	0.0707	1.90	0.0271	4.00	0.0071
0.20	0.1841	0.46	0.1284	0.86	0.0707	1.95	0.0259		
0.21	0.1781	0.47	0.1236	0.88	0.0712	2.00	0.0244		
0.22	0.1789	0.48	0.1170	0.90	0.0712	2.05	0.0228		
0.23	0.1822	0.49	0.1141	0.92	0.0707	2.10	0.0211		
0.24	0.1900	0.50	0.1132	0.94	0.0689	2.15	0.0198		
0.25	0.1885	0.51	0.1135	0.96	0.0660	2.20	0.0187		



Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]
0.00	0.0807	0.26	0.1958	0.52	0.1314	0.98	0.0697	2.25	0.0304
0.01	0.0906	0.27	0.1958	0.53	0.1289	1.00	0.0683	2.30	0.0297
0.02	0.1005	0.28	0.1958	0.54	0.1265	1.05	0.0651	2.35	0.0291
0.03	0.1104	0.29	0.1958	0.55	0.1242	1.10	0.0621	2.40	0.0285
0.04	0.1203	0.30	0.1958	0.56	0.1220	1.15	0.0594	2.50	0.0273
0.05	0.1302	0.31	0.1958	0.57	0.1199	1.20	0.0569	2.60	0.0263
0.06	0.1401	0.32	0.1958	0.58	0.1178	1.25	0.0547	2.70	0.0253
0.07	0.1500	0.33	0.1958	0.60	0.1139	1.30	0.0526	2.80	0.0244
0.08	0.1599	0.34	0.1958	0.62	0.1102	1.35	0.0506	2.90	0.0236
0.09	0.1698	0.35	0.1952	0.64	0.1067	1.40	0.0488	3.00	0.0228
0.10	0.1797	0.36	0.1898	0.66	0.1035	1.45	0.0471	3.10	0.0220
0.11	0.1895	0.37	0.1846	0.68	0.1005	1.50	0.0455	3.20	0.0213
0.12	0.1958	0.38	0.1798	0.70	0.0976	1.55	0.0441	3.30	0.0207
0.13	0.1958	0.39	0.1752	0.72	0.0949	1.60	0.0427	3.40	0.0201
0.14	0.1958	0.40	0.1708	0.74	0.0923	1.65	0.0414	3.50	0.0195
0.15	0.1958	0.41	0.1666	0.76	0.0899	1.70	0.0402	3.60	0.0190
0.16	0.1958	0.42	0.1627	0.78	0.0876	1.75	0.0390	3.70	0.0185
0.17	0.1958	0.43	0.1589	0.80	0.0854	1.80	0.0380	3.80	0.0180
0.18	0.1958	0.44	0.1553	0.82	0.0833	1.85	0.0369	3.90	0.0175
0.19	0.1958	0.45	0.1518	0.84	0.0813	1.90	0.0360	4.00	0.0171
0.20	0.1958	0.46	0.1485	0.86	0.0794	1.95	0.0350		

0.21	0.1958	0.47	0.1454	0.88	0.0776	2.00	0.0342		
0.22	0.1958	0.48	0.1423	0.90	0.0759	2.05	0.0333		
0.23	0.1958	0.49	0.1394	0.92	0.0743	2.10	0.0325		
0.24	0.1958	0.50	0.1366	0.94	0.0727	2.15	0.0318		
0.25	0.1958	0.51	0.1340	0.96	0.0712	2.20	0.0311		



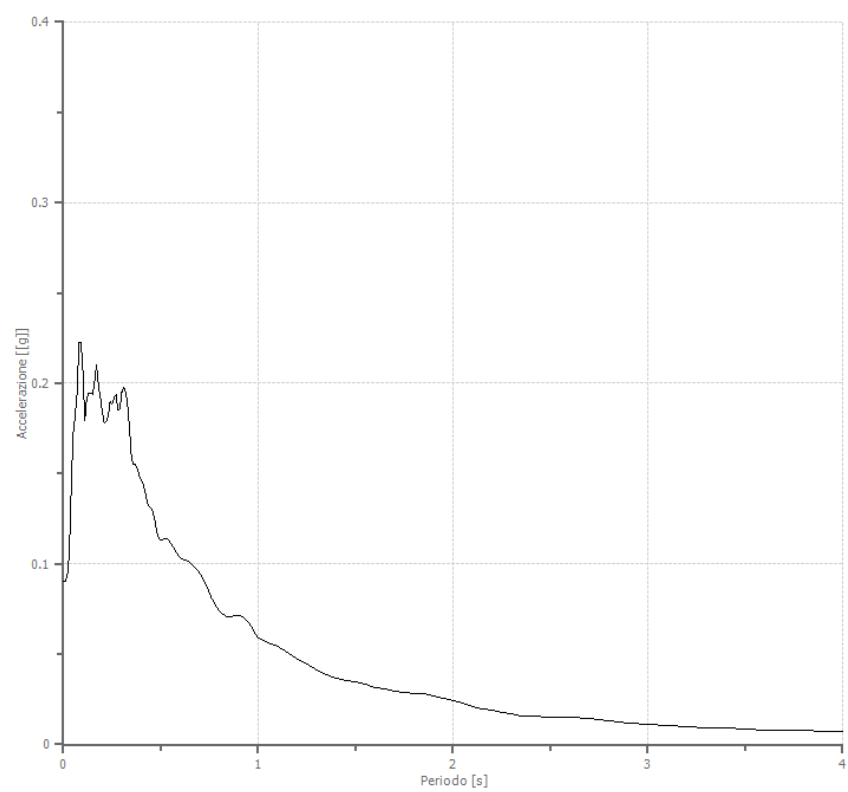
Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.081	2.4259	--	0.116	0.349	1.923	0.081	0.196	1.022

Spettro medio di progetto

Fattore di struttura: 1

Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]
0.00	0.0906	0.26	0.1919	0.52	0.1139	0.98	0.0624	2.25	0.0178
0.01	0.0906	0.27	0.1938	0.53	0.1142	1.00	0.0591	2.30	0.0169
0.02	0.0937	0.28	0.1852	0.54	0.1133	1.05	0.0561	2.35	0.0160
0.03	0.1054	0.29	0.1858	0.55	0.1115	1.10	0.0540	2.40	0.0154
0.04	0.1404	0.30	0.1954	0.56	0.1097	1.15	0.0513	2.50	0.0151
0.05	0.1715	0.31	0.1974	0.57	0.1080	1.20	0.0474	2.60	0.0148
0.06	0.1819	0.32	0.1953	0.58	0.1060	1.25	0.0447	2.70	0.0141
0.07	0.1941	0.33	0.1875	0.60	0.1032	1.30	0.0414	2.80	0.0131
0.08	0.2223	0.34	0.1739	0.62	0.1018	1.35	0.0386	2.90	0.0120
0.09	0.2227	0.35	0.1585	0.64	0.1016	1.40	0.0367	3.00	0.0112
0.10	0.2073	0.36	0.1554	0.66	0.0993	1.45	0.0354	3.10	0.0104
0.11	0.1796	0.37	0.1550	0.68	0.0978	1.50	0.0349	3.20	0.0098
0.12	0.1919	0.38	0.1523	0.70	0.0951	1.55	0.0333	3.30	0.0094
0.13	0.1946	0.39	0.1485	0.72	0.0912	1.60	0.0317	3.40	0.0089
0.14	0.1943	0.40	0.1457	0.74	0.0865	1.65	0.0307	3.50	0.0085
0.15	0.1937	0.41	0.1440	0.76	0.0811	1.70	0.0294	3.60	0.0081
0.16	0.2009	0.42	0.1401	0.78	0.0773	1.75	0.0289	3.70	0.0078
0.17	0.2101	0.43	0.1339	0.80	0.0739	1.80	0.0284	3.80	0.0076
0.18	0.1990	0.44	0.1318	0.82	0.0717	1.85	0.0278	3.90	0.0074
0.19	0.1918	0.45	0.1309	0.84	0.0707	1.90	0.0271	4.00	0.0071
0.20	0.1841	0.46	0.1284	0.86	0.0707	1.95	0.0259		
0.21	0.1781	0.47	0.1236	0.88	0.0712	2.00	0.0244		
0.22	0.1789	0.48	0.1170	0.90	0.0712	2.05	0.0228		
0.23	0.1822	0.49	0.1141	0.92	0.0707	2.10	0.0211		
0.24	0.1900	0.50	0.1132	0.94	0.0689	2.15	0.0198		
0.25	0.1885	0.51	0.1135	0.96	0.0660	2.20	0.0187		

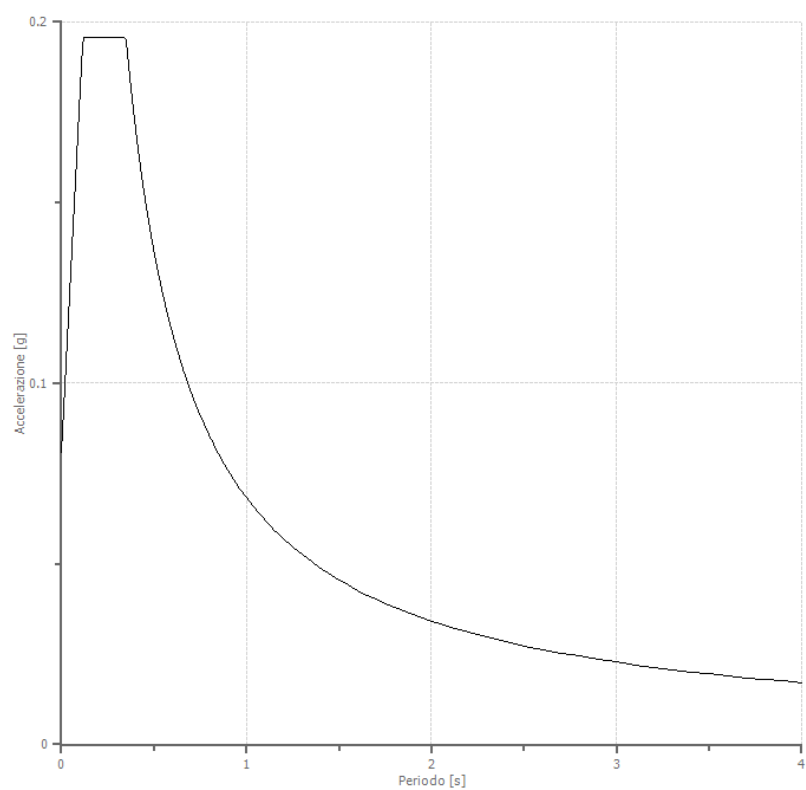


— Spettro medio di progetto

Spettro normalizzato di progetto

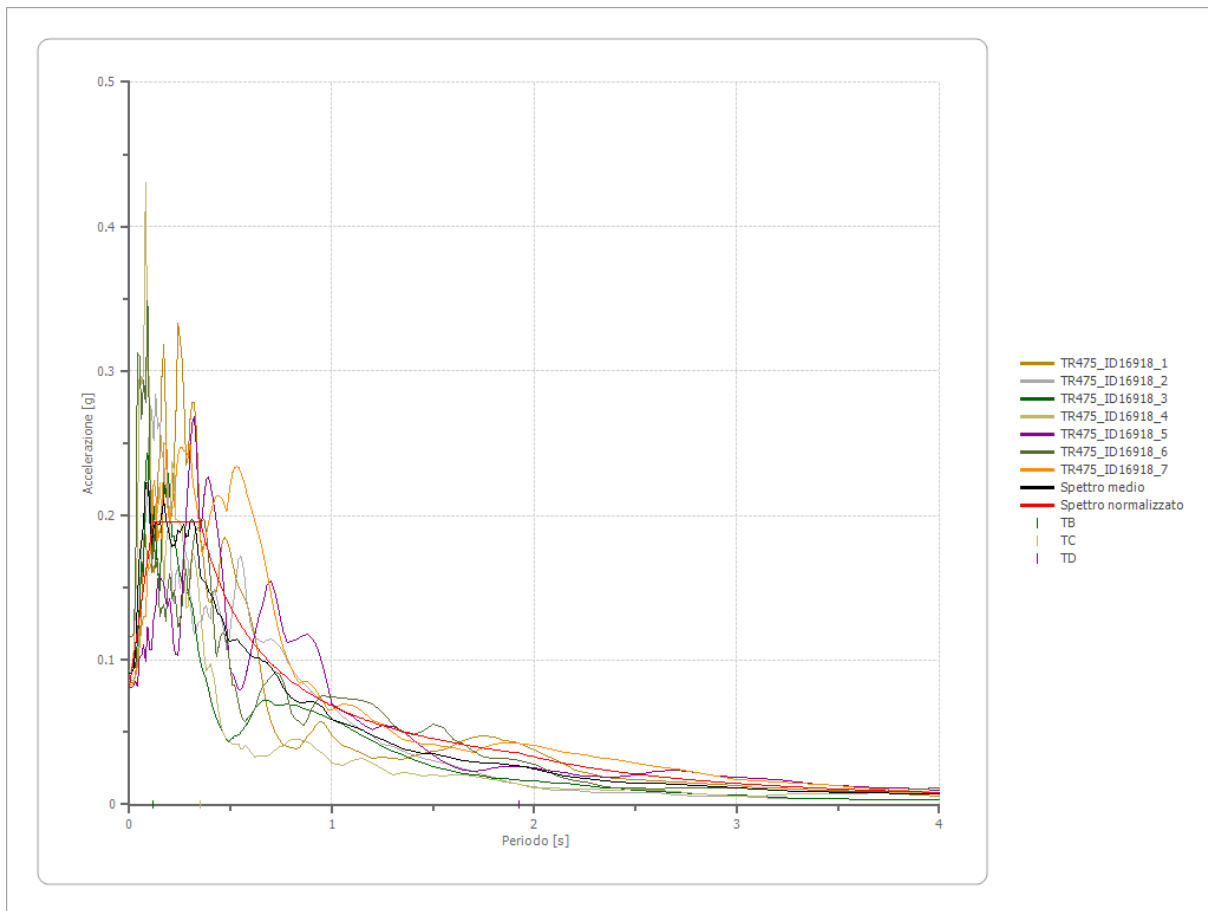
Fattore di struttura: 1

Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]	Periodo [s]	Accelera zione [g]
0.00	0.0807	0.26	0.1958	0.52	0.1314	0.98	0.0697	2.25	0.0304
0.01	0.0906	0.27	0.1958	0.53	0.1289	1.00	0.0683	2.30	0.0297
0.02	0.1005	0.28	0.1958	0.54	0.1265	1.05	0.0651	2.35	0.0291
0.03	0.1104	0.29	0.1958	0.55	0.1242	1.10	0.0621	2.40	0.0285
0.04	0.1203	0.30	0.1958	0.56	0.1220	1.15	0.0594	2.50	0.0273
0.05	0.1302	0.31	0.1958	0.57	0.1199	1.20	0.0569	2.60	0.0263
0.06	0.1401	0.32	0.1958	0.58	0.1178	1.25	0.0547	2.70	0.0253
0.07	0.1500	0.33	0.1958	0.60	0.1139	1.30	0.0526	2.80	0.0244
0.08	0.1599	0.34	0.1958	0.62	0.1102	1.35	0.0506	2.90	0.0236
0.09	0.1698	0.35	0.1952	0.64	0.1067	1.40	0.0488	3.00	0.0228
0.10	0.1797	0.36	0.1898	0.66	0.1035	1.45	0.0471	3.10	0.0220
0.11	0.1895	0.37	0.1846	0.68	0.1005	1.50	0.0455	3.20	0.0213
0.12	0.1958	0.38	0.1798	0.70	0.0976	1.55	0.0441	3.30	0.0207
0.13	0.1958	0.39	0.1752	0.72	0.0949	1.60	0.0427	3.40	0.0201
0.14	0.1958	0.40	0.1708	0.74	0.0923	1.65	0.0414	3.50	0.0195
0.15	0.1958	0.41	0.1666	0.76	0.0899	1.70	0.0402	3.60	0.0190
0.16	0.1958	0.42	0.1627	0.78	0.0876	1.75	0.0390	3.70	0.0185
0.17	0.1958	0.43	0.1589	0.80	0.0854	1.80	0.0380	3.80	0.0180
0.18	0.1958	0.44	0.1553	0.82	0.0833	1.85	0.0369	3.90	0.0175
0.19	0.1958	0.45	0.1518	0.84	0.0813	1.90	0.0360	4.00	0.0171
0.20	0.1958	0.46	0.1485	0.86	0.0794	1.95	0.0350		
0.21	0.1958	0.47	0.1454	0.88	0.0776	2.00	0.0342		
0.22	0.1958	0.48	0.1423	0.90	0.0759	2.05	0.0333		
0.23	0.1958	0.49	0.1394	0.92	0.0743	2.10	0.0325		
0.24	0.1958	0.50	0.1366	0.94	0.0727	2.15	0.0318		
0.25	0.1958	0.51	0.1340	0.96	0.0712	2.20	0.0311		



— Spettro normalizzato di progetto

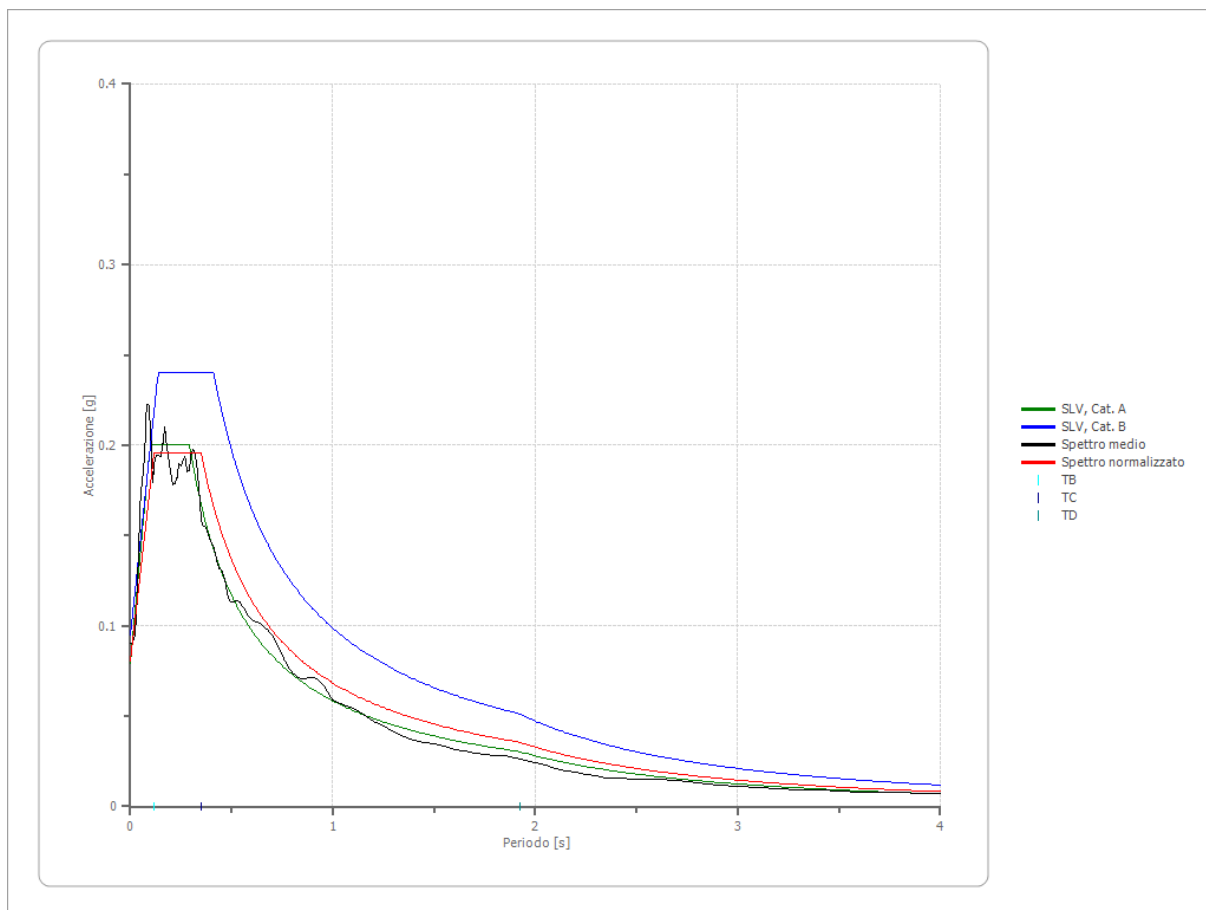
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di progetto

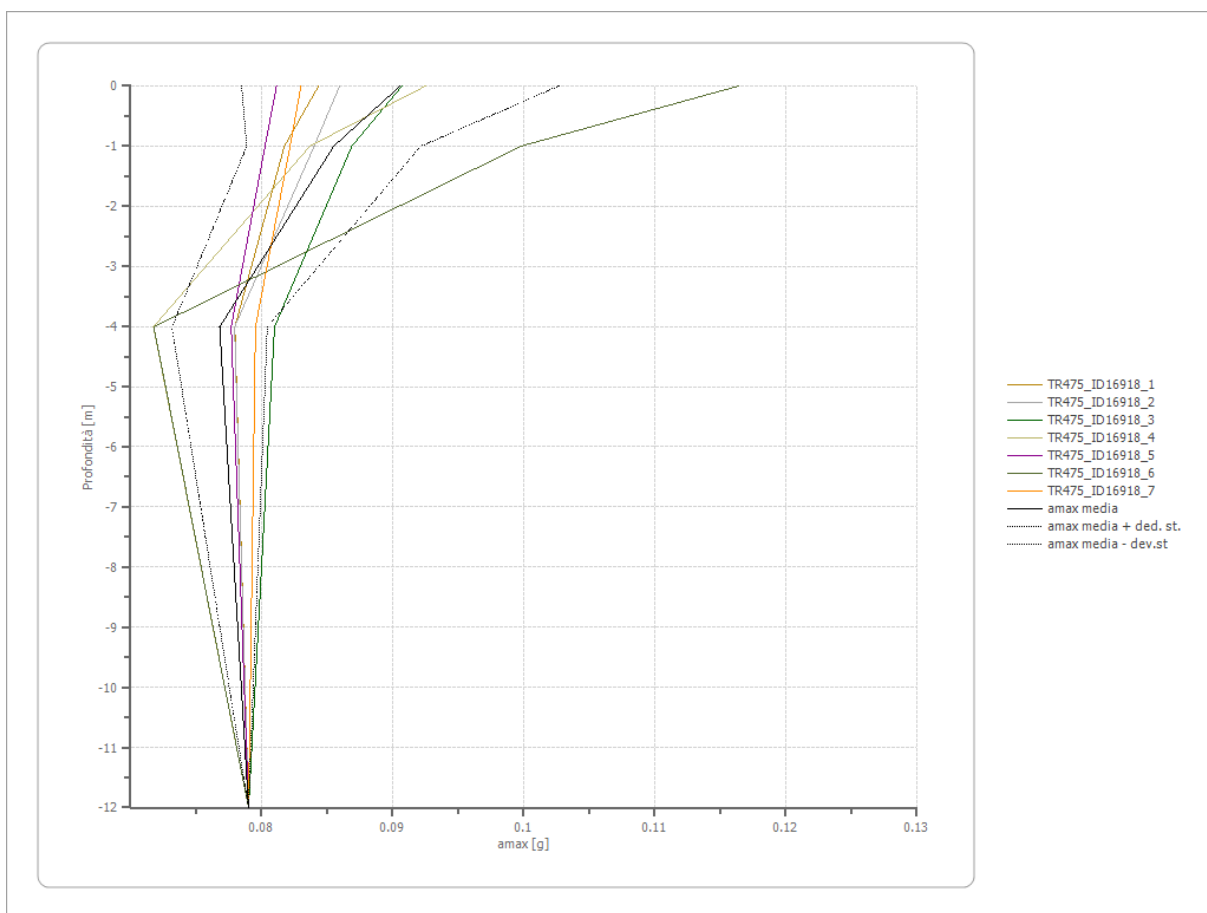
	Operativit à SLO Cat. A	Danno SLD Cat. A	Salvaguar dia vita SLV Cat. A	Prev. collasso SLC Cat. A	Operativit à SLO Cat. B	Danno SLD Cat. B	Salvaguar dia vita SLV Cat. B	Prev. collasso SLC Cat. B
Tr [anni]	45	75	712	1462	45	75	712	1462
ag [g]	0.028	0.035	0.079	0.101	0.028	0.035	0.079	0.101
Fo	2.529	2.545	2.533	2.527	2.529	2.545	2.533	2.527
Tc* [s]	0.202	0.224	0.292	0.301	0.202	0.224	0.292	0.301
Ss	1.00	1.00	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20
St	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.00	1.00	1.00	1.00	1.51	1.48	1.41	1.40
TB [s]	0.067	0.075	0.097	0.100	0.102	0.111	0.137	0.140
TC [s]	0.202	0.224	0.292	0.301	0.306	0.332	0.411	0.421
TD [s]	1.712	1.740	1.916	2.004	1.712	1.740	1.916	2.004
Se(0) [g]	0.028	0.035	0.079	0.101	0.034	0.042	0.095	0.121
Se(TB) [g]	0.071	0.089	0.200	0.255	0.085	0.107	0.240	0.306



Si fa notare che, lo spettro di normativa (per un suolo di categoria B “in blu sul grafico”), è più conservativo rispetto allo spettro normalizzato risultante dalle analisi di risposta sismica locale effettuata con accelerogrammi reali (“in rosso sul grafico”), pertanto, si può affermare che, **gli spettri di normativa sovrastimano le accelerazioni attese sul sito in esame**

Profilo a max

	0.0 [m]	1.0 [m]	4.0 [m]	12.0 [m]
TR475_ID16918_1 [g]	0.084	0.082	0.078	0.079
TR475_ID16918_2 [g]	0.086	0.084	0.078	0.079
TR475_ID16918_3 [g]	0.091	0.087	0.081	0.079
TR475_ID16918_4 [g]	0.093	0.084	0.072	0.079
TR475_ID16918_5 [g]	0.081	0.080	0.078	0.079
TR475_ID16918_6 [g]	0.116	0.100	0.072	0.079
TR475_ID16918_7 [g]	0.083	0.082	0.080	0.079
media [g]	0.091	0.086	0.077	0.079
Dev. St. [g]	0.012	0.007	0.004	0.000



Spettro verticale di progetto

Ag [g]	F0	Tc*	Fv	q	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.081	2.426	0.150	0.930	1.5	0.050	0.150	1.000	0.031	0.050

