



COMUNE DI CASTELLANETA

PROVINCIA DI TARANTO

REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA

COMMITTENTE :

AMMINISTRAZIONE COMUNALE CASTELLANETA (TA)

PROGETTO DEFINITIVO :

Arch. Aldo Caforio - Ufficio Tecnico Comunale - Servizio LL.PP.

RESPONSABILE UNICO DEL PROCEDIMENTO

Arch. Pantaleo De Finis

PROGETTISTI :

SYLOS LABINI INGEGNERI E ARCHITETTI ASSOCIATI s.r.l.
CAPOGRUPPO MANDATARIA - PROGETTO ARCHITETTONICO

Ing. Domingo Sylos Labini - Direttore Tecnico

Arch. Angelica Sylos Labini



SYLOS LABINI
INGEGNERI E ARCHITETTI ASSOCIATI

Via Marchese di Montrone n.47-70122 BARI
Tel. 080/5210921 - Fax 080/5212133
Via Raimondo da Capua n.12-00153 ROMA
Tel. 06/5754781 - Fax 06/5755721
P.IVA 03219390725
progettazioni@syloslabiniassociati.it
www.syloslabiniassociati.com

ITALPROGETTI s.r.l.

MANDANTE - PROGETTO STRUTTURE, IMPIANTI E PSC

Prof.Ing. Claudio De Stefano - Direttore Tecnico



ITALPROGETTI
SERVIZI TECNICI INTEGRATI

Viale Unità d'Italia n. 13/A - 70125 BARI
Tel. 080/5968308 - Fax 080/5968316
P.IVA 04304430723
ingegneria@italprogetti.bari.it
www.italprogetti.bari.it

PROGETTO ESECUTIVO

ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA

TAVOLA N.

RG

EMISSIONE : Maggio 2017

SCALA : A4

AGG. :

COMUNE DI CASTELLANETA

(PROVINCIA DI TARANTO)



**REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA
SICUREZZA:
CASERMA COMPAGNIA CARABINIERI,
CASERMA DELLA GUARDIA DI FINANZA**

RELAZIONE GEOLOGICA

COMMITTENTE: **COMUNE DI CASTELLANETA**

IL GEOLOGO

DOTT. DONATO PERNIOLA

Sommario

1. PREMESSA	pag. 2
2. GEOLOGIA DELL'AREA	" 4
2.1. Calcare di Altamura	" 7
2.2. Calcareenite di Gravina	" 8
2.3. Argille Subappennine	" 10
2.4. Depositi marini terrazzati	" 11
3. GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGI	" 12
4. PIANIFICAZIONE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI	" 15
4.1. Perforazioni di sondaggio	" 17
4.2. Tomografie elettriche	" 18
4.3. Indagine sismica a rifrazione	" 19
4.4. Prospezione attiva con metodologia MASW	" 20
4.5. Misure HVSr in campo libero	" 22
5. IL TERRENO DI FONDAZIONE	" 23
5.1. Caratteri geotecnici del terreno di fondazione	" 23
6. AZIONE SISMICA LOCALE	" 26
7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	" 29
8. BIBLIOGRAFIA	" 31

1. PREMESSA

Con la presente relazione si illustrano i risultati di uno studio geologico condotto su di un'area sita nel territorio urbano di Castellaneta (TA), interessata dal progetto di "Realizzazione della cittadella della sicurezza: caserma Compagnia Carabinieri, caserma della Guardia di Finanza". Tale area sita in via Sandro Pertini è ubicata nella parte Ovest dell'abitato di Castellaneta (TA).

Lo studio in oggetto è stato commissionato allo scrivente, Dott. Geol. Donato PERNIOLA, iscritto all'albo Regionale dei Geologi della Puglia al n. 565, dal Comune di Castellaneta (TA) con Determina Dirigenziale n. 7 del 21 gennaio 2016.

Lo studio ha avuto lo scopo di caratterizzare l'intera area, dal punto di vista geologico, geomorfologico e idrogeologico.

Per la definizione del modello geologico del sito, lo studio è stato condotto, in via preliminare, effettuando alcuni sopralluoghi in loco e nelle aree limitrofe; successivamente è stata predisposta e condotta una campagna di indagini geognostiche sia di tipo diretto che indiretto.

Lo studio è stato condotto in ottemperanza a:

- *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni* (Decreto Ministero delle Infrastrutture 14/01/2008);
- *Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008* (Circolare Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici del 02/02/2009 n. 617);
- *Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale* (Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Allegato al voto n. 36 del 27/07/2007).

- *L.R. 20/00 - O.P.C.M. 3274/03 - Individuazione delle zone sismiche del territorio regionale e delle tipologie di edifici ed opere strategici e rilevanti* (Deliberazione della Giunta Regionale della Puglia n. 153 del 2 marzo 2004, B.U.R. Puglia n. 33 del 18/03/2004).
- *Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico* (Autorità di Bacino della Puglia: Delibera di adozione del PAI da parte del Comitato Istituzionale n. 25 del 15 dicembre 2004; Delibera di approvazione del PAI da parte del Comitato Istituzionale n. 39 del 30 novembre 2005).

2. GEOLOGIA DELL'AREA

L'area oggetto di studio si trova ai margini dell'abitato di Castellaneta, ad una quota di circa 210 m sul livello del mare, essa è ubicata in una zona sub-pianeggiante degradante debolmente verso Sud (Foto 1).

L'area ricade in un settore dell'Italia meridionale che si estende dal margine tirrenico a quello adriatico in cui è possibile individuare i tre domini che costituiscono un sistema orogenico: la catena (Appennino campano-lucano), l'avanfossa (Fossa bradanica) e l'avanpaese (Piattaforma apulo-garganica).

La catena ha una struttura a falde e si sovrappone alle successioni terrigene dell'avanfossa, che a loro volta poggiano in trasgressione sulle unità dell'avanpaese.

L'area di interesse rientra nel dominio di avanfossa, nella struttura geologica nota in Letteratura con il nome di Fossa Bradanica.

Dal punto di vista tettonico, questa parte della Fossa bradanica è caratterizzata da un sistema a *horst* e *graben* (rispettivamente "alto" e "basso" strutturale) dovuto alla presenza di una serie di faglie distensive, con direzione principale Nord-Ovest/Sud-Est.

Di seguito si descrivono con maggiore dettaglio, dalla più antica alla più recente, le unità geologiche affioranti nei dintorni dell'area di interesse. Il quadro geologico descritto in questo paragrafo è riassunto nella Figura 2 – *Carta Geologica*.

AREA OGGETTO DI STUDIO



AREA OGGETTO DI STUDIO

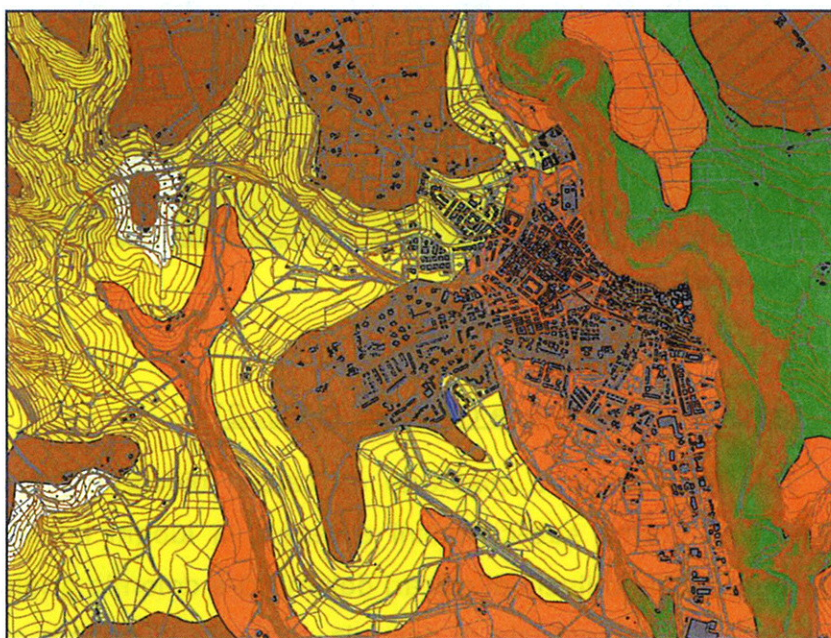
100 0 100 200 300 400 m



Figura 1 –Ubicazione dell'area in studio.

CARTA GEOLOGICA

SCALA 1:25000



Legenda

geol_pol_wgs

- Calcare di Altamura
- Calcareni di Gravina
- Argille Subappennine
- Depositi marini terrazzati
- Detriti di falda e frane

250 0 250 500 750 1000 m



Figura 2 – Carta geologica



Foto 1. Area oggetto di indagine.

2.1. Calcare di Altamura (in verde in Fig. 2)

Tale formazione è costituita da calcari bioclastici, bianchi o grigiastri di norma sub-cristallini e tenaci, a luoghi laminari, nei quali si intercalano livelli di calcari dolomitici e dolomie grigio-scuri o nocciola. La percentuale di dolomia aumenta in genere gradualmente con la profondità.

Il Calcare di Altamura affiora diffusamente a Nord e ad Est dell'area studiata.

La stratificazione è sempre evidente con strati di spessore variabile da 20 a 50 cm, talora si rinvencono banchi fino a 1.5 metri, mentre le pendenze sono estremamente basse con angoli che raramente superano i 10°. Lo stile è caratterizzato da un andamento a pieghe ad ampio raggio di curvatura.

L'origine è biochimica per i calcari e secondaria per le dolomie. Per quanto riguarda il loro ambiente deposizionale, esso è di mare poco profondo, di piattaforma interna; inoltre, data l'elevata potenza della successione, appare chiaro che l'ambiente di sedimentazione ha potuto mantenersi pressoché immutato per effetto di una costante subsidenza.

2.2. Calcarenite di Gravina (In arancione in Fig. 2)

La Calcarenite di Gravina che localmente è conosciuta come "tufo", è costituita da una calcarenite a grana media e fine di colore biancastro o giallognolo, il suo aspetto è generalmente massiccio e la sua struttura è omogenea.

Le calcareniti poggiano in trasgressione, con discordanza angolare, sul Calcare di Altamura, e passano in continuità verticale e laterale alle Argille subappennine. Inoltre, soggiace ai Depositi marini terrazzati tramite una superficie netta di abrasione.

Il contenuto in macrofossili è rappresentato da: Echinidi, Pectinidi, Ostreidi, Dentalium e Bivalvi

Questa Formazione affiora ad Est a Sud e ad Ovest dell'area di studio con spessori che superano i 10 metri, come è facile notare lungo il versante della gravina di Santa Croce posta nelle immediate vicinanze del sito di studio, dove si rinvenivano alcune grotte scavate nella calcarenite (Foto 2).

Lungo il versante della gravina di Castellaneta è stato possibile individuare il contatto tra la Calcarenite di Gravina e il sottostante Calcare di Altamura.

Da quanto è stato possibile accertare, la Formazione si presenta sufficientemente compatta, priva di piani di stratificazione e di sistemi di frattura.



Foto 2. – banchi calcarenitici osservabili nella vicina gravina S. Croce

2.3. – Argille Subappennine (in giallo in Fig. 2).

Questa Formazione è costituita da argille marnose e siltose di colore grigio-azzurro, giallo-verdastro per alterazione, a stratificazione indistinta. In alcuni casi è possibile riconoscere la stratificazione per la presenza di livelli cromaticamente distinti.

La Formazione poggia sulla Formazione delle Calcareni di Gravina (non affioranti nell'area in esame) ed è troncata al tetto da superfici di erosione su cui poggiano lembi di Depositi marini terrazzati.

Le Argille affiorano diffusamente a Sud dell'area interessata dalle opere di progetto.

La sedimentazione di questa Formazione è avvenuta su fondali marini più o meno profondi e l'abbondante contenuto fossilifero indica che il periodo di formazione è riferibile al Calabriano.

Lo spessore di tale formazione risulta essere superiore a 20 metri come osservabile lungo le scarpate di terrazzo poste immediatamente a Sud dell'area di indagine.

2.4. – Depositi marini terrazzati (in marrone in Fig. 2).

Nel corso del Pleistocene, la generale regressione della linea di costa, alternata a brevi periodi di avanzata, ha determinato la deposizione, sulla Formazione delle Argille Subappennine, di una serie di depositi dovuti all'azione di abrasione e accumulo da parte del mare.

È possibile distinguere sette ordini di terrazzi, i cui orli presentano un andamento sub-parallelo all'attuale linea di costa. Il terrazzo del I ordine si rinviene a quote superiori ai 300 metri sul livello del mare; nell'area in studio si rinvencono i terrazzi del V, VI e VII ordine.

I Depositi Marini Terrazzati presentano caratteri estremamente variabili da luogo a luogo, sia in direzione verticale che orizzontale, dovuti al meccanismo di sedimentazione. Localmente sono costituiti da sabbie e ghiaie più o meno grossolane con una variabile componente limosa, talvolta cementate, di colore giallo-ocraceo e giallo-rossastro, conglomerati e calcareniti fini scarsamente cementate.

Questa formazione affiora diffusamente nell'area di studio in banchi calcarenitici con spessori variabili da 2.5 a 4/5 metri.



Foto 3 – banco cementato di calcarenite di terrazzo osservabile nella parte sud dell'area oggetto di studio.

3. GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA

L'area in studio ricade all'interno della formazione delle Argille Subappennine; tale substrato, insieme alle calcareniti di Gravina che affiorano ad Est, è stato interessato durante i cicli regressivi marini dall'azione di abrasione e/o accumulo da parte del mare.

La porzione di costa ionica nella quale ricade l'area in studio, infatti, è caratterizzata dalla presenza di una serie terrazzi marini (sette ordini). Quelli del I ordine si rinvencono a una quota superiore a 300 m s.l.m., gli altri si rinvencono a quote decrescenti sino ad arrivare al VII ordine che si ritrova a quote di circa 10 m s.l.m. I relativi orli di terrazzo risultano circa-paralleli all'attuale linea di costa.

La genesi di questi terrazzi marini è da imputare alla regressione della linea di costa (durante il pleistocene), alternata a brevi periodi di avanzata, che ha determinato la deposizione, sulla formazione delle Argille Subappennine e/o Calcareniti di Gravina, di una serie di depositi dovuti all'azione di abrasione e sedimentazione da parte del mare.

La continuità laterale dei terrazzi marini è interrotta da incisioni fluviali (denominati gravine o lame) che presentano andamento circa perpendicolare all'attuale linea di costa.

Nell'area oggetto di studio sono facilmente osservabili i caratteristici depositi di terrazzo marino con spessori variabili da pochi centimetri a qualche metro che poggiano sulle argille subappennine.

Allo stato attuale la morfologia dell'area risente dell'alto grado di antropizzazione a cui è stata sottoposta nel corso degli anni vista la vicinanza con l'area urbana.

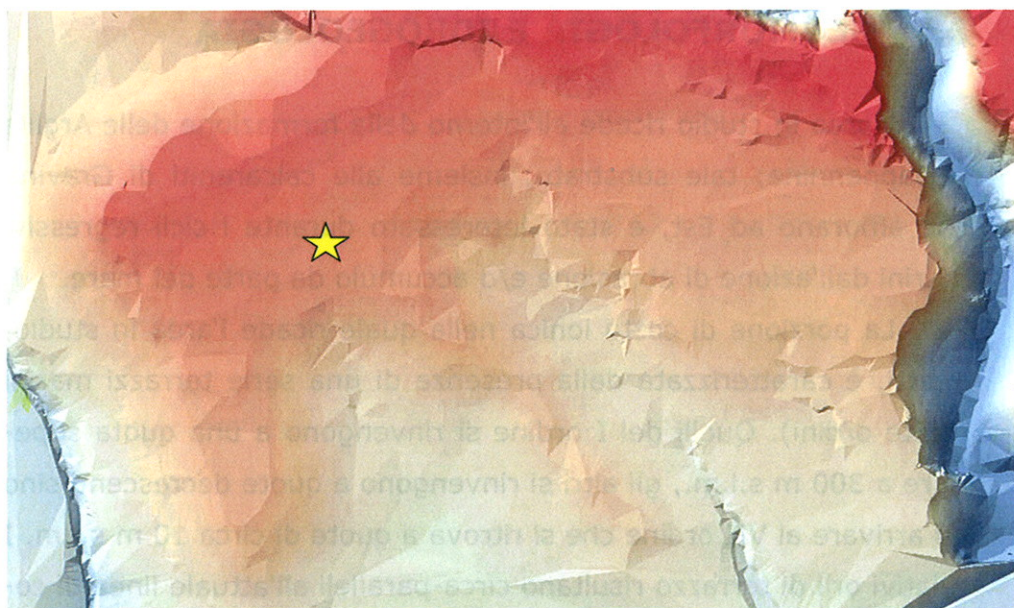


Figura 3 – Ricostruzione morfologica dell'area di studio (scala 1:15.000) ottenuta per sovrapposizione di immagini digitali tipo DEM e TIN. Il colore rosso rappresenta le quote più elevate mentre il colore blu rappresenta le quote più basse. La stella gialla rappresenta l'ubicazione dell'area oggetto di studio.

La circolazione al suolo delle acque di precipitazione è determinata dalla permeabilità dei materiali affioranti, dai loro spessori, dalla porosità, dal grado di fessurazione o da quello di fratturazione.

Come detto poco sopra, la rete idrografica superficiale è caratterizzata dalla presenza della gravina di Santa Croce ad Est e la gravina di Santo Stefano ad Ovest, le quali raccolgono velocemente le acque di precipitazione e ruscellamento.

La Formazione delle argille Subappennine sono quasi del tutto impermeabili pertanto si esclude la presenza di una falda all'interno di questa Formazione.

La formazione dei depositi marini di terrazzo, di contro, è dotata di buona permeabilità per porosità. All'interno di questa formazione si forma generalmente una falda il cui livello di base è dato dalle argille sottostanti. Un ulteriore falda è rappresentata dalla falda profonda che ha sede nei calcari mesozoici, porosi per fratturazione, la cui profondità è di circa 200 metri dal piano campagna.

La consultazione della cartografia dell'Autorità di Bacino della Puglia, aggiornato al gennaio 2016, non individua alcuna area a pericolosità geomorfologica o idraulica. Le perimetrazioni presenti, sia ad Est che ad Ovest distano dall'area in esame oltre 50 metri.



Figura 4 – Stralcio della cartografia PAI redatta dall'AdB Puglia.

4. PIANIFICAZIONE DELLA CAMPAGNA DI

INDAGINI

La presenza di materiale di riporto, su tutta l'area di progetto, che ha obliterato l'originaria morfologia dell'area; unitamente alla necessità di definirne correttamente il modello geologico, è stata predisposta una campagna di indagini sia di tipo diretto che di tipo indiretto la quale ha previsto:

- ✓ esecuzione di un sondaggio meccanico, a carotaggio continuo, finalizzato alla ricostruzione stratigrafica del sottosuolo, al prelievo di campioni da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio e alla posa in opera di un piezometro al fine di monitorare la falda superficiale;
- ✓ caratterizzazione sismico-stratigrafica e sismo-elastica dei suoli di fondazione (attraverso indagini in sismica a rifrazione) e determinazione della categoria di suolo di fondazione così come previsto dalle NTC del 2008 mediante indagini MASW;
- ✓ caratterizzazione elettro-statigrafica (mediante indagini geoelettriche) delle aree finalizzata alla determinazione/verifica degli spessori del materiale di riporto presente;
- ✓ esecuzione di prova HVSR in campo libero per la determinazione della frequenza fondamentale di vibrazione nonché per la verifica di amplificazione sismica locale.

Nello specifico è stato predisposto l'esecuzione di un sondaggio meccanico, durante il quale si è messo in conto di prelevare almeno 2 campioni di roccia da sottoporre a prove di laboratorio,

una tomografia elettrica, una indagine sismica, una indagine MASW, e una indagine HVSr in campo libero (vedi figura 5). Di seguito vengono descritti, in maniera sintetica, i risultati ottenuti con ciascuna prova. Una più approfondita spiegazione di ogni indagine e dei risultati ottenuti è rimandata alla relazione di fine campagna, redatta da Geosolution SRL, allegata alla presente relazione.

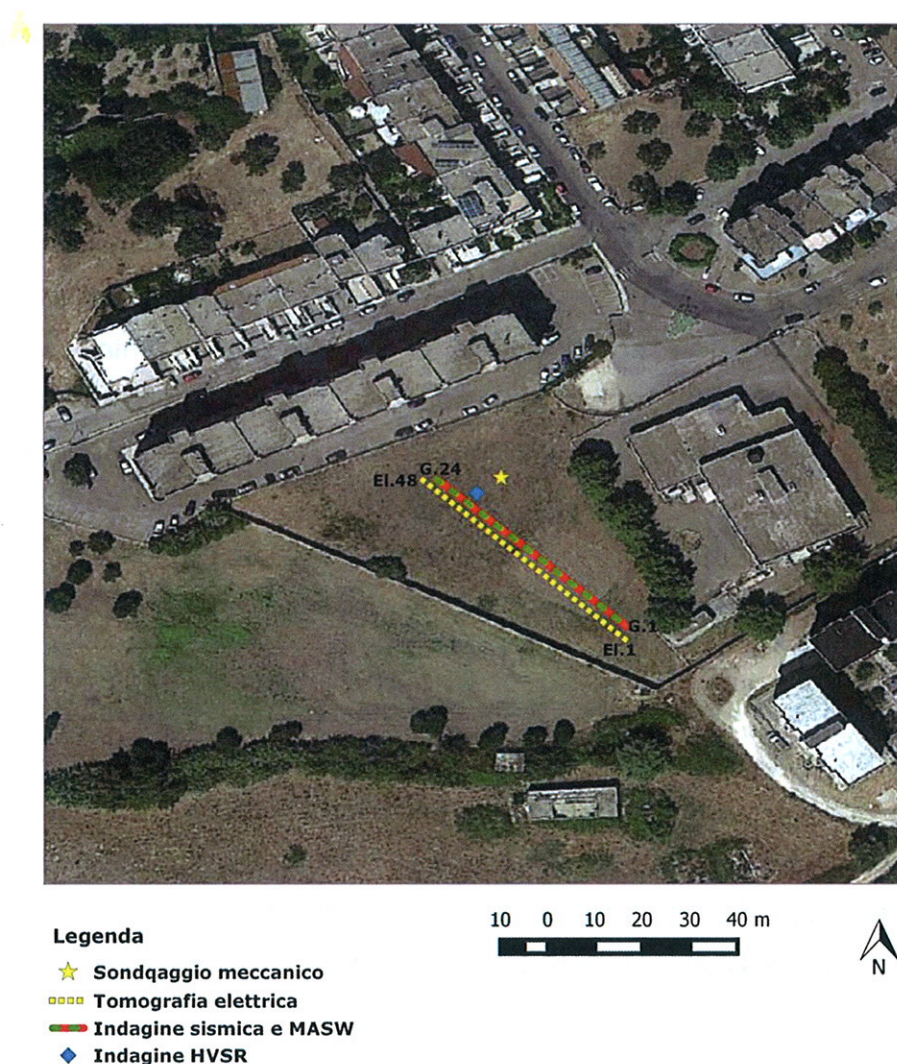


Figura 5 – Ubicazioni delle indagini. Le frecce indicano la direzione degli stedimenti delle tomografie Elettriche e Sismiche.

4.1. – Perforazione di sondaggio

Le perforazioni di sondaggio sono state eseguite dalla Ditta FIUMANO TOMA TRIVELLAZIONI s.r.l. di Matera, nel giorno 28 gennaio 2016.

Il sondaggio denominato S1 è stato spinto fino alla profondità di 15 metri dal piano campagna; durante la sua perforazione sono stati prelevati 2 campioni indisturbati a profondità rispettivamente di 1.00 metri, siglato S1-C1, e 5.00 metri, siglato S1-C2.

La stratigrafia ottenuta mostra che al di sotto di una coltre di terreno vegetale, spessa circa 20 centimetri, si rinviene un banco di deposito di terrazzo con vario grado di cementazione spesso circa 2.60 metri. Tale strato poggia su argille subappennine dello spessore indefinito. All'interno della relazione di fine campagna, allegata alla presente, viene riportata la stratigrafia del suddetto sondaggio.

Durante le operazioni di terebrazione sono state condotte indagini in situ realizzate sulle carote ottenute (prove con pocket penetrometer).

Inoltre, durante l'esecuzione del sondaggio è stata riconosciuta la presenza di una falda superficiale. La quota di attestazione della falda è stata valutata mediante misure freatiche utilizzando un piezometro posto in opera all'interno del foro di sondaggio. Tale quota è risultata variabile da 2.10 metri misurata in data 30 gennaio 2016 a 1.5 metri misurata in data 4 maggio 2016.



Foto 4 – misurazione piezometrica.

4.2 – Tomografie Elettriche

La campagna geognostica di tipo diretto è stata integrata da una campagna di indagini geofisiche eseguite da Geosolution Srl con sede in Castellaneta (TA) alla via del Mercato, 2.

E' stata condotta una tomografia elettrica, allo scopo di ottenere informazioni elettrostratigrafiche ed individuare l'andamento superficiale del banco calcarenitico superficiale.

Le sezioni tomografiche ottenute utilizzando differenti metodologie lungo lo stesso stendimento confermano che il materiale calcarenitico ricopre interamente l'area investigata con spessori variabili (tra 2 e 4 metri).

4.3 – Indagine Sismica a Rifrazione

Sul sito oggetto di indagine è stata condotta un'indagine in sismica a rifrazione condotta con 24 geofoni e distanza intergeofonica 3 metri.

Osservando la sezione sismica tomografica, ottenuta dall'elaborazione dei risultati, si osserva la presenza di due diversi sismostrati. Il primo, superficiale con spessore di 3 m, e velocità media delle onde P pari a circa 600 m/s, ascrivibile a depositi da poco a mediamente consistenti. Il secondo, con spessore indefinito caratterizzato da un valore medio della velocità delle onde P pari a circa 1500 m/s, ascrivibile a depositi limosi-argillosi.

4.4 – Prospezione sismica attiva con metodologia MASW

Lungo lo stesso stendimento utilizzato per l'esecuzione dell'indagine sismica a rifrazione è stata condotta una prospezione sismica con metodologia MASW finalizzata alla identificazione della categoria di sottosuolo di fondazione. Tale classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente (V_{s30}) di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano di posa delle fondazioni (DM 14/02/2008 Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni).

L'analisi dei dati ha consentito di verificare che le velocità delle onde S aumentano all'aumentare della profondità (vedi Tab. 1) e di stimare un valore di V_{s30} , al piano campagna, pari a **282 m/s**. La velocità determinata definisce il suolo di sedime, classificandolo **nella categoria C**.

Profondità (m)	Spessore dello strato (m)	Velocità onde S (m/s)
0.7	0.7	347
2.0	1.3	244
9.5	7.5	194
15.0	5.5	235
20.0	5.0	306
indefinito	indefinito	481

Tab. 1 – Sismostratigrafia delle onde S.

Dai valori delle velocità delle onde sismiche P ottenute dall'indagine sismica a rifrazione e dai valori di onda S stimati attraverso l'indagine MASW, sono stati ricavati, per ciascuno dei sismostrati definiti, i seguenti moduli dinamici:

- coefficiente di Poisson ν
- modulo di Young **E** (MPa)
- modulo di taglio **G** (MPa)
- modulo di incompressibilità **K** (MPa)
- rigidità sismica **R_i** (KNKm/m³s)

Nella sottostante tabella sono riassunti i valori delle velocità medie dei sismostrati e dei moduli elastici dinamici dei terreni investigati (Tab.2).

Profilo sismico	γ	V_p	V_s	ν	E	G	K	R_i
Spessore medio strato n. 3 m	16,43	600	272	0,37	333	122	429	4,47
indefinito	18,71	1.500	230	0,49	295	99	4078	4,30

Tab. 2 – Velocità medie e moduli elastici dinamici dei terreni investigati.

Nota: I valori di γ sono riferiti a valori ottenuti da opportune prove di laboratorio.

4.5 – Misure HVSR in campo libero

Al fine di verificare la presenza di effetti di amplificazione sismica locale e di definire la frequenza fondamentale di vibrazione del suolo oggetto di studio è stata predisposta una misura HVSR in campo libero mediante l'utilizzo di un tromometro.

Analizzando le risultanze delle due indagini si evidenzia, rispettivamente, la presenza di un importante picco a frequenza di $2,06 \pm 0,03$ Hz.

Questo valore di frequenza rappresenta la frequenza fondamentale del sito, ossia il valore di frequenza che, in caso di sisma, potrebbe produrre effetti di risonanza qualora la struttura da realizzare avesse la stessa frequenza propria di vibrazione.

L'elevata ampiezza della curva implica una importante amplificazione sismica che caratterizza il sito.

E' opportuno precisare che la frequenza fondamentale di vibrazione è stata determinata al piano campagna; qualora durante la realizzazione delle opere di progetto venissero modificati gli assetti stratigrafici del sito, con eventuali sbancamenti, si consiglia di ripetere l'indagine al piano delle fondazioni.

5. IL TERRENO DI FONDAZIONE

L'intera campagna di indagini condotte sia con metodologie dirette che indirette ha consentito di ricostruire in maniera dettagliata la stratigrafia del terreno di fondazione. Questo risulta essere costituito da:

- Materiale calcarenitico, poco coeso, variabile da 2,6 metri a 4.0 metri;
- Limi argillosi per uno spessore indefinito (circa 30 metri).

Dal punto di vista geomorfologico, l'area direttamente interessata dalle fondazioni occupa un'area pianeggiante.

5.1 Caratteri geotecnici del terreno di fondazione

Durante la campagna di indagini dirette sono stati prelevati due campioni indisturbati sui quali sono state effettuate: prove di identificazione (peso di volume, contenuto in acqua, densità, limiti di Atterberg, granulometria) e prove di resistenza meccanica per determinare le proprietà fisico-meccaniche dei terreni (prove di taglio).

I campioni prelevati durante il sondaggio sono stati campionati sia nei depositi marini di terrazzo sia dalla formazione delle Argille Subappennine al fine di caratterizzare correttamente il substrato di fondazione.

Si precisa che durante l'esecuzione del sondaggio, pur procedendo con il doppio carotiere, non è stato possibile ottenere un provino di deposito marino di terrazzo da sottoporre a prove di compressione monoassiale.

Nelle tabelle seguenti vengono sintetizzati i risultati ottenuti dalle prove condotte dal laboratorio Laborgeo srl di Matera.

Campione	Profondità' (m)	w %	γ KN/m ³	γ_d KN/m ³	γ_{sat} KN/m ³	γ_s KN/m ³	e	n %	Sr %
S1-C1	1,00-1,50	13.76	16.43	14.44	19.05	26.80	0.856	46.11	43.10
S1-C2	5,00-5,50	28.09	18.71	14.61	19.28	27.40	0.876	46.69	87.88

Tab 3 Proprietà fisiche: w = contenuto naturale d'acqua γ = peso di volume naturale γ_d = peso di volume secco γ_s = peso specifico solido γ_{sat} = peso di volume saturo e = indice dei vuoti n = porosità Sr = grado di saturazione

Campione	Profondità' (m)	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	Descrizione
S1-C1	1,00-1,50	19.42	45.00	28.78	6.80	Sabbia co limo ghiaiosa
S1-C2	5,00-5,50	0.07	1.43	58.40	40.10	Limo con Argilla

Tab 4 Caratterizzazione granulometria

Campione	Profondità' (m)	LL %	LP %	IP %	IC
S1-C1	1,00-1,50				
S1-C2	5,00-5,50	61	40	21	1.90

Tab 5 Limiti di Atterberg LL = limite di liquidità LP = limite di plasticità IP = indice di plasticità IC = indice di consistenza

Campione	Profondità' (m)	Angolo di attrito ϕ (°)	Coesione efficace c' (KN/m ²)
S1-C1	1,00-1,50	35.23	0.00
S1-C2	5,00-5,50	24.1	24.38

Tab 6 Caratteristiche meccaniche

Durante l'esecuzione dei sondaggi, inoltre, sono state effettuate indagini in situ con Pocket Penetrometer nella parte di stratigrafia interessata da argille subappennine. Tali prove hanno accertato che le caratteristiche del suolo di fondazione, in termini di qu e Cu, non subiscono rilevanti variazioni con la profondità.

Considerando opportuno consigliare di posizionare il piano di fondazione nei materiali limoso-argillosi si indicano i valori dei parametri geotecnici da considerare in fase di progettazione.

Angolo di attrito ϕ (°) = 24°.

Coesione efficace c' (KN/m²) = 24.38 KN/m²

Qualora si decidesse di posizionare il piano di fondazione sul livello di depositi marini terrazzati si riportano, di seguito, i parametri geotecnici da considerare in fase di progettazione.

Angolo di attrito φ (°) = 35°.23
Coesione efficace c' (KN/m²) = 0.00 KN/m²

Durante l'esecuzione del sondaggio geognostico è stata riconosciuta la presenza di una falda superficiale. La quota di attestazione di tale falda, valutata mediante misure freatiche (nel periodo gennaio/maggio 2016) nel piezometro posto all'interno del foro di sondaggio è risultata variabile da 1.5 a 2.1 metri dal piano campagna.

6. AZIONE SISMICA LOCALE

Lo studio dell'azione sismica locale è stato eseguito con il foglio di calcolo SPETTRI NTC (fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici), attraverso il quale sono stati calcolati i parametri che definiscono gli spettri di risposta sismica dell'area riferiti alla struttura da realizzare.

Sito in esame

Coordinate ED 50:

- latitudine: **40,625837**;
- longitudine: **16,923845**;
- Classe edificio: **4** (Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità);
- Vita nominale: **50 anni**.

Parametri sismici

- Categoria sottosuolo: **C**;
- Categoria topografica: **T1** (Superficie pianeggiante);
- Periodo di riferimento: **100** anni;
- Coefficiente cu: **2.00**.

Le NTC2008 prevedono la verifica della sicurezza e delle prestazioni di tutte le strutture agli Stati Limite durante la propria Vita Nominale. Gli Stati Limite da valutare sono:

- **SLU** Stato Limite Ultimo – che ha un carattere irreversibile;
- **SLE** Stato Limite di Esercizio – che può avere carattere sia reversibile che irreversibile.

In presenza di una azione sismica gli Stati Limite da considerare sono:

per lo Stato Limite Ultimo SLU:

- **SLV - Stato Limite di salvaguardia della Vita;**
- **SLC - Stato Limite di prevenzione del Collasso;**

per lo Stato Limite di Esercizio SLE:

- **SLO - Stato Limite di Operatività;**
- **SLD - Stato Limite del Danno.**

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 7.

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

Tabella 7 – Stati limite e probabilità di superamento (da Tab. 3.2.I delle NTC08).

L'analisi dei dati caratteristici elencati in precedenza ha permesso il calcolo dell'accelerazione orizzontale massima al sito di riferimento a_g , del valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale F_0 e del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale T_c^* .

Ogni valore è riferito ad tempo di ritorno T_r associato ad uno stato limite. Il tempo di ritorno è calcolato sulla base della Probabilità di superamento del periodo di riferimento V_R (Tab. 8)

STATO LIMITE	T_r [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	60	0,051	2,505	0,294
SLD	101	0,069	2,525	0,311
SLV	949	0,190	2,480	0,311
SLC	1950	0,242	2,474	0,319

Tabella 8 - Valori dei parametri a_g , F_o e T_c per i periodi di ritorno associati a ciascuno Stato Limite.

Di seguito si riportano i valori dei coefficienti sismici associati a ciascuno Stato Limite (Tab. 9).

STATO LIMITE	S_s	C_c	S_t	A_{max}
SLO	1,50	1,57	1,00	0,756
SLD	1,50	1,54	1,00	1,009
SLV	1,42	1,54	1,00	2,643
SLC	1,34	1,53	1,00	3,177

Tabella 9 - Coefficienti sismici associati a ciascuno Stato Limite.

con:

S_s = Coefficiente di amplificazione stratigrafica

C_c = Coefficiente funzione della categoria di sottosuolo

S_t = Coefficiente di amplificazione topografica

$A_{max} = S \cdot a_g = S_s \cdot S_t \cdot a_g$ (Accelerazione orizzontale massima attesa al sito)

7. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'insieme dei dati ottenuti dallo studio geologico-morfologico di superficie, delle informazioni sulla stratigrafia del sottosuolo desunte dalla bibliografia e integrate con la campagna di indagini appositamente predisposta, hanno permesso di ottenere la modellazione geologica del sito in esame.

Il litotipo affiorante risulta essere rappresentato da un banco calcarenitico, riconducibile ai depositi marini di terrazzo, poco coeso, con spessori variabili da 2.5 a 4 metri. Tale banco poggia sulle argille subappennine sottostanti.

Durante le indagini è emersa la presenza di una falda, che ha sede nei depositi marini terrazzati e poggia sulle sottostanti argille, la cui superficie piezometrica ha subito nel periodo gennaio/maggio 2016 un'oscillazione di 60 cm (da 2.10 metri a 1.50 metri di profondità).

L'area interessata dalle opere di progetto occupa una superficie sub-orizzontale degradante debolmente verso sud. Le acque meteoriche vengono raccolte dai corsi d'acqua presenti nella parte sud e velocemente convogliate nelle vicine Gravine. Dopo la sua posa, l'opera non deve modificare l'originario assetto idraulico del sito. Inoltre in fase di realizzazione devono essere previste opportune opere di drenaggio che non permettano il ristagno di acque meteoriche sotto il piano di fondazione.

L'indagine MASW e le misure HVSr hanno consentito di caratterizzare il suolo di fondazione, in accordo con quanto previsto nel DM 14/02/2008 Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni, come suolo di categoria C.

In fase di progettazione va tenuto presente che dalla indagine HVSR sono state riscontrate due frequenze di vibrazione fondamentale pari a **2,06 ± 0,03**. Pertanto, al fine di evitare che in caso di sisma possano verificarsi fenomeni di risonanza suolo-struttura, in fase di progettazione bisognerà fare in modo che le opere abbiano una frequenza propria di vibrazione il più lontano possibile dalla frequenza indicata.

▲ In fase di progettazione vanno tenute in debita considerazione le indicazioni geotecniche, idrogeologiche e sismiche descritte in questo lavoro.

Infine, la consultazione della cartografia elaborata dall'Autorità di Bacino della Puglia non individua pericolosità per il sito oggetto di indagine. La più prossima area a rischio si rinven-
gono a distanza superiore a 20 metri in direzione sud.

Castellaneta, maggio 2016

Geol Donato PERNIOLA

8. BIBLIOGRAFIA

- BOENZI F., RADINA B., RICCHETTI G., VALDUGA A., (1971) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia: Foglio 201 «Matera»* – Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- BOSELLINI A., MUTTI E., RICCI LUCCHI F. (1989) – *Rocce e successioni sedimentarie* – UTET, Torino.
- CARRARA E., RAPOLLA A., ROBERTI N. (1992) – *Le indagini geofisiche per lo studio del sottosuolo: metodi geoelettrici e sismici* – Liguori, Napoli.
- GeoSru Software (2011) – *Geostru PS Parametri sismici* – Bianco (RC)
- MARTINIS B., ROBBA E. (1971) – *Note illustrative della Carta Geologica d'Italia: Foglio 202 «Taranto»* – Servizio Geologico d'Italia, Roma.
- PIERI P., SABATO L., TROPEANO M. (1994) – *Evoluzione tettonico-sedimentaria della Fossa bradanica a Sud dell'Ofanto nel Pleistocene* – Guida alle escursioni, Congr. Soc. Geol. It., Bari, Quad. Bibl. Prov. Matera, 15.
- RICCI LUCCHI F. (1980) – *Sedimentologia* – CLUE, Bologna.
- ROVIDA A., CAMASSI R., GASPERINI P. e STUCCHI M. (a cura di, 2011) – *CPTI11, versione 2011 del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani*. Milano, Bologna, <http://emidius.mi.ingv.it/CPTI>.
- SABATO L., TROPEANO M. (1994) – *Cenni sul sistema catena-avanfossa-avanpaese in Italia meridionale* – Guida alle escursioni, Congr. Soc. Geol. It., Bari, Quad. Bibl. Prov. Matera, 15.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1969) – *Carta Geologica d'Italia, Foglio 201 «Matera», II edizione* – Libreria dello Stato, Roma.
- SERVIZIO GEOLOGICO D'ITALIA (1969) – *Carta Geologica d'Italia, Foglio 202 «Taranto», II edizione* – Libreria dello Stato, Roma.

TERZAGHI K., PECK R. B. (1994) – *Geotecnica* – UTET, Torino.

ANDRIANI G.F. & WALSH N. (2010) - Petrophysical and mechanical properties of soft and porous building rocks used in Apulian monuments (south Italy). Geological Society, London, Special Publication, 333, 129 – 141.

CHERUBINI C., REINA A. & BRUNO D. (2007) - Le rocce tenere del Salento: proposta di classificazione con l'uso delle caratteristiche tecniche e meccaniche. *Geologi e Territorio*, n. 2, 37 – 47

LAGIOIA R. (1996) - Comportamento meccanico di una calcarenite di Gravina di Puglia. *Rivista Italiana di Geotecnica*, 4, 96 – 84.

PARISE M. - LOLLINO P (2014) – Attività de CNR-IRPI a seguito dei dissesti idrogeologici del 21 gennaio 2014 nel comune di Ginosa (TA).

CHERUBINI GIASI RAMUNNI (1985) - Fondazioni su roccia.

REGIONE PUGLIA

COMUNE DI CASTELLANETA

REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA:
CASERMA COMPAGNIA DEI CARABINIERI, CASERMA DELLA
GUARDIA DI FINANZA, NEL COMUNE DI CASTELLANETA (TA)



INDAGINI GEOFISICHE

ELABORATO:

RELAZIONE DI FINE CAMPAGNA

COMMITTENTE:

Geol. Donato PERNIOLA
Parco Valentino
Castellaneta (TA)

IL TECNICO:

Geol. Vincenzo DONTORINI



DATA :

APRILE 2016



Via del Mercato n. 2 - 74011 Castellaneta (TA)
P.Iva 03031400736 - Tel. 328/4710530 - 320/3372247
e-mail: geosolutionsrl@gmail.com - PEC: geosolutionsrl@pec.it

SOMMARIO

1. PREMESSA.....	2
2. PROSPEZIONI DIRETTE	3
2.1. SONDAGGI GEOGNOSTICI	3
2.2. PROVE IN SITO	7
2.2.1 TEST CON POCKET PENETROMETER (PPT)	7
2.3. ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO	10
3. INDAGINI INDIRETTE.....	12
3.1. TOMOGRAFIA ELETTRICA	13
3.1.1. INTERPRETAZIONE DEI DATI ACQUISITI	16
3.2. INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE	19
3.2.1. INTERPRETAZIONE DEI DATI DI CAMPAGNA	20
4. PROSPEZIONE SISMICA ATTIVA CON METODOLOGIA MASW.....	22
4.1. METODOLOGIA DI INDAGINE	22
4.1.1. INTERPRETAZIONE DEI DATI ACQUISITI	27
5. PARAMETRI ELASTICI	30
6. MISURE HVSR IN CAMPO LIBERO	31

Allegati:

- Allegato. n.1 - Planimetria con ubicazione delle indagini;
- Allegato. n.2 - Tavole indagini geoelettriche;
- Allegato. n.3 - Tavole indagini sismiche a rifrazione;
- Allegato. n. 4 - Certificati prove di laboratorio;

1. PREMESSA

Le indagini geognostiche eseguite nel presente lavoro sono state commissionate dal dott. Donato PERNIOLA di Castellaneta (TA) nell'ambito dei lavori per la realizzazione della CITTADELLA DELLA SICUREZZA: Caserma compagnia dei Carabinieri, Caserma della Guardia di Finanza, nel Comune di Castellaneta (TA).

La campagna d'indagini, secondo quanto commissionato, è stata realizzata attraverso l'esecuzione di indagini dirette ed indirette, in particolare sono state realizzate:

- n° 1 sondaggio geognostico eseguito dalla ditta TOMA FIUMANO di Matera nel quale sono stati prelevati n° 2 campioni indisturbati, sui quali sono state eseguite opportune indagini geotecniche di laboratorio eseguite dal Laboratorio Geotecnico LABORGEO di Matera;
- n° 1 tomografie elettriche, con lo scopo di ampliare arealmente la conoscenza del sottosuolo del sito in oggetto attraverso la correlazione con le indagini dirette;
- n° 1 indagine sismica a rifrazione in onda P con ricostruzione tomografica;
- n° 1 indagine MASW per definirne la categoria di suolo di fondazione secondo quanto richiesto dalle NTC 2008, nonché per definire, congiuntamente all'indagine sismica a rifrazione, i parametri elastici del sito;
- n° 1 indagine HVSR per definire la frequenza fondamentale di vibrazione del sito, nonché la presenza di eventuali fenomeni di amplificazione sismica locale.

La campagna geognostica è stata eseguita tra i mesi di gennaio e febbraio 2016

L'ubicazione delle indagini è riportata nell'allegato n.1

2. PROSPEZIONI DIRETTE

2.1. SONDAGGI GEOGNOSTICI

In data 28/01/2016 la ditta TOMA FIUMANO di Matera ha eseguito n. 1 sondaggio geognostico utilizzando una sonda CMW MK 900 GL.

Il sondaggio geognostico ha raggiunto la profondità di 15,00 m, in esso sono stati prelevati n. 2 campioni indisturbati tra le profondità di 1,00 – 1,50 e 5,00 – 5,50.

Il foro di indagine è stato attrezzato con piezometro a tubo aperto, finestrato fino alla profondità di 9,00 m.

L'esecuzione del sondaggio geognostico ha permesso di ricostruire in maniera puntuale e diretta la stratigrafia del sottosuolo, mentre l'installazione del piezometro permetterà di ottenere informazioni idrogeologiche prolungate nel tempo.

Dalla misura freaticometrica eseguita qualche ora dopo l'installazione del tubo piezometrico è stata riscontrata la presenza di una falda con livello piezometrico posto a -2,60 m dal p.c.

Di seguono si riporta la stratigrafia del sondaggio e la relativa documentazione fotografica.

COLONNA STRATIGRAFICA

Sondaggio n. 1

Località: Castellaneta - Cittadella della Sicurezza

Committente: Comune di Castellaneta (TA)

quota s.l.m. 211

Data esecuzione: 28/01/2016

Coordinate WGS84 Lat:4498920 Long:662662

P R O F O N D I T À m	P O T E N Z A m	L I T O L O G I A S I M B O L O	Descrizione delle caratteristiche litologiche	P R O F O N D I T À F A L D A	I N D I S T U R B. C A M P I O N I	S E M I D I S T. C A M P I O N I	C A R O T A G G I O %	R Q D	POCKET PENETROMETER (Kg/cm2) 0 1 2 3 4 5 6	PROVE SPT N. COLPI APPROFONDIMENTO
1	0,2		Terreno vegetale di colore brunoastro.		1.00					
2	2,6		Calcarene giallo rossastra poco coesa. Tra 1.6 e 2,50 presenza di abbondanti frammenti litici nel materiale carotato.	2.10	1.50		100	0		
3										
4						A S S E N T I				
5					5.00					
6					5.50					
7										
8										
9	12,2		Limo argilloso di colore giallo verdastro di buona consistenza e media plasticità. Frequente presenza di frammenti carbonatici e livelli di alterazione rossastri per circolazione di acqua.				100			
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16			F.F. 15,00 m							
17										
18										
19										
20										

NOTE: Carotaggio continuo a secco - diametro 101 mm.

Foro attrezzato con piezometro a tubo aperto, finestrato fino a -9,00 m



Fig. 1 - Postazione sondaggio



Fig. 2 - Sondaggio 1 Cassa 1 - da 0,00 a 5,00 m



Fig. 3 - Sondaggio 1 cassa 2 – da 5,00 m a 10,00 m



Fig. 4 - Sondaggio 1 cassa 3 – da 10,00 m a 15,00 m

2.2. PROVE IN SITO

Al fine di stimare i caratteri di consistenza dei depositi rinvenuti dal carotaggio continuo si è proceduto alla caratterizzazione mediante prove con pocket penetrometer sulle carote con frequenza di una misura ogni 0,3 m (fig.5).

Di seguito vengono riportati i risultati ottenuti da ciascuna prova

2.2.1 TEST CON POCKET PENETROMETER (PPT)

Lo scopo della presente prova è di stimare in prima approssimazione la resistenza (qu) del terreno coesivo estratto con il carotaggio, lungo tutta la lunghezza del sondaggio, applicando una forza assiale puntuale e registrando la forza necessaria ad infliggere la punta dello strumento, per una profondità fissa, all'interno del materiale carotato.

Una prima classificazione speditiva consente di ottenere valori relativamente alla consistenza del materiale mediante le indicazioni di Terzaghi (tab. 1).

Pocket (Kg/cm ²)	Consistenza
< 0.25	Molto molle
0.25 – 0.50	Molle
0.50 – 1.00	Plastico
1.00 – 2.00	Consistente
2.00 – 4.00	Molto consistente
> 4.00	Duro

Tab. 1. Classificazione del terreno sulla base delle resistenze misurate con pocket penetrometer.

Inoltre dalla prova PPT, che restituisce un valore " qu " kg/cm², è possibile facilmente ricavare il valore della coesione non drenata C_u attraverso la seguente relazione

$$C_u = \frac{qu}{2}$$



Fig. 5 - Esecuzione del test con pocket penetrometer

Nella tabella seguente si riportano i valori della prova PPT condotta per tutta la lunghezza del sondaggio sulle rocce coesive ogni 30 cm.

SONDAGGIO 1

prof. m	qu Kg/cm ²	Cu	prof. m	qu Kg/cm ²	Cu
3	4.7	2.35	9.3	4.5	2.25
3.3	5	2.5	9.6	4.2	2.1
3.6	4.8	2.4	9.9	4	2
3.9	4.3	2.15	10.2	5	2.5
4.2	4.8	2.4	10.5	3.6	1.8
4.5	4.3	2.15	10.8	5.5	2.75
4.8	4.8	2.4	11.1	5	2.5
5.0	4.3	2.15	11.4	5.2	2.6
5.4	campione	-	11.7	5	2.5
5.7	4.5	2.25	12	4.6	2.3
6	3	1.5	12.3	4	2
6.3	4.8	2.4	12.6	5.5	2.75
6.6	5.3	2.65	12.9	4	2
6.9	5.5	2.75	13.2	3.8	1.9
7.2	4.6	2.3	13.5	4.5	2.25
7.5	4.8	2.4	13.8	3.2	1.6
7.8	3.9	1.95	14.1	5	2.5
8.1	4.8	2.4	14.4	4.5	2.25
8.4	5.5	2.75	14.7	4.6	2.3
8.7	4.2	2.1	15	4.2	2.1
9	3.3	1.65			

Tab. 2. Stima parametri con pocket penetrometer da sondaggio S1.

2.3. ANALISI GEOTECNICHE DI LABORATORIO

Durante la campagna di indagini dirette sono stati prelevati due campioni indisturbati sui quali sono state effettuate: prove di identificazione fisica (peso di volume, contenuto in acqua, densità, limiti di Atterberg, granulometria) e prove di resistenza meccanica per determinare le proprietà fisico-meccaniche dei terreni (prove di taglio).

I parametri ottenuti sono riassunti nelle tabelle sottostanti.

Campione	Profondità' (m)	w %	γ KN/m ³	γ_d KN/m ³	γ_{sat} KN/m ³	γ_s KN/m ³	e	n %	Sr %
S1-C1	1,00-1,50	13,76	16,43	14,44	19,05	26,80	0,856	46,11	43,10
S1-C2	5,00-5,50	28,09	18,71	14,61	19,28	27,40	0,876	46,69	87,88

Tab 3 Proprietà fisiche

w = contenuto naturale d'acqua γ = peso di volume naturale γ_d = peso di volume secco γ_s = peso specifico solido
 γ_{sat} = peso di volume saturo e = indice dei vuoti n = porosità S_r = grado di saturazione

Campione	Profondità' (m)	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	Descrizione
S1-C1	1,00-1,50	19,42	45,00	28,78	6,80	Sabbia con limo ghiaiosa
S1-C2	5,00-5,50	0,07	1,43	58,40	40,10	Limo con Argilla

Tab 4 Caratterizzazione granulometria

Campione	Profondita' (m)	LL %	LP %	IP %	IC
S1-C1	1,00-1,50	c.d.	n.d.	n.d.	n.d.
S1-C2	5,00-5,50	61	40	21	1.57

Tab 5 Limiti di Atterberg

LL = limite di liquidità

LP = limite di plasticità

IP = indice di plasticità

IC = indice di consistenza

Campione	Profondita' (m)	Angolo di attrito ϕ (°)	Coesione efficace c' (KN/m ²)
S1-C1	1,00-1,50	35,23	0,00
S1-C2	5,00-5,50	24,01	24,38

Tab 6 Caratteristiche meccaniche

Per i particolari sulle risultanze dell'indagine si rimanda ai certificati allegati.

3. INDAGINI INDIRETTE

Ad integrazione di quanto acquisito attraverso le analisi dirette è stata eseguita una campagna geognostica indiretta attraverso l'uso di metodologie geofisiche allo scopo stimare arealmente quanto già registrato puntualmente.

Pertanto sono state eseguite:

- n. 1 indagine geoelettrica allo scopo di definire lo spessore della coltre calcarenitica posta sui depositi limoso argillosi.;
- n. 1 indagini sismiche a rifrazione in onda P con ricostruzione tomografica per la definizione dell'andamento sismostratigrafico del sito, nonché per la definizione delle caratteristiche sismoelastiche del sito congiuntamente alle risultanza dell'indagine MASW;
- n. 1 indagine MASW per caratterizzare il suolo di fondazione;
- n. 1 indagini HVSR allo scopo di definire la presenza di eventuali fenomeni di amplificazione sismica locale nonché per definire la frequenza di vibrazione propria del sito.

3.1. TOMOGRAFIA ELETTRICA

L'indagine tomografica elettrica rappresenta una metodologia indiretta e non invasiva che permette di investigare, attraverso sezioni elettrostratigrafiche 2D, ampie porzioni di sottosuolo.

Il principio metodologico si basa sulla misura della resistività del terreno attraverso un dispositivo quadripolare costituito da due coppie di elettrodi infissi nel terreno dove, una coppia denominata AB rappresenta il circuito di immissione di corrente elettrica e l'altra, denominata MN serve a misurare la differenza di potenziale che si genera tra i due elettrodi.

La resistività (ρ) del terreno misurata in sito è definita apparente poiché essa rappresenta la resistività che il terreno avrebbe se fosse omogeneo ed isotropo.

La relazione matematica che definisce tale parametro è la seguente:

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} K$$

dove ΔV è la differenza di potenziale misurata, I è la corrente immessa e K rappresenta un coefficiente geometrico che dipende dal dispositivo elettrodico utilizzato.

La variazione della resistività del terreno fornisce indicazioni sia sull'eventuale presenza di corpi sepolti nel sottosuolo, i quali possono essere di qualsiasi natura e tipo (falde acquifere, cavità, riempimenti, resti di strutture in muratura o qualunque altro corpo estraneo) che di variazioni lito-stratigrafiche.

Va precisato che l'elettrostratigrafia può non coincidere con la stratigrafia geologica, in quanto litologie differenti possono far registrare medesimi valori di resistività e dunque costituire lo stesso elettrostrato, di contro la stessa litologia può far registrare diversi valori di resistività, in base alle proprie caratteristiche tessiturali, producendo due diversi elettrostrati.

Nel corso della campagna d'indagini è stata eseguita una tomografia elettrica, effettuata con metodologie Wenner e Dipolo Dipolo.

La scelta di eseguire le misure con due diverse metodologie di acquisizione ha permesso, sfruttando le proprietà delle singole metodologie, cui si rimanda alla bibliografia esistente, di ottenere maggiore dettaglio su particolari differenti.

In generale il metodo Dipolo Dipolo è più sensibile alle variazioni laterali di resistività anche se a volte risulta rumoroso, mentre il metodo Wenner è più sensibile alle variazioni orizzontali di resistività.

Di seguito si illustrano le geometrie caratteristiche dei due dispositivi elettrodici utilizzati (fig. 6 e 7).

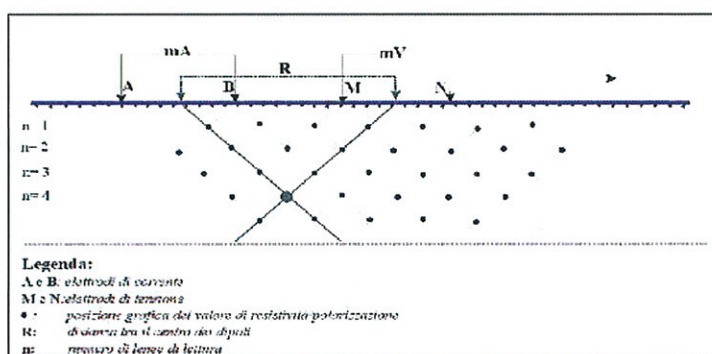


Fig. 6 – Dispositivo Dipolo Dipolo

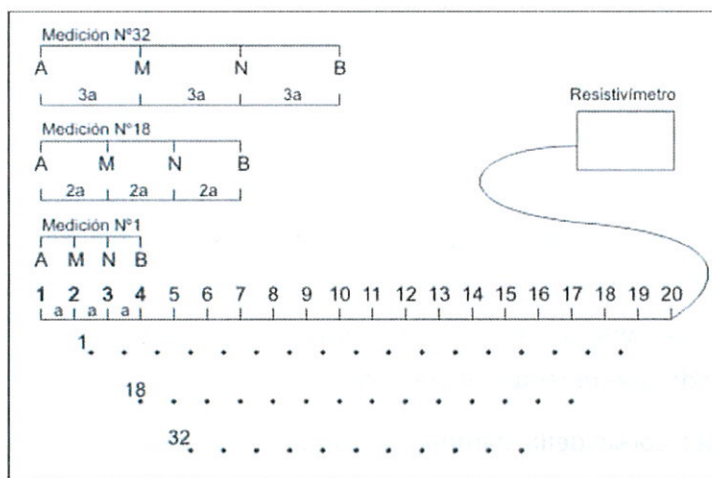


Fig. 7 – dispositivo Wenner

Le indagini sono state condotte con un georesistivimetro SYSCAL PRO della IRIS (Fig. 8)

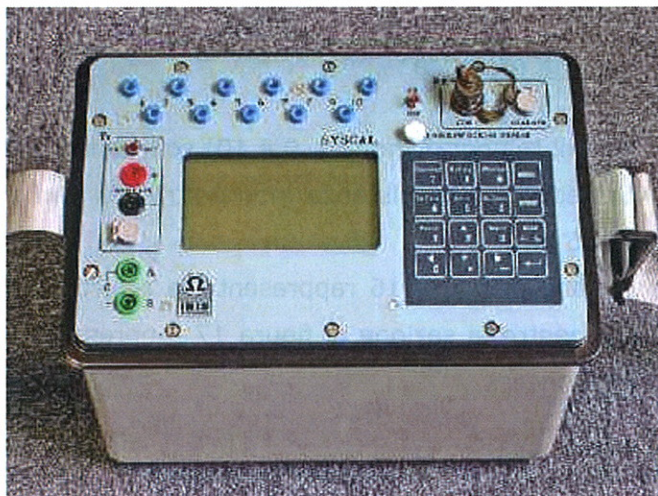


Fig.8 – Georesistivimetro Syscal Pro

Gli elettrodi sono stati infissi nel terreno e collegati mediante cavo multielettrodo allo strumento di acquisizione, in modo che le coppie di elettrodi possano funzionare alternativamente sia come elettrodi di corrente sia come elettrodi di misura.

In questo modo non solo le misure lungo ciascun profilo sono state effettuate in maniera automatica secondo la successione desiderata, ma sono stati ricavati un numero molto elevato di valori di resistività apparente a profondità e ubicazione diverse lungo il profilo stesso.

Le migliaia di misure ottenute sono state elaborate mediante software di inversione **Res2dinv** che ha consentito di identificare un modello di resistività del sottosuolo che si avvicina il più possibile a quello reale.

Le variazioni di resistività calcolate sono state rappresentate graficamente da un range di colori scelti in modo da esaltare le eventuali anomalie di resistività.

3.1.1. INTERPRETAZIONE DEI DATI ACQUISITI

Tomografia elettrica

Le sezioni tomografiche (fig. 9 e 10) sono state realizzate con una distribuzione lineare di 48 elettrodi, con distanza interelettrodo pari a 1,5 m, per una lunghezza totale pari a 70,5 m.

La sezione di figura 16 rappresenta la registrazione effettuata con dispositivo Dipolo Dipolo, mentre la sezione di figura 17 rappresenta la registrazione eseguita con metodologia Wenner.

Dall'analisi delle due sezioni si osserva la presenza di due sismostrati di cui quello superficiale è caratterizzato da valori di resistività che variano tra circa 100 Ohm*m e 1300 Ohm*m, con uno spessore variabile tra circa 2,0 m e circa 4,0 m.

In entrambe le sezioni si osserva un assottigliamento dello spessore nella parte centrale ed un aumento della resistività nella parte conclusiva della sezione a circa 60,0 m dal primo elettrodo.

Tale sismostrato è ascrivibile a depositi calcarenitici che potrebbero presentare un differente stato di imbibizione a causa di un diverso assetto tessiturale e stato fratturativo.

Osservando la sezione di figura 10, in seno al medesimo sismostrato, si osserva tra 18,0 m e 40,0 m un nucleo allungato che corrisponde ad un'area nella quale la vegetazione risulta meno radicata, ciò potrebbe essere dovuto alla scarsa presenza di suolo e ad una buona consistenza dei depositi affioranti.

Al di sotto del sismostrato descritto si osserva la presenza di un secondo sismostrato con valori di resistività variabili tra 4,0 Ohm*m e 100 Ohm*m.

I valori maggiori di resistività si osservano al passaggio tra i due elettrostrati.

In generale i valori di resistività sono molto bassi ad indicare sia la presenza di depositi molto conduttivi quali i depositi limoso argillosi che la presenza di una falda acquifera così come individuato nel sondaggio geognostico.

In questo elettrostrato si osservano due nuclei posti rispettivamente a circa 12,0 m e 50 m dal primo elettrodo, ad una profondità di circa 4,0 m (fig 9). Tali nuclei

potrebbero indicare la presenza di sacche acquifere inserite in depositi resistivi, ascrivibili a sabbie limose o calcareniti fratturate.

In generale tale elettrostrato risulta abbastanza omogeneo.

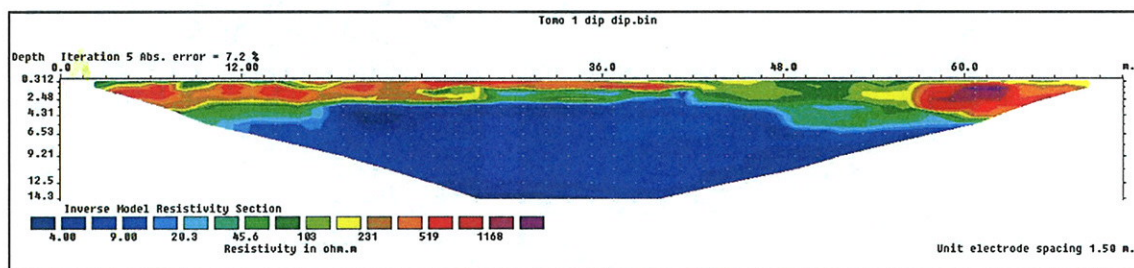


Fig. 9 - Sezione Tomografica con metodologia Dipolo Dipolo

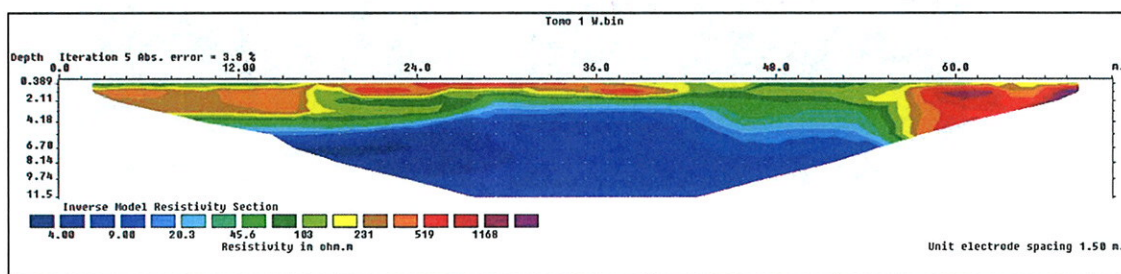


Fig. 10- Sezione Tomografica con metodologia Wenner



Fig. 11 e 12 - esecuzione tomografia elettrica

3.2. INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE

La campagna di indagini ha visto la realizzazione di una indagine sismica a rifrazione eseguita in onda P.

L'indagine è stata realizzata eseguendo 5 scoppi di cui due esterni e tre interni allo stendimento.

Come strumento di misura si è utilizzato un sismografo a 24 canali Mod. M.A.E. Sysmatrack.

Come apparato di ricezione delle onde P sono stati utilizzati n. 24 geofoni verticali da 4,5 Hz.

L'onda P è stata generata percuotendo verticalmente un piattello metallico posto sul piano campagna.

L'elaborazione è stata eseguita sia con metodologia wavefront che tomografica, utilizzando il software Rayfract Ver. 3.17 della Intelligent Resources Inc.

La metodologia wavefront permette di individuare gli orizzonti rifrangenti e di determinare le velocità medie dei sismostrati, mentre con la metodologia tomografica è possibile definire un modello sismostratigrafico del sottosuolo evidenziando variazioni sia verticali che orizzontali delle velocità delle onde elastiche.

Il parametro utilizzato per definire le proprietà elastiche dei terreni, è la velocità di propagazione delle onde, i cui valori sono proporzionali al grado di compattezza dei mezzi attraversati.

Pertanto è possibile che litologie differenti siano caratterizzate da medesima velocità delle onde sismiche, il che comporta l'inserimento delle stesse in uno stesso sismostrato o viceversa la stessa litologia può essere caratterizzata da differenti valori di velocità sismica a causa, ad esempio, del maggiore o minore stato di addensamento ed integrità della roccia, inserendo i due corpi in sismostrati differenti.

L'elaborazione con metodologia tomografica permette di evidenziare, entro uno stesso strato, tipici effetti di anisotropia laterale evidenziati da significative variazioni dei valori di velocità di propagazione delle onde elastiche, che evidenziano stati particolari di degradazione non individuabili facilmente con la sismica a rifrazione classica.

3.2.1. INTERPRETAZIONE DEI DATI DI CAMPAGNA

Sismica a rifrazione n. 1

Il profilo è stato realizzato con una distanza intergeofonica di 3,0 m ed una lunghezza totale dello stendimento pari a 69,0 m.

L'elaborazione dei dati eseguita con il metodo Wavefront ha permesso di discriminare la presenza di due sismostrati di cui quello superficiale dello spessore di circa 3,0 m presenta una velocità media delle onde P pari a circa 600 m/s.

Tale sismostrato è ascrivibile a depositi da poco a mediamente consistenti.

Il secondo sismostrato, di spessore indefinito, è caratterizzato da un valore medio della velocità delle onde P pari a circa 1500 m/s. Tale sismostrato, visti i valori di velocità delle onde sismiche, è attribuibile alla presenza di una falda libera così come osservato dalle indagini dirette.

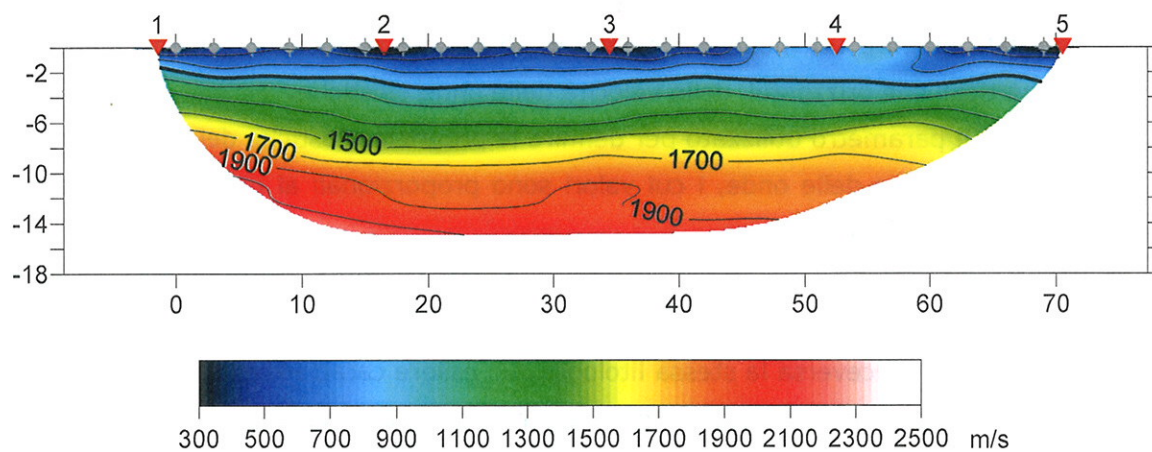


Fig 13 - Sezione sismica tomografica



Fig 14 Esecuzione indagine sismica a rifrazione e indagine MASW

4. PROSPEZIONE SISMICA ATTIVA CON METODOLOGIA MASW

4.1. METODOLOGIA DI INDAGINE

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo di fondazione, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente (**V_{S30}**) di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano di posa delle fondazioni (DM 14/02/2008 *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*).

La velocità equivalente delle onde di taglio **V_{S30}** è definita dall'espressione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

dove:

- h_i spessore (in metri) dell' i -esimo strato compreso nei primi 30 m di profondità;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;
- N numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità.

In base ai valori che si ottengono si individuano 5 classi di terreno, **A**, **B**, **C**, **D** e **E** ad ognuna delle quali è associato un determinato spettro di risposta elastico (Tab.7).

Classe	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{S30} superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $360 \text{ m/s} < V_{S30} < 800 \text{ m/s}$ (ovvero $N_{SPT30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $C_{u30} > 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $180 \text{ m/s} < V_{S30} < 360 \text{ m/s}$. (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < C_{u30} < 250 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $C_{u30} < 70 \text{ kPa}$ nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessori non superiori a 20 m, postisul substrato di riferimento (con $V_{S30} > 800 \text{ m/s}$).

Tabella 7 – Classi di suolo

In generale il fenomeno dell'amplificazione sismica diventa più accentuato passando dai terreni appartenenti alla classe A a quelli appartenenti alla classe E.

Alle categorie appena descritte se ne aggiungono altre due per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare (Tab.8).

Classe	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{S30} < 100 \text{ m/s}$ (ovvero $10 < C_{u30} < 20 \text{ kPa}$) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Tabella 8 – Classi di suolo speciali

L'indagine sismica MASW permette, di stimare la velocità media delle onde S relativamente al volume di suolo sotteso dallo stendimento realizzato analizzando la velocità delle onde di Rayleigh.

Infatti le onde superficiali di Rayleigh si trasmettono sulla superficie della crosta terrestre con una velocità leggermente inferiore a quella delle onde S con rapporto V_R/V_S pari a circa 0,9.

Le onde superficiali di Rayleigh si trasmettono sulla superficie della crosta terrestre e sono il risultato dell'interferenza tra le onde di pressione (P) e le onde di taglio (S).

La natura dispersiva di queste onde fa sì che le onde ad alta frequenza si propagano negli strati più superficiali, mentre quelle a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi.

Il metodo MASW è un metodo attivo e per la sua esecuzione è necessario eseguire uno o più scoppi ad uno dei vertici di uno stendimento lineare di geofoni, in modo da produrre un'onda che si propagherà nel suolo con una sua velocità di fase in un range di frequenze comprese tra 2 Hz e 70 Hz.

L'elaborazione dei dati sperimentali in un'indagine MASW si sviluppa in due momenti: in un primo momento, partendo dallo spettro di velocità si effettua il calcolo della curva di dispersione sperimentale, successivamente si effettua un processo di inversione, ossia si calcola la velocità di fase numerica che fitta (approssima) meglio quella sperimentale (Fig.15).

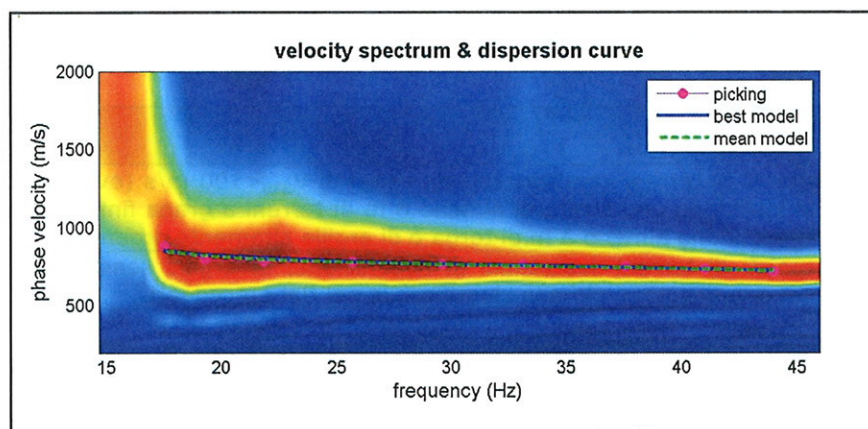


Fig. 15 Spettro delle velocità e curva di dispersione

Questo processo si esegue attraverso un sistema di prove *trial and error* nel quale, modificando opportunamente i parametri a contorno, si minimizza l'errore e

dunque si ottiene la migliore sovrapposizione tra le due curve a confronto (Fig. 15) avvicinandosi il più possibile al valore reale.

La registrazione in campagna è stata eseguita con un sismografo M.A.E. Mod. Sysmatrack con risoluzione a 24 bit, come sensori di misura si è utilizzato un set di 24 geofoni da 4.5 Hz, il tempo di acquisizione è stato di 2 secondi con intervallo di campionamento di 1 millisecondo per un totale di 2000 campioni acquisiti.

Per una più corretta analisi dei dati sono stati effettuati 3 scoppi per lato dello stendimento e di tutti gli scoppi eseguiti è stato scelto quello più rappresentativo.

In definitiva l'indagine permette di ricavare il profilo delle velocità delle onde S per i primi 30 m dal piano campagna (Fig.16)

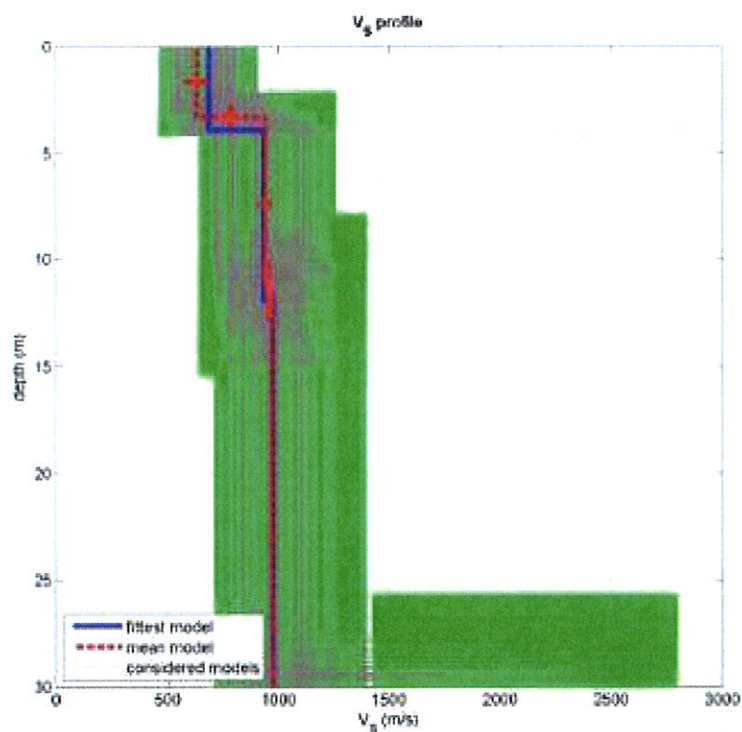


Fig. 16 profilo verticale della velocità delle onde S

L'analisi dei dati registrati in campagna, è stata eseguita con il software di inversione WinMASW (Ver. 7.0) della EliaSoft.

Questo software, oltre al metodo di inversione classico descritto in precedenza, permette di effettuare una inversione dei dati attraverso un metodo definito *FVS (Full Velocity Spectrum)*. Tale metodo a differenza di quanto visto in precedenza permette di analizzare tutto lo spettro e non solamente il picco massimo dello spettro. In questo modo si minimizza la soggettività della interpretazione dovuta alla fase di picking dello spettro.

Per il sito in oggetto si è preferito utilizzare questa metodologia di inversione.

4.1.1. INTERPRETAZIONE DEI DATI ACQUISITI

L'indagine Masw in oggetto è stata eseguita lungo lo stesso allineamento della sismica a rifrazione, utilizzando 24 geofoni da 4,5 Hz con distanza intergeofonica di 3,00 m per una lunghezza pari a 69,0 m.

In fase di elaborazione sono stati considerati 18 geofoni, ed un tempo di acquisizione di 0,8 secondi (Fig. 17), esclusivamente per snellire la fase di calcolo senza alterare in nessuna maniera il calcolo dello spettro di velocità (*Dal Moro - 2014 - Surface Wave Analysis for near surface application*).

Di seguito si riportano le risultanze dell'indagine eseguita:

dataset: m1.sg2
sampling: 1ms [1000Hz] - 801 samples
minimum offset: 5 m
geophone spacing: 3 m

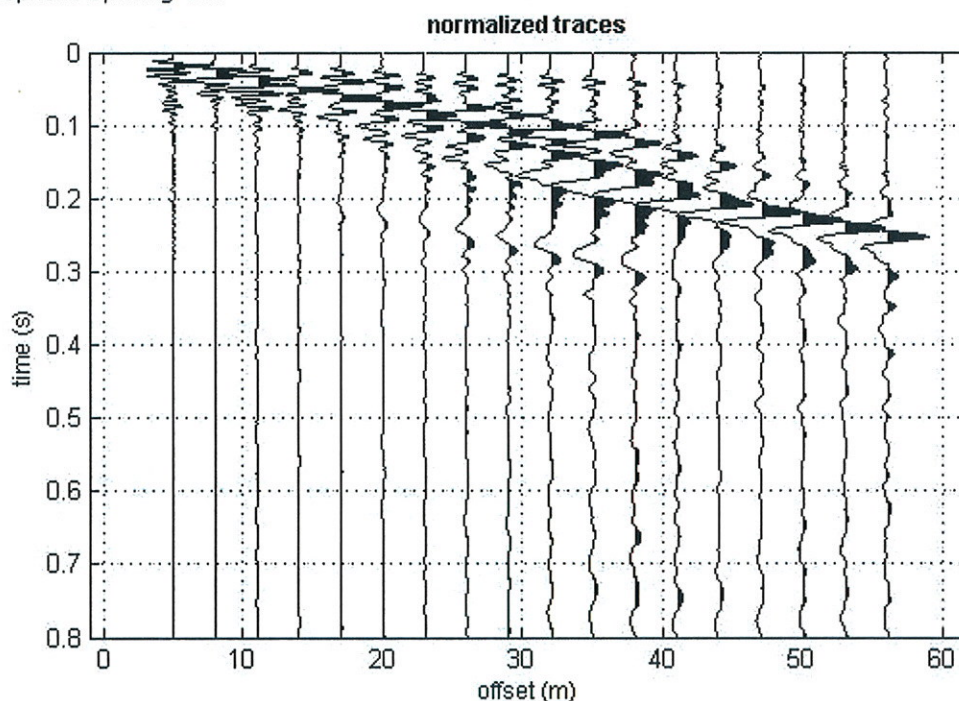


Fig. 17-Dataset di acquisizione

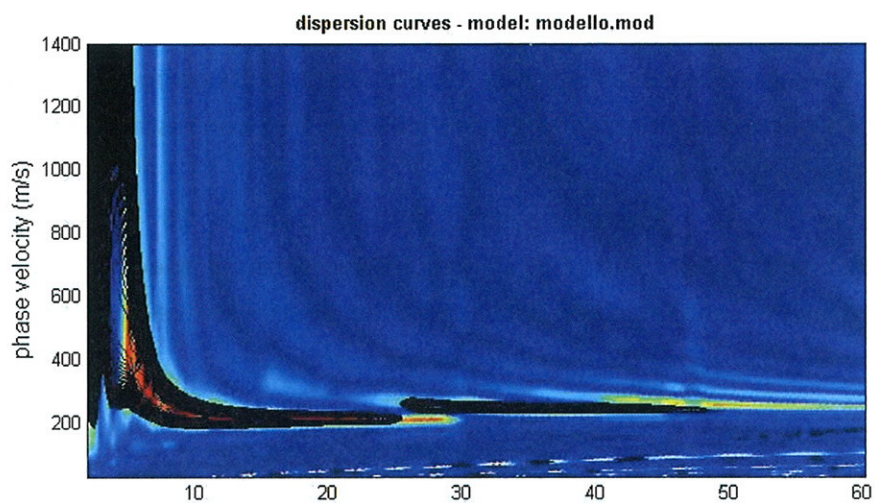


Fig. 18 - Spettro di velocità e curva di dispersione individuata (FVS)

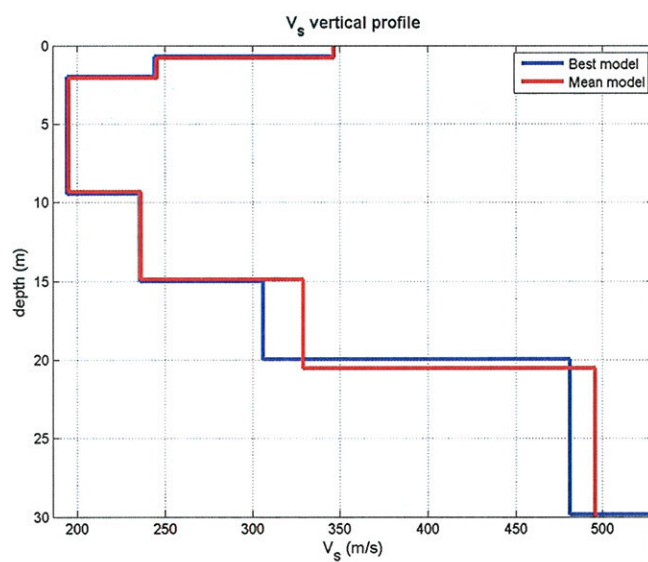


Fig. 19- Profilo delle velocità delle onde S

La curva di dispersione individuata (fig.18) ha trovato un best fitting nel modello sismostratigrafico riportato in figura 19.

Nella stessa figura si osserva il modello medio di tutti i modelli considerati ed in particolare si osserva il modello che ha prodotto un best fitting con lo stesso.

Di seguito si riporta il dettaglio del profilo di velocità delle onde S.

Profondità (m)	Spessore dello strato (m)	Velocità onde S (m/s)
0.7	0.7	347
2.0	1.3	244
9.5	7.5	194
15	5.5	235
20	5	306
indefinito	indefinito	481

Tab. 9 – sismostratigrafia delle onde S

L'analisi dei dati ha consentito di stimare un valore di **V_{s30}** , al piano campagna, pari a **282 m/s**. La velocità determinata definisce il suolo di sedime, classificandolo nella categoria **C**.

5. PARAMETRI ELASTICI

Dai valori delle velocità delle onde sismiche P ottenute dall'indagine sismica a rifrazione e dai valori di onda S stimati attraverso l'indagine MASW, sono stati ricavati, per ciascuno dei sismostrati definiti, i seguenti moduli dinamici:

- *coefficiente di Poisson ν*
- *modulo di Young **E***
- *modulo di taglio **G***
- *modulo di incompressibilità **K***
- *rigidità sismica **R_i***

Nella sottostante tabella sono riassunti i valori delle velocità medie equivalenti dei sismostrati e dei moduli elastici dinamici dei terreni investigati (Tab.10).

Profilo sismico	γ	V_p (m/s)	V_s (m/s)	ν	E (MPa)	G (MPa)	K (MPa)	R_i (KNKm/m³s)
Spessore medio strato n. 1 3,0 m	16,43	600	272	0,37	333	122	429	4,47
indefinito	18,71	1.500	230	0,49	295	99	4078	4,30

Tab. 10 – Tabella riepilogativa dei parametri elastici e dinamici

Nota: I valori di γ (KN/m³) sono riferiti a dati ottenuti da prove di laboratorio eseguite nell'ambito dei lavori in oggetto.

6. MISURE HVSR IN CAMPO LIBERO

Le misure HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) rappresentano una metodologia geofisica, non invasiva e speditiva, che permette di verificare la presenza di effetti di amplificazione sismica locale e di definire la frequenza fondamentale di vibrazione del suolo oggetto di studio, attraverso l'analisi del rapporto spettrale fra la componente orizzontale e quella verticale del noise (rumore ambientale).

La misura è stata effettuata con un Tromometro (TROMINO) (fig. 20), che dispone di tre canali analogici connessi a tre velocimetri disposti secondo tre direzioni ortogonali: NS, EW ed Alto-Basso.

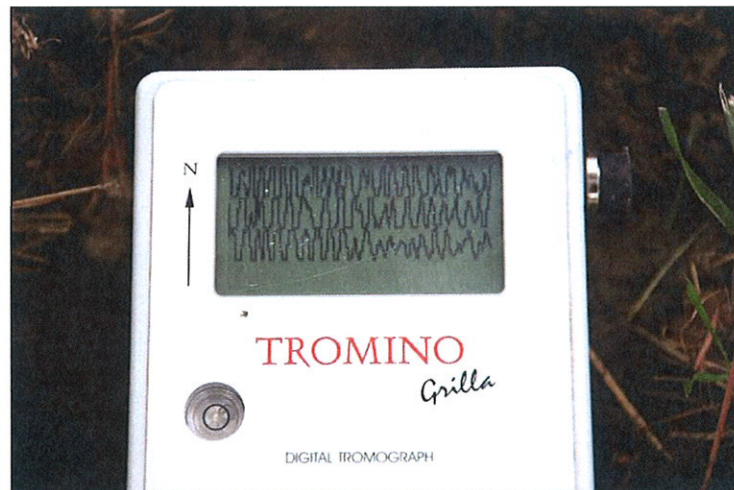


Fig. 20 Strumento di misura HVSR

Il rumore ambientale, viene amplificato e convertito in forma digitale per poi essere successivamente elaborato con il programma Grilla della Micromed S.p.A., secondo le direttive dal progetto di ricerca europeo SESAME

La misura è stata eseguita con una frequenza di campionamento di 128 Hz.

In questa fase lo strumento è stato posizionato con il lato lungo rivolto in direzione Nord-Sud.

Il tempo di acquisizione è stato di 20 minuti.

In fase di elaborazione è stata utilizzata una finestra di campionamento di 20 secondi, che è risultata la migliore in relazione al tempo totale di acquisizione.

Di seguito sono riportati i rapporti di prova e le relative interpretazioni grafiche.

CITTADELLA DELLA SICUREZZA, 1

Strumento: TEN-0003/01-06

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 04/02/16 14:08:38 Fine registrazione: 04/02/16 14:28:39

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 82% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

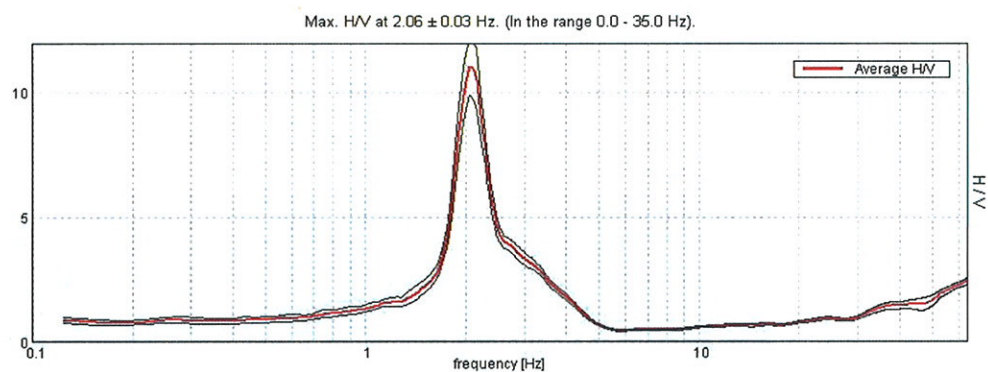


Fig. 21

SERIE TEMPORALE H/V

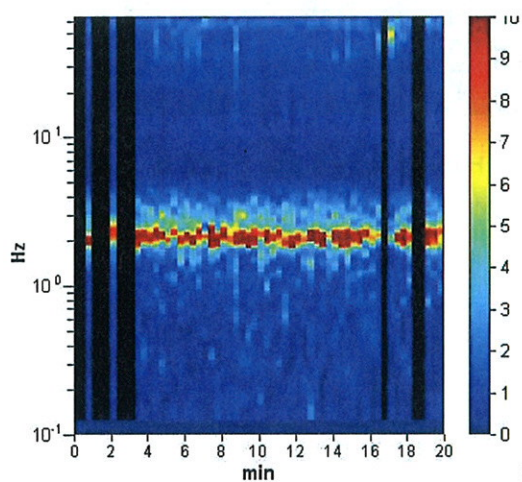


Fig.22

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

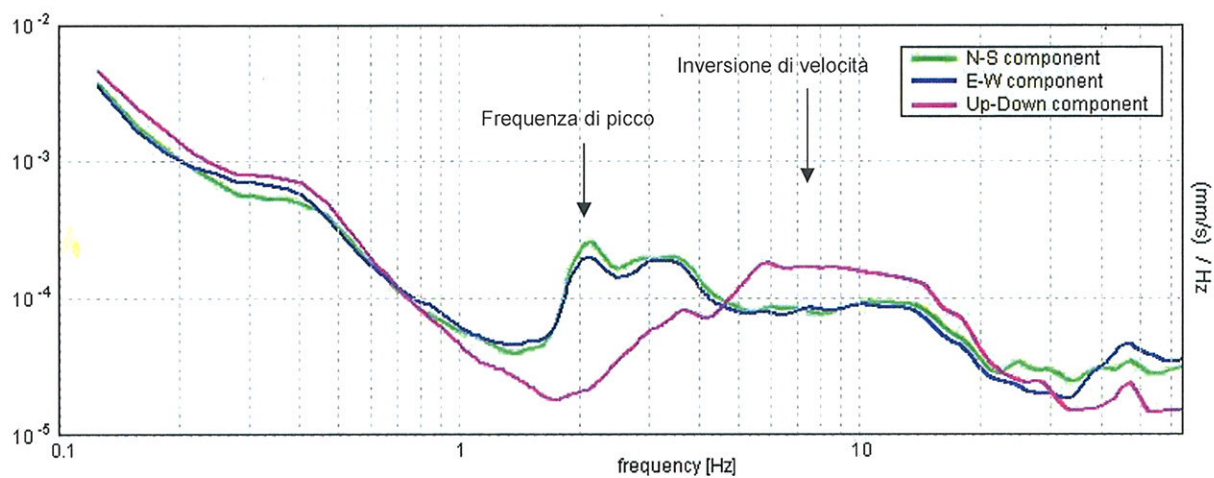
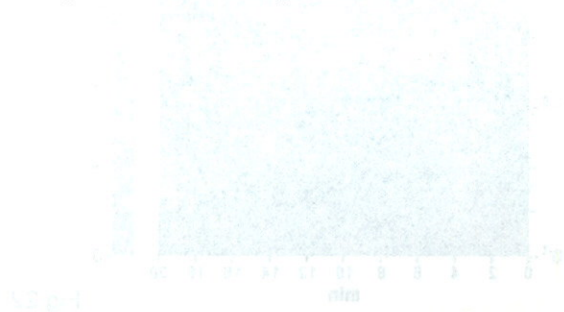


Fig.23



Fig. 24 - Ubicazione indagine HVSR e Tomografia Elettrica



Picco H/V a 2.06 ± 0.03 Hz (nell'intervallo 0.0 - 35.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.06 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$2021.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 100	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.781 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.406 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$11.04 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01352 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.02788 < 0.10313$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$1.1153 < 1.58$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 - 0.5	0.5 - 1.0	1.0 - 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Analizzando le risultanze dell'indagine si osserva la presenza di un importante picco a frequenza di $2,06 \pm 0,03$ Hz.

Questo valore di frequenza rappresenta la frequenza fondamentale del sito, ossia il valore di frequenza che, in caso di sisma, potrebbe produrre effetti di risonanza qualora la struttura da realizzate avesse la stessa frequenza propria di vibrazione.

L'elevata ampiezza della curva implica una importante amplificazione sismica che caratterizza il sito.

L'ampiezza di un picco H/V è proporzionale alla impedenza acustica tra i suoli a contatto, pertanto considerando che la frequenza di vibrazione di un sito è definita dalla seguente relazione:

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

con

f - frequenza

V_s - velocità delle onde S dello strato superficiale

H - spessore dello strato

Partendo da questa formula e considerando le velocità delle onde S ottenute dall'indagine MASW, si può stimare uno spessore dei depositi argillosi poco superiore ai 30 m, inoltre si può affermare che tali depositi poggiano su un bedrock molto consistente.

Osservando la figura 23 si osserva la presenza di una inversione di velocità che potrebbe essere dovuta alla presenza dello strato superficiale calcarenitico che poggia sui depositi limoso argillosi.

GEOSOLUTION S.r.l.

Geol. Vincenzo DOTTORINI



REGIONE PUGLIA

COMUNE DI CASTELLANETA

REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA:
CASERMA COMPAGNIA DEI CARABINIERI, CASERMA DELLA
GUARDIA DI FINANZA, NEL COMUNE DI CASTELLANETA (TA)



INDAGINI GEOFISICHE

ALLEGATO 1:

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI

COMMITTENTE:

Geol. Donato PERNIOLA
Parco Valentino
Castellaneta (TA)

IL TECNICO:

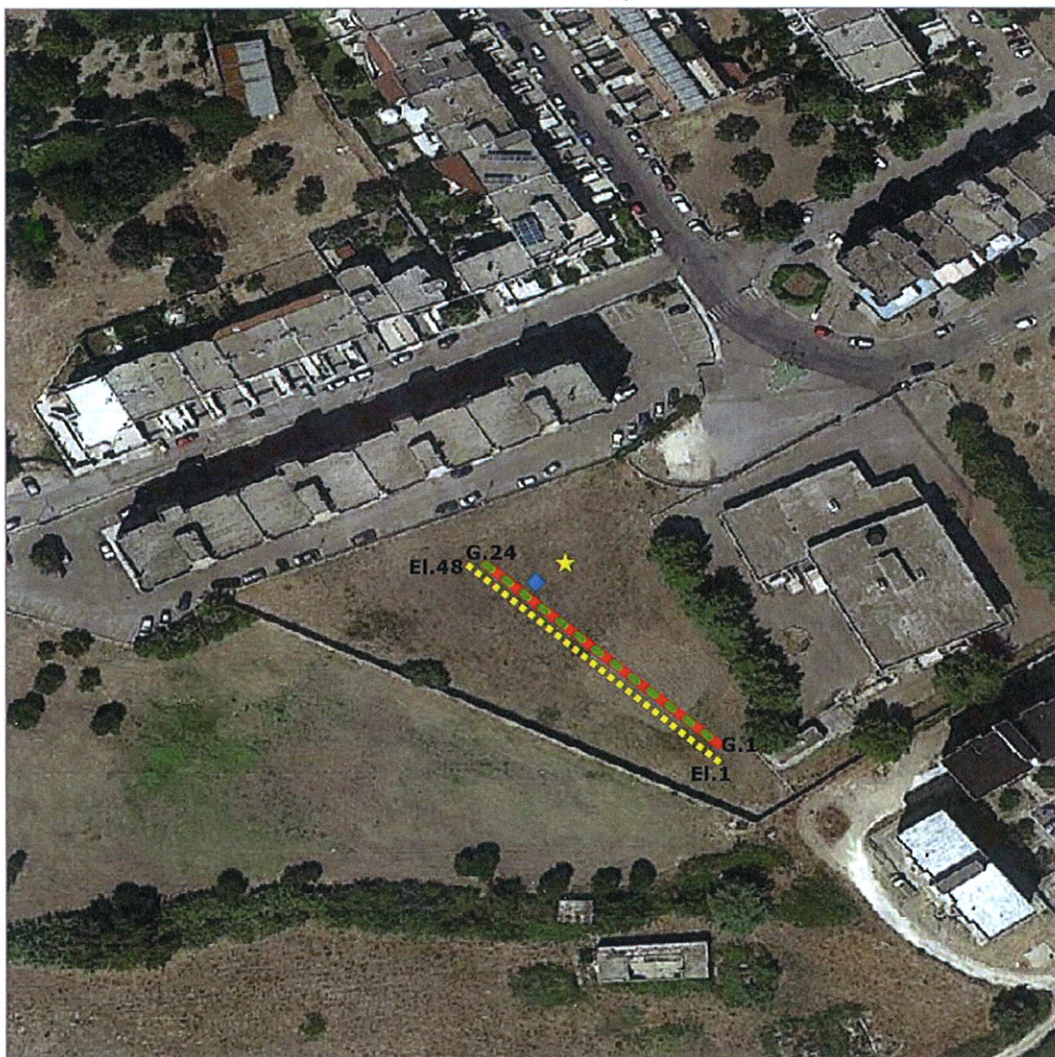
Geol. Vincenzo DOTTORINI

DATA :

APRILE 2016



Via del Mercato n. 2 - 74011 Castellaneta (TA)
P.Iva 03031400736 - Tel. 328/4710530 - 320/3372247
e-mail: geosolutionsrl@gmail.com - PEC: geosolutionsrl@pec.it



Legenda

- ★ Sondaggio meccanico
- Tomografia elettrica
- Indagine sismica e MASW
- ◆ Indagine HVSR

10 0 10 20 30 40 m



10/10/2018 10:10:10

10/10/2018 10:10:10



10/10/2018 10:10:10

REGIONE PUGLIA

COMUNE DI CASTELLANETA

REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA:
CASERMA COMPAGNIA DEI CARABINIERI, CASERMA DELLA
GUARDIA DI FINANZA, NEL COMUNE DI CASTELLANETA (TA)



INDAGINI GEOFISICHE

ALLEGATO 2:

TAVOLE INDAGINI GEOELETTRICHE

COMMITTENTE:

Geol. Donato PERNIOLA
Parco Valentino
Castellaneta (TA)

IL TECNICO:

Geol. Vincenzo DOTTORINI

DATA :

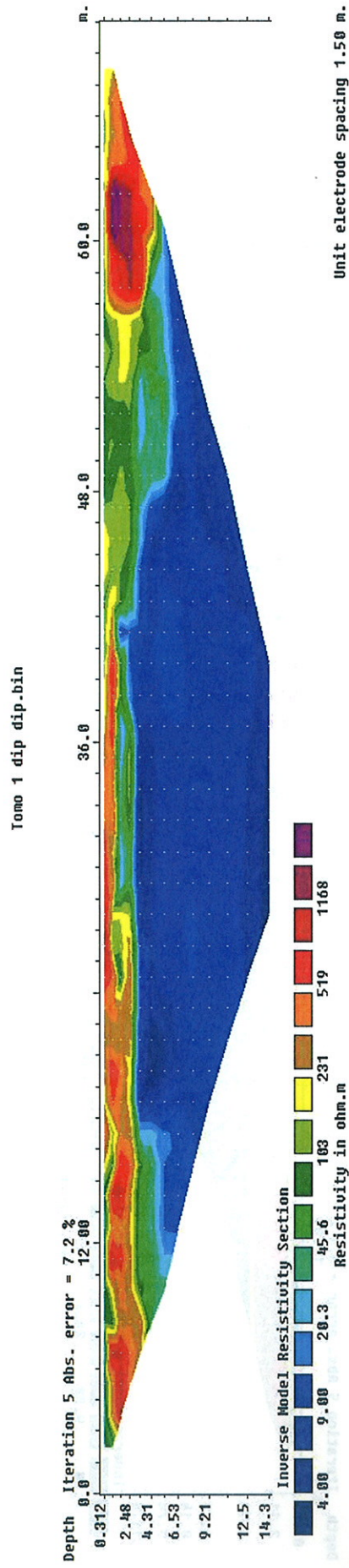
APRILE 2016



Via del Mercato n. 2 - 74011 Castellaneta (TA)
P.Iva 03031400736 - Tel. 328/4710530 - 320/3372247
e-mail: geosolutionsrl@gmail.com - PEC: geosolutionsrl@pec.it

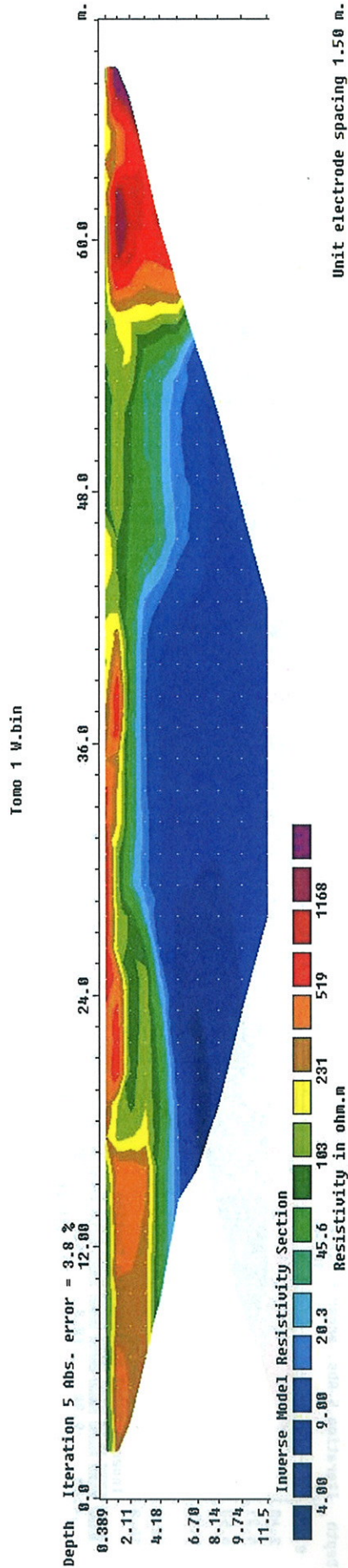
TOMOGRAFIA ELETTRICA N. 1

Luogo di esecuzione: Castellaneta – Cittadella della Sicurezza
Data esecuzione: 04/02/2016
Metodologia adottata: DIPOLLO DIPOLLO
Numero elettrodi: 48
Spaziatura elettrodi: 1.5 m
Coordinate geografiche WGS 84 UTM 33T – elettrodo 1: Latitudine 4498872.72– Longitudine 662690.99
Azimut dell'elettrodo 24: N 315°



TOMOGRAFIA ELETTRICA N. 2

Luogo di esecuzione:	Castellaneta - Cittadella della Sicurezza
Data esecuzione:	04/02/2016
Metodologia adottata:	WENNER
Numero elettrodi:	48
Spaziatura elettrodi:	1.5 m
Coordinate geografiche	WGS 84 UTM 33T - elettrodo 1: Latitudine 4498872.72- Longitudine 662690.99
Azimut dell'elettrodo 24:	N 315°



REGIONE PUGLIA

COMUNE DI CASTELLANETA

REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA:
CASERMA COMPAGNIA DEI CARABINIERI, CASERMA DELLA
GUARDIA DI FINANZA, NEL COMUNE DI CASTELLANETA (TA)



INDAGINI GEOFISICHE

ALLEGATO 3:

TAVOLE INDAGINE SISMICA A RIFRAZIONE

COMMITTENTE:

Geol. Donato PERNIOLA
Parco Valentino
Castellaneta (TA)

IL TECNICO:

Geol. Vincenzo DOTTORINI

DATA :

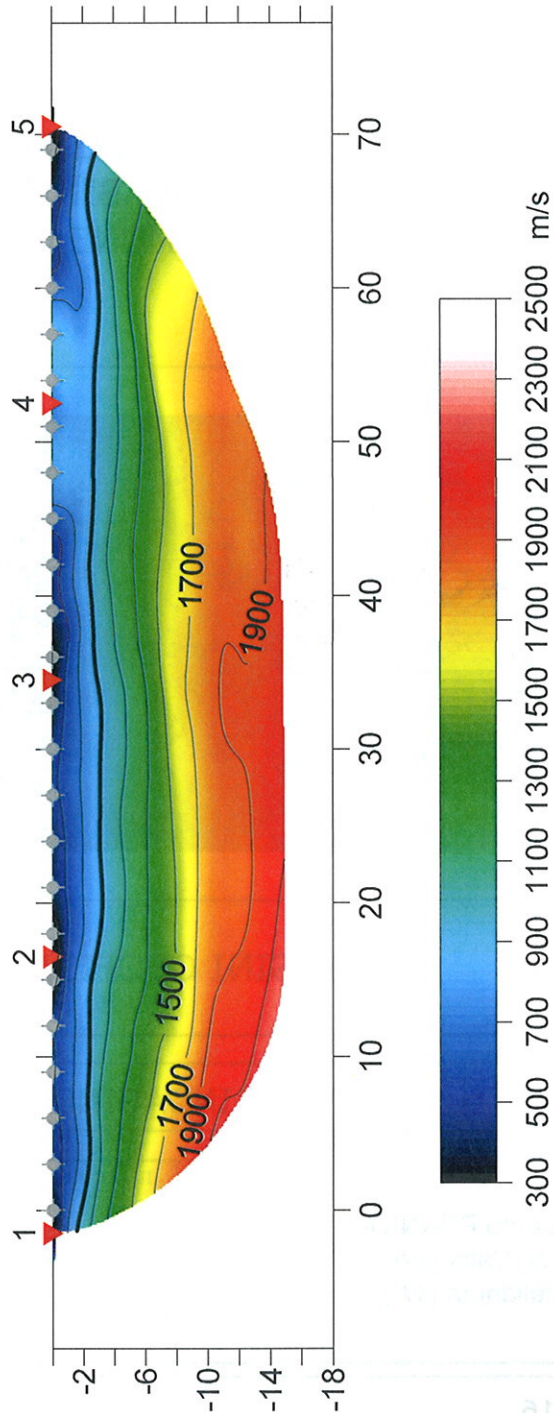
APRILE 2016



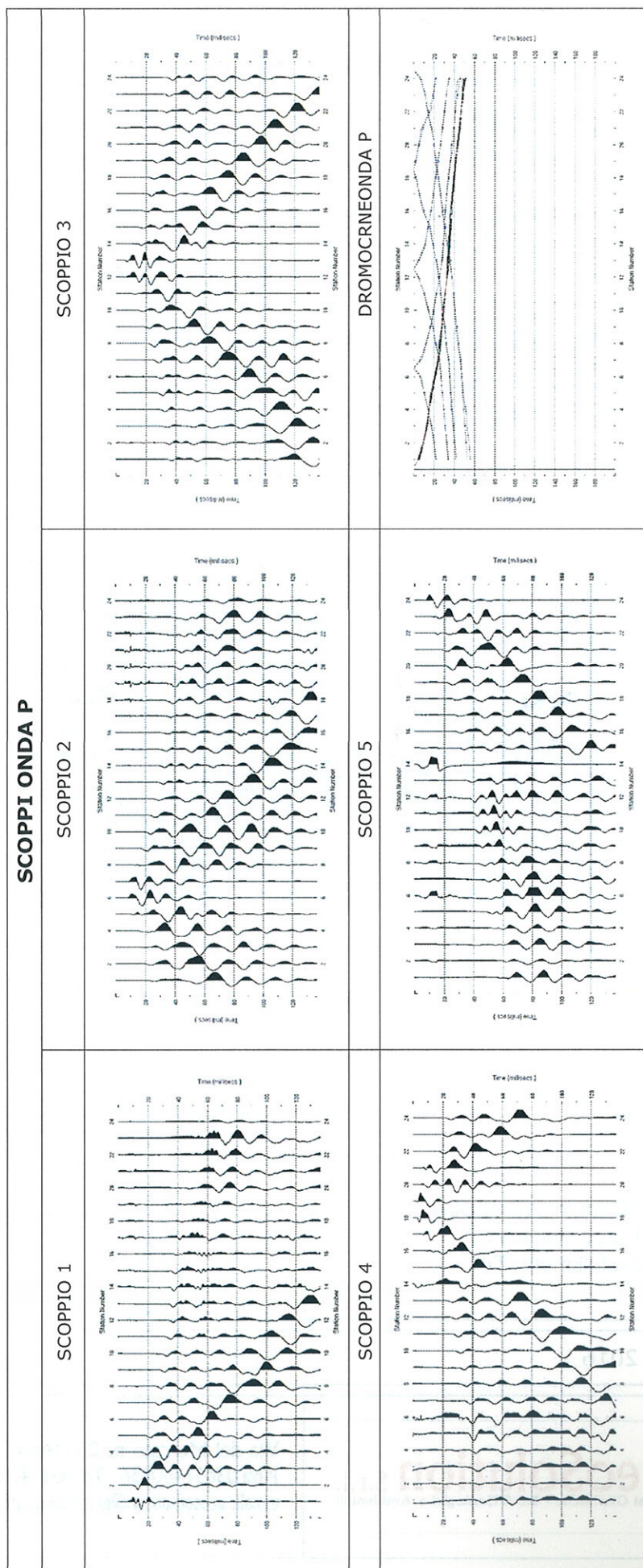
Via del Mercato n. 2 - 74011 Castellaneta (TA)
P.Iva 03031400736 - Tel. 328/4710530 - 320/3372247
e-mail: geosolutionsrl@gmail.com - PEC: geosolutionsrl@pec.it

TOMOGRAFIA SISMICA N. 1 - ONDA P

Luogo di esecuzione: Castellaneta - Cittadella della sicurezza
Data esecuzione: 28/01/2016
Metodologia adottata: tomografia sismica in onda P
Numero geofoni: 24
Numero scoppi: 5
Spaziatura geofoni: 3.0 m
Coordinate geografiche WGS 84 UTM 33T - punto 2: Latitudine 4498875.12 - Longitudine 662688.29
Azimut del punto 6: N 315°



DATI ACQUISITI



REGIONE PUGLIA

COMUNE DI CASTELLANETA

REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA:
CASERMA COMPAGNIA DEI CARABINIERI, CASERMA DELLA
GUARDIA DI FINANZA, NEL COMUNE DI CASTELLANETA (TA)



INDAGINI GEOFISICHE

ALLEGATO 4:

CERTIFICATI PROVE DI LABORATORIO

COMMITTENTE:

Geol. Donato PERNIOLA
Parco Valentino
Castellaneta (TA)

IL TECNICO:

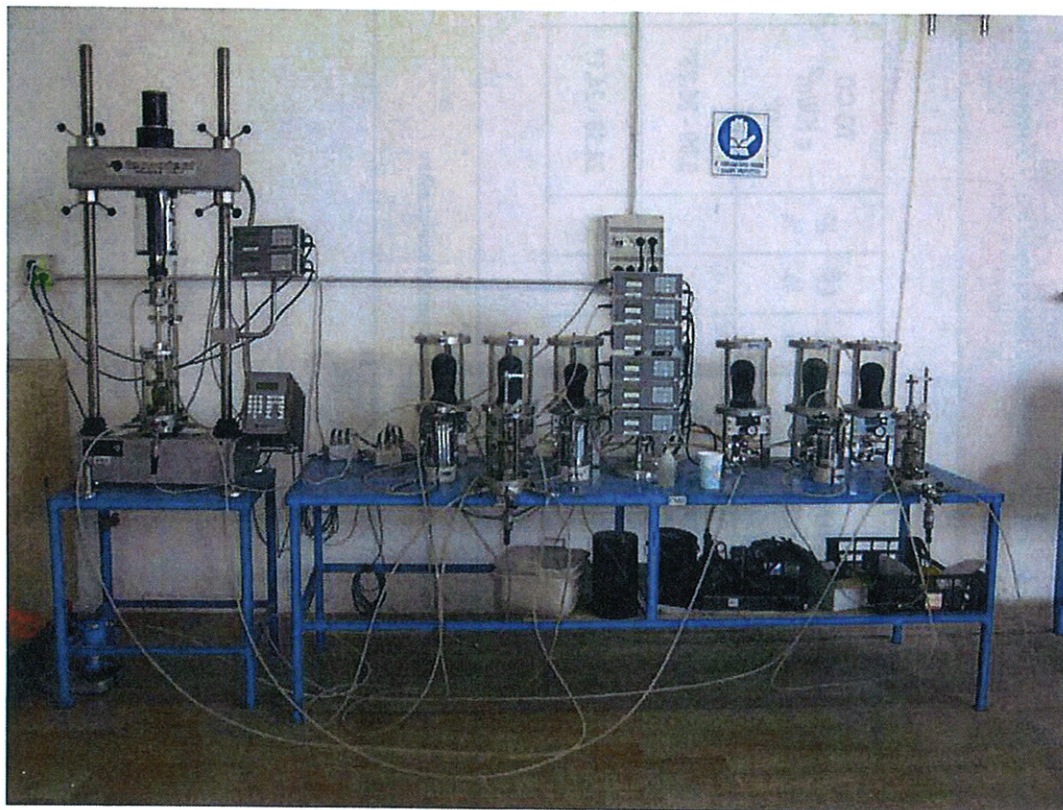
Geol. Vincenzo DOTTORINI

DATA :

APRILE 2016



Via del Mercato n. 2 - 74011 Castellaneta (TA)
P.Iva 03031400736 - Tel. 328/4710530 - 320/3372247
e-mail: geosolutionsrl@gmail.com - PEC: geosolutionsrl@pec.it



Laborgéo s.r.l.
Via Dei Mestieri n° 16 – 75100 MATERA
Tel. 0835.387641 - E-mail: laborgéo@tin.it

***LABORATORIO GEOTECNICO PROVE SU TERRE, AUTORIZZATO AI SENSI DELL'ART.
 59 DEL D.P.R. N° 380/2001
 Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi***

**Indagini geognostiche relative ai lavori per la realizzazione della
 Cittadella della Sicurezza: Caserma Compagnia Carabinieri, Caserma
 della Guardia di Finanza nel Comune di Castellaneta (TA)**

Committente:

GEOSOLUTION s.r.l.
Via del Mercato n° 2
74011 CASTELLANETA (TA)

Verbale di accettazione n° 21/2016 del 01.02.2016

Certificati emessi dal n° 138/2016 al n° 148/2016

QUADRO RIASSUNTIVO E INTERPRETATIVO DELLE ANALISI GEOTECNICHE

INDAGINI GEOGNOSTICHE RELATIVE AI LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA: CASERMA COMPAGNIA CARABINIERI, CASERMA DELLA GUARDIA DI FINANZA

Sond.	Camp	Profondità m	W %	γ_v KN/m^3	γ_d KN/m^3	γ_{sat} KN/m^3	γ_s KN/m^3	e	n %	Sr %	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	LL %	LP %	IP %	TG CD $c \text{ KN/m}^2$ ϕ°	CNR-UNI 10006
1	1	1.00-1.50	13.76	16.43	14.44	19.05	26.80	0.856	46.11	43.10	19.42	45.00	28.78	6.80				0.00 - 35.23°	N.D.
1	2	5.00-5.50	28.09	18.71	14.61	19.28	27.40	0.876	46.69	87.88	0.07	1.43	58.40	40.10	61	40	21	24.38 - 24.1°	A - 7 - 5 MH

Legenda:

W= Umidità naturale - γ_v = Peso di volume naturale - γ_d = Peso di volume secco - γ_s = Peso specifico - e= Indice dei vuoti - n= Porosità - Sr=Grado di saturazione - γ_{sat} =peso di volume saturo

L.L.= Limite liquido - L.P.= Limite plastico - IP= Indice plastico - c= Coesione - ϕ = Angolo di attrito interno

LABORGEO s.r.l.
Via Dei Mestieri n°16 75100 - Matera
Tel/Fax 0835 387641
laborgeo@tin.it P. IVA 00671730778

Azienda con Sistema Qualità Certificato ISO 9001:2008
Star Quality Services Italia S.p.A. - certificato n° 00101/111

1 di 1

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 138 Del 15.02.2016

Committente	GEOSOLUTION s.r.l.
Indirizzo	Via del Mercato n° 2, 74011 Castellaneta (TA)
Progetto/Lavoro	INDAGINI GEOGNOSTICHE RELATIVE AI LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA: CASERMA COMPAGNIA CARABINIERI, CASERMA DELLA GUARDIA DI FINANZA

Località prelievo campione	CASTELLANETA (TA)				
Sondaggio n°	1	Campione n°	1	Profondità:	1.00 - 1.50 m
Classe di qualità dichiarata	Q.5	Tipo contenitore	Busta in plastica sigillata		
Descrizione visiva del campione	Calcareniti di colore bianco-giallastro ridotta in sabbia				

MISURA DEL PESO DELL'UNITA' DI VOLUME
(BS 1377T15/e)

Caratteristiche geometriche dei provini

Numero provino	Provino 1	Provino 2	U.M.
Altezza media	2.00	2.00	cm
Lato del provino	6.00	6.00	cm
Area del provino	36.00	36.00	cm ²
Volume del provino	72.00	72.00	cm ³

Numero provino	Provino 1	Provino 2	U.M.
Massa provino	118.11	118.46	g
Volume provino	72.00	72.00	cm ³
Peso dell'unità di volume	16.40	16.45	KN/m ³
Peso dell'unità di volume medio	16.43		KN/m ³

Data Inizio Prova: 04.02.2016
Note:

Data Fine Prova: 04.02.2016

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo



LABORGEO s.r.l.

Via Dei Mestieri n°16 75100 - Matera

Tel/Fax 0835 387641

laborggeo@tin.it P. IVA 00671730778

Azienda con Sistema Qualità Certificato ISO 9001:2008
Star Quality Services Italia S.p.A. - certificato n° 00101/111

1 di 1

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 139 Del 15.02.2016

Committente	GEOSOLUTION s.r.l.
Indirizzo	Via del Mercato n° 2, 74011 Castellaneta (TA)
Progetto/Lavoro	INDAGINI GEOGNOSTICHE RELATIVE AI LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA: CASERMA COMPAGNIA CARABINIERI, CASERMA DELLA GUARDIA DI FINANZA

Località prelievo campione	CASTELLANETA (TA)		
Sondaggio n° 1	Campione n° 1	Profondità:	1.00 - 1.50 m
Classe di qualità dichiarata	Q.5	Tipo contenitore:	Busta in plastica sigillata
Descrizione visiva del campione	Calcarenite di colore bianco-giallastro ridotta in sabbia		

MISURA DEL CONTENUTO NATURALE D'ACQUA
(ASTM D2216)

Misura	1	2	U.M.
Massa tara	99.25	99.85	g
Massa tara + massa campione umido	2.113.84	2.088.44	g
Massa tara + massa campione secco	1.873.05	1.845.22	g
Contenuto naturale d'acqua	13.57	13.94	%
Contenuto naturale medio d'acqua	13.75		%

Data Inizio Prova: 03.02.2016

Data Fine Prova: 04.02.2016

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo

LABORGEO s.r.l.

Via Dei Mestieri n°16 75100 - Matera

Tel/Fax 0835 387641

laborgeo@tin.it P. IVA 00671730778

Azienda con Sistema Qualità Certificato ISO 9001:2008
Star Quality Services Italia S.p.A. - certificato n° 00101/111

1 di 1

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 140 Del 15.02.2016

Committente	GEOSOLUTION s.r.l.
Indirizzo	Via del Mercato n° 2, 74011 Castellaneta (TA)
Progetto/Lavoro	INDAGINI GEOGNOSTICHE RELATIVE AI LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA: CASERMA COMPAGNIA CARABINIERI, CASERMA DELLA GUARDIA DI FINANZA

Località prelievo campione	CASTELLANETA (TA)				
Sondaggio n°	1	Campione n°	1	Profondità	1.00 - 1.50 m
Classe di qualità dichiarata	Q.5	Tipo contenitore:	Busta in plastica sigillata		
Descrizione visiva del campione	Calcarenite di colore bianco-giallastro ridotta in sabbia				

MISURA DEL PESO SPECIFICO DEI GRANI

(ASTM D854)

Misura	1	2	U.M.
Massa picnometro	36.67	36.88	g
Massa picnometro + massa campione secco	61.73	61.89	g
Massa campione secco	25.06	25.01	g
Massa picnometro + massa campione secco + massa acqua	165.91	174.18	g
Massa picnometro + massa acqua	140.85	149.17	g
Massa picnometro + massa acqua + massa campione	156.30	164.60	g
Volume del campione	9.61	9.58	cm ³
Temperatura di prova	20	20	°C
Peso specifico dei grani a T=20°C	26.08	26.11	kN/m ³
Peso specifico dei grani medio a T=20°C	26.1		kN/m ³

Data Inizio Prova: 04.02.2016

Data Fine Prova: 05.02.2016

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo

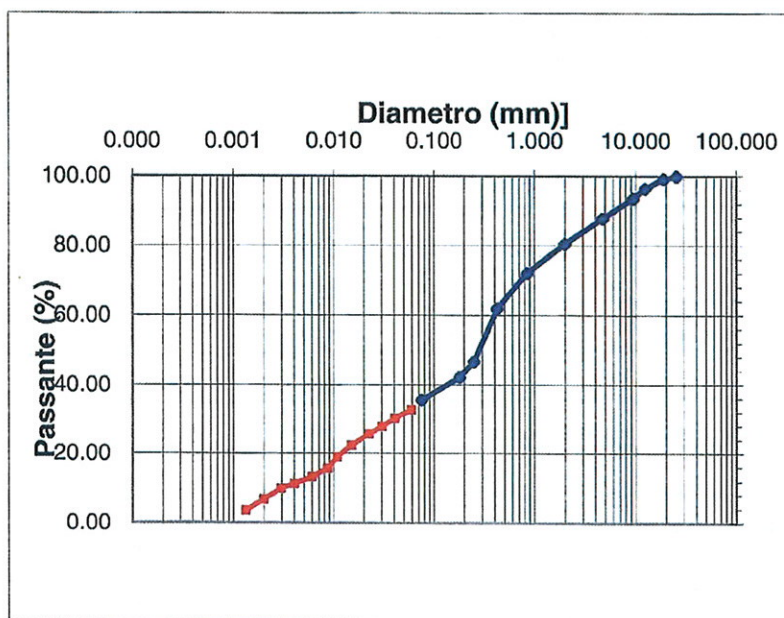
Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 141 Del 15.02.2016

Committente	GEOSOLUTION s.r.l.
Indirizzo	Via del Mercato n° 2, 74011 Castellaneta (TA)
Progetto/Lavoro	INDAGINI GEOGNOSTICHE RELATIVE AI LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA: CASERMA COMPAGNIA CARABINIERI, CASERMA DELLA GUARDIA DI FINANZA

Località prelievo campione	CASTELLANETA (TA)		
Sondaggio n° 1	Campione n° 1	Profondità:	1.00 - 1.50 m
Classe di qualità dichiarata	Q.5 Tipo di contenitore: Busta in plastica sigillata		
Descrizione visiva del campione	Calcarenite di colore bianco-giallastro ridotta in sabbia		

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E SEDIMENTAZIONE
ASTM D422



Apertura setaccio, mm	Passante %	Diametro equiv. (mm)	Passante %
25.400	100.00	0.05898	32.76
19.000	99.28	0.04043	30.23
12.500	96.46	0.03023	27.87
9.500	93.72	0.02245	25.64
4.750	87.92	0.01498	22.32
2.000	80.58	0.01078	18.88
0.850	72.13	0.00865	15.64
0.425	61.91	0.00603	13.23
0.250	46.77	0.00402	11.23
0.180	42.21	0.00296	9.87
0.075	35.58	0.00198	6.65
		0.00132	3.45

Data Inizio Prova: 08.02.2016

Data Fine Prova: 09.02.2016

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo

LABORGEO s.r.l.

Via Dei Mestieri n°16 75100 - Matera

Tel/Fax 0835 387641

laborgeo@tin.it P. IVA 00671730778

Azienda con Sistema Qualità Certificato ISO 9001:2008
Star Quality Services Italia S.p.A. - certificato n° 00101/111

1 di 7

**Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi**

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 142 Del 15.02.2016

Committente	GEOSOLUTION s.r.l.
Indirizzo	Via del Mercato n° 2, 74011 Castellana (TA)
Progetto/Lavoro	INDAGINI GEOGNOSTICHE RELATIVE AI LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA: CASERMA COMPAGNIA CARABINIERI, CASERMA DELLA GUARDIA DI FINANZA

Località prelievo campioni	CASTELLANETA (TA)		
Sondaggio n° 1	Campione n° 1	Profondità:	1.00 - 1.50 m
Classe di qualità dichiarata	Q.5	Tipo contenitore	Busta in plastica sigillata
Descrizione visiva del campione	Calcarene di colore bianco-giallastro ridotta in sabbia		

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

(ASTM D 3080)

Tipo di attrezzatura impiegata: macchina elettronica con acquisizione dati automatizzata

Caratteristiche fisiche dei provini

Caratteristiche fisiche iniziale dei provini	Provino 1	Provino 2	Provino 3	U.M.
Contenuto d'acqua	13.75	13.73	13.74	%
Peso dell'unità di volume	16.43	16.43	16.43	kN/m ³
Peso specifico dei grani	26.10	26.10	26.10	kN/m ³
Peso dell'unità di volume secco	14.44	14.45	14.45	kN/m ³
Indice dei vuoti	0.807	0.807	0.807	
Grado di saturazione	44.47	44.42	44.45	%

Caratteristiche fisiche finale dei provini	Provino 1	Provino 2	Provino 3	U.M.
Contenuto d'acqua	13.12	13.13	13.10	%
Peso dell'unità di volume	16.48	16.48	16.48	kN/m ³
Peso specifico dei grani	26.10	26.10	26.10	kN/m ³
Peso dell'unità di volume secco	14.57	14.57	14.57	kN/m ³
Indice dei vuoti	0.792	0.792	0.791	
Grado di saturazione	43.26	43.29	43.21	%

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE INIZIALI DEL PROVINO E MODALITA' DI PROVA

Altezza media	2.0 cm	Lato	6.0 cm	Area media	36.00 cm ²	Volume medio	72.0 cm ³
Tipo di scatola	Quadrata			Velocità di deformazione	5.00E-08 m/s		
Tipo di campione	rimaneggiato						
Tensione Normale provino 1	100.00 kPa						
Tensione Normale provino 2	200.00 kPa						
Tensione Normale provino 3	300.00 kPa						

Data Inizio Prova: 03.02.2016

Note:

Data Fine Prova: 04.02.2016

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo

**Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi**

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 142 Del 15.02.2016

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO
Dati Sperimentali della Fase di Taglio**

Provino 1

δx	F	δh
0.31	65	-2.3
0.57	123	-4.5
0.88	177	-6.1
1.22	221	-7
1.55	255	-7.7
1.78	273	-8.3
2.02	282	-8.8
2.25	285	-9.3
2.42	285	-9.6
2.55	285	-9.8

Provino 2

δx	F	δh
0.33	119	-2.8
0.67	244	-6.3
0.98	366	-9
1.35	455	-11.3
1.66	496	-13.2
1.98	522	-14.7
2.22	538	-16.2
2.44	552	-17.3
2.61	555	-18
2.75	555	-18.4
2.88	555	-18.7

Provino 3

δx	F	δh
0.31	255	-4.8
0.67	477	-9.3
1.13	611	-13.7
1.55	690	-17
1.88	744	-19.4
2.23	777	-21.5
2.57	798	-23.2
2.8	814	-24.5
2.98	823	-25.4
3.16	826	-26
3.32	826	-26.6
3.44	826	-27

δx =Spostamento orizzontale (mm); F=Forza di taglio (N); δh =Deformazione verticale (mm/100)

Data Inizio Prova: 03.02.2016

Note:

Data Fine Prova: 04.02.2016

LABORGEO s.r.l.

Via Dei Mestieri n°16 75100 - Matera

Tel/Fax 0835 387641

laborggeo@tin.it P. IVA 00671730778

Azienda con Sistema Qualità Certificato ISO 9001:2008
Star Quality Services Italia S.p.A. - certificato n° 00101/111

3 di 7

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 142 Del 15.02.2016

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Calcoli della fase di taglio

Provino 1

δx	T	δh
0	0	0
0.31	18.06	-2.3
0.57	34.17	-4.5
0.88	49.17	-6.1
1.22	61.39	-7
1.55	70.83	-7.7
1.78	75.83	-8.3
2.02	78.33	-8.8
2.25	79.17	-9.3
2.42	79.17	-9.6
2.55	79.17	-9.8

Provino 2

δx	T	δh
0	0	0
0.33	33.06	-2.8
0.67	67.78	-6.3
0.98	101.67	-9
1.35	126.39	-11.3
1.66	137.78	-13.2
1.98	145.00	-14.7
2.22	149.44	-16.2
2.44	153.33	-17.3
2.61	154.17	-18
2.75	154.17	-18.4
2.88	154.17	-18.7

Provino 3

δx	T	δh
0	0	0
0.31	70.83	-4.8
0.67	132.50	-9.3
1.13	169.72	-13.7
1.55	191.67	-17
1.88	206.67	-19.4
2.23	215.83	-21.5
2.57	221.67	-23.2
2.8	226.11	-24.5
2.98	228.61	-25.4
3.16	229.44	-26
3.32	229.44	-26.6
3.44	229.44	-27

δx =Spostamento orizzontale (mm); T=Tensione Tang. Eff. (kPa); δh =Deformazione Verticale (mm/100)

Data Inizio Prova: 03.02.2016

Data Fine Prova: 04.02.2016

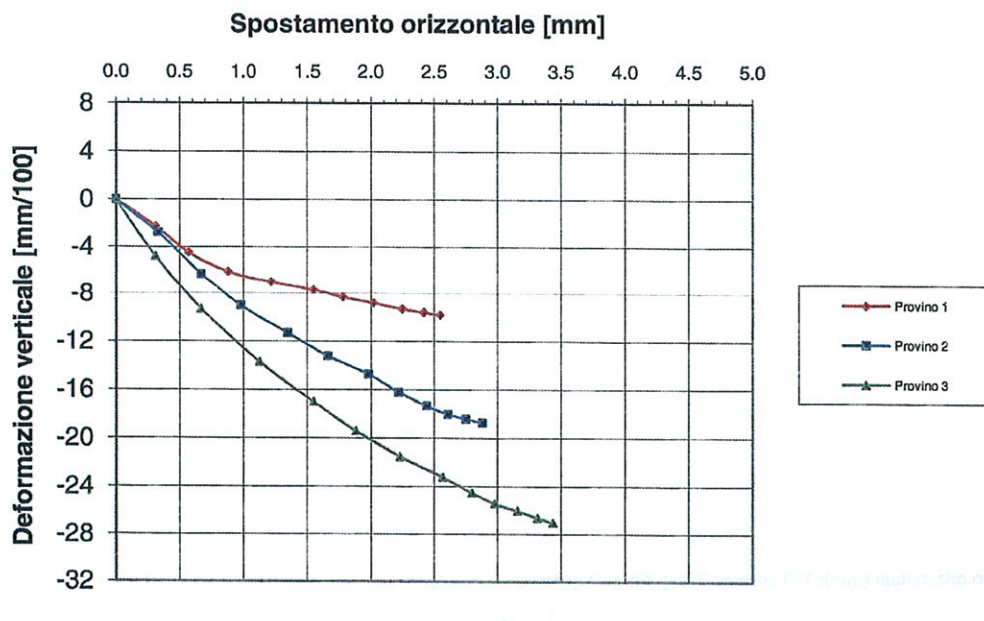
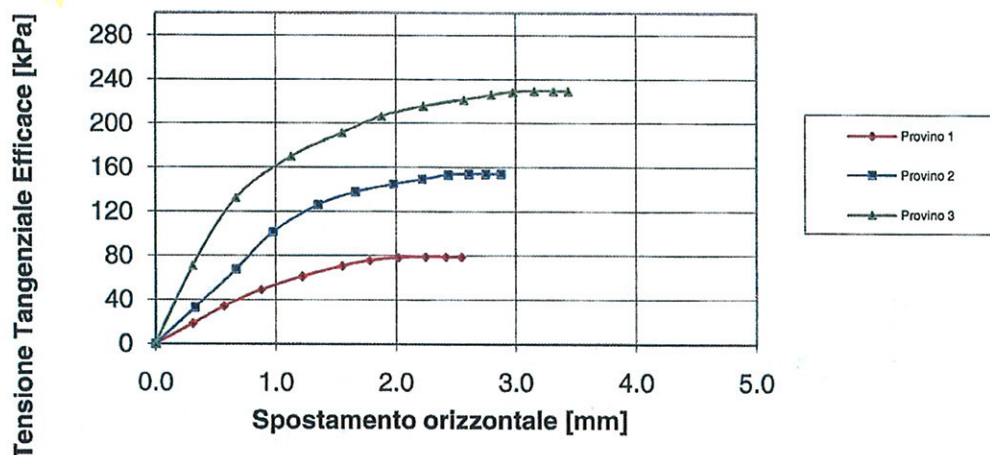
Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 142 Del 15.02.2016

PROVA DI TAGLIO DIRETTO Diagrammi della fase di taglio



Data Inizio Prova: 03.02.2016

Data Fine Prova: 04.02.2016

LABORGEO s.r.l.

Via Dei Mestieri n°16 75100 - Matera

Tel/Fax 0835 387641

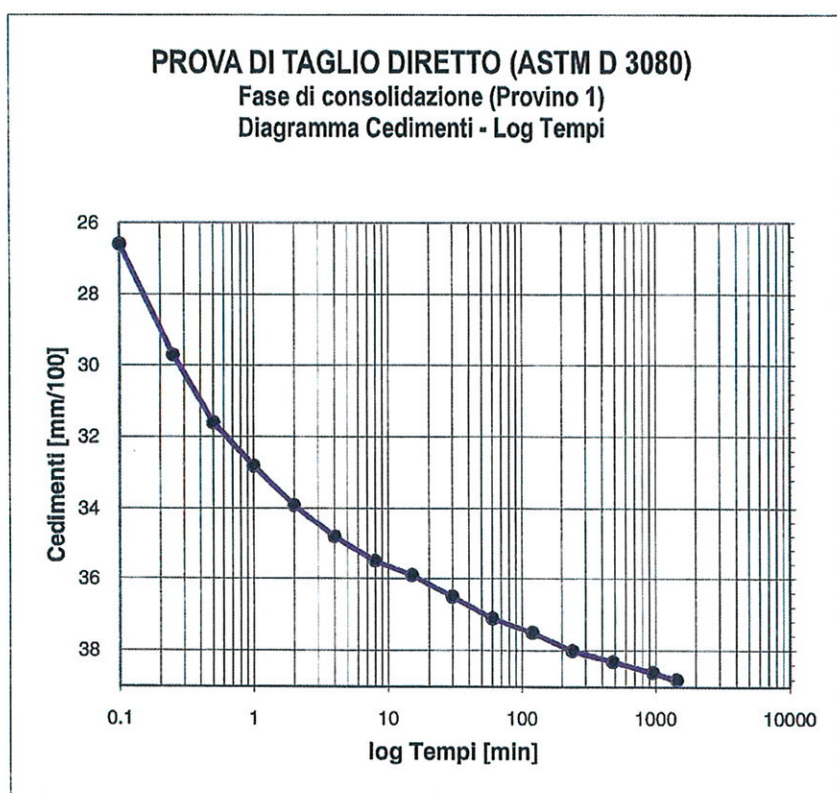
laborgео@tin.it P. IVA 00671730778

Azienda con Sistema Qualità Certificato ISO 9001:2008
Star Quality Services Italia S.p.A. - certificato n° 00101/111

5 di 7

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 142 Del 15.02.2016



Tempo (min)	Cedimenti (mm/100)
0	0
0.1	26.6
0.25	29.7
0.5	31.6
1	32.8
2	33.9
4	34.8
8	35.5
15	35.9
30	36.5
60	37.1
120	37.5
240	38
480	38.3
960	38.6
1440	38.8

Tensione di consolidazione	100	kPa
Altezza provino	2	cm
Sezione provino	36	cm ²
T100	116.75	min
Deformazione a rottura stimata	5	mm
Velocità stimata di prova	0.003	mm/min

Data Inizio Prova: 03.02.2016

Data Fine Prova: 04.02.2016

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo

LABORGEO s.r.l.

Via Dei Mestieri n°16 75100 - Matera

Tel/Fax 0835 387641

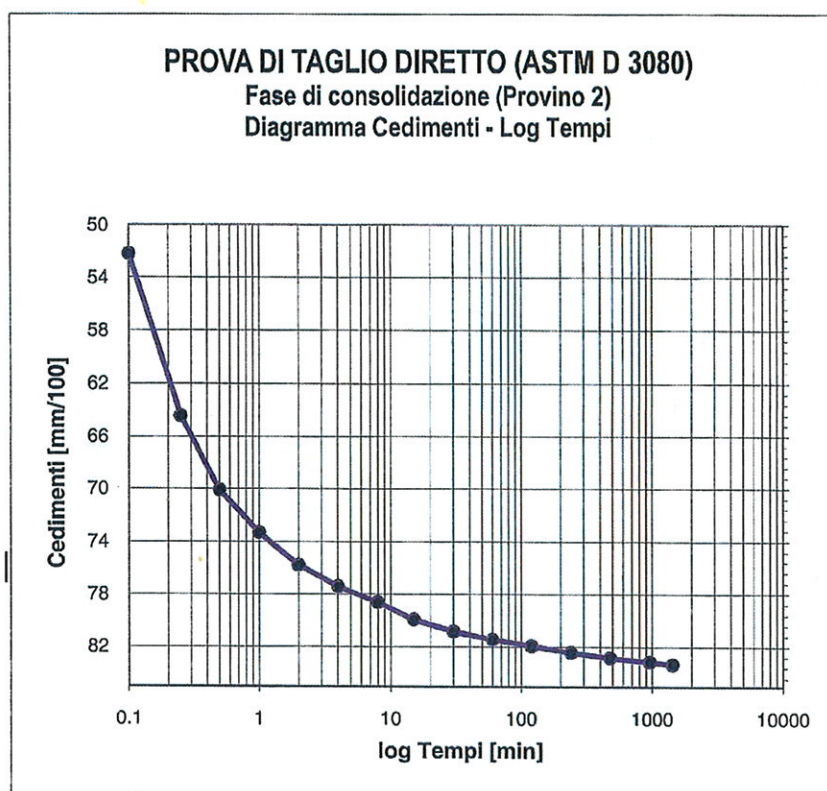
laborggeo@tin.it P. IVA 00671730778

Azienda con Sistema Qualità Certificato ISO 9001:2008
Star Quality Services Italia S.p.A. - certificato n° 00101/111

6 di 7

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 142 Del 15.02.2016



Tempo (min)	Cedimenti (mm/100)
0	0
0.1	52.2
0.25	64.4
0.5	70.1
1	73.3
2	75.8
4	77.4
8	78.6
15	79.9
30	80.8
60	81.4
120	81.9
240	82.4
480	82.8
960	83.1
1440	83.3

Tensione di consolidazione	200 kPa
Altezza provino	2 cm
Sezione provino	36 cm ²
T100	111.22 min
Deformazione a rottura stimata	5 mm
Velocità stimata di prova	0.004 mm/min

Data Inizio Prova: 03.02.2016

Data Fine Prova: 04.02.2016

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo

LABORGEO s.r.l.

Via Dei Mestieri n°16 75100 - Matera

Tel/Fax 0835 387641

laborgeo@tin.it P. IVA 00671730778

Azienda con Sistema Qualità Certificato ISO 9001:2008
Star Quality Services Italia S.p.A. - certificato n° 00101/111

7 di 7

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001

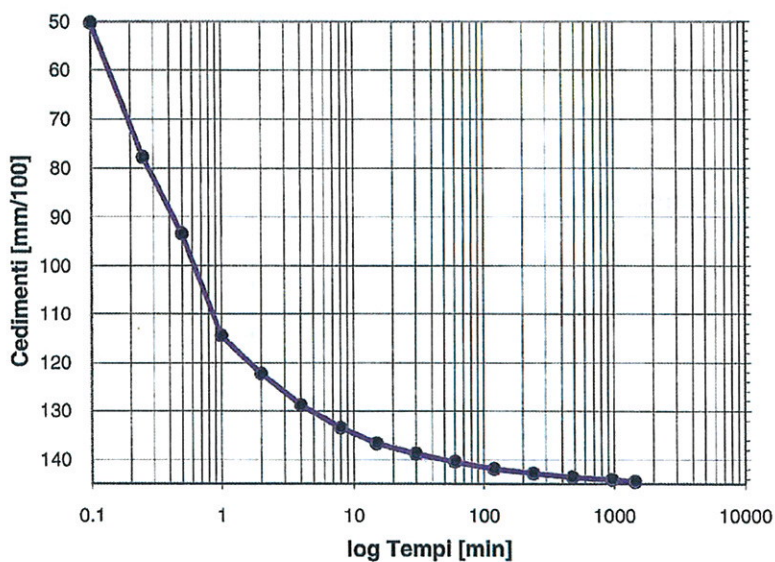
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 142 Del 15.02.2016

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (ASTM D 3080)

Fase di consolidazione (Provino 3)

Diagramma Cedimenti - Log Tempi



Tempo (min)	Cedimenti (mm/100)
0	0
0.1	50.2
0.25	77.7
0.5	93.3
1	114.4
2	122.2
4	128.7
8	133.3
15	136.6
30	138.7
60	140.3
120	141.8
240	142.7
480	143.5
960	144
1440	144.4

Tensione di consolidazione	300 kPa
Altezza provino	2 cm
Sezione provino	36 cm ²
T100	116.85 min
Deformazione a rottura stimata	5 mm
Velocità stimata di prova	0.003 mm/min

Data Inizio Prova: 03.02.2016

Data Fine Prova: 04.02.2016

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 143 Del 15.02.2016

Committente	GEOSOLUTION s.r.l.
Indirizzo	Via del Mercato n° 2, 74011 Castellaneta (TA)
Progetto/Lavoro	INDAGINI GEOGNOSTICHE RELATIVE AI LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA: CASERMA COMPAGNIA CARABINIERI, CASERMA DELLA GUARDIA DI FINANZA

Località prelievo campione	CASTELLANETA (TA)		
Sondaggio n° 1	Campione n° 2	Profondità:	5.00 - 5.50 m
Classe di qualità dichiarata	Q.5	Tipo contenitore	Fustella metallica tipo Shelby
Descrizione visiva del campione	Limo argilloso di colore verde, a media plasticità		

MISURA DEL PESO DELL'UNITA' DI VOLUME
(BS 1377T15/e)

Caratteristiche geometriche dei provini

Numero provino	Provino 1	Provino 2	U.M.
Altezza media	2.00	2.00	cm
Lato del provino	6.00	6.00	cm
Area del provino	36.00	36.00	cm ²
Volume del provino	72.00	72.00	cm ³

Numero provino	Provino 1	Provino 2	U.M.
Massa provino	134.61	134.88	g
Volume provino	72.00	72.00	cm ³
Peso dell'unità di volume	18.70	18.73	KN/m ³
Peso dell'unità di volume medio	18.71		KN/m ³

Data Inizio Prova: 04.02.2016
Note:

Data Fine Prova: 04.02.2016

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo

LABORGEO s.r.l.

Via Dei Mestieri n°16 75100 - Matera

Tel/Fax 0835 387641

laborgео@tin.it P. IVA 00671730778

Azienda con Sistema Qualità Certificato ISO 9001:2008
Star Quality Services Italia S.p.A. - certificato n° 00101/111

1 di 1

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 144 Del 15.02.2016

Committente	GEOSOLUTION s.r.l.
Indirizzo	Via del Mercato n° 2, 74011 Castellaneta (TA)
Progetto/Lavoro	INDAGINI GEOGNOSTICHE RELATIVE AI LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA: CASERMA COMPAGNIA CARABINIERI, CASERMA DELLA GUARDIA DI FINANZA

Località prelievo campione	CASTELLANETA (TA)		
Sondaggio n°	1	Campione n°	2 Profondità: 5.00 - 5.50 m
Classe di qualità dichiarata	Q.5	Tipo contenitore:	Fustella metallica tipo Shelby
Descrizione visiva del campione	Limo argilloso di colore verde, a media plasticità		

MISURA DEL CONTENUTO NATURALE D'ACQUA
(ASTM D2216)

Misura	1	2	U.M.
Massa tara	70.04	69.34	g
Massa tara + massa campione umido	921.98	875.75	69.34
Massa tara + massa campione secco	733.26	700.66	g
Contenuto naturale d'acqua	28.46	27.73	%
Contenuto naturale medio d'acqua	28.09		%

Data Inizio Prova: 03.02.2016

Data Fine Prova: 04.02.2016

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo

LABORGEO s.r.l.

Via Dei Mestieri n°16 75100 - Matera

Tel/Fax 0835 387641

laborgeo@tin.it P. IVA 00671730778

Azienda con Sistema Qualità Certificato ISO 9001:2008
Star Quality Services Italia S.p.A. - certificato n° 00101/111

1 di 1

**Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi**

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 145 Del 15.02.2016

Committente	GEOSOLUTION s.r.l.
Indirizzo	Via del Mercato n° 2, 74011 Castellaneta (TA)
Progetto/Lavoro	INDAGINI GEOGNOSTICHE RELATIVE AI LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA: CASERMA COMPAGNIA CARABINIERI, CASERMA DELLA GUARDIA DI FINANZA

Località prelievo campione	CASTELLANETA (TA)		
Sondaggio n° 1	Campione n° 2	Profondità	5.00 - 5.50 m
Classe di qualità dichiarata	Q.5	Tipo contenitore: Fustella metallica tipo Shelby	
Descrizione visiva del campione	Limo argilloso di colore verde, a media plasticità		

**MISURA DEL PESO SPECIFICO DEI GRANI
(ASTM D854)**

Misura	1	2	U.M.
Massa picnometro	36.24	35.98	g
Massa picnometro + massa campione secco	61.26	61.04	g
Massa campione secco	25.02	25.06	g
Massa picnometro + massa campione secco + massa acqua	169.43	164.13	g
Massa picnometro + massa acqua	144.41	139.07	g
Massa picnometro + massa acqua + massa campione	160.31	154.98	g
Volume del campione	9.12	9.15	cm ³
Temperatura di prova	20	20	°C
Peso specifico dei grani a T=20°C	27.43	27.39	kN/m ³
Peso specifico dei grani medio a T=20°C	27.4		kN/m ³

Data Inizio Prova: 04.02.2016

Data Fine Prova: 05.02.2016

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito

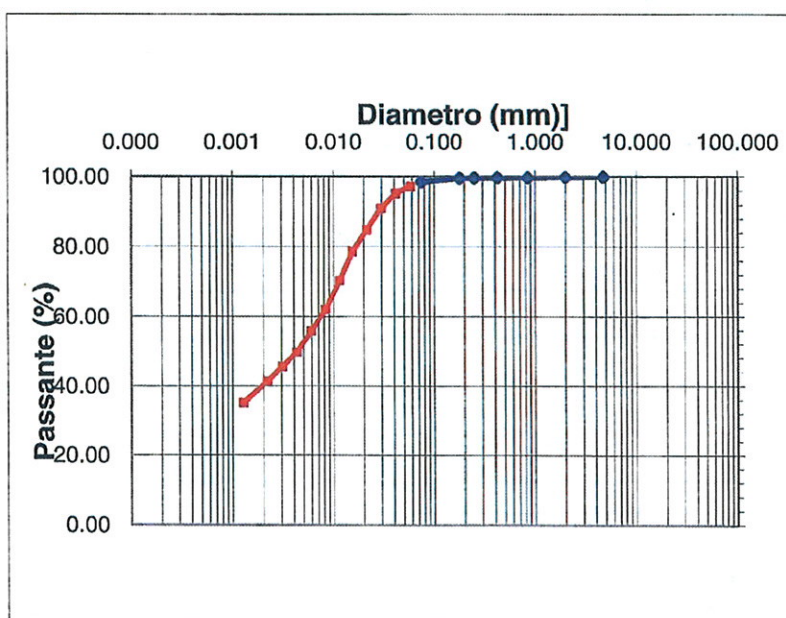
Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001**Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi**

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 146 Del 15.02.2016

Committente	GEOSOLUTION s.r.l.
Indirizzo	Via del Mercato n° 2, 74011 Castellaneta (TA)
Progetto/Lavoro	INDAGINI GEOGNOSTICHE RELATIVE AI LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA: CASERMA COMPAGNIA CARABINIERI, CASERMA DELLA GUARDIA DI FINANZA

Località prelievo campione	CASTELLANETA (TA)
Sondaggio n° 1	Campione n° 2 Profondità: 5.00 - 5.50 m
Classe di qualità dichiarata	Q.5 Tipo di contenitore: Fustella metallica tipo Shelby
Descrizione visiva del campione	Limo argilloso di colore verde, a media plasticità

ANALISI GRANULOMETRICA PER SETACCIATURA E SEDIMENTAZIONE
ASTM D422


Apertura setaccio, mm	Passante %	Diametro equivalente (mm)	Passante %
4.750	100.00	0.05791	97.31
2.000	99.93	0.04123	95.24
0.850	99.81	0.02955	91.10
0.425	99.76	0.02131	84.89
0.250	99.70	0.01535	78.68
0.180	99.60	0.01148	70.40
0.075	98.51	0.00831	62.11
		0.00597	55.90
		0.00429	49.69
		0.00307	45.55
		0.00219	41.41
		0.00128	35.20

Data Inizio Prova: 08.02.2016

Data Fine Prova: 09.02.2016

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 147 Del 15.02.2016

Committente	GEOSOLUTION s.r.l.
Indirizzo	Via del Mercato n° 2, 74011 Castellaneta (TA)
Progetto/Lavoro	INDAGINI GEOGNOSTICHE RELATIVE AI LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA: CASERMA COMPAGNIA CARABINIERI, CASERMA DELLA GUARDIA DI FINANZA

Località prelievo campione	CASTELLANETA (TA)
Sondaggio n° 1	Campione n° 2 Profondità: 5.00 - 5.50 m
Classe di qualità dichiarata	Q.5 Tipo contenitore: Fustella metallica tipo Shelby
Descrizione visiva del campione	Limo argilloso di colore verde, a media plasticità

DETERMINAZIONE DEI LIMITI DI CONSISTENZA

LIMITE LIQUIDO E PLASTICO

(ASTM D4318)

MISURA	1	2	3 U.M.
Numero dei colpi	14	24	35
Massa campione umido + tara	30.70	33.15	31.77 g
Massa campione secco + tara	26.72	29.25	27.79 g
Massa acqua contenuta	3.98	3.90	3.98 g
Massa tara	20.64	22.94	20.91 g
Massa campione secco	6.08	6.31	6.88 g
Contenuto d'acqua	65.46	61.81	57.85 %
LIMITE LIQUIDO	61.00		%

MISURA	1	2	U.M.
Massa campione umido + tara	21.15	21.38	g
Massa campione secco + tara	18.98	19.10	g
Massa acqua contenuta	2.17	2.28	g
Massa tara	13.56	13.32	g
Massa campione secco	5.42	5.78	g
Contenuto d'acqua	40.04	39.45	%
LIMITE PLASTICO	40.00		%

INDICE PLASTICO	21.00	%
-----------------	-------	---

Data Inizio Prova: 04.02.2016

Data Fine Prova: 05.02.2016

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 148 Del 15.02.2016

Committente	GEOSOLUTION s.r.l.
Indirizzo	Via del Mercato n° 2, 74011 Castellaneta (TA)
Progetto/Lavoro	INDAGINI GEOGNOSTICHE RELATIVE AI LAVORI PER LA REALIZZAZIONE DELLA CITTADELLA DELLA SICUREZZA: CASERMA COMPAGNIA CARABINIERI, CASERMA DELLA GUARDIA DI FINANZA

Località prelievo campioni	CASTELLANETA (TA)		
Sondaggio n° 1	Campione n° 2	Profondità:	5.00 - 5.50 m
Classe di qualità dichiarata	Q.5	Tipo contenitore	Fustella metallica tipo Shelby
Descrizione visiva del campione	Limo argilloso di colore verde, a media plasticità		

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

(ASTM D 3080)

Tipo di attrezzatura impiegata: macchina elettronica con acquisizione dati automatizzata

Caratteristiche fisiche dei provini

Caratteristiche fisiche iniziale dei provini	Provino 1	Provino 2	Provino 3	U.M.
Contenuto d'acqua	28.09	28.07	28.08	%
Peso dell'unità di volume	18.71	18.71	18.71	kN/m ³
Peso specifico dei grani	27.40	27.40	27.40	kN/m ³
Peso dell'unità di volume secco	14.61	14.61	14.61	kN/m ³
Indice dei vuoti	0.876	0.876	0.876	
Grado di saturazione	87.88	87.85	87.86	%

Caratteristiche fisiche finale dei provini	Provino 1	Provino 2	Provino 3	U.M.
Contenuto d'acqua	27.54	27.51	27.52	%
Peso dell'unità di volume	18.76	18.76	18.76	kN/m ³
Peso specifico dei grani	27.40	27.40	27.40	kN/m ³
Peso dell'unità di volume secco	14.71	14.71	14.71	kN/m ³
Indice dei vuoti	0.863	0.862	0.862	
Grado di saturazione	87.46	87.41	87.43	%

CARATTERISTICHE GEOMETRICHE INIZIALI DEL PROVINO E MODALITA' DI PROVA

Altezza media	2.0 cm	Lato	6.0 cm	Area media	36.00 cm ²	Volume medio	72.0 cm ³
Tipo di scatola	Quadrata	Velocità di deformazione		5.00E-08 m/s			
Tipo di campione	indisturbato						
Tensione Normale provino 1	100.00	kPa					
Tensione Normale provino 2	200.00	kPa					
Tensione Normale provino 3	300.00	kPa					

Data Inizio Prova: 02.02.2016

Data Fine Prova: 04.02.2016

Note:

LABORGEO s.r.l.

Via Dei Mestieri n°16 75100 - Matera

Tel/Fax 0835 387641

laborgeo@tin.it P. IVA 00671730778

Azienda con Sistema Qualità Certificato ISO 9001:2008
Star Quality Services Italia S.p.A. - certificato n° 09101/111

2 di 7

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 148 Del 15.02.2016

PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Dati Sperimentali della Fase di Taglio

Provino 1		
δx	F	δh
0.16	61	-0.6
0.37	118	-1.8
0.58	159	-2.7
0.81	192	-3.5
0.98	217	-4.1
1.15	232	-4.5
1.32	241	-4.8
1.44	244	-5.1
1.55	242	-5.3
1.67	239	-5.4
1.79	230	-5.5

Provino 2		
δx	F	δh
0.22	118	-1.1
0.45	237	-2.3
0.68	307	-3.4
0.92	350	-4.5
1.1	374	-5.3
1.26	395	-6
1.42	409	-6.6
1.55	416	-7.2
1.67	419	-7.6
1.82	416	-7.9
1.94	410	-8.2
2.05	404	-8.4

Provino 3		
δx	F	δh
0.21	130	-2.3
0.44	275	-3.8
0.65	365	-5.2
0.88	431	-6.1
1.15	476	-6.8
1.32	509	-7.5
1.48	533	-8.1
1.63	549	-8.6
1.77	561	-9
1.91	566	-9.4
2.05	565	-9.7
2.19	561	-9.9
2.42	554	-10.2

δx =Spostamento orizzontale (mm); F=Forza di taglio (N); δh =Deformazione verticale (mm/100)

Data Inizio Prova: 02.02.2016
Note:

Data Fine Prova: 04.02.2016

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 148 Del 15.02.2016

PROVA DI TAGLIO DIRETTO
Calcoli della fase di taglio

Provino 1

δx	T	δh
0	0	0
0.16	16.84	-0.6
0.37	32.72	-1.8
0.58	44.26	-2.7
0.81	53.40	-3.5
0.98	60.14	-4.1
1.15	64.47	-4.5
1.32	66.87	-4.8
1.44	67.84	-5.1
1.55	67.36	-5.3
1.67	66.39	-5.4
1.79	63.99	-5.5

Provino 2

δx	T	δh
0	0	0
0.22	32.72	-1.1
0.45	65.91	-2.3
0.68	85.16	-3.4
0.92	97.18	-4.5
1.1	103.92	-5.3
1.26	109.69	-6
1.42	113.54	-6.6
1.55	115.47	-7.2
1.67	116.43	-7.6
1.82	115.47	-7.9
1.94	114.02	-8.2
2.05	112.10	-8.4

Provino 3

δx	T	δh
0	0	0
0.21	36.08	-2.3
0.44	76.50	-3.8
0.65	101.51	-5.2
0.88	119.80	-6.1
1.15	132.31	-6.8
1.32	141.45	-7.5
1.48	148.18	-8.1
1.63	152.51	-8.6
1.77	155.88	-9
1.91	157.32	-9.4
2.05	156.84	-9.7
2.19	155.88	-9.9
2.42	153.96	-10.2

δx =Spostamento orizzontale (mm); T=Tensione Tang. Eff. (kPa); δh =Deformazione Verticale (mm/100)

Data Inizio Prova: 02.02.2016

Data Fine Prova: 04.02.2016

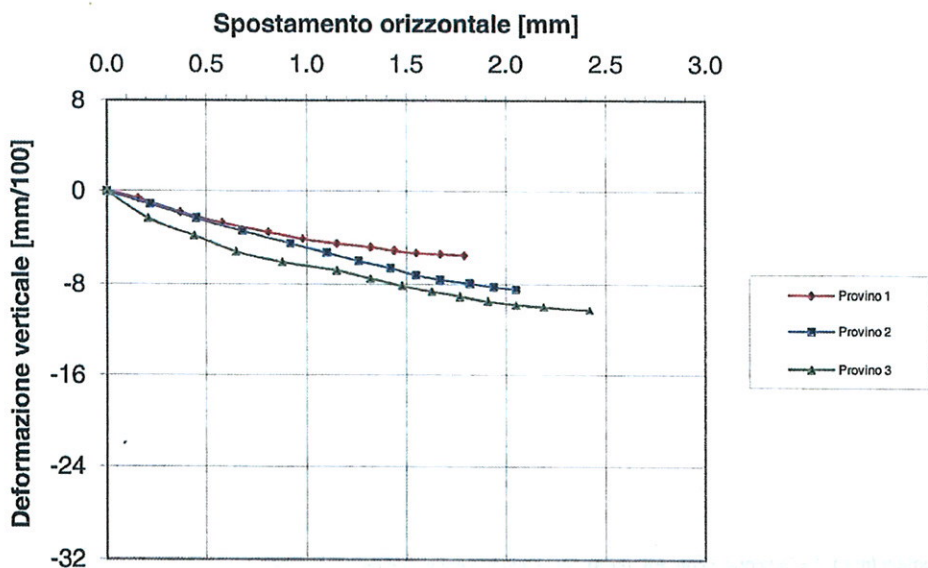
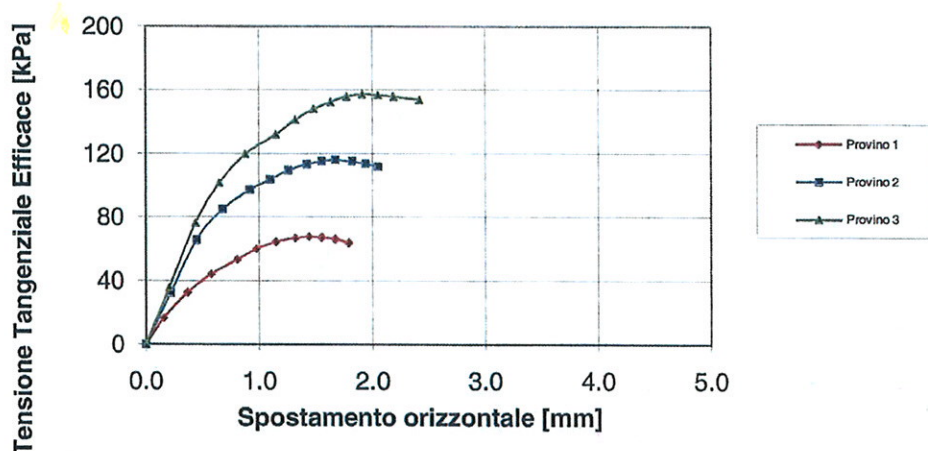
Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 148 Del 15.02.2016

PROVA DI TAGLIO DIRETTO Diagrammi della fase di taglio



Data Inizio Prova: 02.02.2016

Data Fine Prova: 04.02.2016

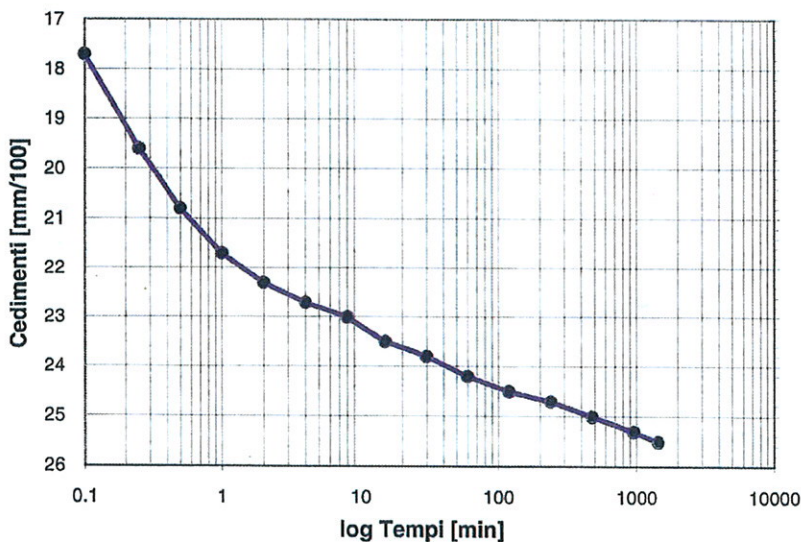
Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 148 Del 15.02.2016

PROVA DI TAGLIO DIRETTO (ASTM D 3080)

Fase di consolidazione (Provino 1)

Diagramma Cedimenti - Log Tempi



Tempo (min)	Cedimenti (mm/100)
0	0
0.1	17.7
0.25	19.6
0.5	20.8
1	21.7
2	22.3
4	22.7
8	23
15	23.5
30	23.8
60	24.2
120	24.5
240	24.7
480	25
960	25.3
1440	25.5

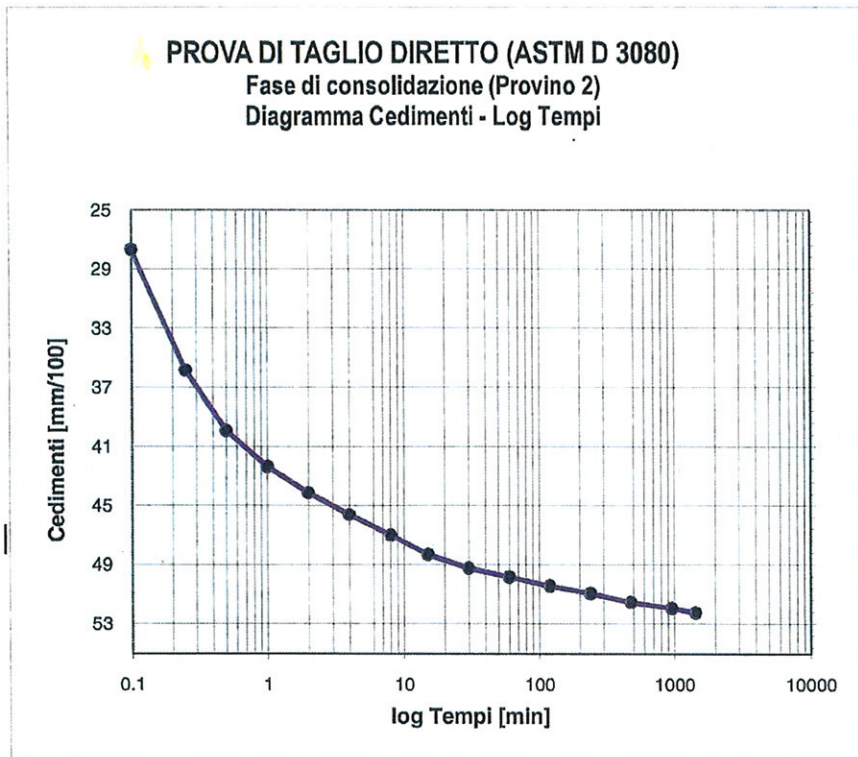
Tensione di consolidazione	100	kPa
Altezza provino	2	cm
Sezione provino	36	cm ²
T100	114.98	min
Deformazione a rottura stimata	5	mm
Velocità stimata di prova	0.003	mm/min

Data Inizio Prova: 02.02.2016

Data Fine Prova: 04.02.2016

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 148 Del 15.02.2016



Tempo (min)	Cedimenti (mm/100)
0	0
0.1	27.7
0.25	35.8
0.5	39.9
1	42.3
2	44.1
4	45.6
8	47
15	48.3
30	49.2
60	49.8
120	50.4
240	50.9
480	51.5
960	51.9
1440	52.2

Tensione di consolidazione	200	kPa
Altezza provino	2	cm
Sezione provino	36	cm ²
T100	111.29	min
Deformazione a rottura stimata	5	mm
Velocità stimata di prova	0.004	mm/min

Data Inizio Prova: 02.02.2016

Data Fine Prova: 04.02.2016

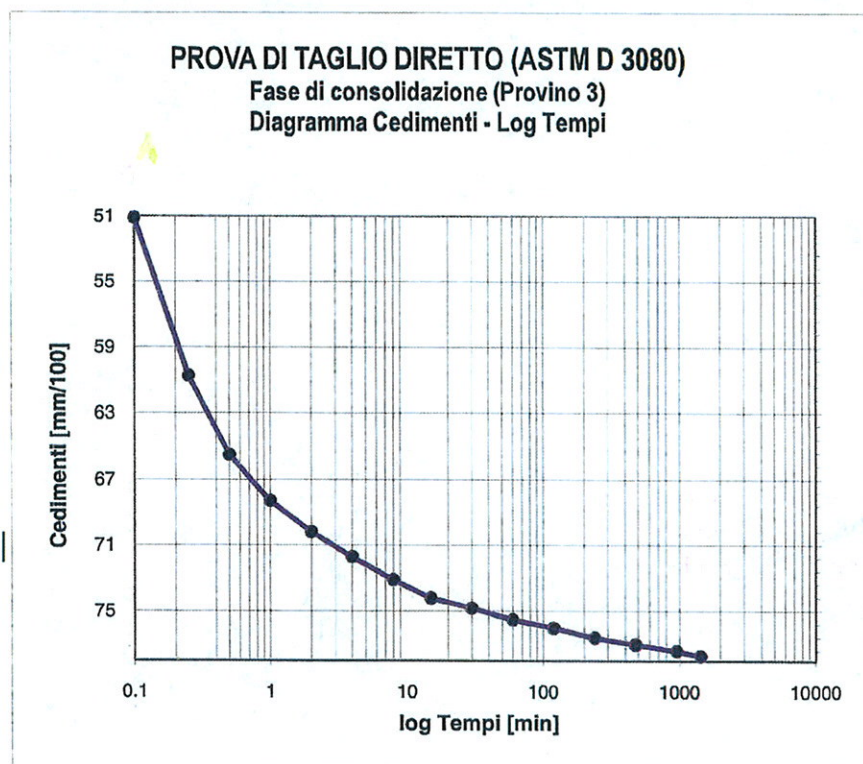
Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito



Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo

Laboratorio Geotecnico Prove su Terre, autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001
Aut. Min. Infrastrutture e Trasporti n° 54111 del 10.11.2005 e rinnovi

Verbale Accettazione N. 21/2016 Del 01.02.2016 Certificato N. 148 Del 15.02.2016



Tempo (min)	Cedimenti (mm/100)
0	0
0.1	51.1
0.25	60.7
0.5	65.5
1	68.3
2	70.2
4	71.7
8	73.1
15	74.2
30	74.8
60	75.5
120	76
240	76.6
480	77
960	77.4
1440	77.7

Tensione di consolidazione	300 kPa
Altezza provino	2 cm
Sezione provino	36 cm ²
T100	114.46 min
Deformazione a rottura stimata	5 mm
Velocità stimata di prova	0.003 mm/min

Data Inizio Prova: 02.02.2016

Data Fine Prova: 04.02.2016