



# ANAS S.p.A.

DIREZIONE REGIONALE PER LA SICILIA

## PA17/08

Affidamento a Contraente Generale dei "Lavori di ammodernamento del tratto Palermo - Lercara Friddi, lotto funzionale dal km 14,4 (km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al km 48,0 (km. 33,6 del Lotto 2 - Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n.189 e SS n.121

### Bolognetta S.c.p.a.

## - PERIZIA DI VARIANTE N.3 -

Il Responsabile Ambientale:  
Dott. Maurizio D'Angelo



Titolo elaborato:

### OPERE D'ARTE - OPERE DI SOSTEGNO- Viabilità secondaria

### OS 147 - Paratia di pali - Viabilità secondaria 50

### dal km 1+419,64 al km 1+538,38

### Relazione geologica

Codice Unico Progetto (CUP) : F41B03000230001

Codice elaborato:	OPERA	ARGOMENTO	DOC. E PROG.	FASE	REVISIONE
PA17/08	PV	OS147	RT01	6	0

CARTELLA:	FILE NAME:	NOTE:	PROT.	SCALA:
	PV_OS147_RT01_60_4137.dwg	1=1	4 1 3 7	1:250
5				
4				
3				
2				
1				
0	PRIMA EMISSIONE		Dicembre 2019	G. Bellomo S. Fortino D. Tironi
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO APPROVATO

Progettisti :

F.A.C.E. S.r.l. - Società di ingegneria

FACTORY OF ARCHITECTURE CIVIL ENGINEERING  
 via Flaminia 71 - 00196 Roma  
 tel: 06 32609519  
 e-mail: info@facesrl.com  
 pec: pec.facesrl@pec.com

Direttore Tecnico: ing. Antonio Ambrosi

Consulenti:



E&G s.r.l.  
 ENVIRONMENT & GEOTECHNIC  
 STUDIO DI INGEGNERIA GEOTECNICA E AMBIENTALE



Direttore Tecnico: ing. Quintilio Napoleoni

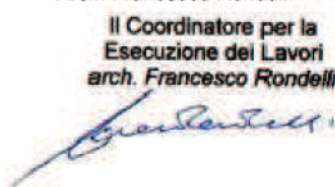
Il Progettista Responsabile  
Ing. Antonio Ambrosi



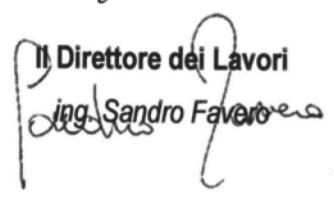
Il Geologo  
Dott. Geol. Gualtiero Bellomo



Il Coordinatore per la Sicurezza  
in fase di Esecuzione:  
Arch. Francesco Rondelli



Il Direttore dei Lavori:  
Ing. Sandro Favero



ANAS S.p.A.

DATA: \_\_\_\_\_ PROTOCOLLO: \_\_\_\_\_ VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

CODICE PROGETTO **LO410CE1101**

Dott. Ing. Luigi Mupo

## **RELAZIONE GEOLOGICA**

### **1. PREMESSE**

Il presente studio geologico-tecnico, in ossequio a quanto descritto nelle normative vigenti in materia (D.M.11/03/88, D.M.17/01/2018, Decreto Legislativo del 18 aprile 2016 n. 50 e Circolare 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP.), prevede l'esecuzione di tutti i rilievi e le indagini necessarie per:

- determinare la costituzione geologica dell'area interessata dal progetto;
- studiarne le caratteristiche geomorfologiche con particolare riguardo alle condizioni di stabilità dei versanti;
- definire l'assetto idrogeologico con riguardo alla circolazione idrica superficiale e sotterranea;
- individuare tutte le problematiche geologico-tecniche che interferiscono con le opere in progetto;
- indicare eventuali opere di consolidamento o presidio per garantire la sicurezza delle opere in progetto.

Lo studio è stato, quindi, articolato come segue:

**a) Studio geologico dell'area interessata** comprendente la descrizione delle formazioni geologiche presenti, delle loro caratteristiche litologiche, dei reciproci rapporti di giacitura, dei loro spessori, nonché l'indicazione di tutti i lineamenti tettonici.

**b) Studio geomorfologico dell'area interessata** comprendente la descrizione dei principali lineamenti morfologici, degli eventuali fenomeni di erosione e dissesto, dei principali processi indotti da antropizzazione.

**c) Studio idrogeologico dell'area interessata** comprendente la descrizione dei lineamenti essenziali sulla circolazione idrica superficiale e sotterranea in relazione alla loro interferenza con le problematiche geotecniche, allo smaltimento delle acque dilavanti ed all'individuazione delle aree soggette ad esondazione.

**d) Studio delle pericolosità geologiche dell'area interessata** comprendente tutto quanto necessario ad evidenziare le aree interessate da “pericolosità geologiche” quali frane, colate, crolli, erosioni, esondazioni, rappresentando, cioè, un'attenta analisi ed interpretazione degli studi precedenti.

**e) Studio della pericolosità sismica locale** comprendente l'esecuzione di specifiche indagini sismiche atte ad evidenziare le aree con particolari problematiche sismiche e tali da poter provocare fenomeni di amplificazione, cedimenti ed instabilità.

Da quanto detto prima si evince che in una prima fase il nostro lavoro è stato organizzato eseguendo numerosi sopralluoghi finalizzati allo studio di una zona più vasta rispetto a quella direttamente interessata dal progetto per inquadrare, in una più ampia visione geologica, la locale situazione geostrutturale.

Nostro interesse era, inoltre, quello di definire l'habitus geomorfologico e l'assetto idrogeologico concentrando la nostra attenzione sulle condizioni di stabilità dei versanti, sullo stato degli agenti morfogenetici attivi e sulla presenza e profondità di eventuali falde freatiche.

Si è ritenuto utile, a tal fine, di integrare lo studio con una dettagliata analisi aereofotogeologica eseguita su foto aeree in scala 1/10.000 circa che ci ha permesso di verificare ed individuare tutte le problematiche di carattere geomorfologico di area vasta che con i rilievi di superficie non sempre è possibile studiare.

Per la caratterizzazione della serie stratigrafica locale, per la ricostruzione del modello geologico e per l'individuazione dello spessore dei terreni presenti sono stati utilizzati i dati derivanti dalle indagini eseguite per il presente progetto e da quelle forniteci dal Committente ed eseguite durante le varie campagne a supporto della progettazione dei *“Lavori di ammodernamento del tratto Palermo – Lercara Friddi, lotto funzionale dal Km. 14,4 (Km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al Km. 48,0 (Km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n. 189 e SS n. 121”*.

In particolare sono stati utilizzati:

- ✓ n. 1 sondaggio a carotaggio continuo denominato SD21 INCL eseguito nell'ambito della campagna di indagine del progetto definitivo (2009-2010);
- ✓ n. 1 pozzetto esplorativo denominato PZ30 eseguito nell'ambito della campagna di indagine del progetto definitivo (2009-2010);
- ✓ n. 2 sondaggi a carotaggio continuo denominati SG1 ed SG2 eseguiti nell'ambito della campagna di indagine integrativa – 2° Fase nell'anno 2016;
- ✓ n. 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica denominata CPTE21\_2012 eseguito nell'ambito della campagna di indagine integrativa – Progetto esecutivo 2012.

Ad integrazione dei dati in nostro possesso è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche e geofisiche nell'area direttamente interessata dal progetto.

In particolare sono stati realizzati:

- ⇒ n. 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo (S1), di profondità pari a 30 mt.;

⇒ prelievo di n. 2 campioni indisturbati da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio.

Per lo studio delle caratteristiche sismiche dei terreni presenti nell'area direttamente interessata dal progetto è stato eseguito n. 1 sondaggio di sismica passiva a stazione singola denominato T1 e n. 2 indagini di sismica attiva MASW denominati M1 ed M2.

Infine, per la definizione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni si possono utilizzare, in questa fase, i dati acquisiti dalle prove eseguite in situ ed in laboratorio effettuate sui terreni dello stesso tipo litologico nell'ambito delle varie fasi di progettazione nonché i dati acquisiti dalle prove in laboratorio eseguite sui campioni prelevati durante la realizzazione del sondaggio S1.

I risultati delle indagini in nostro possesso sono visibili negli allegati riportati nei capitoli successivi.

Alla presente relazione si allegano i seguenti elaborati:

- ✓ corografia con l'ubicazione dell'area in studio in scala 1/10.000;
- ✓ carta geologica, geomorfologica ed idrogeologica in scala 1/5.000;
- ✓ carta ubicazione indagini utilizzate ed eseguite in scala 1/2.000;
- ✓ elaborati relativi alle indagini utilizzate ed eseguite per il presente studio;
- ✓ elaborati delle indagini di sismica attiva e passiva eseguite per il presente studio;
- ✓ stralci delle carte relative al “Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.)” redatte dall'Assessorato Territorio e Ambiente – Servizio 4 “Assetto del territorio e difesa del suolo”,
- ✓ sezione geologica n. 120 in scala 1/200.

## **2. DESCRIZIONE DELL'OPERA**

La presente relazione si inquadra nell'ambito di uno studio geologico limitato esclusivamente alla progettazione di localizzati interventi necessari a risolvere alcune criticità e/o danni subiti dalla sede stradale lungo il tracciato della SS Palermo – Lercara Friddi dal Km. 14,4 al Km. 48,0, a seguito dell'evento alluvionale del 2, 3 e 4 novembre 2018, senza, ovviamente, entrare nel merito delle scelte progettuali fatte in relazione al Progetto esecutivo che è in fase di realizzazione.

L'opera in esame si rende necessaria per evitare che l'evoluzione retrogressiva di una nuova frana istauratasi a valle del tracciato stradale in corrispondenza della viabilità secondaria possa danneggiare nel futuro tale tratto stradale secondario.

L'opera è, quindi, necessaria per il sostegno dei rilevati della viabilità secondaria ubicata tra il viadotto VN04 “Montagnola 2” e la Nuova Galleria Artificiale “San Giorgio” ed è costituita, secondo i calcoli del progettista, da pali trivellati di diametro  $D = 800$  mm posti ad un interasse di 1.2 m, lunghi 18 m.

L'opera è a sua volta vincolata in testa ad un sistema di ritenuta costituito da tiranti in trefoli d'acciaio le cui specifiche geometriche sono di seguito enumerate:

n trefoli =	4
d trefoli =	6 pollici
D perforazione =	220 mm
L libera =	25 m
L bulbo fondazione =	10.0 m
interasse tiranti =	2.4 m
pretensione tiranti =	400 kN

### ***3. CONSIDERAZIONI GEOLOGICHE SULL'AREA DIRETTAMENTE INTERESSATA DALLO STUDIO***

Lo studio geologico, di insieme e di dettaglio, è stato realizzato conducendo inizialmente la necessaria ricerca bibliografica sulla letteratura geologica esistente, la raccolta ed il riesame critico dei dati disponibili ed, infine, una campagna di rilievi di superficie effettuati direttamente nell'area strettamente interessata dallo studio.

I tipi litologici affioranti nell'area studiata sono riferibili alla Formazione Lercara (Permiano inferiore – Trias medio (Landinico) ed in generale si tratta di Argilliti scagliettate, fortemente tettonizzate, varicolori, con intercalazioni di arenarie ibride torbiditiche a composizione quarzoso micacea e/o carbonatica ed intercalazioni di brecciole e megabrecce calcaree.

Questa formazione, caratteristica della zona, risulta molto sensibile all'istaurarsi di fenomeni gravitativi in relazione alla sua struttura scagliettata e caotica che permette una facile infiltrazione delle acque meteoriche e selvagge che tendono, una volta infiltratesi, a disgregare l'ammasso dato da scaglie argillose molto dure ma piccole e dalla superficie molto saponosa.

In particolare, i dati in nostro possesso, confermati dall'esecuzione del sondaggio geognostico S1 e della indagini geofisiche, ci permettono di affermare che l'area direttamente interessata dal progetto è caratterizzata dalla presenza di uno spessore variabile tra 8.50 e 11.50 m riconducibile alla frazione alterata e rimaneggiata della Fm. Lercara formata da limi di colore marrone, a struttura caotica, plastici e scarsamente consistenti con tracce di alterazione nerastre e rossastre, particolarmente sensibile alle dinamiche geomorfologiche.

La frazione inalterata sottostante è costituita da argille a struttura scagliettata con superfici lucide di colore grigio, fortemente tettonizzate, con livelli di colore rossastro e strati lapidei di natura calcarea.

Detti terreni sono localmente ricoperti dal terreno vegetale di spessore medio pari a 1.00-2.00 m. e, in corrispondenza della strada dove è stato eseguito il sondaggio S1, da uno spessore pari a 4.00 m di terreno di riporto.



#### **4. CONSIDERAZIONI GEOMORFOLOGICHE**

Nell'area vasta l'habitus geomorfologico è piuttosto tormentato e caratterizzato da valli circondate da rilievi a differente andamento.

Infatti, da un lato le litologie di tipo pseudocoerente, che sono rappresentate dai termini argillosi, affiorano in corrispondenza di rilievi dall'andamento dolce, dall'altro quelle coerenti, ovvero le litologie conglomeratiche e quarzarenitiche, danno luogo a rilievi molto più acclivi e dall'andamento accidentato.

E' quindi, possibile effettuare, nell'area vasta, una prima grande distinzione in tre zone ad assetto morfologico generale differente:

- ❖ una zona nella quale affiorano i termini argillosi caratterizzata da rilievi collinari a morfologia arrotondata con versanti da poco a mediamente acclivi, con frequenti fenomeni geodinamici sia attivi che quiescenti anche di notevoli proporzioni;
- ❖ una zona in cui affiorano i termini quarzarenitici del Flysch Numidico, caratterizzata da rilievi acclivi a morfologia piuttosto accidentata, con frequenti rotture di pendenza e generalmente stabili ma dove si osservano localizzati fenomeni di crollo;
- ❖ una zona di fondovalle dove affiorano i depositi alluvionali caratterizzati dalla presenza di argille limose, limi sabbiosi, sabbie e ghiaie e soggetta a frequenti fenomeni legati alla dinamica fluviale.

Questa marcata differenziazione di origine "strutturale" viene ulteriormente accentuata dalla cosiddetta "erosione selettiva", ossia dalla differente risposta dei terreni agli agenti morfogenetici, che nel sistema morfoclimatico attuale sono dati essenzialmente dalle acque di precipitazione meteorica e da quelle di scorrimento superficiale.

Le litologie più coerenti vengono erose in misura più ridotta e tendono, quindi, a risaltare nei confronti delle circostanti litologie pseudo-coerenti o incoerenti.

I processi morfodinamici prevalenti nel sistema morfoclimatico attuale vedono come agente dominante l'acqua, sia per quanto riguarda i processi legati all'azione del ruscellamento ad opera delle acque selvagge, che per i processi di erosione e/o sedimentazione operati dalle acque incanalate.

Sono essenzialmente i processi di versante quelli che hanno esplicitato e tutt'ora esplicano un ruolo fondamentale nell'evoluzione geomorfologica ed idrogeologica dell'area.

Nello specifico, l'area direttamente interessata dallo studio è costituita da un versante con media-alta pendenza caratterizzato dalla presenza di dissesti dovuti ad erosione accelerata ed a scorrimenti rotazionali.

Quello che si è instaurato nelle vicinanze della viabilità secondaria a seguito dell'evento eccezionale del novembre 2018 è di questo secondo tipo.

Le misure inclinometriche eseguite dal Committente ci indicano la presenza di una superficie di scorrimento attuale alla profondità di 8,50 m dal p.c. ma è necessario tenere in considerazione alla presenza del contatto tra argille rimaneggiate ed alterate/argille inalterate che costituisce la superficie di scorrimento di una paleofrana che, in corrispondenza del sondaggio S1, è stata intercettata alla profondità di 9.00 m.

## **5. CONSIDERAZIONI IDROGEOLOGICHE**

L'area direttamente interessata dallo studio è caratterizzata dall'affioramento di terreni diversi che, da un punto di vista idrogeologico, abbiamo suddiviso in tre complessi idrogeologici differenziati in base al tipo ed al grado di permeabilità:

- ✓ **ROCCE POCO PERMEABILI:** Rientrano in questa categoria la frazione alterata della Fm Lercara, caratterizzati da una permeabilità primaria per porosità che varia al variare della granulometria di terreni presenti. Tale caratteristica risulta molto importante in relazione alla tendenza a fluidificarsi e muoversi verso valle con meccanismi di rottura che generalmente sono di tipo rotazionale che evolvono in colamenti.
- ✓ **ROCCE IMPERMEABILI:** Questo complesso è costituito di litotipi argillosi inalterati della Fm. Lercara. Questa categoria comprende quelle rocce argillose che presentano pori di piccole dimensioni dove l'infiltrazione si esplica tanto lentamente da essere considerate praticamente impermeabili.
- ✓ **ROCCE PERMEABILI PER FRATTURAZIONE:** Sono costituiti dagli strati calcarei intercalati alla Fm. Lercara. Sono sede di falde freatiche e/o artesiane.

Vista la natura dei terreni presenti, dai dati forniti dal committente e da quelli acquisiti dai rilievi di superficie e dalle indagini eseguite si può affermare che la porzione di sottosuolo compreso tra 8.50 e 11.50 m di profondità dal p.c., si presenta saturo e sede di livelli idrici che nei periodi di pioggia raggiungono il piano campagna.

Si mette in evidenza, inoltre, che è stata intercettata una falda in pressione alla profondità di 9.00 m dal p.c. in corrispondenza della

superficie di scorrimento della paleofrana il cui livello piezometrico è ad una quota di un metro circa superiore al piano stradale.

## **6. INDAGINI ESEGUITE ED UTILIZZATE PER IL PRESENTE LAVORO**

Per la redazione del presente studio si utilizzano i risultati delle indagini geognostiche e geotecniche eseguite dal committente nelle varie fasi di progettazione e realizzazione dell'opera integrate un'ulteriore campagna di indagini eseguite per il presente studio.

### **6.1 INDAGINI GEOGNOSTICHE UTILIZZATE PER IL PRESENTE STUDIO**

Come indicato in premessa, nell'ambito della *“Lavori di ammodernamento del tratto Palermo – Lercara Friddi, lotto funzionale dal Km. 14,4 (Km. 0,0 del Lotto 2) compreso il tratto di raccordo della rotatoria Bolognetta, al Km. 48,0 (Km. 33,6 del Lotto 2 – Svincolo Manganaro incluso) compresi i raccordi con le attuali SS n. 189 e SS n. 121”*, sempre dal committente, sono state eseguite nell'area interessata:

- ✓ n. 1 sondaggio a carotaggio continuo denominato SD21 INCL eseguito nell'ambito della campagna di indagine del progetto definitivo (2009-2010);
- ✓ n. 1 pozzetto esplorativo denominato PZ30 eseguito nell'ambito della campagna di indagine del progetto definitivo (2009-2010);
- ✓ n. 2 sondaggi a carotaggio continuo denominati SG1 ed SG2 eseguiti nell'ambito della campagna di indagine integrativa – 2° Fase nell'anno 2016;

- ✓ n. 1 prova penetrometrica statica con punta elettrica denominata CPTE21\_2012 eseguito nell'ambito della campagna di indagine integrativa – Progetto esecutivo 2012.

In allegato sono visibili i certificati delle indagini sopra elencate mentre le ubicazioni sono indicate nella “Carta geologica”.

Tutti i dati relativi a ciascuno dei sondaggi geognostici eseguiti sono riportati in dettaglio in appositi moduli stratigrafici redatti dalle società esecutrici contenenti i seguenti dati:

- profondità;
- scala di rappresentazione;
- spessore degli strati;
- simbolo grafico;
- descrizione stratigrafica;
- profondità di prelievo dei campioni.

## 6.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE PER IL PRESENTE STUDIO

Ad integrazione dei dati in nostro possesso è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche e geofisiche nell'area direttamente interessata dal progetto, di seguito illustrata.

In particolare sono stati realizzati:

- ⇒ n. 1 sondaggio meccanico a carotaggio continuo (S1), di profondità pari a 30 mt.;
- ⇒ prelievo di n. 2 campioni indisturbati da sottoporre a prove geotecniche di laboratorio.

Le carote estratte durante le perforazioni sono state alloggiare in apposite cassette catalogatrici conservate in un ambiente indicato dal committente per tutto il tempo che lo stesso riterrà necessario.

La campagna d'indagini geognostiche è stata eseguita in ottemperanza alle disposizioni riportate nelle Norme Tecniche del D.M. 17/01/2018 ed è finalizzata a:

- ricostruire la stratigrafia di dettaglio;
- definire l'assetto geologico profondo della zona di progetto;
- accertare l'eventuale presenza di falde freatiche nei terreni interessati;
- caratterizzare da un punto di vista geologico-tecnico e geotecnico il substrato interessato dalle opere di progetto.

Le perforazioni sono state eseguite mediante macchine perforatrici munite di centralina integrata ed operanti a rotazione ed avanzamento oleodinamico, adottando la tecnica della conservazione del nucleo per tutto lo spessore indagato, con l'ausilio di tubi carotieri semplici aventi diametro esterno pari 101,6 mm e diametro interno pari a 88,8 mm con lunghezza di

2,00 e 3,00 metri; tutte le manovre saranno eseguite con l'ausilio di aste di perforazione di diametro 76 mm, lunghezza 1,50 metri.

La stabilizzazione delle pareti del foro è stata ottenuta mediante l'uso di tubazione di rivestimento di acciaio di spessore standard.

Tutti i dati relativi a ciascuno dei sondaggi geognostici eseguiti sono riportati in dettaglio, in appositi moduli stratigrafici, contenenti i seguenti dati:

- profondità;
- scala di rappresentazione;
- spessore degli strati;
- simbolo grafico;
- descrizione stratigrafica;
- profondità di prelievo dei campioni;



### 6.3 PROVE GEOTECNICHE IN LABORATORIO

Sui campioni inviati al laboratorio sono state effettuate tutte le analisi e le prove necessarie per definire con il necessario dettaglio sia i parametri fisici che quelli meccanici.

Nello specifico si sono eseguite le seguenti prove:

- ❖ Apertura e descrizione;
- ❖ Determinazione del contenuto d'acqua naturale per essiccamento in stufa;
- ❖ Determinazione del Peso dell'Unità di Volume mediante fustella tarata di diametro pari a 38 mm;
- ❖ Determinazione del peso specifico assoluto dei grani;
- ❖ Determinazione della composizione granulometrica mediante stacciatura per via umida e sedimentazione sul passante allo staccio n° 200 della serie ASTM ( $\varnothing = 0,075$  mm);
- ❖ Prova di taglio diretto. Tale prova è stata presentata completa della diagrammazione delle curve spostamento ( $\delta$ ) deformazione verticale, delle curve spostamento ( $\delta$ ) tensione tangenziale ( $\tau$ ) ed, infine, del grafico tensione normale applicata ( $\sigma$ ) tensione tangenziale ( $\tau$ );
- ❖ prova di compressione triassiale UU.

Il Peso di Volume è stato calcolato mediante una fustella di acciaio a volume noto, secondo una media effettuata su tre prove.

La normativa di riferimento é la BS 1377: 1975 Test 15 e CNR Anno VII n. 40 - 1973.

Il Contenuto naturale d'acqua ( $W_n$ ) è stato calcolato secondo una media effettuata su tre prove, sottoponendo una quantità nota del campione ad essiccazione in stufa a  $105^\circ$ .

La normativa di riferimento è la ASTM D-2216 e CNR-UNI 10008.

Il peso specifico è stato calcolato sulla porzione di terra passante al setaccio ASTM N° 200 ( $\varnothing=0.075$  mm), tramite la media su due valori ricavati per mezzo di un picnometro ad acqua da  $100\text{ cm}^3$ .

La normativa di riferimento è la ASTM C 128-84, D 854-83 e la CNR UNI 10010, 10013.

L'analisi granulometrica è stata realizzata tramite vagliatura meccanica per la porzione di terra avente grana di dimensione superiore a  $0.075$  mm, invece per il materiale avente diametro inferiore viene riservata l'analisi per sedimentazione con il metodo del densimetro.

La serie di setacci utilizzata è stata ASTM D 422 ed UNI 8520.

Per il materiale fine è stata eseguita una procedura per via umida secondo la normativa ASTM D 2217 - Metodo A, seguendo le indicazioni di Bowles (1978).

La classificazione granulometrica è stata eseguita tenendo conto di quanto esposto nella normativa AGI (1978) e BS.

La prova di taglio è stata realizzata con l'apparecchio di Casagrande su tre provini cilindrici o quadrati aventi altezza di  $2$  cm e diametro di  $6$  cm; la fase di consolidazione si è protratta per  $24$  h, sino al raggiungimento della consolidazione secondaria.

La velocità di rottura è stata scelta tenendo conto del tempo di consolidazione del materiale di prova; sono stati analizzati i tempi relativi al  $50\%$  ed al  $100\%$  della consolidazione, valori che hanno permesso di risalire alla velocità necessaria per raggiungere la rottura utilizzando le

formule proposte da Bowles (1970), Ladd (1971) e Gibson ed Henkel (1954).

I carichi applicati durante la fase di consolidazione sono stati compresi tra 98 e 490 KN/m<sup>2</sup> (= tra 1 e 5 Kg/cm<sup>2</sup>).

La normativa di riferimento é la ASTM D 3080-72.

La prova di compressione triassiale UU è stata eseguita su provini cilindrici di diametro 3.8 cm ed altezza 7.6 cm. La velocità di deformazione é stata posta pari a 0.5 mm/min.

Durante la fase di compressione i provini sono stati sottoposti a pressioni di cella comprese 200 e 400 KPa.

I risultati delle prove sono stati diagrammati in grafici  $(\sigma_1 - \sigma_3)/\varepsilon$  e  $\tau/\sigma$ . In quest'ultimo grafico sono riportati i cerchi di Mohr in termini di pressioni totali .

La normativa di riferimento é la ASTM D-4767 – ASTM D 2850-87.

Per i risultati di dettaglio si rimanda agli elaborati redatti dal laboratorio geotecnico ufficiale autorizzato dal Ministero delle Infrastrutture e Trasporti e denominato Geocima s.a.s. di Palermo.

## 6.4 INDAGINI TROMOGRAFICHE ESEGUITE

Nell'ambito del presente studio sono state eseguite n. 2 misure di microtremore ambientale, a partire dal piano di campagna, con un tromografo digitale progettato specificatamente per l'acquisizione del rumore sismico, al fine di verificare il valore delle VS30 caratteristiche del sito.

Si sono scelte due aree dove gli spessori del complesso alluvionale erano presumibilmente quello minimo e quello massimo.

Di seguito vengono riportati alcuni cenni riguardo la metodologia utilizzata.

La sismica passiva è una tecnica che permette di definire la serie stratigrafica locale basandosi sul concetto di contrasto di impedenza dove per strato si intende un'unità distinta in relazione al rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

I primi studi su questa tecnica sono da attribuire a Kanai (1957) e da allora diversi metodi sono stati proposti per estrarre utili informazioni sul sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico registrati in sito.

Tra questi la tecnica che si è maggiormente consolidata è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (HVSR), applicata da Nogoshi e Igarashi (1970).

Successivamente Nakamura (1989) ha applicato tale metodo come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale.

Le basi teoriche dell'HVSR sono relativamente semplici in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D).

Considerando lo schema illustrato nella Figura 1 si osserva che sono presenti due strati (1 e 2) che si differenziano per le densità ( $\rho_1$  e  $\rho_2$ ) e le velocità delle onde sismiche ( $V_1$  e  $V_2$ ).

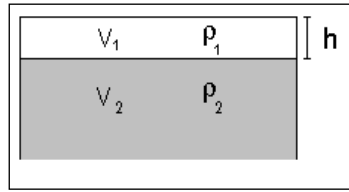


Figura 1. Modello di suolo costituito da due strati a diverse velocità delle onde sismiche e densità.

In questo caso un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene parzialmente riflessa dalla superficie di strato.

L'onda riflessa interferendo con quelle incidenti si somma e raggiunge le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente ( $\lambda$ ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato.

Ne consegue che la frequenza di risonanza ( $f_r$ ) dello strato 1 relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{P1}/(4 H) \quad [1]$$

mentre quella relativa alle onde S è

$$f_r = V_{S1}/(4 H). \quad [2]$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra, come massimi relativi, le frequenze di risonanza dei vari strati.

Questo dato, insieme alla stima delle velocità, è in grado di fornire utili previsioni sullo spessore H degli strati.

Questa informazione è contenuta principalmente nella componente verticale del moto ma la prassi di usare il rapporto tra gli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per:

- ❖ il contenuto in frequenza;
- ❖ la risposta strumentale;
- ❖ l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La normalizzazione, che rende più semplice l'interpretazione del segnale, è alla base della popolarità del metodo.

Da evidenziare, inoltre, che i microtremori sono costituiti da onde di volume, P o S, ed in misura maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh.

Tale inconveniente è facilmente superabile sia perché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva, sia perché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S.

D'altro canto l'applicabilità pratica della formula [2] è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico.

La strumentazione utilizzata per l'acquisizione dei dati sperimentali, consiste in un tromografo digitale denominato "Tromino", dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

- ✓ le curve HVSR che sono state ottenute col software Grilla eseguendo un processing con i seguenti parametri:
  - ✓ larghezza delle finestre d'analisi pari a 20 s per tempi di acquisizione di 20 minuti;
  - ✓ lisciamento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 15% della frequenza centrale,
  - ✓ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine/media a lungo termine) superiore ad 2;
  - ✓ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.

- ✓ le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto sono state ottenute dopo l'analisi con gli stessi parametri sopra riportati.

Le profondità  $H$  delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula sotto riportata, in cui:

- ⇒  $V_0$  è la velocità al tetto dello strato;
- ⇒  $a$  un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.);
- ⇒  $\nu$  la frequenza fondamentale di risonanza.

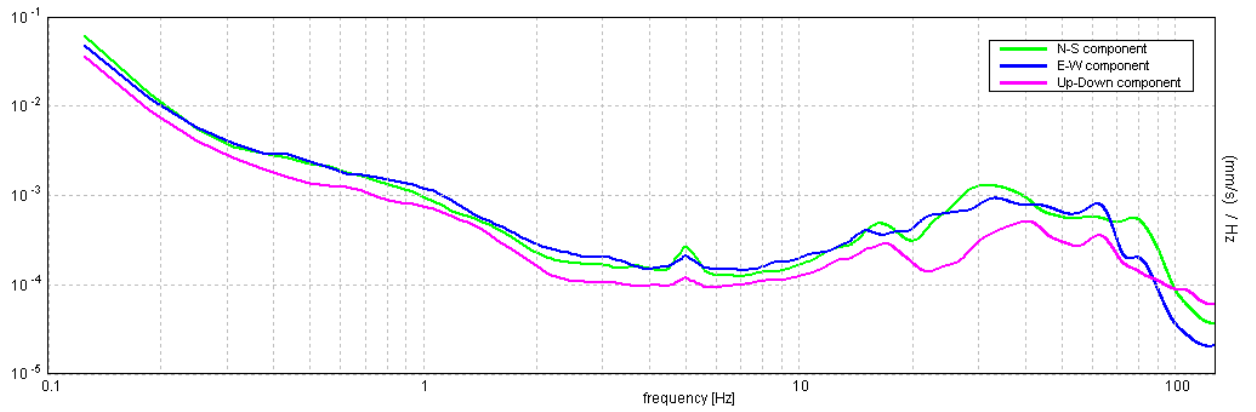
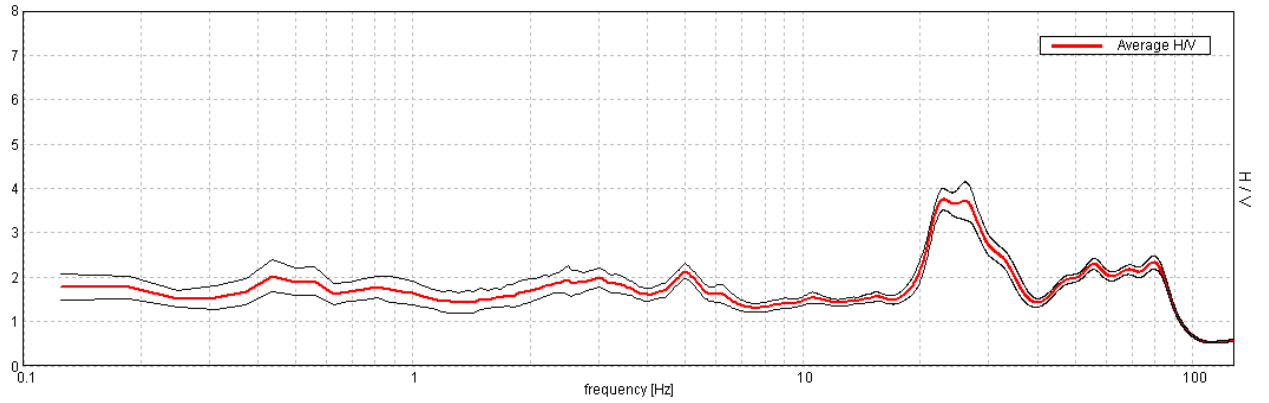
$$H = \left[ \frac{V_0(1-a)}{4\nu} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

Le ubicazioni dei sondaggi eseguiti sono visibili nella planimetria allegata.

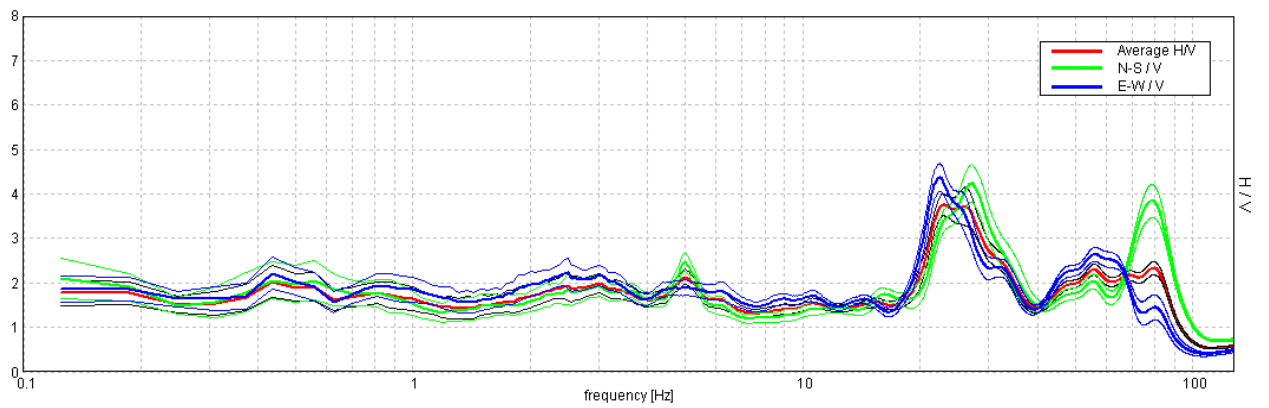
Di seguito sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

# Sondaggio T1

Max. HV at  $23.0 \pm 0.64$  Hz. (In the range 0.0 - 128.0 Hz).



Max. HV at  $23.0 \pm 0.64$  Hz. Max. (N-S)/V:  $27.19 \pm 3.69$  Hz. Max. (E-W)/V:  $22.5 \pm 0.34$  Hz. (In the range 0.0 - 128.0 Hz).





*Strumentazione utilizzata – Tromografo digitale - Micromed*



I dati sperimentali ricavate dalle indagini di sismica passiva a stazione singola permettono di ricavare una stima delle velocità delle onde di taglio  $V_s$ .

In generale, la frequenza di risonanza delle onde S che viaggiano all'interno di uno strato è legata al tempo di tragitto delle onde S nello strato stesso dalla relazione:

$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

Dove  $T_H$  è il tempo di tragitto dall'interfaccia risonante e  $f_r$  è la frequenza di risonanza.

A partire dalla formula precedente e conoscendo la profondità  $h$  dell'interfaccia risonante è definibile la velocità media delle onde S nella struttura risonante:

$$V = \frac{H}{T_H}$$

e

$$f_r = \frac{1}{4T_H}$$

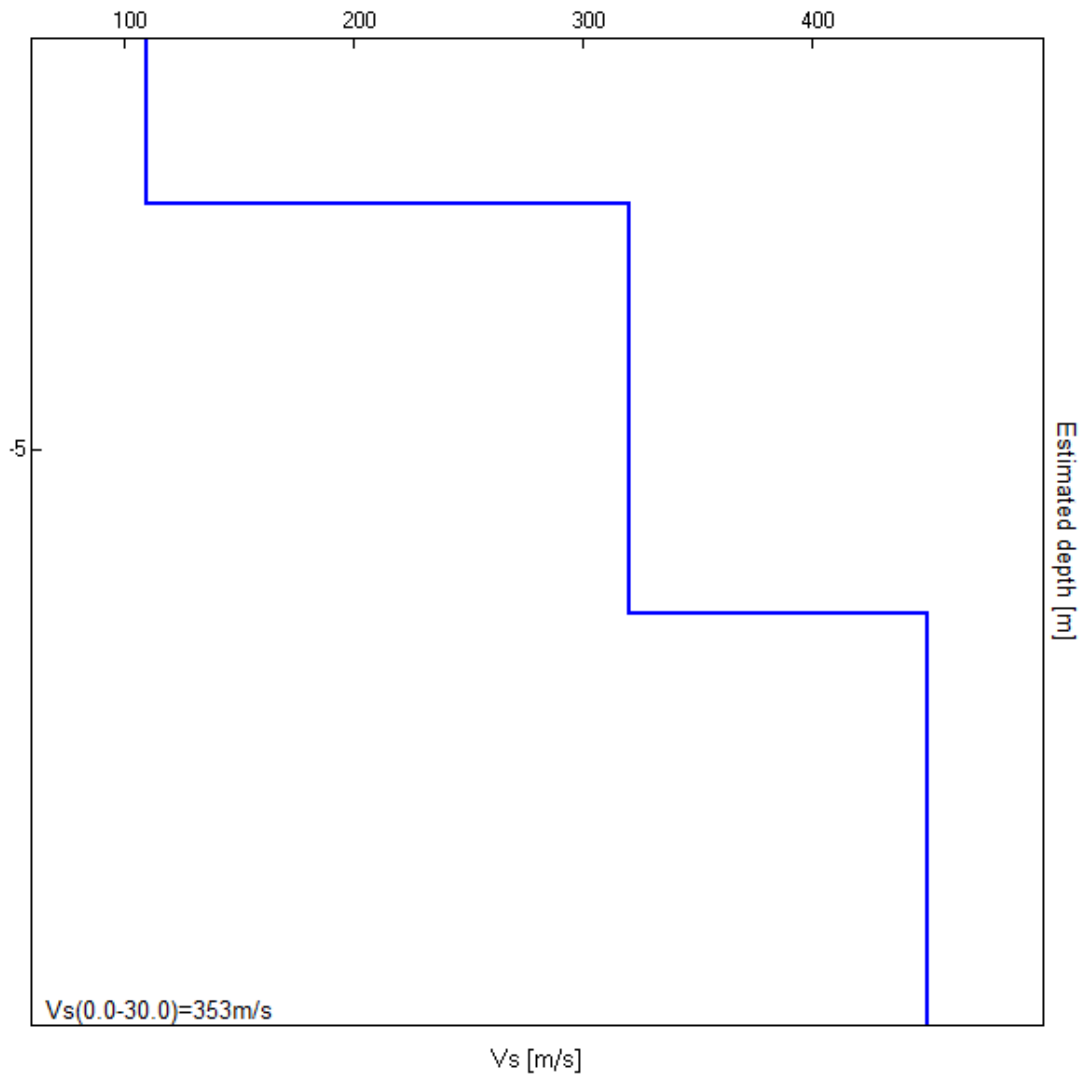
da cui si ricava

$$V = 4 f_r h$$

In allegato sono riportate, in dettaglio, le interpretazioni dei dati sperimentali ottenuti.

### Sondaggio T1

Profondità (m)	Vs (m/s)	Categoria sismica ai sensi del D.M. del 14/01/2008	
0.00-0.2.00	110	D	<b>C</b> (Vs30=353 m/s)
2.00 – 7.00	320	C	
7.00 – 30.00	450	B	



## **6.5 INDAGINI DI SISMICA ATTIVA “MASW” ESEGUITA PER IL PRESENTE STUDIO**

Ad integrazione dei dati acquisiti con l'indagine di sismica passiva a stazione singola sono state eseguite n° 2 indagini sismica attiva di tipo MASW (M1 - M2) nella zona di progetto, al fine di stimare la velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) nei terreni analizzati.

Nelle prospezioni sismiche in cui si utilizzano le onde di tipo P, la maggior parte dell'energia sismica generata dalla sorgente si propaga sotto forma di onde superficiali di tipo Rayleigh le quali, allontanandosi dalla sorgente, subiscono un'attenuazione geometrica inferiore a quella delle onde di volume, in quanto si propagano su fronti d'onda cilindrici anziché sferici.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente in frequenza delle onde di Rayleigh è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase). Inoltre le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori) sono caratterizzate da elevata energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda minori) hanno minori energia e capacità di penetrazione. Questa proprietà, detta dispersione, può essere sfruttata da una metodologia che utilizzi le onde superficiali allo scopo di fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. Pertanto, sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di volume (riflessione e rifrazione), nelle indagini sismiche per onde superficiali la loro proprietà dispersiva viene utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni.

La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde secondarie o di taglio ( $V_s$ ), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

Dall'analisi e l'inversione della curva di dispersione delle onde di Rayleigh, ottenuta operando nel dominio della frequenza ed analizzando il grafico velocità di fase/frequenza (spettro di velocità), si ricava un modello stratigrafico della variazione della velocità  $V_R$  delle onde di Rayleigh con la profondità. Da questa infine si ricava empiricamente l'andamento delle onde di taglio  $V_s$ , molto vicina alla  $V_R$ .

L'esecuzione di un sondaggio MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) viene effettuata generando un treno d'onde superficiali a banda larga e registrando le oscillazioni prodotte con una serie di geofoni allineati.

La configurazione base di campo e la routine di acquisizione per la procedura MASW sono generalmente le stesse utilizzate in una convenzionale indagine a rifrazione.

La procedura MASW può sintetizzarsi in tre stadi distinti:

- ✓ acquisizione dei dati sperimentali;
- ✓ estrazione della curva di dispersione;
- ✓ inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle  $V_s$  (profilo 1-D), che descrive la variazione di  $V_s$  con la profondità.

Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

Una mappa bidimensionale (mappa 2-D) può essere costruita accostando e sovrapponendo più profili 1-D consecutivi.

La profondità di penetrazione dell'indagine MASW è determinata dalla relazione tra velocità e frequenze rappresentate nella curva di dispersione.

Strati più profondi influenzano, infatti, frequenze inferiori (lunghezze d'onda maggiori) e di conseguenza sarà la frequenza più bassa a determinare la massima profondità di penetrazione (da cui l'importanza di generare un segnale con una sufficiente quantità di energia anche alle frequenze più basse). Questo valore è determinato attraverso l'approssimazione  $\lambda/2.5$  ed è, quindi, chiaramente solo indicativo.

L'acquisizione dei dati sul campo è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale DoReMi della Sara Instruments ad alta risoluzione in grado di registrare i segnali provenienti da 24 geofoni a componente verticale, con frequenza centrale pari a 10 Hz e con una distanza intergeofonica di 2 m. La strumentazione, grazie ad un software di elaborazione collegato ad un netbook, consente di effettuare un rapido controllo della qualità dei segnali registrati tramite un processing preliminare dei dati in situ.

Il sismografo in questione costituisce il componente fondamentale dell'apparato di acquisizione dei dati, è uno strumento digitale multicanale dotato di scheda di acquisizione con risoluzione di 24 bit e campionamento da 80 a 13.500 c/s.

Le impostazioni dei parametri di acquisizione dello strumento sono stati scelti in funzione della lunghezza degli stendimenti, del grado di risoluzione ricercato, delle condizioni ambientali rispetto alle fonti di rumore e tenendo conto della relativa disomogeneità delle successioni litostratigrafiche (antropiche e naturali) presenti nella zona indagata.

Le caratteristiche e la geometria dello stendimento sono rappresentate nella tabella seguente:

Profilo sismico	Tipo Di Indagine	Intervallo Di Campionamento	N° Campioni	Durata Di Registrazione	Stacks	Offset
M1	MASW	1 ms	4096	2048 ms	4	3 m
M2	MASW	1 ms	4096	2048 ms	4	5 m

L'elaborazione e l'interpretazione dei dati sismici di tipo MASW è stata eseguita con l'ausilio del software winMASW, che consente di analizzare dati sismici (common-shot gathers) acquisiti in campagna in modo tale da poter ricavare il profilo verticale della Vs (velocità delle onde di taglio).

Tale risultato viene ottenuto tramite inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh, determinate tramite la tecnica MASW.

La procedura si sviluppa in due operazioni svolte in successione:

- 1) determinazione dello spettro di velocità (sul quale l'utente deve identificare la curva di dispersione);
- 2) inversione della curva di dispersione (precedentemente individuata) attraverso l'utilizzo di algoritmi genetici (detti anche evolutivi).

I metodi lineari più comuni forniscono, infatti, soluzioni che dipendono pesantemente dal modello iniziale di partenza che l'utente deve necessariamente fornire.

Per la natura del problema (inversione delle curve di dispersione), la grande quantità di minimi locali porta necessariamente ad attrarre il modello iniziale verso un minimo locale che può essere significativamente diverso da quello reale (o globale). In altre parole, i metodi lineari richiedono che il modello di partenza sia già di per sé vicinissimo alla

soluzione reale. In caso contrario il rischio è quello di fornire soluzioni erronee.

Gli algoritmi evolutivi (come altri analoghi) offrono invece un' esplorazione molto più ampia delle possibili soluzioni. A differenza dei metodi lineari non è necessario fornire alcun modello di partenza, è invece necessario definire uno “spazio di ricerca” (*search space*) all'interno del quale vengono valutate diverse possibili soluzioni. Quella finale viene, infine, proposta con una stima della sua attendibilità (deviazioni standard), ottenuta grazie all'utilizzo di tecniche statistiche.

Il principale punto di forza di winMASW è quindi proprio quello di fornire risultati molto più robusti rispetto a quelli possibili con altre metodologie, arricchiti anche da una stima dell'attendibilità. Tali caratteristiche vengono ottenute a prezzo di uno sforzo computazionale piuttosto intensivo che si riflette in tempi macchina più lunghi rispetto a quelli comunemente necessari con i metodi di inversione lineare (che però rischiano di fornire risultati piuttosto imprecisi). Tali tempi di calcolo dipendono dai parametri scelti dall'utente per l'inversione dei dati.

Le informazioni dedotte dai sondaggi geognostici hanno consentito di interpretare i risultati vincolando l'inversione dei dati a modellistiche a 3 strati. Le curve di dispersione relative al sondaggio MASW sono mostrate di seguito.

Per la determinazione del parametro  $V_{s_{eq}}$  è stato analizzato esclusivamente il modo fondamentale della curva. L'analisi dei profili sismici MASW eseguiti ha permesso la definizione di un modello 1-D di velocità delle onde di taglio, localizzabile nel baricentro dello stendimento. La tabella seguente riporta il valore del parametro  $V_{s_{eq}}$  ponendo  $H=30$  m dal momento che, entro tale profondità, le indagini eseguite non hanno



consentito di rilevare la presenza di substrato rigido così come indicato al paragrafo 3.2.2 delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2018.

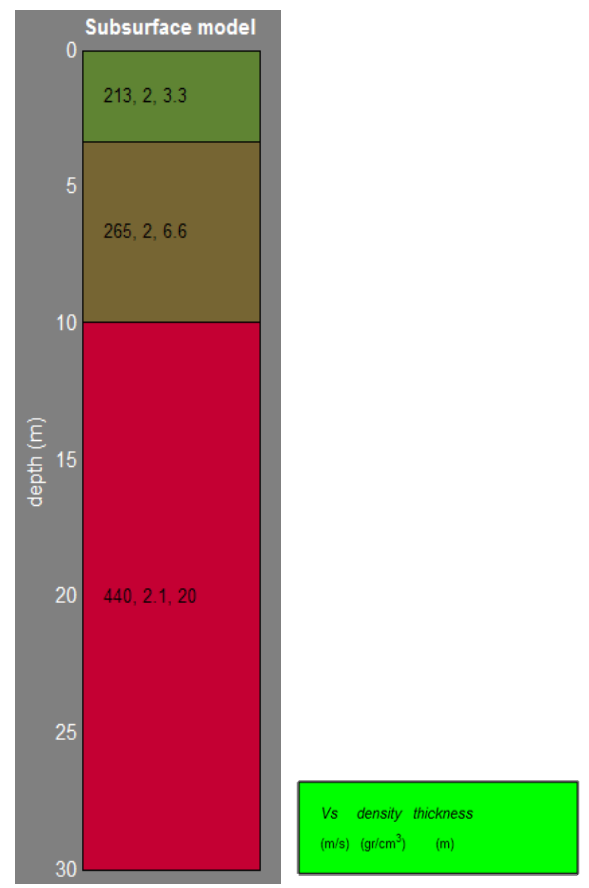
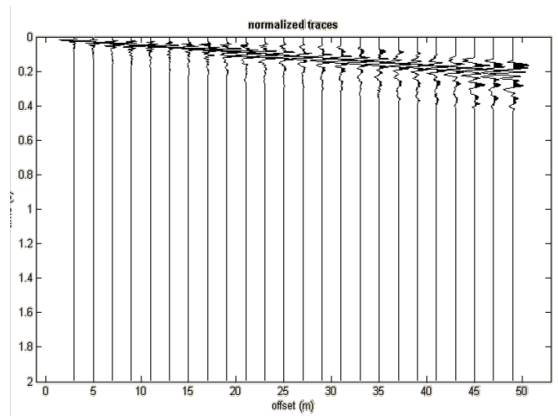
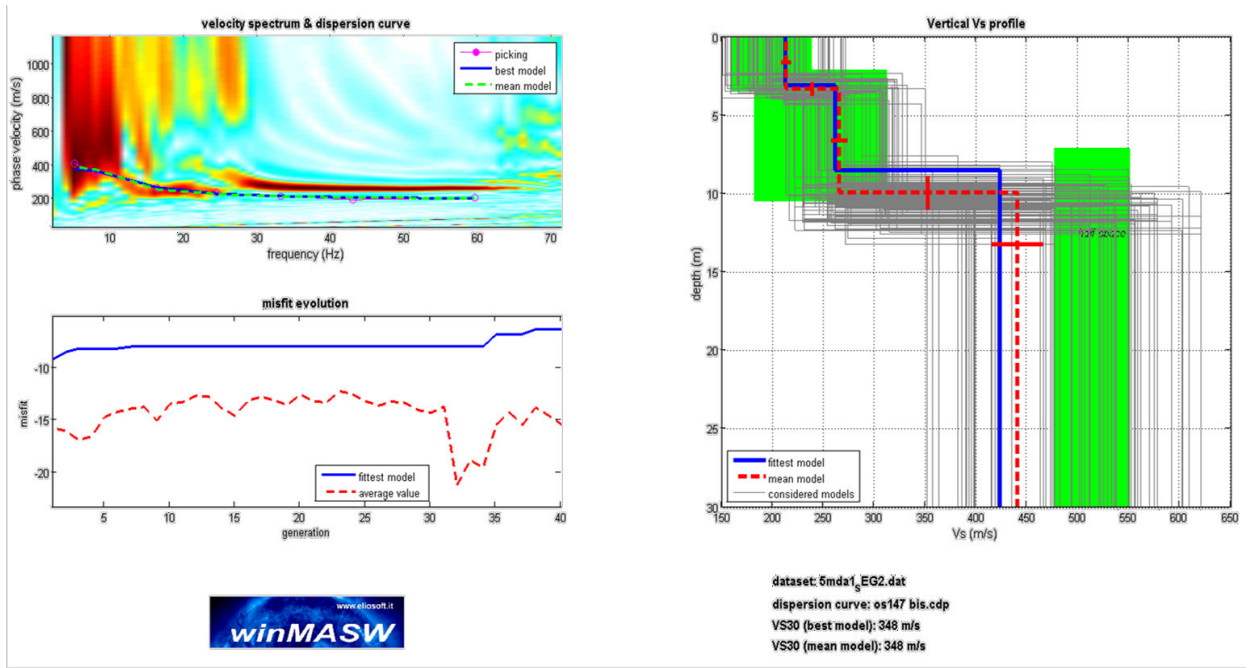
Sondaggio MASW	$V_{seq}$	Categoria di sottosuolo di fondazione N.T.C.2018
M1	348 m/s	C
M2	333 m/s	C

La tabella visibile di seguito riporta, infine, i valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, dello spessore e della profondità del tetto e del letto, determinati per tutti gli strati. Per questo tipo di modellistica, lo spessore dell'ultimo strato è da considerarsi indefinito.

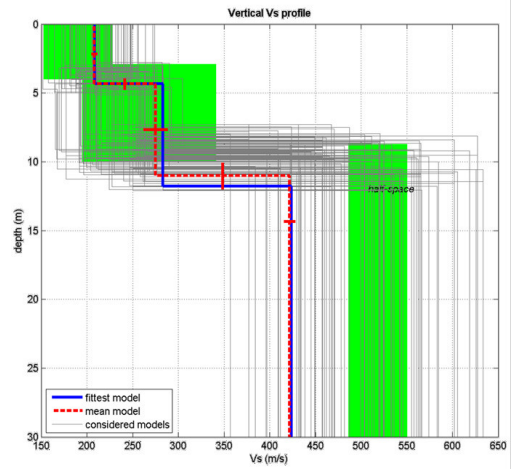
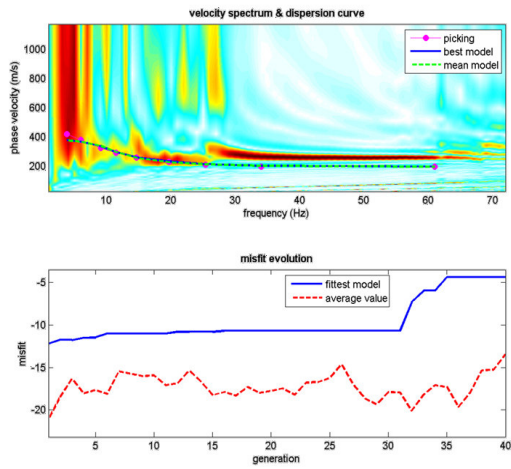
		I strato	II strato	III strato
M1	VS (m/s)	213	265	440
	spessore (m)	3.3	6.6	-
M2	VS (m/s)	208	275	422
	spessore (m)	4.3	6.7	-

In allegato sono rappresentate, le curve di dispersione, l'evoluzione del misfit, il modello interpretativo e la documentazione fotografica del sondaggio sismico MASW.

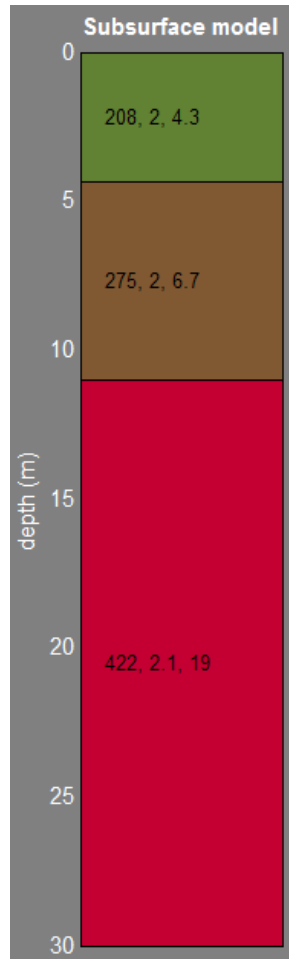
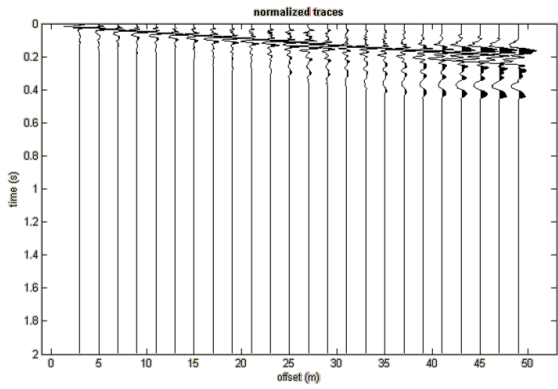
# MASW M1



# MASW M2



dataset: 3mda1\_gEG2.dat  
 dispersion curve: OS147M2.cdp  
 VS30 (best model): 333 m/s  
 VS30 (mean model): 333 m/s



(m/s) (t/m<sup>3</sup>) (m)  
 Vs density thickness

*Documentazione fotografica - Indagini sismica attiva "Masw 1"*





*Documentazione fotografica - Indagini sismica attiva "Masw 2"*



## ***7. CARATTERISTICHE SISMICHE DEL TERRITORIO***

Ai fini sismici il territorio interessato è incluso nell'elenco delle località sismiche con un livello di pericolosità 2. Tale classificazione è stata dettata dalla O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per la costruzione in zona sismica” e confermata dalla Regione Sicilia (DGR 408 del 19/12/2003), come visibile nella carta allegata tratta dal sito del D.P.C. (Dipartimento della Protezione Civile).

In questo quadro trova conferma la classificazione sismica dell'area e la necessità di studiare le eventuali modificazioni che dovessero subire le sollecitazioni sismiche ad opera dei fattori morfologici, strutturali e litologici.

Tali studi, eseguiti anche in Italia nelle zone dell'Irpinia, del Friuli, dell'Umbria e più recentemente di Palermo e del Molise, hanno evidenziato notevoli differenze di effetti da zona a zona nell'ambito di brevi distanze, associate a differenti morfologie dei siti o a differenti situazioni geologiche e geotecniche dei terreni.

In tal senso sembra opportuno soffermarsi su alcuni aspetti di carattere generale riguardanti la tematica in oggetto, utili all'inquadramento del "problema sismico".

La propagazione delle onde sismiche verso la superficie è influenzata dalla deformabilità dei terreni attraversati. Per tale ragione gli accelerogrammi registrati sui terreni di superficie possono differire notevolmente da quelli registrati al tetto della formazione di base, convenzionalmente definita come substrato nel quale le onde di taglio, che rappresentano la principale causa di trasmissione degli effetti delle azioni sismiche verso la superficie, si propagano con velocità maggiori o uguali a 1.000 m/sec.

Si può osservare in generale che nel caso in cui la "formazione di base" sia ricoperta da materiali poco deformabili e approssimativamente omogenei gli accelerogrammi che si registrano al tetto della formazione di base non differiscono notevolmente da quelli registrati in superficie: inoltre in tale caso lo spessore dei terreni superficiali non influenza significativamente la risposta dinamica locale.

Nel caso in cui la formazione di base è ricoperta da materiali deformabili, gli accelerogrammi registrati sulla formazione ed in superficie possono differire notevolmente, in particolare le caratteristiche delle onde sismiche vengono modificate in misura maggiore all'aumentare della deformabilità dei terreni.

La trasmissione di energia dal bed-rock verso la superficie subisce trasformazioni tanto più accentuate quanto più deformabili sono i terreni attraversati; all'aumentare della deformabilità alle alte frequenze di propagazione corrispondono livelli di energia più bassi e viceversa a frequenze più basse corrispondono livelli di energia più alti.

Il valore del periodo corrispondente alla massima accelerazione cresce quanto la rigidità dei terreni diminuisce; nel caso di rocce sciolte tale valore aumenta anche all'aumentare della potenza dello strato di terreno.

Di particolare importanza è, inoltre, lo studio dei contatti stratigrafici in affioramento soprattutto tra terreni a risposta sismica differenziata.

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, dai dati delle indagini sismiche eseguite i terreni presenti appartengono alla **Categoria C** - *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s”*.

## **8. CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICA DEI TERRENI INTERESSATI DALLE OPERE IN PROGETTO**

Per la definizione delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni si possono utilizzare i dati acquisiti dalle prove eseguite in situ ed in laboratorio effettuate su questo tipo litologico nell'ambito delle varie fasi di progettazione e da quelle effettuate per il presente studio.

Da quanto desumibile dai dati in nostro possesso, i terreni che costituiscono il sottosuolo dell'area direttamente interessata dal progetto sono litologicamente afferenti a: **a) Terreno di riporto; b) Terreno vegetale; c) Argille della Fm. Lercara.**

Ne descriviamo singolarmente le caratteristiche litologiche e meccaniche così come desumibili dai dati acquisiti ed in nostro possesso.

- a) TERRENO DI RIPORTO: E' una "roccia incoerente", addensata, messo in opera per la realizzazione del rilevato stradale.
- b) TERRENO VEGETALE: è costituito da una prevalente matrice limosa e limo sabbiosa scarsamente consistente. E' un terreno che per le sue caratteristiche litologiche ha la tendenza a plasticizzarsi quando le acque selvagge e meteoriche si infiltrano. Presenta scarsissime caratteristiche fisico-meccaniche.
- c) FM. LERCARA (Frazione alterata e rimaneggiata): si tratta di limi di colore marrone, a struttura caotica, plastici e scarsamente consistenti con tracce di alterazione nerastre e rossastre. Per quanto riguarda le caratteristiche fisico-meccaniche di questi terreni la loro valutazione va fatta tramite prove di laboratorio. Per i risultati ottenuti si rimanda alle tabelle allegate ed ai certificati delle prove eseguite.



d) FM. LERCARA (Frazione inalterata): si tratta di argille a struttura scagliettata con superfici lucide di colore grigio, fortemente tettonizzate, con livelli di colore rossastro e strati lapidei di natura calcarea.

Per quanto riguarda le caratteristiche fisico-meccaniche di questi terreni la loro valutazione va fatta tramite prove di laboratorio. Per i risultati ottenuti si rimanda alle tabelle allegate ed ai certificati delle prove eseguite.

## ***9. CONCLUSIONI***

Da quanto esposto nei capitoli precedenti in ordine alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e tecniche si evince che:

- ✓ l'area direttamente interessata dal progetto è caratterizzata dalla presenza di uno spessore variabile tra 8.50 e 11.50 m riconducibile alla frazione alterata e rimaneggiata della Fm. Lercara formata da limi, a struttura caotica, poco consistenti, di marone, particolarmente sensibile alle dinamiche geomorfologiche. Detti terreni sono localmente ricoperti dal terreno vegetale di spessore medio pari a 1,00-2.00 m;
- ✓ le misure inclinometriche ci indicano la presenza di una superficie di scorrimento attuale alla profondità di 8,50 m dal p.c. ma è necessario tenere in considerazione della presenza del contatto tra argille rimaneggiate ed alterate/argille inalterate che costituisce la superficie di scorrimento di una paleofrana a profondità variabile intorno a 9,00 m;
- ✓ la frazione inalterata sottostante è costituita da un'alternanza di argille limose e siltiti a struttura scagliettata di colore grigio a tratti rossastro, da consistenti a molto consistenti e livelli e strati calcarei;
- ✓ vista la natura dei terreni presenti, dai dati forniti dal committente e da quelli acquisiti dai rilievi di superficie e dalle indagini geofisiche e geognostiche eseguite si può affermare che la porzione di sottosuolo compreso tra 8.50 e 11.50 m di profondità dal p.c. si presenta saturo e sede di livelli idrici che nei periodi di pioggia raggiungono il piano campagna;

- ✓ è presente una falda di tipo artesianiana che ha sede lungo la superficie di scorrimento della paleofrana il cui livello piezometrico è a quota più 1 m rispetto all'attuale piano della strada secondaria;
- ✓ l'area direttamente interessata dallo studio è costituita da un versante con media-alta pendenza caratterizzato dalla presenza di dissesti dovuti ad erosione accelerata ed a scorrimenti rotazionali. Quello che si è istaurato nelle vicinanze della viabilità secondaria a seguito dell'evento eccezionale del novembre 2018 è di questo secondo tipo;
- ✓ ai sensi del D.M. 17/01/2018, dai dati delle indagini sismiche eseguite i terreni presenti appartengono alla **Categoria C** - *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s”*.

