PROVINCIA DI MATERA

PO FSC 2014-2020 - DELIBERA CIPE 12/98
TRASVERSALE ALTA BASENTANA- SAURINA

INDAGINI E SERVIZI GEOLOGICI PER IL COMPLETAMENTO DELLA STRADA PROVINCIALE CARPINELLO

Elaborato:	N° elaborato:
RELAZIONE GEOLOGICA	Scala:

GEOLOGO:

Dott. Rocco PORSIA
via Tacito, 31 - 75100 MATERA (MT)
tel. 0835237271 - cell. 3477151670
e-mail: r.porsia@laboratorioterre.it
pec: porsiarocco@epap.sicurezzapostale.it

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Ing. Ignazio OLIVIERI

AGGIORNAMENTO:	0		
Data:	ottobre 2021		

SOMMARIO

1. PREMESSA pag. 3
2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-TETTONICO DELL'AREA " 7
   2.1 Argille subappennine " 9
   2.1.1. Argille gialle (Argille subappennine alterate) " 10
   2.2 Depositi alluvionali recenti ed attuali " 11
3. LINEAMENTI MORFOLOGICI, IDROGRAFICI, IDROGEOLOGICI E VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI " 12
4. STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO " 18
5. INDAGINI GEOFISICHE, CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA E DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE " 20
   5.1 – Categoria di sottosuolo, condizioni topografiche, indagine sismica in foro (Down-Hole) ed indagine sismica attiva con metodologia M.A.S.W. " 21
   5.1.1 – Categoria di sottosuolo " 22
   5.1.2 – Condizioni topografiche " 24
   5.1.3 – Indagini sismiche in foro (Down-Hole) " 25
   5.1.3.1 – Risultati dell'indagine effettuata " 29
   5.1.4 – Indagine sismica con metodologia M.A.S.W. " 34
   5.1.4.1 – Risultati delle indagini M.A.S.W. effettuate " 39
   5.2 – Misure HVSR in campo libero " 40
   5.2.1 – Analisi dei risultati " 44
   5.3 – Valutazione della risposta sismica locale " 45
   5.4 – Microzonazione sismica di II livello dell'area in Esame " 47
6. MODELLO DI RIFERIMENTO LITOLOGICO E PARAMETRI GEOTECNICI " 54
   6.1 – Parametri di input " 36
7. VERIFICA DI STABILITA' DEL PENDIO " 58
   7.1 - Metodo equilibrio limite (LEM) " 60
   7.2 - Metodo dei conci " 61
   7.3 - Relazione di calcolo - Metodo di JANBU " 63
   7.3.1 - Ricerca della superficie di scorrimento critica " 65
8. CONCLUSIONI " 71
9. BIBLIOGRAFIA " 76
ALLEGATI:
Allegato 1: Corografia - scala 1: 10.000
Allegato 2: Carta del Rischio ADB - scala 1: 10.000
Allegato 3: Colonne stratigrafiche e foto delle cassette catalogatrici – scala 1: 100
Allegato 4: Report indagini geofisiche
Allegato 5: Certificati delle prove di laboratorio

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Allegato 6: Carta Geologico-Geomorfologica con ubicazione delle indagini geognostiche e tracce delle sezioni geologiche – scala 1: 5.000
Allegato 7: Carta Litotecnica e modello geologico-tecnico del sottosuolo - scala 1: 5.000 - scala 1: 500
Allegato 8: Carta Idrogeologica con indicazione della vulnerabilità delle falde acquifere - scala 1: 5.000
Allegato 9: Sezioni Geologiche - scala 1: 1.000
Allegato 10: Carta di Microzonazione Sismica di II livello - scala 1: 5.000
Allegato 11: Carta di Sintesi della Pericolosità Geologica e Geomorfologica - scala 1: 5.000

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

1. PREMESSA

Nell'ambito del progetto per il <<Completamento della Strada Provinciale Carpinello>> è stato effettuato uno studio geologico-geomorfologico, idrogeologico, geotecnico e sismico al fine di verificare lo stato dei luoghi ed accertare la fattibilità del progetto.

Il progetto prevede di completare l'adeguamento del tronco stradale che costituisce la trasversale alta Basentana – Saurina attraverso la riqualificazione del corridoio stradale esistente e la riarticolazione del tracciato stradale attraverso la realizzazione di alcuni interventi di messa in sicurezza di alcuni tratti dissestati della strada e, soprattutto, mediante la realizzazione di un tombino che sia in grado di smaltire le piene del Fosso del Finocchio, affluente in sinistra idraulica del Torrente Sauro, che attualmente fluisce al di sotto di un ponte con una luce non sufficiente a smaltire le piene del suddetto Fosso.

A tal fine è stata effettuata una campagna di indagini geognostiche per la caratterizzazione stratigrafica, geotecnica e sismica dei terreni che saranno attraversati dall'arteria di completamento.

Il presente studio volto a definire il modello geologico-geotecnico del sottosuolo, illustra e caratterizza gli aspetti stratigrafici, strutturali,

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

idrogeologici, geomorfologici, litotecnici e fisici, con lo scopo precipuo di valutare il conseguente livello di pericolosità geologica ed il comportamento prima e dopo la realizzazione dell'intervento in progetto, così come richiesto dalla normativa tecnica vigente ed in particolare della **LEGGE 02 febbraio 1974 n. 64** e successive modifiche ed integrazioni, del **D.M. LL.PP. 11 marzo 1988** e delle loro relative norme di attuazione, in ottemperanza della **LEGGE REGIONE BASILICATA 6 agosto 1997 n. 38** e tenendo in debito conto le prescrizioni *dell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Italia Meridionale* istituita con **D. Lgs. 152/2006, Legge 221/2015, D.M. 294/2016 e DPCM 4 aprile 2018** - *Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico Regione Basilicata dell'ex Autorità di Bacino della Basilicata*.

La consultazione delle norme di attuazione del **PIANO STRALCIO PER LA DIFESA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO** e della cartografia ad esso allegato ha consentito di verificare che un piccolo tratto del corridoio lungo cui si snoda la strada in progetto intercetta un'area perimetrata dall'ADB come area a rischio R3 (vedi cartografia allegata), mentre la restante parte del tracciato non è soggetta a rischio idraulico ed idrogeologico, per cui l'area non è soggetta a prescrizioni particolari o restrizioni ai sensi dello stesso **Piano**.

In seguito alla pubblicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 ed alla Deliberazione della Giunta Regionale di Basilicata n. 2000 del 4 novembre 2003, che ha aggiornato la classificazione sismica del territorio regionale, si è resa necessaria la

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

caratterizzazione geotecnica e sismica dell'area in esame al fine di verificare le caratteristiche di tale area alla luce della nuova normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica (**D.Min. Infrastrutture 17 gennaio 2018 – Circolare esplicativa n. 7 del 21 gennaio 2019)**.

Le informazioni sui caratteri litologico-stratigrafici del sottosuolo e le principali caratteristiche geologiche, morfologiche ed idrogeologiche dell'area interessata dal progetto sono state acquisite nel corso di alcune ricognizioni di superficie effettuate nella zona interessata e nelle zone limitrofe e confrontando i dati acquisiti con quelli desunti dalla bibliografia e dalla cartografia ufficiale esistente e sono state supportate dalle informazioni ricavate nel corso della campagna di indagini geognostiche sia dirette che indirette effettuate lungo il tracciato stradale in progetto.

Per la definizione dei parametri fisico-meccanici dei terreni affioranti nell'area in esame sono state effettuate prove di laboratorio sui campioni prelevati nel corso dei sondaggi meccanici che hanno consentito di caratterizzare dal punto di vista geotecnico i terreni di sedime delle opere da realizzare.

I dati raccolti nel corso del presente studio, in particolare l'indagine geognostica effettuata, nonché le ricognizioni di superficie e le notizie bibliografiche, hanno permesso di raccogliere tutte le informazioni idonee a fare un'attendibile ricostruzione della situazione geologico-morfologica, litologico-stratigrafica, idrogeologica, geotecnica e sismica del sito in esame,

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

che hanno consentito di caratterizzare in maniera approfondita il comportamento idrogeologico dei terreni affioranti ed in generale di tutta l'area che sarà interessata dai lavori ed inoltre hanno permesso di caratterizzare i terreni di sedime dal punto di vista geotecnico ed in relazione al comportamento dovuto alle sollecitazioni sismiche alla luce della nuova normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica.

Gli interventi in progetto, che inevitabilmente andranno a modificare l'attuale assetto idraulico del corridoio in oggetto, dovranno essere realizzati con le dovute accortezze al fine di garantire la corretta regimazione, raccolta e smaltimento delle acque meteoriche, che attualmente è praticamente inesistente, attraverso la realizzazione di un'efficiente rete di tombini, fossi di guardia e canali di raccolta in grado di convogliare le acque meteoriche in maniera controllata verso i canali e fossi esistenti.

In questa maniera saranno sicuramente migliorate le condizioni di stabilità morfologica ed idrografico-idrogeologica del corridoio in esame, già di per sé abbastanza stabile, fatta eccezione per la presenza di alcuni dissesti visibili lungo il tracciato esistente dovuti probabilmente sia all'inadeguatezza del corpo stradale che non è in grado di sopportare il traffico esistente, che allo scorrimento incontrollato delle acque meteoriche lungo il tracciato in oggetto.

Di seguito, dopo la descrizione del contesto geologico-morfologico ed idrogeologico generale del sito interessato dalla realizzazione dell'intervento, si riportano i dati acquisiti nel corso dello studio effettuato ed il parere sulla fattibilità delle opere in progetto.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - TETTONICO DELL'AREA

La porzione di territorio all'interno del quale saranno realizzate le opere in progetto ricade per intero nel Foglio n. 200 TRICARICO della Carta Geologica d'Italia in scala 1: 100.000, di cui in allegato si riporta uno stralcio su CTR in scala 1: 5.000.

Il corridoio che sarà interessato dalle suddette opere, posto ad una distanza media in linea d'aria di circa 10.00 km a sud-est del centro abitato di Stigliano, si snoda per la prima metà, pari a circa 1.20 km a partire dall'imbocco con la fondovalle Saurina, su un'area subpianeggiante, nella seconda metà inizia il tratto collinare che si inerpica sull'altopiano del Carpinello fino a raccordarsi con il tratto già realizzato.

Nell parte iniziale di questo secondo tratto il rilievo presenta pendenze di una certa rilevanza ai fini della stabilità, di cui si dirà nel paragrafo in cui è stata effettuata la verifica di stabilità del versante in oggetto.

I terreni affioranti nell'area in esame e nelle zone immediatamente circostanti sono rappresentati da termini depositatisi in ambiente sia marino che continentale.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

I termini di origine marina sono rappresentati da argille più o meno siltoso-sabbiose di colore grigio-azzurro, che costituiscono per intero il substrato ed i terreni affioranti lungo le pendici collinari dove si snoda la seconda parte del tracciato stradale a partire da quote intorno ai 210.0 m, mentre quelli di origine continentale sono rappresentati da depositi alluvionali recenti ed attuali, che costituiscono per intero i deposti affioranti nella prima parte del tracciato.

Le argille costituiscono nell'area in studio, come è stato rilevato nel corso dei sondaggi meccanici, il substrato su cui poggiano i depositi continentali.

Nel contesto geologico regionale l'area in esame è posta a cavallo tra il margine orientale dell'Appennino lucano ed il margine occidentale di una struttura geologico-sedimentaria di primaria importanza denominata "Fossa Bradanica".

Le formazioni affioranti lungo tale zona marginale sono caratterizzate da un assetto strutturale a scaglie embricate determinato da diverse fasi tettoniche, che si sono succedute dal Miocene fino al Plio-Quaternario e che hanno dato origine ad un rilievo monoclinalico con inclinazione delle scaglie molto elevate.

I terreni affioranti nell'area in esame e nelle zone immediatamente circostanti, sono rappresentati da formazioni clastiche di varie età, coperti in

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

trasgressione da depositi sabbiosi e argillosi plio-calabriani aventi una giacitura suborizzontale.

L'intera zona non ha subito grossi eventi tettonici che hanno modificato la vecchia giacitura o le caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni.

L'unico evento tettonico che ha interessato le unità affioranti è stato il sollevamento regionale che ha prodotto alcune faglie dirette, di cui alcune sono peraltro presunte in quanto sepolte dai sedimenti plio-pleistocenici e, in ogni caso, non sono cartografate faglie che interessino il tratto stradale in progetto.

Di seguito si descrivono con maggiore dettaglio solo le unità geologiche intercettate nel corso dei sondaggi effettuati nell'area dove saranno realizzate le opere in progetto e che potranno influenzarne il loro comportamento.

2.1. Argille subappennine

I versanti che costituiscono l'area in esame sono interessati da estesi affioramenti di argille limose, quasi sempre mascherate dalla coltre agraria.

Questi depositi costituiscono anche il substrato su cui poggiano i depositi continentali su cui si snoda circa metà del tracciato in progetto.

Presso il margine murgiano le Argille calabriane autoctone poggiano sulle calcareniti, mentre nella parte assiale della Fossa Bradanica le stesse Argille risultano poggiare in profondità su depositi sabbioso-argillosi del Pliocene medio-superiore o direttamente sui calcari cretacei del basamento.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Le Argille subappennine calabriane, di colore grigio-azzurro, sono di solito piuttosto marnose, pur con variabili componenti siltoso-sabbiose.

La frazione sabbiosa aumenta nella parte più recente della formazione, dove può dar luogo a frequenti alternanze sabbioso-argillose o addirittura a cospicui letti di sabbie.

In genere, le Argille non presentano una netta stratificazione, la quale è individuabile solo in presenza di sottili intercalazioni millimetriche o centimetriche di lamine sabbiose o cromaticamente distinte.

L'origine del deposito è di mare profondo ed interessa una fossa di sedimentazione in costante colmamento.

2.1.1. Argille gialle (Argille subappennine alterate)

Per ragioni solo stratigrafiche, e non già geologiche, sono state distinte le argille gialle dalle argille grigio-azzurre da cui traggono origine.

Le argille gialle sormontano quelle grigio-azzurre con spessori estremamente variabili da punto a punto.

La variabilità è insita nel meccanismo stesso di formazione, cioè l'alterazione chimica dei minerali ferrosi contenuti nell'argilla grigio-azzurra.

L'alterazione è generata dalle acque di circolazione che, nelle argille praticamente impermeabili, seguono percorsi quasi esclusivamente fessurativi.

Nei punti dove è maggiore la percentuale limoso-sabbiosa o dove le fessure da ritiro hanno maggiore densità per unità di volume, la quantità di

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

acqua a circolazione ipogea è maggiore, con il risultato di avere uno spessore importante di argille gialle.

La variabilità di questi fattori, nell'ambito della stessa zona, sommata ai fattori che operano in superficie, riassumibili nel tempo di corrivazione delle acque, hanno riflessi diretti sull'esistenza e sugli spessori delle argille gialle di alterazione.

2.2 Depositi alluvionali recenti ed attuali

S tratta di ghiaie a luoghi sabbioso-limose situate nei fondovalle.

E' stato possibile distinguere i depositi a^1 dai depositi a^2 in quanto i primi sono ovunque parzialmente incisi e si trovano, oggi, alcuni metri al di sopra del corso d'acqua attuale ai lati dello stesso.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

3. LINEAMENTI MORFOLOGICI, IDROGRAFICI, IDROGEOLOGICI E VULNERABILITA' DEGLI ACQUIFERI

La morfologia della zona in esame è strettamente condizionata da fattori di ordine strutturale e litologico (diversa resistenza all'erosione), nonchè da fattori climatici, dalla presenza o meno di vegetazione e dall'intervento antropico che esercitano un efficace controllo sulla velocità evolutiva indotta dagli agenti demolitori sui terreni affioranti.

L'instabilità dei versanti è particolarmente accentuata nelle aree di affioramento delle formazioni più argillose e argilloso-sabbiose.

Essa si manifesta più di frequente con forme erosive superficiali quali ad esempio scoscendimenti, lame e calanchi.

Sono rilevabili anche frane di proporzioni geografiche dovute a cedimento e scivolamento di interi pendii, che sono attualmente in gran parte oramai stabilizzate.

Nelle sabbie e nei conglomerati affioranti nella parte alta del versante, al di fuori dell'area su cui si snoda il tracciato stradale in progetto, le forme di dissesto più diffuso sono imputabili a frane di crollo, che tendono a modellare i

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

versanti in ripidi e netti pendii più o meno subverticali, con accumulo di grosse falde di detrito al loro piede.

Tra le zone collinari si interpongono le vallecole e le valli terrazzate dei corsi d'acqua, fra le quali risaltano quelle larghe ed estese del Fiume Agri e del Torrente Sauro.

Dal punto di vista idrografico-idrogeologico l'area in esame appartiene per intero al medio bacino del Fiume Agri.

La rete idrografica dell'area all'interno della quale si snoda il tracciato stradale in progetto è abbastanza sviluppata e ramificata, ma povera di deflussi perenni, essendo il regime dei torrenti legato esclusivamente all'apporto delle acque meteoriche.

In tale area, infatti, l'acqua è scarsa non tanto per l'insufficienza di precipitazioni meteoriche, quanto per la scarsità o la mancanza di sorgenti e di un reticolo idrografico sempre attivo, in relazione soprattutto alle caratteristiche idrogeologiche delle rocce affioranti.

Sotto questo aspetto le rocce affioranti possono essere distinte in:

1) Rocce aventi permeabilità variabile da strato a strato

Si possono ascrivere a questa categoria i depositi alluvionali recenti ed attuali a^1 - a^2 del Torrente Sauro e dei suoi affluenti, la cui "permeabilità per porosità" generalmente alta, può variare in funzione della componente granulometrica del sedimento.

2) Rocce prevalentemente impermeabili

A questa categoria possono essere ascritte la Argille subappennine.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Falde idriche importanti, con piezometrica ad alcuni metri dal piano campagna, possono essere presenti, quindi, solo nei depositi alluvionali del Torrente Sauro e dei suoi principali affluenti.

Sulla base delle caratteristiche di permeabilità e delle condizioni di affioramento dei vari complessi idrogeologici è stata definita la vulnerabilità delle falde acquifere, rappresentata da un indice di vulnerabilità specifica dei diversi Complessi, consentendo di definire il complesso idrogeologico dei depositi alluvionali permeabile per porosità primaria e ad alta vulnerabilità, mentre il complesso delle Argille subappennine può essere considerato a bassa permeabilità primaria ed a bassa vulnerabilità.

In allegato è riportata la carta delle permeabilità a cui si rimanda per una visione d'insieme dei terreni a differente permeabilità e vulnerabilità.

Per quanto riguarda la circolazione delle acque di precipitazione al suolo questa viene determinata, nell'area in esame, dalla permeabilità dei materiali affioranti per cui, nel tratto di strada di valle, trattandosi di depositi costituiti da ciottolame misto a sabbia e limo, talvolta argilloso, avente uno spessore che generalmente non supera i 15.00 m, poggianti su una formazione argillosa, una aliquota delle acque di precipitazione tende ad infiltrarsi nel sottosuolo, dando talvolta origine ad una piccola falda acquifera legata al regime delle precipitazioni meteoriche, peraltro non rilevata nel corso dei sondaggi meccanici, avente come livello di base il tetto della formazione delle Argille subappennine.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Il deflusso superficiale generale dell'area in studio si esplica sia in maniera concentrata e lineare, in corrispondenza di fossi e canali che convogliano le acque verso assi torrentizi e fluviali via via più importanti, che in maniera più diffusa (ruscellamento superficiale), provocando fenomeni erosivi di tipo differente.

Lungo i fossi ed i canali si verifica erosione lineare rimontante, che tende ad approfondire i fossi e ad esercitare un'azione di richiamo verso il basso delle coltri poste a quote più elevate.

L'erosione dovuta al ruscellamento superficiale, che ha prodotto anche la formazione degli impluvi dei rilievi collinari posti attorno al tracciato stradale in esame, è variabile e dipende dal tipo di evento piovoso, per cui è massima in occasione di eventi piovosi brevi, ma intensi (temporali estivi, grandinate, ecc.), mentre è più ridotta negli altri casi (piogge meno violente e neve) poichè le acque meteoriche hanno il tempo di infiltrarsi più in profondità nel sottosuolo, anche nei terreni di natura argillosa, riducendone notevolmente le capacità erosive.

Nell'area in esame il reticolo idrografico è rappresentato da canali e piccoli corsi d'acqua a regime torrentizio, che in genere mostrano, per lunghi periodi dell'anno, letti privi di acque.

L'azione diretta delle acque meteoriche nelle immediate vicinanze delle aree su cui sono previsti gli interventi è molto ridotta nella porzione di valle del tracciato stradale, dal raccordo con la fondovalle Saurina e per circa 1,20

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

km, per la conformazione topografica dell'area (praticamente subpianeggiante).

In tale tratto fa eccezione quello che intercetta il ponte sul Fosso del Finocchio, dove l'improvvisa curvatura del corso del torrente e la luce insufficiente del suddetto ponte, che può ulteriormente ridursi per l'accumulo dei materiali trasportati dal corso d'acqua, soprattutto di tronchi, rami ed altro materiale grossolano, può impedire il deflusso regolare del torrente e può determinare l'esondazione del corso d'acqua in occasione di eventi meteorici eccezionali.

L'azione modellatrice delle acque meteoriche diviene più accentuato nella restante parte del tracciato che corre sui depositi argilloso-limosi e si manifesta sia in maniera lineare in prossimità dei valloni e dei canaloni che si sviluppano lungo le pendici dei rilievi collinari argillosi che bordano il tracciato in esame, che in maniera areale (soliflusso, creep, piccole frane, ecc.)

Per evitare, pertanto, che i lavori per l'adeguamento dell'asse stradale in progetto vadano a perturbare l'attuale equilibrio morfologico ed idrogeologico dell'area in esame e per scongiurare l'innesco di processi erosivi e/o franosi di neoformazione si dovrà provvedere a regimare in maniera scrupolosa ed attenta le acque meteoriche lungo il tracciato della strada in progetto.

La cartografia dell'AdB consultata, in particolare la Carta del Rischio entro cui si snoda il tracciato in progetto, conferma quanto appena illustrato.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

La sovrapposizione di tali carte con la Carta Tecnica Regionale in scala 1: 5.000 ha evidenziato che l'areale a rischio R3 che intercetta il tracciato stradale in progetto è ubicato praticamente in una zona subpianeggiante ed è posto allo sbocco del Fosso del Finocchio nella sottostante piana alluvionale e, quindi, il rischio derivante è legato soprattutto al trasporto di massa da parte del torrente sopra menzionato e non a processi di instabilità gravitativa del limitrofo versante lungo cui si inerpica la strada, ragion per cui diventa fondamentale la regimazione ed il deflusso controllato delle acque incanalate nel Fosso del Finocchio e la sistemazione dell'opera d'arte posta nella parte terminale di tale area a rischio, in prossimità del punto in cui è stato effettuato il sondaggio n. 3.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

4. STRATIGRAFIA DEL SOTTOSUOLO

La conoscenza stratigrafica del sottosuolo lungo cui si snoda la strada in progetto è stata acquisita nel corso della campagna di indagini geognostiche condotta sia per mezzo di sondaggi meccanici a rotazione con carotaggio continuo che mediante indagini geofisiche (indagini sismiche di superficie ed in foro).

In allegato è riportata l'ubicazione dei sondaggi meccanici e delle indagini geofisiche effettuate.

Le perforazioni sono state eseguite a carotaggio continuo per mezzo di sonda a rotazione Mod. PSM 8G con carotiere semplice di diametro pari a 101 mm in maniera tale da rendere minimo il disturbo dei materiali attraversati e da consentire il prelievo dei campioni rappresentativi (carote).

I campioni estratti dai carotieri (carote) sono stati sistemati in apposite cassette catalogatrici atte alla loro conservazione, ove sono stati riportati in modo indelebile, la data di esecuzione, il numero della cassetta catalogatrice, il numero di sondaggio e le profondità di riferimento.

I tre sondaggi meccanici effettuati, spinti tutti fino alla profondità massima di 30,00 m, oltre a consentire di definire la successione litologico-

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

stratigrafica dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area in esame, hanno consentito di prelevare n. 9 campioni indisturbati, sottoposti alle consuete prove di laboratorio per la definizione delle le caratteristiche geotecniche dei terreni intercettati, ed hanno permesso di determinare con precisione lo spessore di depositi alluvionali lungo le tre verticali investigate.

Al di sotto di un sottile livello di terreno vegetale è stato intercettato in tutti i sondaggi uno strato di terreno ghiaioso-sabbioso-limoso di spessore variabile tra un minimo di 3.60 m nel sondaggio n. 1 ed un massimo di 6.70 m nel sondaggio n. 3

Al disotto di tale deposito ed a partire da quote diverse in funzione proprio dello spessore di tale materiale, è stata intercettata in tutti e tre i sondaggi, fino a fondo foro, la formazione argilloso-limosa a scarsa plasticità ed elevata consistenza.

Al termine della perforazione in tutti i fori è stato installato un tubo in PVC per l'esecuzione di un'indagine sismica in foro del tipo Down-Hole.

Informazioni più dettagliate sui terreni intercettati durante le perforazioni (litologia, spessori, percentuali di carotaggio), le quote di prelievo dei campioni indisturbati, la profondità totale dei fori, nonchè le foto delle cassette catalogatrici, sono riportate nell'allegato "Colonne stratigrafiche e foto delle cassette catalogatrici".

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

5. INDAGINI GEOFISICHE, CLASSIFICAZIONE SISMICA DELL'AREA E DEFINIZIONE DELLA CATEGORIA DI SUOLO DI FONDAZIONE

Nel corso dello studio sono state effettuate anche prospezioni indirette del sottosuolo condotte con il metodo della sismica in foro (Down-Hole) in onda P ed S, con il metodo della sismica attiva con metodologia M.A.S.W., con il fine di valutare il comportamento elasto-dinamico del sottosuolo in esame e per individuare la categoria di suolo di fondazione ai sensi della nuova normativa tecnica per le costruzioni in area sismica, oltre a sei misure di HVSR (Horizzontal to Vertical Spectral Ratio) che rappresentano una metodologia geofisica passiva, non invasiva e speditiva, che ha permesso 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 delle vibrazioni ambientali.

Nel seguito si riportano i risultati delle indagini geofisiche effettuate che hanno consentito di definire la categoria di suolo di fondazione e la classificazione sismica dell'area.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

5.1 - Categoria di sottosuolo, condizioni topografiche, indagine sismica in foro (Down-Hole) ed indagine sismica attiva con metodologia M.A.S.W.

In seguito alla pubblicazione dell'Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 ed alla Deliberazione della Giunta Regionale di Basilicata n. 2000 del 4 novembre 2003, che ha aggiornato la classificazione sismica del territorio regionale, si è resa necessaria la caratterizzazione geotecnica e sismica dell'area in esame, al fine di verificare le caratteristiche di tale area alla luce della nuova normativa tecnica per le costruzioni in zona sismica.

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 delle NTC 2018.

In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_S.

I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_S per l'approccio semplificato costituiscono

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2 delle NTC 2018.

I valori di V_S sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

Nel caso in esame l'esecuzione di indagini sismiche in foro (Down-Hole) e di superficie (M.A.S.W) hanno consentito di calcolare in maniera diretta il valore delle V_S.

5.1.1 - Categoria di sottosuolo

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}} \qquad (3.2.1)$$

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

N numero di strati;

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

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali.

Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera.

Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

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

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in **Tab. 3.2.II** delle NTC 2018

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato - NTC 2018

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

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 delle NTC 2018.

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

5.1.2 - Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione **Tab. 3.2.III** delle NTC 2018.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Tab. 3.2.III – Categorie topografiche

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

Le suddette categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

5.1.3 – Indagini sismiche in foro (Down-Hole)

Le prove sismiche in foro sono tra le più utili per la caratterizzazione sismica e geo-meccanica delle terre e delle rocce.

Esse vengono effettuate in fori appositamente predisposti e forniscono le velocità sismiche (P ed Sh) dei terreni e consentono di calcolare anche i moduli elastici dinamici.

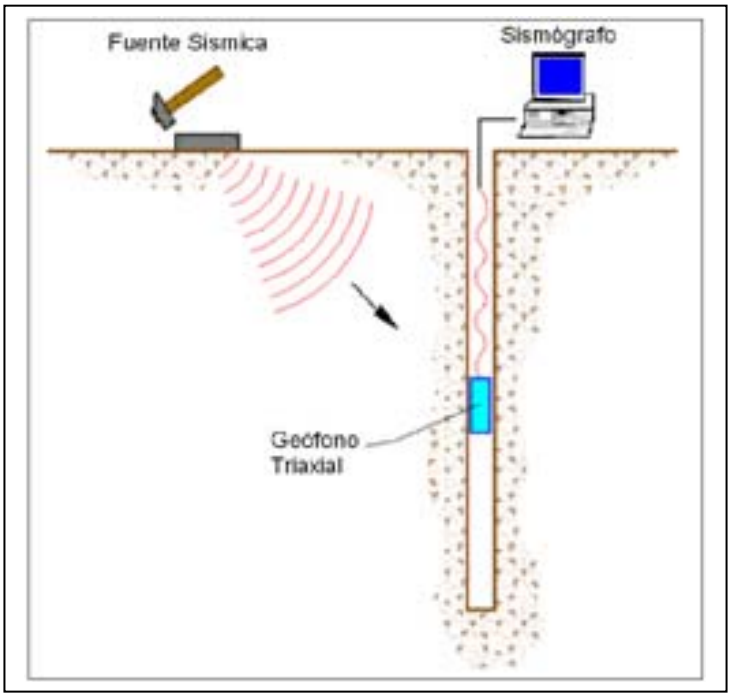
La possibilità di disporre della stratigrafia certa della verticale investigata permette una associazione inequivocabile delle velocità rilevate ai litotipi investigati.

Il metodo down-hole, eseguito in conformità con lo standard ASTM D 7400, consiste nella misurazione del tempo di percorso delle onde P e Sh nel tragitto tra la sorgente sismica posta in superficie e i ricevitori, posti all'interno dei fori di sondaggio.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

L'equipaggiamento strumentale è costituito da:

- una sorgente meccanica per generare onde elastiche con buona energia e direzionalità (shot);
- un geofono tridimensionale per le onde P e Sh;
- un sistema di ancoraggio tra pareti del foro e geofono tridimensionale;
- un sismografo di acquisizione ed uno starter.



Per le misure eseguite sono state utilizzate le seguenti attrezzature:

- Un sismografo DAQ LINK – III a 24 bit della "Seismic Source Co" con intervallo minimo di campionamento di 0.0208 ms e altissima risoluzione (118 db).
- Un geofono tridimensionale da foro a cinque sensori (14 Hz) disposti lungo le tre componenti dello spazio.
- Un martello di 10 Kg dotato di trigger per la generazione di onde sismiche.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

- Un piattello in alluminio.
- Un generatore di onde trasversali e bidirezionali.

Sismografo utilizzato

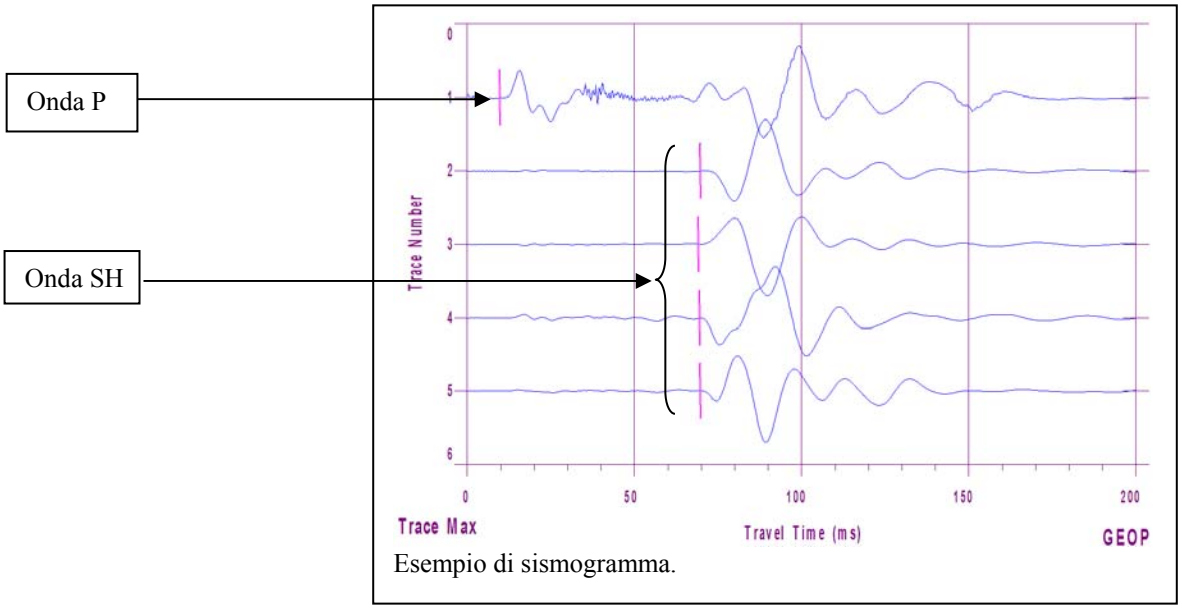
Le misure sismiche Down-Hole sono state eseguite in tre fori opportunamente attrezzati con tubo in PVC reso solidale al terreno mediante la cementazione dell'intercapedine tra foro e tubo.

Le misure sono state effettuate per ogni metro di profondità fino alla massima profondità dei perfori S.1 – S.2 – S. 3 (30 mt dal p.c.).

Le sorgenti, sia per generare le onde P che per generare le onde Sh, sono state posizionate in superficie ad una distanza di 2.00 metri dal boccaforo.

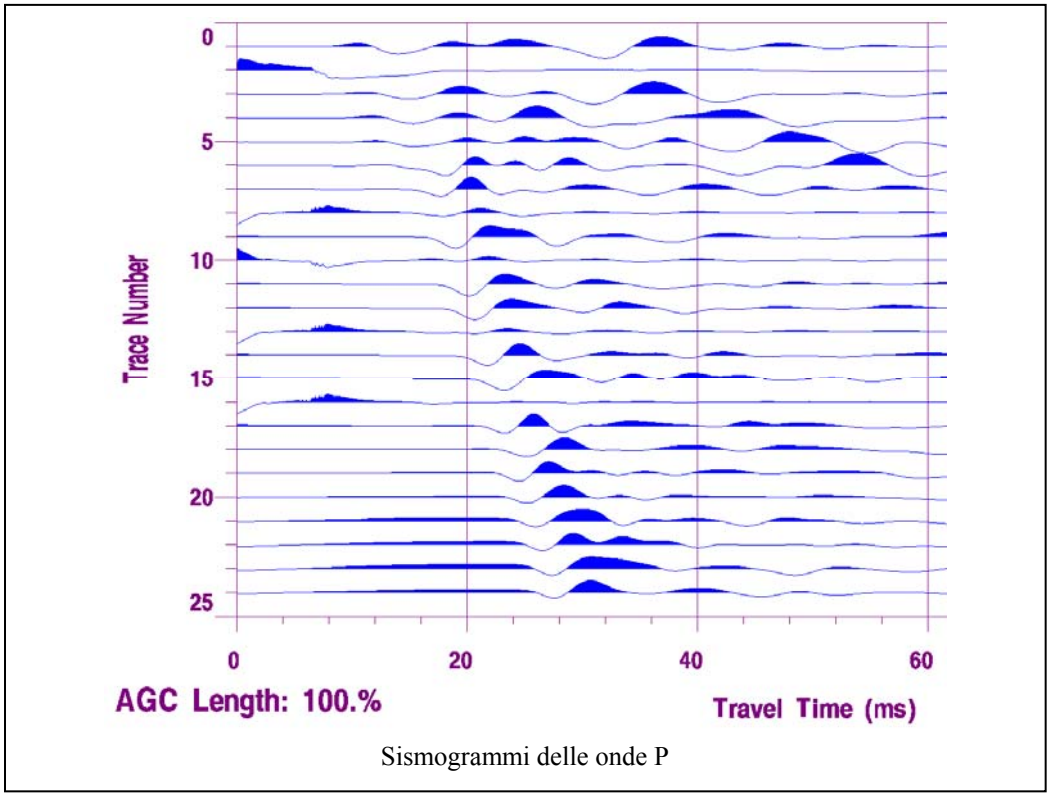
Il picking delle onde sismiche è stato effettuato sui sismogrammi sperimentali mediante il software TomTime della Geotom, LCC, dopo un opportuno filtraggio delle tracce.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004



Esempio di sismogramma.

I sismogrammi registrati sono stati combinati e sovrapposti per ogni metro di profondità, vedi immagine seguente, per un'analisi più accurata dei tempi.



Sismogrammi delle onde P

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

I primi arrivi sono indicati nei diagrammi tempo-distanza "dromocrone" riportati in allegato.

5.1.3.1 – Risultati dell'indagine effettuata

L'analisi dei sismogrammi ha permesso di determinare i tempi di arrivo sia delle onde P che Sh e di calcolarne le differenze tra misure successive con il "metodo dell'intervallo".

Ciò ha permesso di ricavare le velocità intervallari dalle quali è stato possibile ottenere una dettagliata ricostruzione dell'andamento delle velocità e dei relativi moduli dinamici con la profondità.

Per l'interpretazione dei dati inizialmente sono stati corretti i tempi di tragitto (t), misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore, per tenere conto dell'inclinazione del percorso delle onde e, dunque, ottenere i tempi nella direzione verticale del foro.

Se d è la distanza della sorgente dall'asse del foro, r la distanza fra la sorgente-ricevitore, z la profondità di misura è possibile ottenere i tempi corretti (t_{corr}) mediante la seguente formula di conversione:

$$1)\quad t_{corr} = \frac{z}{r} t$$

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

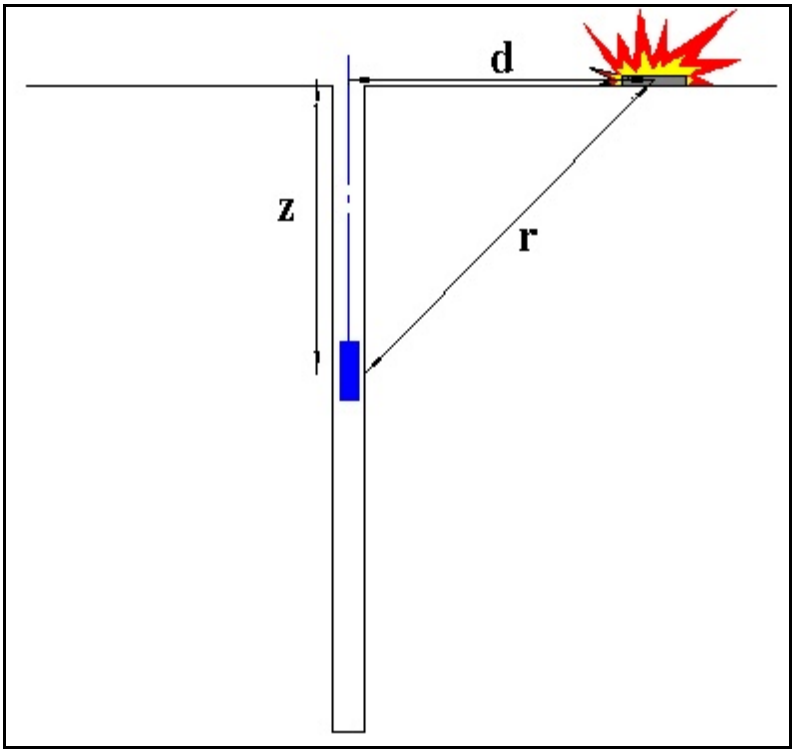


Figura 1 - Schema Down-Hole

Con il metodo intervallo i tempi di tragitto dell'onda sismica si misurano fra due ricevitori posti a differente profondità, consentendo così di migliorare la qualità delle misure (velocità d'intervallo).

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

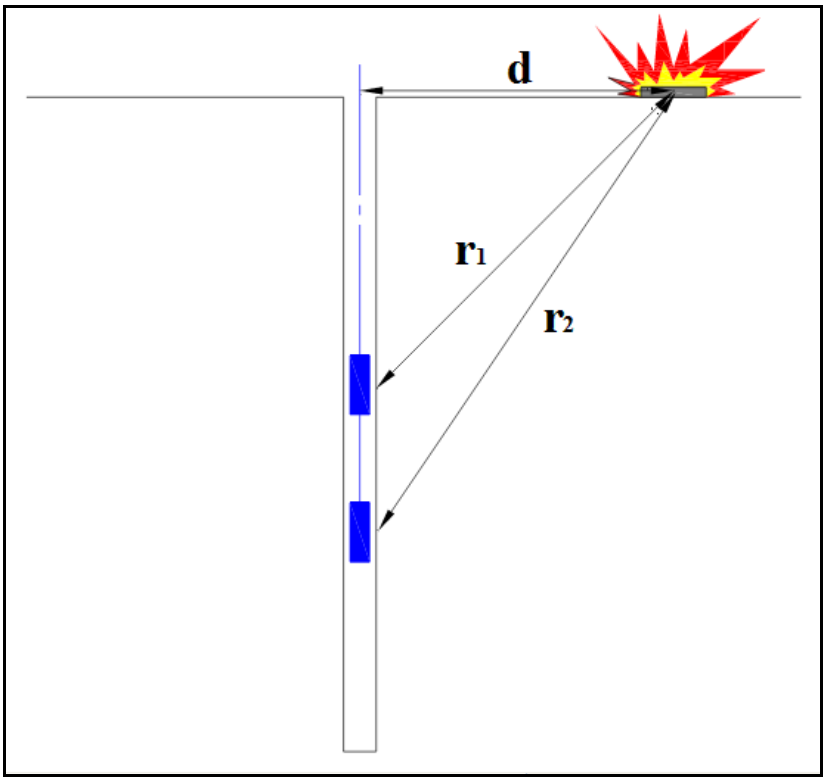


Figura 2 - Schema Down-Hole - Metodo intervallo

Successivamente, calcolati i tempi corretti con la formula sopra riportata, è stato possibile ricavare le velocità intervallari delle onde P e Sh, nella direzione verticale, con la formula seguente:

$$2)\quad v_{p,s} = \frac{z_2 - z_1}{t_{2corr} - t_{1corr}}$$

Nelle tabelle riportate in allegato vengono indicati tutti i valori dei tempi, delle velocità, del coefficiente di Poisson e dei moduli dinamici ricavati fino alla profondità investigata.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

I suddetti parametri sono riportati sotto forma di grafici nello stesso allegato.

Tutti i moduli dinamici ed i valori di rigidità sismica sono stati calcolati utilizzando per le argille il peso di volume ricavato nel corso delle prove di laboratorio, mentre per i depositi alluvionali superficiali è stato utilizzato un peso di volume bibliografico.

I parametri dinamici sono stati calcolati con le seguenti formule:

$$\nu = \frac{0.5(Vp/Vs)^2 - 1}{(Vp/Vs)^2 - 1} \qquad K = \gamma[Vp^2 - 4/3Vs^2] \qquad G = \frac{Vs^2}{g} \cdot \gamma$$

$$E = Vs^2 \cdot \gamma[(3Vp^2 - 4Vs^2)/(Vp^2 - Vs^2)]$$

Dove:

ν = coefficiente di Poisson

K = modulo dinamico di compressibilità in Kg/cm^2

G = modulo dinamico di taglio in Kg/cm^2

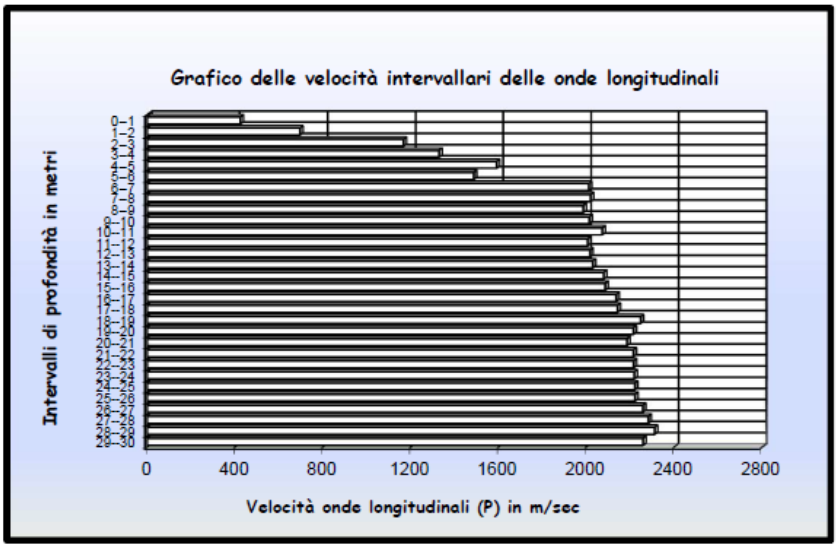
E = modulo dinamico di Young in Kg/cm^2

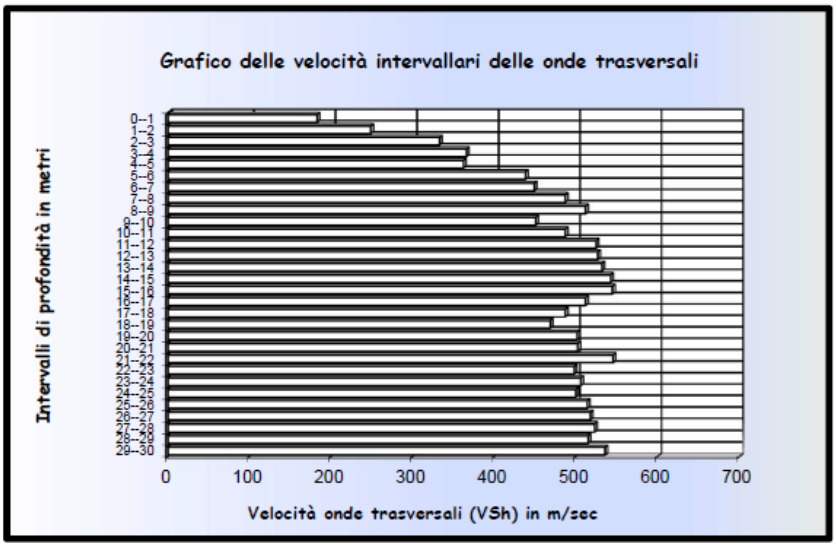
Come si evince dai grafici di seguito riportati, le velocità delle onde P ed Sh risultano, generalmente, crescenti con la profondità.

In superficie le velocità riscontrate sono più basse per la presenza, confermata dalle indagini dirette, di un sottosuolo sabbioso-limoso e ghiaioso mediamente addensato, seguito da sedimenti prettamente argilloso-limosi che

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

mostra velocità crescenti con la profondità in funzione del grado di consolidamento e consistenza di tali litotipi.





Grafici delle velocità intervallari onde P ed S - Dowh-Hole

In conformità al D.M. 17/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni" la classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

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

con:

h_i spessore dell'i-esimo strato;

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

N numero di strati;

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

Poiché le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni sono chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, Vs nei primi 30 m di profondità.

I valori ottenuti dall'elaborazione dei dati di campagna registrati nel corso delle indagini sismiche in foro, di seguito riportati:

Down Hole 1 - $V_{S,30}$ = 443 m/s

Down Hole 2 - $V_{S,30}$ = 422 m/s

Down Hole 3 - $V_{S,30}$ = 391 m/s

consentono di dire che i siti investigati rientrano nella **categoria di suolo di fondazione di tipo B.**

5.1.4 – Indagine sismica con metodologia M.A.S.W.

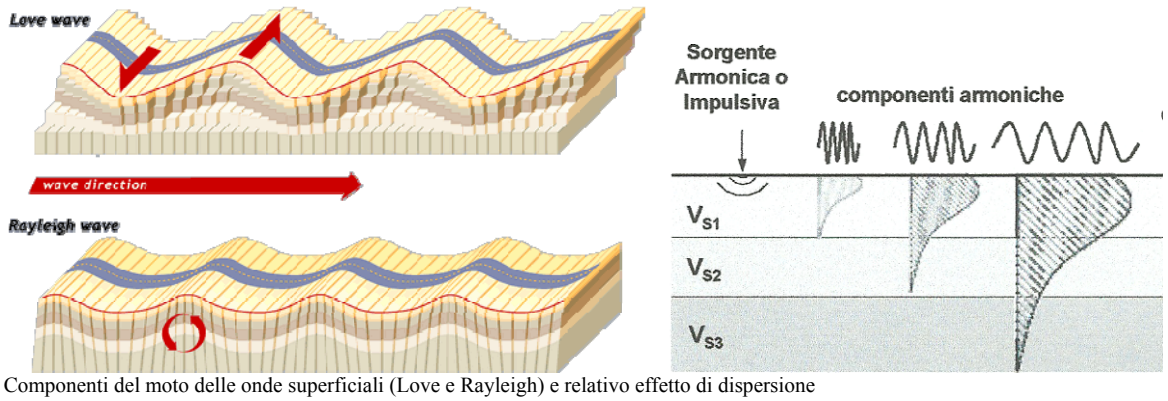
Il metodo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è una tecnica di indagine non invasiva che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

corrispondenza di diversi sensori (nel nostro caso geofoni) posti sulla superficie del suolo.

Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidezza della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde.

In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.



Componenti del moto delle onde superficiali (Love e Rayleigh) e relativo effetto di dispersione

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi del suolo.

Il metodo di indagine MASW si distingue in "attivo" e "passivo" (Zywicki, 1999; Park e Miller, 2006; Roma, 2006).

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

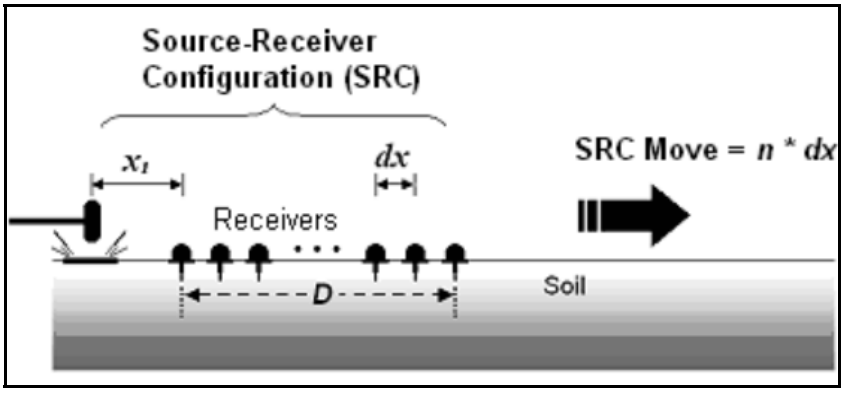
- **Nel "metodo attivo"** le onde superficiali sono prodotte da una sorgente impulsiva disposta a piano campagna e vengono registrate da uno stendimento lineare composto da numerosi ricevitori posti a breve distanza (distanza intergeofonica).
- **Nel "metodo passivo"** (Re.Mi.) lo stendimento presenta le stesse caratteristiche geometriche del metodo attivo ma i ricevitori non registrano le onde superficiali prodotte da una sorgente impulsiva, bensì il rumore di fondo (detto anche "microtremori") prodotto da sorgenti naturali (vento) e antropiche (traffico, attività industriali). E' possibile utilizzare alcune varianti geometriche del metodo passivo (disposizione dei geofoni a cerchio, quadrato, triangolo e croce) per una valutazione più accurata del trend dispersivo delle onde superficiali (Park e Miller, 2006).

In questa indagine è stato utilizzato il **metodo attivo** che è risultato il più idoneo nel particolare contesto di indagine.

Il profilo MASW realizzato ha le seguenti caratteristiche geometriche:

Metodo	Sorgente	Lunghezza profilo	Distanza intergeofonica	n. geofoni	Offset
Attivo	Martello	46 m	2.0 m	24	8.0 m
Attivo	Martello	46 m	2.0 m	24	8.0 m

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004



Schemi di acquisizione MASW attivo

Per le misure eseguite sono state utilizzate le seguenti attrezzature:

- Un sismografo DAQ LINK – III a 24 bit della "Seismic Source Co" con intervallo minimo di campionamento di 0.0208 ms e altissima risoluzione (118 db).
- Un cavo con 24 collegamenti per i geofoni.
- 24 geofoni a componente verticale con frequenza di 4.5 Hz.
- SurfSeis 3.0 della Kansas Geological Survey.

Sono state acquisite sei registrazioni, sommate tra loro al fine di ottenere un buon rapporto segnale/rumore.

Esse hanno le seguenti caratteristiche:

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

	Frequenza di campionamento	Lunghezza registrazioni	Sorgente
Masw attivo	0.5 millisecondi	1 secondo	Martello

I sismogrammi ottenuti sono stati elaborati con una trasformazione bidimensionale dal dominio tempo-distanza (t-x), al dominio velocità di fase-frequenza (p-f).

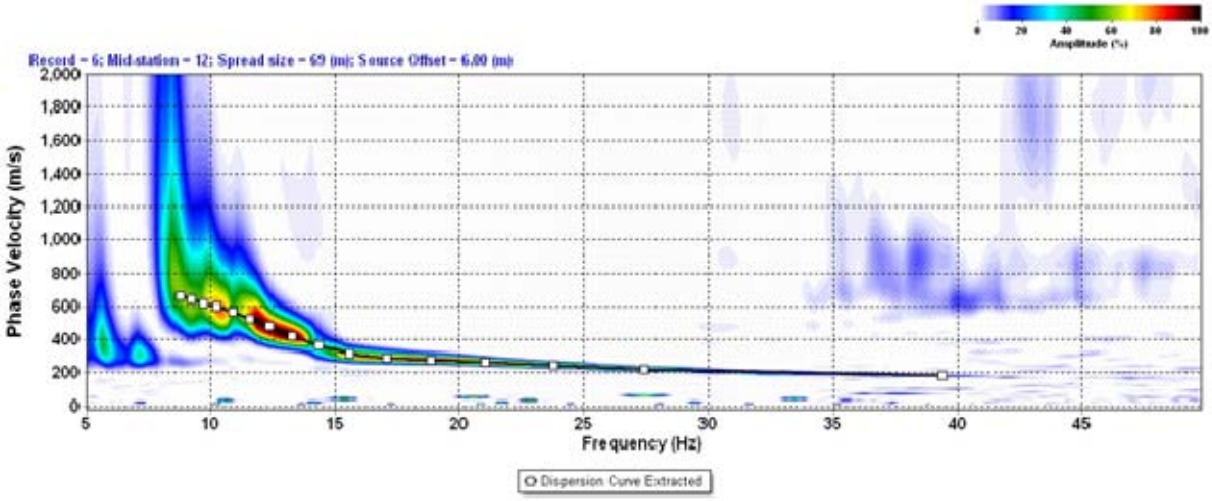
E' stato così possibile analizzare l'energia di propagazione del "rumore ambientale" lungo tutte le direzioni della linea sismica e riconoscere le onde superficiali con carattere dispersivo.

I sei spettri di potenza p-f ottenuti sono stati sommati e sullo spettro risultante sono stati individuati una serie di punti sul confine inferiore dell'area ad alta energia (picking).

Tali valori sono stati riportati su un grafico velocità di fase/periodo ed è stata analizzata la relativa curva di dispersione.

E' stato poi calcolato un modello ottimale di velocità di onde trasversali mediante il "fitting" tra curva di dispersione e valori sperimentali.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004



Spettro di potenza nel dominio Frequenza/inverso velocità di fase con picking

5.1.4.1 – Risultati delle indagini M.A.S.W. effettuate

I modelli Vs-profondità, ottenuti mediante l'analisi M.A.S.W. sono di seguito schematizzati:

M.A.S.W. n. 1	
Vs (m/s)	Profondità (mt)
301.6	-1.0
269.8	-2.3
288.4	-3.9
347.6	-6.0
363.4	-8.5
290.1	-11.7
370.4	-15.6
576.6	-20.5
639.7	-26.7
522.6	-33.4

M.A.S.W. n. 2	
Vs (m/s)	Profondità (mt)
125.5	-1.0
198.6	-2.1
245.5	-3.6
173.4	-5.5
234.5	-7.8
347.7	-10.7
421.1	-14.4
477.2	-18.9
549.1	-24.6
578.0	-30.8

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

In conformità al D.M. 17/01/2018 “Norme tecniche per le costruzioni”, già richiamato nei precedenti paragrafi, si può dire che in base alle velocità di propagazione delle onde di taglio registrate sotto indicate:

MASW 1 – V_{S30} = 413 m/s.

MASW 2 – V_{S30} = 346 m/s.

l’area in cui è stata effettuata l’indagine MASW 1 rientra tra le **categorie di suolo di fondazione di tipo B**, mentre l’area in cui è stata effettuata l’indagine MASW 2 rientra tra le **categorie di suolo di fondazione di tipo C.**

In allegato sono riportati tutti gli elaborati relativi alle acquisizioni effettuate in campagna e le relative interpretazioni, sia delle indagini sismiche in foro che delle indagini M.A.S.W..

5.2 – Misure HVSR in campo libero

Le misure HVSR (Horizzontal to Vertical Spectral Ratio) rappresentano una metodologia geofisica passiva, 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 delle vibrazioni ambientali.

Le misure dei microtremori sono state effettuate in 6 differenti punti di registrazione su suolo libero.

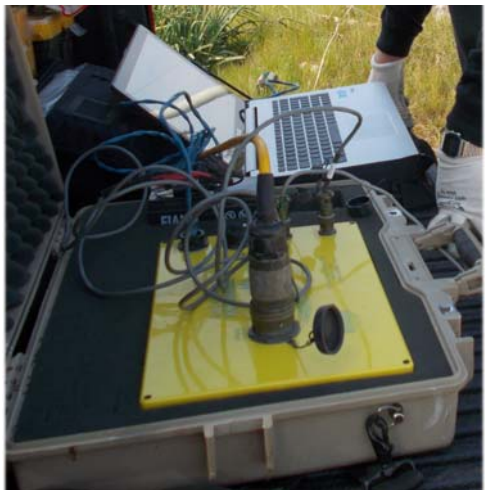
GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Successivamente è avvenuta l'elaborazione delle tracce registrate e l'analisi del rapporto spettrale fra la componente orizzontale e quella verticale del noise (rumore).

Ciò ha permesso di stimare le frequenze fondamentali di vibrazione del sito e della struttura.

La misura è stata effettuata col sismografo DAQ LINK – III a 24 bit della "Seismic Source Company" mediante un geofono tridimensionale a frequenza di 2 Hz che dispone di tre sensori disposti secondo tre direzioni ortogonali:

- **Verticale**
- **NS**
- **EW**



Strumentazione utilizzata

Geofono tridimensionale utilizzato

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Prima di dare inizio a ciascuna prova si è posta molta attenzione al posizionamento a terra del geofono tridimensionale al fine di ottenere un buon accoppiamento tra suolo e geofono, avendo cura di livellare e orientare lo stesso verso le direzioni sopra indicate.

Ciascuna misura è stata eseguita con una frequenza di campionamento di 500 Hz e con un tempo di acquisizione di 20 minuti.

Il moto del terreno amplificato e convertito in forma digitale è stato successivamente elaborato mediante il software Easy HVSR della Geostru.

Per definire un chiaro picco devono essere soddisfatte le condizioni definite dalle direttive del progetto SESAME (vedi report allegato).

Nelle linee guida SESAME ci sono due serie di criteri per stimare se la frequenza del picco principale di una curva H/V può essere considerato attendibile come frequenza fondamentale del sito (o la frequenza relativa al primo forte contrasto di impedenza in profondità).

Il primo set è finalizzato a valutare l'affidabilità della curva H/V e la qualità della registrazione, mentre il secondo gruppo è utilizzato per valutare la chiarezza del picco.

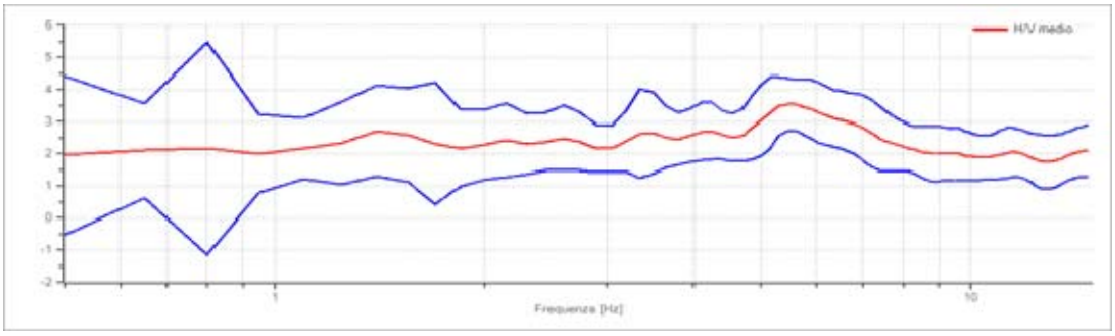
Questi criteri sono adatti a quasi tutte le situazioni e sono stati ideati per usarli senza alcuna informazione sulle condizioni geologiche e sul sito di registrazione.

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.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Le misure che presentano disturbi dovuti a rumore antropico istantaneo o di breve durata sono state ripulite escludendo dall'analisi le finestre temporali interessate dal disturbo.

La risultanza è riassunta nel grafico sotto riportato in cui in ascissa è riportata la frequenza di vibrazione f, ed in ordinata il rapporto H/V (Horizontal to Vertical spectral ratio).



Misura 1 - grafico HVSR

La frequenza fondamentale di vibrazione è definita dal valore in frequenza corrispondente al massimo valore H/V registrato.

Va ricordato che il valore del rapporto H/V è tanto più grande quanto più è alta l'impedenza sismica di due sismostrati a contatto e che il valore di frequenza dipende dallo spessore del sismostrato h e dalla velocità delle onde Vs ad esso riferite, così come descritto dalla seguente relazione:

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

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

dalla quale emerge come la tecnica H/V possa fornire anche indicazioni di carattere stratigrafico: a partire da una misura H/V che vincola il valore di f, nota la Vs media delle coperture, si può stimare la profondità h dei riflettori sismici principali o viceversa.

A titolo d'esempio viene citato il seguente abaco che consente di fare una stima approssimativa degli spessori della coltre in funzione delle frequenze di vibrazione di sito.

f_0 (Hz)	h (m)
< 1	> 100
$1 - 2$	$50 - 100$
$2 - 3$	$30 - 50$
$3 - 5$	$20 - 30$
$5 - 8$	$10 - 20$
$8 - 20$	$5 - 10$
> 20	< 5

Stima degli spessori dei sedimenti in funzione delle frequenze di vibrazione del sito

5.2.1 – Analisi dei risultati

Dall'analisi delle misure HVSR non è stato possibile riconoscere nessuna frequenza di vibrazione di sito, in quanto non sono evidenti e riconoscibili dei picchi fondamentali di vibrazione relativi alle curve HVSR, dall'andamento piuttosto piatto.

Questo potrebbe indicare, dal punto di vista stratigrafico, la presenza di un substrato piuttosto profondo rispetto al piano campagna.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Va sottolineato che le misure effettuate su suolo libero risultano in parte non verificate per ciò che concerne alcuni dei criteri SESAME (vedi report allegato) e questa situazione può essere imputabile a diversi fattori tra i quali: un contrasto di impedenza moderato, bassa frequenza delle vibrazioni ambientali, condizioni di misura ventose e perturbate, disturbi a bassa frequenza (camion, macchine a grande distanza).

5.3 – Valutazione della risposta sismica locale

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2 delle NTC), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} come definite nel § 3.2.1 delle NTC, nel periodo di riferimento V_R, come definito nel § 2.4.

In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g accelerazione orizzontale massima al sito;

F_o valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

T^*_C valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per i valori di a_g, F_o e T^*_C, necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

Nell'allegato n. 1 della L.R. n. 9 del 7 giugno 2011 della Regione Basilicata è riportata la nuova zonazione sismica dei comuni della Basilicata in cui il Comune di Stigliano viene classificato come segue:

Zona Sismica OPCM 3274	Zona Sismica L.R. N. 9/2011	PGA (g)	Magnitudo	Distanza (Km)
2	3a	0,150	6,7	80

e rappresenta il punto di partenza per la valutazione della risposta sismica locale e per la redazione della carta di Microzonazione Sismica.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

5.4 – Microzonazione sismica di II livello dell'area in esame

Lo studio di microzonazione sismica ha come scopo la valutazione della pericolosità sismica locale tramite l'individuazione di zone del territorio caratterizzate da comportamento sismico omogeneo e la metodologia utilizzata per la stesura delle carte di MS è quella riportata nel documento nazionale "Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica (ICMS)", a cui fa esplicito riferimento la L.R. n. 9/2011, in cui le microzone sono contraddistinte in base ai valori dei fattori di amplificazione FA (fattore di amplificazione in termine di accelerazione del moto sismico) ed FV (fattore di amplificazione in termine di velocità del moto sismico) calcolati per le diverse aree.

Le zone sono così definite:

1 - Zone stabili, in cui non è previsto alcun valore in quanto non si ipotizzano effetti di alcuna natura.

2 - Zone stabili suscettibili di amplificazione come effetto della situazione litostratigrafia e morfologica locale; le microzone differiscono per i diversi valori dei fattori di amplificazione (FA) ed (FV).

3 - Zone suscettibili di instabilità per la presenza di effetti deformativi quali fagliazione superficiale del terreno, cedimenti, possibili fenomeni di liquefazione, frane.

I fattori di amplificazione (FA) ed (FV) sono determinati tramite lo studio delle funzioni di trasferimento che rappresentano le modifiche (in frequenza ed ampiezza) subite dal segnale sismico a causa dell'attraversamento

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

di materiali più “soffici” sovrapposti ad un substrato rigido (bedrock con velocità superiore ad 800 m/s).

Il prodotto di convoluzione fra la funzione di trasferimento e l'input sismico previsto al substrato determinerà il moto in superficie.

Il rapporto tra lo spettro del moto in superficie e quello del moto al bedrock permetterà di determinare il fattore di amplificazione per tutto il range spettrale o per bande di frequenze.

Il fattore di amplificazione può essere derivato da rapporti spettrali espressi in termini di accelerazione (FA) o come rapporto tra spettri di velocità del moto del suolo (FV).

Gli studi di MS sono condotti secondo tre livelli di approfondimento.

I Livello – In questa fase si procede alla raccolta di dati stratigrafici, geotecnici, geofisici, ecc. preesistenti ed ha come obiettivo l’individuazione delle microzone a comportamento sismico omogeneo.

II Livello – Questa fase è caratterizzata dall’approfondimento delle conoscenze geologico-stratigrafiche, geotecniche e geofisiche attraverso l’esecuzione di indagini geognostiche nei siti interessati che permettano di definire al meglio le aree in cui si ha una modifica sostanziale del moto sismico in superficie (aree suscettibili di amplificazione sismica) e quelle ove possono verificarsi deformazioni permanenti (aree suscettibili di instabilità).

Il II livello di approfondimento fornisce quantificazioni numeriche di FA ed FV con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche), della

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

modificazione locale del moto sismico in superficie e dei fenomeni di deformazione permanente.

Il risultato di questo livello è la Carta di microzonazione sismica, ottenuta associando una quantificazione numerica degli effetti, con metodi semplificati, alle zone, o a parti di esse, della Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica.

III Livello – In questa fase si procede ad un approfondimento molto più spinto rispetto al livello precedente così come richiesto dall'art. 2 comma 7 della L.R. n. 9/2011 *"a seguito dei risultati degli studi di secondo livello, nelle zone instabili e in quelle stabili suscettibili di amplificazioni locali per le quali si prevedono situazioni geologiche e geotecniche complesse che rendono non idoneo l'approccio con i metodi semplificati previsti dal D.M. 14.01.2008.*

Questo livello deve essere altresì adottato per tutte le aree nelle quali è prevista la realizzazione di opere appartenenti alle classi d'uso III e IV così come definite dall'art. 2.4.2 del D.M. 14.01.2008".

Poiché gli interventi previsti dal progetto sono da considerarsi ricadenti in classe d'uso II è stato possibile effettuare uno studio di microzonazione sismica di II livello mediante la quantificazione numerica di FA ed FV con metodi semplificati (abachi e leggi empiriche) e redazione di una Carta di Microzonazione Sismica così come richiesto dalla succitata L.R. n. 9 del 7 giugno 2011.

Le indagini geognostiche effettuate nell'area in cui saranno realizzate le opere in progetto hanno permesso di verificare le caratteristiche

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

litostratigrafiche del sottosuolo dell'area in esame ed hanno permesso di misurare il parametro V_{S30} lungo il tracciato stradale in progetto, consentendo di individuare due zone a comportamento sismico differente (vedi Carta di Microzonazione Sismica).

Il valore di V_{S30} misurato nella zona compresa tra l'innesto della strada in progetto con la Fondovalle Saurina e l'inizio del tratto collinare consente di individuare una zona omogenea, che per semplicità chiameremo **zona 1**, in cui il substrato, sul quale si andranno ad esplicare le azioni delle opere in progetto, può essere considerato ricadente tra le **categorie di suolo di fondazione di tipo B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di 360m/s<V_{S30}<800 m/s (ovvero N_{SPT30} > 50 nei terreni a grana grossa e C_{u30} >250 kPa nei terreni a grana fina)**, mentre il medesimo parametro misurato nella zona di raccordo tra il tratto collinare della strada di completamento e quello già realizzato permette di individuare una zona omogenea, che per semplicità chiameremo **zona 2**, in cui il substrato, sul quale si andranno ad esplicare le azioni delle opere in progetto, può essere considerato ricadente tra le **categorie di suolo di fondazione di tipo C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà**

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

L'osservazione dei grafici delle sei misure di HVSR ha evidenziato che non vi sono picchi particolarmente accentuati nell'intervallo tra 1 e 10 Hz, che sono i valori più rilevanti e da tenere in considerazione per la progettazione di opere di ingegneria e, pertanto, si può ritenere l'area lungo l'intero tracciato stradale poco soggetta a processi di amplificazione locale.

Per effettuare la microzonazione sismica di II livello del sito in studio e per determinare i fattori di amplificazione sismica locale (FA, FV) con lo scopo di costruire una carta di microzonazione sismica, partendo dai valori di V_{SH} determinati con le indagini M.A.S.W ed ipotizzando un miglioramento delle caratteristiche di addensamento dei terreni con la profondità, si è stimata una V_{SH} che raggiunge gli 800 m/s alla profondità di circa 40 m di profondità per entrambe le zone 1 e 2.

Utilizzando gli abachi riportati nella Parte III degli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" della Protezione Civile, sono stati ricavati, per entrambe le zone individuate, i valori di FA e FV per una a_g pari a 0.18 che risulta quella più vicina a 0.150 g valore di Pga con cui è classificato il Comune di Stigliano nella Nuova Zonazione Sismica.

Il valore di V_{SH} per entrambe le zone è stato ricavato dalla formula di seguito riportata:

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Zona 1 – MASW 1

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{SH,i}}} = \frac{40}{\frac{1}{301.6} + \frac{1.3}{269.8} + \frac{1.6}{288.4} + \frac{2.1}{347.6} + \frac{2.5}{363.4} + \frac{3.2}{290.1} + \frac{3.9}{370.4} + \frac{4.9}{576.6} + \frac{6.2}{639.7} + \frac{6.7}{522.6} + \frac{6.6}{800.0}} = 459\ {}^{m}/_{s}$$

Zona 2 – MASW 2

$$V_{SH} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{SH,i}}} = \frac{40}{\frac{1}{125.5} + \frac{1.1}{198.6} + \frac{1.6}{245.5} + \frac{1.9}{173.4} + \frac{2.3}{234.5} + \frac{2.9}{347.7} + \frac{3.7}{421.1} + \frac{4.5}{477.2} + \frac{5.7}{549.1} + \frac{6.2}{578.0} + \frac{9.2}{800.0}} = 401\ {}^{m}/_{s}$$

Considerando le caratteristiche litostratigrafiche dell'area in studio sono state prese come terreni di riferimento le argille e come velocità di V_{SH} il valore di 450 m/s per la zona 1 e 400 m/s per la zona 2, si ottengono, utilizzando l'abaco sotto riportato, i seguenti valori di Fa ed Fv:

per la zona 1

Fa = 1,45

Fv = 1,41

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Fattore di amplificazione	Tipo di terreno	a_g (g)	Profilo di velocità
FA	Argilla	0.18g	Lineare pendenza intermedia

H	V_{s30} (m/s) 150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	2.37	1.86	1.72	1.48	1.28	1.15	1.09	1.05	1.02	1.01
10	2.62	2.40	2.07	1.75	1.52	1.36	1.25	1.17	1.07	1.02
15	2.25	2.35	2.21	1.96	1.75	1.55	1.40	1.28	1.13	1.04
20	1.86	2.12	2.15	1.98	1.80	1.62	1.48	1.36	1.18	1.06
25	1.86	1.88	1.98	1.94	1.80	1.63	1.51	1.39	1.21	1.08
30	-	1.86	1.87	1.80	1.75	1.62	1.50	1.39	1.22	1.08
35	-	1.83	1.83	1.71	1.63	1.58	1.48	1.39	1.21	1.08
40	-	1.79	1.80	1.71	1.56	1.52	1.45	1.36	1.21	1.08
50	-	1.61	1.74	1.67	1.56	1.45	1.36	1.30	1.18	1.06
60	-	1.53	1.66	1.62	1.54	1.43	1.34	1.27	1.15	1.05
70	-	1.43	1.56	1.59	1.49	1.41	1.32	1.25	1.13	1.03
80	-	1.41	1.53	1.49	1.47	1.37	1.31	1.23	1.12	1.02
90	-	1.33	1.46	1.47	1.42	1.36	1.28	1.22	1.10	1.01
100	-	1.22	1.40	1.42	1.39	1.33	1.27	1.20	1.09	1.00
110	-	1.16	1.36	1.38	1.34	1.29	1.24	1.19	1.08	0.99
120	-	1.17	1.27	1.34	1.32	1.27	1.21	1.17	1.07	0.98
130	-	1.11	1.21	1.31	1.28	1.26	1.19	1.15	1.06	0.98
140	-	1.04	1.19	1.27	1.25	1.22	1.18	1.13	1.05	0.96
150	-	1.00	1.17	1.21	1.22	1.19	1.16	1.11	1.03	0.96

Fattore di amplificazione	Tipo di terreno	a_g (g)	Profilo di velocità
FV	Argilla	0.18g	Lineare pendenza intermedia

H	V_{s30} (m/s) 150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
5	1.18	1.09	1.04	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00
10	2.32	1.54	1.18	1.11	1.08	1.05	1.03	1.02	1.01	1.00
15	2.99	2.13	1.61	1.29	1.16	1.11	1.07	1.05	1.02	1.01
20	3.15	2.56	1.93	1.56	1.32	1.18	1.13	1.09	1.04	1.01
25	3.05	2.76	2.23	1.78	1.49	1.30	1.19	1.13	1.06	1.02
30	-	2.75	2.38	1.97	1.64	1.42	1.28	1.18	1.08	1.03
35	-	2.70	2.49	2.06	1.74	1.52	1.35	1.23	1.10	1.03
40	-	2.65	2.45	2.15	1.82	1.59	1.41	1.27	1.12	1.04
50	-	2.45	2.39	2.17	1.94	1.71	1.52	1.37	1.17	1.05
60	-	2.41	2.29	2.12	1.91	1.74	1.58	1.43	1.20	1.06
70	-	2.20	2.16	2.06	1.89	1.72	1.56	1.43	1.21	1.08
80	-	2.07	2.14	1.97	1.85	1.69	1.56	1.44	1.22	1.09
90	-	2.06	2.01	1.92	1.77	1.66	1.54	1.43	1.23	1.09
100	-	2.03	1.93	1.89	1.73	1.61	1.51	1.41	1.23	1.09
110	-	1.98	1.92	1.82	1.70	1.58	1.48	1.38	1.22	1.09
120	-	1.97	1.91	1.75	1.67	1.55	1.45	1.37	1.21	1.08
130	-	1.94	1.87	1.73	1.63	1.53	1.43	1.34	1.19	1.06
140	-	1.88	1.83	1.74	1.59	1.50	1.40	1.32	1.18	1.05
150	-	1.83	1.80	1.72	1.54	1.46	1.39	1.30	1.17	1.04

per la zona 2

Fa = 1,52

Fv = 1,59

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Fattore di amplificazione	Tipo di terreno	a_g (g)	Profilo di velocità
FA	Argilla	0.18g	Lineare pendenza intermedia

	V_{s30} (m/s)									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H 5	2.37	1.86	1.72	1.48	1.28	1.15	1.09	1.05	1.02	1.01
10	2.62	2.40	2.07	1.75	1.52	1.36	1.25	1.17	1.07	1.02
15	2.25	2.35	2.21	1.96	1.75	1.55	1.40	1.28	1.13	1.04
20	1.86	2.12	2.15	1.98	1.80	1.62	1.48	1.36	1.18	1.06
25	1.86	1.88	1.98	1.94	1.80	1.63	1.51	1.39	1.21	1.08
30	-	1.86	1.87	1.80	1.75	1.62	1.50	1.39	1.22	1.08
35	-	1.83	1.83	1.71	1.63	1.58	1.48	1.39	1.21	1.08
40	-	1.79	1.80	1.71	1.56	1.52	1.45	1.36	1.21	1.08
50	-	1.61	1.74	1.67	1.56	1.45	1.36	1.30	1.18	1.06
60	-	1.53	1.66	1.62	1.54	1.43	1.34	1.27	1.15	1.05
70	-	1.43	1.56	1.59	1.49	1.41	1.32	1.25	1.13	1.03
80	-	1.41	1.53	1.49	1.47	1.37	1.31	1.23	1.12	1.02
90	-	1.33	1.46	1.47	1.42	1.36	1.28	1.22	1.10	1.01
100	-	1.22	1.40	1.42	1.39	1.33	1.27	1.20	1.09	1.00
110	-	1.16	1.36	1.38	1.34	1.29	1.24	1.19	1.08	0.99
120	-	1.17	1.27	1.34	1.32	1.27	1.21	1.17	1.07	0.98
130	-	1.11	1.21	1.31	1.28	1.26	1.19	1.15	1.06	0.98
140	-	1.04	1.19	1.27	1.25	1.22	1.18	1.13	1.05	0.96
150	-	1.00	1.17	1.21	1.22	1.19	1.16	1.11	1.03	0.96

Fattore di amplificazione	Tipo di terreno	a_g (g)	Profilo di velocità
FV	Argilla	0.18g	Lineare pendenza intermedia

	V_{s30} (m/s)									
	150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H 5	1.18	1.09	1.04	1.03	1.02	1.01	1.01	1.01	1.00	1.00
10	2.32	1.54	1.18	1.11	1.08	1.05	1.03	1.02	1.01	1.00
15	2.99	2.13	1.61	1.29	1.16	1.11	1.07	1.05	1.02	1.01
20	3.15	2.56	1.93	1.56	1.32	1.18	1.13	1.09	1.04	1.01
25	3.05	2.76	2.23	1.78	1.49	1.30	1.19	1.13	1.06	1.02
30	-	2.75	2.38	1.97	1.64	1.42	1.28	1.18	1.08	1.03
35	-	2.70	2.49	2.06	1.74	1.52	1.35	1.23	1.10	1.03
40	-	2.65	2.45	2.15	1.82	1.59	1.41	1.27	1.12	1.04
50	-	2.45	2.39	2.17	1.94	1.71	1.52	1.37	1.17	1.05
60	-	2.41	2.29	2.12	1.91	1.74	1.58	1.43	1.20	1.06
70	-	2.20	2.16	2.06	1.89	1.72	1.56	1.43	1.21	1.08
80	-	2.07	2.14	1.97	1.85	1.69	1.56	1.44	1.22	1.09
90	-	2.06	2.01	1.92	1.77	1.66	1.54	1.43	1.23	1.09
100	-	2.03	1.93	1.89	1.73	1.61	1.51	1.41	1.23	1.09
110	-	1.98	1.92	1.82	1.70	1.58	1.48	1.38	1.22	1.09
120	-	1.97	1.91	1.75	1.67	1.55	1.45	1.37	1.21	1.08
130	-	1.94	1.87	1.73	1.63	1.53	1.43	1.34	1.19	1.06
140	-	1.88	1.83	1.74	1.59	1.50	1.40	1.32	1.18	1.05
150	-	1.83	1.80	1.72	1.54	1.46	1.39	1.30	1.17	1.04

Tutto quanto detto finora ha consentito di individuare e cartografare le aree a risposta sismica locale omogenea (Carta di Microzonazione Sismica).

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

6. MODELLO DI RIFERIMENTO LITOLOGICO E PARAMETRI GEOTECNICI

I caratteri litostratigrafici e meccanici del sottosuolo lungo cui si sviluppa il tracciato stradale in progetto sono stati acquisiti, oltre che dai dati delle osservazioni condotte in loco e dalle notizie desumibili dalla bibliografia ufficiale, anche dai dati delle indagini condotte in sito ed in laboratorio che, congiuntamente, hanno consentito di effettuare una attendibile ricostruzione delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche, geotecniche e sismiche del "corridoio" in esame.

Sulla base di tali dati è stato possibile constatare che i depositi più superficiali, pur appartenendo a due formazioni geologico-stratigrafiche differenti (alluvioni recenti ed attuali), dal punto di vista litologico possono considerarsi appartenenti ad un'unica unità litologica, anche se le caratteristiche geotecniche degli stessi possono variare molto da punto a punto in funzione del prevalere delle frazioni limoso-argillose, ovvero delle frazioni sabbioso-ghiaiose.

Il deposito intercettato a partire dalla base di tale unità litologica (variabile tra 3.50 e 7.00 m circa di profondità), costituito dalla formazione

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

delle Argille Subappennine, invece, rappresenta un'unità litologica che, in funzione delle superfici che saranno interessate dalle opere da realizzare, si può ritenere che abbia caratteristiche geotecniche generalmente omogenee.

La presenza di terreno vegetale lungo il corridoio che sarà interessato dalle opere in progetto, abbastanza compressibile, laddove possibile verrà asportato completamente eliminando la sua influenza ai fini statici, mentre laddove gli spessori non lo consentiranno, si dovranno adottare tutti gli accorgimenti per contenere nei limiti accettabili gli effetti legati alla compressibilità di tali sedimenti.

Per qualsiasi calcolazione geotecnica di opere ed interventi ricadenti nell'area in studio si potranno utilizzare i parametri geotecnici di seguito riportati, ricavati dalle prove geotecniche realizzate sui campioni indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi meccanici relativamente alle argille, desunti da dati bibliografici per i depositi alluvionali di natura sabbioso-limoso-ghiaiosa.

6.1 Parametri di input

Depositi alluvionali sabbioso-limoso-ghiaiosi

- Peso di volume naturale	γ = 18.50 - 18.80 kN/m^3
- Angolo di attrito interno	ϕ = 30° - 34°
- Coesione drenata	c = 0.00 kPa
- Coesione non drenata	c_u = 0.00 kPa

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Depositi limoso-argillosi

- Peso di volume naturale	γ = 20.50 - 20.70 kN/m^3
- Angolo di attrito interno	ϕ = 24°- 25°
- Coesione drenata	c = 23.00 – 23.50 kPa
- Coesione non drenata	c_u = 450.00 – 500.00 kPa

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

7. VERIFICA DI STABILITA' DEL PENDIO

La porzione di strada che si snoda nella zona subpianeggiante si raccorda al tratto collinare attraverso un versante a bassa pendenza lungo il quale, considerate le caratteristiche morfoevolutive dell'area in esame, è stata effettuata la verifica, lungo la sezione geologica V-VI, della stabilità del versante agli scivolamenti gravitativi.

Sulla base di specifici rilievi ed osservazioni effettuate direttamente in campagna, delle indagini dirette ed indirette eseguite nell'area in esame, nonché sulla base delle caratteristiche geotecniche dei terreni affioranti nella zona, desunte dalle prove di laboratorio effettuate sui campioni indisturbati prelevati nel corso dei sondaggi meccanici, sono stati analizzati gli aspetti sopra richiamati, finalizzando lo studio alla verifica ed alla valutazione della stabilità dell'area.

Le risultanze numeriche e grafiche della verifica, effettuata con apposito software lungo una sezione orientata all'incirca sulla direttrice di massima pendenza del versante lungo cui si inerpica la strada in progetto, sono di seguito riportate.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi.

Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno.

Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata.

Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico, ma anche da quello normale.

A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico.

   Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (φ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

7.1 - Metodo equilibrio limite (LEM)

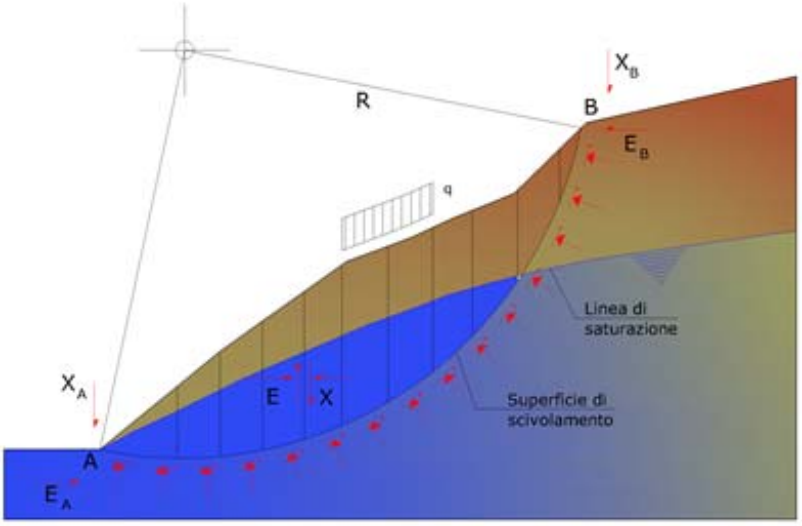
Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio (τ) e confrontate con la resistenza disponibile (τ_f), valutata secondo il criterio di rottura di Coulomb, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza:

$$F = \tau_f / \tau$$

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (Culman), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (Fellenius, Bishop, Janbu ecc.).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004



7.2 - Metodo dei conci

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci.

Se il numero dei conci è pari a *n*, il problema presenta le seguenti incognite:

- n valori delle forze normali N_i agenti sulla base di ciascun concio;
- n valori delle forze di taglio alla base del concio T_i;
- (n-1) forze normali E_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- (n-1) forze tangenziali X_i agenti sull'interfaccia dei conci;
- n valori della coordinata a che individua il punto di applicazione delle E_i;
- (n-1) valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle X_i;

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F.

Complessivamente le incognite sono (6n-2), mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n;
- equazioni relative al criterio di rottura n.

Totale numero di equazioni 4n.

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a:

$$i = (6n-2)-(4n) = 2n-2$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a (n-2) in quanto si fa l'assunzione che N_i sia applicato nel punto medio della striscia.

Ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le (n-2) indeterminazioni.

La verifica della stabilità del pendio nel caso in esame ed i relativi coefficienti di sicurezza sono stati determinati, in condizioni sismiche, utilizzando un programma di calcolo automatico ed è stata eseguita utilizzando la metodologia sotto indicata:

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

- Metodo di JANBU

per le cui ipotesi di dettaglio si rimanda al successivo paragrafo.

La ricostruzione geologico-stratigrafica del sottosuolo ed i parametri geotecnici presi a base di calcolo per effettuare le verifiche sono stati desunti dallo studio geologico-geotecnico effettuato sull'area e dai dati bibliografici disponibili.

Sotto queste condizioni si sono ottenuti coefficienti di sicurezza superiori al valore minimo (pari ad 1.00) richiesto dalla normativa vigente.

Il valore più basso del coefficiente di sicurezza, ottenuto lungo la sezione geologica V-VI è risultato essere pari a 4.66.

7.3 - Relazione di calcolo - Metodo di JANBU

I calcoli di cui al presente paragrafo si riferiscono alla verifica di stabilità di una scarpata per la quale ci si prefigge di determinare il livello di sicurezza posseduto.

Ciò si attua attraverso il calcolo del coefficiente di sicurezza inteso come rapporto fra forze stabilizzanti ed instabilizzanti.

Dette forze derivano dai parametrici geotecnici, dalla geometria del profilo topografico, dalla conformazione dei vari strati e dalle azioni esterne, che presumibilmente possono agire, quali quelle imposte dalla normativa connesse alle zone sismiche, alle azioni delle acque e a quelle derivanti dai manufatti che insistono, o si devono ubicare, sul versante.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

I calcoli relativi si esplicitano in corrispondenza di determinate porzioni dell'ammasso, individuate dal calcolatore, nelle quali si può, responsabilmente, ipotizzare l'insorgenza di superfici di scorrimento.

In queste si procederà al calcolo delle forze resistive che si oppongono a quelle che tendono a produrre instabilità.

Il rapporto di queste entità, come precedentemente affermato, definisce il coefficiente di sicurezza che, in condizioni di stabilità, deve risultare maggiore dell'unità (stato di equilibrio limite).

E' giusto pertanto accertare, specialmente nel caso di ubicazione nella zona di nuovi insediamenti, che tale parametro risulti superiore al limite anzidetto con un margine di sicurezza sufficientemente elevato (la normativa italiana impone Fs >1.00).

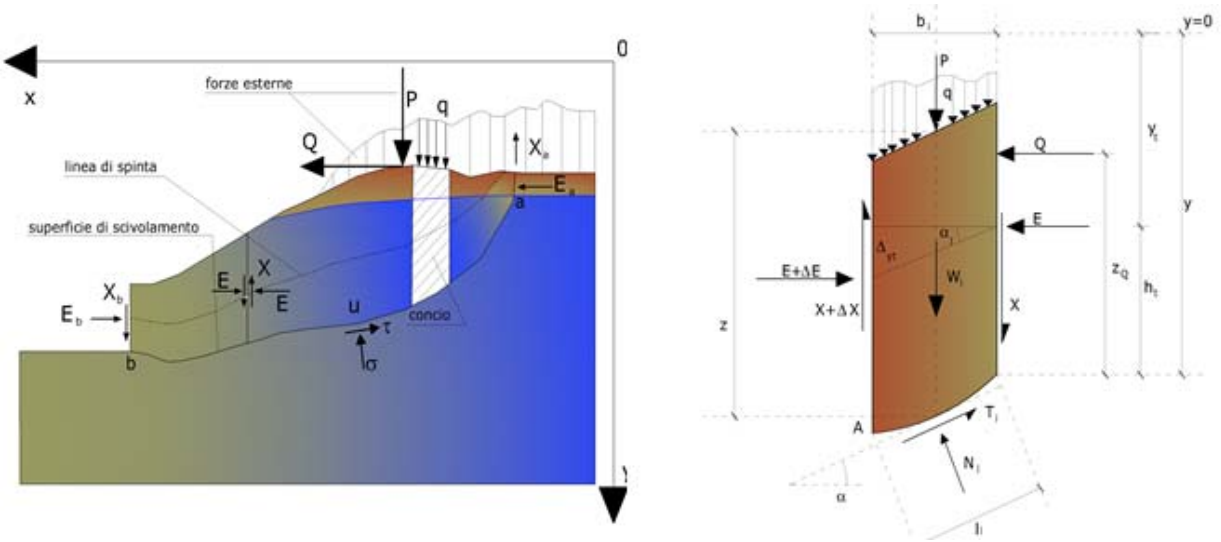
In aderenza a quanto precedentemente esposto si procederà alla verifica del pendio in esame con la metodologia di JANBU, che estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio).

A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\Sigma\left\{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan\varphi_i\right\} \times \dfrac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan\alpha_i \times \tan\varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \tan\alpha_i}$$

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004



Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Assumendo $\Delta X_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario.

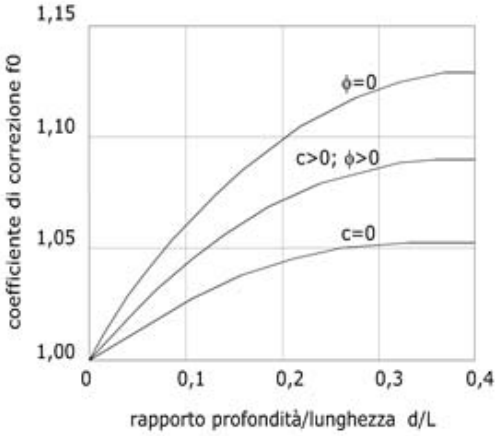
Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

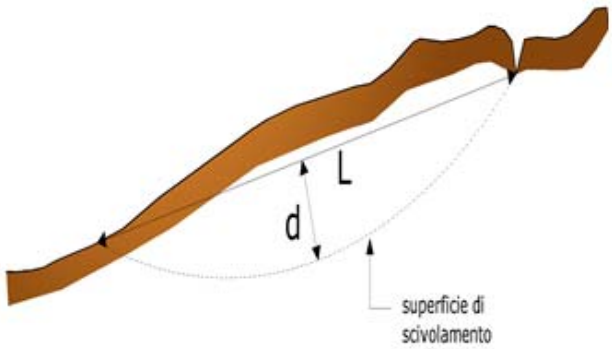
$$F_{corretto} = f_0 \cdot F$$

dove f_0 è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004





7.3.1 - Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminare un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia m×n e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

Analisi di stabilità dei pendii con: JANBU (1956)

Zona	STRADA PROVINCIALE CARPINELLO
Lat./Long.	40.3464/16.308701
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	50.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	222.14 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	321.58 m
Ascissa vertice destro superiore xs	478.67 m
Ordinata vertice destro superiore ys	409.22 m
Passo di ricerca	25.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	50,0 [anni]
Vita di riferimento:	50,0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	C
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0.39	2.41	0.28
S.L.D.	50,0	0.49	2.41	0.32
S.L.V.	475,0	1.08	2.62	0.44
S.L.C.	975,0	1.33	2.7	0.47

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.585	0.2	0.0119	0.006
S.L.D.	0.735	0.2	0.015	0.0075
S.L.V.	1.62	0.24	0.0396	0.0198
S.L.C.	1.9688	0.24	0.0482	0.0241

Coefficiente azione sismica orizzontale	0,04
Coefficiente azione sismica verticale	0,02

Vertici profilo

N	X m	y m
1	0.0	206.0
2	22.2	205.0

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

3	24.02	203.01
4	25.67	203.37
5	28.02	204.84
6	36.5	205.0
7	47.6	206.0
8	70.7	206.5
9	95.3	207.5
10	110.1	207.7
11	148.0	210.0
12	207.25	215.0
13	263.53	220.0
14	317.42	225.0
15	349.7	227.0
16	381.15	230.0
17	411.0	231.8
18	416.0	231.82
19	436.65	235.0
20	478.62	240.0
21	500.0	242. 8

Vertici strato 1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	198.0
2	31.72	196.72
3	43.6	196.73
4	55.44	197.06
5	67.44	198.37
6	83.72	199.2
7	93.09	201.33
8	111.17	201.66
9	148.0	210.0
10	207.25	215.0
11	263.53	220.0
12	317.42	225.0
13	349.7	227.0
14	381.15	230.0
15	411.0	231.8
16	416.0	231.82
17	436.65	235.0
18	478.62	240.0
19	500.0	242.8

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

==========

Tangente angolo di resistenza al taglio	1,25
Coesione efficace	1,25
Coesione non drenata	1,4

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

Riduzione parametri geotecnici terreno No

==========

Stratigrafia

c: coesione; cu: coesione non drenata; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm²)	cu (kg/cm²)	Fi (°)	G (Kg/m³)	Gs (Kg/m³)	K (Kg/cm³)	Litologia	
1	0	0	32	1860	2050	0.00	Depositi alluvionali	
2	0.24	4.5	24	2050	2100	0.00	Argille subappennine	

G0: Modulo di taglio dinamico a basse deformazioni; G: Modulo di taglio dinamico; Dr: Densità relativa; OCR: Grado di sovraconsolidazione; IP: Indice di plasticità

Strato	G0 (KPa)	G (KPa)	Dr (%)	OCR	IP (%)
1	0	0	0	1	0
2					
3					

Risultati analisi pendio [NTC 2008: [A2+M2+R2]]

==========

Fs minimo individuato	4.66
Ascissa centro superficie	427.36 m
Ordinata centro superficie	330.34 m
Raggio superficie	110.74 m

==========

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

(ID=36) xc = 427.362 yc = 330.34 Rc = 110.739 Fs=4.655

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	0.53	-24.8	0.58	161.52	6.46	3.23	0.24	24.0	0.0	364.6	444.6
2	4.01	-23.5	4.38	10808.86	432.35	216.18	0.24	24.0	0.0	13649.8	4660.6
3	2.27	-21.8	2.45	13104.99	524.2	262.1	0.24	24.0	0.0	15421.9	3534.5
4	2.27	-20.5	2.43	17831.91	713.28	356.64	0.24	24.0	0.0	20478.5	4110.4
5	2.27	-19.3	2.41	22294.41	891.78	445.89	0.24	24.0	0.0	25143.6	4632.6
6	2.27	-18.0	2.39	26498.72	1059.95	529.97	0.24	24.0	0.0	29444.7	5106.6
7	2.27	-16.8	2.37	30451.24	1218.05	609.02	0.24	24.0	0.0	33405.1	5536.6
8	2.27	-15.6	2.36	34156.28	1366.25	683.13	0.24	24.0	0.0	37045.9	5926.6
9	2.27	-14.3	2.34	37618.75	1504.75	752.38	0.24	24.0	0.0	40386.6	6280.4

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

10	2.27	-13.1	2.33	40843.06	1633.72	816.86	0.24	24.0	0.0	43440.1	6600.1
11	2.27	-11.9	2.32	43831.92	1753.28	876.64	0.24	24.0	0.0	46223.0	6888.8
12	2.27	-10.7	2.31	46588.62	1863.55	931.77	0.24	24.0	0.0	48749.2	7148.9
13	3.12	-9.3	3.17	68161.02	2726.44	1363.22	0.24	24.0	0.0	70725.2	10208.2
14	1.42	-8.1	1.43	32267.21	1290.69	645.34	0.24	24.0	0.0	33266.3	4751.8
15	2.27	-7.2	2.29	52828.13	2113.13	1056.56	0.24	24.0	0.0	54203.0	7695.8
16	1.31	-6.2	1.32	31034.69	1241.39	620.69	0.24	24.0	0.0	31704.3	4479.1
17	3.23	-5.1	3.25	79800.05	3192.0	1596.0	0.24	24.0	0.0	81111.3	11359.4
18	2.27	-3.6	2.28	59002.01	2360.08	1180.04	0.24	24.0	0.0	59642.1	8268.1
19	2.27	-2.4	2.27	61190.3	2447.61	1223.81	0.24	24.0	0.0	61607.4	8483.3
20	2.27	-1.3	2.27	63161.55	2526.46	1263.23	0.24	24.0	0.0	63369.2	8679.0
21	2.27	-0.1	2.27	64915.8	2596.63	1298.32	0.24	24.0	0.0	64929.9	8855.6
22	2.27	1.1	2.27	66453.21	2658.13	1329.06	0.24	24.0	0.0	66294.9	9014.1
23	2.27	2.3	2.27	67773.35	2710.93	1355.47	0.24	24.0	0.0	67465.2	9154.7
24	2.27	3.4	2.28	68875.85	2755.03	1377.52	0.24	24.0	0.0	68443.8	9278.0
25	1.52	4.4	1.52	46485.8	1859.43	929.72	0.24	24.0	0.0	46142.7	6254.1
26	3.03	5.6	3.04	93380.95	3735.24	1867.62	0.24	24.0	0.0	92602.5	12566.9
27	2.27	7.0	2.29	70195.48	2807.82	1403.91	0.24	24.0	0.0	69569.0	9468.5
28	2.27	8.2	2.29	70050.41	2802.02	1401.01	0.24	24.0	0.0	69421.2	9481.4
29	2.27	9.4	2.3	69681.01	2787.24	1393.62	0.24	24.0	0.0	69079.6	9476.6
30	2.27	10.5	2.31	69086.23	2763.45	1381.73	0.24	24.0	0.0	68542.9	9454.0
31	2.27	11.7	2.32	68262.61	2730.5	1365.25	0.24	24.0	0.0	67806.1	9412.6
32	2.27	12.9	2.33	67209.11	2688.36	1344.18	0.24	24.0	0.0	66866.9	9352.2
33	2.27	14.2	2.34	65919.27	2636.77	1318.39	0.24	24.0	0.0	65716.1	9271.3
34	2.27	15.4	2.36	64392.45	2575.7	1287.85	0.24	24.0	0.0	64350.6	9169.1
35	2.27	16.6	2.37	62623.41	2504.94	1252.47	0.24	24.0	0.0	62761.7	9044.5
36	2.27	17.8	2.39	60608.04	2424.32	1212.16	0.24	24.0	0.0	60940.8	8895.6
37	2.27	19.1	2.4	58341.22	2333.65	1166.82	0.24	24.0	0.0	58877.9	8720.9
38	2.27	20.3	2.42	55817.26	2232.69	1116.35	0.24	24.0	0.0	56561.1	8518.0
39	2.27	21.6	2.44	53030.41	2121.22	1060.61	0.24	24.0	0.0	53978.0	8284.9
40	2.27	22.8	2.46	49974.18	1998.97	999.48	0.24	24.0	0.0	51112.7	8018.1
41	2.27	24.1	2.49	46639.64	1865.59	932.79	0.24	24.0	0.0	47948.8	7715.1
42	2.27	25.4	2.51	43020.43	1720.82	860.41	0.24	24.0	0.0	44466.0	7371.2
43	2.6	26.8	2.91	44437.64	1777.51	888.75	0.24	24.0	0.0	46202.1	7960.5
44	1.94	28.1	2.2	29603.79	1184.15	592.08	0.24	24.0	0.0	30944.8	5572.0
45	2.27	29.4	2.61	30523.71	1220.95	610.47	0.24	24.0	0.0	32052.0	6071.7
46	2.27	30.7	2.64	25786.79	1031.47	515.74	0.24	24.0	0.0	27176.5	5530.5
47	2.27	32.1	2.68	20708.11	828.32	414.16	0.24	24.0	0.0	21836.5	4917.5
48	2.27	33.5	2.72	15271.7	610.87	305.43	0.24	24.0	0.0	15986.9	4221.9
49	2.27	34.9	2.77	9461.26	378.45	189.23	0.24	24.0	0.0	9576.5	3431.4
50	2.27	36.4	2.82	3256.49	130.26	65.13	0.24	24.0	0.0	2543.9	2530.7

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

8. CONCLUSIONI

I dati desunti dallo studio geologico-morfologico di superficie, le informazioni sulla stratigrafia del sottosuolo raccolte nel corso delle indagini effettuate, correlati ai dati delle prove di laboratorio ed a quelli bibliografici disponibili, hanno permesso di acquisire sufficienti informazioni per la caratterizzazione geologico-geotecnica del sottosuolo relativo al corridoio lungo cui si snoda la strada in progetto.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, in base ai dati delle indagini effettuate sull'area, in particolare sulla base delle caratteristiche litostratigrafico-stratimetriche e delle indagini sismiche eseguite, è stato possibile stabilire che il substrato su cui si andranno ad esplicare le azioni delle opere da realizzare può essere annoverato in parte tra le **categorie di suolo di fondazione di tipo B** ed in parte tra le **categorie di suolo di fondazione di tipo C**.

La microzonazione sismica di II livello, inoltre, ha consentito di definire le azioni sismiche ed i fattori di amplificazione che il progettista dovrà considerare per il calcolo strutturale delle realizzande opere, in osservanza della nuova normativa tecnica per la progettazione in zona sismica.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

In relazione alle caratteristiche morfologiche, litostratigrafiche, idrologiche ed idrogeologiche dell'area in esame, al termine dello studio effettuato ed in riferimento agli interventi previsti, è stato possibile arrivare a trarre alcune importanti conclusioni, soprattutto per quanto riguarda il comportamento dei terreni che saranno interessati dalle opere in progetto nei confronti delle acque di scorrimento superficiale.

La piatta morfologia dell'area relativa alla porzione di valle della strada da realizzare, denominata "zona 1", caratterizzata da pendenze molto blande, condiziona in maniera determinante lo schema generale di circolazione delle acque di pioggia ed influisce in maniera significativa sulla tipologia e sull'evoluzione dei reticoli di drenaggio superficiali che, nella suddetta area, si presentano generalmente poco sviluppati.

Il monotono aspetto morfologico di tale area è interrotto solamente dai rilevati stradali esistenti.

Ciò significa che nella porzione di territorio che sarà interessata dalle opere in progetto, il modello idrologico-idrogeologico di riferimento, considerate le caratteristiche morfologiche, geologico-stratigrafiche, l'assetto strutturale complessivo, il grado di permeabilità dei terreni affioranti, è quello tipico dei depositi sabbioso-limoso-ghiaiosi, con infiltrazione generalmente abbastanza buona e con generale scarsa tendenza al ristagno in superficie delle acque meteoriche.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

In virtù di quanto appena detto si ritiene, quindi, che la realizzazione degli interventi per il completamento della strada in progetto non apporterà nessuna variazione sostanziale all'attuale assetto idrologico-idrogeologico della zona in esame e per continuare a mantenere l'equilibrio morfologico di tale area, le aliquote in eccesso delle acque di precipitazione meteorica che cadranno sulla carreggiata stradale saranno allontanate in maniera controllata lungo le cunette ed i sistemi di canalizzazione che dovranno essere realizzati.

La morfologia più varia dell'area relativa alla porzione collinare della strada da realizzare, denominata "zona 2", è contraddistinta da pendenze più accentuate, soprattutto nella prima parte del tracciato partendo da valle, ed è condizionata dall'affioramento di terreni di natura argilloso-limosa che influenzano in maniera determinante lo schema generale di circolazione delle acque di pioggia ed incidono in maniera significativa sulla tipologia e sull'evoluzione dei reticoli di drenaggio superficiali che, nella suddetta area, si presentano generalmente più sviluppati.

Lungo questo tratto di strada il modello idrogeologico di riferimento, considerate le caratteristiche geologico-stratigrafiche, l'assetto strutturale complessivo, il grado di permeabilità dei terreni affioranti, è quello tipico dei versanti argillosi, con scarsa infiltrazione e con generale tendenza al ristagno o allo scorrimento in superficie, in maniera areale e non controllata o concentrata, delle acque meteoriche.

La realizzazione di questo tratto di strada dovrà prevedere un riassetto dei versanti lungo cui saranno realizzati gli interventi in progetto attraverso la

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

raccolta e l'allontanamento controllato delle acque meteoriche mediante un sistema di fossi di guardia, canalizzazioni e smaltimento delle stesse, così come precedentemente detto, che determinerà un generale miglioramento delle attuali condizioni idrauliche dei versanti oggetto dei lavori, in quanto tali acque saranno sottratte al libero deflusso fino ad eliminare o quantomeno rallentare i potenziali rischi legati all'erosione per scorrimento areale o concentrato <<selvaggio>> e privo di controllo.

La verifica di stabilità del pendio nel tratto di strada ubicato al passaggio tra la "zona 1" di valle e la "zona 2" collinare (sezione V-VI) hanno messo in luce che complessivamente il corridoio lungo cui si snoda la strada da risistemare, anche grazie alle buone caratteristiche geotecniche della formazione argilloso-limosa affiorante, non presenta problematiche di dissesto diffuso, nonostante tutt'attorno a tale area non manchino segnali evidenti di processi morfologici in atto (frane, smottamenti, processi erosivi ecc.).

La presenza dell'area a rischio R3 che la strada attraversa nella zona di valle al passaggio tra il tratto collinare e quello di pianura è l'unico vistoso aspetto morfologico da valutare attentamente.

La formazione di tale area è da imputare all'azione erosiva delle acque meteoriche nella zona a monte ed al successivo incanalamento di acque meteoriche e detriti nel Fosso del Finocchio e, pertanto, per eliminare o quantomeno attenuare il rischio in questo tratto di strada, gli interventi in progetto dovranno essere tesi a regimare le acque meteoriche attualmente libere di scorrere in maniera incontrollata sulle pendici argillose.

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

La consultazione della cartografia allegata alla D.G.R. del 23 dicembre 2010 n. 2018 ha escluso, infine, che l'area individuata ricade all'interno delle "aree con presenza di rocce potenzialmente contenenti amianto" e, pertanto, non è stata necessaria la caratterizzazione geomineralogica della medesima area.

Gli interventi previsti e la situazione generale dell'area dal punto di vista geologico-strutturale e stratigrafico, geomorfologico, idrogeologico e geologico-tecnico portano a concludere che la scelta localizzativa del tracciato stradale è idonea ad accogliere la realizzazione delle opere pianificate, a condizione che la progettazione ed i lavori siano eseguiti con la costante tensione volta ad eliminare, laddove possibile, o a mitigare le possibili situazioni di pericolo ampiamente illustrate nel corpo della presente relazione.

La correlazione di tutti gli aspetti sopra citati, infine, ha consentito di schematizzare in una **"Carta di sintesi della pericolosità geologica e geomorfologica"** a cui si rimanda, per la rapida visualizzazione delle caratteristiche di pericolosità del sito in cui sarà realizzato l'intervento in progetto e delle aree ad esso limitrofe.

Matera, ottobre 2021

Dott. Geol. Rocco PORSIA

GEOTECH - *Dott. Rocco PORSIA* - GEOLOGO
via Tacito, 31 – 75100 Matera – tel. 0835237271 – fax 0835258004

9. BIBLIOGRAFIA

- Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000 – Foglio 200 TRICARICO
- Note Illustrative della Carta Geologica d'Italia alla scala 1: 100.000 – Foglio 200 TRICARICO
- Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico dell'Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata e relativa cartografia
- Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. 14 gennaio 2008
- Norme Tecniche per le Costruzioni – D.M. 17 gennaio 2018
- Legge Regionale n. 23 del 11/08/1999 e s.m.i.
- Legge Regionale n. 9 del 07/06/2011 e s.m.i.
- Consiglio Superiore Lavori Pubblici – Azioni sismiche – Spettri di risposta – ver 1.0.3.
- Pericolosità sismica dei comuni italiani – Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia
- Classificazione sismica – Dipartimento Protezione Civile
- Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica – Parte III – Dipartimento Protezione Civile