

REGIONE PUGLIA

COMUNE DI CASTELLANETA

Progetto di Consolidamento di un Ipogeo
e Sistemazione Sede Stradale .

Piazza Umberto n. 25, Via del Mercato e Punta del Capillo.



ELABORATO:

RELAZIONE GEOLOGICA

COMMITTENTE:

STUDIO DILINARDO s.r.l.
Via Taranto, 72
75015 Martina Franca (TA)

IL TECNICO:

Geol. Donato PERNIOLA



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

Sommario

1. PREMESSA.....	2
2. GEOLOGIA DELL'AREA.....	3
2.1. Calcare di Altamura	6
2.2. Calcare di Gravina	6
2.3. – Argille Subappennine	8
2.4. – Depositi marini terrazzati.....	8
3. GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA	10
4. PIANIFICAZIONE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI	13
5. PROSPEZIONE SISMICA ATTIVA CON METODOLOGIA MASW	15
5.1 interpretazione dei dati acquisiti.....	19
6. MISURE HVSR IN CAMPO LIBERO	22
7. PRELIEVO DEI CAMPIONI DI ROCCIA	29
8. IL TERRENO DI FONDAZIONE.....	32
8.1 Caratteri geotecnici del terreno di fondazione.....	32
9. AZIONE SISMICA LOCALE.....	34
10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	37
ALLEGATO: CERTIFICATI LABORATORIO	39

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), tra Via Punta del Capillo, Via del Mercato e Piazza Umberto I n 25, interessata dal progetto di "CONSOLIDAMENTO DI UN IPOGEO E SISTEMAZIONE DELLA SEDE STRADALE".

Lo studio in oggetto è stato commissionato alla scrivente, GEOSOLUTION SRL, dall'Ing. DILONARDO DONATO, in qualità di progettista dei Lavori.

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 dirette e indirette.

Lo studio è stato condotto in ottemperanza a:

- *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni* DM 18/01/2018;
- *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 nell'abitato di Castellaneta, a una quota di circa 230 m sul livello del mare, essa è ubicata nella zona prossima alla Gravina di Castellaneta (Figura. 1). Questa 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

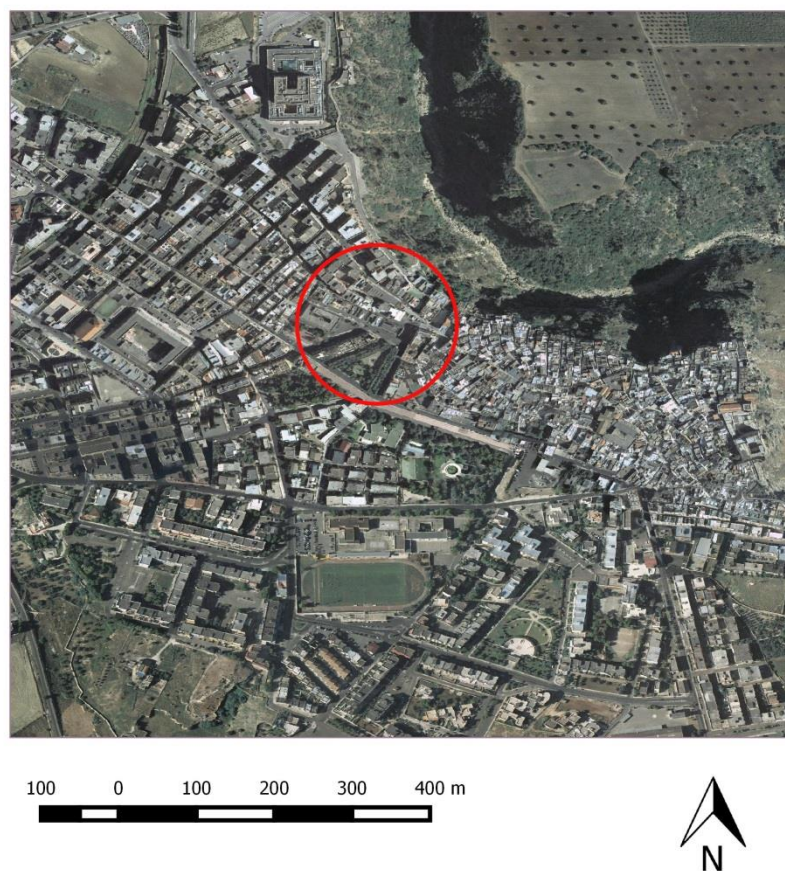


Figura 1 –Ubicazione dell’area in studio.

CARTA GEOLOGICA

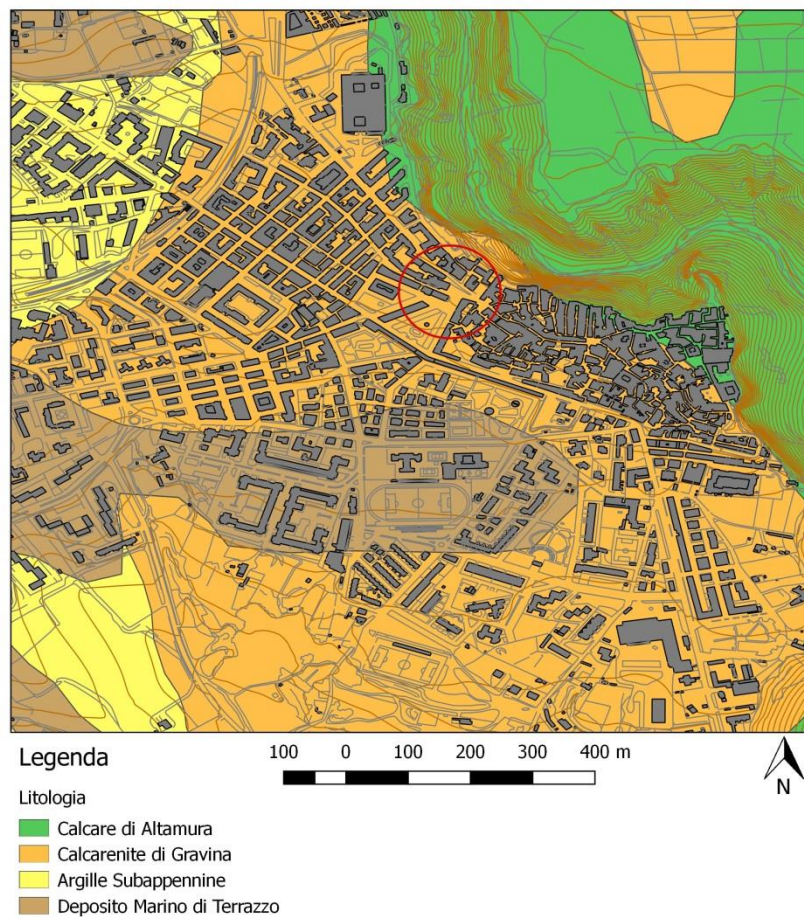


Figura 2 – Carta geologica

2.1. CALCARE DI ALTAMURA

Tale formazione (in verde in fig. 2) 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 rinvenivano 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

La Calcarenite di Gravina (in arancione in fig. 2) 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 nell'area in studio e lo spessore supera i 10 metri, come è facile notare sia lungo il versante della gravina di Castellaneta posta nelle immediate vicinanze del sito di studio che all'interno degli ipogei presenti diffusamente nella stessa area.

Lungo il versante della gravina di Castellaneta, inoltre, 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.



Figura 3. – Interno dell'ipogeo dove affiorano rocce calcarenitiche.

2.3. – ARGILLE SUBAPPENNINE

Questa Formazione (in giallo in fig. 2) 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 ed è troncata al tetto da superfici di erosione su cui poggiano lembi di Depositi marini terrazzati.

Nell'area in esame, le Argille affiorano nella zona Ovest.

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.

Non è possibile stabilire lo spessore totale della Formazione, che dovrebbe comunque essere di alcune decine di metri.

2.4. – DEPOSITI MARINI TERRAZZATI

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 rinvengono i terrazzi del V, VI e VII ordine.

I Depositi Marini Terrazzati (in marrone in fig. 2) 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.

Il contenuto fossilifero non è indicativo e non permette una datazione dei singoli episodi; è stato possibile stabilire il solo ordine di comparsa. Lo spessore, localmente è di 10-20 metri.

3. GEOMORFOLOGIA E IDROGEOLOGIA

L'area in studio ricade all'interno della formazione delle Calcareniti di Gravina; tale substrato 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 l'azione delle acque marine del pleistocene è stata più di erosione che di sedimentazione; il risultato è la presenza di una superficie sub-pianeggiante dove la roccia affiorante è rappresentata dalla calcarenite di Gravina e solo a tratti si rinvencono zone caratterizzate dai depositi di terrazzo, i quali sono più evidenti a poche centinaia di metri ad ovest dove 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: l'intera area è urbanizzata. Considerando la natura lapidea delle rocce affioranti e l'elevato grado di urbanizzazione che interessa l'intera area; si può concludere che l'evoluzione geomorfologica dell'area è imputabile esclusivamente agli interventi antropici .

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 Castellaneta a Nord, profonda in quest'area diverse decine di metri che raccoglie velocemente le acque di precipitazione e ruscellamento che interessano la parte a nord del sito. Le acque che interessano direttamente l'area oggetto di studio vengono raccolte e incanalate nel sistema di regimazione urbana delle acque bianche.

La Formazione della Calcarenite di Gravina ha una bassa permeabilità per porosità e diventa permeabile solo in presenza di fratture o fessure. Da quanto rilevato, essa risulta pressoché integra. Inoltre, essa poggia su un substrato calcareo, permeabile per fratturazione e carsismo. Pertanto si esclude la presenza di una falda all'interno di questa Formazione.

L'unica falda accertata è rappresentata dalla falda profonda che ha sede nei calcari mesozoici, porosi per fratturazione, la cui profondità è di circa 200/220 metri dal piano campagna.

La consultazione della cartografia dell'Autorità di Bacino della Puglia, aggiornato al 27 febbraio 2017 ha consentito di accertare che l'area non è interessata da perimetrazioni del PAI né per Pericolosità Geomorfologica né per Pericolosità Idraulica. Le aree a Pericolosità geomorfologica, individuabili come aree circolari di colore verde della figura 4, sono da attribuire a Cavità antropiche censite dall'AdB Puglia.

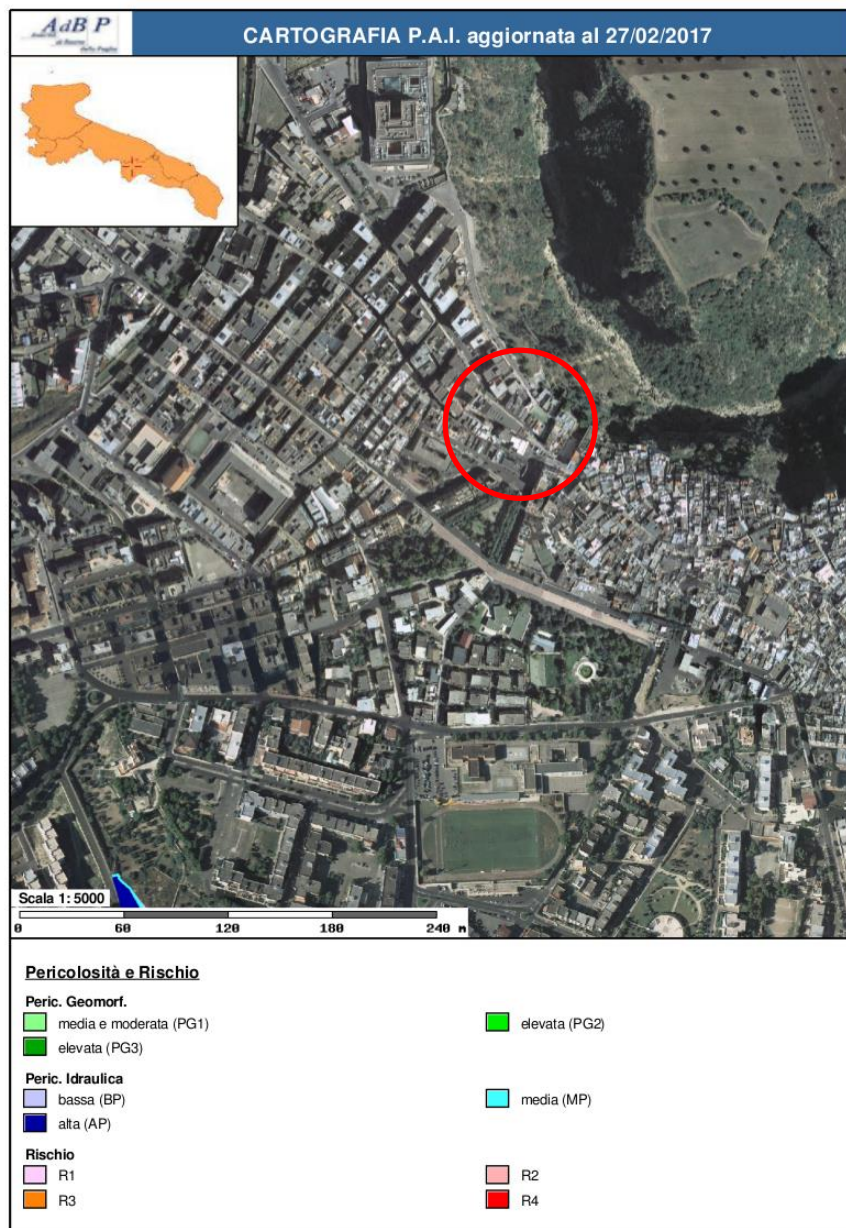


Figura 4 – Stralcio della cartografia PAI redatta dall'AdB Puglia aggiornata al 27 febbraio 2017.

4. PIANIFICAZIONE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI

Al fine di ricostruire il modello geologico del sito le informazioni ottenute durante le fasi di rilevamento geologico sono state integrate, con una campagna di indagini di tipo indiretto la quale ha previsto:

- ✓ determinazione della categoria di suolo di fondazione così come previsto dalle NTC del 2018 mediante indagine MASW;
- ✓ esecuzione di prove HVSR in campo libero per la determinazione della frequenza fondamentale di vibrazione nonché per la verifica di amplificazione sismica locale;
- ✓ caratterizzazione geotecnica delle rocce affioranti mediante prelievo di campioni da sottoporre a successive indagini di laboratorio.

Nello specifico sono state predisposte una indagine MASW, una indagine HVSR e il prelievo di un campione massivo di calcarenite da sottoporre a indagini di laboratorio su due provini da esso ricavato (vedi figura 5). Di seguito vengono descritti risultati ottenuti.

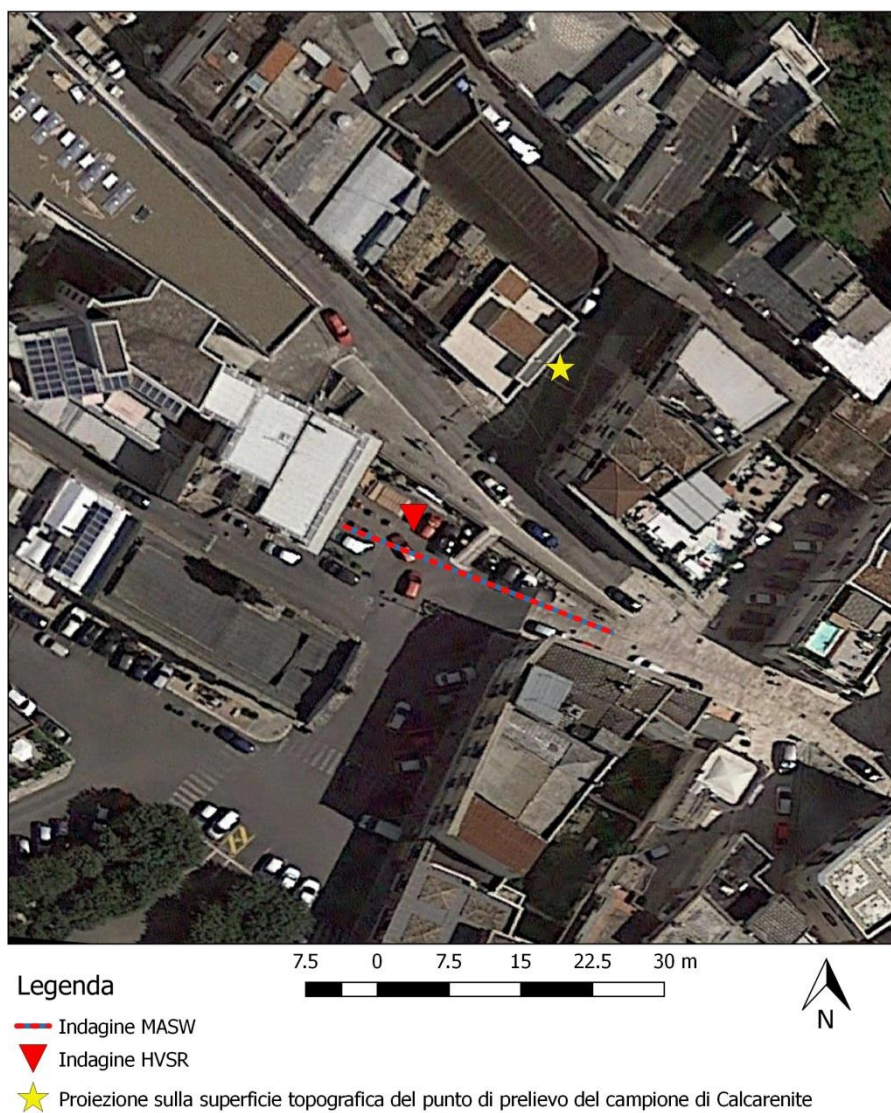


Figura 5 – Ubicazioni delle indagini

5. PROSPEZIONE SISMICA ATTIVA CON METODOLOGIA MASW

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo di fondazione, la classificazione può effettuarsi in base ai valori della velocità equivalente (**V_{seq}**) di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità dal piano di posa delle fondazioni (DM 18/01/2018 *Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni*).

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

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

dove:

- h_i spessore (in metri) dell'i-esimo strato;
- $V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N numero di strati compresi nei primi 30 m di profondità;
- H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

In base ai valori che si ottengono, si individuano 5 classi di terreno: **A, B, C, D** ed **E**, ad ognuna delle quali è associato un determinato spettro di risposta elastico (Tab.1).

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

Tabella 1 – Classi di suolo

L'indagine sismica MASW permette, di stimare la velocità equivalente 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 0,92.

Le onde superficiali di Rayleigh si trasmettono sulla superficie della crosta terrestre e sono il risultato dell'interferenza tra le onde di longitudinali (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 60 Hz.

L'elaborazione dei dati sperimentali in un'indagine MASW si sviluppa in due momenti: nel primo, 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.6).

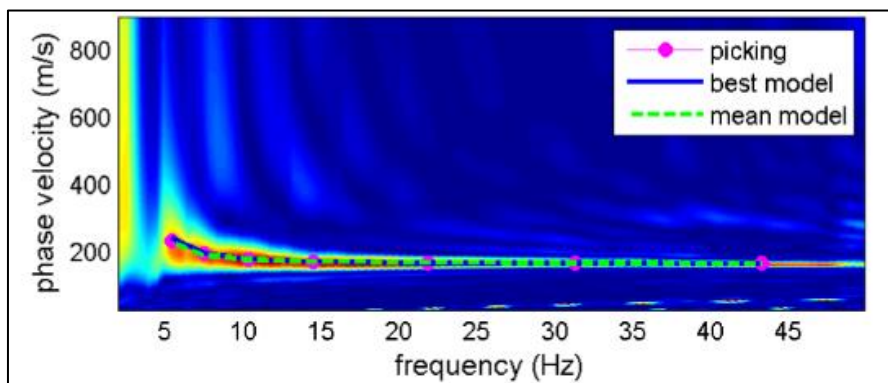


Fig. 6 Spettro delle velocità e curva di dispersione

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. 1) 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 4 scoppi per lato dello stendimento e dei rispettivi quartetti si è effettuato uno stack, ossia una media punto per punto di tutte le acquisizioni, in modo da rendere più robusto il dataset da elaborare.

In definitiva l'indagine permette di ricavare il profilo delle velocità delle onde S per i primi 30 m dal piano campagna considerato, convenzionalmente preso nella parte centrale dello stendimento (Fig.7).

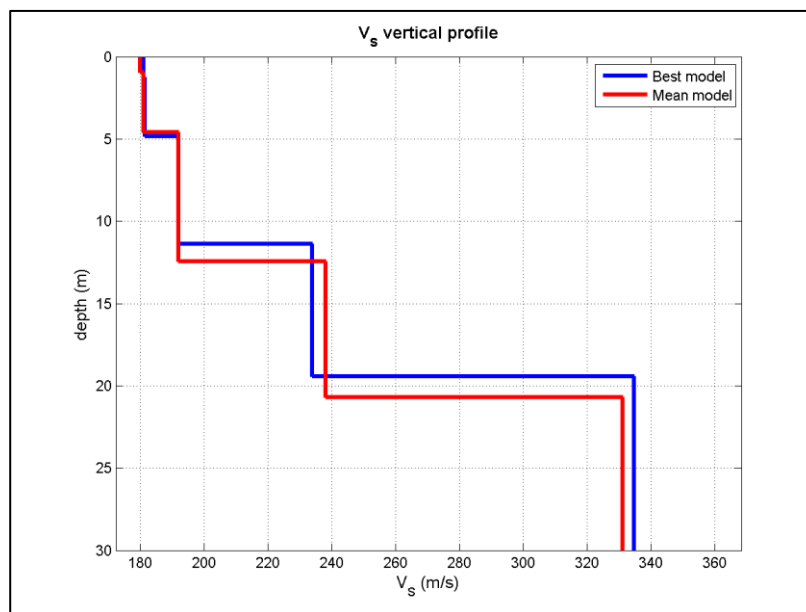


Fig. 7 Esempio di profilo verticale della velocità delle onde S

L'analisi dei dati registrati in campagna, è stata eseguita con il software di inversione WinMASW (Ver. 2018) della EliaSoft.

5.1 INTERPRETAZIONE DEI DATI ACQUISITI

L'indagine MASW 1 è stata eseguita, utilizzando 24 geofoni verticali da 4,5 Hz posti con distanza intergeofonica di 1,50 m per una lunghezza pari a 34,5 m ed una distanza di scoppio dal primo geofono (offset) pari a 5,0 m.

Data la presenza di una pavimentazione in asfalto e basolati i geofoni sono stati posti su dei supporti metallici.

In fase di elaborazione sono stati considerati 24 geofoni, ed un tempo di acquisizione di 0,4 secondi (Fig. 3), 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*).

Gli spettri sono stati analizzati tra 4 Hz e 40 Hz.

Il centro dello stendimento è posto alle seguenti coordinate WGS 84 UTM 33 T:

Latitudine: 4499553.11 m N

Longitudine: 663760.47 m E

Di seguito si riportano le risultanze dell'indagine eseguita:

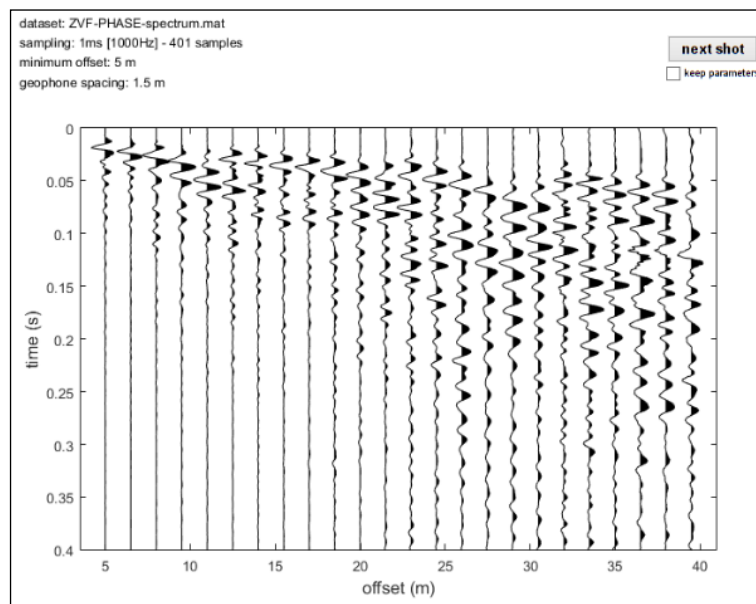


Fig. 8–Dataset di acquisizione

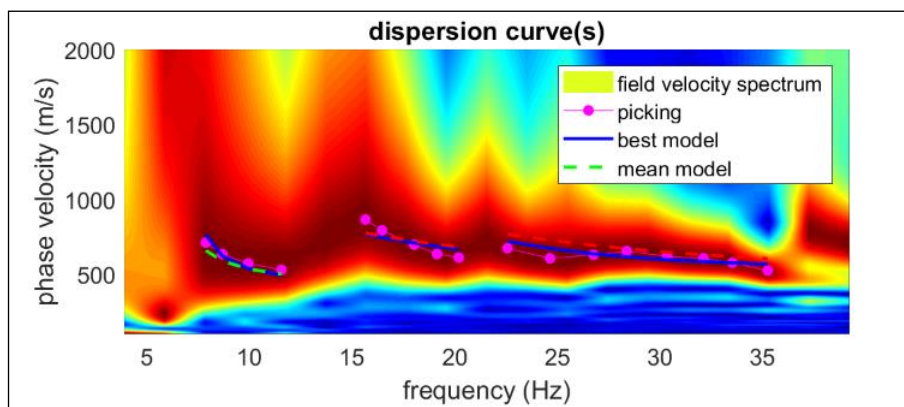


Fig. 9 - Spettro di velocità e curva di dispersione

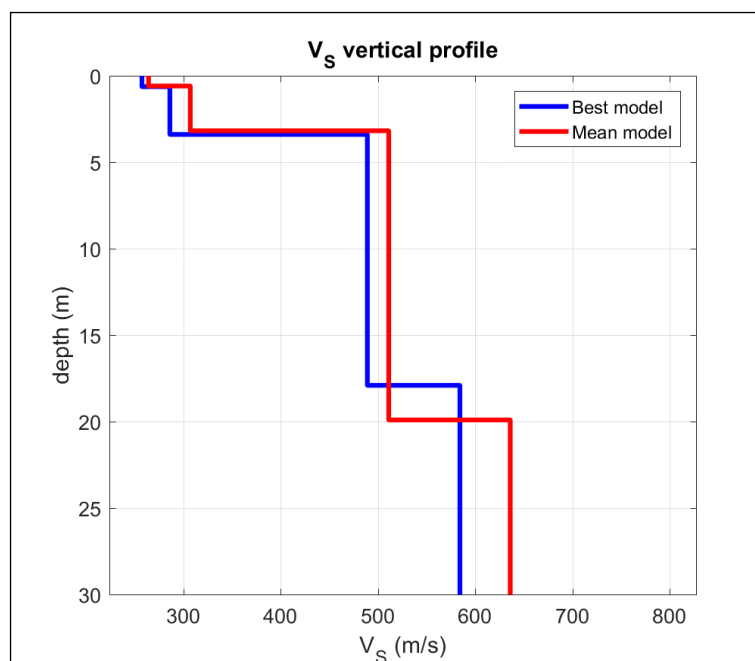


Fig. 10 - Profilo delle velocità delle onde di superficie di Rayleigh

Le curve di dispersione individuate (fig.9) ha trovato un best fitting nel modello sismostratigrafico riportato in figura 10

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

Profondità dal piano campagna (m)	Spessore del sismostrato (m)	Velocità onde S (m/s)
0,6	0,6	257
3,4	2,8	286
17,9	14,5	489
indefinito	indefinito	584

Tab. 2 – sismostratigrafia delle onde di superficie di Rayleigh

L'analisi dei dati ha consentito di stimare un valore di **V_{seq}** , per i primi 30 m dal piano campagna, pari a **480 m/s**. Considerando il profilo di velocità delle onde di taglio ottenuto, il suolo di fondazione è inserito nella categoria **B**.



Fig. 11 - Esecuzione indagine MASW

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).

Nel sito in studio è stata eseguita una indagine HVSR, ubicata nel seguente punto di coordinate WGS 84 UTM 33T:

Latitudine: 4499553.11 m N

Longitudine: 663760.47 m E

Le misure sono state effettuate con un Tromometro (TROMINO), che dispone di tre canali analogici connessi a tre velocimetri disposti secondo tre direzioni ortogonali: NS, EW ed Alto-Basso.

Le vibrazioni ambientali, vengono amplificate e convertite in forma digitale per poi essere successivamente elaborate con il programma Grilla della MoHo S.r.l., secondo le direttive dal progetto di ricerca europeo SESAME

Le misure sono state eseguite 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.

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 tutte le finestre analizzate, sono state eliminate quelle che risultavano rumorose a causa della presenza di transienti esterni; in questo modo l'analisi è stata eseguita esclusivamente sulle finestre temporali che presentavano un segnale non disturbato.

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

CASTELLANETA UMB, IPOGEO PUNTA DEL CAPILLO

Instrument: TEN-0003/01-06

Data format: 16 byte

Full scale [mV]: n.a.

Start recording: 06/03/19 13:20:25 End recording: 06/03/19 13:40:26

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h20'00". Analyzed 97% trace (manual window selection)

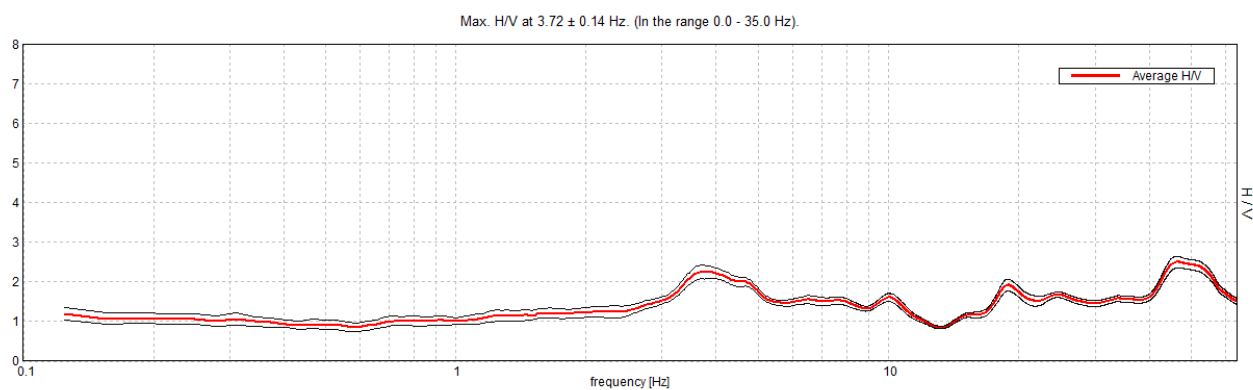
Sampling rate: 128 Hz

Window size: 20 s

Smoothing type: Triangular window

Smoothing: 10%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



H/V TIME HISTORY

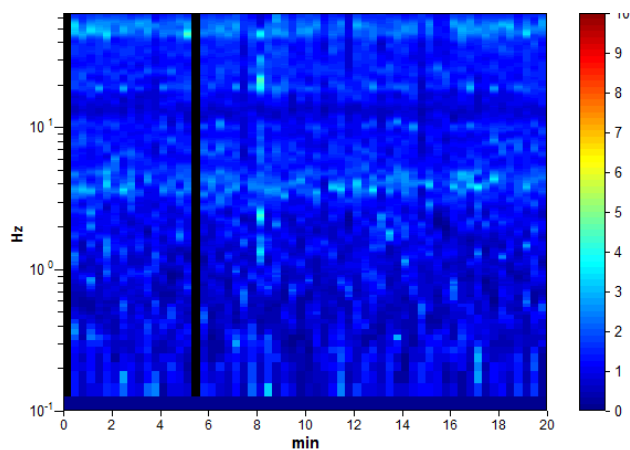


Fig 12- Misura HVSR

SINGLE COMPONENT SPECTRA

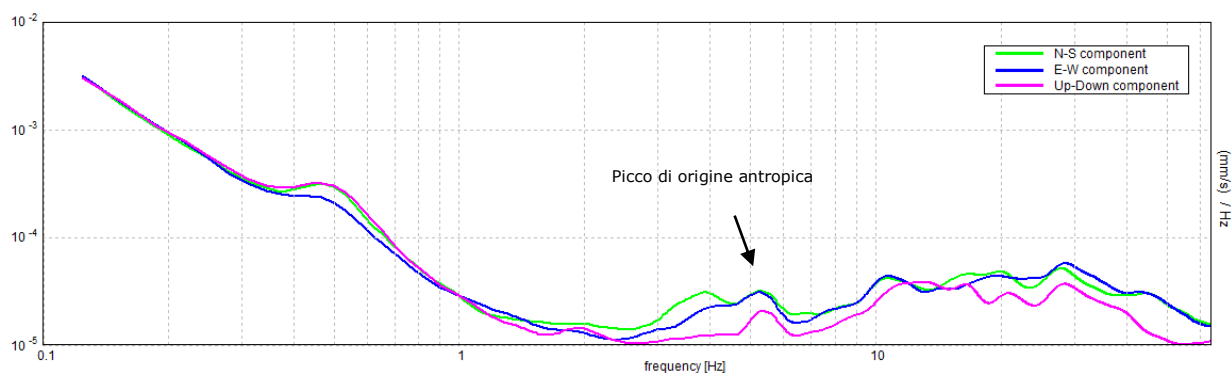


Fig. 13 – Componenti di analisi

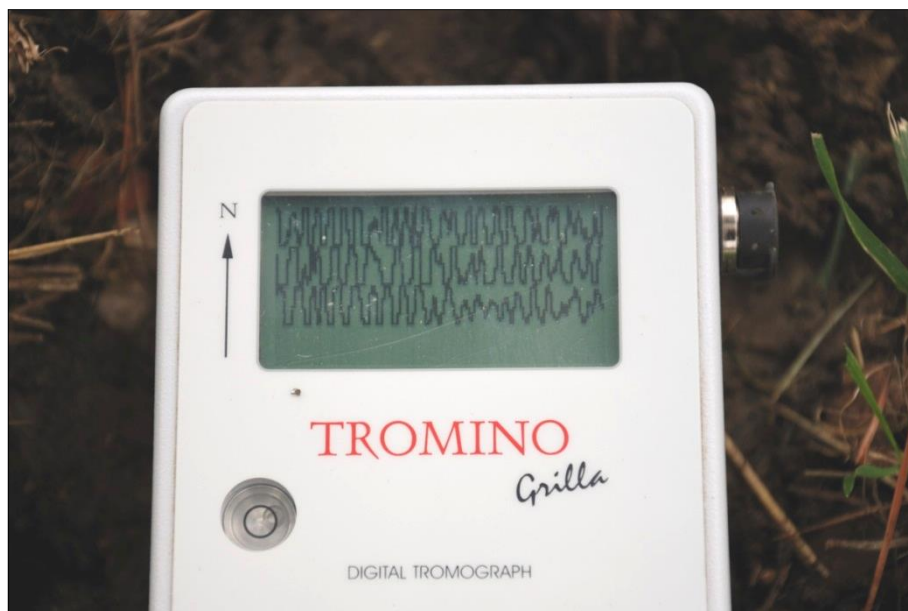


Fig. 14 – Strumento utilizzato

EXPERIMENTAL vs. SYNTHETIC H/V

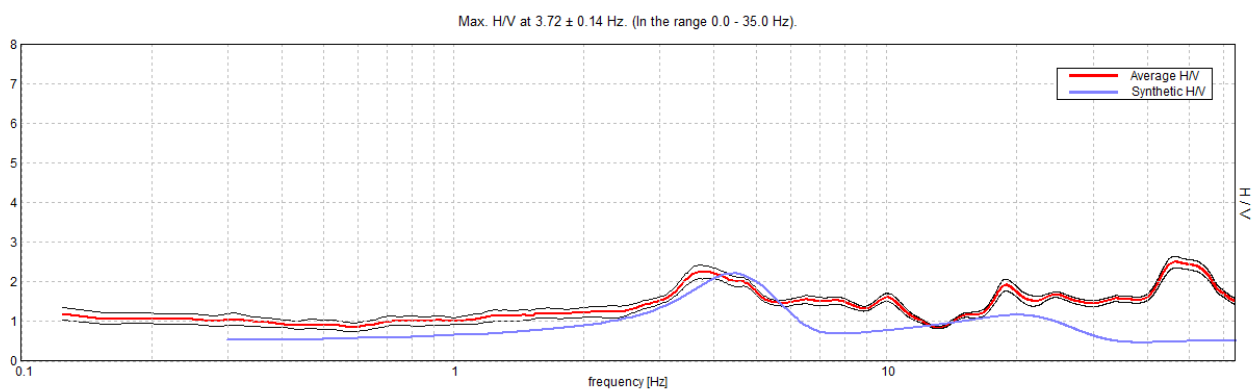


Fig 15 – Sovrapposizione tra curva sperimentale e curva calcolata

Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
0.60	0.60	257	0.35
3.30	2.70	286	0.35
17.80	14.50	489	0.30
32.10	14.30	584	0.30
inf.	inf.	1023	0.25

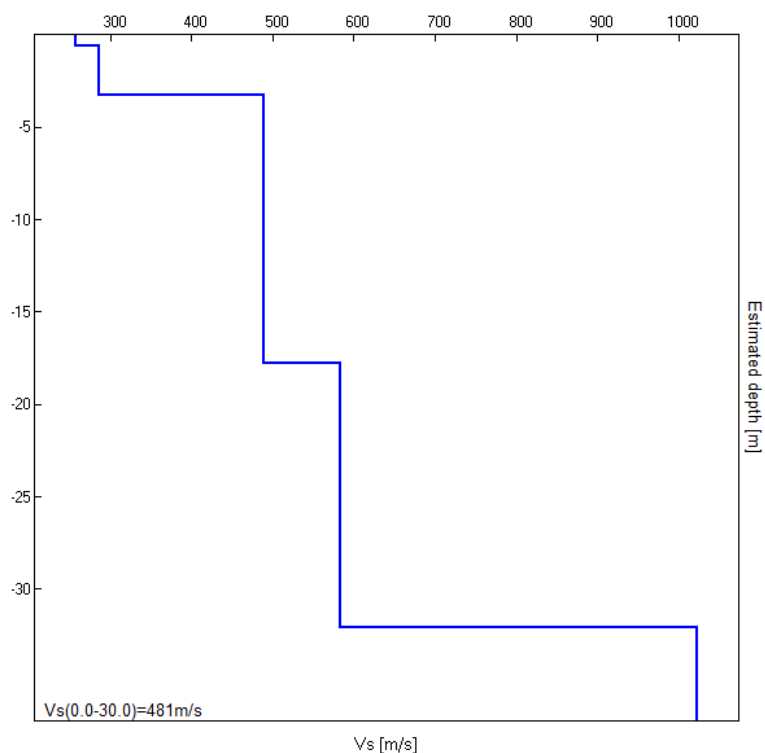


Fig 16 – Dati sismostratigrafici da MASW

Max. H/V at 3.72 ± 0.14 Hz (in the range 0.0 - 35.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.72 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$4313.8 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 180 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.188 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	11.5 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.24 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.03771 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.14024 < 0.18594$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1714 < 1.58$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
Freq. range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Le risultanze di una misura HVSR sono riassunte nel grafico H/V (fig.12). Tale grafico è il frutto del rapporto tra le componenti orizzontali e quella verticale delle vibrazioni ambientali registrate sul sito. In esso, quando le condizioni a contorno lo permettono, si evidenzia, attraverso la presenza di picchi con ampiezza variabile, la presenza del modo fondamentale di vibrazione ed eventualmente la presenza di modi superiori.

La frequenza di ogni picco varia al variare dello spessore dello strato superficiale (meno rigido di quello sottostante) secondo la seguente relazione:

$$F = \frac{V_s}{4H} \quad (1)$$

con

F=frequenza di vibrazione;

V_s= velocità delle onde S dello strato;

H= spessore dello strato;

Pertanto a parità di velocità delle onde S, la frequenza (F) risulta inversamente proporzionale allo spessore (H).

L'ampiezza del picco è spesso legata alla impedenza acustica tra i due sismostati a contatto ed indica una maggiore propensione ad effetti di amplificazione sismica. Si ricorda comunque che gli effetti di amplificazione di un sito sono legati anche alla direzione da cui avviene il sisma.

La misura HVSR ha fatto registrare un blando picco a frequenza di $3,72 \pm 0,14$ Hz. Tale picco rappresenta la frequenza fondamentale di vibrazione del sito.

Va segnalata la presenza di un disturbo di origine antropico evidenziato in fig 13 da un andamento concorde delle due componenti orizzontali e quella verticale. Tale disturbo tuttavia non sembra aver creato particolari problemi nella definizione del picco descritto.

Un secondo picco si osserva a circa 46 Hz. Tale valore di frequenza non rientra tra quelli di interesse ingegneristico pertanto va trascurato.

In figura 15 si riporta un grafico dove alla curva H/V sperimentale è stata sovrapposta una curva sintetica calcolata con la formula 1 vista in precedenza.

I valori sismostratigrafici sono riferiti a quelli ottenuti dall'indagine MASW.

Come si osserva dalla fig. 16 tra la curva sperimentale H/V e quella sintetica ottenuta partendo dai dati sismostratigrafici ottenuti dall'MASW c'è una buona sovrapposizione. Tale risultato conferma e avvalora l'interpretazione sismostratigrafica effettuata attraverso l'indagine MASW.

7. PRELIEVO DEI CAMPIONI DI ROCCIA E ANALISI DI LABORATORIO

Al fine di caratterizzare correttamente il banco calcarenitico all'interno del quale è stato scavato l'ipogeo oggetto di consolidamento è stato effettuato il prelievo di un campione di roccia direttamente dalle pareti interne dell'ipogeo.

Appare ragionevole precisare che l'ipogeo in questione è stato oggetto di intensa attività antropica. Nella prima parte dello stesso, corrispondente alla parte sottostante Via del mercato, non si ha evidenza di roccia in posto; le pareti laterali sono rappresentate da murature, costruite con conci calcarenitici, rivestite con piastrelle e come tetto vi è un solaio che rappresenta la base della sede stradale soprastante. Negli ambienti retrostanti e laterali vi è evidenza della roccia in posto che per alcuni tratti costituisce la volta e in altri casi anche le pareti laterali.

Il prelievo del campione, pertanto, è stato effettuato lungo la parte sommitale di una parete in corrispondenza di un affioramento di calcareniti in posto.



Fig. 17 – Parte iniziale dell' ipogeo, immediatamente sotto Via del mercato, dove non vi è evidenza di roccia in posto.

Le operazioni di prelievo del campione sono state condotte mediante l'utilizzo di una sega circolare elettrica. Il campione prelevato è stato condotto in laboratorio dove sono stati sagomati i provini da sottoporre a successive prove geotecniche.



Fig 18 – Prelievo del campione di roccia in posto



Fig 19 – Affioramento calcarenitico oggetto di campionamento

Dal campione prelevato sono stati sagomati due provini sui quali sono state effettuate: prove di identificazione (peso di volume, contenuto in acqua, densità) e prove di resistenza meccanica per determinare le proprietà fisico-meccaniche dei terreni (prove di taglio).

I particolari di quanto riscontrato sono riassunti nelle tabelle sottostanti.

Campione	w %	γ KN/m ³	γ_d KN/m ³	γ_{sat} KN/m ³	γ_s KN/m ³	e	n %	Sr %
C1	14.53	16.95	14.80	26.28	26.37	0.782	43.88	49.01

Tab 3 - Proprietà fisiche –ottenute come media dei due provini

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	Valori a rottura σ_r (Kg/cm ²) Prov 1	Valori a rottura σ_r (Kg/cm ²) Prov 2
C1	7.044	9.507

Tab 4 - Caratteristiche meccaniche – Prova di compressione uniassiale.

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

8. IL TERRENO DI FONDAZIONE

L'intera campagna di indagini ha consentito di ricostruire in maniera dettagliata la stratigrafia del terreno di fondazione. Questo risulta essere costituito da:

- Calcarenite di Gravina per uno spessore di circa 20/30 metri;
- Calcere di Altamura per uno spessore indefinito;

Dal punto di vista geomorfologico, l'area direttamente interessata dalle fondazioni occupa un versante, originariamente, degradante verso Sud-Sud/Ovest.

8.1 CARATTERI GEOTECNICI DEL TERRENO DI FONDAZIONE

Per quanto riguarda i parametri Geotecnici del terreno di fondazione si fa riferimento ai risultati di prove di laboratorio condotte sul campione analizzato in laboratorio autorizzato ai sensi dell'art. 59 del D.P.R. n° 380/2001.

In particolare si riportano nella tabella sottostante i valori di riferimento. Si precisa che, al fine di maggior cautela, si riporta il valore di resistenza a compressione più basso riscontrato durante le prove di laboratorio:

Camp	Resistenza a compressione mono-assiale σ (Kg/cm²)	Peso di Volume naturale γ (KN/m³)
1	7.04	16,95

Tab. 5. Risultati delle prove di laboratorio .

Inoltre sulla base di dati derivanti da analisi eseguite su campioni della stessa formazione, pubblicati da Lagioia (1996), Cherubini et al (2007), Andriani e Walsh (2010), Parise e Lollino (2014), sono stati desunti i seguenti parametri di resistenza al taglio:

Angolo di attrito	(φ)	30° - 35°
Coesione	(c')	90 - 150 KN/m²

La variabilità dei parametri geotecnici indicati, dipende dal diverso stato tessiturale, di cementazione, di imbibizione che in queste rocce può variare repentinamente anche in scala locale. Pertanto si consiglia l'utilizzo dei valori inferiori indicati.

E' ragionevole precisare, inoltre, che il valore di coesione indicato è riferito alla scala del campione e non all'ammasso roccioso che ricordiamo essere caratterizzato dall'insieme della massa lapidea, da giunti di strato e sistemi di fratture; in generale all'aumentare della fratturazione diminuisce la coesione dell'ammasso.

Per ricavare un valore di coesione caratteristico dell'ammasso roccioso si può utilizzare il metodo statistico proposto da Manev e Avramova-Tacheva (1970), che permette di stimare una coesione dell'ammasso roccioso (c_r) partendo dalla coesione della roccia integra (c'), attraverso la seguente formula:

$$c_r/c' = 0.114e^{-0.48(i-2)} + 0.02$$

Con i che rappresenta il numero di discontinuità per metro lineare

Applicando la suddetta formula, per il caso in studio, si ricava un valore di coesione attribuibile all'ammasso roccioso pari a:

$$c_r = 9.0 \text{ KN/m}^2$$

9. AZIONE SISMICA LOCALE

Lo studio dell'azione sismica locale è stato eseguito con il software Geostru, NTC attraverso il quale sono stati calcolati i paramenti che definiscono gli spettri di risposta sismica dell'area riferiti alla struttura da realizzare.

Sito in esame

Coordinate ED 50:

- latitudine: **40,631794;**
- longitudine: **16,9370**

- Classe edificio: 3 (Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi):

- Vita nominale: 50 anni.

Parametri sismici

- Categoria sottosuolo: B;
- Categoria topografica: T1 (Superficie pianeggiante);
- Periodo di riferimento: 75 anni;
- Coefficiente cu: 1,5.

Le NTC2018 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. 6.

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 6 – Stati limite e probabilità di superamento .

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_o 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. 7)

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c[*] [s]
SLO	45	0,043	2,445	0,292
SLD	75	0,058	2,543	0,294
SLV	712	0,170	2,479	0,309
SLC	1462	0,220	2,477	0,314

Tabella 7 - 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. 8).

STATO LIMITE	S _s	C _c	S _t	A _{max}
SLO	1,20	1,41	1,00	0,512
SLD	1,00	1,00	1,00	0,683
SLV	1,00	1,00	1,00	2.002
SLC	1,00	1,00	1,00	2.546

Tabella 8 - 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*a_g = S_s*S_t* a_g (Accelerazione orizzontale massima attesa al sito)

10. 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.

Per quanto detto nei paragrafi precedenti, è possibile affermare che la situazione generale dell'area dal punto di vista geologico-morfologico, non presenta elementi tali da destare preoccupazioni sulla sua generale stabilità. Su tutta l'area, però, è emersa la presenza diffusa di cavità di origine antropica. Si consiglia, pertanto, di effettuare un monitoraggio sito specifico al fine di valutare la compatibilità delle opere previste in funzione dell'eventuale presenza di tali cavità. In tal proposito, sul pavimento dell'ipogeo oggetto di consolidamento, si segnala la presenza di alcuni chiusini di accesso a cisterne sottostanti.

L'intera zona è urbanizzata; il litotipo affiorante, con spessori superiori a 10metri, è rappresentato interamente delle Calcareniti di Gravina. Le pendenze rilevate sono basse (circa 2%) e non è stato possibile rilevare la presenza di segni riconducibili ad erosione superficiale.

Durante le indagini non è emersa la presenza di una falda che possa interagire con il piano di fondazione delle opere previste.

Dopo la loro realizzazione, le opere non devono modificare l'originario assetto idraulico del sito. Pertanto in fase di realizzazione devono essere previste opportune opere di drenaggio che non permettano il ristagno di acque meteoriche sotto il piano di fondazione.

Viste le risultanze dell'indagine MASW e della misura HVSR, il suolo è stato inserito in categoria B. In fase di progettazione va tenuto presente che dalla indagine HVSR è emersa, la presenza di un blando picco a $3,72 \pm 0,14$. Hz. Tale valore rappresenta la frequenza fondamentale di vibrazione del sito, pertanto va tenuto in considerazione in

fase di progettazione delle opere al fine di evitare, in caso di sisma, che si possano generare fenomeni di risonanza suolo-struttura.

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 alcuna area a pericolosità geomorfologica o idraulica.

Castellaneta, marzo 2019

Geol Donato PERNIOLA



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

**CONSOLIDAMENTO DI UN IPOGEO E SISTEMAZIONE SEDE STRADALE PIAZZA UMBERTO N°
 25, VIA DEL MERCATO E PUNTA DEL CAPILLO - CASTELLANETA (TA)**

Committente:

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

Verbale di accettazione n° 15R/2019 del 25.02.2019

Rapporti di prova emessi dal n° 41R/2019 al n° 42R/2019

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. 15R/2019 Del 25.02.2019 Rapporto di prova N. 41R Del 02.03.2019

Committente	GEOSOLUTION s.r.l.
Indirizzo	Via Mercato n° 2 - 74011 CASTELLANETA (TA)
Progetto/Lavoro	Consolidamento di un ipogeo e sistemazione sede stradale Piazza Umberto n° 25, Via del Mercato e Punta Capillo

Località prelievo campione	Castellaneta (TA)
Sondaggio n°	Campione n° 1 Profondità:
	Campione di roccia tenera pervenuto in laboratorio in busta di plastica sigillata e prelevato a cura del committente
Descrizione visiva del campione	Calcarenite di colore giallastro, a grana medio - fine

MISURA DEL CONTENUTO NATURALE D'ACQUA
(ASTM D2216)

Misura	1	2	3	UNITA' DI MISURA
Massa tara	60.2	70.5	64.05	g
Massa tara + massa campione umido	792.14	737.94	787.98	g
Massa tara + massa campione secco	701.65	651.34	695.89	g
Contenuto naturale d'acqua	14.11	14.91	14.57	%
Contenuto naturale medio d'acqua	14.53			%

Peso dell'unità di volume	17.08	16.82	16.89	KN/m ³
Peso specifico dei grani	26.28	26.28	26.28	KN/m ³
Peso dell'unità di volume secco	14.97	14.64	14.74	KN/m ³
Peso dell'unità di volume saturo	19.27	19.07	19.13	KN/m ³
Indice dei vuoti	0.756	0.795	0.783	
Porosità	43.04	44.30	43.91	
Grado di saturazione	49.06	49.26	48.94	%

Data Inizio Prova: 26.02.2019

Data Fine Prova: 27.02.2019

Verbale Accettazione N. 15R/2019 Del 25.02.2019 Rapporto di prova N. 42R Del 02.03.2019

Committente	GEOSOLUTION s.r.l.
Indirizzo	Via Mercato n° 2 - 74011 CASTELLANETA (TA)
Progetto/Lavoro	Consolidamento di un ipogeo e sistemazione sede stradale Piazza Umberto n° 25, Via del Mercato e Punta Capillo

Località prelievo campione:	Castellaneta (TA)		
Campione n°	1	Ubicazione prelievo:	
Campione di roccia tenera pervenuto in laboratorio in busta di plastica sigillata e prelevato a cura del committente			
Descrizione visiva campione:	Calcarenite di colore giallastro, a grana medio - fine		

PROVA DI COMPRESSIONE UNIASSIALE
(Norma ASTM D 2938-95 - ASTM D3148-02)

Stato del campione	Rimaneggiato
---------------------------	--------------

DATI PROVINO DI FORMA CUBICA							VALORI A ROTTURA		
N° provino	W (cm)	L (cm)	H (cm)	A (cm ²)	M (g)	γ (KN/m ³)	P (kN)	σ _r (MPa)	σ _r (Kg/cm ²)
1	7.50	7.50	7.50	56.25	720.50	17.08	4.04	0.72	7.044
2	7.00	7.00	7.00	49.00	576.99	16.82	4.75	0.97	9.507
VALORI MEDI						16.95	4.40	0.844	8.275

Dove:
M = massa del provino
W = Larghezza del provino (valore medio)
L = lunghezza del provino
H = altezza del provino
A = area di base del provino
γ = peso di volume naturale
P = Carico a rottura
σ _r = Resistenza a compressione semplice

Data Inizio Prova: 28.02.2019

Data Fine Prova: 28.02.2019

Lo Sperimentatore
Dr. Geol. D. Santospirito

Il Direttore del Laboratorio
Dr. Geol. A. Capodilupo