

CENTRALE DI STOCCAGGIO GAS DI MINERBIO (BO)

INSTALLAZIONE UNITA' ELCO-EC8



Opere elettriche accessorie


Relazione geologica, sismica e geotecnica

Saipem S.p.A
Sede legale: Via L. Russo, 5 MILANO
Sede operativa di Fano
Via Tonitolo, 1
61032 FANO (PU)
P.Iva: 00825790157

saipem spa
Dot. Ing. V. Proietti
Sede Operativa: Via F.lli Rossini al n. 77B
Tel. 0721.168274 Fax 0721.1682500
C.F. e P.I. 00825790157

SAIPEM SPA
Dr. Geol. Federico Cervi
Iscritto all'Ordine dei Geologi Regione Emilia-Romagna n. 1477/Ab. Sezione A
Tel. 0721 1686391 C.f. e P.I. 00825790157

EX-DE	01	05/05/2023	Emissione per Enti	Rocchetti	Cervi	Ambrosini	STOGIT
EX-DE	00	14/12/2022	Emissione per Enti	Rocchetti	Cervi	Ambrosini	STOGIT
Stato di Validità	Numero Rev.	Data	Descrizione	Preparato	Verificato	Approvato	Approvato Committente
Indice di revisione							
Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT				Nome del Progetto Installazione Unità ELCO-EC8 Opere elettriche accessorie		Identificativo Committente 016708DFLB14200 Commessa N. NQ/S21030/I01	
Logo e Denominazione Commerciale Progettista  SAIPEM						Identificativo Progettista 08-BG-E-94801 Commessa N. 023119	
Logo e Denominazione Commerciale Fornitore						Codice Fornitore n.a. Ordine N n.a.	
Nome Infrastruttura Centrale di Stoccaggio Gas			Ubicazione Minerbio (BO)		Scala n.a.	Foglio di Fogli 1 / 50	
Titolo Documento Relazione geologica, sismica e geotecnica					Sostituisce il N. Sostituito dal N.		
					Area Impianto n.a.	Unità di Impianto	

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 2 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

INDICE

1	INTRODUZIONE	3
1.1	Riferimenti Normativi	4
1.2	Scopo del documento.....	5
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO GENERALE	6
2.1	Geologia.....	6
2.2	Lineamenti geologico strutturali	10
2.3	Lineamenti geomorfologici.....	11
2.5	Piano Assetto Idrogeologico - Piano Gestione Rischio Alluvioni ..	14
3	CARATTERISTICHE DELL'AREA DI INTERVENTO	15
3.1	Descrizione del sito	15
3.2	Campagna geognostica	16
3.3	Interpretazione delle prove in situ.....	17
3.4	Rappresentazione stratigrafica	18
3.5	Falda acquifera	19
4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA	20
4.1	Classificazione sismica	20
4.2	Pericolosità sismica di base	21
4.3	Risposta sismica locale (metodo semplificato)	24
4.4	Risposta Sismica Locale di 3 ^a Livello	29
4.5	Valutazione del potenziale di liquefazione	36
5	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E FATTIBILITA' GEOLOGICA	44
6	INDICAZIONI SULLE FONDAZIONI	46
6.1	Generalità	46
6.2	Modello geotecnico e parametri caratteristici del terreno	46
6.3	Caratteristiche tipologiche delle fondazioni.....	47


Allegato 1: TECNO.IN S.p.A. - San Donato Milanese (MI):

Indagine geognostica ed indagine geofisica, Novembre 2022

Allegato 2: LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI – Mombaroccio (PU)

Prove di laboratorio geotecnico

Allegato 3: Metodologia e calcoli di Risposta Sismica Locale di III livello (software "RSL III di Geostru").

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 3 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

1 INTRODUZIONE


La presente relazione rappresenta le risultanze dell'indagine geologica e sismica eseguita su incarico della società STOGIT – Stoccaggi Gas Italia S.p.A. finalizzata al progetto per *l'Installazione dell'Unità ELCO-EC8 – Opere elettriche accessorie per la Centrale di Stoccaggio Gas di Minerbio.*

L'area sulla quale ricade l'impianto è ubicata nel Comune di Minerbio (BO), sul margine sud-occidentale dell'Area Produttiva Prato Grande, circa 3.6 km a ENE del capoluogo, 1.4 km a SE dell'abitato di Baricella e, altimetricamente, si trova ad una quota di circa 9 m s.l.m..

Le coordinate del sito, nei principali sistemi geografici, sono le seguenti:

Tabella 1-1: Coordinate del sito nei principali sistemi di riferimento geografici

	Latitudine (°)	Longitudine (°)		Latitudine (°)	Longitudine (°)
WGS84	44.631959	11.540509	ED50	44.632893	11.541500

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 4 / 50
			Stato di Validità EX-DE	N. Rev. 01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

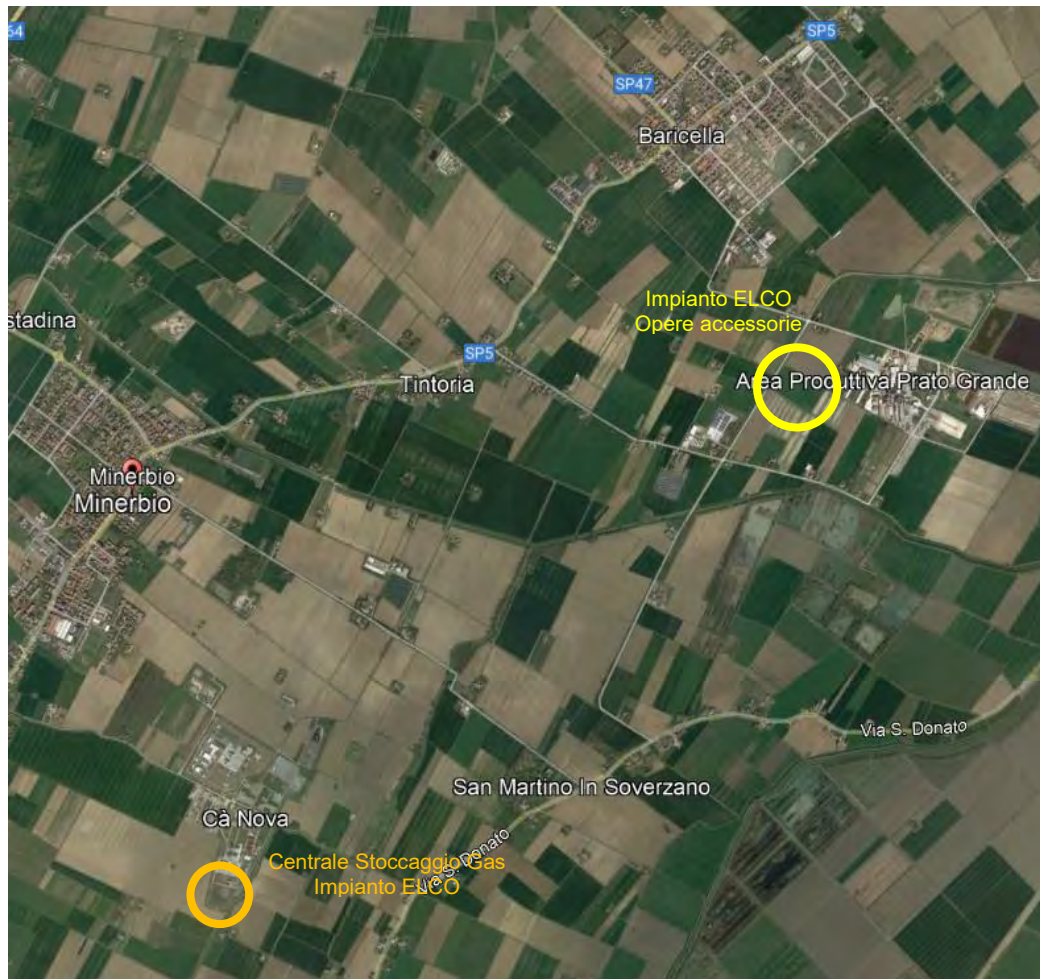



Figura 1-1: Immagine satellitare (Google Earth)

1.1 Riferimenti Normativi

Il progetto di cui alla presente relazione è redatto in conformità alle disposizioni delle Norme Tecniche per le costruzioni (di seguito “NTC”), emesse con Decreto Ministro delle Infrastrutture del 17 gennaio 2018, di concerto con il Ministro dell'interno e con il Capo del Dipartimento della Protezione Civile, ai sensi delle Leggi 05/11/1971, n. 1086, e 02/02/1974, n. 64, così come riunite nel “Testo Unico per l’Edilizia” di cui al D.P.R. 06/06/2001, n. 380, e dell’art. 5 del Decreto legge 28/05/2004, n. 136, convertito in legge, con modificazioni, dall’art. 1 della legge 27/07/2004, n. 186 e ss. mm. ii.; è inoltre redatto in conformità alle seguenti disposizioni di legge:

- *Circolare del Ministero dei lavori Pubblici, n. 3797 (Pres. Cons. Superiore-Servizio Tecnico Centrale, 6 novembre 1967)*
Istruzioni per il progetto, esecuzione e collaudo delle fondazioni;

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 5 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate


- *Circolare 21/01/2019, n. 7 del Ministero delle infrastrutture e trasporti*

Istruzioni per l'applicazione dell'aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 17/01/2018.

1.2 Scopo del documento

Lo scopo della presente relazione è di fornire una caratterizzazione geologica, geomorfologica e sismica del sito nel quale si prevede l'*Installazione dell'Unità ELCO-EC8 – Opere elettriche accessorie per la Centrale di Stoccaggio Gas di Minerbio*.

Il modello geologico, geotecnico e sismico sarà sviluppato sulla base dei dati disponibili in letteratura e considerando i risultati provenienti dalla campagna geognostica e dai rilievi geologici e geomorfologici di dettaglio eseguiti nell'area di intervento.

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 6 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO GENERALE

2.1 Geologia

I terreni che affiorano nell'area di studio sono costituiti da formazioni di origine alluvionale e fluvio-glaciale di età quaternaria. Con riferimento alla cartografia ufficiale (Carta Geologica d'Italia, scala 1:100000, F° 88 "Imola"), affiorano depositi alluvionali di età olocenica, a granulometria prevalentemente limosa, con subordinate lenti e livelli sabbiosi (a4, Alluvione di pianura) sormontati da terreni di bonifica.

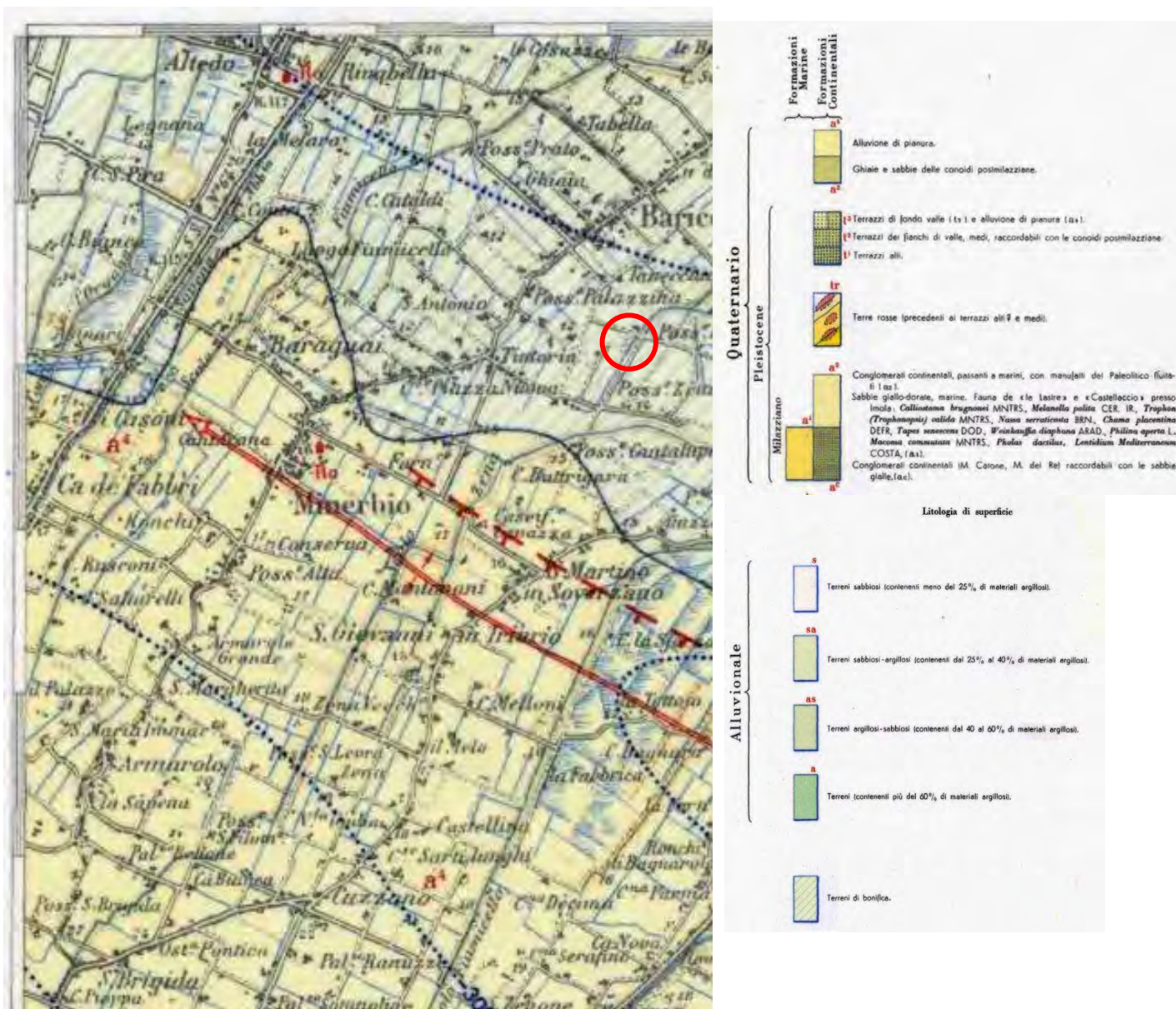



Figura 2-1: Stralcio non in scala Carta Geologica d'Italia F° 88 "Imola"

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 7 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate


La struttura geologica della pianura padana emiliano romagnola e l'architettura deposizionale dei sedimenti plio-quadernari che la costituiscono sono state ricostruite recentemente nell'ambito del lavoro realizzato in collaborazione tra Regione Emilia Romagna ed AGIP ("Riserve Idriche Sotterranee della Regione Emilia Romagna", 1998) utilizzando dati di pozzi profondi e interpretazioni di profili sismici correlati alle successioni stratigrafiche affioranti sul margine appenninico e già oggetto in passato di studi dettagliati (Ricci Lucchi et Al., 1982).

In base a tale ricostruzione, al di sopra dei sedimenti pliocenici di ambiente marino i depositi quadernari sono suddivisibili in due unità o cicli principali: quello del Quadernario marino (Pleistocene inferiore e medio) e quello del Quadernario continentale (Pleistocene medio - Olocene) denominato anche Supersistema Emiliano-Romagnolo. Questo a sua volta è scomponibile in due unità: Sistema Emiliano Romagnolo Inferiore e Sistema Emiliano Romagnolo Superiore.

Relativamente ai depositi continentali che costituiscono la porzione sommitale della successione sedimentaria della pianura padana le informazioni sono di maggior dettaglio data la quantità di indagini sia dirette che indirette realizzate per scopi diversi (pozzi per acqua, sondaggi geognostici, prove penetrometriche). Questi dati la cui raccolta e aggiornamento sono in fase di realizzazione da parte dell'Ufficio Geologico Regionale (Banca Dati Geognostici) sono stati utilizzati per ricostruzioni dettagliate della stratigrafia del primo sottosuolo.

Lo spessore dei depositi continentali è di 300-400 m nella porzione meridionale dell'area di studio e diminuisce gradualmente verso nord. La loro natura e geometria è regolata principalmente da fattori fisiografici (orografia del margine appenninico), climatici ed eustatici, ma anche da fattori strutturali. La tettonica quadernaria, ben documentata al margine meridionale del bacino padano (lineamento pedeappenninico) e di carattere prevalentemente compressivo, con una componente minore di trascorrenza, ha infatti condizionato la geometria del bacino e l'andamento del reticolo idrografico.

La successione del quadernario continentale è costituita da corpi prevalentemente ghiaioso-sabbiosi con subordinati livelli pelitici nella parte meridionale dell'area di indagine, dove costituiscono i depositi di conoide costruiti al loro sbocco in pianura dai corsi d'acqua appenninici (F. Reno e F. Savena), e da prevalenti depositi pelitici con subordinati livelli

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 8 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate


sabbiosi nella parte più settentrionale (depositi di canale e argine fluviale e di bacino interfluviale della bassa pianura).

In queste successioni è possibile riconoscere un'organizzazione ciclica secondo più ordini gerarchici le cui unità elementari sono costituite da coppie di livelli grossolani (ghiaioso-sabbiosi) e fini (limoso-argillosi). Possono così essere individuate delle "sequenze" (coppie di orizzonti grossolano/fine) che si sovrappongono a formare delle "megasequenze".

Nell'area del bolognese sono state individuate due megasequenze all'interno del quaternario continentale, corrispondenti ai due Sintemi Emiliano Romagnolo Inferiore ed Emiliano Romagnolo Superiore di Regione Emilia-Romagna, AGIP (1998). Le due megasequenze, denominate rispettivamente Unità Alluvionale Inferiore e Unità di Borgo Panigale, sono separate tra loro da un orizzonte pelitico di spessore rilevante denominato Unità di Fossolo.

Questo livello è tracciabile con continuità nell'area della pianura bolognese e costituisce un orizzonte di estensione regionale essendo stato riconosciuto anche in altri settori della pianura emiliano-romagnola. Nell'area di interesse di questo studio l'Unità di Fossolo è ubicata ad una profondità di 120-140 m ed ha uno spessore variabile da 20 a 30 m. Litologicamente è costituita da prevalenti limi e argille, con subordinate e discontinue intercalazioni di livelli sabbiosi e ghiaiosi. L'Unità Alluvionale Inferiore sottostante all'Unità di Fossolo è costituita da almeno due sequenze principali, ma a causa della carenza di dati nella parte più profonda non è possibile una sua completa caratterizzazione litologica e stratigrafica. Nell'area della conoide del Reno essa ha comunque uno spessore di almeno 200 m ed è rappresentata nella sua parte superiore da una sequenza dello spessore di 100-120 m a carattere prevalentemente ghiaioso (rapporto grossolano/fine pari a 3/1) con alla base un orizzonte pelitico di spessore paragonabile a quello dell'Unità di Fossolo.

La megasequenza superiore, ubicata al di sopra dell'Unità di Fossolo, prende il nome di Unità di Borgo Panigale e rappresenta la porzione di successione stratigrafica più superficiale e di conseguenza meglio conosciuta nell'ambito della successione quaternaria continentale della pianura bolognese. Essa ha uno spessore complessivo di 120-140 m ed è suddivisibile in quattro sequenze o cicli dello spessore di 30-40 m l'uno, costituiti alla base da sedimenti grossolani ghiaioso sabbiosi e nella parte superiore da litotipi limoso-argillosi. Le porzioni fini di questi cicli hanno uno spessore di almeno 5-10 m e sono caratterizzate da una significativa continuità laterale. A loro volta questi cicli sono scomponibili in cicli a

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 9 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate


scala inferiore composti da coppie grossolano-fine dello spessore di 10-15 m. Questi cicli a piccola scala costituiscono le unità elementari della successione quaternaria alluvionale ma la loro correlazione su aree vaste è problematica, specie allontanandosi dai corsi d'acqua principali e dalla zona pedecollinare a causa del progressivo assottigliamento o scomparsa dei corpi grossolani. Tali cicli hanno quindi probabilmente un carattere locale rispondendo alla dinamica dei corsi d'acqua che li hanno generati (autocicli) e non a variazioni climatico-eustatiche o tettoniche a scala globale come quelle che determinano i cicli di rango superiore.

I rapporti percentuali tra litotipi grossolani (ghiaioso-sabbiosi) e fini (limoso-argillosi) all'interno dei cicli sopradescritti sono piuttosto variabili in funzione dell'ambiente deposizionale nel quale i sedimenti si sono formati. Le variazioni avvengono sia in direzione N-S che E-O. In senso N-S si riscontra una progressiva diminuzione dei litotipi grossolani spostandosi verso nord e cioè allontanandosi dall'area delle conoidi pedeappenniniche. In senso E-O le granulometrie variano in funzione della distanza dagli assi dei principali apparati distributori, coincidenti con gli alvei dei corsi d'acqua principali lungo i quali si sono depositati i sedimenti più grossolani.

Nell'area della pianura bolognese il principale apparato distributore è quello del fiume Reno, che ha dato vita a successioni prevalentemente ghiaioso-sabbiose nelle quali le parti grossolane dei cicli sopradescritti sono spesso tra loro coalescenti. Un ruolo secondario e marginale è svolto invece dalla conoide del torrente Savena, alla periferia est di Bologna, che è caratterizzata da un rapporto grossolano/fine nettamente inferiore rispetto alla conoide del Reno.

L'area intermedia tra le due zone suddette, corrispondente alla fascia comprendente il centro storico di Bologna e la sua periferia nord (zona Corticella), costituisce invece un'area di interconoide dove corsi d'acqua secondari hanno dato origine a depositi a granulometria più fine (limoso-sabbiosi).

In generale l'area di studio nella sua porzione meridionale abbraccia una fascia a cavallo tra la conoide del Reno e l'area di interconoide ad est di questa. La parte più strettamente d'interesse ricade invece al di fuori della zona di influenza delle conoidi ed è caratterizzata da sequenze prevalentemente limoso-argillose e subordinatamente sabbiose depositate in ambiente di piana alluvionale (canale e argine fluviale e bacino interfluviale).

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 10 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

2.2 Lineamenti geologico strutturali


L'area oggetto di studio si colloca nella zona di passaggio tra alta e bassa pianura bolognese. Dal punto di vista dell'assetto geologico-strutturale l'area, a dispetto delle morfologie pianeggianti che la caratterizzano, fa parte a tutti gli effetti della catena appenninica e in particolare della porzione più esterna dell'Appennino settentrionale costituito dal sistema strutturale sepolto della Pianura Padana. Questa zona è caratterizzata dalla presenza di ingenti spessori di sedimenti plio-quadernari depositatisi al di sopra di un substrato miocenico fortemente tettonizzato.

Le strutture sepolte, messe in evidenza da perforazioni profonde e sezioni sismiche realizzate dall'AGIP a scopo di ricerca petrolifera, sono costituite da una serie di fronti di accavallamento caratterizzati da marcate anticlinali di rampa frontale con assi di direzione appenninica (ONO-ESE) e piani di sovrascorrimento a basso e medio angolo del tutto analoghe a quelle che caratterizzano, più a sud, la porzione affiorante di Appennino emiliano-romagnolo. La tettonica che ha prodotto tali strutture, di età pliocenica e, in misura minore, quaternaria, ha generato due sistemi principali di pieghe sepolte: Pieghe Romagnole, più a sud, e Pieghe Ferraresi, più a nord, la cui messa in posto è attribuibile rispettivamente al Pliocene inferiore e Pliocene medio.

Mentre le strutture delle Pieghe Ferraresi possono considerarsi praticamente disattivate a partire dal Pliocene superiore, quelle delle Pieghe Romagnole mostrano indizi di attività anche nel quaternario. I movimenti riguardano in particolare il lineamento pedeappenninico, che lungo il margine meridionale della pianura emiliano-romagnola separa l'Appennino emerso da quello sepolto al di sotto dei sedimenti della pianura. Questa fascia durante tutto il quaternario ha separato la porzione di catena in sollevamento, a sud, da quella padana caratterizzata da un forte affossamento.

Dal punto di vista geodinamico l'area si configura quindi come una zona di avanfossa fortemente subsidente per subduzione di crosta continentale al di sotto della porzione di catena tuttora in sollevamento più a sud.

Lo spessore dei sedimenti accumulatisi nella pianura padana emiliana durante il plio-pleistocene raggiunge un massimo di 8000 m nelle aree di sinclinale comprese tra le anticlinali di rampa frontale. Sulla verticale dell'area di studio la situazione appare abbastanza articolata essendo la zona situata in prossimità di uno svincolo tettonico tra diversi fronti di accavallamento: lo spessore totale appare maggiore nella parte settentrionale dell'area (6-7 km) e più ridotta nel settore meridionale (3-4 km).

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 11 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

2.3 Lineamenti geomorfologici

Nelle aree di pianura alluvionale esiste una stretta correlazione tra morfologie e litologie di superficie, essendo entrambe queste componenti direttamente determinate dalla dinamica fluviale responsabile dei processi deposizionali attivi nell'area attualmente ed in tempi storici. Per questo motivo alle unità litologiche descritte nel paragrafo relativo alla geologia di superficie corrispondono altrettanti ambiti morfologici. Nell'area di indagine, che nel suo complesso è collocata a cavallo tra alta pianura, o fascia delle conoidi, e bassa pianura, o pianura inondabile, si possono così distinguere tre differenti ambiti morfologici: conoide, argine naturale e bacino interfluviale.

L'ambito di conoide, che corrisponde alla zona di alta pianura, è costituito dai grandi apparati distributori costruiti dai principali fiumi appenninici al loro sbocco in pianura. Questo ambito morfologico è rappresentato nella porzione sud-occidentale dell'area di studio dove costituisce la parte distale della conoide del Reno. Queste aree sono caratterizzate da una superficie piano-convessa degradante verso NNE con pendenze di 0.3 - 0.5 % e comunque superiori rispetto alle aree di bassa pianura più a nord.


Le aree di argine naturale costituiscono, nel contesto della bassa pianura, dei dossi a profilo convesso leggermente rialzati (2-3 m) rispetto alle aree circostanti, con pendenze medie dell'ordine del 0.2-0.3 % e con asse corrispondente ai tracciati attuali o passati (paleoalvei) dei corsi d'acqua principali. Date le caratteristiche del reticolo idrografico nella pianura bolognese i dossi sono allungati in direzione da N-S a NNE-SSO.

Infine, le aree di bacino interfluviale costituiscono le zone più depresse all'interno della bassa pianura interposte tra le aree di argine naturale e di conseguenza hanno la stessa orientazione di queste ultime. Le pendenze nelle aree di bacino interfluviale sono comprese tra 0.1 e 0.2 %.

L'area di studio si sviluppa principalmente in ambito di bacino interfluviale.

Dalle linee di colmo (aree a maggiore elevazione topografica) dei sistemi di argine naturale, si dipartono linee di colmo minori prodotte da fenomeni di rotta con avulsione del tronco fluviale a valle o da opere di canalizzazione artificiale e ventagli di rotta derivanti dalla dispersione radiale del sedimento in seguito a fenomeni di rotta fluviale.

I processi geomorfici, dovuti alla dinamica fluviale, che hanno regolato la distribuzione areale degli ambiti morfologici sopradescritti possono essere considerati allo stato attuale

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 12 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

praticamente inattivi, dato che le opere di regimazione fluviale hanno prodotto una pressoché totale artificialità del reticolo idrografico riducendo in modo drastico i processi naturali di erosione, deposizione, alluvionamento. Si può quindi affermare che nell'area di studio non sono presenti processi geomorfici attivi di entità rilevante.

Le aree di argine naturale e di bacino interfluviale descritte qui sopra pur se appartenente alla cosiddetta piana inondabile sono caratterizzate da gradienti topografici sufficienti a permettere un normale deflusso delle acque. Le aree con difficoltà di drenaggio dovute alla presenza di depressioni topografiche sono collocate più a est, al di fuori della zona di indagine, e corrispondono alle zone sede di valli e paludi prima degli interventi di bonifica.

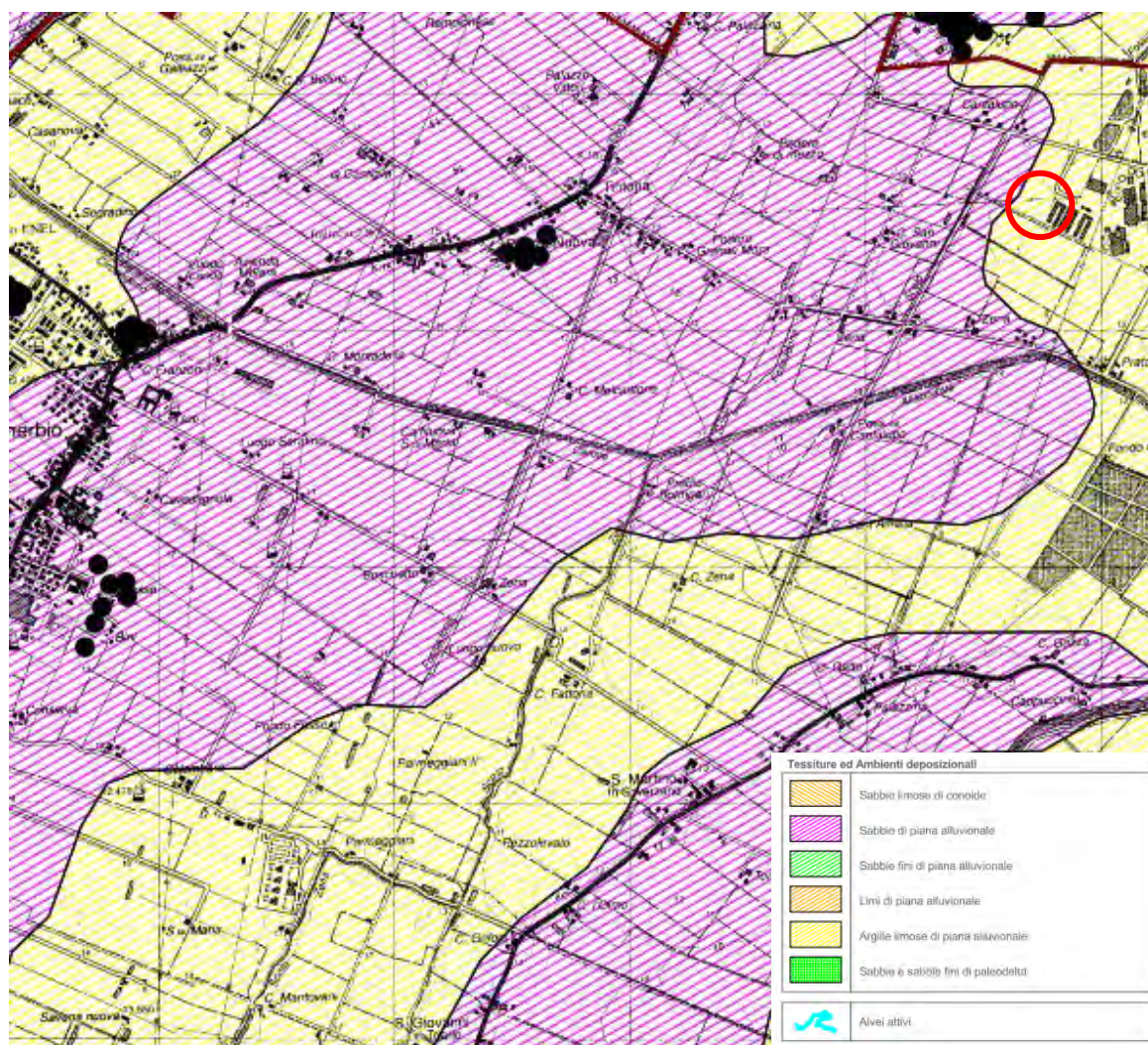




Figura 2-2: Stralcio non in scala Carta litologico-morfologica PSC Reno-Galliera-Terre di Pianura

Logo e Denominazione Commerciale Committente	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista	Indice Rev.		Foglio di Fogli
			Stato di Validità	N. Rev.	
			 STOGIT	016708DFLB14200	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 14 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	


Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

2.5 Piano Assetto Idrogeologico - Piano Gestione Rischio Alluvioni

In base alla Carta di Area Vasta del Rischio Idraulico, Rischio da Frana e dell'Assetto dei Versanti, allegata al Piano Territoriale Metropolitan (PTM) della Città Metropolitana di Bologna il sito ricade in un'area con scenario di Pericolosità Idraulica (PGRA) P2 derivato dal Reticolo Naturale Principale e dal Reticolo Secondario di Pianura (RP+RSP).



Figura 2-3: Stralcio non in scala della Carta di Area Vasta del Rischio Idraulico

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 15 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

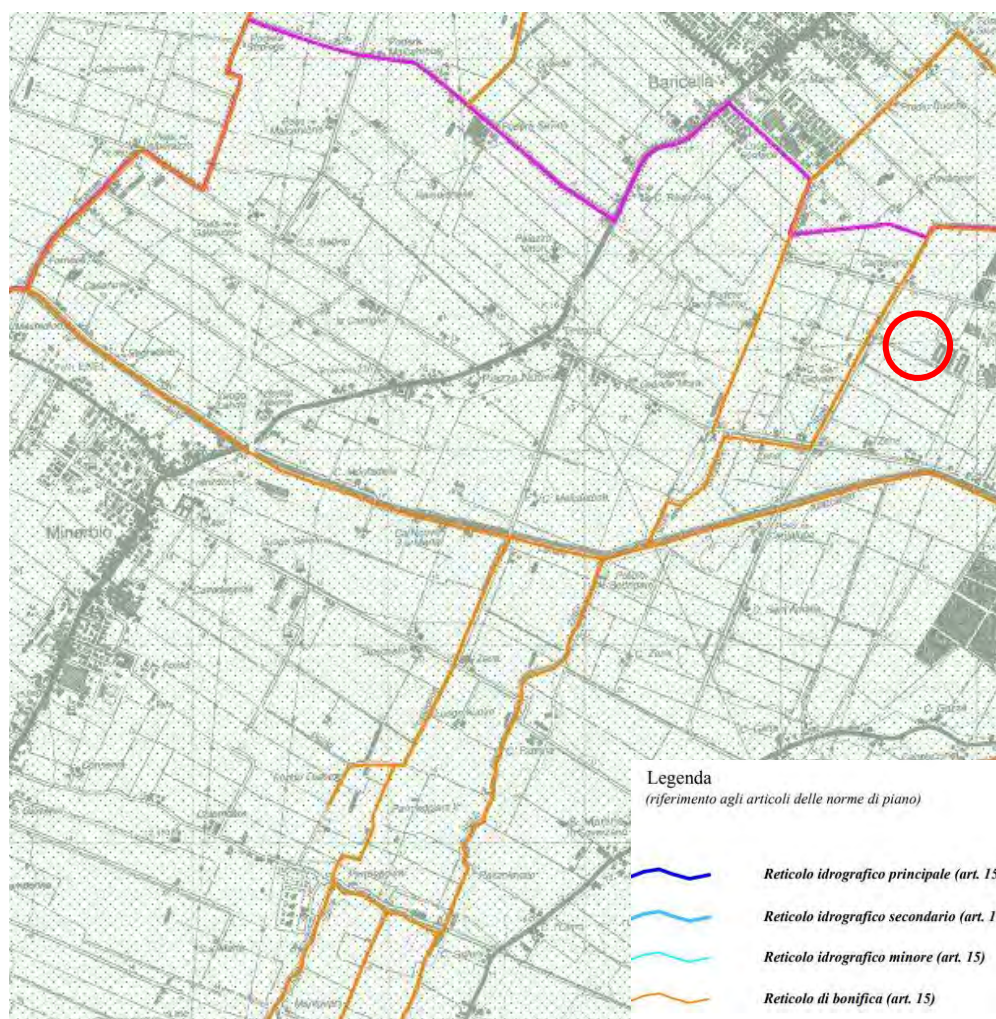
3 CARATTERISTICHE DELL'AREA DI INTERVENTO


3.1 Descrizione del sito

L'area dell'impianto in progetto insiste su terreni pianeggianti riconducibili a terreni di bonifica poggianti su depositi alluvionali a granulometria fine del fiume Reno (a4 – Alluvione di Pianura).

In relazione all'andamento morfologico locale pianeggiante ed all'assenza di terreni con significativi valori di acclività, è possibile affermare che l'area di sedime dell'impianto presenta sicuri caratteri di stabilità non esistendo, allo stato attuale, i presupposti per l'innescò di spinte gravitative e/o tangenziali.

Per quanto riguarda l'idrografia superficiale del sito, va evidenziato che il reticolo idrografico è costituito da una serie di canali e fossetti, talora arginati, tipici delle zone di bonifica.



Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 16 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

Figura 3-1: Stralcio non in scala della Carta Rischio Idraulico e Assetto Rete Idrografica dell'Autorità di Bacino del Reno (P.A.I.)

Nello specifico, circa 250 m a sud dell'area in oggetto, scorre lo "Scolo Zena". Il canale artificiale, con sponde di circa 2.5 m di altezza, non evidenzia particolari segni di fenomeni di erosione in atto né esistono i presupposti per una loro formazione, in relazione alla trascurabile velocità del flusso idrico; per questo è possibile escludere interferenze dirette da parte del corso d'acqua con l'area del futuro impianto in concomitanza di eventi di piena anche se non si possono escludere fenomeni di esondazione seppure con battenti idrici limitati.

3.2 Campagna geognostica

Al fine di definire la natura litologica e le caratteristiche geotecniche dei terreni presenti nell'area in esame, la Ditta TECNO.IN S.p.A. di San Donato Milanese (MI) ha eseguito un'indagine consistente in:


- n. 4 sondaggi geognostici a rotazione a carotaggio continuo, nel periodo di novembre 2022, spinti fino alla profondità di 20 m dal piano campagna e identificati in planimetria con la sigla SG01-SG04; i sondaggi SG01 e SG04 sono stati attrezzati con tubo piezometrico;

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi geognostici si è provveduto a:

- rilevare la stratigrafia mediante il riconoscimento litologico macroscopico dei terreni attraversati;
- eseguire prove di consistenza speditive con Pocket Penetrometer sulle carote estratte dagli strati coesivi;
- prelevare campioni indisturbati, con campionatore a infissione a pareti sottili (Shelby);
- eseguire prove SPT in corrispondenza degli strati granulari non coesivi con conservazione del materiale e/o prelievo di campione rimaneggiato.

I risultati dell'indagine geognostica sono riportati nell'Allegato 1

I campioni di terreno prelevati nel corso dell'indagine sono stati trasportati presso il Laboratorio Geomeccanico Orazi di Mombaroccio (PU) ove sono state eseguite prove geotecniche di classificazione fisico-volumetrica e meccaniche per la determinazione delle caratteristiche di compressibilità e di resistenza al taglio in termini di tensioni totali. I risultati delle prove di laboratorio geotecnico sono riportati nell'Allegato 2.

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 17 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

Inoltre, al fine di valutare le caratteristiche di risposta sismica dei terreni interessati dall'impianto e per la misura delle velocità equivalenti ($V_{s,eq}$) richieste dalle NTC2018 per la definizione della categoria di sottosuolo di fondazione, sono state eseguite n. 2 prove sismiche con metodologia "Multichannel Analysis of Surface Waves" (MASW). I risultati, l'ubicazione e l'interpretazione delle prove sismiche sono riportati nell'Allegato 1.

I risultati, l'ubicazione e l'interpretazione delle prove sismiche sono riportati nell'Allegato 1.




Figura 3-2: Immagine da satellite con indagine geognostica (Google Earth)

3.3 Interpretazione delle prove in situ

Per la correlazione tra consistenza dei terreni e prove speditive con Pocket Penetrometer, eseguite in situ sui livelli coesivi, si è fatto riferimento alla seguente Tabella 3-1, disponibile in letteratura (Bowles, 1984):

Tabella 3-1: Relazione empirica tra la consistenza dei terreni coesivi e la resistenza alla compressione semplice non drenata dei terreni coesivi (da Bowles J.E.. "Physical and Geotechnical Properties of Soils". : McGraw-Hill, 1984)

Consistenza dei terreni coesivi	Compressione semplice non drenata, Indice Pocket Penetrometer (q_u , in kPa)
Very soft (Molto molle)	25
Soft (Molle)	25 ÷ 50

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 18 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

Medium (Mediamente consistente)	50 ÷ 100
Stiff (Consistente)	100 ÷ 200
Very stiff (Molto consistente)	200 ÷ 400
Hard (Estremamente consistente ÷ Dura)	> 400

Per la definizione dei parametri geotecnici degli strati sabbiosi e ghiaiosi sono state utilizzate le seguenti correlazioni con i valori dell'indice N_{SPT} (vedi Tabella 3-2 e sottostanti formule empiriche correntemente utilizzate).

Tabella 3-2: Correlazioni tra N_{SPT} e D_r e φ

Indice N_{SPT}	Densità relativa (D_R) % (Meyerhof, 1956)	Angolo di resistenza al taglio (φ) ° (Peck, 1974)
<4	<20	<28.5
4 ÷ 10	20 ÷ 40	28.5 ÷ 30
10 ÷ 30	40 ÷ 60	30 ÷ 36
30 ÷ 50	60 ÷ 80	36 ÷ 41
50	80	41

$$\varphi = \sqrt{15 \cdot N_{SPT}} + 15$$

$$\varphi = 0,3 \cdot N_{SPT} + 27$$

$$\varphi = 20 + \sqrt{15,4 \cdot N_{SPT}}$$

$$M_0 = B \cdot \sqrt{N_{SPT}} \quad \text{con } B=7 \text{ MPa}$$

Japan Road Association by Shioi e Fukuni (1990)

Japanese National Railway by Shioi e Fukuni (1982)

Hatanaka & Uchida (1996)

Denver H. (1982)

3.4 Rappresentazione stratigrafica


L'esame dei dati stratigrafici e geotecnici in possesso, mostra la presenza di una coltre di origine alluvionale che si estende sino alla massima profondità investigata. All'interno della successione stratigrafica generalmente a granulometria fine, è possibile distinguere:

Strato 1: (dal p.c. sino a 0.2÷0.5 m di profondità)

Terreno vegetale argilloso-limoso.

- Peso di volume,

$$\gamma = 19.0 \quad \text{kN/m}^3$$

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 19 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

Strato 2: (da 0.2÷0.5 m sino alle massime profondità investigate)

Argilla limosa e limo argilloso, da consistente a molto consistente, di colore bruno verdastro e marrone chiaro, con intercalazioni a carattere lentiforme, di limo sabbioso e sabbia limosa, moderatamente addensata.


- Peso di volume, $\gamma = 19.5$ kN/m³
- Pocket Penetrometer, $q_u = 100\div 300$ kPa
- Resistenza al taglio non drenata, $c_u = 60\div 150$ kPa
- Angolo di resistenza al taglio efficace, $\varphi' = 22\div 25$ °
- Coesione intercetta, $c' = 5\div 20$ kPa
- Modulo edometrico, $E_{ed} = 5\div 7$ MPa

Intercalazioni di sabbia limosa e limo molto sabbioso

- Peso di volume, $\gamma = 19.0$ kN/m³
- Indice N_{SPT} , $N_{SPT} = 3\div 17$ colpi/30 cm
- Densità relativa, $D_r = 30\div 50$ %
- Angolo di resistenza al taglio, $\varphi' = 29\div 32$ °
- Modulo di compressibilità, $E' = 10\div 20$ MPa

3.5 Falda acquifera

Nel corso dei sondaggi geognostici è stata rilevata la presenza della superficie piezometrica di una falda ospitata nell'acquitrando composto da alternanze continue di limi argillosi, argille limose e intercalazioni lentiformi di sabbie limose e limi sabbiosi (Strato 2). Nei piezometri installati (SG01 e SG04) è stato misurato il livello statico a circa -4.0 m.

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 20 / 50
			Stato di Validità EX-DE	N. Rev. 01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

4.1 Classificazione sismica

A seguito dell'entrata in vigore dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20 marzo 2003, n.3274 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", pubblicata nella Gazzetta Ufficiale del 8 maggio 2003, n. 105, tutti i comuni italiani risultano classificati in zona sismica, ripartiti in quattro ambiti riferiti a diversi livelli di rischio decrescente da 1 a 4.

Con D.G.R. n. 1164 del 23 luglio 2018, nel rispetto dei criteri fissati dall'ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3519 del 28 aprile 2006 la Regione Emilia-Romagna ha approvato l'aggiornamento della classificazione sismica regionale.

In base all'elenco delle zone sismiche della Regione Emilia-Romagna di cui alla D.G.R. n. 1164 del 23 luglio 2018 il comune di Minerbio viene classificato come Zona 3.

Classificazione sismica dei comuni dell'Emilia-Romagna

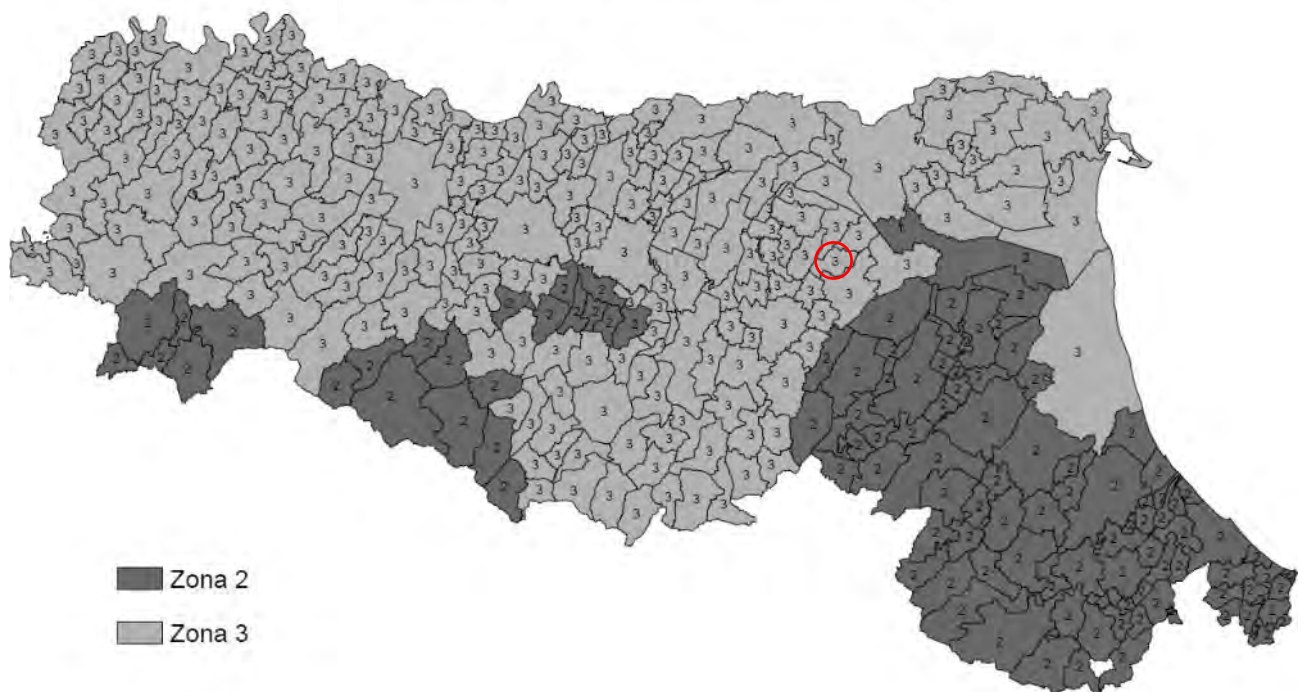



Figura 4-1: Mappa della Classificazione Sismica dell'Emilia-Romagna D.G.R. 1164_18

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 21 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

4.2 Pericolosità sismica di base

Le Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008) DM 14/01/2008 hanno introdotto il concetto di pericolosità sismica di base. Sebbene il testo di queste norme sia stato aggiornato e sostituito dal Decreto Ministeriale del 17 gennaio 2018 (NTC2018), l'impianto normativo è rimasto inalterato.

La "pericolosità sismica di base", nel seguito chiamata semplicemente pericolosità sismica, costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche da applicare alle costruzioni e alle strutture connesse con il funzionamento di opere come i metanodotti. Essa è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa, a_g , in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido e superficie topografica orizzontale (cfr. § 2.8 delle NTC 2018).

Allo stato attuale, la pericolosità sismica del territorio nazionale è definita su un reticolo di nodi di riferimento composto da 10751 punti. I valori dei parametri sismici sono pubblicati sul sito dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, <http://esse1.mi.ingv.it/>) e sono forniti in relazione ai periodi di ritorno considerati (T_R).

Per ciascun nodo del reticolo di riferimento e per ciascuno dei periodi di ritorno T_R considerati dalla pericolosità sismica, sono disponibili i seguenti parametri:


a_g : accelerazione orizzontale massima attesa al *bedrock* con superficie topografica orizzontale;

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

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

Da un punto di vista normativo, pertanto, la pericolosità sismica di un sito dipende dalla posizione dell'opera rispetto ai nodi della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame (Tabella A1 delle NTC), dalla Vita Nominale (V_N) e dalla Classe d'Uso (C_U) dell'opera. I nodi del reticolo di riferimento riportati nella Tabella A1 delle NTC hanno un passo di circa 10 km (0.05°) e sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine.

Per un qualunque punto del territorio, non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto (a_g , F_0 , T_c^*) possono essere calcolati come media pesata dei valori nei quattro vertici del reticolo di

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 22 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

riferimento contenenti il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici.

Le NTC2018 definiscono l'azione sismica in funzione del periodo di ritorno (T_R) che dipende dalla probabilità di superamento (P_{VR}) di un valore di accelerazione orizzontale nel Periodo di Riferimento (V_R) dell'opera. Quest'ultimo si ricava, per ciascun tipo di costruzione, dal prodotto della Vita Nominale di progetto (V_N) per il coefficiente d'uso (C_U) (cfr. § 2.4.3 delle NTC 2018). In Tabella 4-1 sono riportati i valori minimi di Vita Nominale (V_N) di progetto da assegnare ai diversi tipi di costruzioni.

Tabella 4-1: Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni (Tab. 2.4.1 delle NTC 2018).

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

Il coefficiente d'uso (C_U) è assegnato sulla base della classe d'uso a cui può essere riferita la costruzione in progetto. La definizione delle classi d'uso è riferita alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso dell'infrastruttura. In accordo alle NTC2018 (cfr. § 2.4.2 delle NTC 2018), le costruzioni sono suddivise in Classi d'Uso così definite:


Classe I: Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.

Classe II: Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Il valore di ciascun coefficiente d'uso (C_U) associato alle classi d'uso è riportato in Tabella 4-2 (cfr. § 2.4.3 delle NTC 2018).

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 23 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

Tabella 4-2: Valori del coefficiente d'uso C_U (rif. Tab. 2.4.II delle NTC 2018).

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_U	0,7	1,0	1,5	2,0

In accordo con il Decreto del capo dipartimento della Protezione Civile n. 3685 del 21/10/2003, l'impianto in progetto deve essere considerato come opera strategica (Classe d'uso IV e Coefficiente d'Uso pari a 2).

L'infrastruttura in progetto rientra nelle costruzioni con livelli di prestazioni elevati, quindi con valore minimo di Vita Nominale pari a 100 anni.

Il Periodo di Riferimento si ottiene dal prodotto tra Vita Nominale e Coefficiente d'Uso, per cui: $V_R = V_N \cdot C_U = 200$ anni

La probabilità di superamento di un valore di accelerazione orizzontale (P_{VR}) nel Periodo di riferimento dell'opera (V_R) è funzione dell'importanza dell'opera e dello stato limite considerato (cfr. § 7.1 delle NTC 2018).

Data l'importanza dell'opera ed in accordo al paragrafo 7.1 delle NTC 2018, sono considerati due stati limite:

- Stato limite di esercizio: Stato Limite di Danno (SLD);
- Stato limite ultimo: Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

I rispettivi valori di probabilità di superamento (P_{VR}) sono forniti nella Tabella 4-3 (rif. Tab. 3.2.I delle NTC 2018).


Tabella 4-3: Probabilità di superamento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato (Tab. 3.2.I delle NTC 2018).

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%

Da tali assunzioni sono stati calcolati i valori dei periodi di ritorno (T_R) per i due stati limite considerati mediante la formula:

$$T_R = -\frac{V_N}{\ln(1-P_{VR})}$$

Per i due stati limite esaminati, considerando anche le approssimazioni indicate nella Circolare n. 7 del 21/01/2019, si ottengono i seguenti periodi di ritorno (T_R):

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 24 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

- 201 anni per lo Stato Limite di Danno (SLD);
- 1898 anni per uno Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

I valori di a_g , F_0 e T_C^* sono riportati nell'Allegato B alle NTC2018.

Nel caso in esame, tali caratteristiche sono state identificate come media dei valori dei nodi della griglia di riferimento, con approssimazioni prudenziali (Tabella 4-4).

Tabella 4-4: Sintesi dei parametrici sismici

Coordinate sito (WGS84):	Longitudine:	11.540509°	Latitudine:	44.631959°
Stato Limite	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
SLO	120	0.091	2.509	0.273
SLD	201	0.114	2.557	0.275
SLV	1898	0.273	2.463	0.293
SLC	2475	0.301	2.442	0.297

Risulta così definito lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale di riferimento su suolo rigido.

4.3 Risposta sismica locale (metodo semplificato)


Per risposta sismica locale si intendono tutte le modifiche del moto sismico atteso in un sito (in termini di amplificazione, frequenza e durata del moto) introdotte dalle condizioni geologiche e morfologiche locali.

In definitiva, identificati i valori delle accelerazioni massime attese al suolo rigido (bedrock), è necessario valutare la loro variazione (in generale amplificazione) negli strati più superficiali (risposta sismica locale).

Le norme di riferimento (NTC2018) definiscono la risposta sismica locale di un sito attraverso la stima di:

- categoria topografica;
- categoria di sottosuolo.

Gli effetti amplificativi dell'azione sismica in un sito sono causati da fenomeni fisici che alterano la propagazione delle onde sismiche (riflessioni, risonanze, diffrazioni, etc.), che si innescano in corrispondenza di irregolarità morfologiche e/o di eterogeneità litostratigrafiche degli strati più superficiali del terreno.

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 25 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

Questo metodo è stato esteso per caratterizzare dal punto di vista litotecnico e morfologico, mediante l'attribuzione di categorie alle quali sono associati dei coefficienti di amplificazione, il corridoio di territorio nel quale si sviluppa il tracciato in progetto.

Categoria Topografica

La morfologia del sito ove verrà realizzato l'impianto è stata caratterizzata sulla base delle categorie topografiche definite nella normativa NTC2018 (cfr. Tab. 3.2.III delle NTC2018).

In Tabella 4-5 sono descritte le caratteristiche per l'assegnazione delle categorie topografiche.

Tabella 4-5: Descrizione delle categorie topografiche previste dalle NTC2018 (cfr. Tab. 3.2.III delle NTC 2018).

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

Le NTC2018 assegnano dei coefficienti di amplificazione (S_T) (cfr. Tab. 3.2.V delle NTC 2018), per ciascuna delle categorie topografiche definite in Tabella 4-5.


In Tabella 4-6 sono riportati i valori dei coefficienti di amplificazione topografica corrispondenti a ciascuna categoria.

Tabella 4-6: Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T (Tab. 3.2.V delle NTC 2018).

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

In generale, la variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare del pendio o del rilievo, dalla sommità o dalla cresta, dove S_T assume il valore massimo riportato nella Tabella 4-6, fino al livello di base, dove S_T assume valore unitario (cfr. § 3.2.3.1 delle NTC2018).

L'area in esame presenta un andamento morfologico pianeggiante; per tale ragione può essere assegnata una Categoria Topografica T1 cui si associa un valore del coefficiente di amplificazione topografica $S_T = 1.0$

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 26 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

Categoria di Sottosuolo

L'identificazione della categoria di sottosuolo è stata eseguita in accordo all'approccio semplificato delle NTC2018 (cfr Tab. 3.2.II delle NTC2018), come descritto nella Tabella 4.7 seguente.

Tabella 4-7: Descrizione delle categorie di sottosuolo (cfr, Tab. 3.2.II delle NTC 2018).

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>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.</i>
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

La definizione della velocità equivalente ($V_{S,eq}$) nelle NTC2018 rappresenta la velocità media di propagazione delle onde di taglio (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:


h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come la formazione costituita da roccia o terreno rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 27 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

Ad integrazione dei dati stratigrafici in possesso, nel periodo di luglio 2022, la Ditta TECNO.IN S.p.A. di San Donato Milanese (MI) ha eseguito n. 2 prove sismiche con metodologia “Multichannel Analysis of Surface Waves” (MASW2 e MASW3), al fine di stimare il profilo della velocità delle onde di taglio V_S e calcolare il valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{S,eq}$).

Nel caso in esame, in assenza del “bedrock sismico” a profondità inferiori a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio è risultata essere $V_{S,30} \geq 220-229$ m/s.

Sulla base della velocità $V_{S,30} \geq 220-229$ m/s determinata nel corso delle prove sismiche MASW, per quanto riguarda la categoria di sottosuolo da assumere quale riferimento progettuale, ai fini della risposta sismica locale, il profilo stratigrafico del sito di progetto ricade nella categoria C

Da ciò si determina il relativo valore del coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S , secondo Tabella 3.2.V delle NTC2018.


Tabella 4-8: Espressioni per il calcolo del coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_S) in funzione della categoria di sottosuolo (Tab. 3.2.IV delle NTC 2018).

Categoria sottosuolo	S_S	C_C
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_S è stato definito in accordo alla Tabella 3.2.IV delle NTC2018 (vedi Tabella 4-8).

Il coefficiente di amplificazione topografica (S_T) e il coefficiente di amplificazione stratigrafica (S_S) sono necessari per il calcolo del valore di accelerazione orizzontale massima attesa al suolo (PGA).

La stima dell’accelerazione orizzontale di picco in superficie (PGA) attesa nel periodo di ritorno lungo il territorio di interesse si ottiene dal prodotto tra il fattore di risposta sismica locale S e l’accelerazione massima orizzontale attesa al suolo rigido a_g :

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 28 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

$$PGA = a_g \cdot S$$

Il coefficiente S, che tiene conto del coefficiente di amplificazione topografico (S_T) e di quello di amplificazione stratigrafico (S_s), può essere calcolato mediante la relazione:

$$S = S_s \cdot S_T$$

I valori di accelerazione attesi al substrato rigido (a_g) sono stati determinati attraverso l'interpolazione della griglia nazionale dell'INGV per ogni punto del tracciato in progetto, come richiesto dalle NTC2018. Questi, moltiplicati per i differenti coefficienti di amplificazione S individuati, hanno permesso la stima dei seguenti valori di accelerazione massima attesa al suolo (PGA), per gli Stati Limite indicati in Tabella 4-3.

La stima della massima velocità orizzontale al suolo (PGV) per gli stati limite considerati in accordo alle norme NTC2018 (cfr. Par. § 3.2.3.3, NTC2018) può essere definita mediante la seguente relazione:

$$PGV = 0.16 \cdot a_g \cdot S \cdot T_C$$

in cui:

- a_g : accelerazione di picco attesa al substrato rigido (espressa in m/s^2);
- S: fattore di risposta sismica locale;
- T_C : periodo del tratto iniziale a velocità costante dello spettro.


Quest'ultimo parametro si ottiene dalla formula:

$$T_c = C_C \cdot T_c^*$$

essendo:

- T_c^* definito, insieme al valore di a_g , per ciascun nodo della discretizzazione (Tabella A1 delle NTC 2018);
- C_C : un coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (Tabella 3.2.V delle NTC 2018, riportata in Tabella 4-8).

Le tabelle sottostanti (Tabella 4-9 e Tabella 4-10) forniscono i parametri sismici che caratterizzano il sito in esame, rispettivamente in corrispondenza del substrato rigido e al suolo.

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 29 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

Tabella 4-9: Parametri sismici del sito in esame (substrato rigido)

Longitudine [WGS84]	Latitudine [WGS84]	Stato limite	T _R [anni]	a _g [g]	F ₀	T _c * [s]
11.540509°	44.631959°	SLD	201	0.114	2.557	0.275
		SLV	1898	0.273	2.463	0.293

Tabella 4-10: Parametri sismici del sito in esame (suolo)

Stato limite	S _T	S _s	S	PGA [g]	C _c	PGV [m/s]
SLD	1.0	1.50	1.50	0.171	1.61	0.119
SLV	1.0	1.30	1.30	0.355	1.57	0.256

4.4 Risposta Sismica Locale di 3^a Livello

Per il sito oggetto di studio, vista la delibera n. 564 del 26/04/2021 della Regione Emilia-Romagna al paragrafo 4.2, considerato che subirà una variazione della destinazione d'uso (da agricolo a industriale) deve essere svolto il Terzo livello di Risposta Sismica Locale.


Data la geologia locale, pressoché omogenea in tutto l'areale oggetto della progettazione, è stata eseguita un'unica analisi di risposta sismica basata sul modello geotecnico stratigrafico di riferimento. Pertanto, i risultati, espressi in termini di spettri di risposta elastica con smorzamento del 10% e di fattori di amplificazione, possono considerarsi estendibili a tutta l'area d'interesse.

4.4.1 Procedura di analisi

L'analisi di risposta sismica di 3^a livello è stata svolta con il software "RSL III di Geostru".

I procedimenti di calcolo utilizzati ed i risultati della analisi di Risposta Sismica Locale sono riportati nell'Allegato 3.

La RSL di un sito è la quantificazione della modificazione in ampiezza, frequenza e durata dello scuotimento sismico dovuta alle specifiche condizioni lito-stratigrafiche e morfologiche di un sito mediante il rapporto tra il moto sismico alla superficie del sito e quello che si

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 30 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

osserverebbe per lo stesso evento sismico su un ipotetico affioramento di roccia rigida con morfologia orizzontale.

Con riferimento alle NTC 2018 lo studio dell'azione sismica viene discusso ampiamente nel *Cap.7.11.3.1* in cui si forniscono le specifiche per l'impiego degli accelerogrammi.

I paragrafi che seguono forniscono un breve quadro delle caratteristiche del programma utilizzato per determinare, secondo quanto stabilito dalla normativa, un set di n. 7 differenti accelerogrammi.

4.4.2 Determinazione degli input sismici


Per la scelta del set di accelerogrammi è stato utilizzato il software REXELweb (https://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet_40/#/rexel), il quale permette la ricerca di accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2018) e dell'Eurocodice 8 (EC8-CEN, 2003). Il database incluso nel software è l'*Italian Accelerometric Archive* (ITACA) dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV).

Come riportato in Figura 4-4, effettuata la selezione secondo le NTC 2018, sono state inserite le coordinate geografiche del sito (longitudine e latitudine in gradi decimali) e sono stati specificati i seguenti parametri: Categoria di sottosuolo, Categoria topografica, Vita nominale, Classe d'uso, Stato limite e componente dell'azione sismica.

Successivamente, è stata eseguita l'operazione di disaggregazione mediante il programma del progetto S1 dell'INGV. La disaggregazione è una procedura di tipo statistico che permette di conoscere il contributo alla sismicità di un dato sito di ogni coppia di magnitudo (M) e distanza (R).

Si giunge alle coppie dei valori (M - R) attraverso i seguenti passaggi:

1. Determinazione di latitudine e longitudine;
2. Si accede al progetto S1 dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it> e si immettono le coordinate geografiche, la probabilità di superamento in 50 anni che dipende dallo stato limite da analizzare e si accede al grafico di disaggregazione geograficamente più prossimo al punto in esame;
3. Si scelgono gli intervalli di magnitudo e distanza epicentrale, ai quali corrispondono valori di probabilità non nulli.

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 31 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

In questa maniera si ottiene una coppia di valori M e R, da immettere come parametri sismologici nel software REXELweb.

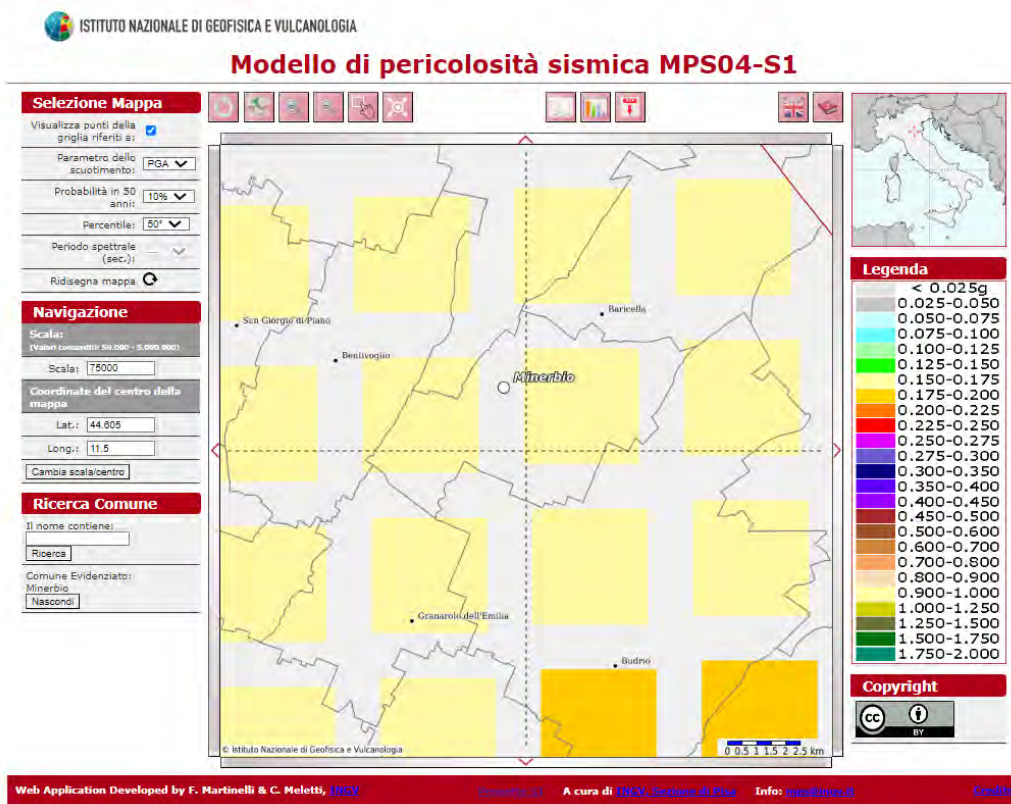


Figura 4-2 Pericolosità sismica del Comune di Minerbio probabilità di eccedenza in 50 anni 10%.

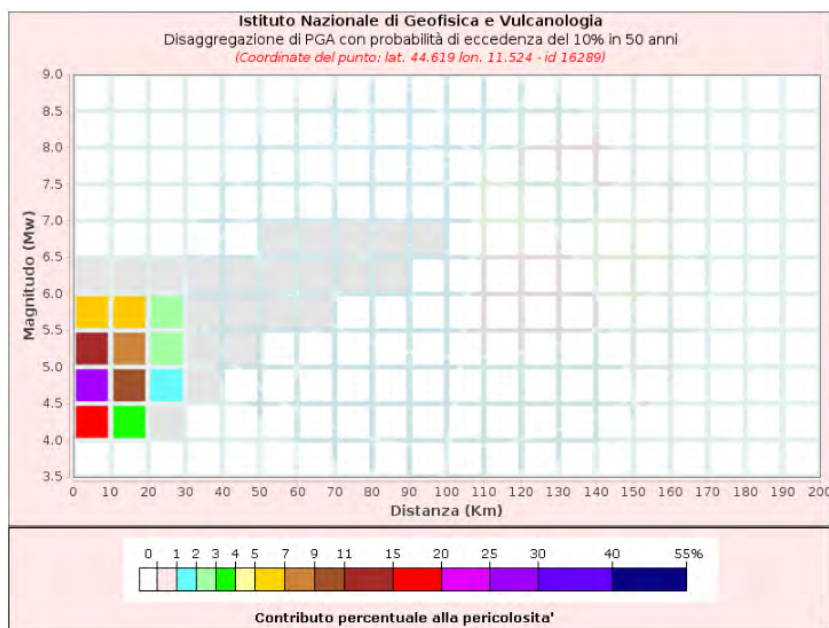



Figura 4-3 Grafico di disaggregazione M-R- per il sito di interesse.

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 32 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

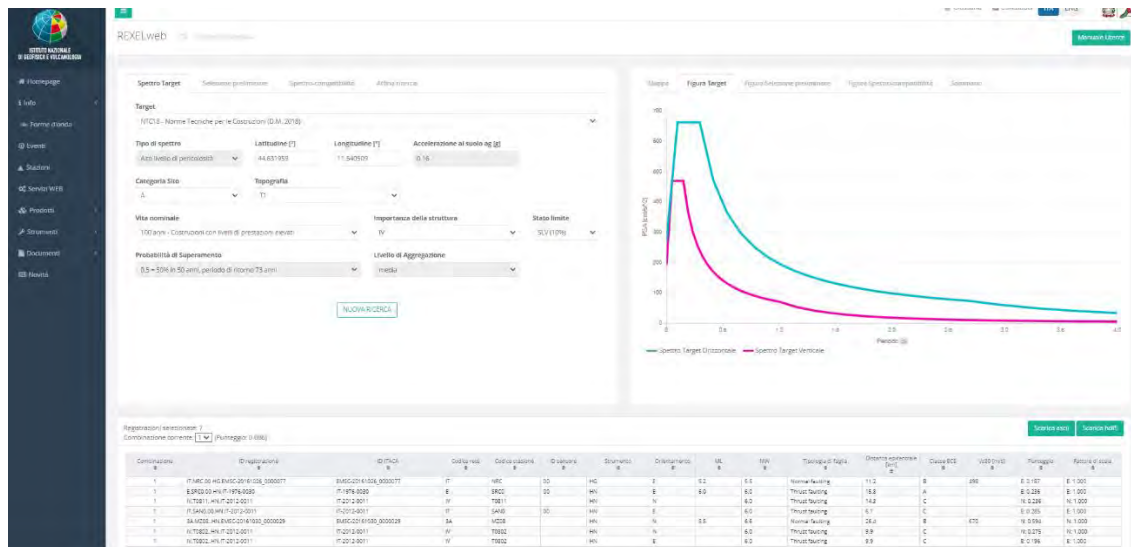


Figura 4-4 Dati in input in REXELweb con il set di n. 7 accelerogrammi campionati.


A questo punto è possibile analizzare tutte le possibili combinazioni di n. 7 spettri che si possono costruire a partire dai parametri di ricerca impostati. Diverse sono le combinazioni compatibili che possono essere ricercate, variabili in relazione al numero degli accelerogrammi ed al numero di componenti.

4.4.3 Parametri di ricerca

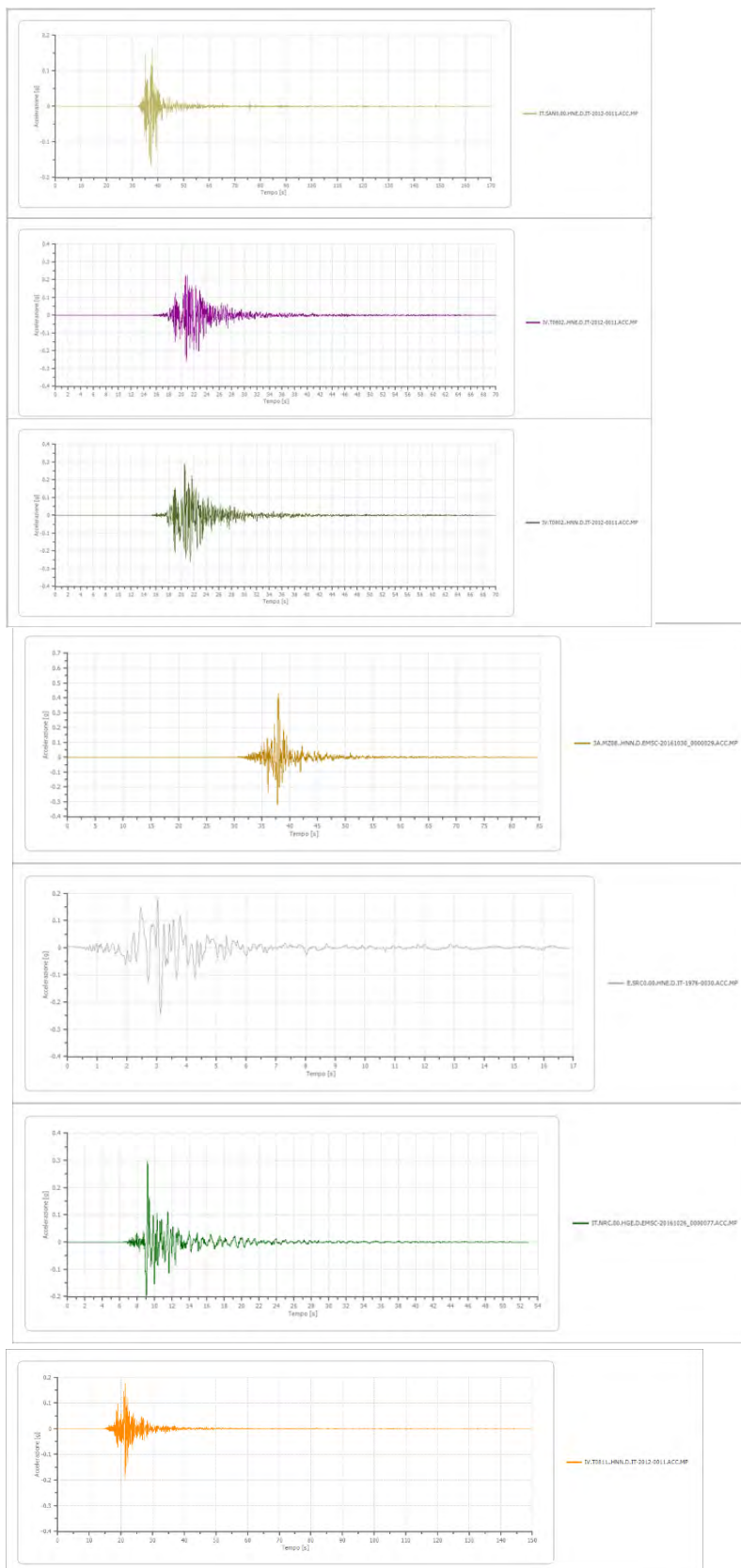
Nella Tabella 4-11 sono riportati i parametri che sono stati inseriti nella pagina di ricerca di Rexel Web per la ricerca dei n. 7 accelerogrammi spettro-compatibili (riportati in Figura 4-5).


Tabella 4-11 Parametri di ricerca inseriti in REXELweb.

Longitudine WGS84	11.540509
Latitudine WGS84	44.631959
Categoria di suolo	A
Categoria topografica	T1
Vita nominale	100
Classe d'uso	IV
Stati Limite	SLV
Magnitudo massima (M_{max})	6
Magnitudo minima (M_{min})	4
Distanza (R)	0-30 km

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 33 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate



Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 34 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

Figura 4-5 Accelerogrammi in output da Rexelweb.

4.4.4 Sismografia di sito.

Analizzando la carta sismotettonica riportata in Figura 4-6, i dati sismo-stratigrafici del territorio comunale di Minerbio unitamente alle indagini sismiche eseguite nel sito di studio (riportate all'allegato 1) e le analisi effettuate in aree limitrofe, ha permesso di ricostruire la successione sismo-stratigrafica di progetto, riportata una stima del bedrock sismico attorno ai 250 m dal p.c.

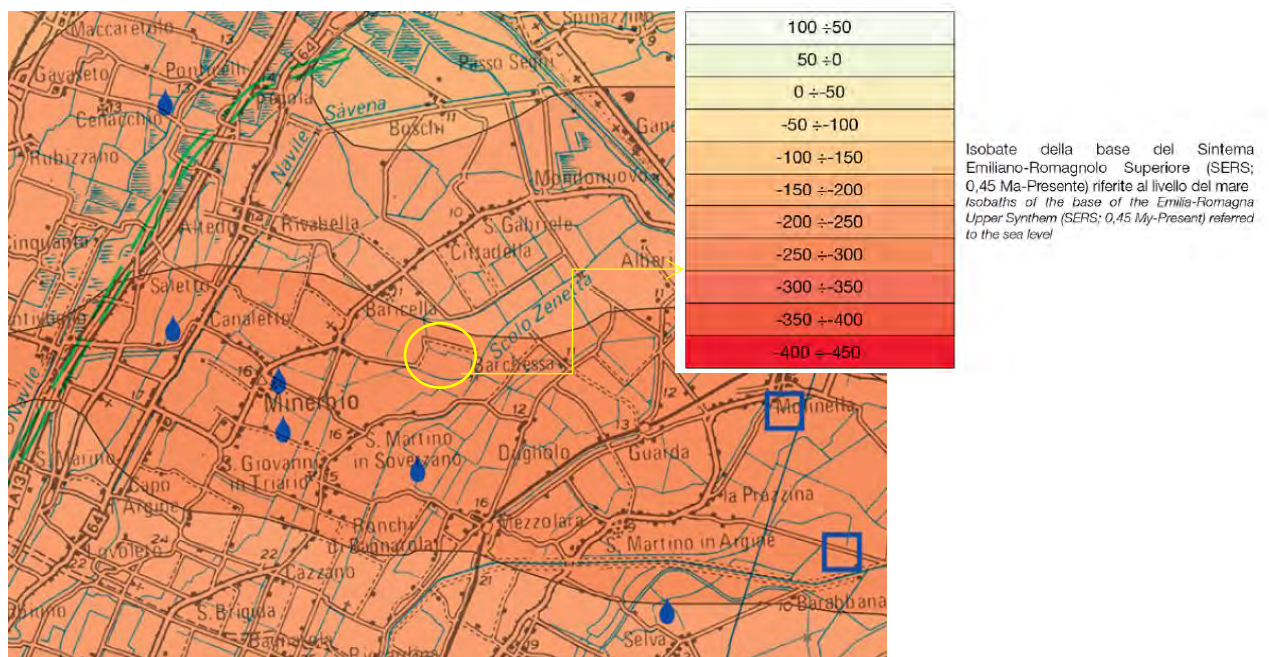



Figura 4-6 Carta sismotettonica della Regione Emilia-Romagna e aree limitrofe (2016) - (Luca Martelli et. Al.)

Tabella 4-12 Sismostratigrafia del sito di studio con relative curve di decadimento.

n.	Profondità [m]	Spessore [m]	Curva decadimento	G _{max} [MPa]	γ [kN/m ³]	V _s [m/s]	σ _v [kPa]
1	2.8	2.8	Idriss (1990), Clay	30.75	19.0	126.0	12.87
2	8.5	5.7	Idriss (1990), Sand	56.63	19.0	171.0	79.88
3	16.7	8.2	Idriss (1990), Clay	106.96	19.0	235.0	171.71
4	25.5	8.8	Idriss (1990), Clay	167.41	19.0	294.0	249.83
5	250	224.5	Idriss (1990), Clay	337.71	20.0	407.0	1434.09
6	∞	--	Smorzamento costante	1435.27	22.0	800.0	2577.92

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 35 / 50
			Stato di Validità EX-DE	N. Rev. 01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

4.4.5 Risultati dell'analisi di Risposta Sismica Locale di terzo livello.

I procedimenti ed i risultati dello studio di RSL 3^a livello sono riportati nell'allegato 3.

I parametri dello spettro normalizzato sono riportati nella Tabella 4-13, mentre quelli dello spettro di normativa per SLV per una categoria di sottosuolo di tipo C, sono riportati nella Tabella 4-14

Tabella 4-13 Parametri spettro normalizzato da RSL

PGA [g]	F ₀	T _c [*]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.329	2.591	0.477	0.159	0.477	2.915	0.329	0.852	1.20

Tabella 4-14 Parametri dello spettro di normativa SLV CAT.C

PGA [g]	F ₀	T _c [*]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.355	2.463	0.293	0.154	0.461	2.692	0.355	0.872	1.30

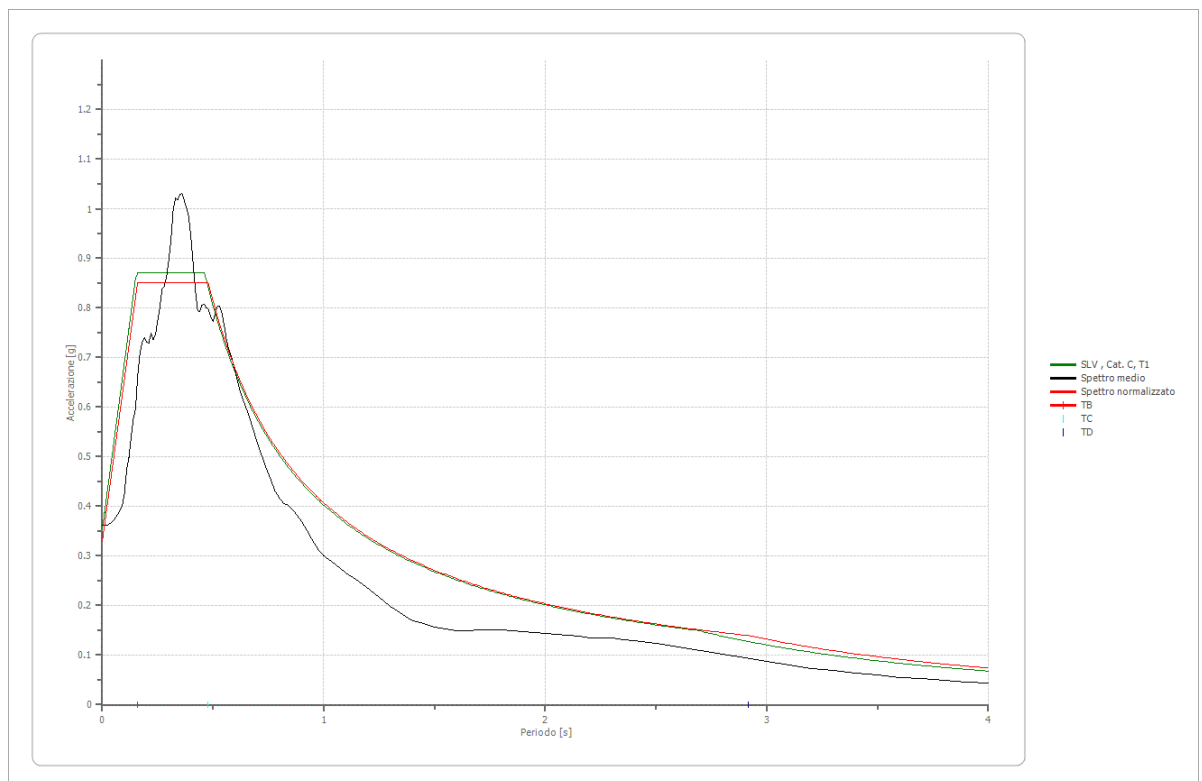



Figura 4-7 Confronto tra lo spettro di normativa e lo spettro normalizzato.

In particolare, analizzando i dati della Tabella 4-13 e Tabella 4-14 precedenti ed il confronto tra lo spettro di normativa (Categoria C SLV) e quello normalizzato (risultato dell'analisi di

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 36 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

risposta sismica di 3^a livello), riportato in Figura 4-7, si può osservare un minor valore dell'accelerazione massima al suolo, PGA (g) e del valore del plateau Se(TB) rispetto ai valori riferiti allo spettro di normativa per la Categoria C allo Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV).

4.5 Valutazione del potenziale di liquefazione

Col termine di liquefazione si intende generalmente la perdita di resistenza dei terreni saturi, sotto sollecitazioni di taglio cicliche o monotoniche, in conseguenza delle quali il terreno raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di un liquido viscoso.

Ciò avviene quando la pressione dell'acqua nei pori, in presenza di sollecitazioni sismiche, aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento e quindi allorché gli sforzi efficaci, da cui dipende la resistenza al taglio, si riducono a zero.

Questi fenomeni si verificano soprattutto nelle sabbie fini e nei limi saturi di densità da media a bassa e a granulometria piuttosto uniforme, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa.

La valutazione del potenziale di liquefazione è stata eseguita utilizzando il software dedicato LiqSVs 2.0 che ha permesso di analizzare i risultati delle prove dinamiche standard (SPT) in foro, facendo riferimento ad approcci di tipo deterministico-probabilistico. In particolare, è stata seguita la procedura proposta dal NCERR (1997) relativamente al calcolo del CRR (*Cyclic Resistance Ratio*), del CSR (*Cyclic Stress Ratio*) e Idriss & Seed (1982) per la correzione della frazione fine.


Il risultato che si ottiene è il fattore di sicurezza alla liquefazione (FS), che rappresenta il rapporto tra la resistenza alla liquefazione del terreno ed il carico indotto dal sisma, espressi in base al rapporto di tensione di taglio ciclica. Esso indica se il fenomeno della liquefazione può verificarsi e l'intensità del fenomeno:

$$FS = CRR_M / CSR$$

Se FS risulta maggiore di 1 il rischio di liquefazione viene considerato nullo, altrimenti si procede con il calcolo dell'indice di liquefazione (I_L) basato sul metodo di Iwasaki et al. (1982) e definito come:

$$I_L = \int_0^{20} F(z) \times w(z) \times dz \quad \text{dove:}$$

$F(z)$ = funzione del fattore di sicurezza;

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 37 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

$w(z)$ = spessore del suolo tra i vari intervalli registrati dalla prova;

dz = incremento differenziale della profondità.

Si precisa che il presente indice viene calcolato per profondità pari a 20 m; pertanto, per i sondaggi che non raggiungono tale quota, si assume che i terreni compresi tra le massime profondità indagate e la quota di riferimento (20 m) non siano liquefacibili.

L'indice di liquefazione viene suddiviso in n. 4 classi di rischio riportate nella Tabella 4-15 sottostante:

Tabella 4-15: Indice di Liquefazione e Classi di Rischio di Liquefazione secondo Iwasaki et al. (1982).

Indice di Liquefazione, I_L	Rischio di Liquefazione
$I_L = 0$	Non liquefacibile
$0 < I_L \leq 5$	Poco probabile
$5 < I_L \leq 15$	Probabile
$I_L > 15$	Certa


Nei calcoli sono stati assunti le seguenti caratteristiche del sito:

Magnitudo $M_w = 6.14$ (Catalogo ZS9 – Zona sismogenetica 912)

Accelerazione massima PGA = 0.36 g (Stato limite SLV - Tabella 4-10)

Profondità della falda = -4.1 m

I risultati delle verifiche sono riportati nelle Figura 4.10÷Figura 4.10 seguenti e riassunti nella successiva Tabella 4-16.

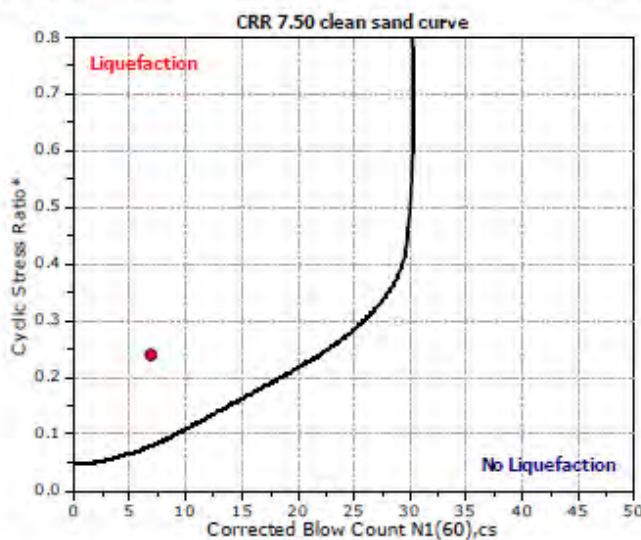
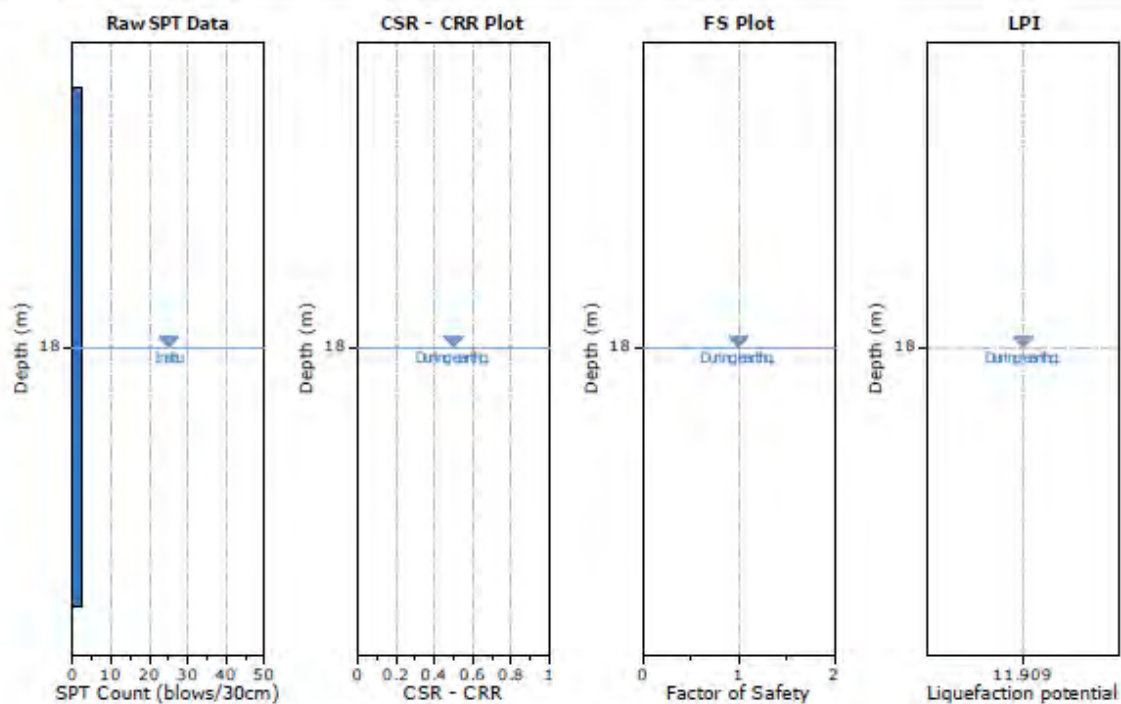
Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 38 / 50
			Stato di Validità EX-DE	N. Rev. 01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate




SPT BASED LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

Project title : Impianto ELCO Opere elettriche accessorie		SPT Name: SPT #1	
Location : Minerbio			
:: Input parameters and analysis properties ::			
Analysis method:	NCEER 1998	G.W.T. (in-situ):	-4.10 m
Fines correction method:	NCEER 1998	G.W.T. (earthq.):	-4.10 m
Sampling method:	Standard Sampler	Earthquake magnitude M_w :	6.14
Borehole diameter:	65mm to 115mm	Peak ground acceleration:	0.36 g
Rod length:	1.00 m	Eq. external load:	0.00 kPa
Hammer energy ratio:	1.00		

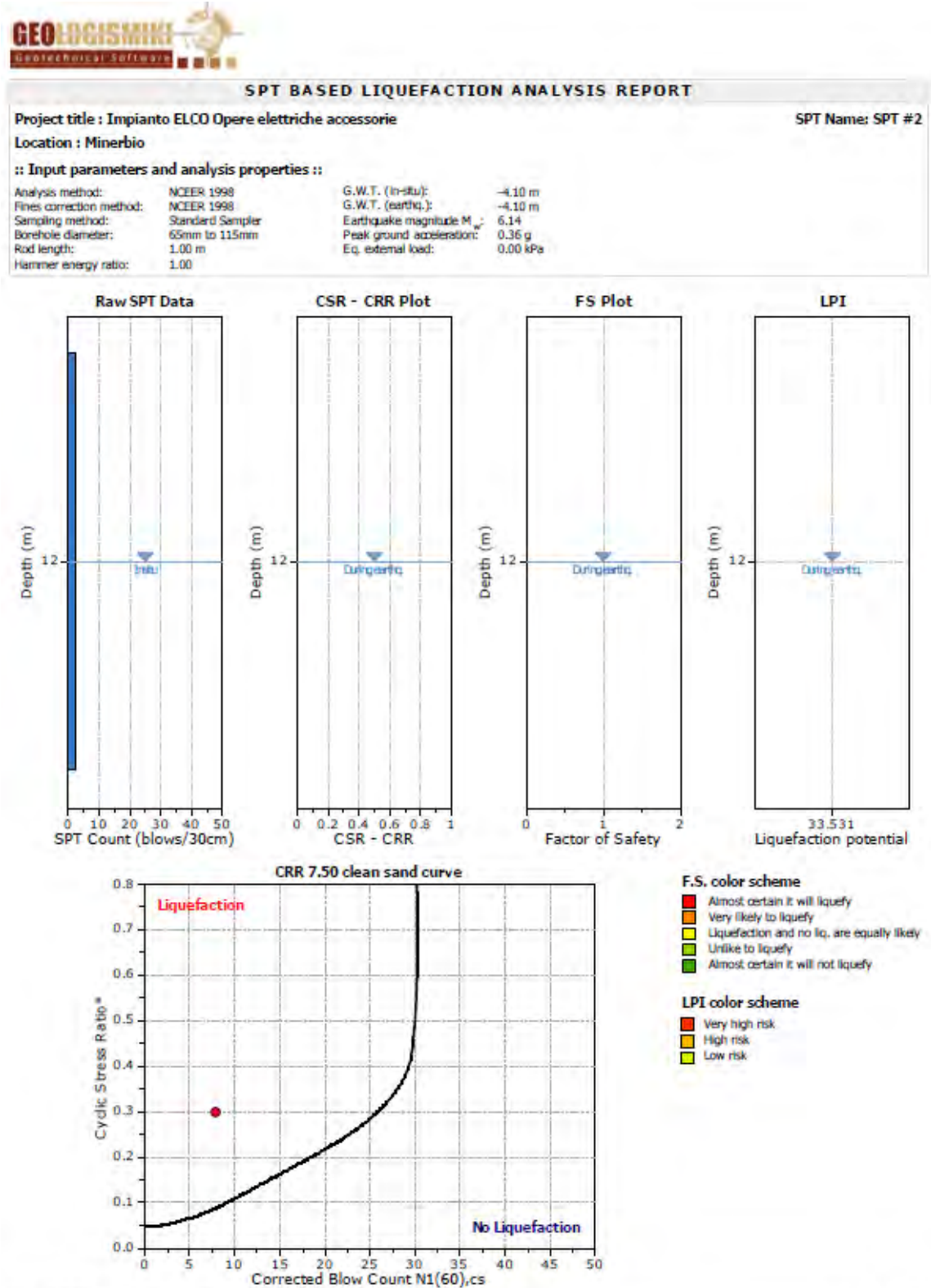



- F.S. color scheme**
- Almost certain it will liquefy
 - Very likely to liquefy
 - Liquefaction and no liq. are equally likely
 - Unlike to liquefy
 - Almost certain it will not liquefy
- LPI color scheme**
- Very high risk
 - High risk
 - Low risk

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 39 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate


Figura 4.8: Sintesi delle verifiche sui livelli potenzialmente liquefacibili – Sondaggio SG01



Logo e Denominazione Commerciale Committente	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista	Indice Rev.		Foglio di Fogli
			Stato di Validità	N. Rev.	
			 STOGIT	016708DFLB14200	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

Figura 4.9: Sintesi delle verifiche sui livelli potenzialmente liquefacibili – Sondaggio SG02

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 41 / 50
			Stato di Validità EX-DE	N. Rev. 01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

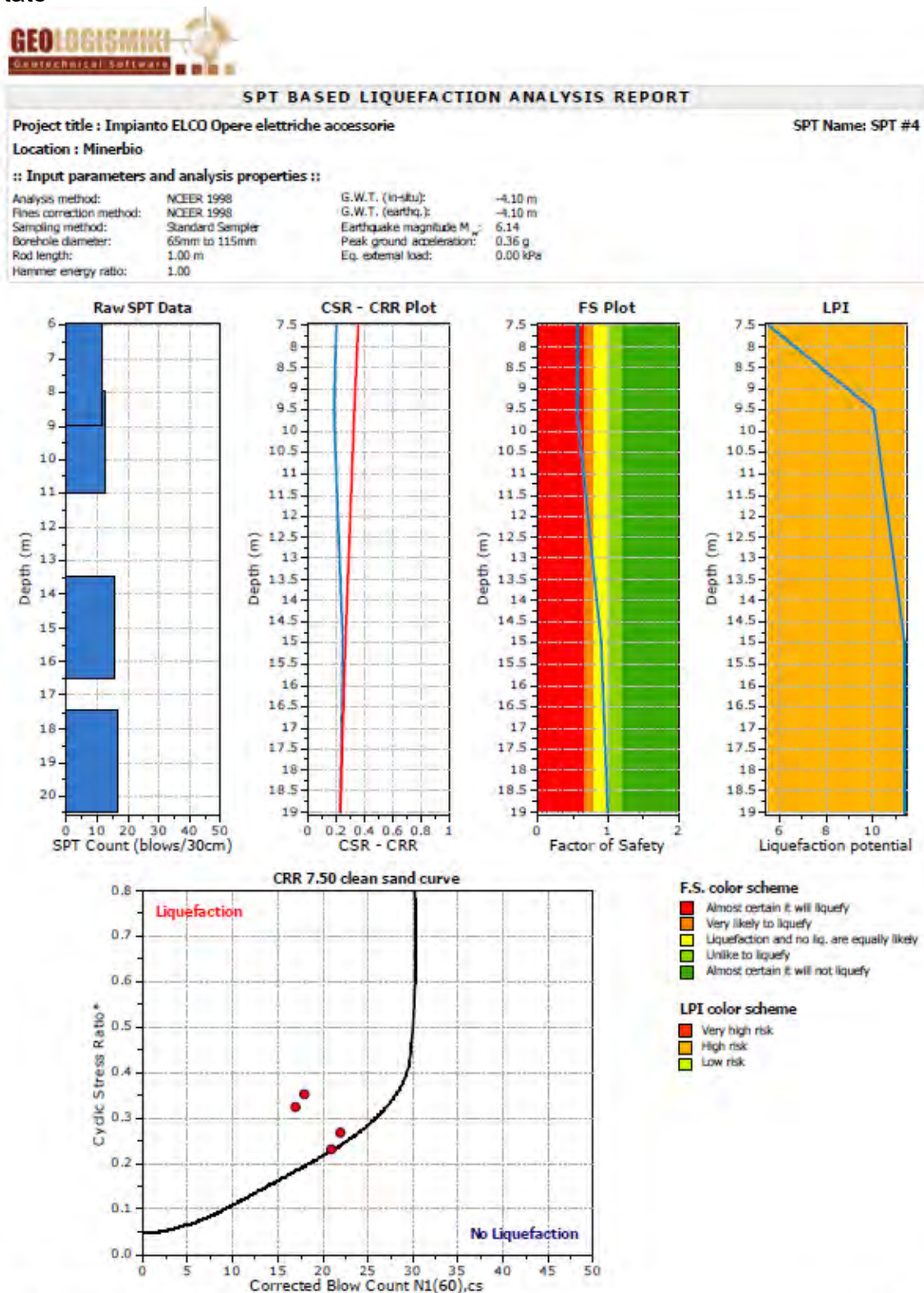



Figura 4.10: Sintesi delle verifiche sui livelli potenzialmente liquefacibili – Sondaggio SG04

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 42 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

Tabella 4-16: Risultati analisi liquefazione dei depositi

Sondaggio SG01						
Prof. SPT (m)	H strato Liquefacibile (m)	N _{SPT}	Frazione fine (CF%)	FS	Indice di Liquefazione I _L	Massimi cedimenti attesi (cm)
18.0	2	3	30	0.34	11.9	11.0
				Totale	11.9	11.0
Sondaggio SG02						
Prof. SPT (m)	H strato Liquefacibile (m)	N _{SPT}	Frazione fine (CF%)	FS	Indice di Liquefazione I _L	Massimi cedimenti attesi (cm)
12.0	3	3	30	0.30	33.5	14.9
				Totale	33.5	14.9
Sondaggio SG04						
Prof. SPT (m)	H strato Liquefacibile (m)	N _{SPT}	Frazione fine (CF%)	FS	Indice di Liquefazione I _L	Massimi cedimenti attesi (cm)
7.5	1	12	20	0.56	5.5	2.5
9.5	1	13	15	0.57	4.5	2.7
15.0	1	16	35	0.90	1.3	1.4
19.0	2	17	35	1.00	0.1	1.7
				Totale	11.4	8.3


La Tabella 4-16 evidenzia:

- Sondaggi SG01 e SG04 con Indice di Liquefazione pari a $I_L = 11.4-11.9$ che identifica il deposito con liquefazione “probabile” e cedimenti massimi stimabili in 8.3-11.0 cm.
- Sondaggio SG02 con Indice di Liquefazione pari a $I_L = 33.5$ che identifica il deposito con liquefazione “certa” e cedimenti massimi stimabili in 14.9 cm.

Tali valori indicano la presenza (a profondità superiori a 7-17 m) di depositi sabbioso-limosi localmente potenzialmente liquefacibili nelle condizioni di massima sollecitazione sismica ipotizzabile.

In tutti i casi i livelli potenzialmente liquefacibili sono di tipo lentiforme e si trovano a profondità significative oltre ad essere intercalati con interstrati argilloso-limosi che tendono a diminuire se non ad annullare gli effetti della liquefazione stessa.

Tale situazione è congruente anche con la Carta di Area Vasta delle aree suscettibili di effetti locali, allegata al Piano Territoriale Metropolitan (PTM) della Città Metropolitana di Bologna di cui uno stralcio è riportato nella Figura 4.11 seguente, che individua l'area

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 43 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	


Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

dell'impianto al di fuori delle zone di attenzione per instabilità da liquefazione o densificazione.



Figura 4.11: Stralcio non in scala della Carta di Area Vasta delle aree suscettibili di effetti locali

Nella progettazione delle opere sarà comunque tenuto conto del potenziale liquefazione locale e saranno adottate idonee tipologie di fondazione per contrastare gli effetti di tali fenomeni.

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 44 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	


Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

5 **CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE E FATTIBILITA' GEOLOGICA**

L'area dell'impianto in progetto insiste su terreni pianeggianti riconducibili a depositi alluvionali antichi a granulometria fine, all'interno del bacino idrografico del fiume Reno.

In relazione ai dati scaturiti dal rilievo geologico e geomorfologico e da quelli stratigrafici in possesso si possono riassumere le seguenti considerazioni conclusive:

- dato l'andamento morfologico locale pianeggiante e l'assenza nelle vicinanze di terreni con significativi valori di acclività, è possibile affermare che l'area di sedime dell'impianto presenta sicuri caratteri di stabilità non esistendo, allo stato attuale, i presupposti per l'innescio di spinte gravitative e/o tangenziali;
- in relazione alla relativa distanza (circa 250 m) dallo "Scolo Zena" non esistono i presupposti per interferenze dirette con l'area dell'impianto anche se non si possono escludere fenomeni di esondazione in concomitanza di eventi di piena seppure con battenti idrici limitati;
- in base alla Carta di Area Vasta del Rischio Idraulico, Rischio da Frana e dell'Assetto dei Versanti, allegata al Piano Territoriale Metropolitan (PTM) della Città Metropolitana di Bologna il sito ricade in un'area con scenario di Pericolosità Idraulica (PGRA) P2 derivato dal Reticolo Naturale Principale e dal Reticolo Secondario di Pianura (RP+RSP):
 - l'impianto in progetto si trova su margine dell'Area Produttiva Prato Grande;
 - il piano di imposta dell'impianto, al fine di evitare accumuli idrici all'interno dello stesso, risulta sempre elevato rispetto al piano di campagna;
 - le nuove strutture risultano ininfluenti rispetto alla dinamica del deflusso di una eventuale esondazione, tanto meno l'impianto risulta influente nella determinazione del battente idrico atteso;
- le analisi del potenziale di liquefazione indicano la presenza (a profondità superiori a 7-17 m) di depositi sabbioso-limosi localmente potenzialmente liquefacibili nelle condizioni di massima sollecitazione sismica ipotizzabile. I livelli potenzialmente liquefacibili sono di tipo lentiforme e si trovano a profondità significative oltre ad essere intercalati con interstrati argilloso-limosi che tendono a diminuire se non ad annullare gli effetti della liquefazione stessa. In tutti i casi nella progettazione delle opere sarà comunque tenuto conto del potenziale liquefazione e saranno adottate idonee tipologie di fondazione per contrastare gli effetti di tali fenomeni.

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 45 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	


Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

L'analisi di Risposta Sismica Locale di 3^a livello dell'area dell'intervento in progetto ha mostrato che, per lo *Stato Limite SLV* classe IV (V_N 100 anni) T_R 1898 anni, lo spettro elastico di sito ricavato dall'analisi di RSL risulta al di sotto dello spettro di normativa con il plateau da RSL (T_b-T_c) pari a $S_e(TB) = 0.852$ g, mentre il plateau previsto da NTC2018 per classe di suolo tipo C e categoria topografica T1, è pari a $S_e(TB) = 0.872$ g.

Il confronto tra i valori relativi alla massima accelerazione al suolo (PGA) nel sito oggetto di studio, per lo Stato limite SLV e sottosuolo C, derivati dall'analisi di RSL (valori normalizzati) ed i valori di PGA calcolati con il metodo semplificato di normativa (Paragrafo 4.3), ha fornito i seguenti risultati:

RSL – PGA (g)	NTC2018 - PGA (g)
0.329	0.355

Sulla base delle considerazioni suesposte, nella *Installazione dell'Unità ELCO-EC8 – Opere elettriche accessorie per la Centrale di Stoccaggio Gas di Minerbio*, non esistono particolari problematiche dal punto di vista geologico, geomorfologico e sismico tali da inficiarne l'esecuzione.

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 46 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

6 INDICAZIONI SULLE FONDAZIONI

6.1 Generalità


In questa parte della relazione vengono fornite delle indicazioni del tutto preliminari e di larga massima sulle tipologie fondazionali adottabili.

6.2 Modello geotecnico e parametri caratteristici del terreno

Ai fini della progettazione dell'intervento in progetto, sono state sviluppate apposite indagini (rilievi topografici di dettaglio, indagini geognostiche, analisi generali di carattere geologico), i cui risultati hanno permesso la definizione degli aspetti progettuali correlati alle problematiche accertate; ovvero: le condizioni morfologiche, litologiche e geotecniche dei terreni.

La caratterizzazione del sito, la definizione dell'assetto litologico e la modellazione geotecnica, costituenti una delle basi progettuali dell'opera, discendono dalle valutazioni basate sui risultati delle indagini geognostiche effettuate, che sono state ritenute commisurate alla dimensione ed alla scala del problema, all'importanza ed all'estensione dell'opera, e conseguentemente alle finalità progettuali; la profondità e l'estensione delle analisi condotte comprendono infatti i volumi di terreno direttamente od indirettamente coinvolti dalle sollecitazioni di progetto.

Sulla base delle indagini geognostiche eseguite e degli studi effettuati, ai fini del dimensionamento delle opere e delle relative verifiche di stabilità si assume la stratigrafia riportata nella seguente Figura 6-1, unitamente ai valori caratteristici dei parametri geotecnici.

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 47 / 50
			Stato di Validità EX-DE	N. Rev. 01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

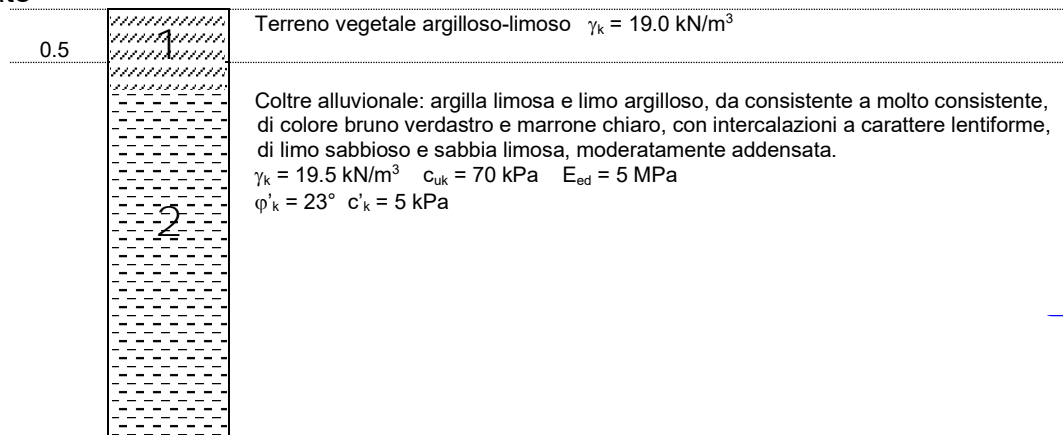


Figura 6-1: Schema stratigrafico e valori caratteristici dei parametri geotecnici

Prima della esecuzione dell'opera, potranno essere eseguiti appositi saggi esplorativi, finalizzati alla verifica della caratterizzazione geotecnica di progetto.

Sulla base delle caratteristiche geomeccaniche riscontrate in situ, laddove esse risultassero localmente distaccarsi da quanto stimato ai fini progettuali, il dimensionamento delle opere previste in progetto potrebbe essere conseguentemente modificato.

6.3 Caratteristiche tipologiche delle fondazioni


La natura e le caratteristiche del terreno di fondazione, unitamente alle indicazioni progettuali di massima sono tali da consigliare l'uso di fondazioni profonde per le strutture principali o con scarsa tolleranza nei confronti dei cedimenti e consentire anche fondazioni dirette per le strutture minori con bassi carichi trasmessi al terreno.

6.3.1 Fondazioni profonde

Tali fondazioni, prevedibili per le strutture con elevati carichi trasmessi sul terreno o con scarsa tolleranza nei confronti dei cedimenti andranno dimensionate sulla base dei parametri geotecnici riportati nello schema di Figura 6-1.

Per quanto riguarda il livello della falda acquifera, nell'area sono stati installati dei tubi piezometrici in cui è stata rilevata (nel novembre 2022) la superficie piezometrica ad una profondità di circa 4.0 m dal p.c. locale.

Le fondazioni profonde potranno essere con o senza asportazione di terreno compatibilmente con le strutture esistenti nelle aree limitrofe. Nel caso di adozione di pali trivellati vista l'interferenza della falda con le perforazioni si dovranno adottare tutti gli

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 48 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

accorgimenti tecnici per il sostegno dei fori ed il getto del calcestruzzo affinché si possa avere la realizzazione del palo “a regola d’arte”.

6.3.2 Fondazioni dirette

Nel caso di strutture minori o per limitati carichi trasmessi sul terreno potranno essere adottate fondazioni dirette. In questo caso le fondazioni, preferibilmente di tipo continuo e adeguatamente rigide, saranno basate sullo Strato 2 argilloso-limoso e/o limoso-argilloso, da consistente a molto consistente.


Poiché lo Strato 2 argilloso-limoso, da consistente a molto consistente, risulta essere molto compressibile, si ritiene necessario realizzare, al di sotto del piano di posa delle fondazioni, un bonifico strutturale in misto granulare, delle caratteristiche descritte di seguito, e dello spessore di almeno 100 cm..

Il bonifico in misto granulare andrà steso e compattato a strati di spessore compreso tra 20 e 30 cm, in dipendenza della potenza dei mezzi di costipamento impiegati. La composizione granulometrica del misto granulare dovrà soddisfare una delle prescrizioni della AASHTO Designation M 147 riportate nella Tabella 6-1 seguente.

Tabella 6-1: AASHTO Designation M 147

ASTM - sieve designation		Grading A	Grading B	Grading C	Grading D
2 inch	(50 mm)	100	100	---	---
1 inch	(25 mm)	---	75÷95	100	100
3/8 inch	(9.5 mm)	30÷65	40÷75	50÷85	60÷100
n. 4	(4.76 mm)	25÷55	30÷60	35÷65	50÷85
n. 10	(2.00 mm)	15÷40	20÷45	25÷50	40÷70
n. 40	(0.42 mm)	8÷20	15÷30	15÷30	25÷45
n. 200	(0.075 mm)	2÷8	5÷20	5÷15	5÷20

1. I granuli della frazione grossolana, cioè della frazione trattenuta a 2.00 mm (setaccio No. 10), devono essere costituiti da elementi di roccia dura e tenace: si dovranno scartare materiali costituiti da elementi teneri che tendono a disgregarsi quando sottoposti a cicli di gelo e disgelo e/o di umidificazione ed essiccamento.
2. La frazione grossolana deve avere una percentuale di perdita in peso per usura, determinata nel corso di una prova Los Angeles (AASHTO Designation: T 96) non superiore al 50%.
3. I limiti di Atterberg, eseguiti sul passante al setaccio ASTM n.40 (0.420 mm), dovranno avere i seguenti valori:
 - Limite Liquido \leq 25 %;

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 49 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	

Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

- *Indice Plastico* \leq 6 %.

4. La densità secca massima degli strati compattati dovrà essere pari al 95 % della densità secca massima ottenute con prove di costipazione tipo AASHTO Modificata (AASHTO T 180, ASTM D 1557).
5. Al fine di controllare il rispetto della prescrizione al precedente punto 4), si dovrà eseguire almeno una misura di densità in situ per ogni strato di materiale compattato.


Data la relativa modesta profondità della superficie piezometrica dal p.c. attuale, non si esclude che le operazioni di scavo e di realizzazione del piano di posa delle fondazioni possano intercettare tale superficie; in tal caso per rendere efficaci le operazione di scavo e di getto delle fondazioni come pure il lavoro di compattazione del piano di posa delle fondazioni e del misto granulare del bonifico, si renderà necessario adottare provvedimenti atti a deprimere la falda ad almeno 0.5 m al di sotto del piano di posa dello stesso.

6.3.2.1 Interazione terreno-struttura - [terreno alla Winkler]

Per le valutazioni dell'interazione tra le strutture di fondazione ed il terreno di fondazione, questo può essere caratterizzato mediante l'assunzione di un modulo di reazione verticale unitario come definito nella sottostante Figura 6-2 (valutato per una impronta di carico di forma quadrata e di lato 1.0 m, in superficie).

Valori orientativi del modulo di reazione K_{unit} per piastra quadrata di 1 m di lato in superficie (kg_p/cm^2)				
Terreno incoerente				
Compattezza D_r	sciolta 0,25	media 0,50	densa 0,75	
$N(SPT)(*)$	7	20	40	
Secca o umida	0,40 ÷ 1,20	1,20 ÷ 6,00	6,00 ÷ 21	
	medio 0,78	medio 2,63	medio 10,5	
Immorsa	0,33	1,73	6,00	
Terreno coerente				
Consistenza	molle	consistente	molto consistente	dura
Resistenza alla compressione semplice (kg_p/cm^2)	0 ÷ 1	1 ÷ 2	2 ÷ 4	> 4
$N(SPT)(\#)$	4	12	24	> 32
	Considerare $K = 0$ e fare studio di trave rigida	0,75 ÷ 1,5 medio 1,05	1,5 ÷ 3,0 medio 2,18	> 3 medio 4,5

Figura 6-2: Valori indicativi del modulo di reazione K_{unit} - Berardi G. (1974) "Ingegneria delle Fondazioni", Enciclopedia dell'Ingegneria, Vol. VII, ISEDI, Mondadori, p. 45-149.

Logo e Denominazione Commerciale Committente  STOGIT	Identificativo documento Committente 016708DFLB14200	Identificativo documento Progettista 08-BG-E-94801	Indice Rev.		Foglio di Fogli 50 / 50
			Stato di Validità	N. Rev.	
			EX-DE	01	


Il presente documento viene emesso in revisione 1 riportando con **carattere blu** le modifiche apportate

In particolare, nel caso in esame, in riferimento allo schema stratigrafico di Figura 6-1, è stato determinato un valore di K_{unit} pari a:

Strato 2: coltre alluvionale argilloso-limosa

$$K_{unit2} = 15 \text{ MN/m}^3$$

Data la necessaria presenza del bonifico strutturale in misto granulare compattato, dalle caratteristiche di rigidezza notevolmente superiori a quelle del terreno naturale ($K_{unit} > 60 \text{ MN/m}^3$), è possibile definire un valore di K_w riferibile al volume significativo di terreno di fondazione, stimato attraverso una media ponderata degli strati intercettati.

Logo e Denominazione Commerciale Committente	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista	Indice Rev.		Foglio di Fogli
			Stato di Validità	N. Rev.	
			 STOGIT	016708DFLB14200	

ALLEGATO 1:

TECNO.IN S.p.A. - San Donato Milanese (MI):

Indagine geognostica ed indagine geofisica, Novembre 2022

REPORT INDAGINI GEOGNOSTICHE

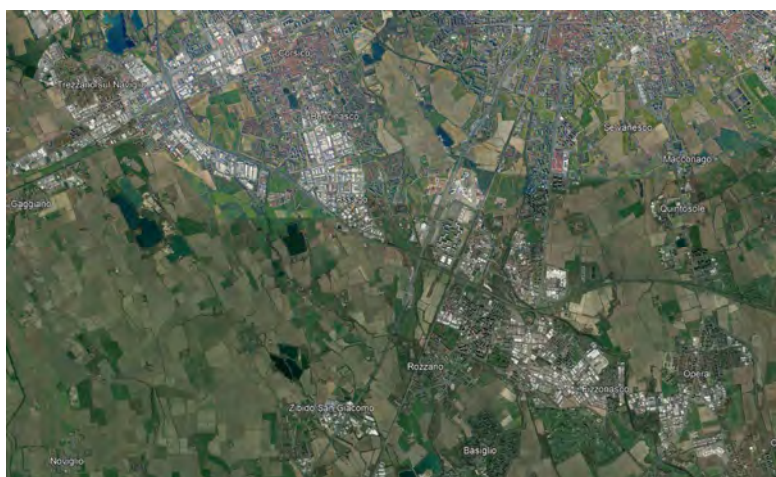


PROJECT:
INDAGINI GEOGNOSTICHE E AMBIENTALI PRESSO IL SITO
STOGIT DI MINERBIO (BO)

LOCATION:
MINERBIO (BO)

CLIENT:
SAIPEM S.P.A.

OBJECT: REPORT DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE



Tecno In Ref.: R.C. 285-22
Revision n°: 0
Date: Novembre2022
Description: emissione

Redacted by:
Reviewed by:
Approved by:
Document code:

Dr.ssa Francesca Ginetti
Dr.ssa Geol. Marco Ena
Dr. Geol. Marco Uliano
285-22_SAIPEM Minerbio_report.doc

INDICE

1. PREMESSA.....	2
2. SONDAGGI GEOGNOSTICI.....	4
3. PROVE SPT	8
4. PRELIEVO CAMPIONI GEOTECNICI E PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO	10
5. INSTALLAZIONE PIEZOMETRO A TUBO APERTO	11
6. GEOREFERENZIAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE.....	12

ALLEGATI:

Allegato 1: Stratigrafie dei sondaggi

Allegato 2: Documentazione fotografica dei sondaggi

1. PREMESSA

La SAIPEM S.p.A., ha affidato a Tecno In S.p.A. l'incarico di eseguire una campagna di indagini geognostiche ed ambientali presso il sito STOGIT di Minerbio (BO).

Il presente report illustra la parte geognostica delle indagini, rimandando per quella ambientale al documento "Report delle indagini ambientali".

Le indagini geofisiche svolte sull'area non sono trattate nel presente documento ma sono contenute nel relativo "Report delle Indagini Geofisiche".

Le indagini volte a misurare la resistività termica dei terreni svolte sull'area non sono trattate nel presente documento ma sono contenute nel relativo "Report delle Indagini sulla resistività termica".

I lavori sono stati eseguiti in due diverse aree: l'area esterna denominata "Sottostazione Elettrica Utente" e l'aria interna denominata "Unità ELCO EC8".

Le attività svolte sono state le seguenti:

Area Esterna "Sottostazione Elettrica Utente"

- esecuzione di n. 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti a profondità di 20,00 m (sondaggi da SG01 a SG04) e 9,00 m (SG05) dal p.c., finalizzati alla definizione della sequenza stratigrafica, con esecuzione di prove SPT e prelievo di campioni di terreno da inviare al laboratorio geotecnico;
- condizionamento di due dei fori profondi con piezometro a tubo aperto in PVC diametro 3"
- prelievo di n.7 campioni geotecnici indisturbati e 7 campioni rimaneggiati (in corrispondenza delle prove SPT).

Area Interna "Unità ELCO EC8"

- esecuzione di prescavi profondi 2 m per la ricerca di sottoservizi .
- esecuzione di n. 10 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti a profondità di 10,00-15,00 m dal p.c., finalizzati alla definizione della sequenza stratigrafica, con esecuzione di prove SPT e prelievo di campioni da inviare al laboratorio geotecnico;
- condizionamento di 3 dei fori profondi con piezometro a tubo aperto in PVC diametro 3";
- prelievo di n. 6 campioni geotecnici indisturbati e 7 campioni rimaneggiati (in corrispondenza delle prove SPT)

Le attività sono state svolte dal 28.09.22 al 11.11.22

Nella figura seguente sono identificate le zone di intervento: nel cerchio giallo è evidenziata la cosiddetta zona esterna "Sottostazione elettrica utente" e nel cerchio rosso è evidenziata l'area di intervento localizzata all'interno dello stabilimento (Unità ELCO EC8).



Figura 1– Inquadramento generale della zona di intervento

2. SONDAGGI GEOGNOSTICI

I sondaggi geognostici sono stati eseguiti in conformità alle Raccomandazioni AGI (1977) ed alle Modalità Tecniche ANISIG (1977).

L'ubicazione delle indagini geognostiche eseguite in area esterna "Sottostazione elettrica utente" è indicata nella seguente figura.



Figura 2 – Ubicazione dei sondaggi geognostici eseguiti in area esterna "Sottostazione elettrica utente"

L'ubicazione delle indagini geognostiche eseguite in area interna al sito STOGIT denominata "Unità ELCO EC8" è indicata nella seguente figura.



Figura 3 – Ubicazione dei sondaggi eseguiti in area interna "Unità ELCO EC8"

Di seguito le tabelle riepilogative dei sondaggi effettuati in entrambe le aree con indicazione della profondità raggiunta, della tipologia di installazione in foro, delle prove in sito e del prelievo di campioni.

ID SONDAGGIO	PROFONDITA' (m da p.c.)	N° SPT	INSTALLAZIONE IN FORO	N° CAMPIONI GEOTECNICI PRELEVATI (Shelby)	N° CAMPIONI GEOTECNICI PRELEVATI (SPT)
SG01	20	1	piezometro PVC 3"	2	1
SG02	20	1	foro ritombato	2	1
SG03	20	1	foro ritombato	2	1
SG04	20	5	piezometro PVC 3"	1	4
SG05	9	-	foro ritombato	-	-

Figura 4 - Scheda sintetica delle sondaggi geognostici eseguiti in area esterna "Sottostazione elettrica utente"

ID SONDAGGIO	PROFONDITA' (m da p.c.)	N° SPT	INSTALLAZIONE IN FORO	N° CAMPIONI AMBIENTALI PRELEVATI	N° CAMPIONI GEOTECNICI PRELEVATI (Shelby)	N° CAMPIONI GEOTECNICI PRELEVATI (SPT)
S1	15	1	piezometro PVC 3"	3	1	1
S2	15	1	foro ritombato	3	-	1
S3	15	2	foro ritombato	3	1	2
S4	15	1	foro ritombato	3	1	1
S5	15	1	piezometro PVC 3"	3	-	1
S6	10	-	foro ritombato	3	1	
S7	15	1	piezometro PVC 3"	3	-	1
S10	10	-	foro ritombato	3	1	
S11	10	-	foro ritombato	3	1	
S12	10	-	foro ritombato	3	-	

Figura 5 - Scheda sintetica delle sondaggi eseguiti in area interna "Unità ELCO EC8"

L'esecuzione dei sondaggi, di tutte le prove in foro e gli allestimenti degli strumenti di misura sono state affidate a personale specializzato in perforazioni. La squadra operativa è stata composta da n°1 sondatore, n° 1 aiuto sondatore e dal geologo, il quale ha provveduto alla stesura dei log stratigrafici alla supervisione, verifica e registrazione di tutte le prove in foro ed al prelievo dei campioni.

Le perforazioni sono state eseguite a carotaggio continuo a rotazione, con il metodo ad aste e carotiere. La perforazione a carotaggio continuo avviene tramite aste di collegamento che vengono estratte dopo ogni manovra (tratto perforato) per recuperare dal carotiere, posto alla base della colonna di aste, il materiale carotato. Il raggiungimento di profondità maggiori avviene aggiungendo in superficie aste alla batteria. Le aste impiegate hanno diametro di 76.1 mm. Per stabilizzare le pareti del foro ed evitare che frani viene inserita la tubazione di rivestimento metallico provvisorio di diametro 127 mm.

Il carotiere utilizzato per i sondaggi in oggetto è stato il carotiere semplice, con diametro esterno 101 mm.

Per l'esecuzione dei sondaggi è stata usata la sonda perforatrice idraulica CMV420, le cui caratteristiche tecniche sono riassunte di seguito:

CMV 420	
Coppia max	Nm 4120
Velocità di rotazione	giri/min 70-250
Corsa testa idraulica	mm 1800
Spinta	kg 1500
Tiro	kg 2500
Cap. tiro max argano	kg 1500

Gli utensili utilizzati sono i seguenti:

- aste di manovra diam. 76 mm
- carotiere semplice Ø101 mm
- tubi di rivestimento diametro Ø 127 mm
- corone e scarpe con prismetti in widia
- astine Ø 50 mm per esecuzione SPT
- maglio per prove SPT, campionatore Raymond con scarpina aperta
- freatometro e scandaglio.

Le carote estratte nel corso della perforazione sono state sistemate in apposite cassette catalogatrici munite di scomparti divisori e coperchio apribile di dimensioni 5 m x 1 m, ed una volta scortecciate sono state fotografate ed analizzate dal geologo responsabile del cantiere.

Su ogni cassetta è stato indicato l'oggetto, il cantiere, la località, la profondità e la sigla identificativa del sondaggio.

Le stratigrafie dei sondaggi sono raccolte in Allegato 1.

La documentazione fotografica delle indagini è raccolta in Allegato 2.

3. PROVE SPT

All'interno dei fori di sondaggio e durante la fase di carotaggio, a più altezze sono state realizzate una serie di prove penetrometriche dinamiche S.P.T. (Standard Penetration Test).

Tale tipologia di prova consente di determinare la resistenza che un terreno offre alla penetrazione dinamica di un campionatore infisso a partire dal fondo del foro di sondaggio.

La prova consiste nel far cadere un maglio dal peso di 63.5 Kg da una altezza di 760 ± 10 mm, su una testa di battuta fissa alla sommità di una batteria di aste di diametro conforme alle norme, alla cui estremità inferiore è avvitato il campionatore RAYMOND di dimensioni standardizzate.

La prova si esegue infiggendo a fondo foro il campionatore per due tratti consecutivi, il primo da 150 mm (N1) e il secondo da 300 mm (N2+N3), annotando il numero di colpi necessario per la penetrazione.

La successione delle operazioni è la seguente:

- procedere alla infissione preliminare di 150 mm contando ed annotando il numero di colpi del maglio (N1);
- procedere alla infissione del tratto di 300 mm contando ed annotando separatamente il numero di colpi relativi ai primi 150 mm (N2) ed ai secondi 150 mm (N3).

Prima dell'esecuzione delle prove penetrometriche dinamiche dal foro di sondaggio vengono eliminati eventuali sedimenti che potrebbero inficiare l'esito della prova.

Le prove SPT (Standard Penetration Test) sono state eseguite rispettando la normativa di riferimento:

- ASTM D 1586-67 (1974); d1586-84 (1992). Standard Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soil ;

Sono state eseguite complessivamente n° 15 prove con punta aperta con prelievo di un campione rimaneggiato in corrispondenza di ogni prova da sottoporre alle prove geotecniche. Fa eccezione la prova eseguita lungo la verticale di SG04 a quota -13,00 m perché il campionatore ha perso il terreno in fase di estrazione. I risultati sono riportati nelle stratigrafie contenute in Allegato 1 e sono riepilogate nella tabella seguente:

N.	ID sondaggio	da (m dal p.c.)	a (m dal p.c.)	Colpi	Punta
1	SG01	18	18,45	4-2-1	aperta
2	SG02	12	12,45	4-1-2	aperta
3	SG03	9	9,45	3-5-6	aperta
4	SG04	7,5	7,95	3-4-8	aperta
5	SG04	9,5	9,45	3-5-8	aperta
6	SG04	13	13,45	4-6-7	aperta
7	SG04	15	15,45	4-7-9	aperta
8	SG04	19,5	19,45	6-8-9	aperta
9	S1	11,8	12,25	2-3-5	aperta
10	S2	12,1	12,55	10-6-9	aperta
11	S3	12,5	12,95	4-5-6	aperta
12	S3	15	15,45	6-18-23	aperta
13	S4	12	12,45	10-17-18	aperta
14	S5	11,1	11,55	3-7-5	aperta
15	S7	15	15,45	3-5-18	aperta

Figura 6 - Tabelle riepilogativa prove S.P.T.

La strumentazione impiegata per l'esecuzione delle prove SPT consiste in:

- Tubo campionatore apribile longitudinalmente: \varnothing est= 50.8 mm; \varnothing int= 35 mm L minima (escluso tagliente principale)>457 mm; L utile = 630 mm; il campionatore è munito di valvola a sfera alla sommità e aperture di scarico e sfiato;
- Scarpa tagliente terminale (con rastremazione negli ultimi 19 mm) = 76 mm;
- Massa battente di peso 63,5 kg che cade da 75 cm di altezza;
- Aste collegate al campionatore aventi peso per metro lineare 6.5 kg (± 0.5 kg/ml). Le aste devono essere diritte, ben avvitate in corrispondenza dei giunti e con flessione totale della batteria pronta per la prova < 1°. La caduta del maglio deve essere libera; pertanto deve essere adottato un dispositivo di sganciamento.

4. PRELIEVO CAMPIONI GEOTECNICI E PROVE DI LABORATORIO GEOTECNICO

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati campioni geotecnici indisturbati con campionatore Shelby.

Il campionatore Shelby è un campionatore a pressione, in acciaio inox, a parete sottile con basso coefficiente di parete. Il campionatore in acciaio quindi, funge anche da contenitore del campione stesso. La base del campionatore è tagliente con un angolo di scarpa di circa 4-15°. Il campionamento avviene tramite infissione a pressione, senza rotazione, in un'unica manovra.

Nella tabella seguente sono riepilogati i campioni geotecnici prelevati includendo anche quelli rimaneggiati derivanti dalle prove SPT.

ID SONDAGGIO	ID CAMPIONE	TIPO CAMPIONE	PROFONDITA' (m)
SG01	CI1	indisturbato (shelby)	6,50-7,00
SG01	CI2	indisturbato (shelby)	14,50-15,00
SG01	CR1	rimaneggiato (SPT)	18,00-18,45
SG02	CI1	indisturbato (shelby)	7,00-7,50
SG02	CR1	rimaneggiato (SPT)	12,00-12,45
SG02	CI2	indisturbato (shelby)	18,00-18,50
SG03	CI1	indisturbato (shelby)	6,00-6,50
SG03	CR1	rimaneggiato (SPT)	9,00-9,45
SG03	CI2	indisturbato (shelby)	12,00-12,50
SG04	CI1	indisturbato (shelby)	4,50-5,00
SG04	CR1	rimaneggiato (SPT)	7,50-7,95
SG04	CR2	rimaneggiato (SPT)	9,50-9,95
SG04	CR3	rimaneggiato (SPT)	15,00-15,45
SG04	CR4	rimaneggiato (SPT)	19,50-19,95
S1	CI1	indisturbato (shelby)	6,50-7,00
S1	CR1	rimaneggiato (SPT)	11,80-12,25
S2	CR1	rimaneggiato (SPT)	12,10-12,55
S3	CI1	indisturbato (shelby)	8,00-8,50
S3	CR1	rimaneggiato (SPT)	12,50-12,95
S3	CR2	rimaneggiato (SPT)	15,00-15,45
S4	CI1	indisturbato (shelby)	4,00-4,50
S4	CR1	rimaneggiato (SPT)	12,00-12,45
S5	CR1	rimaneggiato (SPT)	11,10-11,55
S6	CI1	indisturbato (shelby)	7,95-8,55
S7	CR1	rimaneggiato (SPT)	15,00-15,45
S10	CI1	indisturbato (shelby)	5,80-6,30
S11	CI1	indisturbato (shelby)	5,25-5,75

Figura 7 - Tabelle riepilogativa dei campioni geotecnici prelevati

Tutti i campioni prelevati con l'esclusione di S3-CI1 e S4 CI1, sono stati inviati al laboratorio geotecnico Laboratorio Geomeccanico Orazi di Mombaroccio (PU) per l'esecuzione delle prove previste.

5. INSTALLAZIONE PIEZOMETRO A TUBO APERTO

Al termine dell'esecuzione di alcuni sondaggi sono stati installati piezometri a tubo aperto.

Nella seguente tabella sono dettagliate le caratteristiche dei piezometri installati, comprensivi delle quote di posa del tratto cieco/fessurato e del livello di falda misurato al termine del completamento.

ID sondaggio	Profondità installazione (m)	Tratto cieco (m da p.c.)	Tratto fessurato (m da p.c.)	Livello della falda misurata (m da p.c.)
SG01	20,00	0-2,00	2,00-20,00	4,00
SG04	20,00	0-2,00	2,00-20,00	4,10
S1	15,00	0-2,00	2,00-15,00	2,46
S5	15,00	0-2,00	2,00-15,00	1,58
S7	15,00	0-2,00	2,00-15,00	1,78

Figura 8 Tabella riepilogativa delle caratteristiche dei piezometri installati

La tubazione installata è costituita da tubi ciechi e filtranti in PVC del diametro di 3" con estremità filettate.

Prima della posa in opera sono stati eseguiti i seguenti controlli:

- assenza di lesioni
- assenza di anomalie nei filetti di giunzione per non compromettere il buon accoppiamento dei tubi.

A valle dei controlli descritti, sono state effettuate le seguenti operazioni per la posa in opera:

- verifica della quota di fondo foro con scandaglio;
- lavaggio della perforazione con acqua pulita e immessa dal fondo;
- inserimento del tubo finestrato e cieco;
- realizzazione dello strato filtrante in ghiaietto per lo spessore richiesto;
- formazione del tappo impermeabile costituito da compactonite in pellets;
- estrazione del rivestimento del foro senza ausilio della rotazione;
- posa in opera di pozzetto di protezione.

6. GEOREFERENZIAZIONE DEI PUNTI DI INDAGINE

Al termine della campagna di indagine è stata eseguita la georeferenziazione dei punti di indagine tramite strumentazione topografica GPS Survey. Di seguito si forniscono le coordinate di longitudine e latitudine dei punti rilevati (Sistema UTM-WGS84, fuso 32).

ID Punto	Coord. Est (UTM32)	Coord. Nord (UTM32)
SG01	701488.477	4945240.553
SG02	701506.245	4945291.683
SG03	701542.594	4945262.282
SG04	701566.121	4945228.853
SG05	701785.118	4945583.725
S1	698349,641	4942099,716
S2	698333.765	4942156.178
S3	698332.558	4942185.642
S4	698323.169	4942178.829
S5	698343.463	4942224.459
S6	698342.754	4942241.557
S7	698337.128	4942264.002
S10	698301.067	4942199.925
S11	698287.602	4942150.393
S12	698336.414	4942104.963

Figura 9 – Coordinate dei punti dell'indagine

ALLEGATO 1: STRATIGRAFIE DEI SONDAGGI

Sondaggio: SG01

Cliente: SAIPEM S.p.A
 Progetto: Indagini geognostiche
 Località: Minerbio (BO)



Tecno In S.p.A.
 Via G. Marcora 52
 20097 San Donato Milanese (MI)
 Prove in sito conc. Min. LL.PP. N° 53363 del 06.05.05

Est-UTM: 701488.477 m
 Nord-UTM: 4945240.553 m
 Quota p.c.: 6,65 m s.l.m.
 Profondità: 20 m

Sistema perforazione: Carotaggio continuo
 Diam. min. (mm): 101
 Diam. max. (mm): 127
 Sonda perforatrice: GEOMARC GM1000

Data esecuzione: 06-11.10.22
 Operatore: Giuseppe Brandini
 Geologo: Marco Ena
 Allestimento: piezometro PVC 3"

Scala (m)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	SPT (N1, N2, N3) (A) Punta aperta (C) Punta chiusa	Campioni Geotecnici	Campioni Ambientali	Carotiere (m)	Rivestimento	Schema Allestimento	Livello di falda
0	0,00	Terreno vegetale.		0,3							
	0,30	Limo sabbioso marrone.					CA1				
2				3,2			CA2				
							CA3				
4	3,50	Argilla grigio-marrone, limosa, debolmente sabbiosa.		1,7							4
	5,20	Argilla limoso-sabbiosa, marrone, con rara ghiaia fine.		0,7							
6	5,90	Limo debolmente sabbioso, localmente sabbioso, debolmente argilloso, marrone.		3		6,00					
						6,50	CI1				
8											
	8,90	Sabbia con limo nocciola chiaro.		0,6							
	9,50	Argilla grigia limosa, debolmente sabbiosa.		0,5							
10	10,00	Limo nocciola, sabbioso, debolmente argilloso.		0,4							
	10,40	Sabbia fine con limo, grigia.		1,2							
	11,60	Sabbia fine, debolmente limosa, grigia.		0,9							
12	12,50	Argilla debolmente sabbiosa grigia.									
14											
18	17,50	Sabbia fine, rara media, debolmente limosa, grigia.		2,5	18,00 4-2-1 (A) 18,45						
20	20,00										

NOTE:

Legenda allestimento piezometro

	Miscela cementizia		Tubo cieco		Tubo fessurato		Ghiaia		Compactione
	Tappo di testa		Tappo di fondo						

Sondaggio: SG02

Cliente: SAIPEM S.p.A
 Progetto: Indagini geognostiche
 Località: Minerbio (BO)



Tecno In S.p.A.
 Via G. Marcora 52
 20097 San Donato Milanese (MI)
 Prove in sito conc. Min. LL.PP. N° 53363 del 06.05.05

Est-UTM: 701506.245 m
 Nord-UTM: 4945291.683 m
 Quota p.c.: 6,49 m s.l.m.
 Profondità: 20 m

Sistema perforazione: Carotaggio continuo
 Diam. min. (mm): 101
 Diam. max. (mm): 127
 Sonda perforatrice: GEOMARC GM1000

Data esecuzione: 04-06.10.22
 Operatore: Giuseppe Brandini
 Geologo: Marco Ena
 Allestimento: foro ritombato

Scala (m)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	SPT (N1, N2, N3) (A) Punta aperta (C) Punta chiusa	Campioni Geotecnici	Campioni Ambientali	Carotiere (m)	Rivestimento	Schema Allestimento	Livello di falda
0	0,00	Terreno vegetale (coltivo).		0,4			0,00				
	0,40	Limo sabbioso marrone-nocciola.		1,6			CA1				
							1,00				
							CA2				
2	2,00	Argilla limosa grigio-nocciola e nocciola-verdastra.					2,00				
							CA3				
							3,00				
4				6							
6											
8	8,00	Limo sabbioso nocciola.		1,5							
	9,50	Argilla limosa nocciola e grigio-verdastra.		2,5							
10											
12	12,00	Limo sabbioso, debolmente argilloso, grigio.		1,5	12,00 4-1-2 (A) 12,45						
	13,50	Sabbia fine e media debolmente limosa, grigia.		1,5							
14											
16	15,00	Argilla debolmente sabbiosa grigia e grigio-verdastra.		5							
18											
20	20,00										

NOTE:

	Miscela cementizia		Tubo cieco		Tubo fessurato		Ghiaia		Compactonite
	Tappo di testa		Tappo di fondo						

Sondaggio: SG03

Cliente: SAIPEM S.p.A
 Progetto: Indagini geognostiche
 Località: Minerbio (BO)



Tecno In S.p.A.
 Via G. Marcora 52
 20097 San Donato Milanese (MI)
 Prove in sito conc. Min. LL.PP. N° 53363 del 06.05.05

Est-UTM: 701542.594 m
 Nord-UTM: 4945262.282 m
 Quota p.c.: 6,50 m s.l.m.
 Profondità: 20 m

Sistema perforazione: Carotaggio continuo
 Diam. min. (mm): 101
 Diam. max. (mm): 127
 Sonda perforatrice: GEOMARC GM1000

Data esecuzione: 03-04.10.22
 Operatore: Giuseppe Brandini
 Geologo: Marco Ena
 Allestimento: foro ritombato

Scala (m)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	SPT (N1, N2, N3) (A) Punta aperta (C) Punta chiusa	Campioni Geotecnici	Campioni Ambientali	Carotiere (m)	Rivestimento	Schema Allestimento	Livello di falda
0	0,00	Terreno vegetale (coltivo).		0,2			0,00				
	0,20	Limo sabbioso marrone.		2,3			CA1				
							1,00 CA2				
2	2,50	Argilla debolmente sabbiosa grigia.		4,5			2,00 CA3				
							3,00				
4											
6	7,00	Limo argilloso sabbioso nocciola.		2,6							
8											
10	9,60	Argilla grigia sabbiosa.		3,9	9,00 3-5-6 (A) 9,45						
12											
14	13,50	Limo con sabbia debolmente argillosa grigia e grigio-nocciola.		5							
16											
18	18,50	Sabbia fine con limo debolmente argilloso grigio.		2,5							
20	20,00										

NOTE:

Legenda allestimento piezometro

	Miscela cementizia		Tubo cieco		Tubo fessurato		Ghiaia		Compactonite
	Tappo di testa		Tappo di fondo						

Sondaggio: SG04

Cliente: SAIPEM S.p.A
 Progetto: Indagini geognostiche
 Località: Minerbio (BO)



Tecno In S.p.A.
 Via G. Marcora 52
 20097 San Donato Milanese (MI)
 Prove in sito conc. Min. LL.PP. N° 53363 del 06.05.05

Est-UTM: 701566.121 m
 Nord-UTM: 4945228.853 m
 Quota p.c.: 6,51 m s.l.m.
 Profondità: 20 m

Sistema perforazione: Carotaggio continuo
 Diam. min. (mm): 101
 Diam. max. (mm): 127
 Sonda perforatrice: GEOMARC GM1000

Data esecuzione: 29.09-01.10.22
 Operatore: Giuseppe Brandini
 Geologo: Marco Ena
 Allestimento: piezometro PVC 3"

Scala (m)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	SPT (N1, N2, N3) (A) Punta aperta (C) Punta chiusa	Campioni Geotecnici	Campioni Ambientali	Carotiere (m)	Rivestimento	Schema Allestimento	Livello di falda
0	0,00	Terreno vegetale (coltivo).						0,00			
	0,40	Limo sabbioso marrone.		0,4			CA1				
	2,20	Argilla limosa e debolmente limosa marrone-nocciola e verdastra.		1,8			CA2 CA3				
	6,50	Limo debolmente sabbioso argilloso, nocciola-giallastro e verdastro.		4,3	7,50						
	7,70	Sabbia fine e media, debolmente limosa, grigia passante a verdastra.		1,2	7,95 9,50 10,00	3-4-8 (A)					
	11,50	Limo debolmente sabbioso grigio.		3,8	13,00 13,45	3-5-8 (A)					
	14,50	Sabbia fine, limosa, grigia.		0,5	15,00	4-6-7 (A)					
	15,00	Argilla limosa grigio-verdastra.		2,8	15,45	4-7-9 (A)					
	17,80	Sabbia fine, limosa, localmente con limo, grigia.		2,8	19,50	6-8-9 (A)					
	20,00				19,95						

NOTE:

Legenda allestimento piezometro

	Miscela cementizia		Tubo cieco		Tubo fessurato		Ghiaia		Compactione
	Tappo di testa		Tappo di fondo						

Sondaggio: SG05

Cliente: SAIPEM S.p.A
 Progetto: Indagini geognostiche
 Località: Minerbio (BO)



Tecno In S.p.A.
 Via G. Marcora 52
 20097 San Donato Milanese (MI)
 Prove in sito conc. Min. LL.PP. N° 53363 del 06.05.05

Est-UTM: 701785.118 m
 Nord-UTM: 4945583.725 m
 Quota p.c.: 6,53 m s.l.m.
 Profondità: 10 m

Sistema perforazione: Carotaggio continuo
 Diam. min. (mm): 101
 Diam. max. (mm): 127
 Sonda perforatrice: GEOMARC GM1000

Data esecuzione: 11.11.22
 Operatore: Antonio Esposito
 Geologo: Francesco Coscarelli
 Allestimento: foro ritombato

Scala (m)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	SPT (N1, N2, N3) (A) Punta aperta (C) Punta chiusa	Campioni Geotecnici	Campioni Ambientali	Carotiere (m)	Rivestimento	Schema Allestimento	Livello di falda
0	0,00		Limo debolmente sabbioso con resti vegetali, marrone scuro, umido.	1,5			CA1	Semplice 101 mm 127 mm			
	1,50		Argilla limosa, marrone-verdastra, umida.			CA2					
2				3		CA3					
	4,50		Argilla limosa verdastra con screziature marrone-rossastre.								
4				2							
	6,50		Argilla limosa verde scura con screziature marroni.								
6				2							
	7,50		Argilla limosa marrone chiaro-nocciola con screziature								
8				1,5							
	9,00										

NOTE:

Legenda allestimento piezometro									
	Miscela cementizia		Tubo cieco		Tubo fessurato		Ghiaia		Compactonite
	Tappo di testa		Tappo di fondo						

Sondaggio: S1

Cliente: SAIPEM S.p.A
 Progetto: Indagini geognostiche
 Località: Minerbio (BO)



Tecno In S.p.A.
 Via G. Marcora 52
 20097 San Donato Milanese (MI)
 Prove in sito conc. Min. LL.PP. N° 53363 del 06.05.05

Est-UTM: 698349.641 m
 Nord-UTM: 4942099.716 m
 Quota p.c.: 13,01 m s.l.m.
 Profondità: 15 m

Sistema perforazione: Carotaggio continuo
 Diam. min. (mm): 101
 Diam. max. (mm): 127
 Sonda perforatrice: CMV 420

Data esecuzione: 09.11.22
 Operatore: Giuseppe Brandini
 Geologo: Marco Ena
 Allestimento: piezometro PVC 3"

Scala (m)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	Pocket Penetrometer (Kg/cm ²)	Torvane (l/m ²)	SPT (N1,N2,N3) (A) Punta aperta (C) Punta chiusa	Campioni Geotecnici	Campioni Ambientali	Carotiere (m)	Rivestimento	Schema Allestimento	Livello di falda
0	0,00		Limo argilloso, debolmente sabbioso (sabbia fine), marrone, inglobante rara ghiaia media e fine e rarissimi di laterizi.	1,5						0,00			
	1,50		Argilla limosa marrone con screziature brune e nerastre.							CA1			
2				3,05	4 4 3,2 3,2 3 1,6 2,8 3					CA2			
	4,55		Argilla debolmente limosa marrone con screziature nerastre con inclusioni millimetriche.	0,4						CA3			
	4,95		Argilla marrone con screziature rossastre e grigiastre, inglobanti localmente rare inclusioni millimetriche.		1,8 2 2,2 3,5 2,4 2,6								
6				2,6									
	7,55		Argilla bruna con screziature grigiastre e marroni.	0,85	1,2 1,8 2,6 2,8 3,6 3,2	10,20							
	8,40		Argilla marrone con screziature grigiastre e rossastre con rare inclusioni millimetriche.	0,7									
	9,10		Limo argilloso-sabbioso (sabbia fine), marrone.	0,2									
	9,30		Sabbia media e fine, limosa, marrone.	0,1									
	9,40		Limo argilloso, localmente debolmente sabbioso (sabbia fine), marrone.	0,65									
10	10,15		Argilla grigia con screziature marroni.	0,2									
	10,35		Argilla nerastra localmente debolmente limosa.	0,45									
	10,80		Sabbia fine, limosa, grigia.	0,25									
	11,05		Sabbia media e fine, debolmente limosa, grigia.	0,6									
	11,65		Sabbia fine, limosa, marrone-grigiastra.	0,15			11,80						
	11,80		Sabbia media e fine, debolmente limosa, grigia.	1,45			2-3-5 (A)	CR1					
	12,25						12,25						
	13,25		Sabbia fine, limosa, grigia con screziature rossastre.	0,2									
	13,45		Limo sabbioso, fine, grigio.	0,15									
	13,60		Sabbia fine, limosa, grigia.	0,4									
	14,00		Sabbia media e fine, debolmente limosa, grigia.										
	15,00			1									

NOTE:

Legenda allestimento piezometro					
	Miscela cementizia		Tubo cieco		Tubo fessurato
	Tappo di testa		Tappo di fondo		Ghiaia
	Compactione				

Sondaggio: S2

Cliente: SAIPEM S.p.A
 Progetto: Indagini geognostiche
 Località: Minerbio (BO)



Tecno In S.p.A.
 Via G. Marcora 52
 20097 San Donato Milanese (MI)
 Prove in sito conc. Min. LL.PP. N° 53363 del 06.05.05

Est-UTM: 698333.765 m
 Nord-UTM: 4942156.178 m
 Quota p.c.: 13,08 m s.l.m.
 Profondità: 15 m

Sistema perforazione: Carotaggio continuo
 Diam. min. (mm): 101
 Diam. max. (mm): 127
 Sonda perforatrice: CMV 420

Data esecuzione: 08.11.22
 Operatore: Giuseppe Brandini
 Geologo: Marco Ena
 Allestimento: foro ritombato

Scala (m)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	Pocket Penetrometer (Kg/cm ²)	Tonvane (t/m ²)	SPT (N1,N2,N3) (A) Punta aperta (C) Punta chiusa	Campioni Geotecnici	Campioni Ambientali	Carotiere (m)	Rivestimento	Schema Allestimento	Livello di falda
0	0,00		Riperto costituito da limo argilloso sabbioso inglobante laterizi e ghiaia.						0,00				
				3					CA1				
									1,00				
									CA2				
									2,00				
									CA3				
									3,00				
	3,00		Argilla limosa e sabbiosa marrone-grigiastra.	1									
	4,00		Argilla marrone con screziature rossastre.		1,2 2,4 4,2								
				1,4									
	5,40		Argilla marrone con screziature grigio-rossastre.		3,6 3,2 3,2 3 3	12,00 12,00							
				3,9									
	8,00				2,6 2,6 2 2,6	12,00 12,00							
					3,1 4 3,9 4,1 4 4 4								
	9,30		Limo sabbioso (sabbia media e fine) marrone con screziature grigie.		3,2 3,6 3	8,00 7,00							
				1,1									
	10,40		Argilla marrone con screziature grigie.		1,9 1,6 2								
				0,4									
	10,80		Argilla grigia.		2,4 2	9,40 9,00							
				0,6									
	11,40		Argilla limosa e sabbiosa (sabbia fine) grigia.		1,9 1,2 0,8	5,40							
	11,65		Sabbia fine, limosa, grigia.	0,25									
	12,00		Sabbia media e fine, limosa, marrone-grigiastra.	0,35			12,10		12,10				
				1			10-6-9	(A)	CR1				
	13,00		Argilla marrone-grigiastra.				12,55		12,55				
	13,20		Sabbia fine, limosa, marrone-grigiastra.	0,2									
				1,2									
	14,40		Sabbia media e grossolana, limosa, grigiastra.										
				0,6									
	15,00												

NOTE:

Legenda allestimento piezometro					
	Miscela cementizia		Tubo cieco		Tubo fessurato
	Ghiaia		Tappo di testa		Tappo di fondo
	Compactonite				

Sondaggio: S3

Cliente: SAIPEM S.p.A
 Progetto: Indagini geognostiche
 Località: Minerbio (BO)



Tecno In S.p.A.
 Via G. Marcora 52
 20097 San Donato Milanese (MI)
 Prove in sito conc. Min. LL.PP. N° 53363 del 06.05.05

Est-UTM: 698332.558 m
 Nord-UTM: 4942185.642 m
 Quota p.c.: 12,67 m s.l.m.
 Profondità: 15 m

Sistema perforazione: Carotaggio continuo
 Diam. min. (mm): 101
 Diam. max. (mm): 127
 Sonda perforatrice: CMV 420

Data esecuzione: 02.11.22
 Operatore: Giuseppe Brandini
 Geologo: Marco Ena
 Allestimento: foro ritombato

Scala (m)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	Pocket Penetrometer (Kg/cm ²)	Torvane (l/m ²)	SPT (N1,N2,N3) (A) Punta aperta (C) Punta chiusa	Campioni Geotecnici	Campioni Ambientali	Carotiere (m)	Rivestimento	Schema Allestimento	Livello di falda
0	0,00		Ripporto costituito da limo sabbioso fine, inglobante ghiaia media e fine e rarissimi laterizi.	1					0,00				
	1,00		Limo sabbioso.	1					1,00				
2	2,00		Argilla limosa marrone-verdastra localmente debolmente sabbiosa, umida.						2,00				
				4,5					3,00				
6	6,50		Argilla limosa verde-grigiasta, umida.						8,00				
				2,5					8,50				
10	9,00		Limo argilloso, debolmente sabbioso, umido, nocciola, localmente presenti screziature grigio-occracee.	1,5									
	10,50		Argilla limosa, localmente limoso-sabbiosa, umida, verde-grigiasta.	1,5									
				3									
	12,00		Limo sabbioso e sabbia limosa, umido, color grigio-verdastro.	3									
				3					12,50				
									12,95				
									15,00				
									15,45				

NOTE:

Legenda allestimento piezometro					
	Miscela cementizia		Tubo cieco		Tubo fessurato
	Tappo di testa		Tappo di fondo		Ghiaia
					Compactonite

Sondaggio: S4

Cliente: SAIPEM S.p.A
 Progetto: Indagini geognostiche
 Località: Minerbio (BO)



Tecno In S.p.A.
 Via G. Marcora 52
 20097 San Donato Milanese (MI)
 Prove in sito conc. Min. LL.PP. N° 53363 del 06.05.05

Est-UTM: 698323.169 m
 Nord-UTM: 4942178.829 m
 Quota p.c.: 12,76 m s.l.m.
 Profondità: 15 m

Sistema perforazione: Carotaggio continuo
 Diam. min. (mm): 101
 Diam. max. (mm): 127
 Sonda perforatrice: CMV 420

Data esecuzione: 07.11.22
 Operatore: Giuseppe Brandini
 Geologo: Francesco Coscarelli
 Allestimento: foro ritombato

Scala (m)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	Pocket Penetrometer (Kg/cm ²)	Tonvane (l/m ²)	SPT (N1,N2,N3) (A) Punta aperta (C) Punta chiusa	Campioni Geotecnici	Campioni Ambientali	Carotiere (m)	Rivestimento	Schema Allestimento	Livello di falda
0	0,00		Riperto costituito da limo, sabbia e laterizi.	1,5					0,00				
2	1,50		Limo sabbioso, argilloso, nocciola, umido.	1,8				CA1	1,50				
	2,00							CA2	2,00				
	3,30		Argilla limosa verde-marrone, umido.	0,3				CA3	3,00				
4	4,00							CI1	4,00				
	4,50								4,50				
6	5,80		Argilla limoso-sabbiosa marrone-verde, umido.	3,35	2,4 2,5 3,2	11,00 11,80							
	7,00		Argilla limosa verde-marrone.	0,15	2,6 2,9	10,60 12,00							
8	10,00		Limo argilloso con sottili livelli di limo sabbioso, umido.	0,1	2 2 3 4	10,50							
	11,00		Argilla limosa, verde, umida.	1,1	1,8 2 2,4 2,4	10,40							
	11,70		Limo sabbioso e sabbia limosa, grigio-verde, umido.	0,95	1,4 2 2,4	10,20	12,00	12,00					
	12,45		Argilla limosa marrone-verde.	0,25	1,2 1,4	6,80	10-17-18 (A)	CR1	12,45				
	13,00		Limo sabbioso e sabbia limosa, grigio-verde, umida.	0,8	1,2 1 1	3,40	12,45	12,45					
	15,00					5,20							

NOTE:

Legenda allestimento piezometro					
	Miscela cementizia		Tubo cieco		Tubo fessurato
	Tappo di testa		Tappo di fondo		Ghiaia
	Compactonite				

Sondaggio: S5

Cliente: SAIPEM S.p.A
 Progetto: Indagini geognostiche
 Località: Minerbio (BO)



Tecno In S.p.A.
 Via G. Marcora 52
 20097 San Donato Milanese (MI)
 Prove in sito conc. Min. LL.PP. N° 53363 del 06.05.05

Est-UTM: 698343.463 m
 Nord-UTM: 4942224.459 m
 Quota p.c.: 11,95 m s.l.m.
 Profondità: 15 m

Sistema perforazione: Carotaggio continuo
 Diam. min. (mm): 101
 Diam. max. (mm): 127
 Sonda perforatrice: CMV 420

Data esecuzione: 21.10.22
 Operatore: Giuseppe Brandini
 Geologo: Francesco Coscarelli
 Allestimento: piezometro PVC 3"

Scala (m)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	Pocket Penetrometer (Kg/cm²)	Tonvane (t/m²)	SPT (N1,N2,N3) (A) Punta aperta (C) Punta chiusa	Campioni Geotecnici	Campioni Ambientali	Carotiere (m)	Rivestimento	Schema Allestimento	Livello di falda
0	0,00		Riperto costituito da limo, sabbia e rari laterizi.	2					0,00				
									CA1				
									1,00				
									CA2				
2	2,00	Argilla limosa, localmente debolmente sabbiosa, marrone, umida.		0,6	3 3,2 2,3								
	2,60	Limo argilloso, nocciola, umido.		0,4	4,5 1,8 1	4,20			CA3				
	3,00	Argilla limosa, marrone, umida.		1	2,6 3,4 4	7,00							
4	4,00	Limo argilloso-sabbioso, marrone nocciola.		0,4	4 3,5								
	4,40	Argilla passante ad argilla limosa, grigio-verdastra, umida.		2,6	1,8 1,9 2 2,7 2,6 3 2,8 2,4 3 3	11,00 12,00 12,00							
6	7,00	Argilla limosa, localmente limoso-sabbiosa, nocciola-ocra.		3,4	2,9 2,8 2,6 3,2 2,8 2,6 2,4 2,4 2,4 2,4 2 1,6 2,2 2,2	11,00 11,00							
8	10,40	Limo sabbioso e sabbia limosa, colore grigio, umido.		1,45	2 1,2	5,00	11,10 3-7-5 (A)	11,10 CR1					
	11,85	Argilla limosa, grigio-verde, umida.		0,55	2 1,2	4,10	11,55	11,55					
	12,40	Limo sabbioso e sabbia limosa, colore grigio.		0,6	1 1,6	3,50							
	13,00	Sabbia media, debolmente limosa, grigia, umida.		1,3	1,2								
	14,30	Limo sabbioso e sabbia limosa, colore grigio, umido.		0,7									
	15,00												

NOTE:

Legenda allestimento piezometro

	Miscela cementizia		Tubo cieco		Tubo fessurato		Ghiaia		Compactione
	Tappo di testa		Tappo di fondo						

Sondaggio: S6

Cliente: SAIPEM S.p.A
 Progetto: Indagini geognostiche
 Località: Minerbio (BO)



Tecno In S.p.A.
 Via G. Marcora 52
 20097 San Donato Milanese (MI)
 Prove in sito conc. Min. LL.PP. N° 53363 del 06.05.05

Est-UTM: 698342.754 m
 Nord-UTM: 4942241.557 m
 Quota p.c.: 11,99 m s.l.m.
 Profondità: 15 m

Sistema perforazione: Carotaggio continuo
 Diam. min. (mm): 101
 Diam. max. (mm): 127
 Sonda perforatrice: CMV 420

Data esecuzione: 03.11.22
 Operatore: Giuseppe Brandini
 Geologo: Francesco Coscarelli
 Allestimento: foro ritombato

Scala (m)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	Pocket Penetrometer (Kg/cm ²)	Tonvane (t/m ²)	SPT (N1,N2,N3) (A) Punta aperta (C) Punta chiusa	Campioni Geotecnici	Campioni Ambientali	Carotiere (m)	Rivestimento	Schema Allestimento	Livello di falda
0	0,00		Riparto costituito da sabbia, ghiaia, rari laterizi.	0,5									
	0,50		Argilla limoso sabbiosa marrone con tracce di laterizi.	1					CA1				
	1,50		Argilla limoso sabbiosa marrone.	0,5					CA2				
2	2,00		Argilla localmente debolmente sabbiosa grigio-marrone.	1,6	2,4 3 3 1,2 2,5				CA3				
	3,60		Argilla sabbiosa, passante verso il basso a sabbia argillosa.	0,5	1,7 0,8	8,20 2,00							
4	4,10		Argilla limosa, debolmente sabbiosa, grigia con screziature marroni.		1 3 2,4 1,6 2,7 0,8 2 1	12,00 12,00							
	6			4,9	2 1 2,5 2,5 3,4 2,6 2,8 2,3	5,40 11,40 11,20 12,00							
	8				1,7 2,7 3	11,40 12,00							
	9,00		Argilla torbosa, debolmente sabbiosa, grigio scura.	0,6	0,8 1	8,00		7,95	CI1				
	9,60		Argilla debolmente sabbiosa, grigia.	0,4	0,8 2 3,6 3,2	3,00 12,00		8,55					
10	10,00												

NOTE:

Legenda allestimento piezometro					
	Miscela cementizia		Tubo cieco		Tubo fessurato
	Tappo di testa		Tappo di fondo		Ghiaia
					Compactonite

Sondaggio: S7

Cliente: SAIPEM S.p.A
 Progetto: Indagini geognostiche
 Località: Minerbio (BO)



Tecno In S.p.A.
 Via G. Marcora 52
 20097 San Donato Milanese (MI)
 Prove in sito conc. Min. LL.PP. N° 53363 del 06.05.05

Est-UTM: 698337.128 m
 Nord-UTM: 4942264.002 m
 Quota p.c.: 11,94 m s.l.m.
 Profondità: 15 m

Sistema perforazione: Carotaggio continuo
 Diam. min. (mm): 101
 Diam. max. (mm): 127
 Sonda perforatrice: CMV 420

Data esecuzione: 04.11.22
 Operatore: Giuseppe Brandini
 Geologo: Francesco Coscarelli
 Allestimento: piezometro PVC 3"

Scala (m)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	Pocket Penetrometer (Kg/cm²)	Tonvane (t/m²)	SPT (N1,N2,N3) (A) Punta aperta (C) Punta chiusa	Campioni Geotecnici	Campioni Ambientali	Carotiere (m)	Rivestimento	Schema Allestimento	Livello di falda
0	0,00		Riperto costituito da sabbia, ghiaia, rari laterizi.	1									
	1,00		Argilla limoso-sabbiosa grigio marrone con tracce di laterizi e ghiaia.	0,5					CA1				
	1,50		Limo argilloso nocciola umido.	0,5					CA2				
2	2,00		Argilla limoso-sabbiosa, grigio-verde, umida.	0,5					CA3				
	2,50		Argilla limosa con rara ghiaia e sottili livelli di sabbia limosa grigio-verde con resti vegetali, umido.	1,7	2,5 1,7 1,1 3,4 3,2 0,8 1,5 2,7								
	4,20		Argilla debolmente limosa, verde-marrone, umida.	0,3	2,4	12,00							
	4,50		Ghiaia, legno e calcestruzzo.	0,25	2,5	12,00							
	4,75		Argilla limosa, grigio-verde, con locali screziature.	4,75	2,8 3,5 0,8 0,8 0,6 2,6 3,1 3,2 2,7 2,9 1,5 0,8 1,6 2,2 1,3 1,4 1,6 0,9	8,60 12,00 2,80 12,00 12,00							
	9,50		Limo argilloso verde-marrone, umido.	1	2,4 2,6 2,7 2,6 2	4,20 12,00 12,00							
10	10,50		Argilla limosa, grigio-verde, umida.	1,3	1,7 2,3 1,9 0,5 0,7 0,7 0,6	2,80 2,80 5,20 4,20							
	11,80		Limo sabbioso e sabbia limosa.	0,2	1,4	4,20							
	12,00		Argilla limosa, grigio-marrone, umida.	0,5	1,2	4,00							
	12,50		Limo sabbioso e sabbia limosa, grigia, umida.	0,9	1,2	7,20							
	13,40		Limo argilloso grigio.	0,6		5,40							
	14,00		Limo sabbioso e sabbia limosa.	1		1,20							
	15,00						15,00 3-5-18 (A) 15,45	15,00 CR1 15,45					

NOTE:

Legenda allestimento piezometro					
	Miscela cementizia		Tubo cieco		Tubo fessurato
	Tappo di testa		Ghiaia		Compactonite
	Tappo di fondo				

Sondaggio: S10

Cliente: SAIPEM S.p.A
 Progetto: Indagini geognostiche
 Località: Minerbio (BO)



Tecno In S.p.A.
 Via G. Marcora 52
 20097 San Donato Milanese (MI)
 Prove in sito conc. Min. LL.PP. N° 53363 del 06.05.05

Est-UTM: 698301.067 m
 Nord-UTM: 4942199.925 m
 Quota p.c.: 12,55 m s.l.m.
 Profondità: 10 m

Sistema perforazione: Carotaggio continuo
 Diam. min. (mm): 101
 Diam. max. (mm): 127
 Sonda perforatrice: CMV 420

Data esecuzione: 02.11.22
 Operatore: Giuseppe Brandini
 Geologo: Francesco Coscarelli
 Allestimento: foro ritombato

Scala (m)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	Pocket Penetrometer (Kg/cm ²)	Torvane (l/m ²)	SPT (N1,N2,N3) (A) Punta aperta (C) Punta chiusa	Campioni Geotecnici	Campioni Ambientali	Carotiere (m)	Rivestimento	Schema Allestimento	Livello di falda
0	0,00		Riperto costituito da sabbia, ghiaia e laterizi.	1					0,00				
	1,00		Argilla limosa, umida, grigio-marrone.	1				CA1	1,00				
2	2,00		Argilla limosa, umida, verde-marrone, presenti locali livelli pluricentimetrici di limo argilloso.	2,3				CA2	2,00				
	4,30		Limo argilloso, umido, marrone.	0,7				CA3	3,00				
	5,00		Argilla limosa, debolmente sabbiosa, nocciola, umida.	1,5									
6	6,50		Argilla limosa, verdastra-marrone, umida.	2,4				CI1	5,80				
	8,90		Argilla limoso-sabbiosa e limo argilloso sabbioso, umido.	1,1					6,30				
10	10,00												

NOTE:

Legenda allestimento piezometro									
	Miscela cementizia		Tubo cieco		Tubo fessurato		Ghiaia		Compactonite
	Tappo di testa		Tappo di fondo						

Sondaggio: S11

Cliente: SAIPEM S.p.A
 Progetto: Indagini geognostiche
 Località: Minerbio (BO)



Tecno In S.p.A.
 Via G. Marcora 52
 20097 San Donato Milanese (MI)
 Prove in sito conc. Min. LL.PP. N° 53363 del 06.05.05

Est-UTM: 698287.602 m
 Nord-UTM: 4942150.393 m
 Quota p.c.: 12,92 m s.l.m.
 Profondità: 10 m

Sistema perforazione: Carotaggio continuo
 Diam. min. (mm): 101
 Diam. max. (mm): 127
 Sonda perforatrice: CMV 420

Data esecuzione: 21.10.22
 Operatore: Giuseppe Brandini
 Geologo: Marco Ena
 Allestimento: foro ritombato

Scala (m)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	Pocket Penetrometer (Kg/cm ²)	Torvane (l/m ²)	SPT (N1,N2,N3) (A) Punta aperta (C) Punta chiusa	Campioni Geotecnici	Campioni Ambientali	Carotiere (m)	Rivestimento	Schema Allestimento	Livello di falda
0	0,00		Limo sabbioso (sabbia fine) inglobante ghiaia media e fine e frammenti di calcestruzzo.	1,5					0,00				
	1,50		Limo sabbioso (sabbia fine) marrone.	1,8					CA1				
2	2,00								CA2				
	2,00								CA3				
	3,30		Argilla marrone con screziature nerastre e rossastre.	1,3									
4	4,60		Argilla nerastra con clasti millimetrici.	0,3									
	4,90		Argilla marrone con screziature nerastre.	0,2									
	5,10		Argilla marrone con screziature rossastre e grigiastre.					5,25					
	5,75			2				CH1					
	5,75												
6	7,10		Sabbia fine, limosa, grigiastra-marrone.	0,25									
	7,35		Argilla marrone-grigiastra.										
8	8,60		Argilla da marrone-grigiastra a nerastra con screziature grigiastre inglobante clasti verso il basso.	0,3									
	8,90		Argilla marrone con screziature grigie.	0,75									
	9,65		Limo sabbioso (sabbia fine) marrone con screziature grigie.	0,1									
10	9,75		Argilla nera.	0,05									
	9,80		Argilla marrone con screziature nerastre e grigie.	0,2									
	10,00												

NOTE:

Legenda allestimento piezometro									
	Miscela cementizia		Tubo cieco		Tubo fessurato		Ghiaia		Compactonite
	Tappo di testa		Tappo di fondo						

Sondaggio: S12

Cliente: SAIPEM S.p.A
 Progetto: Indagini geognostiche
 Località: Minerbio (BO)



Tecno In S.p.A.
 Via G. Marcora 52
 20097 San Donato Milanese (MI)
 Prove in sito conc. Min. LL.PP. N° 53363 del 06.05.05

Est-UTM: 698336.414 m
 Nord-UTM: 4942104.963 m
 Quota p.c.: 13,16 m s.l.m.
 Profondità: 10 m

Sistema perforazione: Carotaggio continuo
 Diam. min. (mm): 101
 Diam. max. (mm): 127
 Sonda perforatrice: CMV 420

Data esecuzione: 10.11.22
 Operatore: Giuseppe Brandini
 Geologo: Marco Ena
 Allestimento: foro ritombato

Scala (m)	Profondità (m p.c.)	Litologia	Stratigrafia	Spessore (m)	Pocket Penetrometer (Kg/cm ²)	Torvane (l/m ²)	SPT (N1,N2,N3) (A) Punta aperta (C) Punta chiusa	Campioni Geotecnici	Campioni Ambientali	Carotiere (m)	Rivestimento	Schema Allestimento	Livello di falda
0	0,00		Riperto costituito da sabbia, ghiaia e laterizi.	1,5					0,00				
	1,50		Limo sabbioso argilloso marrone, umido.	1					CA1				
2	2,50		Limo argilloso verde-marrone.	0,5	4				CA2				
	3,00		Argilla limosa, localmente limoso-sabbiosa, verde-marrone, umida.	1,8	4 3,2 3,2 3 1,6 2,8 3 1,8 1,8				CA3				
4	4,80		Limo argilloso-sabbioso, marrone-verde, umida.	1,5	2 2,2 3,5 2,4 2,6 1,2								
6	6,30		Argilla limosa, localmente limoso-sabbiosa, verde-marrone.	3,7	1,8 2,6 2,8 3,6 3,2 3,1 2,8 2,6 3,1 1,8 2,6 3,1 2,9 1,8 2,1 3,2 3,6 2,4 1,9								
10	10,00				2,1 2,5 2,4 1,8 2,6								

NOTE:

Legenda allestimento piezometro

Miscela cementizia	Tubo cieco	Tubo fessurato	Ghiaia	Compactonite
Tappo di testa	Tappo di fondo			

ALLEGATO 2: DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA DEI SONDAGGI

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 1: da 0 a 5.00 m



Cassetta n° 2: da 5.00 a 10.00 m

Committente: **SAIPEM S.p.A.**

Progetto : *Indagine geognostica*

Località: *Minerbio (BO) - Sito STOGIT*

Reg.Com.: 285-22



TECNO IN S.p.A.

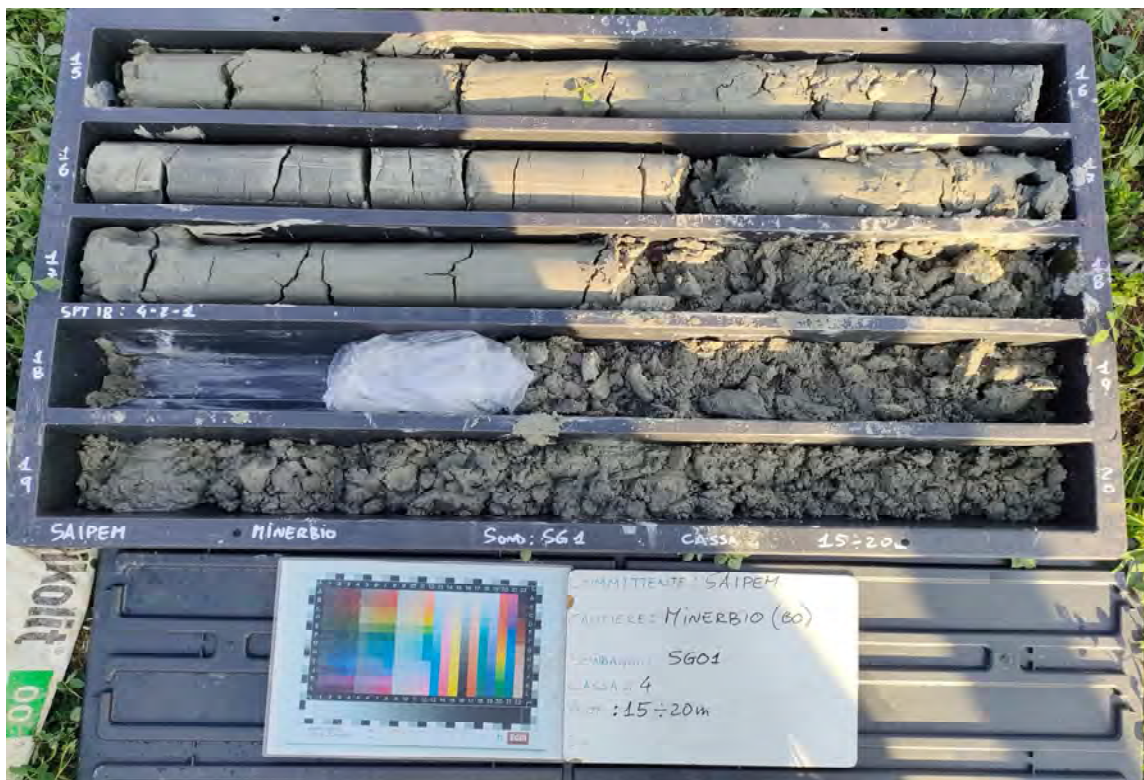
80134 Napoli

20097 San Donato Milanese (MI)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 3: da 10.00 a 15.00 m



Cassetta n° 4: da 15.00 a 20.00 m

Committente: **SAIPEM S.p.A.**

Progetto : *Indagine geognostica*

Località: *Minerbio (BO) - Sito STOGIT*

Reg.Com.: 285-22



TECNO IN S.p.A.

80134 Napoli

20097 San Donato Milanese (MI)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 1: da 0 a 5.00 m

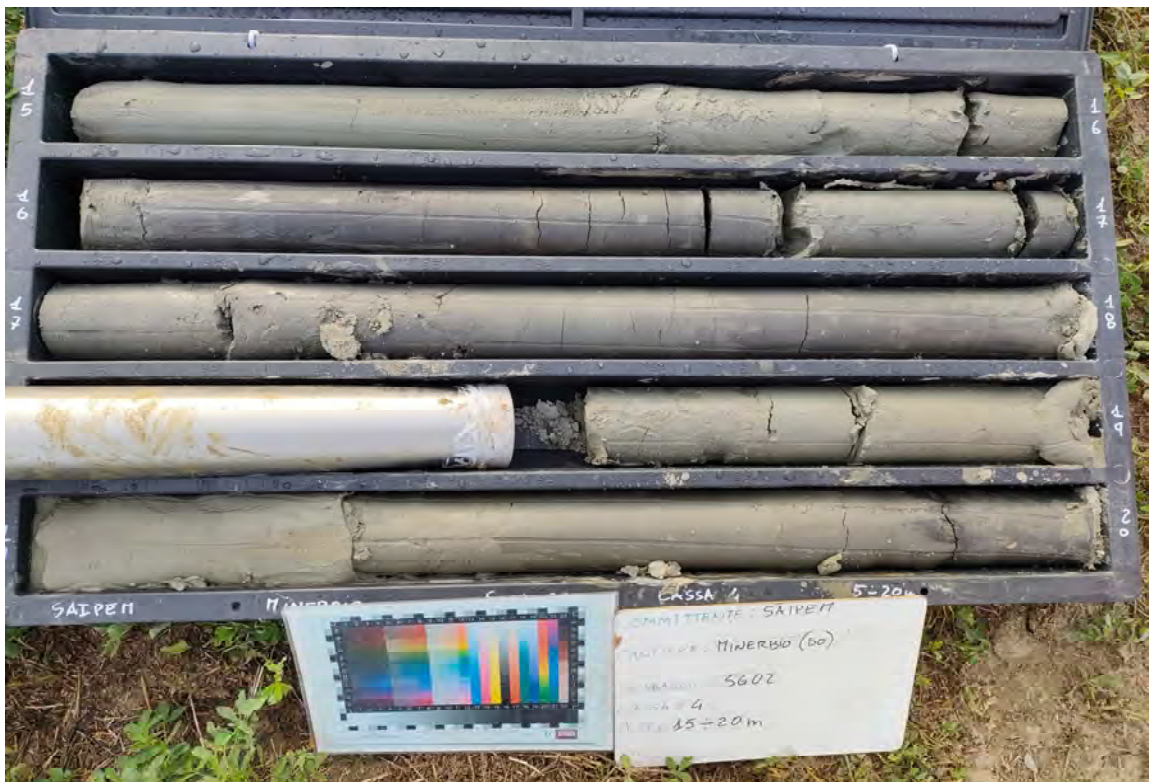


Cassetta n° 2: da 5.00 a 10.00 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 3: da 10.00 a 15.00 m



Cassetta n° 4: da 15.00 a 20.00 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 1: da 0 a 5.00 m



Cassetta n° 2: da 5.00 a 10.00 m

Committente: **SAIPEM S.p.A.**

Progetto : *Indagine geognostica*

Località: *Minerbio (BO) - Sito STOGIT*

Reg.Com.: 285-22



TECNO IN S.p.A.

80134 Napoli

20097 San Donato Milanese (MI)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 3: da 10.00 a 15.00 m



Cassetta n° 4: da 15.00 a 20.00 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 1: da 0 a 5.00 m



Cassetta n° 2: da 5.00 a 10.00 m

Committente: **SAIPEM S.p.A.**

Progetto : *Indagine geognostica*

Località: *Minerbio (BO) - Sito STOGIT*

Reg.Com.: 285-22



TECNO IN S.p.A.

80134 Napoli

20097 San Donato Milanese (MI)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 3: da 10.00 a 15.00 m



Cassetta n° 4: da 15.00 a 20.00 m

Committente: **SAIPEM S.p.A.**

Progetto : *Indagine geognostica*

Località: *Minerbio (BO) - Sito STOGIT*

Reg.Com.: 285-22



TECNO IN S.p.A.

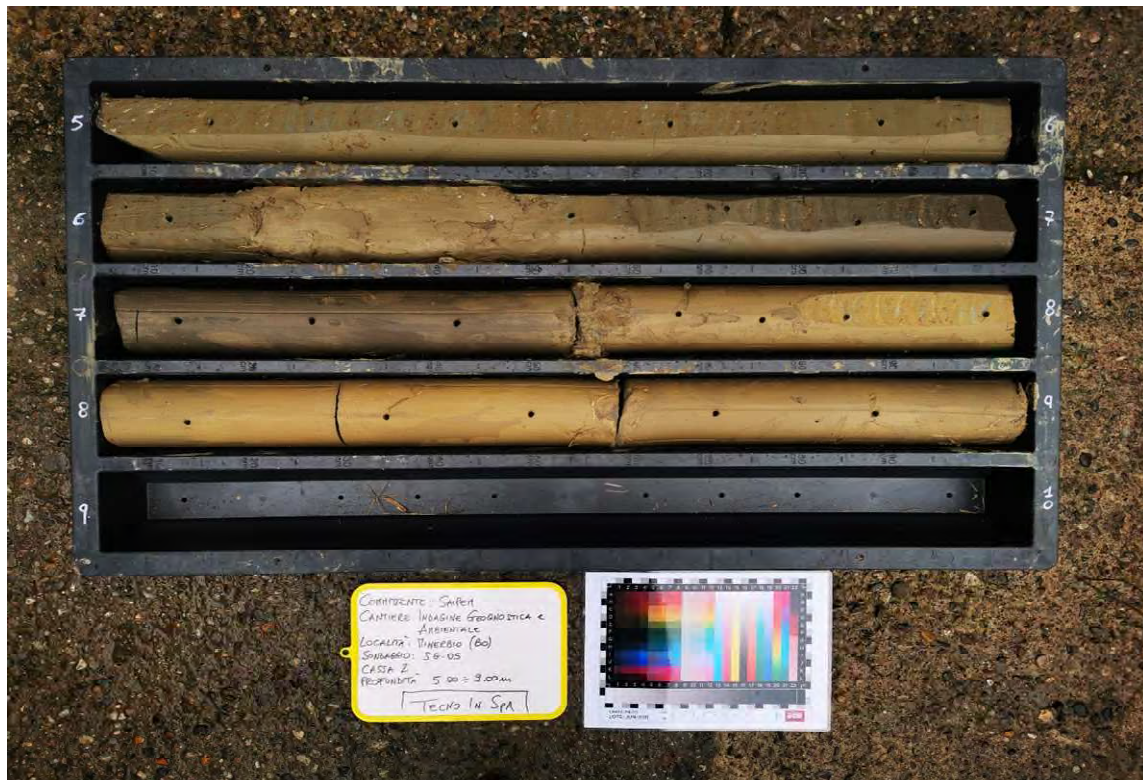
80134 Napoli

20097 San Donato Milanese (MI)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 1: da 0 a 5.00 m



Cassetta n° 2: da 5.00 a 9.00 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 1: da 0 a 5.00 m



Cassetta n° 2: da 5.00 a 10.00 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 3: da 10.00 a 15.00 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 1: da 0 a 5.00 m



Cassetta n° 2: da 5.00 a 10.00 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 3: da 10.00 a 15.00 m

Committente: **SAIPEM S.p.A.**

Progetto : *Indagine geognostica*

Località: *Minerbio (BO) - Sito STOGIT*

Reg.Com.: 285-22



TECNO IN S.p.A.

80134 Napoli

20097 San Donato Milanese (MI)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 1: da 0 a 5.00 m



Cassetta n° 2: da 5.00 a 10.00 m

Committente: **SAIPEM S.p.A.**

Progetto : *Indagine geognostica*

Località: *Minerbio (BO) - Sito STOGIT*

Reg.Com.: 285-22



TECNO IN S.p.A.

80134 Napoli

20097 San Donato Milanese (MI)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 3: da 10.00 a 15.00 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 1: da 0 a 5.00 m



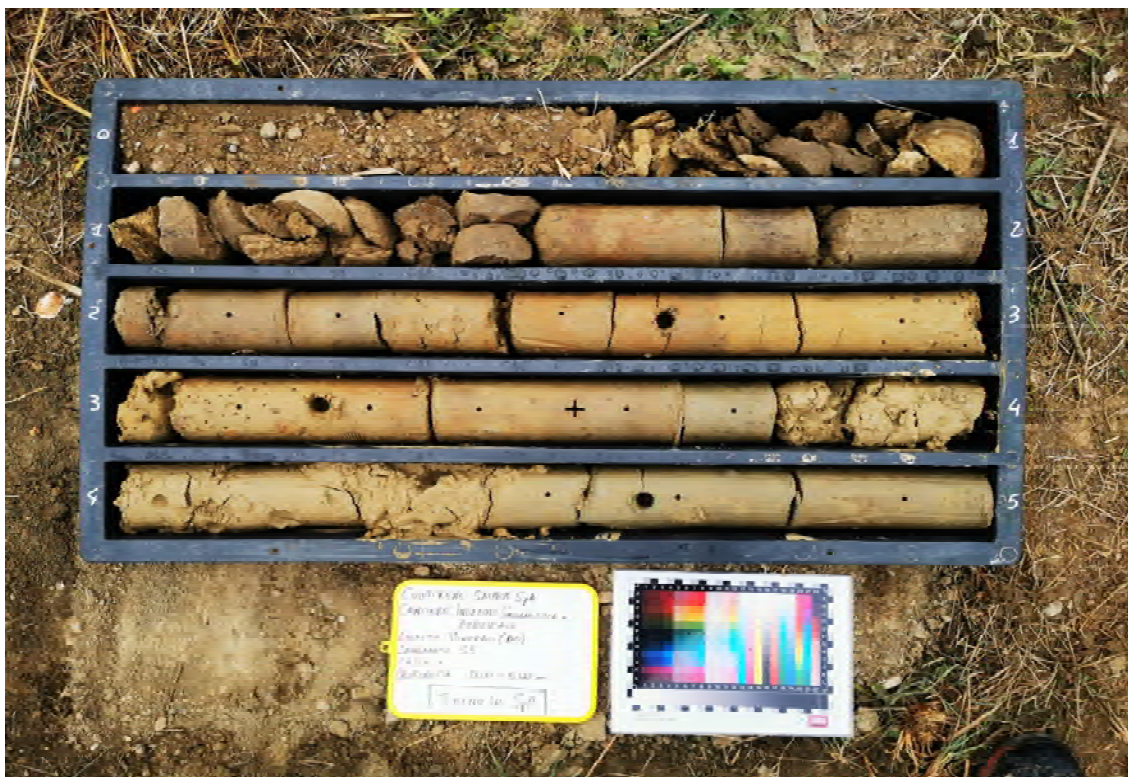
Cassetta n° 2: da 5.00 a 10.00 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

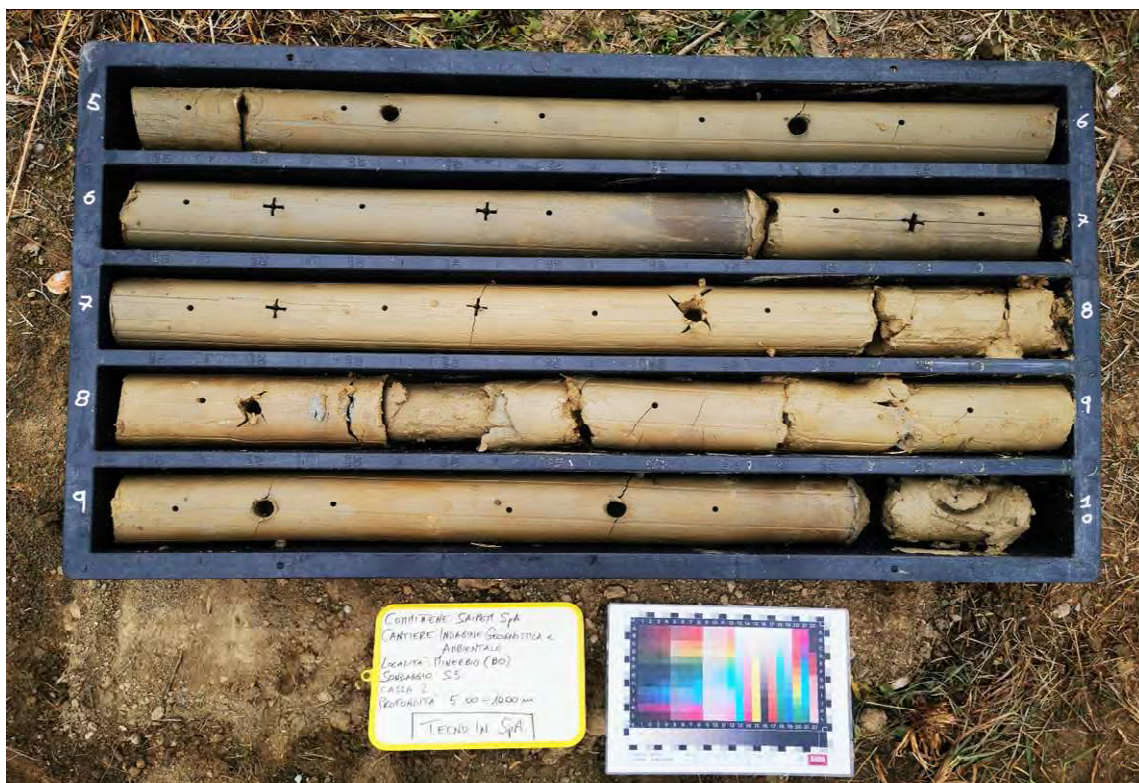


Cassetta n° 3: da 10.00 a 15.00 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 1: da 0 a 5.00 m



Cassetta n° 2: da 5.00 a 10.00 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

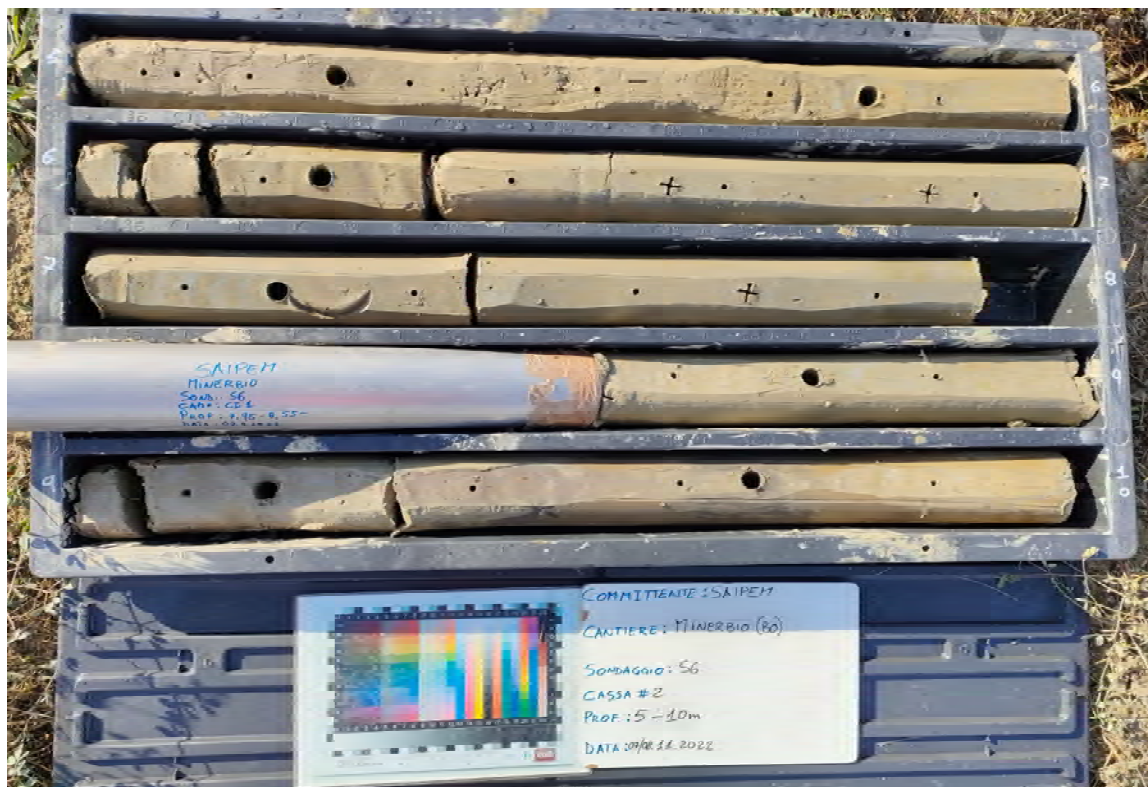


Cassetta n° 3: da 10.00 a 15.00 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 1: da 0 a 5.00 m



Cassetta n° 2: da 5.00 a 10.00 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 1: da 0 a 5.00 m



Cassetta n° 2: da 5.00 a 10.00 m

Committente: **SAIPEM S.p.A.**

Progetto : *Indagine geognostica*

Località: *Minerbio (BO) - Sito STOGIT*

Reg.Com.: 285-22



TECNO IN S.p.A.

80134 Napoli

20097 San Donato Milanese (MI)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 3: da 10.00 a 15.00 m

Committente: **SAIPEM S.p.A.**

Progetto : *Indagine geognostica*

Località: *Minerbio (BO) - Sito STOGIT*

Reg.Com.: 285-22



TECNO IN S.p.A.

80134 Napoli

20097 San Donato Milanese (MI)

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 1: da 0 a 5.00 m

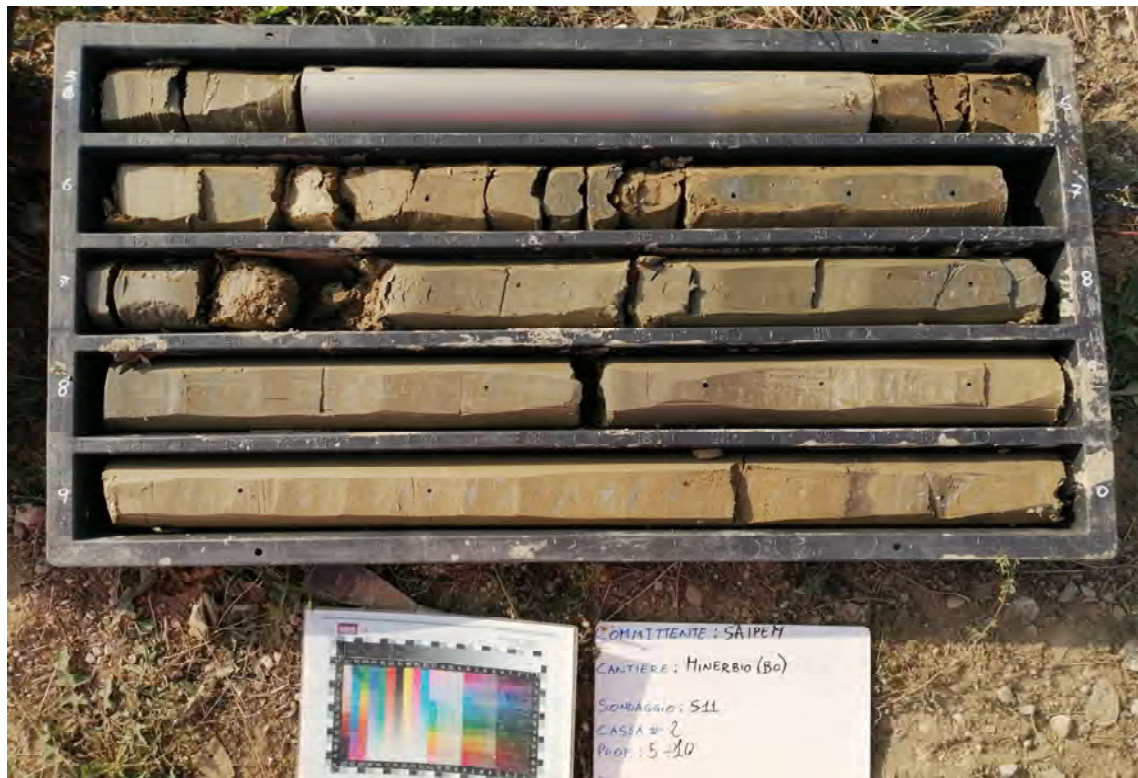


Cassetta n° 2: da 5.00 a 10.00 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 1: da 0 a 5.00 m

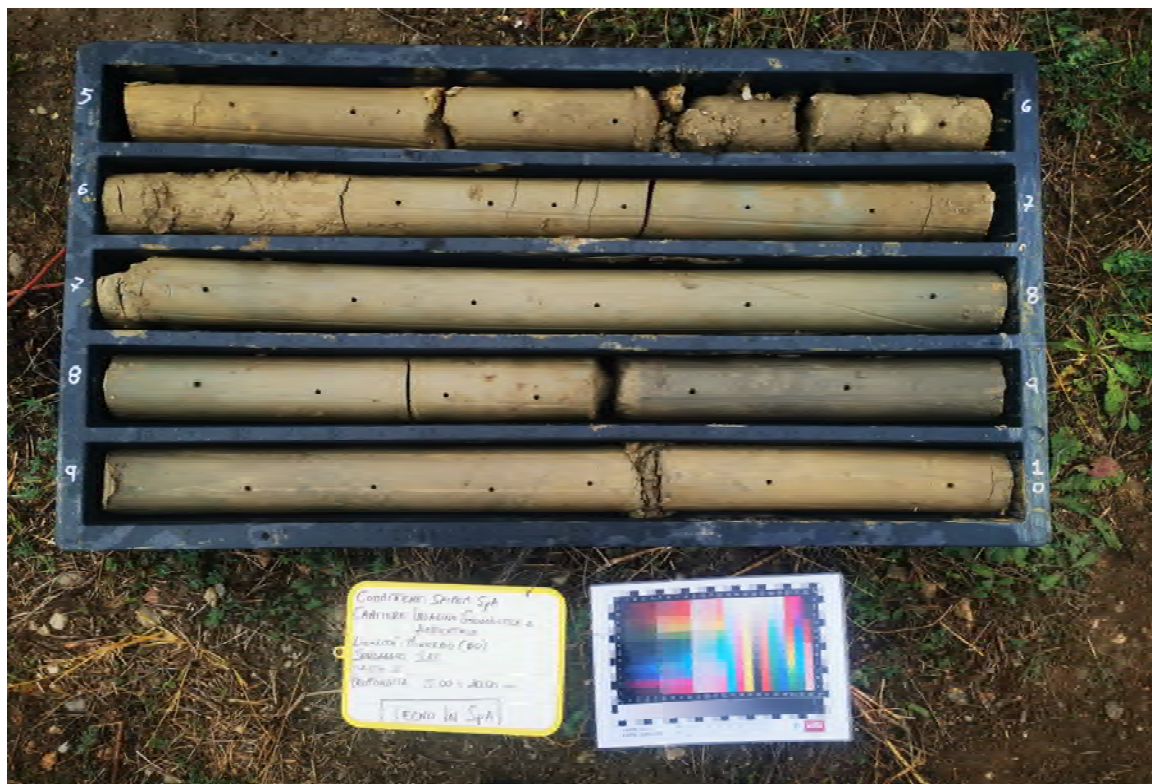


Cassetta n° 2: da 5.00 a 10.00 m

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Cassetta n° 1: da 0 a 5.00 m



Cassetta n° 2: da 5.00 a 10.00 m

REPORT INDAGINI GEOFISICHE



PROJECT:

INDAGINI GEOFISICHE PRESSO IL SITO STOGIT DI
MINERBIO (BO)

LOCATION:

MINERBIO (BO)

CLIENT:

SAIPEM S.P.A.

OBJECT: REPORT DELLE INDAGINI GEOFISICHE



Tecno In Ref.: R.C. 385-22
Revision n°: 0
Date: Ottobre 2022
Description: emissione

Redacted by:
Reviewed by:
Approved by:
Document code:

Dr.ssa Geol. Silvia Spagna
Dr.ssa Geol. Bartolomeo Garofalo
Dr. Geol. Marco Uliano
Report Geofisiche SAIPEM Minerbio.doc

INDICE

1	PREMESSA	2
2	PROSPEZIONE GEOFISICA CON METODOLOGIA MASW	3
2.1	DESCRIZIONE DEL METODO D'INDAGINE, ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DEI DATI	3
2.2	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	4
2.3	DESCRIZIONE DELL'ATTIVITÀ DI CAMPO	5
2.4	RISULTANZE INDAGINE MASW	8
2.4.1	MASW1 AREA INTERNA – MASW1_INTERNO	9
2.4.2	MASW4 AREA INTERNA – MASW4_INTERNO	11
2.4.3	MASW2 AREA ESTERNA – MASW2_ESTERNO	13
2.4.4	MASW3 AREA ESTERNA – MASW3_ESTERNO	15
2.5	DETERMINAZIONE DELLA $V_{s,EQ}$	17
3	INDAGINE SISMICA PASSIVA HVSR	19
3.1	METODOLOGIA	19
3.2	RISULTATI DELLE INDAGINI HVSR ESEGUITE	20
3.2.1	HVSR1 - MIN_UNO	22
3.2.2	HVSR2 – MIN_DUE	25

1 PREMESSA

La SAIPEM S.p.A., ha affidato a Tecno In S.p.A. l'incarico di eseguire una campagna di indagini geofisiche presso il sito STOGIT di Minerbio (BO).

Il presente report si riferisce ai lavori eseguiti nell'area esterna "sottostazione elettrica utente" e nell'area interna "Unità ELCO EC8".

Le attività svolte sono state quelle seguenti:

- Esecuzione di n°2 indagini sismiche MASW nell'area interna "Unità ELCO EC8"
- Esecuzione di n°2 indagini sismiche MASW nell'area esterna "sottostazione elettrica utente"
- Esecuzione di n°2 indagini sismiche HVSR nell'area interna "Unità ELCO EC8"

Le indagini geofisiche si sono svolte il giorno 13/10/2022.

L'ubicazione delle indagini sismiche è riportata in figura 1.



Figura 1 - Ubicazione dei punti di indagine

2 PROSPEZIONE GEOFISICA CON METODOLOGIA MASW

2.1 Descrizione del metodo d'indagine, acquisizione ed elaborazione dei dati

La tecnica di analisi MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), rappresenta una tipologia d'indagine sismica che consente di individuare il profilo verticale di velocità delle onde di taglio V_s , basandosi sulla registrazione delle onde superficiali di Rayleigh.

Il metodo MASW è basato sul fenomeno secondo il quale, in un mezzo stratificato, le onde superficiali sono "dispersive", ovvero sul fatto che frequenze diverse e quindi lunghezze d'onda diverse, viaggiano a velocità diversa. Più specificatamente, le lunghezze d'onda maggiori (frequenze più basse) forniscono informazioni sulla parte più profonda del sottosuolo, mentre le lunghezze d'onda più basse (frequenze più alte) dipendono dalle caratteristiche della parte più superficiale del sottosuolo.

Il metodo d'indagine MASW, adoperato per le indagini in oggetto, è del tipo "attivo" ovvero le onde superficiali sono generate artificialmente mediante l'impatto di una massa battente sulla superficie del suolo e la loro propagazione è misurata da uno stendimento lineare di velocimetri o geofoni. Un tipico schema di acquisizione è mostrato nella seguente figura.

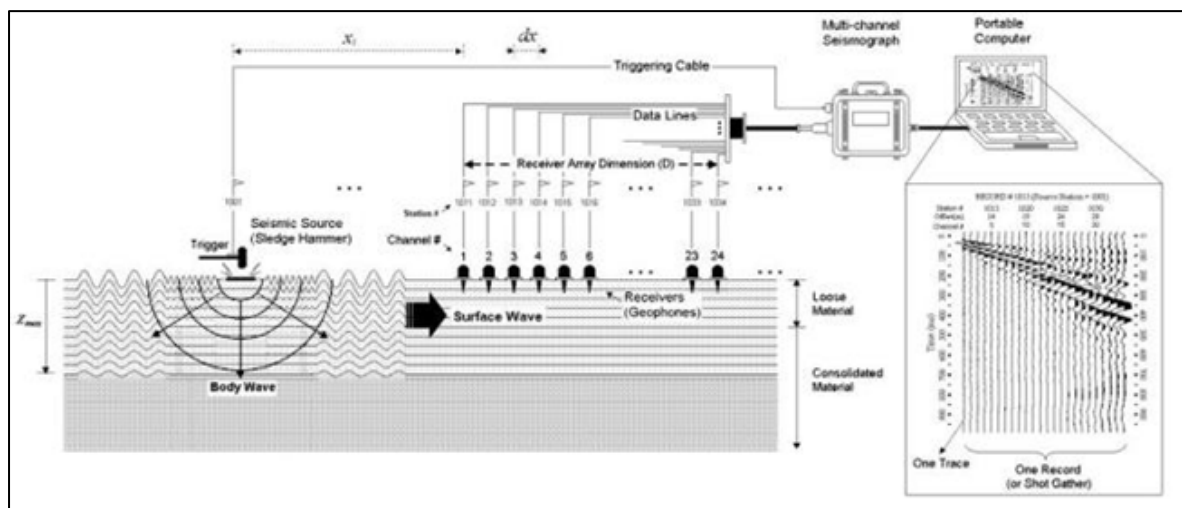


Figura 2 Indagine MASW. Esempio di configurazione sorgente-ricevitori per un tipico rilievo.

Nel metodo MASW descritto, si usano onde superficiali polarizzate nel piano verticale alla superficie libera del terreno ovvero le onde di Rayleigh, trascurando gli effetti dovuti alle onde di volume, alle onde riflesse o rifratte.

Sebbene una sorgente puntiforme verticale generi anche altri tipi di onde, oltre a quelle superficiali, intervengono due aspetti che rendono il contributo di queste ultime prevalente sul contributo delle onde di volume. Il primo è che le onde di Rayleigh trasportano circa i due terzi dell'energia generata dalla sorgente. Il secondo aspetto è che, allontanandosi dalla sorgente, le onde di superficie subiscono un'attenuazione geometrica inferiore rispetto alle onde P ed Sv, perché esse si propagano secondo fronti d'onda cilindrici, mentre le onde di volume si propagano secondo fronti d'onda sferici.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata con il software winMASW distribuito dalla Eliosoft.

Il processo utilizzato per l'elaborazione dei profili di velocità delle onde di taglio con la tecnica MASW ha richiesto i seguenti passaggi:

- caricamento del/dei file acquisiti in campo ed attribuzione della geometria;
- calcolo dello spettro di velocità in un range di velocità e frequenze definite dal geofisico;
- modellazione diretta della curva di dispersione ovvero esecuzione del picking manuale della curva di dispersione stessa;
- processo di inversione, mediante l'inserimento del numero di strati del sottosuolo, al fine di ottenere il profilo verticale della velocità delle onde di taglio nel sottosuolo.

L'inversione matematica dei dati ottenuti consiste nel confrontare la curva di dispersione "misurata" in campo con una serie di curve di dispersione "sintetiche", vale a dire curve di dispersione che si riferiscono a diversi modelli del sottosuolo in termini di sismostrati, ognuno caratterizzato da uno spessore e da un valore di velocità delle onde S. Il processo di inversione termina nel momento in cui il modello sintetico, che tiene conto anche di informazioni di carattere geologico, si sovrappone con il modello "misurato".

2.2 Strumentazione utilizzata

Le misurazioni sono state eseguite avvalendosi di un sismografo marca AMBROGEO modello ECHO X6_48, munito di convertitore A/D a 24 bits con tecnologia sigma-delta, impostato con una frequenza di campionamento di 0,001 secondi (o 1.000 cps) ed una finestra di registrazione (periodo di acquisizione) di 1 s. Al sismografo sono stati collegati n.24 geofoni marca OYO GEOSPACE, a componente verticale da 4,5 Hz.



Figura 3 - Sismografo Ambrogeo ECHO X6_48; a destra la disposizione dei geofoni e dei siti di energizzazione

Nell'ambito della commessa in oggetto, come accennato in premessa, sono state eseguiti n.2 indagini MASW nell'area interna, n.2 indagini MASW nell'area esterna e n.2 indagini HVSR nell'area interna, la cui ubicazione è di seguito riportata, in coordinate formato gradi, minuti, secondi.

Codice indagine	Lunghezza (m)	Latitudine G1	Longitudine G1	Latitudine G24	Longitudine G24
MASW1 area interna	46	44°36'18.9592"	11°29'59.6609"	44°36'17.7242"	11°29'58.4941"
MASW4 area interna	46	44°36'22.6180"	11°29'56.2198"	44°36'22.3214"	11°29'58.2636"
MASW2 area esterna	46	44°37'58.0879"	11°32'25.9993"	44°37'56.9899"	11°32'24.705"
MASW3 area esterna	46	44°37'56.0643"	11°32'24.8162"	44°37'57.1748"	11°32'23.4172"

Codice indagine	Latitudine	Longitudine
HVSR 1 area interna	44°36'18.2992"	11°29'58.6939"
HVSR 2 area interna	44°36'18.5080"	11°29'55.2415"

Tabella 1 - Sito STOGIT, Minerbio (BO). Coordinate indagini MASW area interna ed esterna e coordinate indagini HVSR area interna (formato coordinate in gradi, minuti, secondi)

2.3 Descrizione dell'attività di campo

La tecnica d'indagine sismica MASW, prevede che agli estremi dello stendimento ed allineati ad esso, siano materializzati i punti di energizzazione in numero e a distanza variabile in base alle esigenze specifiche di sito e alla logistica. In questo caso, per quanto riguarda le indagini nell'area interna, è stato

possibile energizzare rispettivamente a 5 e a 10 m di distanza dal geofono G1 e G24 per la MASW1; mentre per la MASW4 è stato possibile energizzare rispettivamente a 5 e a 10 m di distanza dal geofono G1, come riportato in Figura 4.



Figura 4 – Sito STOGIT, indagini MASW1 area interna (Sinistra) e MASW4 area interna (destra).

L'ubicazione degli stendimenti MASW e delle indagini HVSR è riportata in Figura 5.



Figura 5 - Ubicazione stendimenti MASW e indagini HVSR area interna

Mentre per quanto riguarda l'area esterna, è stato possibile energizzare rispettivamente a 5 e 10 m di distanza dal geofono G1 per le MASW2 e MASW3, come riportato in Figura 6.



Figura 6 - Sito STOGIT, indagini MASW2 area esterna (Sinistra) e MASW3 area esterna (destra).

L'ubicazione degli stendimenti MASW è riportata in Figura 7.

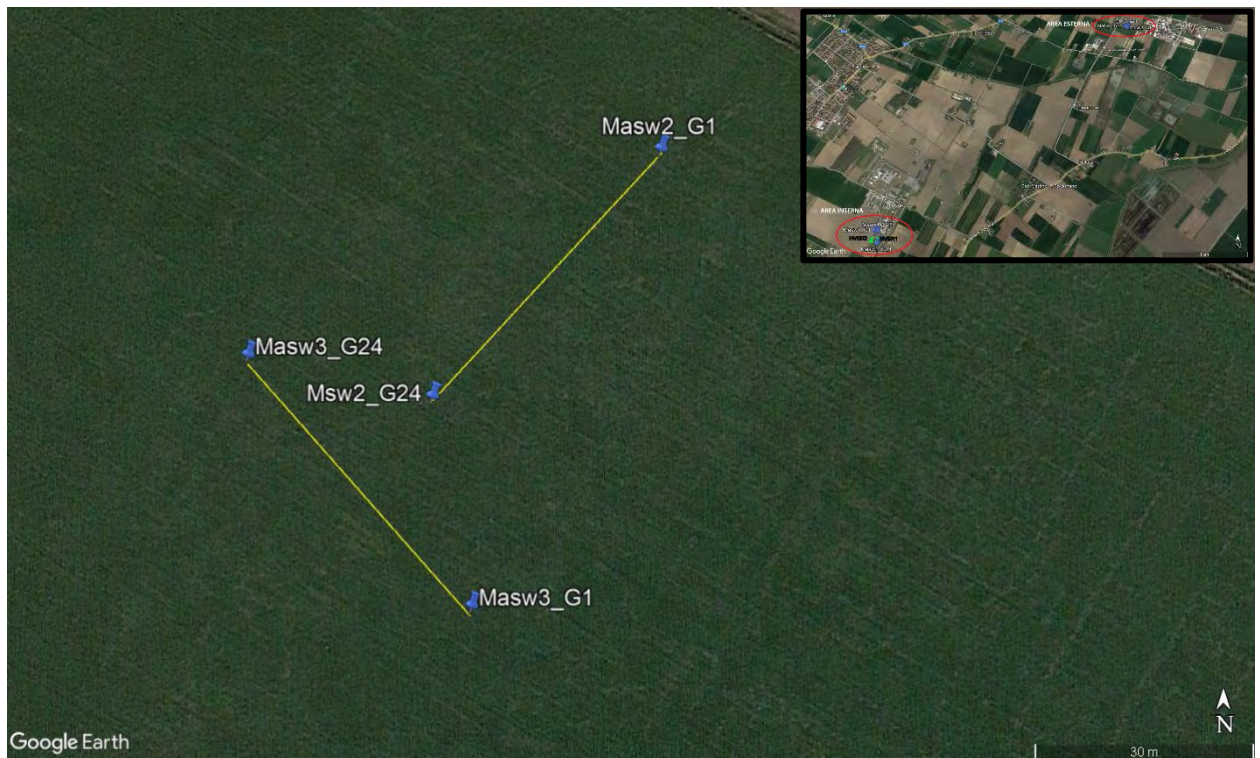


Figura 7 – Ubicazione stendimenti MASW area esterna

2.4 Risultanze indagine MASW

Nel paragrafo seguente, sono riportate le risultanze della prospezione sismica MASW, riepilogate tramite gli elaborati elencati:

- Sismogramma medio, in cui sono riportate le tracce registrate sull'intero array di geofoni costituenti lo stendimento.
- Curve di dispersione medie sperimentali
- Profilo verticale della velocità delle onde S (V_s) relativo al modello "migliore".
- Tabella di sintesi dove sono riportati con i parametri calcolati (V_s , V_p , profondità e spessore dei sismostrati, modulo di Poisson e densità)
- Valore di V_s equivalente.

2.4.1 MASW1 area interna – MASW1_interno

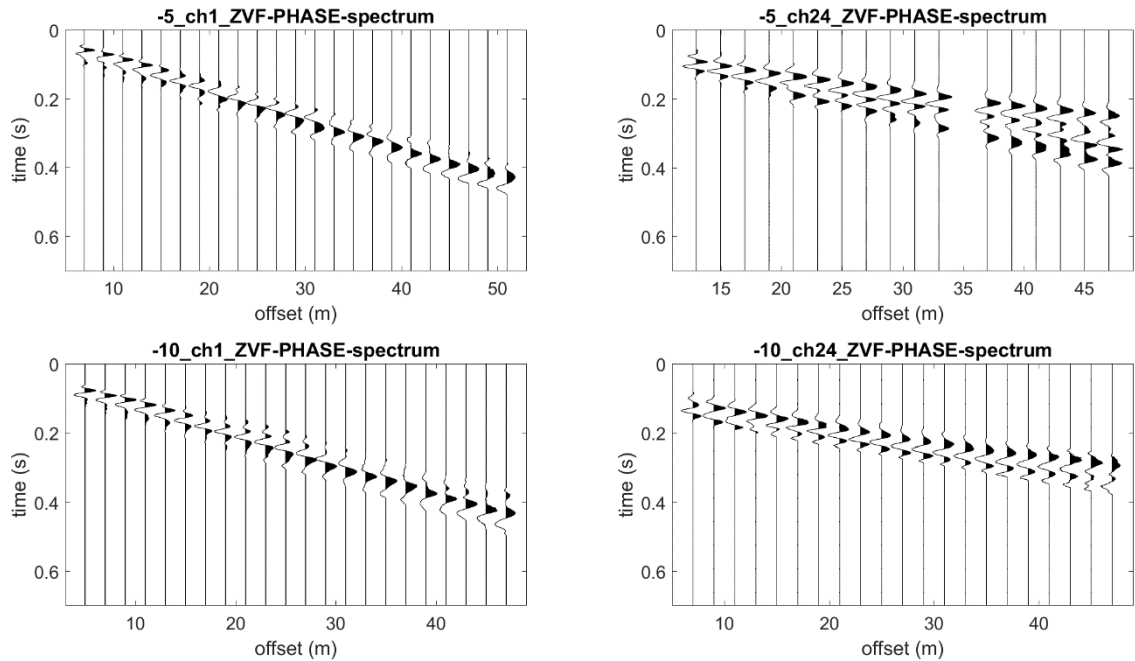


Figura 8 - MASW1 area interna. Sismogrammi acquisiti e successivamente puliti dei 4 siti di energizzazione

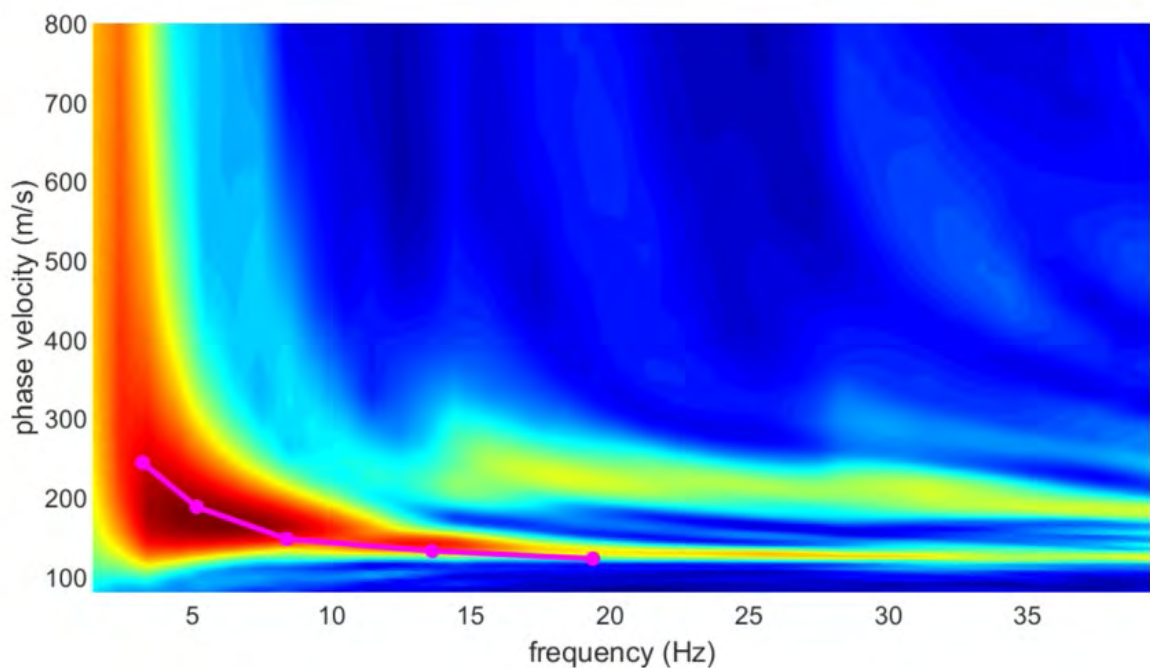


Figura 9 - MASW1 area interna. Spettro frequenza-vel. fase medio, calcolato sulla base di 4 diverse acquisizioni dei dati sismici.

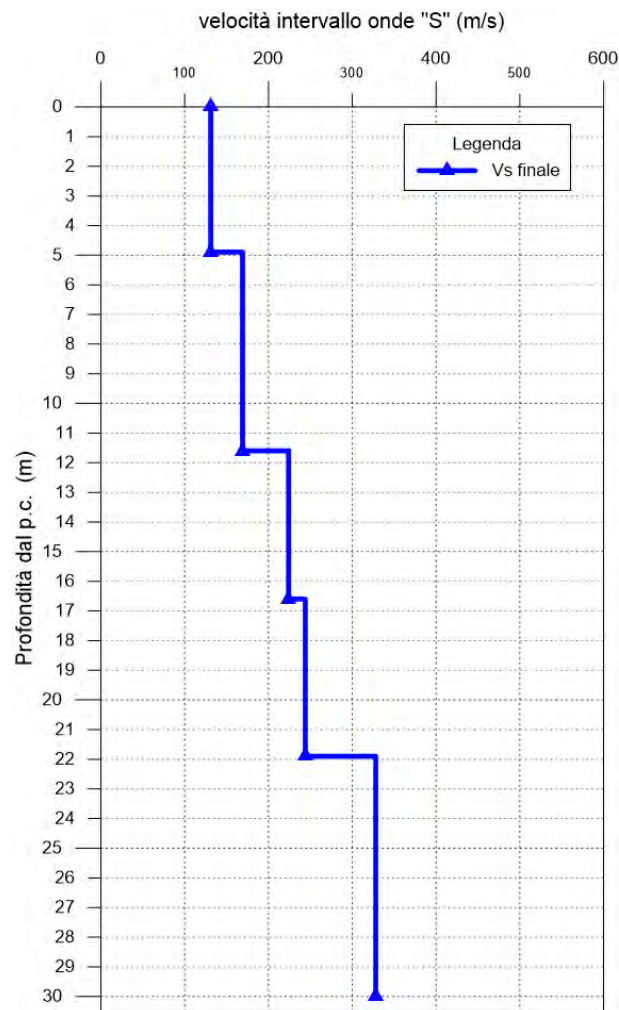


Figura 10 - MASW1 area interna. Profilo verticale delle onde di taglio (V_s)

Profondità (m dal p.c)	V_s (m/s)	V_p (m/s)	DELTA (h)	V_s intervallo	h/V_s	Poisson (-)	Densità (gr/cm ³)
4.9	131	232	4.9	131	0.03740458	0.27	1.72
11.6	169	303	6.7	169	0.039585799	0.27	1.79
16.6	224	412	5.0	224	0.022455357	0.27	1.88
21.9	244	518	5.2	244	0.021434426	0.29	1.93
30.0	328	615	8.1	328	0.024817073	0.3	1.97

Figura 11 – MASW1 area interna. Riepilogo dei parametri calcolati

2.4.2 MASW4 area interna – MASW4_interno

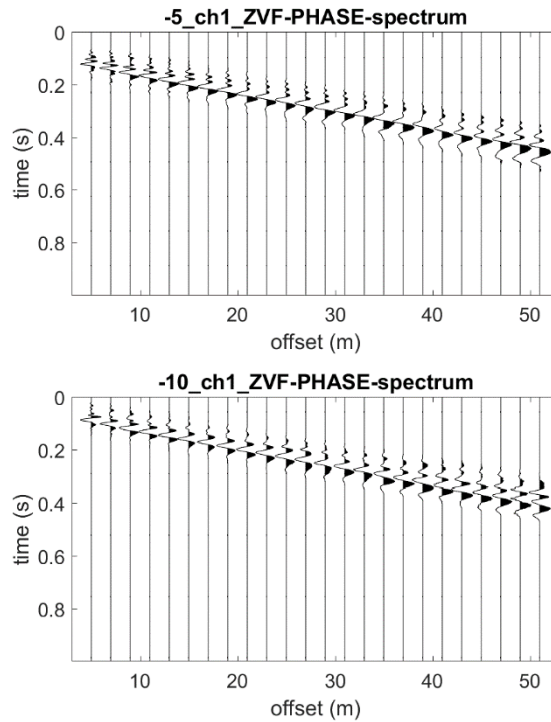


Figura 12 – MASW4 area interna. Sismogrammi acquisiti e successivamente puliti dei 2 siti di energizzazione

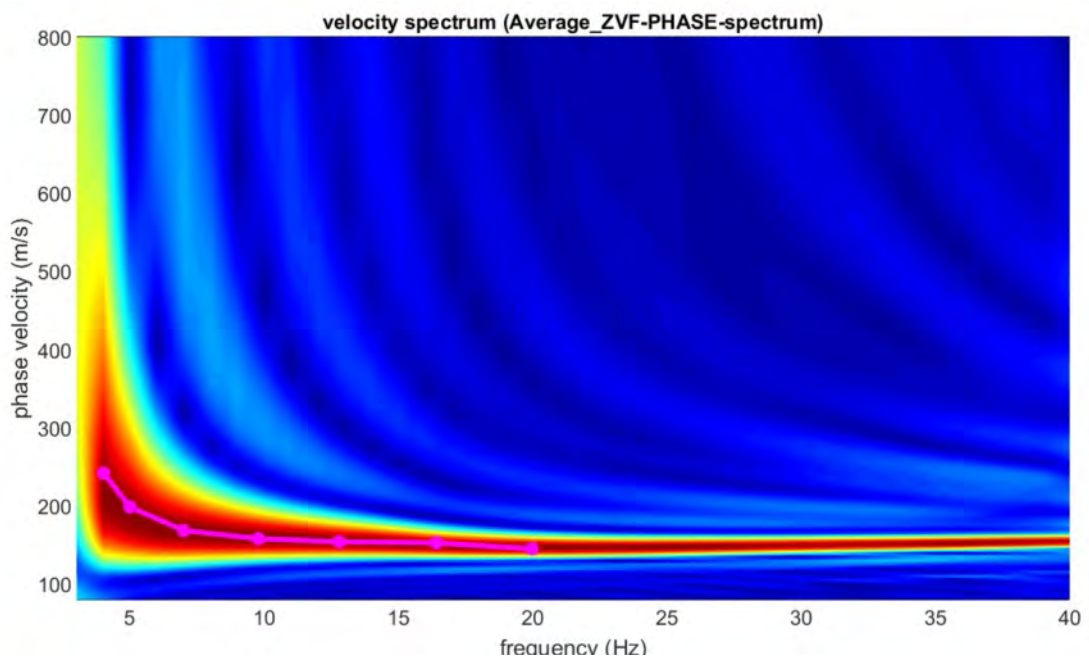


Figura 13– MASW4 area interna. Spettro frequenza-vel. fase medio, calcolato sulla base di 2 diverse acquisizioni dei dati sismici.

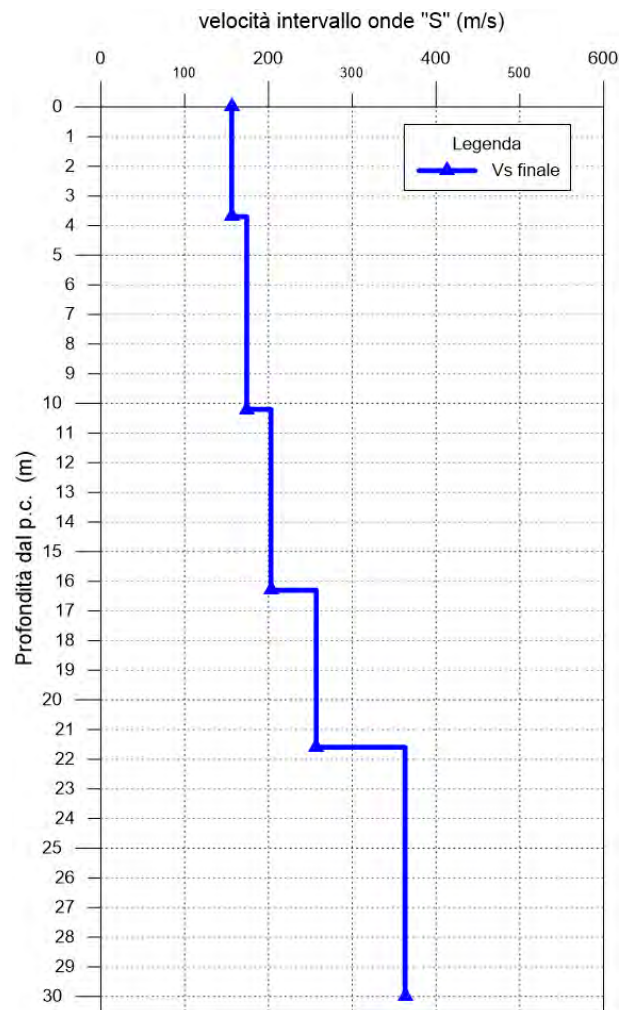


Figura 14 – MASW4 area interna. Profilo verticale delle onde di taglio (V_s)

Profondità (m dal p.c.)	V_s (m/s)	V_p (m/s)	DELTA (h)	V_s intervallo	h/ V_s	Poisson (-)	Densità (gr/cm ³)
3.7	156	262	3.7	156	0.023717949	0.23	1.77
10.2	174	296	6.5	174	0.037183908	0.23	1.8
16.3	203	373	6.1	203	0.030049261	0.25	1.86
21.6	257	494	5.3	257	0.020544747	0.33	1.9
30.0	363	784	8.4	363	0.023250689	0.36	2

Figura 15 – MASW4 area interna. Riepilogo dei parametri calcolati

2.4.3 MASW2 area esterna – Masw2_esterno

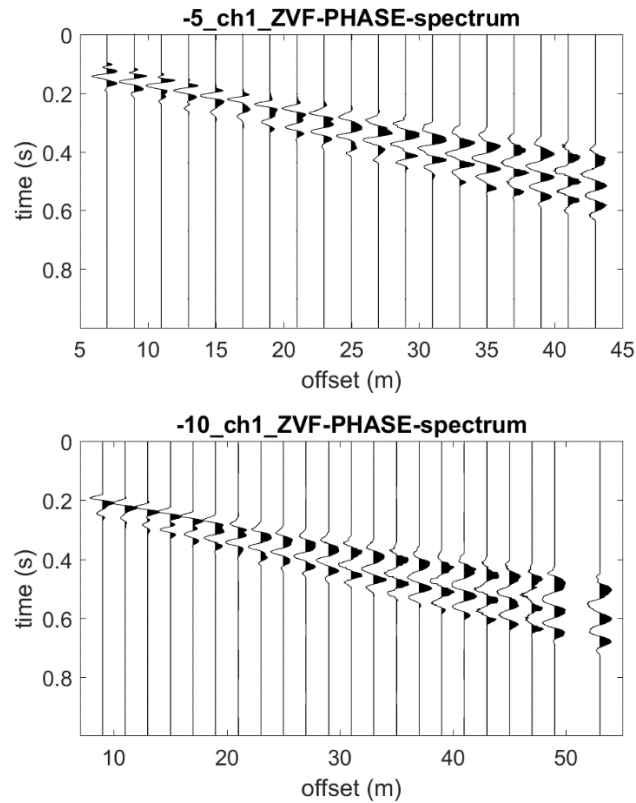


Figura 16 – MASW2 area esterna. Sismogrammi acquisiti e successivamente puliti dei 2 siti di energizzazione

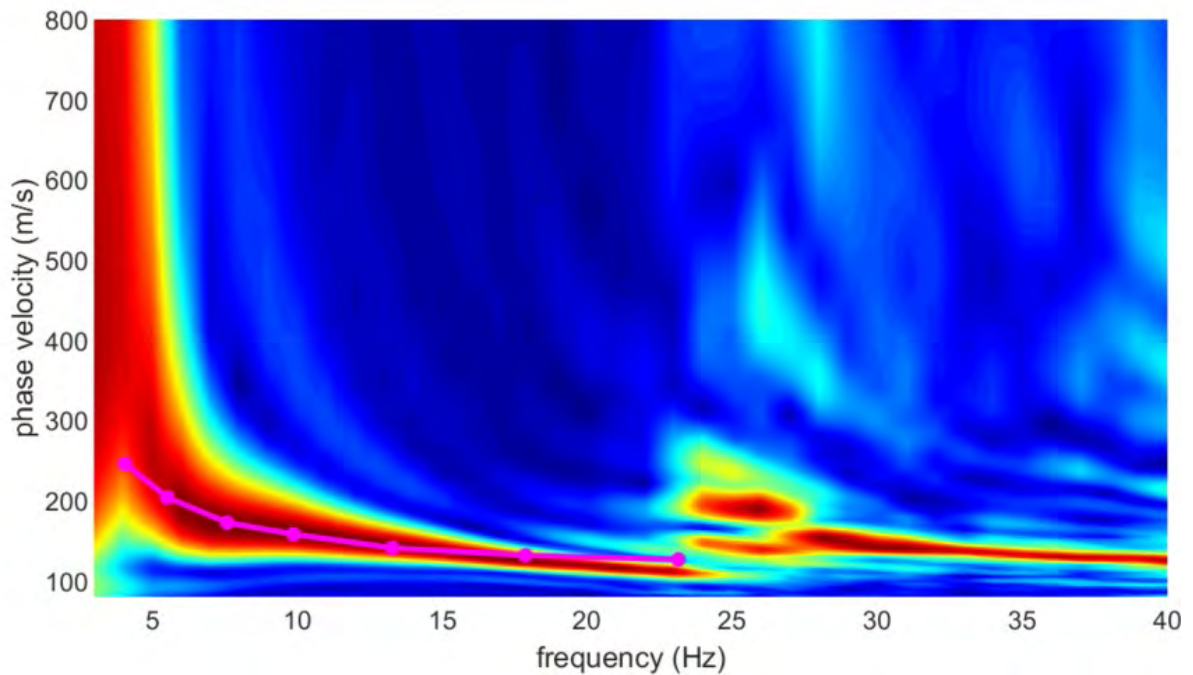


Figura 17 – MASW2 area esterna. Spettro frequenza-vel. fase medio, calcolato sulla base di 2 diverse acquisizioni dei dati sismici.

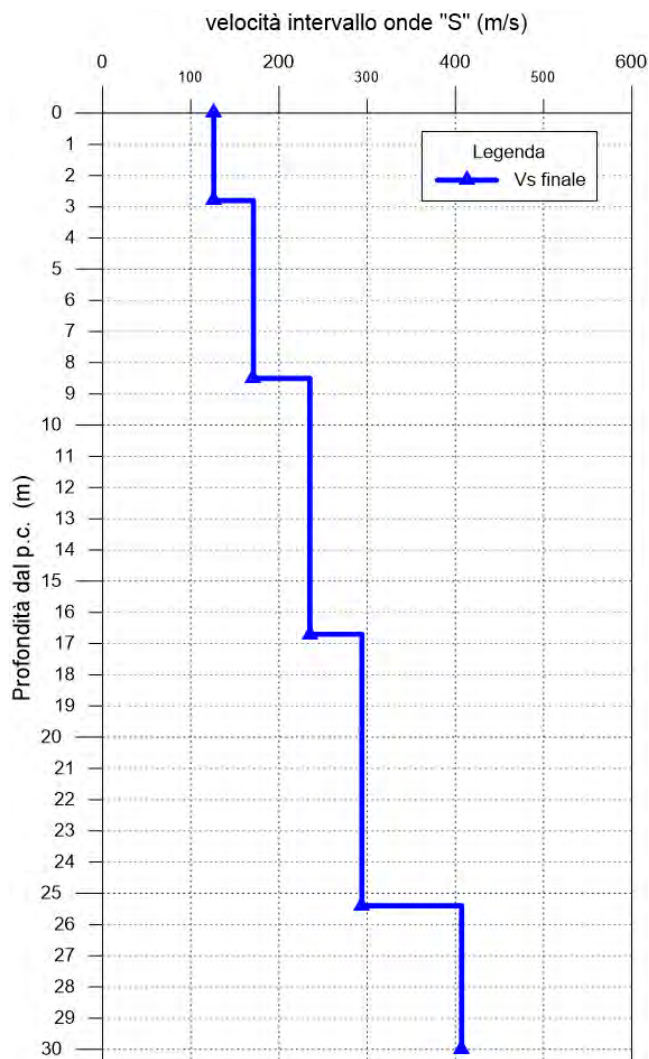


Figura 18 – MASW2 area esterna. Profilo verticale delle onde di taglio (V_s)

Profondità (m dal p.c)	V_s (m/s)	V_p (m/s)	DELTA (h)	V_s intervallo	h/ V_s	Poisson	Densità (g/cm ³)
2.8	126	212	2.8	126	0.022222222	0.23	1.71
8.5	171	276	5.7	171	0.033157895	0.19	1.8
16.7	235	368	8.2	235	0.034808511	0.15	1.88
25.4	294	495	8.8	294	0.029761905	0.23	1.94
30.0	407	677	4.6	407	0.011203931	0.22	2.03

Figura 19 MASW2 area esterna. Riepilogo dei parametri calcolati

2.4.4 MASW3 area esterna – MASW3_esterno

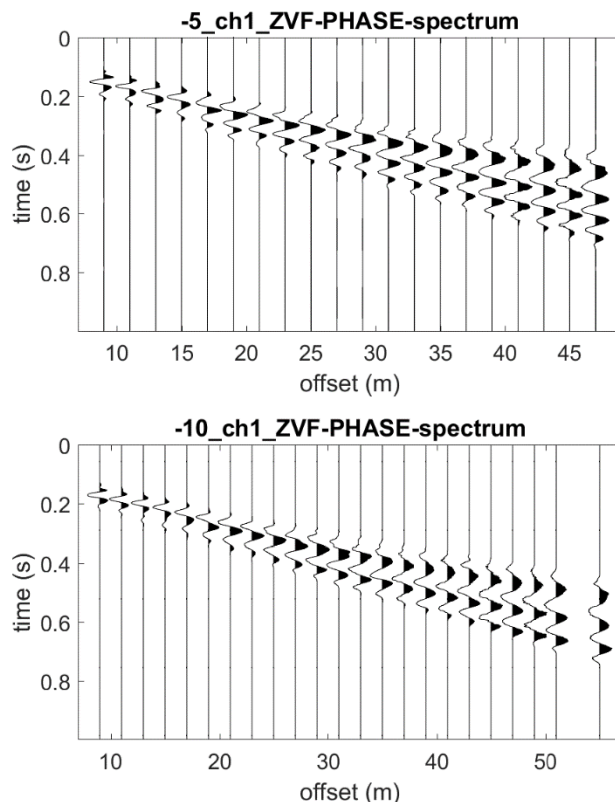


Figura 20 – MASW3 area esterna. Sismogrammi acquisiti e successivamente puliti dei 2 siti di energizzazione

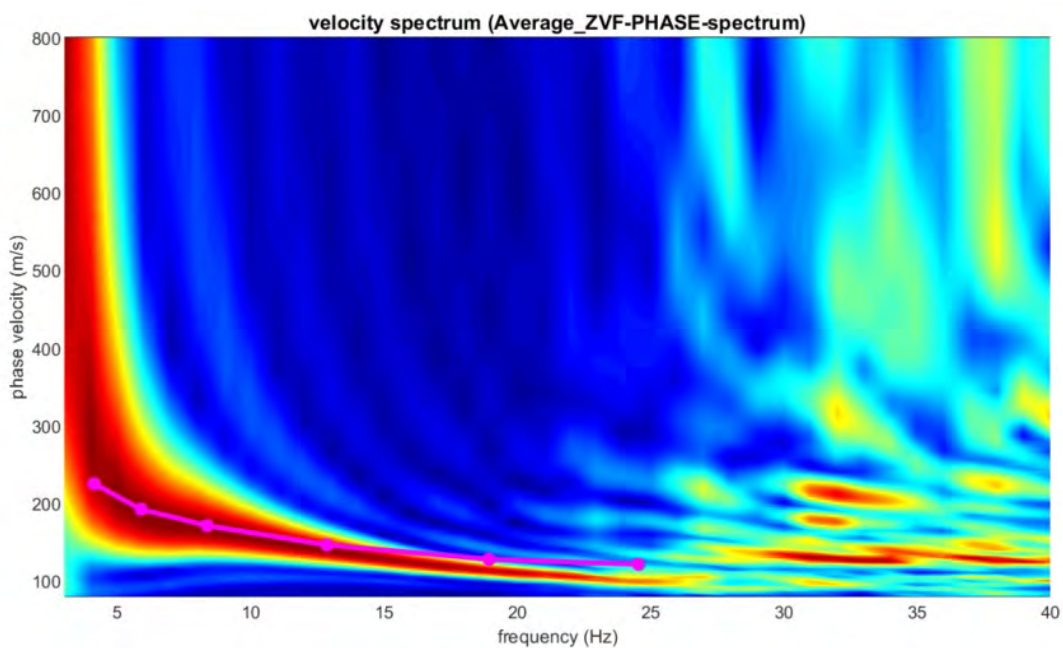


Figura 21 – MASW3 area esterna. Spettro frequenza-vel. fase medio, calcolato sulla base di 2 diverse acquisizioni dei dati sismici.

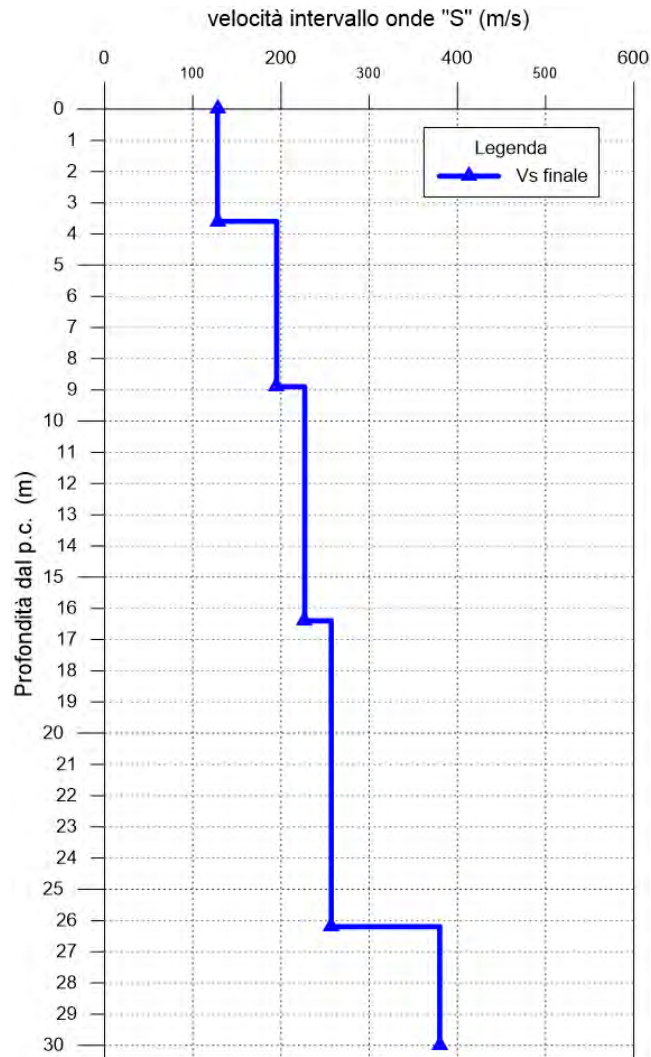


Figura 22 – MASW3 area esterna. Profilo verticale delle onde di taglio (V_s)

Profondità (m dal p.c)	V_s (m/s)	V_p (m/s)	DELTA (h)	V_s intervallo	h/ V_s	Poisson (-)	Densità (gr/cm ³)
3.6	128	207	3.6	128	0.028125	0.19	1.72
8.9	195	333	5.3	195	0.026923077	0.24	1.83
16.4	227	347	7.5	227	0.033171806	0.13	1.87
26.2	257	420	9.9	257	0.038365759	0.17	1.92
30.0	380	609	3.8	380	0.009894737	0.17	2.01

Figura 23 – MASW3 area esterna. Riepilogo dei parametri calcolati

2.5 Determinazione della $V_{s,eq}$

Al fine di classificare il sottosuolo da un punto di vista sismico nonché per definire l'azione sismica di progetto e l'effetto della risposta sismica locale, la normativa europea (EUROCODICE 8) e quelle italiane, dall'OPCM 3274/2003 sino alle recenti "Norme Tecniche per le Costruzioni", approvate con Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018, adottano, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili a determinate categorie, un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

La velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s) è definita dall'espressione:

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

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

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

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Nel caso sia presente il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s), la $V_{s,eq}$ si misura dal piano campagna fino al substrato sismico.

Mediante le risultanze scaturite dalle prospezioni geofisiche descritte nel presente elaborato, l'elaborazione dei dati ha permesso di calcolare i seguenti valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,30}$:

Codice indagine	Sito	Valore $V_{s, eq}$
MASW1_interno	STOGIT Minerbio area interna	209 m/s
MASW4_interno	STOGIT Minerbio area interna	222 m/s
MASW2_esterno	STOGIT Minerbio area esterna	229 m/s
MASW3_esterno	STOGIT Minerbio area esterna	220 m/s

Tabella 2 – STOGIT Minerbio area esterna. Tabella riepilogativa del valore $V_{s, eq}$.

3 INDAGINE SISMICA PASSIVA HVSR

3.1 Metodologia

Il metodo dei rapporti spettrali Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio (HVSR), noto con il nome Nakamura H/V (componente/i orizzontale/i su verticale), è utilizzato per la determinazione del periodo di risonanza (T_0) dei terreni, parametro legato alla velocità delle onde di taglio V_s sino al bedrock ed allo spessore dei sedimenti sovrastanti il bedrock stesso, tramite la relazione $T_0 = 4H/V_s$.

La tecnica di Nakamura permette infatti di conoscere la frequenza di risonanza di un bacino o di un pacco sedimentario, a partire dall'analisi dei rapporti spettrali H/V, effettuati mediante registrazioni di rumore ambientale, quindi di definire in termini di frequenza di risonanza, la risposta sismica in caso di terremoto.

I risultati dei rapporti spettrali H/V, sono una conseguenza diretta sia della composizione del campo d'onda del noise, che è funzione della sorgente di vibrazione e della struttura del sottosuolo, che degli effetti dei differenti tipi di onde sismiche sui rapporti H/V.

La stabilità è molto buona nel tempo, ma dipende dalle caratteristiche specifiche del sito.

I rapporti spettrali H/V non sono sempre consistenti con le registrazioni di un singolo evento sismico, viceversa corrispondono bene ad un set di registrazioni di un certo numero di eventi, se pur rappresentandoli in piccola percentuale. Le acquisizioni e le successive elaborazioni sono state effettuate tenendo conto di quanto riportato nell'ambito del progetto SESAME (Site EffectS assessments using AMBient Excitation), che ha stabilito le direttive per garantire la riproducibilità delle misure H/V, indispensabile per ottenere dei dati rappresentativi e poco influenzati dal contesto di misura ed ambientale.

Le misurazioni sono state eseguite avvalendosi di un tromografo marca AMBROGEO modello Echo Tromo Hvsr 3, avente le seguenti caratteristiche:

- Convertitore A/D: risoluzione 24 bit;
- Range dinamico: 130 dB@ 1 ms PG = 0 dB oppure 120 dB@ 1 ms PG = 18 dB;
- Cross talk: > 90 dB;
- Preamplify gain: 1-2-4-8-16-32;
- Distorsione (THD): 0.0004%;

- Intervalli di campionamento: 12.8-6.4-3.2-2.4-1.6-0.8 ms;
- Delay: da 0 a 100 sec;
- Range massimo segnale in ingresso: 1Vpp, 0 dB;
- Noise: 0.25 uV, 2 ms 36 dB;
- Formato dei dati: SEG-Y / SAF (SESAME ASCII FORMAT).



Figura 24 - Indagini sismiche passiva HVSr. Tromografo AMBROGEO Echo Tromo Hvsr 3.

L'acquisizione dei dati è avvenuta tra il 25 e il 26 maggio 2022. Il tempo di acquisizione per ognuna delle misure è stato pari a 20 minuti.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata con il software winMASW distribuito dalla Eliosoft.

3.2 Risultati delle indagini HVSr eseguite

Di seguito, sono riportate le risultanze delle indagini HVSr denominate HVSr1 e HVSr2, acquisite nel sito Saipem Minerbio (BO) area interna (Figura 25), tramite i seguenti elaborati:

- segnale acquisito;
- continuità del segnale HVSr durante l'acquisizione (diagramma frequenza vs tempo);
- diagramma in cui sono raggruppati gli spettri medi di tutte e tre le componenti V, N, E;
- diagramma del segnale HVSr nel dominio delle frequenze con indicazione dell'intervallo di frequenza in cui sono stati verificati i criteri del progetto SESAME;
- diagramma della direzionalità del rapporto H/V inerente alla direzione di provenienza del segnale sul semipiano orizzontale.
- tabella riepilogativa delle grandezze d'interesse.



Figura 25 - Foto indagine HVSR1 area interna.

La metodologia HVSR richiede alcune condizioni ottimali secondo cui il sito investigato dovrebbe essere il più possibile privo di rumori per poter ottenere una curva più rappresentativa possibile. L'area d'indagine ricade in un sito industriale, pertanto il rumore ambientale è intenso e di conseguenza i dati acquisiti sono stati soggetti ad una pulizia approfondita che ha ridotto al minimo la finestra temporale che in origine era di 20 minuti. Oltre alla finestra temporale utile, anche la qualità stessa dei segnali acquisiti ha fortemente risentito delle condizioni nelle quali i dati sono stati registrati.

3.2.1 HVSr1 - MIN_UNO

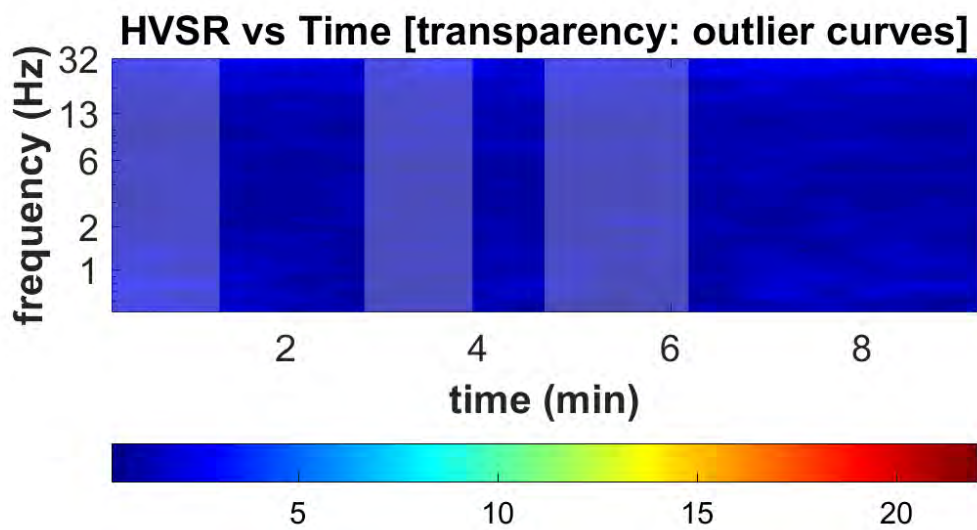
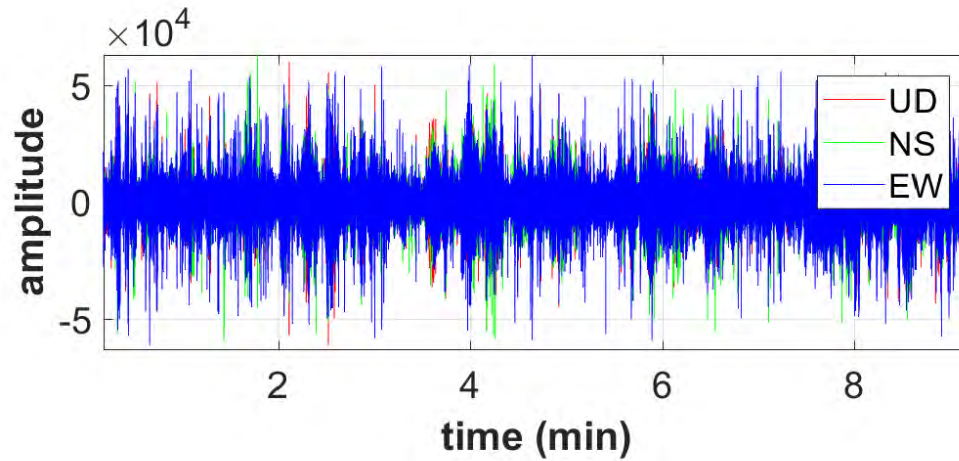


Figura 26 – HVSr1. Segnale acquisito. In alto è riportato il segnale acquisito dopo la pulizia. In basso è riportato il diagramma frequenza vs tempo della continuità del segnale HVSr durante l'acquisizione.

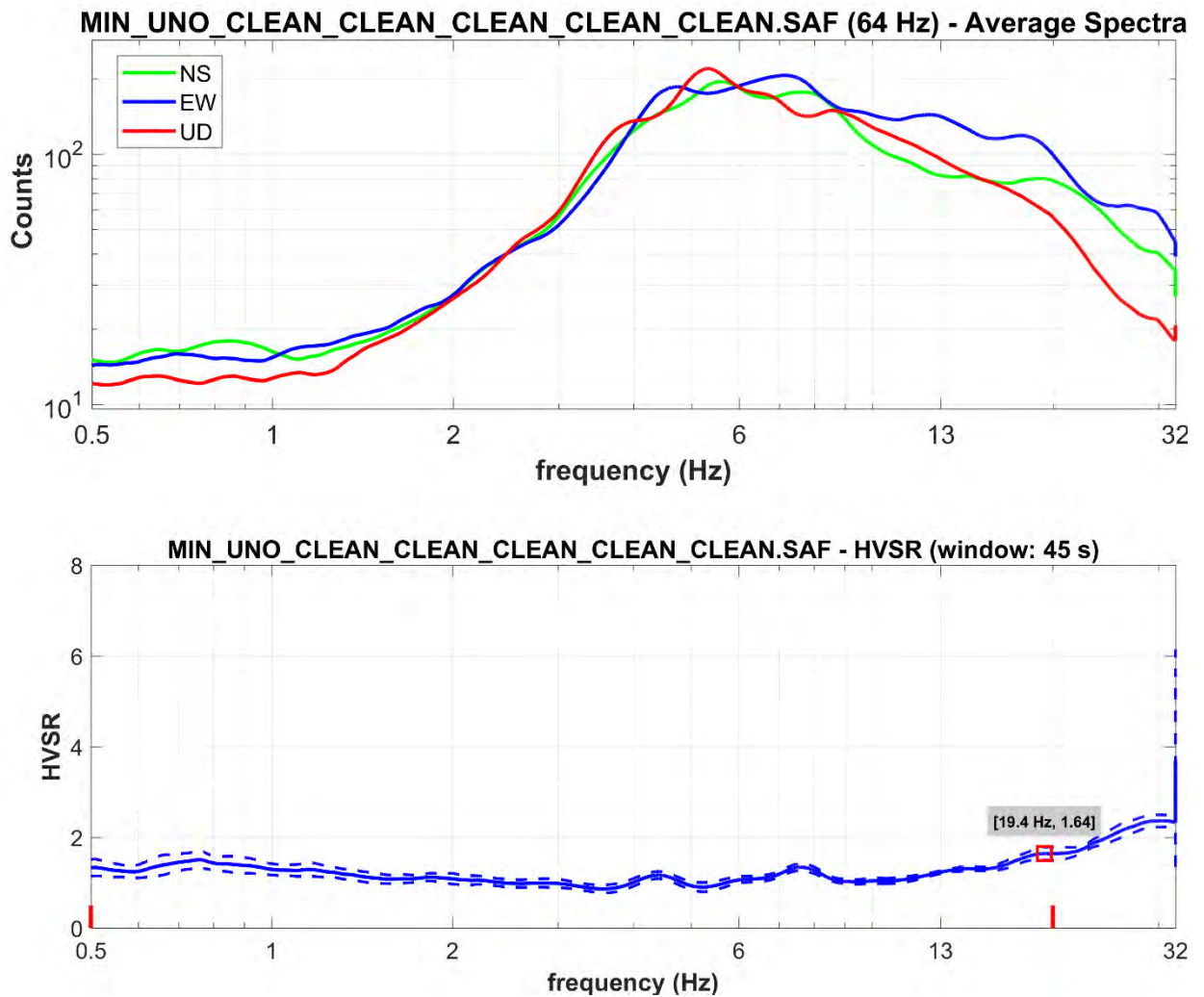


Figura 27 HVSR1. In alto è riportato il diagramma in cui sono raggruppati gli spettri medi di tutte e tre le componenti V, N, E. In basso è riportato il diagramma del segnale HVSR nel dominio delle frequenze con indicazione dell'intervallo di frequenza in cui sono stati verificati i criteri del progetto SESAME. Si noti il picco in corrispondenza del valore 19.4 Hz nell'intervallo 0.5 - 20 Hz.

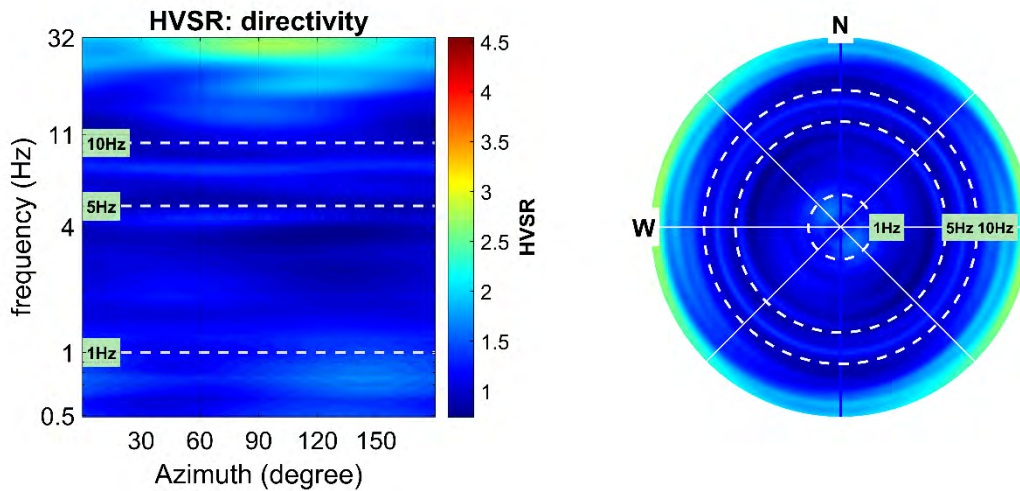


Figura 28 – HVSr1. Diagramma della direzionalità del rapporto H/V inerente la direzione di provenienza del segnale sul semipiano orizzontale.

Verifica criteri SESAME

Di seguito è riportato il riepilogo delle grandezze d’interesse per HVSr2, tenendo in considerazione i criteri riportati nel progetto SESAME cui si rimanda per ulteriori approfondimenti. Si noti che i criteri SESAME per il segnale acquisito ed elaborato sono tutte rispettate tranne il #3 e il #5 nell’elenco “Criteria for a clear H/V peak”.

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 19.4 (±0.2)

Peak HVSr value: 1.6 (±0.1)

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [f0 > 10/Lw]: 19.364 > 0.22222 (OK)

#2. [nc > 200]: 21785 > 200 (OK)

#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency 4.9Hz (OK)

#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)

#3. [A0 > 2]: 1.6 < 2 (NO)

#4. [fpeak[Ah/V(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (OK)

#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 9.129 > 0.968 (NO)

#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.244 < 1.58 (OK)

3.2.2 HVSR2 – MIN_DUE

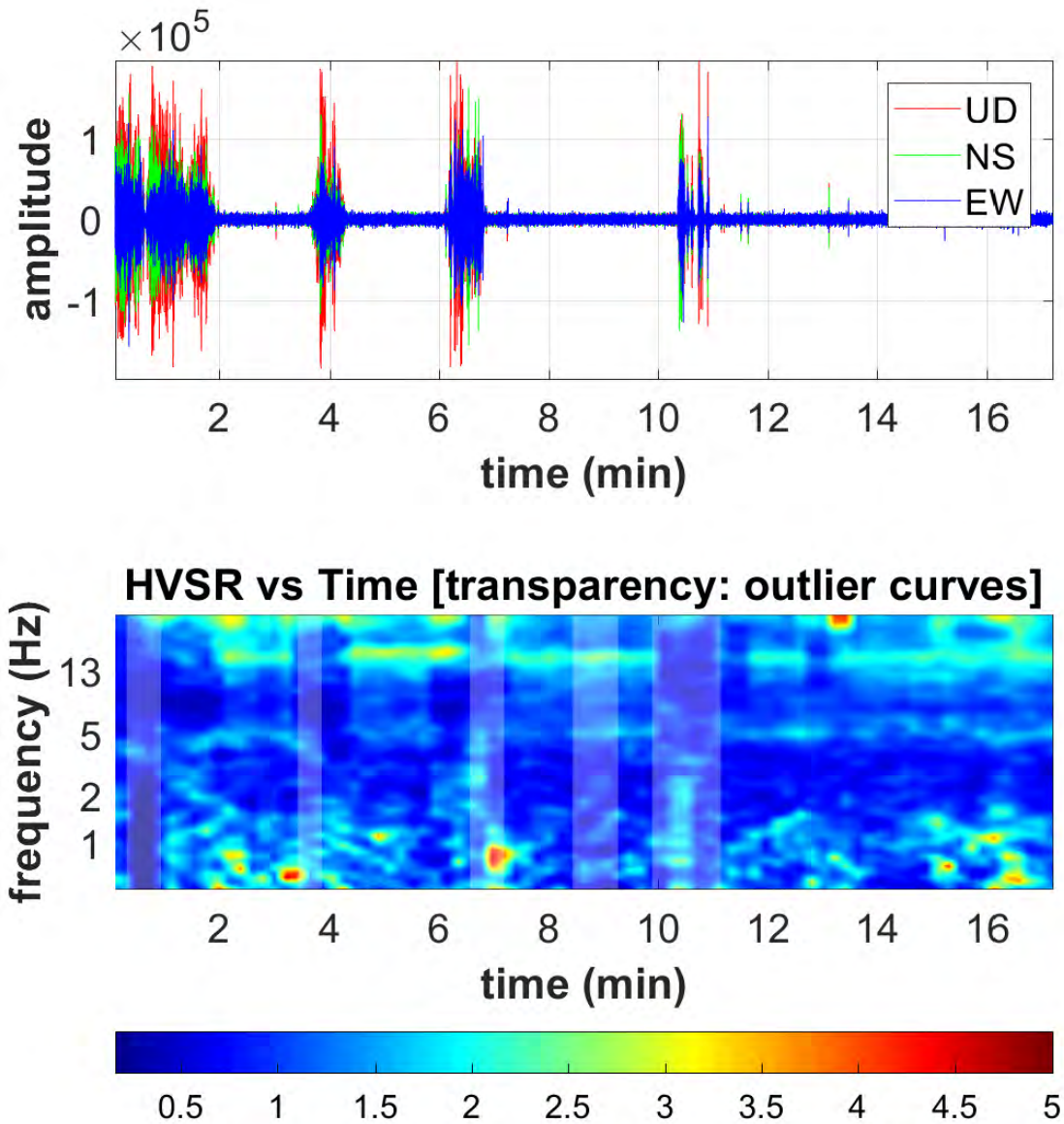


Figura 29 – HVSR2. Segnale acquisito. In alto è riportato il segnale acquisito dopo la pulizia. In basso è riportato il diagramma frequenza vs tempo della continuità del segnale HVSR durante l'acquisizione.

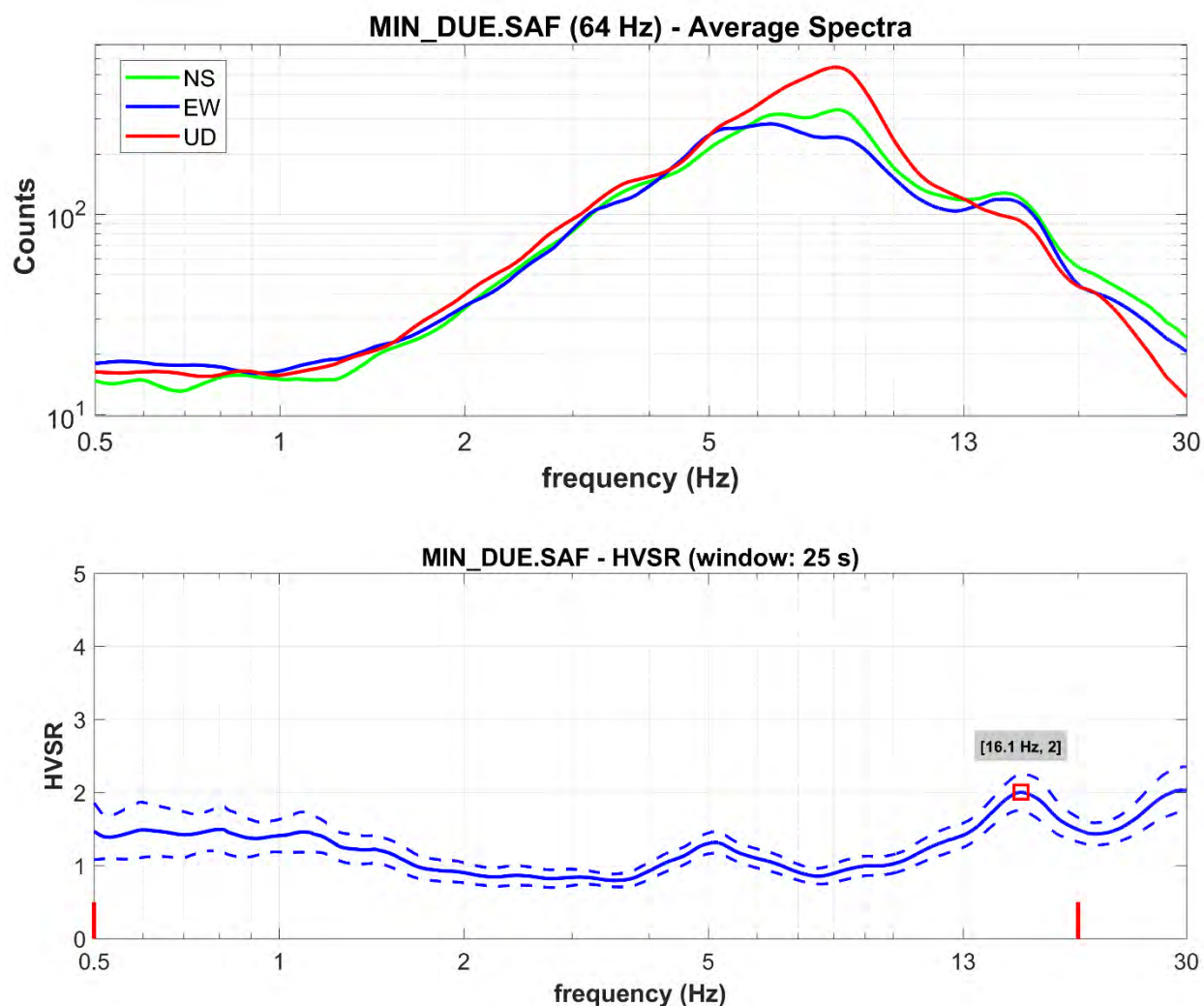


Figura 30 - HVSr2. In alto è riportato il diagramma in cui sono raggruppati gli spettri medi di tutte e tre le componenti V, N, E. In basso è riportato il diagramma del segnale HVSr nel dominio delle frequenze con indicazione dell'intervallo di frequenza in cui sono stati verificati i criteri del progetto SESAME. Si noti il picco in corrispondenza del valore 16.1 Hz nell'intervallo 0.5 - 20 Hz.

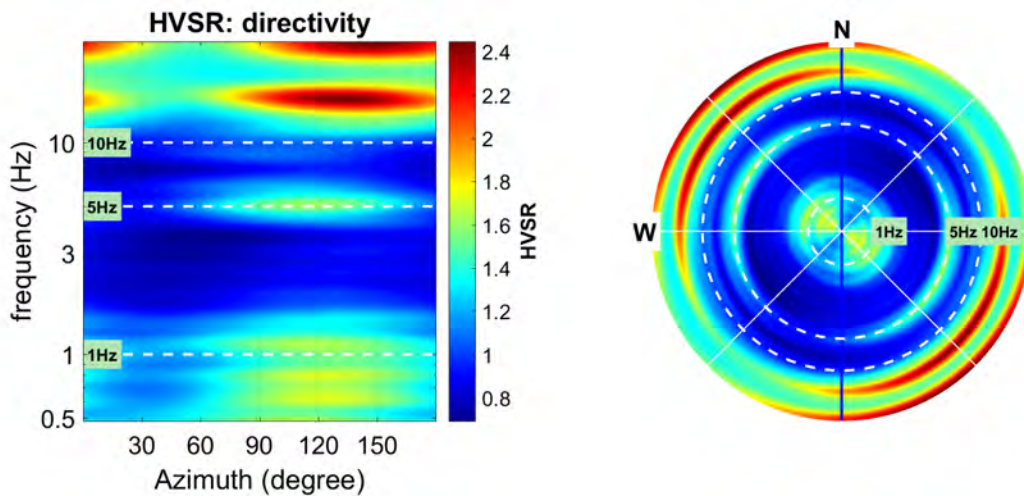


Figura 31 – HVS2. Diagramma della direzionalità del rapporto H/V inerente la direzione di provenienza del segnale sul semipiano orizzontale.

Verifica criteri SESAME

Di seguito è riportato il riepilogo delle grandezze d’interesse per HVS2, tenendo in considerazione i criteri riportati nel progetto SESAME cui si rimanda per ulteriori approfondimenti. Si noti che i criteri SESAME per il segnale acquisito ed elaborato sono tutte rispettate tranne il #2 nell’elenco “Criteria for a clear H/V peak”.

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 16.1 (±0.2)

Peak HVS2 value: 2.0 (±0.1)

=== Criteria for a reliable H/V curve =====

#1. [f0 > 10/Lw]: 8.078 > 0.4 (OK)

#2. [nc > 200]: 33476 > 200 (OK)

#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

=== Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled) =====

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes, at frequency 4.0Hz (OK)


#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)

#3. [A0 > 2]: 2.0 > 2 (OK)

#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (OK)

#5. [sigmaAf < epsilon(f0)]: 7.641 < 0.807 (NO)

#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.461 < 1.58 (OK)

Logo e Denominazione Commerciale Committente	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista	Indice Rev.		Foglio di Fogli
			Stato di Validità	N. Rev.	
			 STOGIT	016708DFLB14200	

ALLEGATO 2:

LABORATORIO GEOTECNICO ORAZI – Mombaroccio (PU):

Prove di laboratorio geotecnico

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071001
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG01 C11 6,5/7,0m
verbale d'accettazione 0474/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 02/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

DESCRIZIONE VISIVA

ASTM D2488

CAMPIONE		PP [MPa]	SC [MPa]	PROVE e/o DETERMINAZIONI	DESCRIZIONE
10 cm	[colore]	0,09	0,04	w, ρ, ρ _d , ρ _s , e, n, S _R w _L , w _P , I _P FC 75μm EDO _{IL} TxUU	CONTENITORE: fustella metallica DIMENSIONI: [cm] φ = 8,5 L = 45 GRANULOMETRIA: argilla e limo COLORE: marrone con venature grigio-azzurre UMIDITA': umido PLASTICITA': alta RESISTENZA A SECCO: alta DILATANZA: nessuna TENACITA': alta CONSISTENZA (PP): mediamente consistente STRUTTURA: omogenea REAZIONE HCl: forte ODORE: nessuno ALTRO: tracce di materia organica inclusi carbonatici
		0,09			
		0,09	0,04		
20 cm					
30 cm					
40 cm					
50 cm					
60 cm					
70 cm					



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG01 C11 6,5/7,0m
verbale d'accettazione 0474/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 02/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071002
data di emissione	21/11/22

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE VOLUMETRICHE

UNI EN ISO 17892-1 - UNI EN ISO 17892-2 - UNI EN ISO 17892-3 - ASTM D7263

w	%	35,5
ρ	Mg/m ³	1,82
ρ_d	Mg/m ³	1,34
ρ_s	Mg/m ³	2,71
e	-	1,018
n	%	50,4
S _R	-	0,95

note:

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG01 CI1 6,5/7,0m
verbale d'accettazione 0474/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 02/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071003
data di emissione	21/11/22

DETERMINAZIONE DELLA FRAZIONE PASSANTE AL SETACCIO N.200

ASTM D1140

FC 75 μ m (0,075 mm)	%	96,5
-----------------------------	---	------

note:

Sperimentatore
Marco Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG01 C11 6,5/7,0m
verbale d'accettazione 0474/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 02/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071004
data di emissione	21/11/22

DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI CONSISTENZA

ASTM D4318

w _L	%	52,3
w _P	%	26,8
I _P	%	25,5

note:

Sperimentatore
Marco Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071005
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG01 Cl1 6,5/7,0m
verbale d'accettazione 0474/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 02/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

PROVA EDOMETRICA

UNI EN ISO 17892-5

σ_v	ε_v	e	M	C_v
kPa	%	-	kPa	m ² /s
12,5	0,23	1,000		
25	0,52	0,995	4310	
50	1,76	0,970	2016	5,1E-09
100	3,88	0,927	2358	6,0E-09
200	7,26	0,859	2959	5,9E-09
400	11,41	0,776	4819	
800	15,87	0,687	8969	
1600	20,49	0,594	17316	
3200	25,14	0,501	34409	
800	22,43	0,555		
200	19,00	0,624		
50	15,38	0,697		
12,5	13,35	0,737		

A	mm ²	2000
H ₀	mm	20
w ₀	%	35,4
ρ_0	Mg/m ³	1,83
ρ_{d0}	Mg/m ³	1,35
ρ_s	Mg/m ³	2,71
e ₀	-	1,005
S _{R0}	-	0,95

note:

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/3

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

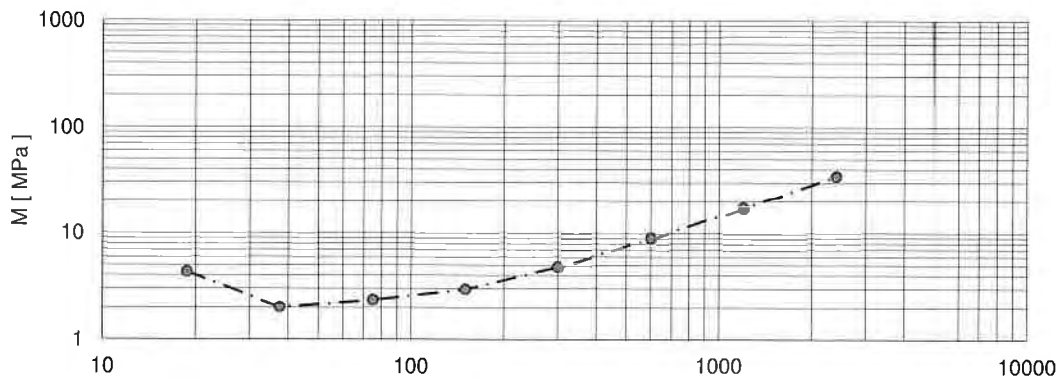
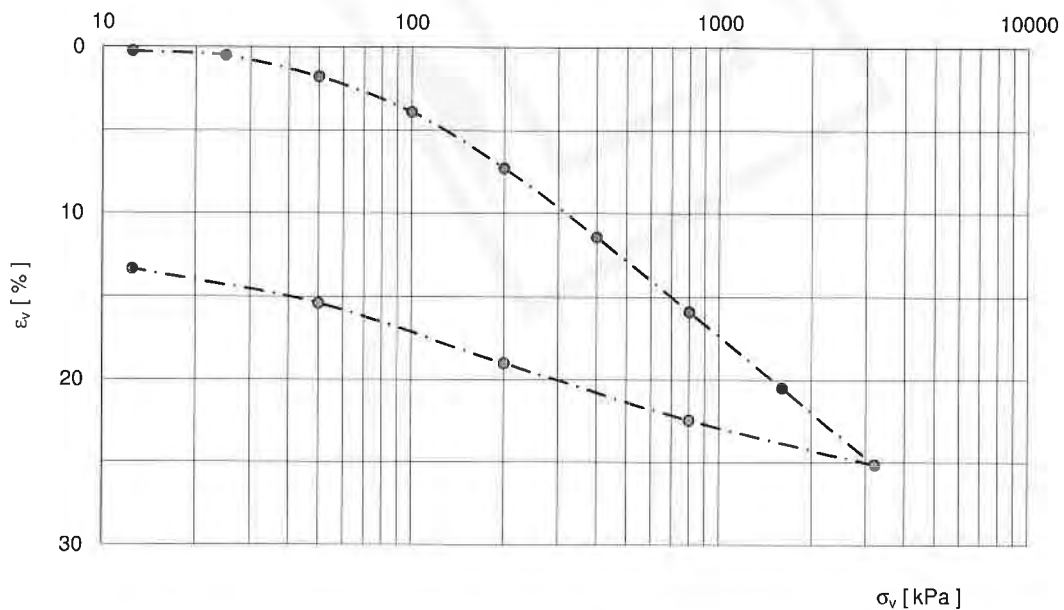
CERTIFICATO	22071005
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG01 C11 6,5/7,0m
verbale d'accettazione 0474/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 02/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

PROVA EDOMETRICA

UNI EN ISO 17892-5



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

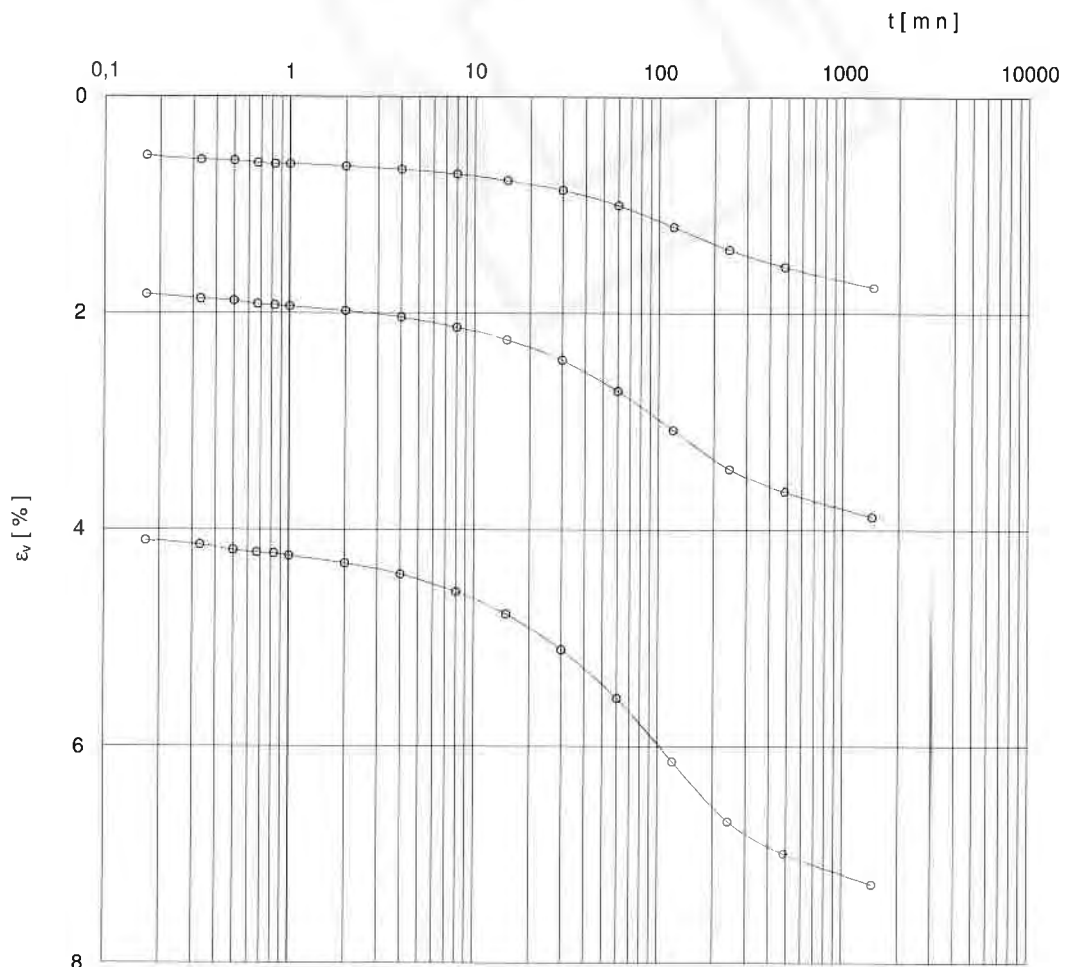
RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG01 C11 6,5/7,0m
verbale d'accettazione 0474/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 02/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071005
data di emissione	21/11/22

PROVA EDOMETRICA

UNI EN ISO 17892-5



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 3/3

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001associato ALIG
www.laborazi.itCOMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071006
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONEdenominazione SG01 C11 6,5/7,0m
verbale d'accettazione 0474/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 02/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)**PROVA TRIASSIALE UU**

UNI EN ISO 17892-8

test	n	1	2	3
D ₀	mm	38	38	38
H ₀	mm	76	76	76
w ₀	%	35,4	35,5	35,7
ρ ₀	Mg/m ³	1,82	1,82	1,82
ρ _{d0}	Mg/m ³	1,34	1,34	1,34
ρ _s	Mg/m ³	2,71		
e ₀	-	1,016	1,018	1,021
S _{R0}	-	0,94	0,95	0,95
σ ₃	kPa	50	100	150
ε _r	%/min	0,5	0,5	0,5
q _l	kPa	96	101	104

note:

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/2

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

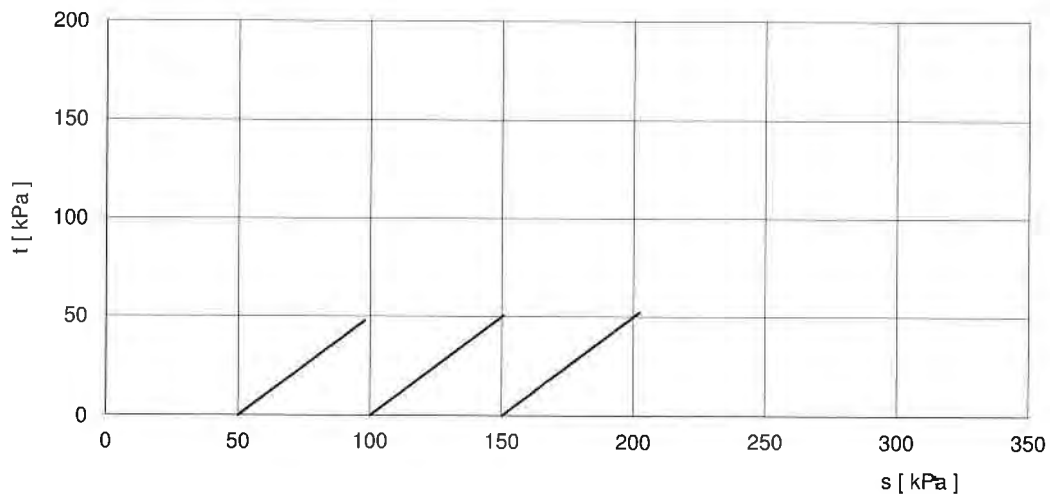
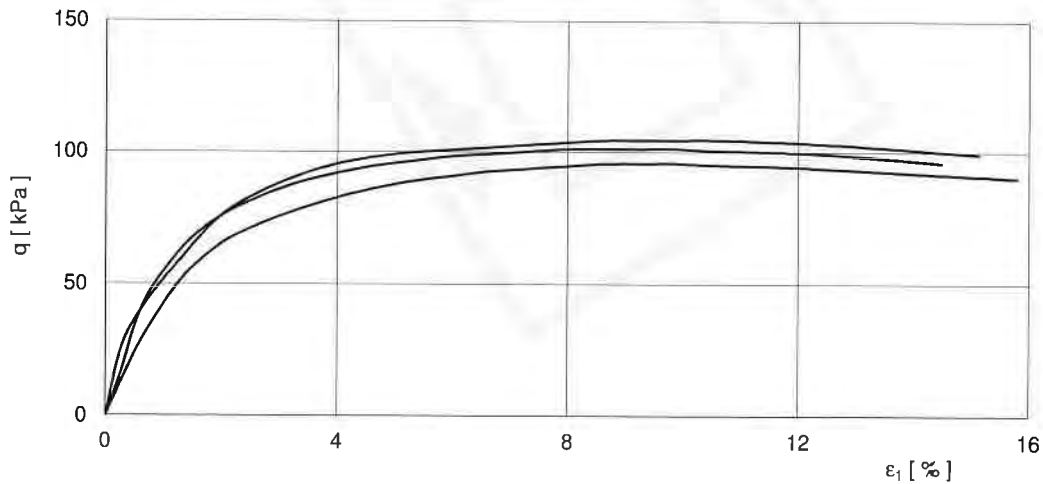
RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG01 C11 6,5/7,0m
verbale d'accettazione 0474/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 02/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071006
data di emissione	21/11/22

PROVA TRIASSIALE UU

UNI EN ISO 17892-8



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 2/2

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071007
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG01 C12 14,5/15,0m
 verbale d'accettazione 0475/22
 data di ricevimento 20/10/22
 data d'apertura 02/11/22
 tipo di terreno CL (ASTM D2487)
 classe di qualità Q5 (AGI 77)

DESCRIZIONE VISIVA

ASTM D2488

CAMPIONE	PP [MPa]	SC [MPa]	PROVE e/o DETERMINAZIONI	DESCRIZIONE
10 cm	0,18		w, ρ , ρ_d , ρ_s , e, n, S_R w_L , w_P , I_P FC 75 μ m TxCID	CONTENITORE: fustella metallica DIMENSIONI: [cm] $\phi = 8,5$ L = 30 GRANULOMETRIA: argilla e limo COLORE: grigio-azzurro UMIDITA': saturo PLASTICITA': media RESISTENZA A SECCO: alta DILATANZA: nessuna TENACITA': media CONSISTENZA (PP): consistente STRUTTURA: omogenea REAZIONE HCl: forte ODORE: nessuno ALTRO: tracce di materia organica inclusi carbonatici
20 cm	0,19			
30 cm	0,18	0,08		
40 cm				
50 cm				
60 cm				
70 cm				

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001associato ALIG
www.laborazi.itCOMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071008
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONEdenominazione SG01 C12 14,5/15,0m
verbale d'accettazione 0475/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 02/11/22
tipo di terreno CL (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)**DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE VOLUMETRICHE**

UNI EN ISO 17892-1 - UNI EN ISO 17892-2 - UNI EN ISO 17892-3 - ASTM D7263

w	%	32,2
ρ	Mg/m ³	1,90
ρ_d	Mg/m ³	1,44
ρ_s	Mg/m ³	2,70
e	-	0,879
n	%	46,8
S _R	-	0,99

note:

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071009
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG01 CI2 14,5/15,0m
verbale d'accettazione 0475/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 02/11/22
tipo di terreno CL (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

DETERMINAZIONE DELLA FRAZIONE PASSANTE AL SETACCIO N.200

ASTM D1140

FC 75 μ m (0,075 mm)	%	96,0
-----------------------------	---	------

note:

Sperimentatore
Marco Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001associato ALIG
www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG01 CI2 14,5/15,0m
verbale d'accettazione 0475/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 02/11/22
tipo di terreno CL (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071010
data di emissione	21/11/22

DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI CONSISTENZA

ASTM D4318

w _L	%	49,0
w _P	%	26,8
I _P	%	22,2

note:

Sperimentatore
Marco Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071011
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONEdenominazione SG01 CI2 14,5/15,0m
verbale d'accettazione 0475/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 02/11/22
tipo di terreno CL (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)**PROVA TRIASSIALE CID**

UNI EN ISO 17892-9

test	n	1	2	3
D ₀	mm	38	38	38
H ₀	mm	76	76	76
w ₀	%	32,1	32,4	32,1
ρ ₀	Mg/m ³	1,90	1,89	1,90
ρ _{d0}	Mg/m ³	1,44	1,43	1,44
ρ _s	Mg/m ³	2,70		
e ₀	-	0,877	0,891	0,877
S _{R0}	-	0,99	0,98	0,99
σ ₃	kPa	400	500	600
u ₀	kPa	300	300	300
B	-	0,98	0,99	1,00
ε _{vc}	%	2,1	4,5	6,1
ε _r	%/min	0,0025	0,0025	0,0025
q _l	kPa	200	349	532
E ₅₀	MPa	8,00	12,49	18,27

note:

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/3

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

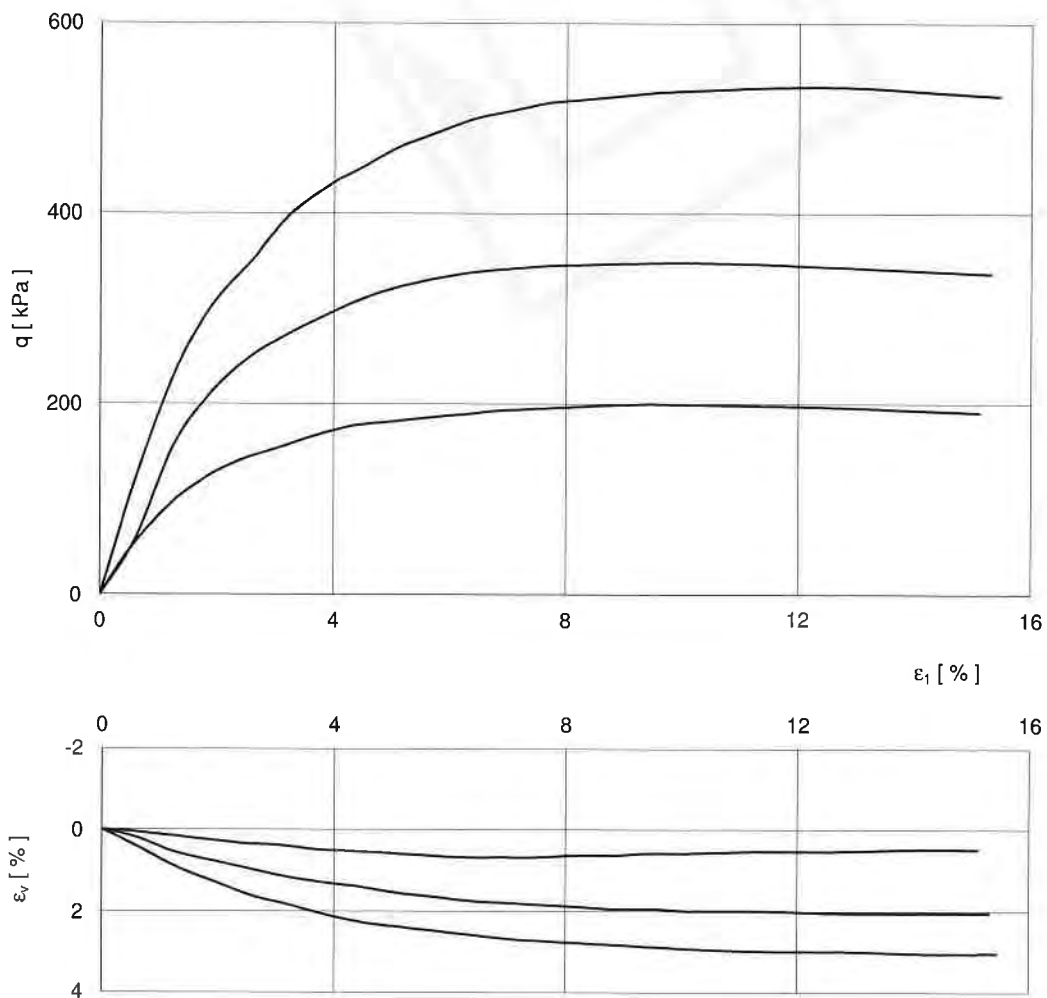
RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG01 C12 14,5/15,0m
verbale d'accettazione 0475/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 02/11/22
tipo di terreno CL (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071011
data di emissione	21/11/22

PROVA TRIASSIALE CID

UNI EN ISO 17892-9



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 2/3

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

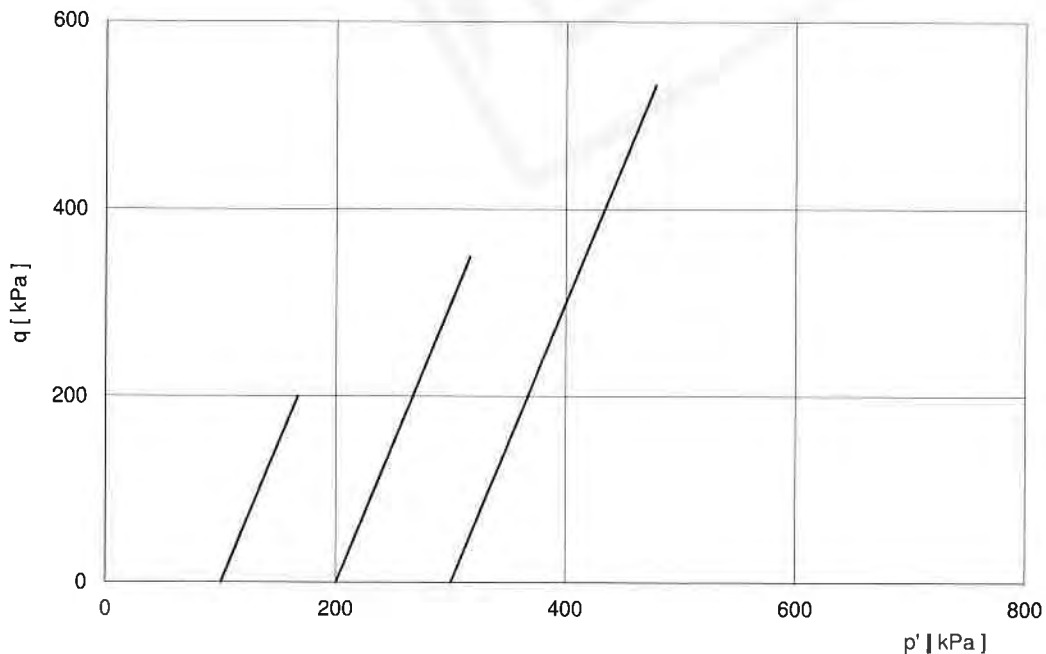
RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG01 C12 14,5/15,0m
verbale d'accettazione 0475/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 02/11/22
tipo di terreno CL (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071011
data di emissione	21/11/22

PROVA TRIASSIALE CID

UNI EN ISO 17892-9



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 3/3

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcocci (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071012
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG02 C11 7,0/7,5m
verbale d'accettazione 0476/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 03/11/22
tipo di terreno SM (ASTM D2487)
classe di qualità Q3 (AGI 77)

DESCRIZIONE VISIVA

ASTM D2488

CAMPIONE	PP [MPa]	SC [MPa]	PROVE e/o DETERMINAZIONI	DESCRIZIONE
10 cm			w, ρ , ρ_d , ρ_s , e , n, S_R w_L , w_P , I_P Gr, Sa, FC 75 μ m	CONTENITORE: fustella metallica DIMENSIONI: [cm] $\phi = 8,5$ L = 30 GRANULOMETRIA: sabbia e limo COLORE: grigio UMIDITA': umido PLASTICITA': bassa RESISTENZA A SECCO: nessuna DILATANZA: rapida TENACITA': bassa CONSISTENZA (PP): --- STRUTTURA: omogenea REAZIONE HCl: forte ODORE: nessuno ALTRO: ---
20 cm				
30 cm				
40 cm				
50 cm				
60 cm				
70 cm				



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG02 CI1 7,0/7,5m
verbale d'accettazione 0476/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 03/11/22
tipo di terreno SM (ASTM D2487)
classe di qualità Q3 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071013
data di emissione	21/11/22

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE VOLUMETRICHE

UNI EN ISO 17892-1 - UNI EN ISO 17892-2 - UNI EN ISO 17892-3 - ASTM D7263

w	%	17,6
ρ	Mg/m ³	2,05
ρ_d	Mg/m ³	1,74
ρ_s	Mg/m ³	2,65
e	-	0,520
n	%	34,2
S_R	-	0,90

note:

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071014
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG02 C11 7,0/7,5m

verbale d'accettazione 0476/22

data di ricevimento 20/10/22

data d'apertura 03/11/22

tipo di terreno SM (ASTM D2487)

classe di qualità Q3 (AGI 77)

DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI CONSISTENZA

ASTM D4318

W _L	%	30,3
W _P	%	25,5
I _P	%	4,8

note:

Sperimentatore
Marco Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071015
<i>data di emissione</i>	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG02 C11 7,0/7,5m
verbale d'accettazione 0476/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 03/11/22
tipo di terreno SM (ASTM D2487)
classe di qualità Q3 (AGI 77)

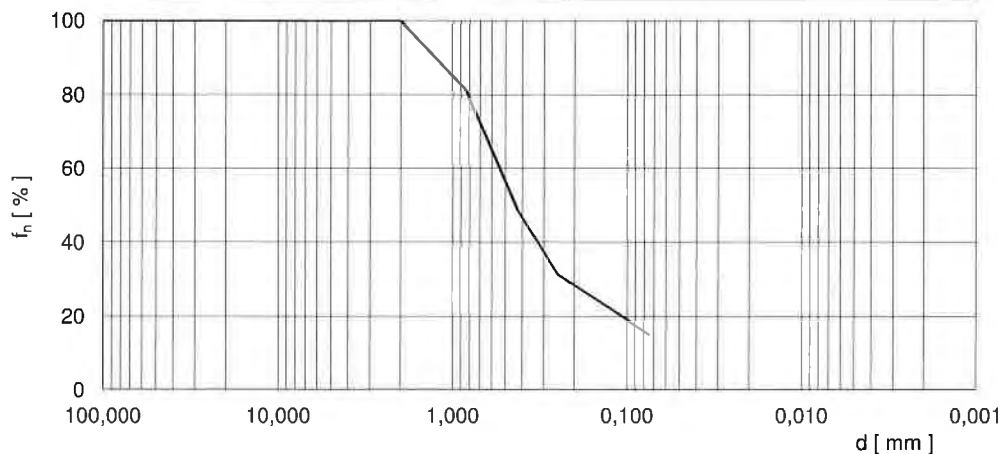
ANALISI GRANULOMETRICA

ASTM D422

d mm	f _n %
100,0	100,0
75,0	100,0
50,0	100,0
37,5	100,0
25,0	100,0
19,0	100,0
9,50	100,0
4,75	100,0
2,00	100,0
0,850	81,7
0,425	48,5
0,250	31,4
0,106	19,9
0,075	15,3

Gr	%	0,0
Sa	%	84,7
Si+Cl	%	15,3

note:

Sperimentatore
Marco OraziFIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071016
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG02 C12 18,0/18,5m
 verbale d'accettazione 0477/22
 data di ricevimento 20/10/22
 data d'apertura 03/11/22
 tipo di terreno CH (ASTM D2487)
 classe di qualità Q5 (AGI 77)

DESCRIZIONE VISIVA

ASTM D2486

CAMPIONE	PP [MPa]	SC [MPa]	PROVE e/o DETERMINAZIONI	DESCRIZIONE
10 cm	0,20	0,09	w, ρ , ρ_d , ρ_s , e, n, S_R w_L , w_P , I_P FC 75 μ m TxUU	CONTENITORE: fustella metallica DIMENSIONI: [cm] $\phi = 8,5$ L = 40 GRANULOMETRIA: argilla e limo COLORE: marrone con venature grigio-azzurre UMIDITA': saturo PLASTICITA': alta RESISTENZA A SECCO: alta DILATANZA: nessuna TENACITA': alta CONSISTENZA (PP): molto consistente STRUTTURA: omogenea REAZIONE HCl: forte ODORE: nessuno ALTRO: tracce di materia organica inclusi carbonatici
20 cm	0,20			
30 cm				
40 cm	0,22	0,10		
50 cm				
60 cm				
70 cm				

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio OraziFIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG02 C12 18,0/18,5m
verbale d'accettazione 0477/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 03/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071017
data di emissione	21/11/22

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE VOLUMETRICHE

UNI EN ISO 17892-1 - UNI EN ISO 17892-2 - UNI EN ISO 17892-3 - ASTM D7263

w	%	31,0
ρ	Mg/m ³	1,93
ρ_d	Mg/m ³	1,47
ρ_s	Mg/m ³	2,72
e	-	0,846
n	%	45,8
S _R	-	1,00

note:

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG02 C12 18,0/18,5m
verbale d'accettazione 0477/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 03/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071018
data di emissione	21/11/22

DETERMINAZIONE DELLA FRAZIONE PASSANTE AL SETACCIO N.200

ASTM D1140

FC 75 µm (0,075 mm)	%	97,9
------------------------	---	------

note:

Sperimentatore
Marco Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG02 C12 18,0/18,5m
verbale d'accettazione 0477/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 03/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071019
data di emissione	21/11/22

DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI CONSISTENZA

ASTM D4318

w _L	%	54,2
w _P	%	26,9
I _P	%	27,3

note:

Sperimentatore
Marco Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071020
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONEdenominazione SG02 C12 18,0/18,5m
verbale d'accettazione 0477/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 03/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)**PROVA TRIASSIALE UU**

UNI EN ISO 17892-8

test	n	1	2	3
D ₀	mm	38	38	38
H ₀	mm	76	76	76
w ₀	%	31,0	30,7	31,3
ρ ₀	Mg/m ³	1,92	1,93	1,93
ρ _{d0}	Mg/m ³	1,47	1,48	1,47
ρ _s	Mg/m ³	2,72		
e ₀	-	0,856	0,842	0,850
S _{R0}	-	0,99	0,99	1,00
σ ₃	kPa	100	200	300
ε _r	%/min	0,5	0,5	0,5
q _l	kPa	205	227	217

note:

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/2

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

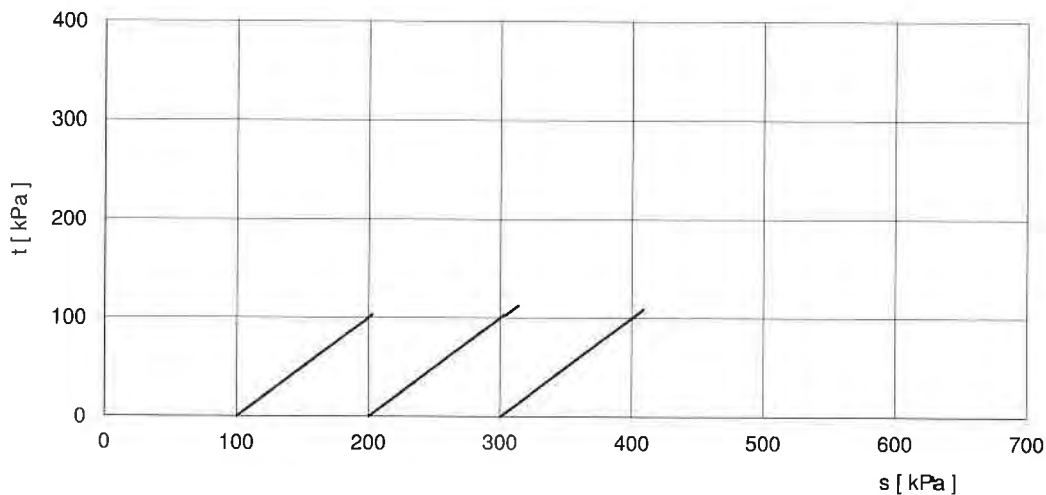
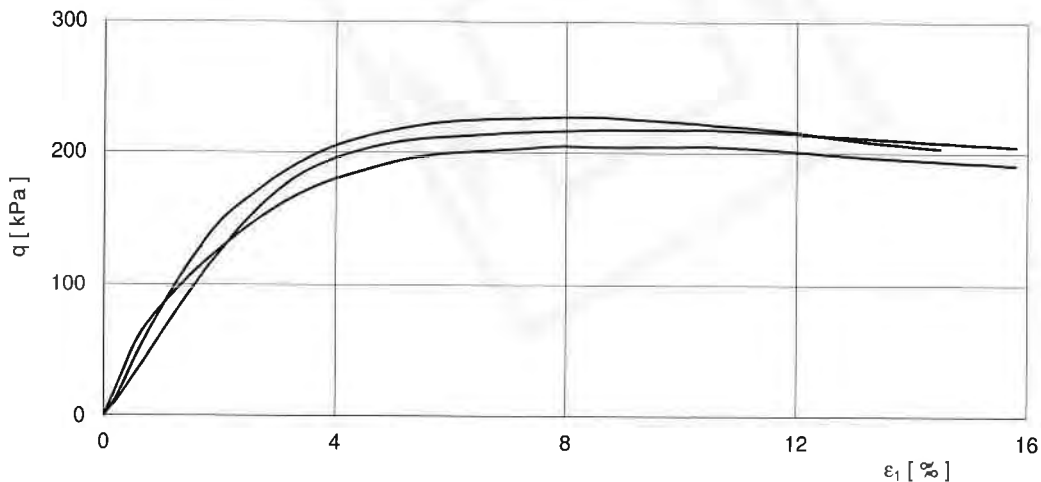
RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG02 Cl2 18,0/18,5m
verbale d'accettazione 0477/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 03/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071020
data di emissione	21/11/22

PROVA TRIASSIALE UU

UNI EN ISO 17892-8



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071021
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG03 C11 6,0/6,5m
verbale d'accettazione 0478/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 04/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

DESCRIZIONE VISIVA

ASTM D2488

CAMPIONE	PP [MPa]	SC [MPa]	PROVE e/o DETERMINAZIONI	DESCRIZIONE
10 cm	0,11		w, ρ, ρ _d , ρ _s , e, n, S _R w _L , w _P , I _P FC 75μm TxCID	CONTENITORE: fustella metallica DIMENSIONI: [cm] φ = 8,5 L = 35 GRANULOMETRIA: argilla e limo COLORE: marrone con venature grigio-azzurre UMIDITA': saturo PLASTICITA': alta RESISTENZA A SECCO: alta DILATANZA: nessuna TENACITA': alta CONSISTENZA (PP): consistente STRUTTURA: omogenea REAZIONE HCl: forte ODORE: nessuno ALTRO: tracce di materia organica inclusi carbonatici
20 cm	0,12			
30 cm	0,11	0,05		
40 cm				
50 cm				
60 cm				
70 cm				



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG03 C11 6,0/6,5m
verbale d'accettazione 0478/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 04/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071022
data di emissione	21/11/22

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE VOLUMETRICHE

UNI EN ISO 17892-1 - UNI EN ISO 17892-2 - UNI EN ISO 17892-3 - ASTM D7263

w	%	33,0
ρ	Mg/m ³	1,90
ρ_d	Mg/m ³	1,43
ρ_s	Mg/m ³	2,72
e	-	0,904
n	%	47,5
S _R	-	0,99

note:

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG03 C11 6,0/6,5m
verbale d'accettazione 0478/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 04/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071023
data di emissione	21/11/22

DETERMINAZIONE DELLA FRAZIONE PASSANTE AL SETACCIO N.200

ASTM D1140

FC 75 μ m (0,075 mm)	%	98,1
-----------------------------	---	------

note:

Sperimentatore
Marco Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG03 Cl1 6,0/6,5m
verbale d'accettazione 0478/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 04/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071024
data di emissione	21/11/22

DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI CONSISTENZA

ASTM D4318

w _L	%	52,5
w _P	%	23,5
I _P	%	29,0

note:

Sperimentatore
Marco Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071025
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONEdenominazione SG03 C11 6,0/6,5m
verbale d'accettazione 0478/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 04/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)**PROVA TRIASSIALE CID**

UNI EN ISO 17892-9

test	n	1	2	3
D ₀	mm	38	38	38
H ₀	mm	76	76	76
w ₀	%	33,1	32,9	33,0
ρ ₀	Mg/m ³	1,90	1,89	1,90
ρ _{d0}	Mg/m ³	1,43	1,42	1,43
ρ _s	Mg/m ³	2,72		
e ₀	-	0,905	0,913	0,904
S _{R0}	-	0,99	0,98	0,99
σ ₃	kPa	350	400	500
u ₀	kPa	300	300	300
B	-	0,99	0,98	0,99
ε _{vc}	%	1,7	3,9	7,3
ε _r	%/min	0,0025	0,0025	0,0025
q _f	kPa	98	180	341
E ₅₀	MPa	1,97	6,37	10,87

note:

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/3

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcoccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

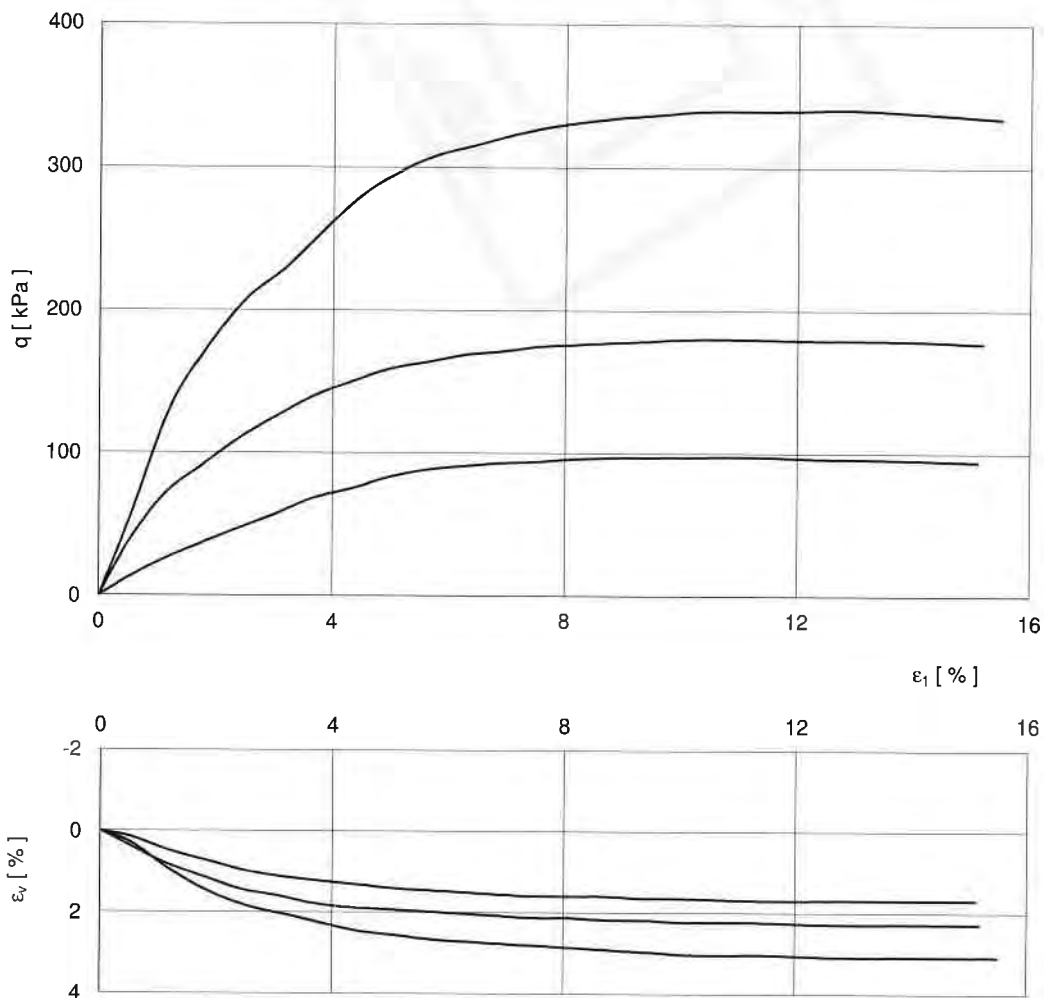
RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG03 Cl1 6,0/6,5m
verbale d'accettazione 0478/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 04/11/22
tipo di terreno CH (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071025
data di emissione	21/11/22

PROVA TRIASSIALE CID

UNI EN ISO 17892-9



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 2/3

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG03 CI1 6,0/6,5m

verbale d'accettazione 0478/22

data di ricevimento 20/10/22

data d'apertura 04/11/22

tipo di terreno CH (ASTM D2487)

classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO

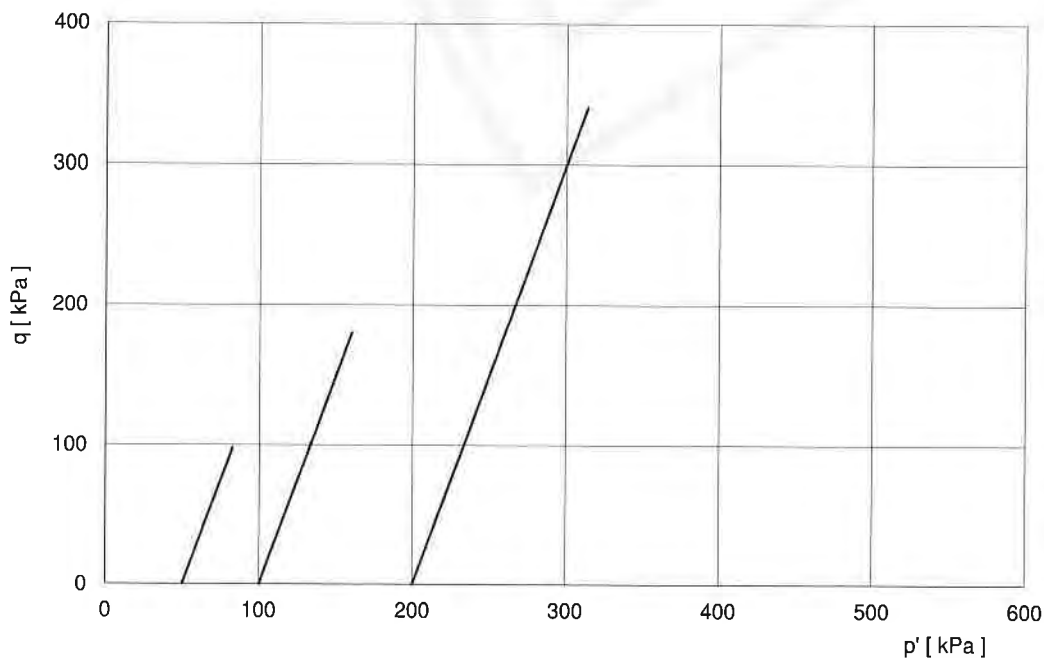
22071025

data di emissione

21/11/22

PROVA TRIASSIALE CID

UNI EN ISO 17892-9



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 3/3

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071026
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG03 Cl2 12,0/12,5m
verbale d'accettazione 0479/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 04/11/22
tipo di terreno SM (ASTM D2487)
classe di qualità Q3 (AGI 77)

DESCRIZIONE VISIVA

ASTM D2488

CAMPIONE	PP [MPa]	SC [MPa]	PROVE e/o DETERMINAZIONI	DESCRIZIONE
10 cm			<p>$w, \rho, \rho_d, \rho_s, e, n, S_R$ w_L, w_p, I_p Gr, Sa, FC 75μm</p>	CONTENITORE: fustella metallica DIMENSIONI: [cm] $\phi = 8,5$ L = 30 GRANULOMETRIA: sabbia e limo COLORE: grigio UMIDITA': umido PLASTICITA': bassa RESISTENZA A SECCO: nessuna DILATANZA: rapida TENACITA': bassa CONSISTENZA (PP): --- STRUTTURA: omogenea REAZIONE HCl: forte ODORE: nessuno ALTRO: ---
20 cm				
30 cm				
40 cm				
50 cm				
60 cm				
70 cm				



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG03 CI2 12,0/12,5m
verbale d'accettazione 0479/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 04/11/22
tipo di terreno SM (ASTM D2487)
classe di qualità Q3 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071027
data di emissione	21/11/22

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE VOLUMETRICHE

UNI EN ISO 17892-1 - UNI EN ISO 17892-2 - UNI EN ISO 17892-3 - ASTM D7263

w	%	19,2
ρ	Mg/m ³	2,03
ρ_d	Mg/m ³	1,70
ρ_s	Mg/m ³	2,66
e	-	0,562
n	%	36,0
S_R	-	0,91

note:

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG03 CI2 12,0/12,5m
verbale d'accettazione 0479/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 04/11/22
tipo di terreno SM (ASTM D2487)
classe di qualità Q3 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071028
data di emissione	21/11/22

DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI CONSISTENZA

ASTM D4318

w _L	%	28,3
w _p	%	24,8
I _p	%	3,5

note:

Sperimentatore
Marco Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG
www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071029
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG03 CI2 12,0/12,5m
verbale d'accettazione 0479/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 04/11/22
tipo di terreno SM (ASTM D2487)
classe di qualità Q3 (AGI 77)

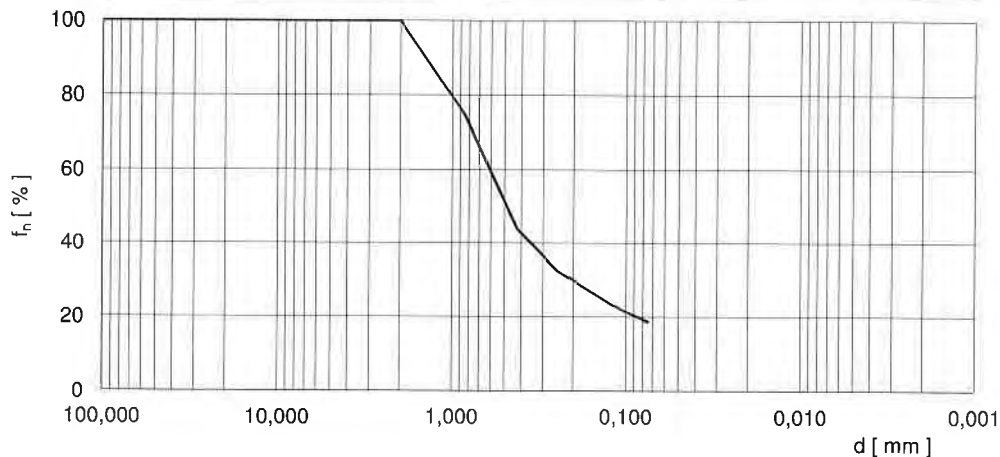
ANALISI GRANULOMETRICA

ASTM D422

d	f _n
mm	%
100,0	100,0
75,0	100,0
50,0	100,0
37,5	100,0
25,0	100,0
19,0	100,0
9,50	100,0
4,75	100,0
2,00	100,0
0,850	74,8
0,425	44,0
0,250	32,7
0,106	21,9
0,075	18,8

Gr	%	0,0
Sa	%	81,2
Si+Cl	%	18,8

note:



Sperimentatore
Marco Orazi

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071030
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG04 CI1 4,5/5,0m
 verbale d'accettazione 0480/22
 data di ricevimento 20/10/22
 data d'apertura 05/11/22
 tipo di terreno CL (ASTM D2487)
 classe di qualità Q5 (AGI 77)

DESCRIZIONE VISIVA

ASTM D2488

CAMPIONE	PP [MPa]	SC [MPa]	PROVE e/o DETERMINAZIONI	DESCRIZIONE
10 cm	0,18		W, ρ , ρ_d , ρ_s , e, n, S_R w_L , w_p , I_p FC 75 μ m EDO _{IL} TxUU	CONTENITORE: fustella metallica DIMENSIONI: [cm] $\phi = \epsilon,5$ L = 45 GRANULOMETRIA: argilla e limo COLORE: marrone con venature grigio-azzurre UMIDITA': umido PLASTICITA': media RESISTENZA A SECCO: alta DILATANZA: nessuna TENACITA': media CONSISTENZA (PP): consistente STRUTTURA: omogenea REAZIONE HCI: forte ODORE: nessuno ALTRO: tracce di materia organica inclusi carbonatici
20 cm	0,19			
30 cm				
40 cm				
50 cm	0,20	0,09		
60 cm				
70 cm				

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG04 C11 4,5/5,0m
verbale d'accettazione 0480/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 05/11/22
tipo di terreno CL (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071031
data di emissione	21/11/22

DETERMINAZIONE DELLE CARATTERISTICHE VOLUMETRICHE

UNI EN ISO 17892-1 - UNI EN ISO 17892-2 - UNI EN ISO 17892-3 - ASTM D7263

w	%	25,1
ρ	Mg/m ³	1,95
ρ_d	Mg/m ³	1,56
ρ_s	Mg/m ³	2,69
e	-	0,726
n	%	42,1
S_R	-	0,93

note:

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001associato ALIG
www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG04 CI1 4,5/5,0m
verbale d'accettazione 0480/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 05/11/22
tipo di terreno CL (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071032
data di emissione	21/11/22

DETERMINAZIONE DELLA FRAZIONE PASSANTE AL SETACCIO N.200

ASTM D1140

FC 75 μ m (0,075 mm)	%	95,5
-----------------------------	---	------

note:

Sperimentatore
Marco Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001associato ALIG
www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG04 Cl1 4,5/5,0m
verbale d'accettazione 0480/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 05/11/22
tipo di terreno CL (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071033
data di emissione	21/11/22

DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI CONSISTENZA

ASTM D4318

w _L	%	46,6
w _P	%	20,9
I _P	%	25,7

note:

Sperimentatore
Marco Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071034
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONEdenominazione SG04 C11 4,5/5,0m
verbale d'accettazione 0480/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 05/11/22
tipo di terreno CL (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)**PROVA EDOMETRICA**

UNI EN ISO 17892-5

σ_v	ε_v	e	M	C_v
kPa	%	-	kPa	m ² /s
12,5				
25				
50	0,19	0,720	14706	3,6E-08
100	0,53	0,714	7752	2,0E-08
200	1,82	0,692	9524	1,9E-08
400	3,92	0,655	13793	
800	6,82	0,605	22792	
1600	10,33	0,545	41131	
3200	14,22	0,478		
800	12,57	0,506		
200	9,85	0,553		
50	7,06	0,601		
12,5				

A	mm ²	2000
H ₀	mm	20
w ₀	%	24,9
ρ_0	Mg/m ³	1,95
ρ_{d0}	Mg/m ³	1,56
ρ_s	Mg/m ³	2,69
e ₀	-	0,723
S _{R0}	-	0,93

note:

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio OraziFIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

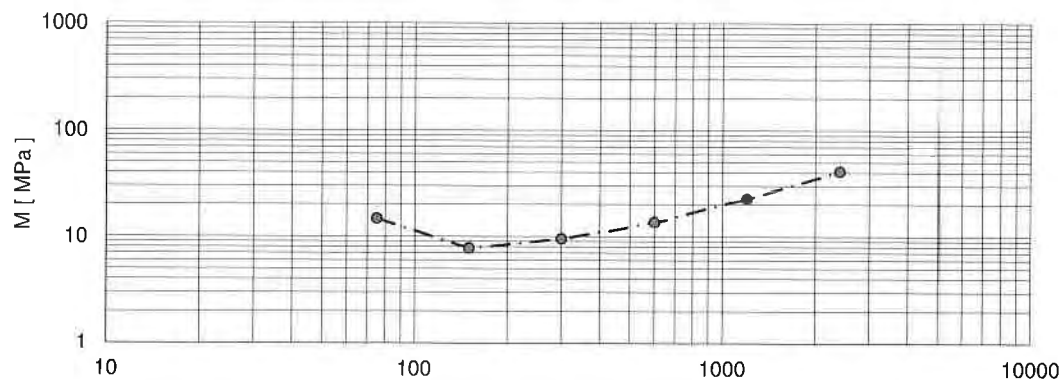
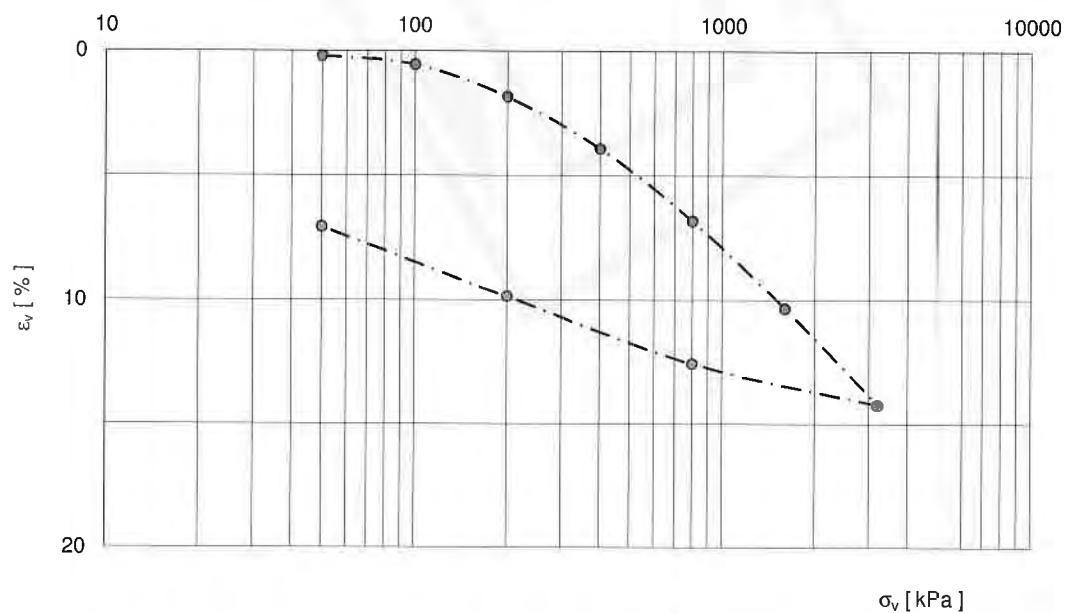
RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG04 Cl1 4,5/5,0m
verbale d'accettazione 0480/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 05/11/22
tipo di terreno CL (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071034
data di emissione	21/11/22

PROVA EDOMETRICA

UNI EN ISO 17892-5



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

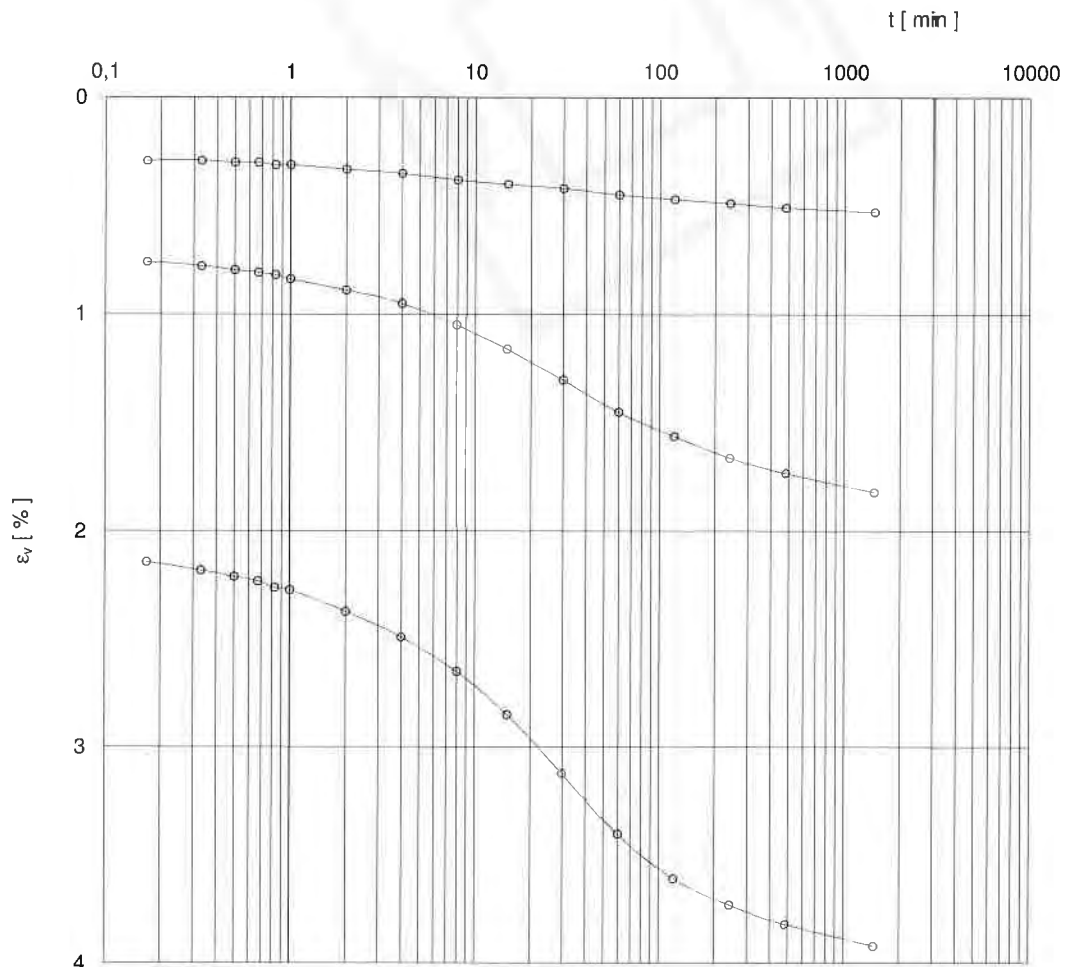
CERTIFICATO	22071034
data di emissione	21/11/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG04 Cl1 4,5/5,0m
verbale d'accettazione 0480/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 05/11/22
tipo di terreno CL (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

PROVA EDOMETRICA

UNI EN ISO 17892-5



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 3/3

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG04 C11 4,5/5,0m
verbale d'accettazione 0480/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 05/11/22
tipo di terreno CL (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071035
data di emissione	21/11/22

PROVA TRIASSIALE UU

UNI EN ISO 17892-8

test	n	1	2	3
D ₀	mm	38	38	38
H ₀	mm	76	76	76
w ₀	%	25,2	25,1	25,3
ρ ₀	Mg/m ³	1,95	1,95	1,96
ρ _{d0}	Mg/m ³	1,56	1,56	1,56
ρ _s	Mg/m ³	2,69		
e ₀	-	0,727	0,726	0,720
S _{R0}	-	0,93	0,93	0,95
σ ₃	kPa	50	100	150
ε _r	%/min	0,5	0,5	0,5
q _f	kPa	192	203	213

note:

Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 1/2

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombaroccio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

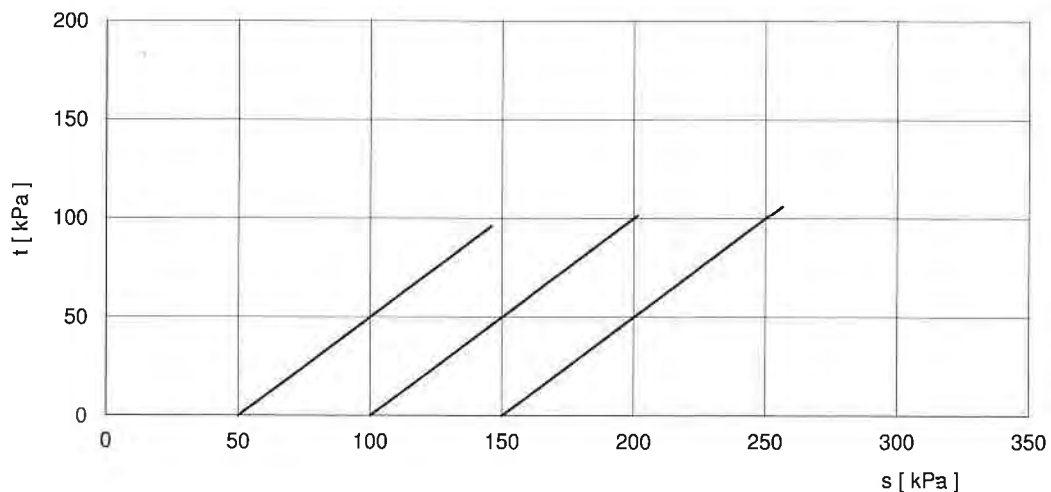
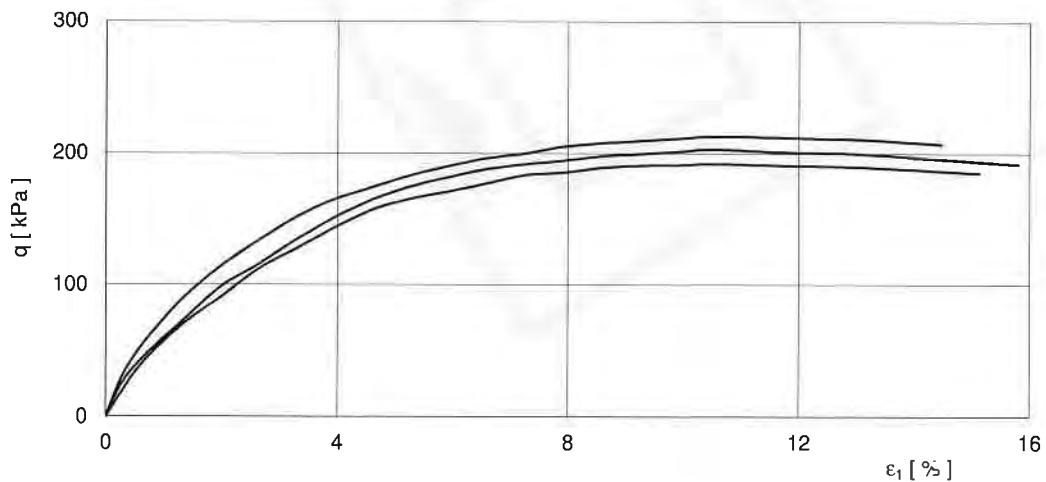
RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG04 Cl1 4,5/5,0m
verbale d'accettazione 0480/22
data di ricevimento 20/10/22
data d'apertura 05/11/22
tipo di terreno CL (ASTM D2487)
classe di qualità Q5 (AGI 77)

CERTIFICATO	22071035
data di emissione	21/11/22

PROVA TRIASSIALE UU

UNI EN ISO 17892-8



Sperimentatore
Dr. Ugo Sergio Orazi

pagina 2/2

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO 22071036

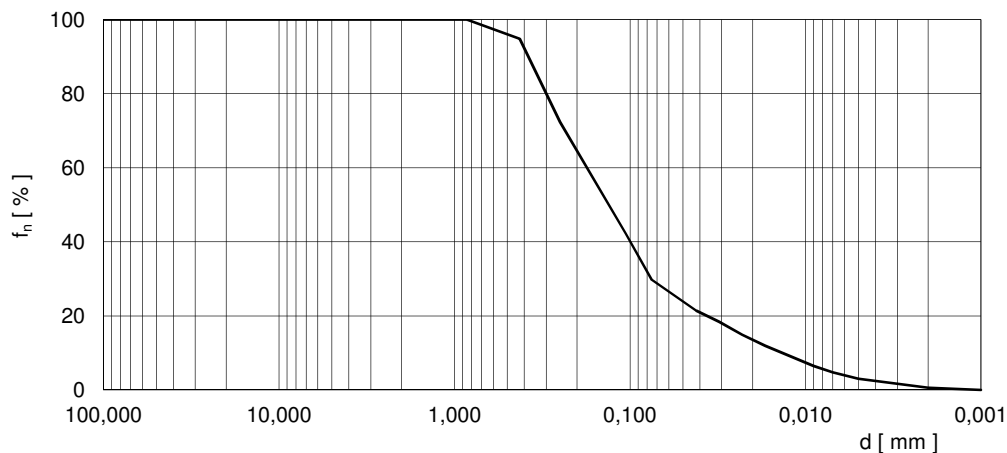
data di emissione 15/12/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONEdenominazione SG1 CR1 18,0/18,45m
verbale d'accettazione 0586/22
data di ricevimento 17/11/22
data d'apertura 21/11/22
tipo di terreno SM (ASTM D2487)
classe di qualità Q2 (AGI 77)**ANALISI GRANULOMETRICA**

ASTM D422

d mm	f _n %
100,0	100,0
75,0	100,0
50,0	100,0
37,5	100,0
25,0	100,0
19,0	100,0
9,50	100,0
4,75	100,0
2,00	100,0
0,850	100,0
0,425	94,8
0,250	72,3
0,106	42,3
0,075	29,7
0,042	21,4
0,031	18,4
0,023	14,9
0,017	11,9
0,009	6,5
0,007	4,8
0,005	3,0
0,002	0,6
0,001	0,0

Gr	%	0,0
Sa	%	70,3
Si+Cl	%	29,7

note:
non plastico (NP)Sperimentatore
Marco Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

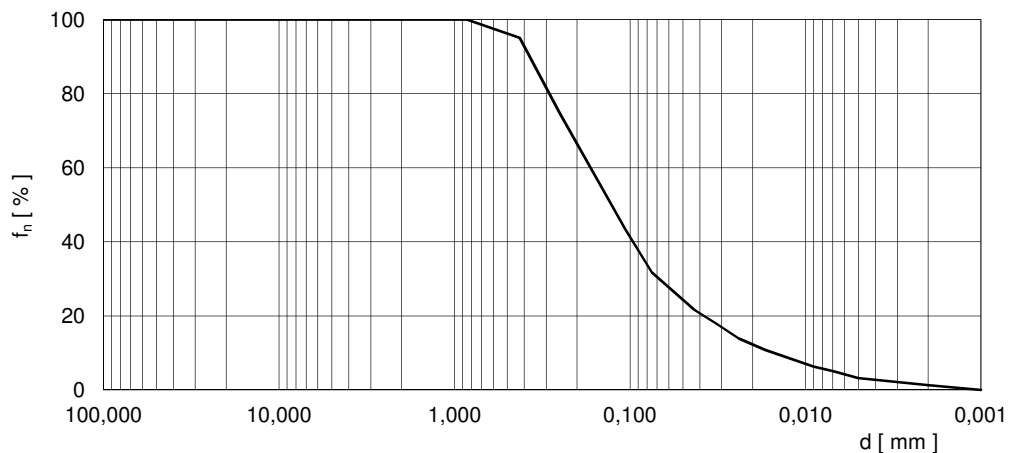
www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO**CERTIFICATO** 22071037**data di emissione** 15/12/22**RIFERIMENTI DEL CAMPIONE**denominazione SG2 CR1 12,0/12,45m
verbale d'accettazione 0587/22
data di ricevimento 17/11/22
data d'apertura 21/11/22
tipo di terreno SM (ASTM D2487)
classe di qualità Q2 (AGI 77)**ANALISI GRANULOMETRICA**

ASTM D422

d mm	f _n %
100,0	100,0
75,0	100,0
50,0	100,0
37,5	100,0
25,0	100,0
19,0	100,0
9,50	100,0
4,75	100,0
2,00	100,0
0,850	100,0
0,425	95,1
0,250	74,6
0,106	43,3
0,075	31,7
0,043	21,6
0,032	17,8
0,024	13,9
0,017	10,8
0,009	6,3
0,007	5,1
0,005	3,2
0,002	1,3
0,001	0,0

Gr	%	0,0
Sa	%	68,3
Si+Cl	%	31,7

note:
non plastico (NP)Sperimentatore
Marco OraziFIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

pagina 1/1

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO**CERTIFICATO**

22071038

data di emissione

15/12/22

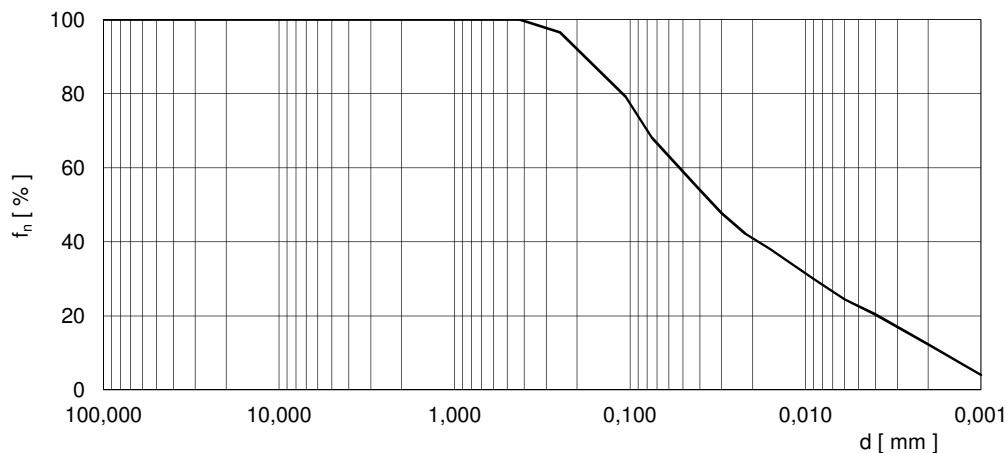
RIFERIMENTI DEL CAMPIONEdenominazione SG3 CR1 9,0/9,45m
verbale d'accettazione 0588/22
data di ricevimento 17/11/22
data d'apertura 21/11/22
tipo di terreno non classificabile secondo ASTM D2487
classe di qualità Q2 (AGI 77)**ANALISI GRANULOMETRICA**

ASTM D422

d	f _n
mm	%
100,0	100,0
75,0	100,0
50,0	100,0
37,5	100,0
25,0	100,0
19,0	100,0
9,50	100,0
4,75	100,0
2,00	100,0
0,850	100,0
0,425	100,0
0,250	96,5
0,106	79,2
0,075	68,1
0,041	54,5
0,030	47,7
0,022	42,2
0,016	38,1
0,009	30,0
0,006	24,5
0,004	20,4
0,002	12,3
0,001	4,1

Gr	%	0,0
Sa	%	31,9
Si+Cl	%	68,1

note:

Sperimentatore
Marco Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO

CERTIFICATO	22071039
-------------	----------

data di emissione	15/12/22
-------------------	----------

RIFERIMENTI DEL CAMPIONE

denominazione SG4 CR1 7,5/7,95m
verbale d'accettazione 0589/22
data di ricevimento 17/11/22
data d'apertura 21/11/22
tipo di terreno SM (ASTM D2487)
classe di qualità Q2 (AGI 77)

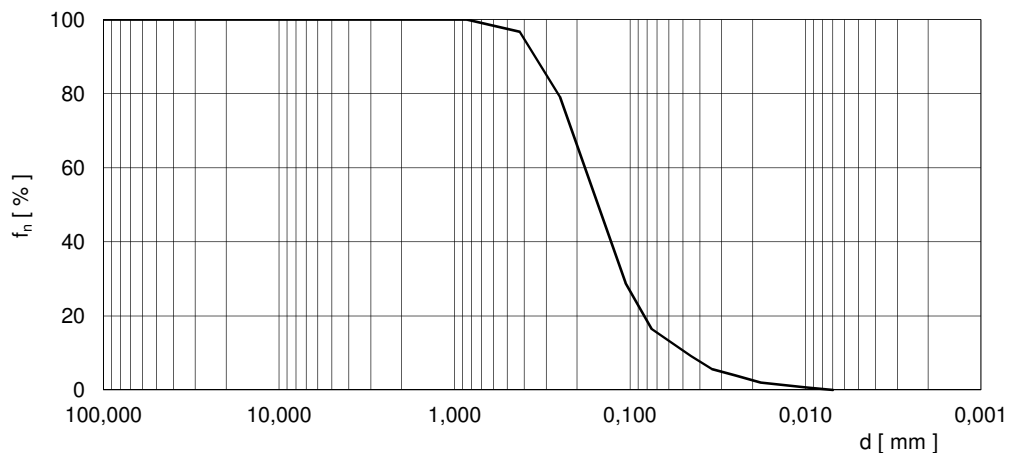
ANALISI GRANULOMETRICA

ASTM D422

d	f _n
mm	%
100,0	100,0
75,0	100,0
50,0	100,0
37,5	100,0
25,0	100,0
19,0	100,0
9,50	100,0
4,75	100,0
2,00	100,0
0,850	100,0
0,425	96,7
0,250	79,1
0,106	28,9
0,075	16,4
0,045	9,2
0,034	5,6
0,025	3,9
0,018	2,0
0,010	0,7
0,007	0,0

Gr	%	0,0
Sa	%	83,6
Si+Cl	%	16,4

note:
non plastico (NP)



Sperimentatore
Marco Orazi

pagina 1/1

FIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO**CERTIFICATO**

22071040

data di emissione

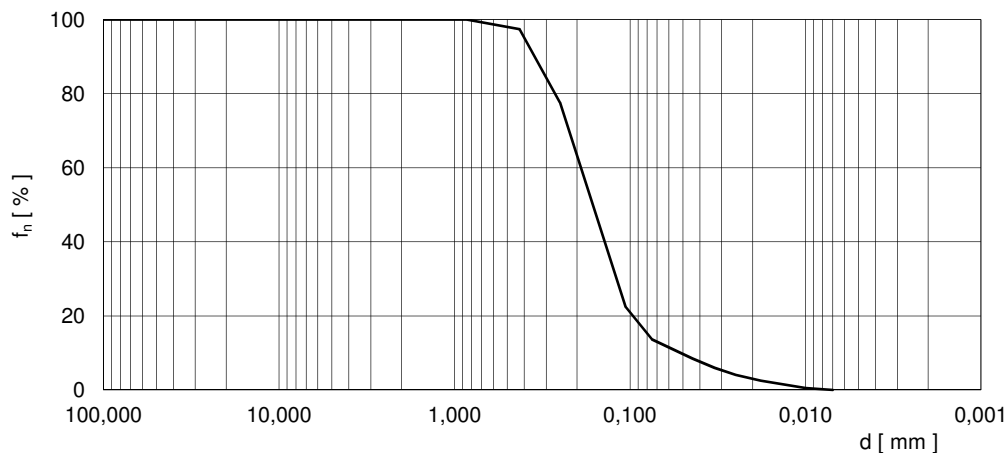
15/12/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONEdenominazione SG4 CR2 9,5/9,95m
verbale d'accettazione 0590/22
data di ricevimento 17/11/22
data d'apertura 21/11/22
tipo di terreno SM (ASTM D2487)
classe di qualità Q2 (AGI 77)**ANALISI GRANULOMETRICA**

ASTM D422

d	f _n
mm	%
100,0	100,0
75,0	100,0
50,0	100,0
37,5	100,0
25,0	100,0
19,0	100,0
9,50	100,0
4,75	100,0
2,00	100,0
0,850	100,0
0,425	97,4
0,250	77,6
0,106	22,4
0,075	13,7
0,044	8,5
0,033	6,0
0,025	4,1
0,018	2,5
0,010	0,5
0,007	0,0

Gr	%	0,0
Sa	%	86,3
Si+Cl	%	13,7

note:
non plastico (NP)Sperimentatore
Marco OraziFIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

pagina 1/1

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO**CERTIFICATO**

22071041

data di emissione

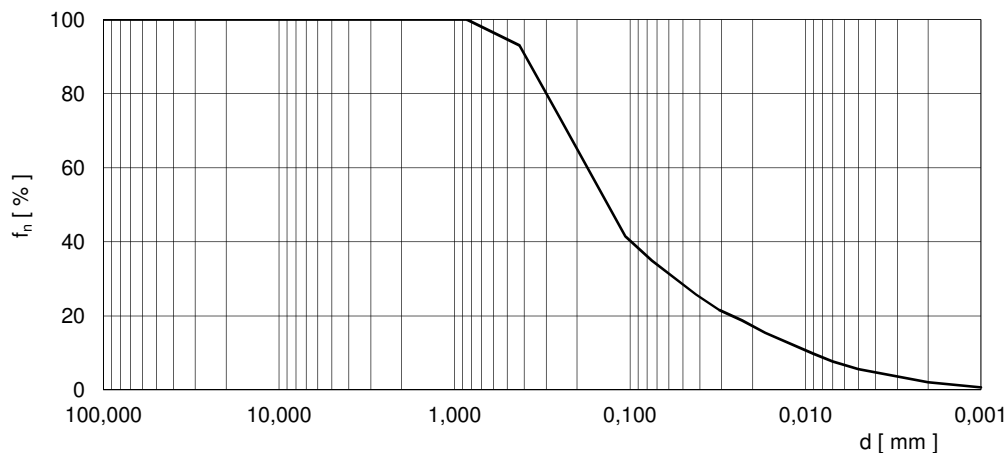
15/12/22

RIFERIMENTI DEL CAMPIONEdenominazione SG4 CR3 15,0/15,45m
verbale d'accettazione 0591/22
data di ricevimento 17/11/22
data d'apertura 21/11/22
tipo di terreno SM (ASTM D2487)
classe di qualità Q2 (AGI 77)**ANALISI GRANULOMETRICA**

ASTM D422

d mm	f _n %
100,0	100,0
75,0	100,0
50,0	100,0
37,5	100,0
25,0	100,0
19,0	100,0
9,50	100,0
4,75	100,0
2,00	100,0
0,850	100,0
0,425	93,0
0,250	73,5
0,106	41,4
0,075	34,9
0,042	25,8
0,031	21,6
0,023	18,8
0,017	15,4
0,009	9,8
0,007	7,7
0,005	5,6
0,002	2,1
0,001	0,7

Gr	%	0,0
Sa	%	65,1
Si+Cl	%	34,9

note:
non plastico (NP)Sperimentatore
Marco OraziFIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

pagina 1/1

LABORATORIO GEOMECCANICO ORAZI dal 1979

Via Cairo sn - 61024 Mombarcio (Pesaro e Urbino)

Laboratorio Autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Art 59 DPR 380/01

Iscritto all'Albo dei Laboratori di Ricerca del MIUR - Art 14 DM 593/00

Sistema Gestione Qualità
Certificato UNI EN ISO 9001

associato ALIG

www.laborazi.it

COMMITTENTE SAIPEM SPA
CANTIERE STOGIT-C.LE DI STOCCAGGIO DI MINERBIO**CERTIFICATO**

22071042

data di emissione

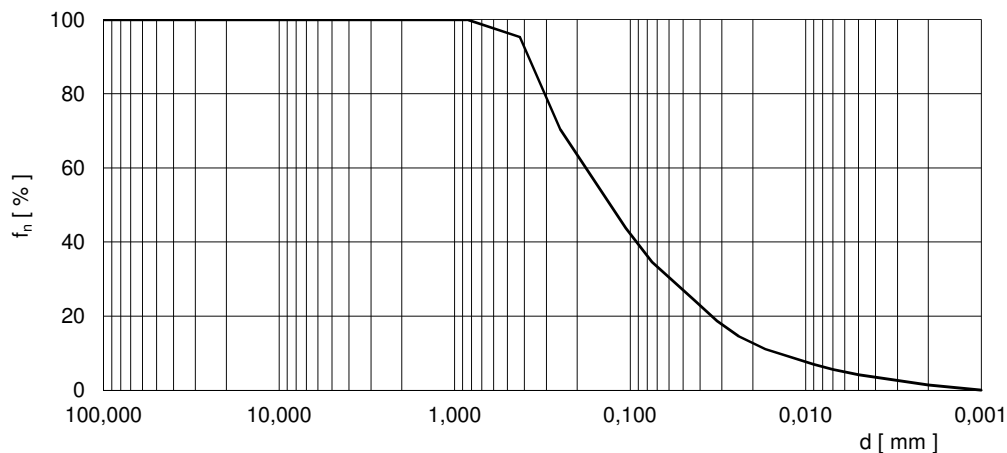
15/12/22


RIFERIMENTI DEL CAMPIONEdenominazione SG4 CR4 19,5/19,95m
verbale d'accettazione 0592/22
data di ricevimento 17/11/22
data d'apertura 21/11/22
tipo di terreno SM (ASTM D2487)
classe di qualità Q2 (AGI 77)**ANALISI GRANULOMETRICA**

ASTM D422

d	f _n
mm	%
100,0	100,0
75,0	100,0
50,0	100,0
37,5	100,0
25,0	100,0
19,0	100,0
9,50	100,0
4,75	100,0
2,00	100,0
0,850	100,0
0,425	95,3
0,250	70,4
0,106	43,7
0,075	34,6
0,043	24,2
0,032	18,7
0,024	14,5
0,017	11,1
0,009	6,9
0,007	5,5
0,005	4,2
0,002	1,4
0,001	0,0

Gr	%	0,0
Sa	%	65,4
Si+Cl	%	34,6

note:
non plastico (NP)Sperimentatore
Marco OraziFIRMATO DIGITALMENTE DA
Dr. Michele Orazi Ph.D.
Direttore del Laboratorio

Logo e Denominazione Commerciale Committente	Identificativo documento Committente	Identificativo documento Progettista	Indice Rev.		Foglio di Fogli
			Stato di Validità	N. Rev.	
			 STOGIT	016708DFLB14200	

ALLEGATO 3:

Metodologia e calcoli di Risposta Sismica Locale di III livello (software “RSL III di Geostru”).

--

Saipem P.IVA: 00825790157	Via: via Toniolo 00199 Fano - PU Email: federico.cervi@saipem.com
--	--

Risposta Sismica Locale di Terzo Livello

	Data: 02 maggio 2023
	Il committente STOGIT
	IL Tecnico Cervi Federico
	Il Progettista
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:

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

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:

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

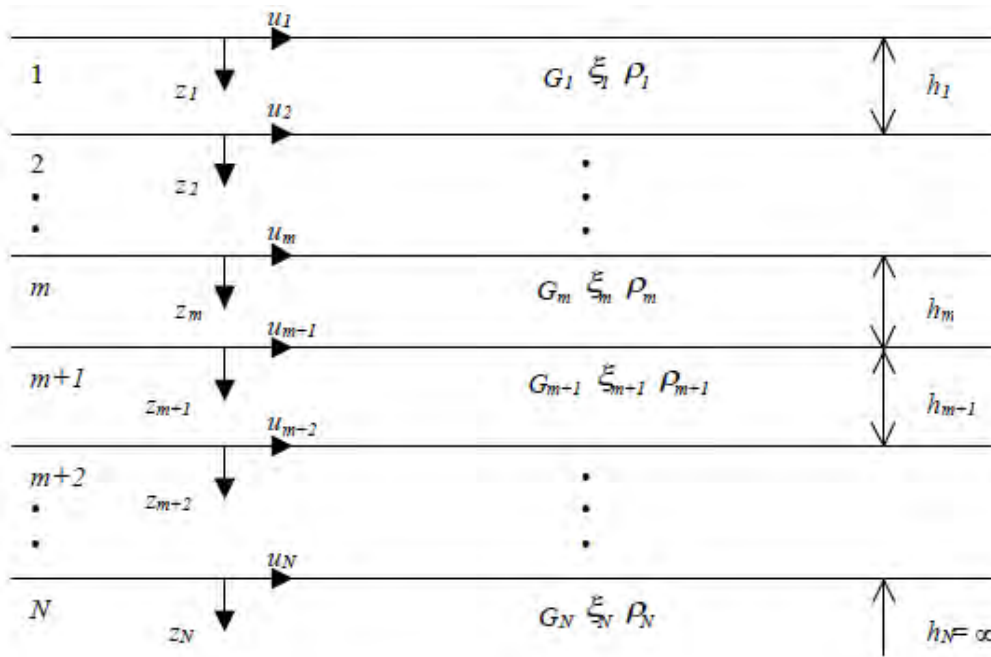


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

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:

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

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

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.

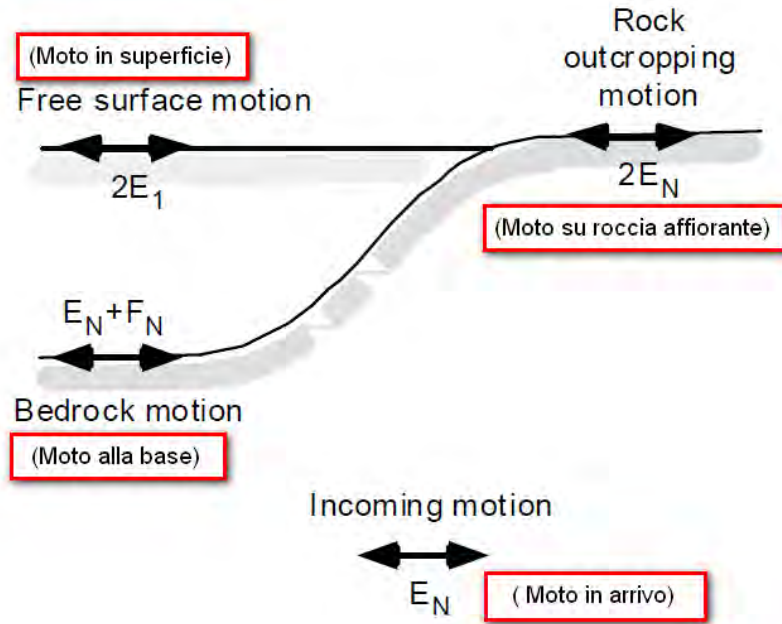


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

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:

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

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:

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

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

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

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

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.

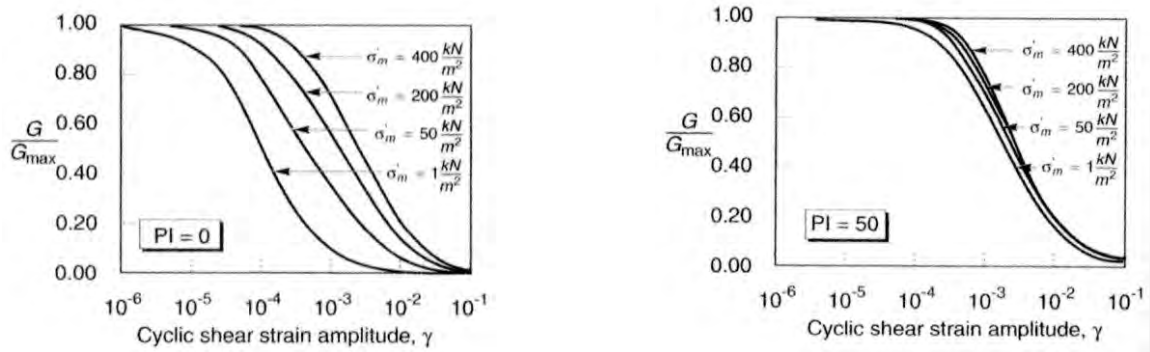


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

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

$$\xi = 0.333 \frac{1 + \exp(-0.0145 PI^{1.5})}{2} \left[0.586 \left(\frac{G}{G_{max}} \right)^2 - 1.547 \frac{G}{G_{max}} + 1 \right] \quad (29)$$

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

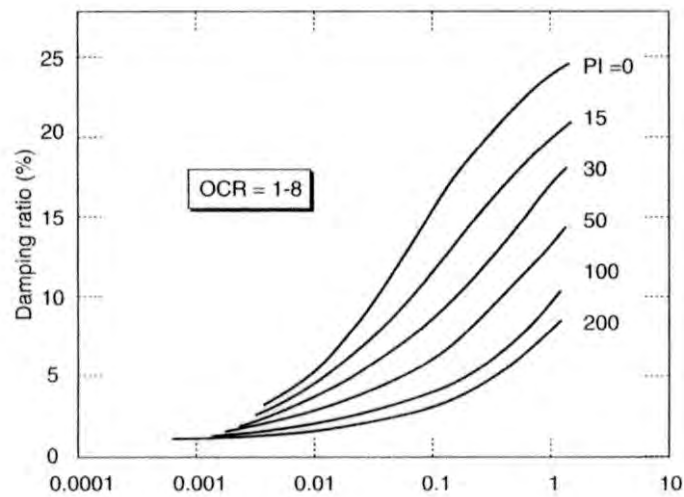


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

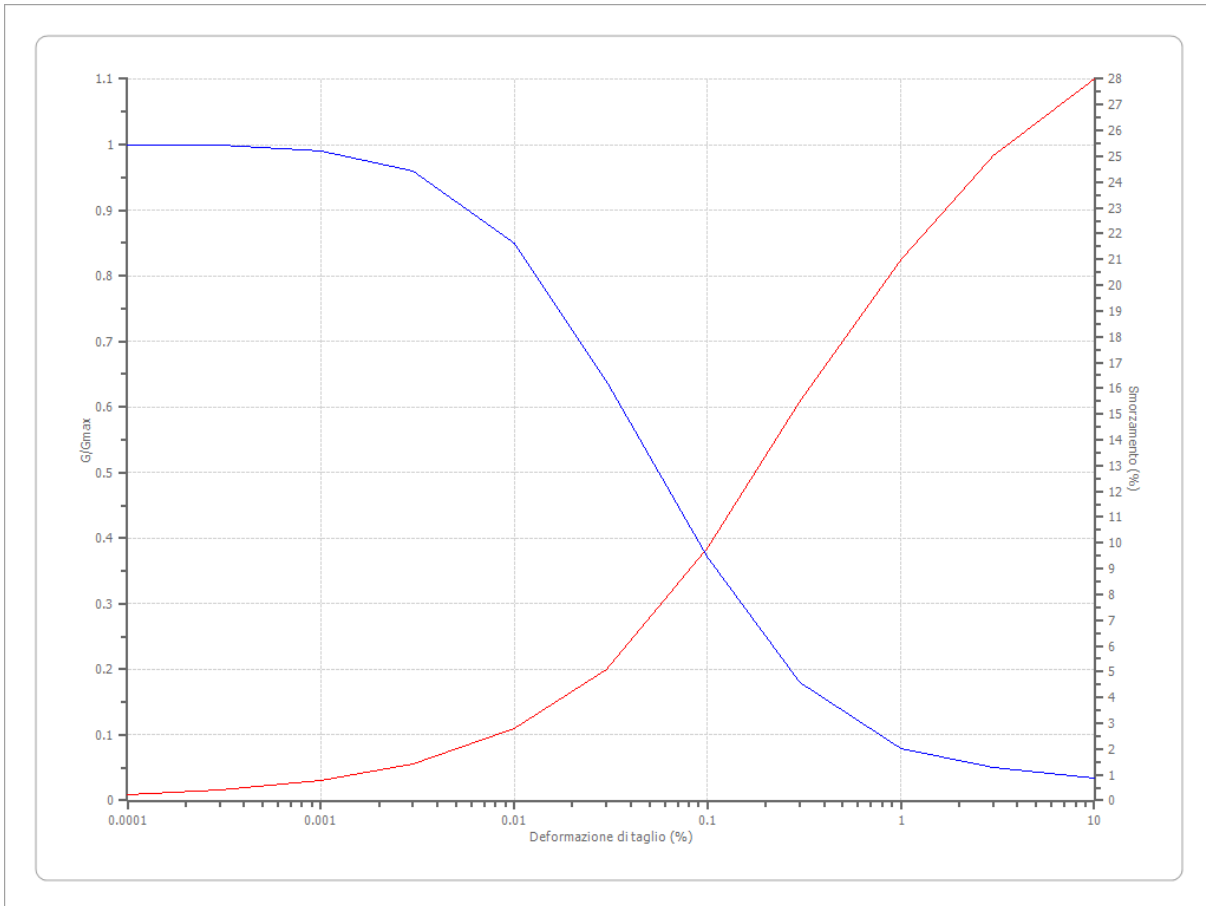
Dati generali

Descrizione	Risposta Sismica Locale di Terzo Livello
Committente	STOGIT
Cantiere	Installazione ELCO EC 8 - Opere Elettriche e Accessorie
Operatore della prova	VISPI RICCARDO
Responsabile della prova	CERVI FEDERICO
Data della prova	02/04/2023
Via	Minerbio (BO)
Latitudine	44,63245[°]
Longitudine	11,5412836[°]

Terreni

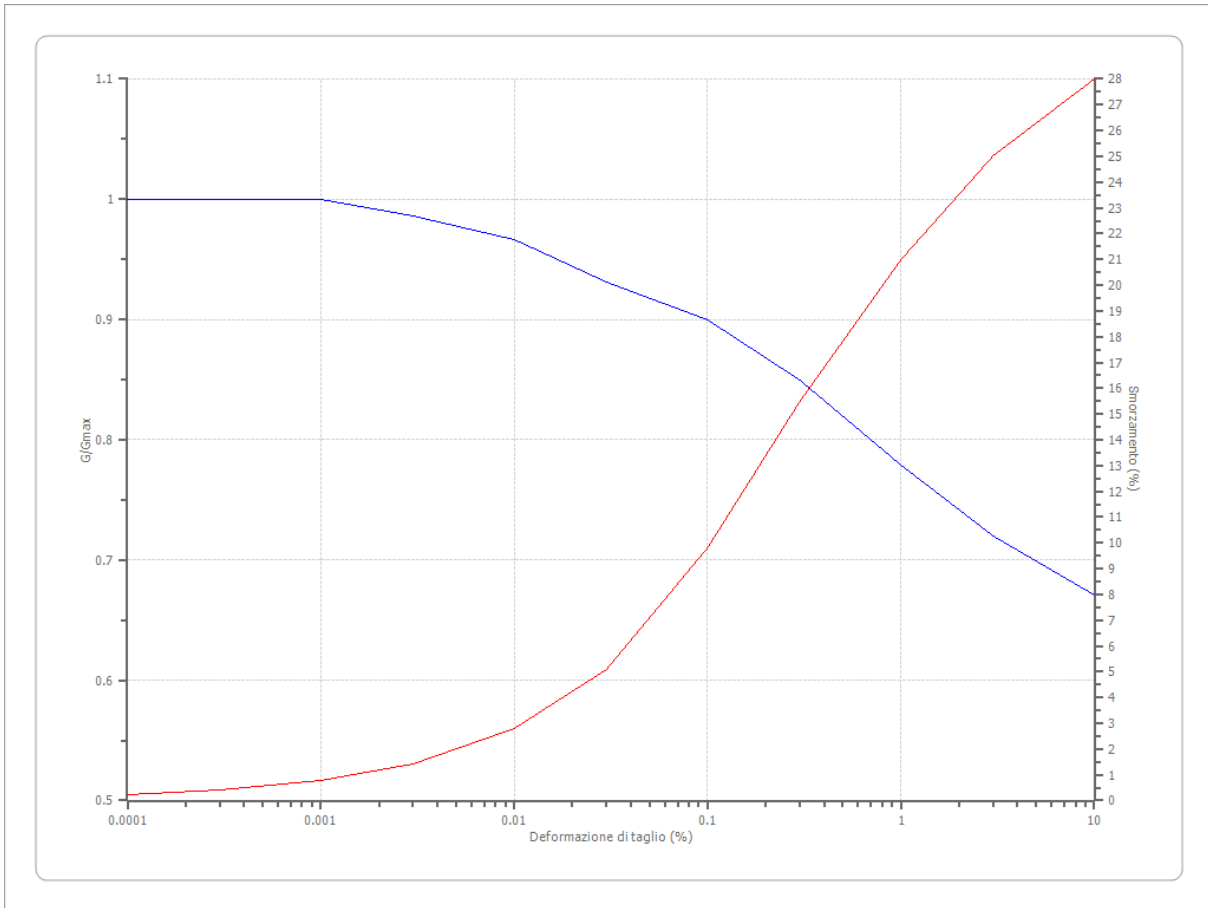
Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	0.990	0.001	0.800
0.003	0.960	0.003	1.400
0.010	0.850	0.010	2.800
0.030	0.640	0.030	5.100
0.100	0.370	0.100	9.800
0.300	0.180	0.300	15.500
1.000	0.080	1.000	21.000
3.000	0.050	3.000	25.000
10.000	0.035	10.000	28.000



Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	1.000	0.001	0.800
0.003	0.986	0.003	1.400
0.010	0.966	0.010	2.800
0.030	0.931	0.030	5.100
0.100	0.900	0.100	9.800
0.300	0.850	0.300	15.500
1.000	0.779	1.000	21.000
3.000	0.720	3.000	25.000
10.000	0.671	10.000	28.000



Stratigrafia

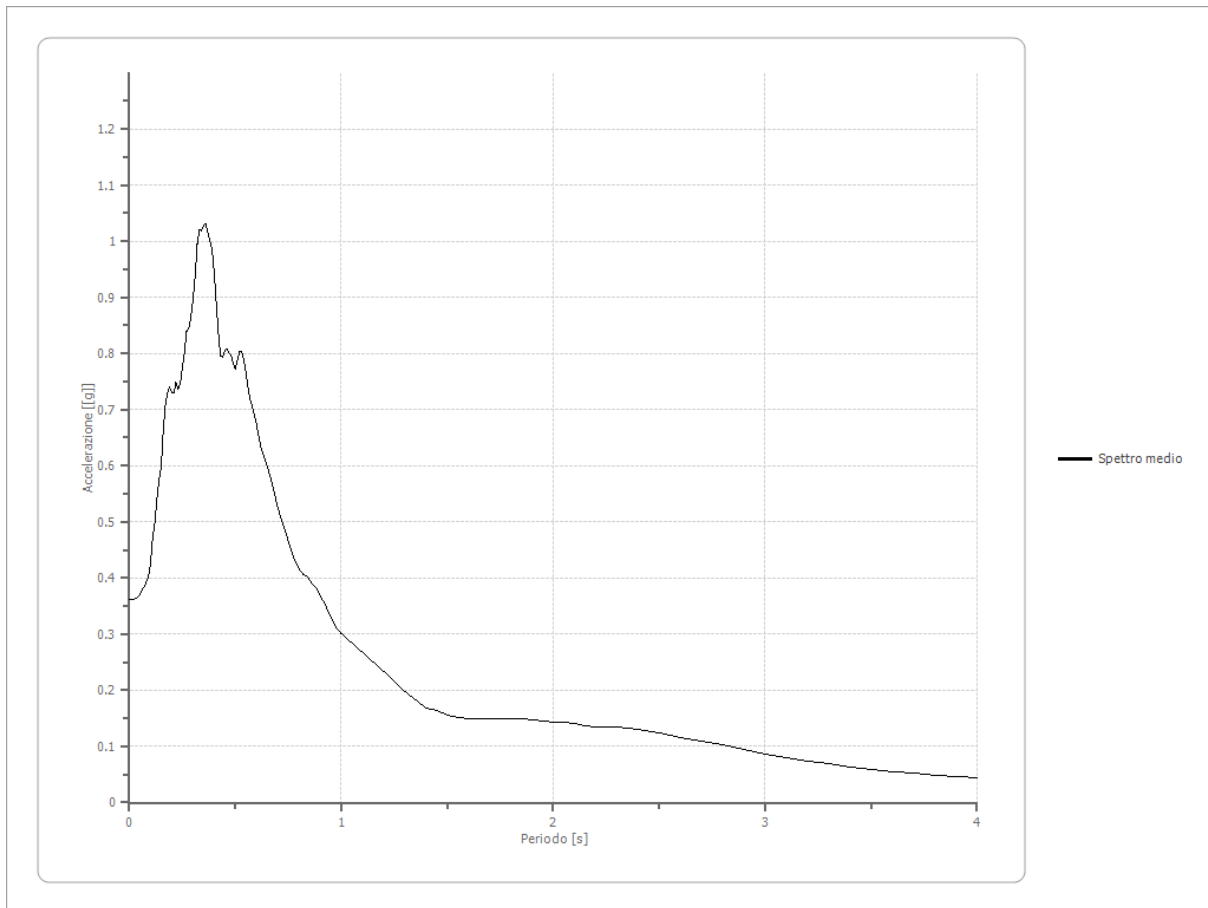
n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m ³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		2.8	2.8	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	30.75	--	19.0	126.0	12.9
2		8.5	5.7	Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	0	56.63	--	19.0	171.0	79.9
3		16.7	8.2	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	106.96	--	19.0	235.0	171.7
4		25.5	8.8	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	167.41	--	19.0	294.0	249.8
5		250	224.5	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	337.71	--	20.0	407.0	1434.1
6		oo	--	Smorzamento costante	0	1435.27	--	22.0	800.0	2577.9

Strato con falda: 2
Strato rilevamento accelerogramma: 6 Affiorante

Periodo minimo [s]	Periodo massimo [s]	Int. Housner input [m]	Int. Housner output [m]	Int. Housner input/output [m]	FA
0.100	0.300	0.037	0.037	0.333	0.998

Spettro medio di risposta elastico

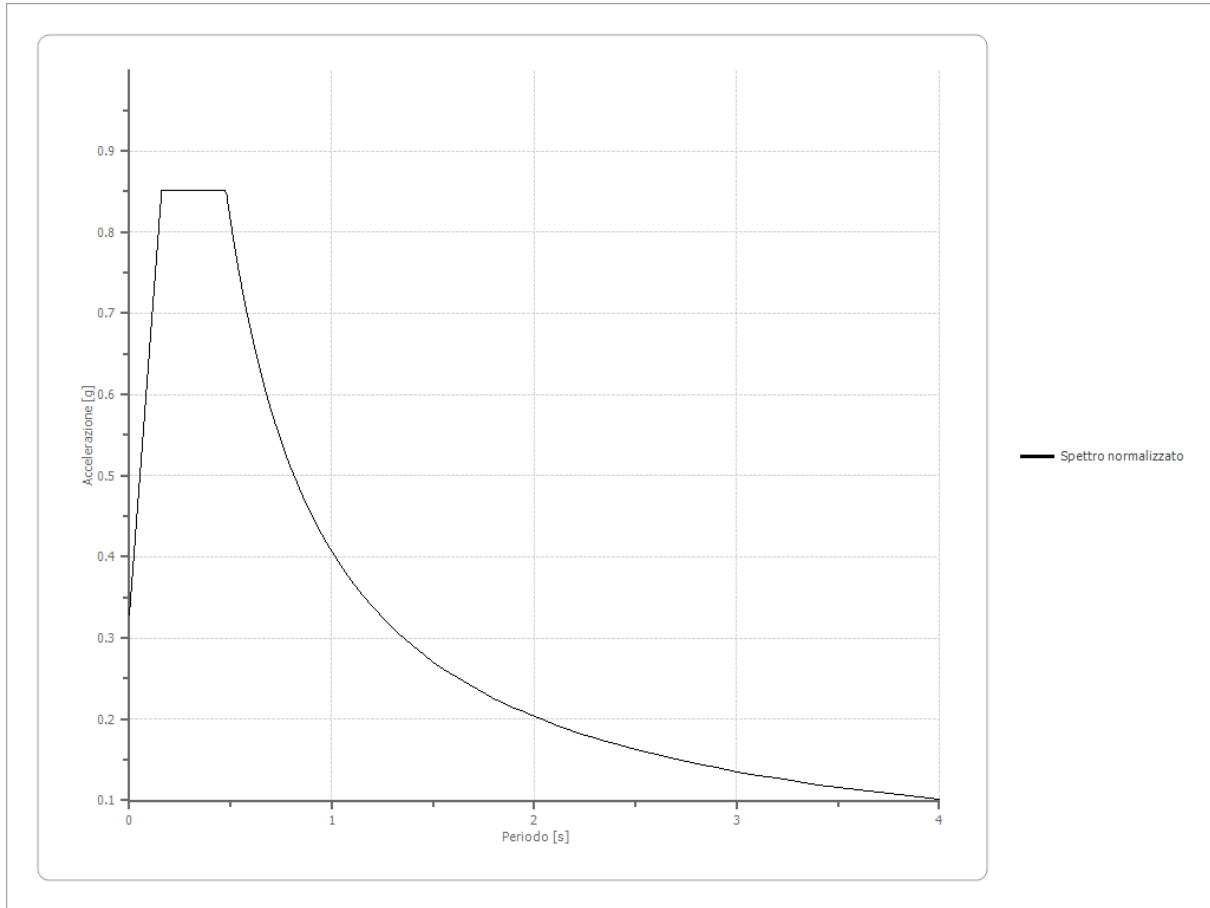
Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.3615	0.26	0.8010	0.52	0.8036	0.98	0.3083	2.25	0.1349
0.01	0.3615	0.27	0.8388	0.53	0.8040	1.00	0.3000	2.30	0.1337
0.02	0.3626	0.28	0.8428	0.54	0.7888	1.05	0.2831	2.35	0.1316
0.03	0.3642	0.29	0.8637	0.55	0.7646	1.10	0.2662	2.40	0.1295
0.04	0.3665	0.30	0.8962	0.56	0.7378	1.15	0.2504	2.50	0.1234
0.05	0.3704	0.31	0.9355	0.57	0.7176	1.20	0.2341	2.60	0.1160
0.06	0.3778	0.32	0.9957	0.58	0.7048	1.25	0.2172	2.70	0.1098
0.07	0.3841	0.33	1.0209	0.60	0.6723	1.30	0.1985	2.80	0.1026
0.08	0.3928	0.34	1.0173	0.62	0.6342	1.35	0.1831	2.90	0.0946
0.09	0.4024	0.35	1.0297	0.64	0.6093	1.40	0.1692	3.00	0.0866
0.10	0.4262	0.36	1.0303	0.66	0.5861	1.45	0.1630	3.10	0.0792
0.11	0.4738	0.37	1.0168	0.68	0.5571	1.50	0.1566	3.20	0.0735
0.12	0.4991	0.38	1.0020	0.70	0.5267	1.55	0.1520	3.30	0.0685
0.13	0.5405	0.39	0.9841	0.72	0.5016	1.60	0.1494	3.40	0.0639
0.14	0.5773	0.40	0.9444	0.74	0.4768	1.65	0.1491	3.50	0.0595
0.15	0.5971	0.41	0.8894	0.76	0.4543	1.70	0.1501	3.60	0.0554
0.16	0.6656	0.42	0.8358	0.78	0.4317	1.75	0.1503	3.70	0.0520
0.17	0.7088	0.43	0.7949	0.80	0.4166	1.80	0.1501	3.80	0.0491
0.18	0.7309	0.44	0.7930	0.82	0.4059	1.85	0.1486	3.90	0.0462
0.19	0.7404	0.45	0.8060	0.84	0.4009	1.90	0.1465	4.00	0.0433
0.20	0.7309	0.46	0.8072	0.86	0.3918	1.95	0.1454		
0.21	0.7299	0.47	0.8005	0.88	0.3825	2.00	0.1437		
0.22	0.7492	0.48	0.7966	0.90	0.3685	2.05	0.1424		
0.23	0.7359	0.49	0.7817	0.92	0.3551	2.10	0.1405		
0.24	0.7460	0.50	0.7724	0.94	0.3383	2.15	0.1377		
0.25	0.7747	0.51	0.7894	0.96	0.3240	2.20	0.1351		



Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]	Periodo [s]	Accelerazione [g]
0.00	0.3287	0.26	0.8518	0.52	0.7820	0.98	0.4149	2.25	0.1807
0.01	0.3615	0.27	0.8518	0.53	0.7672	1.00	0.4066	2.30	0.1768
0.02	0.3944	0.28	0.8518	0.54	0.7530	1.05	0.3873	2.35	0.1730
0.03	0.4273	0.29	0.8518	0.55	0.7393	1.10	0.3697	2.40	0.1694
0.04	0.4602	0.30	0.8518	0.56	0.7261	1.15	0.3536	2.50	0.1627
0.05	0.4930	0.31	0.8518	0.57	0.7134	1.20	0.3389	2.60	0.1564
0.06	0.5259	0.32	0.8518	0.58	0.7011	1.25	0.3253	2.70	0.1506
0.07	0.5588	0.33	0.8518	0.60	0.6777	1.30	0.3128	2.80	0.1452
0.08	0.5916	0.34	0.8518	0.62	0.6559	1.35	0.3012	2.90	0.1402
0.09	0.6245	0.35	0.8518	0.64	0.6354	1.40	0.2904	3.00	0.1355
0.10	0.6574	0.36	0.8518	0.66	0.6161	1.45	0.2804	3.10	0.1312
0.11	0.6903	0.37	0.8518	0.68	0.5980	1.50	0.2711	3.20	0.1271
0.12	0.7231	0.38	0.8518	0.70	0.5809	1.55	0.2623	3.30	0.1232
0.13	0.7560	0.39	0.8518	0.72	0.5648	1.60	0.2541	3.40	0.1196
0.14	0.7889	0.40	0.8518	0.74	0.5495	1.65	0.2464	3.50	0.1162
0.15	0.8217	0.41	0.8518	0.76	0.5350	1.70	0.2392	3.60	0.1130
0.16	0.8518	0.42	0.8518	0.78	0.5213	1.75	0.2324	3.70	0.1099
0.17	0.8518	0.43	0.8518	0.80	0.5083	1.80	0.2259	3.80	0.1070
0.18	0.8518	0.44	0.8518	0.82	0.4959	1.85	0.2198	3.90	0.1043
0.19	0.8518	0.45	0.8518	0.84	0.4841	1.90	0.2140	4.00	0.1017
0.20	0.8518	0.46	0.8518	0.86	0.4728	1.95	0.2085		
0.21	0.8518	0.47	0.8518	0.88	0.4621	2.00	0.2033		

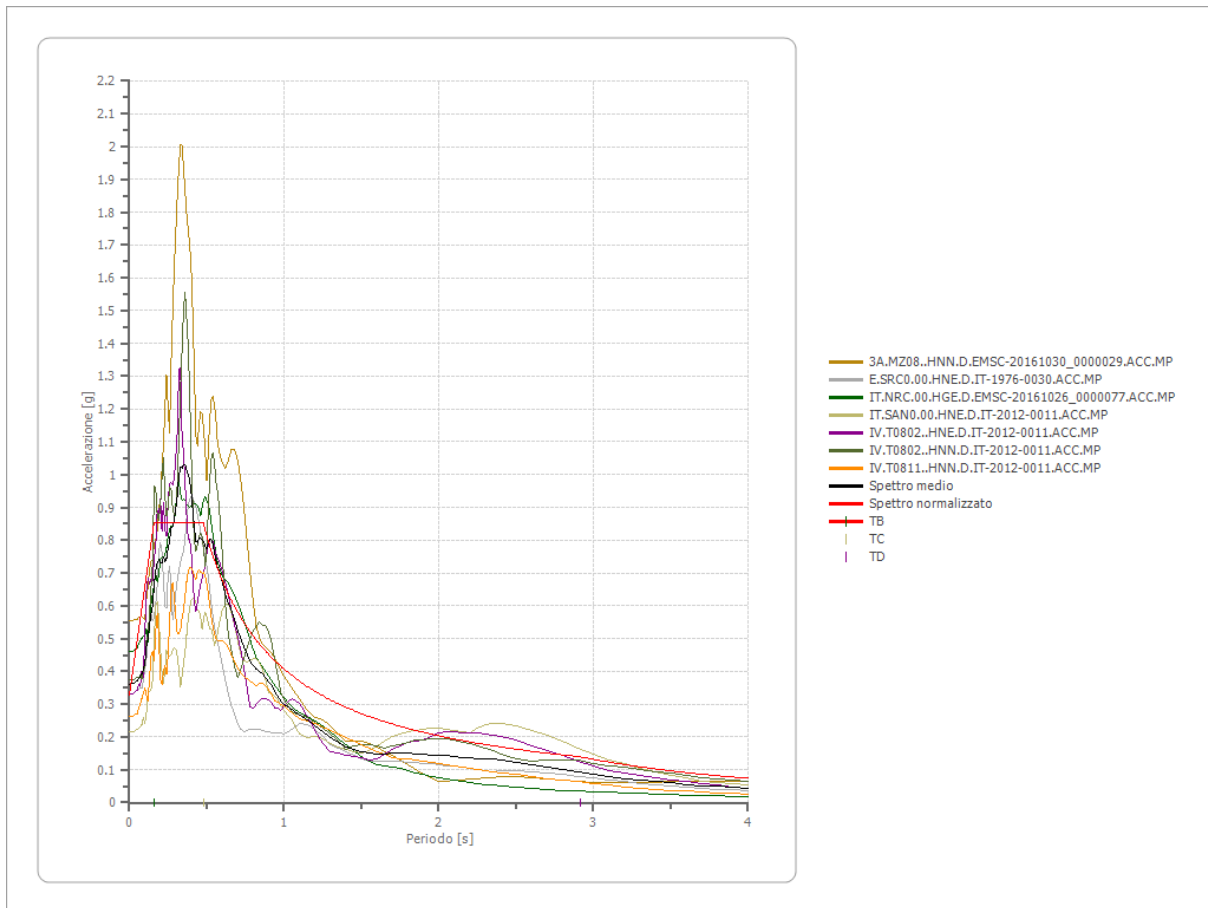
0.22	0.8518	0.48	0.8471	0.90	0.4518	2.05	0.1984		
0.23	0.8518	0.49	0.8299	0.92	0.4420	2.10	0.1936		
0.24	0.8518	0.50	0.8133	0.94	0.4326	2.15	0.1891		
0.25	0.8518	0.51	0.7973	0.96	0.4236	2.20	0.1848		



Parametri spettro normalizzato

Ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]	S
0.329	2.591472	--	0.159	0.477	2.915	0.329	0.852	1.204

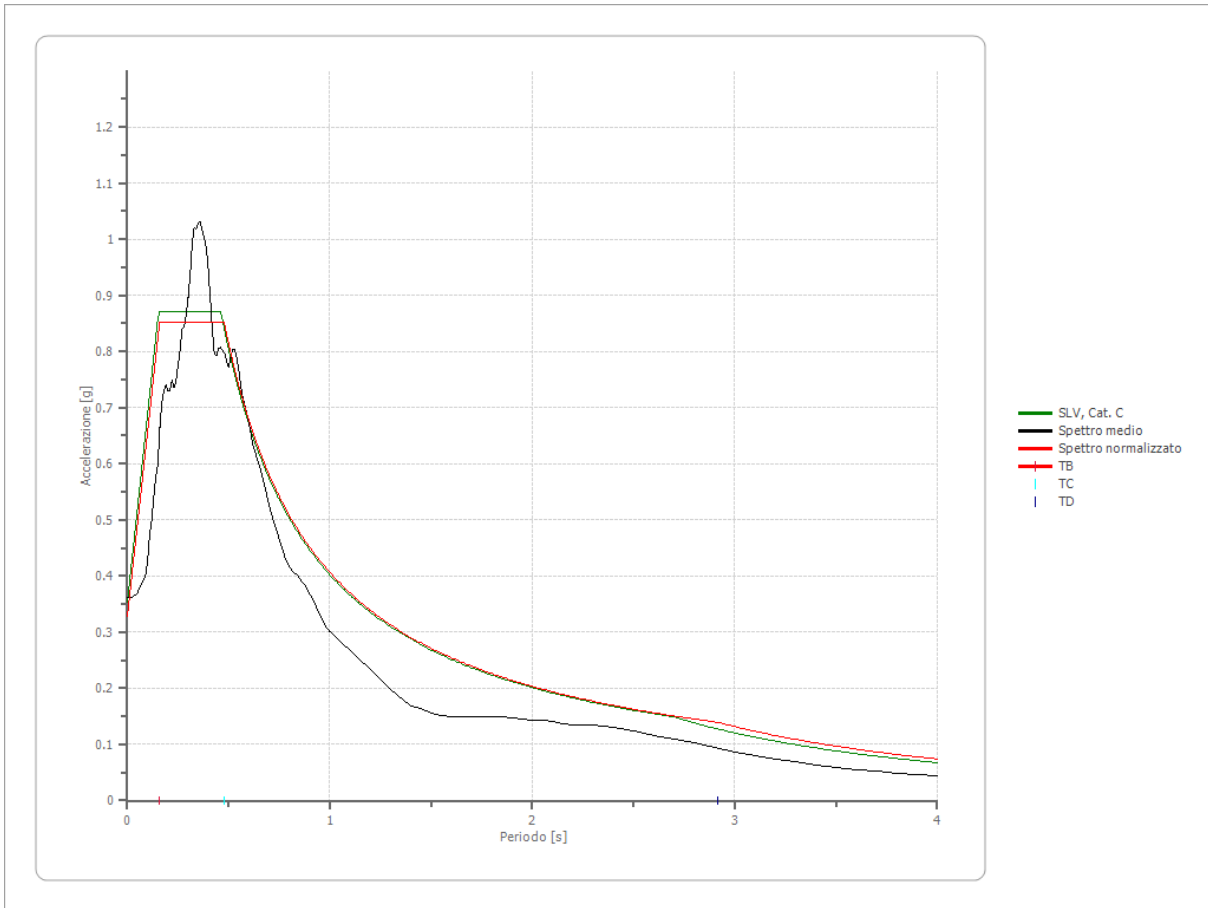
Confronto tra gli spettri



Confronto spettro normativa

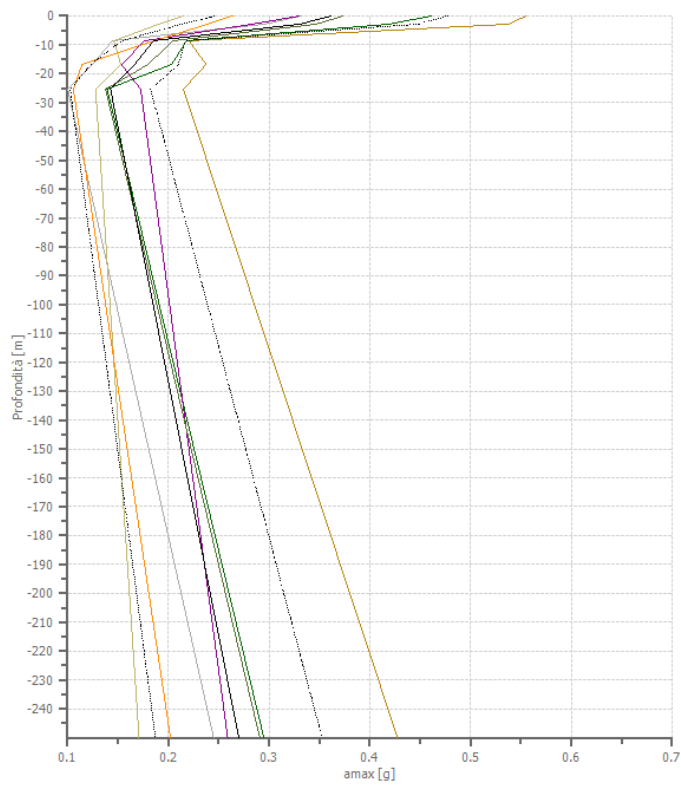
Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	120	201	1898	2475
ag [g]	0.091	0.114	0.273	0.301
Fo	2.509	2.557	2.463	2.442
Tc* [s]	0.273	0.275	0.293	0.297
Ss	1.50	1.50	1.30	1.26
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.61	1.61	1.57	1.57
TB [s]	0.147	0.147	0.154	0.155
TC [s]	0.440	0.442	0.461	0.466
TD [s]	1.964	2.056	2.692	2.804
Se(0) [g]	0.137	0.171	0.354	0.379
Se(TB) [g]	0.342	0.437	0.872	0.925



Profilo a max

	0.0 [m]	2.8 [m]	8.5 [m]	16.7 [m]	25.5 [m]	250.0 [m]
3A.MZ08..H NN.D.EMSC - 20161030_0 000029.ACC .MP [g]	0.555	0.537	0.221	0.237	0.215	0.427
E.SRC0.00. HNE.D.IT- 1976- 0030.ACC. MP [g]	0.332	0.295	0.144	0.125	0.100	0.245
IT.NRC.00. HGE.D.EMS C- 20161026_0 000077.ACC .MP [g]	0.461	0.419	0.218	0.203	0.139	0.295
IT.SAN0.00. HNE.D.IT- 2012- 0011.ACC. MP [g]	0.215	0.190	0.146	0.153	0.128	0.171
IV.T0802..H NE.D.IT- 2012- 0011.ACC. MP [g]	0.330	0.283	0.177	0.153	0.172	0.259
IV.T0802..H NN.D.IT- 2012- 0011.ACC. MP [g]	0.374	0.346	0.204	0.180	0.138	0.291
IV.T0811..H NN.D.IT- 2012- 0011.ACC. MP [g]	0.264	0.239	0.186	0.114	0.106	0.202
media [g]	0.362	0.330	0.185	0.167	0.143	0.270
Dev. St. [g]	0.116	0.117	0.032	0.044	0.040	0.083



Indice

Dati generali	.7
Terreni	.7
Idriss (1990) Sand (Seed and Idriss 1970)	.7
Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	.8
Stratigrafia	.9
Elaborazione	.10
Fattori di amplificazione ICMS 2018	.11
Fattori di amplificazione su intensità spettrale	.11
Spettro medio di risposta elastico	.11
Spettro normalizzato di risposta elastico	.12
Confronto tra gli spettri	.14
Confronto spettro normativa	.14
Profilo a max	.15
Indice	.17