

1) PREMESSA

Nel presente elaborato vengono riportate le specifiche riguardanti le modalità di applicazione ed esecuzione delle indagini sia geognostiche (sondaggi a carotaggio, prove penetrometriche, pozzetti geognostici, prove in foro, ecc.) che geofisiche (Sismica a rifrazione, Masw, Down Hole, ecc.) eseguite nella campagna geognostica svolta nell'ambito della "Direzione, progettazione e realizzazione lavori, supporto gestionale collegamento mediano "Murgia-Pollino", tratto gioia del Colle-Matera-Ferrandina-Pisticci- By-pass Matera, progetto di fattibilità tecnica ed economica", su commissione dell'A.T.I. RPA-VAMS-SETAC-RBA.

La campagna indagini dirette è consistita nell'esecuzione di:

INDAGINI GEOGNOSTICHE DIRETTE

- **n. 45 perforazioni ad andamento verticale con prove di penetrazione dinamica SPT** per la determinazione della resistenza del terreno alla penetrazione. eseguite a rotazione a carotaggio continuo, fino a profondità massima compresa tra i **25m** e i **35 m dal p.c.** e prelievo di campioni di roccia per valutazioni geotecniche e ambientali, come da capitolato a profondità variabili;
- **n. 38 pozzetti geognostici esplorativi** eseguiti con mezzo meccanico, con relativo prelievo campioni per valutazioni ambientali e geotecniche;
- **n. 11 prove di permeabilità in foro di tipo Lefranc (carico costante o carico variabile) e n. 2 di tipo Lugeon**, eseguite al fine di misurare la conducibilità idrica orizzontale del terreno ed eseguite alle profondità indicate dalla committenza;
- **n. 6 piezometri a tubo aperto** utilizzati per misurare il livello di falda o la pressione neutra in terreni a media e alta permeabilità;
- **n. 14 prove pressiometriche** per misurare la deformazione del terreno sollecitato mediante espansione radiale di una sonda cilindrica posta a contatto con le pareti del foro stesso;

INDAGINI GEOFISICHE INDIRECTE

Le attività di indagine sono consistite nell'esecuzione di:

- **n. 29 prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde P e onde S**, tutti di lunghezza pari a 165m per le quali sono stati utilizzati n. 24 geofoni spazati ogni 5.0 ed eseguiti, per le onde di compressione sette scoppi di cui quelli più esterni posti ad una distanza di 25.0m sia dal primo che dall'ultimo geofono; tale indagine, distribuita su tutto il

territorio coinvolto nel progetto, è finalizzata ad individuare la sismostratigrafia di massima dei terreni e alcuni fra i principali moduli elastici dinamici degli stessi;

- **n. 22 prospezioni sismiche in foro in onde P ed S**, eseguite in corrispondenza dei sondaggi meccanici eseguiti, spinti a profondità comprese tra 30m e 35m; tale indagine consente di individuare una sismostratigrafia di maggiore dettaglio anche se di valore puntuale, stimare i valori di alcuni fra i principali moduli elastici dinamici dei terreni ed nella maggior parte dei casi determinare il valore del parametro individuato dalle nuove Norme Tecniche sulle Costruzioni (NTC 2018) per l'individuazione della categoria di suolo di fondazione ($V_{s,eq}$).

OGGETTO

**COLLEGAMENTO MEDIANO "MURGIA - POLLINO"
TRATTO GIOIA DEL COLLE - MATERA - FERRANDINA –
PISTICCI - BY-PASS DI MATERA
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

ELABORATO

RIG

RELAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE

COMMITTENTI



MANDATARIA



UNI 9001:2008 UNI EN ISO 14001:2005



SETAC S.r.l.

Servizi & Engineering: Trasporti Ambiente Costruzioni
Via Don Guanello 15/B - 70124 Bari

MANDANTE



MANDANTE

ingegneria
Via Nazario 154 - 00196 Roma



MANDANTE

studio R.B.A.

Studio Romanazzi - Boscia e Associati srl
Via Amendola 172/C - 70125 Bari

Strada del Colle 1/A Fraz. Fontana - PERUGIA

**PROGETTISTA IL COORDINATORE PER LA
SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE**

Dott. Ing. Dino BONADIES

Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n° A829

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Stefano PIAZZOLI

Ordine Geologi Regione Umbria n. 107

IMPRESA ESECUTRICE INDAGINI GEOGNOSTRICHE

APOGEO s.r.l.

Via Caduti di Nassiriya, 170 - 70022 Altamura (BA)

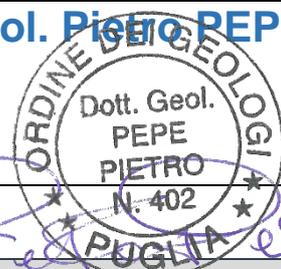
Cod. Fisc. e P. IVA 01037210778 REA: 472212 - Cap. Soc. € 94.628,00 i.v.

Tel. e Fax: 080/3143324 Email: apogeo.altamura@libero.it - PEC: apogeo.altamura@pec.it

www.apogeo.biz

Il Direttore Tecnico

Dott. Geol. Pietro PEPE



OS20B Class. IIIbis - OS20A Class. I



ALLEGATI

SCALA

DATA

OTTOBRE 2020

Rif. commessa

02/2020

Sommario

1	PREMESSA	2
2	INDAGINI GEOGNOSTICHE DIRETTE	3
3	SONDAGGI GEOGNOSTICI	3
3.1	PROVE SPT	5
3.2	PROVE DI PERMEABILITÀ IN FORI DI SONDAGGIO	6
3.2.1	<i>Prova Lefranc</i>	6
3.2.2	<i>Prova Lugeon</i>	7
3.2.3	<i>Risultati riassuntivi</i>	8
3.3	PROVE PRESSIOMETRICHE	9
3.3.1	<i>Generalità</i>	9
3.3.2	<i>Strumentazione usata</i>	9
3.3.3	<i>Taratura</i>	10
3.3.4	<i>Procedura di prova</i>	13
3.3.5	<i>Restituzione dei dati</i>	13
3.3.6	<i>Restituzione dei risultati</i>	15
4	POZZETTI GEOGNOSTICI	18
5	RILIEVI PLANOALTIMETRICI	19
5.1	STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	19
5.2	DESCRIZIONE DEL METODO	19
5.2.1	<i>Tecnologia di rilievo</i>	19
5.2.2	<i>Collegamento del rilievo alla rete GNSS della NetGEO</i>	20
5.3	RESTITUZIONE DEI DATI	20
5.3.1	<i>Tabella di riepilogo coordinate dei sondaggi geognostici</i>	21
5.3.2	<i>Tabella di riepilogo coordinate delle prove penetrometriche DPSH</i>	22
5.3.3	<i>Tabella di riepilogo coordinate dei pozzetti geognostici prima fase</i>	22
5.3.4	<i>Tabella di riepilogo coordinate dei pozzetti geognostici seconda e terza fase</i>	23
5.3.5	<i>Tabella di riepilogo coordinate delle indagini sismiche di superficie</i>	24

1 PREMESSA

Nel presente elaborato vengono riportati i risultati ottenuti dalla campagna di indagine geognostica svolta nell'ambito della "Direzione, progettazione e realizzazione lavori, supporto gestionale collegamento mediano "Murgia-Pollino", tratto gioia del Colle-Matera-Ferrandina-Pisticci- By-pass Matera, progetto di fattibilità tecnica ed economica", su commissione dell'A.T.I. RPA-VAMS-SETAC-RBA.

In ottemperanza a quanto previsto in appalto sono state eseguite una serie di indagini dirette lungo tutto il tracciato di progetto e soprattutto in corrispondenza di peculiarità lito-geologiche caratterizzanti l'area indagata.

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

- Individuare, soprattutto in corrispondenza delle opere in progetto, la natura lito-stratigrafica del suolo presente;
- Valutare la composizione granulometrica dei terreni superficiali, al fine di poter fornire informazioni utili ai successivi approfondimenti idraulici;
- Determinare le caratteristiche fisico-meccaniche della roccia calcarea di fondazione in corrispondenza delle opere d'arte principali di progetto.

La campagna indagini dirette è consistita nell'esecuzione di:

INDAGINI GEOGNOSTICHE DIRETTE

- **n. 45 perforazioni ad andamento verticale** eseguite a rotazione a carotaggio continuo, fino a profondità massima compresa tra i **25m** e i **35 m dal p.c.** e prelievo di campioni di roccia per valutazioni geotecniche e ambientali, come da capitolato a profondità variabili;
- **n. 38 pozzetti geognostici esplorativi** eseguiti con mezzo meccanico, con relativo prelievo di campioni per valutazioni ambientali e geotecniche;
- **n. 11 prove di permeabilità in foro di tipo Lefranc (carico costante o carico variabile) e n. 2 di tipo Lugeon**, eseguite al fine di misurare la conducibilità idrica orizzontale del terreno ed eseguite alle profondità indicate dalla committenza;
- **n. 6 piezometri a tubo aperto** utilizzati per misurare il livello di falda o la pressione neutra in terreni a media e alta permeabilità;
- **n. 14 prove pressiometriche** per misurare la deformazione del terreno sollecitato mediante espansione radiale di una sonda cilindrica posta a contatto con le pareti del foro stesso;

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

2 INDAGINI GEOGNOSTICHE DIRETTE

Le attività di perforazione geognostica e campionamento sono state eseguite mediante l'utilizzo di due squadre in campo, ciascuna sotto la supervisione di un geologo che ha provveduto a redigere le stratigrafie, schedare le cassette catalogatrici e acquisire la documentazione fotografica.

Le indagini dirette sono consistite nell'esecuzione di sondaggi geognostici verticali di profondità variabile e di pozzetti geognostici di dimensioni 3x3m.

Durante l'esecuzione dei sondaggi, nell'ambito della stessa terebrazione, sono state eseguite prove SPT, prove di permeabilità e prove pressiometriche in base alle indicazioni dei progettisti. In alcuni sono stati inoltre installati tubi piezometrici per il controllo del livello di falda eventualmente presente.

La campagna geognostica è consistita nell'esecuzione di n. 53 perforazioni verticali eseguite a rotazione a carotaggio continuo, di diametro 101 mm; di cui:

- ❖ n. 26 sondaggi spinti fino a profondità di 35 m dal p.c.
- ❖ n. 17 sondaggi spinti fino a profondità di 30 m dal p.c.
- ❖ n. 1 sondaggi spinti fino a profondità di 25 m dal p.c.

Nei paragrafi seguenti saranno dettagliate le indagini eseguite.

3 SONDAGGI GEOGNOSTICI

I sondaggi sono stati eseguiti lungo il tracciato in progetto, generalmente a bordo di strade comunali o provinciali o, laddove provvisti di permesso, in aree private. Per ciascun sondaggio è stato compilato apposito modulo stratigrafico contenente i dati di cantiere e le principali caratteristiche dei materiali attraversati.

Dei 30 sondaggi a 35m, 26 sono stati attrezzati con tubo in pvc atossico per l'esecuzione di indagini sismiche in foro di tipo down-hole, mentre dei 20 sondaggi a 30m, 1 è stato attrezzato con tubo in pvc atossico per l'esecuzione di indagini sismiche in foro di tipo down-hole e 7 sono stati attrezzati a piezometro con tubo in pvc fessurato per l'osservazione del livello statico della falda, ove presente e per l'eventuale prelievo di campioni d'acqua per analisi di laboratorio.

I fori sono stati attrezzati per esecuzione di down-hole secondo le raccomandazioni A.G.I. con rivestimento in PVC >3mm di spessore, cementato al terreno incassante mediante opportuna miscela cementizia.

I fori per la misura del livello della falda, rispettando sempre le raccomandazioni A.G.I., sono stati attrezzati con piezometro idraulico a tubo aperto in PVC microfessurato con spessore di 2mm e diametro 80mm. Le operazioni per l'installazione hanno seguito questo iter:

1. posa di uno strato di spessore 0.5 m di sabbia grossa pulita ($\varnothing = 1 - 4$ mm);
2. discesa a quota del piezometro assemblato secondo la sequenza di tratti ciechi e fenestrati prevista dalla direzione dei lavori. L'estremità inferiore del tubo viene chiusa con apposito tappo di fondo. Le fessure hanno apertura ≤ 1 mm;
3. posa di sabbia grossa ($\varnothing = 1 \div 4$ mm) pulita o materiale granulare pulito ($\varnothing = 2 \div 4$ mm) attorno al tubo fino a risalire di 1 m dall'estremità superiore del tratto fenestrato, ritirando man mano la colonna di rivestimento, senza l'ausilio della rotazione, con l'avvertenza di controllare che il piezometro non risalga assieme ai rivestimenti;
4. riempimento del tratto superiore dell'intercapedine fino alla sommità mediante materiale limo-argilloso o sabbioso. L'estremità superiore dei tubi sarà protetta con apposito tappo;

5. sistemazione e protezione del piezometro con la creazione di pozzetto in lamiera verniciata, ben cementato nel terreno, munito di coperchio con lucchetto e chiavi da consegnare al direttore dei lavori; nel caso di installazione in luoghi aperti al traffico veicolare o pedonale (strade, piazzali, marciapiedi), e solo su specifica richiesta della direzione dei lavori, in luogo del chiusino standard viene installato idoneo chiusino carrabile in ghisa, posto in opera a filo della pavimentazione esistente;
6. spurgo, collaudo del piezometro ed esecuzione della prima lettura significativa a non meno di due ore dalla realizzazione del piezometro e le successive a distanza di 24 ore l'una dall'altra. Per la lettura del livello dell'acqua si sono utilizzate sondine freatiche.

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei sondaggi attrezzati con piezometro per l'osservazione del livello statico di falda, con indicazione delle rispettive quote di fessurazione degli stessi:

NOME SONDAGGIO	TRATTO DEL TUBO PVC FENESTRATO
S-A2-PZ	Da 2.5 a 30 m dal p.c.
S-A29-PZ	Da 9.0 a 18 m dal p.c.
S-A57-PZ	Da 3.0 a 21 m dal p.c.
S-A55-PZ	Da 3.0 a 12 m dal p.c.
S-A53-PZ	Da 3.0 a 12 dal p.c.
S-A18-PZ	Da 3.0 a 9.0 m dal p.c.

L'attività di terebrazione è stata eseguita per mezzo di due trivelle marchio CMV, modelli MK 900 GL e MK 900 D.1. L'attrezzatura di perforazione base è costituita da carotiere semplice e carotiere doppio in funzione del materiale da perforare. Inoltre si annovera l'utilizzo di fustelle di tipo shelby per il prelievo di campioni indisturbati e di pompa e contenitori di taratura per le prove di assorbimento.

Dall'osservazione dei report stratigrafici, si evince che i materiali oggetto di scavo e di posa fondazioni delle opere a farsi si riducono fondamentalmente a tre formazioni prevalenti su tutte le altre: argilla (gialla e grigia), calcarenite e calcare. Tale risultato rispecchia ovviamente la collocazione del progetto in un contesto geologico noto che si estende dalla zona di Avanfossa Bradanica fino all'altopiano murgiano.

Le argille presentano generalmente una debole o media consistenza, tranne alcuni casi (zona nord-est di Matera) in cui hanno una consistenza notevole soprattutto dai 15m in giù. L'ammasso calcarenitico si presenta generalmente mediamente cementato mentre la roccia calcarea ha caratteristiche molto variabili, con zone di roccia più compatta e zone con roccia molto fratturata.

Come descritto nel capitolo precedente, durante l'avanzamento delle trivellazioni sono state realizzate prove di vario genere per fornire determinati parametri dei terreni a profondità opportunamente scelte dalla progettazione.

In particolare le prove fatte sono:

- n.13 prove di permeabilità;
- n.14 prove pressiometriche;

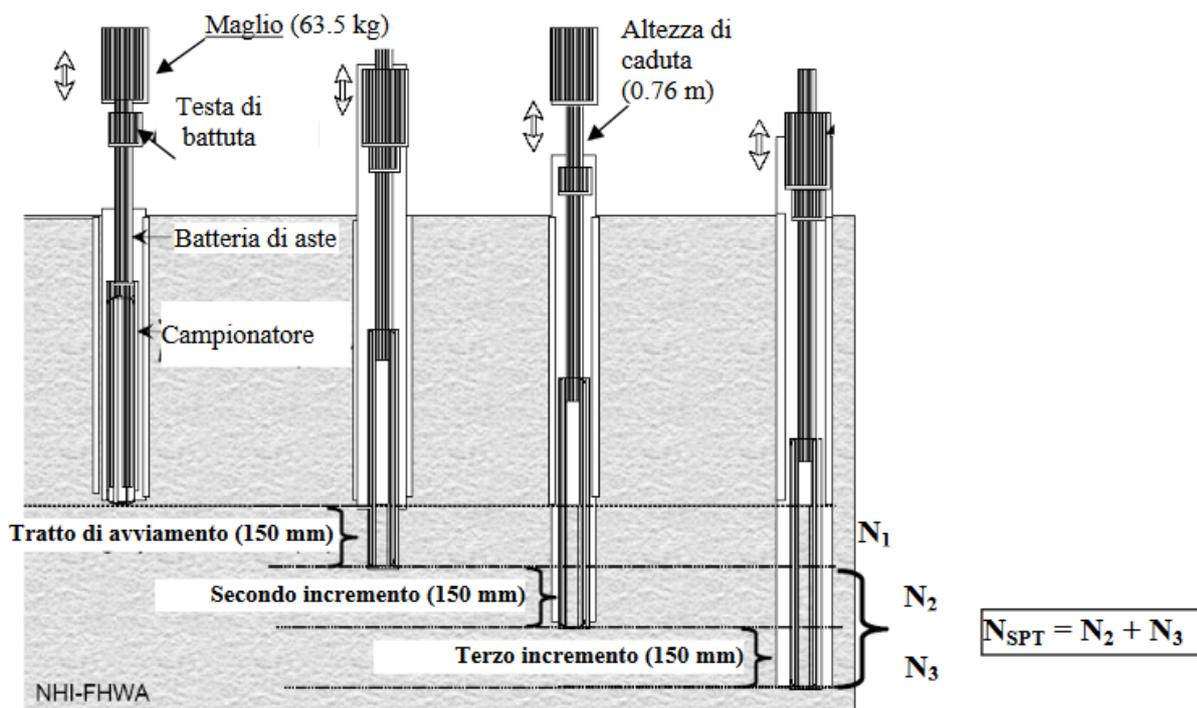
Le prove saranno descritte in dettaglio nei paragrafi seguenti.

3.1 Prove SPT

Nell'ambito delle terebrazioni sono state eseguite **prove SPT** (Standard Penetration Test) a profondità variabili, come indicato dai progettisti ai sensi della norma AGI (1977).

La prova SPT è stata eseguita durante la perforazione e consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica metallica, collegata ad un'asta di acciaio prolungabile con l'aggiunta di successive aste, di dimensioni standard, infissa verticalmente nel terreno per battitura, facendo cadere da un'altezza costante un maglio del peso di 63,5 kg che cade liberamente da un'altezza standard. Durante la prova si registra il numero di colpi necessari (N_{SPT}) per far penetrare di 45 cm (con intervalli di conteggio ogni 15cm, N_1 , N_2 , N_3) la punta. Se il numero dei colpi è pari a 50 e l'avanzamento è minore di 15 cm indica che bisogna considerare la prova conclusa. Questa può essere a punta chiusa (utilizzata in terreni più consistenti o a grana grossa) o a punta aperta (che permette di estrarre piccolo campione indisturbato dal suo interno). La somma di N_2 e N_3 , chiamata N_{spt} , è il parametro che serve per valutare la resistenza del terreno. N_1 , invece, non è considerato perché si riferisce ad un tratto in cui il terreno potrebbe essere rimaneggiato e non più rappresentativo delle reali condizioni del sito.

Schema della prova S.P.T.



Tramite correlazioni empiriche si è in grado di stimare diversi parametri geotecnici del terreno indagato. Oltre la pressione ammissibile e la compressibilità i dati principali ricavabili in base al tipo di terreno sono:

Terreni incoerenti	Terreni coesivi
Liquefazione;	Coesione non drenata;
Angolo di attrito;	Modulo edometrico
Densità relativa;	Modulo di Young
Modulo di Young;	Peso di volume
Modulo Edometrico;	
Peso di volume;	
Modulo di Poisson;	

3.2 Prove di permeabilità in fori di sondaggio

La determinazione del coefficiente di permeabilità del terreno attraverso prove in situ presenta non poche difficoltà e incertezze fatta eccezione dei casi di terreni omogenei ed isotropi che si trovano in ambiti le cui condizioni al contorno sono note.

La scelta del metodo di prova deve essere effettuata in funzione del tipo di terreno e del grado di precisione desiderato.

La misura sperimentale della permeabilità di un terreno può essere fatta sia in laboratorio che in situ: per i terreni naturali le misure in situ risultano generalmente più significative e quindi preferibili (essendo la permeabilità fortemente influenzata anche dai caratteri macrostrutturali).

Le prove in fori di sondaggio mediante l'immissione di acqua all'interno del foro stesso, permettono di determinare la permeabilità dei terreni al fondo di fori di sondaggio o a determinate profondità intermedie, al di sopra o al di sotto del livello della falda e possono eseguirsi a carico costante, a carico variabile ed in pressione.

Nel caso specifico sono state eseguite 12 prove Lefranc (di cui 8 a carico costante e 4 a carico variabile), entro i primi 10 metri dalla superficie e due prove di permeabilità di tipo Lugeon. Di seguito si riporta una tabella riassuntiva delle prove eseguite per ogni sondaggio:

NOME SOND.	TIPO PROVA
S-A2	Lefranc C. Costante
S-A4	Lefranc C. Variabile
S-A5	Lefranc C. Costante
S-A15	Lefranc C. Costante
S-A16	Lefranc C. Costante
S-A16	Lugeon
S-A35	Lefranc C. Variabile
S-A39	Lugeon
S-A44	Lefranc C. Costante
S-A47	N.2 Lefranc C. Variabile
S-A55	Lefranc C. Costante
S-A57	Lefranc C. Costante

Si sottolinea che le prove a carico variabile sono state effettuate nei casi di terreni molto poco permeabili come quelli limoso-argillosi o in roccia compatta o con abbondante terra rossa, per cui la portata in ingresso è alquanto modesta. Si evidenzia inoltre, che per il sondaggio S-A47 era prevista una prova Lugeon nell'intervallo 5 – 10m, ma avendo constatato la presenza di terreni coerenti o pseudo-coerenti e non di roccia, si è optato per l'esecuzione di due prove Lefranc a carico variabile a 5 e a 10m di profondità.

3.2.1 Prova Lefranc

La prova a carico variabile, è consistita nel riempire il foro di acqua fino al boccaforo, e misurare gli abbassamenti nel tempo. Generalmente si eseguono tre prove per avere un valore medio più preciso. Per quanto riguarda la prova a carico costante, essa è consistita nel riempire d'acqua il foro e misurare la portata necessaria per mantenere costante il livello dell'acqua.

Nei sondaggi in cui sono state eseguite le prove Lefranc, sia a carico variabile che a carico costante, sono state eseguite tre prove ed è stata calcolata la permeabilità media delle letture eseguite per le singole prove; successivamente è stata calcolata la permeabilità media di tutte e tre le prove eseguite nell'ambito dello stesso sondaggio. Fanno eccezione i sondaggi S-A5 e S-C7 per cui si sono ritenute più che sufficienti due prove, poiché con la portata massima immissibile dalla pompa, l'acqua non è mai arrivata a quota boccaforo, rimanendo a profondità variabili. Pertanto i valori di permeabilità reali saranno verosimilmente maggiori di quelli stimati.

I risultati ottenuti dalle prove di permeabilità sono stati preliminarmente elaborati secondo le normative specifiche di riferimento A.G.I. 1977 (Associazione Geotecnica Italiana) e con il Metodo Nasberg-Tertetskata.

3.2.2 Prova Lugeon

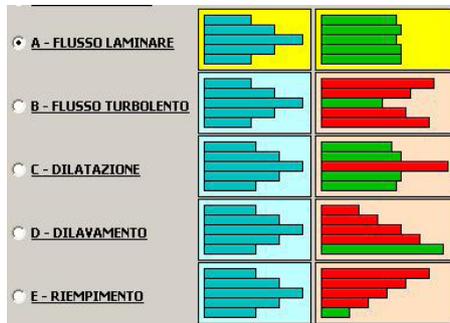
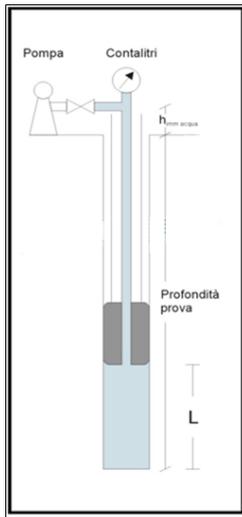
La prova Lugeon differisce dalle precedenti poiché viene effettuata immettendo acqua in pressione su tratti prestabiliti di foro di sondaggio, per valutare la permeabilità di ammassi rocciosi in termini di assorbimento di acqua nell'unità di tempo, in funzione della pressione di prova e della lunghezza del tratto di foro interessato. All'interno del foro viene inserito un pistoncino (packer, di lunghezza compresa tra 0.60 e 1.00 m) espanso, attraverso una membrana gonfiabile con azoto, contro le pareti del foro. Può essere semplice o doppio e consente di isolare la parte di foro da esaminare. Durante la prova, viene misurata la pressione iniezione, la portata massima e il tempo totale della prova. Infatti, per tutte le prove è rappresentato il grafico delle portate (litro/minuto) in funzione delle pressioni in camera di iniezione. La permeabilità della roccia così misurata viene generalmente espressa in unità LUGEON; un LUGEON corrisponde alla permeabilità di un ammasso roccioso che assorbe 1 litro di acqua al minuto per ogni metro di foro, con una pressione di prova di 10 atm; generalmente corrisponde a $1 \div 2 \times 10^{-7} \text{m/sec}$.

L'esecuzione della prova richiede l'attrezzatura elencata di seguito:

- otturatore singolo, per prove in avanzamento, ad espansione idraulica o meccanica;
- pompa centrifuga in grado di raggiungere pressioni di iniezione di 1 MPa;
- contaltri per la misura delle portate immesse, inserito nel circuito di mandata, con sensibilità di 0,1 litri;
- manometro per la misura della pressione di iniezione, con sensibilità di 0,5 atm e certificato di taratura non anteriore a 3 mesi;
- tubi di adduzione di tipo idraulico;

Il contaltri dovrà essere tarato in situ prima di iniziare le prove, riempiendo un contenitore di volume noto e superiore a 100 litri.

La prova è stata effettuata in avanzamento con otturatore singolo. L'otturatore è calato nel foro dopo aver misurato il livello del fluido nel sondaggio con sondina piezometrica. Il foro è privo di rivestimento; il fluido di perforazione è costituito da sola acqua priva di additivi. L'otturatore sarà espanso fino ad isolare il tratto finale del foro per una lunghezza massima di 5m.



Si procede ad iniettare nel tratto di prova, eseguendo 3 (o più) diversi gradini di pressione in salita e ripetendo gli stessi in discesa, misurando per ciascun gradino le portate assorbite che determinano la stabilizzazione dell'assorbimento raggiunto. Gli intervalli di pressione utilizzati corrispondono a: 2-4-6-8-6-4-2 bar, quattro di essi in risalita e tre in discesa. Ciascun gradino di portata (a regime) viene mantenuto per 10 minuti in salita e discesa.

Nella documentazione sono riportati tra gli altri, livello statico della falda; tabulato delle letture di cantiere (tempi, portate, pressioni al manometro); grafico della pressione effettiva in camera di prova; assorbimento per ciascun gradino espresso in Unità Lugeon UL (dove 1 UL = portata di 1 litro/min/m a 1 MPa).

Confrontando i grafici di variazione unità Lugeon al variare della pressione con i grafici di Houlby (1977) si può distinguere approssimativamente la tipologia di flusso che si instaura nella tasca di prova. Dall'analisi dei grafici delle due prove effettuate si deduce che il flusso è laminare con una lievissima tendenza di dilatazione nel sondaggio S-A39.

3.2.3 Risultati riassuntivi

I sondaggi in cui sono state eseguite le prove possono essere raggruppati in due zone: la zona di Matera (*Zona 1*) in cui prevalgono le formazioni della successione di Fossa Bradanica (limi, sabbia, argille e calcareniti) e la zona della Murgia (Santeramo-Gioia del Colle – *Zona 2*) in cui prevale la successione carbonatica (calcareniti, calcare). Nella prima zona rientrano i sondaggi A35, A44, A47, A55 ed A57 mentre nella seconda A2, A4, A5, A15 e A16. Il sondaggio C7, pur trovandosi geograficamente nel territorio di Matera, litologicamente può essere compreso nella seconda zona.

I risultati della zona 1 indicano un valore tipico dei terreni calcarenitici, con una permeabilità che rientra tra i parametri classici di bibliografia, mentre riportano dei valori di assorbimento dei terreni a granulometria fine migliori rispetto a quelli classici. Infatti terreni limo-argillosi hanno generalmente valori dell'ordine di 10^{-5} ÷ 10^{-7} cm/sec che sono inferiori ai 10^{-4} cm/sec osservati nelle prove, probabilmente ascrivibile alla più o meno cospicua presenza di sabbia in questi terreni.

Nella zona 2 sono confermati i valori di permeabilità per le calcareniti, mentre molta variabilità la si riscontra nella roccia calcarea. Evidenti sono le differenze tra zone con roccia molto fratturata con permeabilità elevata e zone di roccia compatta o fratturata con abbondante presenza di terra rossa, in cui si riscontrano valori paragonabili a calcareniti o sabbie limose.

I dati ed i fogli di calcolo mediante i quali sono stati ricavati i valori del coefficiente di permeabilità per le prove svolte nei fori di sondaggio è riportato nell'allegato RIG03.

3.3 Prove pressiometriche

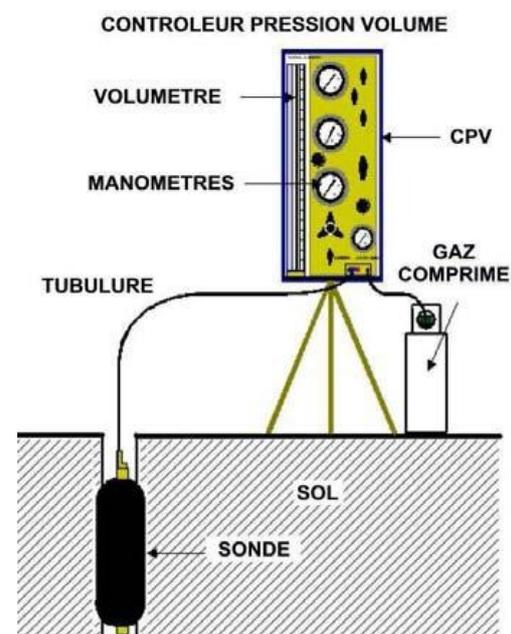
In 16 sondaggi sono state eseguite prove pressiometriche (eseguite sempre con pressiometro d Menard) per avere indicazione di alcuni parametri geotecnici dei terreni coerenti ed incoerenti e per la caratterizzazione di ammassi rocciosi ed il loro grado di fratturazione. Sono state eseguite nello specifico 11 prove su terreni generalmente argillosi ed in rari casi ammassi calcarenitici e 5 principalmente nelle zone in cui affiora la roccia calcarea.

3.3.1 Generalità

La prova pressiometrica consiste nell'installare nel terreno, alla profondità desiderata, una sonda cilindrica dilatabile e, successivamente, farla espandere gradualmente registrando i valori delle pressioni applicate e delle corrispondenti deformazioni radiali.

La sonda è generalmente installata verticalmente ed è collegata mediante tubi o cavi alla superficie dove agisce una unità di controllo e misura.

La membrana viene fatta espandere contro il terreno circostante per mezzo della pressione di un gas (azoto nel caso specifico); la deformazione del terreno viene rilevata misurando il volume di fluido iniettato nella sonda.



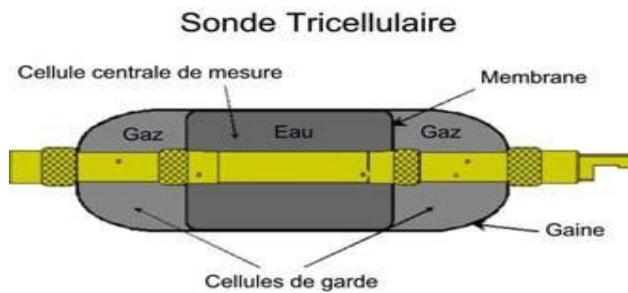
3.3.2 Strumentazione usata

Lo strumento utilizzato per eseguire la campagna di indagini è costituito dal pressiometro di Ménard modello GA, marca Apageo. Per tutte le prove è stato utilizzato sempre questo strumento, in quanto riuscendo a generare pressioni fino a 100 bar permette di misurare la deformabilità di rocce molto dure; valori di pressione alti (da 50 bar in su) indicano già la presenza di litologie da mediamente a ben cementate mentre valori superiori a 100 indicherebbero che siamo in presenza di rocce dure compatte o poco fratturate. Fatta questa considerazione, si precisa che tutte le prove saranno indicate come pressiometriche.

Tale strumento comprende una cella centrale piena d'acqua collegata ad un serbatoio in superficie che funge da separatore aria-acqua. La pressione è fornita da un gas (azoto) e la variazione di raggio del foro, conseguente all'espansione della membrana, viene ottenuta misurando la variazione di volume dell'acqua nella cella centrale.

La cella centrale è posta fra due celle laterali (di guardia) anch'esse dotate di membrana elastica, entrambe espanse mediante pressione di gas attraverso un circuito indipendente da quello della cella centrale di misura.

Lo scopo delle celle di guardia è di evitare che la cella centrale possa espandersi in direzioni che non siano quella radiale. La pressione delle celle di guardia è minore di quella della cella centrale di misura a causa dell'assenza del carico idrostatico.



3.3.3 Taratura

La taratura è un'operazione essenziale per ottenere coppie di valori pressioni-volume che tengono conto dei diversi fattori che possono influenzare i dati misurati rispetto a quelli effettivamente applicati al terreno. La taratura è una simulazione di una prova reale ma effettuata in condizioni al contorno ben conosciute, in modo da verificare il funzionamento delle singole parti dell'attrezzatura e prendere in considerazione l'influenza dell'inerzia delle membrane, dell'elasticità dei tubi e centralina di misura e della precisione dei sensori di misura.

Ad ogni prova sono state effettuate due tipi di taratura: Taratura del volume per elasticità del sistema (o Calibrazione) e Taratura della pressione.

La Calibrazione è stata eseguita inserendo la sonda pressiometrica in un tubo di acciaio rigido di grosso spessore, utilizzando per i collegamenti una lunghezza di tubi analoga a quella della prova successiva. La membrana è stata dilatata contro il tubo metallico indeformabile, aumentando la pressione per gradini fino ai valori presumibili delle successive prove in sito.

La Taratura della pressione è stata eseguita facendo dilatare progressivamente la sonda pressiometrica senza contenimento (in aria) e misurando la pressione necessaria alle diverse deformazioni o volumi.

I gradini di carico sono stati simili a quelli utilizzati nelle prove effettuate in sito.

ESSAI AU PRESSIOMETRE MENARD A ENREGISTREMENT AUTOMATIQUE

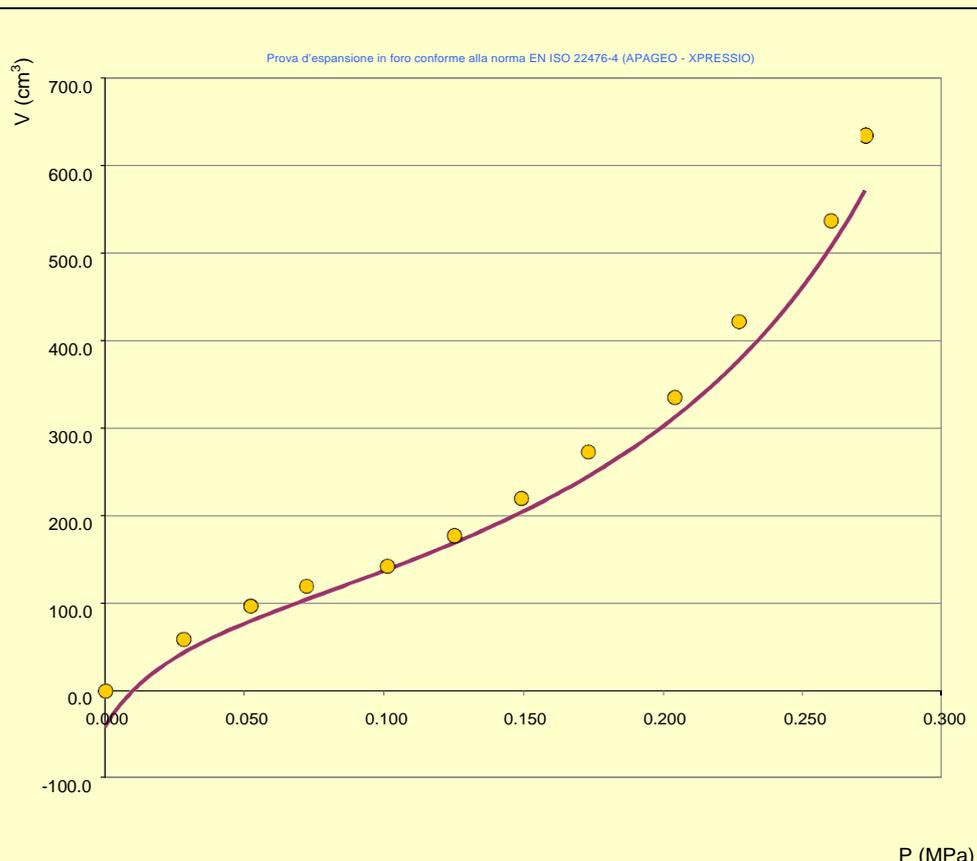
Prova d'espansione in foro conforme alla norma EN ISO 22476-4

- TARATURA -

SONDE	CARACTERISTIQUES SONDE		TUBULURES ET FLUIDES					
	Référence	60-gcm	Type	Coaxiale	<input checked="" type="checkbox"/>	Liquide	Nature	Eau
	Longueur			Jumelée			Densité γ/γ_w	1.00
	210 mm	<input checked="" type="checkbox"/>	Caoutchouc	Longueur totale (m)			Nature	Azote
	370 mm		Structure renforcée	30.00		Gaz	Compressibilité λ_g (m ⁻¹)	0.00016
	Type		Structure métallique	CARACTERISTIQUES MEMBRANE				
E		Lamelles métalliques	Référence fournisseur					
G	<input checked="" type="checkbox"/>	Tube fendu	Etalonnage p_m (MPa)		0.040			

Référence de l'essai	ET090120.01
Date et heure	09/01/2020 10:55
Unité de contrôle (CPV)	
Enregistreur	
Opérateur(s)	PG
Pression différentielle	0.000
Hauteur CPV / sonde	1.00
Observations	

Palier	Pressions	Volumes
0	0.000	0.0
1	0.028	59.1
2	0.052	97.1
3	0.072	119.7
4	0.101	142.5
5	0.125	177.5
6	0.149	220.0
7	0.173	273.2
8	0.204	335.4
9	0.227	422.1
10	0.260	537.3
11	0.272	644.3
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		



REGRESSION DOUBLE HYPERBOLIQUE
$V = U_1 + U_2 \cdot p + \frac{U_3}{U_5 - p} + \frac{U_4}{U_6 - p}$
Prova d'espansione
$U_1 = -1.70E+02$ $U_4 = 1.13E+02$ $U_2 = -2.19E+02$ $U_5 = -3.03E-02$ $U_3 = 4.38E+00$ $U_6 = 4.10E-01$

COMMENTAIRES

PRESSIION D'ETALONNAGE
Volume pour le calcul de P_{el} (cm ³) = 700.0
Pression d'étalonnage P_{el} (MPa) = 0.291

**ESSAI AU PRESSIOMETRE MENARD
A ENREGISTREMENT AUTOMATIQUE**

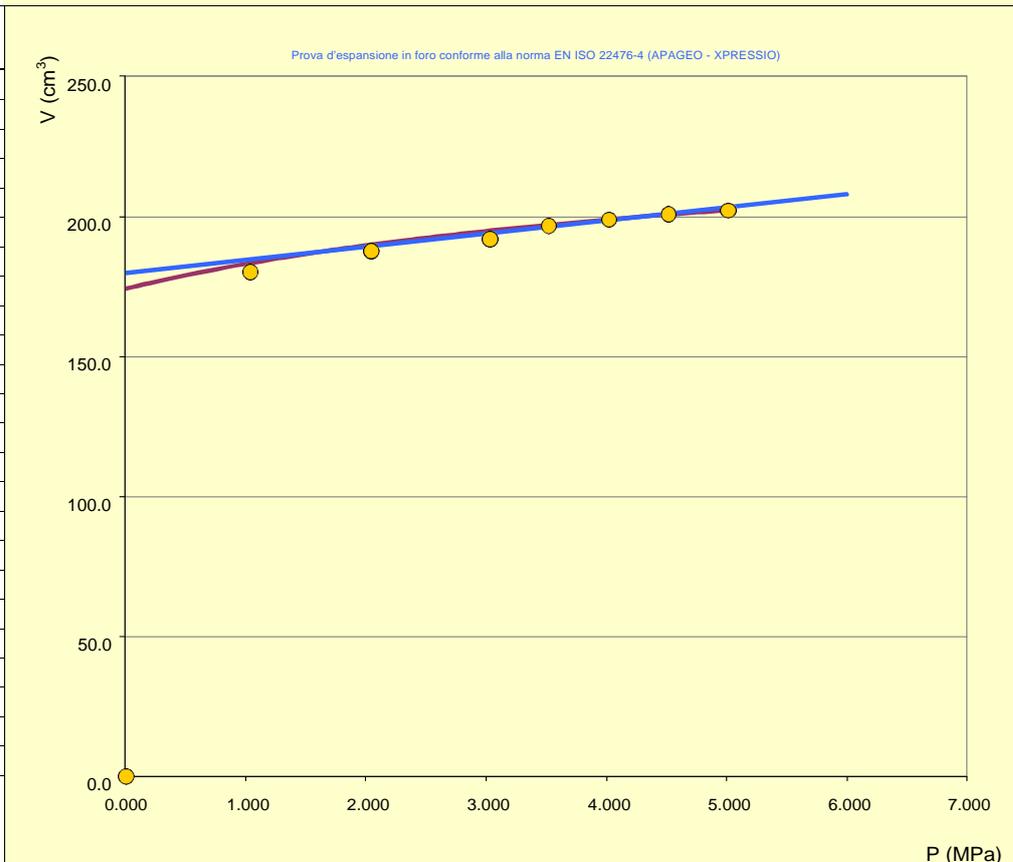
Prova d'espansione in foro conforme alla norma EN ISO 22476-4

- CALIBRIZIONE -

SONDE	CARACTERISTIQUES SONDE		TUBULURES ET FLUIDES					
	Référence	60-gcm	Type	Coaxiale	<input checked="" type="checkbox"/>	Liquide	Nature	Eau
	Longueur			Jumelée			Densité γ_l/γ_w	1.00
	210 mm	<input checked="" type="checkbox"/>	Gaine	Longueur totale (m)			Nature	Azote
	370 mm		Caoutchouc			Gaz	Compressibilité λ_g (m ⁻¹)	0.00016
			Structure renforcée					
Type	Structure métallique	<input checked="" type="checkbox"/>	CARACTERISTIQUES MEMBRANE					
E	Lamelles métalliques		Référence fournisseur					
G	<input checked="" type="checkbox"/>	Tube fendu	Etalonnage p_m (MPa)		0.040			

Référence de l'essai	CA090120.02
Date et heure	09/01/2020 11:37
Unité de contrôle (CPV)	
Enregistreur	
Opérateur(s)	PG
Pression différentielle	0.000
Hauteur CPV / sonde	1.00
Observations	

Palier	Pressions	Volumes
0	0.000	0.0
1	0.504	122.9
2	1.017	183.0
3	1.505	187.1
4	2.022	190.3
5	2.506	192.1
6	3.014	194.7
7	3.516	197.0
8	4.018	199.1
9	4.513	201.0
10	5.009	202.3
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		
19		
20		
21		
22		
23		
24		



REGRESSION LINEAIRE
$V = V_c + a.p$
$V_c = 179.8$ $a = 4.722$

REGRESSION HYPERBOLIQUE
$V = U_1 + U_2.p + \frac{U_3}{U_5 - p}$
$U_1 = 2.24E+02$ $U_2 = 6.43E-01$ $U_3 = 2.50E+02$ $U_5 = -5.00E+00$

COMMENTAIRES

VOLUME SONDE
Diamètre intérieur du tube d_i (mm) = 66.0
Volume de la sonde V_s (cm³) = 538.7

3.3.4 Procedura di prova

Per un corretto svolgimento della prova è molto importante la posa in opera della sonda pressiométrica nel terreno, poiché gran parte dei parametri geotecnici ricavabili dalla curva pressione - volume, dipende dai primi incrementi di carico; un foro sovradimensionato (>66 mm) condiziona l'andamento della prova, rendendola inutilizzabile.

Realizzata la camera di prova alla profondità desiderata, la sonda pressiométrica viene sottoposta ad una serie di incrementi di pressione, che ne provocano l'espandersi nel terreno; il volumetro, collegato alla cella centrale di misura fornisce direttamente le variazioni di volume che vengono registrate generalmente ai 15, 30 e 60 secondi dal raggiungimento del gradino di pressione. Per una buona riuscita della prova è necessario stimare a priori una resistenza a rottura dei terreni in esame, ed investigare tale intervallo con almeno 10 punti di misura; la prova viene interrotta una volta completata l'espansione della sonda (700 cmc) o al raggiungimento del fondo scala dei manometri della pressione (60 - 100 bar); é sempre buona norma eseguire loop di carico, preferibilmente a pressioni pari a circa il 30% della pressione limite.

Raggiunta l'espansione completa, o il fondo scala della pressione della membrana, la sonda viene sgonfiata e recuperata.

3.3.5 Restituzione dei dati

I dati numerici raccolti con l'indagine sono stati simultaneamente elaborati con un PC dotato di un opportuno software (Xpressio) a grafica integrata. Le prove sono state graficate secondo i due schemi convenzionali:

- curva netta pressione - volume (P - V)
- curva di "Fluage" o di "Creep" (P - (V60"-V30"))

A tali curve è spesso abbinata la curva del volume inverso che ha il pregio di evidenziare chiaramente il valore della pressione limite dato dall'intercetta della curva con l'asse delle pressioni. L'esame di tali curve è di fondamentale importanza per la valutazione delle grandezze caratteristiche delle prove pressiométriche, in quanto permette di evidenziare l'adattamento della membrana al foro, il tratto a comportamento pseudo elastico ed il tratto a comportamento plastico, da cui è possibile estrapolare la pressione di "**Fluage**" P_f , (termine del tratto a comportamento pseudo elastico ed inizio del rifluimento), e la **pressione limite P_l** , di rottura del terreno, alla quale la deformazione diventa teoricamente infinita.

Dall'analisi della curva ottenuta si determina la fase iniziale di espansione elastica della membrana all'interno della camera di prova, che termina in corrispondenza della pressione P_1 . Il tratto P_1 - P_2 , ovvero la fase pseudo elastica in cui la deformazione volumetrica differita tende ad aumentare in modo quasi lineare; è invece utilizzato per il calcolo del **modulo Pressiométrico E_m** . Oltre la P_2 si ha la fase di deformazione plastica caratterizzata da una discontinuità con aumento accentuato di volume in corrispondenza della pressione p_f detta di "fluage". L'importanza pratica di p_f è quella di stabilire con maggiore chiarezza il campo di deformazione pseudo-elastica del materiale e della fase plastica, che si estende quasi fino alla rottura generale del terreno qualificata dalla pressione limite P_l .

L'esame delle curve di espansione permette la valutazione del modulo Pressiométrico (E_m), calcolato sul tratto pseudo elastico della curva, secondo l'espressione:

$$E_m = (V_o + V_m) dP/dV$$

V_m = volume medio del tratto pseudo elastico

$V_0 = 0,25 \cdot 3,14 \cdot L_s \cdot (d_i)^2$ - V_c = volume iniziale della cella centrale

L_s = lunghezza cella centrale (210 mm) d_i = diametro interno tubo di calibrazione

V_c = volume iniettato nella sonda per metterla in contatto con il tubo di calibrazione, estrapolato dalla curva di inerzia del sistema.

La pressione limite P_l corrisponde allo stato di equilibrio limite indifferente con deformazioni infinite ovvero, per convenzione, al valore della pressione relativo ad una dilatazione della sonda pressiometrica uguale al raddoppio della cavità dopo l'inizio della fase pseudoelastica.

$$V_{lim} = v_0 + (v_0 + V_0)$$

Con:

v_0 = volume di ricompressione iniziale V_0 = volume proprio della sonda

La determinazione della pressione limite viene quindi eseguita in funzione del grado di deformazione raggiunto in base alle seguenti metodiche:

- metodo dell'estrapolazione diretta dalla curva pressiometrica
- metodo dell'estrapolazione dall'inverso del volume iniettato.

A titolo di confronto sono stati inoltre calcolati i valori di E_m/P_l e E_m/P_f ; quest'ultimo rapporto consente un orientamento sul valore di P_l , quando la prova venga interrotta all'inizio della fase plastica. I valori delle grandezze caratteristiche desunti dalle prove pressiometriche sono riportati nei grafici allegati e relativi ad ogni prova eseguita.

Le grandezze caratteristiche ricavate dalla prova pressiometrica possono essere direttamente utilizzate per il calcolo e dimensionamento di molte opere di fondazione sia superficiali che profonde e nei casi di verifiche di stabilità di opere soggette a sforzi orizzontali come diaframmi o paratie berlinesi. (Menard - 1976).

E' possibile inoltre ricavare le grandezze geotecniche più significative nello studio della deformazione dei terreni (coesione non drenata, angolo di attrito interno, tensione orizzontale in sito ecc.) utilizzando abachi e relazioni empiriche ampiamente sperimentate soprattutto da studiosi francesi (Menard-1976, Gambin-1980, Briaud-1992). In particolari casi il pressiometro si presta allo studio diretto del comportamento deformativo di un terreno, a tale riguardo é possibile condurre il test pressiometrico secondo le seguenti metodologie:

- prova a carico costante, per lo studio delle caratteristiche di consolidazione
- prova a volume costante, per lo studio delle caratteristiche di rilassamento
- prova ciclica

Tale approccio risulta estremamente utile nei casi di simulazione dei comportamenti reali di un terreno sottoposto ad esempio o a carichi costanti e prolungati (rilevati, argini ecc.) o a carichi ciclici e rapidi (sottofondi per aeroporti, ferrovie) che necessitano di una simulazione "in sito" del comportamento deformativo di un terreno.

3.3.6 Restituzione dei risultati

In allegato si riporta il report delle elaborazioni eseguite con il software Xpressio.

Oltre ai parametri direttamente misurabili e deducibili dall'esecuzione della prova pressiométrica, sono state calcolate, mediante l'ausilio di formule empiriche note in letteratura specifica, le seguenti grandezze geotecniche:

Modulo di Taglio G (MPa) (CASSAN 1968-1969)

$$G = EM / 2 (1+\mu)$$

Con μ = coefficiente di Poisson, a cui è stato assegnato ai terreni in oggetto un valore di 0.41 per le argille e 0.35 per le calcareniti e i calcari.

Modulo di Young (CASSAN 1968-1969)

Il modulo di Young può essere ottenuto a partire dal modulo pressiométrico mediante l'equazione:

$$Ed = EM / \alpha$$

Dove è stato indicato con α il coefficiente reologico, che può essere determinato in funzione del rapporto Em/Pl , in questo caso $\alpha= 0.27$

Coesione non drenata Cu (KPa) (CASSAN 1968-1969)

Il metodo teorico per correlare i dati pressiométrici con la coesione non drenata C_u sono in funzione di pl^* , considerando un mezzo ideale elasto-plastico. C_u può essere pertanto determinato con la seguente relazione:

$$Cu = pl^* / 10 + 0,025 (MPa)$$

Si ottengono valori **dell'Angolo d'attrito** secondo MENARD (1963).

La tabella successiva riassume i valori dei parametri caratteristici direttamente misurati o desunti dall'elaborazione delle prove condotte a varie profondità nei sondaggi.



Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class.



ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

Prove pressiometriche Anas "Murgia Pollino"										
Sondaggio	Profondità	Litologia	Poisson	Modulo Pressiometrico	Pressione Limite	Modulo di taglio	Em/PI	Cu	Modulo Young	Angolo d'attrito
nr.	m	-	μ	Mpa	Mpa	MPa	-	Mpa	Mpa	Φ
SA02	-10.0	Calcere	0.35	460.0	8.81	170.37	51.8	-	1393.9	49
SA04	-10.0	Calcere fratturato	0.35	330.0	9.24	122.22	35.8	-	1000.0	47
SA05	-10.0	Calcere poco fratturato	0.35	330.0	9.38	122.22	35.3	-	1000.0	47
SA12	-10.0	Calcere fratturato	0.35	310.0	9.26	114.81	33.9	-	939.4	46
SA15	-10.0	Calcere alterato	0.35	260.0	9.09	96.30	28.8	-	787.9	44
SA16	-10.0	Calcarenite	0.35	170.0	3.95	62.96	42.7	-	515.2	43
SA18	-10.0	Argilla consistente	0.41	40.0	2.64	14.81	15	0.263	121.2	-
SA33	-10.0	Calcere fratturato	0.35	430.0	7.98	159.26	53.7	-	1303.0	48
SA35	-10.0	Argilla consistente	0.41	45.0	2.67	16.67	16.9	0.266	136.4	-
SA38	-10.0	Sabbia calcarenitica	0.35	95.0	3.96	35.19	24.1	-	287.9	42
SA39	-10.0	Calcarenite	0.35	150.0	3.03	55.56	50.08	-	454.5	43
SA43	-10.0	Argilla med. consistente	0.41	25.0	1.58	9.26	16	0.158	75.8	-
SA47	-10.0	Argilla consistente	0.41	54.0	2.27	20.00	23.9	0.226	163.6	-
SA53	-10.0	Argilla consistente	0.41	53.0	3.26	19.63	16.3	0.325	160.6	-



Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class.
IIIBis



ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

Numero del foglio	Informazioni di prova			Parametri			Parametri				Parametri			Riferimenti di prova				Condizioni di prova				
	Cantiere	Sondaggio	Profondità (m)	p_r (MPa)	p_l (MPa)	EM (MPa)	σ_{hs} (MPa)	p_{1^*} (MPa)	E/p_l	E/p_{1^*}	E_{tmax} (Mpa)	p_1 (Mpa)	p_2 (Mpa)	Riferimenti di prova	Rif. della calibrazione	Rif. della taratura	Data e ora	Metodo di perforazione	Tipo di sonda	Nr di punti di misurazione	P_{max} (MPa)	V_{max} (cm ³)
1	Anas	SA02	10.00		8.95	456.1	0.140	8.81	50.9	51.8	258.3	0.69	8.95	S200320.0	A090120.0	T090120.0	20/3/20 10:02	CAR	60-gcm	18	9.01	869.6
2	Anas	SA04	10.00	9.38	9.38	331.2	0.140	9.24	35.3	35.8	85.3	0.51	9.38	S090320.0	A090120.0	T090120.0	9/3/20 10:23	CAR	60-gcm	18	9.41	746.0
3	Anas	SA05	10.00		9.52	331.4	0.140	9.38	34.8	35.3	146.0	0.47	9.52	S190320.0	A090120.0	T090120.0	19/3/20 11:52	CAR	60-gcm	15	9.60	909.3
4	Anas	SA12	10.00	9.40	9.40	313.8	0.140	9.26	33.4	33.9	67.1	0.53	9.40	S270220.0	A090120.0	T090120.0	27/2/20 10:57	CAR	60-gcm	18	9.40	674.5
5	Anas	SA15	10.00		9.23	262.1	0.140	9.09	28.4	28.8	118.6	0.15	9.23	S200220.0	A090120.0	T090120.0	20/2/20 9:00	CAR	60-gcm	17	9.30	856.8
6	Anas	SA16	10.00	3.77	4.09	168.5	0.140	3.95	41.2	42.7	39.8	0.56	3.77	S070220.0	A090120.0	T090120.0	7/2/20 8:58	CAR	60-gcm	19	4.09	791.7
7	Anas	SA18	10.00	2.14	2.78	39.5	0.140	2.64	14.2	15.0	14.1	0.28	2.14	S310120.0	A090120.0	T090120.0	31/1/20 11:24	CAR	60-gcm	13	2.78	861.4
8	Anas	SA33	10.00		8.12	428.3	0.140	7.98	52.7	53.7	323.6	0.22	8.12	S240120.0	A090120.0	T090120.0	24/1/20 13:35	CAR	60-gcm	15	8.20	944.3
9	Anas	SA35	10.00	2.22	2.81	45.2	0.140	2.67	16.1	16.9	13.3	0.22	2.22	S100120.0	A090120.0	T090120.0	10/1/20 10:21	CAR	60-gcm	15	2.81	825.5
10	Anas	SA38	10.00	3.24	4.10	95.2	0.140	3.96	23.2	24.1	55.4	0.62	3.24	S150120.0	A090120.0	T090120.0	15/1/20 9:31	CAR	60-gcm	22	4.10	1104.9
11	Anas	SA39	10.00	2.79	3.17	154.0	0.140	3.03	48.6	50.8	345.0	0.34	2.79	S140120.0	A090120.0	T090120.0	14/1/20 15:14	CAR	60-gcm	24	3.20	1071.5
12	Anas	SA43	10.00	1.06	1.72	25.3	0.140	1.58	14.7	16.0	5.5	0.26	1.06	S160120.0	A090120.0	T090120.0	16/1/20 10:13	CAR	60-gcm	14	1.72	743.2
13	Anas	SA47	10.00	0.00	2.41	54.2	0.140	2.27	22.5	23.9	18.0	0.16	2.13	S100120.0	A090120.0	T090120.0	10/1/20 11:54	CAR	60-gcm	16	2.41	868.3
14	Anas	SA53	10.00	2.79	3.40	53.2	0.140	3.26	15.7	16.3	22.0	0.31	2.79	S200120.0	A090120.0	T090120.0	20/1/20 9:47	CAR	60-gcm	12	3.40	877.2

4 POZZETTI GEOGNOSTICI

Per l'esecuzione dei pozzetti geognostici si è utilizzato un miniescavatore modello JCB 8032, e la supervisione di un geologo che ha provveduto a redigere la stratigrafia del pozzetto, prelevare i campioni e acquisire la documentazione fotografica

Ai fini della caratterizzazione ambientale e geotecnica, ai sensi del D.Lgs. 152/2006 e s.m.i. e del D.P.R. 120/2017, sono stati eseguiti n. 38 pozzetti geognostici realizzati mediante scavo meccanico, a sezione quadrata, con profondità di 2-3 m e lato di 3 m.

Per ciascuno di essi sono stati prelevati dei campioni ambientali e geotecnici alle profondità indicate dalla committenza, ed è stata redatta la relativa documentazione fotografica.

Il materiale scavato è stato ammucchiato a distanza di circa 2÷3 m dallo scavo, ed è stata eseguita una riprofilatura delle pareti degli scavi con una pendenza tale in modo da garantire la stabilità dello scavo e la sicurezza dell'operatore. Inoltre l'occlusione degli stessi è stata condotta in modo tale da non alterare il naturale deflusso delle acque superficiali e sotterranee e da non pregiudicare la stabilità dei versanti e dei manufatti presenti in prossimità. Per ognuno dei pozzetti geognostici è stata compilata una descrizione stratigrafica, dal geologo presente in campo, mettendo in evidenza lo spessore dell'eventuale terreno di copertura e/o terreno vegetale.

Nel caso in cui lo scavo è stato spinto fino ad intercettare il substrato litoide e/o il primo trovante di grosse dimensioni è stata realizzata una stratigrafica con profondità standard di 2 metri, indicativa del volume significativo delle opere da realizzarsi, con indicazione dell'esatta quota di fondo scavo.

5 RILIEVI PLANOALTIMETRICI

Al fine di georeferire in maniera dettagliata le indagini geofisiche e geognostiche è stata eseguita una campagna di rilievo GPS che ha permesso l'esatta ubicazione delle stesse nell'area interessata dal progetto. Nei paragrafi seguenti si descrive in maniera dettagliata il metodo e la strumentazione utilizzata per l'esecuzione dei rilievi plano-altimetrici.

5.1 Strumentazione utilizzata

La strumentazione GPS è composta da una stazione costituita da:

1. N. 1 Ricevitore GPS HiPer HR con tecnologia UTC (Universal Tracking Channel);
2. N. 1 Controller FC-5000 per l'acquisizione dei dati, con sistema operativo Microsoft Windows 10.

L'elaborazione dei software Magnet.

dati avviene attraverso il



FC-5000

5.2 Descrizione del metodo

5.2.1 Tecnologia di rilievo

Per il rilievo si utilizzano n. 1 ricevitore GPS (HiPer HR) e n. 1 controller (FC-5000) che si interfacciano mediante un collegamento Bluetooth per l'acquisizione dei dati; in questo modo le informazioni sono inviate dal ricevitore verso le stazioni permanenti GNSS di proprietà della NetGeo.

La Rete NetGEO è costituita da 200 Stazioni Permanenti dotate di ricevitori Topcon NET-G3A, NET-G3, Odyssey-RS oppure GB-1000 e antenne Topcon CR-G3, CR-3, G3-A1 oppure PG-A1 in grado di acquisire segnali dalla costellazione satellitare americana GPS e dalla costellazione russa GLONASS.

Ciascuna stazione permanente invia in tempo reale al Centro di Controllo presso la Topcon Positioning Italy le osservazioni effettuate dai satelliti. Il calcolo di rete viene effettuato dal software MagNET realizzato da Topcon: un programma che gestisce in modo semplice e completo reti di Stazioni Permanenti GNSS e distribuisce agli utenti i servizi di correzione in tempo reale (VRS, DGPS ecc.).

Ogni rete di Stazioni Permanenti materializza un Sistema di Riferimento e lo distribuisce all'utenza per mezzo dei suoi prodotti: NetGEO è inquadrata nel sistema di riferimento ETRF2000-RDN (Rete Dinamica Nazionale) con la certificazione dell'Istituto Geografico Militare, in questo modo gli utenti possono posizionarsi in tempo reale e post-processamento direttamente nel nuovo Sistema di Riferimento ufficiale italiano.



5.2.2 Collegamento del rilievo alla rete GNSS della NetGEO

La prima fase da eseguire è collegare il controller FC-5000 al ricevitore Hiper-HR, tale legame avviene attraverso il software Magnet presente nel controller. Dopo l'apertura, il software esegue due passaggi:

- Il primo passaggio sta nel collegare il controller al ricevitore tramite la connessione Bluetooth;
- Il secondo passaggio sta nel collegare il controller, il quale al suo interno ha una scheda GSM con una copertura dati Internet, alle stazioni permanenti della NetGeo tramite connessione ad una rete.

La determinazione delle coordinate assolute è stata possibile grazie all'utilizzo di GPS geodetico a doppia frequenza configurato per la ricezione della rete GNSS della NetGEO. Com'è noto, con le Reti di stazioni permanenti è possibile rilevare con alta precisione e rapidamente i punti topografici, infatti il ricevitore Hiper-HR ha una precisione di $3\text{ mm} + 0.1\text{ ppm}$ in altezza e $3.5\text{ mm} + 0.4\text{ ppm}$ in verticale.

La metodologia per il rilievo georeferenziale, basata sulle stazioni permanenti GNSS (Global Navigation Satellite System) della NetGeo, è in grado di realizzare un'infrastruttura geodetica e fornire un servizio di correzione differenziale dei dati acquisiti tale da consentire, agli utenti, il raggiungimento di un'accuratezza del dato di "posizione" su scala millimetrica, in tempo reale.

5.3 **Restituzione dei dati**

Per l'elaborazione dei dati di campagna è stato utilizzato il software Meridiana 2016 nel sistema di riferimento WGS84-UTM fuso 33. In seguito il file è stato esportato nel formato .dwg di Autocad ed unito a una base cartografica georeferita nello stesso sistema di riferimento del rilievo topografico.

Di seguito si riportano delle tabelle riepilogative delle coordinate delle indagini:

5.3.1 Tabella di riepilogo coordinate dei sondaggi geognostici

NOME SONDAGGIO	WGS 84 - UTM 33		
	Nord (X)	Est (Y)	QUOTA
S-A1	4518133	659763	359
S-A2	4518124	658997	364
S-A4	4518042	655477	381
S-A5	4517250	652038	425
S-A6-DH	4517298	651042	437
S-A7-DH	4516711	650269	446
S-A8-DH	4515281	649638	467
S-A10-DH	4514770	648686	498
S-A11-DH	4514799	647574	470
S-A12-DH	4514185	646127	463
S-A13-DH	4513743	645310	465
S-A15-DH	4512610	644635	409
S-A16-DH	4512453	643334	375
S-A17-DH	4511525	642071	375
S-A18	4509945	640752	383
S-A19	4509399	640190	362
S-A20-DH	4508619	639270	349
S-A21-DH	4508436	639022	345
S-A24-DH	4507962	637994	358
S-A26-DH	4507223	635696	326
S-A27-DH	4507012	635017	318
S-A28-DH	4506896	633970	356
S-A29	4506797	633486	370
S-A33	4505861	631689	256
S-A34-DH	4505069	631602	247
S-A35	4504611	631593	229
S-A36	4504244	631613	218

NOME SONDAGGIO	WGS 84 - UTM 33		
	Nord (X)	Est (Y)	QUOTA
S-A37	4503782	631748	202
S-A38	4503625	631860	199
S-A39	4503408	632016	221
S-A41-DH	4502976	632201	231
S-A43	4502183	632461	220
S-A44	4501911	632555	222
S-A45-DH	4501779	632595	220
S-A47	4500967	632685	198
S-A48-DH	4500626	632756	201
S-A50-DH	4498776	632991	155
S-A51-DH	4498049	633211	122
S-A53	4497553	633378	139
S-A54-DH	4497224	633422	127
S-A55	4496922	633269	116
S-A56-DH	4496726	633207	122
S-A57	4496315	632828	124
S-A58-DH	4495908	632604	128
S-A59-DH	4495487	632516	102

5.3.2 Tabella di riepilogo coordinate delle prove penetrometriche DPSH

NOME PENETROMETRICA	WGS 84 - UTM 33		
	Nord (X)	Est (Y)	QUOTA
DPSH-01	4518038	657240	373
DPSH-02	4508000	638625	353
DPSH-03	4507455	636976	348
DPSH-04	4506848	633258	366
DPSH-05	4505241	631622	252
DPSH-06	4500032	632911	174
DPSH-10	4513256	645073	461
DPSH-11	4502667	632160	213
DPSH-12	4501300	632722	226

5.3.3 Tabella di riepilogo coordinate dei pozzetti geognostici prima fase

NOME POZZETTO	WGS 84 - UTM 33		
	Nord (X)	Est (Y)	QUOTA
PZ-A2	4518142	659565	358
PZ-A3	4518076	658137	365
PZ-A5	4518000	655875	376
PZ-A6	4517982	655467	382
PZ-A7	4517512	653540	405
PZ-A8	4517254	652821	412
PZ-A9	4517297	651705	426
PZ-A10	4517234	650652	440
PZ-A11	4516528	650199	444
PZ-A12	4515225	649395	473
PZ-A13	4514661	648214	481
PZ-A14	4515148	646972	469
PZ-A15	4514620	646484	457
PZ-A16	4514033	645717	463
PZ-A17	4513344	645042	464
PZ-A18	4512620	644019	386
PZ-A19	4512464	643135	378
PZ-A20	4511947	642436	379
PZ-A21	4510973	641440	387
PZ-A22	4510268	641082	394
PZ-A23	4509263	640023	358
PZ-A24	4508387	638916	348
PZ-A25	4507429	636594	349

NOME POZZETTO	WGS 84 - UTM 33		
	Nord (X)	Est (Y)	QUOTA
PZ-A26	4507160	635320	330
PZ-A27	4506769	634206	337
PZ-A31	4505297	631582	248
PZ-A32	4505258	631380	258
PZ-A33	4503239	632095	233
PZ-A34	4502081	632505	227
PZ-A35	4500521	632848	195
PZ-A36	4499648	633065	166
PZ-A37	4498679	633102	152
PZ-A38	4497305	633500	126
PZ-A39	4497127	633364	122
PZ-A40	4496533	633026	122
PZ-A41	4495917	632588	126
PZ-A42	4495109	632524	126

5.3.4 Tabella di riepilogo coordinate dei pozzetti geognostici seconda e terza fase

NOME POZZETTO	WGS 84 - UTM 33		
	Nord (X)	Est (Y)	QUOTA
P1	4506760	634151	339
P2	4506772	634350	333
P3	4506773	634291	334
P4	4506757	634235	336
P5	4506890	634159	341
P6	4506895	634086	349
P8	4506941	634059	355
P9	4506724	633990	352
P10	4506710	633911	356
P11	4506890	633972	356
P12	4506849	634094	344
P13	4506832	633942	359
P14	4506776	633945	355
P15	4506757	634046	345
P16	4506794	633903	361
P17	4505571	631571	257
P18	4505543	631683	255
P19	4505499	631643	253
P20	4505442	631628	251
P21	4505475	631503	260
P22	4505469	631539	257
P23	4505404	631471	263
P24	4505378	631551	255
P25	4505326	631391	264
P26	4505407	631410	268
P27	4505249	631383	260
P28	4505479	631698	253
P30	4501581	632557	229

NOME POZZETTO	WGS 84 - UTM 33		
	Nord (X)	Est (Y)	QUOTA
P32	4501727	632631	228
P35	4501686	632710	232
P36	4501664	632666	233
P42	4497589	633382	137
P43	4497590	633340	137
P44	4497490	633416	137
P48	4497401	633559	139
P53	4497293	633532	134
P55	4497242	633427	127
P57	4495991	632516	125
P59	4495854	632723	123
P60	4495770	632770	122
P61	4495778	632666	131
P62	4495737	632613	138
P63	4495797	632594	127
P64	4495876	632519	129
P67	4495239	632514	125
P68	4495200	632522	126
P69	4495180	632568	124
P83	4512455	643799	378
P84	4512456	643844	124
P85	4495771	632775	122
P86	4512393	643812	377
P87	4508469	639240	347
P88	4508451	639268	347
P89	4508442	639205	347
P90	4508424	639247	128

OGGETTO

**COLLEGAMENTO MEDIANO "MURGIA - POLLINO"
TRATTO GIOIA DEL COLLE - MATERA - FERRANDINA – PISTICCI
BY-PASS DI MATERA
PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA**

ELABORATO

R-SISM

**RELAZIONE SULLE INDAGINI SISMICHE
DI SUPERFICIE E IN FORO**

COMMITTENTI



MANDATARIA
MANDANTE



MANDANTE
MANDANTE

Strada del Colle 1/A Fraz. Fontana - PERUGIA

**PROGETTISTA IL COORDINATORE PER LA
SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE**

*Dott. Ing. Dino BONADIES
Ordine Ingegneri Provincia di Perugia n° A829*

IL GEOLOGO:

*Dott. Geol. Stefano PIAZZOLI
Ordine Geologi Regione Umbria n. 107*

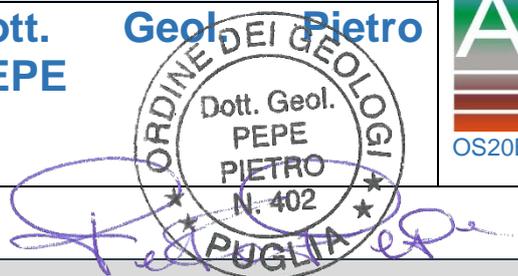
IMPRESA ESECUTRICE INDAGINI GEOGNOSTRICHE

APOGEO s.r.l.

Via Caduti di Nassiriya, 170 - 70022 Altamura (BA)
Cod. Fisc. e P. IVA 01037210778 REA: 472212 - Cap. Soc. €94.628,00 i.v.
Tel. e Fax: 080/3143324 Email: apogeo.altamura@libero.it - PEC: apogeo.altamura@pec.it
www.apogeo.biz

Il Direttore Tecnico

Dott. Geol. Pietro PEPE



OS20B Class. IIIBis - OS20A Class. I



ALLEGATI

R-SISM-01: Ubicaz. indagini sismiche di superficie, foto, moduli dinamici, modello sismostratigrafico

R-SISM-02: Sismogrammi e deomocrone delle prospezioni sismiche di superficie

R-SISM-03: Ubicaz. indagini sismiche in foro, foto, moduli dinamici, istogrammi, sismogrammi

SCALA

DATA

APRILE 2020

Rif. commessa

02/2020



Cat. OS20A Class. I
Cat. OS20B Class. IIIBis



ISO 9001:2015

Certificate No: IT/0146Q/0283

SOMMARIO

1. PREMESSA	1
2. PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE IN ONDE P ED S.....	2
2.1. DESCRIZIONE DEL METODO E DELLA STRUMENTAZIONE	2
2.2. ACQUISIZIONE DEI DATI	2
2.3. ELABORAZIONE DEI DATI	2
2.4. RAPPRESENTAZIONE DEI DATI.....	3
2.5. INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI.....	3
3. STIMA DEI MODULI DINAMICI	12
4. PROSPEZION SISMICHE A RIFRAZIONE IN FORO IN ONDE P ED S	14
4.1. OPERAZIONI PRELIMINARI	14
4.2. DESCRIZIONE DEL METODO.....	14
4.3. ATTREZZATURA UTILIZZATA.....	17
4.4. ACQUISIZIONE DI CAMPAGNA ED ELABORAZIONE DEI DATI.....	18

1. PREMESSA

Nell'ambito del Progetto di Fattibilità Tecnica ed Economica per la realizzazione del "Collegamento Mediano Murgia-Pollino – tratto Gioia del Colle – Matera – Ferrandina – Pisticci e by-pass di Matera", la società Apogeo S.r.l. è stata incaricata dal gruppo di committenti facente capo alla Società **Rpa S.r.l.** di Perugia dell'esecuzione di indagini sismiche di superficie ed in foro, da eseguirsi lungo il tracciato di progetto della suddetta strada. L'area lungo il tracciato è costituita, nel tratto delle provincie pugliesi per lo più da terreni lapidei e/o ammassi terrosi cementati (calcareniti) mentre nel tratto del territorio lucano principalmente da terreni a vario grado di consistenza (limi argillosi e argille) e/o di addensamento (sabbie) e a luoghi da ammassi terrosi cementati (calcareniti).

Le attività di indagine sono consistite nell'esecuzione di:

- **n. 29 prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde P e onde S**, tutti di lunghezza pari a 165m per le quali sono stati utilizzati n. 24 geofoni spazati ogni 5.0 ed eseguiti, per le onde di compressione sette scoppi di cui quelli più esterni posti ad una distanza di 25.0m sia dal primo che dall'ultimo geofono; tale indagine, distribuita su tutto il territorio coinvolto nel progetto, è finalizzata ad individuare la simostratigrafia di massima dei terreni e alcuni fra i principali moduli elastici dinamici degli stessi;
- **n. 22 prospezioni sismiche a rifrazione in foro in onde P ed S**, eseguite in corrispondenza dei sondaggi meccanici eseguiti, spinti a profondità comprese tra 25m e 35m; tale indagine consente di individuare una simostratigrafia di maggiore dettaglio anche se di valore puntuale, stimare i valori di alcuni fra i principali moduli elastici dinamici dei terreni ed nella maggior parte dei casi determinare il valore del parametro individuato dalle nuove Norme tecniche delle Costruzioni (NTC 2018) per l'individuazione della categoria di suolo di fondazione (V_s,eq).

Si precisa che, in accordo con i Committenti e la Stazione Appaltante, in alcuni casi le direttrici delle indagini sismiche di superficie sono state poste non longitudinalmente all'asse stradale in divenire bensì anche ortogonalmente ad esso, in quanto spesso, per svariati motivi, non vi era la possibilità di accesso alle aree (campi coltivati e divieto di accesso da parte dei proprietari).

2. PROSPEZIONI SISMICHE A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE IN ONDE P ED S

2.1. Descrizione del metodo e della strumentazione

L'indagine geosismica del tipo a rifrazione di superficie, come tutti i metodi d'indagine indiretta del sottosuolo, permette di investigare un certo volume di sottosuolo variabile a seconda sia della lunghezza dei profili eseguiti ma anche della natura litologica del sito. Il metodo consiste nell'inviare nel terreno un impulso sismico, tramite un'opportuna sorgente a impatto o esplosiva e nel rilevare il primo arrivo di energia, costituito da un'onda elastica diretta e da una rifratta. L'onda rifratta, emergente in superficie, è generata da interfacce rifrangenti che separano mezzi a differente velocità sismica (sismostrati), generalmente, crescente con la profondità. I primi arrivi, individuati su sismogrammi rilevati dai geofoni e registrati tramite un sismografo, sono riportati su grafici tempo-distanza (dromocrone), in seguito interpretati per ottenere informazioni sismostratigrafiche. Per il caso in esame, la strumentazione utilizzata è costituita da un sismografo a 24 canali, della "MAE" modello X610/S con acquisizione computerizzata dei dati da 24 geofoni di frequenza pari a 14Hz per la generazione delle onde P, da 24 geofoni di frequenza pari a 10Hz per la generazione delle onde S.

Le onde di tipo **P** (longitudinali) sono state generate mediante ripetuti colpi di una mazza battente (da 8 Kg) su di un piattello metallico posto orizzontalmente sul terreno, mentre le onde di tipo **S** (trasversali) sono state generate mediante l'utilizzo di un dispositivo sperimentale costituito da una struttura in ferro, con facce verticali su cui colpire con la mazza, e con delle alette verticali poste alla base che, infisse per alcuni centimetri nel terreno, trasmettono un impulso di "taglio" al sottosuolo (evoluzione della tecnica "francese").

2.2. Acquisizione dei dati

Nell'ambito del presente studio, sono state eseguite **n. 37 prospezioni sismiche a rifrazione in onde P ed S** per le quali sono stati impiegati n. 24 geofoni per l'acquisizione delle onde P e 24 geofoni per l'acquisizione delle onde S; lungo ciascun stendimento sono stati effettuati sette scoppi per l'acquisizione delle onde P e cinque scoppi per l'acquisizione delle onde S; pertanto ciascun profilo sismostratigrafico, ricavato dall'inversione delle onde di compressione risulta essere lungo 165m.

Infatti, per quanto riguarda la geometria adottata in riferimento a tutte le basi sismiche per la determinazione delle onde **P**, i 24 geofoni sono stati disposti sul terreno con una spaziatura di 5.0m, i punti di scoppio A e B e D ed E sono in posizione sterna rispetto allo stendimento rispettivamente a 25.0m dal **1°** e dal **24°** geofono (coppia A e B) e a 5.0m dal **1°** e dal **24°** geofono (coppia D ed E), lo scoppio C è posto grossomodo al centro dello stendimento stesso (fra il **11°** e il **12°** geofono), mentre gli altri due scoppi intermedi F G rispettivamente tra **3°** e **4°** geofono e tra il **19°** e il **20°** geofono.

Mentre, per quanto riguarda la geometria adottata in riferimento a tutte le basi sismiche per la determinazione delle onde **S**, i 24 geofoni sono stati disposti sul terreno con una spaziatura di 5.0m, i punti di scoppio A e B sono a 5.0m rispettivamente dal **1°** e dal **24°** geofono, in posizione esterna allo stendimento geofonico, lo scoppio C è posto al centro dello stendimento stesso (fra il **12°** e il **13°** geofono), mentre gli altri due scoppi intermedi D ed E rispettivamente tra **6°** e **7°** geofono, e tra il **18°** e il **19°** geofono. L'ubicazione dei profili sismici è riportata negli elaborati grafici dell'**Allegato R-SISM 01**.

2.3. Elaborazione dei dati

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

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

2.4. Rappresentazione dei dati

I dati elaborati sono stati esportati e restituiti come di seguito riportato:

- ✓ In **Allegato R-SISM 02** sono riportati, per ogni base sismica, i sismogrammi relativi ai sette punti di scoppio delle onde P, ai cinque punti di scoppio delle onde S e le dromocrone di entrambe le tipologie di onde;
- ✓ In **Allegato R-SISM 01** sono riportate le sezioni sismostratigrafiche le quali sono rappresentative dei dati sismici acquisiti (elaborati ed invertiti) in funzione della geologia del sito, e quindi ricavate correlando le velocità medie di ciascun sismostrato con i dati geologici noti e le loro velocità sismiche caratteristiche.

2.5. Interpretazione dei risultati

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

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

Riguardo al punto d) (vedi Zezza -1976), possono essere distinti 5 differenti gradi di carsificazione ai quali corrispondono le seguenti caratteristiche dell’ammasso roccioso carsificato:

- e) grado V: $V_p = 0,7-1,0$ km/sec. Sono cancellati i caratteri tessiturali della roccia in posto i cui relitti si trovano inglobati in abbondanti terre rosse;
- f) grado IV: $V_p = 1,1-1,9$ km/sec. Sono conservati i caratteri tessiturali della roccia in posto attraversata in ogni senso da cavità carsiche attive e fossili;
- g) grado III: $V_p = 2,0-3,0$ km/sec. Diffusa presenza di cavità collegate ai processi di dissoluzione carsica;
- h) grado II: $V_p = 3,1- 4,5$ km/sec. Giunti di fessurazione interessati solo parzialmente da manifestazioni carsiche;

- i) grado I: $V_p > 4,5$ km/sec. Assenza completa di manifestazioni carsiche; giunti di fessurazione radi e bancate compatte.

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

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

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

Dai valori di velocità di propagazione delle onde P, è stato possibile ricavare la sismo struttura del sottosuolo in corrispondenza delle **Basi Sismiche R-A1÷R-A30 e R-C1÷R-C7**. Il sottosuolo investigato è stato distinto, per ciascun profilo, in due/tre sismostrati ciascuno caratterizzato da un determinato valore di velocità delle onde di compressione. Generalmente, data la lunghezza degli stendimenti eseguiti e principalmente per la natura litologica che caratterizza il sottosuolo in questione è stato possibile investigare il sottosuolo fino alla profondità compresa tra 16.5 e 23 metri a partire dalla superficie topografica.

Di seguito si riportano le risultanze di ogni base sismica eseguita:

✓ R-A1 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	350	120	0,00÷2,00	<i>Terreno vegetale</i>
2	835	410	2,0÷5,00	<i>Calcareniti scadenti</i>
3	2412	1243	5,00÷20,00	<i>Calcere fratturato</i>

✓ R-A2 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	325	135	0,00÷0,50	<i>Terreno vegetale</i>
2	875	438	0,50÷3,50	<i>Roccia calcarea con abbondanti inclusioni terrose</i>
3	2101	1082	3,50÷17,00	<i>Calcere fratturato</i>

¹ Valutazione geologica-tecnica degli ammassi rocciosi carsificati con particolare riferimento alle aree carsiche pugliesi. Mem. Soc. Geol. It., 14,1976.

✓ R-A3 in onde P ed S: si individuano due sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	1072	539	0,00÷3,00	<i>Terreno vegetale</i>
2	2957	1582	3,00÷16,00	<i>Calcarea compatto</i>

✓ R-A4 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	384	165	0,00÷2,50	<i>Terreno vegetale</i>
2	807	396	2,50÷6,50	<i>Calcareniti scadenti</i>
3	1596	542	6,50÷20,00	<i>Limo argilloso</i>

✓ R-A5 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	408	166	0,00÷1,50	<i>Terreno vegetale</i>
2	651	313	1,50÷4,90	<i>Calcareniti scadenti</i>
3	1933	598	4,90÷20,00	<i>Argilla</i>

✓ R-A6 in onde P ed S: si individuano due sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	624	219	0,00÷3,00	<i>Limo argilloso</i>
2	1883	489	3,00÷18,00	<i>Argilla</i>

✓ R-A7 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	314	110	0,00÷1,00	<i>Terreno vegetale</i>
2	621	251	1,00÷5,00	<i>Limo argilloso</i>
3	1614	471	5,00÷20,00	<i>Argilla</i>

✓ R-A8 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	376	152	0,00÷1,00	<i>Terreno vegetale</i>
2	765	314	1,00÷5,00	<i>Limo argilloso</i>
3	1751	476	5,00÷20,00	<i>Argilla</i>

✓ R-A9 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	353	136	0,00÷0,50	<i>Terreno vegetale</i>
2	698	285	0,50÷5,00	<i>Limo argilloso</i>
3	1585	411	5,00÷20,00	<i>Argilla</i>

✓ R-A10 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	431	168	0,00÷1,80	<i>Terreno vegetale</i>
2	796	322	1,80÷5,20	<i>Limo argilloso</i>
3	1517	500	5,20÷20,00	<i>Argilla</i>

✓ R-A11 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	395	161	0,00÷2,00	<i>Terreno vegetale</i>
2	1204	605	2,00÷5,00	<i>Calcareniti mediamente cementate</i>
3	2376	1233	5,00÷16,50	<i>Calcareniti ben cementate</i>

✓ R-A12 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	370	148	0,00÷2,00	<i>Terreno vegetale</i>
2	955	449	2,00÷3,80	<i>Sabbia addensata</i>
3	1861	637	3,80÷16,50	<i>Limo sabbioso argilloso</i>

✓ R-A13 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	314	118	0,00÷0,50	<i>Terreno vegetale</i>
2	668	296	0,50÷3,50	<i>Sabbia debolmente cementata</i>
3	1966	985	3,50÷17,00	<i>Calcareniti ben cementate</i>

✓ R-A14 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	342	133	0,00÷3,00	<i>Terreno vegetale</i>
2	954	330	3,00÷6,00	<i>Limo argilloso</i>
3	1607	467	6,00÷20,00	<i>Argilla</i>

✓ R-A15 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	359	135	0,00÷0,80	<i>Terreno vegetale</i>
2	830	324	0,80÷4,80	<i>Limo argilloso</i>
3	1658	490	4,80÷19,00	<i>Argilla</i>

✓ R-A16 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	400	164	0,00÷2,50	<i>Terreno vegetale</i>
2	896	348	2,50÷6,00	<i>Limo argilloso</i>
3	1631	472	6,00÷20,00	<i>Argilla</i>

✓ R-A17 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	403	163	0,00÷1,20	<i>Terreno vegetale</i>
2	806	312	1,20÷5,00	<i>Argilla alterata</i>
3	1799	618	5,00÷17,00	<i>Argilla grigia</i>

✓ R-A18 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	343	142	0,00÷1,00	<i>Terreno vegetale</i>
2	643	290	1,00÷5,00	<i>Sabbia limosa</i>
3	1970	989	5,00÷20,00	<i>Calcareni ben cementate</i>

✓ R-A19 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	300	155	0,00÷3,50	<i>Terreno vegetale</i>
2	769	349	3,50÷10,00	<i>Sabbia debolmente cementata</i>
3	1372	693	10,00÷23,0	<i>Calcareni mediamente cementate</i>

✓ R-A20 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	300	123	0,00÷2,50	<i>Terreno vegetale</i>
2	610	289	2,50÷8,00	<i>Sabbia debolmente cementata</i>
3	1337	441	8,00÷20,00	<i>Limo argilloso</i>

✓ R-A21 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	419	168	0,00÷0,80	<i>Terreno vegetale</i>
2	1257	652	0,80÷5,00	<i>Calccare fratturato con inclusioni terrose</i>
3	2897	1511	5,00÷18,00	<i>Calccare compatto</i>

✓ R-A22 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	399	157	0,00÷0,50	<i>Terreno vegetale</i>
2	1561	795	0,50÷5,00	<i>Calccare fratturato con inclusioni terrose</i>
3	3057	1630	5,00÷18,00	<i>Calccare compatto</i>

✓ R-A23 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	380	154	0,00÷1,00	<i>Terreno vegetale</i>
2	1287	662	1,00÷5,00	<i>Calccare fratturato con inclusioni terrose</i>
3	2344	1226	5,00÷19,00	<i>Calccare mediamente fratturato</i>

✓ R-A24 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	373	160	0,00÷1,20	<i>Terreno vegetale</i>
2	1107	378	1,20÷5,00	<i>Limo argilloso</i>
3	1973	546	5,00÷18,00	<i>Argilla</i>

✓ R-A25 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	390	163	0,00÷1,00	<i>Terreno vegetale</i>
2	1172	477	1,00÷4,00	<i>Limo argilloso</i>
3	2645	1302	4,00÷18,00	<i>Calcareniti ben cementate e/o calcare fratturato</i>

✓ R-A26 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	377	162	0,00÷0,50	<i>Terreno vegetale</i>
2	1137	572	0,50÷4,00	<i>Calcareniti scadenti</i>
3	2611	1350	4,00÷18,00	<i>Calcareniti ben cementate e/o calcare fratturato</i>

✓ R-A27 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	348	121	0,00÷1,00	<i>Terreno vegetale</i>
2	771	290	1,00÷3,80	<i>Limo argilloso</i>
3	1851	522	3,80÷17,00	<i>Argilla</i>

✓ R-A28 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	360	140	0,00÷1,00	<i>Terreno vegetale</i>
2	1109	397	1,00÷5,00	<i>Limo argilloso</i>
3	1797	523	5,00÷20,00	<i>Argilla</i>

✓ R-A30 in onde P ed S: si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	394	166	0,00÷1,00	<i>Terreno vegetale</i>
2	1051	484	1,00÷5,00	<i>Sabbia addensata</i>
3	2380	1213	5,00÷19,00	<i>Calcareni ben cementate</i>

Tabella n. 1 – Coordinate topografiche degli stendimenti sismici

NOME SISMICHE	WGS 84 - UTM 33 (Geofono 01)		WGS 84 - UTM 33 (Geofono 24)	
	Nord (X)	Est (Y)	Nord (X)	Est (Y)
R-A1	4518122.663	659679.324	4518125.233	659844.304
R-A2	4517493.994	653534.376	4517549.005	653689.935
R-A3	4512598.866	643919.171	4512680.471	644062.578
R-A4	4511937.913	642435.839	4512068.467	642536.739
R-A5	4511067.598	641544.688	4511152.989	641685.874
R-A6	4508499.363	639132.234	4508593.846	639267.503
R-A7	4507502.579	636955.371	4507377.361	637062.821
R-A8	4507015.457	635474.694	4507174.129	635519.950
R-A9	4506800.658	634235.821	4506951.963	634301.637
R-A10	4506680.438	633286.736	4506844.718	633271.340
R-A11	4505299.778	631546.401	4505334.597	631707.686
R-A12	4504812.443	631589.458	4504977.340	631595.296
R-A13	4503405.973	632004.551	4503529.786	632113.617
R-A14	4501786.244	632530.534	4501767.586	632694.476
R-A15	4500719.141	632634.096	4500610.827	632758.567
R-A16	4499078.121	633078.544	4499242.131	633096.585
R-A17	4497758.901	633209.192	4497657.128	633339.066
R-A18	4496526.118	633027.132	4496661.733	633121.120
R-A19	4496114.526	632689.846	4496252.720	632779.998
R-A20	4495184.659	632539.989	4495232.373	632697.940
R-A21	4518006.700	656014.487	4518171.040	655999.741
R-A22	4515011.556	649109.116	4515029.688	648945.115
R-A23	4512549.381	644799.818	4512615.334	644648.573
R-A24	4507973.602	638000.026	4508129.670	638053.579
R-A25	4505794.562	631544.458	4505746.316	631702.247
R-A26	4502604.042	632004.952	4502668.789	632156.718
R-A27	4501297.542	632571.665	4501306.484	632736.422
R-A28	4507932.076	638577.615	4508000.732	638727.653
R-A30	4495490.521	632520.306	4495554.071	632672.576

3. STIMA DEI MODULI DINAMICI

Dalle velocità sismiche, ricavate dall'indagine a rifrazione superficiale classica in onde P ed S, sono stati calcolati alcuni parametri geotecnici.

Assegnando, infatti, la densità in sito, ricavata empiricamente mediante l'equazione di Gardner, che lega la densità alla velocità delle onde longitudinali (V_p), sono stati calcolati il *coefficiente di Poisson* e alcuni moduli elastici dinamici. Le determinazioni dei moduli elastici, eseguite mediante tali metodologie sismiche, sono riferibili a volumi significativi di terreno in condizioni relativamente indisturbate a differenza delle prove geotecniche di laboratorio che, pur raggiungendo un elevato grado di sofisticazione ed affidabilità, soffrono della limitazione di essere puntuali cioè relative ad un modesto volume di roccia.

I moduli elastici sismici possono essere correlati ai normali moduli statici attraverso un fattore di riduzione (*Rzhevsky et alii, 1971*) semplicemente evidenziando che si riferiscono, in virtù delle energie movimentate dall'indagine e del conseguente basso livello di deformazione raggiunto, ad un modulo statico tangente iniziale.

$$E_{din} = 8.3E_{stat} + 0,97$$

Infine, con i dati ottenuti dall'indagine eseguita è possibile calcolare il coefficiente di reazione del terreno K_s (Kg/cm^3) attraverso la relazione di Vesic (1961):

$$K_s = E_s/B*(1 - u^2)$$

dove

B = larghezza della fondazione;

E_s = modulo di elasticità del terreno;

u = coefficiente di Poisson.

Infine per la classificazione geotecnica dell'ammasso, nell'ambito dello stesso foglio di calcolo, attraverso le letture sismiche, sono state determinate indirettamente, i valori di indice di qualità della roccia (RQD), nel caso degli ammassi rocciosi, la coesione dell'ammasso e l'angolo di attrito dello stesso.

Allo stesso tempo, per l'analisi dei pali sottoposti a forze orizzontali e nella verifica a svergolamento è stato determinato, indirettamente, il coefficiente di reazione orizzontale, K_h . Tale modulo viene determinato dalla formula di Chiarugi Maia secondo la quale è funzione di: modulo edometrico, modulo elastico del palo, diametro del palo, coefficiente di Poisson.

In ultimo per effettuare un'ulteriore verifica sui fattori di deformabilità delle terre, attraverso la relazione di Imai and Yoshimura, del 1977 sono stati determinati i valori di resistenza alla deformabilità del tipo SPT attraverso i valori delle velocità sismiche di taglio.

Nell'**Allegato R-SISM 01** sono riportati i principali moduli elastici dei terreni riguardanti ciascuna base sismica eseguita; tali valori si riferiscono all'"ammasso" pertanto devono essere intesi come valori medi.

<u>Note bibliografiche</u>			
Parametro calcolato	Bibliografia	Unità di misura	Formula
Modulo di Poisson (Bowles 1988)	Simeon Denis Poisson (Fisico e matematico francese)	Grandezza adimensionale	$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{1-\sigma}{0,5-\sigma}}$
Densità naturale	Equazione di Gardner	gr/cm ³	$\rho = 0,23V_p^{0,25}$
Correlazione empirica tra Vs e SPT	Imai and Yoshimura, 1977	Grandezza adimensionale	$V_s = f/(N_{spt})$
Coefficiente di sottofondo	Vesic, 1961	Kg/cm ³	$k = E/[B(1-n_2)]$
Coefficiente di sottofondo verticale	Vol I di Geotecnica e tecnica delle fondazioni – Cestelli Guidi	Kg/cm ³	$K_v = a_2 \cdot E_d / b$ dove $a_2 = 2 / \log_e(b+2H) / b$
Coefficiente di sottofondo orizzontale	Metodo Chiarugi-Maia	Kg/cm ³	$k_h = \frac{E_d}{D \cdot (1-\nu^2)} \cdot \left(\frac{E_d \cdot D^4}{E_p \cdot J} \right)^{1/2}$ <small>E_d: Modulo edometrico ν: Coefficiente di Poisson E_p: Modulo elastico della sezione, se in ca (E_p= 18000 × √(R_{ck})) D: Diametro del palo J: Momento d'inerzia della sezione se circolare (J = π × D⁴ / 64)</small>
Modulo di Young dinamico	Bowles 1988	Mpa	$E = V_s^2 \rho \cdot [3V_p^2 - 4V_s^2 / V_p^2 - V_s^2]$
Modulo di Young statico	Rzhevsky et all., 1971	Mpa	$E_{din} = 8.3E_{stat} + 0,97$
Modulo di Bulk	Bowles 1988	Mpa	$K = E_{din} / (3 \cdot (1-2 \cdot n))$
Modulo di taglio dinamico	Bowles 1988	Mpa	$G_{din} = E_{din} / ((2 \cdot (1+n)))$
Modulo di taglio statico	Bowles 1988	Mpa	$G_{stat} = E_{stat} / (2 \cdot (1+n))$
Modulo di Compressione Edometrica	Relazione di Navier	Kh/cm ²	$M = E \cdot [(1-n) / (1-n-2 \cdot n^2)]$

4. PROSPEZION SISMICHE A RIFRAZIONE IN FORO IN ONDE P ED S

Le prove sismiche in foro sono tra le più utili per la caratterizzazione geomeccanica delle terre e delle rocce. I campi di applicazione delle sismiche in foro sono gli stessi della sismica di superficie, ma consentono un maggiore dettaglio puntuale dei parametri elastici dei terreni indagati.

Nello specifico, risultano dunque molto utili nel determinare:

- la sismostratigrafia di dettaglio;
- la localizzazione di zone fratturate (meccanicamente degradate);
- la stima del parametro $V_{s,eq}$ per la determinazione della categoria di suolo ai sensi dell'NTC del D.M 17 Gennaio 2018;
- i principali moduli elastici dei litotipi presenti nel sottosuolo.

Le misure risultano molto affidabili per profondità comprese fino a circa 30÷60m, compatibilmente con il tipo di sorgente utilizzato; a maggiore profondità i segnali diventano di difficile interpretazione.

4.1. Operazioni preliminari

Per l'esecuzione delle prove sismiche in foro occorre quindi che vengano preliminarmente eseguiti i fori geognostici. Questi devono essere condizionati per l'intera lunghezza mediante l'installazione di una tubazione in PVC della serie pesante, con diametro interno generalmente non inferiore ad 80mm e sezione costante senza irregolarità e distorsioni. L'intercapedine fra parete del foro e tubazione definitiva viene sigillata con miscela auto-indurente di acqua-cemento-bentonite, iniettata lentamente, a bassa pressione, attraverso la valvola di fondo e pistoncino a tenuta.

4.2. Descrizione del metodo

La prova down-hole è un metodo di indagine sismica finalizzato alla determinazione dei profili di velocità delle onde P ed S che si propagano nel terreno in seguito ad una energizzazione superficiale. A differenza della metodologia classica della sismica a rifrazione è possibile individuare anche strati meno veloci, ovvero è possibile individuare anche inversioni di velocità e dunque, per questa metodologia, non è necessario assumere che le velocità sismiche aumentino con la profondità. La stima delle velocità sismiche è eseguita attraverso la misura dei tempi di propagazione delle onde elastiche longitudinali (P) e trasversali (S).

L'esecuzione della prova down-hole richiede, tuttavia, la perforazione di un solo foro di sondaggio all'interno del quale sono alloggiati i ricevitori in posizione variabile con la profondità mentre la sorgente poiché è posta a piano campagna sarebbe opportuno alloggiarla nelle immediate vicinanze del boccaforo onde evitare la possibile propagazione lungo il tubo di condizionamento dell'onda sismica. (fig. 1). Tuttavia la sorgente può essere ubicata ad una distanza compresa tra 1.5÷3.0. Nel caso in esame la sorgente è stata posta ad una distanza 3.0m dal boccaforo.

La prova consiste nel calare nel foro di sondaggio una sonda geofonica tridimensionale, in grado di rilevare i tempi di percorrenza delle onde sismiche generate da una sorgente, nella maggior parte dei casi da una massa battente che colpisce una piastra di acciaio, verticalmente, per la generazione delle onde di compressione, lateralmente al corpo della stessa, per la generazione delle onde di taglio.

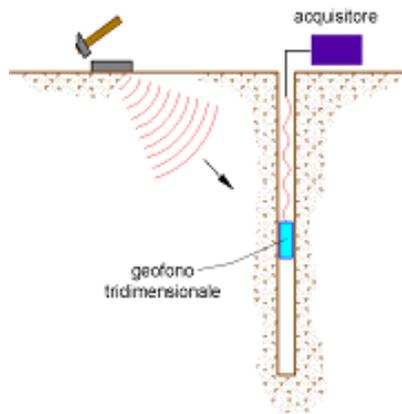


Fig. 1 - Configurazione tipica usata nella prova sismica down-hole

Dato che la sorgente energizzante è posta ad una certa distanza dal boccaforo, dovrà essere eseguita una correzione dei tempi letti (t_l) durante la prospezione sismica. Infatti, i tempi di tragitto, misurati lungo i percorsi sorgente-ricevitore risultano essere inclinati rispetto alla verticale del foro (fig. 2), pertanto, indicato con α , l'angolo formato dall'asse del foro e la congiungente sorgente-ricevitori e con d la distanza dalla sorgente di tale asse posto ad una profondità (z), la correzione da apportare ad ogni tempo letto è pari a:

$$t_c = t_l \cdot \cos \alpha$$

con $\alpha = \arctg(d/z)$

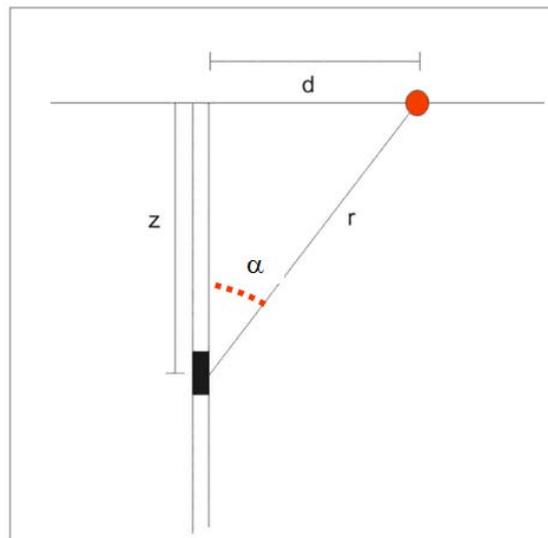


Fig. 2 – Relazione fra asse perforo e distanza tra sorgente e ricevitore

Per poter eseguire questa correzione è necessario che il fronte d'onda si propaghi in terreni che non presentano rilevanti discontinuità laterali delle proprietà elastiche. Viceversa, la presenza di forti discontinuità provocherebbe una deviazione del raggio sismico e dunque, i tempi di arrivo risulterebbero scarsamente attendibili. A questo punto, per definire il grado di disomogeneità dei terreni attraversati, si

definisce la velocità di intervallo, (v_i), ovvero, la velocità con cui viaggia il fronte d'onda lungo l'asse verticale fra due posizioni consecutive del ricevitore intervallate da un tratto verticale Δz .

Calcolati i tempi corretti sia per le onde P che per le onde S, si realizza un grafico "Tempi-Profondità" - (Dromocrone), in modo che la velocità media delle onde sismiche in strati omogenei di terreno, è rappresentata dall'inclinazione dei segmenti di retta lungo i quali si allineano i dati sperimentali (fig. 3).

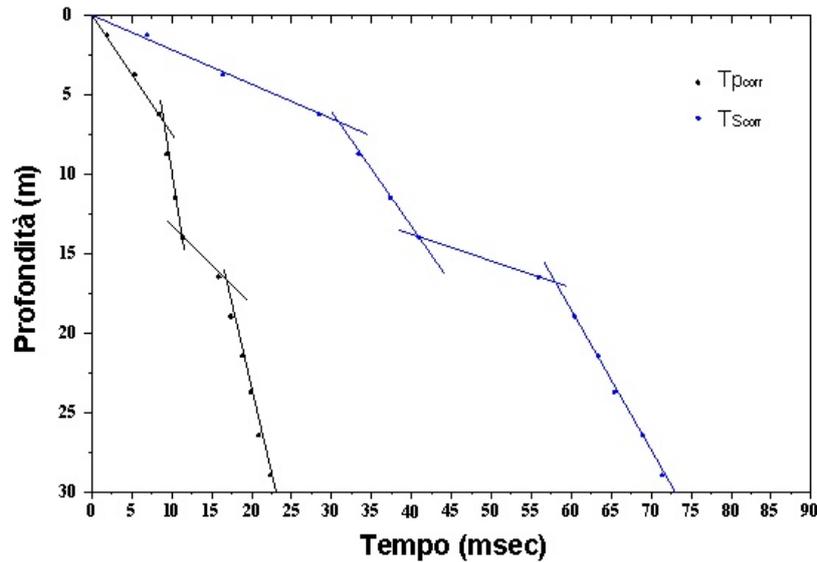


Fig. 3 – Dromocrone

Per ottenere le misure delle velocità sismiche si possono impiegare due diverse procedure: la procedura del metodo diretto e quella del metodo per intervalli distinguendo per quest'ultimo le misure di true-interval da quelle pseudo-interval (Kramer S. 1996).

- Il **metodo diretto** costituisce la procedura più semplice. Con essa la velocità delle onde P ed S è calcolata semplicemente dividendo la distanza che separa la sorgente dal ricevitore (assunta rettilinea) per il corrispondente tempo di percorrenza dell'onda. Il calcolo viene quindi ripetuto per una serie variabile di posizioni assunte dal ricevitore.
- Il **metodo per intervalli** consente di calcolare la velocità delle onde P ed S come rapporto fra la distanza di due successive posizioni dei ricevitori e la differenza tra i corrispondenti tempi di percorrenza. Se le misure vengono utilizzate in contemporanea utilizzando due ricevitori, la corrispondente tecnica prende il nome di true-interval, mentre se le misurazioni vengono compiute utilizzando posizioni diverse di un singolo ricevitore, la tecnica assume il nome di misura pseudo-interval. Entrambe queste misurazioni forniscono risultati più accurati delle misure dirette.

Entrambe le procedure di interpretazione sono comunque suscettibili di una critica fondamentale, cioè si basano sull'ipotesi che i percorsi delle onde siano rettilinei e coincidenti con quelli che collegano la sorgente ai ricevitori. In realtà, ciò è spesso improbabile, dato che prima di giungere ai ricevitori, le onde subiscono fenomeni rifrazione che ne modificano il percorso.

In questo elaborato è stata utilizzata come procedura di interpretazione quella del metodo diretto.

4.3. Attrezzatura utilizzata

L'attrezzatura della prova down-hole, come già detto, comprende una sorgente di energia posta a piano campagna, un accelerometro situato in prossimità della sorgente per rilevare l'istante di energizzazione, un ricevitore tridimensionale situato nel foro di sondaggio, e un sistema di acquisizione dati per la raccolta e l'analisi dei segnali.

In questo caso, le caratteristiche di tutta la strumentazione utilizzata viene di seguito descritta:

- **sorgente:** rappresentata da una massa battente avente peso di 8Kg unitamente ad un piattello metallico di forma circolare con diametro di 25cm e altezza di 3cm, valida per le energizzazioni verticali, o unitamente ad una traversa di legno con estremità in acciaio lunga 120cm e alta, nelle parti estreme, 20cm, valida per le energizzazioni orizzontali;
- **accelerometro:** costituito da un geofono starter infisso nel terreno in modo da essere il più solidale possibile con lo stesso il quale è collegato con il sistema di acquisizione dei dati e che permette di far partire la registrazione del segnale sismico acquisito dai geofoni nell'istante in cui la sorgente viene attivata e parte la sollecitazione dinamica;
- **ricevitore:** costituita da una sonda contenente cinque geofoni di frequenza 4.5 Hz (geofono tridimensionale) di cui un geofono ad oscillazione verticale, sensibili alla ricezione dei tempi delle onde P e quattro ad oscillazione orizzontale disposti a 45° tra loro, sensibili alla ricezione dei tempi delle onde S;
- **acquisitore dati:** rappresentato da un sismografo a 24 canali, della "MAE" modello X610/S, ubicata sulla superficie del sito, con acquisizione computerizzata dei dati.

Trattasi di un sismografo a 12-24-26 canali aventi le seguenti caratteristiche:

- SPECIFICHE TECNICHE -

- Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta
- Range dinamico: 144 dB (teorico)
- Distorsione massima: +/-0.0010%
- Banda passante: 2Hz-30KHz
- Common mode rejection: 110 dB a 60 Hz
- Diafonia: -120dB a 20 Hz
- Soglia di rumore dell'amplificatore programmabile: 27nV
- Precisione del trigger: 1/30 del tempo di campionatura
- Range massimo segnale in ingresso: +/-5V

- Impedenza di ingresso a 1000 campioni /secondo: 20Mohm
- Livelli di amplificazione: 0 dB, 6 dB, 12 dB, 18 dB, 24 dB, 30 dB, 36 dB impostabili singolarmente
 - per ogni canale o per gruppi di canali liberamente organizzabili
- Filtro anti-alias: -3dB,80% della frequenza di Nyquist,-80dB
- Tempo pre-trigger: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500ms
- Intervalli di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms; 8.0, 4.0, 2.0 ms in registrazione continua

- Numero di campioni per evento: impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512
- Interfacce disponibili: LAN, USB, VGA
- Modalità di acquisizione: con trigger esterno su tutti i canali e a tempo su max 12 canali.
- Canali: configurazioni da 12, 24 o 36. Possibilità di utilizzare da 1 al numero massimo di canali installati
 - per ogni acquisizione.
- Test della strumentazione: auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione.
- Filtri digitali: selezionati automaticamente in base alla frequenza di campionatura
- Test geofoni: verifica automatica per individuare interruzioni dei cavi oppure geofoni rotti o in corto.
- Visualizzazione in tempo reale dei segnali provenienti dai geofoni
- Archiviazione dati: in memoria FLASH interna (fino a 3GB disponibili) e/o su USB pen-drive rimovibile
- Trigger: positive, negative (opzionale a chiusura di contatto) con soglia regolabile da software
- Formato dei dati: SEG-2 standard (32-bit long integer) o ASCII

I dati misurati durante la prova down-hole sono stati così registrati e conservati nella memoria di massa dello strumento. Dopo averli scaricati su Pen Drive USB sono stati inseriti nel PC già predisposti per le operazioni di lettura dei tempi.

4.4. Acquisizione di campagna ed elaborazione dei dati

Le prove down-hole eseguite lungo il tracciato della nuova strada di Collegamento tra la Murgia e il territorio a ridosso del Monte Pollino, sono state spinte fino a profondità comprese tra 25.0m e 35.0m dal p.c. ed ubicate come disposto nelle planimetrie allegate (**All_R-SISM-03**).

Risulta opportuno sottolineare che l'esecuzione delle prove ha preventivamente richiesto la realizzazione di fori di sondaggio, di diametro pari a 101mm, appositamente rivestito con tubo in PVC da 80mm di diametro e cementato sulle pareti del perforo con miscela di fanghi bentonitici.

Nel presente caso, come richiesto dalla Committenza, sono state effettuate misure dei tempi di propagazione delle onde elastiche con un intervallo pari ad 1m, a partire dal p.c. fino alla massima profondità del perforo.

Il punto di energizzazione è stato posto ad off-set fisso a 3 m rispetto alla bocca del foro.

Le oscillazioni, prodotte dalle diverse attività di energizzazione, sono avvenute in due direzioni opposte tra loro, in verticale e in orizzontale, ciascuna delle quali è stata recepita dai geofoni di competenza.

Le amplificazioni del segnale di traccia sono state impostate partendo da 6dB per i primi 6 m di profondità fino al massimo di 36dB a fondo foro, lasciando stabilire all'esperienza dell'operatore le profondità più idonee per i cambi dei guadagni.

Dei dati raccolti in campagna sono stati in primo luogo calcolati i tempi di arrivo sia delle onde P che delle onde S mediante il programma Pickwin, i quali in secondo luogo sono stati corretti del fattore di inclinazione dei raggi sismici e successivamente rappresentati in un grafico "Tempi-Profondità".

Successivamente sono state calcolate le velocità sismiche mediante un foglio di calcolo, nell'ambito del quale sono stati, inoltre, ricavati i vari moduli elastici dell'ammasso terroso con le relative rappresentazioni grafiche di alcuni di essi.

Le variazioni medie intervallari delle velocità sismiche sono indicate in una rappresentazione grafica con colore rosso le onde P e con colore blu le onde S mentre nei grafici adiacenti sono riportate le informazioni sulle caratteristiche elastiche del terreno (rappresentazione grafica dell'andamento del modulo elastico di Poisson ν , del modulo di taglio dinamico μ) così come mostrato nell'**Allegato R-SISM-03**.