

CUP: E97B15000170005 PIANO DEGLI INTERVENTI
DELL'ACQUEDOTTO PUGLIESE S.p.A.
2016 - 2019

PROGETTO DEFINITIVO
ACQUEDOTTO DEL FORTORE, LOCONO ED OFANTO - OPERE DI
INTERCONNESSIONE - II LOTTO: CONDOTTA DALL'OPERA DI
DISCONNESSIONE DI CANOSA AL SERBATOIO DI FOGGIA

Il Responsabile del Procedimento
ing. Massimo Pellegrini

PROGETTAZIONE

Progettisti

ing. Rosario ESPOSITO (Responsabile del progetto)

ing. Tommaso DI LEBBIA

ing. Michelangelo GUASTAMACCHIA

ing. M. Alessandro SALIOLA

geom. Giuseppe VALENTINO

ing. Roberto LAVOPA

Collaborazione alla progettazione

geom. Pietro SIMONE

Il Responsabile Ingegneria di Progettazione

ing. Massimo PELLEGRINI



acquedotto
pugliese
l'acqua, bene comune

Direzione Ingegneria

Il Direttore

ing. Andrea VOLPE

Elaborato

D.5.2

Relazione sulle indagini geognostiche

Parte 1

Codice Intervento P1292

Codice SAP: 21/16650

Prot. N. 45215

Data 14/07/2020

Scala: -

N. Rev.	Data	Descrizione	Disegnato	Controllato	Approvato
00	OTT. 2020	Emesso per Progetto definitivo	DISEGNATO	CONTROLLATO	APPROVATO



Apogeo s.r.l.
(capogruppo mandataria)



Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l.
(mandante)



TecnoLab della d.ssa Caterina Serino
(mandante)



Geo s.r.l. (mandante)

SOMMARIO

1	PREMESSA.....	3
2	SOPRALLUOGHI E ATTIVITÀ PRELIMINARI	6
3	INDAGINI GEOGNOSTICHE DIRETTE	8
3.1	SONDAGGI AMBIENTALI	8
3.2	SONDAGGI GEOGNOSTICI	9
4	INDAGINI GEOFISICHE INDIRETTE	11
4.1	PROSPEZIONE GEOELETRICA PROFONDA	11
4.2	PROSPEZIONE GEOELETRICA A 24 ELETTRODI	11
4.2.1	<i>Configurazioni elettrodiche.....</i>	12
4.2.2	<i>Resistività apparente</i>	12
4.2.3	<i>Strumentazione utilizzata</i>	13
4.2.4	<i>Descrizione dell'indagine geoelettrica</i>	14
4.2.5	<i>Elaborazione dei dati</i>	15
4.2.6	<i>Interpretazione dei risultati</i>	15
4.3	PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE DI SUPERFICIALE IN ONDE P	16
4.3.1	<i>Descrizione del metodo e della strumentazione</i>	16
4.3.2	<i>Acquisizione dei dati</i>	16
4.3.3	<i>Elaborazione dei dati</i>	16
4.3.4	<i>Rappresentazione dei dati</i>	16
4.3.5	<i>Interpretazione dei risultati</i>	17
4.4	PROSPEZIONE SISMICA PER LA STIMA DEL $V_{S,EQ}$	18
4.4.1	<i>Masw (Multichannel Analysis of Surface Waves) - Descrizione del metodo e della strumentazione</i>	18
4.4.2	<i>MASW- Acquisizione dei dati</i>	18
4.4.3	<i>MASW- Elaborazione dei dati</i>	18
4.4.4	<i>MASW - Rappresentazione dei risultati</i>	19
4.4.5	<i>MASW – Interpretazione dei risultati</i>	19
4.5	PROVE PENETROMETRICHE	20
4.5.1	<i>Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH</i>	20
4.5.2	<i>Penetrometri in uso in Italia</i>	20
4.5.3	<i>Correlazione con N_{spt}.....</i>	21
4.5.4	<i>Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{gp}</i>	21



Apogeo s.r.l.
(capogruppo mandataria)



Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l.
(mandante)



TecnoLab della d.ssa Caterina Serino
(mandante)



Geo s.r.l. (mandante)

4.5.5	Metodologia di elaborazione.....	21
4.5.6	Valutazioni statistiche e correlazioni.....	22
4.5.7	Pressione ammissibile.....	22
4.5.8	Correlazioni geotecniche terreni incoerenti.....	23
4.5.9	Correlazioni geotecniche terreni coesivi.....	24
4.5.10	Risultati delle prove DPSH eseguite.....	26
4.6	VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE DA PROVE SISMICHE.....	27
4.6.1	Verifica su BS01-MASW01 (2016).....	29
4.6.2	Verifica su BS02-MASW02 (2016).....	30
4.6.3	Verifica su BS02-MASW02.....	32
4.6.4	Verifica su BS06-MASW04 (2016).....	33
4.6.5	Verifica su BS08-MASW08.....	35
4.6.6	Verifica su BS09-MASW09.....	36
4.6.7	Verifica su BS10-MASW06 (2016).....	38
4.6.8	Verifica su BS12-MASW07 (2016).....	39
4.6.9	Verifica su BS13-MASW08 (2016).....	41

ALLEGATI

ELABORAZIONE DELLE INDAGINI IN ZONA 01 (PICCHETTI 1060÷ 1025)

ELABORAZIONE DELLE INDAGINI IN ZONA 02 (PICCHETTI 1015÷ 993)

ELABORAZIONE DELLE INDAGINI IN ZONA 03 (PICCHETTI 986÷ 982)

ELABORAZIONE DELLE INDAGINI IN ZONA 04 (PICCHETTI 967÷ 894)

ELABORAZIONE DELLE INDAGINI IN ZONA 05 (PICCHETTI 883÷ 852)

ELABORAZIONE DELLE INDAGINI IN ZONA 06 (PICCHETTI 844÷ 724)

ELABORAZIONE DELLE INDAGINI IN ZONA 07 (PICCHETTI 709÷ 422)

ELABORAZIONE DELLE INDAGINI IN ZONA 08 (PICCHETTI 377÷ 190)

ELABORAZIONE DELLE INDAGINI IN ZONA 09 (PICCHETTI 163÷ 127)

ELABORAZIONE DELLE INDAGINI IN ZONA 10 (PICCHETTI 105÷ 1)

ALL.A - STRATIGRAFIE DI SONDAGGIO



Apogeo s.r.l.
(capogruppo mandataria)



Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l.
(mandante)



Tecnolab della d.ssa Caterina Serino
(mandante)



Geo s.r.l. (mandante)

1 PREMESSA

Nel presente elaborato vengono riportati i risultati ottenuti dalla campagna di indagine geognostica svolta nell'ambito del "Servizio di indagini geognostiche e ambientali per l'Acquedotto del Fortore, Locone ed Ofanto – Opere di interconnessione Il Lotto Condotta dall'opera di disconnessione di Canosa di Puglia al serbatoio di Foggia – P1292", su commissione dell'Acquedotto Pugliese S.p.A.

In ottemperanza a quanto previsto in appalto sono state eseguite una serie di indagini dirette e indirette lungo tutto il tracciato di progetto e soprattutto in corrispondenza di attraversamenti (strade, ferrovie, lame, fiumi, ecc...) e in corrispondenza di opere d'arte (pozzetti di derivazione verso i serbatoi da alimentare, pozzetti di scarico e sfiato, camere di misura, sfiati, torrini...).

Vista la natura dei terreni interessati dalla realizzazione dell'opera in progetto durante l'attuazione delle indagini è stata posta particolare attenzione a:

- Determinare lo spessore dei depositi di copertura;
- Individuare, soprattutto in corrispondenza delle opere d'arte principali, la presenza di anomalie stratigrafiche con particolare riferimento a depositi terrosi sciolti;
- Valutare la composizione granulometrica dei terreni superficiali in corrispondenza delle principali lame attraversate, al fine di poter fornire informazioni utili ai successivi approfondimenti idraulici;
- Determinare la sismostratigrafia locale e calcolare il valore puntuale del $V_{s,eq}$ al fine di attribuire al sottosuolo in esame una delle categorie di suolo di fondazione contemplate dalle NTC 2018;
- Determinare le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni di fondazione in corrispondenza delle opere d'arte principali di progetto;
- Valutare la qualità ambientale dei terreni soggetti a scavo per il riutilizzo nello stesso sito o come sottoprodotto, ai sensi del D. Lgs. 152/2006 e D.P.R. 120/2017.

La campagna indagini è consistita nell'esecuzione di:

INDAGINI GEOFISICHE

- **n. 12 prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde P** per la costruzione sismostratigrafica dei terreni, per singoli profili di lunghezza complessiva 75 m e con 24 geofoni distanti 3 m;
- **n. 12 prospezioni sismiche in onde S per il calcolo dei moduli dinamici e della $V_{s,eq}$ (NTC 2018)**, eseguiti con 24 picchetti a spaziatura di 3 m, per una lunghezza complessiva di 69 m;
- **n. 24 prospezioni geoelettriche** del tipo "Dipolo Dipolo-Assiale" e "Polo-Dipolo" per la ricostruzione elettrostratigrafica di resistività, con profili di lunghezza 69 m e con 24 elettrodi;
- **n. 12 prospezioni geoelettriche con profondità di indagine fino a 100 metri**, a 96 elettrodi e secondo le configurazioni "dipolo-dipolo assiale" e "polo-dipolo".
- **N. 20 prove penetrometriche super pesanti** per la deduzione dei principali parametri geotecnici dei terreni sciolti superficiali

 Apogeo s.r.l. (capogruppo mandataria)	 Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l. (mandante)	 TecnoLab della d.ssa Caterina Serino (mandante)	 Geo s.r.l. (mandante)
--	---	---	---

INDAGINI GEOGNOSTICHE

- **n. 12 perforazioni ad andamento verticale** eseguite a rotazione a carotaggio continuo, di diametro 101 mm, fino a profondità di **15 m dal p.c.** e prelievo di n. 1 campione di terreno per ciascun sondaggio a profondità variabili;
- **n. 12 prove di permeabilità** eseguite in tutti i fori di sondaggio, per la determinazione del coefficiente di permeabilità specifico del sito;
- **installazioni di n.6 piezometri** entro i fori di sondaggio in cui è stata rinvenuta la falda o in cui sia stata accertata la presenza di una lente;
- compilazione di modulo stratigrafico per ciascun sondaggio contenente i dati di cantiere, le principali caratteristiche dei materiali attraversati e relativa documentazione fotografica;
- **prove di laboratorio per la caratterizzazione geotecnica su n. 10 campioni indisturbati di terreno** contenuti in fustella metallica sigillata ed identificata.

INDAGINI AMBIENTALI

- **n. 122 perforazioni ad andamento verticale** eseguite a rotazione a carotaggio continuo, di diametro 101 mm, fino a profondità di **5 m dal p.c.** e prelievo per ciascun sondaggio di n. 3 campioni di terreno ed un campione di acqua di falda (dove presente);
- compilazione di modulo stratigrafico per ciascun sondaggio contenente i dati di cantiere, le principali caratteristiche dei materiali attraversati e relativa documentazione fotografica;
- **analisi chimiche di laboratorio sui campioni di materiale da scavo** ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i finalizzata alla determinazione del set minimale (come da Allegato 4 del D.P.R. 120/2017);
- **test di cessione** e analisi dell'eluato su campioni di materiali di riporto e quantificazione dei materiali di origine antropica presenti all'interno del riporto ai sensi dell'All. 10 del D.P.R. 120/2017.

Si precisa inoltre che sono messe a disposizione dalla società Apogeo i risultati di un'altra campagna di indagine svolta nel 2016 per conto dell'Acquedotto Pugliese, nell'ambito del medesimo appalto come "Indagine di mercato per indagini geognostiche", con affidamento di incarico del 16/11/2016.

In tale appalto furono eseguite le seguenti indagini a carattere geofisico:

- **n. 14 prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde P;**
- **n. 8 prospezioni sismiche in onde S con metodologia MASW;**
- **n. 14 prospezioni geoelettriche del tipo "Polo-Dipolo" e "Wenner"**

Tali indagini risultano ubicate in corrispondenza dei serbatoi di Foggia e di Canosa di Puglia, a ridosso dei fiumi Cervaro, Carapelle Ofanto e del Canale Olive (corso d'acqua episodico).

Pertanto in questa specifica campagna si è ritenuto opportuno ubicare le ulteriori indagini in aree prossime alle precedenti, anche al fine di investigare nuove zone e individuare eventuali cambiamenti e/o passaggi stratigrafici locali.

Nella presente relazione vengono descritti gli strumenti e le attrezzature utilizzate in campo, le procedure e le metodologie di elaborazione ed interpretazione dei risultati ottenuti.



Apogeo s.r.l.
(capogruppo mandataria)



Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l.
(mandante)



Tecnolab della d.ssa Caterina Serino
(mandante)



Geo s.r.l. (mandante)

Data la lunghezza dell'area in esame e la complessità delle indagini effettuate, si è ritenuto opportuno suddividere l'intero tracciato (lungo circa 61 km) in n. 10 zone focalizzate nelle aree di indagine, al fine di rendere più facile la consultazione dei dati di indagine, così come segue:

ZONA	PUNTI DI RIFERIMENTO	PICCHETTI di PROGETTO
ZONA 01	Torrino di Foggia – Strada Statale n. 90	da 1060 a 1025
ZONA 02	Tratturo Castelluccio – Canale Capitanata	da 1015 a 993
ZONA 03	Canale Olive	da 986 a 982
ZONA 04	Strada Provinciale n. 105 – Strada Provinciale n. 86	da 967 a 894
ZONA 05	Fiume Carapelle	da 883 a 852
ZONA 06	Strada Provinciale n. 79 – Strada Statale n. 16 (S.P. 80)	da 844 a 724
ZONA 07	Tratturello la Ficora – Strada Provinciale n. 62	da 709 a 422
ZONA 08	Strada Statale n. 16 – Strada Provinciale n. 64	da 377 a 190
ZONA 09	Fiume Ofanto	da 163 a 127
ZONA 10	Strada Provinciale n. 3 – Serbatoio di Canosa di Puglia	da 105 a 1

 <p>Apogeo s.r.l. (capogruppo mandataria)</p>	 <p>Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l. (mandante)</p>	 <p>Tecnolab della d.ssa Caterina Serino (mandante)</p>	 <p>Geo s.r.l. (mandante)</p>
---	--	--	---

2 SOPRALLUOGHI E ATTIVITÀ PRELIMINARI

Il progetto in appalto che parte dal serbatoio di Foggia e giunge al serbatoio di Canosa di Puglia, si estende per circa 61 km, pertanto la campagna di indagini è consistita in una serie di attività preliminari e propedeutiche alla pianificazione delle successive indagini.

Inizialmente sono stati convertiti i principali elementi costituenti il progetto (tracciato, opere d'arte, attraversamenti, ecc...) in formato .kmz compatibile con il software Google Earth da utilizzare in campo su tablet Android; tale approccio ha consentito una immediata geolocalizzazione in situ sia nella fase dei sopralluoghi preliminari che durante l'esecuzione delle indagini durante l'appalto.

Sono stati studiati accuratamente gli elaborati di progetto e analizzate le indagini pregresse eseguite nelle aree in oggetto e tutto il materiale di letteratura reperibile ed utile ai fini della conoscenza del contesto locale. Così come previsto nell'offerta migliorativa in fase di gara, è stato eseguito un rilievo geologico di superficie preliminare comprensivo di un **rilievo fotografico aereo con drone Drone Phantom 4** (mediante app MAP PILOT e/o PIX4D) che ha permesso di ottenere una ortofoto georeferita ad alta risoluzione in corrispondenza dei principali attraversamenti idrici, in totale sono stati eseguiti n. 14 voli in altrettante aree. Tale rilievo è stato necessario per poter ricostruire la struttura litologica locale, a supporto delle indagini dirette e indirette eseguite in prossimità di tali aree. Per una consultazione tecnica si rimanda agli allegati grafici [G.4.6.5 – Planimetrie con rilievo di dettaglio effettuato dal drone](#).

Quindi, noti i principali elementi di rilievo dei siti di progetto, tenuto anche conto della pregressa campagna di indagine svolta nel 2016, è stato predisposto un piano di Indagini con cronoprogramma dettagliato, sottoposto all'approvazione della Stazione Appaltante, per il quale sono stati eseguiti quindi i sopralluoghi preliminari per verificare l'accessibilità dei mezzi pesanti (trivelle e rimorchi) sulle strade comunali e nei terreni privati.

Contestualmente alla fase di pianificazione si è provveduto alla pubblicazione di "richiesta accesso ad aree private per esecuzione di indagini geognostiche ed ambientali finalizzate alla progettazione di opera pubblica", mediante avviso pubblico (ai sensi dell'art.15 del DPR 8 giugno 2001 n.327 comma 2 e dell'art.13 Legge Regionale 22 febbraio 2005, n. 3), su quotidiani a tiratura nazionale ("*La Repubblica*" del 15/02/2019) e regionale ("*La Repubblica*" del 14/02/2019), sul BURP della Regione Puglia n. 21 del 21/02/2019 e sugli albi pretori dei comuni interessati nello stesso periodo per la durata di 15 giorni.

La fase successiva è consistita nella richiesta delle anagrafiche ai comuni di residenza dei proprietari delle aree interessate dalle indagini, al fine di informare gli stessi a mezzo raccomandata dei sopralluoghi congiunti e delle tempistiche di esecuzione delle stesse indagini.

Durante tutto il periodo dell'appalto i dati di indagine raccolti in situ sono stati condivisi con la stazione appaltante con incontri periodici e report sintetici a scadenza settimanale. Inoltre, si è mantenuta in continua implementazione la cartografia tematica in ambiente SIT.

Si precisa inoltre, che prima dell'esecuzione dei sondaggi sono state eseguite delle prospezioni con georadar di superficie e Radiodetector RD8100, per il rilevamento di eventuali elementi ferromagnetici e sottoservizi di varia natura, che soprattutto in prossimità dei serbatoi e delle camere di misura hanno permesso di evitare interferenze con sottoservizi nascosti, fondamentale per la corretta esecuzione delle tecniche di perforazione e campionamento.

Si precisa che non è stato necessario eseguire alcun tipo di rilievo di approfondimento mediante magnetometro, in quanto nelle aree ispezionate mediante georadar non sono emerse condizioni che facessero sospettare la presenza di eventuali manufatti tombati di interesse archeologico.

Inoltre, durante gli incontri periodi di coordinamento con la stazione appaltante è stata esclusa, di volta in volta, la necessità di eseguire rilievi magnetometrici.

A seguire si riportano alcuni scatti fotografici delle attività di ricognizione preliminare.



Rilievo con Radiodetector RD8100 su DPSH.01



Rilievo con Radiodetector RD8100 su DPSH.04



Rilievo con Radiodetector RD8100 su SG.03



Rilievo con Radiodetector RD8100 su TRS.026



Rilievo con Radiodetector RD8100 su TRS.058



Rilievo con Radiodetector RD8100 su SG.08

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE DIRETTE

Le attività di perforazione geognostica e campionamento sono state eseguite da una squadra in campo sotto la supervisione di un geologo che ha provveduto a redigere le stratigrafie, catalogare le cassette catalogatrici e acquisire la documentazione fotografica.

3.1 Sondaggi ambientali

Ai fini della caratterizzazione ambientale, ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. e del D.P.R. 120/2017, sono stati eseguiti n. 122 perforazioni ad andamento verticale eseguite a rotazione a carotaggio continuo, di diametro 101 mm, fino a profondità di 5 m dal p.c..

Per ciascun sondaggio è stato compilato apposito modulo stratigrafico contenente i dati di cantiere, le principali caratteristiche dei materiali attraversati e relativa documentazione fotografica.

Trattandosi di un'opera a rete lineare, i sondaggi sono stati eseguiti ogni 500 metri, come previsto dalle norme, e per ogni punto sono stati prelevati n. 4 campioni alle profondità:

- Campione di terra 1: da 0 a 1 m da p.c.
- Campione di terra 2: nella zona intermedia di scavo
- Campione di terra 3: nella zona di fondo scavo
- Campione di acqua di falda (dove rinvenuta entro i 5 m)

I campioni sono stati sottoposti ad analisi di caratterizzazione ambientale presso il Laboratorio Chimico TecnoLab della dott.ssa Caterina Serino, in Altamura, quindi:

- Analisi chimiche di laboratorio sui campioni di materiale da scavo ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i finalizzate alla determinazione delle principali concentrazioni di analiti e confrontati con i valori limite di concentrazione previsti dalle norme vigenti.
- Test di cessione e analisi dell'eluato su campioni di materiali di riporto secondo le metodiche di cui al D.M. 5 febbraio 1998 e s.m.i. da riferirsi ai valori limite della tabella 2 Allegato 5 al titolo V della parte quarta D.Lgs. 152/06 e s.m.i.
- Quantificazione dei materiali di origine antropica presenti all'interno del riporto ai sensi dell'All. 10 del D.P.R. 120/2017
- Analisi chimiche di laboratorio sui campioni di acqua di falda rinvenuta entro i sondaggi, ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i finalizzate alla determinazione delle principali concentrazioni di analiti e confrontati con i valori limite di concentrazione previsti dalle norme vigenti.

Si precisa che in riferimento ai parametri IPA (Idrocarburi Policiclici Aromatici) gli stessi sono risultati non presenti analiticamente dal laboratorio TecnoLab in nessun campione come da mancata rilevabilità di idrocarburi >12 in nessun campione, a conferma di assenza in situ di insediamenti che possano aver influenzato le caratteristiche del sito mediante ricaduta delle emissioni in atmosfera.

L'ubicazione dei sondaggi, le stratigrafie di dettaglio e le risultanze delle prove di laboratorio sono riportati nell'elaborato specifico [D.4.4 – Relazione sulle attività di indagine ambientale.](#)

Nella stessa relazione sono riportate le prime indicazioni circa la gestione delle terre e rocce da scavo ai sensi delle normative vigenti.

3.2 Sondaggi geognostici

La campagna geognostica è consistita nell'esecuzione di n. 12 perforazioni verticali (n. 2 in più rispetto a quelle previste in sede di gara) eseguite a rotazione a carotaggio continuo, di diametro 101 mm, spinti fino a profondità di 10 m dal p.c. e prelievo di n. 1 campione indisturbato di terreno.

Tali sondaggi sono stati eseguiti in corrispondenza dei serbatoi, dei principali attraversamenti stradali e delle lame e dei corsi d'acqua. Nella tabella seguente si riportano sinteticamente i punti di ubicazione dei sondaggi, le cui stratigrafie sono riportate in allegato alla presente relazione.

Sondaggio	Prof. campione	Attraversamento
SG01-TRS.001	10,5÷11,0 m	S.P.115 - Serbatoio Foggia
SG02-TRS.009	3,5÷4,0 m	S.S.90 – Troia
SG03-TRS.016	4,0÷4,5 m	Canale Capitanata – Foggia
SG04	5,0÷5,4 m	Canale Olive – Foggia
SG05-TRS.023	4,0÷4,5 m	Ferrovia – Foggia
SG06-TRS.024	<i>(non eseguito)</i>	S.S.655 – Fiume Cervaro - Foggia
SG07-TRS.043	<i>(non eseguito)</i>	Fiume Carapelle
SG08-TRS.055	5,0÷5,5 m	S.S.16 – Orta Nova
SG09-TRS.097	5,0÷5,5 m	S.S.16 – Cerignola
SG10-TRS.107	5,0÷5,5 m	Autostrada E55 - Cerignola
SG11-TRS.113	4,7÷5,0 m	Fiume Ofanto – San Ferdinando di Puglia
SG12-TRS.122	5,0÷5,4 m	Serbatoio di Canosa di Puglia

I campioni indisturbati sono stati sottoposti a prove di caratterizzazione fisico-meccanica presso il laboratorio geotecnico GEO s.r.l. di Modugno, i cui certificati sono riportati in allegato alla presente relazione. Dai campioni prelevati dai sondaggi SG06-TRS.024 e SG07-TRS.043 non è stato possibile eseguire le prove di laboratorio a causa dello stato troppo sciolto degli stessi.

Nello specifico sono state eseguite le seguenti prove:

- determinazione dei parametri fisici, indici di consistenza, analisi granulometrica e classificazione del materiale secondo le normative di riferimento standard;
- Prova Di Compressione Semplice Non Confinata (CNC), con carico di rottura inferiore a 10 kg/cmq, su provino avente diametro inferiore o uguale a 10 cm, compreso il calcolo e la preparazione del diagramma σ - ϵ ;
- Prova di Consolidazione Edometrica ad incrementi di carico controllati (IL) su provini aventi diametro da 40 a 100 mm, con il mantenimento di ogni gradino di carico per un intervallo di tempo minore di 2 giorni, con pressione massima compresa tra 30 e 50 kg/cmq, per un numero di 8 incrementi nella fase di carico e 4 nella fase di scarico, compresa la misura e il calcolo di almeno 5 valori del modulo edometrico, la determinazione dei coefficienti di consolidazione (cv), di permeabilità (k) e di compressibilità (a_v) e la preparazione dei diagrammi cedimento -tempo;
- Prova di Taglio Diretto tipo CD: determinazione della resistenza al taglio “di picco” tramite prova di taglio diretto, consolidata e drenata, con una velocità di prova inferiore o uguale a 2 mm/min.



Nella proposta tecnica migliorativa, attinente alle sperimentazioni geotecniche di laboratorio, come offerta in fase di gara, sono state previste le seguenti integrazioni:

- Integrazione di prove di compressione triassiale di tipo UU (non consolidata e non drenata) per la definizione del parametro meccanico coesione non drenata (Cu);
- Classificazione delle terre nel Sistema Unificato e H.R.8., AASHO H 145-49;
- Costruzione di Casagrande per la determinazione della tensione apparente di sovraconsolidazione σ_{vp}' ;
- Determinazione del coefficiente OCR;
- Determinazione dei parametri T50 e Cv dalle curve cedimenti/tempo;
- Diagramma $\Delta H/\Delta L$ nel corso di prove di taglio diretto con rilievo soprattutto alle piccole deformazioni e nelle prime otto ore quindi valore finale.

Tutti i Certificati sono stati numerati e raccolti in un unico “fascicolo” allegato alla presente relazione, per rendere più semplice ed organica la consultazione dei dati.

4 INDAGINI GEOFISICHE INDIRECTE

4.1 Prospezione geoelettrica profonda

Nell'ambito del presente appalto la società Apogeo S.r.l. (capogruppo del RTI) ha proposto in sede di offerta migliorativa l'esecuzione di n. 12 prospezioni geoelettriche a 96 elettrodi con profondità di investigazione pari a 100m, in sostituzione di n. 8 Sondaggi Elettrici Verticali S.E.V. previsti a base di gara.

Tale approccio metodologico permette di ottenere una maggiore precisione per i valori di resistività interessando aree più estese e quindi permettendo di classificare le litologie superficiali e profonde secondo diverse classi di resistività. Le ubicazioni di tali stendimenti sono state individuate in punti strategici quali attraversamenti stradali principali (strade statali e provinciali) e reti esistenti e, compatibilmente con l'accessibilità delle aree, sono state eseguite longitudinalmente al tracciato.

Le indagini geoelettriche a 96 elettrodi sono state eseguite in corrispondenza dei seguenti attraversamenti:

- ❖ ERT PC. 01 in prossimità della Strada Provinciale n. 115 (vicino serbatoio di Foggia)
- ❖ ERT PC. 02 a ridosso del Tratturo Castelluccio Dei Sauri, in agro di Foggia
- ❖ ERT PC. 03 a ridosso della ferrovia Foggia-Napoli e in prossimità della S.P. 105 e della S.S. 655
- ❖ ERT PC. 04 a ridosso della ferrovia Foggia-Candela
- ❖ ERT PC. 05 in prossimità della Strada Provinciale n. 79
- ❖ ERT PC. 06 in prossimità del sovrappasso S.P. 80 sulla Strada Statale n.16
- ❖ ERT PC. 07 in prossimità della Strada Provinciale n. 68
- ❖ ERT PC. 08 a ridosso del sovrappasso S.S. 16 sulla Strada Provinciale n.77
- ❖ ERT PC. 09 in prossimità della Strada Statale n.16
- ❖ ERT PC. 10 in prossimità dell'Autostrada A14-E55
- ❖ ERT PC. 11 a ridosso del Fiume Ofanto
- ❖ ERT PC. 12 in prossimità del serbatoio di Canosa di Puglia

Si rimanda all'allegato specifico per la consultazione delle modalità di esecuzione delle indagini e dei risultati ottenuti dall'elaborazione secondo gli array Dipolo-Dipolo e Polo-Dipolo: [D.4.3 - Relazione sulle indagini geoelettriche finalizzate alla progettazione della protezione catodica](#)

4.2 Prospezione geoelettrica a 24 elettrodi

Il metodo elettrico, in generale, consente di caratterizzare il sottosuolo attraverso la determinazione delle proprietà elettriche e ottenere informazioni per la ricostruzione del modello geostrutturale individuando anomalie stratigrafiche e tettoniche (cavità, terra rossa, faglie e fratture) o zone maggiormente conduttive per la presenza di acquiferi sotterranei. Il parametro fisico determinato per mezzo delle suddette indagini è la resistività apparente (ρ_a) che dipende dalla composizione mineralogica, dalla granulometria e dal contenuto in acqua nel terreno.

4.2.1 Configurazioni elettrodiche

Le configurazioni elettrodiche da utilizzare sono varie e dipendono dal contesto geologico in cui ricade l'area e dalla natura dei targets dell'indagine. Gli array più utilizzati sono il Dipolo-Dipolo, Polo-Dipolo, Wenner-Schlumberger e Wenner.

La configurazione del Dipolo-Dipolo assiale ha una maggiore risoluzione nel definire la distribuzione delle resistività apparenti nel sottosuolo lungo direzioni laterali, la configurazione Wenner evidenzia meglio le variazioni di resistività in un sottosuolo stratificato orizzontalmente mentre la configurazione del Polo-Dipolo consente di raggiungere profondità di investigazione maggiori.

Il metodo elettrico secondo le configurazioni Dipolo-Dipolo assiale, Polo-Dipolo, Wenner-Schlumberger e Wenner consiste nell'immettere corrente nel terreno attraverso un dipolo energizzante (AB) e di misurare la differenza di potenziale (d.d.p.) indotta nel terreno tramite un dipolo di misura (MN); in tutte le configurazioni i dati sono acquisiti variando le posizioni degli elettrodi con tutte le combinazioni al fine di creare una griglia di punti sufficientemente densa (elaborazione tomografica). Nel Polo-Dipolo gli elettrodi di trasmissione sono posti uno sull'allineamento principale e l'altro ad una distanza solitamente non inferiore a tre volte la lunghezza dello stendimento.

La geometria del metodo elettrico consente di investigare l'area dalla superficie fino ad una profondità massima nel punto centrale dello stendimento pari a circa 0.2 L, dove L è la distanza massima fra i centri dei dipoli AB ed MN.

Noti i valori di corrente immessi nel terreno tramite il dipolo AB e noti i valori di d.d.p. generati nei vari punti, si può calcolare la resistività apparente secondo la seguente formula:

$$\rho_a = K \cdot \frac{\Delta V}{I}$$

dove:

- K = fattore geometrico del dispositivo; dipende dalla geometria del dispositivo e varia al variare delle distanze fra i dipoli;
- ΔV = differenza di potenziale, misurata in millivolts, creata sul dipolo MN;
- I = intensità di corrente, misurata in milliampere, generata dal dipolo AB.

Per le indagini specifiche sono state utilizzate le configurazioni dipolari "Dipolo-Dipolo assiale" e "Wenner".

4.2.2 Resistività apparente

La resistività delle terre e delle rocce varia di diversi ordini di grandezze e dipende generalmente dal tipo di terreno, dalla porosità, dal collegamento fra i pori, dalla presenza o meno di fluidi, dalla presenza di materiale metallico nella matrice solida.

La maggior parte delle terre e rocce sono costituite da minerali silicei che generalmente hanno una bassa conducibilità elettrica. I minerali più conduttivi sono rappresentati da magnetite, ematite, carbone, grafite, pirite e pirrotite. La presenza di acqua fa generalmente abbassare i valori di resistività delle terre.

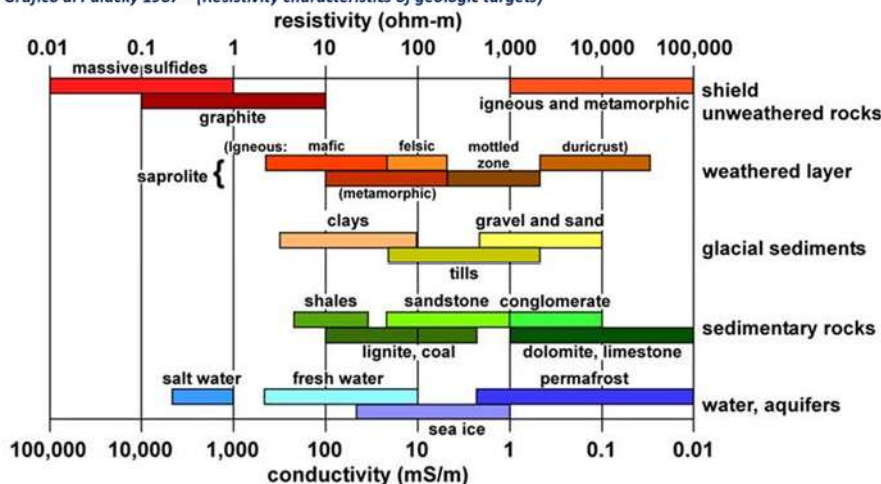
Ai fini dell'interpretazione dei risultati delle indagini geofisiche è fondamentale la conoscenza del modello geologico di partenza dell'area, del target dell'indagine e la taratura delle prospezioni geofisiche con indagini di tipo diretto.

Infatti è possibile che terreni diversi siano caratterizzati dalla stessa resistività. Inoltre i ranges di resistività delle varie formazioni sono variabili, in funzione delle condizioni locali, della porosità, del grado di saturazione, del grado di alterazione ecc. In aggiunta nelle prospezioni geoelettriche, come negli altri

metodi geofisici vale il principio di equivalenza, ovvero la possibilità che è più modelli di sottosuolo possono produrre lo stesso modello di resistività. L'acquisizione di dati 2D riduce notevolmente il problema legato a tale principio.

Nella tabella e nel grafico di Palacky, riportati di seguito, sono indicati i ranges tipici dei valori di resistività di alcuni tra i terreni costituenti il sottosuolo.

Grafico di Palacky 1987 – (Resistivity characteristics of geologic targets)



(from Palacky, 1988)

Tabella – Resistività delle rocce (da “Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo” di Carrara – Rapolla – Roberti e da “La prospezione Geofisica in campo ambientale” della Provincia di Milano).

LITOTIPO	RESISTIVITÀ (Ohm x m)
Acqua di mare	2-3
Acqua	10
Argille, marne, grasse	3-30
Argille, marne magre	10-40
Rifiuti domestici	12-30
Suolo di copertura	10-200
Argille sabbiose, silt	25-105
Fanghi industriali	40-200
Sabbie con argille	50-300
Detrito alluvionale	50-1000
Olio esausto	150-700
Tufi	150-900
Sabbia, ghiaia in falda	200-400
Arenaria	300-3000
Calcare, dolomie, gesso	500-10000
Sabbia, ghiaia asciutta	800-5000
Gneiss	400-6000
Granito	2000-10000

4.2.3 Strumentazione utilizzata

La strumentazione utilizzata è costituita da un georesistivimetro Syscal Pro Switch 96 composto da:

- n. 2 batterie per l'invio di corrente elettrica;
- un trasformatore che consente uscite di corrente variabile da 120 Volt a 800 Volt;
- un sistema automatico di registrazione dati;

- n. 24 picchetti in acciaio inox connessi mediante cavi elettrici per l'invio della corrente e la misura dei potenziali.

Il sistema SYSCAL R10 a 96 elettrodi consente di eseguire misure geoelettriche secondo tutte le metodologie conosciute ed in particolare è possibile eseguire, laddove ci sono gli spazi necessari, anche tomografie elettriche con profondità di indagine che possono raggiungere i 100 metri. Inoltre è possibile realizzare una griglia sul terreno ed eseguire acquisizioni tridimensionali.

I tempi di acquisizione per ogni singola misura di resistività possono variare da 250ms a 1000ms.



SYSCAL Pro

resistivity & IP equipment

for SOUNDING, IMAGING and MONITORING

SYSCAL Pro Switch MAIN FEATURES

- **The SYSCAL Pro Switch** is a versatile electrical resistivitymeter which combines a transmitter, a receiver and a switching unit in one single casing. It is supplied by a 12V battery.
- **The measurements** are carried out automatically (output voltage, stacking number, quality factor) after selection of limit values by the operator, and are stored in the internal memory.
- **The output specifications** are 800V (switch mode), 1 000V (manual mode) for the voltage, 2.5A for the current and 250W for the power using the internal DC/DC converter and the battery.
- **The SYSCAL Pro Switch** uses multi-core cables for controlling a set of electrodes connected in a line or in several lines. The standard number of electrodes: 24, 48, 72, 96, 120, can be increased through Switch Pro units for 2D or 3D ground images.
- **The ten channels** of the system permit to carry out up to 10 readings at the same time for a high efficiency.
- **The Induced Polarisation chargeability (IP)** is also measured through 20 windows for a detailed analysis of the decaying curves displayed on the graphic LCD screen.
- **The SYSCAL Pro Switch unit** can be operated with cables in boreholes, or cables pulled on the ground by a vehicle or on the surface of the water by a boat for continuous acquisition surveys.
- **The SYSCAL** can be used for time lapse readings (monitoring)

1D, 2D, 3D, 4D

RESISTIVITY INVESTIGATIONS

for characterizing underground structures:

- ENVIRONMENT
- CIVIL ENGINEERING
- GROUNDWATER
- ARCHAEOLOGY
- MINING EXPLORATION

TEN SIMULTANEOUS CHANNELS:

for high speed data acquisition, up to 1 000 rdgs/mn

UP TO 800 - 1 000V, 2.5A OUTPUTS:
for penetration & data quality

AUTOMATIC SWITCHING CAPABILITY:
for 24, 48, 72, 96, 120, up to 1 300 electrodes

RESISTIVITY & INDUCED POLARIZATION:
twenty IP chargeability windows

4.2.4 Descrizione dell'indagine geoelettrica

In questa campagna di indagine sono stati eseguiti **n. 24 prospezioni geoelettriche** secondo le configurazioni **“dipolo-dipolo assiale”** e **“Wenner”**.

L'ubicazione dei profili elettrici è riportata negli elaborati grafici [Planimetria con ubicazione delle indagini geologiche e ambientali \(TAV. 4.1 ÷ Tav. 4.3\)](#).

L'acquisizione ha consentito di elaborare i dati secondo una modellazione bidimensionale (profilo) dello spazio investigato, valutando quantitativamente i volumi di aree elettricamente omogenee.

I dati sono stati interpolati ed elaborati con il Software RES2DINV.

 <p>ApoGeo s.r.l. (capogruppo mandataria)</p>	 <p>Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l. (mandante)</p>	 <p>TecnoLab della d.ssa Caterina Serino (mandante)</p>	 <p>Geo s.r.l. (mandante)</p>
---	--	--	---

4.2.5 Elaborazione dei dati

I valori di resistività apparente calcolati sono stati riportati su una griglia il cui asse orizzontale indica la direzione dello stendimento e l'asse verticale indica la profondità. Fissati i valori di resistività apparente per i punti della maglia nella sezione stabilita, mediante un opportuno *countouring* si ottengono delle sezioni che consentono di dare un'interpretazione qualitativa circa la presenza di anomalie nell'ambito degli spessori di terreno investigati.

L'interpolazione e l'elaborazione dei dati acquisiti eseguita mediante il software RES2DINV ha restituito un modello meno articolato e più prossimo alla reale situazione geologica che insiste nel sottosuolo dell'area investigata si è scelto di rappresentare la struttura di resistività del sottosuolo in una pseudosezione ottenute dall'utilizzo di entrambe le configurazioni.

Quindi, ai fini della elaborazione dei dati si è proceduto nel seguente modo:

- i dati sono stati ripuliti di tutti i valori con resistività negativa e intensità di corrente inferiore a 10mA (ad esempio in caso di quadripoli distanti);
- sono stati esportati i dati relativi ad i singoli array;
- i files sono stati elaborati mediante il software RES2DINV.

Un avanzato sottoprogramma di modellizzazione è stato usato per calcolare i valori di resistività, e una tecnica di ottimizzazione non lineare dei minimi quadrati, è stata impiegata per il programma d'inversione (De Groot-Hedlin e Constable 1990, Loke e Barker 1996), sino ad ottenere la Sezione di Resistività basata sul metodo dell'inversione (Inverse Model Resistivity Section).

4.2.6 Interpretazione dei risultati

Le pseudosezioni elaborate ed esposte negli allegati specifici alla presente relazione mostrano una differenziazione delle classi di resistività secondo diverse tonalità di colore.

L'anomalia geofisica rappresenta generalmente, nella comune definizione della letteratura, una deviazione di un valore di una grandezza da un valore atteso. A questo si aggiunge che la geofisica risente del principio di equivalenza, ovvero della possibilità che modelli di sottosuolo diversi restituiscano modelli geofisici analoghi. In generale l'esperienza del geologo-geofisico consente di interpretare i dati e definire gli algoritmi di inversione più idonei, le tipologie e le quantità di indagini dirette di taratura.

In linea generale è possibile asserire che le zone più conduttive (**gradazioni del colore blu**) sono riconducibili alla presenza di inclusioni di materiale terroso o interessato da circolazione idrica o a carattere prevalentemente limoso; mentre le zone più resitive (**gradazioni del colore rosso**) sono correlabili a porzioni di deposito terroso, sabbioso ben addensato e/o sabbioso-ciottoloso, o a porzioni cementate.

Dall'analisi delle pseudosezioni ricavate dalle indagini geoelettriche è stato possibile delineare l'elettrostratigrafia dei terreni in esame, le interpretazioni sono consultabili in allegato alla presente relazione.

4.3 Prospezioni sismiche a rifrazione di superficiale in onde P

4.3.1 Descrizione del metodo e della strumentazione

L'indagine geosismica del tipo a rifrazione di superficie, come tutti i metodi d'indagine indiretta del sottosuolo, permette di investigare un certo volume di sottosuolo variabile a seconda sia della lunghezza dei profili eseguiti ma anche della natura litologica del sito. Il metodo consiste nell'inviare nel terreno un impulso sismico, tramite un'opportuna sorgente a impatto o esplosiva e nel rilevare il primo arrivo di energia, costituito da un'onda elastica diretta e da una rifratta. L'onda rifratta, emergente in superficie, è generata da interfacce rifrangenti che separano mezzi a differente velocità sismica (sismostrati), generalmente, crescente con la profondità. I primi arrivi, individuati su sismogrammi rilevati dai geofoni e registrati tramite un sismografo, sono riportati su grafici tempo-distanza (dromocrone), in seguito interpretati per ottenere informazioni sismostratigrafiche. Per il caso in esame, la strumentazione utilizzata è consistita in un sismografo a 24 canali, della "MAE" modello A6000/S con acquisizione computerizzata dei dati e in una sorgente del tipo ad impatto verticale per la generazione di onde rilevate da 24 geofoni rispettivamente di frequenza pari a 14Hz per le onde P.

4.3.2 Acquisizione dei dati

Nell'ambito del presente studio, sono state eseguite **n. 12 prospezioni sismiche a rifrazione in onde P** di lunghezza pari a 75 m per le quali sono stati effettuati cinque scoppi.

Infatti, per quanto riguarda la geometria adottata in riferimento alle basi sismiche, i 24 geofoni sono stati disposti sul terreno con una spaziatura di 3.0 m, i punti di scoppio A e B sono a 3.0 m rispettivamente dal 1° e dal 24° geofono, in posizione esterna allo stendimento geofonico, lo scoppio C è posto al centro dello stendimento stesso (fra il 12° e il 13° geofono), mentre gli altri due scoppi intermedi D ed E rispettivamente tra 6° e 7° geofono e tra il 18° e il 19° geofono, l'intero stendimento risulta pari a 75 m.

L'ubicazione dei profili sismici è riportata negli elaborati grafici [Planimetria con ubicazione delle indagini geologiche e ambientali \(G.4.6.1 ÷ G.4.6.4\)](#).

4.3.3 Elaborazione dei dati

L'elaborazione dei dati è stata eseguita secondo la procedura descritta schematicamente di seguito:

- ✓ Inserimento delle geometrie mediante il software Pickwin (distanze fra geofoni e posizioni dei punti di scoppio);
- ✓ Applicazione dei filtri "low-pass" e "high-pass" per la lettura ottimale dei primi arrivi eliminando le frequenze di disturbo;
- ✓ Picking dei primi arrivi;
- ✓ Export delle dromocrone;
- ✓ Inversione tomografica dei dati attraverso l'applicativo Plotrefa;
- ✓ Definizione del modello sismostratigrafico.

4.3.4 Rappresentazione dei dati

I dati elaborati sono stati esportati ottenendo i sismogrammi relativi ai cinque punti di scoppio, le dromocrone, la sezione tomografica e il modello sismostratigrafico.

In particolare l'elaborazione tomografica rappresenta l'andamento dei sismostrati, lungo la sezione corrispondente al profilo in superficie, ottenuta dalla elaborazione ed inversione dei dati sismici; il modello sismostratigrafico rappresenta invece l'interpretazione degli stessi sismostrati in funzione della geologia del sito, ottenuto correlando le velocità medie di ciascun sismostrato con i dati geologici noti e le loro velocità sismiche caratteristiche. Tutte le interpretazioni sono consultabili in allegato alla presente relazione.

4.3.5 Interpretazione dei risultati

Ai fini della corretta interpretazione dei risultati dell'indagine sismica è importante precisare che generalmente:

- i sismostrati non sono necessariamente associabili a litotipi ben definiti, ma sono rappresentativi di livelli con simili caratteristiche elastiche, in cui le onde sismiche si propagano con la stessa velocità;
- la risoluzione del metodo è funzione della profondità di indagine e la risoluzione diminuisce con la profondità: considerato uno strato di spessore h ubicato a profondità z dal piano campagna, in generale non è possibile individuare sismostrati in cui $h < 0.25 * z$.
- nelle indagini superficiali, le onde di taglio, meno veloci, arrivano in un tempo successivo, per cui il segnale registrato sarà la risultante delle onde S con le onde P e quindi la lettura dei tempi di arrivo delle onde S può risultare meno precisa della lettura dei tempi di arrivo delle onde P;
- i terreni esaminati possono ricoprire un ampio campo delle velocità sismiche, in relazione alla presenza di materiale di riporto, di terreno vegetale e di acqua di falda nonché ai vari gradi di stratificazione, carsificazione e di fratturazione dell'ammasso roccioso.

Di seguito sono stati riportati, in tabella, i valori di velocità delle onde sismiche di compressione tipici di ogni litotipo.

Tabella: Valori di velocità per le onde di compressione (da "Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo" di Carrara – Rapolla – Roberti, "Il manuale del geologo" di Cassadio – Elmi).

LITOTIPO	Vp (m/sec)
Areato superficiale	300-800
Argille	1100-2900
Sabbia asciutta	200-1000
Sabbie umida	600-1800
Terreni alluvionali sciolti	400-2100
Acqua	1400-1500
Calcare fratturato	700-4200
Calcare compatto	2800-6400
Calcare cristallino	5700-6400
Piroclastiti coerenti (tufo)	750-2450
Piroclastiti incoerenti (pozzolana)	350-1000
Arenaria	1400-4500
Granito, Monzonite, Granodiorite, Gabbro, Diabase, Basalto	4000-6000
Anidride	3500-5500
Gesso	1800-4000
Gneiss e scisti	3500-7500

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismostruttura del sottosuolo in corrispondenza di ogni base sismica. Le interpretazioni sono consultabili in allegato.

4.4 Prospezione sismica per la stima del $V_{S,eq}$

4.4.1 Masw (Multichannel Analysis of Surface Waves) - Descrizione del metodo e della strumentazione

Al fine di calcolare il valore di velocità delle onde di taglio (S) fino alla profondità a cui stazione il suolo molto rigido ($V_{S,eq}$) e determinare la classe di appartenenza del terreno di fondazione, secondo quanto è richiesto dalle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni DM 17/1/2018, sono stati eseguiti **n. 12 profili MASW**, ubicati rispettivamente in corrispondenza delle basi sismiche come mostrato negli elaborati grafici [Planimetria con ubicazione delle indagini geologiche e ambientali \(G.4.6.1 ÷ G.4.6.4\)](#).

La tecnica utilizzata consente una stima accurata dell'andamento delle velocità di propagazione delle onde S nel sottosuolo; ciò avviene registrando i tempi di arrivo delle onde sismiche di superficie generate artificialmente ed elaborando il segnale con un opportuno software.

A rigore, quella che è misurata è la velocità delle onde superficiali (Onde di Rayleigh), ma essa è praticamente uguale alla velocità delle Onde S (95 ÷ 97%). È così possibile definire, con un'approssimazione valutabile tra il 5% e il 15%, il profilo "VS,eq".

Per il caso in esame, la strumentazione utilizzata è consistita in 24 geofoni verticali a 4.5Hz, in un sismografo a 24 canali della "MAE" modello A6000/S con acquisizione computerizzata dei dati.

4.4.2 MASW- Acquisizione dei dati

Le fasi operative possono essere così schematizzate:

- predisposizione, degli stendimenti di lunghezza pari a 69m con una serie di 24 geofoni regolarmente spazati e in linea retta, in modo da ottenere dati da poter correlare le informazioni in almeno due punti del sottosuolo evidenziando eventuali eterogeneità dello stesso;
- osservazione del segnale che si propaga tramite onde S nel suolo per 2 secondi a seguito dell'energizzazione;
- controllo dei dati raccolti con prima elaborazione in situ del profilo, in modo da verificare la coerenza del segnale, l'effettivo raggiungimento della profondità d'investigazione richiesta ed eventualmente apportare le necessarie variazioni dei parametri d'acquisizione prima di ripetere la registrazione;
- i dati raccolti sono registrati nell'hd dell'A6000/S.

4.4.3 MASW- Elaborazione dei dati

L'analisi prevede la formattazione dei files dati, l'analisi spettrale con l'individuazione della curva di dispersione e la modellazione del profilo.

È importante rilevare che il profilo di ciascun stendimento è stato ottenuto coinvolgendo nelle misurazioni un'estesa porzione del sito da investigare, esso quindi, pur non avendo la risoluzione di un profilo ottenuto ad es. con la tecnica down-hole, è più rappresentativo a larga scala rispetto a quelli ottenibili da un rilievo puntuale. I dati sono stati interpolati ed elaborati con i Software SWAN prodotto dalla Geostudi Astier.

4.4.4 MASW - Rappresentazione dei risultati

Negli allegati di zona della presente relazione state rappresentate le elaborazioni dei dati acquisiti con il metodo MASW: i grafici ed il sismogramma medio di tutte le interazioni per ogni stendimento.

Il primo grafico, a partire dallo spettro P-F, mette in relazione le frequenze contenute nel segnale registrato con il reciproco della velocità di fase e il rapporto spettrale: permette di riconoscere l'energia delle Onde di Rayleigh e fissare i punti che rappresentano l'andamento della curva di dispersione, funzione della distribuzione della velocità negli strati del sottosuolo.

Nel grafico successivo, invece, è riportata la curva calcolata tramite l'inversione di un modello di sottosuolo, ottenuto per "aggiustamenti" successivi da un modello iniziale, cercando ovviamente di trovare la migliore corrispondenza con i punti prima individuati.

Il grafico successivo riporta il modello del sottosuolo in termini di strati con diversa velocità di propagazione delle Onde S.

4.4.5 MASW – Interpretazione dei risultati

Alla luce della recente normativa in materia di costruzione NTC 20018 è stato introdotto il calcolo di un nuovo parametro, il $V_{s,eq}$, in sostituzione del V_{s30} , ottenuto attraverso la seguente formula:

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

h_i = Spessore in metri dello strato i -esimo

$V_{s,i}$ = 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/sec

In tale espressione appare evidente come il calcolo delle velocità sismiche di taglio non si riferisce più necessariamente alla profondità di 30m, ma alla reale profondità del bedrock, ovvero, alla profondità di quella formazione rocciosa o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800m/s, pertanto la profondità del bedrock varierà di volta in volta a seconda dell'assetto geologico del sottosuolo.

Da tale stima il sottosuolo investigato viene classificato in una delle categorie definite dalle NTC 2018, così come riportate nella seguente tabella:

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , 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.
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> 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.
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , 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.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tutte le interpretazioni sono consultabili in allegato alla presente relazione.

4.5 Prove penetrometriche

4.5.1 Prove penetrometriche dinamiche continue DPSH

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari; sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica. La sonda penetrometrica permette, inoltre, di individuare con un buon grado di precisione lo spessore delle coltri dal substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette, facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Gli elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M;
- altezza libera caduta H;
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α);
- avanzamento (penetrazione) δ ;
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente):

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	Peso della massa M (kg)	Profondità max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	M <10	8
Medio	DPM (Medium)	10 < M < 40	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	40 < M < 60	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	M > 60	25

4.5.2 Penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE): massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento = 10 cm, punta conica ($\delta=60-90^\circ$), diametro D=35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;
- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE): massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento = 10 cm, punta conica ($\delta= 60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico: talora previsto;



Apogeo s.r.l.
(capogruppo mandataria)



Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l.
(mandante)



Tecnolab della d.ssa Caterina Serino
(mandante)



Geo s.r.l. (mandante)

- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE): massa battente $M = 73$ kg, altezza di caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro $D = 50.8$ mm, area base cono $A=20.27$ cm², rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA): massa battente $M=63.5$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro $D = 50.5$ mm, area base cono $A = 20$ cm², rivestimento / fango bentonitico talora previsto.

In questa campagna geognostica è stato utilizzato un penetrometro superpesante "DPSH 63-73 SM della GEO Deep Drill" avente massa battente $M=63.0$ kg, altezza caduta $H=0.75$ m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 90^\circ$), $\phi=50$ mm, area base cono $A = 20$ cm².

4.5.3 Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più efficaci e vantaggiosi economicamente per ricavare informazioni circa la natura litologica e la condizione geologica del sottosuolo, occorre correlare i risultati delle due prove, quella in foro (Standard Penetration Test) e quella eseguita a partire dalla superficie (Prova Penetrometrica Dinamica); ciò risulta possibile utilizzando la seguente equazione:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

dove

M = peso massa battente;

M' = peso aste;

H = altezza di caduta;

A = area base punta conica;

δ = passo di avanzamento.

4.5.4 Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

R_{pd} = resistenza dinamica punta (area A);

e = infissione media per colpo (δ / N);

M = peso massa battente (altezza caduta H);

P = peso totale aste e sistema battuta.

4.5.5 Metodologia di elaborazione

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Tale programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981 permettendo inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione delle prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili e alquanto attendibili ai fini della progettazione. In particolare tale metodologia consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici;
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche;
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e della resistenza alla punta.

4.5.6 Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

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

- **Media:** Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato;
- **Media minima:** valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato;
- **Massimo:** valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato;
- **Minimo:** valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato;
- **Scarto quadratico medio:** Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato;
- **Media deviata:** valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato;
- **Media scarto** (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato;
- **Distribuzione normale R.C.:** Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:
$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$
dove N_{spt} è la deviazione standard di N_{spt} ;
- **Distribuzione normale R.N.C.:** Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di N_{spt} distribuiti normalmente:
$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}}) / \sqrt{n}$$
dove n è il numero di letture.

4.5.7 Pressione ammissibile

Nel programma la pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) viene calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 m ed immersione $d = 1$ m.

4.5.8 Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Correzione N_{spt} in presenza di falda

In presenza di falda il valore N_{spt} viene corretto e quindi N_{spt} corretto = $15 + 0.5 \times (N_{spt} - 15)$

dove N_{spt} è il valore medio nello strato.

Si specifica che la correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda).

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 m; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 m. per terreni sopra falda e < 8 m. per terreni in falda (tensioni < 8-10 t/mq);
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati);
- Sowers 1961) - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 m. sopra falda e < 7 m. per terreni in falda) >5 t/mq;
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito < 38°;
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito < 38°).
- Schmertmann 1977 - Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da D_r %;
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\phi > 15$ t/mq;
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose;
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 m sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $s > 15$ t/mq;
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo < 5% a profondità < 5 mt. e con % di limo > 5% a profondità < 3 mt;
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie D_r viene sovrastimato, per limi sottostimato;
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato;
- Meyerhof (1957);
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC, metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace;
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici;
- Schultze-Menzenbach, correlazione valida per vari tipi litologici;

 <p>Apogeo s.r.l. (capogruppo mandataria)</p>	 <p>Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l. (mandante)</p>	 <p>Tecnolab della d.ssa Caterina Serino (mandante)</p>	 <p>Geo s.r.l. (mandante)</p>
---	--	--	---

- D'Appollonia ed altri (1970), correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia;
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia;
- Buisman-Sanglerat, correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa;
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati);
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Bowles 1982, Terzaghi-Peck 1948-1967. Correlazione valida per peso specifico del materiale pari a circa 2,65 t/mc e per peso di volume secco variabile da 1,33 (Nspt = 0) a 1,99 (Nspt = 95).

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I..

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss 1978-1981. Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio Vs (m/sec)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite;
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_o)

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c.

4.5.9 Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983;
- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con Nspt <8, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate;
- Terzaghi-Peck (1948). *Cu min-max*;
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensitività > 5, per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità;

 <p>Apogeo s.r.l. (capogruppo mandataria)</p>	 <p>Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l. (mandante)</p>	 <p>Tecnolab della d.ssa Caterina Serino (mandante)</p>	 <p>Geo s.r.l. (mandante)</p>
---	--	--	---

- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche " di Sanglerat;
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, (Cu-Nspt-grado di plasticità);
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per argille e limi argillosi con Nc=20 e Qc/Nspt=2;
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC;
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago). Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità;
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità;
- Shioi-Fukuni 1982, valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità;
- Begemann; De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Qc)

- Robertson 1983 Qc

Modulo Edometrico-Confinato (Mo)

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali;
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità (IP< 20), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità (IP< 20) - da esperienze su argille glaciali;
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi);
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato -Mo (Eed) (Kg/cmq) -, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto Qc/Nspt=1.5-2.0);
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte (Nspt <30) medie e molli (Nspt <4) e argille sabbiose (Nspt=6-12).

Modulo Di Young (EY)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. >15;
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977.

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Correlazione Bowles (1982), Terzaghi-Peck (1948-1967), valida per condizioni specifiche: peso specifico del materiale pari a circa G=2,70 (t/mc) e per indici dei vuoti variabili da 1,833 (Nspt=0) a 0,545 (Nspt=28).

4.5.10 Risultati delle prove DPSH eseguite

Le tre prove DPSH eseguite, hanno consentito di caratterizzare il sottosuolo fino ad una profondità massima compresa tra 1.40m e 5.0m, discretizzandolo in una serie di superfici a differente comportamento in funzione del numero di colpi misurati durante le fasi di avanzamento con un passo di 0.20m.

I valori ottenuti del numero di colpi e dell'Rpd sono rappresentati in maniera grafica negli allegati specifici di zona, in calce alla presente relazione.

Data la natura dei terreni presenti nelle zone in esame, sono stati considerati i parametri relativi a terreni in parte incoerenti ed in parte coesivi.

In particolare sono state utilizzate le seguenti correlazioni per la determinazione dei parametri geotecnici:

PARAMETRI GEOTECNICI	CORRELAZIONI
Coesione non drenata (Kg/cm^2)	<i>Terzaghi- Peck</i>
Densità relativa D_r (%)	<i>Skempton 1986</i>
Angolo di resistenza al taglio ϕ°	<i>Wolff (1989) / N160</i>
Modulo di Young E_y (Kg/cm^2)	<i>Bowles (1982)</i>
Modulo Edometrico E_{ed} (Kg/cm^2)	<i>Buisman-Sanglera</i>
Classificazione AGI	<i>Classificazione AGI</i>
Peso unità di volume γ (t/m^3)	<i>Meyerhof ed altri</i>
Peso unità di volume saturo γ_s (t/m^3)	<i>Meyerhof</i>
Modulo di Poisson σ	<i>(A.G.I.)</i>
Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm^2)	<i>Ohsaki</i>
Modulo di reazione K_0	<i>Navfac 1971-1982</i>
Resistenza alla punta Q_c (Kg/cm^2)	<i>Robertson 1983</i>

4.6 Verifica alla liquefazione da prove sismiche

La liquefazione dei terreni granulari saturi poco addensati consiste in una perdita totale o parziale di resistenza del terreno, causata dall'accumulo di sovrappressioni inerziali dovute al moto ciclico indotto dal terremoto, che si manifesta con un'eccitazione di frequenza molto elevata rispetto ai tempi necessari alla consolidazione. La suscettibilità di un terreno alla liquefazione dipende dalla tendenza alla diminuzione o aumento di volume che esso manifesta per effetto di uno sforzo di taglio ciclico oltre che dall'entità e durata dello scuotimento. I materiali potenzialmente liquefacibili sono per lo più i terreni sabbiosi puliti, sciolti, recenti, a granulometria uniforme con particelle arrotondate e poco profondi. In considerazione della tipologia dei terreni in esame, si è ritenuto opportuno valutare, in via del tutto cautelativa e preliminare, se tale fenomeno può eventualmente interessare i suoli in esame, in ragione dei parametri geologici-geotecnici e geofisici determinati.

Le condizioni di saturazione dei terreni sono un aspetto quanto mai importante nella valutazione del potenziale di liquefazione di un terreno. Durante una sollecitazione sismica, infatti, le sollecitazioni indotte nel terreno possono determinare un aumento delle pressioni interstiziali fino a eguagliare la pressione litostatica e la tensione di sconfinamento, annullando la resistenza al taglio e inducendo fenomeni di fluidificazione.

Pertanto, la suscettibilità a liquefazione è il fenomeno associato alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

La probabilità che un deposito raggiunga tali condizioni dipende:

- dal grado di addensamento;
- dalla granulometria e forma dei granuli;
- dalle condizioni di drenaggio;
- dall'andamento ciclico delle sollecitazioni sismiche e loro durata;
- dall'età del deposito;
- dalla profondità della linea di falda (prossima alla superficie).

In ogni caso, affinché in un sito possano avvenire fenomeni di liquefazione, è necessario che la scossa sismica raggiunga una certa intensità. Dall'osservazione di zone colpite da liquefazione, si è notato che questa avviene principalmente nelle seguenti circostanze:

- terremoti di magnitudo uguale o superiore a 5.5, con accelerazioni superiori o uguali a 0,2 g;
- sopra i 15 metri di profondità; oltre questa profondità non sono state osservate liquefazioni;
- profondità della falda prossima alla superficie (inferiore ai 3 m).

In accordo con quanto stabilito dal D.M. 14/01/2008, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti cinque circostanze:

1. Eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5 (è la Magnitudo Momento M_w)
2. Accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g (a_{gmax})
3. Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali (misura riferita al valore medio stagionale. Nell'EC 8, invece, si fa riferimento alle condizioni prevalenti durante il periodo di vita dell'opera);

4. Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc_{1N} > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. Distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle figure seguenti:

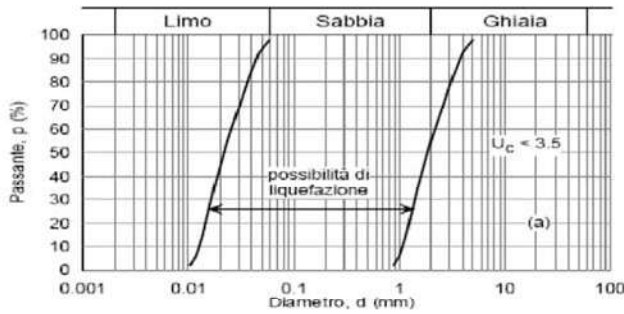


Fig. 7.11.1(a) - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

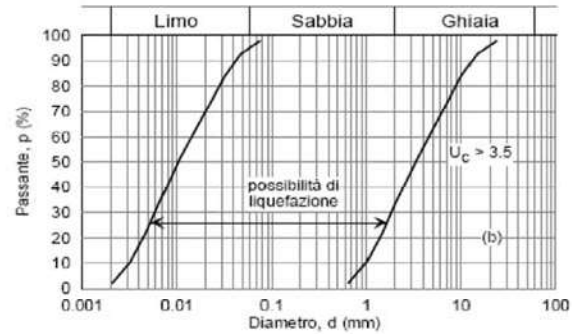


Fig. 7.11.1(b) - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

Nel caso in esame è stata applicata la metodologia di calcolo di Andrus e Stokoe (1997) per la valutazione del potenziale di liquefazione dalle prove sismiche a rifrazione.

Pertanto, il territorio in esame essendo caratterizzato da terreni sabbioso-arenacei e sabbioso-limosi e dalla probabile presenza di una falda superficiale è stato sottoposto alla verifica alla liquefazione dei terreni, considerando per ognuno dei sismostrati individuati i seguenti parametri:

- ✓ peso per unità di volume medio (γ)
- ✓ profondità della prova (z) (ossia profondità del sismostrato)
- ✓ profondità della falda
- ✓ velocità media delle onde S (V_s)
- ✓ parametro funzione della percentuale di frazione fine FC (V_{s1c})
- ✓ magnitudo momento (M)
- ✓ accelerazione orizzontale massima attesa (a_{max}/g)
- ✓ parametro funzione della profondità z (r_d)

Nel seguito sono riportati i tabulati di calcolo della verifica a liquefazione eseguita sulla scorta delle indagini MASW effettuate sia nella campagna del 2019 che nella pregressa del 2016, prendendo in esame le sole indagini in cui sia stata rilevata la presenza della falda dalle perforazioni limitrofe.

Le verifiche sono soddisfatte in quasi tutti i casi, tranne per le basi simiche BS10-MASW06 e BS13-MASW08 eseguite nel 2016 sul Fiume Ofanto e limitatamente al primo sismostrato.



ApoGeo s.r.l.
(capogruppo mandataria)



Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l.
(mandante)



Tecnolab della d.ssa Caterina Serino
(mandante)



Geo s.r.l. (mandante)

4.6.1 Verifica su BS01-MASW01 (2016)

Ubicazione: Serbatoio di Foggia				Anno: 2016		
PARAMETRI:			BS.01-MASW01 - PRIMO STRATO			
γ	=	1,6	g/cm ³			
σ_{vo}	=	0,112	kg/cm ²			
$\sigma_{v\sigma}$	=	0,112	kg/cm ²			
profondità della prova	=	70	cm			
profondità falda	=	1100	cm			
γ_{H2O}	=	1	g/cm ³			
Pressione neutra	=	0	kg/cm ²			
z	=	0,7	m			
V_s	=	150				
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%	FC>35%
V_{s1}	=	259,29		220	210	200
M	=	7,2				
MSF	=	1,14	se M<7.5			
	=	1,11	se M>7.5			
			R= Resistenza al taglio mobilitata T= Sforzo di taglio indotto dal sisma FC= Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia Vs= Velocità dell'onda di taglio S			
FORMULE:			RISULTATI:			
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		259,29	V_{s1}	
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		0,17469767	R	
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{v\sigma})) * r_d * 1/MSF$	se M<7.5	0,137759059	$T_{M<7,5}$	
			se M>7.5	0,142035299	$T_{M>7,5}$	
a_{max}/g	=	0,25				
r_d	=	0,97				
$F_s=R/T$	>	1	se M<7.5	1,268139247	Verificato Fs	
			se M>7.5	1,22995953	Verificato Fs	
PARAMETRI:			BS.01-MASW01 - SECONDO STRATO			
γ	=	1,8	g/cm ³			
σ_{vo}	=	0,72	kg/cm ²			
$\sigma_{v\sigma}$	=	0,72	kg/cm ²			
profondità della prova	=	400	cm			
profondità falda	=	1100	cm			
γ_{H2O}	=	1	g/cm ³			
Pressione neutra	=	0	kg/cm ²			
z	=	4	m			
V_s	=	300				
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%	FC>35%
V_{s1}	=	325,68		220	210	200
M	=	7,2				
MSF	=	1,14	se M<7.5			
	=	1,11	se M>7.5			
			R= Resistenza al taglio mobilitata T= Sforzo di taglio indotto dal sisma FC= Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia Vs= Velocità dell'onda di taglio S			
FORMULE:			RISULTATI:			
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		325,68	V_{s1}	
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		0,305590688	R	
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{v\sigma})) * r_d * 1/MSF$	se M<7.5	0,137759059	$T_{M<7,5}$	
			se M>7.5	0,142035299	$T_{M>7,5}$	
a_{max}/g	=	0,25				
r_d	=	0,97				
$F_s=R/T$	>	1	se M<7.5	2,218298307	Verificato Fs	
			se M>7.5	2,151512264	Verificato Fs	

PARAMETRI:			BS.01-MASW01 - TERZO STRATO		
γ	=	2	g/cm ³		
σ_{vo}	=	3,6	kg/cm ²		
$\sigma_{v'}$	=	2,9	kg/cm ²		
profondità della prova	=	1800	cm		
profondità falda	=	1100	cm		
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0,7	kg/cm ²		
z	=	18	m		
V_s	=	780			
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%
				220	210
V_{s1}	=	597,72		FC>35%	200
M	=	7,2			
MSF	=	1,14	se $M \leq 7,5$		
		1,11	se $M > 7,5$		
FORMULE:			RISULTATI:		
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		597,72	V_{s1}
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		1,065320695	R
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{v'}) * r_d * 1/MSF)$	se $M \leq 7,5$	0,171011246	$T_{M \leq 7,5}$
			se $M > 7,5$	0,176319682	$T_{M > 7,5}$
a_{max}/g	=	0,25			
r_d	=	0,97			
Fs=R/T	>	1	se $M \leq 7,5$	6,229535889	Verificato Fs
			se $M > 7,5$	6,041983993	Verificato Fs

4.6.2 Verifica su BS02-MASW02 (2016)

Ubicazione: Serbatoio di Foggia				Anno: 2016	
PARAMETRI:			BS.02-MASW02 - PRIMO STRATO		
γ	=	1,6	g/cm ³		
σ_{vo}	=	0,096	kg/cm ²		
$\sigma_{v'}$	=	0,096	kg/cm ²		
profondità della prova	=	60	cm		
profondità falda	=	1100	cm		
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0	kg/cm ²		
z	=	0,6	m		
V_s	=	140			
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%
				220	210
V_{s1}	=	251,51		FC>35%	200
M	=	7,2			
MSF	=	1,14	se $M \leq 7,5$		
		1,11	se $M > 7,5$		
FORMULE:			RISULTATI:		
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		251,51	V_{s1}
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		0,157125523	R
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{v'}) * r_d * 1/MSF)$	se $M \leq 7,5$	0,137759059	$T_{M \leq 7,5}$
			se $M > 7,5$	0,142035299	$T_{M > 7,5}$
a_{max}/g	=	0,25			
r_d	=	0,97			
Fs=R/T	>	1	se $M \leq 7,5$	1,140582139	Verificato Fs
			se $M > 7,5$	1,106242768	Verificato Fs

PARAMETRI:			BS.02-MASW02 - SECONDO STRATO		
γ	=	1,6	g/cm ³		
σ_{vo}	=	0,72	kg/cm ²		
$\sigma_{v\sigma}$	=	0,72	kg/cm ²		
profondità della prova	=	450	cm		
profondità falda	=	1100	cm		
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0	kg/cm ²		
z	=	4,5	m		
V_s	=	244			
V_{S1C}	=	220	FC<5%	FC=20%	FC>35%
			220	210	200
V_{S1}	=	264,88			
M	=	7,2			
MSF	=	1,14	se M<7,5		
		1,11	se M>7,5		
FORMULE:			RISULTATI:		
V_{S1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$	264,88	V_{S1}	
R	=	$0,03 * (V_{S1}/100)^2 + (0,9/(V_{S1C}-V_{S1})) - (0,9/V_{S1C})$	0,186349215	R	
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{v\sigma}) * r_d * 1/MSF)$	0,137759059	$T_{M \leq 7,5}$	
			0,142035299	$T_{M > 7,5}$	
a_{max}/g	=	0,25			
r_d	=	0,97			
Fs=R/T	>	1	1,352718403	Verificato Fs	
			1,311992271	Verificato Fs	

PARAMETRI:			BS.02-MASW02 - TERZO STRATO		
γ	=	2	g/cm ³		
σ_{vo}	=	3,4	kg/cm ²		
$\sigma_{v\sigma}$	=	2,8	kg/cm ²		
profondità della prova	=	1700	cm		
profondità falda	=	1100	cm		
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0,6	kg/cm ²		
z	=	17	m		
V_s	=	792			
V_{S1C}	=	220	FC<5%	FC=20%	FC>35%
			220	210	200
V_{S1}	=	612,26			
M	=	7,2			
MSF	=	1,14	se M<7,5		
		1,11	se M>7,5		
FORMULE:			RISULTATI:		
V_{S1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$	612,26	V_{S1}	
R	=	$0,03 * (V_{S1}/100)^2 + (0,9/(V_{S1C}-V_{S1})) - (0,9/V_{S1C})$	1,11820051	R	
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{v\sigma}) * r_d * 1/MSF)$	0,167278858	$T_{M \leq 7,5}$	
			0,172471435	$T_{M > 7,5}$	
a_{max}/g	=	0,25			
r_d	=	0,97			
Fs=R/T	>	1	6,684649364	Verificato Fs	
			6,483395421	Verificato Fs	

4.6.3 Verifica su BS02-MASW02

Ubicazione: Canale Capitanata – Foggia				Anno: 2019		
PARAMETRI:			BS.02-MASW02 - PRIMO SISMOSTRATO			
γ	=	1,5	g/cm ³			
σ_{vo}	=	0,3	kg/cm ²			
$\sigma_{v\sigma}$	=	0,3	kg/cm ²			
profondità della prova	=	200	cm			
profondità falda	=	470	cm			
γ_{H2O}	=	1	g/cm ³			
Pressione neutra	=	0	kg/cm ²			
z	=	2	m			
V_s	=	190				
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%	
				220	210	
V_{s1}	=	256,73		FC>35%	200	
M	=	7,2				
MSF	=	1,14	se $M \leq 7,5$			
		1,11	se $M > 7,5$			
FORMULE:			RISULTATI:			
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		256,73	V_{s1}	
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		0,169132489	R	
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{v\sigma})) * r_d * 1/MSF$	se $M \leq 7,5$	0,136338863	$T_{M \leq 7,5}$	
			se $M > 7,5$	0,140571018	$T_{M > 7,5}$	
a_{max}/g	=	0,25				
r_d	=	0,96				
Fs=R/T	>	1		se $M \leq 7,5$	1,240530286	Verificato Fs
				se $M > 7,5$	1,203181788	Verificato Fs
PARAMETRI:			BS.02-MASW02 - SECONDO SISMOSTRATO			
γ	=	1,6	g/cm ³			
σ_{vo}	=	0,96	kg/cm ²			
$\sigma_{v\sigma}$	=	0,83	kg/cm ²			
profondità della prova	=	600	cm			
profondità falda	=	470	cm			
γ_{H2O}	=	1	g/cm ³			
Pressione neutra	=	0,13	kg/cm ²			
z	=	6	m			
V_s	=	261				
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%	
				220	210	
V_{s1}	=	273,45		FC>35%	200	
M	=	7,2				
MSF	=	1,14	se $M \leq 7,5$			
		1,11	se $M > 7,5$			
FORMULE:			RISULTATI:			
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		273,45	V_{s1}	
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		0,203387082	R	
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{v\sigma})) * r_d * 1/MSF$	se $M \leq 7,5$	0,157693143	$T_{M \leq 7,5}$	
			se $M > 7,5$	0,162588165	$T_{M > 7,5}$	
a_{max}/g	=	0,25				
r_d	=	0,96				
Fs=R/T	>	1		se $M \leq 7,5$	1,289764909	Verificato Fs
				se $M > 7,5$	1,25093411	Verificato Fs

PARAMETRI:			BS.02-MASW02 - TERZO SISMOSTRATO		
γ	=	1,8	g/cm ³		
σ_{vo}	=	2,52	kg/cm ²		
$\sigma_{v'o}$	=	1,59	kg/cm ²		
profondità della prova	=	1400	cm		
profondità falda	=	470	cm		
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0,93	kg/cm ²		
z	=	14	m		
V_s	=	354			
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%
				220	210
					FC>35%
					200
V_{s1}	=	315,25			
M	=	7,2			
MSF	=	1,14	se $M \leq 7,5$		
		1,11	se $M > 7,5$		
FORMULE:			RISULTATI:		
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		315,25	V_{s1}
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		0,284606349	R
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{v'o})) * r_d * 1/MSF$			
				se $M \leq 7,5$	$T_{M \leq 7,5}$
				se $M > 7,5$	$T_{M > 7,5}$
a_{max}/g	=	0,25			
r_d	=	0,96			
Fs=R/T	>	1			
				se $M \leq 7,5$	1,317108343
				se $M > 7,5$	1,277454319
					Verificato Fs
					Verificato Fs

4.6.4 Verifica su BS06-MASW04 (2016)

Ubicazione: Fiume Cervaro – Foggia				Anno: 2016	
PARAMETRI:			BS.06-MASW04 - PRIMO SISMOSTRATO		
γ	=	1,6	g/cm ³		
σ_{vo}	=	0,16	kg/cm ²		
$\sigma_{v'o}$	=	0,16	kg/cm ²		
profondità della prova	=	100	cm		
profondità falda	=	640	cm		
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0	kg/cm ²		
z	=	1	m		
V_s	=	202			
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%
				220	210
					FC>35%
					200
V_{s1}	=	319,39			
M	=	7,2			
MSF	=	1,14	se $M \leq 7,5$		
		1,11	se $M > 7,5$		
FORMULE:			RISULTATI:		
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		319,39	V_{s1}
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		0,292883858	R
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{v'o})) * r_d * 1/MSF$			
				se $M \leq 7,5$	$T_{M \leq 7,5}$
				se $M > 7,5$	$T_{M > 7,5}$
a_{max}/g	=	0,25			
r_d	=	0,96			
Fs=R/T	>	1			
				se $M \leq 7,5$	2,148205228
				se $M > 7,5$	2,083529469
					Verificato Fs
					Verificato Fs



ApoGeo s.r.l.
(capogruppo mandataria)



Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l.
(mandante)



TecnoLab della d.ssa Caterina Serino
(mandante)



Geo s.r.l. (mandante)

PARAMETRI:			BS.06-MASW04 - SECONDO SISMOSTRATO		
γ	=	1,8	g/cm ³		
σ_{vo}	=	0,81	kg/cm ²		
$\sigma_{v\sigma}$	=	0,81	kg/cm ²		
profondità della prova	=	450	cm		
profondità falda	=	640	cm		
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0	kg/cm ²		
z	=	4,5	m		
V_s	=	367			
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5% 220	FC=20% 210
V_{s1}	=	386,85			
M	=	7,2			
MSF	=	1,14	se $M \leq 7,5$		
		1,11	se $M > 7,5$		
FORMULE:			RISULTATI:		
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		386,85	V_{s1}
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		0,439478421	R
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{v\sigma})) * r_d * 1/MSF$	se $M \leq 7,5$ se $M > 7,5$	0,136338863 0,140571018	$T_{M \leq 7,5}$ $T_{M > 7,5}$
a_{max}/g	=	0,25			
r_d	=	0,96			
Fs=R/T	>	1	se $M \leq 7,5$ se $M > 7,5$	3,223427364 3,12638002	Verificato Fs Verificato Fs

R= Resistenza al taglio mobilitata
T= Sforzo di taglio indotto dal sisma
FC= Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia
Vs= Velocità dell'onda di taglio S

PARAMETRI:			BS.06-MASW04 - TERZO SISMOSTRATO		
γ	=	2	g/cm ³		
σ_{vo}	=	3,2	kg/cm ²		
$\sigma_{v\sigma}$	=	2,24	kg/cm ²		
profondità della prova	=	1600	cm		
profondità falda	=	640	cm		
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0,96	kg/cm ²		
z	=	16	m		
V_s	=	786			
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5% 220	FC=20% 210
V_{s1}	=	642,48			
M	=	7,2			
MSF	=	1,14	se $M \leq 7,5$		
		1,11	se $M > 7,5$		
FORMULE:			RISULTATI:		
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		642,48	V_{s1}
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		1,232125766	R
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{v\sigma})) * r_d * 1/MSF$	se $M \leq 7,5$ se $M > 7,5$	0,194769804 0,20081574	$T_{M \leq 7,5}$ $T_{M > 7,5}$
a_{max}/g	=	0,25			
r_d	=	0,96			
Fs=R/T	>	1	se $M \leq 7,5$ se $M > 7,5$	6,326061537 6,135603554	Verificato Fs Verificato Fs

R= Resistenza al taglio mobilitata
T= Sforzo di taglio indotto dal sisma
FC= Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia
Vs= Velocità dell'onda di taglio S



Apogeo s.r.l.
(capogruppo mandataria)



Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l.
(mandante)



Tecnolab della d.ssa Caterina Serino
(mandante)



Geo s.r.l. (mandante)

4.6.5 Verifica su BS08-MASW08

Ubicazione: Strada Statale 16 – Cerignola (FG)						Anno: 2019									
PARAMETRI:			BS.08-MASW08 - PRIMO SISMOSTRATO												
γ	=	1,6	g/cm ³												
σ_{vo}	=	0,32	kg/cm ²												
σ'_{vo}	=	0,32	kg/cm ²												
profondità della prova	=	200	cm												
profondità falda	=	1100	cm												
γ_{H2O}	=	1	g/cm ³												
Pressione neutra	=	0	kg/cm ²												
z	=	2	m												
V_s	=	187													
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%	FC>35%									
				220	210	200									
V_{s1}	=	248,63													
M	=	7,2													
MSF	=	1,14	se M<7.5												
		1,11	se M>7.5												
			<table border="1"> <tr> <td>R=</td> <td>Resistenza al taglio mobilitata</td> </tr> <tr> <td>T=</td> <td>Sforzo di taglio indotto dal sisma</td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>Velocità dell'onda di taglio S</td> </tr> </table>					R=	Resistenza al taglio mobilitata	T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma	FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia	Vs=	Velocità dell'onda di taglio S
R=	Resistenza al taglio mobilitata														
T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma														
FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia														
Vs=	Velocità dell'onda di taglio S														
FORMULE:			RISULTATI:												
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		248,63		V_{s1}									
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		0,149925027		R									
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})) * r_d * 1/MSF$	se M<7.5	0,137759059		$T_{M<7,5}$									
			se M>7.5	0,142035299		$T_{M>7,5}$									
a_{max}/g	=	0,25													
r_d	=	0,97													
$F_s=R/T$	>	1		se M<7.5	1,088313379	Verificato F_s									
				se M>7.5	1,055547658	Verificato F_s									
PARAMETRI:			BS.08-MASW08 - SECONDO SISMOSTRATO												
γ	=	1,8	g/cm ³												
σ_{vo}	=	1,62	kg/cm ²												
σ'_{vo}	=	1,62	kg/cm ²												
profondità della prova	=	900	cm												
profondità falda	=	1100	cm												
γ_{H2O}	=	1	g/cm ³												
Pressione neutra	=	0	kg/cm ²												
z	=	9	m												
V_s	=	330													
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%	FC>35%									
				220	210	200									
V_{s1}	=	292,51													
M	=	7,2													
MSF	=	1,14	se M<7.5												
		1,11	se M>7.5												
			<table border="1"> <tr> <td>R=</td> <td>Resistenza al taglio mobilitata</td> </tr> <tr> <td>T=</td> <td>Sforzo di taglio indotto dal sisma</td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>Velocità dell'onda di taglio S</td> </tr> </table>					R=	Resistenza al taglio mobilitata	T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma	FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia	Vs=	Velocità dell'onda di taglio S
R=	Resistenza al taglio mobilitata														
T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma														
FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia														
Vs=	Velocità dell'onda di taglio S														
FORMULE:			RISULTATI:												
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		292,51		V_{s1}									
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		0,240176134		R									
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})) * r_d * 1/MSF$	se M<7.5	0,137759059		$T_{M<7,5}$									
			se M>7.5	0,142035299		$T_{M>7,5}$									
a_{max}/g	=	0,25													
r_d	=	0,97													
$F_s=R/T$	>	1		se M<7.5	1,743450738	Verificato F_s									
				se M>7.5	1,690960874	Verificato F_s									

PARAMETRI:			BS.08-MASW08 - TERZO SISMOSTRATO		
γ	=	2	g/cm ³		
σ_{vo}	=	3,4	kg/cm ²		
$\sigma_{v'o}$	=	2,8	kg/cm ²		
profondità della prova	=	1700	cm		
profondità falda	=	1100	cm		
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0,6	kg/cm ²		
z	=	17	m		
V_s	=	416			
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%
				220	210
V_{s1}	=	321,59		FC>35%	200
M	=	7,2			
MSF	=	1,14	se $M \leq 7,5$		
		1,11	se $M > 7,5$		
FORMULE:			RISULTATI:		
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		321,59	V_{s1}
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		0,297312258	R
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{v'o})) * r_d * 1/MSF$	se $M \leq 7,5$	0,167278858	$T_{M \leq 7,5}$
			se $M > 7,5$	0,172471435	$T_{M > 7,5}$
a_{max}/g	=	0,25			
r_d	=	0,97			
Fs=R/T	>	1	se $M \leq 7,5$	1,777345097	Verificato Fs
			se $M > 7,5$	1,723834779	Verificato Fs

4.6.6 Verifica su BS09-MASW09

Ubicazione: Autostrada E55 – Cerignola (FG)				Anno: 2019	
PARAMETRI:			BS.09-MASW09 - PRIMO SISMOSTRATO		
γ	=	1,5	g/cm ³		
σ_{vo}	=	0,3	kg/cm ²		
$\sigma_{v'o}$	=	0,3	kg/cm ²		
profondità della prova	=	200	cm		
profondità falda	=	440	cm		
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0	kg/cm ²		
z	=	2	m		
V_s	=	185			
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%
				220	210
V_{s1}	=	249,97		FC>35%	200
M	=	7,2			
MSF	=	1,14	se $M \leq 7,5$		
		1,11	se $M > 7,5$		
FORMULE:			RISULTATI:		
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		249,97	V_{s1}
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		0,153339139	R
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{v'o})) * r_d * 1/MSF$	se $M \leq 7,5$	0,136338863	$T_{M \leq 7,5}$
			se $M > 7,5$	0,140571018	$T_{M > 7,5}$
a_{max}/g	=	0,25			
r_d	=	0,96			
Fs=R/T	>	1	se $M \leq 7,5$	1,124691343	Verificato Fs
			se $M > 7,5$	1,090830394	Verificato Fs



ApoGeo s.r.l.
(capogruppo mandataria)



Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l.
(mandante)



TecnoLab della d.ssa Caterina Serino
(mandante)



Geo s.r.l. (mandante)

PARAMETRI:			BS.09-MASW09 - SECONDO SISMOSTRATO										
γ	=	1,6 g/cm ³	<table border="1"> <tr> <td>R=</td> <td>Resistenza al taglio mobilitata</td> </tr> <tr> <td>T=</td> <td>Sforzo di taglio indotto dal sisma</td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>Velocità dell'onda di taglio S</td> </tr> </table>			R=	Resistenza al taglio mobilitata	T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma	FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia	Vs=	Velocità dell'onda di taglio S
R=	Resistenza al taglio mobilitata												
T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma												
FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia												
Vs=	Velocità dell'onda di taglio S												
σ_{vo}	=	1,12 kg/cm ²											
$\sigma_{v\sigma}$	=	0,86 kg/cm ²											
profondità della prova	=	700 cm											
profondità falda	=	440 cm											
γ_{H_2O}	=	1 g/cm ³											
Pressione neutra	=	0,26 kg/cm ²											
z	=	7 m											
V _S	=	308											
V _{S1C}	=	220 m/s	FC<5%	FC=20%	FC>35%								
			220	210	200								
V _{S1}	=	319,84											
M	=	7,2											
MSF	=	1,14 se M<7,5 1,11 se M>7,5											
FORMULE:			RISULTATI:										
V _{S1}	=	$V_S(1/\sigma_{vo})^{0,25}$	319,84	V _{S1}									
R	=	$0,03 * (V_{S1}/100)^2 + (0,9/(V_{S1C}-V_{S1})) - (0,9/V_{S1C})$	0,29377767	R									
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{v\sigma}) * r_d * 1/MSF)$	se M<7,5 = 0,177557589 se M>7,5 = 0,183069232	T _{M<7,5} T _{M>7,5}									
a _{max} /g	=	0,25											
r _d	=	0,96											
Fs=R/T	>	1	se M<7,5 = 1,654548656 se M>7,5 = 1,604735357	Verificato Fs Verificato Fs									

PARAMETRI:			BS.09-MASW09 - TERZO SISMOSTRATO										
γ	=	1,8 g/cm ³	<table border="1"> <tr> <td>R=</td> <td>Resistenza al taglio mobilitata</td> </tr> <tr> <td>T=</td> <td>Sforzo di taglio indotto dal sisma</td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>Velocità dell'onda di taglio S</td> </tr> </table>			R=	Resistenza al taglio mobilitata	T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma	FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia	Vs=	Velocità dell'onda di taglio S
R=	Resistenza al taglio mobilitata												
T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma												
FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia												
Vs=	Velocità dell'onda di taglio S												
σ_{vo}	=	3,24 kg/cm ²											
$\sigma_{v\sigma}$	=	1,88 kg/cm ²											
profondità della prova	=	1800 cm											
profondità falda	=	440 cm											
γ_{H_2O}	=	1 g/cm ³											
Pressione neutra	=	1,36 kg/cm ²											
z	=	18 m											
V _S	=	460											
V _{S1C}	=	220 m/s	FC<5%	FC=20%	FC>35%								
			220	210	200								
V _{S1}	=	392,84											
M	=	7,2											
MSF	=	1,14 se M<7,5 1,11 se M>7,5											
FORMULE:			RISULTATI:										
V _{S1}	=	$V_S(1/\sigma_{vo})^{0,25}$	392,84	V _{S1}									
R	=	$0,03 * (V_{S1}/100)^2 + (0,9/(V_{S1C}-V_{S1})) - (0,9/V_{S1C})$	0,453677519	R									
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma_{v\sigma}) * r_d * 1/MSF)$	se M<7,5 = 0,234966976 se M>7,5 = 0,24226069	T _{M<7,5} T _{M>7,5}									
a _{max} /g	=	0,25											
r _d	=	0,96											
Fs=R/T	>	1	se M<7,5 = 1,930813962 se M>7,5 = 1,872683176	Verificato Fs Verificato Fs									

4.6.7 Verifica su BS10-MASW06 (2016)

Ubicazione: Fiume Ofanto – Foggia				Anno: 2016	
PARAMETRI:			BS.10-MASW06 - PRIMO SISMOSTRATO		
γ	=	1,4	g/cm ³		
σ_{vo}	=	0,112	kg/cm ²		
σ'_{vo}	=	0,112	kg/cm ²		
profondità della prova	=	80	cm		
profondità falda	=	200	cm		
γ_{H2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0	kg/cm ²		
z	=	0,8	m		
V_s	=	130			
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%
				220	210
V_{s1}	=	224,72		FC>35%	200
M	=	7,1			
MSF	=	1,20	se $M \leq 7,5$		
		1,15	se $M > 7,5$		
			R= Resistenza al taglio mobilitata T= Sforzo di taglio indotto dal sisma FC= Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia Vs= Velocità dell'onda di taglio S		
FORMULE:			RISULTATI:		
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		224,72	V_{s1}
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		-0,04333386	R
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})) * r_d * 1/MSF$	se $M \leq 7,5$	0,130189206	$T_{M \leq 7,5}$
			se $M > 7,5$	0,135626942	$T_{M > 7,5}$
a_{max}/g	=	0,25			
r_d	=	0,96			
Fs=R/T	>	1	se $M \leq 7,5$	-0,33285294	Liquefacibile
			se $M > 7,5$	-0,319507757	Liquefacibile
PARAMETRI:			BS.10-MASW06 - SECONDO SISMOSTRATO		
γ	=	1,6	g/cm ³		
σ_{vo}	=	0,64	kg/cm ²		
σ'_{vo}	=	0,44	kg/cm ²		
profondità della prova	=	400	cm		
profondità falda	=	200	cm		
γ_{H2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0,2	kg/cm ²		
z	=	4	m		
V_s	=	247			
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%
				220	210
V_{s1}	=	303,27		FC>35%	200
M	=	7,1			
MSF	=	1,20	se $M \leq 7,5$		
		1,15	se $M > 7,5$		
			R= Resistenza al taglio mobilitata T= Sforzo di taglio indotto dal sisma FC= Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia Vs= Velocità dell'onda di taglio S		
FORMULE:			RISULTATI:		
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		303,27	V_{s1}
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		0,261024854	R
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})) * r_d * 1/MSF$	se $M \leq 7,5$	0,189366119	$T_{M \leq 7,5}$
			se $M > 7,5$	0,197275553	$T_{M > 7,5}$
a_{max}/g	=	0,25			
r_d	=	0,96			
Fs=R/T	>	1	se $M \leq 7,5$	1,378413709	Verificato Fs
			se $M > 7,5$	1,323148511	Verificato Fs



ApoGeo s.r.l.
(capogruppo mandataria)



Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l.
(mandante)



Tecnolab della d.ssa Caterina Serino
(mandante)



Geo s.r.l. (mandante)

PARAMETRI:			BS.10-MASW06 - TERZO SISMOSTRATO			
γ	=	2	g/cm ³			
σ_{vo}	=	2,8	kg/cm ²			
$\sigma_{v\sigma}$	=	1,6	kg/cm ²			
profondità della prova	=	1400	cm			
profondità falda	=	200	cm			
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³			
Pressione neutra	=	1,2	kg/cm ²			
z	=	14	m			
V_s	=	798				
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%	
				220	210	
					FC>35%	
					200	
V_{s1}	=	709,53				
M	=	7,1				
MSF	=	1,20	se $M \leq 7,5$			
		1,15	se $M > 7,5$			
FORMULE:			RISULTATI:			
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		709,53	V_{s1}	
R	=	$0,03^* (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		1,504383903	R	
T	=	$0,65^*((a_{max}/g)^*(\sigma_{vo}/\sigma_{v\sigma}))^*r_d^*1/MSF$	se $M \leq 7,5$	0,227831111	$T_{M \leq 7,5}$	
			se $M > 7,5$	0,237347149	$T_{M > 7,5}$	
a_{max}/g	=	0,25				
r_d	=	0,96				
Fs=R/T	>	1		se $M \leq 7,5$	6,603066167	Verificato Fs
				se $M > 7,5$	6,338327248	Verificato Fs

4.6.8 Verifica su BS12-MASW07 (2016)

Ubicazione: Fiume Ofanto – Foggia				Anno: 2016		
PARAMETRI:			BS.12-MASW07 - PRIMO SISMOSTRATO			
γ	=	1,4	g/cm ³			
σ_{vo}	=	0,168	kg/cm ²			
$\sigma_{v\sigma}$	=	0,168	kg/cm ²			
profondità della prova	=	120	cm			
profondità falda	=	200	cm			
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³			
Pressione neutra	=	0	kg/cm ²			
z	=	1,2	m			
V_s	=	170				
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%	
				220	210	
					FC>35%	
					200	
V_{s1}	=	265,53				
M	=	7,1				
MSF	=	1,20	se $M \leq 7,5$			
		1,15	se $M > 7,5$			
FORMULE:			RISULTATI:			
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		265,53	V_{s1}	
R	=	$0,03^* (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		0,18767037	R	
T	=	$0,65^*((a_{max}/g)^*(\sigma_{vo}/\sigma_{v\sigma}))^*r_d^*1/MSF$	se $M \leq 7,5$	0,130189206	$T_{M \leq 7,5}$	
			se $M > 7,5$	0,135626942	$T_{M > 7,5}$	
a_{max}/g	=	0,25				
r_d	=	0,96				
Fs=R/T	>	1		se $M \leq 7,5$	1,441520193	Verificato Fs
				se $M > 7,5$	1,383724846	Verificato Fs



ApoGeo s.r.l.
(capogruppo mandataria)



Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l.
(mandante)



TecnoLab della d.ssa Caterina Serino
(mandante)



Geo s.r.l. (mandante)

PARAMETRI:			BS.12-MASW07 - SECONDO SISMOSTRATO			
γ	=	1,7	g/cm ³			
σ_{vo}	=	0,85	kg/cm ²			
$\sigma_{v\sigma}$	=	0,55	kg/cm ²			
profondità della prova	=	500	cm			
profondità falda	=	200	cm			
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³			
Pressione neutra	=	0,3	kg/cm ²			
z	=	5	m			
V_s	=	403				
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%	
				220	210	
					FC>35%	
					200	
V_{s1}	=	467,97				
M	=	7,1				
MSF	=	1,20	se M<7,5			
		1,15	se M>7,5			
FORMULE:			RISULTATI:			
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		467,97	V_{s1}	
R	=	$0,03^* (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		0,649256315	R	
T	=	$0,65^* ((a_{max}/g)^*(\sigma_{vo}/\sigma_{v\sigma}))^* r_d^* 1/MSF$	se M<7,5	0,201201501	$T_{M<7,5}$	
			se M>7,5	0,209605275	$T_{M>7,5}$	
a_{max}/g	=	0,25				
r_d	=	0,96				
Fs=R/T	>	1		se M<7,5	3,226895982	Verificato Fs
				se M>7,5	3,097518973	Verificato Fs

R= Resistenza al taglio mobilitata
T= Sforzo di taglio indotto dal sisma
FC= Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia
Vs= Velocità dell'onda di taglio S

PARAMETRI:			BS.12-MASW07 - TERZO SISMOSTRATO			
γ	=	2	g/cm ³			
σ_{vo}	=	3,6	kg/cm ²			
$\sigma_{v\sigma}$	=	2	kg/cm ²			
profondità della prova	=	1800	cm			
profondità falda	=	200	cm			
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³			
Pressione neutra	=	1,6	kg/cm ²			
z	=	18	m			
V_s	=	788				
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%	
				220	210	
					FC>35%	
					200	
V_{s1}	=	662,63				
M	=	7,1				
MSF	=	1,20	se M<7,5			
		1,15	se M>7,5			
FORMULE:			RISULTATI:			
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0,25}$		662,63	V_{s1}	
R	=	$0,03^* (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		1,311096913	R	
T	=	$0,65^* ((a_{max}/g)^*(\sigma_{vo}/\sigma_{v\sigma}))^* r_d^* 1/MSF$	se M<7,5	0,234340572	$T_{M<7,5}$	
			se M>7,5	0,244128496	$T_{M>7,5}$	
a_{max}/g	=	0,25				
r_d	=	0,96				
Fs=R/T	>	1		se M<7,5	5,594835343	Verificato Fs
				se M>7,5	5,370519757	Verificato Fs

R= Resistenza al taglio mobilitata
T= Sforzo di taglio indotto dal sisma
FC= Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia
Vs= Velocità dell'onda di taglio S



ApoGeo s.r.l.
(capogruppo mandataria)



Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l.
(mandante)



Tecnolab della d.ssa Caterina Serino
(mandante)



Geo s.r.l. (mandante)

4.6.9 Verifica su BS13-MASW08 (2016)

Ubicazione: Fiume Ofanto – Foggia						Anno: 2016									
PARAMETRI:			BS.13-MASW08 - PRIMO SISMOSTRATO												
γ	=	1,4	g/cm ³												
σ_{vo}	=	0,14	kg/cm ²												
σ'_{vo}	=	0,14	kg/cm ²												
profondità della prova	=	100	cm												
profondità falda	=	200	cm												
γ_{H2O}	=	1	g/cm ³												
Pressione neutra	=	0	kg/cm ²												
z	=	1	m												
V_s	=	139													
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%	FC>35%									
V_{s1}	=	227,24		220	210	200									
M	=	7,1													
MSF	=	1,20	se M<7.5												
		1,15	se M>7.5												
			<table border="1"> <tr> <td>R=</td> <td>Resistenza al taglio mobilitata</td> </tr> <tr> <td>T=</td> <td>Sforzo di taglio indotto dal sisma</td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>Velocità dell'onda di taglio S</td> </tr> </table>					R=	Resistenza al taglio mobilitata	T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma	FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia	Vs=	Velocità dell'onda di taglio S
R=	Resistenza al taglio mobilitata														
T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma														
FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia														
Vs=	Velocità dell'onda di taglio S														
FORMULE:			RISULTATI:												
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0.25}$				227,24	V_{s1}								
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$				0,026494458	R								
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})) * r_d * 1/MSF$		se M<7.5	=	0,130189206	$T_{M<7,5}$								
				se M>7.5	=	0,135626942	$T_{M>7,5}$								
a_{max}/g	=	0,25													
r_d	=	0,96													
$F_s=R/T$	>	1		se M<7.5	=	0,203507334	Liquefacibile								
				se M>7.5	=	0,195348047	Liquefacibile								
PARAMETRI:			BS.13-MASW08 - SECONDO SISMOSTRATO												
γ	=	1,8	g/cm ³												
σ_{vo}	=	0,72	kg/cm ²												
σ'_{vo}	=	0,52	kg/cm ²												
profondità della prova	=	400	cm												
profondità falda	=	200	cm												
γ_{H2O}	=	1	g/cm ³												
Pressione neutra	=	0,2	kg/cm ²												
z	=	4	m												
V_s	=	459													
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%	FC>35%									
V_{s1}	=	540,52		220	210	200									
M	=	7,1													
MSF	=	1,20	se M<7.5												
		1,15	se M>7.5												
			<table border="1"> <tr> <td>R=</td> <td>Resistenza al taglio mobilitata</td> </tr> <tr> <td>T=</td> <td>Sforzo di taglio indotto dal sisma</td> </tr> <tr> <td>FC=</td> <td>Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia</td> </tr> <tr> <td>Vs=</td> <td>Velocità dell'onda di taglio S</td> </tr> </table>					R=	Resistenza al taglio mobilitata	T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma	FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia	Vs=	Velocità dell'onda di taglio S
R=	Resistenza al taglio mobilitata														
T=	Sforzo di taglio indotto dal sisma														
FC=	Frazione di fine (%) contenuto nella sabbia														
Vs=	Velocità dell'onda di taglio S														
FORMULE:			RISULTATI:												
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0.25}$				540,52	V_{s1}								
R	=	$0,03 * (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$				0,869587095	R								
T	=	$0,65 * ((a_{max}/g) * (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo})) * r_d * 1/MSF$		se M<7.5	=	0,180261978	$T_{M<7,5}$								
				se M>7.5	=	0,187791151	$T_{M>7,5}$								
a_{max}/g	=	0,25													
r_d	=	0,96													
$F_s=R/T$	>	1		se M<7.5	=	4,824018374	Verificato Fs								
				se M>7.5	=	4,630607407	Verificato Fs								



Apogeo s.r.l.
(capogruppo mandataria)



Fiumano Toma Trivellazioni s.r.l.
(mandante)



Tecnolab della d.ssa Caterina Serino
(mandante)



Geo s.r.l. (mandante)

PARAMETRI:			BS.13-MASW08 - TERZO SISMOSTRATO		
γ	=	2	g/cm ³		
σ_{vo}	=	3,2	kg/cm ²		
σ'_{vo}	=	1,8	kg/cm ²		
profondità della prova	=	1600	cm		
profondità falda	=	200	cm		
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	1,4	kg/cm ²		
z	=	16	m		
V_s	=	783			
V_{s1c}	=	220	m/s	FC<5%	FC=20%
				220	210
					200
V_{s1}	=	676,00			
M	=	7,1			
MSF	=	1,20	se M≤7.5		
		1,15	se M>7.5		
FORMULE:			RISULTATI:		
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0.25}$		676,00	V_{s1}
R	=	$0,03*(V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1c}-V_{s1})) - (0,9/V_{s1c})$		1,364844066	R
T	=	$0,65*((a_{max}/g)*(\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}))^*r_d*1/MSF$	se M≤7.5	0,231447478	$T_{M\leq 7,5}$
			se M>7.5	0,241114564	$T_{M> 7,5}$
a_{max}/g	=	0,25			
r_d	=	0,96			
Fs=R/T	>	1		se M≤7.5	5,896992601
				se M>7.5	5,660562523
					Verificato Fs
					Verificato Fs