



REGIONE LIGURIA

autostrade // per l'italia

COLLEGAMENTO TRA LA VALFONTANABUONA
E L'AUTOSTRADA A12 GENOVA-ROMA

PROGETTO DEFINITIVO


DOCUMENTAZIONE GENERALE

GEOTECNICA

RELAZIONE GEOTECNICA

| | | |
|--|--|---|
| <p>IL RESPONSABILE PROGETTAZIONE SPECIALISTICA Ing. Marco Pietro D'Angelantonio Ord. Ingg. Milano N.20155 RESPONSABILE UFFICIO APE</p> | <p>IL RESPONSABILE INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE Ing. Sara Frisiani Ord. Ingg. Genova N. 9810A CAPO COMMESSA</p> | <p>IL DIRETTORE TECNICO Ing. Maurizio Torresi Ord. Ingg. Milano N. 16492 RESPONSABILE DIREZIONE OPERATIVA TECNICA E PROGETTAZIONE</p> |
|--|--|---|

| WBS | RIFERIMENTO ELABORATO | | | | | | | DATA: DICEMBRE 2014 | REVISIONE | |
|-----|-----------------------|----------|---------|--------|---------|----------------|------|------------------------|-----------|------|
| | DIRETTORIO | | | FILE | | | | | n. | data |
| - | codice | commessa | N.Prog. | unita' | ufficio | n. progressivo | Rev. | | | |
| - | 1 | 1001302 | | STPAPE | | 0001 | | | | |
| | SCALA: - | | | | | | | | | |

| | | | |
|---|--|---|-------------------------------------|
|  ingegneria europea | <p>RESPONSABILE PROGETTO GENOVA Ing. Orlando Mazza Ord. Ingg. Pavia N. 1496</p> | ELABORAZIONE GRAFICA A CURA DI : | |
| | | ELABORAZIONE PROGETTUALE A CURA DI : | |
| CONSULENZA A CURA DI : | | IL RESPONSABILE UNITA' STP | Ing. Andrea Tanzi O.l. Parma N.1154 |

| | | |
|--|---|---|
| | <p>VISTO DEL COMMITTENTE</p>  R.U.P. - Ing. Andrea Frediani | <p>VISTO DEL CONCEDENTE</p>  Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti <small>DIPARTIMENTO PER LE INFRASTRUTTURE, GLI AFFARI GENERALI ED IL PERSONALE STRUTTURA DI VIGILANZA SULLE CONCESSIONARIE AUTOSTRADALI</small> |
|--|---|---|

SPEA S.p.A.

**Collegamento tra la VALFONTANABUONA e
l'Autostrada A12: Genova - Roma**

Progetto Definitivo

RELAZIONE GEOTECNICA

INDICE

| | |
|---|-----------|
| 1. PREMESSA | 6 |
| 2. DOCUMENTAZIONE, NORMATIVE E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO | 8 |
| 2.1 Documentazione di riferimento | 8 |
| 2.2 Normative e raccomandazioni | 9 |
| 2.3 Bibliografia | 9 |
| 3. DESCRIZIONE SINTETICA DEL TRACCIATO E DELLE OPERE DI PROGETTO | 11 |
| 4. INQUADRAMENTO SISMICO | 13 |
| 4.1 Definizione dei siti di interesse | 13 |
| 4.2 Vita utile delle opere | 14 |
| 4.3 Periodo di ritorno dell'azione sismica | 15 |
| 4.4 Accelerazione massima attesa su suolo rigido | 16 |
| 4.5 Accelerazione massima attesa al suolo | 18 |
| 4.5.1 Determinazione della categoria di suolo | 18 |
| 4.5.2 Determinazione del fattore di amplificazione topografica | 23 |
| 4.6 Stabilità nei confronti della liquefazione | 24 |
| 4.7 Verifiche di stabilità globale | 25 |
| 4.8 Verifiche di stabilità delle opere | 26 |
| 5. INDAGINI GEOTECNICHE DISPONIBILI | 27 |
| 5.1 Introduzione | 27 |
| 5.2 Indagini 2011 | 27 |
| 5.3 Indagini 2013 | 29 |
| 6. LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI ED IDROGEOLOGICI | 33 |
| 7. CONDIZIONI STRATIGRAFICHE E DI FALDA | 34 |
| 7.1 Svincolo sull'A12 | 34 |
| 7.2 Finestra di Arbocò | 38 |
| 7.3 Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno | 41 |
| 7.4 Raccordo con S.P.225 | 45 |
| 7.5 Condizioni di falda | 50 |
| 8. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI MATERIALI SCIOLTI | 54 |
| 8.1 Generalità | 54 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 8.2 | Materiali a grana grossa (sabbie e ghiaie più o meno limose) | 55 |
| 8.2.1 | Introduzione | 55 |
| 8.2.2 | Stato iniziale del deposito | 55 |
| 8.2.3 | Angolo di resistenza al taglio | 57 |
| 8.2.4 | Caratteristiche di deformabilità | 58 |
| 8.2.5 | Coefficienti di permeabilità | 61 |
| 8.3 | Materiali a grana fine (limi e argille) saturi | 64 |
| 8.3.1 | Introduzione | 64 |
| 9. | CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE FORMAZIONI ROCCIOSE | 65 |
| 9.1 | Generalità | 65 |
| 9.2 | Valutazione del parametro RMR'89 | 65 |
| 9.3 | Criteri di rottura | 68 |
| 9.4 | Caratteristiche di deformabilità | 72 |
| 9.4.1 | Moduli iniziali | 72 |
| 9.4.2 | Moduli "operativi" | 73 |
| 10. | CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI MATERIALI SCIOLTI | 74 |
| 10.1 | Descrizione delle principali coperture | 74 |
| 10.2 | Copertura su FAN | 75 |
| 10.2.1 | Descrizione del materiale | 75 |
| 10.2.2 | Indagini di riferimento | 75 |
| 10.2.3 | Risultati prove di laboratorio | 76 |
| 10.2.4 | Risultati prove in sito | 82 |
| 10.2.5 | Risultati back-analysis | 90 |
| 10.2.6 | Tabella riepilogativa dei parametri caratteristici | 91 |
| 10.3 | Copertura su AMV | 93 |
| 10.3.1 | Descrizione del materiale | 93 |
| 10.3.2 | Indagini di riferimento | 93 |
| 10.3.3 | Risultati prove di laboratorio | 94 |
| 10.3.4 | Risultati prove in sito | 100 |
| 10.3.5 | Tabella riepilogativa dei parametri caratteristici | 107 |
| 10.4 | Copertura su SCM | 108 |
| 10.4.1 | Descrizione del materiale | 108 |
| 10.4.2 | Indagini di riferimento | 108 |
| 10.4.3 | Risultati prove di laboratorio | 109 |
| 10.4.4 | Risultati prove in sito | 115 |
| 10.4.5 | Tabella riepilogativa dei parametri caratteristici | 123 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 10.5 | Terreni di riporto | 124 |
| 10.5.1 | Descrizione del materiale | 124 |
| 10.5.2 | Indagini di riferimento | 124 |
| 10.5.3 | Risultati prove di laboratorio | 125 |
| 10.5.4 | Risultati prove in sito | 128 |
| 10.5.5 | Tabella riepilogativa dei parametri caratteristici | 135 |
| 10.6 | Materiali alluvionali | 136 |
| 10.6.1 | Descrizione del materiale | 136 |
| 10.6.2 | Indagini di riferimento | 136 |
| 10.6.3 | Risultati prove di laboratorio | 137 |
| 10.6.4 | Risultati prove in sito | 143 |
| 10.6.5 | Tabella riepilogativa dei parametri caratteristici | 151 |
| 11. | CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE FORMAZIONI ROCCIOSE | 152 |
| 11.1 | Descrizione delle principali formazioni rocciose | 152 |
| 11.1.1 | Unità tettonica del Monte Antola (FAN) | 152 |
| 11.1.2 | Unità Tettonica Portello (FLV) | 153 |
| 11.1.3 | Unità Tettonica Gottero (AMV e SCM) | 153 |
| 11.2 | Formazione FAN Svincolo A12 | 155 |
| 11.2.1 | Descrizione e caratteristiche generali | 155 |
| 11.2.2 | Indagini di riferimento | 155 |
| 11.2.3 | Caratteristiche fisiche | 157 |
| 11.2.4 | Parametri matrice lapidea | 157 |
| 11.2.5 | Parametri R.Q.D., RMR'89 e GSI | 158 |
| 11.2.6 | Inviluppi di rottura | 164 |
| 11.2.7 | Caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso | 166 |
| 11.2.8 | Caratteristiche di permeabilità | 167 |
| 11.2.9 | Tabella riassuntiva dei parametri caratteristici | 167 |
| 11.3 | Formazione FAN Finestra di Arbocò | 186 |
| 11.3.1 | Descrizione e caratteristiche generali | 186 |
| 11.3.2 | Indagini di riferimento | 186 |
| 11.3.3 | Caratteristiche fisiche | 188 |
| 11.3.4 | Parametri matrice lapidea | 188 |
| 11.3.5 | Parametri R.Q.D., RMR'89 e GSI | 189 |
| 11.3.6 | Inviluppi di rottura | 194 |
| 11.3.7 | Caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso | 196 |
| 11.3.8 | Caratteristiche di permeabilità | 197 |
| 11.3.9 | Tabella riassuntiva dei parametri caratteristici | 197 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 11.4 | Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria di Aveno | 218 |
| 11.4.1 | Descrizione e caratteristiche generali | 218 |
| 11.4.2 | Indagini di riferimento | 218 |
| 11.4.3 | Caratteristiche fisiche | 220 |
| 11.4.4 | Parametri matrice lapidea | 220 |
| 11.4.5 | Parametri R.Q.D., RMR'89 e GSI | 221 |
| 11.4.6 | Inviluppi di rottura | 226 |
| 11.4.7 | Caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso | 228 |
| 11.4.8 | Caratteristiche di permeabilità | 228 |
| 11.4.9 | Tabella riassuntiva dei parametri caratteristici | 228 |
| 11.5 | Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria di Aveno | 250 |
| 11.5.1 | Descrizione e caratteristiche generali | 250 |
| 11.5.2 | Indagini di riferimento | 250 |
| 11.5.3 | Caratteristiche fisiche | 250 |
| 11.5.4 | Parametri matrice lapidea | 250 |
| 11.5.5 | Parametri R.Q.D., RMR'89 e GSI | 251 |
| 11.5.6 | Inviluppi di rottura | 253 |
| 11.5.7 | Caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso | 255 |
| 11.5.8 | Caratteristiche di permeabilità | 255 |
| 11.5.9 | Tabella riassuntiva dei parametri caratteristici | 255 |
| 11.6 | Formazione SCM Adeguamento Incrocio S.P.225 | 274 |
| 11.6.1 | Descrizione e caratteristiche generali | 274 |
| 11.6.2 | Indagini di riferimento | 274 |
| 11.6.3 | Caratteristiche fisiche | 276 |
| 11.6.4 | Parametri matrice lapidea | 276 |
| 11.6.5 | Parametri R.Q.D., RMR'89 e GSI | 277 |
| 11.6.6 | Inviluppi di rottura | 281 |
| 11.6.7 | Caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso | 283 |
| 11.6.8 | Caratteristiche di permeabilità | 283 |
| 11.6.9 | Tabella riassuntiva dei parametri caratteristici | 283 |
| 12. | CRITERI DI COSTRUZIONE DEI RILEVATI | 306 |

ALLEGATI

Allegato A: Risultati rilievi geomeccanici

Allegato B: Tabelle risultati prove in sito

Allegato C: Tabelle risultati prove di laboratorio

1. PREMESSA

La presente relazione ha per oggetto la caratterizzazione geotecnica delle principali formazioni geologiche presenti lungo i tratti all'aperto del previsto collegamento tra la Valfontanabuona e l'Autostrada A12 Genova – Roma. Quanto di seguito riportato è finalizzato alla redazione del Progetto Definitivo dell'intervento.

La presente caratterizzazione è stata effettuata sulla base dei risultati delle campagne di indagine geotecniche, geologiche e geofisiche svolte nell'area di interesse, oltreché di dati di letteratura reperiti sulle formazioni incontrate.

Il documento è articolato come segue:

- Il **capitolo 2** elenca i documenti, le normative e la bibliografia di riferimento.
- Il **capitolo 3** presenta una sintetica descrizione dei tratti all'aperto del tracciato in esame, al cui progetto definitivo è finalizzata la presente caratterizzazione.
- Il **capitolo 4** fornisce i parametri sismici di riferimento.
- Il **capitolo 5** riporta un riepilogo delle indagini geotecniche disponibili effettuate.
- Il **capitolo 6** presenta un breve inquadramento geologico, geomorfologico e idrogeologico dei siti di interesse.
- Il **capitolo 7** descrive le condizioni stratigrafiche e di falda riscontrate.
- Il **capitolo 8** descrive i criteri seguiti nella caratterizzazione dei materiali sciolti.
- Il **capitolo 9** descrive i criteri di interpretazione delle formazioni rocciose.
- Il **capitolo 10** riporta la caratterizzazione geotecnica dei materiali sciolti, effettuata sulla base dei criteri stabiliti al **capitolo 8**.
- Il **capitolo 11** riporta la caratterizzazione geomeccanica delle formazioni rocciose, quale risulta in base ai criteri descritti nel **capitolo 9**.
- Il **capitolo 12** contiene le analisi di stabilità dei rilevati.

Nell'**Allegato A** sono contenute alcune immagini significative dei rilievi geomeccanici eseguiti. L'**Allegato B** riporta le Tabelle riassuntive dei risultati delle prove in sito, mentre nell'**Allegato C** sono raccolte le Tabelle riassuntive dei risultati delle prove di laboratorio.

Tenendo conto del fatto che i tratti di rilevato in assenza di opere di sostegno sono caratterizzati da estensione ed altezza limitate e da presenza di substrato lapideo ad una profondità non elevata dal piano campagna, si omettono le analisi stabilità, a meno dei rilevati di ampie dimensioni previsti in Progetto, che sono stati esaminati in Relazioni specifiche.

2. DOCUMENTAZIONE, NORMATIVE E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO

Nella stesura della relazione si è fatto riferimento a quanto elencato di seguito.

2.1 Documentazione di riferimento

Elaborati geotecnici

- [1]. Planimetria e Profilo Geotecnico Rampa Principale - Tavola 1 di 3 – APE 002
- [2]. Planimetria e Profilo Geotecnico Rampa Principale - Tavola 2 di 3 – APE 003
- [3]. Planimetria e Profilo Geotecnico Rampa Principale - Tavola 3 di 3 – APE 004
- [4]. Planimetria e Profilo Geotecnico Rampa Ovest - Tavola 1 di 2 - APE 005
- [5]. Planimetria e Profilo Geotecnico Rampa Ovest - Tavola 2 di 2 - APE 006
- [6]. Planimetria e Profilo Geotecnico Rampa A – APE 007
- [7]. Planimetria e Profilo Geotecnico S.P.22 - Tavola 1 di 2 – APE 008
- [8]. Planimetria e Profilo Geotecnico S.P.22 - Tavola 2 di 2 – APE 009
- [9]. Rilevati e Trincee - Particolari e Prescrizioni Costruttive - APE 010

Elaborati geologici

- [10]. Relazione Geologica - GEO 001
- [11]. Carta Geologica - Tavola 1 di 2 - GEO 002
- [12]. Carta Geologica - Tavola 2 di 2 - GEO 003
- [13]. Carta Geomorfologica - Tavola 1 di 2 - GEO 004
- [14]. Carta Geomorfologica - Tavola 2 di 2 - GEO 005
- [15]. Carta dei Vincoli - Tavola 1 di 2 - GEO 006
- [16]. Carta dei Vincoli - Tavola 2 di 2 - GEO 007
- [17]. Planimetria di Ubicazione delle Indagini Geognostiche - Tavola 1 di 2 - GEO 008
- [18]. Planimetria di Ubicazione delle Indagini Geognostiche - Tavola 2 di 2 - GEO 009
- [19]. Profilo Geologico - GEO 010
- [20]. Carta dei Complessi Idrogeologici - Tavola 1 di 2 - GEO 0011
- [21]. Carta dei Complessi Idrogeologici - Tavola 2 di 2 - GEO 0012
- [22]. Profilo Idrogeologico - GEO 013

2.2 Normative e raccomandazioni

- [23]. Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008: "Approvazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni", G.U. n.29 del 04.2.2008, Supplemento Ordinario n.30.
- [24]. Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 - Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

2.3 Bibliografia

- [25]. Baldi G., Jamiolkowski M., Lo Presti D.C.F., Manfredini G., Rix G.J. (1989) "Italian experiences in assessing shear wave velocity from CPT and SPT" Earthquake Geotechnical Engineering, Proc. of Discussion Session on Influence of Local Conditions on Seismic Response, 12th Int. Conf. on S.M.F.E., Rio de Janeiro, Brasil, pp. 157-168.
- [26]. Balmer G. (1952) "A general analytical solution for Mohr's envelope" ASTM, 52.
- [27]. Berardi R. (1999) "Non linear elastic approaches in foundation design" Pre-failure Deformation Characteristics of Geomaterials, Torino, Balkema.
- [28]. Berardi R. , Bellingeri P. (1998). "Deformabilità degli ammassi rocciosi da approcci empirici: influenza della qualità del materiale roccioso e dello stato di sforzo in sito" Rivista Italiana di Geotecnica, Vol. 32 (1), Patron Ed., 39-62.
- [29]. Bieniawski Z.T. (1978) "Determining rock mass deformability – Experience from case histories!" Int. J. Rock Mech. Min. Sci., 15:237-248.
- [30]. Bieniawski Z.T. (1989) "Engineering Rock Mass Classifications" New York, John Wiley & Sons.
- [31]. Bolton (1986) "The strength and dilatancy of sands" Geotechnique 36 , n° 1.
- [32]. Brown E.T., Hoek E. (1988) "Discussion on paper n° 20431 by R. Ucae entitled "Determination of shear failure envelope in rock masses" Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE, vol. 114, n° 3.
- [33]. Burland, J.B. (1990). On the compressibility and shear strength of natural clays. Géotechnique 40, n° 3, 329-378.
- [34]. Clayton C.R.I. (1995) "The Standard Penetration Test (SPT): Methods and use" CIRIA Report n° 143, 1995.
- [35]. Cubrinowski M., Ishihara K. (1999) "Empirical correlation between SPT N-value and relative density for sandy soils" Soils and Foundations, vol. 39, n° 5, pp. 61-71.
- [36]. Hoek E., Brown E.T. (1988) "The Hoek-Brown failure criterion – A 1988 update" Proc. of 15th Canadian Rock Mechanics Symposium, Toronto, Canada.

- [37]. Hoek E. (1990) "Estimating Mohr-Coulomb friction and cohesion values from the Hoek-Brown failure criterion" Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., 27.
- [38]. Hoek .E., Kaiser P.K., Bawden W.F. (1997) "Support of underground excavations in hard rock" Rotterdam, A.A. Balkema.
- [39]. Hoek E., Marinos P., Benissi M. (1998) "Applicability of the Geological Strength Index (GSI) classification for very weak and sheared rock masses" The Case of Athens Schist Formation, Bull. Engg, Geol, Env. 57(2), 151-160.
- [40]. Hoek E., Carranza-Torres C.T., Corkum B. (2002) "Hoek-Brown failure criterion- 2002 edition" Proc. North American Rock Mechanics Society Meeting in Toronto, July.
- [41]. Ishihara K., Tsukamoto Y., Shimizu Y. (2001) "Estimate of relative density from in-situ penetration tests" Proceedings In-situ 2001, Bali.
- [42]. Jamiolkowski M., Ghionna V.N., Lancellotta R., Pasqualini E. (1988) "New correlations of penetration tests for design practice" Proceedings of I International Symposium on Penetration Testing, ISOPT I, Orlando.
- [43]. Marinos P., Hoek E. (2000) "GSI: a geologically friendly tool for rock mass strength estimation" GEO-ENG.
- [44]. Ohta Y., Goto N. (1978) "Empirical shear wave velocity equations in terms of characteristic soil indexes" Earthquake Engineering and Structural Dynamics, vol.6.
- [45]. Serafim J.L., Pereira J.P. (1983) "Considerations of the geomechanic classification of Bieniawski" Proc. Int. Symp. On Engg, Geol. And Underground Constr. (L.N.E.C., Lisbon, Portugal), Vol.1, Section 2, pp.33-42.
- [46]. Sjöberg J. (1997) "Estimating rock mass strength using the Hoek-Brown failure criterion and rock mass classification – A review and application to the Aznalcollar Open Pit" Internal Report, Division of Rock Mechanics, Lulea University of Technology.
- [47]. Skempton A.W. (1986) "Standard Penetration Test procedures and the effects in sands of overburden pressure, relative density, particle size, ageing and overconsolidation" Geotechnique 36, n° 3.
- [48]. Somerville S.H. (1986) "Control of groundwater for temporary works" CIRIA Report 113.
- [49]. Stroud M.A. (1974) "The standard penetration test in insensitive clays and soft rocks" Proceedings ESOPT I.
- [50]. Stroud M.A. (1988) "The Standard Penetration Test – Its application and interpretation" Penetration Testing in UK, Proceedings of the Geotechnical Conference organized by ICE, Birmingham.
- [51]. Hoek et al. (2013) "Quantification of the Geological Strength Index Chart" – American Rock Mechanics Association ARMA 13-672.

3. DESCRIZIONE SINTETICA DEL TRACCIATO E DELLE OPERE DI PROGETTO

Il nuovo collegamento prevede la realizzazione, a partire da uno svincolo realizzato sulla A12 in Comune di Rapallo, di un nuovo asse viario, di lunghezza complessiva pari a 5600 m circa, sviluppato quasi interamente in galleria; il collegamento è poi completato con l'adeguamento della esistente viabilità per circa 1800 m fino al raccordo con la S.P. 225 della Val Lavagna.

Si tratta più in dettaglio del collegamento tra l'Autostrada A12 Genova – Roma, tra lo svincolo di Valfontanabuona in Comune di Rapallo (GE) alla Stazione di Valfontanabuona e dell'incrocio con la SP 225 in Comune di Moconesi (GE).

L'ubicazione ed estensione dei tratti all'aperto di interesse sono mostrate nelle Tavole dei Profili Geotecnici allegate al presente Progetto definitivo (elaborati di riferimento [1]÷[8]).

I tratti all'aperto in oggetto sono i seguenti:

- **Ambito 1:** Svincolo di Valfontanabuona sulla A12 in Comune di Rapallo (GE). E' prevista la realizzazione dell'imbocco Sud della nuova galleria Caravaggio, oltre all'ampliamento del rilevato di svincolo della A12 (da realizzarsi utilizzando il materiale di smarino della galleria Caravaggio) ed i viadotti di svincolo per il sovrappasso dell'autostrada esistente con le due carreggiate. Sono previste anche opere di sostegno di estensione limitata. Il nuovo svincolo di interconnessione con l'Autostrada A12, che prevede la formazione di ampi rilevati e di rampe di interconnessione in viadotto, sottende un contesto geologico caratterizzato da condizioni di substrato sub-affiorante, cioè di substrato lapideo con una coltre di spessore ridotto, che risulta ricoperto solo in corrispondenza dell'asse vallivo dagli estesi riporti dell'attuale sede autostradale. La galleria Caravaggio, di lunghezza pari a circa 2100 m, verrà scavata all'interno delle sequenze calcareo marnose appartenenti alla Formazione di Monte Antola. Per quanto riguarda l'imbocco lato Sud, si pone l'accento sulla sfavorevole giacitura dei piani di strato proprio in corrispondenza dell'imbocco meridionale.
- **Ambito 2:** Finestra di Arbocò, in Comune di Rapallo (GE). Comprende un rilevato di collegamento tra l'imbocco Nord della Galleria Caravaggio e l'imbocco Sud della Galleria Fontanabuona, per un lunghezza di 102.50 m. Particolare attenzione dovrà essere prestata a questo imbocco, che si imposta in un substrato lapideo (Formazione del Monte Antola) in condizioni giaciture sfavorevoli.
- **Ambito 3:** A partire dall'imbocco Nord della Galleria Fontanabuona si incontra dapprima la stazione di Valfontanabuona (posizionata su un rilevato da realizzare con il materiale di

smarino della galleria) e quindi la rotatoria di Aveno. E' inoltre previsto l'adeguamento della viabilità di collegamento con la SP 225.

- **Ambito 4:** Tratto di raccordo della viabilità di collegamento con la S.P. 225. Nel tratto finale dell'intervento, l'adeguamento stradale interesserà un accumulo gravitativo di materiale eterogeneo.

Nella **Tabella 3.1** sono riportate le formazioni geologico – geotecniche di riferimento. La caratterizzazione di tali formazioni è oggetto dei capitoli seguenti della presente Relazione.

| Ambito | Substrato | Coperture |
|-----------------|--|------------------------------|
| Ambito 1 | Formazione del Monte Antola (FAN) | Riporti / Copertura su FAN |
| Ambito 2 | Formazione del Monte Antola (FAN) | Copertura su FAN |
| Ambito 3 | Ardesia di Monte Verzi (AMV) Scisti Mangesiferi (SCM) | Copertura su AMV |
| Ambito 4 | Scisti mangesiferi (SCM) Breccia argillitica | Alluvione / Copertura su SCM |

Tabella 3.1 - Tabella riepilogativa delle formazioni presenti

4. INQUADRAMENTO SISMICO

La definizione dell'azione sismica di progetto è stata condotta secondo quanto disposto dalle Norme Tecniche in vigore (DM 14 gennaio 2008 - Norme Tecniche per le Costruzioni - Gazzetta Ufficiale n. 29 del 04.02.2008 – Supplemento Ordinario n. 159, nel seguito indicate come NTC2008).

4.1 Definizione dei siti di interesse

Con il fine di fornire un inquadramento complessivo dell'azione sismica lungo il tracciato di progetto, sono stati individuati lungo di esso quattro punti di interesse, rappresentativi delle differenti zone (cfr. il par. precedente).

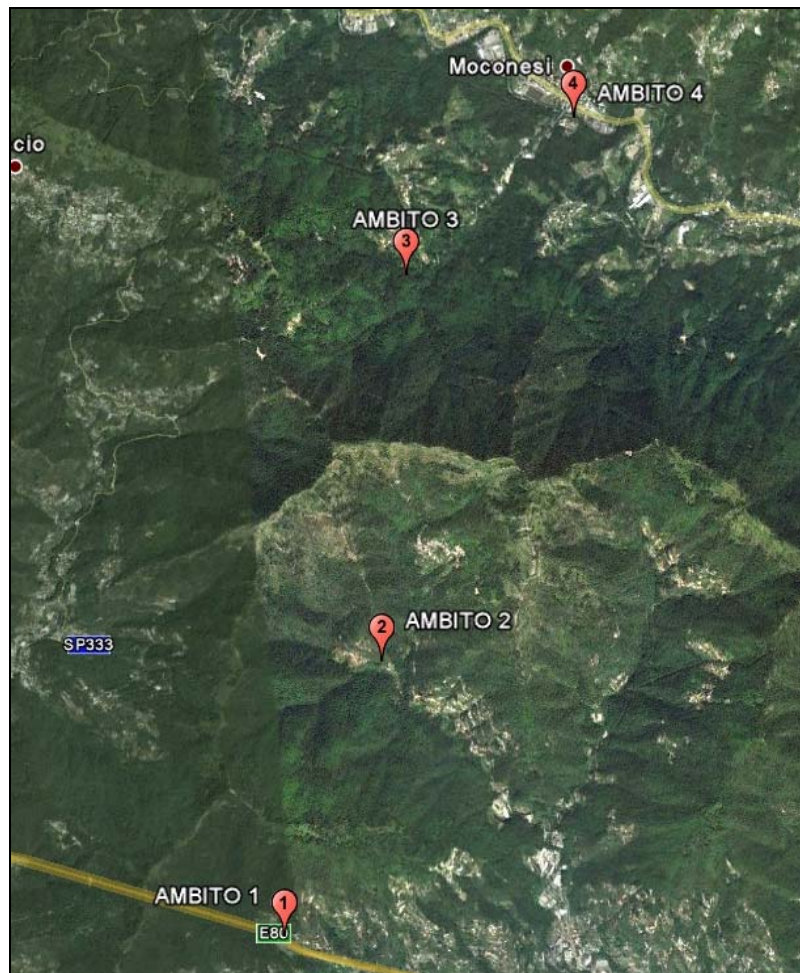


Figura 4.1 – Posizione dei punti di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto

Nella Tabella seguente, per ognuno di questi punti, vengono forniti i seguenti dati:

- denominazione;
- coordinate geografiche.

| Ambito | Denominazione | Latitudine | Longitudine |
|--------|---|------------|-------------|
| 1 | Svincolo Arboccò - Imbocco lato Rapallo Galleria Caravaggio | 44.36380 | 9.18484 |
| 2 | Finestra di Arboccò | 44.38203 | 9.19385 |
| 3 | Stazione di Valfontanabuona | 44.40760 | 9.19611 |
| 4 | Adeguamento incrocio SP-225 | 44.41805 | 9.21166 |

Tabella 4.1 - Punti di interesse posti lungo il tracciato per i quali è stata definita l'azione sismica di progetto

4.2 Vita utile delle opere

La Vita Nominale delle opere, in accordo al punto 2.4.1 delle NTC 2008 ed alle informazioni disponibili, è assunta pari a $V_n = 50$ anni.

La Classe d'Uso utilizzabile per le verifiche oggetto del presente studio è definita in accordo al punto 2.4.2 della Normativa (Doc. Rif. [23]). In particolare, per le finalità delle opere in progetto, si assume la classe d'uso IV (coefficiente d'uso $C_u = 2.0$).

Di conseguenza, il periodo di riferimento per l'azione sismica, definito in accordo al par 2.4.3 della Normativa (Doc. Rif. [23]), risulta pari a:

$$V_r = V_n * C_u = 100 \text{ anni}$$

4.3 Periodo di ritorno dell'azione sismica

In fase progettuale, fissata la vita utile dell'opera V_U , e la relativa classe d'uso (in base alla quale definire il coefficiente d'uso C_U), viene calcolato il periodo di riferimento per l'azione sismica V_R (vedi § 2.4 delle NTC DM 14 Gennaio 2008). A partire dalla probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} corrispondente ai diversi stati limite di verifica (cfr. **Tabella 4.2**), sarà possibile stimare il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R attraverso l'espressione:

$$T_R = -\frac{V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

| Stati limite di esercizio (P_{VR}) | Stati limite ultimi (P_{VR}) |
|---|---|
| SLO - Stato limite di operatività (81%) | SLV- Stato limite di salvaguardia (10%) |
| SLD - Stato limite di danno (63%) | SLD – Stato limite di prevenzione del collasso (5%) |

Tabella 4.2 - Stati limite di verifica secondo NTC2008 e relative probabilità di superamento
 P_{VR}

Qualora non sia contemplato il periodo di ritorno di interesse T_R , il valore del generico parametro p (a_g , F_o , T_c^*) ad esso corrispondente potrà essere ricavato per interpolazione, a partire dai dati relativi ai T_R previsti nella pericolosità sismica, utilizzando l'espressione logaritmica seguente:

$$\log(p) = \log(p_1) + \log\left(\frac{p_2}{p_1}\right) \cdot \log\left(\frac{T_R}{T_{R1}}\right) \cdot \left[\log\left(\frac{T_{R2}}{T_{R1}}\right)\right]^{-1}$$

dove:

- p è il valore del parametro di interesse al periodo di ritorno T_R desiderato;
- T_{R1} , T_{R2} sono i periodi di ritorno più prossimi a T_R per i quali si dispone dei valori p_1 e p_2 del generico parametro p (cfr. **Tabella 4.3**).

Definita la vita di riferimento dell'opera, in funzione della probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento considerato, si ottengono i valori del periodo di ritorno dell'azione sismica T_R riportati nella tabella seguente:

| Stati Limite | | P_{VR} (%) | T_R (anni) |
|----------------------------------|-----|--------------|--------------|
| Stati Limite di Esercizio SLE | SLO | 81 | 60 |
| | SLD | 63 | 101 |
| Stati Limite Ultimi SLU | SLV | 10 | 949 |
| | SLC | 5 | 1950 |

Tabella 4.3 - Valori delle probabilità di superamento P_{VR} e dei periodi di ritorno T_R al variare dello Stato Limite considerato

4.4 Accelerazione massima attesa su suolo rigido

Nella Tabella seguente si riporta, per ogni sito di interesse, la relativa localizzazione rispetto ai nodi della griglia dei valori di pericolosità forniti dalle NTC2008, ottenuto attraverso l'impiego del foglio di calcolo Spettri di Risposta SPETTRI-NTC v. 1.0.3b, distribuito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (2009). E' inoltre indicato, per diversi periodi di ritorno di riferimento, il risultato dell'interpolazione per i parametri a_g , F_o e T_c^* alle coordinate dei punti di interesse.

Nelle Tabelle allegate alla citata Normativa Doc. Rif. [23], in funzione delle coordinate geografiche che corrispondono alle posizioni dei diversi ambiti, sono assegnati i valori dei seguenti parametri, rispetto ad una griglia di punti prefissati sul territorio:

- a_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- T_c^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;
- F_o : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

| ID | Denominazione | Punti della griglia adiacenti (da Spettri- NTCver.1.0.3.xls, CSSLLPP, 2009) | Parametri di definizione dell'azione sismica interpolati al punto di interesse. | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------|----------------------------|--|---|-----------------|-----------------|--------------|--------------|----------------|-----|----|-------|-------|-------|-----|-----|-------|-------|-------|-----|-----|-------|-------|-------|-----|------|-------|-------|-------|
| 1 | Ambito 1 – Svincolo A12 | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>SLATO LIMITE</th> <th>T_R [anni]</th> <th>a_g [g]</th> <th>F_o [-]</th> <th>T_c^* [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SLO</td> <td>60</td> <td>0.039</td> <td>2.551</td> <td>0.228</td> </tr> <tr> <td>SLD</td> <td>101</td> <td>0.047</td> <td>2.527</td> <td>0.254</td> </tr> <tr> <td>SLV</td> <td>949</td> <td>0.108</td> <td>2.518</td> <td>0.292</td> </tr> <tr> <td>SLC</td> <td>1950</td> <td>0.140</td> <td>2.484</td> <td>0.297</td> </tr> </tbody> </table> | SLATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_o [-] | T_c^* [s] | SLO | 60 | 0.039 | 2.551 | 0.228 | SLD | 101 | 0.047 | 2.527 | 0.254 | SLV | 949 | 0.108 | 2.518 | 0.292 | SLC | 1950 | 0.140 | 2.484 | 0.297 |
| SLATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_o [-] | T_c^* [s] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLO | 60 | 0.039 | 2.551 | 0.228 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLD | 101 | 0.047 | 2.527 | 0.254 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLV | 949 | 0.108 | 2.518 | 0.292 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLC | 1950 | 0.140 | 2.484 | 0.297 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

| 2 | Ambito 2 – Finestra Arboccò | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>SLATO LIMITE</th> <th>T_R [anni]</th> <th>a_g [g]</th> <th>F_0 [-]</th> <th>T_c^* [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SLO</td> <td>60</td> <td>0.039</td> <td>2.545</td> <td>0.229</td> </tr> <tr> <td>SLD</td> <td>101</td> <td>0.049</td> <td>2.528</td> <td>0.253</td> </tr> <tr> <td>SLV</td> <td>949</td> <td>0.112</td> <td>2.511</td> <td>0.291</td> </tr> <tr> <td>SLC</td> <td>1950</td> <td>0.146</td> <td>2.474</td> <td>0.296</td> </tr> </tbody> </table> | SLATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | SLO | 60 | 0.039 | 2.545 | 0.229 | SLD | 101 | 0.049 | 2.528 | 0.253 | SLV | 949 | 0.112 | 2.511 | 0.291 | SLC | 1950 | 0.146 | 2.474 | 0.296 |
|--------------|--|-----------|---|--------------|--------------|-----------|-----------|-------------|-----|----|-------|-------|-------|-----|-----|-------|-------|-------|-----|-----|-------|-------|-------|-----|------|-------|-------|-------|
| SLATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLO | 60 | 0.039 | 2.545 | 0.229 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLD | 101 | 0.049 | 2.528 | 0.253 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLV | 949 | 0.112 | 2.511 | 0.291 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLC | 1950 | 0.146 | 2.474 | 0.296 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | Ambito 3 – Stazione di Valfontanabuona | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>SLATO LIMITE</th> <th>T_R [anni]</th> <th>a_g [g]</th> <th>F_0 [-]</th> <th>T_c^* [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SLO</td> <td>60</td> <td>0.040</td> <td>2.539</td> <td>0.229</td> </tr> <tr> <td>SLD</td> <td>101</td> <td>0.050</td> <td>2.527</td> <td>0.252</td> </tr> <tr> <td>SLV</td> <td>949</td> <td>0.116</td> <td>2.505</td> <td>0.290</td> </tr> <tr> <td>SLC</td> <td>1950</td> <td>0.150</td> <td>2.479</td> <td>0.294</td> </tr> </tbody> </table> | SLATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | SLO | 60 | 0.040 | 2.539 | 0.229 | SLD | 101 | 0.050 | 2.527 | 0.252 | SLV | 949 | 0.116 | 2.505 | 0.290 | SLC | 1950 | 0.150 | 2.479 | 0.294 |
| SLATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLO | 60 | 0.040 | 2.539 | 0.229 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLD | 101 | 0.050 | 2.527 | 0.252 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLV | 949 | 0.116 | 2.505 | 0.290 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLC | 1950 | 0.150 | 2.479 | 0.294 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 4 | Ambito 4 – Adeguamento incrocio SP-225 | | <table border="1"> <thead> <tr> <th>SLATO LIMITE</th> <th>T_R [anni]</th> <th>a_g [g]</th> <th>F_0 [-]</th> <th>T_c^* [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>SLO</td> <td>60</td> <td>0.041</td> <td>2.534</td> <td>0.230</td> </tr> <tr> <td>SLD</td> <td>101</td> <td>0.051</td> <td>2.529</td> <td>0.251</td> </tr> <tr> <td>SLV</td> <td>949</td> <td>0.119</td> <td>2.505</td> <td>0.290</td> </tr> <tr> <td>SLC</td> <td>1950</td> <td>0.153</td> <td>2.476</td> <td>0.294</td> </tr> </tbody> </table> | SLATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | SLO | 60 | 0.041 | 2.534 | 0.230 | SLD | 101 | 0.051 | 2.529 | 0.251 | SLV | 949 | 0.119 | 2.505 | 0.290 | SLC | 1950 | 0.153 | 2.476 | 0.294 |
| SLATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_0 [-] | T_c^* [s] | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLO | 60 | 0.041 | 2.534 | 0.230 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLD | 101 | 0.051 | 2.529 | 0.251 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLV | 949 | 0.119 | 2.505 | 0.290 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| SLC | 1950 | 0.153 | 2.476 | 0.294 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Tabella 4.4 - Associazione dei punti di interesse di Tabella 4.1, ai nodi della griglia di dei valori di pericolosità sismica secondo le tabelle allegate alle NTC2008, e risultato dell'interpolazione dei parametri a_g , F_0 , T_c^* per i periodi di ritorno T_R di riferimento

Per lo stato limite di verifica considerato - Stato Limite Ultimo: SLV – Stato Limite di Salvaguardia della Vita - si ottengono i seguenti valori di accelerazione massima attesa su suolo rigido per i diversi siti di interesse (vedi **Tabella 4.5**):

| AMBITO | STATO LIMITE | T_R | a_g |
|--------|--------------|--------|-------|
| | | [anni] | [g] |
| 1 | SLV | 949 | 0.108 |
| 2 | SLV | 949 | 0.112 |
| 3 | SLV | 949 | 0.116 |
| 4 | SLV | 949 | 0.119 |

Tabella 4.5 - Valore del parametro a_g , per suolo rigido in funzione del periodo di ritorno dell'azione sismica. Valore desunto dal foglio di calcolo "Spettri di risposta – V. 1.0.3" fornito dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici

4.5 Accelerazione massima attesa al suolo

L'amplificazione dell'azione sismica viene determinata, secondo le NTC2008, attraverso l'impiego di un fattore di sito S funzione sia della categoria di sottosuolo (S_s) sopra determinata, sia dell'andamento della superficie topografica (S_T):

$$S = S_s \cdot S_T$$

essendo:

a_g = accelerazione massima su sito rigido;

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica;

S_T = coefficiente di amplificazione topografica.

4.5.1 Determinazione della categoria di suolo

La determinazione della categoria di suolo, in accordo con le prescrizioni della Normativa (Doc. Rif. [23]), è basata sulla stima dei valori di velocità media di propagazione delle onde di taglio $V_{S,30}$ o alternativamente sui valori della resistenza penetrometrica dinamica equivalente $N_{SPT,30}$ entro i primi 30 m di profondità (per terreni a grana grossa), o sulla resistenza non drenata equivalente media sempre entro i primi 30 m di profondità $C_{U,30}$ (per terreni a grana fina).

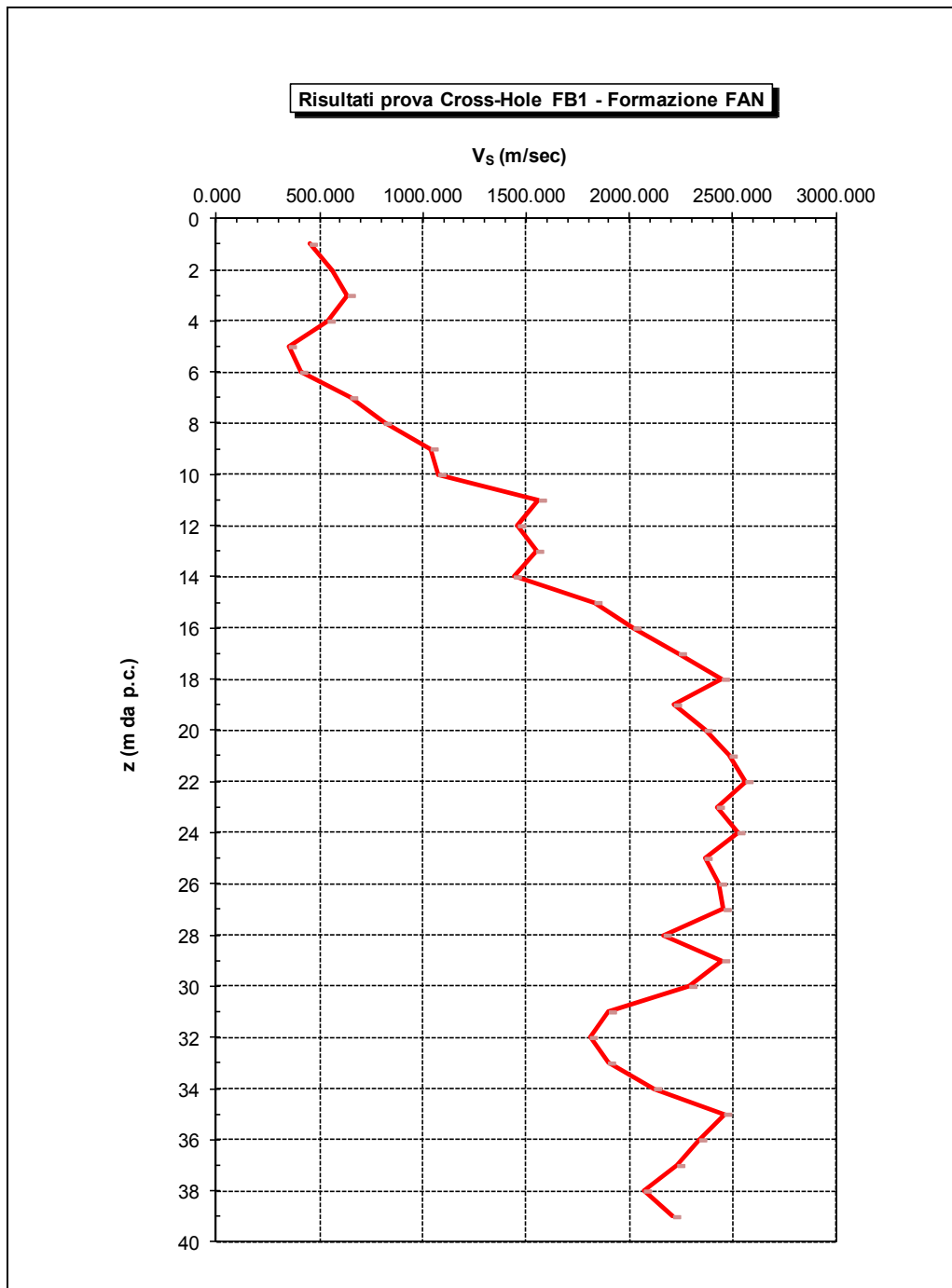
La classificazione del tracciato di progetto rispetto alla risposta sismica locale è stata svolta in accordo con le prescrizioni delle NTC2008, identificando la Categoria di Suolo di appartenenza del sito sulla base dei dati delle indagini condotte, associate ai vari punti di interesse (cfr. **Tabella 4.1**).

Si è fatto principalmente riferimento ai valori della velocità delle onde sismiche di taglio V_s misurata nel corso delle due prove Cross-Hole eseguite (sondaggi FB1 e FB9), confrontati con i valori delle velocità determinate in sito mediante le indagini geofisiche (stendimenti a rifrazione) e, per i soli terreni di copertura, con la V_s stimata a partire dalle misure di N_{SPT} , secondo il criterio di Otha & Goto (1978). Viceversa le determinazioni delle velocità delle onde sismiche misurate in laboratorio sui campioni di roccia sono state considerate solo in termini di confronto, essendo meno rappresentative, in quanto riferite alla roccia intatta, anziché all'ammasso.

Nelle Figure seguenti sono riportati gli andamenti con la profondità della velocità misurata nelle due prove Cross-Hole, eseguite in corrispondenza delle seguenti formazioni:

FB1 FAN (Monte Antola)

FB9 AMV (Ardesie di Monte Verzi)

Figura 4.2 - Prova Cross-Hole FB1 - Andamento con profondità della V_s

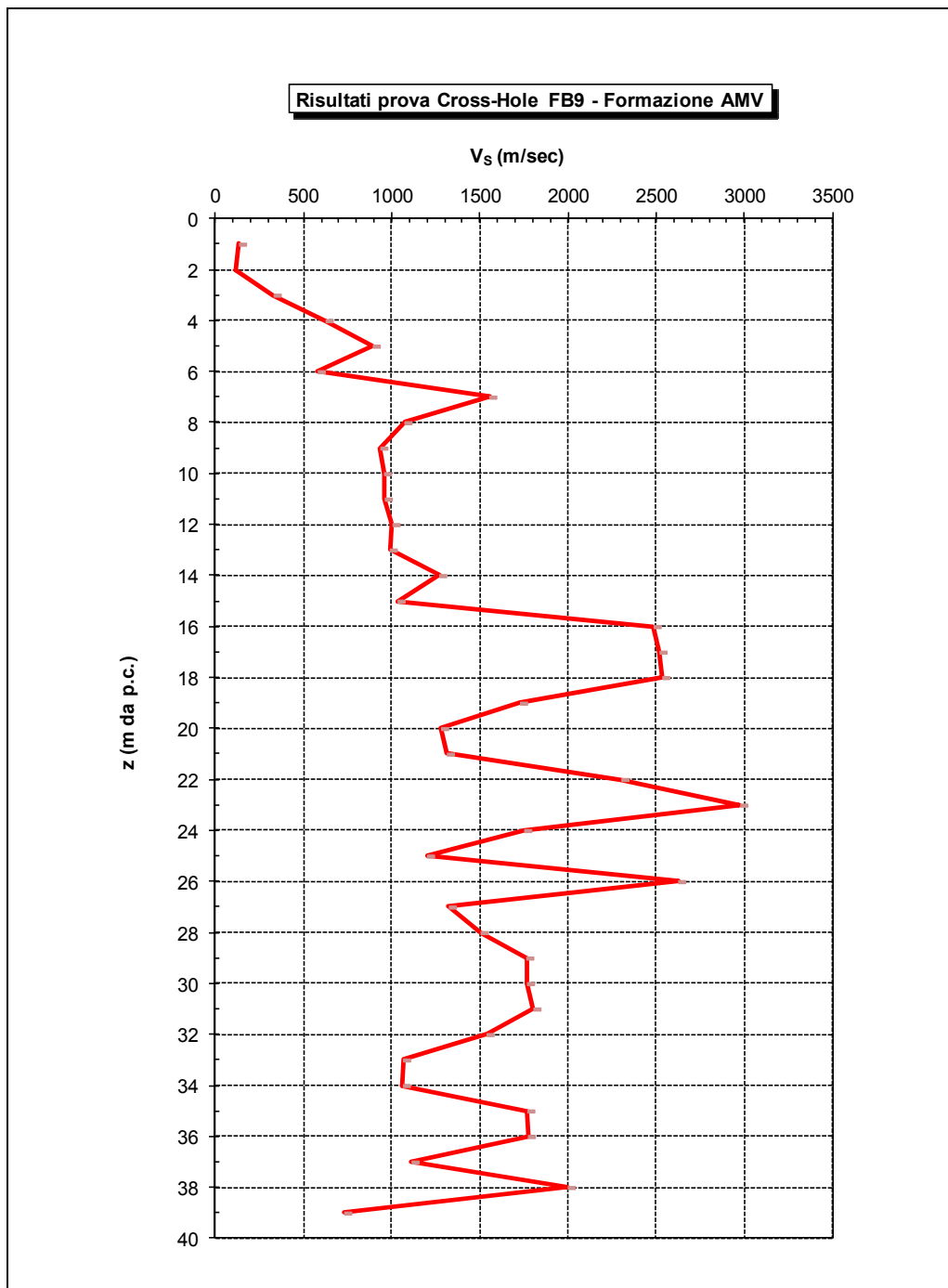


Figura 4.3 - Prova Cross-Hole FB9 - Andamento con profondità della V_s

I valori di $V_{s,30}$ risultano rispettivamente:

Cross-Hole FB1 $V_{s,30} = 1210$ m/s

Cross-Hole FB9 $V_{s,30} = 915$ m/s

Nei diagrammi seguenti sono riportate a confronto anche le V_s ottenute dagli N_{SPT} misurati sulle coperture delle stesse formazioni.

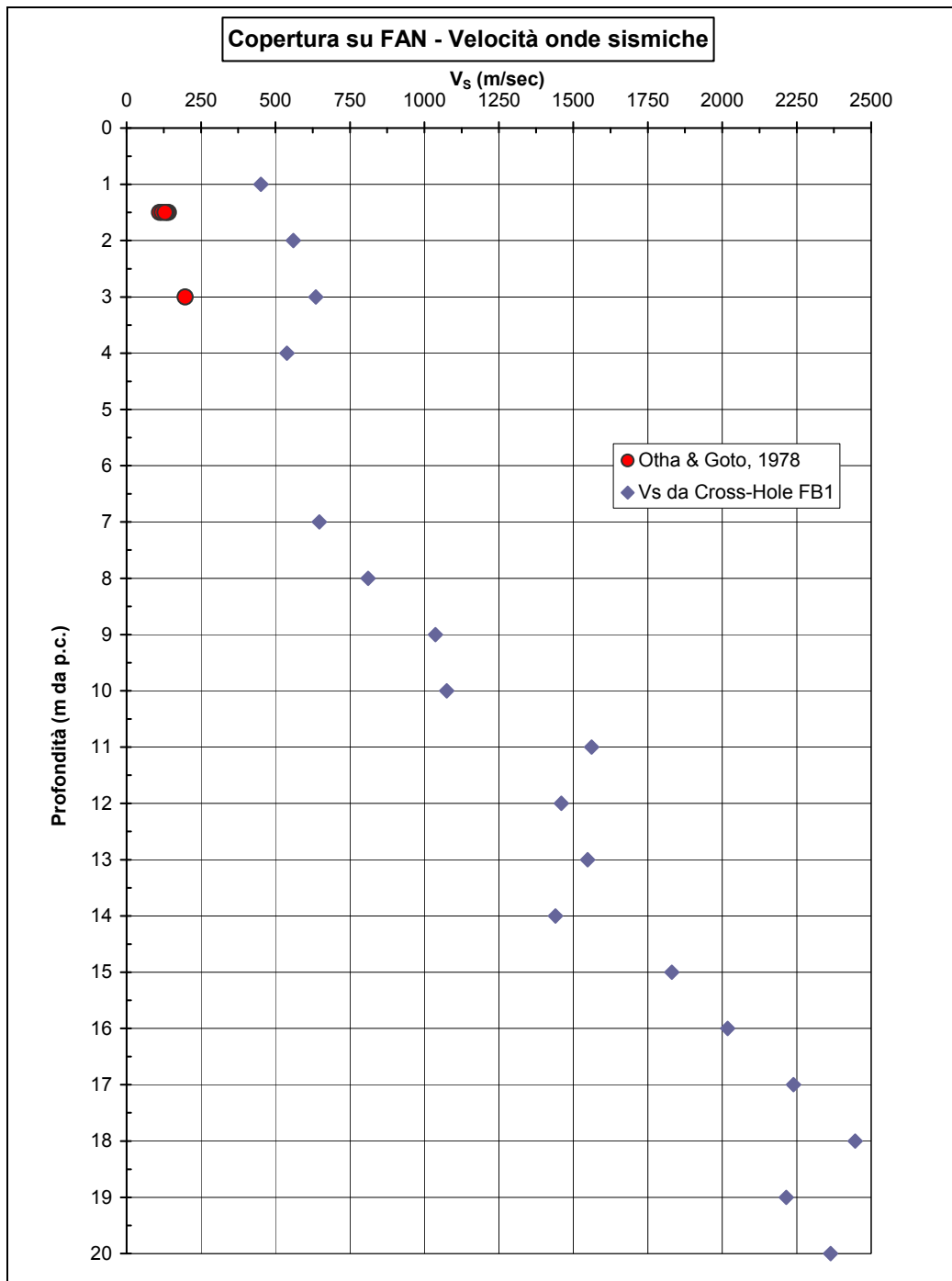


Figura 4.4 - Copertura su FAN - Velocità onde sismiche da N_{SPT}

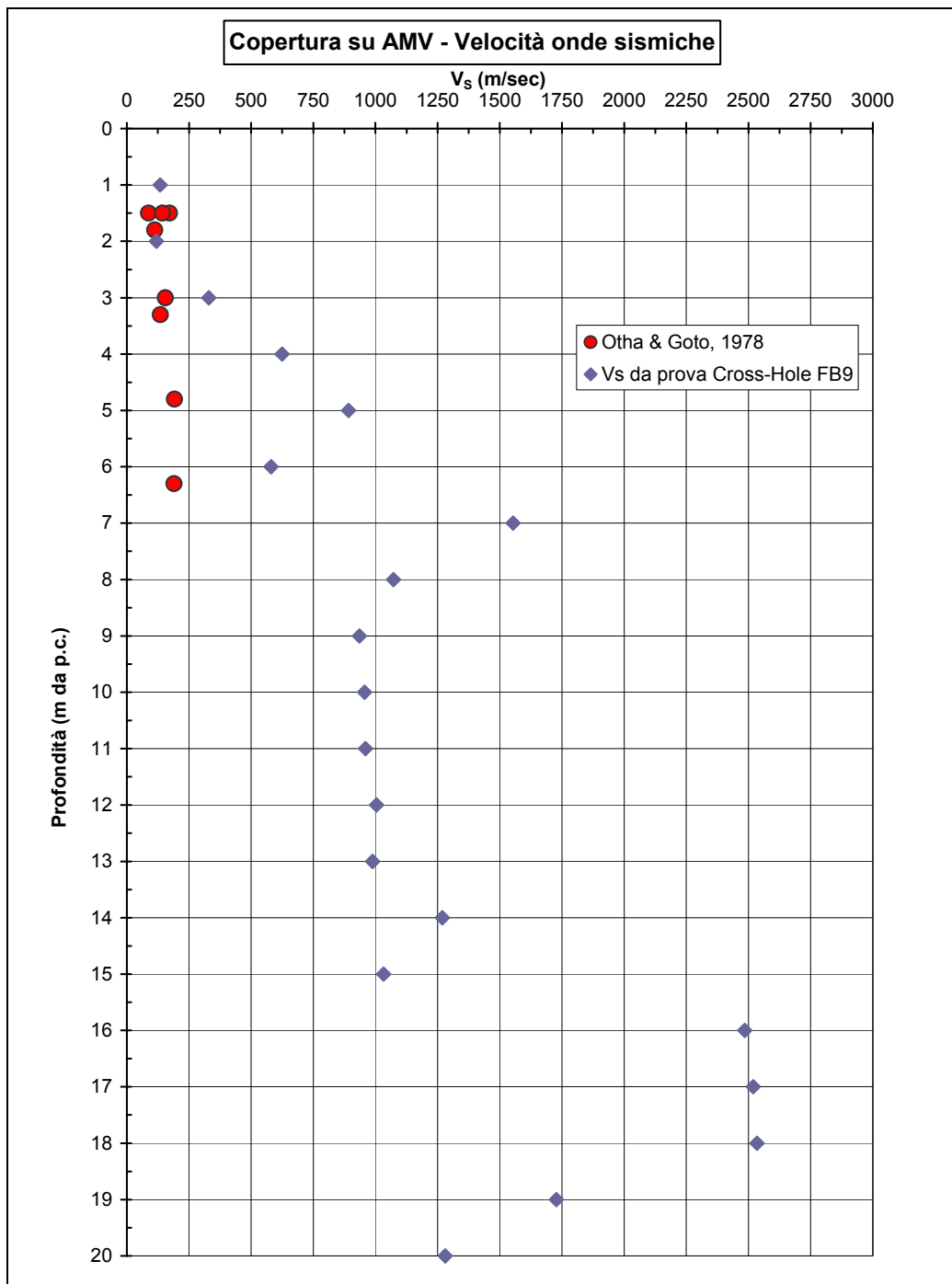


Figura 4.5 - Copertura su AMV - Velocità onde sismiche da N_{SPT}

Per l'ambito 2 la categoria di sottosuolo individuata è la categoria A in quanto, in accordo alla Tabella 3.2.II delle NTC2008, tale sito è caratterizzato da ammassi rocciosi affioranti o eventualmente comprendenti uno strato di alterazione con spessore minore di 3 m.

Per gli altri ambiti (1, 3 e 4) è stata associata una categoria di suolo generalmente pari a E in quanto, in accordo alla Tabella 3.2.II delle NTC2008, essi sono caratterizzati da spessori di materiale sciolto localmente più elevati, seppure sempre non superiori a 20 m, impostati su substrato caratterizzato da valori della V_s non inferiori a 800 m/s. Eventuali situazioni locali in queste zone, con categoria di suolo più favorevole, di tipo A, sono state prese in esame nei singoli progetti delle opere.

Per i vari “ambiti progettuali”, nella Tabella seguente si riportano pertanto le categorie di sottosuolo assunte:

| | Ambito 1 | Ambito 2 | Ambito 3 | Ambito 4 |
|------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|---|-------------------------------|
| | Svincolo A12 (Imbocco Rapallo) | Finestra di Arbocò | Stazione di Valfontanabuona Rotatoria Aveno | Raccordo viabilità S.P.225 |
| Categoria di Sottosuolo | A / E | A | A / E | A / E |

Tabella 4.6 - Definizione Categoria di Sottosuolo (*)

Per la categoria di sottosuolo **A**, l'azione sismica su suolo rigido a_g [g] coincide con il valore a_{max} [g], essendo assente ogni tipo di amplificazione.

Per la categoria di sottosuolo **E**, il coefficiente S_s si ottiene dall'espressione seguente (vedi Tabella 3.2.V del par. 3.2.3 delle NTC2008):

$$S_s = 1.00 \leq 2.00 - 1.1 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1.60$$

4.5.2 Determinazione del fattore di amplificazione topografica

Il fattore di amplificazione topografica andrà valutato di volta in volta in funzione della pendenza del piano campagna in corrispondenza delle opere in progetto, tenendo conto delle indicazioni riportate nella Tabella 3.2.IV al par.3.2.2. delle NTC2008.

L'amplificazione dell'azione sismica viene determinata, secondo le NTC2008, attraverso l'impiego di un fattore di sito S funzione sia della categoria di sottosuolo (S_s) sopra determinata, sia dell'andamento della superficie topografica (S_T):

$$S = S_s \cdot S_T.$$

A titolo di esempio, tenendo conto della categoria di suolo A per l'ambito 2 e della E per gli ambiti 1, 3 e 4, e del coefficiente S_T pari a 1.2, assegnato per siti con categoria topografica T2 (in funzione dell'inclinazione media del pendio nell'intorno dell'opera superiore a 15°), nella Tabella seguente si riportano i valori di accelerazione massima attesa al sito nei diversi siti, per lo stato limite oggetto di verifica:

| AMBITO | STATO LIMITE | T_R | a_{max} |
|--------|--------------|--------|-----------|
| | | [anni] | [g] |
| 1 | SLV | 949 | 0.2074 |
| 2 | SLV | 949 | 0.1344 |
| 3 | SLV | 949 | 0.2227 |
| 4 | SLV | 949 | 0.2285 |

Tabella 4.7 - Valori di accelerazione massima attesa al suolo

Nei singoli progetti saranno poi riportati eventuali valori di accelerazione massima diversi dai precedenti, in funzione delle condizioni locali.

4.6 Stabilità nei confronti della liquefazione

Date le caratteristiche dei terreni sciolti presenti, di tipo detritico oppure di coltre e alterazione del substrato roccioso, essi non ricadono nell'ambito di quelli suscettibili a liquefazione (Par.7.11.3.4.2 del Doc. Rif. [23]). Infatti i primi sono principalmente localizzati nelle zone di riporto antropico e quindi posti al di sopra dei possibili livelli di falda. I secondi, di origine eluvio-colluviale presentano sempre una frazione non trascurabile di materiale fine.

4.7 Verifiche di stabilità globale

Come descritto nell'esempio di calcolo riportato al Par. C7.11.4 del Doc. Rif. [24], la verifica di stabilità globale va condotta mediante il metodo di analisi definito al Par. 7.11.3.5 del Doc. Rif. [23], inerente alla stabilità dei pendii.

Sulla base di quanto definito al Par.7.11.3.5.2 del Doc. Rif. [23], i coefficienti sismici k_h (orizzontale) e k_v (verticale) sono definiti come:

$$k_h = \beta_s \cdot a_{max}$$

$$k_v = \pm k_h / 2$$

essendo:

β_s = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito = 0.24 (Tabella 4.8):

| | Categoria di sottosuolo | |
|-----------------------|-------------------------|-----------|
| | A | B,C,D,E |
| | β_s | β_s |
| $0.2 < a_g (g) < 0.4$ | 0.30 | 0.28 |
| $0.1 < a_g (g) < 0.2$ | 0.27 | 0.24 |
| $a_g (g) < 0.1$ | 0.20 | 0.20 |

Tabella 4.8 - Coefficiente β_s

La verifica di stabilità globale costituisce una verifica di Salvaguardia della Vita (SLV), pertanto i coefficienti sismici riportati nella Tabella seguente sono relativi ad un evento con tempo di ritorno pari a 949 anni (valori sempre riferiti alle condizioni stratigrafiche e topografiche tipo già descritte).

Si ottiene:

| AMBITO | STATO LIMITE | T_R | k_h | k_v |
|--------|--------------|--------|--------|--------------|
| | | [anni] | [g] | [g] |
| 1 | SLV | 949 | 0.0498 | ± 0.0249 |
| 2 | SLV | 949 | 0.0363 | ± 0.0181 |
| 3 | SLV | 949 | 0.0535 | ± 0.0267 |
| 4 | SLV | 949 | 0.0548 | ± 0.0274 |

Tabella 4.9 - Valori dell'accelerazione equivalente di progetto k_h per le verifiche di stabilità globale

4.8 Verifiche di stabilità delle opere

Per la definizione dell'azione sismica di progetto da utilizzare nelle verifiche di stabilità delle singole opere, dovrà essere fatto espresso riferimento al par. 7 delle N.T.C. 2008, in funzione della tipologia delle opere stesse e delle analisi da svolgere.

5. INDAGINI GEOTECNICHE DISPONIBILI

5.1 Introduzione

I dati stratigrafici e geotecnici riportati nella presente relazione sono stati elaborati sulla base dei risultati delle campagne di indagine svolte nel 2011 per il Progetto Preliminare e nel 2013 per il Progetto Definitivo.

In particolare, la caratterizzazione stratigrafica e la parametrizzazione geotecnica/geomeccanica in corrispondenza delle opere all'aperto in progetto è stata derivata dall'insieme delle indagini e dei rilievi significativi disponibili per ciascuna zona di riferimento (sondaggi, stendimenti geofisici, rilievi geomeccanici e relative elaborazioni, prove in sito e prove di laboratorio).

L'ubicazioni delle indagini geognostiche sono riportate in dettaglio negli elaborati allegati in scala 1:5000 (GEO 008-GEO 009).

5.2 Indagini 2011

La campagna di indagine 2011 consiste nell'esecuzione di 11 sondaggi geognostici. Le prove in sito eseguite consistono in prove penetrometriche SPT, prove dilatometriche e di permeabilità sia in terra (Prove Lefranc) che in roccia (Prove Lugeon). Nei fori di sondaggio sono stati poi installati SPT piezometri a tubo aperto o inclinometri. La campagna di indagine ha inoltre previsto prove di laboratorio su campioni di terra e roccia.

Nell'ambito della campagna di indagini 2011 sono state eseguite anche n° 10 stendimenti geofisici a rifrazione tomografica. La finalità di questi ultimi è stata di acquisire sia i valori di V_p sia di V_s e determinare, in maniera qualitativa, l'andamento degli spessori di copertura e di alterazione sul substrato in corrispondenza delle varie zone.

Nella seguente Tabella sono riportate le principali caratteristiche dei sondaggi eseguiti.

| SONDAGGI TERRA 2011 | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|--|-----|------------|------------|-----------|--------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Sigla | Tipo | LAB | Quota | Profondità | Prove SPT | Prove Lugéon | Prove Lefranc | Prove Pressiom. | Prove Dilatom. | Strumentazione | Campioni indisturb. | Campioni rimanegg. | Campioni ambientali |
| | | | (m s.l.m.) | (m) | (n°) | (n°) | (n°) | (n°) | (n°) | | (n°) | (n°) | (n°) |
| FB1 | sondaggio a carotaggio continuo | | 146,639 | 40,00 | 1 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 9 | |
| FB6 | sondaggio a carotaggio continuo | | 208,155 | 55,00 | 2 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 10 | |
| FB17 | sondaggio a carotaggio continuo | | 120,567 | 35,00 | 6 | | 1 | | | piezometro t.a. | | 11 | |
| SV2 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 108,179 | 35,00 | 10 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 14 | |
| SV4 | sondaggio a carotaggio continuo | | 104,438 | 40,00 | 1 | 1 | | | | piezometro t.a. | | 9 | |
| SV5 | sondaggio a carotaggio continuo | | 130,399 | 40,00 | - | 1 | | | | piezometro t.a. | | 8 | |
| SONDAGGI RCT 2011 | | | | | | | | | | | | | |
| Sigla | Tipo | LAB | Quota | Profondità | Prove SPT | Prove Lugéon | Prove Lefranc | Prove Pressiom. | Prove Dilatom. | Strumentazione | Campioni indisturb. | Campioni rimanegg. | Campioni ambientali |
| | | | (m s.l.m.) | (m) | (n°) | (n°) | (n°) | (n°) | (n°) | | (n°) | (n°) | (n°) |
| FB7 | sondaggio a carotaggio continuo orizz. | | 329,010 | 150,50 | | 2 | | | 1 | piezometro t.a. | | 24+CA-FB7 | |
| FB9 | sondaggio a carotaggio continuo | | 202,070 | 40,00 | | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 11+CA-FB9 | |
| FB10 | sondaggio a carotaggio continuo | | 178,480 | 71,00 | 1 | 2 | | | 1 | piezometro t.a. | | 17+CA-FB10 | |
| FB15 | sondaggio a carotaggio continuo | | 164,080 | 30,00 | 2 | 1 | | | 1 | inclinometro | | 9+CA-FB15 | |
| FB16 | sondaggio a carotaggio continuo | | 261,930 | 75,00 | 7 | 1 | | | | inclinometro | | 20 | |

Tabella 5.1 – Campagna di indagini 2011

I campioni di roccia prelevati, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio:

- velocità di propagazione delle onde di compressione;
- compressione monoassiale con misura anche delle deformazioni e quindi dei moduli di deformazione;
- prove triassiali;
- prove di taglio per la valutazione dei parametri di resistenza di picco e residui;
- resistenza a trazione (brasiliiana);
- Point Load Test.

Sono stati inoltre eseguiti n. 10 Rilievi Geomeccanici per le valutazioni dello stato degli ammassi rocciosi in corrispondenza di affioramenti significativi. Gli affioramenti rocciosi prescelti sono statisticamente rappresentativi delle condizioni geomeccaniche che interessano le opere di progetto e per ciascuno di essi sono state determinate:

- le orientazioni delle famiglie di discontinuità;
- le caratteristiche fondamentali di ciascuna famiglia (spaziatura, persistenza, apertura, alterazione, JCS, JRC) e la loro variabilità;
- le classi di appartenenza degli affioramenti rocciosi, con riferimento alle principali classificazioni geomeccaniche (RMR, GSI, Q);
- i parametri fondamentali d'ammasso riferiti al singolo affioramento attraverso le formule di correlazione di letteratura (m_b , s , σ_{cm} , E , c , ϕ);
- la variabilità indotta nei parametri d'ammasso dalla variabilità naturale dei dati d'ingresso (simulazione statistica tipo Monte Carlo).

Per il dettaglio dei rilievi geomeccanici si rimanda alla Relazione Geologica (Doc. Rif. [10]) ed alle relative schede di rilievo, nonché alle elaborazioni grafiche ed alle relative classificazioni. Nell'Allegato A sono riportate alcune Figure significative, ad es. planimetrie di ubicazione, fotografie ecc. ...

5.3 Indagini 2013

Nell'ambito del Progetto Definitivo è stata eseguita, nei mesi da aprile ad agosto, un'ulteriore campagna di indagini geognostiche.

Tale campagna è stata eseguita nei mesi da aprile a agosto 2013 ed ha compreso le seguenti attività:

sondaggi a carotaggio continuo e a distruzione di nucleo (per un totale di 945 m), in corrispondenza degli imbocchi o di opere all'aperto, con realizzazione di indagini e prove geotecniche - geomeccaniche in sito. Nel corso dei sondaggi sono state eseguite prove SPT, prove dilatometriche e pressiometriche, prove di permeabilità Lefranc e Lugeon, rilievo geomeccanico delle carote, prelievo ed analisi dei fluidi di perforazione. Nei fori di sondaggio sono stati poi installati piezometri a tubo aperto o tubi PVC per esecuzione di Cross Hole.

Nella seguente Tabella sono riportate le principali caratteristiche dei sondaggi eseguiti.

| SONDAGGI TERRA 2013 | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------|--|-----|------------|------------|-----------|--------------|---------------|-----------------|----------------|----------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| Sigla | Tipo | LAB | Quota | Profondità | Prove SPT | Prove Lugéon | Prove Lefranc | Prove Pressiom. | Prove Dilatom. | Strumentazione | Campioni indisturb. | Campioni rimanegg. | Campioni ambientali |
| | | | (m s.l.m.) | (m) | (n°) | (n°) | (n°) | (n°) | (n°) | | (n°) | (n°) | (n°) |
| FB1bis | sondaggio a distruzione | | 146,900 | 40,00 | | | | | | tubo pvc CROSS-HOLE + INCL | | | |
| FB1ter | sondaggio a distruzione | | 147,368 | 40,00 | | | | | | tubo pvc CROSS-HOLE + INCL | | | |
| FB3 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 181,357 | 45,00 | | 1 | | | 1 | t.a. | | 9 | 3 |
| FB4 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 150,496 | 40,00 | 1 | 1 | | | 1 | t.a. | | 8 | 2 |
| FB5 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 159,011 | 40,00 | | 1 | | | 1 | t.a. | | 8 | 3 |
| FB11 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 182,614 | 30,00 | 1 | 1 | | | 1 | t.a. | | 9 | 3 |
| FB12 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 185,840 | 30,00 | 2 | 1 | | | 1 | t.a. | | 9 | 3 |
| SV1 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 114,873 | 35,00 | 8 | 1 | | | 1 | t.a. | | 11 | 3 |
| SV3 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 109,616 | 35,00 | 1 | 1 | | | 1 | t.a. | | 8 | 3 |
| SV6 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 76,173 | 35,00 | 1 | 1 | | | 1 | t.a. | | 7 | 3 |
| SV7 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 52,347 | 35,00 | 1 | 1 | | | 1 | t.a. | | 7 | 3 |
| SONDAGGI VICENZETTO 2013 | | | | | | | | | | | | | |
| Sigla | Tipo | LAB | Quota | Profondità | Prove SPT | Prove Lugéon | Prove Lefranc | Prove Pressiom. | Prove Dilatom. | Strumentazione | Campioni indisturb. | Campioni rimanegg. | Campioni ambientali |
| | | | (m s.l.m.) | (m) | (n°) | (n°) | (n°) | (n°) | (n°) | | (n°) | (n°) | (n°) |
| FB14 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 194,092 | 30,00 | 4 | 1 | | 1 | 1 | piezometro t.a. | | 7 | 3 |
| FB18 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 122,141 | 35,00 | 1 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 9 | 3 |
| FB20 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 199,287 | 20,00 | 4 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 7 | 3 |
| FB21 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 115,795 | 25,00 | 2 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 7 | 3 |
| FB9quater | sondaggio a carotaggio continuo orizz. | X | 195,840 | 350,00 | | 5 | | | | | | 71 | 5 |
| FB9bis | sondaggio a distruzione | | 195,658 | 40,00 | | | | | | tubo pvc CROSS-HOLE | | | |
| FB9ter | sondaggio a distruzione | | 195,533 | 40,00 | | | | | | tubo pvc CROSS-HOLE | | | |

Tabella 5.2 – Campagna di indagini 2013

Sono state inoltre eseguite n° 17 stese geofisiche per un totale di circa 6580 m lineari indagati (V_p + V_s).

Sui campioni prelevati dai sondaggi, sono state realizzate delle prove per definire le caratteristiche meccaniche dei materiali. Per i campioni di terreno sono state eseguite prove di identificazione (limiti di consistenza e granulometrie; sui campioni lapidei sono state eseguite prove per la determinazione dei parametri fisici, V_p e V_s , ricostruzione della curva di involuppo secondo Hoek e Brown, prove di taglio su giunto e prove diffrattometriche per accertare la presenza di minerali rigonfianti (argille).

6. LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI ED IDROGEOLOGICI

Per quanto riguarda questi aspetti, si fa interamente rimando ai seguenti documenti allegati al presente Progetto: Doc. Rif. [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [20] e [21].

7. CONDIZIONI STRATIGRAFICHE E DI FALDA

7.1 Svincolo sull'A12

Le indicazioni fornite nel presente paragrafo sono desumibili dai profili geotecnici / geomeccanici cui si fa rimando per maggiori dettagli.

I sondaggi di riferimento, sono riportati nella Tabelle seguente:

| ZONA | SONDAGGI | CAMPAGNA |
|--|---------------|---------------|
| SVINCOLO DI VALFONTANABUONA SULLA A12 | SV2 | campagna 2011 |
| | SV4 | campagna 2011 |
| | SV5 | campagna 2011 |
| | FB1 | campagna 2011 |
| | FB1bis-FB1ter | campagna 2013 |
| | SV1 | campagna 2013 |
| | SV3 | campagna 2013 |
| | SV6 | campagna 2013 |
| | SV7 | campagna 2013 |

Tabella 7.1 - Svincolo sulla A12 - Sondaggi

Le altre indagini di riferimento per questo sito sono le seguenti:

| ZONA | STENDIMENTI GEOFISICI | TIPO |
|---|-----------------------|-----------------------------|
| SVINCOLO DI VALFONTANABUONA SULLA A12 | SS5-1 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS5-2 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS6-1 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS6-2 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS7 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS8 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | s1 | geofisica a rifrazione 2011 |
| | s2 | geofisica a rifrazione 2011 |
| | s5a | geofisica a rifrazione 2011 |
| | s5b | geofisica a rifrazione 2011 |
| | s6 | geofisica a rifrazione 2011 |

Tabella 7.2 - Svincolo sulla A12 - Indagini geofisiche

| ZONA | RILIEVI GEOMECCANICI (2011) |
|---------------------------------------|--------------------------------|
| SVINCOLO DI VALFONTANABUONA SULLA A12 | RG10 |
| GALLERIA CARAVAGGIO - IMBOCCO SUD | RG6 |

Tabella 7.3 - Svincolo sulla A12 - Rilievi geomeccanici

Sulla base delle evidenze delle indagini elencate, per quanto riguarda il substrato, la zona dello Svincolo sull'A12 è interessata dalla formazione FAN (Monte Antola).

Relativamente alla copertura, la maggior parte dei sondaggi presenti sono caratterizzati dalla coltre di origine eluvio / colluviale impostata su FAN, ad eccezione di alcune verticali che hanno segnalato la presenza di materiale di riporto, essendo impostate sul rilevato ove è ubicato lo svincolo esistente (cfr. la posizione delle verticali nella planimetria della Figura seguente), in dettaglio:

Sondaggio FB1 copertura su FAN

Sondaggio SV1 terreno di riporto

Sondaggio SV2 terreno di riporto

Sondaggio SV3 copertura su FAN

Sondaggio SV4 copertura su FAN

Sondaggio SV5 copertura su FAN

Sondaggio SV6 copertura su FAN

Sondaggio SV7 copertura su FAN

Nella planimetria riportata nella Figura seguente è riportata l'ubicazione di tutte queste indagini:

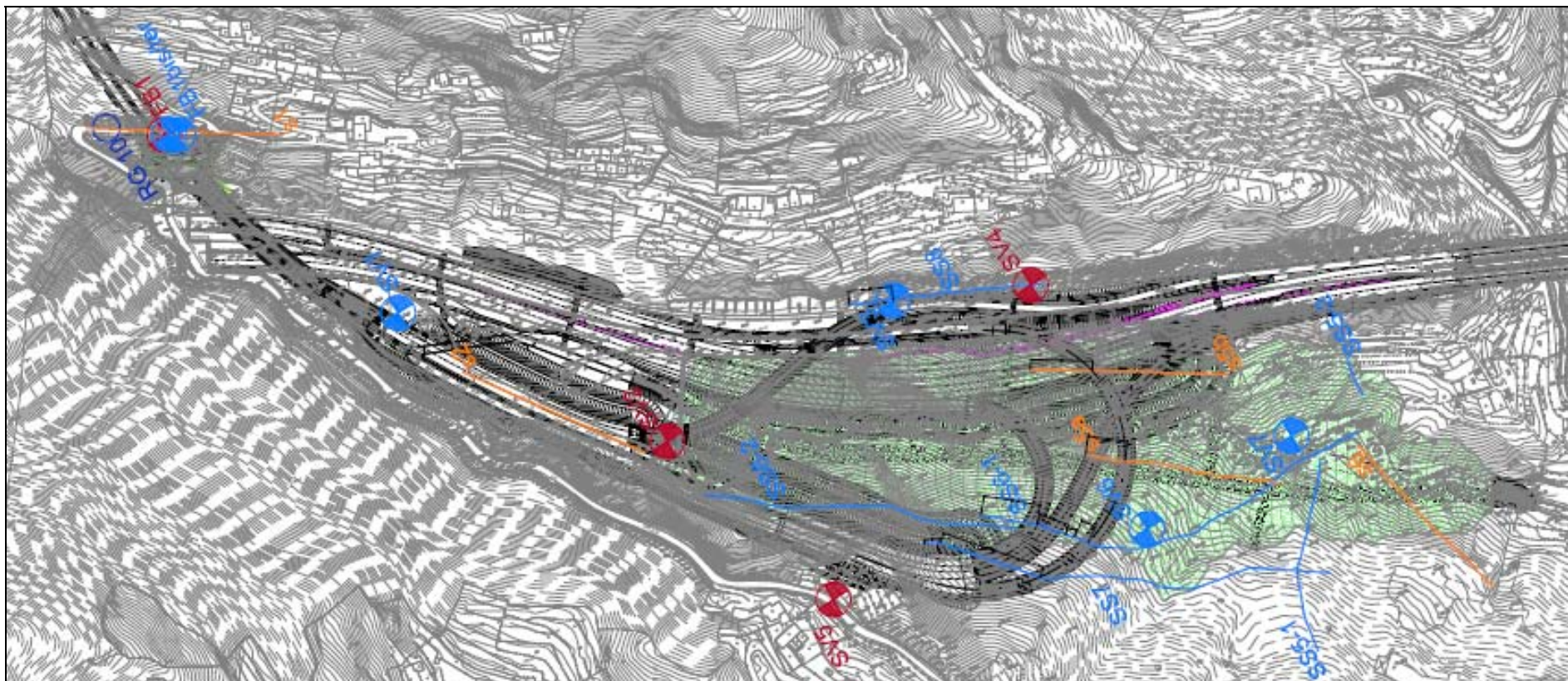


Figura 7.1 - Svincolo sulla A12 - Planimetria di ubicazione delle indagini

Gli spessori del riporto evidenziati dai sondaggi sono pari a circa 12.0 m nel foro SV1 ed arrivano fino a 19.0 m (SV2).

Lo spessore della coltre risulta variabile da un minimo di 1.0 m (SV5) ad un massimo di 3.0 m (SV3, SV4, SV6 e SV7), mentre è pari a 2.0 m nel sondaggio FB1.

Le condizioni stratigrafiche estrapolabili dai risultati dei rilievi geofisici confermano di massima quanto evidenziato dalle stratigrafie dei sondaggi. Le evidenze dei risultati ottenuti da questi rilievi sono contenute nei Profili Geotecnici allegati al seguente Progetto (cfr. i documenti di riferimento (APE 0001÷APE 0007)).

7.2 Finestra di Arboccò

Le indicazioni fornite nel presente paragrafo sono desumibili dai profili geotecnici / geomeccanici cui si fa rimando per maggiori dettagli.

I sondaggi di riferimento sono riportati nella Tabella seguente:

| ZONA | SONDAGGI | CAMPAGNA |
|----------------------|----------|---------------|
| FINESTRA DI ARBOCCO' | FB6 | campagna 2011 |
| | FB3 | campagna 2013 |
| | FB4 | campagna 2013 |
| | FB5 | campagna 2013 |

Tabella 7.4 - Finestra di Arboccò - Sondaggi

Le altre indagini di riferimento per questo sito sono le seguenti:

| ZONA | STENDIMENTI GEOFISICI | TIPO |
|----------------------|-----------------------|-----------------------------|
| FINESTRA DI ARBOCCO' | SS9 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS10-1 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS10-2 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS10-3 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS12 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS13 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | s7 | geofisica a rifrazione 2011 |

Tabella 7.5 - Finestra di Arboccò - Indagini geofisiche

| ZONA | RILIEVI GEOMECCANICI (2011) |
|----------------------|--------------------------------|
| FINESTRA DI ARBOCCO' | RG8 |
| | RG9 |

Tabella 7.6 - Finestra di Arboccò - Rilievi geomeccanici

Nella planimetria riportata nella Figura seguente è riportata l'ubicazione di tutte queste indagini:

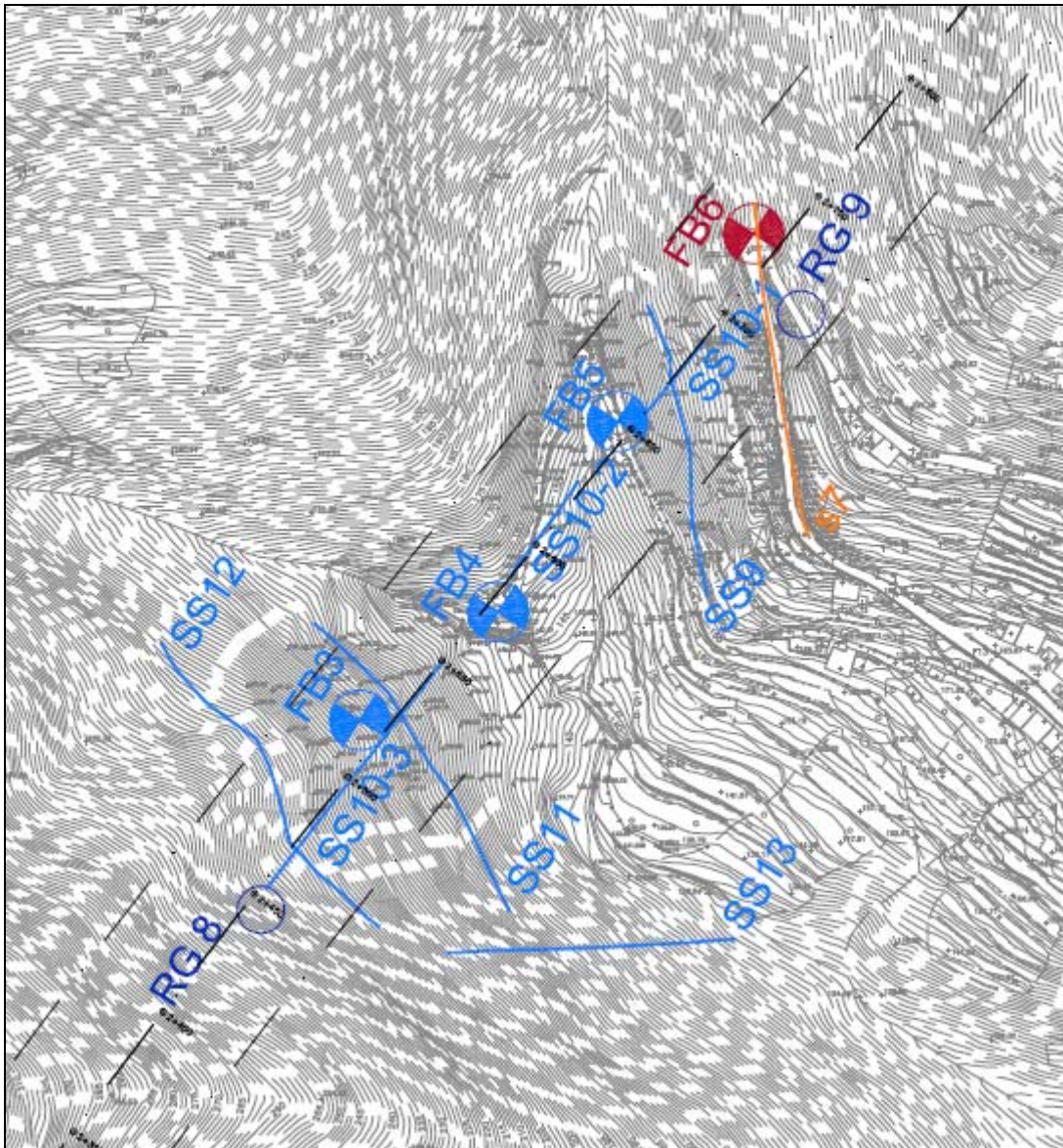


Figura 7.2 - Finestra di Arbocò - Planimetria di ubicazione delle indagini

Il substrato presente è costituito dalla formazione FAN (Monte Antola).

Relativamente alla copertura, tutti i sondaggi presenti sono caratterizzati dalla coltre di origine eluvio / colluviale impostata su FAN.

Lo spessore della coltre rilevato nei sondaggi eseguiti risulta variabile da un minimo di 1.0 m ad un massimo di 3.0 m , in dettaglio:

FB3 1.0 m

FB4 3.0 m

FB5 1.0 m

FB6 3.0 m

Le condizioni stratigrafiche estrapolabili dai risultati dei rilievi geofisici confermano di massima quanto evidenziato dalle stratigrafie dei sondaggi, come segue:

Le condizioni stratigrafiche estrapolabili dai risultati dei rilievi geofisici confermano di massima quanto evidenziato dalle stratigrafie dei sondaggi. Le evidenze dei risultati ottenuti da questi rilievi sono contenute nei Profili Geotecnici allegati al seguente Progetto (cfr. i documenti di riferimento (APE 0001÷APE 0007)).

Per quanto riguarda l'andamento della superficie freatica, occorre fare riferimento ai risultati delle letture dei piezometri riportati nella Tabella seguente.

Nei Profili Geotecnici, i livelli freatici riportati sulle colonnine fanno riferimento ai valori di soggiacenza minima registrati ai piezometri nel corso del periodo 2011-2014. L'andamento della falda riportata sul profilo, correlando dati misurati in tempi diversi, ha un significato puramente ingegneristico, finalizzato al dimensionamento delle opere.

7.3 Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno

Le indicazioni fornite nel presente paragrafo sono desumibili dai profili geotecnici / geomeccanici cui si fa rimando per maggiori dettagli.

I sondaggi di riferimento sono riportati nella Tabelle seguente:

| ZONA | SONDAGGI | CAMPAGNA |
|--|-----------|---------------|
| STAZIONE VALFONTANABUONA E ROTATORIA DI AVENO | FB9 | campagna 2011 |
| | FB10 | campagna 2011 |
| | FB9bis | campagna 2013 |
| | FB9ter | campagna 2013 |
| | FB9quater | campagna 2013 |
| | FB11 | campagna 2013 |
| | FB12 | campagna 2013 |
| | FB14 | campagna 2013 |
| | FB20 | campagna 2013 |

Tabella 7.7 - Stazione Valfontanabuona e Rotatoria di Aveno - Sondaggi

Le altre indagini di riferimento per questo sito sono le seguenti:

| ZONA | STENDIMENTI GEOFISICI | TIPO |
|---|-----------------------|-----------------------------|
| STAZIONE VALFONTANABUONA E ROTATORIA DI AVENO | 2 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | 3 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS1-1 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS1-2 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS1-3 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS2-1 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS2-2 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS3-1 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS3-2 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | SS4 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | s10a | geofisica a rifrazione 2011 |
| | s10b | geofisica a rifrazione 2011 |
| | s11 | geofisica a rifrazione 2011 |

Tabella 7.8 - Stazione Valfontanabuona e Rotatoria di Aveno - Indagini geofisiche

| ZONA | RILIEVI GEOMECCANICI (2011) |
|--|--------------------------------|
| STAZIONE VALFONTANABUONA E ROTATORIA DI AVENO | RG3 |

Tabella 7.9 - Stazione Valfontanabuona e Rotatoria di Aveno - Rilievi geomeccanici

Nelle planimetrie riportate nelle Figure seguenti è riportata l'ubicazione di tutte queste indagini:

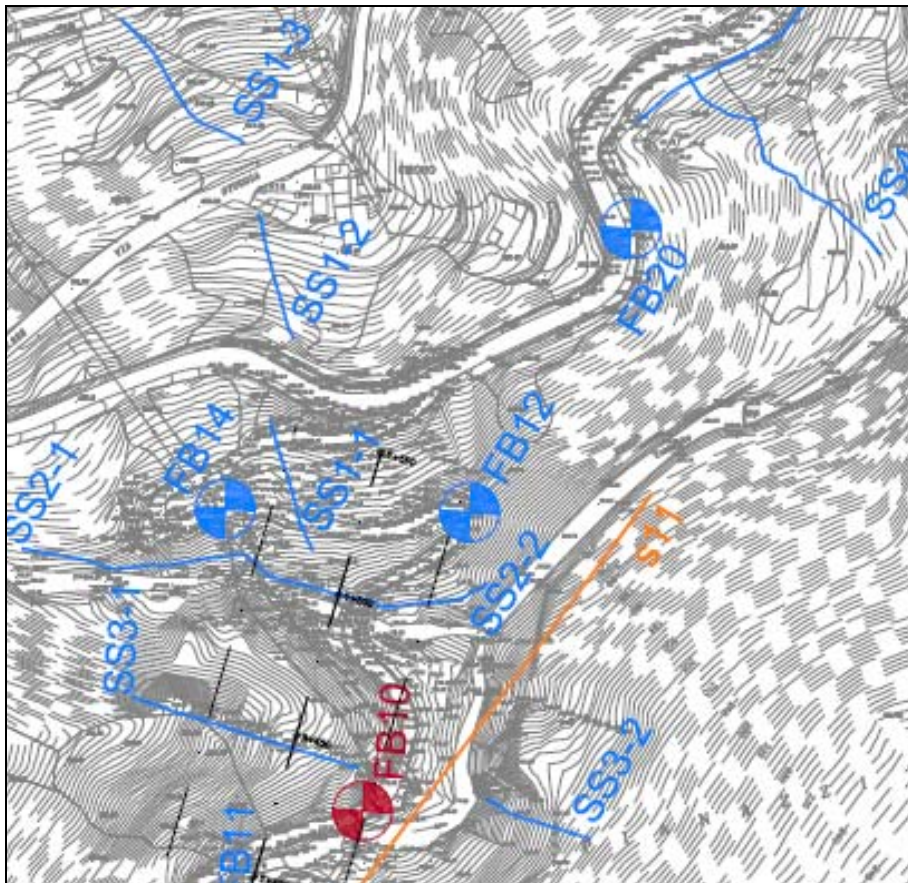


Figura 7.3 - Stazione di Fontanabuona e Rotatoria di Aveno - Planimetria di ubicazione delle indagini – Tavola 1

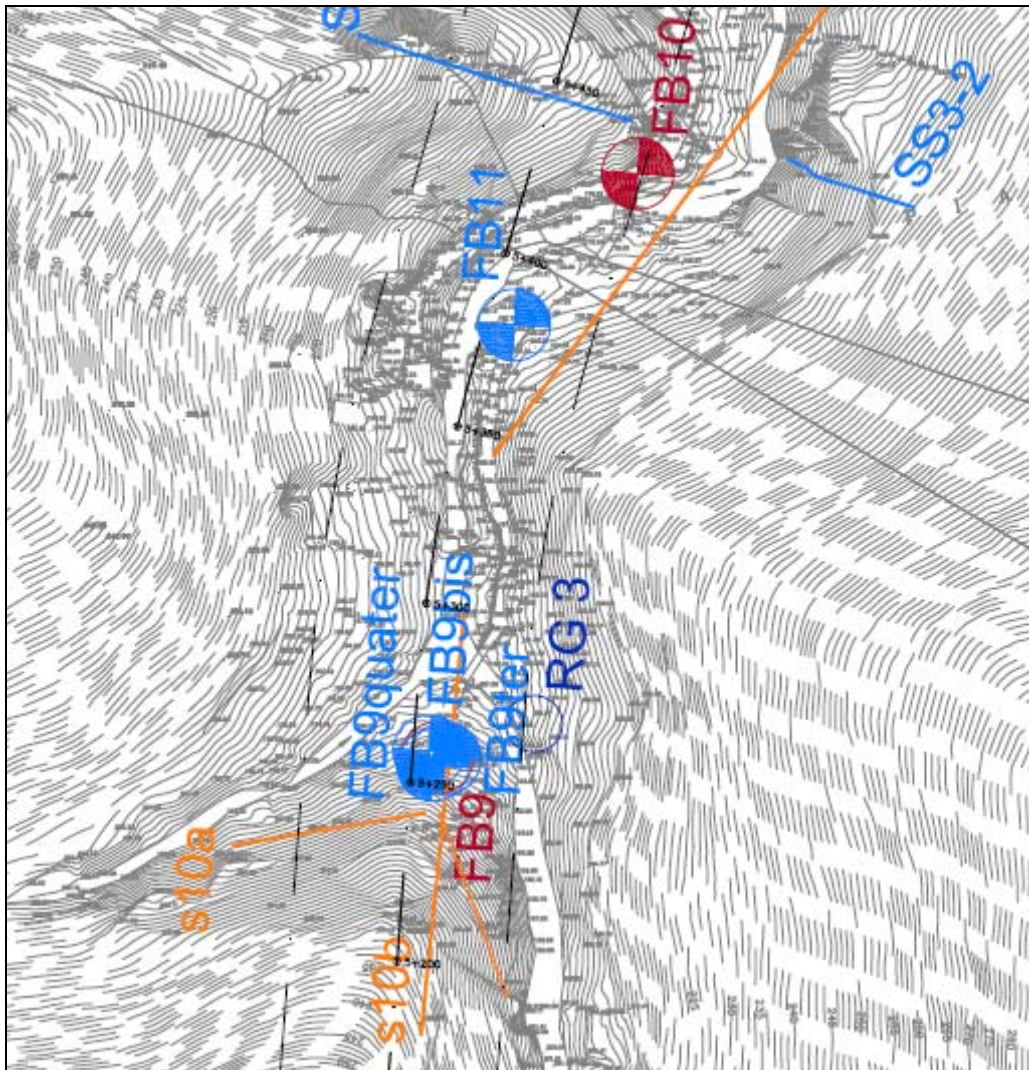


Figura 7.4 - Stazione di Fontanabuona e Rotatoria di Aveno - Planimetria di ubicazione delle indagini – Tavola 2

Il substrato presente è costituito dalla formazione AMV (Ardesie di Monte Veneri) e marginalmente dalla formazione degli Scisti Manganesiferi (SCM): in particolare in tutti i sondaggi eseguiti è presente l'AMV, ad eccezione del sondaggio FB20, in cui sotto la coltre sono presenti gli scisti. Anche il sondaggio FB12 intercetta la formazione SCM, ma soltanto nell'ultimo metro (tra 29 e 30 m di profondità), mentre a profondità inferiori è presente l'AMV.

Relativamente alla copertura, sono stati rilevati spessori variabili da 1.0 a 4.0 m, ad eccezione dei sondaggi in cui sono stati incontrati gli scisti, dove la coltre ha uno spessore maggiore, in dettaglio:

| | | |
|-----------|--|--------------------|
| FB9 | 1.0 m | (copertura su AMV) |
| FB10 | 2.0 m | (copertura su AMV) |
| FB9quater | assenza di copertura (sondaggio orizzontale) | |
| FB11 | 3.0 m | (copertura su AMV) |
| FB12 | 4.0 m | (copertura su AMV) |
| FB14 | 6.0 m | (copertura su AMV) |
| FB20 | 7.0 m | (copertura su SCM) |

Le condizioni stratigrafiche estrapolabili dai risultati dei rilievi geofisici confermano di massima quanto evidenziato dalle stratigrafie dei sondaggi. Le evidenze dei risultati ottenuti da questi rilievi sono contenute nei Profili Geotecnici allegati al seguente Progetto (cfr. i documenti di riferimento (APE 0001÷APE 0007)).

Per quanto riguarda l'andamento della superficie freatica, occorre fare riferimento ai risultati delle letture dei piezometri riportati nella Tabella seguente.

Nei Profili Geotecnici, i livelli freatici riportati sulle colonnine fanno riferimento ai valori di soggiacenza minima registrati ai piezometri nel corso del periodo 2011-2014. L'andamento della falda riportata sul profilo, correlando dati misurati in tempi diversi, ha un significato puramente ingegneristico, finalizzato al dimensionamento delle opere.

7.4 Raccordo con S.P.225

Le indicazioni fornite nel presente paragrafo sono desumibili dai profili geotecnici / geomeccanici cui si fa rimando per maggiori dettagli.

I sondaggi di riferimento sono riportati nella Tabelle seguente:

| ZONA | SONDAGGI | CAMPAGNA |
|-----------------------------|----------|---------------|
| RACCORDO VIABILITA' S.P.225 | FB15 | campagna 2011 |
| | FB16 | campagna 2011 |
| | FB17 | campagna 2011 |
| | FB18 | campagna 2013 |
| | FB21 | campagna 2013 |

Tabella 7.10 - Raccordo viabilità S.P.225 - Sondaggi

Le altre indagini di riferimento per questo sito sono le seguenti:

| ZONA | STENDIMENTI GEOFISICI | TIPO |
|--------------------------------|-----------------------|-----------------------------|
| RACCORDO VIABILITA' S.P.225 | 1 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | 4 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | 5 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | 6 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | 7 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | 8 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | 9 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | 10 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | 11 | geofisica a rifrazione 2013 |
| | s12 | geofisica a rifrazione 2011 |

Tabella 7.11 - Raccordo viabilità S.P.225 - Indagini geofisiche

| ZONA | RILIEVI GEOMECCANICI (2011) |
|-----------------------------|--------------------------------|
| RACCORDO VIABILITA' S.P.225 | RG1 |
| | RG2 |

Tabella 7.12 - Raccordo viabilità S.P.225 - Rilievi geomeccanici

Nelle planimetrie riportate nelle Figure seguenti è riportata l'ubicazione di tutte queste indagini:

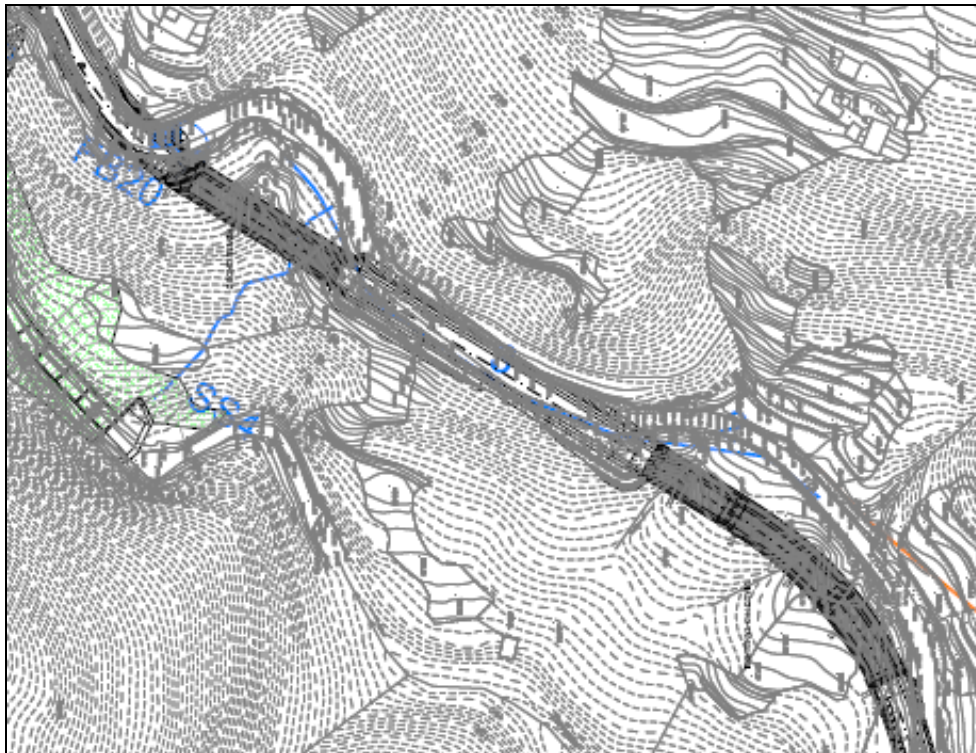


Figura 7.5 - Raccordo viabilità S.P.225 - Planimetria di ubicazione delle indagini - Tavola 1



Figura 7.6 - Raccordo viabilità S.P.225 - Planimetria di ubicazione delle indagini - Tavola 2



Figura 7.7 - Raccordo viabilità S.P.225 - Planimetria di ubicazione delle indagini - Tavola 3



Figura 7.8 - Raccordo viabilità S.P.225 - Planimetria di ubicazione delle indagini - Tavola 4

In questa parte del tracciato il substrato presente è la formazione SCM, che si presenta con una facies argillitica nel sondaggio FB21, localmente anche molto fessurata (breccia argillitica).

Per quanto riguarda la copertura, ad eccezione dei sondaggi FB17, FB18 e FB21, che ricadono nel materiale alluvionale del Torrente Lavagna, negli altri sondaggi è presente del materiale di coltre. Gli spessori del materiale al di sopra del substrato sono i seguenti:

| | |
|------|---------------------------|
| FB15 | 3.0 m (copertura su SCM) |
| FB16 | 17.0 m (copertura su SCM) |
| FB17 | circa 11.0 m (alluvione) |
| FB18 | 6.0 m (alluvione) |
| FB21 | 5.0 m (alluvione) |

Si segnala lo spessore elevato di coltre presente nel sondaggio FB16, posizionato esternamente al tracciato, in corrispondenza di un fenomeno di instabilità.

Le condizioni stratigrafiche estrapolabili dai risultati dei rilievi geofisici confermano di massima quanto evidenziato dalle stratigrafie dei sondaggi. Le evidenze dei risultati ottenuti da questi rilievi sono contenute nei Profili Geotecnici allegati al seguente Progetto (cfr. i documenti di riferimento (APE 0001÷APE 0007)).

7.5 Condizioni di falda

Le caratteristiche dei piezometri installati sono riportate nella seguente Tabella:

| SONDAGGI TERRA 2013 | | | | | |
|--------------------------|---------------------|------------|------------|-----------------------|------------------|
| Sigla | Tipo piezometro | Quota | Profondità | Profondità piezometro | Tratto fessurato |
| | | (m s.l.m.) | (m) | (m dal p.c.) | (m dal p.c.) |
| FB1bis | - | 146,900 | 40,00 | - | - |
| FB1ter | - | 147,368 | 40,00 | - | - |
| FB3 | tubo aperto | 181,357 | 45,00 | 45,00 | 3.0-45.0 |
| FB4 | tubo aperto | 150,496 | 40,00 | 40,00 | 3.0-40.0 |
| FB5 | tubo aperto | 159,011 | 40,00 | 40,00 | 3.0-40.0 |
| FB11 | tubo aperto | 182,614 | 30,00 | 30,00 | 3.0-30.0 |
| FB12 | tubo aperto | 185,840 | 30,00 | 30,00 | 3.0-30.0 |
| SV1 | tubo aperto | 114,873 | 35,00 | 35,00 | 3.0-35.0 |
| SV3 | tubo aperto | 109,616 | 35,00 | 35,00 | 3.0-35.0 |
| SV6 | tubo aperto | 76,173 | 35,00 | 35,00 | 3.0-35.0 |
| SV7 | tubo aperto | 52,347 | 35,00 | 35,00 | 3.0-35.0 |
| SONDAGGI TERRA 2011 | | | | | |
| Sigla | Tipo piezometro | Quota | Profondità | Profondità piezometro | Tratto fessurato |
| | | (m s.l.m.) | (m) | (m dal p.c.) | (m dal p.c.) |
| FB1 | tubo aperto | 146,639 | 40,00 | 40,00 | 3.0-40.0 |
| FB6 | tubo aperto | 208,155 | 55,00 | 55,00 | 3.0-55.0 |
| FB17 | tubo aperto | 120,567 | 35,00 | 35,00 | 3.0-35.0 |
| SV2 | tubo aperto | 108,179 | 35,00 | 35,00 | 3.0-35.0 |
| SV4 | tubo aperto | 104,438 | 40,00 | 40,00 | 3.0-40.0 |
| SV5 | tubo aperto | 130,399 | 40,00 | 40,00 | 3.0-40.0 |
| SONDAGGI VICENZETTO 2013 | | | | | |
| Sigla | Tipo piezometro | Quota | Profondità | Profondità piezometro | Tratto fessurato |
| | | (m s.l.m.) | (m) | (m dal p.c.) | (m dal p.c.) |
| FB14 | tubo aperto | 194,092 | 30,00 | 30,00 | 3.0-30.0 |
| FB18 | tubo aperto | 122,141 | 35,00 | 35,00 | 3.0-35.0 |
| FB20 | tubo aperto | 199,287 | 20,00 | 20,00 | 3.0-20.0 |
| FB21 | tubo aperto | 115,795 | 25,00 | 25,00 | 3.0-25.0 |
| FB9quater | capire piezometro ? | 195,840 | 350,00 | | |
| FB9bis | - | 195,658 | 40,00 | - | - |
| FB9ter | - | 195,533 | 40,00 | - | - |
| SONDAGGI RCT 2011 | | | | | |
| Sigla | Tipo piezometro | Quota | Profondità | Profondità piezometro | Tratto fessurato |
| | | (m s.l.m.) | (m) | (m dal p.c.) | (m dal p.c.) |
| FB7 | tubo aperto | 329,010 | 150,50 | 150,50 | 119.0-150.5 |
| FB9 | tubo aperto | 202,070 | 40,00 | 40,00 | 3.0-40.0 |
| FB10 | tubo aperto | 178,480 | 71,00 | 71,00 | 3.0-71.0 |
| FB15 | - | 164,080 | 30,00 | - | - |
| FB16 | - | 261,930 | 75,00 | - | - |

Tabella 7.13 – Caratteristiche piezometri

Nei Profili Geotecnici, i livelli freatici riportati sulle colonnine fanno riferimento ai valori di soggiacenza minima registrati ai piezometri nel corso del periodo 2011-2014. L'andamento della falda riportata sul profilo, ove è stato possibile tracciarlo, correla dati misurati in tempi diversi ed ha pertanto un significato puramente ingegneristico, finalizzato al dimensionamento delle opere.

In ogni caso si evidenzia il fatto che l'individuazione di un andamento univoco della falda risulta difficile, data la morfologia molto acclive dei luoghi ed anche le forti differenze di permeabilità fra i diversi materiali (vedi la Tabella seguente):

| SONDAGGI TERRA 2013 | | | | | | |
|--------------------------|---------------------|---------------|------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------------|
| Sigla | Quota (m s.l.m.) | Tipo di prova | Profondità prova | | Profondità falda (m dal p.c.) | Coeff. perm. K (m/s) |
| | | | da (m dal p.c.) | da (m dal p.c.) | | |
| FB3 | 181,357 | L | 24,00 | 25,80 | 22,20 | 2,40E-06 |
| FB4 | 150,496 | L | 5,00 | 6,60 | 6,60 | 1,50E-06 |
| FB5 | 159,011 | L | 11,00 | 13,15 | 8,50 | 2,20E-07 |
| FB11 | 182,614 | L | 5,00 | 6,80 | 4,00 | 4,50E-06 |
| FB12 | 185,840 | L | 10,00 | 12,15 | 12,15 | 1,90E-06 |
| SV1 | 114,873 | L | 21,00 | 23,40 | 15,40 | 2,10E-07 |
| SV3 | 109,616 | L | 10,00 | 12,35 | 12,00 | 2,10E-06 |
| SV6 | 76,173 | L | 9,00 | 11,00 | 11,00 | 2,25E-06 |
| SV7 | 52,347 | L | 10,40 | 12,90 | 7,10 | 5,00E-07 |
| SONDAGGI TERRA 2011 | | | | | | |
| Sigla | Quota (m s.l.m.) | Tipo di prova | Profondità prova | | Profondità falda (m dal p.c.) | Coeff. perm. K (m/s) |
| | | | da (m dal p.c.) | da (m dal p.c.) | | |
| FB1 | 146,639 | L | 17,30 | 20,30 | 13,50 | 1,20E-07 |
| FB6 | 208,155 | L | 37,00 | 40,80 | 20,50 | 5,00E-08 |
| FB17 | 120,567 | F | 9,00 | 10,30 | 8,50 | 4,31E-04 |
| SV2 | 108,179 | L | 23,00 | 27,75 | 15,80 | 1,00E-07 |
| SV4 | 104,438 | L | 9,00 | 13,30 | 13,30 | 1,30E-06 |
| SV5 | 130,399 | L | 9,00 | 13,20 | 13,20 | 7,00E-07 |
| SONDAGGI VICENZETTO 2013 | | | | | | |
| Sigla | Quota (m s.l.m.) | Tipo di prova | Profondità prova | | Profondità falda (m dal p.c.) | Coeff. perm. K (m/s) |
| | | | da (m dal p.c.) | da (m dal p.c.) | | |
| FB14 | 194,092 | L | 12,00 | 16,70 | 5,30 | non determinabile |
| FB18 | 122,141 | L | 12,00 | 16,70 | 5,30 | non determinabile |
| FB20 | 199,287 | L | 10,00 | 15,00 | 5,56 | 2,42E-08 |
| FB21 | 115,795 | L | 9,00 | 13,70 | 2,80 | non determinabile |
| FB9quater | 195,84 | L | 31,00 | 36,00 | 0,00 | 3,12E-07 |
| | | L | 86,00 | 91,00 | 0,00 | 7,46E-07 |
| | | L | 140,00 | 145,00 | 0,00 | 1,20E-06 |
| | | L | 242,00 | 247,00 | 0,00 | 2,74E-08 |
| | | L | 261,00 | 266,00 | 0,00 | 3,50E-08 |
| SONDAGGI RCT 2011 | | | | | | |
| Sigla | Quota (m s.l.m.) | Tipo di prova | Profondità prova | | Profondità falda (m dal p.c.) | Coeff. perm. K (m/s) |
| | | | da (m dal p.c.) | da (m dal p.c.) | | |
| FB7 | 329,01 | L | 127,50 | 132,50 | 52,20 | 1,80E-07 |
| | | L | 133,45 | 138,40 | 52,20 | 8,28E-08 |
| FB9 | 202,070 | L | 10,50 | 15,80 | assente | 1,53E-07 |
| FB10 | 178,48 | L | 25,50 | 30,50 | 8,00 | 4,59E-08 |
| | | L | 60,00 | 65,00 | 8,00 | 4,79E-08 |
| FB15 | 164,080 | L | 6,50 | 11,50 | 2,00 | 9,00E-09 |
| FB16 | 261,930 | L | 19,00 | 24,00 | assente | 1,12E-07 |

L = prova Lugeon

F = prova Lefranc

Tabella 7.14 - Risultati prove di permeabilità

Nella Tabella seguente sono riportati i risultati delle misure del livello dell'acqua eseguite nei piezometri:

| TUNNEL DI VAL FONTANABUONA - PIEZOMETRI | | | | | | | |
|---|-----------------|-------------|-----------------------|------------------------------|------------|---|---|
| COD.STRUM | DATA LETTURA | TUBO APERTO | | | LETTURA | NOTE | |
| | | PREVISTO | RILEVATO (m da PC) | MISURA ACQUA (m da PC) | | | |
| FB1 | 27/10/2014 | | nr | 14.1 | APG | | |
| | 06/10/2014 | | nr | 16.50 | APG | | |
| | 14/06/2012 | | 40.00 | 15.85 | MAM | | |
| | 07/03/2012 | | 40.00 | 13.36 | MAM | | |
| | 03/10/2011 | | | | 16.15 | TERRA | Imbocco S Caravaggio - Rapallo |
| FB3 | | | | | | | |
| | 18/07/2013 | | --- | 26.75 | TERRA | Imbocco N Caravaggio - Arbocò | |
| FB4 | | | | | | | |
| | 18/07/2013 | | --- | 10.75 | TERRA | Viadotto Arbocò | |
| FB5 | | | | | | | |
| | 18/07/2013 | | --- | saturo | TERRA | Viadotto Arbocò | |
| FB6 | 27/10/2014 | | nr | 23.70 | APG | | |
| | 06/10/2014 | | nr | 23.95 | APG | | |
| | 14/06/2012 | | 53.00 | 25.16 | MAM | | |
| | 07/03/2012 | | 53.00 | 24.00 | MAM | | |
| | 03/10/2011 | | | | 24.35 | TERRA | Imbocco S Fontanabuona - Arbocò |
| FB7 | 06/10/2014 | | nr | 64.80 | APG | | |
| | 14/06/2012 | | 151.50 | 63.42 | MAM | | |
| | 07/03/2012 | | 151.50 | 62.55 | MAM | | |
| | 03/10/2011 | | | | 59.60 | RCT | |
| | 29/09/2011 | | | | 52.20 | RCT | lungo galleria Fontanabuona - Cighero, da |
| FB9 | 27/10/2014 | | nr | 5.40 | APG | | |
| | 06/10/2014 | | nr | 6.05 | APG | | |
| | 14/06/2012 | | 38.25 | 14.15 | MAM | | |
| | 07/03/2012 | | 39.25 | 5.20 | MAM | | |
| | 03/10/2011 | | | | 6.07 | RCT | |
| FB10 | 27/10/2014 | | nr | nr | APG | sotterrato/sommerso | |
| | 06/10/2014 | | nr | nr | APG | sotterrato/sommerso | |
| | 14/06/2012 | | nr | nr | MAM | sotterrato/sommerso | |
| | 07/03/2012 | | nr | nr | MAM | sotterrato/sommerso | |
| | 03/10/2011 | | | | 5.51 | RCT | |
| FB11 | 27/10/2014 | | nr | 5.05 | APG | | |
| | 06/10/2014 | | --- | 5.95 | APG | | |
| | 18/07/2013 | | | 4.52 | TERRA | Rimodellamento Litteglia - Fontanabuona | |
| | 06/06/2013 | | 31.00 | 3.95 | Simona | | |
| | 27/10/2014 | | nr | nr | APG | sotterrato da Irana | |
| FB12 | 27/10/2014 | | nr | nr | APG | sotterrato? | |
| | 06/10/2014 | | nr | nr | APG | sotterrato? | |
| | 18/07/2013 | | | 21.10 | TERRA | Rimodellamento Litteglia - Fontanabuona | |
| | 06/06/2013 | | 29.60 | 18.73 | Simona | | |
| | 27/10/2014 | | nr | nr | APG | sotterrato | |
| FB14 | 27/10/2014 | | nr | nr | APG | sotterrato | |
| | 06/10/2014 | | nr | nr | APG | sotterrato? | |
| | 06/06/2013 | | 29.65 | 6.38 | Simona | | |
| | 24/04/2013 | | | 4.66 | VICENZETIC | Rimodellamento Litteglia - Fontanabuona | |
| | 27/10/2014 | | nr | 8.30 | APG | | |
| FB17 | 27/10/2014 | | nr | nr | APG | | |
| | 06/10/2014 | | nr | nr | APG | | |
| | 14/06/2012 | | 33.72 | 8.70 | MAM | | |
| | 07/03/2012 | | 33.72 | 8.24 | MAM | contattare sig. Cuneo Agostino tel. 0185 933060 | |
| | 03/10/2011 | | | | 8.60 | TERRA | SP22 |
| FB18 | 06/10/2014 | | nr | nr | APG | sotterrato/coperto | |
| | 06/06/2013 | | 35.00 | 6.02 | Simona | | |
| | 24/04/2013 | | | 5.51 | VICENZETIC | SP22 | |
| | 27/10/2014 | | nr | 7.45 | APG | ripulito/sotto vegetazione presso curva | |
| FB20 | 27/10/2014 | | nr | nr | APG | sotterrato/coperto | |
| | 06/10/2014 | | nr | nr | APG | sotterrato/coperto | |
| | 06/06/2013 | | 19.75 | 8.70 | Simona | | |
| | 24/04/2013 | | | 5.65 | VICENZETIC | SP22 | |
| FB21 | 06/10/2014 | | nr | nr | APG | sotterrato/coperto | |
| | 06/06/2013 | | 25.00 | 2.98 | Simona | | |
| | 24/04/2013 | | | 2.61 | VICENZETIC | SP22 | |
| SV1 | | | | | | | |
| | 18/07/2013 | | nr | 15.05 | TERRA | Rimodellamento svincolo A12 Fontanabuona | |
| SV2 | 06/10/2014 | | nr | 19.10 | APG | | |
| | 14/06/2012 | | 34.50 | 18.88 | MAM | | |
| | 07/03/2012 | | 34.50 | 18.38 | MAM | | |
| | 03/10/2011 | | | | 17.45 | TERRA | Area Parcheggio Caravaggio A12 - Rapallo |
| SV3 | | | | | | | |
| | 18/07/2013 | | nr | 24.80 | TERRA | Rimodellamento svincolo A12 Fontanabuona | |
| SV4 | 14/06/2012 | | nr | nr | MAM | non raggiungibile | |
| | 07/03/2012 | | nr | nr | MAM | non raggiungibile | |
| | 03/10/2011 | | | | 21.30 | TERRA | Rimodellamento svincolo A12 Fontanabuona |
| | 06/10/2014 | | nr | 25.10 | APG | | |
| SV5 | 06/10/2014 | | nr | 20.02 | MAM | | |
| | 14/06/2012 | | 40.30 | 20.02 | MAM | | |
| | 07/03/2012 | | 40.30 | 13.92 | MAM | | |
| | 03/10/2011 | | nr | 18.70 | TERRA | Rimodellamento svincolo A12 Fontanabuona | |
| SV6 | | | | | | | |
| | 18/07/2013 | | nr | 19.45 | TERRA | Rimodellamento svincolo A12 Fontanabuona | |
| SV7 | | | | | | | |
| | 18/07/2013 | | nr | 7.25 | TERRA | Rimodellamento svincolo A12 Fontanabuona | |
| | | | nr | 6.70 | Simona | Rimodellamento svincolo A12 Fontanabuona | |

Tabella 7.15 - Risultati letture piezometri

8. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI MATERIALI SCIOLTI

8.1 Generalità

I criteri di interpretazione delle indagini geotecniche tengono conto della natura dei depositi rinvenuti lungo il tracciato e delle unità tettoniche intercettate sulle quali sono stati condotti:

- sondaggi geotecnici con prelievo di campioni indisturbati e rimaneggiati;
- prove penetrometriche dinamiche SPT in foro;
- prove di permeabilità Lugeon in foro;
- prove dilatometriche in foro con dilatometro da roccia;
- prove di laboratorio su provini di roccia prelevati nei fori di sondaggio;
- stendimenti di geofisica (sismica a rifrazione, a riflessione, geoelettrica);
- rilievi geostrutturali su alcuni affioramenti rocciosi rappresentativi.

Dal punto di vista dei criteri di caratterizzazione geotecnica e geomeccanica sono state distinte tre tipologie di materiale:

- materiali a grana grossa (sabbie e ghiaie più o meno limose);
- materiali a grana fine (limi e argille più o meno sabbioso-ghiaiose);
- rocce sedimentarie (calcari marnosi, marne calcaree, marne e argilliti) costituenti gli ammassi rocciosi interessati.

L'individuazione del tipo di materiale, e quindi la scelta del metodo di interpretazione, è fatta principalmente sulla base:

- della descrizione stratigrafica dei sondaggi;
- laddove disponibili, delle prove di laboratorio sui campioni di terreno e sulle carote di roccia.

8.2 Materiali a grana grossa (sabbie e ghiaie più o meno limose)

8.2.1 Introduzione

In questa sede si intendono a grana grossa quei materiali caratterizzati da percentuali di fine (limo e argilla) inferiori a $\cong 50\%$.

In conseguenza del fatto che in tali materiali risulta difficile prelevare campioni indisturbati, la caratterizzazione geotecnica è affidata principalmente all'interpretazione delle prove in sito (mediante correlazioni empiriche) e delle prove di classificazione di laboratorio effettuate su campioni rimaneggiati in accordo ai criteri descritti nei paragrafi successivi.

L'interpretazione delle prove in sito e di classificazione di laboratorio è finalizzata a determinare principalmente le seguenti quantità:

- stato iniziale del deposito;
- parametri di resistenza al taglio;
- parametri di deformabilità;
- coefficienti di permeabilità.

Si rileva che le correlazioni empiriche riportate nei paragrafi seguenti sono rigorosamente applicabili ove è ragionevole ritenere che le prove interpretate siano avvenute in condizioni drenate, ovvero nei seguenti casi:

- Terreni sopra falda purché caratterizzati da percentuali di fine (limo e argilla) inferiori a $\cong 50\%$.
- Terreni sotto falda purché caratterizzati da percentuali di fine (limo e argilla) inferiori a $\cong 35\div 40\%$.

8.2.2 Stato iniziale del deposito

8.2.2.1.1 In sabbia

In accordo a quanto indicato in Skempton (1986) la densità relativa D_r può essere correlata al valore N_{SPT} con la seguente legge:

$$D_r = \left(\frac{1}{A + B \cdot \sigma_{vo}'} \cdot N_{SPT} \right)^{0.5}$$

essendo:

A, B = costanti empiriche indicate in **Tabella 8.1**

σ_{vo}' = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova SPT (kg/cm²)

N_{SPT} = numero di colpi per 30 cm di infissione

$(K_o)_{nc} = 1 - \sin \phi'$ = coefficiente di spinta a riposo per terreni normalmente consolidati (-)

$(k_o)_{sc} = (K_o)_{nc} \cdot (GSC)^{0.5}$ = coefficiente di spinta a riposo per terreni sovraconsolidati (-)

GSC = grado di sovraconsolidazione (-)

D_r = densità relativa (-)

| Tipo di materiale | A | B |
|---------------------------------------|-----------|--|
| Sabbie fini normalmente consolidate | 27,5 | 27,5 |
| Sabbie grosse normalmente consolidate | 43,3 | 21,7 |
| Sabbie sovra consolidate | 27,5÷43,3 | $(21,7 \div 27,5) \cdot \frac{1 + 2 \cdot (k_o)_{sc}}{1 + 2 \cdot (k_o)_{nc}}$ |

Tabella 8.1 - Costanti empiriche A e B (Skempton, 1986)

In questa sede, ove non specificato espressamente, si assumeranno valori di A e B corrispondenti alle sabbie medie.

8.2.2.1.2 In sabbie e ghiaie

Nelle sabbie e ghiaie la determinazione della densità relativa D_r risulta meno agevole che nelle sabbie per i seguenti ordini di problemi:

- Per motivi esecutivi il campionatore standard a punta aperta deve essere spesso sostituito con quello a punta conica; in linea di principio non è detto che i risultati ottenibili con il campionatore standard a punta aperta in termini di numero di colpi/30 cm risultino uguali a quelli conseguiti con la punta conica e quindi possano essere interpretati direttamente con le correlazioni empiriche di letteratura sviluppate per la prova SPT con campionatore standard a punta aperta.
- Causa la presenza della ghiaia spesso vengono raggiunte condizioni di rifiuto che non necessariamente sono indice di elevati gradi di addensamento.

L'interpretazione dei valori N_{SPT} verrà fatta in accordo al metodo proposto da Cubrinowski & Ishihara (1999) – Doc. Rif.: [35] per materiali normalmente consolidati, caratterizzati da un coefficiente di spinta a riposo k_0 dell'ordine di $0,4 \pm 0,5$, successivamente esteso da Ishihara et al. (2001) – Doc. Ref.: [41] anche al caso dei terreni sovraconsolidati.

8.2.3 Angolo di resistenza al taglio

L'angolo di resistenza al taglio di picco φ' verrà determinato facendo riferimento al metodo proposto da Bolton (1986) in base al quale:

$$\varphi' = \varphi_{cv}' + m \cdot DI$$

$$DI = D_r \cdot [Q - \ln(p_f')] - 1$$

essendo:

$$\varphi' = \text{angolo di resistenza al taglio di picco riferito a pressioni } \sigma_{ff}' = 272 \text{ kPa } (^\circ)$$

$Q =$ coefficiente che dipende dalla composizione mineralogica e dalla forma delle particelle, assunto pari a 10

$$p_f' = 1,4 \cdot \sigma_{ff}' \text{ (vedi Jamiokowski et al. 1988) } \text{ (kPa)}$$

$$\sigma_{ff}' = \text{tensione efficace normale alla superficie di rottura} = 272 \text{ kPa}$$

$m =$ costante empirica dipendente dalle condizioni di deformazione prevalenti a rottura (vedi **Tabella 8.2**)

$$\varphi_{cv}' = \text{angolo di resistenza al taglio a volume costante o di stato critico } (^\circ)$$

$$D_r = \text{densità relativa } (-)$$

| Condizioni di rottura | m(°) |
|---|------|
| Prova triassiale di compressione ($\sigma_2' = \sigma_3'$) | 3 |
| Prova triassiale in Estensione o di deformazione piana ($\sigma_2' \neq \sigma_3'$) | 5 |
| σ_2' = tensione principale efficace intermedia | |
| σ_3' = tensione principale efficace minore | |

Tabella 8.2 - Valori della costante empirica m secondo Bolton (1986)

In questa sede l'interpretazione delle prove, riportata nel successivo **capitolo 10**, verrà effettuata in accordo al metodo citato, assumendo cautelativamente, in considerazione del generalmente elevato contenuto di fine (limi e argille):

$$\varphi_{cv}' = 30^\circ \quad \text{per le sabbie}$$

$$\varphi_{cv}' = 33^\circ \quad \text{per le sabbie e ghiaie}$$

$$m = 3.$$

8.2.4 Caratteristiche di deformabilità

8.2.4.1 Moduli elastici iniziali

8.2.4.1.1 Generalità

I moduli iniziali di taglio (G_0) e di Young (E_0) possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

$$\gamma_t = \text{peso di volume naturale del terreno in kN/m}^3$$

$$\nu' = \text{rapporto di Poisson del terreno} = 0,15 \div 0,20$$

$$V_s = \text{velocità di propagazione delle onde di taglio in m/sec.}$$

La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s può essere ricavata direttamente da prove geofisiche “down hole” e “cross hole” o indirettamente, interpretando i risultati delle prove SPT come descritto nel **paragrafo 8.2.4.1.2**.

8.2.4.1.2 G_0 da prove SPT

La velocità delle onde di taglio da prove SPT in sabbie e ghiaie normalmente consolidate, silicee non cementate, può essere ricavata sulla base alla correlazione proposta da Ohta & Goto (1978) (vedi anche Baldi et al., 1989); in base a tale correlazione vale quanto segue:

$$V_s = C \cdot (N_{SPT})_{60\%}^{0.171} \cdot (z)^{0.199} \cdot f_A \cdot f_G \text{ (m/sec)}$$

essendo:

$$C = 67.3$$

z = profondità dal p.c. in metri

f_A = coefficiente funzione dell'epoca geologica del deposito (vedi la **Tabella 8.3**)

f_G = coefficiente funzione della composizione granulometrica (vedi la **Tabella 8.4**)

| f_A | Olocene | Pleistocene |
|-------|---------|-------------|
| | 1,0 | 1,3 |

**Tabella 8.3 - Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_A
(funzione dell'epoca geologica del deposito)**

| f_G | Ghiaie | Sabbie ghiaiose | Sabbie grosse | Sabbie medie | Sabbie fini |
|-------|--------|-----------------|---------------|--------------|-------------|
| | 1,45 | 1,15 | 1,14 | 1,07 | 1,09 |

**Tabella 8.4 - Relazione di Ohta e Goto, 1978 - Coefficiente f_G
(funzione della composizione granulometrica del deposito)**

8.2.4.2 Moduli elastici “operativi”

8.2.4.2.1 Generalità

Il comportamento dei terreni a grana grossa risulta non lineare; i moduli di deformazione risultano infatti funzione sia delle pressioni efficaci medie correnti p' sia del livello di deformazione indotto o del grado di mobilitazione della resistenza al taglio.

In relazione a quanto sopra la scelta dei moduli di deformazione per le analisi ingegneristiche viene a dipendere anche dal metodo di analisi adottato.

8.2.4.2.2 Moduli elastici “operativi” da prove SPT in sabbia e ghiaia

In accordo a Jamiolkowski et al. (1988) per la stima dei moduli elastici operativi da prove SPT valgono le seguenti espressioni:

$$E'_{25} = (10,5 - 3,5 \cdot D_r) \cdot N_{SPT} / 10 \quad \text{MPa nel caso dei terreni normalmente consolidati}$$

$$E'_{25} = (52,5 - 35 \cdot D_r) \cdot N_{SPT} / 10 \quad \text{MPa nel caso dei terreni sovraconsolidati}$$

essendo:

E'_{25} = modulo di Young secante cui corrisponde un grado di

mobilitazione della resistenza ultima pari al 25%;

D_r = densità relativa espressa come frazione dell'unità;

N_{SPT} = numero di colpi in prova SPT.

Si rileva che nel caso di materiali ghiaioso-sabbiosi e per valori di densità relativa D_r inferiori a 50% le espressioni suddette conducono ad una sottostima dei valori di E'_{25} .

8.2.5 Coefficienti di permeabilità

I coefficienti di permeabilità k vengono generalmente determinati sulla base dei risultati delle prove di permeabilità Lefranc in foro di sondaggio; in alternativa essi verranno stimati sulla base delle seguenti metodologie (vedi Somerville, 1986):

Metodo 1: Utilizzo della **Tabella 8.5**.

| k (m/sec) | Grado di permeabilità | Tipo di terreno |
|---|------------------------------|--------------------------------------|
| $k > 1 \cdot 10^{-3}$ | Alta | Ghiaie |
| $1 \cdot 10^{-3} > k > 1 \cdot 10^{-5}$ | Media | Sabbie ghiaiose e Ghiaie sabbiose |
| $1 \cdot 10^{-5} > k > 1 \cdot 10^{-7}$ | Bassa | Sabbie fini |
| $1 \cdot 10^{-7} > k > 1 \cdot 10^{-9}$ | Molto bassa | Limi e sabbie argillose |
| $1 \cdot 10^{-9} > k$ | Bassissima (impermeabile) | Argille |

Tabella 8.5 - Stima dei coefficienti di permeabilità in base alla descrizione litologica

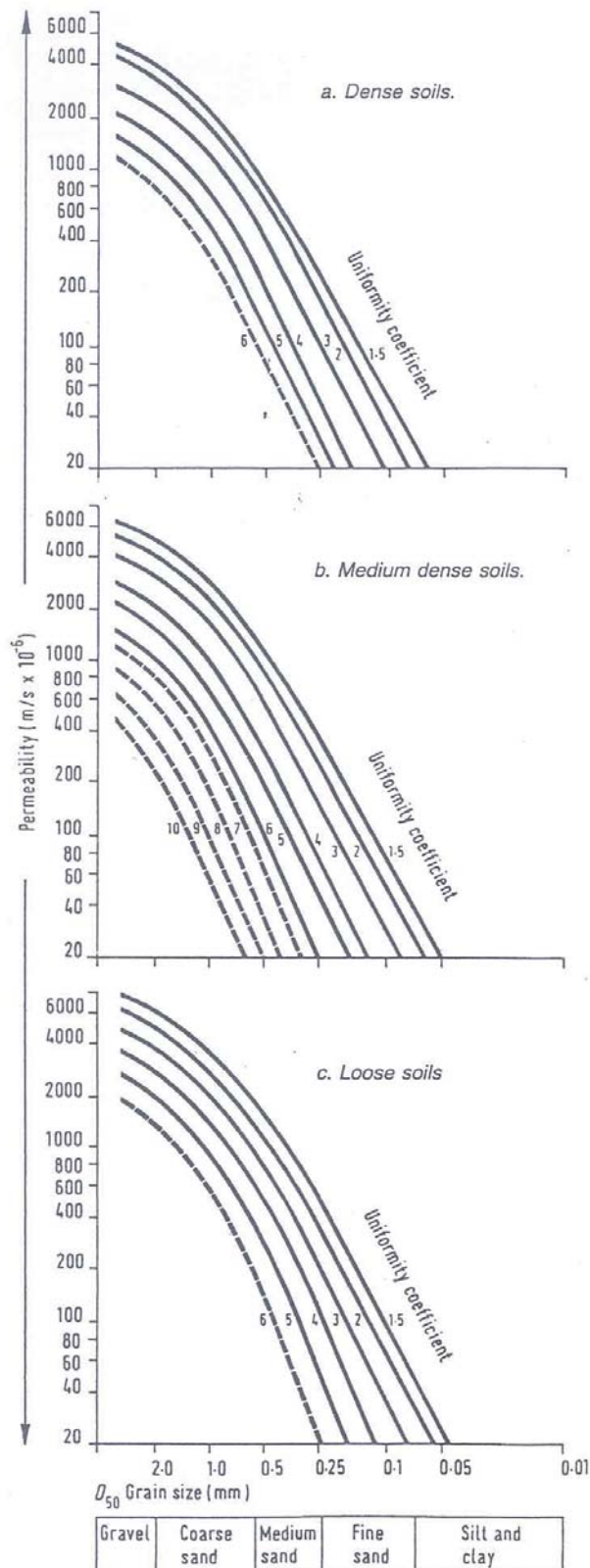


Figura 8.1 - Coefficiente di permeabilità (k) in funzione del coefficiente di uniformità U (U=D₆₀/D₁₀) e del D₅₀ (Sommerville, 1986)

Metodo 2: Utilizzo della procedura indicata di seguito.

- Valutazione del coefficiente di uniformità = D_{60}/D_{10} , essendo D_{60} il diametro corrispondente al 60% di passante e D_{10} il diametro corrispondente al 10% di passante;
- Assegnazione del valore caratteristico di D_{50} , ovvero del diametro corrispondente al 50% di passante;
- Utilizzo dei diagrammi riportati nella **Figura 8.1**.

8.3 Materiali a grana fine (limi e argille) saturi

8.3.1 Introduzione

La caratterizzazione geotecnica dei terreni a grana fine (percentuale di fine maggiore del 50%) è normalmente affidata sia all'interpretazione delle prove di laboratorio sia all'interpretazione delle prove in sito in accordo ai criteri descritti nei paragrafi successivi.

L'interpretazione delle prove in sito e di laboratorio è finalizzata, oltre che a classificare i materiali, a determinare:

- lo stato iniziale;
- i parametri di resistenza al taglio;
- i parametri di deformabilità;
- i coefficienti di permeabilità.

Si rileva come, nel caso in esame, la natura dei terreni incontrati non consente la definizione di strati omogenei di terreni a grana fine, data la presenza per lo più di depositi di versante, accumuli detritici o strati di alterazione della sottostante formazione rocciosa. Pertanto, in mancanza di dati di sito e di laboratorio specifici in numero significativo per i materiali in oggetto verranno fornite solo alcune valutazioni qualitative nell'ambito delle schede per gli ambiti 1 - 4.

9. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE FORMAZIONI ROCCIOSE

9.1 Generalità

In considerazione del possibile grado di fratturazione e delle dimensioni delle opere di sostegno e di fondazione da realizzare, la caratterizzazione geotecnica di tutte le formazioni rocciose incontrate lungo il tracciato verrà fatta facendo tendenzialmente riferimento alla classificazione dell'ammasso roccioso proposta da Bieniawski (1989), allo schema concettuale di mezzo continuo (omogeneo o stratificato) e ai criteri di rottura proposti e aggiornati da Hoek & Brown a partire dal 1980.

In particolare:

1. Il parametro **RMR** "Rock Mass Rating" verrà stimato sulla base di quanto descritto nel **paragrafo 9.2**; il parametro **GSI** (Geological Strength Index) verrà valutato con la seguente espressione (vedi Sjöberg, 1997):

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

1. L'inviluppo delle resistenze dell'ammasso roccioso in condizioni "undisturbed" o "disturbed" verrà valutato sulla base di quanto riportato in Brown & Hoek (1988), Hoek & Brown (1988), Hoek, Kaiser & Bawden (1995), Hoek et al (2002) (vedi il **paragrafo 9.3**).
3. Le caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso verranno stimate sulla base di quanto riportato nel **paragrafo 5**.

9.2 Valutazione del parametro RMR'89

Per ogni litotipo il parametro RMR_{89} viene stimato in accordo a quanto proposto in Bieniawski (1989), ovvero come somma dei seguenti 8 indici (I1→I8):

- Resistenza alla compressione semplice della roccia intatta (**I1**)

| Resistenza alla compressione semplice σ_c (MPa) | I1 |
|---|----|
| > 250 | 15 |
| 100÷250 | 12 |
| 50÷100 | 7 |
| 25÷50 | 4 |
| 5÷25 | 2 |
| 1÷5 | 1 |
| < 1 | 0 |

- Qualità della roccia RQD (**I2**)

| RQD (%) | I2 |
|---------|----|
| 90÷100 | 20 |
| 75÷90 | 17 |
| 50÷75 | 13 |
| 25÷50 | 8 |
| < 25 | 3 |

- Spaziatura delle discontinuità (**I3**)

| S | I3 |
|---------------|----|
| > 2 m | 20 |
| 0.6 m÷2 m | 15 |
| 200 mm÷600 mm | 10 |
| 60 mm÷200 mm | 8 |
| < 60 mm | 4 |

- Lunghezza delle discontinuità (**I4**)

| L | I4 |
|-----------|----|
| < 1 m | 6 |
| 1 m÷3 m | 4 |
| 3 m÷10 m | 2 |
| 10 m÷20 m | 1 |
| > 20 m | 0 |

- Apertura delle discontinuità **(I5)**

| H | I5 |
|-------------|-----------|
| 0 mm | 6 |
| > 0.1 mm | 5 |
| 0.1 mm÷1 mm | 4 |
| 1 mm÷5 mm | 1 |
| > 5 mm | 0 |

- Condizioni delle superfici di discontinuità in termini di scabrezza **(I6)**

| Descrizione | I6 |
|--------------------|-----------|
| Molto rugose | 6 |
| Rugose | 5 |
| Poco rugose | 3 |
| Ondulate | 1 |
| Lisce | 0 |

- Caratteristiche del riempimento delle discontinuità **(I7)**

| Descrizione – spessore | I7 |
|-------------------------------|-----------|
| Assente | 6 |
| Compatto – < 5 mm | 4 |
| Compatto – > 5 mm | 2 |
| Tenero – < 5 mm | 2 |
| Tenero – > 5 mm | 0 |

- Condizioni delle superfici di discontinuità in termini di alterazione **(I8)**

| Descrizione | I8 |
|--------------------|-----------|
| Non alterate | 6 |
| Poco alterate | 4 |
| Alterate | 2 |
| Molto alterate | 2 |
| Decomposte | 0 |

Tendenzialmente nella valutazione di RMR_{89} :

- Non si terrà conto dell'indice che descrive qualitativamente l'orientamento più o meno favorevole delle discontinuità (incluse quelle dovute alla stratificazione) rispetto alle opere da realizzare; ove rilevante/possibile tale aspetto verrà messo in conto nella definizione del modello geometrico da utilizzare nelle analisi di progetto.
- L'indice legato alla presenza dell'acqua verrà assunto pari a quello associabili a condizioni "dry". Gli effetti della presenza dell'acqua verranno messi in conto nella definizione del modello geotecnico da utilizzare nelle analisi di progetto.

9.3 Criteri di rottura

In accordo a quanto riportato in Brown & Hoek (1988), Hoek & Brown (1988) e Hoek, Kaiser & Bawden (1995) (vedi anche Sjoberg, 1997), Hoek et al. (2002) l'ammasso roccioso verrà descritto per ogni litotipo dal seguente criterio di rottura:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \cdot \left(m_b \cdot \frac{\sigma_3'}{\sigma_c} + s \right)^a$$

essendo:

$$m_b = m_i \cdot e^{\frac{GSI-100}{28-14 \cdot D}}$$

$$s = e^{\frac{GSI-100}{9-3 \cdot D}}$$

$D = 0$ per "undisturbed rock masses"

$D = 1$ per "disturbed rock masses"

$$a = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right)$$

$$GSI = RMR_{89} - 5$$

RMR_{89} = vedi il **paragrafo 9.2**

m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta

σ_1' = tensione principale efficace maggiore

σ_3' = tensione principale efficace minore

σ_c = resistenza alla compressione semplice della roccia intatta.

Nell'applicazione del criterio di rottura sopra riportato valgono le seguenti precisazioni:

1. In generale, per ogni litotipo il coefficiente m_i verrà valutato sulla base dei risultati di prove triassiali su provini di roccia intatta e di un criterio di rottura analogo a quello dell'ammasso roccioso, con GSI = 100. In mancanza di dati sperimentali si farà riferimento a quanto riportato nella **Tabella 9.1**:

| Rocce | m_i (-) |
|---------------------------|-----------|
| Peridotite/Gabbro | 25 |
| Arenaria | 15-19 |
| Argilliti / Argilloscisti | 6-10 |
| Siltiti | 9 |
| Scisti | 10 |
| Calcare | 7-9 |

Tabella 9.1 - Esempi di coefficiente m_i relativo alla roccia intatta (Hoek e Brown, 1988; Hoek, Kaiser e Bawden, 1995)

2. L'applicazione di criteri di rottura analoghi per la roccia intatta e per l'ammasso roccioso, ove l'unica differenza è rappresentata dai valori di GSI, implica che, per $m_i = 10$, il rapporto tra la resistenza a trazione e la resistenza a compressione semplice della roccia intatta, è pari a $\cong 1/m_i$.
3. In presenza di ammassi rocciosi caratterizzati da marcata eterogeneità, ovvero da alternanza di strati competenti e di strati con caratteristiche geotecniche più scadenti, il valore di GSI valutato sulla base di RMR_{89} verrà messo a confronto anche con quello stimabile sulla base della carta proposta da Hoek et al. (1998) e da Marinou & Hoek (2000) per formazioni flyshoidi (vedi la **Figura 9.1**).

4. I parametri di resistenza valutati per l'ammasso devono essere considerati con attenzione nel caso la resistenza al taglio debba essere riferita a zone di particolare alterazione ovvero a contatti "deboli"; in tale evenienza, da valutare progettualmente caso per caso, i parametri di resistenza potranno essere riferiti alla discontinuità/superficie di alterazione.

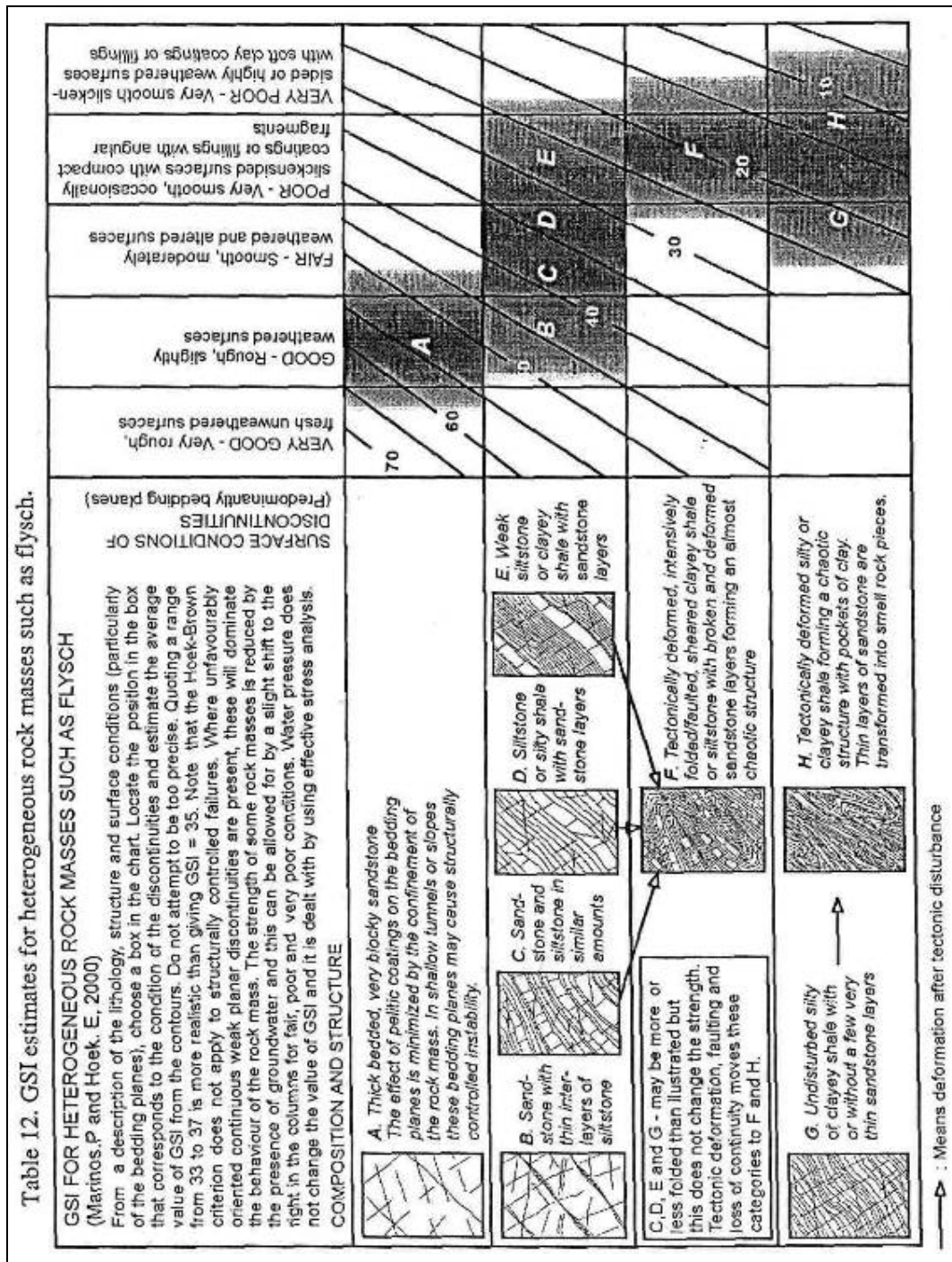


Figura 9.1 - Classificazione di ammassi rocciosi flyschoidi secondo Marinos & Hoek (2002)

Alla resistenza alla compressione semplice σ_c ed al coefficiente m_i della roccia intatta verranno inoltre assegnati valori “pesati” in base a quanto riportato nella **Tabella 9.2**.

| Tipo di ammasso | Criterio di valutazione di σ_c e di m_i |
|-----------------|--|
| A e B | Valori relativi al litotipo più competente |
| C | Valori del litotipo più competente ridotti del 20% e pieni valori del litotipo di caratteristiche più scadenti |
| D e E | Valori del litotipo più competente ridotti del 40% e pieni valori del litotipo di caratteristiche più scadenti |
| F | Valori del litotipo più competente ridotti del 60% e pieni valori del litotipo di caratteristiche più scadenti |
| G | Valori del litotipo di caratteristiche più scadenti |
| H | Valori del litotipo di caratteristiche più scadenti |

Tabella 9.2 - Ammassi rocciosi eterogenei – Criteri di valutazione di σ_c e di m_i
(Hoek et al.,1998; Marinos & Hoek, 2000)

5. In accordo a Sjöberg (1997), ai termini “undisturbed” e “disturbed” viene attribuito un significato legato anche alle modalità di utilizzo dei parametri di resistenza nelle analisi ingegneristiche; in particolare:
- Il criterio di rottura relativo alle “undisturbed rock masses” rappresenta la resistenza di picco dell’ammasso roccioso quando esso si trova in condizioni di pre-rottura.
 - Il criterio di rottura relativo alle “disturbed rock masses” rappresenta la resistenza media disponibile lungo superfici di scivolamento critiche in condizioni di incipiente rottura; ricorrendo a terminologie proprie della meccanica dei terreni tale resistenza può essere denominata “softened”.

Sotto tali presupposti, nei casi rappresentati da situazioni non caratterizzate da dissesti progressivi o in atto, si opererà come segue:

- In analisi di stabilità o di interazione terreno-struttura eseguite con metodi ove non è possibile riprodurre il comportamento “strain softening” si farà riferimento ai parametri dell’ammasso relativi alle condizioni “disturbed”.
- In analisi di stabilità o di interazione terreno-struttura condotte con metodi in grado di riprodurre la caduta di resistenza tra condizioni di picco e condizioni “softened” verranno presi come riferimento sia il criterio di rottura relativo alle condizioni “undisturbed” che quello relativo alle condizioni “disturbed”. Verranno inoltre ipotizzate diverse leggi di

degrado dei parametri di resistenza, fra cui quella che contempla una repentina caduta di resistenza dalle condizioni di picco a quelle “softened”.

- Nel caso in esame, dato il carattere preliminare della caratterizzazione in oggetto, si è ritenuto di applicare in tutti i casi un valore medio del fattore di disturbo pari a 0.5. Affinamenti successivi potranno essere possibili in fase di caratterizzazione finale.
6. Nel caso in cui l'involuppo di rottura in termini di tensioni di taglio τ e di tensioni normali alla superficie di rottura σ_n venga rappresentato con un criterio di rottura del tipo Mohr-Coulomb, questo verrà interrotto per valori di σ_n negativi (trazione), assumendo resistenza al taglio pari a 0 per evitare di sovrastimare la resistenza a trazione del materiale stesso (“tension cut off”).

9.4 Caratteristiche di deformabilità

9.4.1 Moduli iniziali

I moduli iniziali di taglio (G_0) e di Young (E_0) possono essere ricavati dai valori delle velocità delle onde di taglio V_s utilizzando le seguenti equazioni:

$$G_0 = \frac{\gamma_t}{9,81} \cdot (V_s)^2 \quad (\text{kPa})$$

$$E_0 = G_0 \cdot 2 \cdot (1 + \nu')$$

essendo:

γ_t = peso di volume naturale del terreno in kN/m^3

ν' = rapporto di Poisson del terreno = 0,15 ÷ 0,20

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio in m/sec .

La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s può essere ricavata direttamente dalle prove geofisiche down-hole.

9.4.2 Moduli “operativi”

I moduli di Young “operativi” E_{op} dell’ammasso roccioso, utilizzabili in analisi con modelli costitutivi elastico-lineari o elastico-lineari-plastici, possono essere stimati sulla base di espressioni di letteratura desunte da confronti tra la risposta deformativa di ammassi (da prove in sito e/o back-analysis) e i parametri tipici dei sistemi di classificazione degli ammassi stessi (RMR, GSI). Alcune di tali espressioni possono essere riferite a particolari tipologie di ammassi. Nello specifico si è fatto riferimento alle seguenti espressioni (Serafim & Pereira, 1983; Mehrotra et al. 1991, Berardi e Bellingeri, 1998, Hoek et al., 2002):

$$E_{op} = 10 \cdot \left(\frac{RMR-10}{40} \right) \cdot [GPa]$$

$$E_{op} = 10 \cdot \left(\frac{RMR-30}{50} \right) \cdot [GPa]$$

$$E_{op} = 0.87 \cdot e^{(0.045-RMR)} \cdot [GPa]$$

$$E_{op} = 1000 \cdot \left(1 - \frac{D}{2} \right) \cdot \sqrt{\frac{\sigma_c}{100}} \cdot 10^{(GSI-10)/40} \quad \text{per } 10 < GSI < 50 \text{ e per } \sigma_c < 100 \text{ MPa.}$$

essendo: D = coefficiente di disturbo, variabile tra 0 e 1.

Ove non diversamente specificato, dal lato della sicurezza, nel caso dei fronti di scavo (sostenuti e non) e di fondazioni dirette verranno adottati i seguenti valori di D:

- Fondazioni dirette, rilevati, fronti di scavo non sostenuti o sostenuti in modo passivo $\Rightarrow D = 1$;
- Fondazioni a pozzo e fronti di scavo sostenuti in modo attivo $\Rightarrow D = 0.5$.

10. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI MATERIALI SCIOLTI

10.1 Descrizione delle principali coperture

La caratterizzazione geotecnica oggetto di questo paragrafo riguarda i materiali sciolti che interferiscono con il tracciato per la parte all'aperto.

In particolare si esaminano le coperture delle formazioni rocciose presenti, ovvero: copertura su FAN, copertura su AMV e copertura su SCM.

Si rileva come, sulla base dei dati disponibili, le formazioni rocciose si trovino spesso in condizioni di sub-affioramento, con coperture anche molto modeste (inferiori al metro).

In generale i materiali di copertura si presentano piuttosto eterogenei, tutti caratterizzati dalla presenza di una matrice fine da scarsa ad abbondante e dalla presenza di clasti. Per tale motivo la caratterizzazione risulta piuttosto complessa, anche a causa della limitata quantità di dati disponibili. Si è scelto, in generale, di fare riferimento a parametri di resistenza in condizioni drenate, assimilando i terreni di copertura a materiali incoerenti nei quali predomina la matrice sabbioso limosa.

Nella zona tra la stazione di Fontanabuona ed il raccordo con la SP225 si incontra una zona con materiale alluvionale, di spessore rilevante (una decina di metri) impostato sulla formazione degli Scisti Mangesiferi.

Nella zona dello svincolo di Rapallo le coperture naturali del versante e fondo valle sono sovrastate da riporti antropici (presumibilmente costituiti da smarino delle gallerie) con spessori anche rilevanti.

10.2 Copertura su FAN

10.2.1 Descrizione del materiale

Si rileva come, sulla base dei dati disponibili, le formazioni rocciose si trovino spesso in condizioni di sub-affioramento, con coperture anche molto modeste (inferiori al metro).

In generale si tratta di materiali piuttosto eterogenei, tutti caratterizzati dalla presenza di una matrice fine da scarsa ad abbondante e dalla presenza di clasti. Per tale motivo la caratterizzazione delle coperture risulta piuttosto complessa, anche a causa della limitata quantità di dati disponibili. Si è scelto, in generale, di fare riferimento principalmente a parametri di resistenza in condizioni drenate, assimilando i terreni di copertura a materiali incoerenti nei quali predomina la matrice sabbioso limosa, seppure sia stato indicato anche un valore rappresentativo della resistenza al taglio non drenata.

10.2.2 Indagini di riferimento

Le verticali in cui è stato rinvenuto questo materiale sono indicate nella Tabella seguente:

| Ambito | Sondaggio | Tipo di materiale sciolto |
|---|---------------|---------------------------|
| SVINCOLO DI VALFONTANABUONA SULLA A12 | SV4 | Copertura su FAN |
| | SV5 | Copertura su FAN |
| | FB1 | Copertura su FAN |
| | FB1bis-FB1ter | |
| | SV3 | Copertura su FAN |
| | SV6 | Copertura su FAN |
| FINESTRA DI ARBOCCO' | SV7 | Copertura su FAN |
| | FB6 | Copertura su FAN |
| | FB3 | Copertura su FAN |
| | FB4 | Copertura su FAN |
| | FB5 | Copertura su FAN |

Tabella 10.1 - Copertura su FAN - Sondaggi di riferimento

10.2.3 Risultati prove di laboratorio

Per quanto riguarda le principali caratteristiche del materiale desumibili dai risultati delle prove di laboratorio si ha:

Granulometria

ghiaia + sabbia = 40÷80

argilla + limo = 20÷60

Limiti di Atterberg

LL = 24÷50 %

LP = 13÷30 %

IP = 12÷21 %

Carta di Casagrande: limi e argille di media plasticità, media compressibilità.

Nelle seguenti Figure si riportano i risultati delle prove eseguite diagrammati in funzione della profondità:

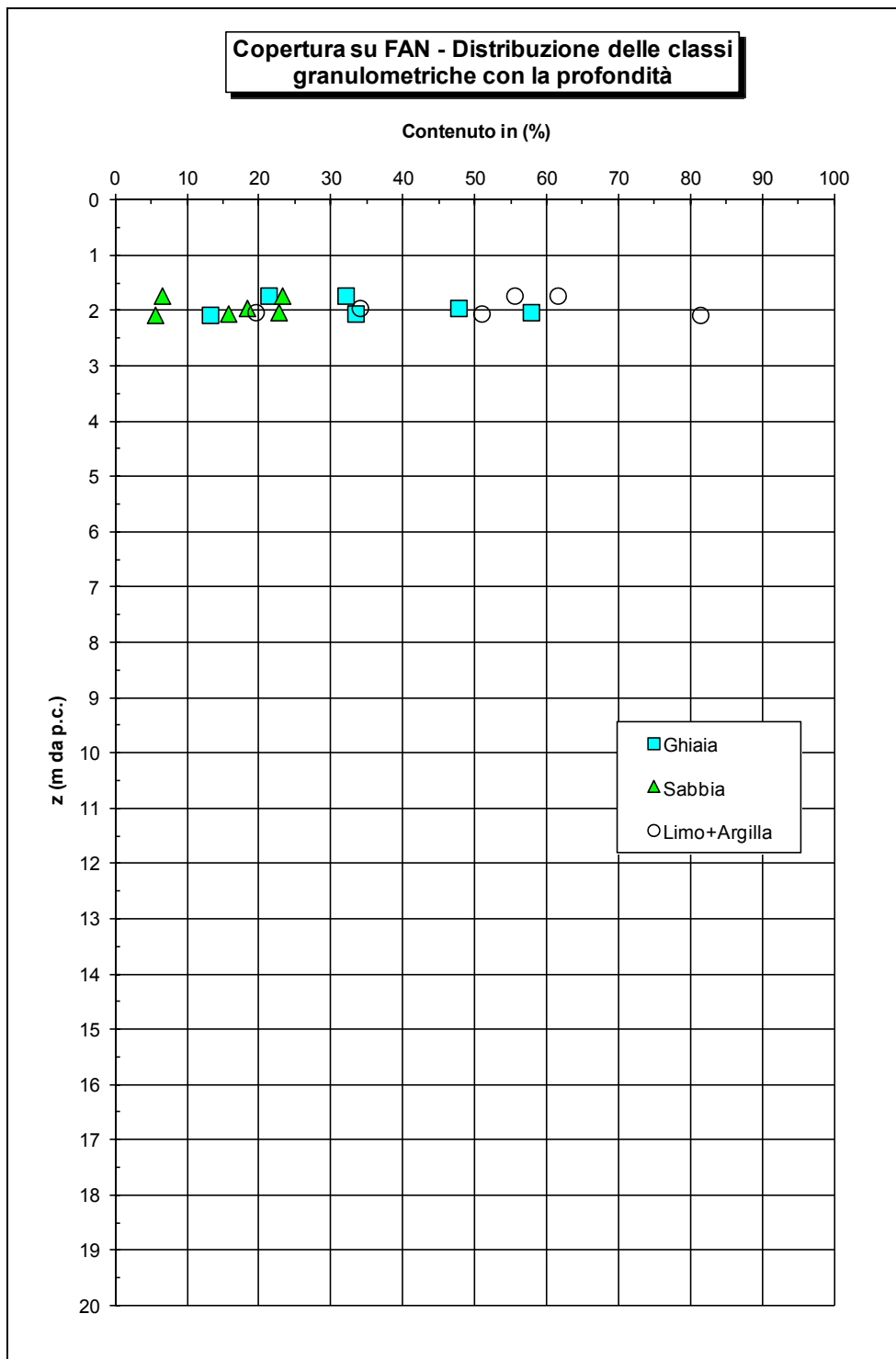


Figura 10.1 - Copertura su FAN - Classi granulometriche

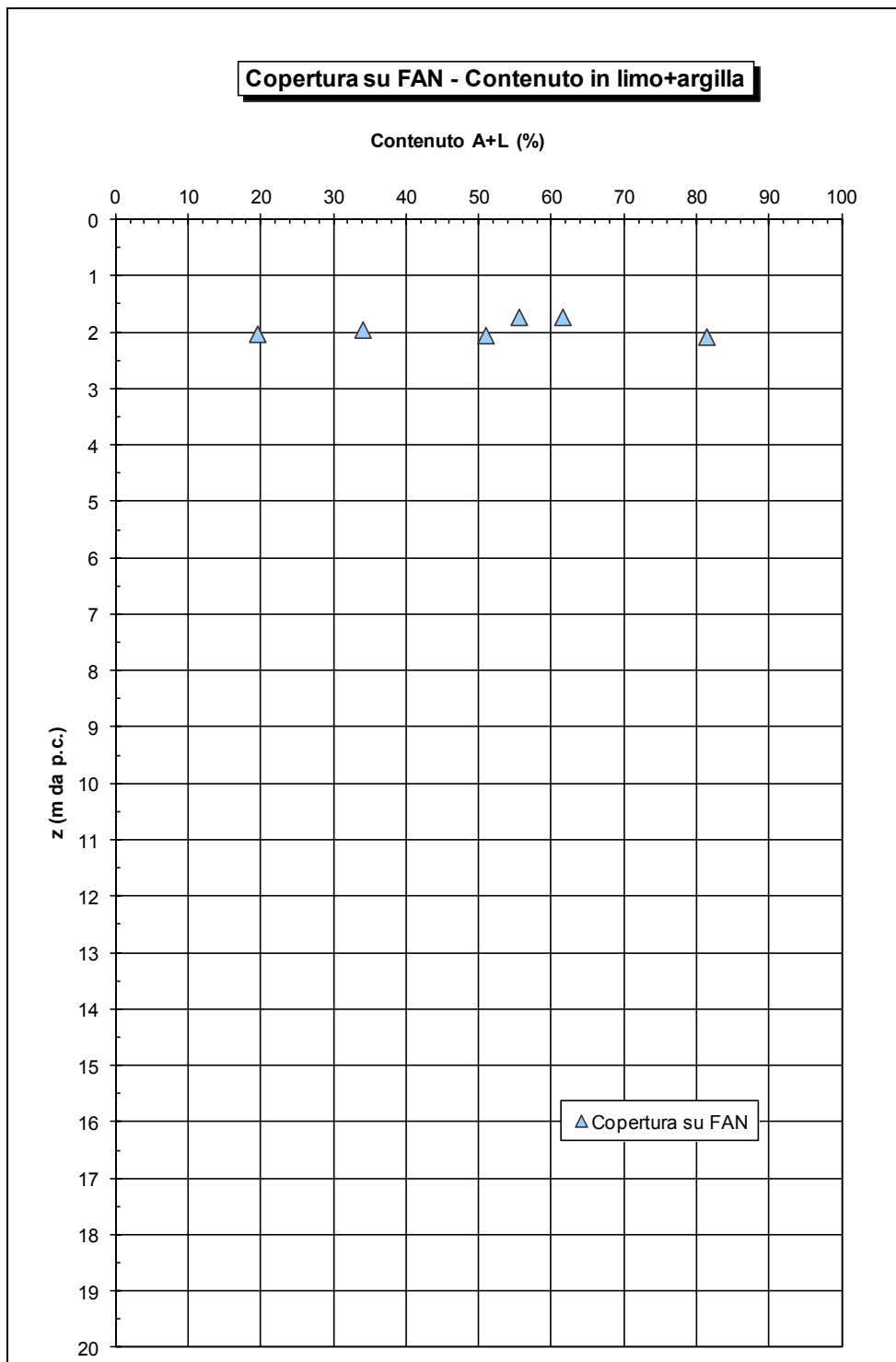


Figura 10.2 - Copertura su FAN - Contenuto A+L

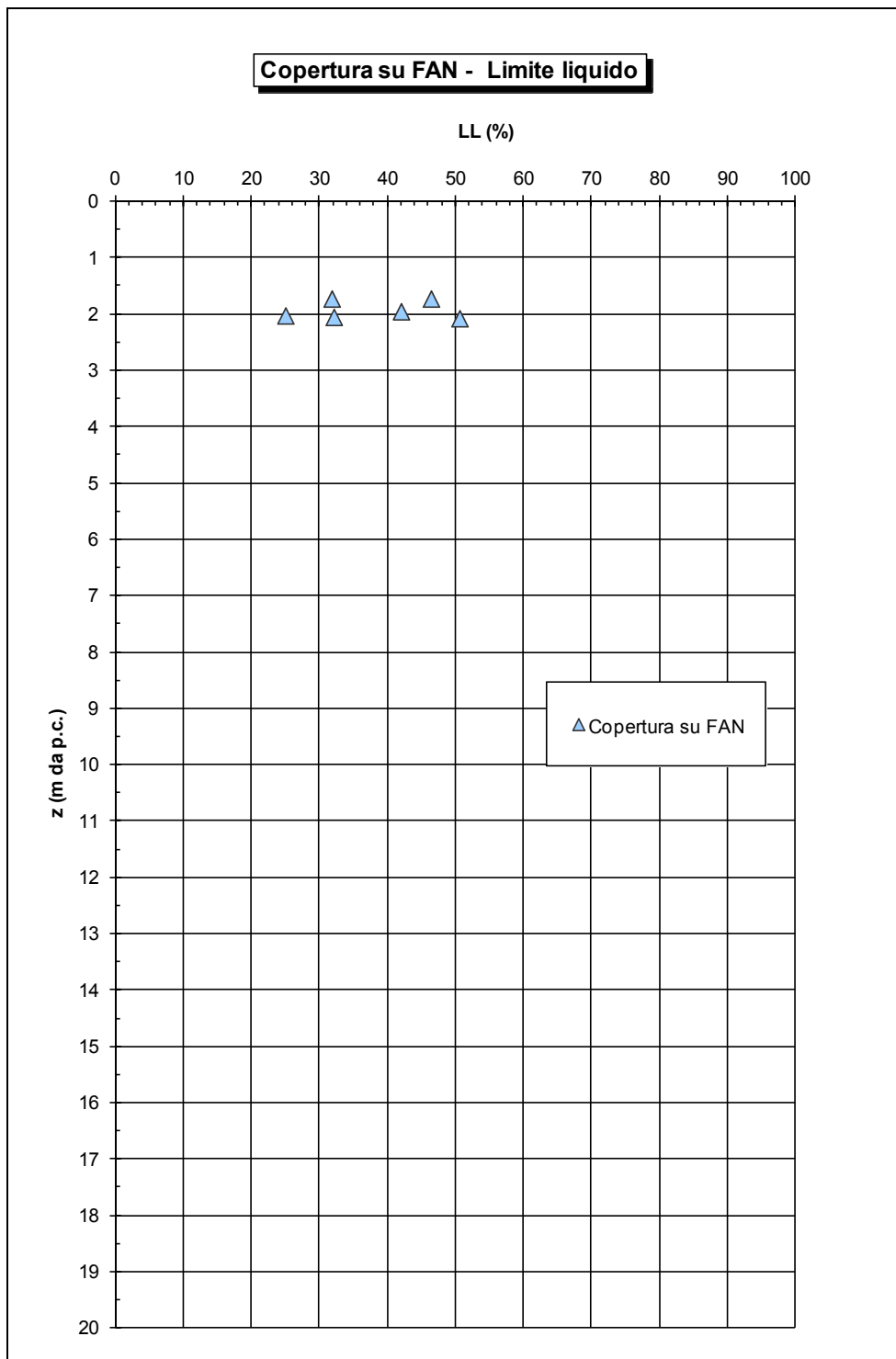


Figura 10.3 - Copertura su FAN - Limite liquido

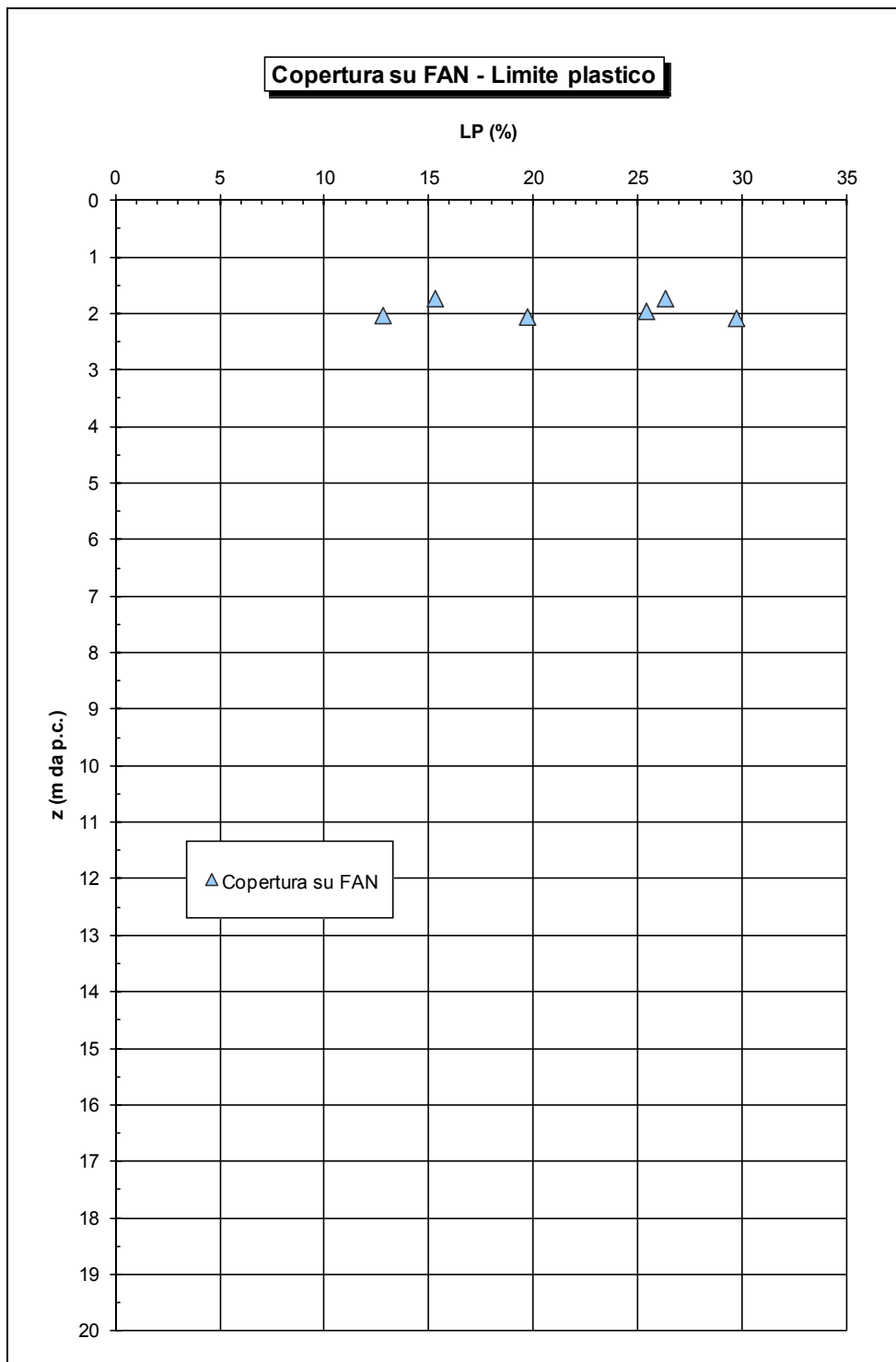


Figura 10.4 - Copertura su FAN - Limite plastico

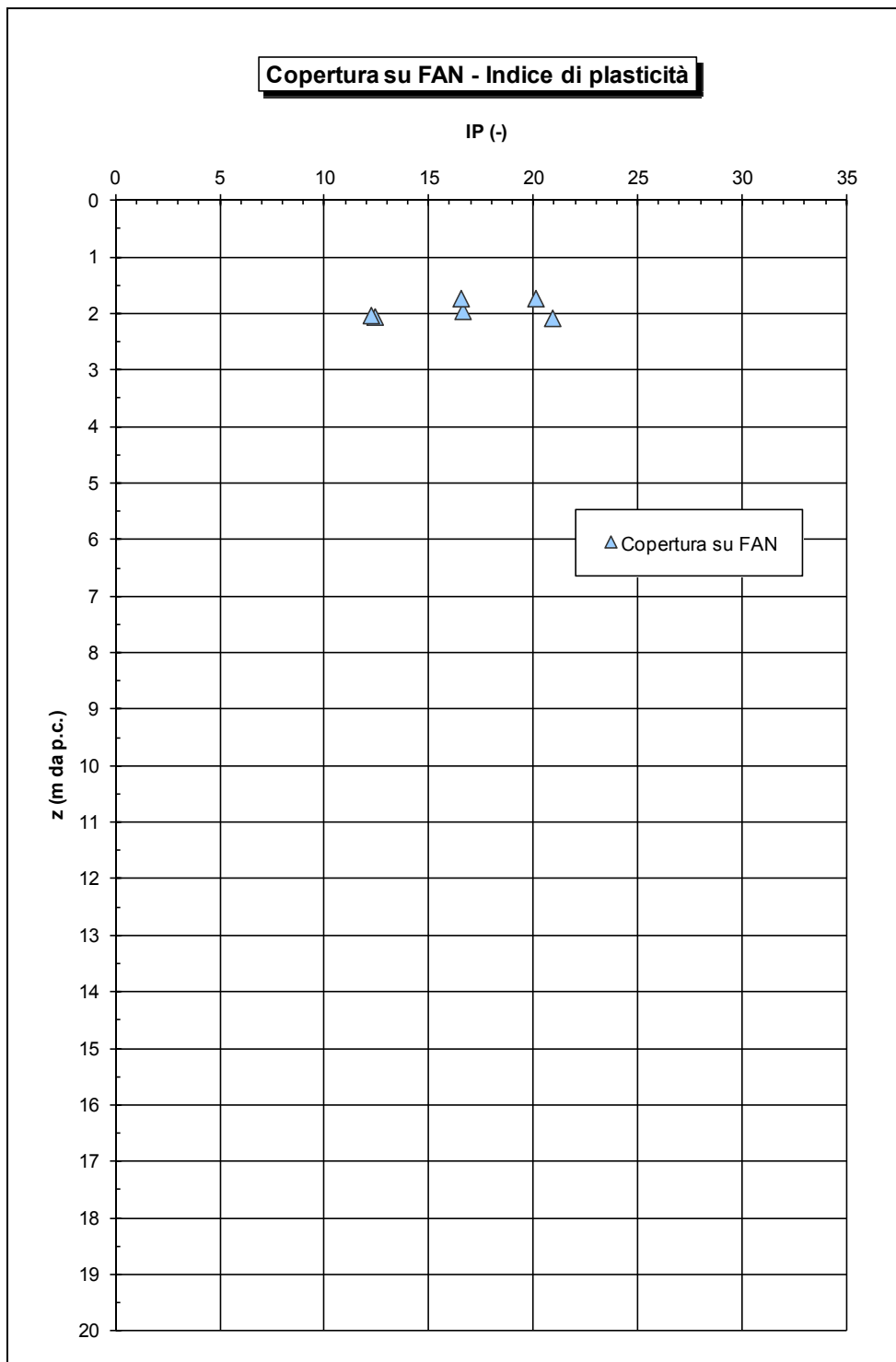


Figura 10.5 - Copertura su FAN - Indice di plasticità

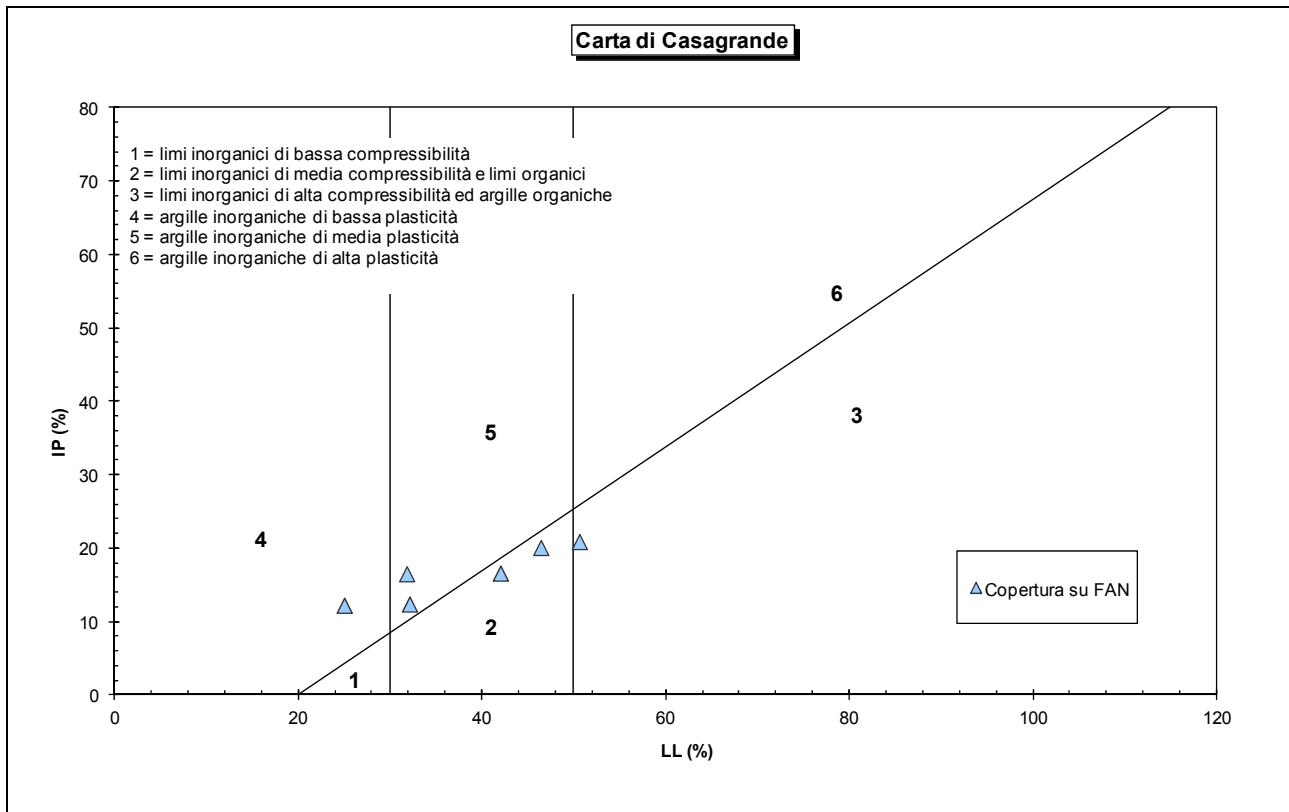


Figura 10.6 - Copertura su FAN - Carta di plasticità di Casagrande

10.2.4 Risultati prove in sito

Per quanto riguarda le prove in sito, dalla loro interpretazione sono stati ottenuti i seguenti risultati:

$$N_{spt} = 10 \div 30 \text{ colpi/piede}$$

$$V_s = 125 \div 250 \text{ m/s}$$

$$G_o = 25 \div 45 \text{ MPa}$$

$$E_o = 50 \div 100 \text{ MPa}$$

$$E'_{25} = E_o/5 = 10 \div 15 \text{ MPa}$$

$$\phi' = 34^\circ$$

$$C_u = 80 \text{ kPa}$$

Nelle Figure seguenti tali risultati vengono diagrammati in funzione della profondità:

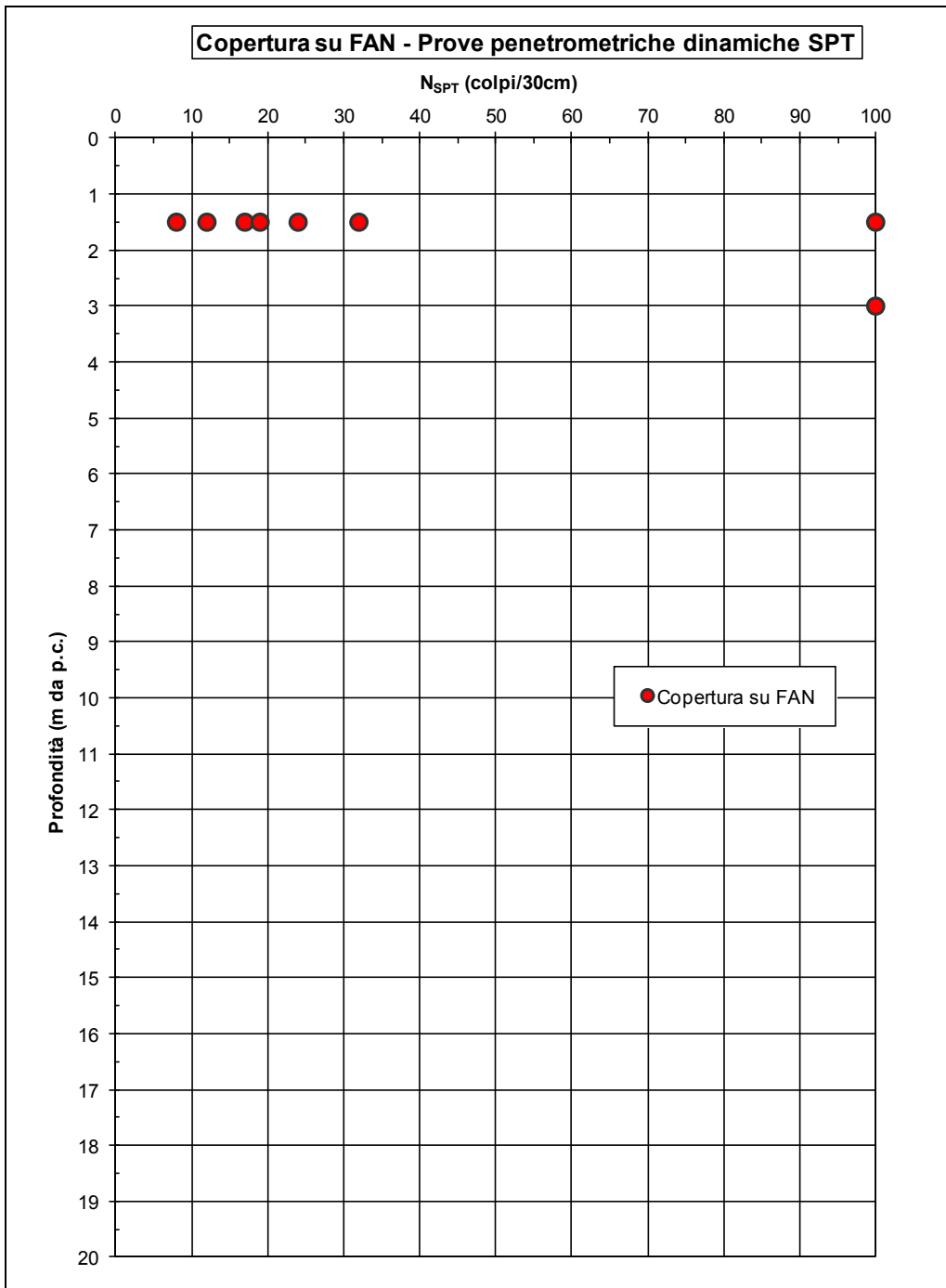


Figura 10.7 - Copertura su FAN - Valori di N_{SPT}

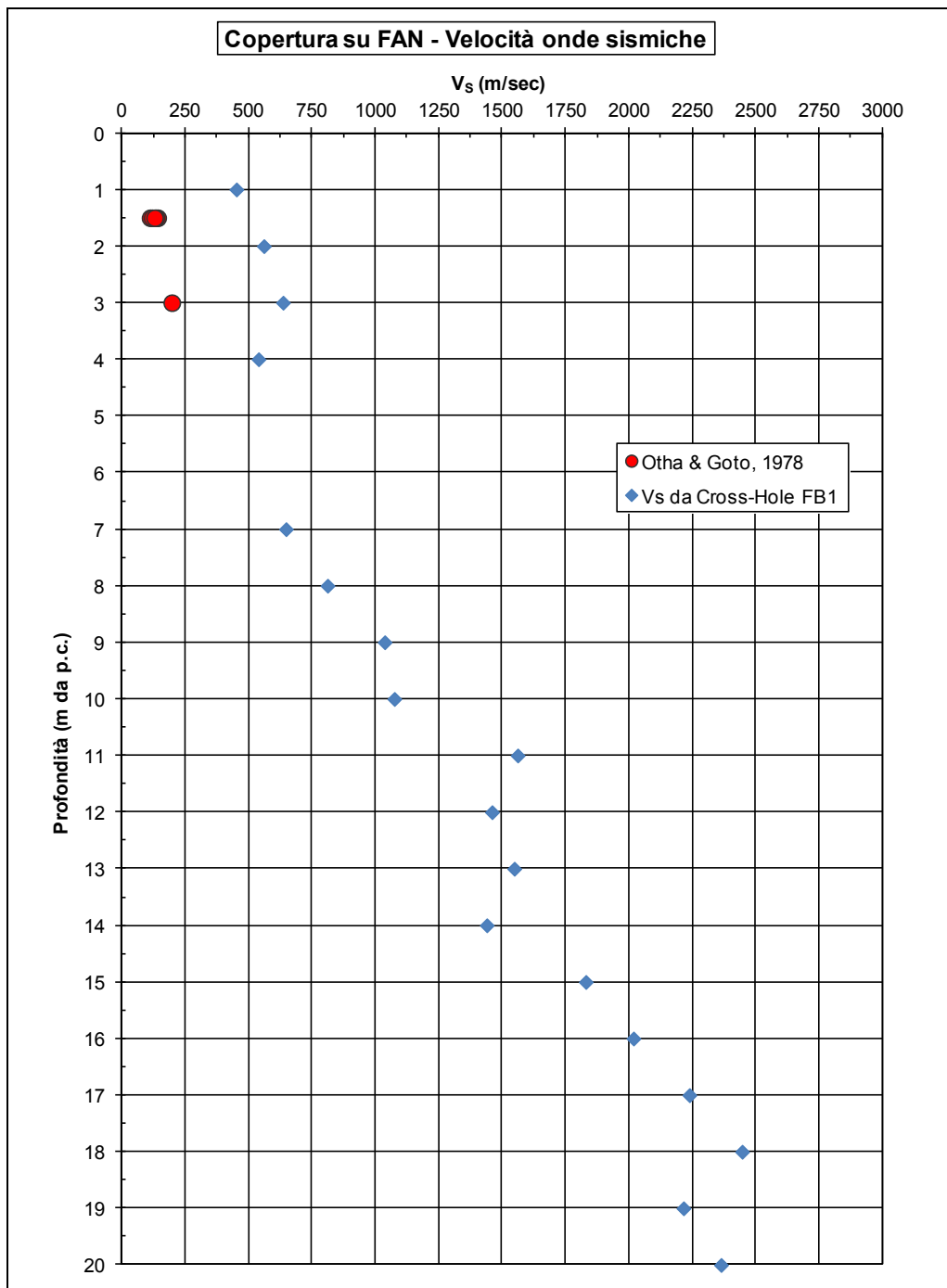


Figura 10.8 - Copertura su FAN - Velocità onde sismiche

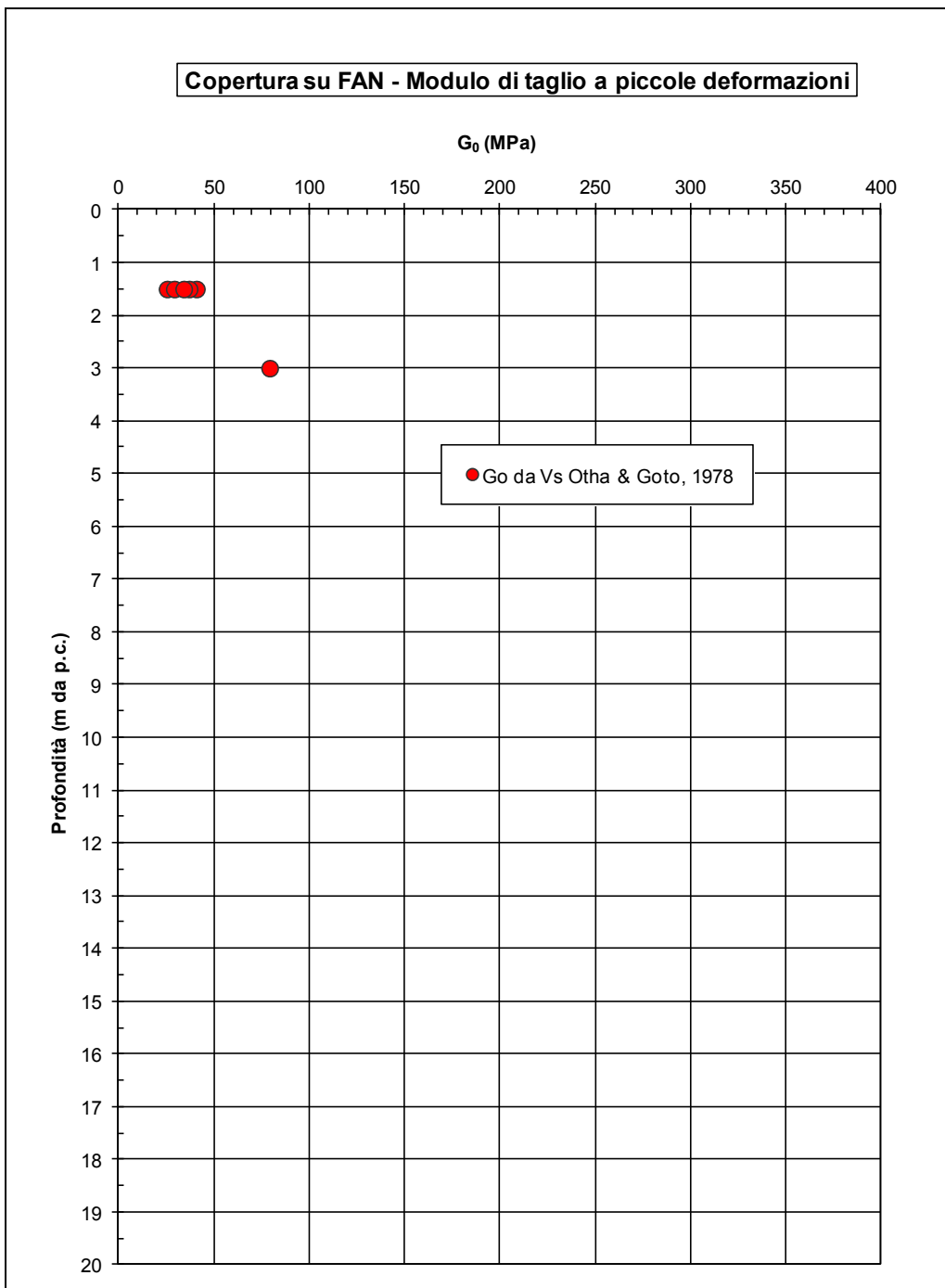


Figura 10.9 - Copertura su FAN - Modulo di taglio a piccole deformazioni

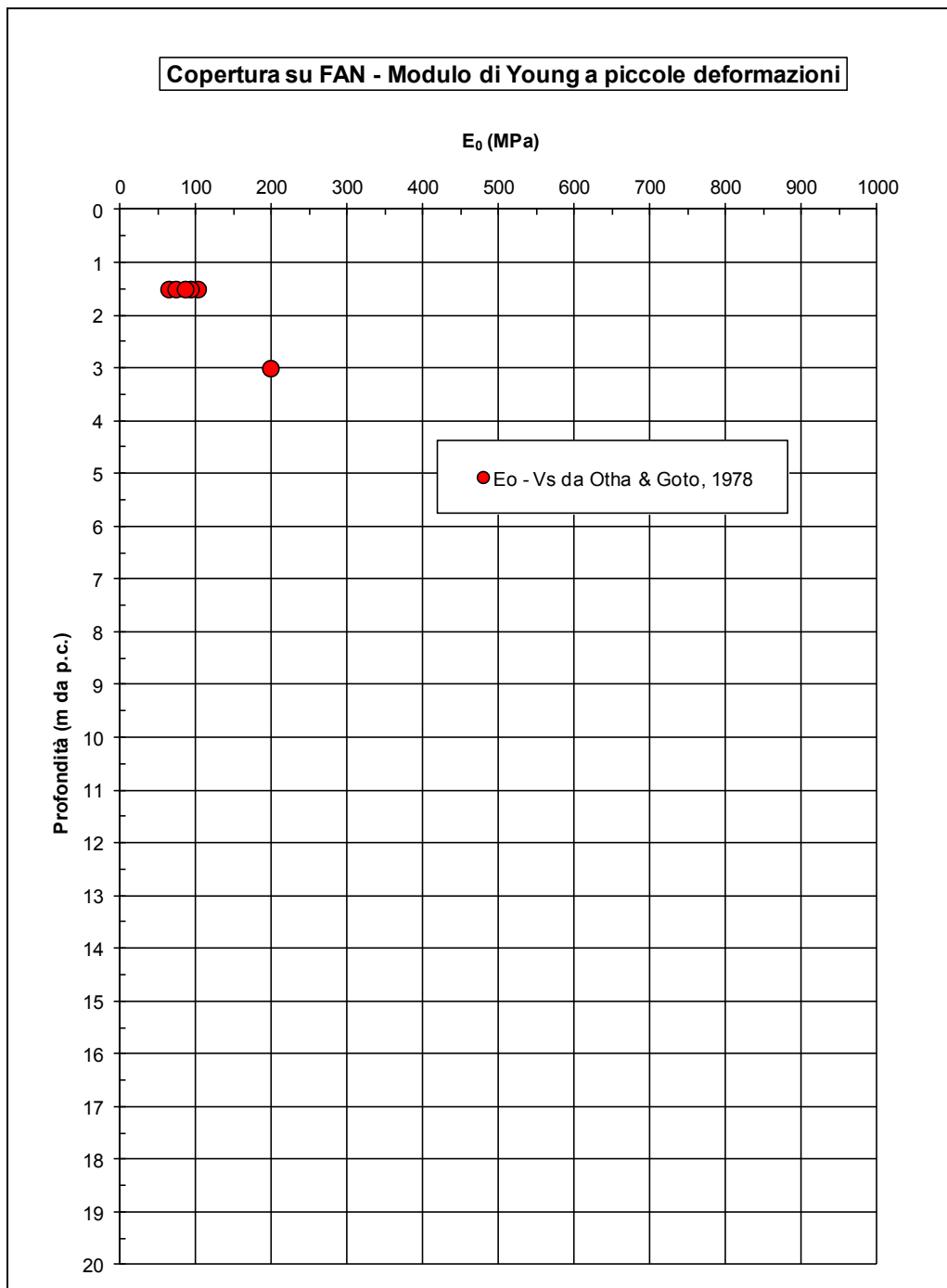


Figura 10.10 - Copertura su FAN - Modulo di Young a piccole deformazioni

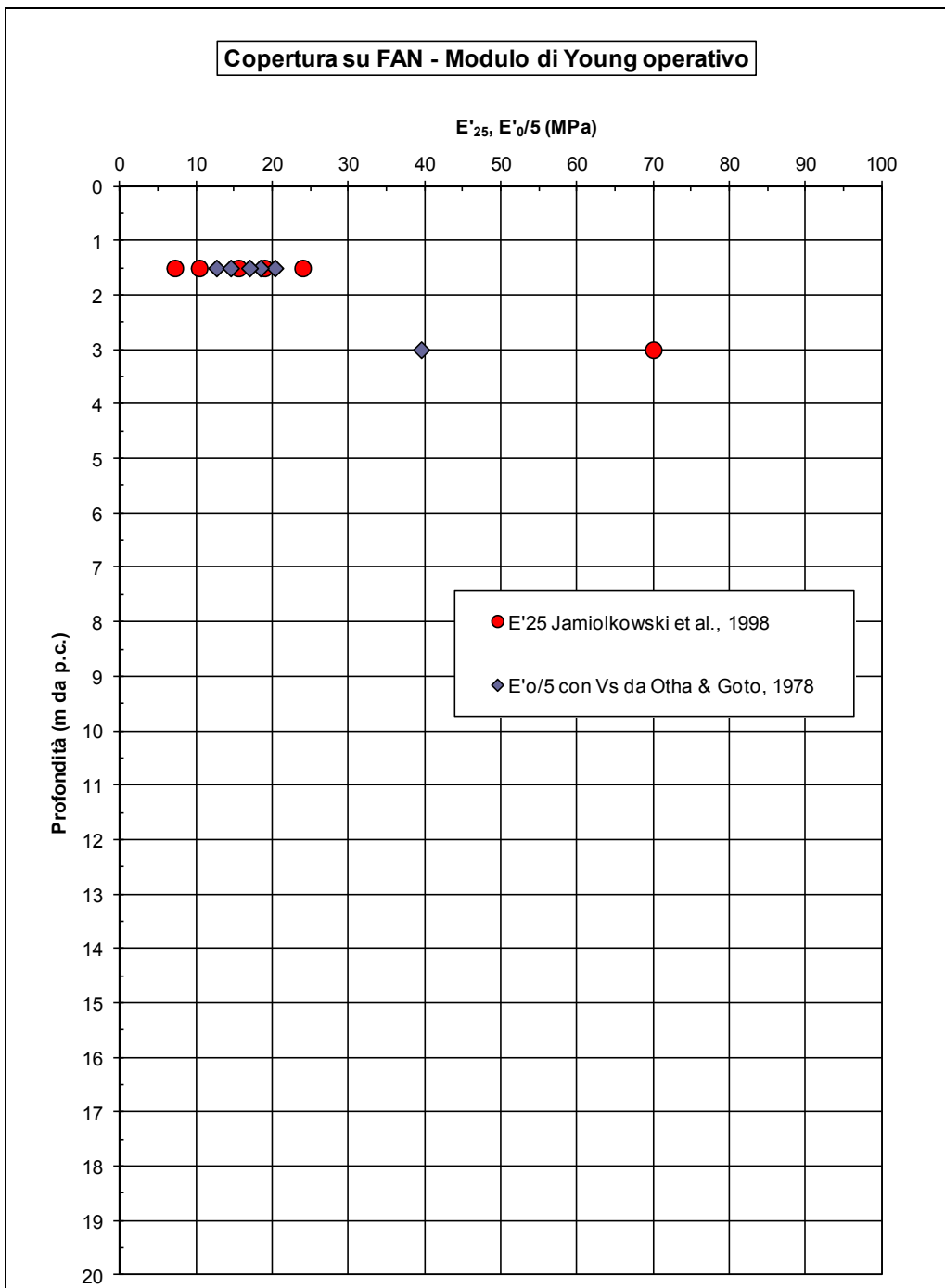


Figura 10.11 - Copertura su FAN - Modulo di Young operativo

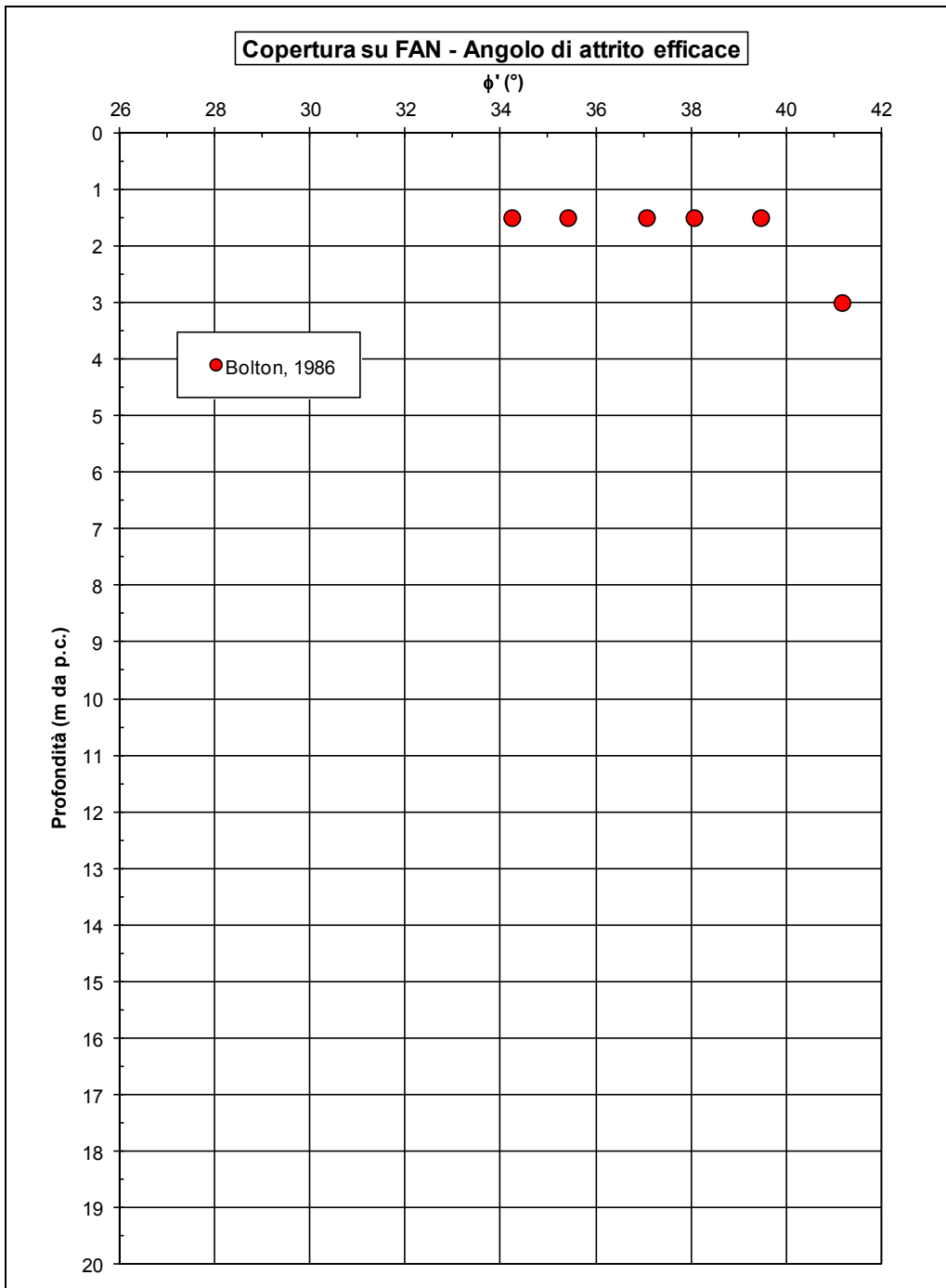


Figura 10.12 - Copertura su FAN - Angolo d'attrito efficace

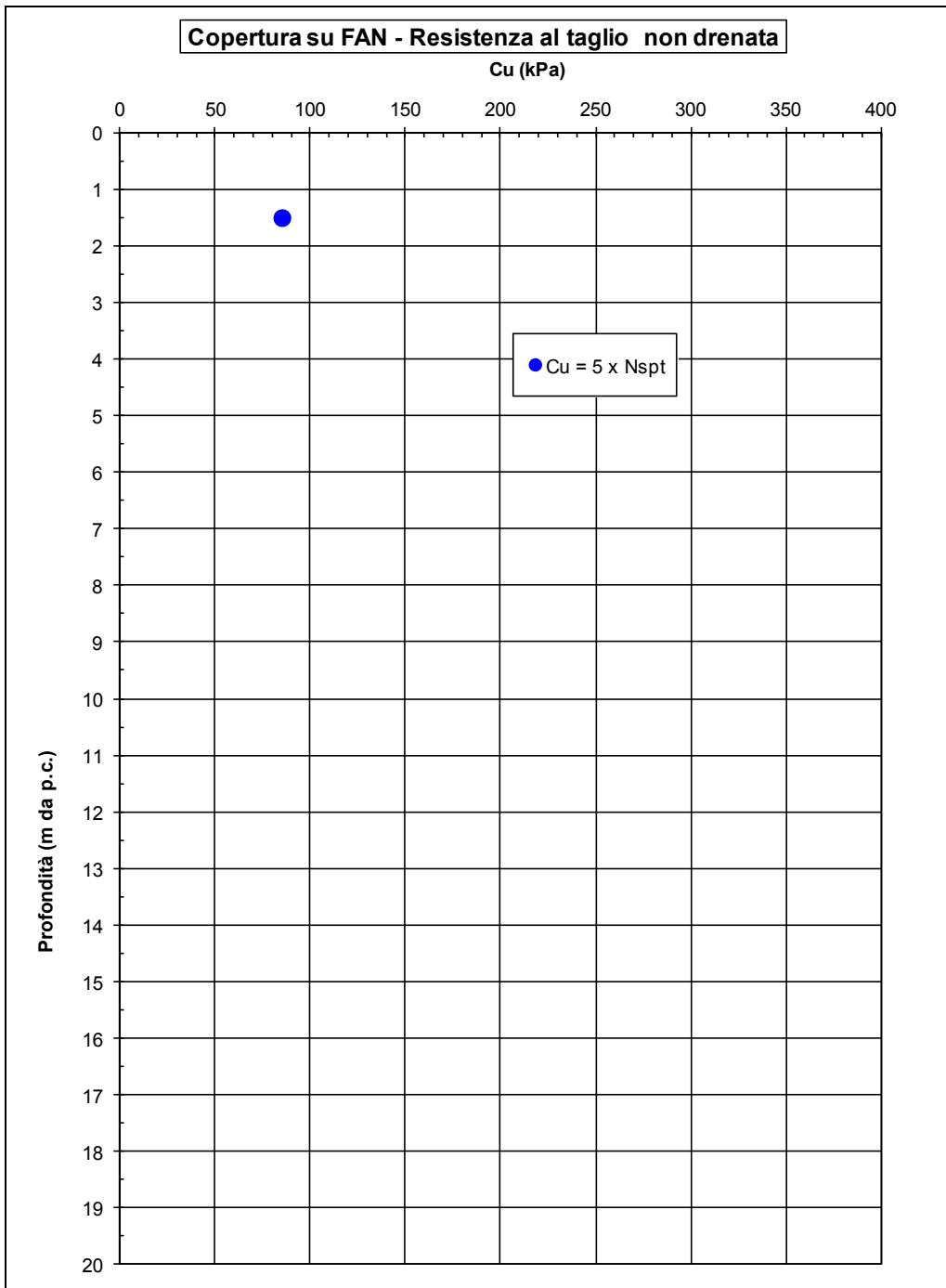


Figura 10.13 - Copertura su FAN - Resistenza al taglio non drenata

10.2.5 Risultati back-analysis

Poiché all'interno della coltre non è stato possibile prelevare campioni indisturbati sui quali eseguire delle prove triassiali / di taglio diretto e comunque l'interpretazione delle prove in sito (SPT) è ascrivibile ai soli livelli granulari, per una stima della resistenza più rappresentativa, che tenga conto anche della presenza di passaggi coesivi, si fa riferimento ai risultati di back analysis.

Tali analisi sono state eseguite nei singoli progetti con l'ausilio del programma SLOPE-W, tenendo conto dello spessore effettivo della copertura e delle condizioni di falda presenti.

In particolare a titolo di esempio, si allegano i risultati dell'analisi eseguita in corrispondenza della berlinese di imbocco della galleria Caravaggio lato Rapallo (cfr. la Figura seguente).

Si ottiene $\phi' = 29^\circ$ e $c' = 0.0$ kPa (con γ_t pari a 20 kN/m³):

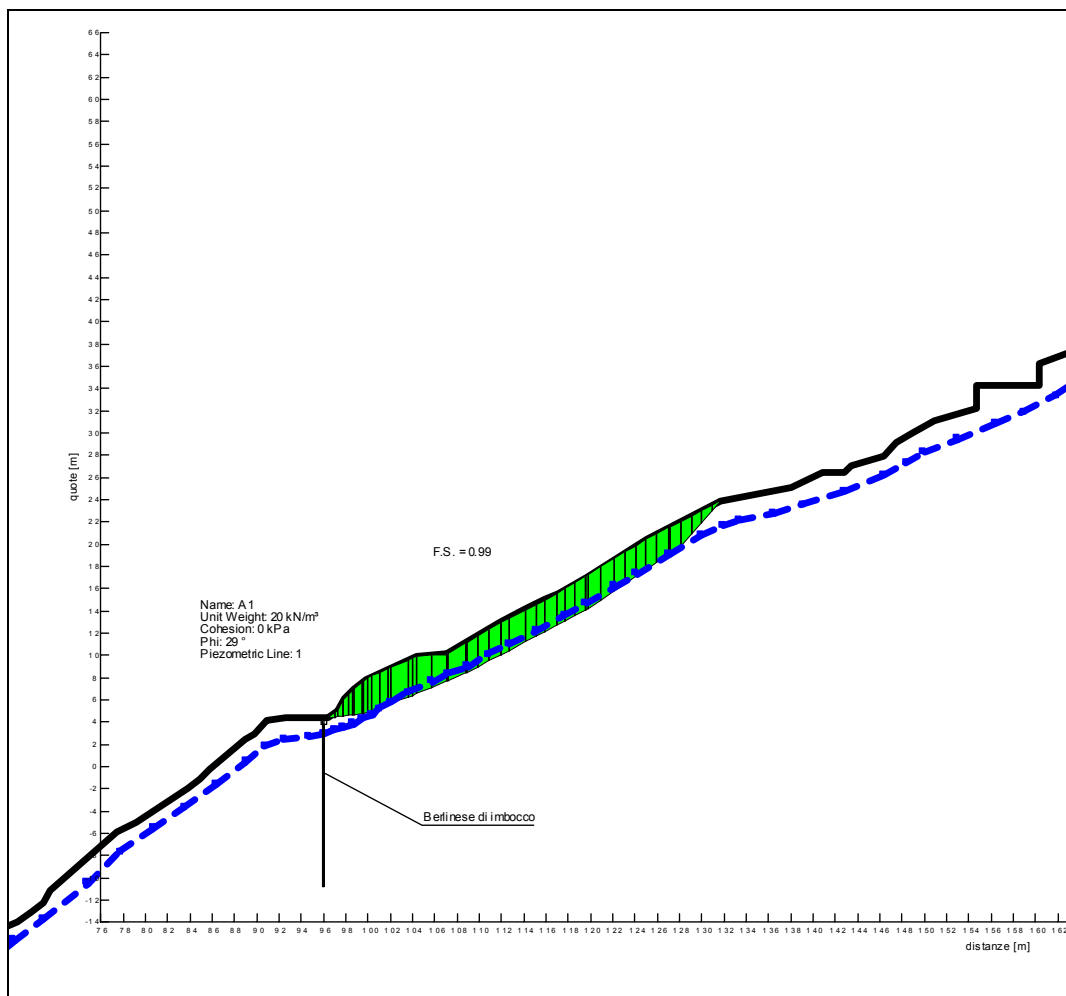


Figura 10.14 - Copertura su FAN - Risultati back-analysis

10.2.6 Tabella riepilogativa dei parametri caratteristici

Nella Tabella seguente sono riportati i parametri caratteristici medi attribuibili alla formazione in oggetto:

| | |
|---------------------------------|---|
| γ_t (kN/m ³) | ~19.0 ÷ 20.0 |
| N_{SPT} (colpi/30 cm) | 10÷30 colpi/piede |
| D_r (%) | - |
| φ' (°) | 28 ÷ 30 materiale limoso/argilloso (*) 34 materiale sabbioso |
| c' (kPa) | 0.0 |
| c_u (kPa) | 80.0 |
| GSC | ~ 1.0 |
| k_o (-) | 0.43 |
| k (m/s) | $1.0 \cdot 10^{-7} \div 1.0 \cdot 10^{-4}$ |
| V_s (m/s) | 125 ÷ 250 |
| G_o (MPa) | 25 ÷ 45 |
| E_o (MPa) | 50 ÷ 100 |
| E_{op} (MPa) | 10 ÷ 15 |
| | |

(*) parametro desunto da back analysis, valutato a titolo di esempio su imbocco Sud galleria Caravaggio, da confermare nei contesti delle singole opere

Tabella 10.2 - Copertura su FAN - Parametri geotecnici caratteristici

SIMBOLOGIA:

γ_t = peso di volume naturale

N_{SPT} = resistenza penetrometrica dinamica in prova SPT;

GSC = grado di sovraconsolidazione;

c_u = resistenza al taglio non drenata;

c' = intercetta di coesione operativa;

φ' = angolo di attrito operativo;

k_o = coefficiente di spinta del terreno a riposo;

V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio;

G_o = modulo di taglio iniziale;

E_o = modulo di Young iniziale;

E_{op} = modulo elastico operativo;

k = coefficiente di permeabilità

10.3 Copertura su AMV

10.3.1 Descrizione del materiale

Si tratta di un materiale eterogeneo, caratterizzato dalla presenza di una matrice fine da scarsa a media e dalla presenza locale di clasti.

10.3.2 Indagini di riferimento

Le verticali in cui è stato rinvenuto questo materiale sono indicate nella Tabella seguente:

| Ambito | Sondaggio | Tipo di materiale sciolto |
|--|-----------|---------------------------|
| STAZIONE VALFONTANABUONA E ROTATORIA DI AVENO | FB9 | Copertura su AMV |
| | FB10 | Copertura su AMV |
| | FB9bis | Copertura su AMV |
| | FB9ter | Copertura su AMV |
| | FB9quater | Copertura su AMV |
| | FB11 | Copertura su AMV |
| | FB12 | Copertura su AMV |
| | FB14 | Copertura su AMV |

Tabella 10.3 - Copertura su AMV - Sondaggi di riferimento

10.3.3 Risultati prove di laboratorio

Per quanto riguarda le prove di laboratorio, i risultati principali ottenuti possono essere così riassunti:

Granulometria

ghiaia + sabbia = 60÷90

argilla + limo = 10÷40

Limiti di Atterberg

LL = 30÷40 %

LP = 25÷30 %

IP = 6÷12 %

Carta di Casagrande: limi di bassa / media plasticità

Nelle Figure seguenti sono diagrammati in funzione della profondità i principali parametri misurati:

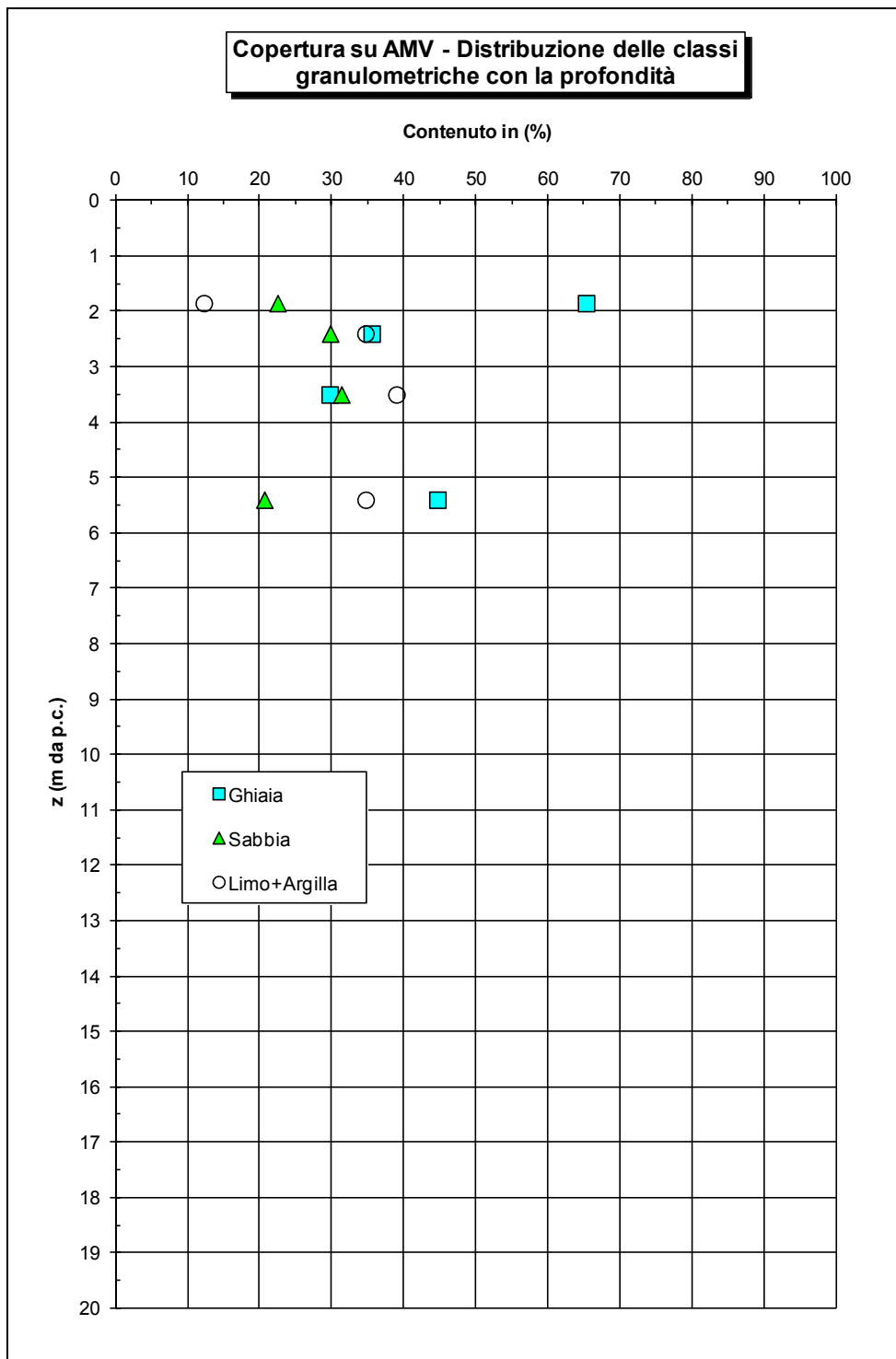


Figura 10.15 - Copertura su AMV - Classi granulometriche

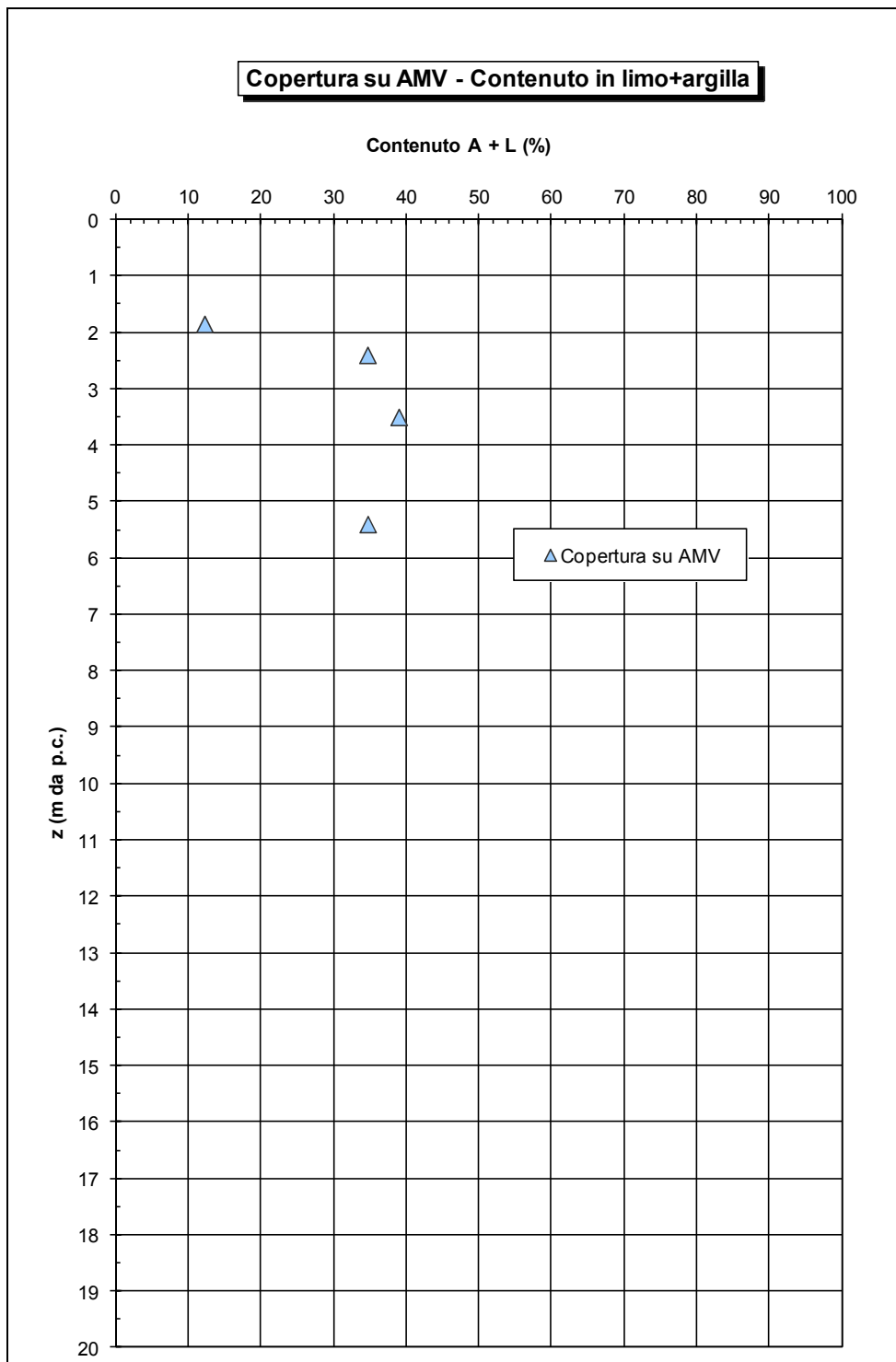


Figura 10.16 - Copertura su AMV - Contenuto A+L

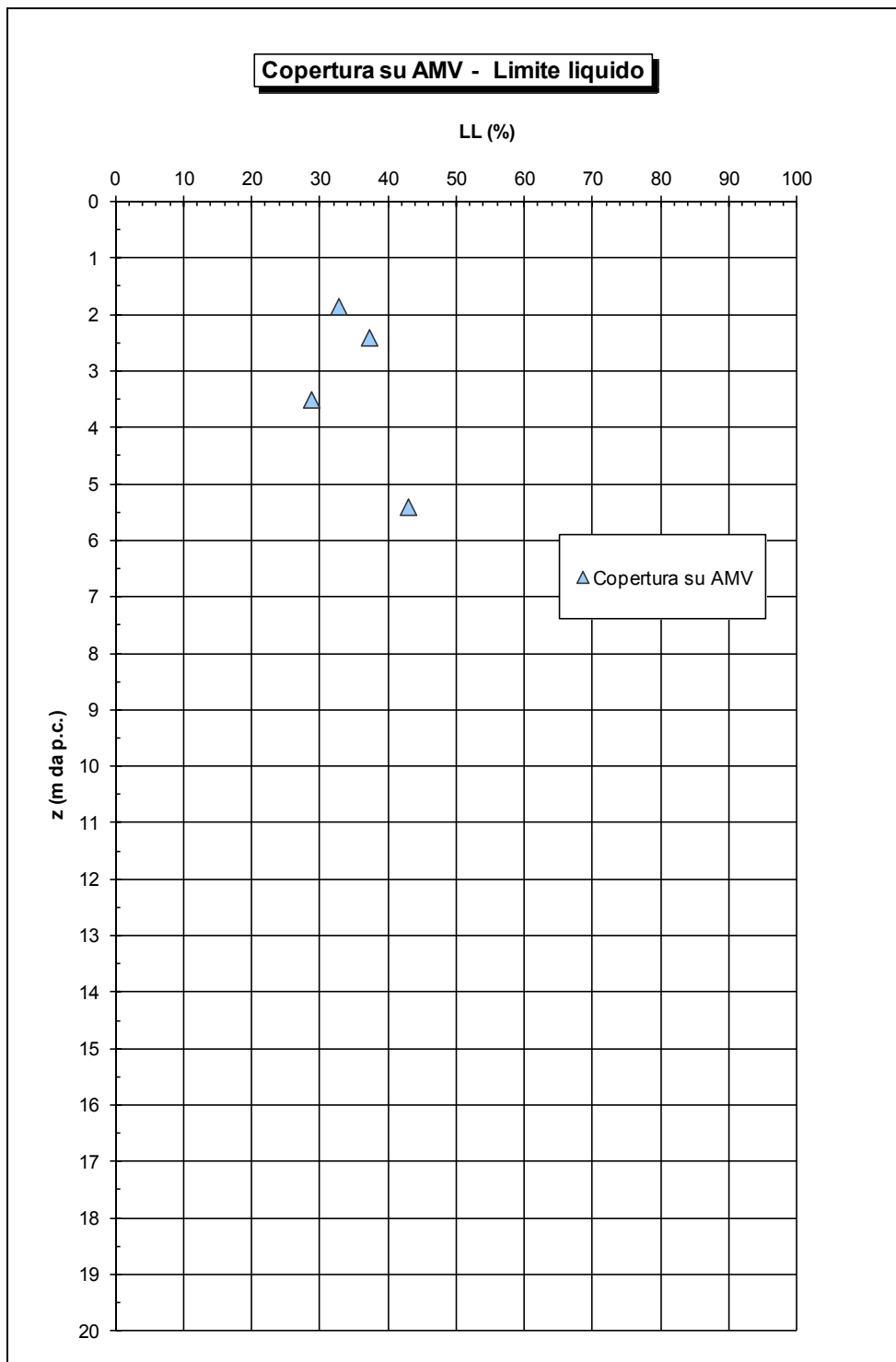


Figura 10.17 - Copertura su AMV - Limite liquido

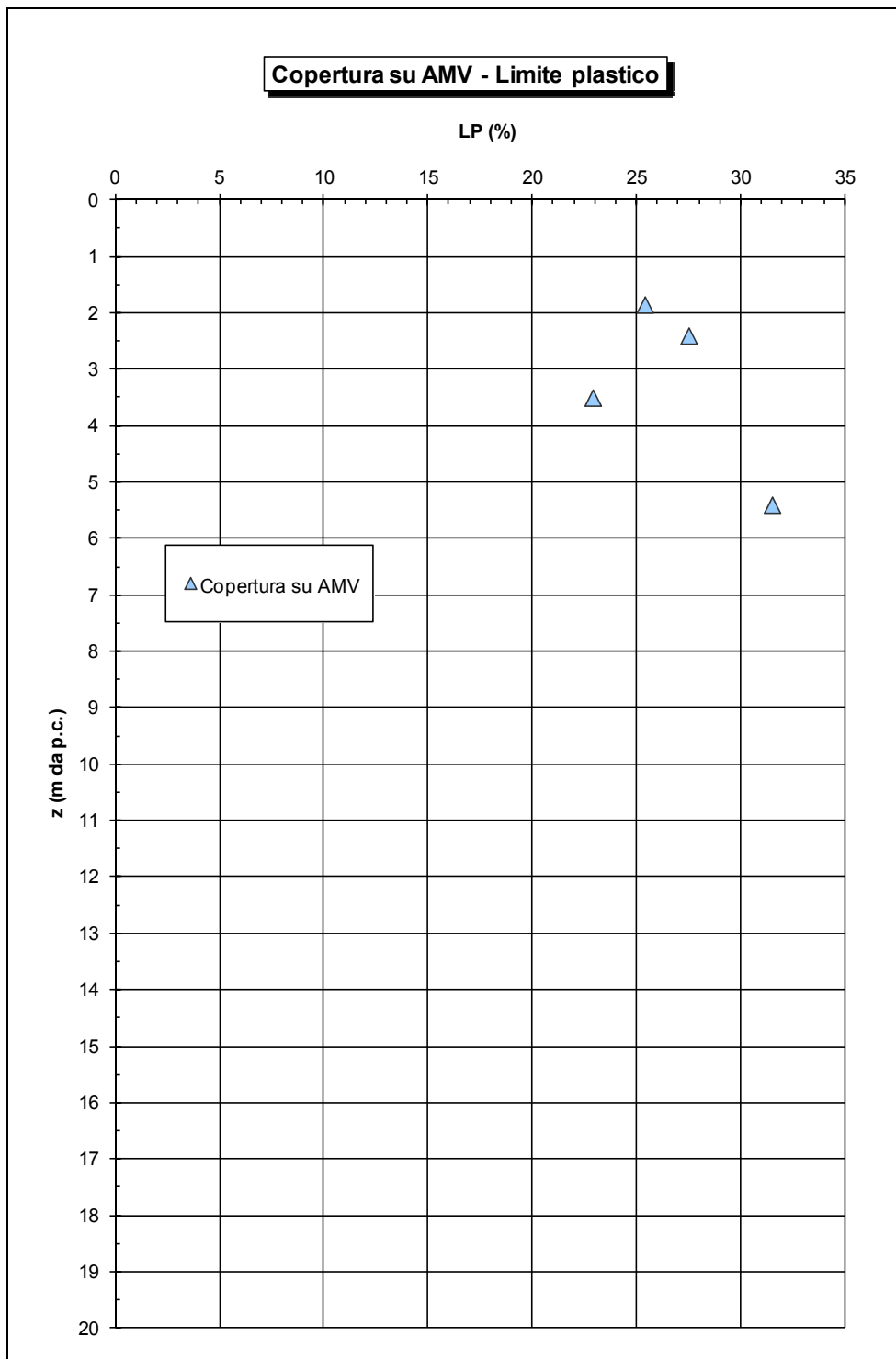


Figura 10.18 - Copertura su AMV - Limite plastico

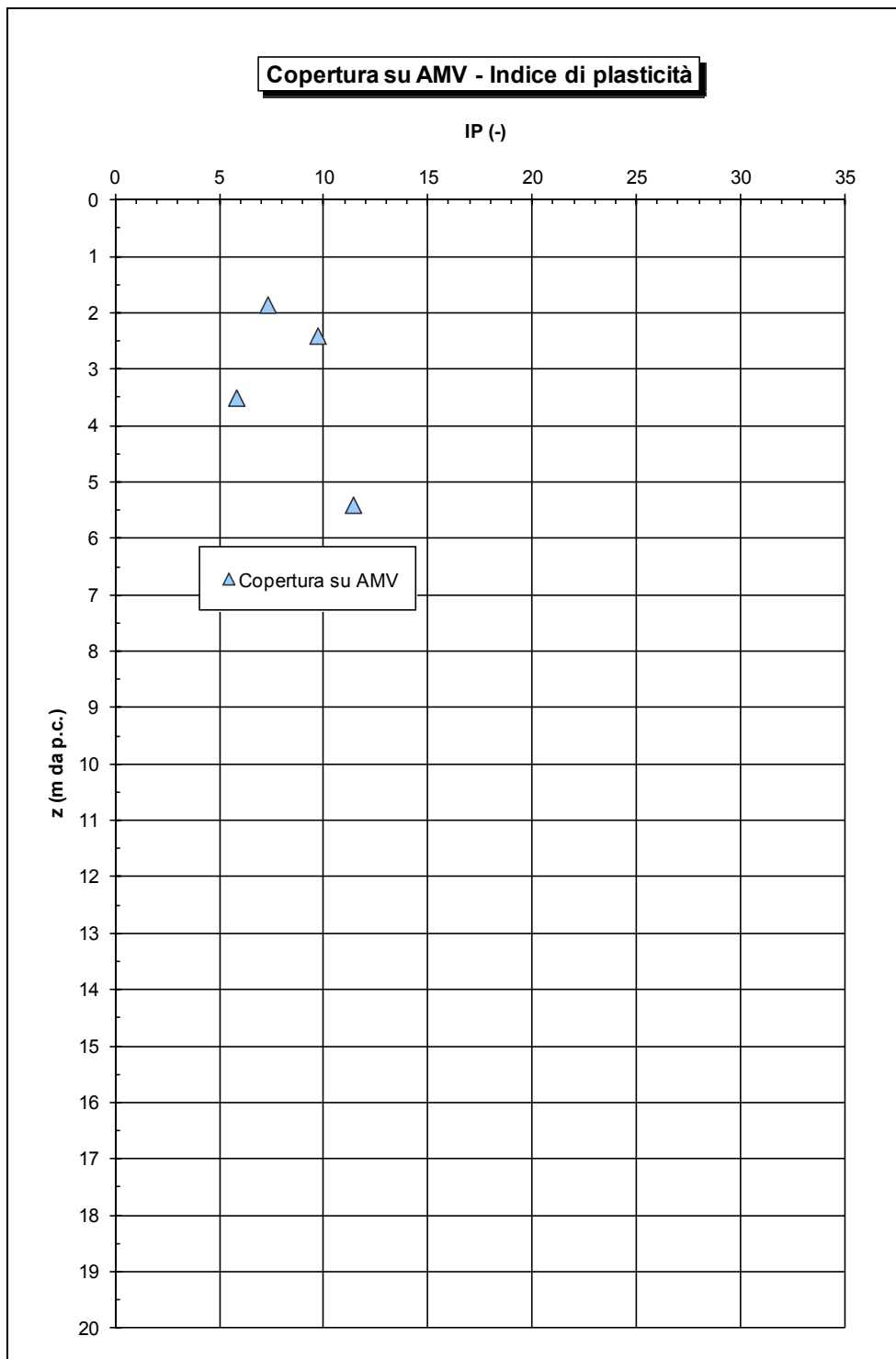


Figura 10.19 - Copertura su AMV - Indice di plasticità

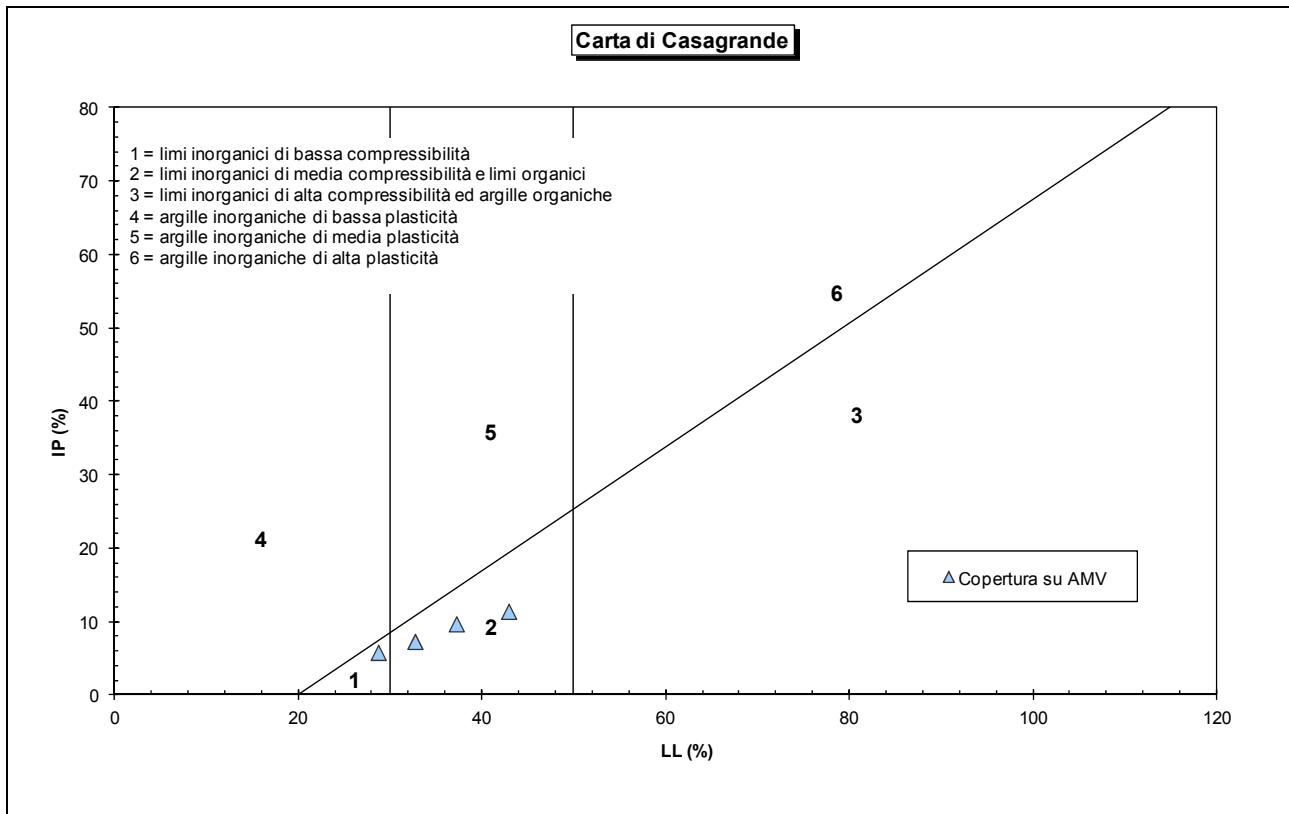


Figura 10.20 - Copertura su AMV - Carta di plasticità di Casagrande

10.3.4 Risultati prove in sito

Per quanto riguarda le prove in sito, i principali risultati ottenuti dalla loro interpretazione sono i seguenti:

$$N_{\text{spt}} = 7 \div 50 \text{ colpi/piede}$$

$$V_s = 125 \div 250 \text{ m/s}$$

$$G_o = 20 \div 80 \text{ MPa}$$

$$E_o = 50 \div 200 \text{ MPa}$$

$$E'_{25} = E_o/5 = 10 \div 20 \text{ MPa}$$

$$\phi' = 34^\circ \div 36^\circ$$

$$c_u = 80 \text{ kPa}$$

Nelle Figure seguenti sono riportati, in funzione della profondità, i principali risultati ottenuti:

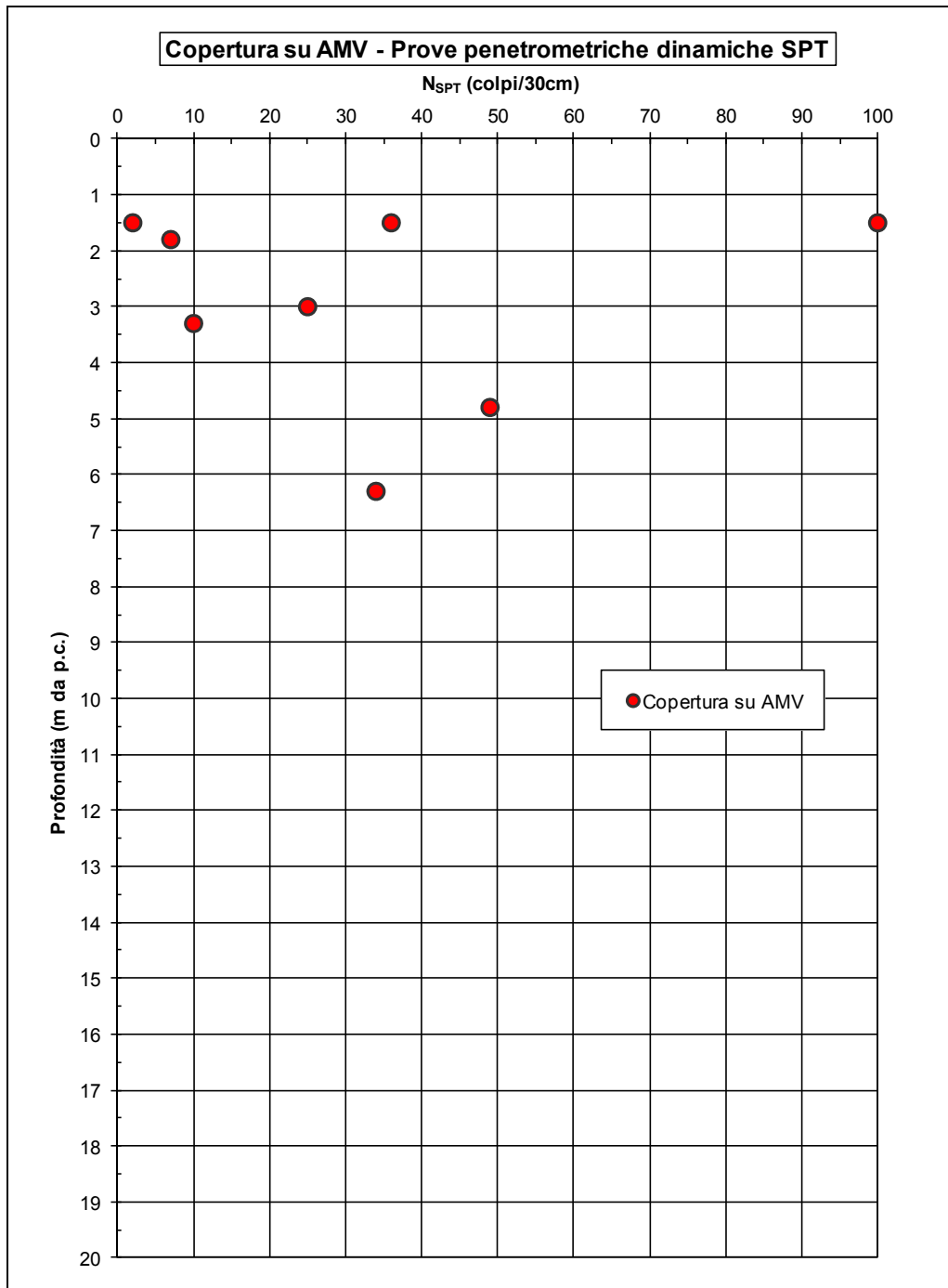


Figura 10.21 - Copertura su AMV - Valori di N_{SPT}

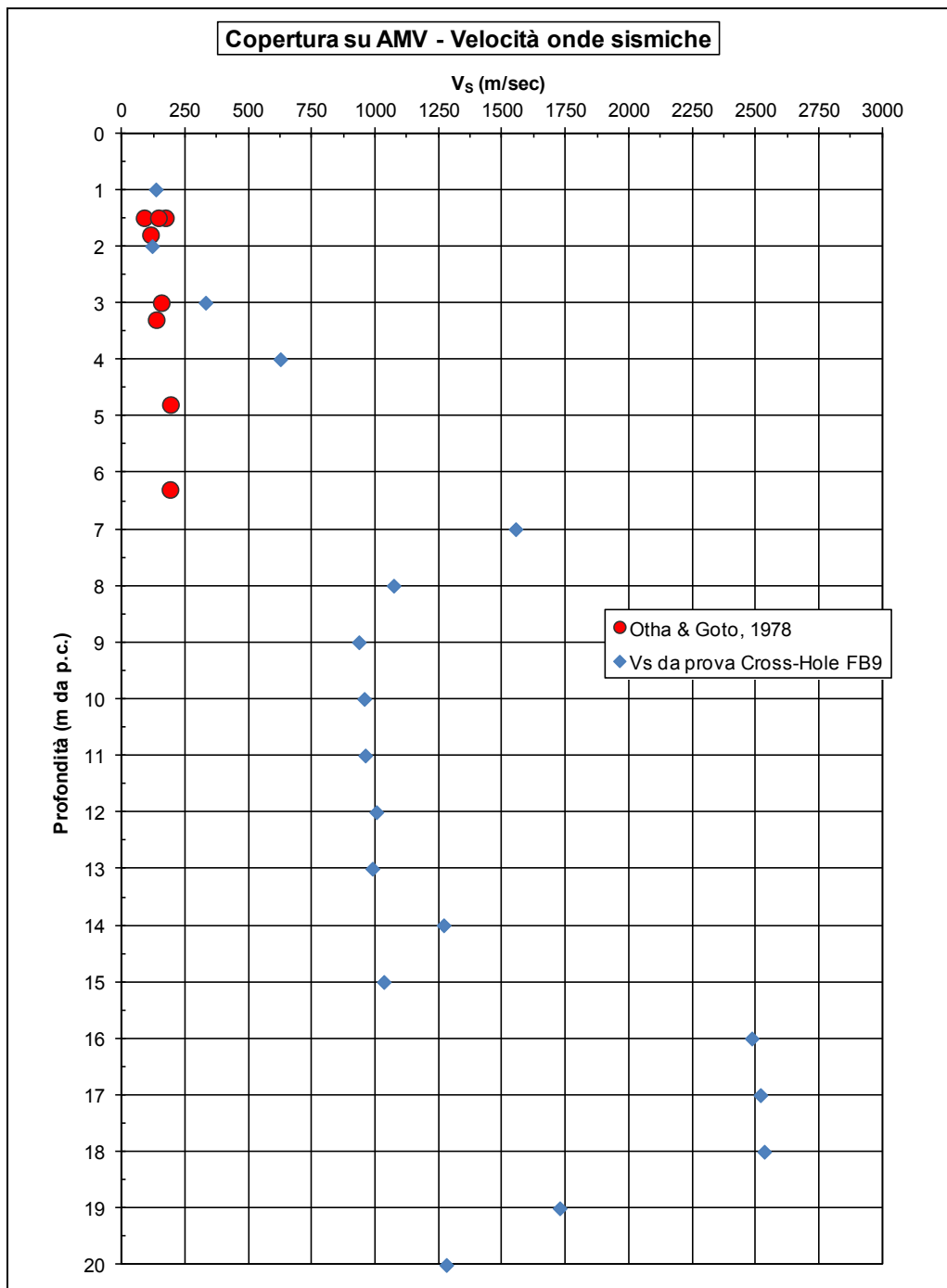


Figura 10.22 - Copertura su AMV - Velocità onde sismiche

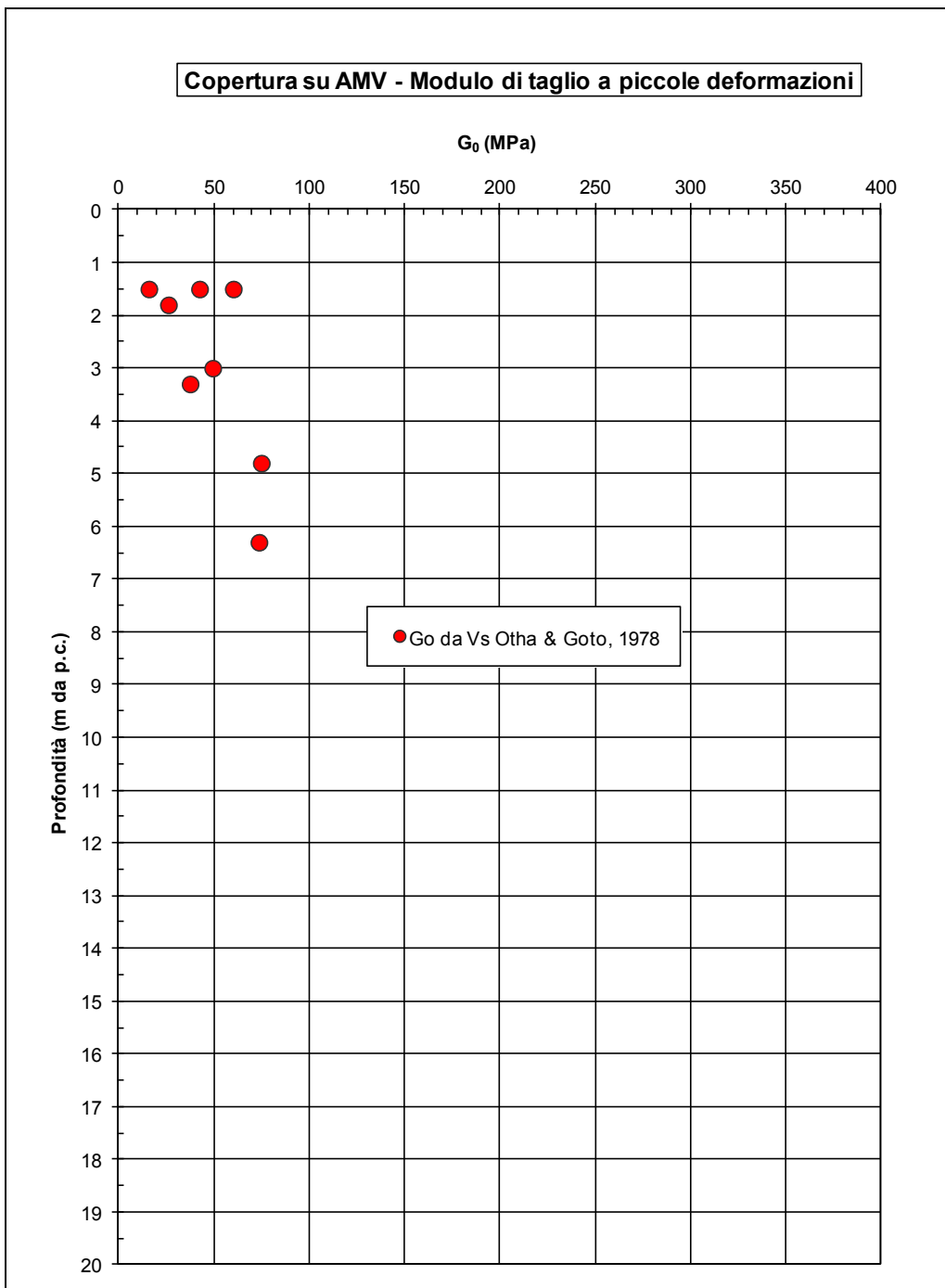


Figura 10.23 - Copertura su AMV - Modulo di taglio a piccole deformazioni

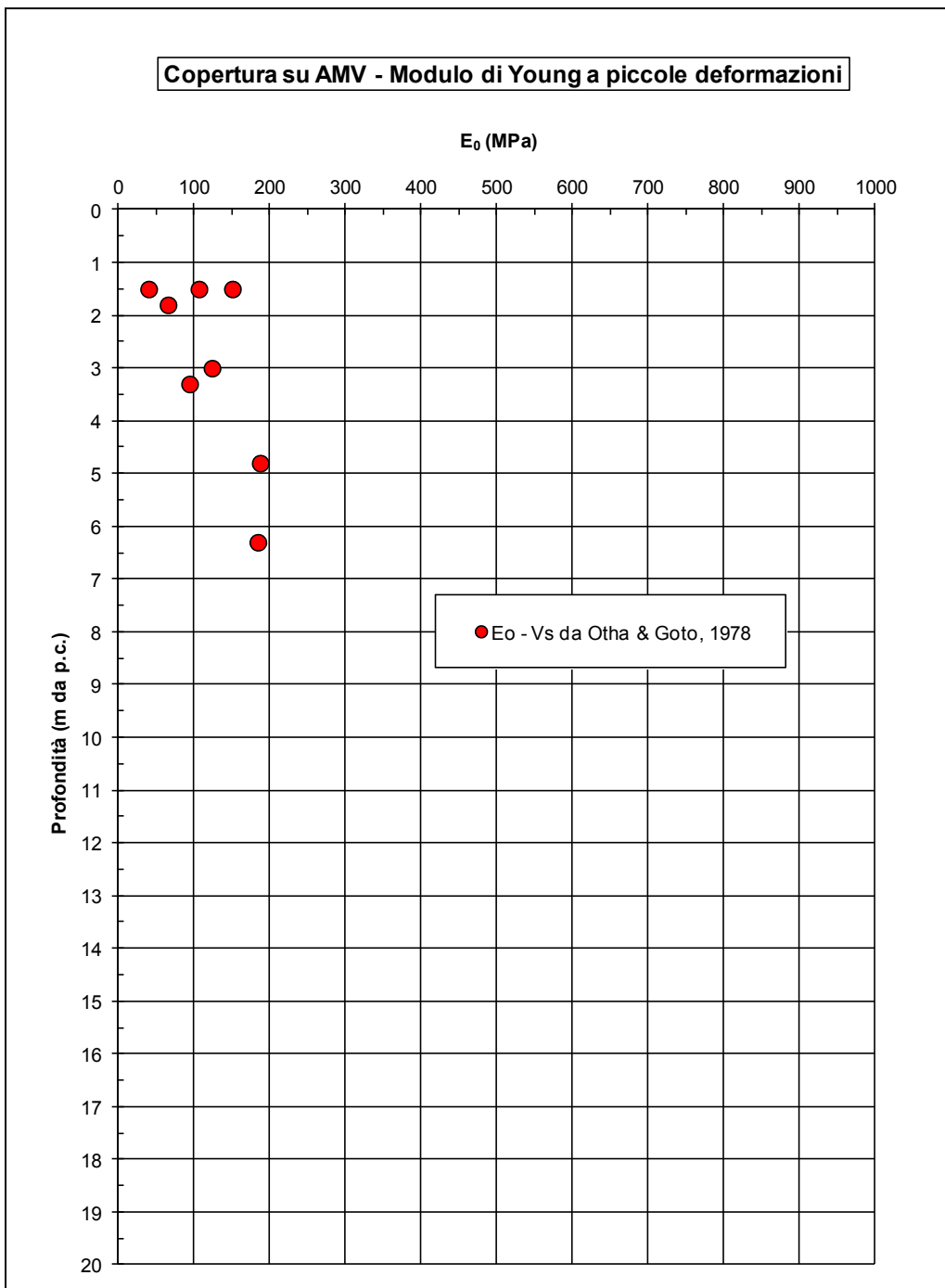


Figura 10.24 - Copertura su AMV - Modulo di Young a piccole deformazioni

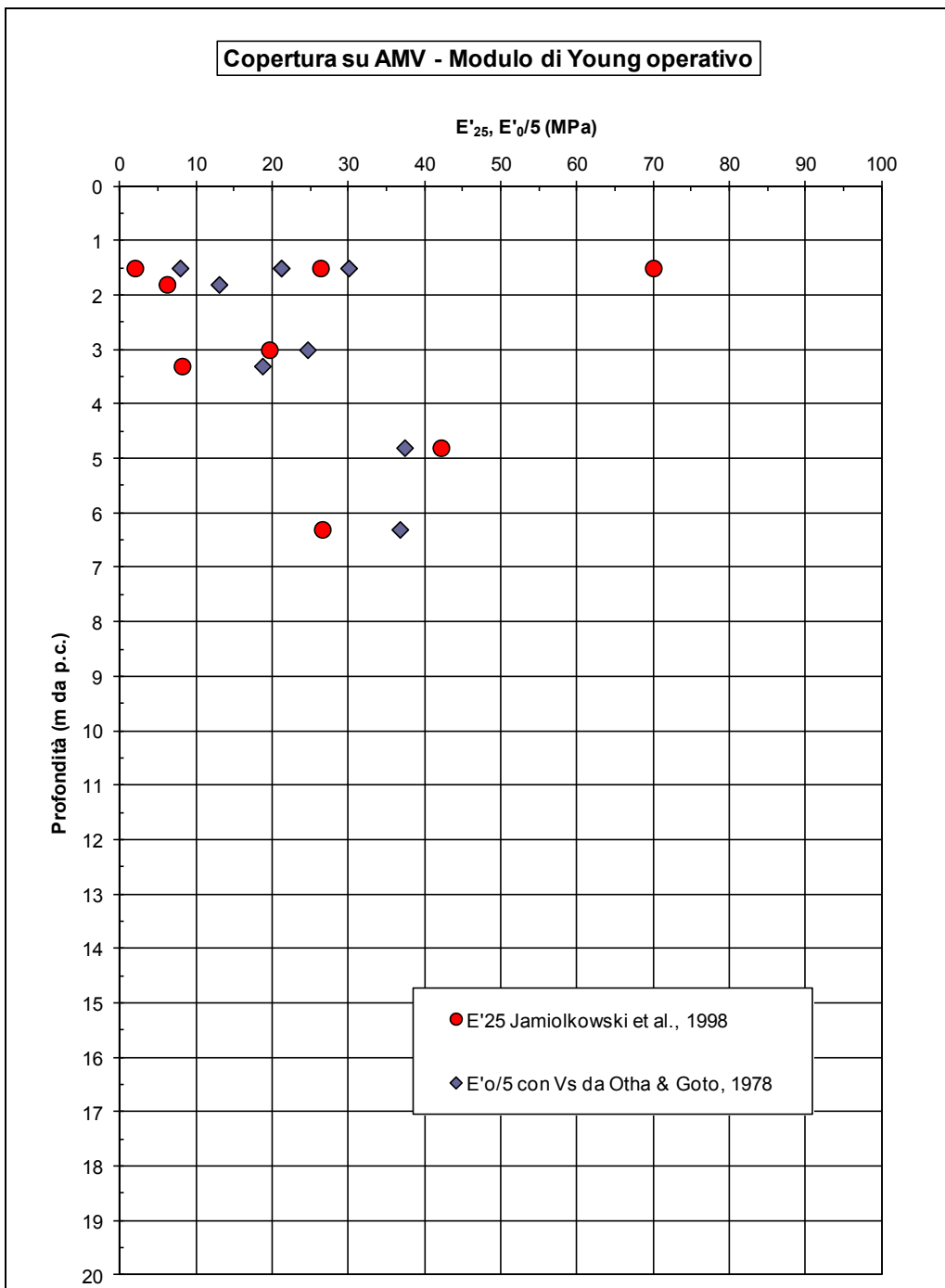


Figura 10.25 - Copertura su AMV - Modulo di Young operativo

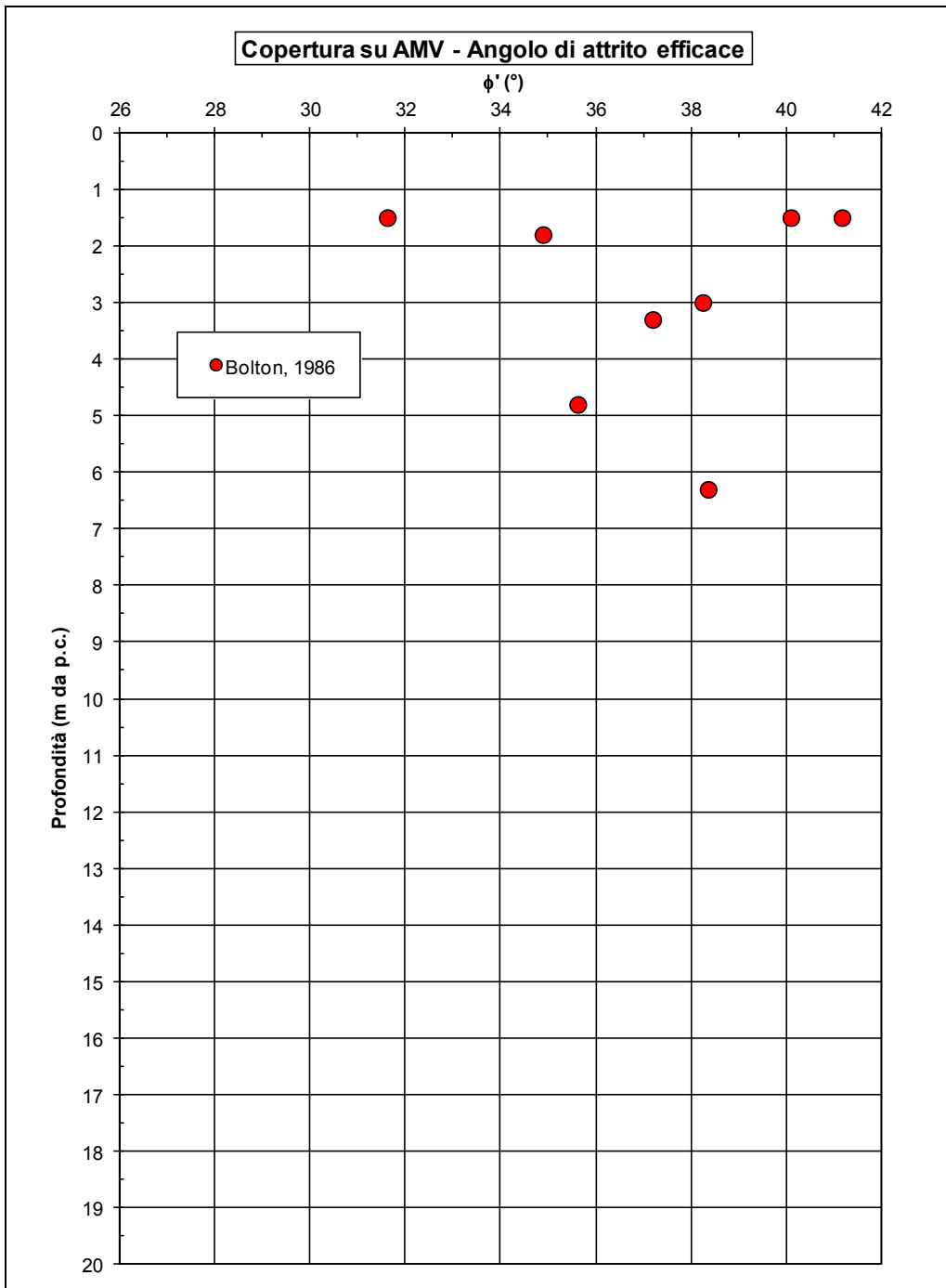


Figura 10.26 - Copertura su AMV - Angolo d'attrito efficace

10.3.5 Tabella riepilogativa dei parametri caratteristici

Nella Tabella seguente sono riportati i parametri caratteristici medi attribuibili alla formazione in oggetto:

| | |
|---------------------------------|--|
| γ_t (kN/m ³) | ~19.0 ÷ 20.0 |
| N_{SPT} (colpi/30 cm) | 7 ÷ 50 |
| D_r (%) | - |
| φ' (°) | 34 ÷ 36 |
| c' (kPa) | 0.0 |
| c_u (kPa) | 80.0 |
| GSC | ~ 1.0 |
| k_o (-) | 0.41 ÷ 0.44 |
| k (m/s) | $1.0 \cdot 10^{-7} \div 1.0 \cdot 10^{-4}$ |
| V_s (m/s) | 125 ÷ 250 |
| G_o (MPa) | 20 ÷ 80 |
| E_o (MPa) | 50 ÷ 200 |
| E_{op} (MPa) | 10 ÷ 20 |
| | |

Tabella 10.4 - Copertura su AMV - Parametri geotecnici caratteristici

10.4 Copertura su SCM

10.4.1 Descrizione del materiale

Si tratta anche in questo caso di un materiale eterogeneo, caratterizzato dalla presenza di una matrice fine da scarsa a media e dalla presenza locale di clasti.

Nella zona tra la stazione di Fontanabuona ed il raccordo con la SP225 si incontra una zona di accumulo di materiale detritico – colluviale, di spessore rilevante (una decina di metri) impostata sulla formazione degli Scisti Manganesiferi.

10.4.2 Indagini di riferimento

Le verticali in cui è stato incontrato questo materiale sono indicate nella Tabella seguente:

| Ambito | Sondaggio | Tipo di materiale sciolto |
|-----------------------------|-----------|---------------------------|
| RACCORDO VIABILITA' S.P.225 | FB20 | Copertura su SCM |
| | FB15 | Copertura su SCM |
| | FB16 | Copertura su SCM |

Tabella 10.5 - Copertura su SCM - Sondaggi di riferimento

10.4.3 Risultati prove di laboratorio

Per quanto riguarda le prove di laboratorio, i principali risultati ottenuti possono essere così sintetizzati:

Granulometria

ghiaia + sabbia = 60÷80

argilla + limo = 20÷40

Limiti di Atterberg

LL = 30÷40 %

LP = 20÷30 %

IP = 7÷14 %

Carta di Casagrande: limi e argille di media plasticità, media compressibilità

Nelle Figure seguenti sono diagrammati, in funzione della profondità, i principali parametri misurati:

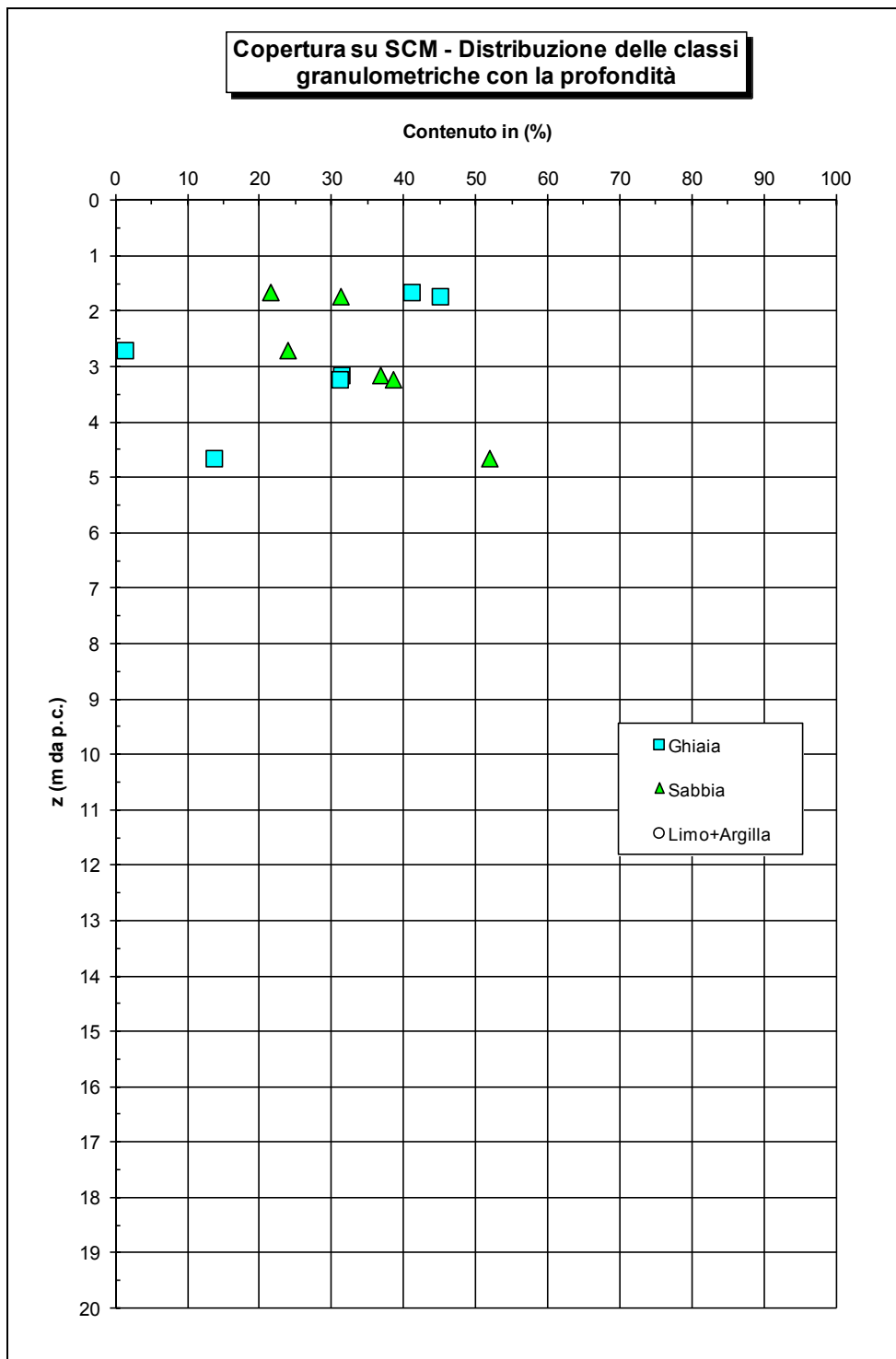


Figura 10.27 - Copertura su SCM - Classi granulometriche

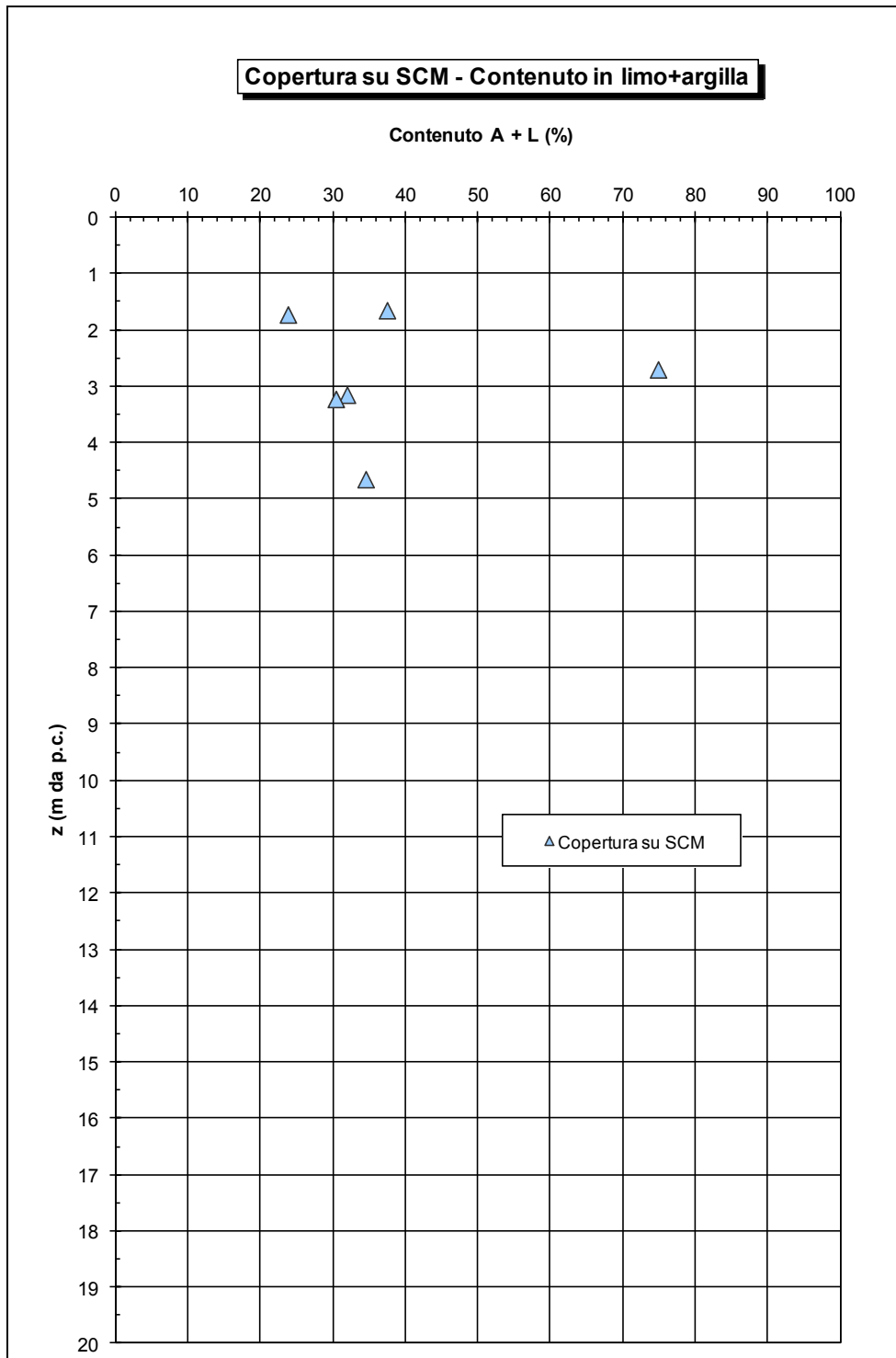


Figura 10.28 - Copertura su SCM - Contenuto A+L

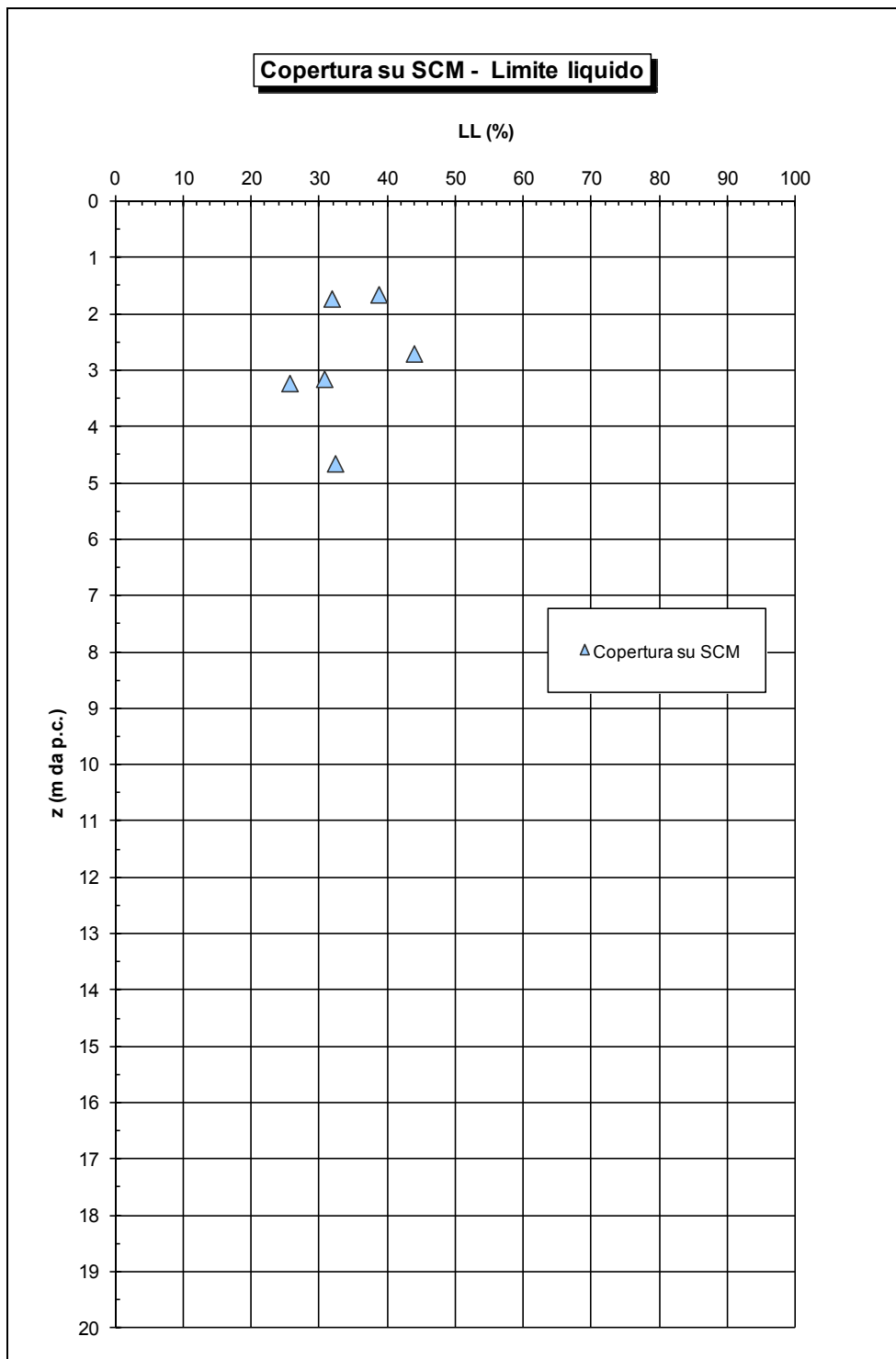


Figura 10.29 - Copertura su SCM - Limite liquido

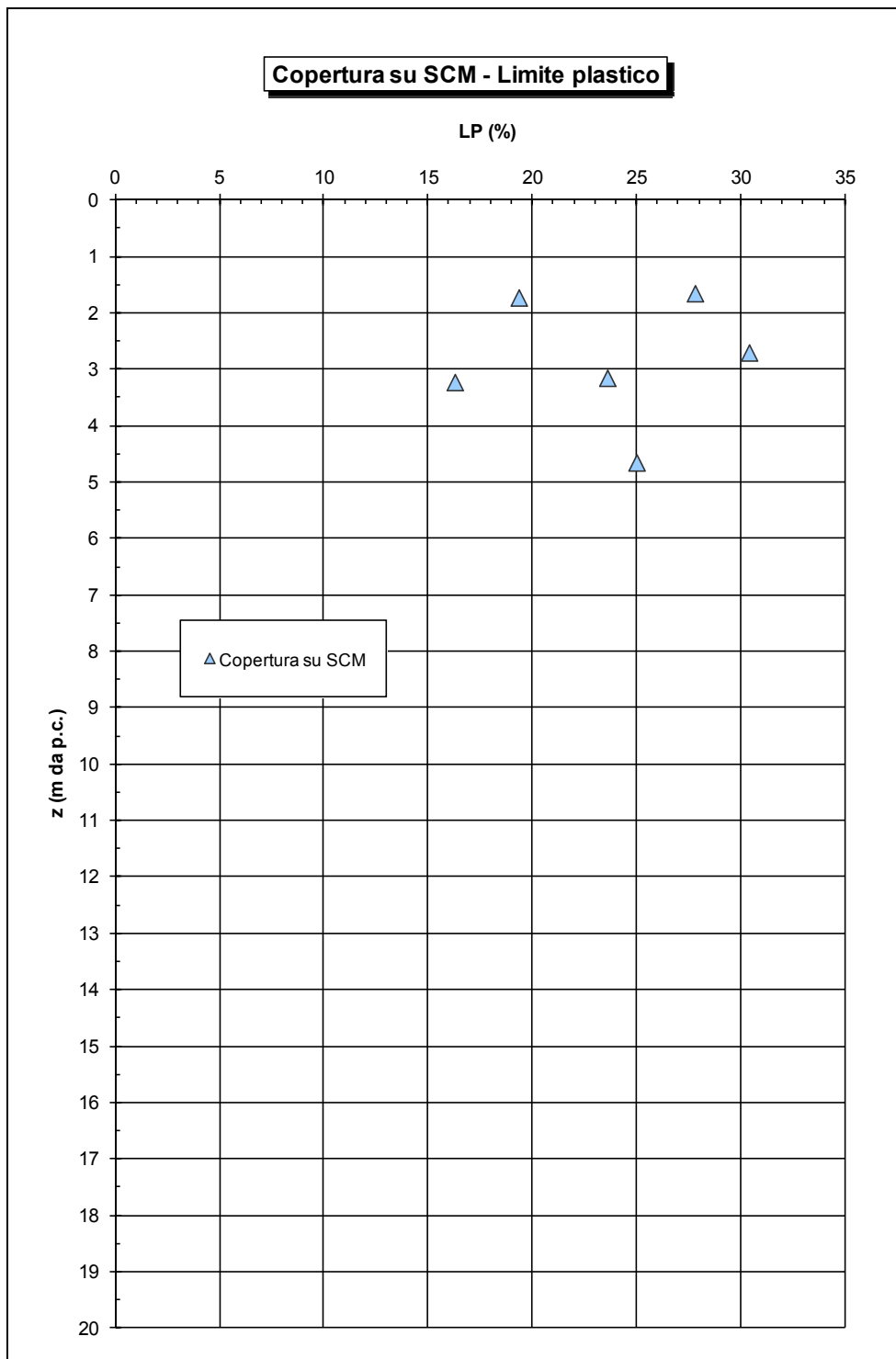


Figura 10.30 - Copertura su SCM - Limite plastico

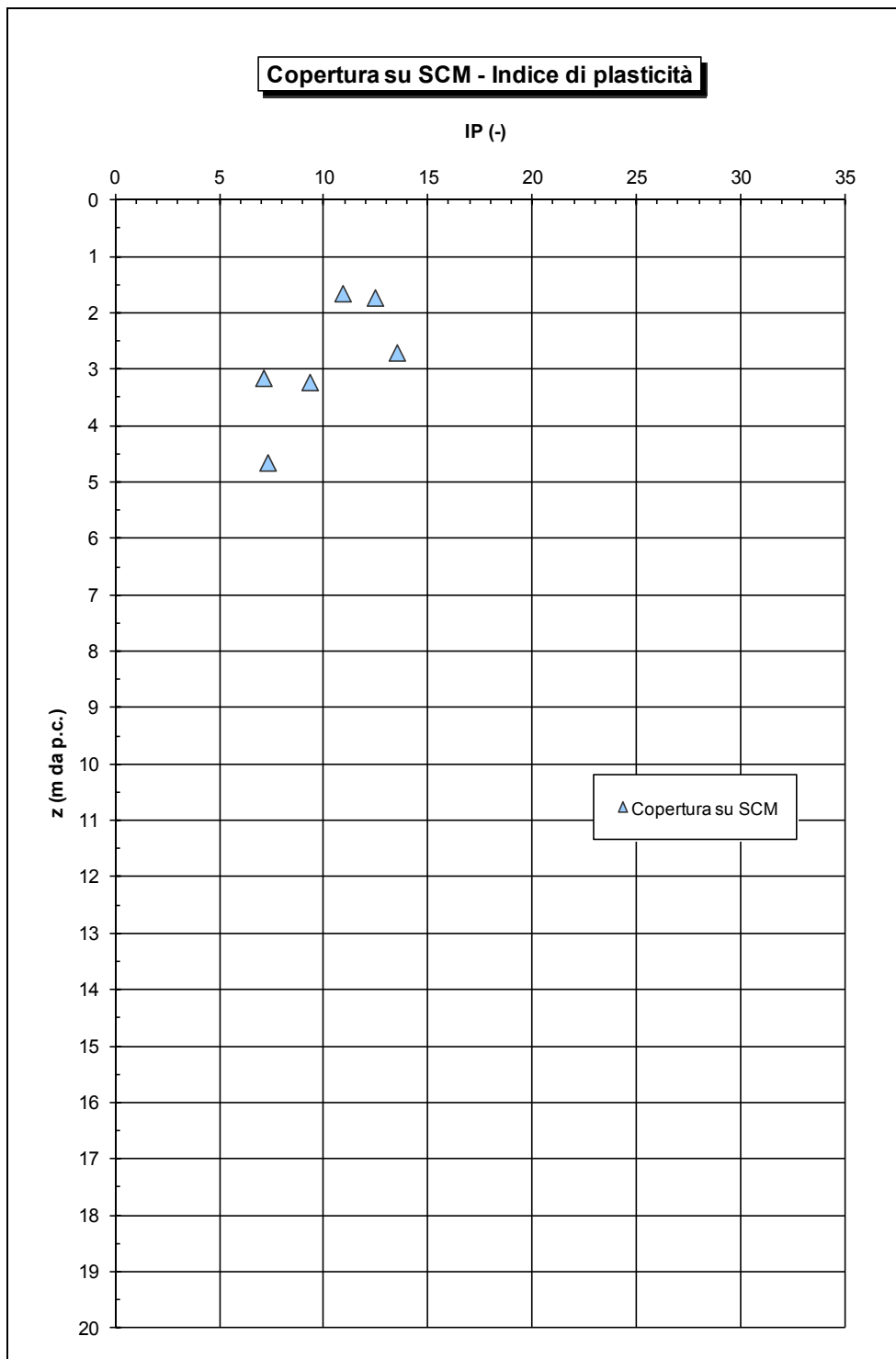


Figura 10.31 - Copertura su SCM - Indice di plasticità

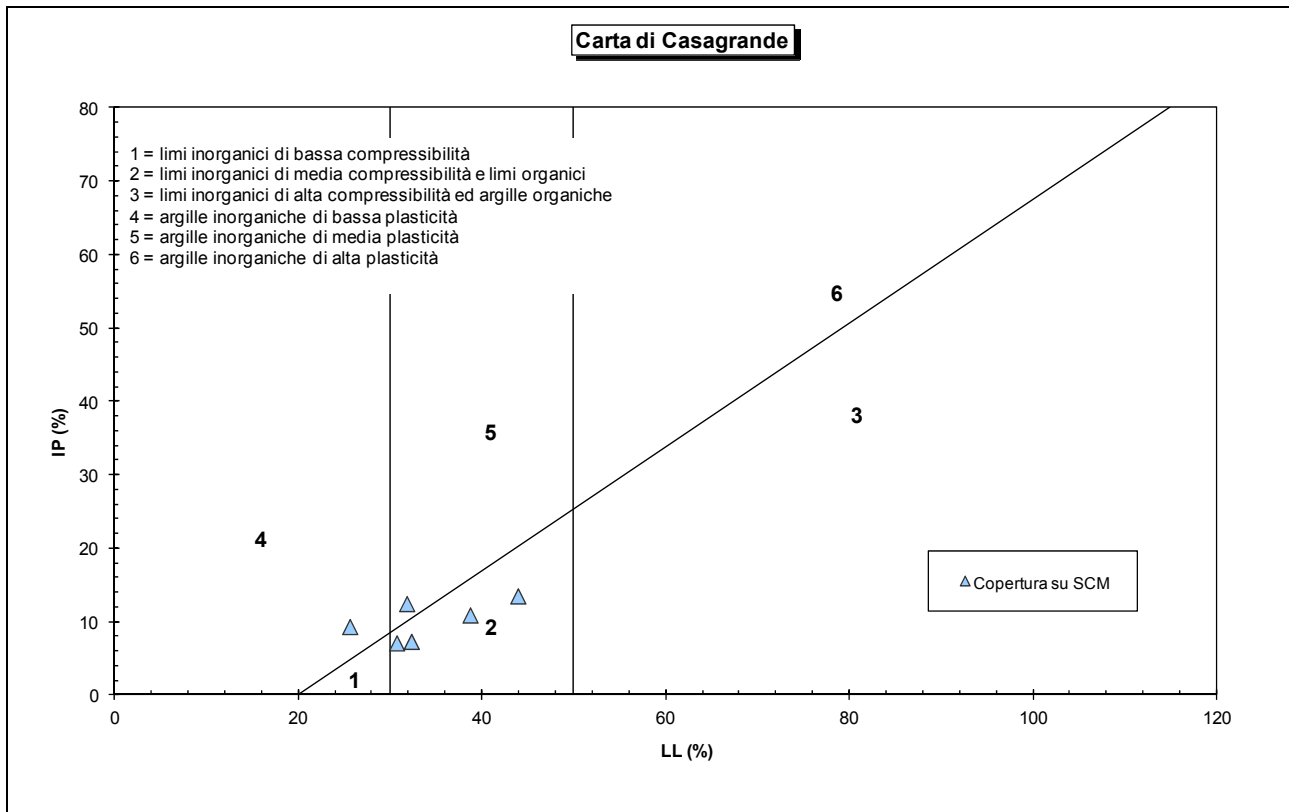


Figura 10.32 - Copertura su SCM - Carta di plasticità di Casagrande

10.4.4 Risultati prove in sito

I risultati ottenuti dall'interpretazione delle prove in sito sono i seguenti:

$$N_{spt} = 5 \div 25 \text{ colpi/piede}$$

$$V_s = 110 \div 250 \text{ m/s}$$

$$G_o = 20 \div 120 \text{ MPa}$$

$$E_o = 50 \div 300 \text{ MPa}$$

$$E'_{25} = E_o/5 = 7 \div 30 \text{ MPa (andamento lineare con la profondità)}$$

$$\phi' = 33^\circ \div 36^\circ$$

$$c_u = 60 \div 120 \text{ kPa}$$

Nelle Figure seguenti questi risultati sono diagrammati in funzione della profondità:

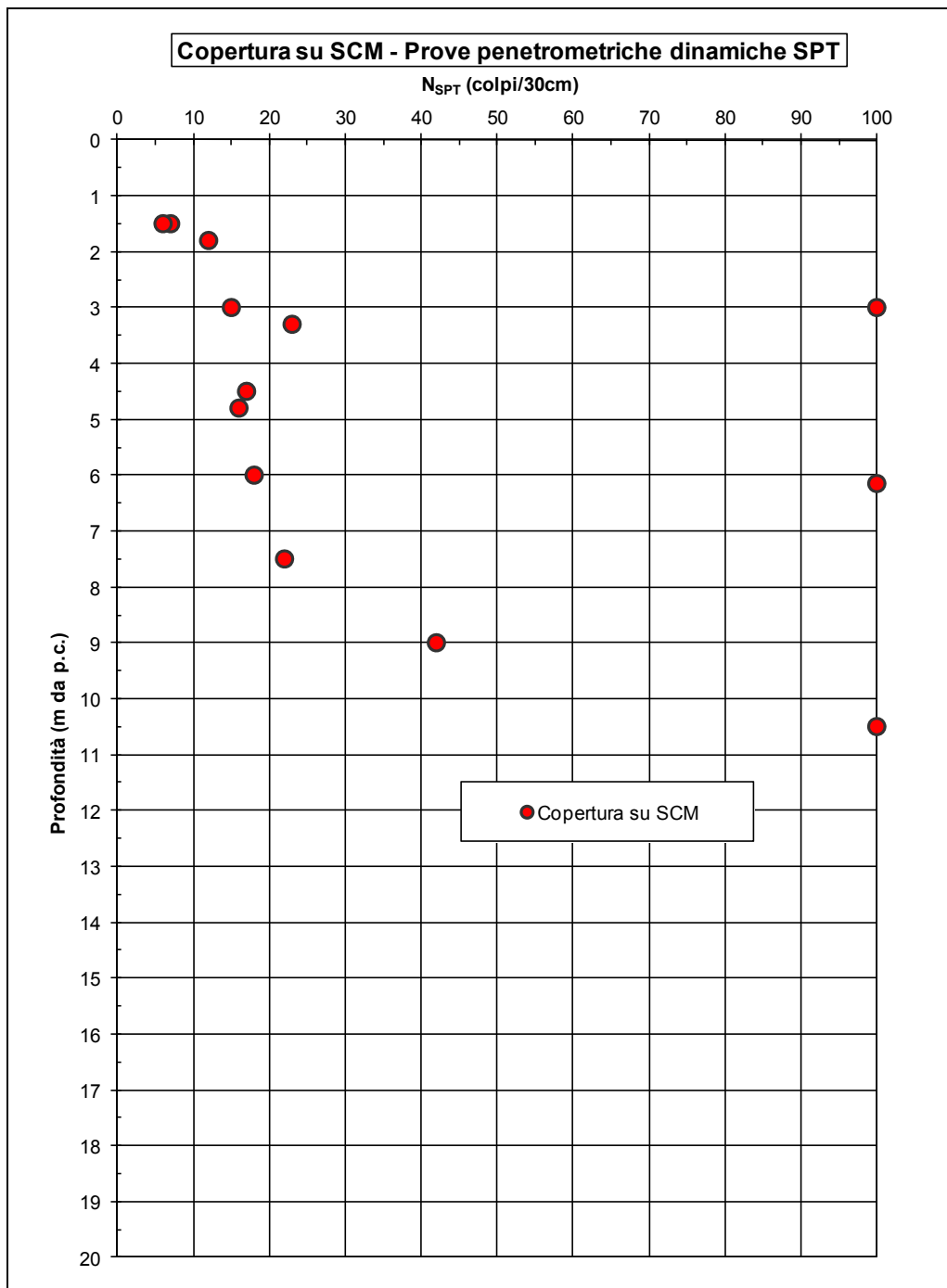


Figura 10.33 - Copertura su SCM - Valori di N_{SPT}

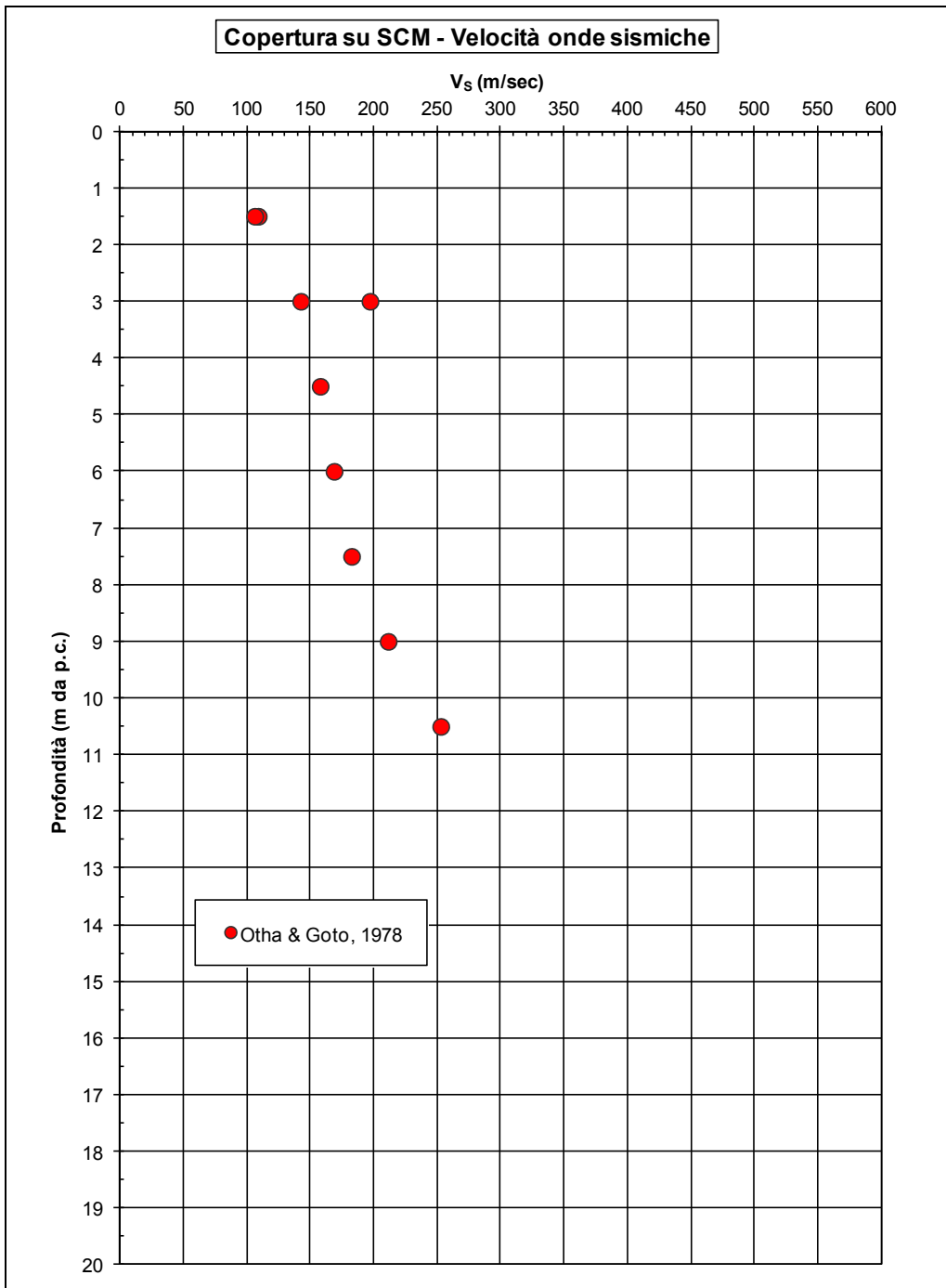


Figura 10.34 - Copertura su SCM - Velocità onde sismiche

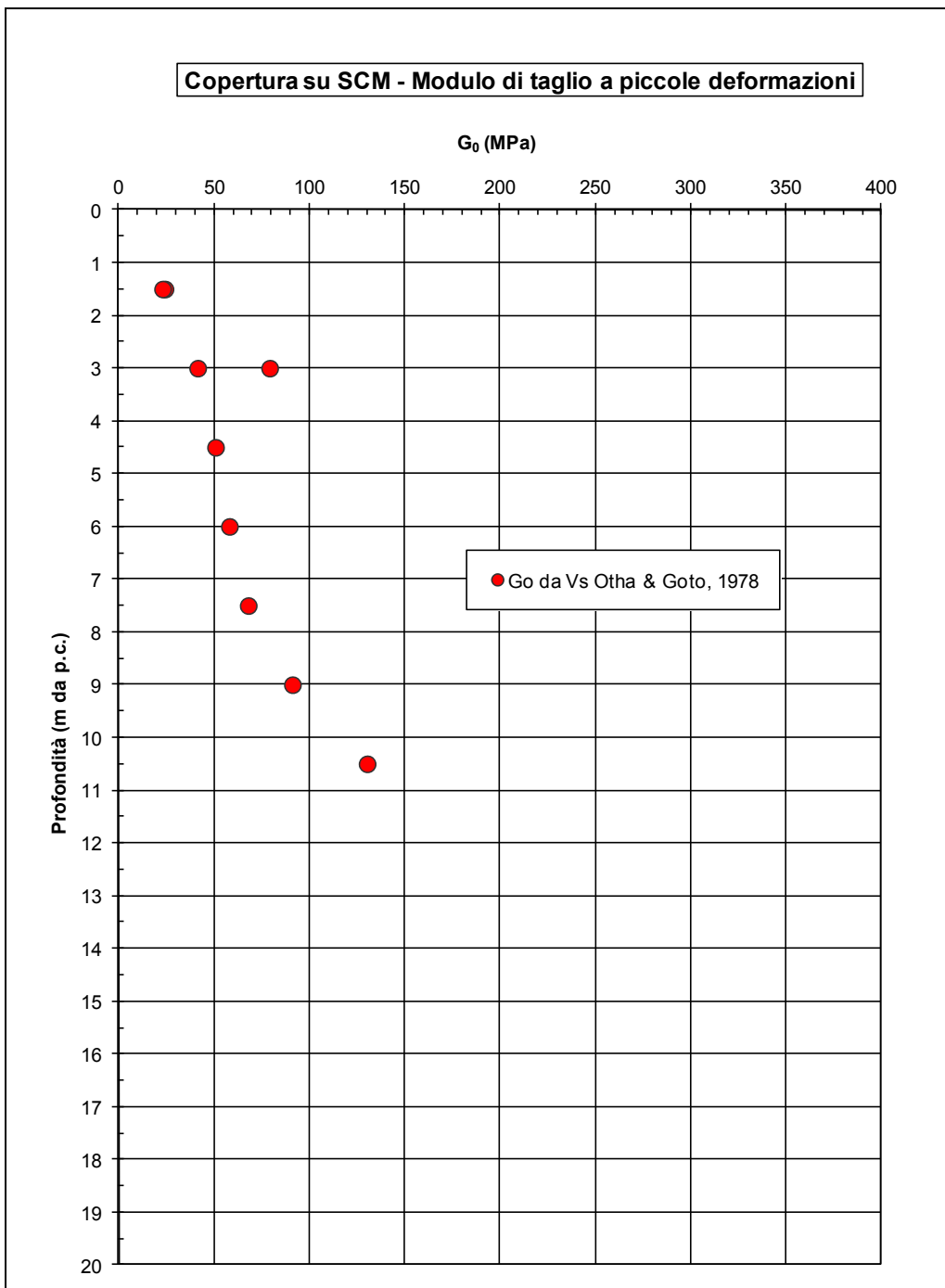


Figura 10.35 - Copertura su SCM - Modulo di taglio a piccole deformazioni

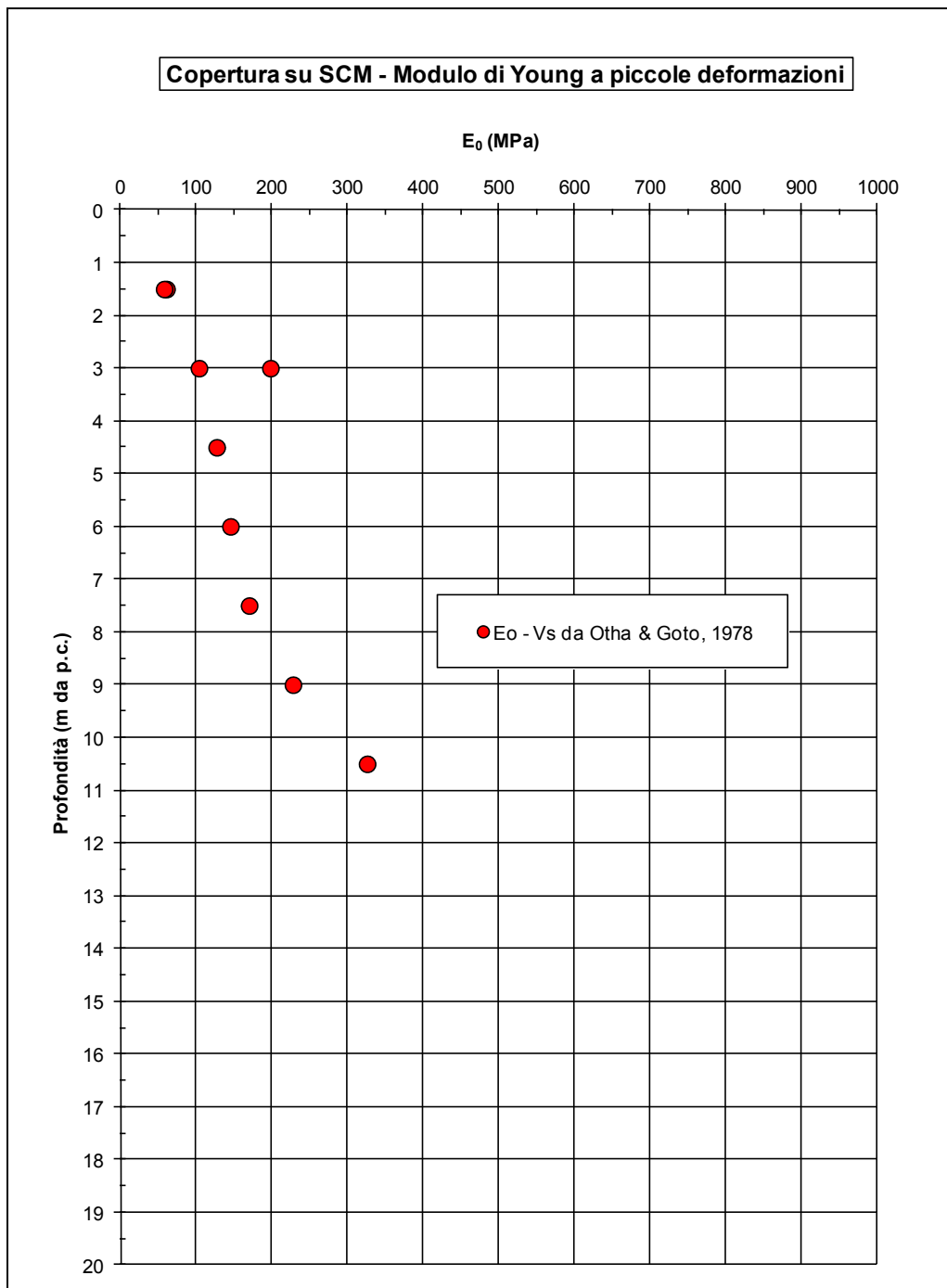


Figura 10.36 - Copertura su SCM - Modulo di Young a piccole deformazioni

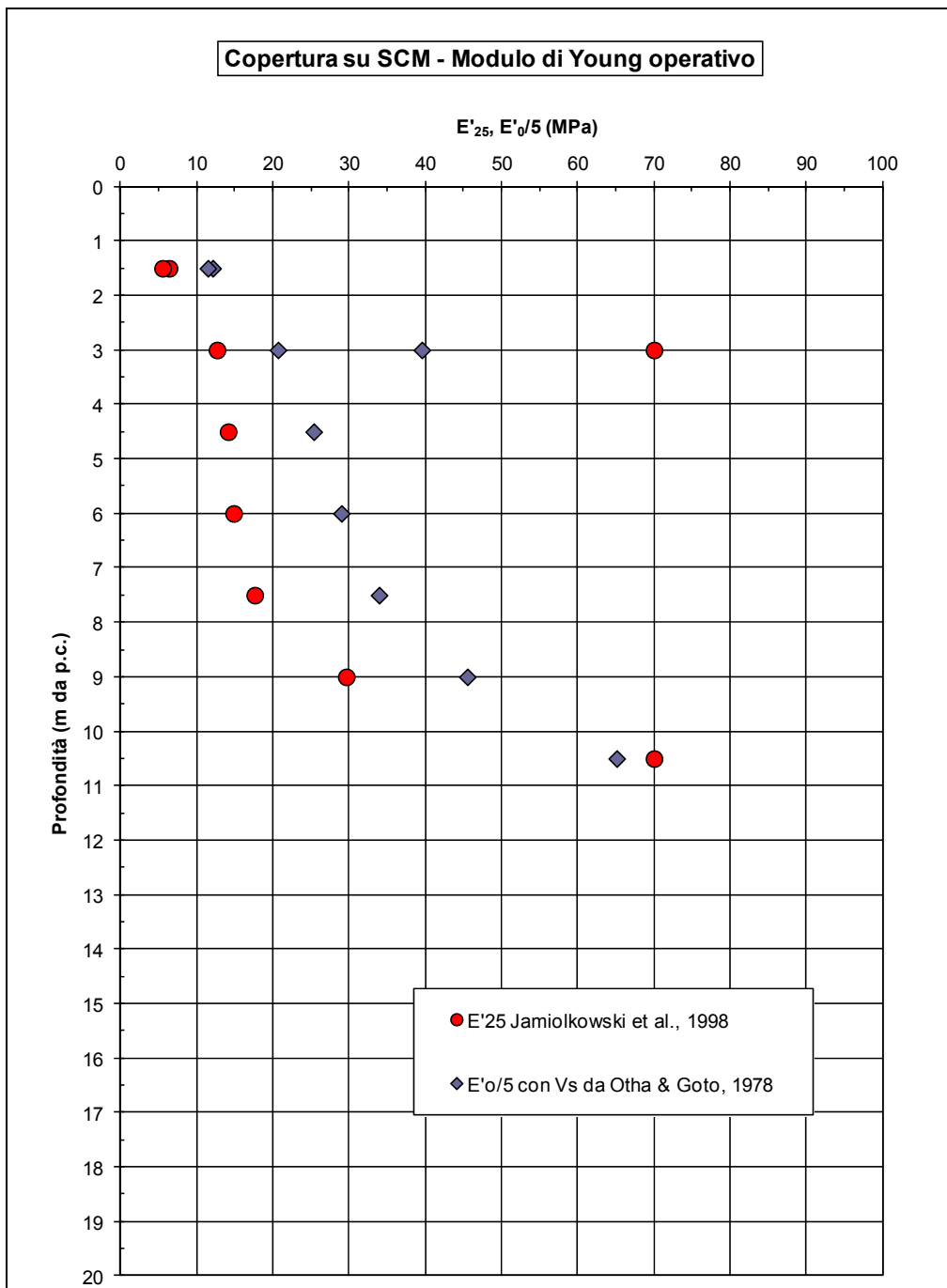


Figura 10.37 - Copertura su SCM - Modulo di Young operativo

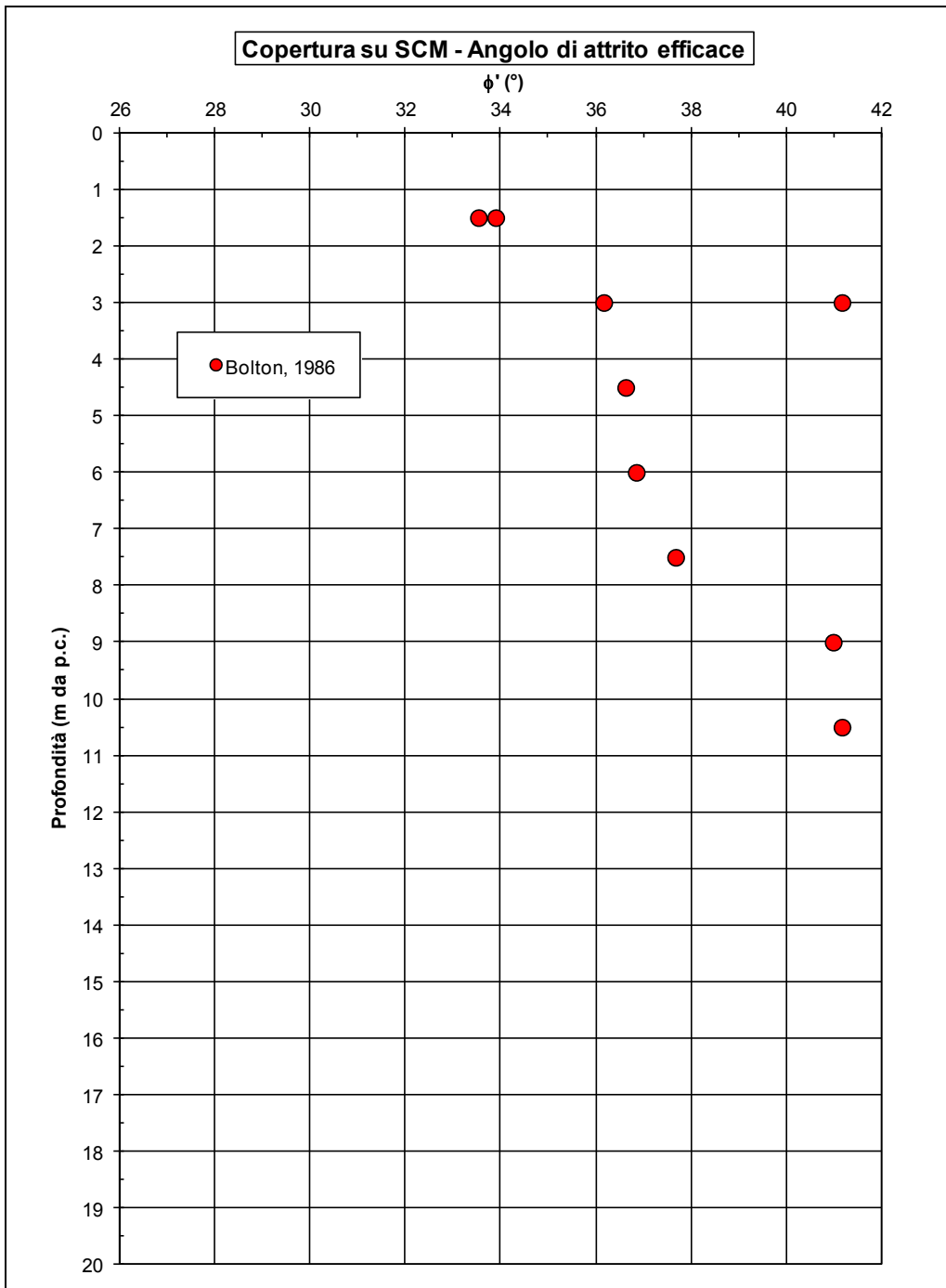


Figura 10.38 - Copertura su SCM - Angolo d'attrito efficace

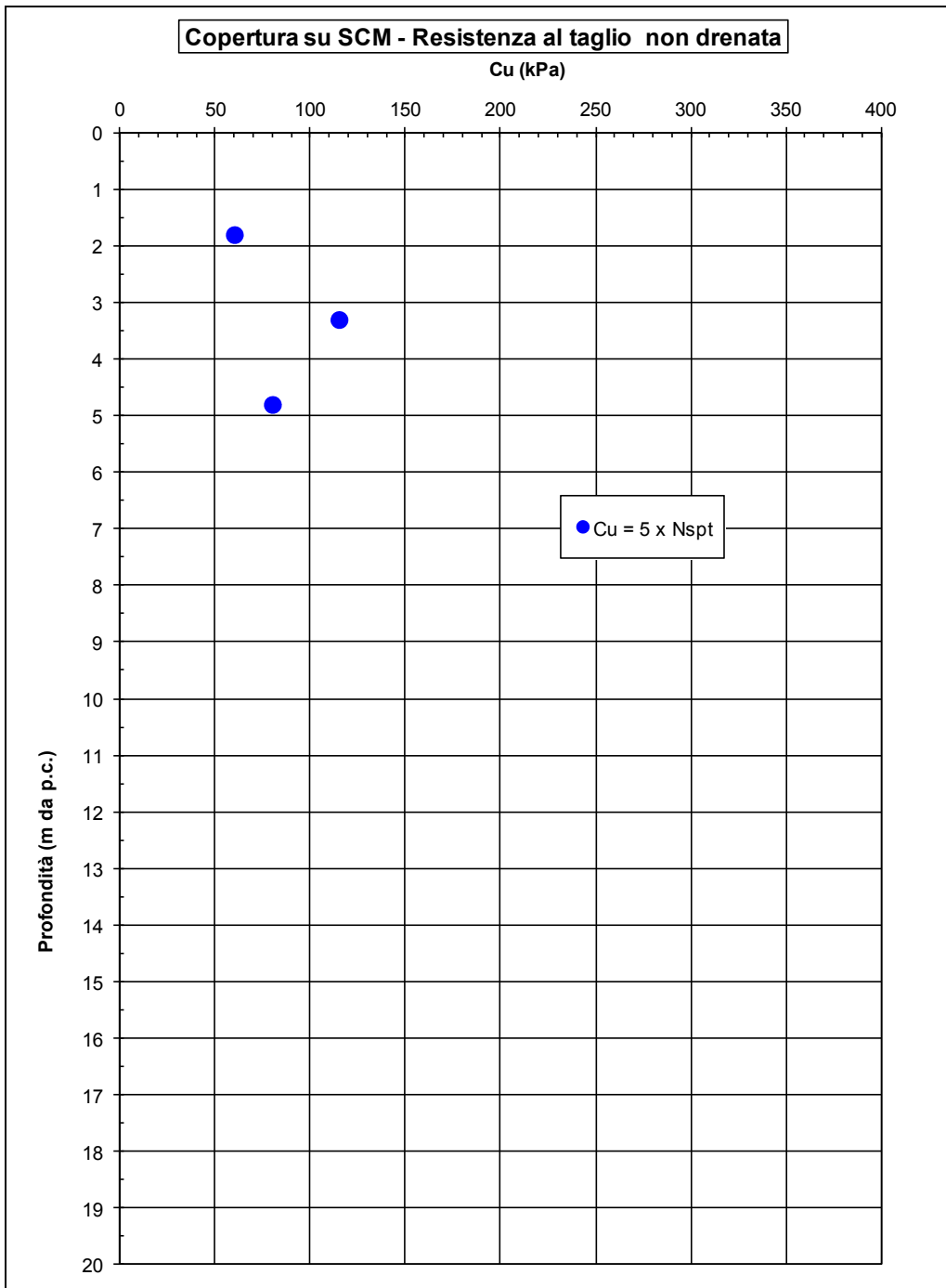


Figura 10.39 - Copertura su SCM - Resistenza al taglio non drenata

10.4.5 Tabella riepilogativa dei parametri caratteristici

Nella Tabella seguente sono riportati i parametri caratteristici medi attribuibili alla formazione in oggetto:

| | |
|---------------------------------|--|
| γ_t (kN/m ³) | ~19.0 ÷ 20.0 |
| N_{SPT} (colpi/30 cm) | 5 ÷ 25 |
| D_r (%) | - |
| φ' (°) | 33 ÷ 36 |
| c' (kPa) | 0.0 |
| c_u (kPa) | 60.0 ÷ 120.0 |
| GSC | ~ 1.0 |
| k_o (-) | 0.41 ÷ 0.46 |
| k (m/s) | $1.0 \cdot 10^{-7} \div 1.0 \cdot 10^{-4}$ |
| V_s (m/s) | 110 ÷ 250 |
| G_o (MPa) | 20 ÷ 120 |
| E_o (MPa) | 50 ÷ 300 |
| E_{op} (MPa) | 7 ÷ 30 |
| | |

Tabella 10.6 - Copertura su SCM - Parametri geotecnici caratteristici

10.5 Terreni di riporto

10.5.1 Descrizione del materiale

Nella zona dello svincolo di Rapallo le coperture naturali del versante e fondo valle sono sovrastate da riporti antropici (presumibilmente costituiti da smarino delle gallerie) con spessori anche rilevanti.

Si tratta di un materiale estremamente eterogeneo, di natura principalmente granulare, con una percentuale matrice fine da scarsa a media, che è stato caratterizzato con parametri drenati.

10.5.2 Indagini di riferimento

Nella Tabella seguente sono indicate le verticali in cui è stato incontrato il terreno di riporto:

| Ambito | Sondaggio | Tipo di materiale sciolto |
|---|-----------|---------------------------|
| SVINCOLO DI VALFONTANABUONA SULLA A12 | SV2 | Terreno di riporto |
| | SV1 | Terreno di riporto |

Tabella 10.7 - Terreno di riporto - Sondaggi di riferimento

10.5.3 Risultati prove di laboratorio

Su questo materiale sono state eseguite unicamente delle analisi granulometriche, che hanno fornito i seguenti risultati:

Granulometria

ghiaia + sabbia = 50÷85

argilla + limo = 15÷50

Nelle Figure seguenti sono diagrammati i risultati di queste analisi in funzione della profondità:

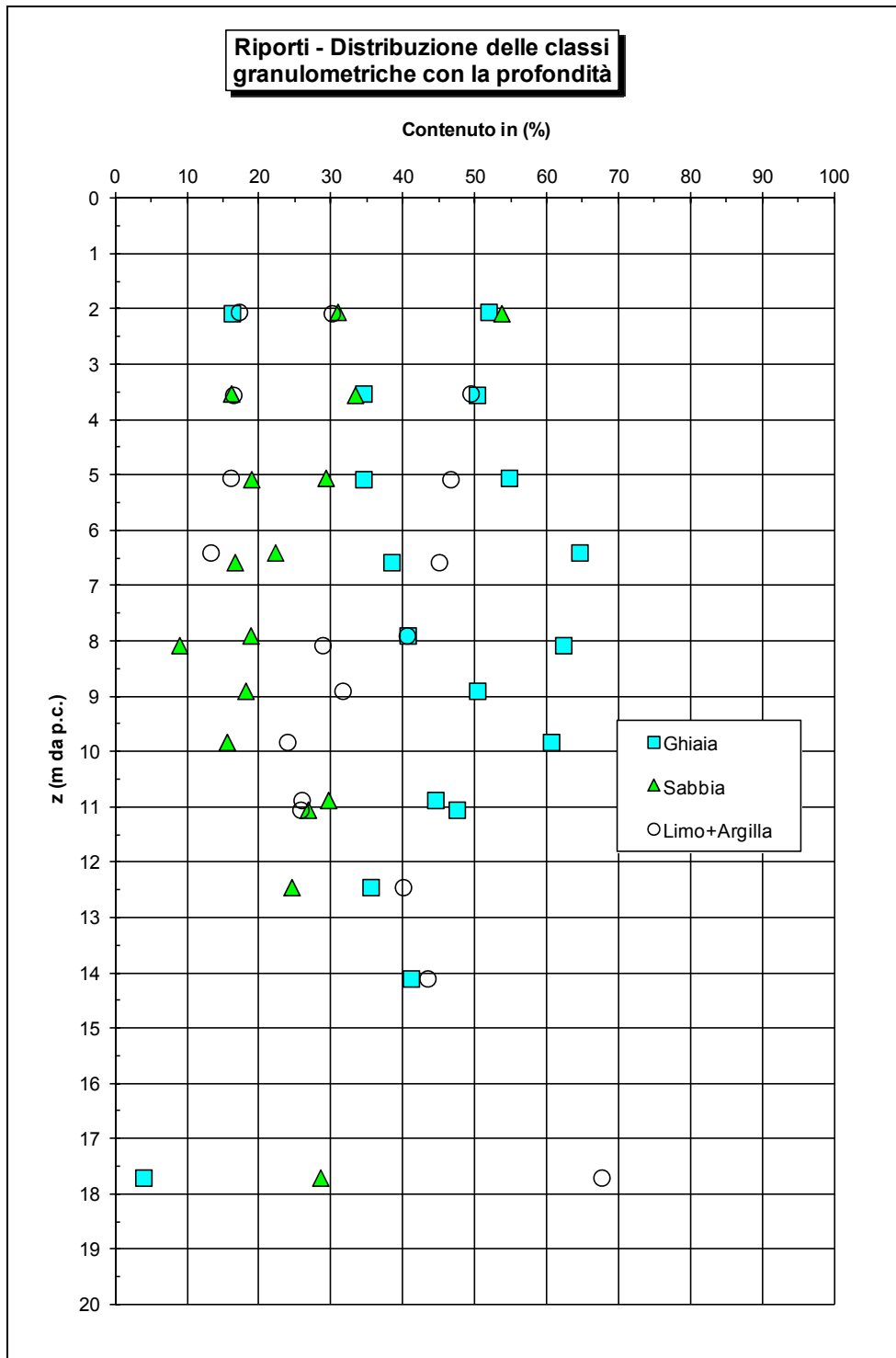


Figura 10.40 - Terreno di riporto - Classi granulometriche

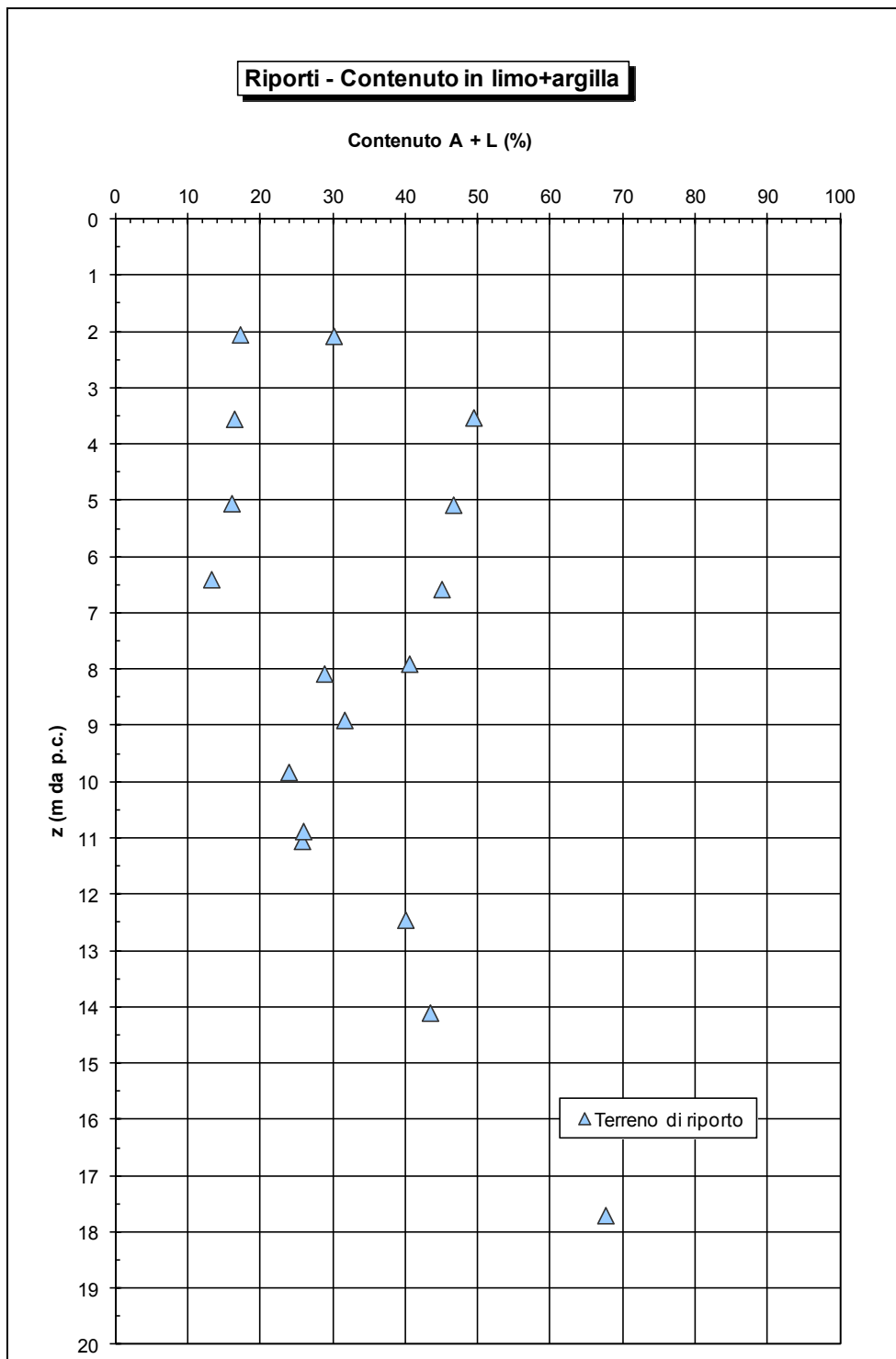


Figura 10.41 - Terreno di riporto - Contenuto A+L

10.5.4 Risultati prove in sito

Per quanto riguarda le prove in sito, dalla loro interpretazione sono stati ricavati i seguenti parametri:

$$N_{\text{spt}} = 7 \div 35 \text{ colpi/piede}$$

$$V_s = 130 \div 250 \text{ m/s (andamento crescente con la profondità)}$$

$$G_o = 30 \div 150 \text{ MPa}$$

$$E_o = 80 \div 300 \text{ MPa}$$

$$E'_{25} = E_o/5 = 10 \div 30 \text{ MPa (andamento lineare con la profondità)}$$

$$\phi' = 35^\circ \div 38^\circ$$

Nelle Figure seguenti questi parametri sono stati diagrammati in funzione della profondità:

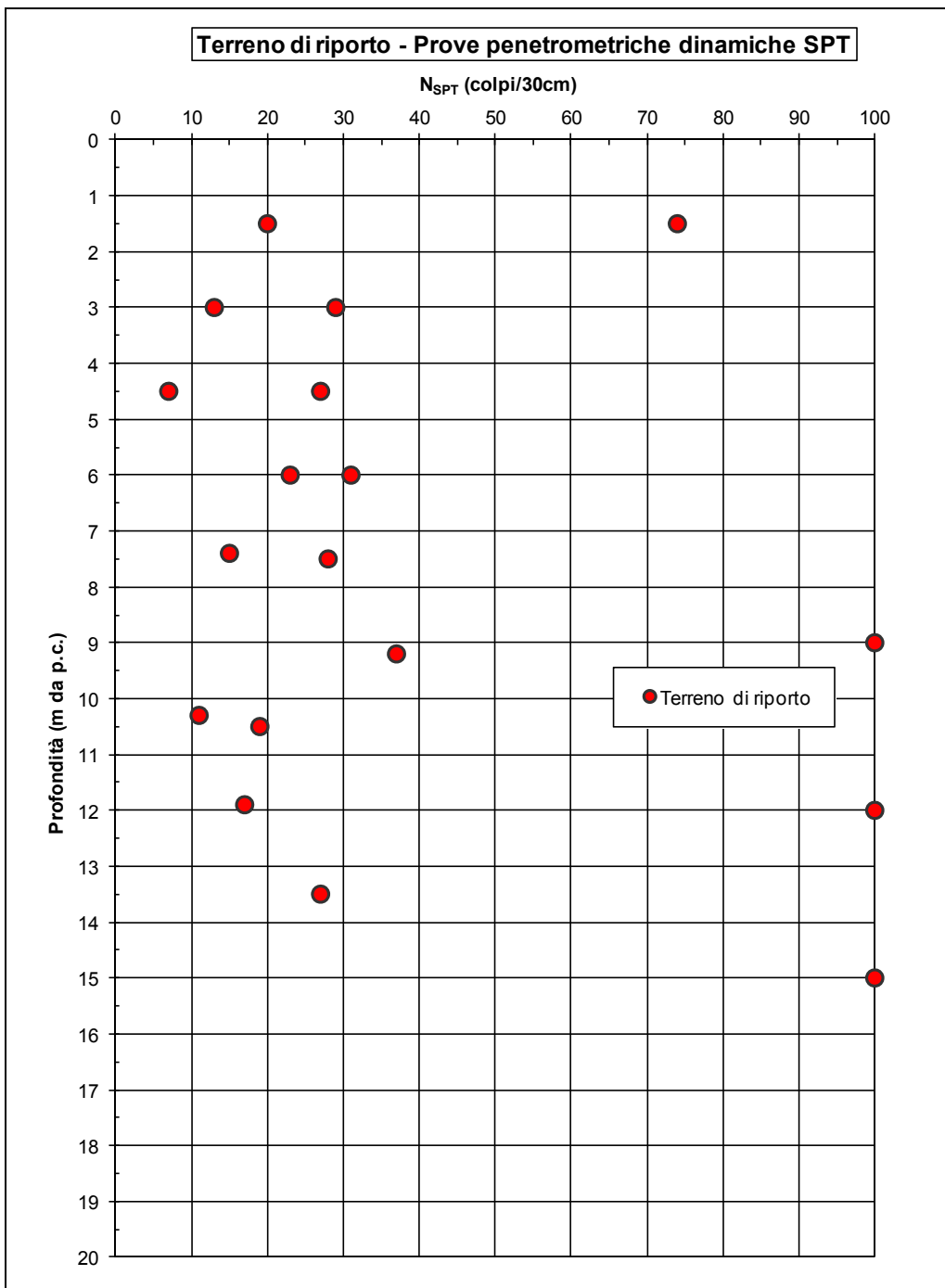


Figura 10.42 - Copertura su AMV - Valori di N_{SPT}

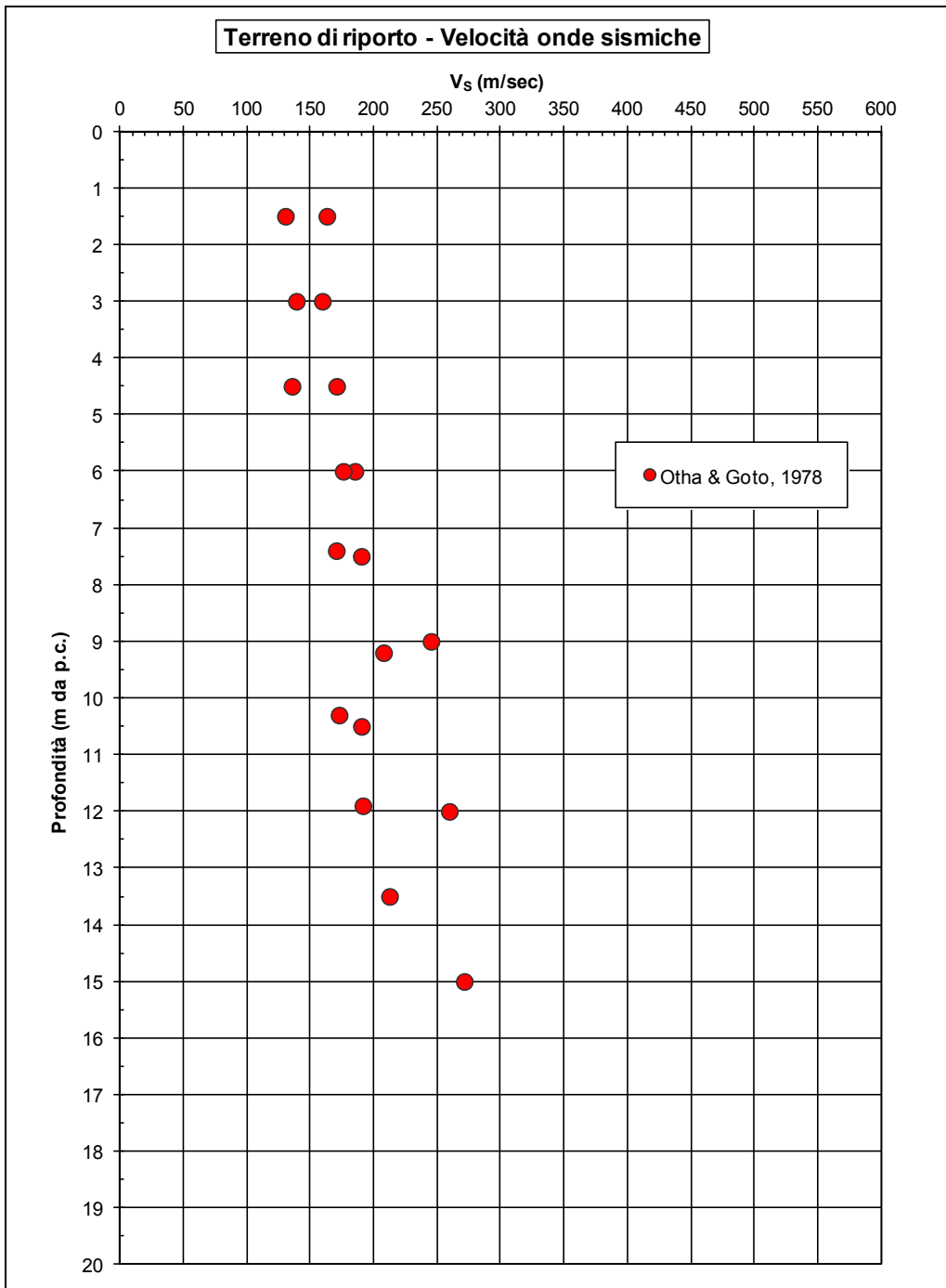


Figura 10.43 - Copertura su AMV - Velocità onde sismiche

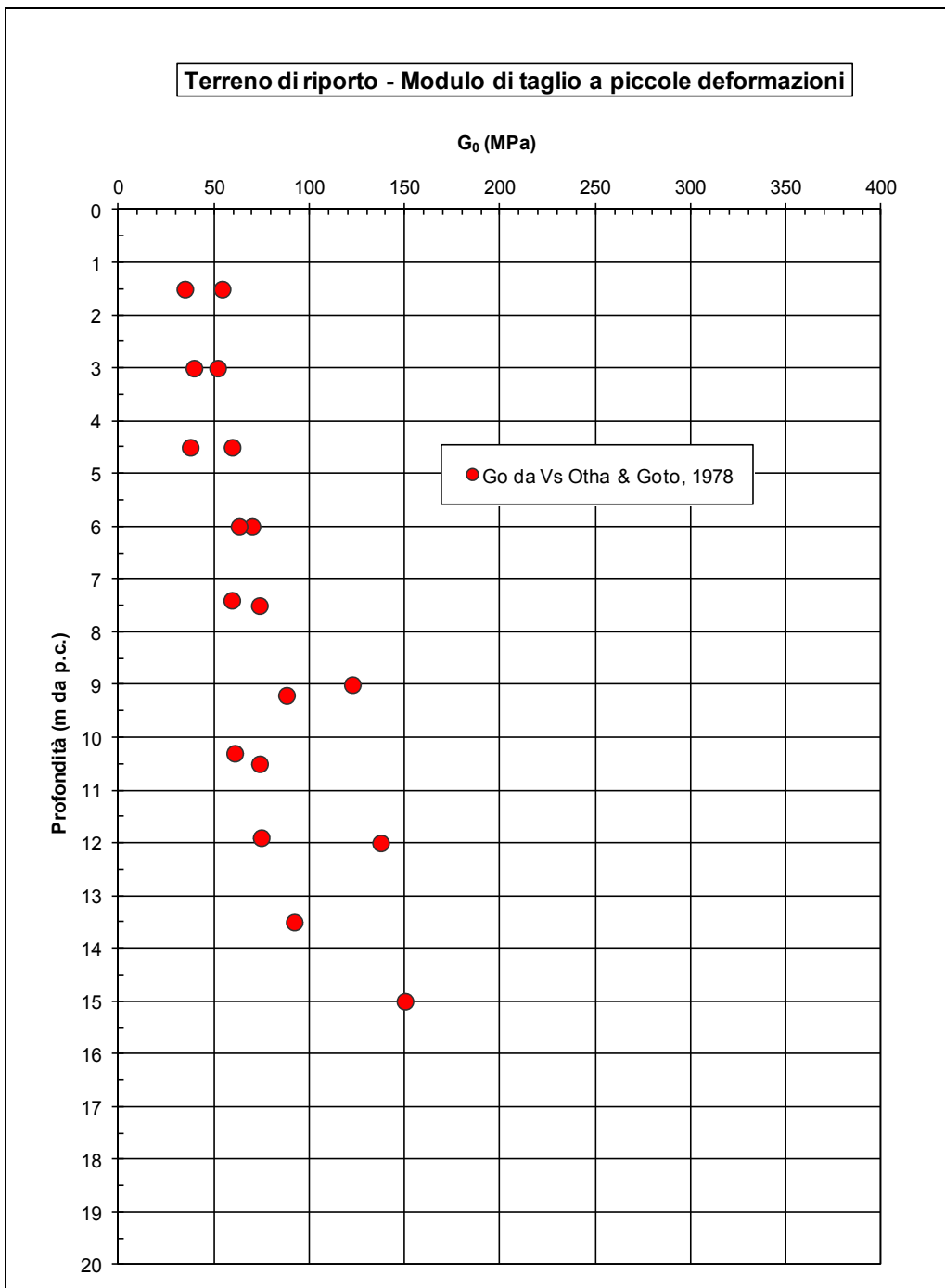


Figura 10.44 - Copertura su AMV - Modulo di taglio a piccole deformazioni

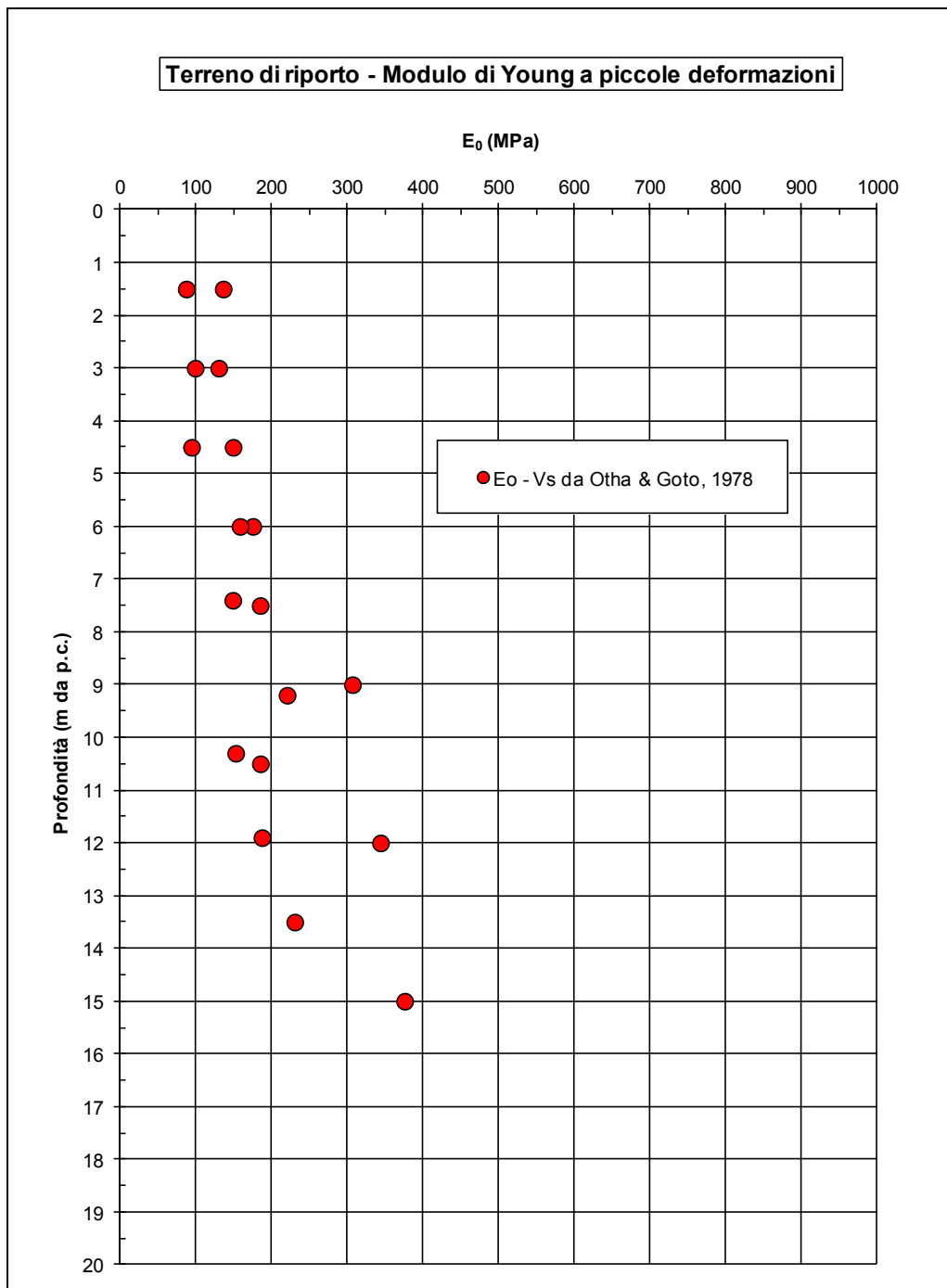


Figura 10.45 - Copertura su AMV - Modulo di Young a piccole deformazioni

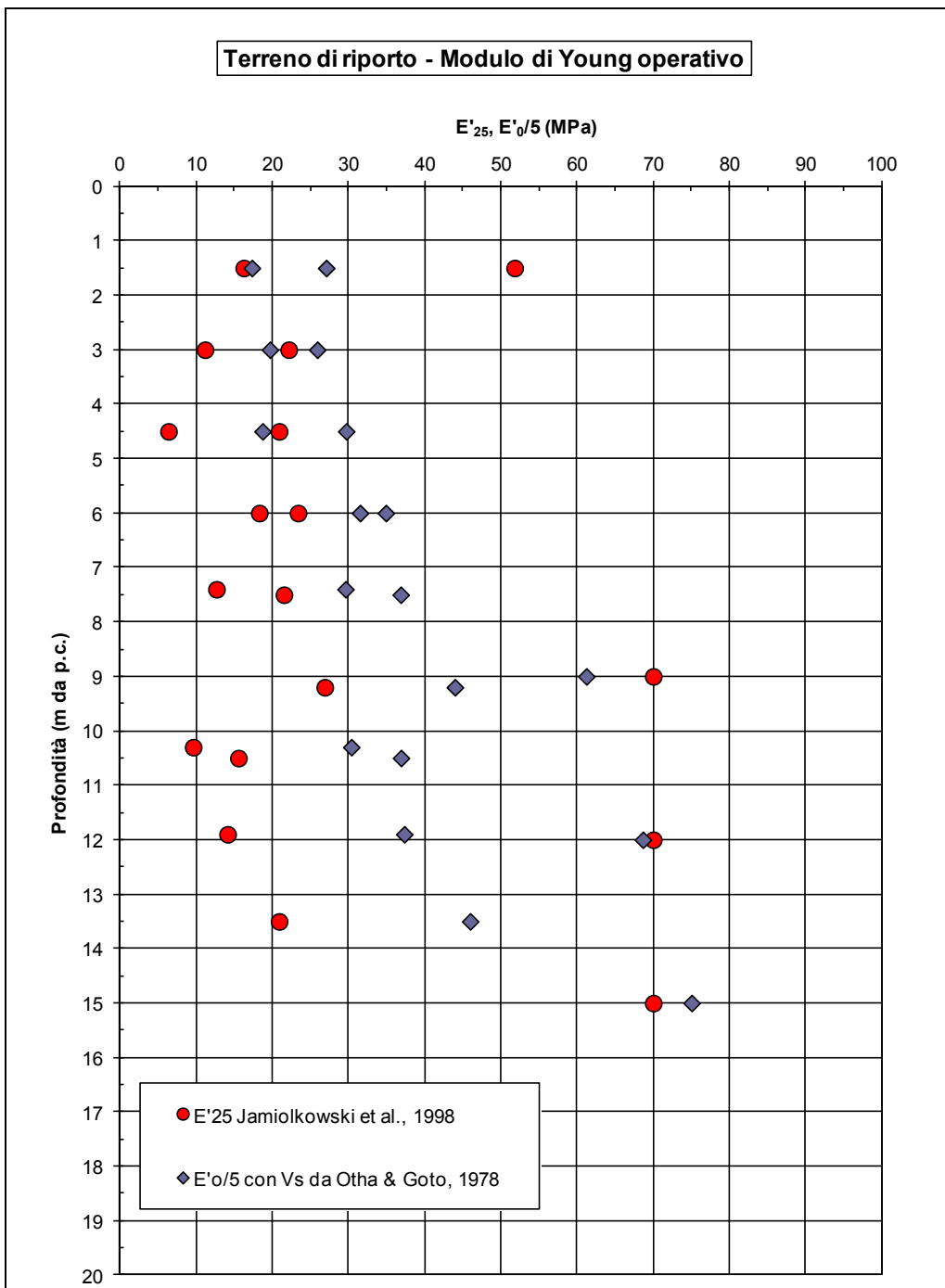


Figura 10.46 - Copertura su AMV - Modulo di Young operativo

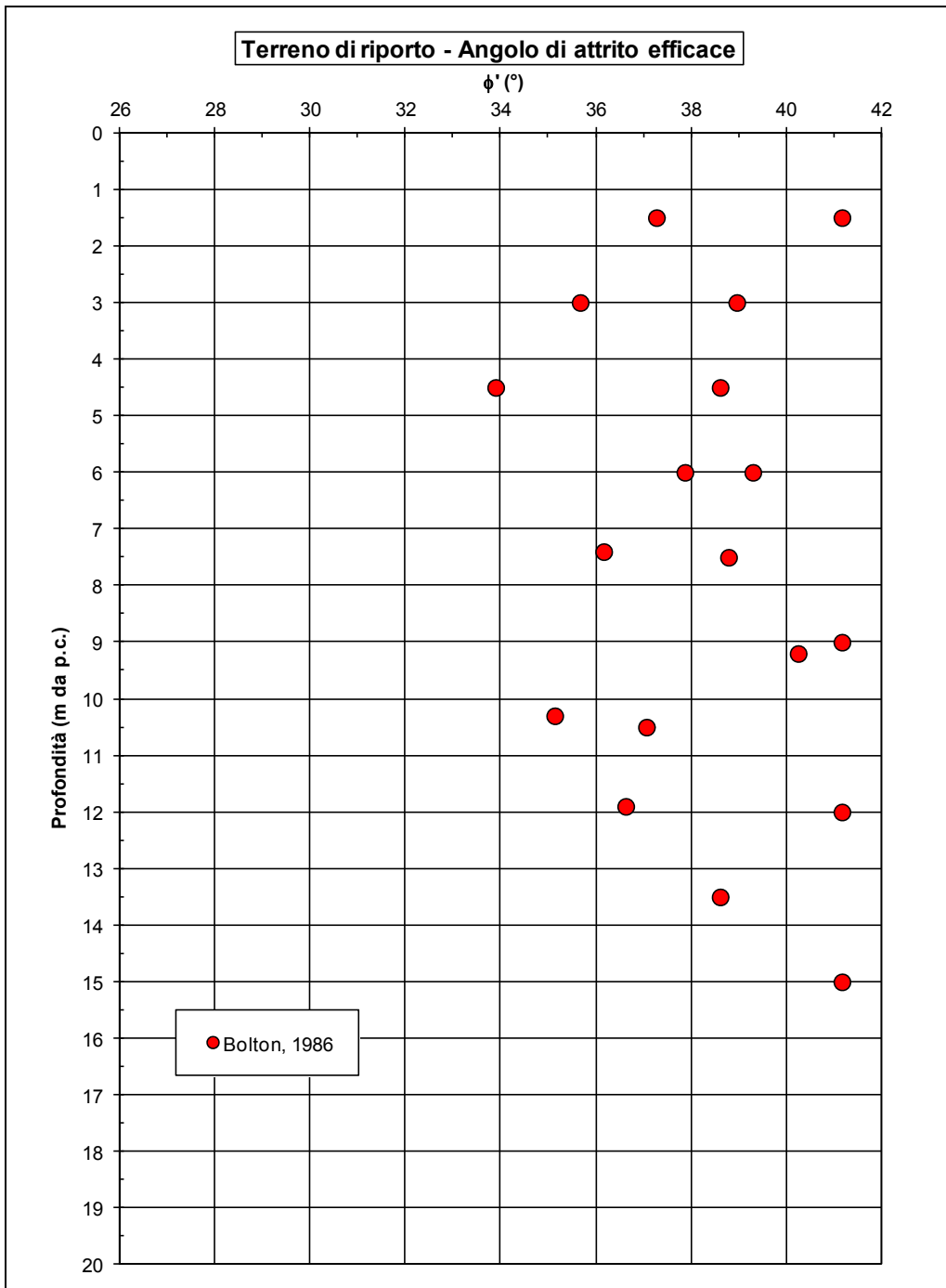


Figura 10.47 - Copertura su AMV - Angolo d'attrito efficace

10.5.5 Tabella riepilogativa dei parametri caratteristici

Nella Tabella seguente sono riportati i parametri caratteristici medi attribuibili alla formazione in oggetto:

| | |
|---------------------------------|--|
| γ_t (kN/m ³) | ~19.0 ÷ 20.0 |
| N_{SPT} (colpi/30 cm) | 7 ÷ 35 |
| D_r (%) | - |
| φ' (°) | 35 ÷ 38 |
| c' (kPa) | 0.0 |
| c_u (kPa) | - |
| GSC | ~ 1.0 |
| k_o (-) | 0.38 ÷ 0.43 |
| k (m/s) | $1.0 \cdot 10^{-7} \div 1.0 \cdot 10^{-4}$ |
| V_s (m/s) | 130 ÷ 250 |
| G_o (MPa) | 30 ÷ 150 |
| E_o (MPa) | 80 ÷ 300 |
| E_{op} (MPa) | 10 ÷ 30 |
| | |

Tabella 10.8 - Terreno di riporto - Parametri geotecnici caratteristici

10.6 Materiali alluvionali

10.6.1 Descrizione del materiale

Si tratta di un materiale di natura principalmente granulare, con una percentuale matrice fine da scarsa a media, che è stato caratterizzato con parametri drenati.

10.6.2 Indagini di riferimento

Nella Tabella seguente sono riportate le verticali in cui è stato incontrato questo materiale:

| Ambito | Sondaggio | Tipo di materiale sciolto |
|-----------------------------|-----------|---------------------------|
| RACCORDO VIABILITA' S.P.225 | FB17 | Alluvione |
| | FB18 | Alluvione |
| | FB21 | Alluvione |

Tabella 10.9 - Depositi alluvionali - Sondaggi di riferimento

10.6.3 Risultati prove di laboratorio

Per quanto riguarda le prove di laboratorio, sono stati ottenuti i seguenti risultati:

Granulometria

ghiaia + sabbia = 60÷90

argilla + limo = 10÷40

Limiti di Atterberg

LL = 20÷30 %

LP = 15÷25 %

IP = 4÷8 %

Carta di Casagrande: limi di media compressibilità e argille di bassa plasticità

Nelle Figure seguenti tali risultati sono diagrammati in funzione della profondità:

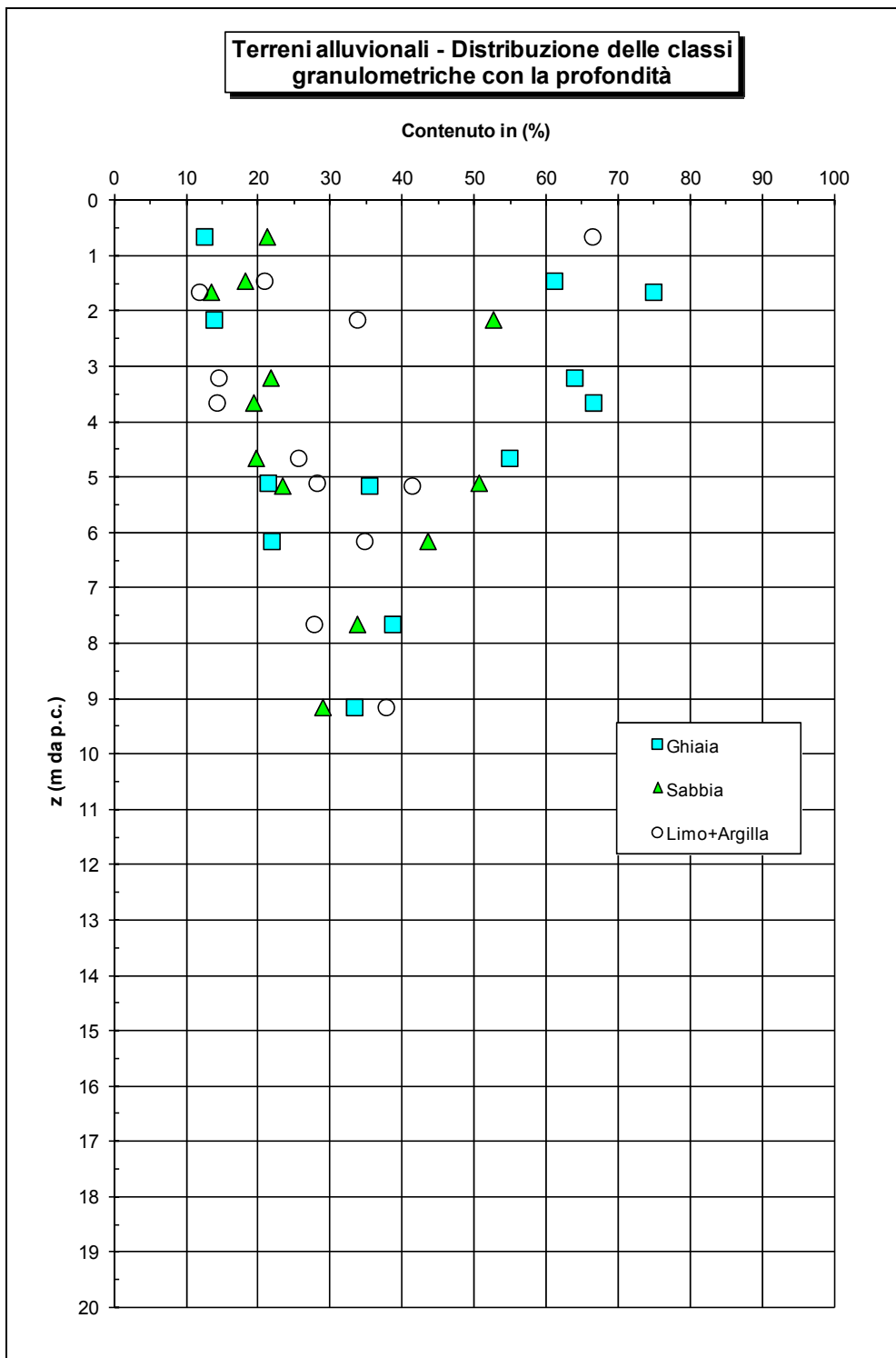


Figura 10.48 - Depositi alluvionali - Classi granulometriche

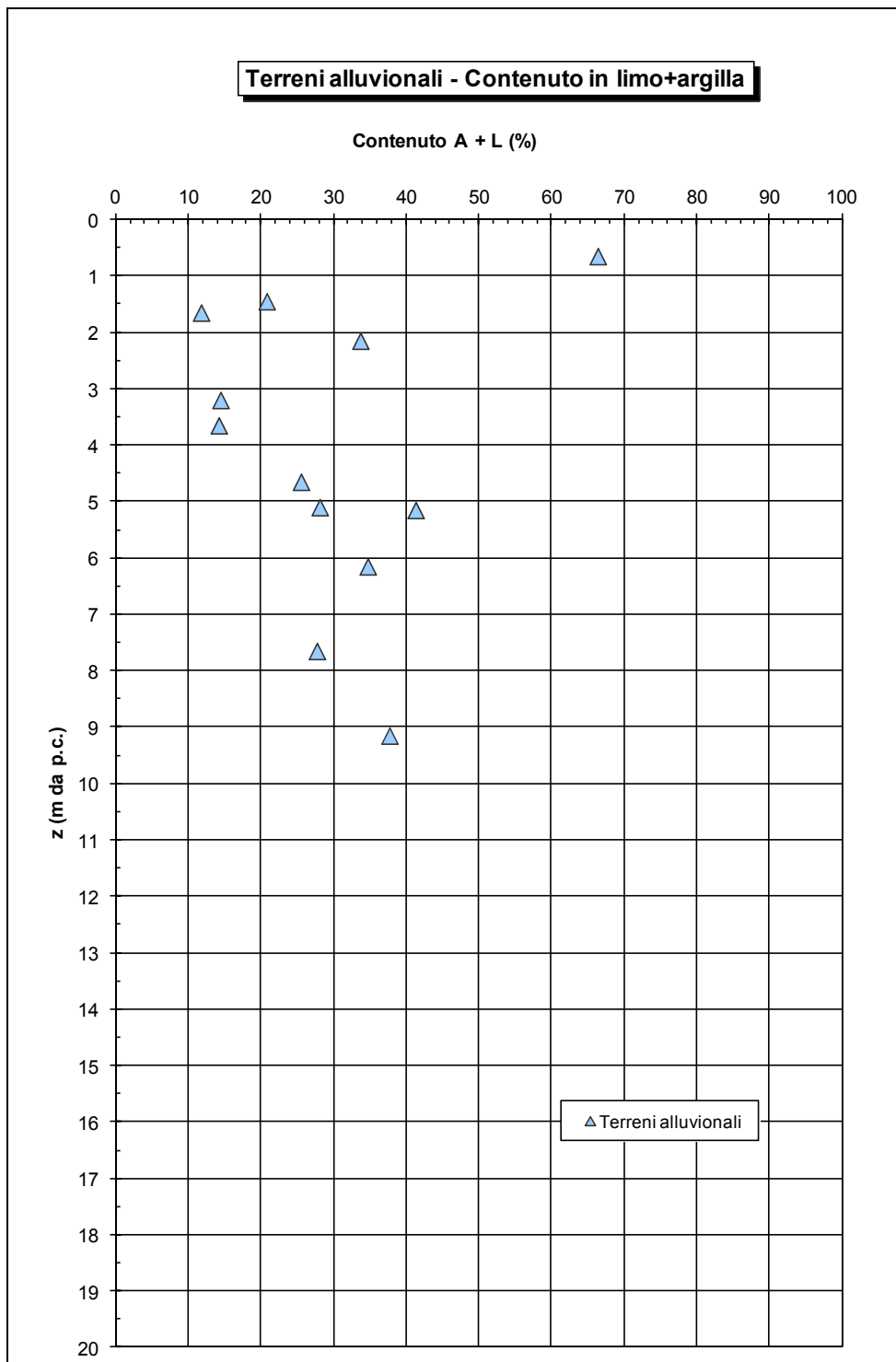


Figura 10.49 - Depositi alluvionali - Contenuto A+L

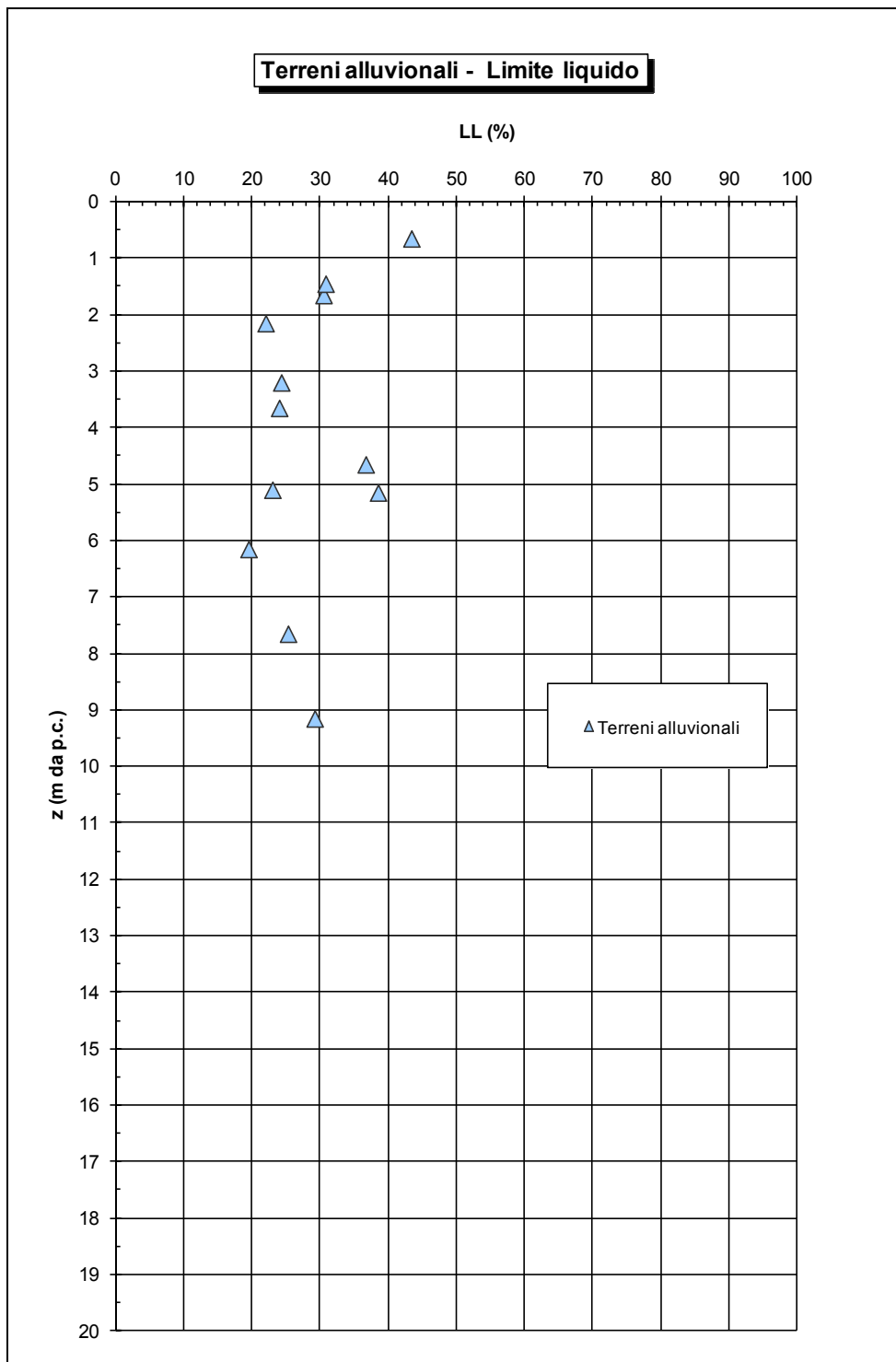


Figura 10.50 - Depositi alluvionali - Limite liquido

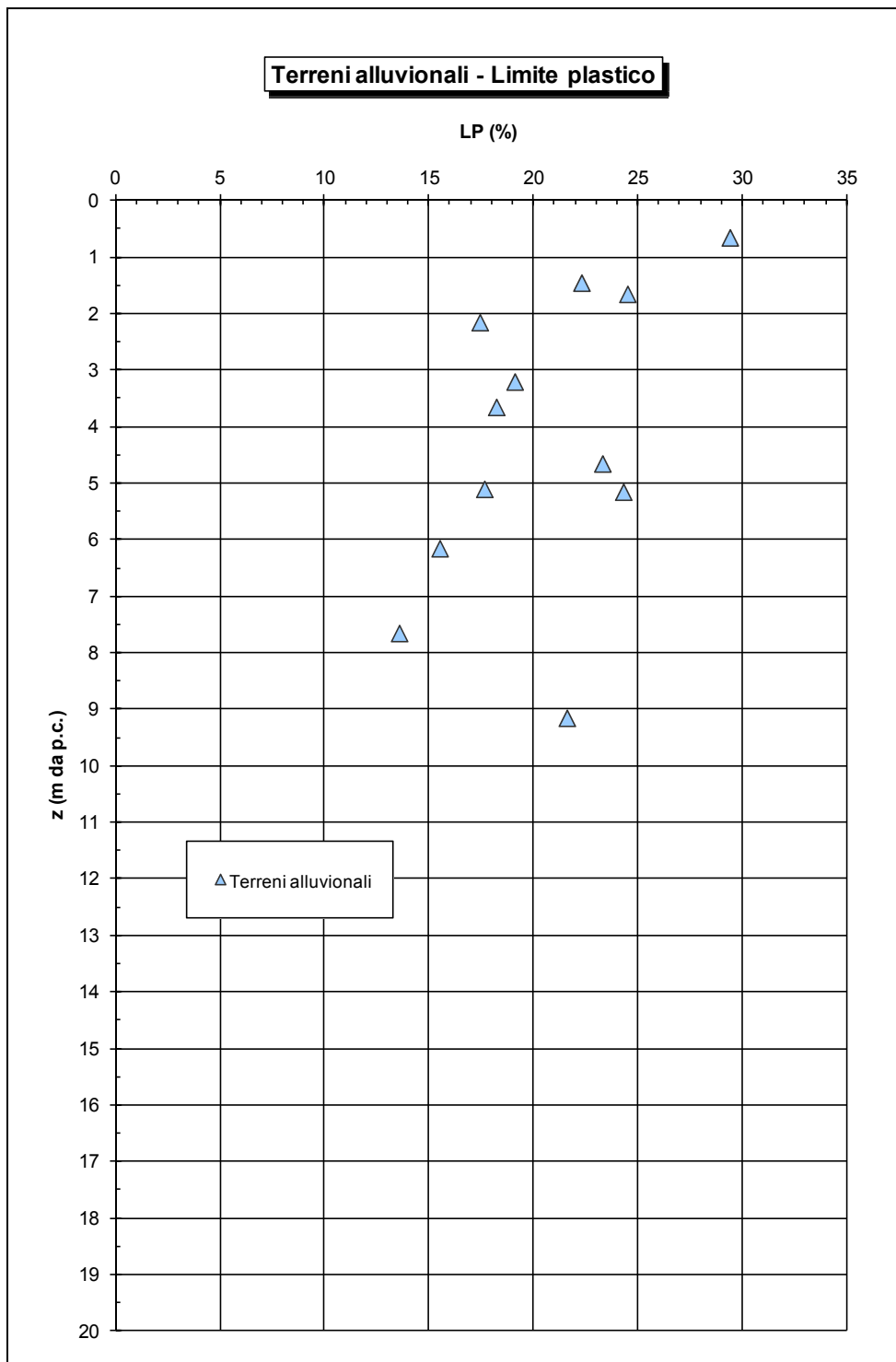


Figura 10.51 - Depositi alluvionali - Limite plastico

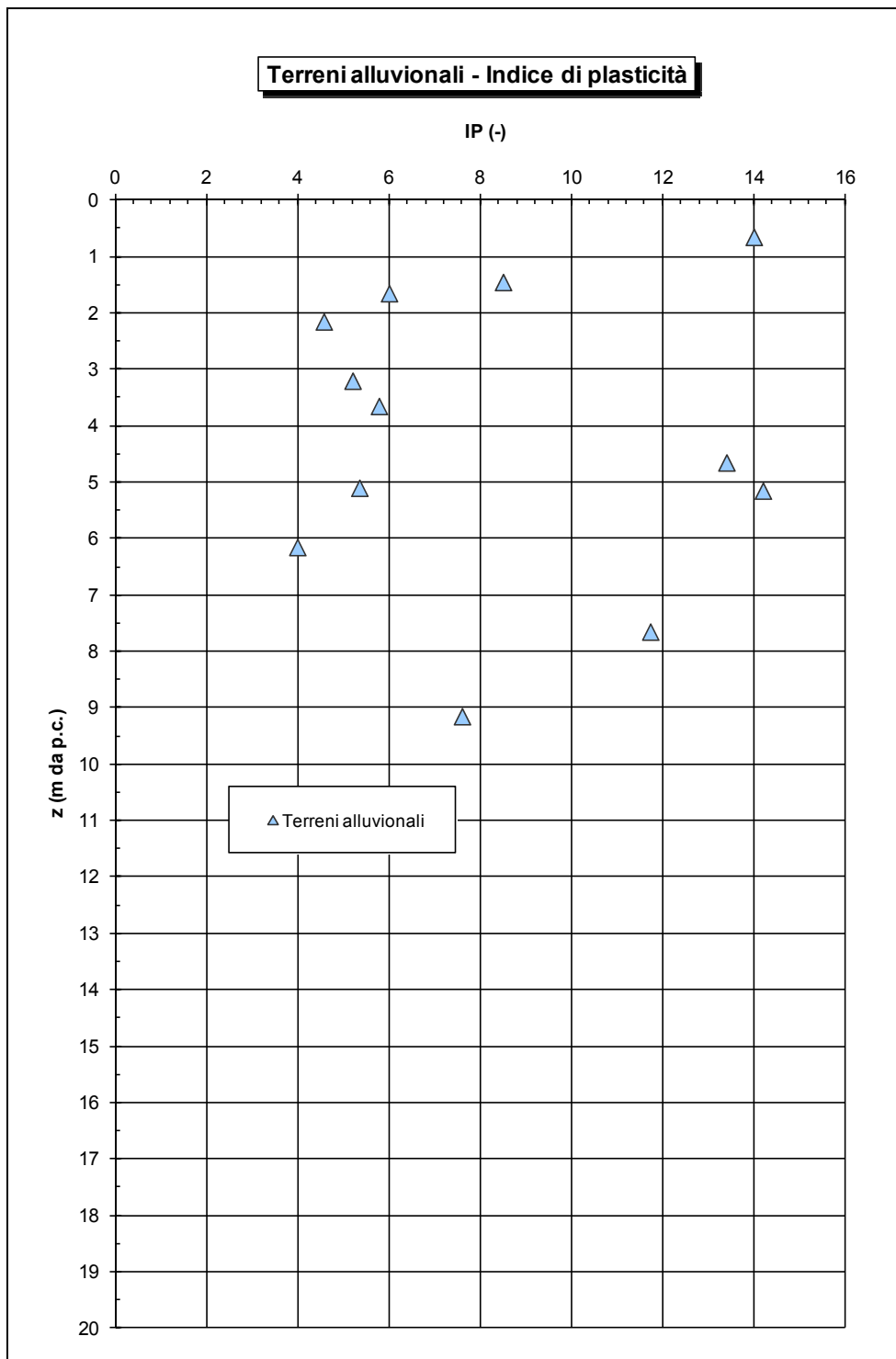


Figura 10.52 - Depositi alluvionali - Indice di plasticità

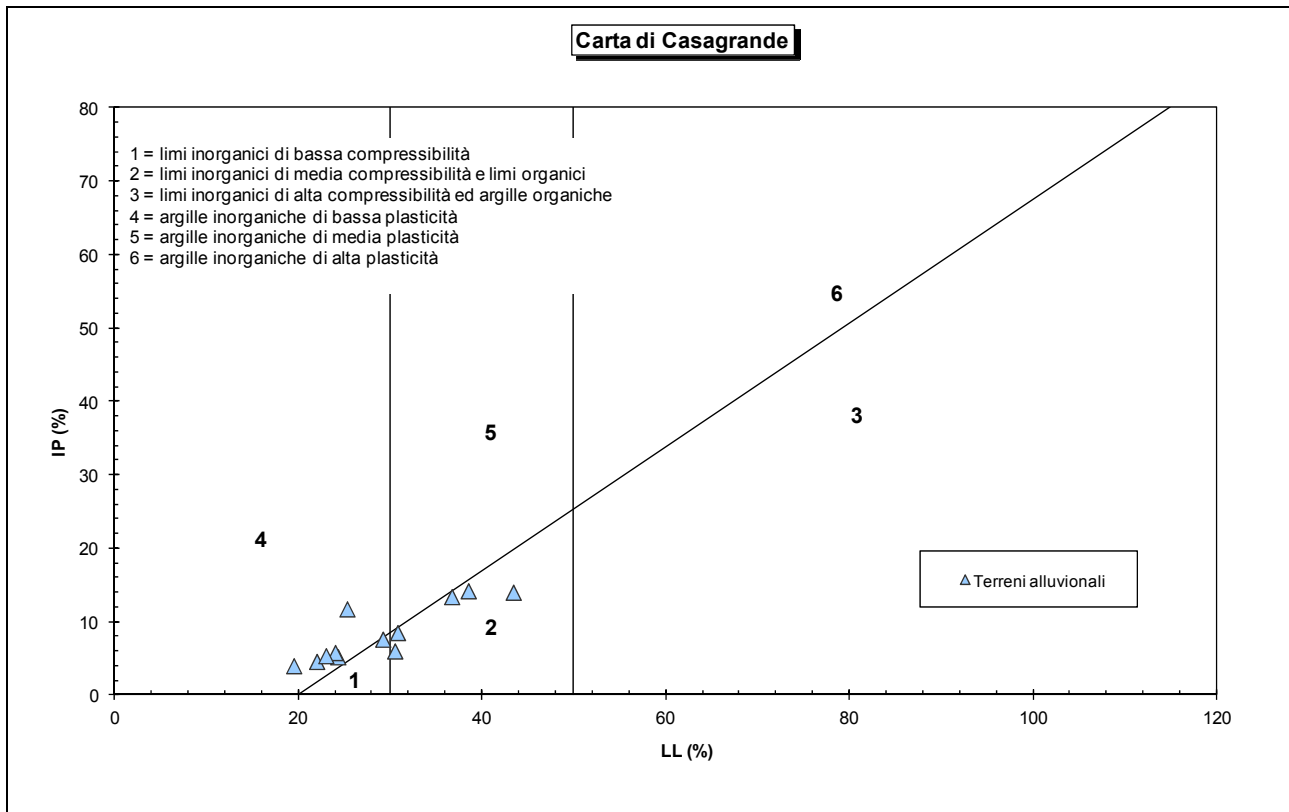


Figura 10.53 - Depositi alluvionali - Carta di plasticità di Casagrande

10.6.4 Risultati prove in sito

Per quanto riguarda le prove in sito, i principali risultati ottenuti dalla loro interpretazione sono i seguenti:

$$N_{\text{spt}} = 5 \div 55 \text{ colpi/piede}$$

$$V_s = 100 \div 250 \text{ m/s (andamento crescente con la profondità)}$$

$$G_o = 20 \div 120 \text{ MPa}$$

$$E_o = 50 \div 300 \text{ MPa}$$

$$E'_{25} = E_o/5 = 10 \div 30 \text{ MPa (andamento lineare con la profondità)}$$

$$D_r \sim 70\%$$

$$\phi' = 33^\circ \div 38^\circ$$

Nella Figure seguenti tali risultati sono diagrammati in funzione della profondità:

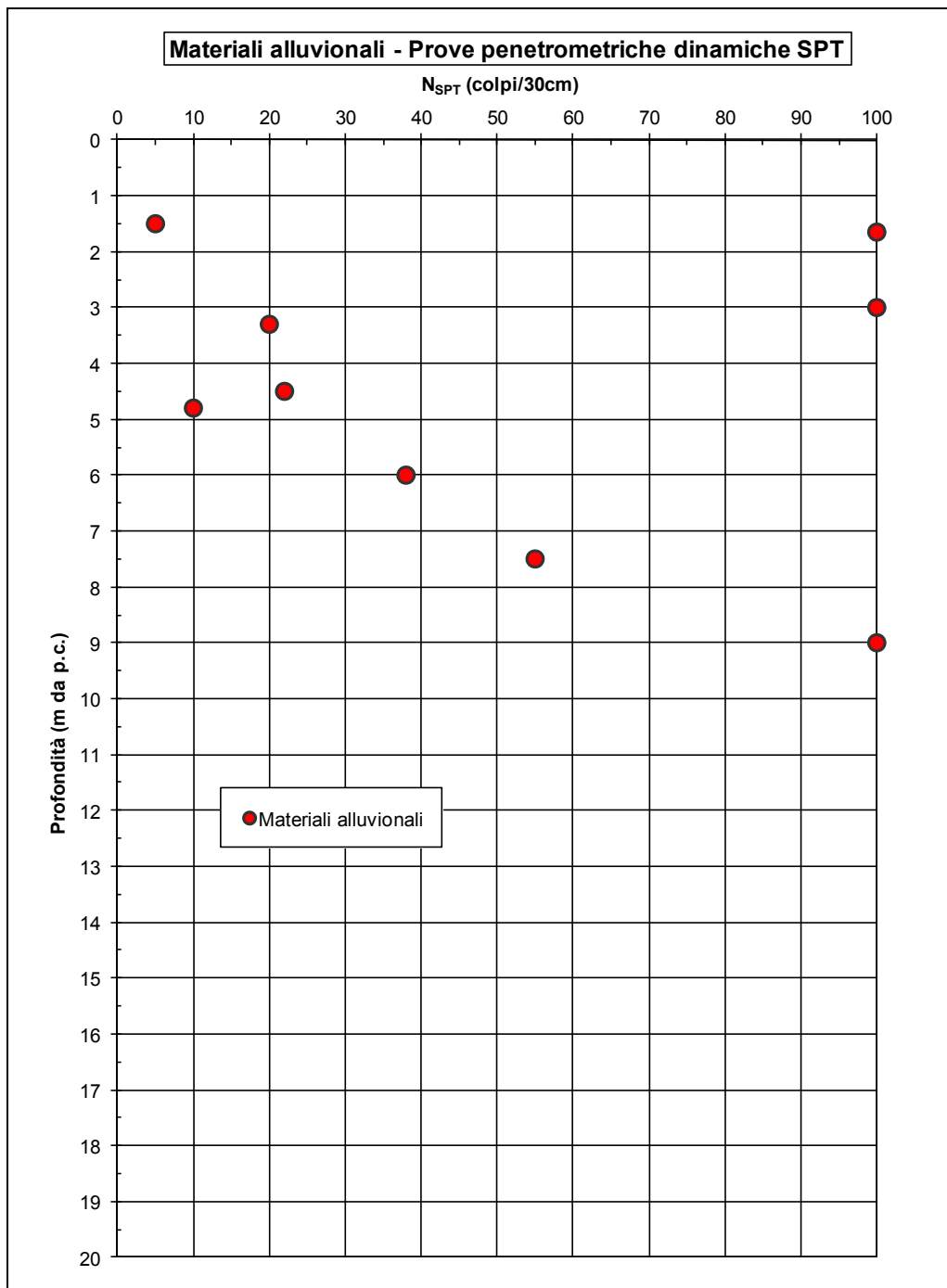


Figura 10.54 - Depositi alluvionali - Valori di N_{SPT}

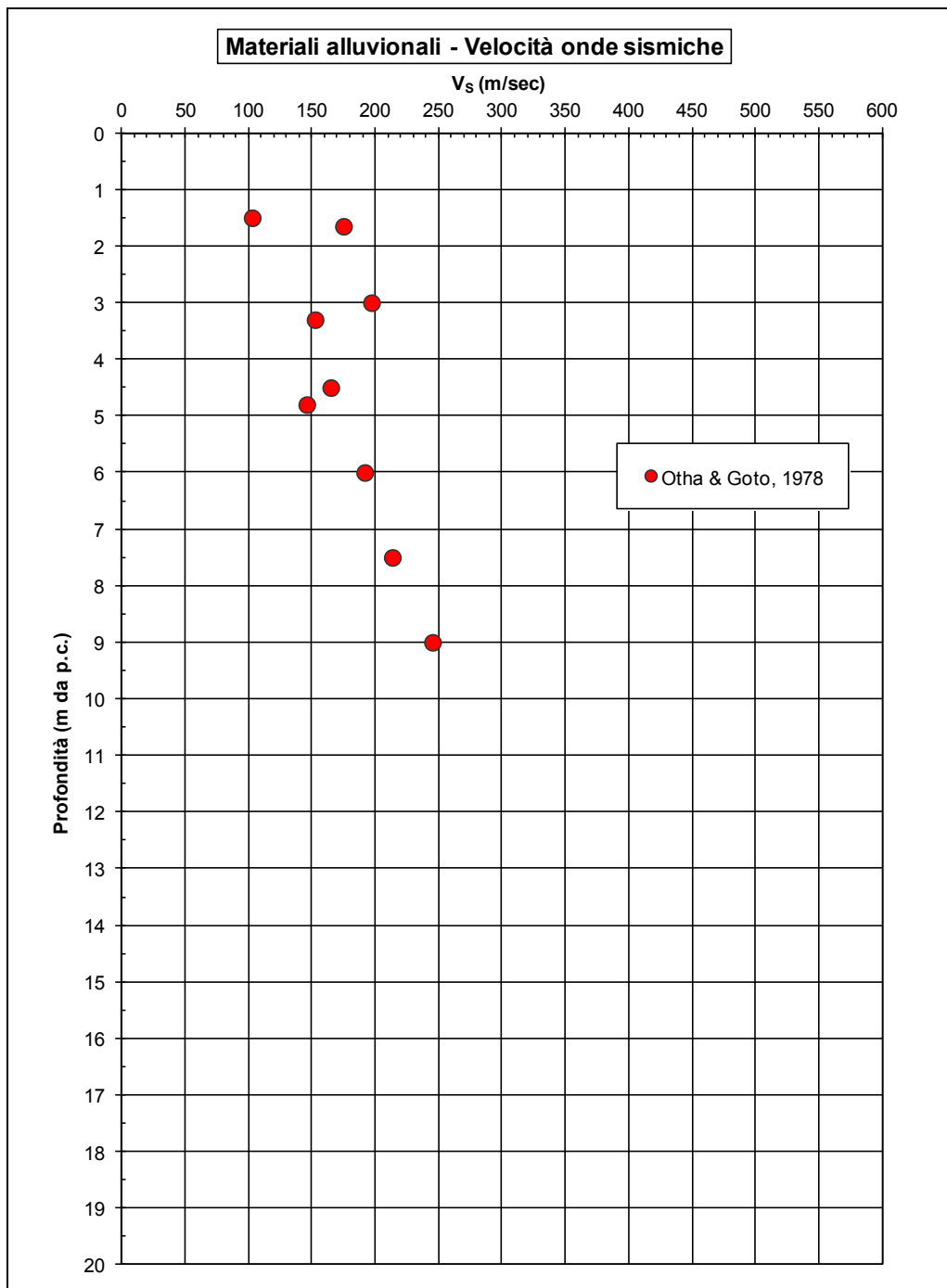


Figura 10.55 - Depositi alluvionali - Velocità onde sismiche

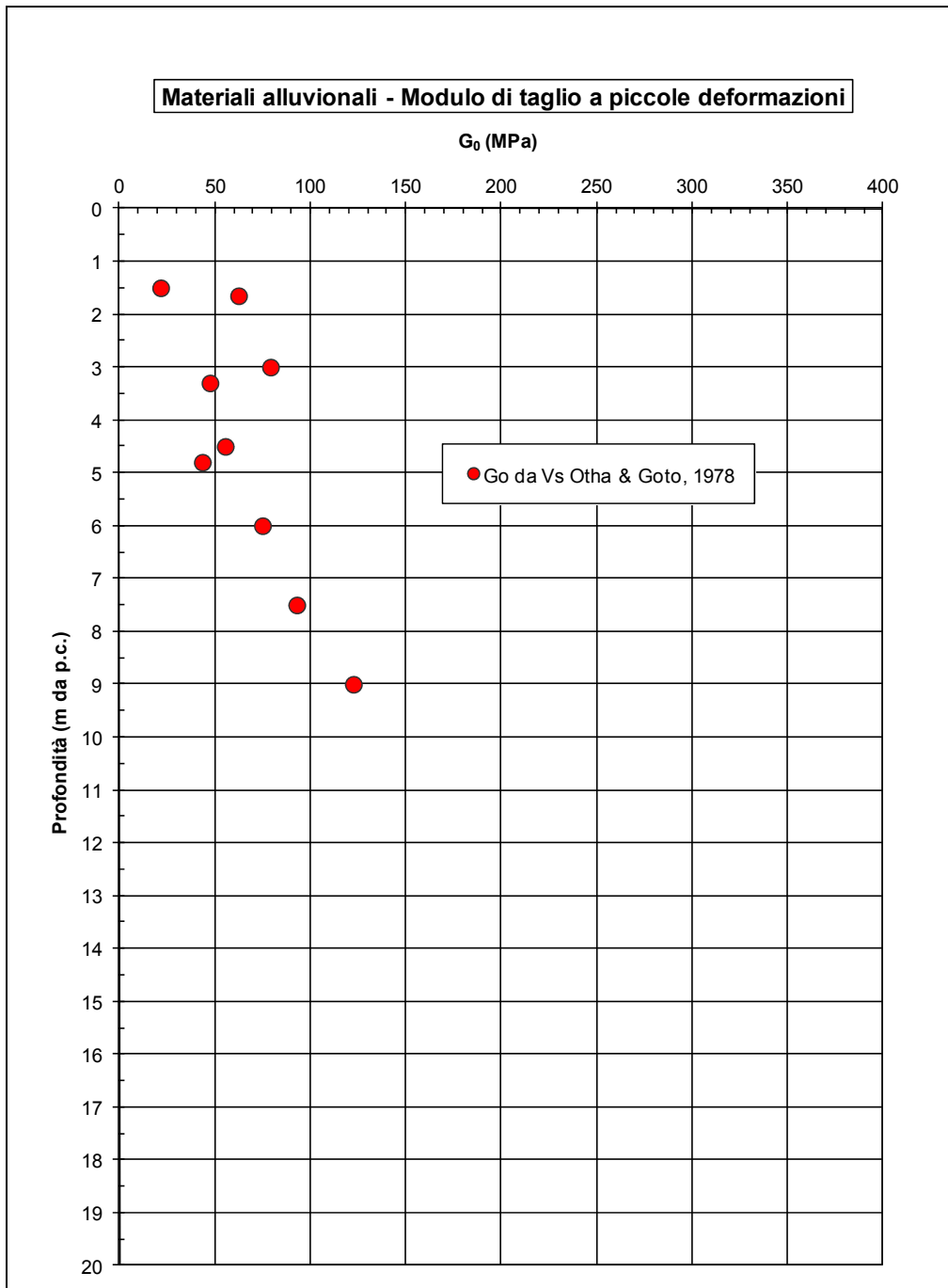


Figura 10.56 - Depositi alluvionali - Modulo di taglio a piccole deformazioni

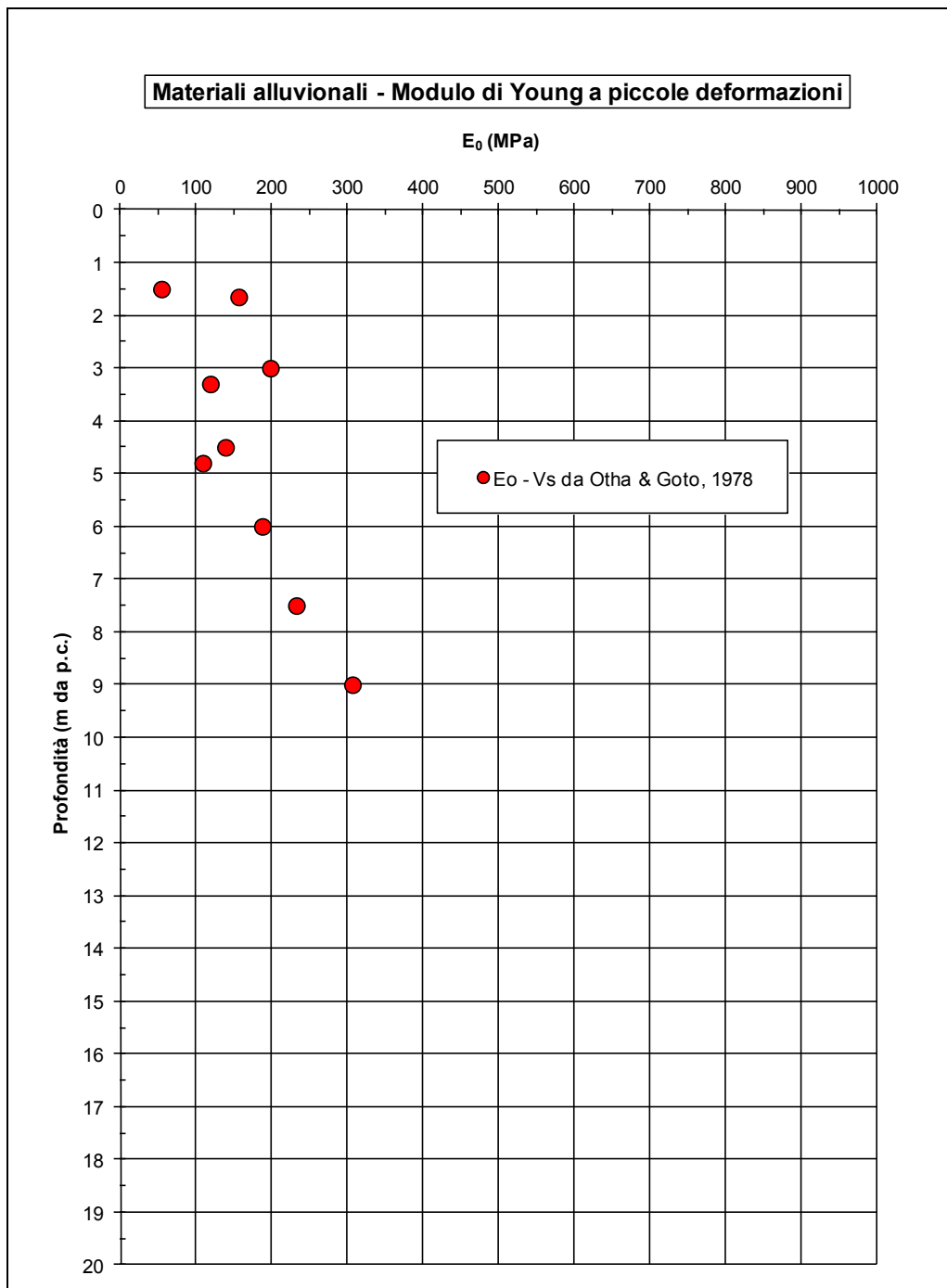


Figura 10.57 - Depositi alluvionali - Modulo di Young a piccole deformazioni

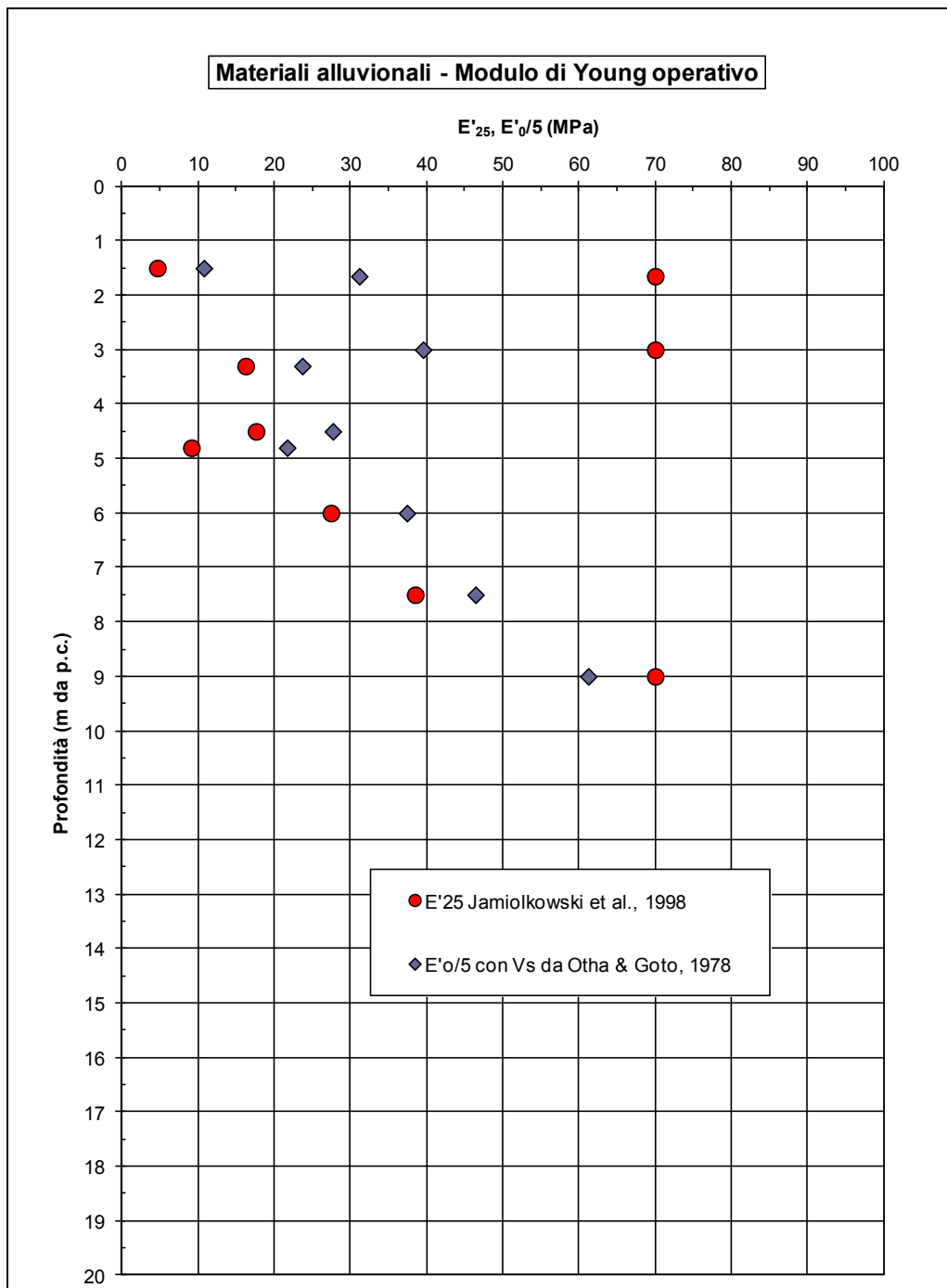


Figura 10.58 - Depositi alluvionali - Modulo di Young operativo

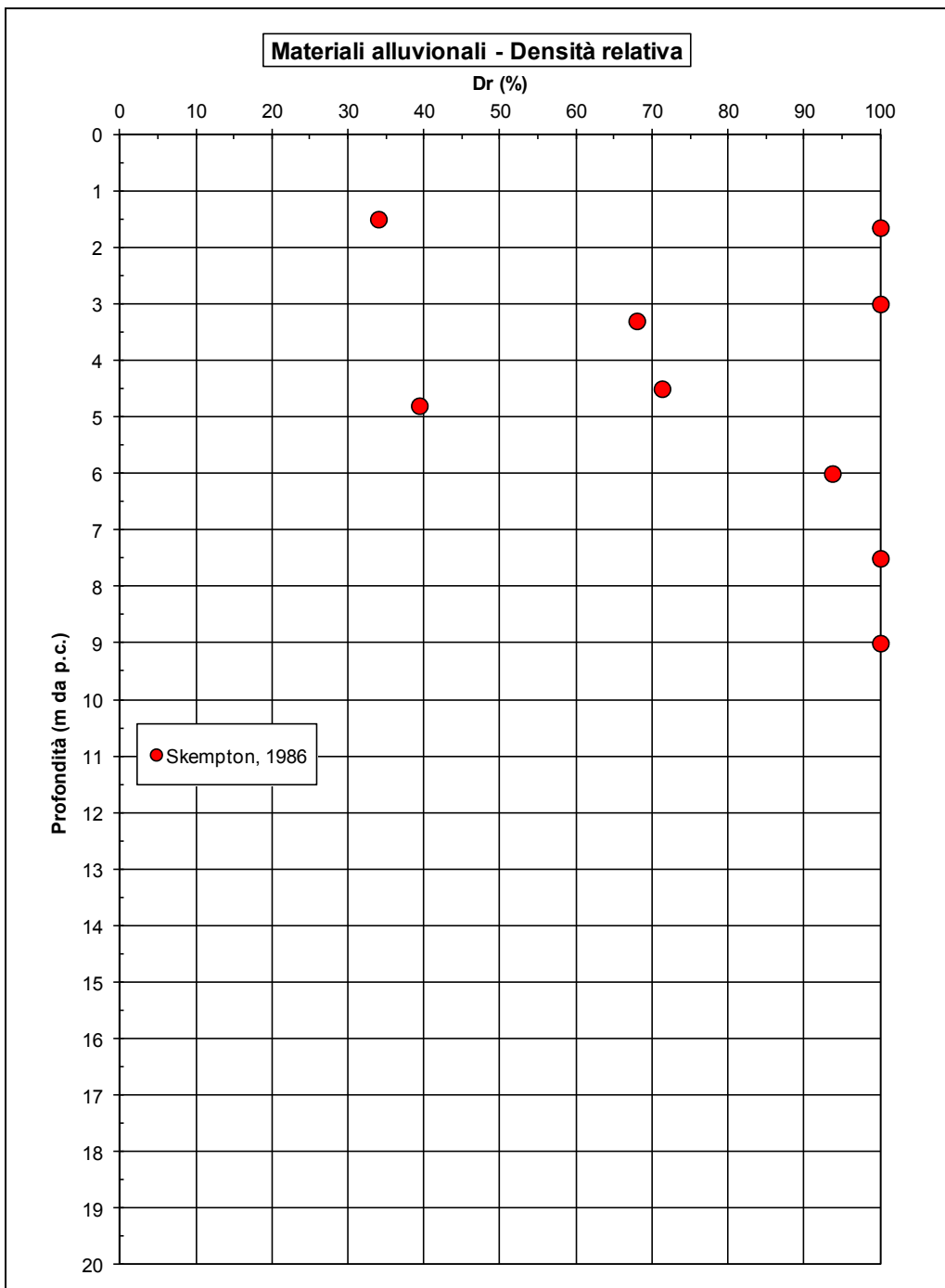


Figura 10.59 - Depositi alluvionali - Densità relativa

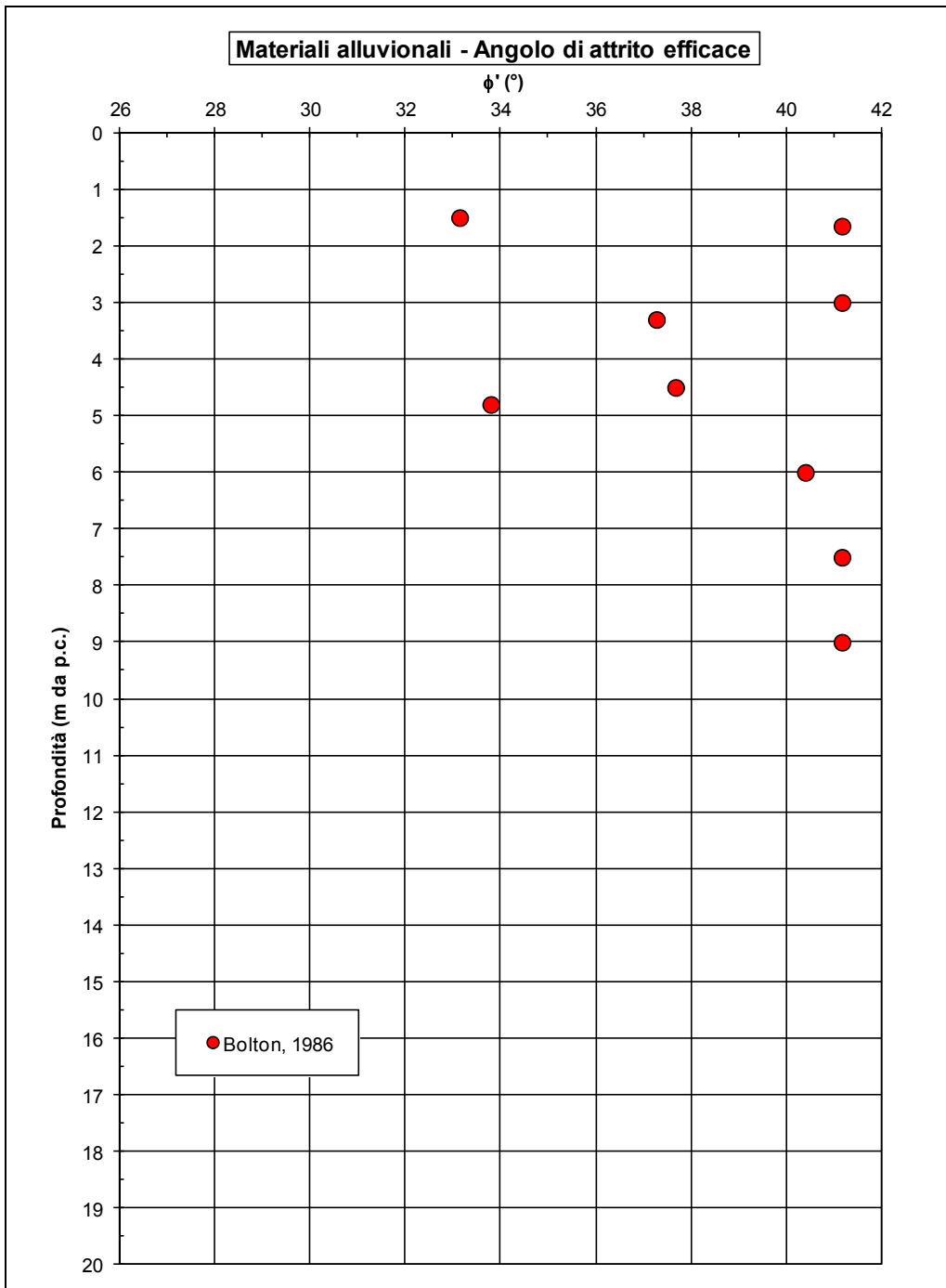


Figura 10.60 - Depositi alluvionali - Angolo d'attrito efficace

10.6.5 Tabella riepilogativa dei parametri caratteristici

Nella Tabella seguente si riportano i valori medi dei parametri caratteristici:

| | |
|---------------------------------|--|
| γ_t (kN/m ³) | ~19.0 ÷ 20.0 |
| N_{SPT} (colpi/30 cm) | 5 ÷ 55 |
| D_r (%) | ~ 70% |
| ϕ' (°) | 33 ÷ 38 |
| c' (kPa) | 0.0 |
| c_u (kPa) | - |
| GSC | ~ 1.0 |
| k_o (-) | 0.38 ÷ 0.46 |
| k (m/s) | $1.0 \cdot 10^{-7} \div 1.0 \cdot 10^{-4}$ |
| V_s (m/s) | 100 ÷ 250 |
| G_o (MPa) | 20 ÷ 120 |
| E_o (MPa) | 50 ÷ 300 |
| E_{op} (MPa) | 10 ÷ 30 |
| | |

Tabella 10.10 - Depositi alluvionali - Parametri geotecnici caratteristici

11. CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE FORMAZIONI ROCCIOSE

11.1 Descrizione delle principali formazioni rocciose

La caratterizzazione geomeccanica oggetto di questa relazione riguarda le sole formazioni geologiche che interferiscono direttamente con la parte all'aperto del tracciato del futuro collegamento, dallo svincolo sulla A12 per la Val Fontanabuona all'incrocio con la SP 225 a Moconesi.

Percorrendo il tracciato dell'opera in progetto, è evidente una netta differenza dello schema tettonico; le Unità tettoniche che interferiscono con il tracciato sono, in ordine da Sud verso Nord: l'Unità Tettonica del Monte Antola; l'Unità Tettonica Portello e l'unità Tettonica Gottero.

Le formazioni ascrivibili a tali unità ed intercettate lungo il tracciato sono:

- Unità Tettonica del Monte Antola
 - Formazione del Monte Antola – FAN
- Unità Tettonica Portello
 - Formazione del Monte Lavagnola – FLV
- Unità Tettonica Gottero
 - Ardesie di Monte Verzi – AMV
 - Scisti Manganesiferi – SMG.

Di seguito sono riportate le caratteristiche delle sopra citate unità, a meno della Formazione del Monte Lavagnola (FLV), che non interessa le opere all'aperto, in quanto viene intercettata solo marginalmente dalla galleria Fontanabuona (parte terminale della galleria lato Fontanabuona).

11.1.1 Unità tettonica del Monte Antola (FAN)

L'Unità Tettonica del monte Antola è rappresentata solamente dalla omonima Formazione.

La formazione del Monte Antola (FAN) si presenta come una sequenza di torbiditi carbonatiche, in prevalenza calcareo – marnose, talvolta siltose, con orizzonti fini prevalentemente marnosi: calcareniti e calcareniti marnose grigio chiare, biancastre in alterazione, marne e marne calcaree in strati planari, da decimetrici fino a plurimetrici, intercalati da strati marnosi e siltitici ed in misura

minore argillitici, in strati da centimetrici a decimetrici. Negli orizzonti calcareo - marnosi più massivi il disturbo tettonico rende di difficile lettura la stratificazione, di solito ben evidente. Il comportamento rigido degli orizzonti calcarei è manifesto nelle aree di cerniera, dove sono frequenti fratture radiali, quasi sempre suturate da calcite.

11.1.2 Unità Tettonica Portello (FLV)

L'unità Portello è rappresentata solamente dalla Formazione di Monte Lavagnola (FLV), che è presente come una scaglia di spessore ridotto (poche decine di metri) associata al sovrascorrimento basale della formazione di Monte Antola, che la giustappone alla successione inclusa nell'Unità Tettonica Gottero.

La **Formazione di Monte Lavagnola** è costituita da un insieme di torbiditi sottili, a composizione silicoclastica riferibili principalmente alla formazione delle Argille a Palombini. Si tratta di strati sottili costituiti da siltiti e da arenarie finissime, che si alternano a strati medi e spessi di peliti prive di CaCO_3 . Sono presenti inoltre lenti di argilliti varicolori e di sporadici clasti e blocchi di arenarie riferibili alle Arenarie di Monte Gottero.

Lo spessore massimo riconosciuto è di 150 m. Nell'area di nostro interesse sono stati individuati svariati affioramenti in posizione inferiore rispetto al sovrascorrimento della Formazione di Monte Antola, in particolare, presso il Passo di Spinarola, in Val Liteggia e a Serra. Tale formazione non interessa però direttamente le opere all'aperto da realizzare.

11.1.3 Unità Tettonica Gottero (AMV e SCM)

L'unità Tettonica Gottero è rappresentata dalla Formazione delle Ardesie di Monte Verzi (AMV) e dalla formazione degli Scisti Mangesiferi (SCM). Sia gli Scisti Mangesiferi che le Ardesie di Monte Verzi, nell'ambito del CARG, sono stati elevati al rango di formazioni, appartenenti al Gruppo degli Scisti della Val Lavagna.

Le **Ardesie di Monte Verzi (AMV)**, ascrivibili all'Unità Tettonica Gottero, appartengono al "Gruppo degli Scisti della Val lavagna". Le Ardesie Monte Verzi sono classificabili come torbiditi pelitico-arenacee caratterizzate dall'alternanza di strati silicoclastici medio spessi e di strati calcareo-marnosi spessi e molto spessi, questi ultimi noti con il nome di "Ardesie" o "Lavagna".

tale formazione, che appartiene alla Sottunità Capenardo che affiora su entrambi i lati della media e bassa Val Lavagna, ha uno spessore di circa 400 m.

Gli **Scisti Manganesiferi (SCM)**, ascrivibili all'Unità Tettonica Gottero, appartengono al "Gruppo degli Scisti della Val Lavagna". Questa formazione affiora estesamente in Val Lavagna nel settore compreso fra i paesi di Carasco e Gattorna, con spessori fino a 300 m. Questo tipo di scisti sono costituiti da una successione torbiditica pelitico-arenacea a composizione quasi esclusivamente silicoclastica. Macroscopicamente gli affioramenti presentano dominanza di metasiltiti grigio-verdastre fittamente laminate con subordinate intercalazioni di meta-areniti fini in strati decimetrici.

Elevati livelli di contenuto carbonatico sono correlabili a concrezioni di tipo post-deposizionale; sono tuttavia presenti anche rari livelli arenitici a matrice carbonatica, con spessore fino a decimetrico.

Gli Scisti Manganesiferi affiorano diffusamente in tutto il fondovalle del Torrente Lavagna e nel tratto inferiore del Torrente Liteglia. Al di fuori delle incisioni dei rii e dei tagli stradali l'unità si presenta intensamente pedogenizzata, con coperture dei suoli fino a 3 m.

11.2 Formazione FAN Svincolo A12

11.2.1 Descrizione e caratteristiche generali

La formazione in oggetto è stata descritta come un materiale in prevalenza calcareo – marnoso, talvolta siltoso, con orizzonti fini prevalentemente marnosi.

11.2.2 Indagini di riferimento

Per la caratterizzazione della formazione FAN in corrispondenza dello Svincolo sull'A12, valida anche per l'imbocco lato Sud della galleria Caravaggio, si è fatto riferimento alle indagini elencate nelle Tabelle seguenti:

| AMBITO | N° STENDIMENTO GEOFISICO | TIPO (anno) |
|---|--------------------------|-------------------------------|
| SVINCOLO DI VALFONTANABUONA SULLA A12 | SS5-1 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS5-2 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS6-1 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS6-2 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS7 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS8 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | s1 | geofisica a rifrazione (2011) |
| | s2 | geofisica a rifrazione (2011) |
| | s5a | geofisica a rifrazione (2011) |
| | s5b | geofisica a rifrazione (2011) |
| | s6 | geofisica a rifrazione (2011) |

Tabella 11.1 - Formazione FAN Svincolo A12 – Indagini geofisiche

| Sigla | Tipo | LAB | Quota | Profondità | Prove SPT | Prove Lugéon | Prove Lefranc | Prove Pressiom. | Prove Dilatom. | Strumentazione | Campioni indisturb. | Campioni rimanegg. | Campioni ambientali |
|--------|---------------------------------|-----|------------|------------|-----------|--------------|---------------|-----------------|----------------|----------------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | | | (m s.l.m.) | (m) | (n°) | (n°) | (n°) | (n°) | (n°) | | (n°) | (n°) | (n°) |
| FB1bis | sondaggio a distruzione | | 146,900 | 40,00 | | | | | | tubo pvc CROSS-HOLE + INCL | | | |
| FB1ter | sondaggio a distruzione | | 147,368 | 40,00 | | | | | | tubo pvc CROSS-HOLE + INCL | | | |
| SV1 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 114,873 | 35,00 | 8 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 11 | 3 |
| SV3 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 109,616 | 35,00 | 1 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 8 | 3 |
| SV6 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 76,173 | 35,00 | 1 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 7 | 3 |
| SV7 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 52,347 | 35,00 | 1 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 7 | 3 |
| FB1 | sondaggio a carotaggio continuo | | 146,639 | 40,00 | 1 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 9 | |
| SV2 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 108,179 | 35,00 | 10 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 14 | |
| SV4 | sondaggio a carotaggio continuo | | 104,438 | 40,00 | 1 | 1 | | | | piezometro t.a. | | 9 | |
| SV5 | sondaggio a carotaggio continuo | | 130,399 | 40,00 | | 1 | | | | piezometro t.a. | | 8 | |

Tabella 11.2 - Formazione FAN Svincolo A12 – Sondaggi di riferimento

| ZONA | RILIEVI GEOMECCANICI (2011) | Localizzazione |
|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|
| SVINCOLO DI VALFONTANABUONA SULLA A12 | RG10 | Imbocco Sud galleria Caravaggio |

Tabella 11.3 - Formazione FAN Svincolo A12 - Rilievi geomeccanici

11.2.3 Caratteristiche fisiche

Il peso di volume naturale γ_t può essere assunto variabile tra 26 kN/m^3 e 27 kN/m^3 (cfr. la Figura riportata nel seguito).

11.2.4 Parametri matrice lapidea

I parametri presi a riferimento per la caratterizzazione della matrice lapidea della roccia intatta sono i seguenti:

σ_c (*) = resistenza compressione monoassiale

I_{s50} = Point Load Index normalizzato

σ_c (**) = resistenza compressione monoassiale da prova Point Load ($\sigma_c = 24 \cdot I_{s50}$)

σ_T = resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)

E_{t50} = modulo di Young tangente

MR = rapporto di modulo (E_{t50}/σ_c)

ν = rapporto di Poisson

V_p = velocità delle onde di compressione misurata su provino

V_S = velocità sonica delle onde di taglio misurata su provino

E_{din} = modulo elastico dinamico

G_{din} = modulo di taglio dinamico

m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta

m_b, s, a = parametri criterio di rottura di Hoek-Brown (risultati prove triassiali)

L'andamento di queste grandezze, misurato in funzione della profondità, è riportato nei diagrammi delle Figure seguenti.

I valori rappresentativi della resistenza a compressione sono riportati nella Tabella seguente:

| Resistenza a compressione | MPa | MPa | |
|--|------------|---------|----|
| Compressione semplice laboratorio | | | |
| | media | 81 | |
| | min | 46 | |
| | max | 116 | |
| da Point Load | | | |
| | diametrico | assiale | |
| | media | 51 | 64 |
| | min | 34 | 46 |
| | max | 69 | 83 |
| Rilievo geomeccanico | | 70 | |

Tabella 11.4 - Formazione FAN Svincolo A12 - Resistenza a compressione

11.2.5 Parametri R.Q.D., RMR'89 e GSI

L'andamento dei valori di R.Q.D. con la profondità rilevato nei sondaggi è riportato nelle Tabelle seguenti:

| AMBITO | Sondaggio | | RQD | | RQD medio | RQD media pesata | |
|--|---------------|---------------|---------------|-------|-----------|------------------|----------------|
| SVINCOLO DI VALFONTANABUONA SULLA A12 | SV2 | Campagna 2011 | | | | | Formazione FAN |
| | SV4 | | | | | | |
| | SV5 | | | | | | |
| | FB1 | | | | | | |
| | FB1bis-FB1ter | | Campagna 2013 | | | | |
| | SV1 | | | | | | |
| | SV3 | | | | | | |
| | SV6 | | | | | | |
| | SV7 | | | | | | |
| | | | | | | | |
| Sondaggio | Profondità | | RQD | | RQD medio | RQD media pesata | |
| | da (m) | a (m) | da (%) | a (%) | (%) | | |
| FB1 | 2 | 5 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| | 5 | 8 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 8 | 9 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| | 9 | 10 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 10 | 11 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| | 11 | 12 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| | 12 | 13 | 90 | 100 | 95 | | |
| | 13 | 14 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 14 | 15 | 0 | 25 | 12.5 | | |
| | 15 | 17 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| | 17 | 21 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 21 | 22 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| | 22 | 24 | 90 | 100 | 95 | | |
| | 24 | 27 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 27 | 28 | 90 | 100 | 95 | | |
| | 28 | 29 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| | 29 | 30 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| 30 | 32 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| 32 | 33 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| 33 | 34 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| 34 | 35 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| 35 | 37 | 90 | 100 | 95 | | | |
| 37 | 40 | 75 | 90 | 82.5 | 66 | | |
| SV1 | 15 | 17 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 17 | 20 | 0 | 25 | 12.5 | | |
| | 20 | 23 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 23 | 24 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| | 24 | 25 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 25 | 28 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| | 28 | 29 | 90 | 100 | 95 | | |
| 29 | 32 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| 32 | 33 | 90 | 100 | 95 | | | |
| 33 | 35 | 50 | 75 | 62.5 | 63 | | |
| SV2 | 19 | 20 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 20 | 23 | 90 | 100 | 95 | | |
| | 23 | 24 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| | 24 | 25 | 90 | 100 | 95 | | |
| | 25 | 26 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 26 | 27 | 90 | 100 | 95 | | |
| | 27 | 31 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| 31 | 32 | 90 | 100 | 95 | | | |
| 32 | 34 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| 34 | 35 | 25 | 50 | 37.5 | 77 | | |
| SV3 | 3 | 4 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 4 | 5 | 0 | 25 | 12.5 | | |
| | 5 | 6 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| | 6 | 8 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 8 | 9 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| | 9 | 10 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| | 10 | 11 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 11 | 12 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| | 12 | 13 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| | 13 | 18 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| | 18 | 20 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 20 | 22 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| | 22 | 24 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| 24 | 25 | 25 | 50 | 37.5 | | | |
| 25 | 27 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| 27 | 28 | 25 | 50 | 37.5 | | | |
| 28 | 31 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| 31 | 32 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| 32 | 35 | 50 | 75 | 62.5 | 62 | | |

Tabella 11.5 - Formazione FAN Svincolo A12 - Sondaggi FB1 SV1 SV2 SV3 - Valori di RQD

| AMBITO | Sondaggio | | | | | | | |
|--|---------------|---------------|--------|-------|-----------|------------------|----------------|--|
| SVINCOLO DI VALFONTANABUONA SULLA A12 | SV2 | Campagna 2011 | | | | | Formazione FAN | |
| | SV4 | | | | | | | |
| | SV5 | Campagna 2013 | | | | | | |
| | FB1 | | | | | | | |
| | FB1bis-FB1ter | | | | | | | |
| | SV1 | | | | | | | |
| | SV3 | | | | | | | |
| | SV6 | | | | | | | |
| | SV7 | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| | | | | | | | | |
| Sondaggio | Profondità | | RQD | | RQD medio | RQD media pesata | | |
| | da (m) | a (m) | da (%) | a (%) | (%) | | | |
| SV4 | 3 | 4 | 0 | 25 | 12.5 | | | |
| | 4 | 7 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| | 7 | 11 | 25 | 50 | 37.5 | | | |
| | 11 | 12 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| | 12 | 14 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| | 14 | 18 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| | 18 | 19 | 90 | 100 | 95 | | | |
| | 19 | 21 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| | 21 | 22 | 90 | 100 | 95 | | | |
| | 22 | 23 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| | 23 | 24 | 90 | 100 | 95 | | | |
| | 24 | 26 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| | 26 | 32 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| | 32 | 33 | 90 | 100 | 95 | | | |
| | 33 | 34 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| | 34 | 37 | 90 | 100 | 95 | | | |
| | 37 | 38 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| 38 | 39 | 75 | 90 | 82.5 | | | | |
| 39 | 40 | 90 | 100 | 95 | 75 | | | |
| SV5 | 1 | 2 | 25 | 50 | 37.5 | | | |
| | 2 | 3 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| | 3 | 4 | 0 | 25 | 12.5 | | | |
| | 4 | 5 | 75 | | 37.5 | | | |
| | 5 | 7 | 25 | 50 | 37.5 | | | |
| | 7 | 10 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| | 10 | 11 | 25 | 50 | 37.5 | | | |
| | 11 | 13 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| | 13 | 14 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| | 14 | 15 | 25 | 50 | 37.5 | | | |
| | 15 | 16 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| | 16 | 17 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| | 17 | 21 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| | 21 | 23 | 90 | 100 | 95 | | | |
| | 23 | 24 | 75 | | 37.5 | | | |
| | 24 | 28 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| | 28 | 29 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| 29 | 30 | 90 | 100 | 95 | | | | |
| 30 | 31 | 50 | 75 | 62.5 | | | | |
| 31 | 33 | 75 | 90 | 82.5 | | | | |
| 33 | 37 | 90 | 100 | 95 | | | | |
| 37 | 38 | 75 | | 37.5 | | | | |
| 38 | 39 | 90 | 100 | 95 | | | | |
| 39 | 40 | 75 | 90 | 82.5 | 69 | | | |
| SV6 | 3 | 4 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| | 4 | 5 | 0 | 25 | 12.5 | | | |
| | 5 | 6 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| | 6 | 8 | 25 | 50 | 37.5 | | | |
| | 9 | 9 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| | 9 | 11 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| | 11 | 13 | 25 | 50 | 37.5 | | | |
| | 13 | 15 | 0 | 25 | 12.5 | | | |
| | 15 | 16 | 90 | 100 | 95 | | | |
| | 16 | 20 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| | 20 | 21 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| | 21 | 22 | 90 | 100 | 95 | | | |
| | 22 | 24 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| | 24 | 25 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| | 25 | 26 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| | 26 | 27 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| | 27 | 30 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| 30 | 33 | 75 | 90 | 82.5 | | | | |
| 33 | 34 | 25 | 50 | 37.5 | | | | |
| 34 | 35 | 75 | 90 | 82.5 | 62 | | | |

Tabella 11.6 - Formazione FAN Svincolo A12 - Sondaggi SV4 SV5 SV6 - Valori di RQD

| AMBITO | | Sondaggio | | | | | | |
|--|----|---|------------|---------------|--------|----------------|-----------|------------------|
| SVINCOLO DI VALFONTANABUONA SULLA A12 | | SV2 SV4 SV5 FB1 | | Campagna 2011 | | Formazione FAN | | |
| | | FB1bis-FB1ter SV1 SV3 SV6 SV7 | | Campagna 2013 | | | | |
| | | Sondaggio | Profondità | | RQD | | RQD medio | RQD media pesata |
| | | | da (m) | a (m) | da (%) | a (%) | (%) | |
| | | SV7 | 2 | 3 | 25 | | 12.5 | |
| | | | 3 | 6 | 50 | 75 | 62.5 | |
| | | | 6 | 8 | 25 | 50 | 37.5 | |
| | | | 8 | 9 | 75 | | 37.5 | |
| | | | 10 | 11 | 50 | | 25 | |
| | | | 11 | 12 | 75 | 90 | 82.5 | |
| 12 | 13 | | 25 | | 12.5 | | | |
| 13 | 14 | | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| 14 | 17 | | 25 | 50 | 37.5 | | | |
| 17 | 19 | | 75 | | 37.5 | | | |
| 19 | 22 | | 50 | | 25 | | | |
| 22 | 23 | | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| 23 | 24 | | 25 | 50 | 37.5 | | | |
| 24 | 25 | | 0 | 25 | 12.5 | | | |
| 25 | 26 | | 25 | 50 | 37.5 | | | |
| 26 | 27 | 50 | 75 | 62.5 | | | | |
| 27 | 28 | 90 | 100 | 95 | | | | |
| 28 | 33 | 50 | 75 | 62.5 | | | | |
| 33 | 35 | 90 | 100 | 95 | | | | |
| | | | | | | 49 | | |

Tabella 11.7 - Formazione FAN Svincolo A12 - Sondaggio SV7 - Valori di RQD

I valori medi sono sintetizzati nella Tabella seguente:

| Svincolo A12 | | |
|--------------------------------|---------------|-----------|
| Formazione | FAN | RQD medio |
| Sondaggi di riferimento | SV2 | 77 |
| | SV4 | 75 |
| | SV5 | 69 |
| | FB1 | 66 |
| | FB1bis-FB1ter | |
| | SV1 | 63 |
| | SV3 | 62 |
| | SV6 | 62 |
| | SV7 | 49 |

Tabella 11.8 - Formazione FAN Svincolo A12 - Valori medi di RQD

Il parametro RMR_{89} è stato stimato sulla base di quanto descritto nel par. 9; nel caso specifico si rileva che:

- è stata fatta una determinazione a partire dai parametri rilevati nei sondaggi e nelle prove di laboratorio ($RMR_{89} = 35$);
- si è anche tenuto conto di quanto determinato in corrispondenza del rilievo geomeccanico eseguito ($RG10 - RMR_{89} = 43$), riportato nella Tabella seguente:

| Rilievo geomeccanico | | RG10 | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------------------------|---------------------------------|-------|------------------------------|--------------------|-------------------------|--|-----------------|-------|--------|-----|-------------|------|-----|-------|-------------------------|------------------|-----------------|----|
| ZONA | RILIEVI GEOMECCANICI (2011) | Localizzazione | Quota | Litologia | Formazione | GSI | $\sigma_{c,media}$ | st dev (o var.) | mi | R.Q.D. | RMR | sp discount | Q | JRC | JCS | Giacitura discontinuità | | | |
| | | | m slm | | | (-) | MPa | MPa | (-) | (%) | (-) | (cm) | (-) | (-) | (MPa) | immersione (*) | inclinazione (*) | spaziatura (cm) | |
| SVINCOLO DI VALFONTANABUONA SULLA A12 | RG10 | Imbocco Sud galleria Caravaggio | 140 | Calcare marnoso grigio scuro | FAN (MONTE ANTOLA) | 40 | 68 | 25 | 8 | 10 | 43 | 5 | 1.11 | 4 | | 39 | 165 | 26 | 5 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 55 | 231 | 83 | 30 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | 66 | 338 | 75 | 37 |
| | | | | | | GSI | Geological Strength Index | | (-) | | | | | | | | | | |
| | | | | | | $\sigma_{c,media}$ | resistenza a compressione monoassiale (media) | | (MPa) | | | | | | | | | | |
| | | | | | | st dev | deviazione standard | | (MPa) | | | | | | | | | | |
| | | | | | | mi | parametro dell'involuppo di rottura | | (-) | | | | | | | | | | |
| | | | | | | R.Q.D. | Rock Quality Designation | | (%) | | | | | | | | | | |
| | | | | | | RMR | Rock Mass Rating | | (-) | | | | | | | | | | |
| | | | | | | sp discount | spaziatura delle discontinuità | | (cm) | | | | | | | | | | |
| | | | | | | Q | indice di qualità intrinseco dell'ammasso roccioso | | (-) | | | | | | | | | | |
| | | | | | | JRC | rugosità del giunto | | (-) | | | | | | | | | | |
| | | | | | | JCS | resistenza a compressione del giunto | | (-) | | | | | | | | | | |
| | | | | | | Giacitura discontinuità | immersione | | (*) | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | inclinazione | | (*) | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | spaziatura | | (cm) | | | | | | | | | | |

Tabella 11.9 - Formazione FAN Svincolo A12 - Risultati rilievo geomeccanico

L'ammasso roccioso può essere mediamente caratterizzato da parametri RMR_{89} compresi tra 35 e 45.

Il parametro GSI è quindi stato assunto nell'intervallo tra 25-30 e 40 (valutazione che risulta compatibile anche con la stima in funzione dell'R.Q.D. e dei parametri J_r *joint roughness number* e J_a *joint amplitude number* – Hoek et al., 2013).

11.2.6 Involuppi di rottura

Gli involuppi di rottura dell'ammasso roccioso sono stati determinati sulla base di quanto riportato nel par. 9, tenendo conto:

- dei valori rappresentativi di GSI (40 per la roccia compatta e 30 per la roccia fessurata / alterata, valori compatibili anche con quanto suggerito da Hoek e Marinos 2002);
- resistenza a compressione σ_c pari a 60 MPa;
- D coefficiente di disturbo pari a 0.70;
- condizione slopes - mechanical excavation (altezza 30 m);
- parametro - $m_i = 8$

Nelle Figure seguenti sono riportati i diagrammi degli involuppi di rottura di Hoek e Brown ottenuti con la parametrizzazione descritta, a partire dai quali sono definiti i parametri caratteristici dell'ammasso.

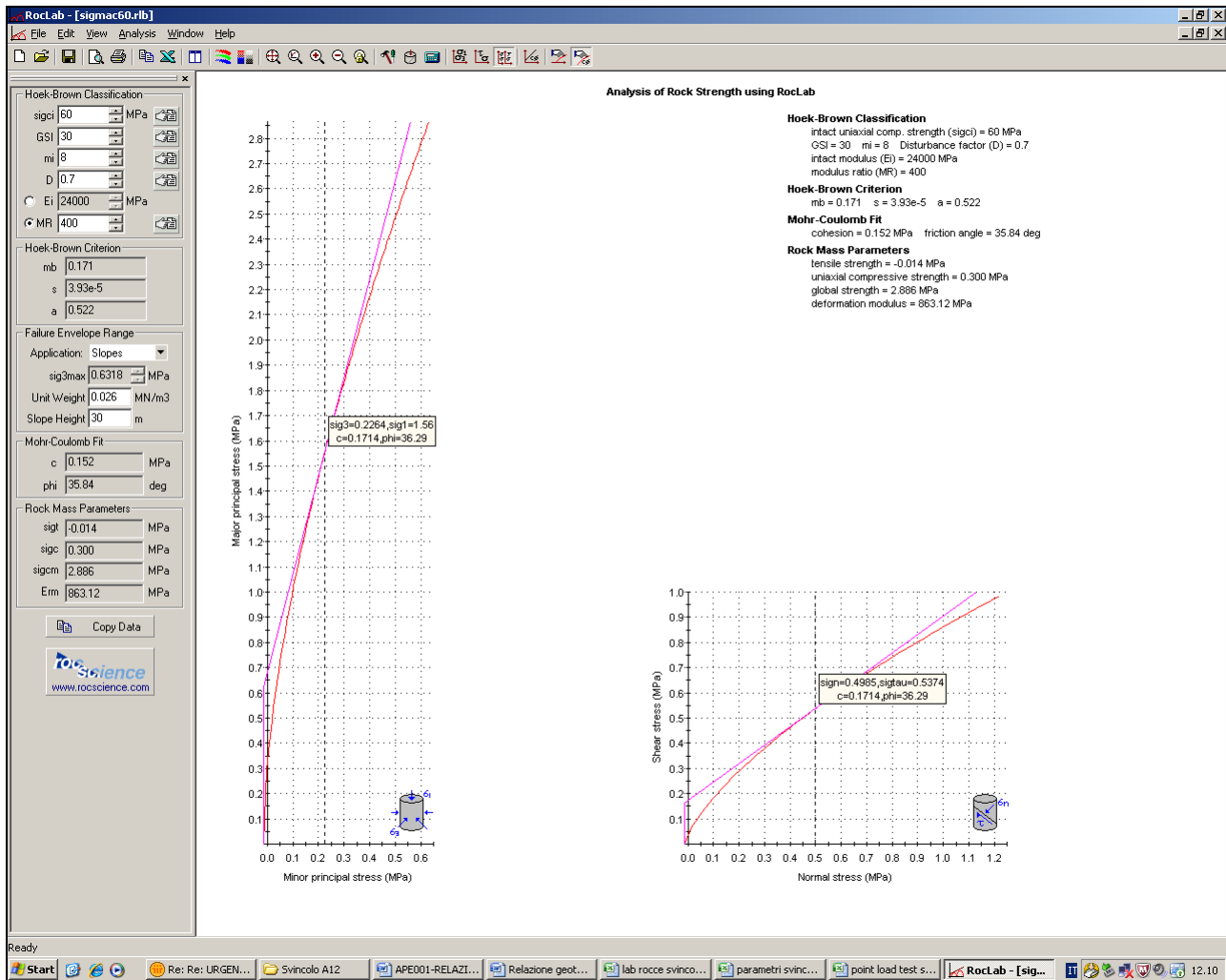


Figura 11.1 - Formazione FAN Svincolo A12 - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso fessurato / alterato

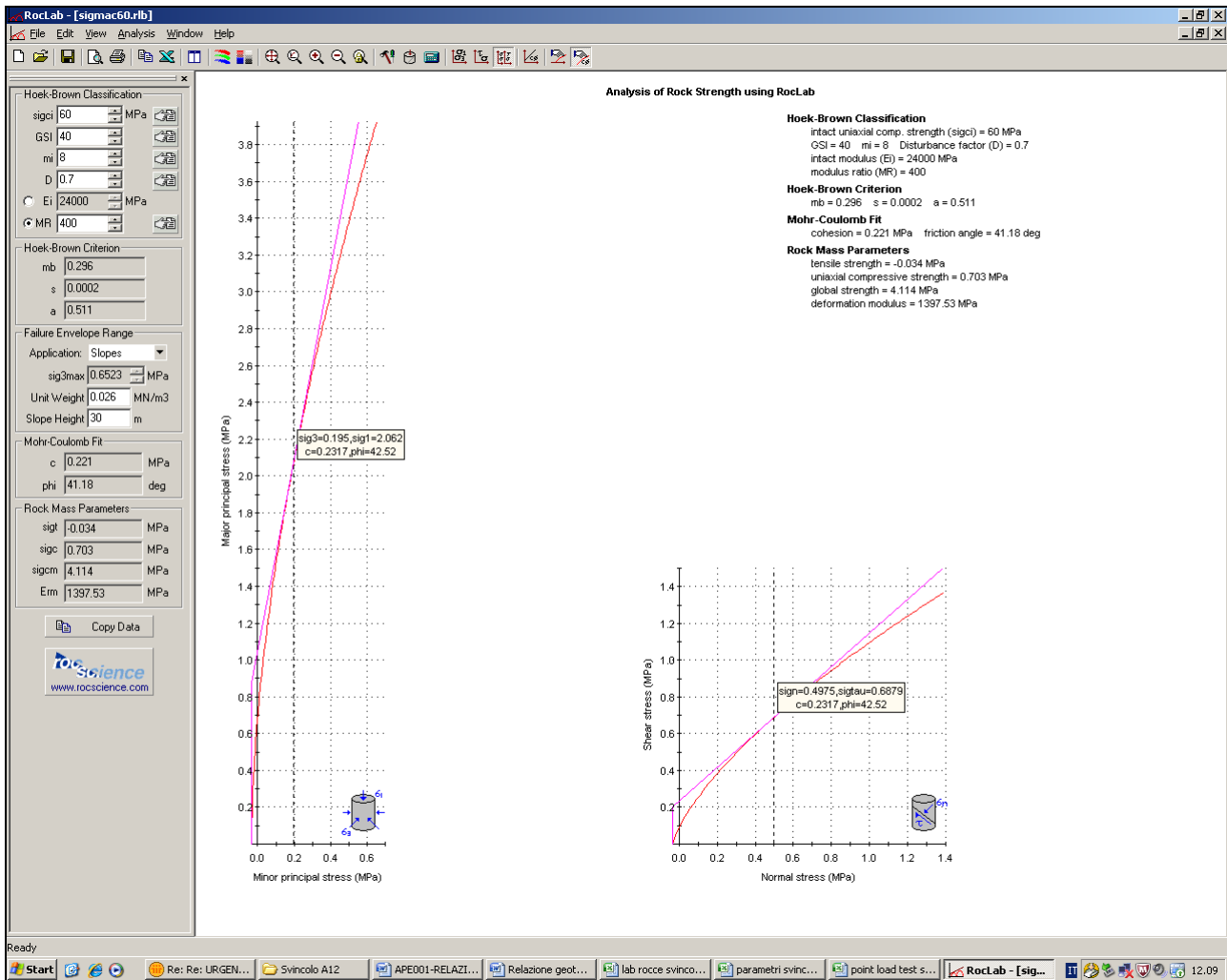


Figura 11.2 - Formazione FAN Svincolo A12 - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso compatto

11.2.7 Caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso

La deformabilità dell'ammasso roccioso è stata valutata tenendo conto di tutti i dati disponibili, in particolare:

- risultati delle prove dilatometriche;
- risultati delle misure delle velocità soniche misurate in sito (Cross-Hole);
- stima dei moduli elastici operativi in accordo a Serafim & Pereira - 1983, a partire dalla resistenza a compressione σ_c , dal GSI e ponendo:
 - o $D =$ coefficiente disturbo = 0.50 per fondazioni a pozzo e fronti di scavo sostenuti in modo attivo

- $D = 1.0$ per fondazioni dirette, rilevati e fronti di scavo non sostenuti oppure sostenuti in modo passivo.

I risultati ottenuti sono rappresentati nelle Figure riportate nel seguito.

11.2.8 Caratteristiche di permeabilità

I coefficienti di permeabilità dell'ammasso roccioso determinati con prove di permeabilità Lugeon sono riportati nella Figura riportata nel seguito. In relazione alla macrostruttura e al grado di fratturazione della formazione, i valori riportati possono essere rappresentativi della permeabilità in condizioni di flusso in direzione orizzontale; quelli in direzione verticale possono essere 1/3 ordini di grandezza inferiori.

11.2.9 Tabella riassuntiva dei parametri caratteristici

Si riporta nel seguito la Tabella di sintesi dei parametri caratteristici.

Si richiama il fatto che è stata fatta una distinzione, in termini di resistenza, fra formazione compatta e formazione fessurata / alterata. Per condizioni di "media fessurazione / alterazione", si potrà fare riferimento a parametri intermedi, tenendo conto anche di valutazioni ingegneristiche in funzione della specificità del problema in esame.

| | Matrice lapidea | | Ammasso roccioso compatto | Ammasso roccioso fessurato/alterato |
|---------------------------------|-----------------------------|---|---|---|
| γ_t (kN/m ³) | 26 ÷ 27 | γ_t (kN/m ³) | 26 ÷ 27 | |
| σ_c (MPa) (*) | 45 ÷ 115 | RMR ₈₉ (-) | 35 ÷ 45 | |
| I _{s50} (MPa) | 2.0 ÷ 3.0 | GSI (-) | 40 | 25-30 |
| σ_c (MPa) (**) | diametrale 50 assiale 65 | JRC (-) | 4 | |
| σ_T (MPa) | | JCS (MPa) | 40 ÷ 65 | |
| E _{t50} (GPa) | 15 ÷ 50 | k (m/s) | 1·10 ⁻⁷ ÷ 5·10 ⁻⁶ | |
| MR (-) | 200 ÷ 900 | E _d (GPa) | 5 ÷ 10 | |
| V _p (m/s) | 3000 - 6500 | E _u (GPa) | 10 ÷ 15 | |
| V _s (m/s) | 1500 - 3500 | E _{op} D=0.5 (GPa) | 2.0 ÷ 5.0 | |
| E _{din} (GPa) | 20 ÷ 80 | E _{op} D=1.0 (GPa) | | 0.8 ÷ 2.0 |
| G _{din} (GPa) | 5 ÷ 30 | c (kPa) | 200 ÷ 220 ($\sigma=0.5$ MPa) | 80 ÷ 100 ($\sigma=0.2$ MPa) 150 ÷ 170 ($\sigma=0.5$ MPa) |
| ν (-) | 0.25 | ϕ (°) | 40 ($\sigma=0.5$ MPa) | 42 ÷ 44 ($\sigma=0.2$ MPa) 36 ($\sigma=0.5$ MPa) |
| m _i (-) | 8 | m _b (-) | ≈ 0.296 | ≈ 0.171 |
| m _b | | s (-) | ≈ 0.0002 | ≈ 3.93·10 ⁻⁵ |
| s | | a (-) | 0.511 | 0.522 |
| a (-) | | $\Phi_{p,joint}$ (°), c _{p,joint} (kPa) | | |
| | | $\Phi_{r,joint}$ (°), c _{r,joint} (kPa) | | |

Tabella 11.10 - Formazione FAN Svincolo A12 - Parametri caratteristici

I parametri di resistenza indicati sono validi per pressioni di confinamento pari a 0.20÷0.5 MPa. Per pressioni sensibilmente differenti, i corrispondenti valori dei parametri di resistenza potranno essere individuati utilizzando le Figure in cui sono riportati gli involuipi di rottura.

Simbologia:

- γ_t = peso di volume naturale;
- s_c (*) = resistenza compressione monoassiale
- s_c (***) = resistenza compressione monoassiale da prova Point Load ($s_c = 24 \cdot I_{s50}$)
- s_T = resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)
- E_{t50} = modulo di Young tangente
- MR = rapporto di modulo (E_{t50}/s_c)
- ν = rapporto di Poisson
- V_P = velocità di propagazione delle onde di compressione
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio
- E_{din} = modulo elastico dinamico
- G_{din} = modulo di taglio dinamico
- m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta
- m_b = parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
- s = parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
- a = parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
- $C_{p,joint}$ = coesione di picco (da prova di taglio su giunto)
- $\phi_{p,joint}$ = angolo di attrito di picco (da prova di taglio su giunto)
- $C_{r,joint}$ = intercetta di coesione residua (da prova di taglio su giunto)
- $\phi_{r,joint}$ = angolo di attrito residuo (da prova di taglio su giunto)
- RMR₈₉ = Rock Mass Rating
- GSI = Geological Strength Index
- JRC = rugosità del giunto
- JCS = resistenza a compressione del giunto
- k = coefficiente di permeabilità da prova Lugeon
- E_d = modulo di deformabilità di carico dell'ammasso (da prova dilatometrica)
- E_u = modulo di scarico (da prova dilatometrica)
- E_{UR} = modulo elastico (da prova dilatometrica)
- c = intercetta di coesione (criterio di rottura di Hoek & Brown)
- ϕ = angolo di attrito (criterio di rottura di Hoek & Brown)
- σ = pressione di confinamento

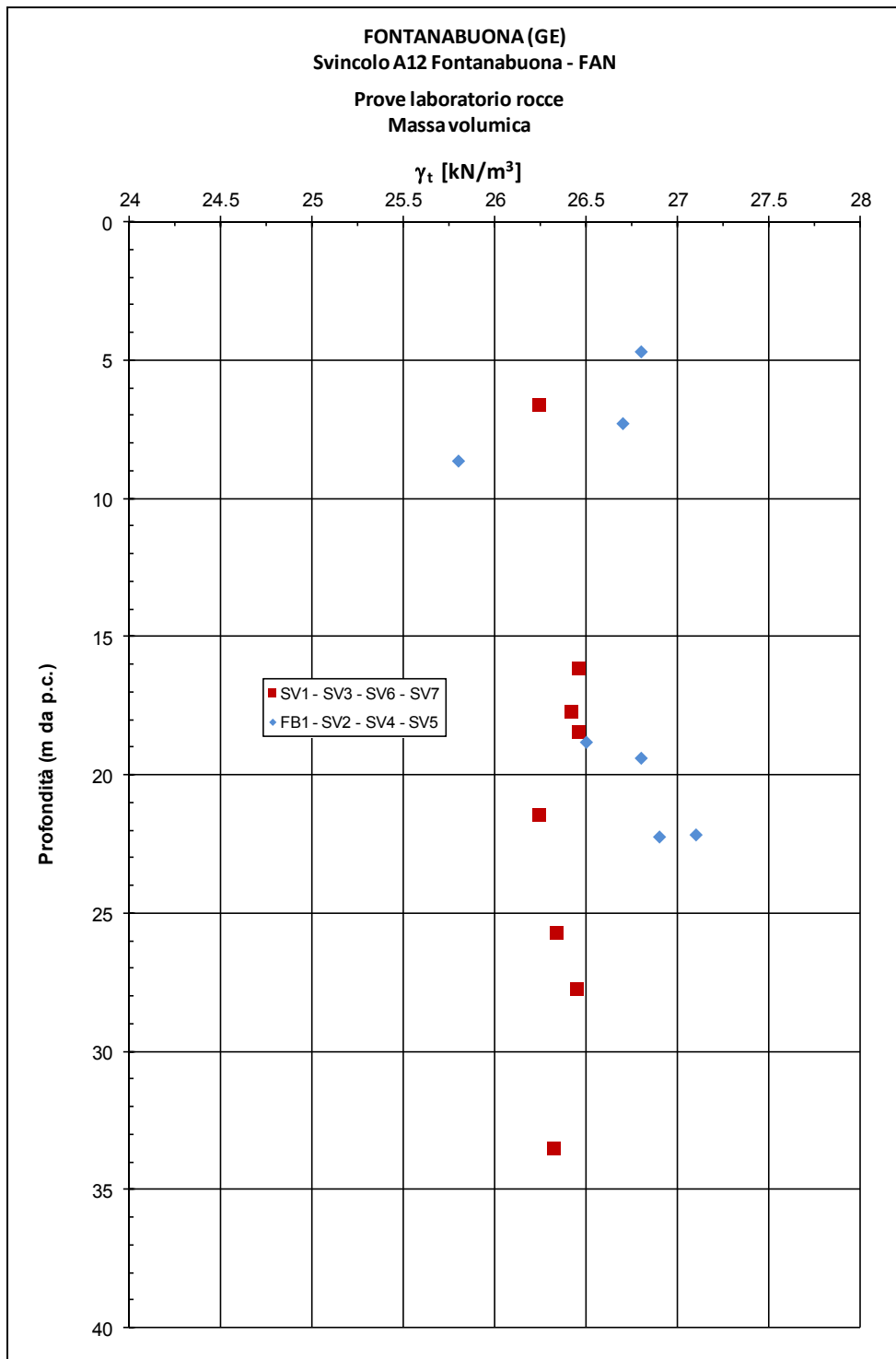


Figura 11.3 - Formazione FAN Svincolo A12 - Peso di volume

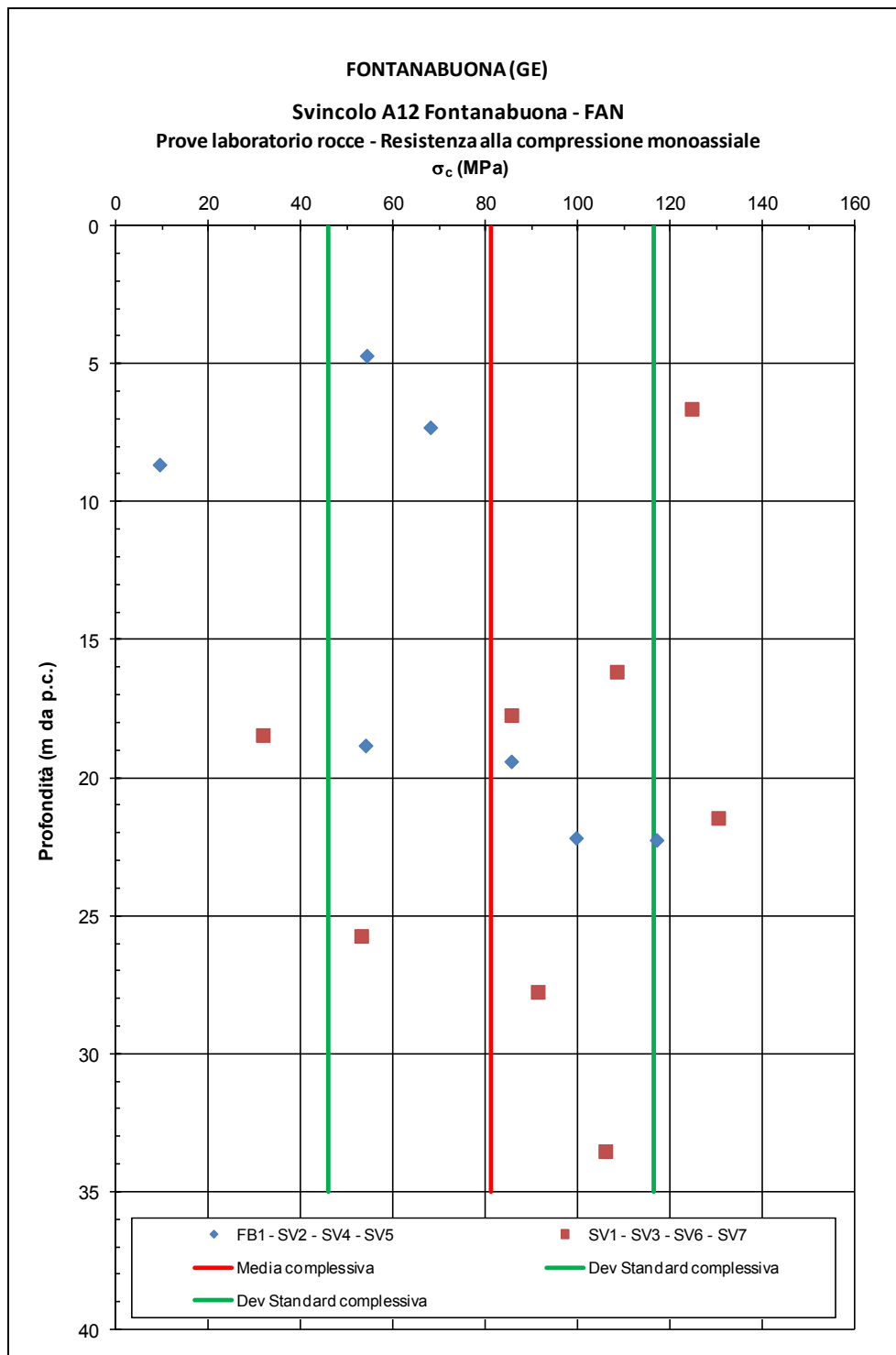


Figura 11.4 - Formazione FAN Svincolo A12 – Resistenza a compressione monoassiale

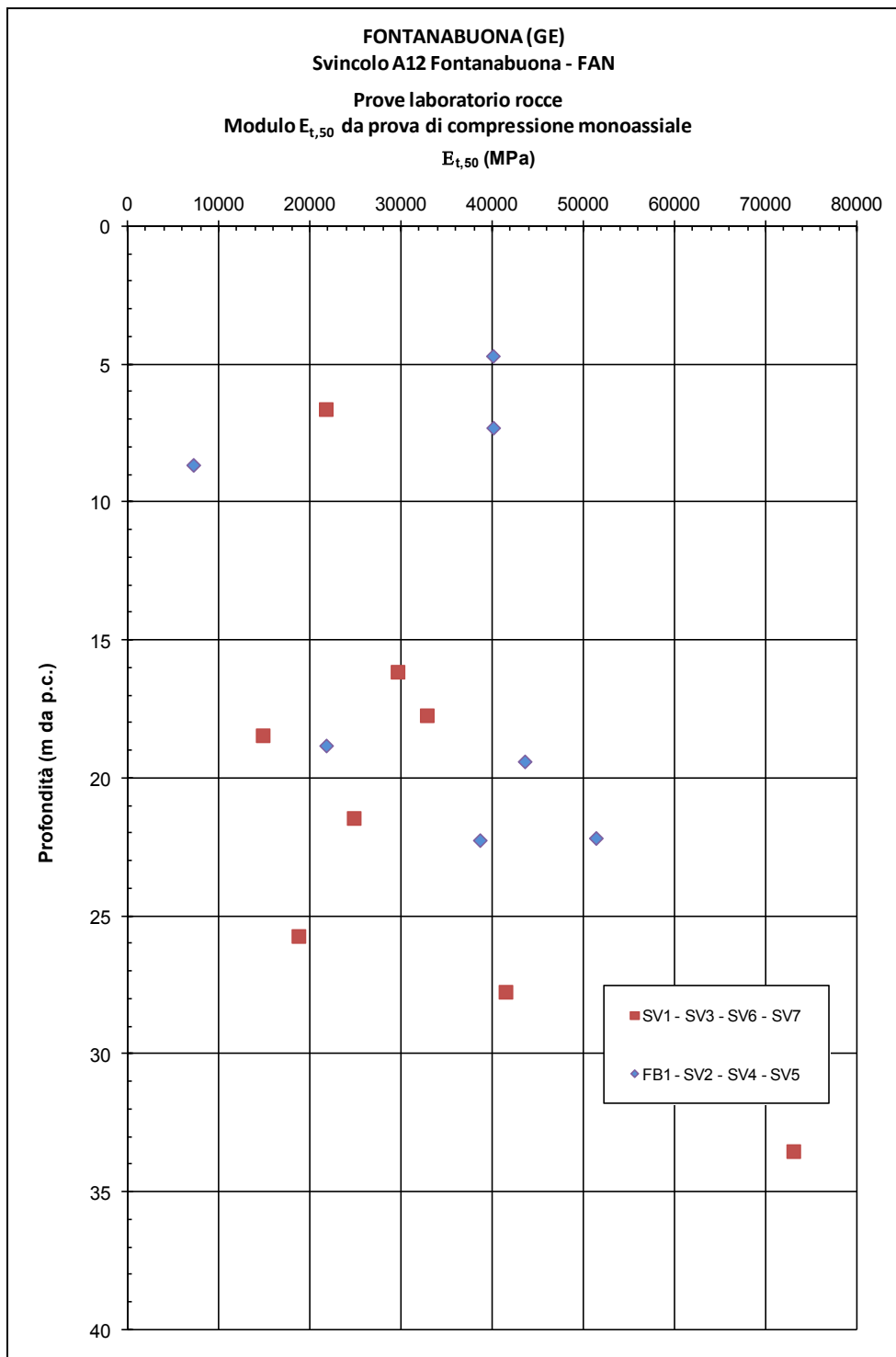


Figura 11.5 - Formazione FAN Svincolo A12 - Modulo $E_{t,50}$ da prova di compressione monoassiale

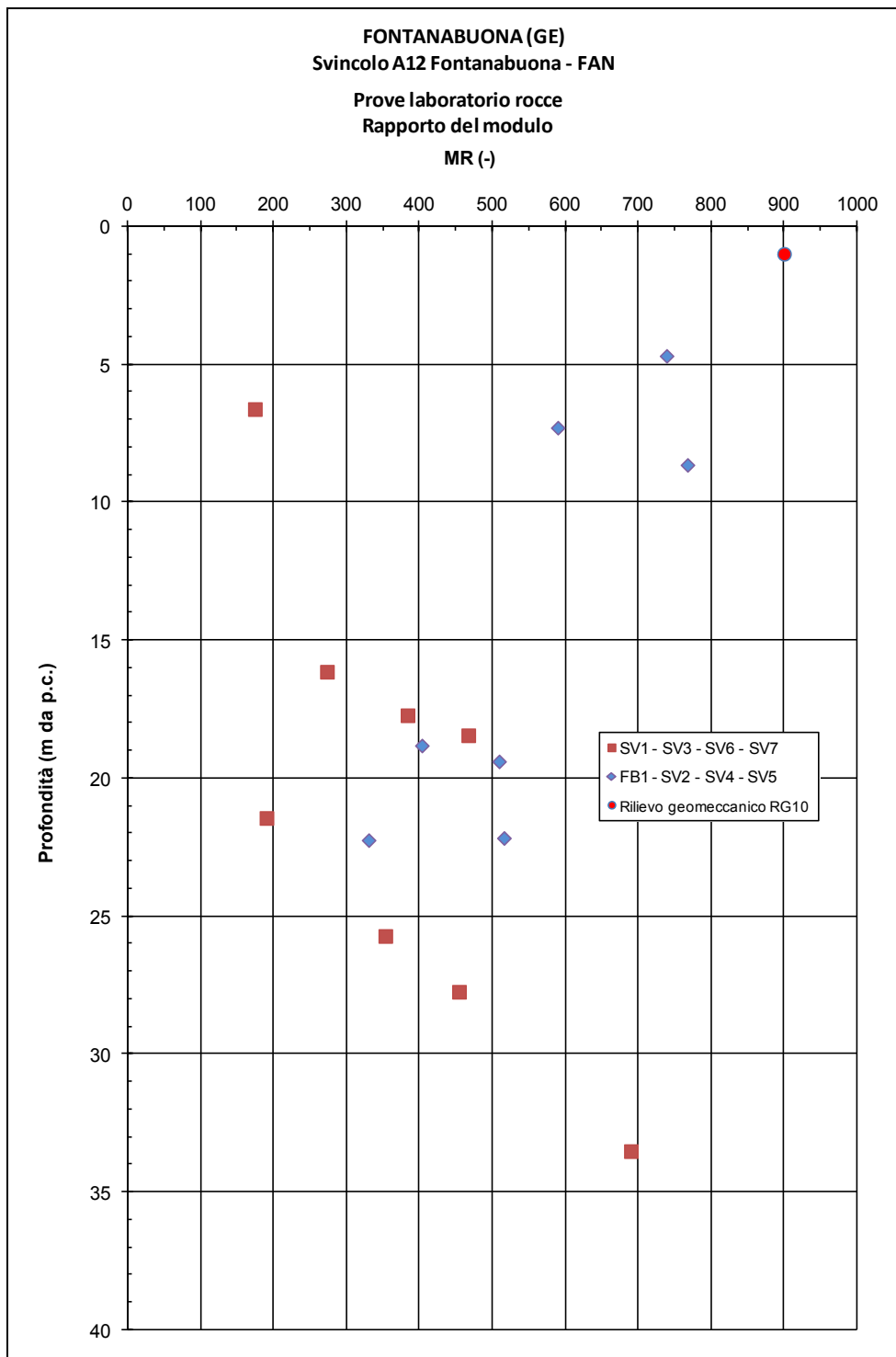


Figura 11.6 - Formazione FAN Svincolo A12 - Rapporto del modulo MR

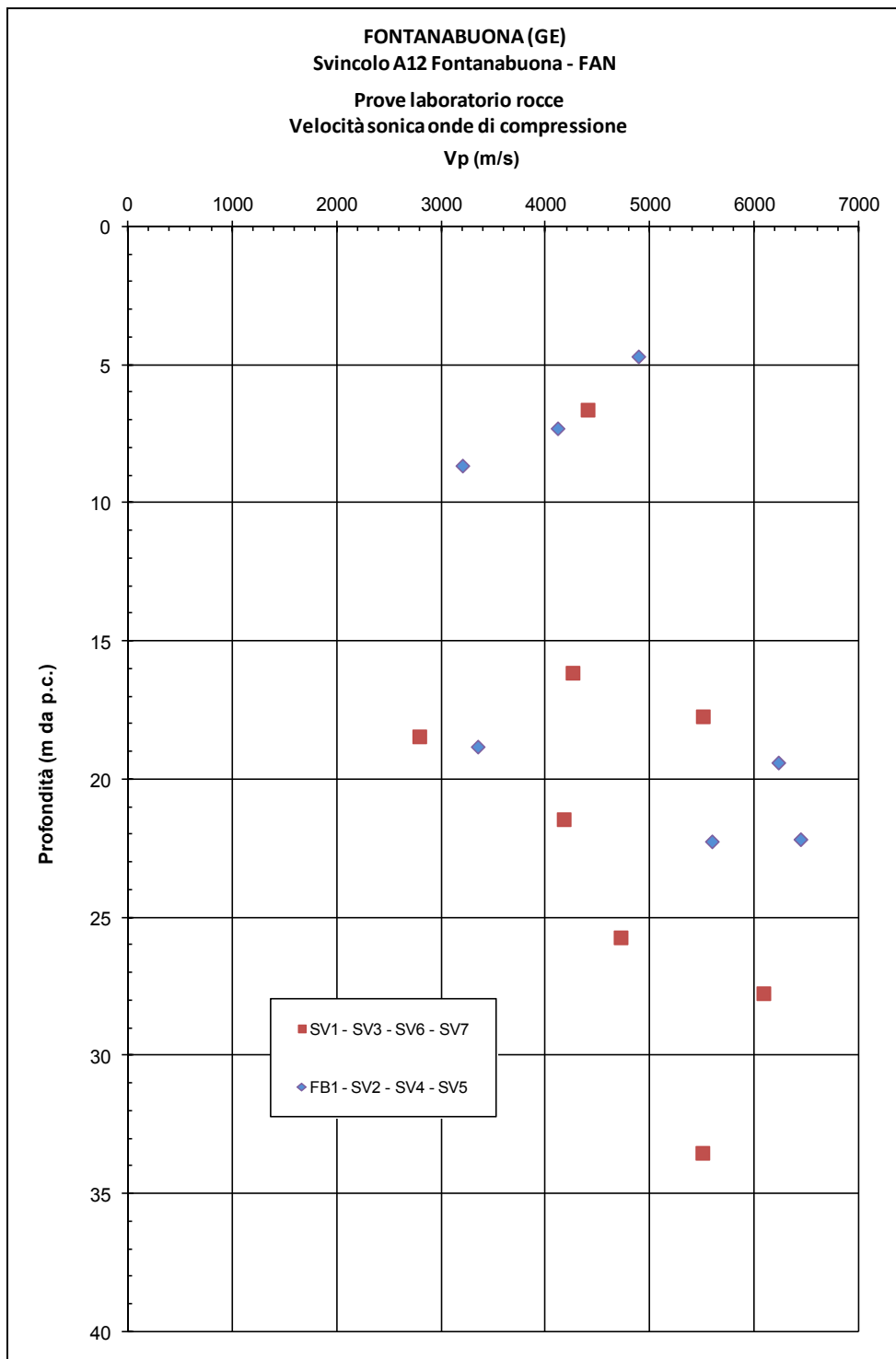


Figura 11.7 - Formazione FAN Svincolo A12 - Velocità sonica onde di compressione

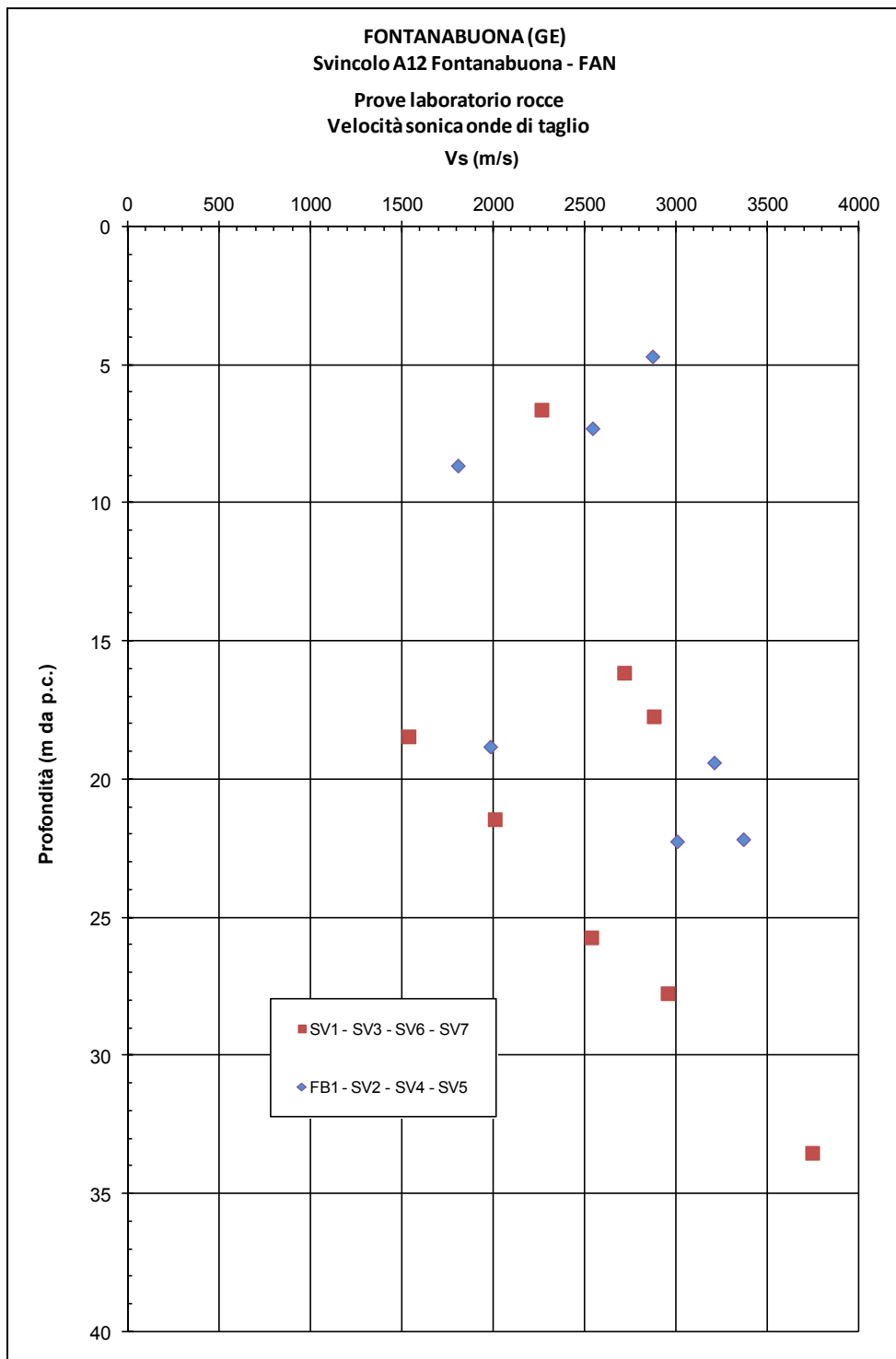


Figura 11.8 - Formazione FAN Svincolo A12 - Velocità sonica onde di taglio

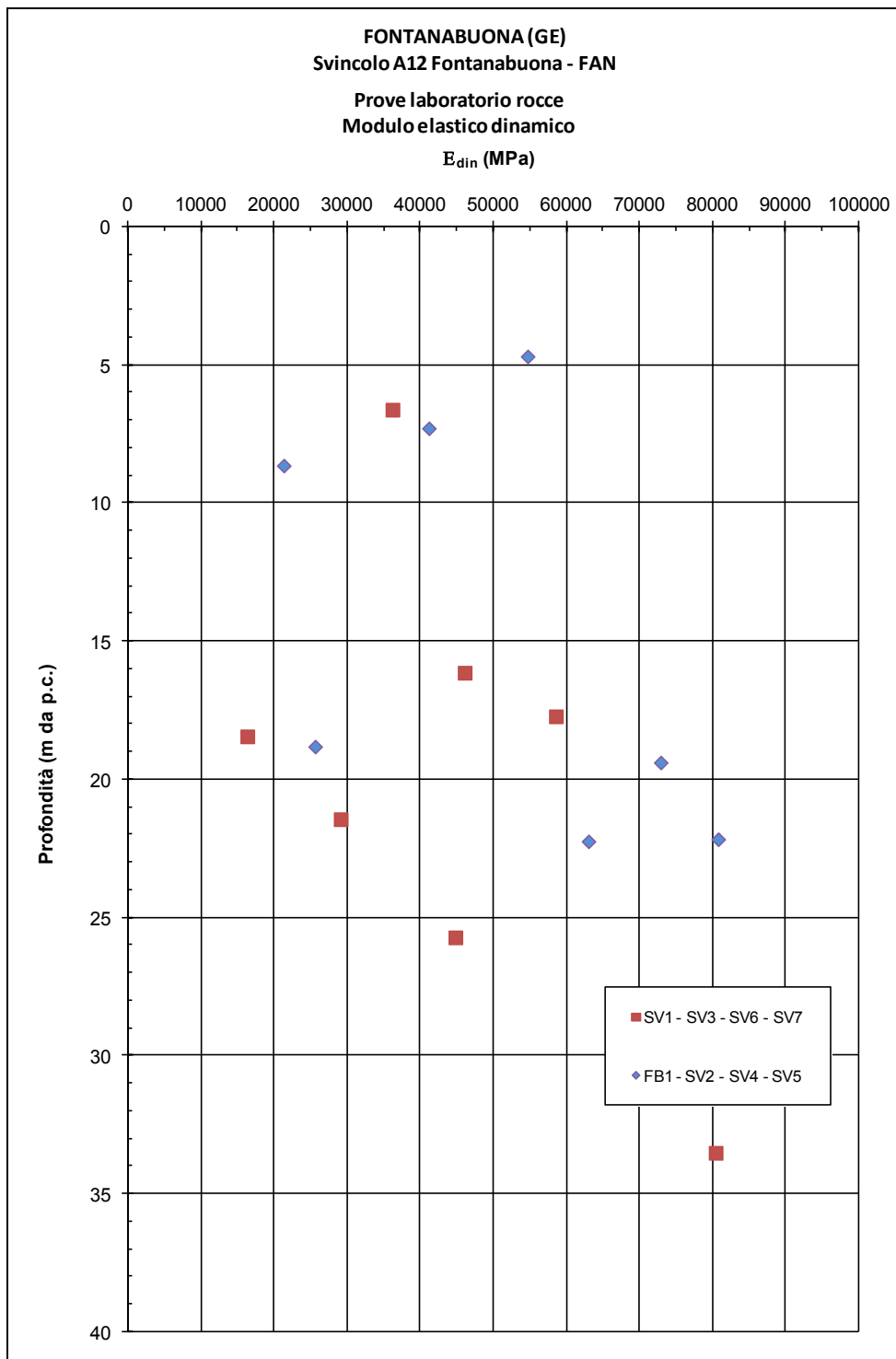


Figura 11.9 - Formazione FAN Svincolo A12 - Modulo elastico dinamico

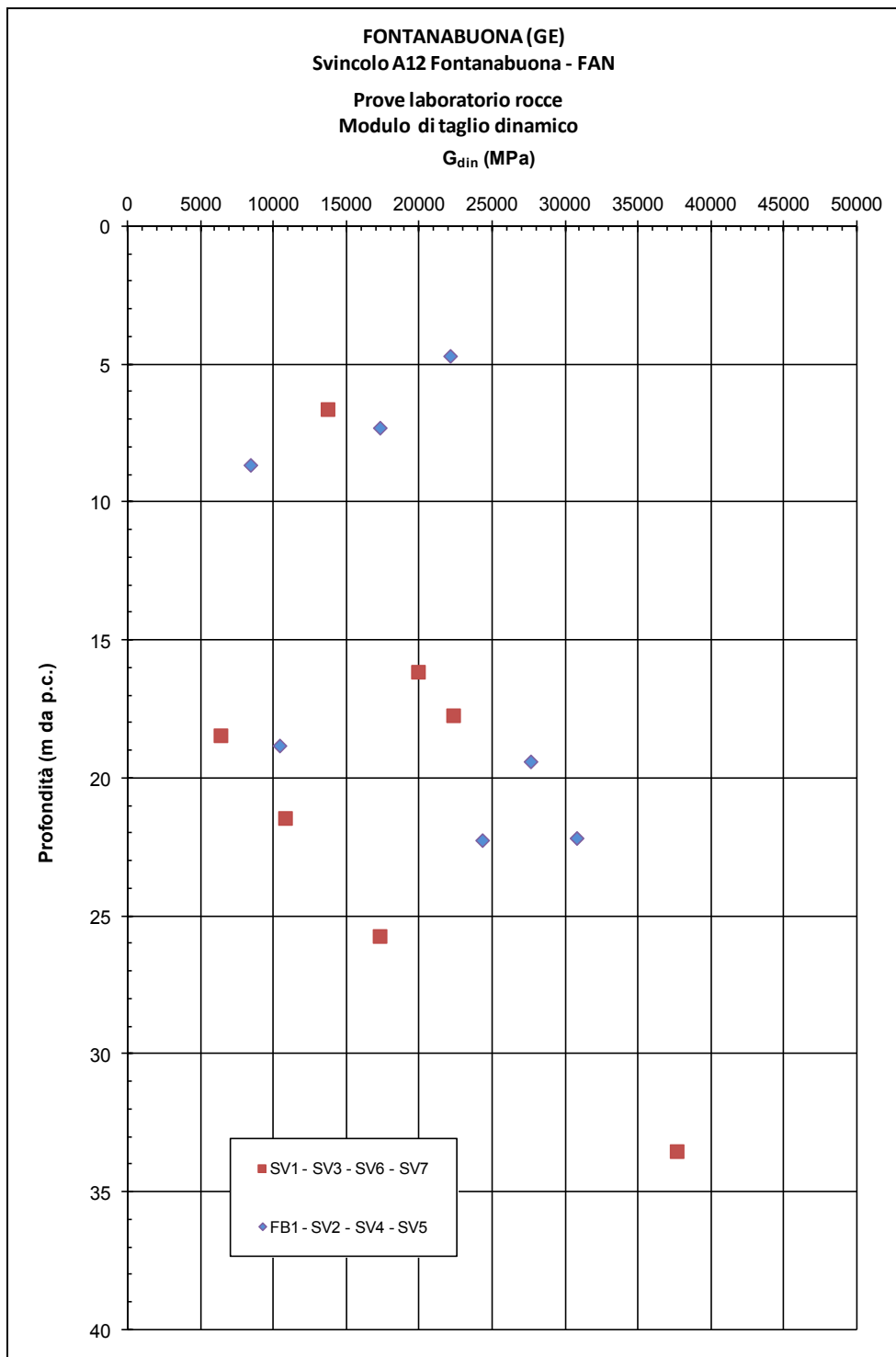


Figura 11.10 - Formazione FAN Svincolo A12 - Modulo di taglio dinamico

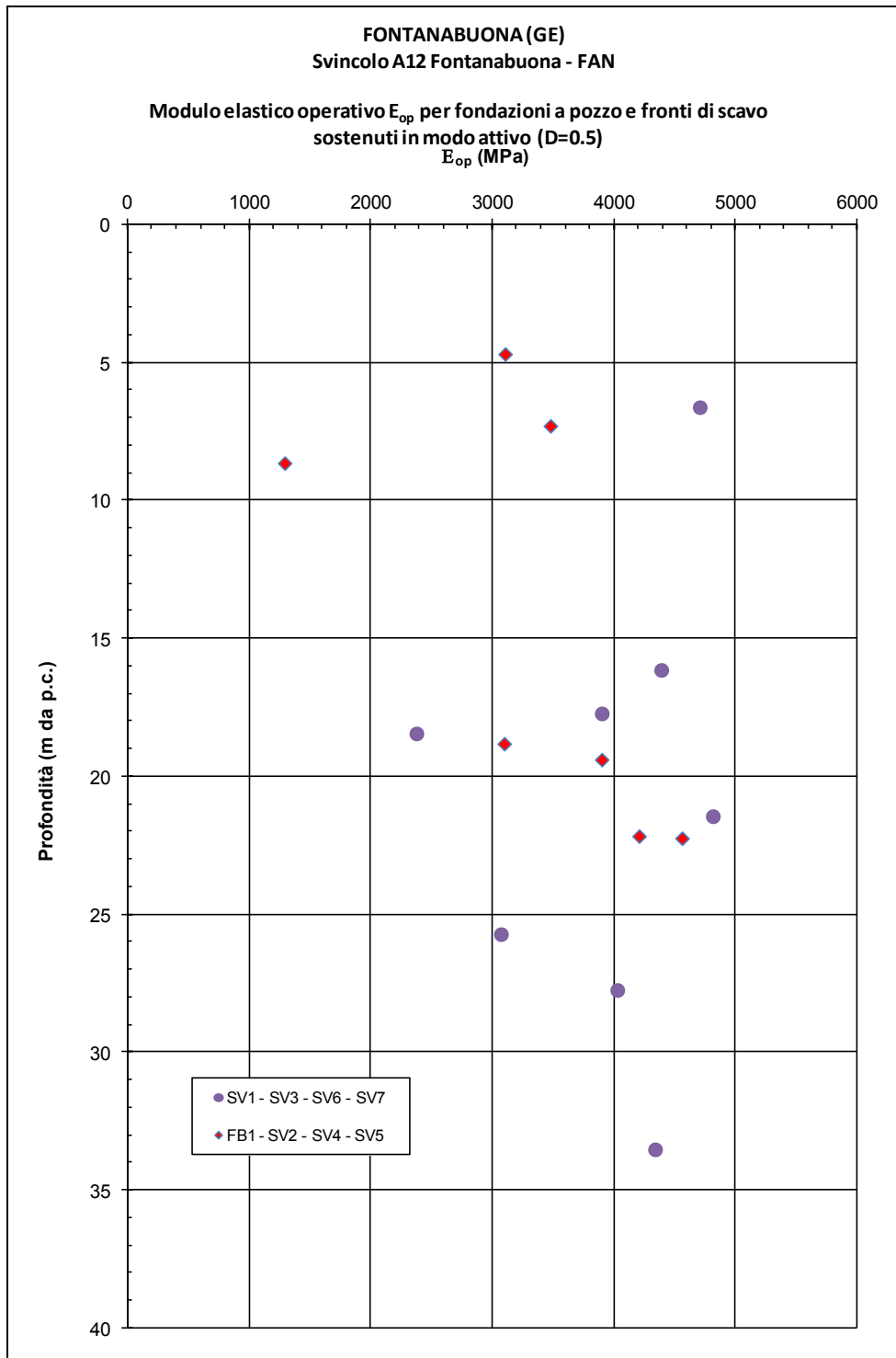


Figura 11.11 - Formazione FAN Svincolo A12 - Modulo elastico operativo per fronti di scavo non sostenuti o sostenuti in modo passivo e per fondazioni dirette ($D=1.0$)

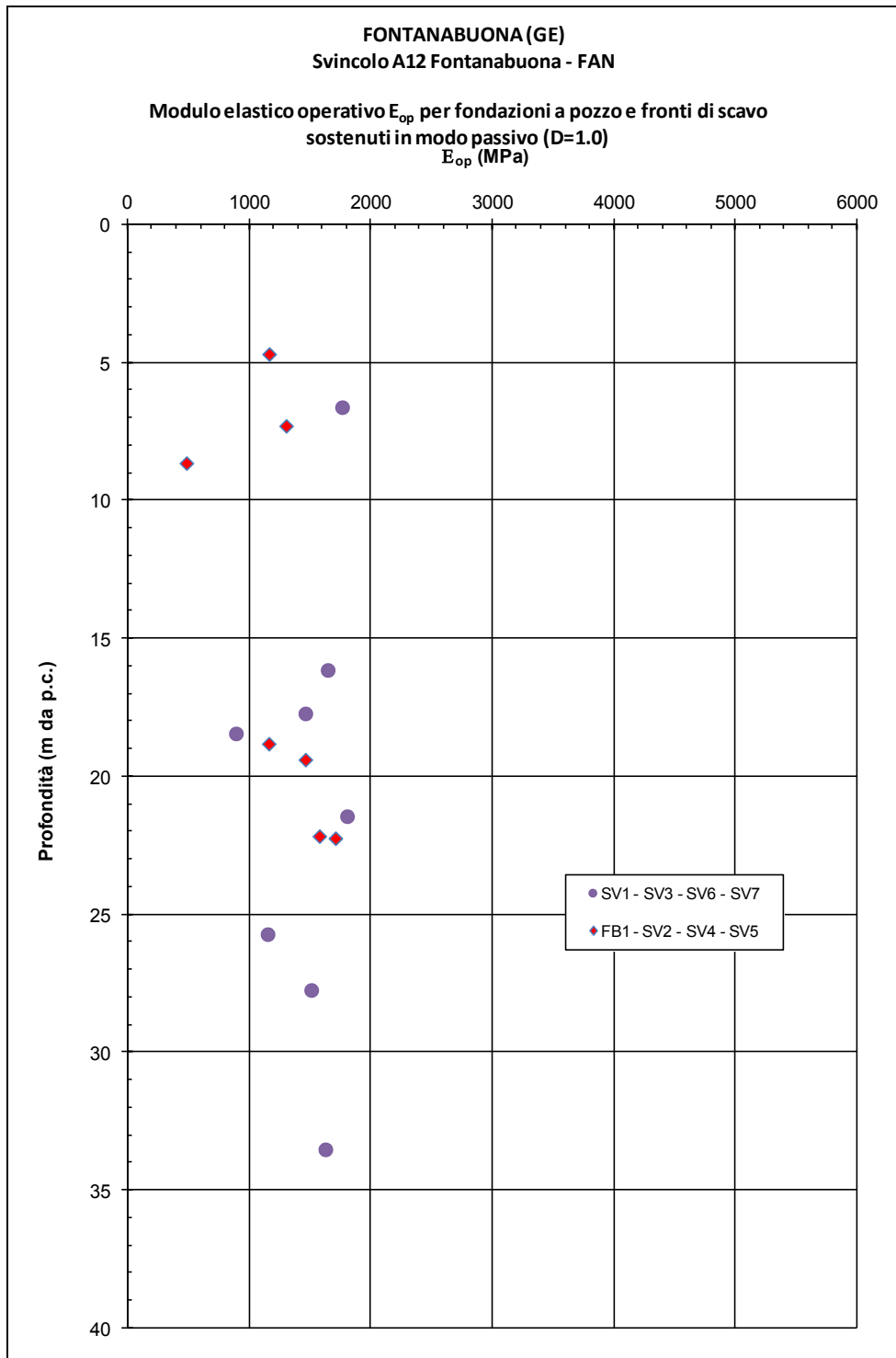


Figura 11.12 - Formazione FAN Svincolo A12 - Modulo elastico operativo per fondazioni a pozzo e per fronti di scavo sostenuti in modo attivo ($D=0.5$)

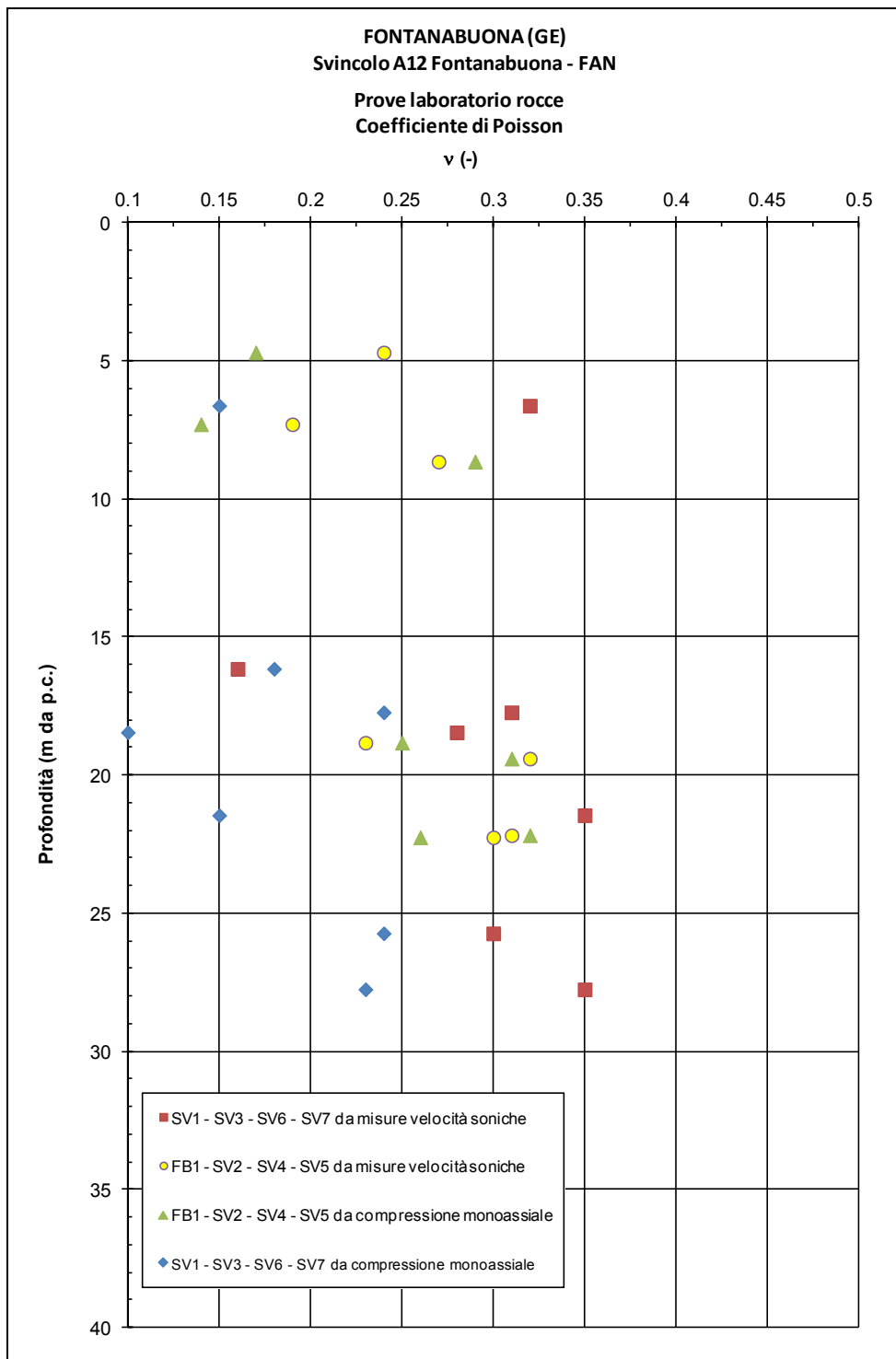


Figura 11.13 - Formazione FAN Svincolo A12 - Coefficiente di Poisson

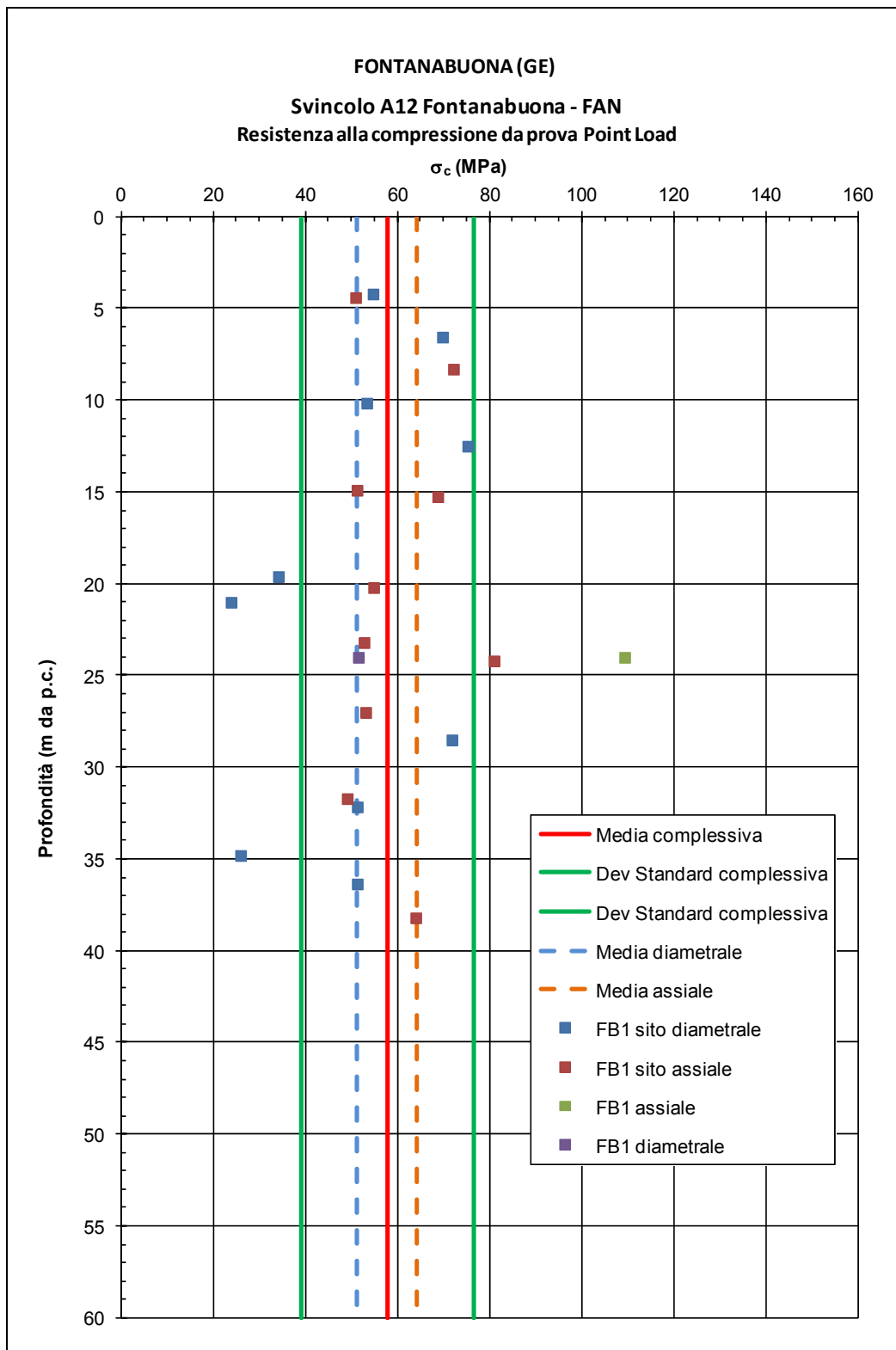


Figura 11.14 - Formazione FAN Svincolo A12 - Resistenza a compressione da prova Point Load

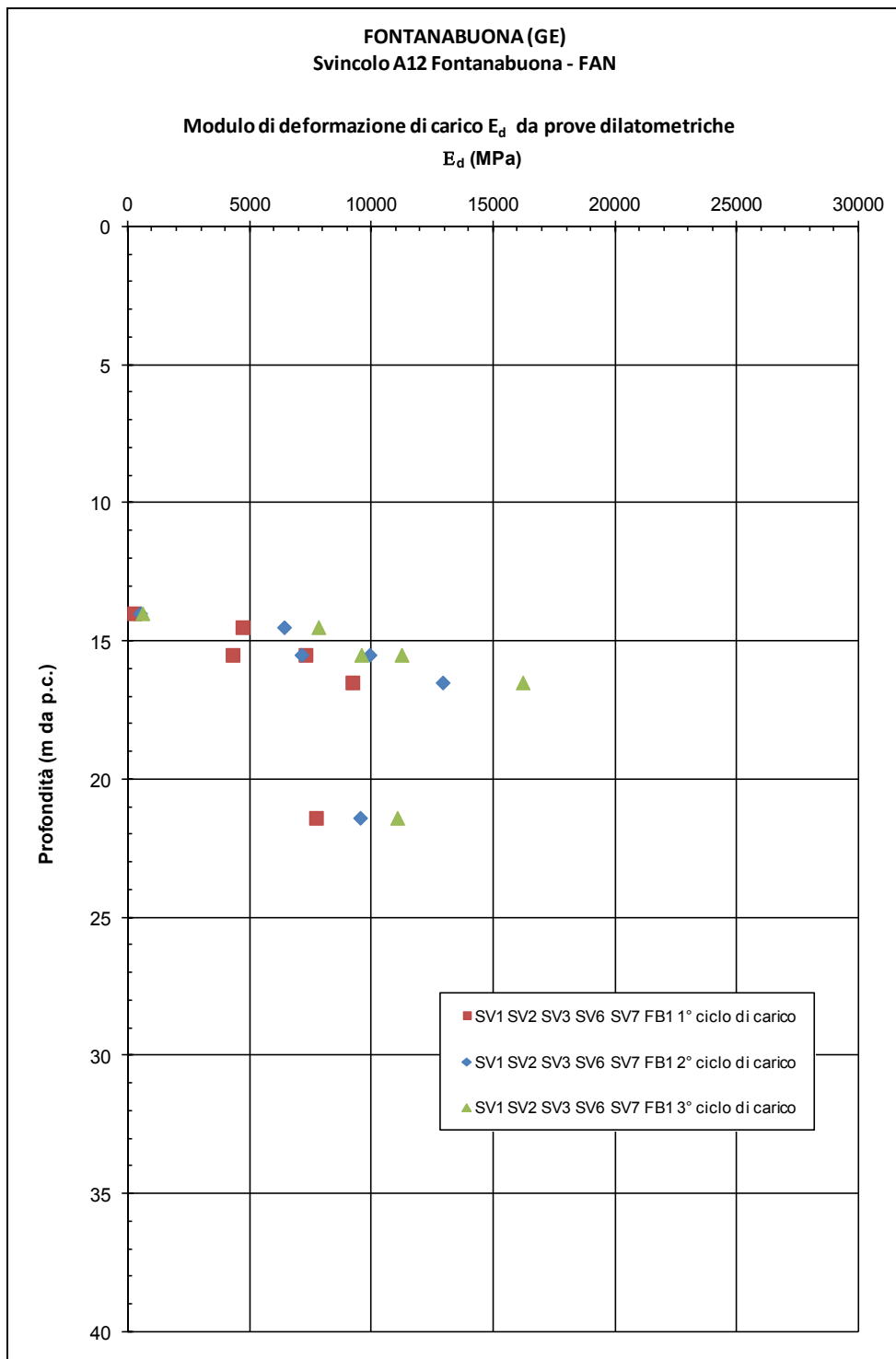


Figura 11.15 - Formazione FAN Svincolo A12 - Modulo di deformazione di carico da prova dilatometrica

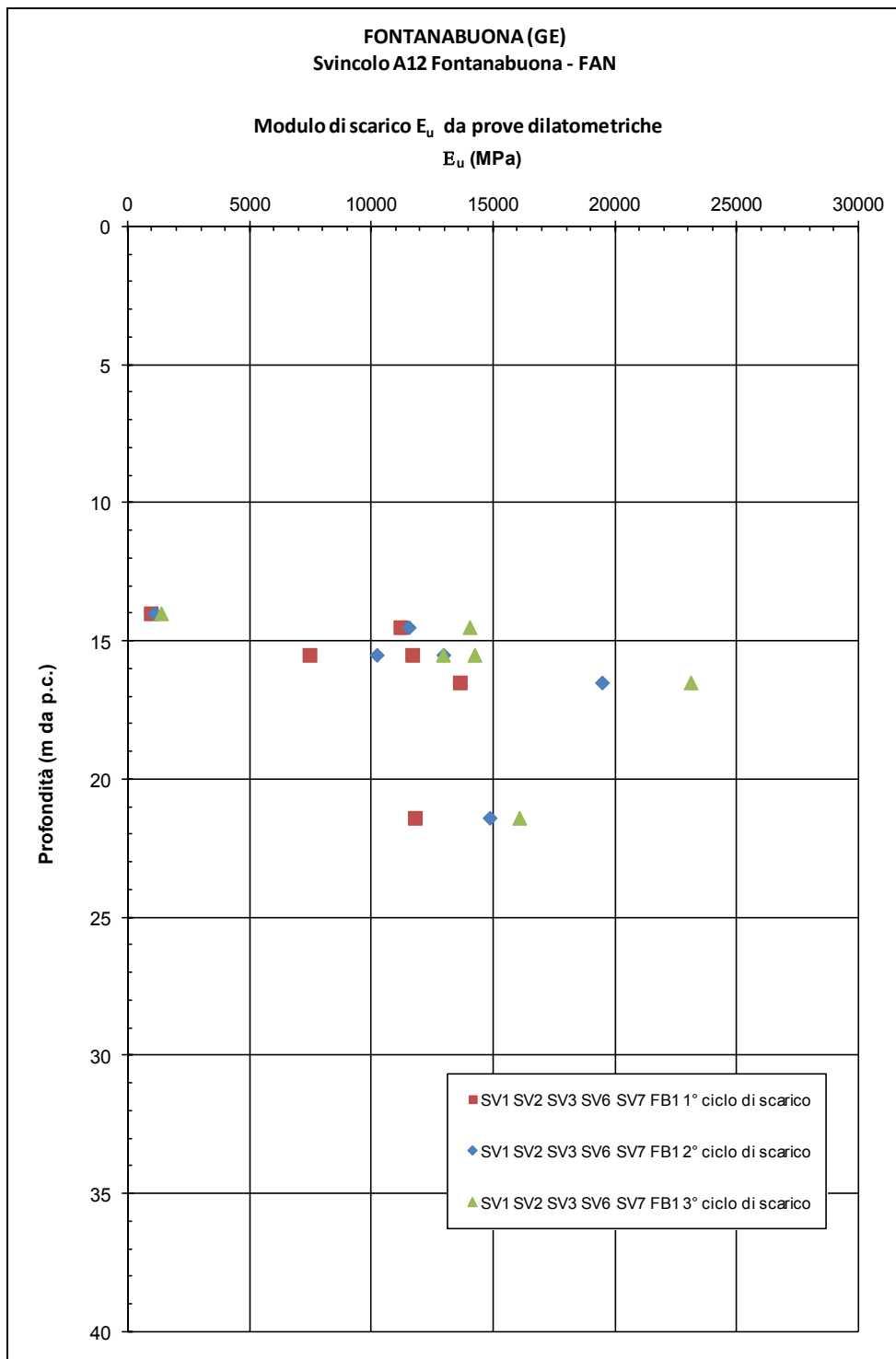


Figura 11.16 - Formazione FAN Svincolo A12 - Modulo di scarico da prova dilatometrica

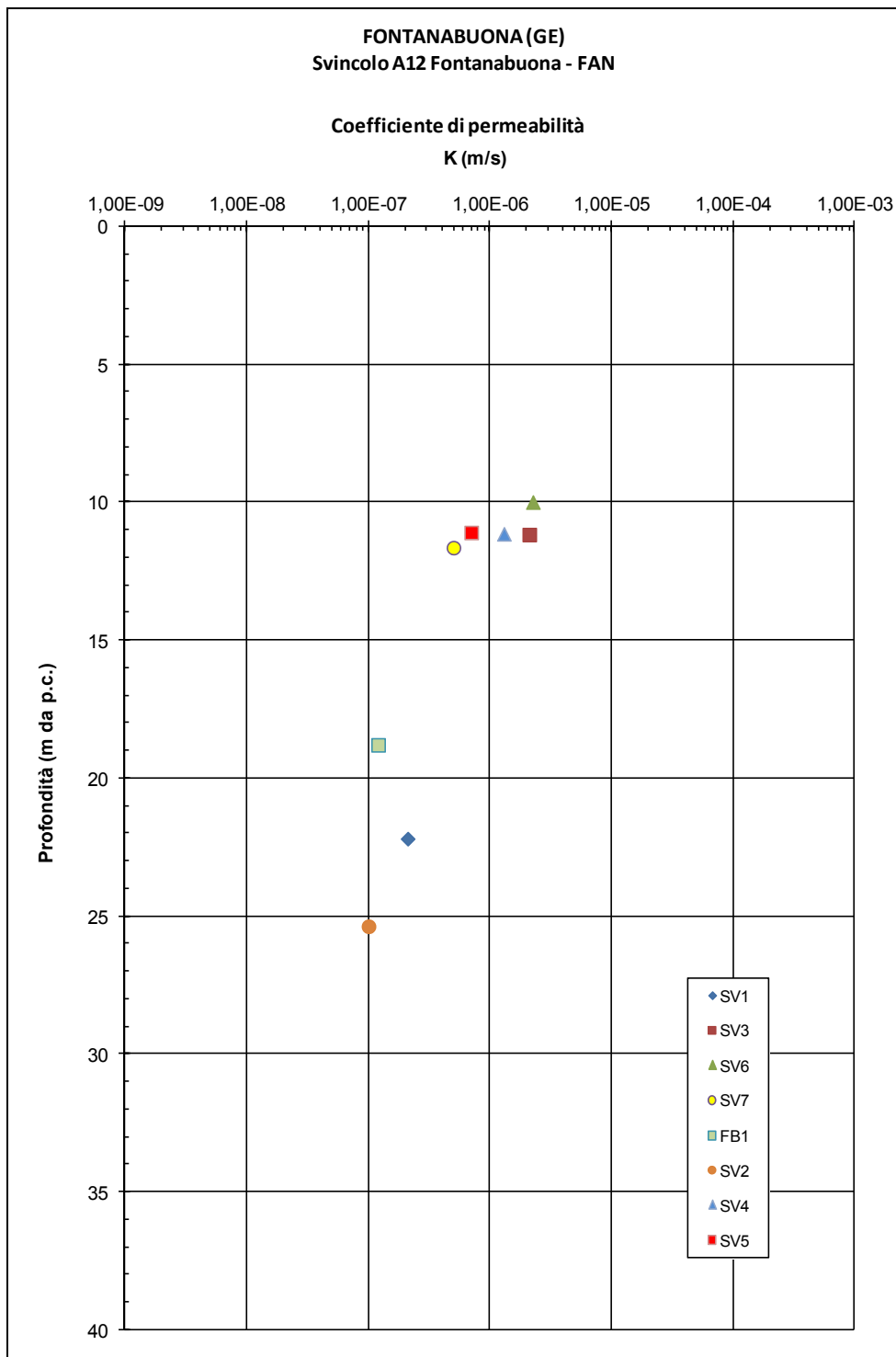


Figura 11.17 - Formazione FAN Svincolo A12 - Coefficiente di permeabilità

11.3 Formazione FAN Finestra di Arboccò

11.3.1 Descrizione e caratteristiche generali

La formazione in oggetto è stata descritta come un materiale in prevalenza calcareo – marnoso, talvolta siltoso, con orizzonti fini prevalentemente marnosi.

11.3.2 Indagini di riferimento

Per la caratterizzazione della formazione FAN in corrispondenza della finestra di Arboccò, valida per l'imbocco lato Nord della galleria Caravaggio e l'imbocco lato Sud della galleria Fontanabuona, si è fatto riferimento alle indagini elencate nelle Tabelle seguenti:

| AMBITO | N° STENDIMENTO GEOFISICO | TIPO (anno) |
|----------------------|--------------------------|-------------------------------|
| FINESTRA DI ARBOCCO' | SS9 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS10-1 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS10-2 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS10-3 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS12 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS13 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | s7 | geofisica a rifrazione (2011) |

Tabella 11.11 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Indagini geofisiche

| Sigla | Tipo | LAB | Quota | Profondità | Prove SPT | Prove Lugéon | Prove Lefranc | Prove Pressiom. | Prove Dilatom. | Strumentazione | Campioni indisturb. | Campioni rimanegg. | Campioni ambientali |
|-------|---------------------------------|-----|------------|------------|-----------|--------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | | | (m s.l.m.) | (m) | (n°) | (n°) | (n°) | (n°) | (n°) | | (n°) | (n°) | (n°) |
| FB3 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 181,357 | 45,00 | | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | - | 9 | 3 |
| FB4 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 150,496 | 40,00 | 1 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | - | 8 | 2 |
| FB5 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 159,011 | 40,00 | | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | - | 8 | 3 |
| FB6 | sondaggio a carotaggio continuo | | 208,155 | 55,00 | 2 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 10 | |

Tabella 11.12 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Sondaggi geognostici

| AMBITO | RILIEVI GEOMECCANICI (2011) | Localizzazione |
|----------------------|-----------------------------|--|
| FINESTRA DI ARBOCCO' | RG8 | Finestra Arboccò S (imbocco Nord galleria Caravaggio) |
| | RG9 | Finestra Arboccò N (imbocco Sud galleria Fontanabuona) |

Tabella 11.13 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Rilievi geomeccanici

11.3.3 Caratteristiche fisiche

Il peso di volume naturale γ_t può essere assunto variabile tra 26 kN/m^3 e 27 kN/m^3 (cfr. la Figura seguente).

11.3.4 Parametri matrice lapidea

I parametri presi a riferimento per la caratterizzazione della matrice lapidea della roccia intatta sono i seguenti:

σ_c (*) = resistenza compressione monoassiale

I_{s50} = Point Load Index normalizzato

σ_c (**) = resistenza compressione monoassiale da prova Point Load ($\sigma_c = 24 \cdot I_{s50}$)

σ_T = resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)

E_{t50} = modulo di Young tangente

MR = rapporto di modulo (E_{t50}/σ_c)

ν = rapporto di Poisson

V_p = velocità delle onde di compressione misurata su provino

V_s = velocità sonica delle onde di taglio misurata su provino

E_{din} = modulo elastico dinamico

G_{din} = modulo di taglio dinamico

m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta

m_b, s, a = parametri criterio di rottura di Hoek-Brown (risultati prove triassiali)

L'andamento di queste grandezze, misurato in funzione della profondità, è riportato nei diagrammi delle Figure seguenti.

I valori rappresentativi della resistenza a compressione sono riportati nella Tabella seguente:

| Resistenza a compressione | MPa | MPa |
|--|------------|---------|
| Compressione semplice laboratorio | | |
| | media | 80 |
| | min | 45 |
| | max | 115 |
| da Point Load | | |
| | diametrico | assiale |
| | media | 69 92 |
| | min | 39 56 |
| | max | 99 128 |
| Rilievo geomeccanico | | 76 |

Tabella 11.14 - Formazione FAN Finestra di Arbocò - Resistenza a compressione

11.3.5 Parametri R.Q.D., RMR'89 e GSI

L'andamento dei valori di R.Q.D. con la profondità rilevato nei sondaggi è riportato nelle Tabelle seguenti:

| AMBITO | | Sondaggio | | | | | |
|----------------------|------------|-----------|--------|---------------|-----------|------------------|----------------|
| FINESTRA DI ARBOCCO' | | FB6 | | campagna 2011 | | | Formazione FAN |
| | | FB3 | | campagna 2013 | | | |
| | | FB4 | | | | | |
| | | FB5 | | | | | |
| Sondaggio | Profondità | | RQD | | RQD medio | RQD media pesata | |
| | da (m) | a (m) | da (%) | a (%) | (%) | | |
| FB6 | 3 | 4 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 4 | 5 | 25 | 25 | 25 | | |
| | 5 | 6 | 75 | 75 | 75 | | |
| | 6 | 7 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 7 | 8 | 90 | 100 | 95 | | |
| | 8 | 9 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 9 | 10 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| | 10 | 11 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| | 11 | 12 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 12 | 13 | 90 | 100 | 95 | | |
| | 13 | 14 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 14 | 15 | 0 | 25 | 12.5 | | |
| | 15 | 16 | 75 | 75 | 62.5 | | |
| | 16 | 18 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| | 18 | 19 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 19 | 20 | 90 | 100 | 95 | | |
| | 20 | 21 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 21 | 22 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| | 22 | 24 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 24 | 25 | 0 | 25 | 12.5 | | |
| | 25 | 27 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| | 27 | 28 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 28 | 30 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| | 30 | 31 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 31 | 32 | 90 | 100 | 95 | | |
| | 32 | 33 | 75 | 75 | 75 | | |
| | 33 | 34 | 90 | 100 | 95 | | |
| | 34 | 35 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 35 | 36 | 90 | 100 | 95 | | |
| | 36 | 40 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| | 40 | 41 | 90 | 100 | 95 | | |
| | 41 | 47 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| 47 | 48 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| 48 | 53 | 75 | 90 | 82.5 | | | |
| 53 | 54 | 90 | 100 | 95 | | | |
| 54 | 55 | 75 | 75 | 75 | 69 | | |
| FB3 | 1 | 9 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 9 | 11 | 90 | 100 | 95 | | |
| | 11 | 12 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 12 | 13 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| | 13 | 14 | 90 | 100 | 95 | | |
| | 14 | 16 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| | 16 | 17 | 90 | 100 | 95 | | |
| | 17 | 19 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 19 | 20 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| | 20 | 21 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 21 | 22 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| | 22 | 23 | 75 | 75 | 75 | | |
| | 23 | 24 | 0 | 25 | 12.5 | | |
| | 24 | 25 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| | 25 | 26 | 50 | 75 | 62.5 | | |
| | 26 | 27 | 0 | 25 | 12.5 | | |
| | 27 | 32 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| | 32 | 33 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| | 33 | 35 | 0 | 25 | 12.5 | | |
| | 35 | 36 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| 36 | 37 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| 37 | 39 | 90 | 100 | 95 | | | |
| 39 | 42 | 75 | 75 | 75 | | | |
| 42 | 44 | 50 | 75 | 62.5 | | | |
| 44 | 45 | 75 | 90 | 82.5 | 60 | | |

Tabella 11.15 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Sondaggi FB1 SV1 SV2 SV3 - Valori di RQD

| AMBITO | | Sondaggio | | | | | | | |
|----------------------|------------|-----------|---------------|-------|-----------|------------------|--|--|----------------|
| FINESTRA DI ARBOCCO' | | FB6 | campagna 2011 | | | | | | |
| | | FB3 | campagna 2013 | | | | | | Formazione FAN |
| | | FB4 | | | | | | | |
| | | FB5 | | | | | | | |
| Sondaggio | Profondità | | RQD | | RQD medio | RQD media pesata | | | |
| | da (m) | a (m) | da (%) | a (%) | (%) | | | | |
| FB4 | 3 | 4 | 25 | 25 | 25 | | | | |
| | 4 | 6 | 50 | 75 | 62.5 | | | | |
| | 6 | 7 | 75 | 90 | 82.5 | | | | |
| | 7 | 8 | 90 | 100 | 95 | | | | |
| | 8 | 12 | 75 | 90 | 82.5 | | | | |
| | 12 | 13 | 90 | 100 | 95 | | | | |
| | 13 | 14 | 75 | 75 | 75 | | | | |
| | 14 | 15 | 0 | 25 | 12.5 | | | | |
| | 15 | 16 | 50 | 75 | 62.5 | | | | |
| | 16 | 17 | 25 | 50 | 37.5 | | | | |
| | 17 | 20 | 75 | 90 | 82.5 | | | | |
| | 20 | 22 | 50 | 75 | 62.5 | | | | |
| | 22 | 23 | 90 | 100 | 95 | | | | |
| | 23 | 28 | 50 | 75 | 62.5 | | | | |
| 28 | 29 | 90 | 100 | 95 | | | | | |
| 29 | 30 | 75 | 90 | 82.5 | | | | | |
| 30 | 31 | 50 | 75 | 62.5 | | | | | |
| 31 | 33 | 75 | 90 | 82.5 | | | | | |
| 33 | 40 | 50 | 75 | 62.5 | | 69 | | | |
| FB5 | 1 | 3 | 25 | 50 | 37.5 | | | | |
| | 3 | 5 | 50 | 75 | 62.5 | | | | |
| | 5 | 7 | 90 | 100 | 95 | | | | |
| | 7 | 13 | 75 | 90 | 82.5 | | | | |
| | 13 | 15 | 50 | 75 | 62.5 | | | | |
| | 15 | 20 | 90 | 100 | 95 | | | | |
| | 20 | 21 | 75 | 90 | 82.5 | | | | |
| | 21 | 22 | 25 | | 12.5 | | | | |
| | 22 | 23 | 75 | | 37.5 | | | | |
| | 23 | 25 | 90 | 100 | 95 | | | | |
| | 25 | 26 | 75 | 90 | 82.5 | | | | |
| | 26 | 27 | 25 | 50 | 37.5 | | | | |
| | 27 | 32 | 50 | 75 | 62.5 | | | | |
| | 32 | 34 | 0 | 25 | 12.5 | | | | |
| | 34 | 35 | 50 | 75 | 62.5 | | | | |
| 35 | 36 | 25 | 50 | 37.5 | | | | | |
| 36 | 37 | 50 | 75 | 62.5 | | | | | |
| 37 | 38 | 90 | 100 | 95 | | | | | |
| 38 | 39 | 75 | | 37.5 | | | | | |
| 39 | 40 | 90 | 100 | 95 | | 68 | | | |

Tabella 11.16 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Sondaggi FB1 SV1 SV2 SV3 - Valori di RQD

I valori medi sono sintetizzati nella Tabella seguente:

| | | |
|--------------------------------|------------|-----------|
| Finestra di Arboccò | | |
| Formazione | FAN | |
| | | RQD medio |
| Sondaggi di riferimento | FB6 | 69 |
| | FB3 | 60 |
| | FB4 | 69 |
| | FB5 | 68 |

Tabella 11.17 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Valori medi di RQD

Il parametro RMR_{89} è stato stimato sulla base di quanto descritto nel par. 9; nel caso specifico si rileva che:

- è stata fatta una determinazione a partire dai parametri rilevati nei sondaggi e nelle prove di laboratorio ($RMR_{89} = 35$);
- si è anche tenuto conto di quanto determinato in corrispondenza del rilievo geomeccanici eseguiti ($RG8 - RMR_{89} = 47$ ed $RG9 - RMR_{89} = 43$), riportato nella Tabella seguente:

L'ammasso roccioso può essere mediamente caratterizzato da parametri RMR_{89} compresi tra 35 e 45.

Il parametro GSI è quindi stato assunto nell'intervallo tra 30 e 40 (valutazione che risulta compatibile anche con la stima in funzione dell'R.Q.D. e dei parametri J_r *joint roughness number* e J_a *joint amplitude number* – Hoek et al., 2013).

11.3.6 Inviluppi di rottura

Gli inviluppi di rottura dell'ammasso roccioso sono stati determinati sulla base di quanto riportato nel par. 9, tenendo conto:

- dei valori rappresentativi di GSI (40 per la roccia compatta e 30 per la roccia fessurata / alterata, valori compatibili anche con quanto suggerito da Hoek e Marinos 2002);
- resistenza a compressione σ_c pari a 70 MPa;
- D coefficiente di disturbo pari a 0.70;
- condizione slopes - mechanical excavation (altezza 30 m);
- parametro - $m_i = 8$

Nelle Figure seguenti sono riportati i diagrammi degli inviluppi di rottura di Hoek e Brown ottenuti con la parametrizzazione descritta, a partire dai quali sono definiti i parametri caratteristici dell'ammasso.

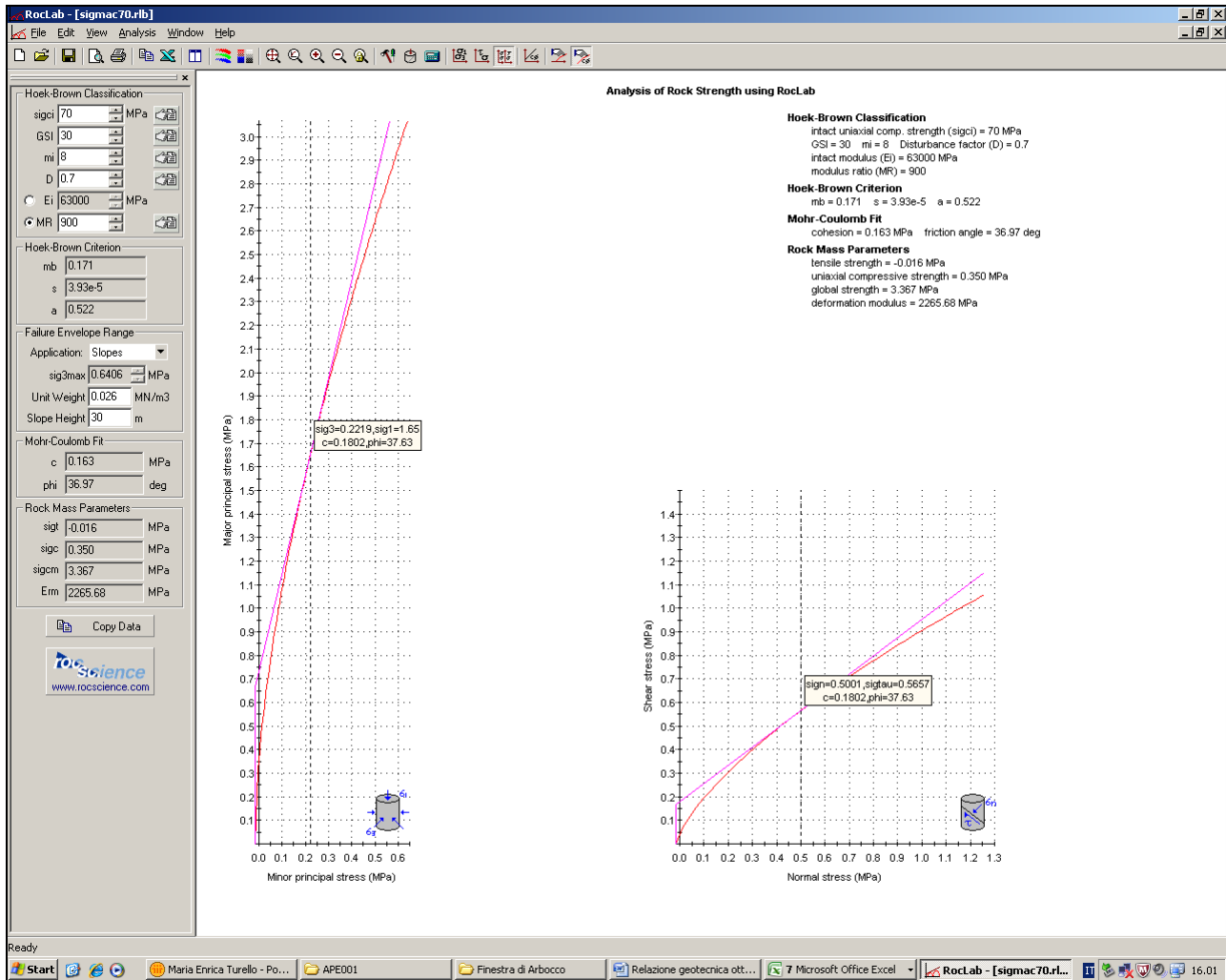


Figura 11.18 - Formazione FAN Finestra di Arbocchè - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso fessurato / alterato

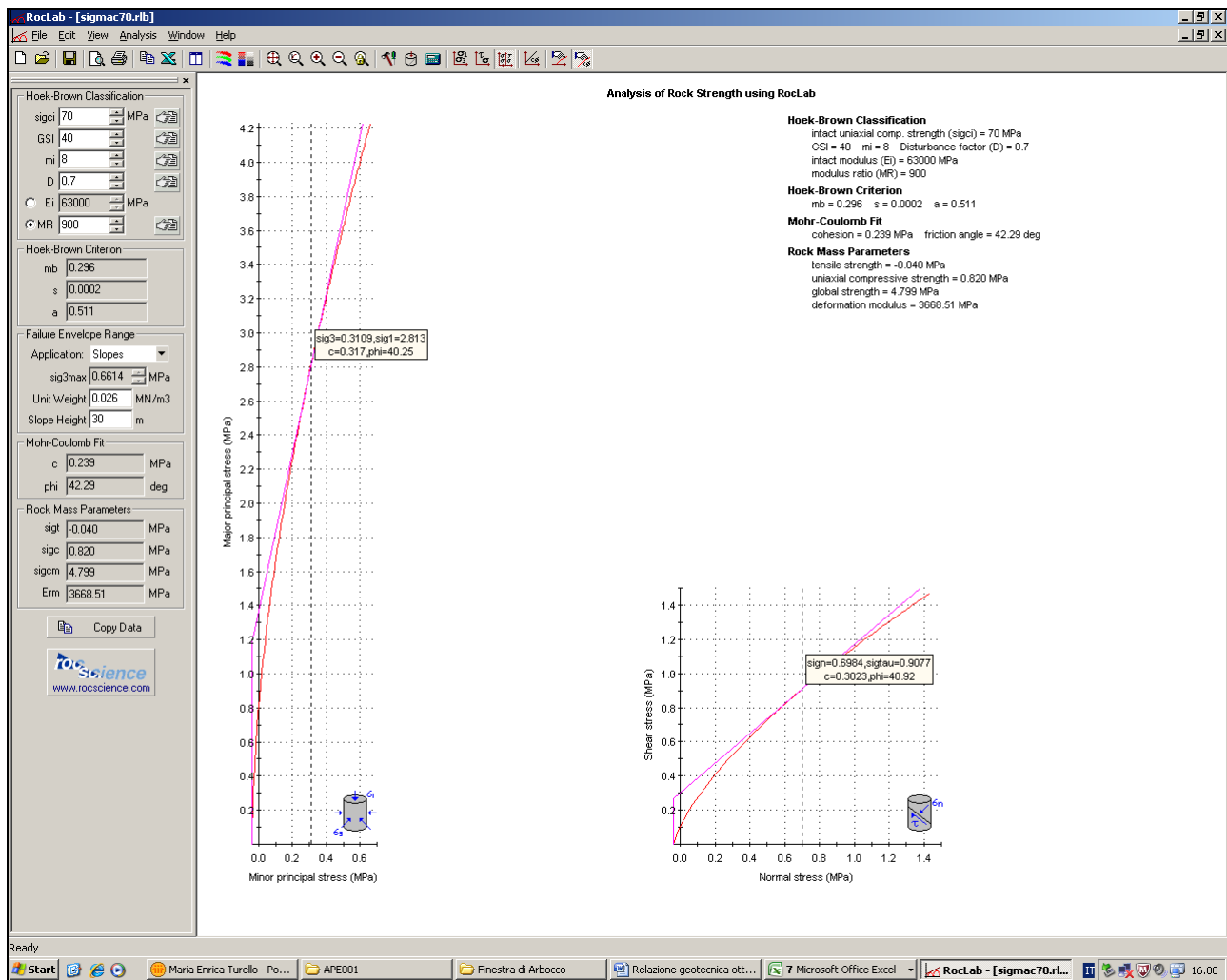


Figura 11.19 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso compatto

11.3.7 Caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso

La deformabilità dell'ammasso roccioso è stata valutata tenendo conto di tutti i dati disponibili, in particolare:

- risultati delle prove dilatometriche;
- risultati delle misure delle velocità soniche misurate in sito (Cross-Hole);
- stima dei moduli elastici operativi in accordo a Serafim & Pereira - 1983, a partire dalla resistenza a compressione σ_c , dal GSI e ponendo:

- $D = 0.50$ per fondazioni a pozzo e fronti di scavo sostenuti in modo attivo
- $D = 1.0$ per fondazioni dirette, rilevati e fronti di scavo non sostenuti oppure sostenuti in modo passivo.

I risultati ottenuti sono rappresentati nelle Figure riportate nel seguito.

11.3.8 Caratteristiche di permeabilità

I coefficienti di permeabilità dell'ammasso roccioso determinati con prove di permeabilità Lugeon sono riportati nella Figura riportata nel seguito. In relazione alla macrostruttura e al grado di fratturazione della formazione, i valori riportati possono essere rappresentativi della permeabilità in condizioni di flusso in direzione orizzontale; quelli in direzione verticale possono essere 1/3 ordini di grandezza inferiori.

11.3.9 Tabella riassuntiva dei parametri caratteristici

Si riporta nel seguito la Tabella di sintesi dei parametri caratteristici.

Si richiama il fatto che è stata fatta una distinzione, in termini di resistenza, fra formazione compatta e formazione fessurata / alterata. Per condizioni di "media fessurazione / alterazione", si potrà fare riferimento a parametri intermedi, tenendo conto anche di valutazioni ingegneristiche in funzione della specificità del problema in esame.

| | Matrice lapidea | | Ammasso roccioso compatto | Ammasso roccioso fessurato/alterato |
|---------------------------------|-----------------------------|---|--|--|
| γ_t (kN/m ³) | 26 ÷ 27 | γ_t (kN/m ³) | 26 ÷ 27 | |
| σ_c (MPa) (*) | 45 ÷ 115 | RMR ₈₉ (-) | 35 ÷ 45 | |
| I _{s50} (MPa) | 2.5 ÷ 3.8 | GSI (-) | 40 | 30 |
| σ_c (MPa) (**) | diametrale 60 assiale 90 | JRC (-) | 4 ÷ 8 | |
| σ_T (MPa) | | JCS (MPa) | 20 ÷ 80 | |
| E _{t50} (GPa) | 30 ÷ 40 | k (m/s) | $1 \cdot 10^{-7} \div 5 \cdot 10^{-6}$ | |
| MR (-) | 200 ÷ 900 | E _d (GPa) | 8 ÷ 20 | |
| V _p (m/s) | 3800 - 5500 | E _u (GPa) | 10 ÷ 30 | |
| V _s (m/s) | 2200 - 3600 | E _{op} D=0.5 (GPa) | 1.2 ÷ 4 | |
| E _{din} (GPa) | 30 ÷ 80 | E _{op} D=1.0 (GPa) | | 0.8 ÷ 3.0 |
| G _{din} (GPa) | 15 ÷ 35 | c (kPa) | 240 ÷ 300 ($\sigma=0.5$ MPa) | 100 ($\sigma=0.2$ MPa) 150 ÷ 170 ($\sigma=0.5$ MPa) |
| ν (-) | 0.25 | ϕ (°) | 40 ($\sigma=0.5$ MPa) | 45 ($\sigma=0.2$ MPa) 35 ($\sigma=0.5$ MPa) |
| m _i (-) | 8 | m _b (-) | ≈ 0.296 | ≈ 0.171 |
| m _b | | s (-) | ≈ 0.0002 | ≈ $3.93 \cdot 10^{-5}$ |
| s | | a (-) | 0.511 | 0.522 |
| a (-) | | $\phi_{p,joint}$ (°), c _{p,joint} (kPa) | | |
| | | $\phi_{r,joint}$ (°), c _{r,joint} (kPa) | | |

Tabella 11.19 - Formazione FAN Finestra di Arbocò - Parametri caratteristici

I parametri di resistenza indicati sono validi per pressioni di confinamento nell'intorno di 0.5 MPa (0.25÷0.75 MPa). Per pressioni sensibilmente inferiori i corrispondenti valori dei parametri di

resistenza potranno essere individuati utilizzando le Figure in cui sono riportati gli involuipi di rottura.

Simbologia:

- γ_t = peso di volume naturale;
- s_c (*) = resistenza compressione monoassiale
- s_c (***) = resistenza compressione monoassiale da prova Point Load ($s_c = 24 \cdot I_{s50}$)
- s_T = resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)
- E_{t50} = modulo di Young tangente
- MR = rapporto di modulo (E_{t50}/s_c)
- ν = rapporto di Poisson
- V_P = velocità di propagazione delle onde di compressione
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio
- E_{din} = modulo elastico dinamico
- G_{din} = modulo di taglio dinamico
- m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta
- m_b = parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
- s = parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
- a = parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
- $C_{p,joint}$ = coesione di picco (da prova di taglio su giunto)
- $\phi_{p,joint}$ = angolo di attrito di picco (da prova di taglio su giunto)
- $C_{r,joint}$ = intercetta di coesione residua (da prova di taglio su giunto)
- $\phi_{r,joint}$ = angolo di attrito residuo (da prova di taglio su giunto)
- RMR₈₉ = Rock Mass Rating
- GSI = Geological Strength Index
- JRC = rugosità del giunto
- JCS = resistenza a compressione del giunto
- k = coefficiente di permeabilità da prova Lugeon
- E_d = modulo di deformabilità di carico dell'ammasso (da prova dilatometrica)
- E_u = modulo di scarico (da prova dilatometrica)
- E_{UR} = modulo elastico (da prova dilatometrica)
- c = intercetta di coesione (criterio di rottura di Hoek & Brown)
- ϕ = angolo di attrito (criterio di rottura di Hoek & Brown)

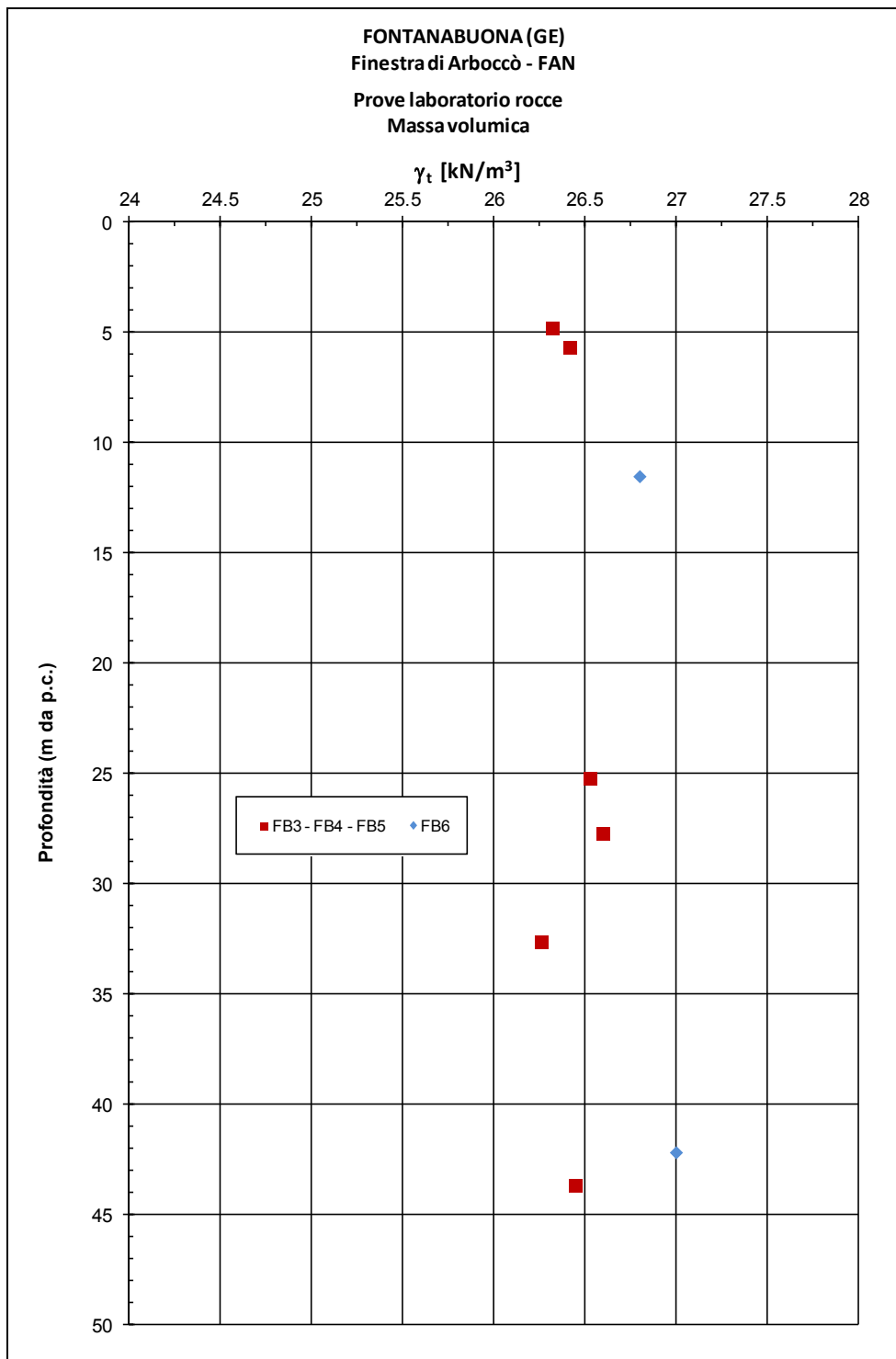


Figura 11.20 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Peso di volume

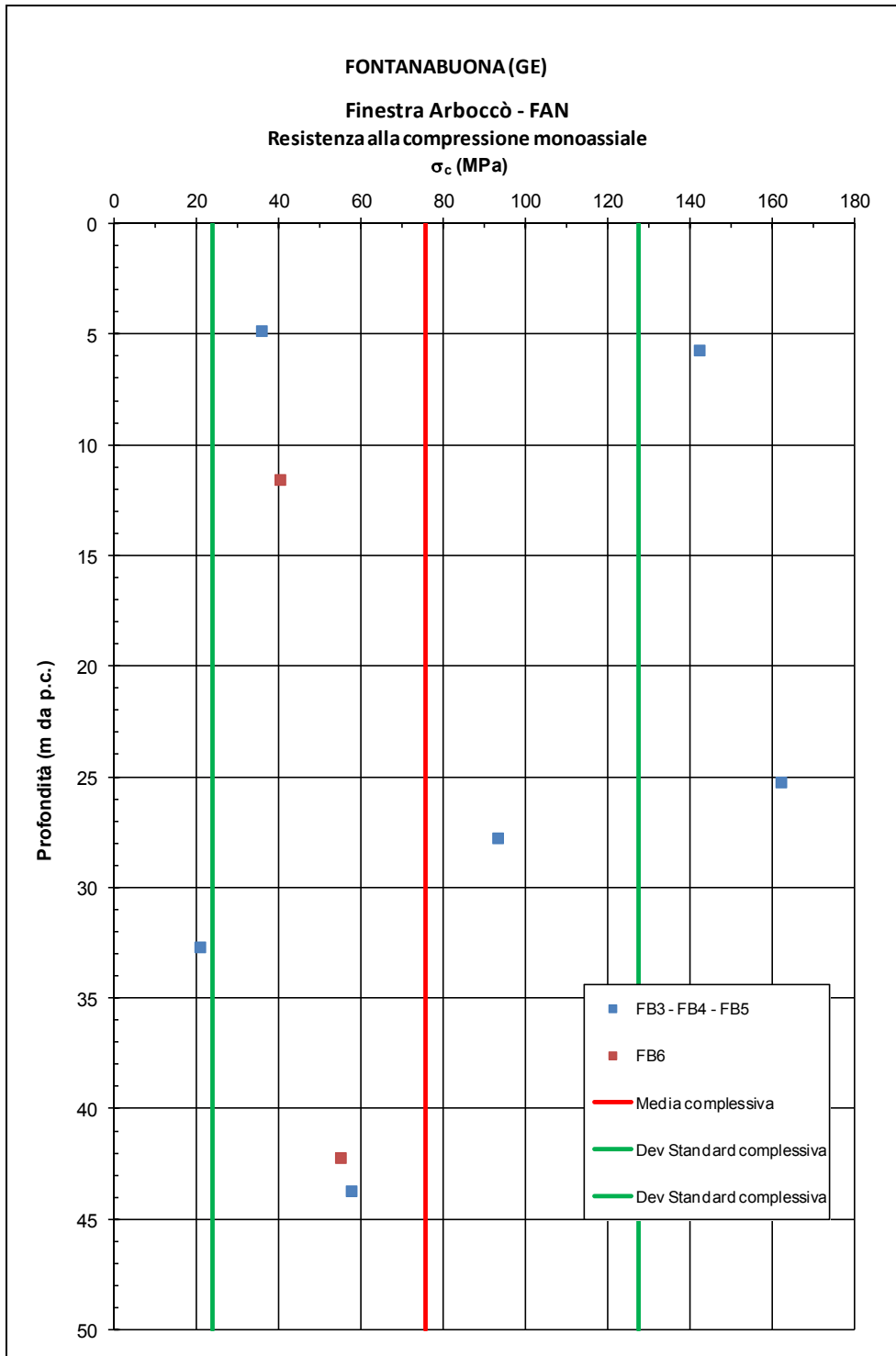


Figura 11.21 - Formazione FAN Finestra di Arboccò – Resistenza a compressione monoassiale

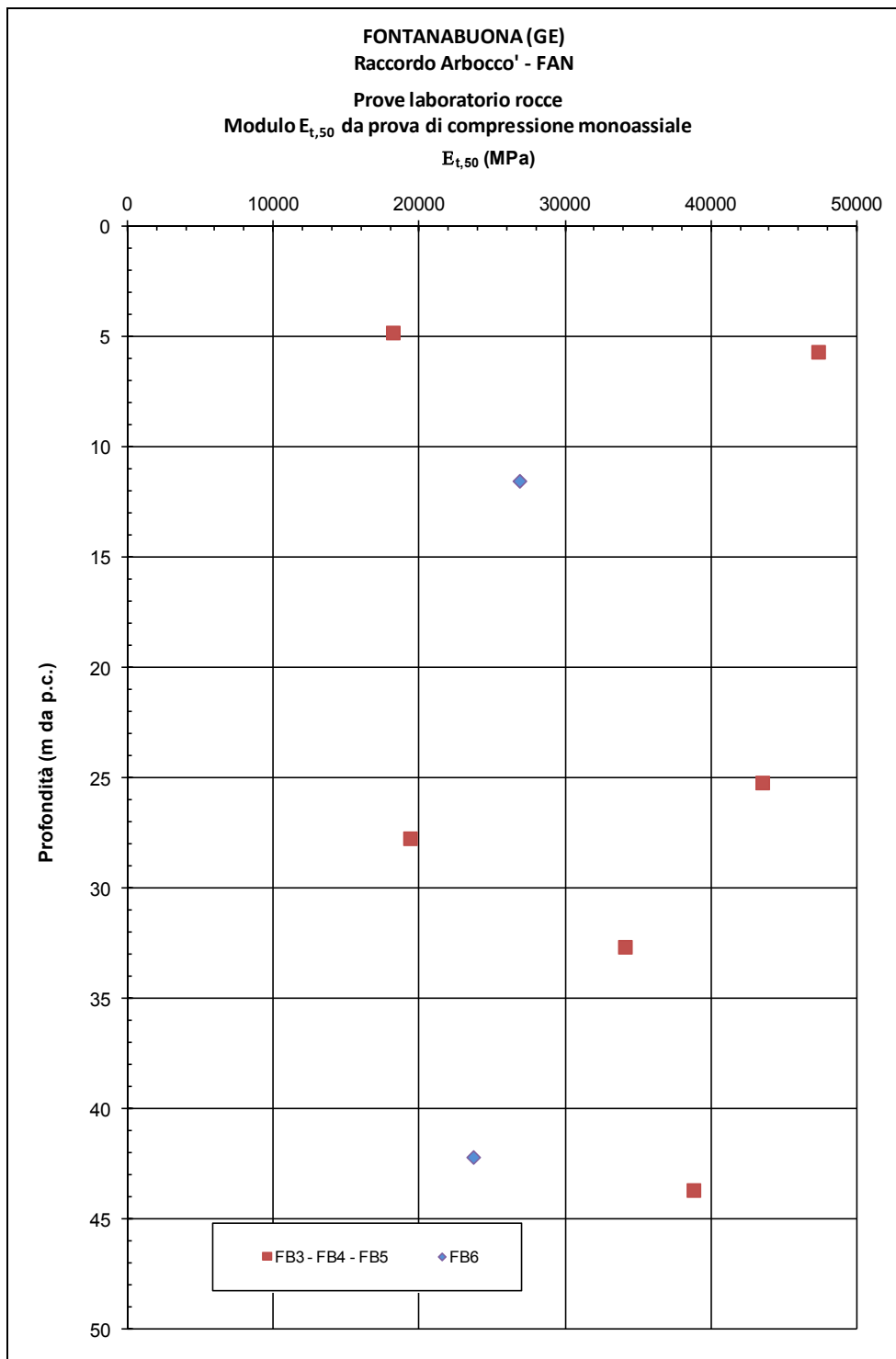


Figura 11.22 - Formazione FAN Finestra di Arbocco' - Modulo $E_{t,50}$ da prova di compressione monoassiale

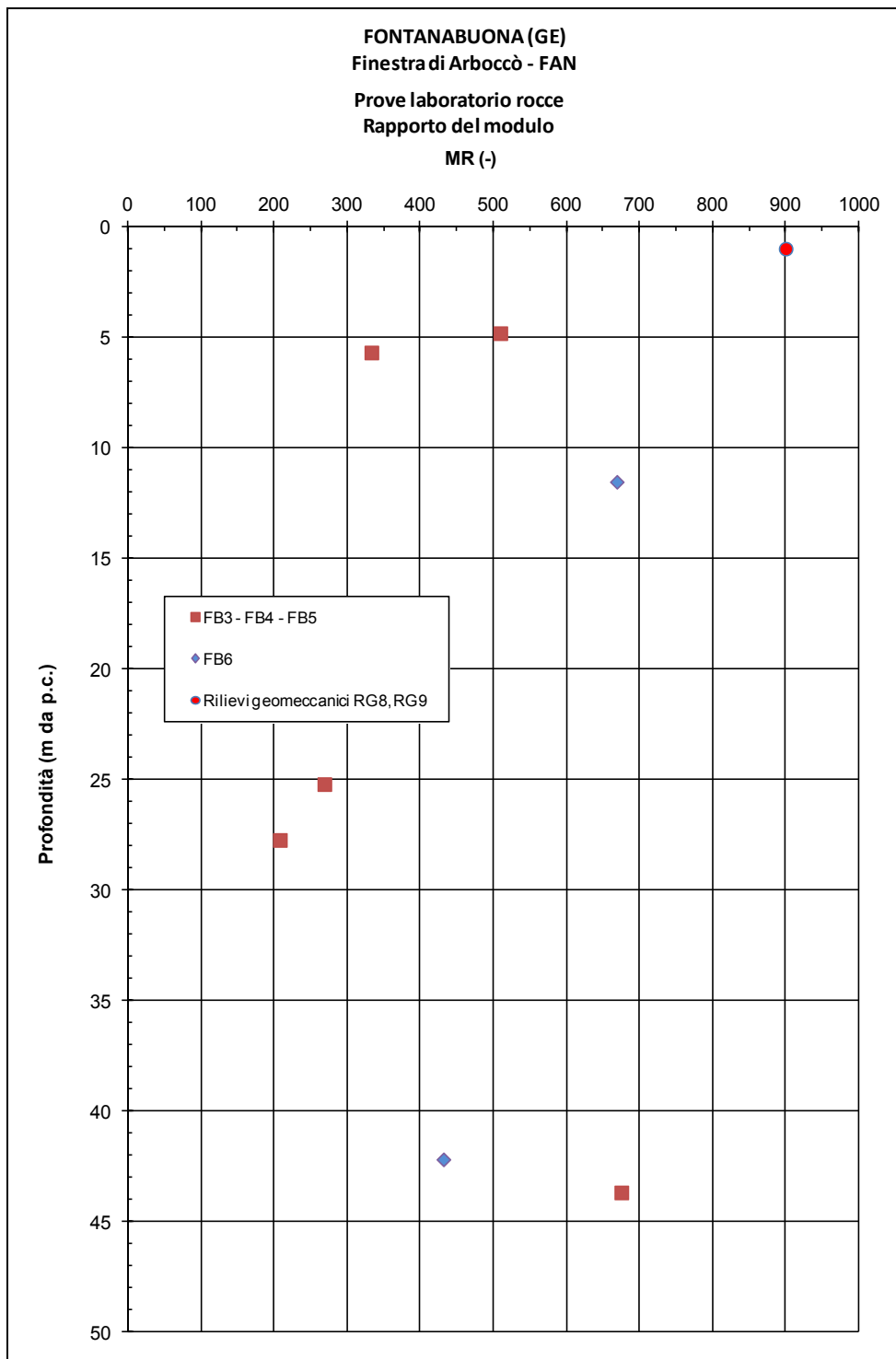


Figura 11.23 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Rapporto del modulo MR

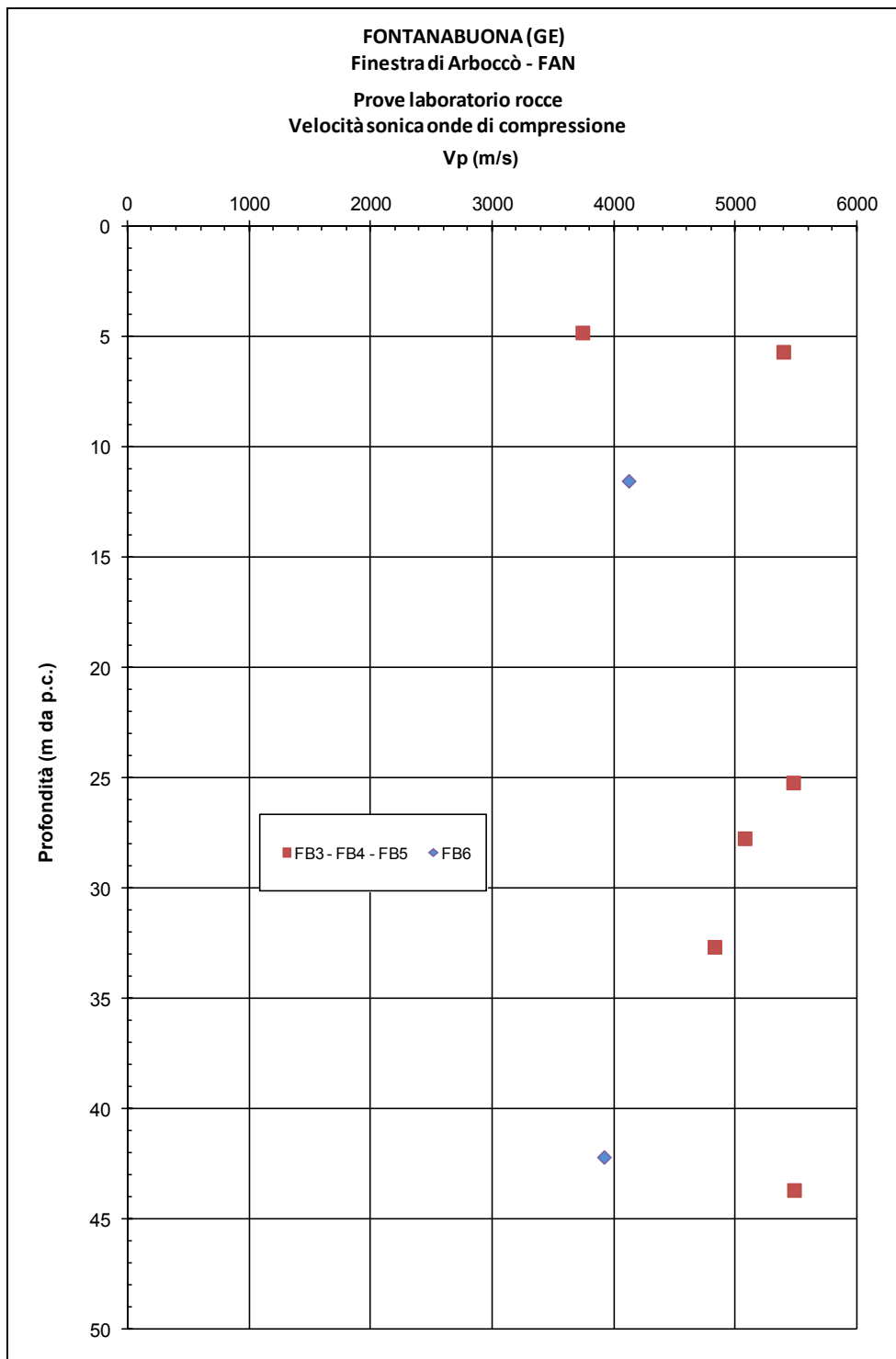


Figura 11.24 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Velocità sonica onde di compressione

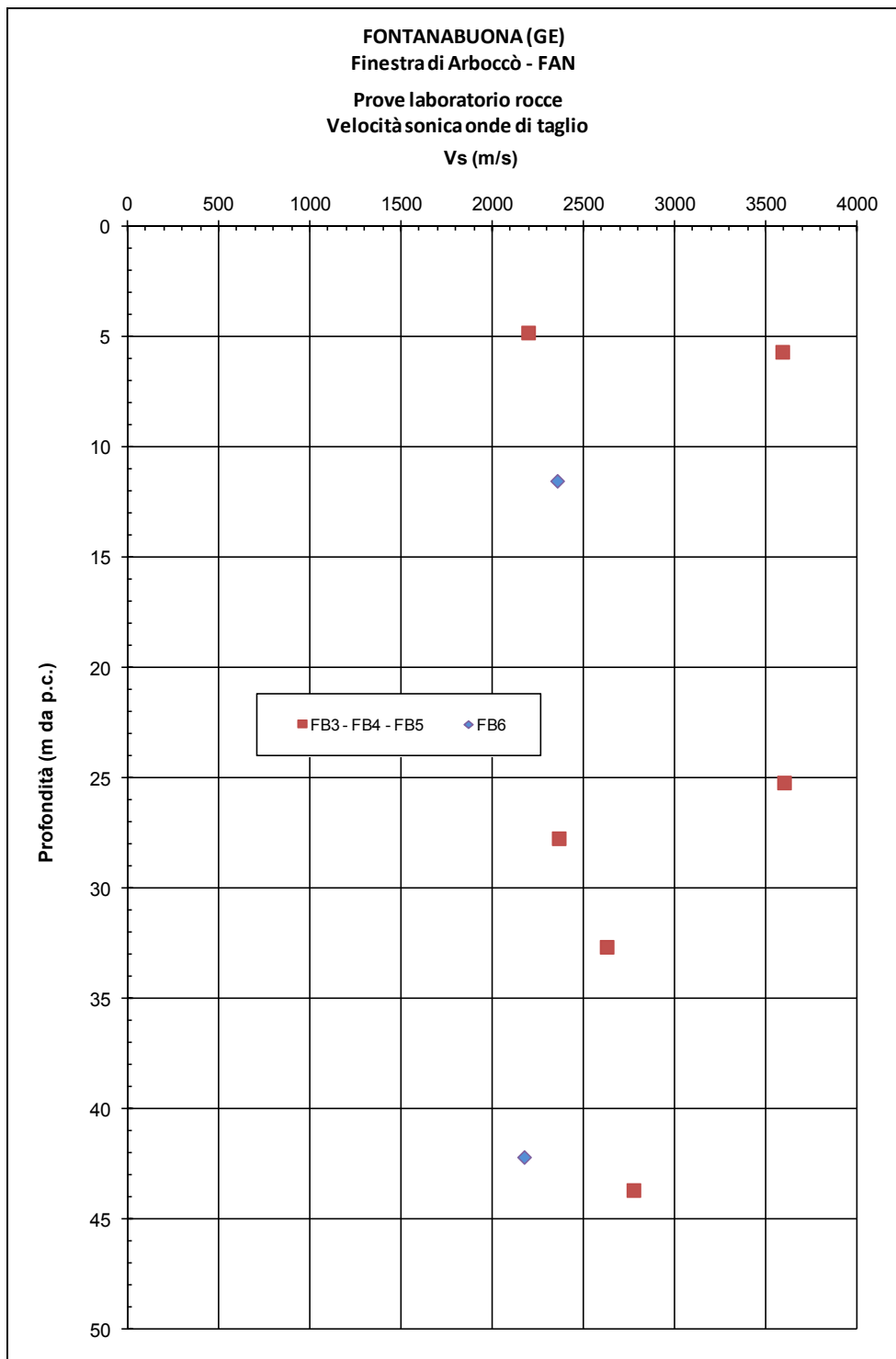


Figura 11.25 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Velocità sonica onde di taglio

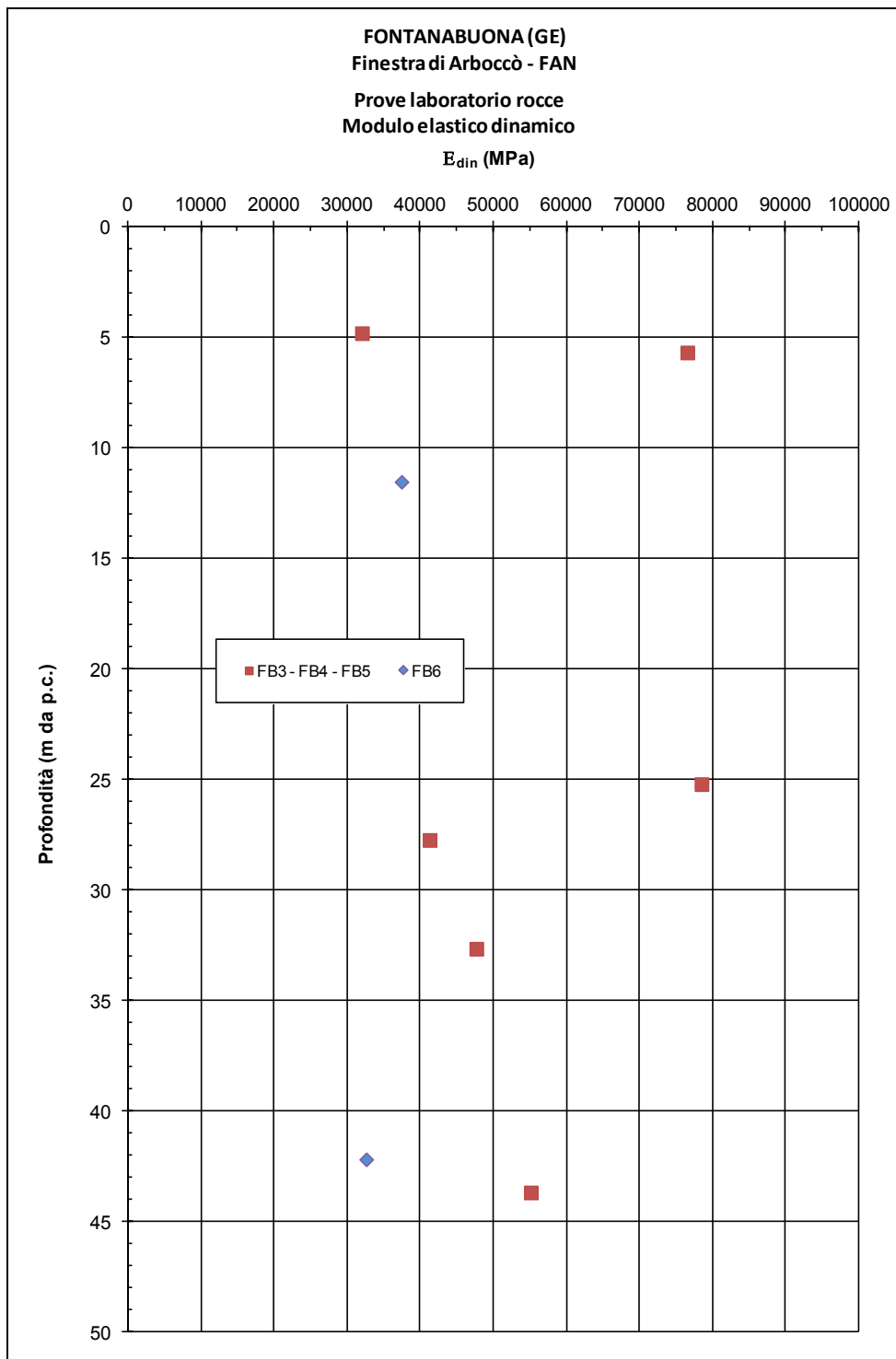


Figura 11.26 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Modulo elastico dinamico

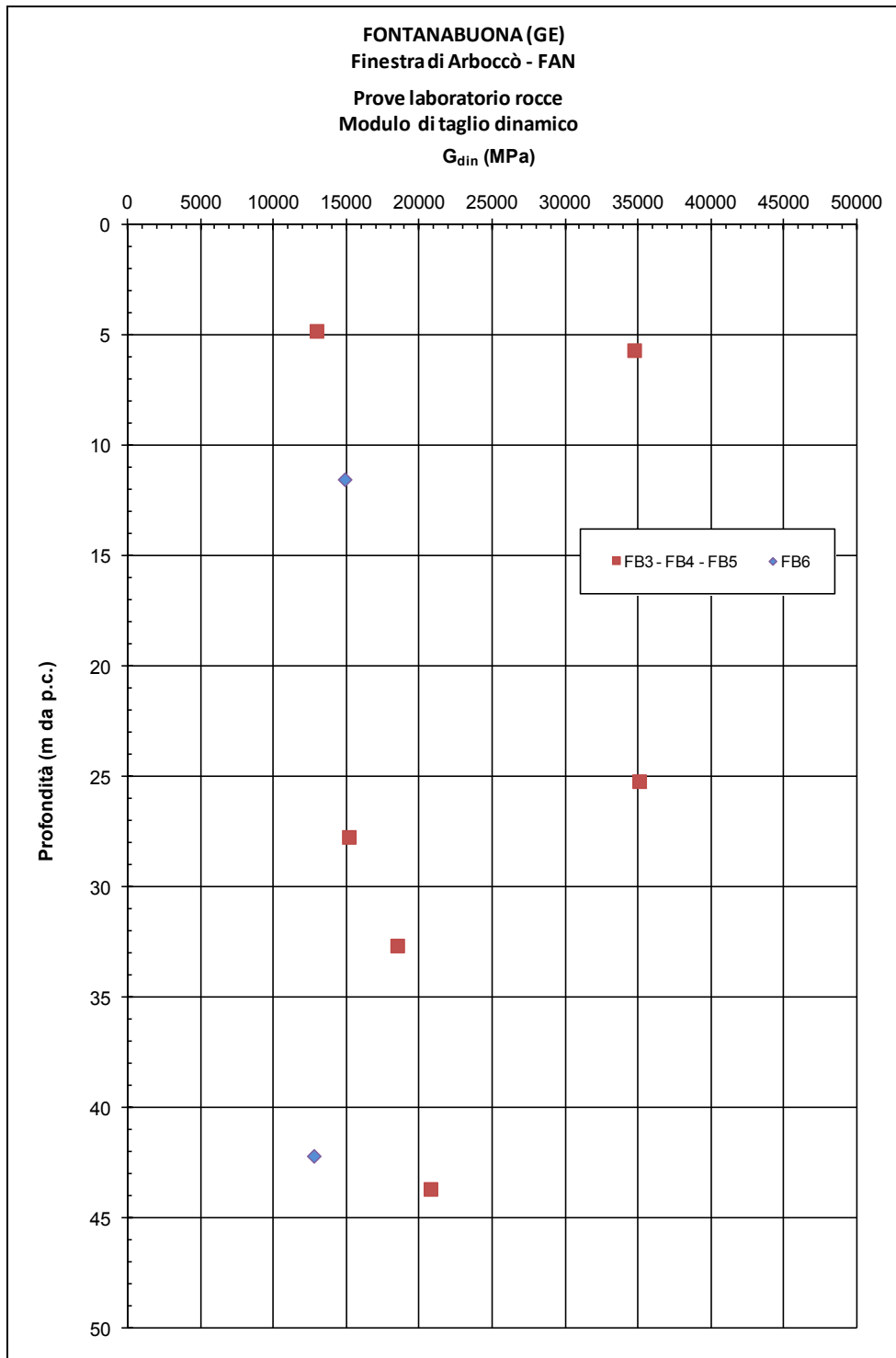


Figura 11.27 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Modulo di taglio dinamico

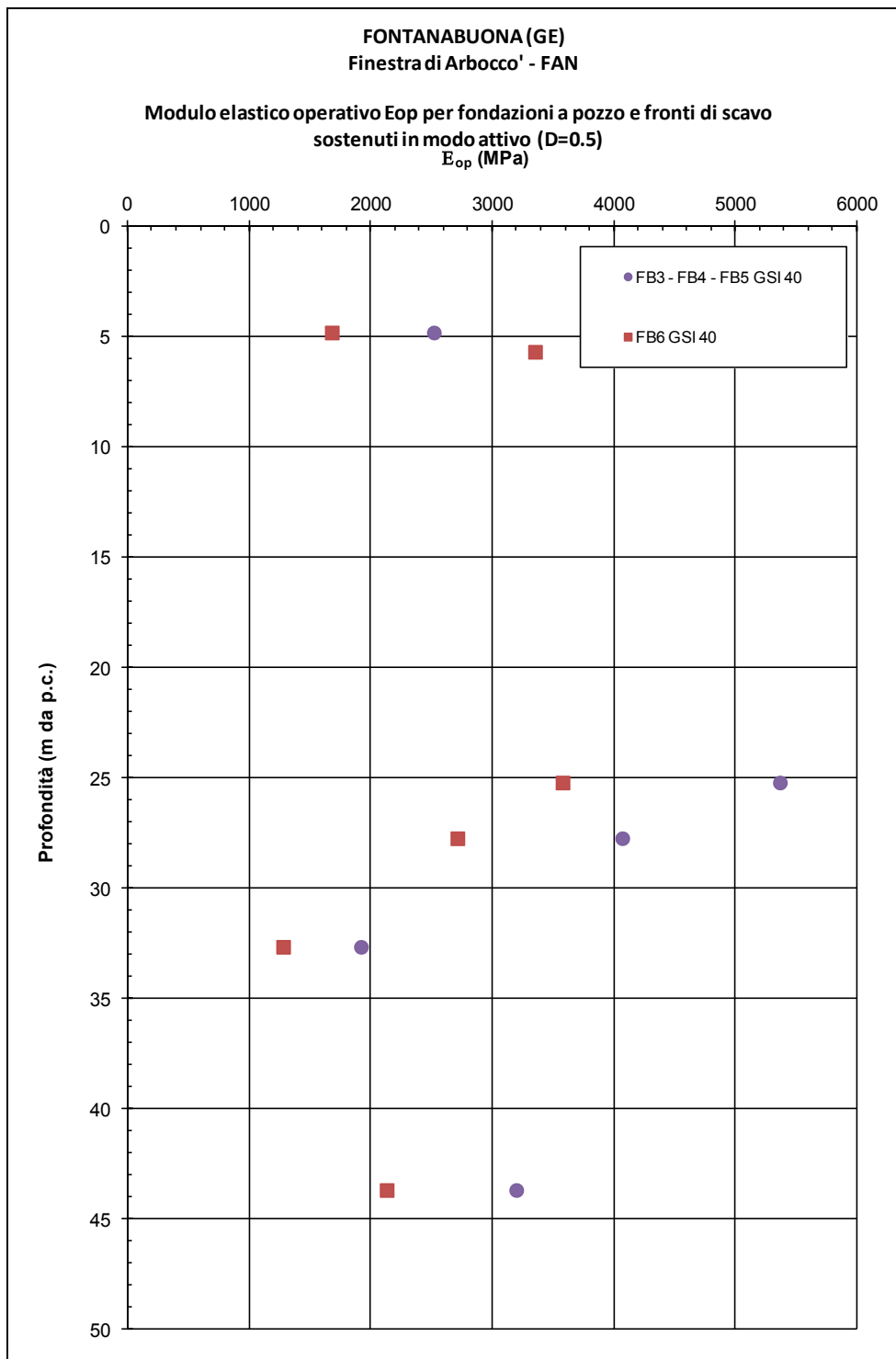


Figura 11.28 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Modulo elastico operativo per fronti di scavo non sostenuti o sostenuti in modo passivo e per fondazioni dirette (D=1.0)

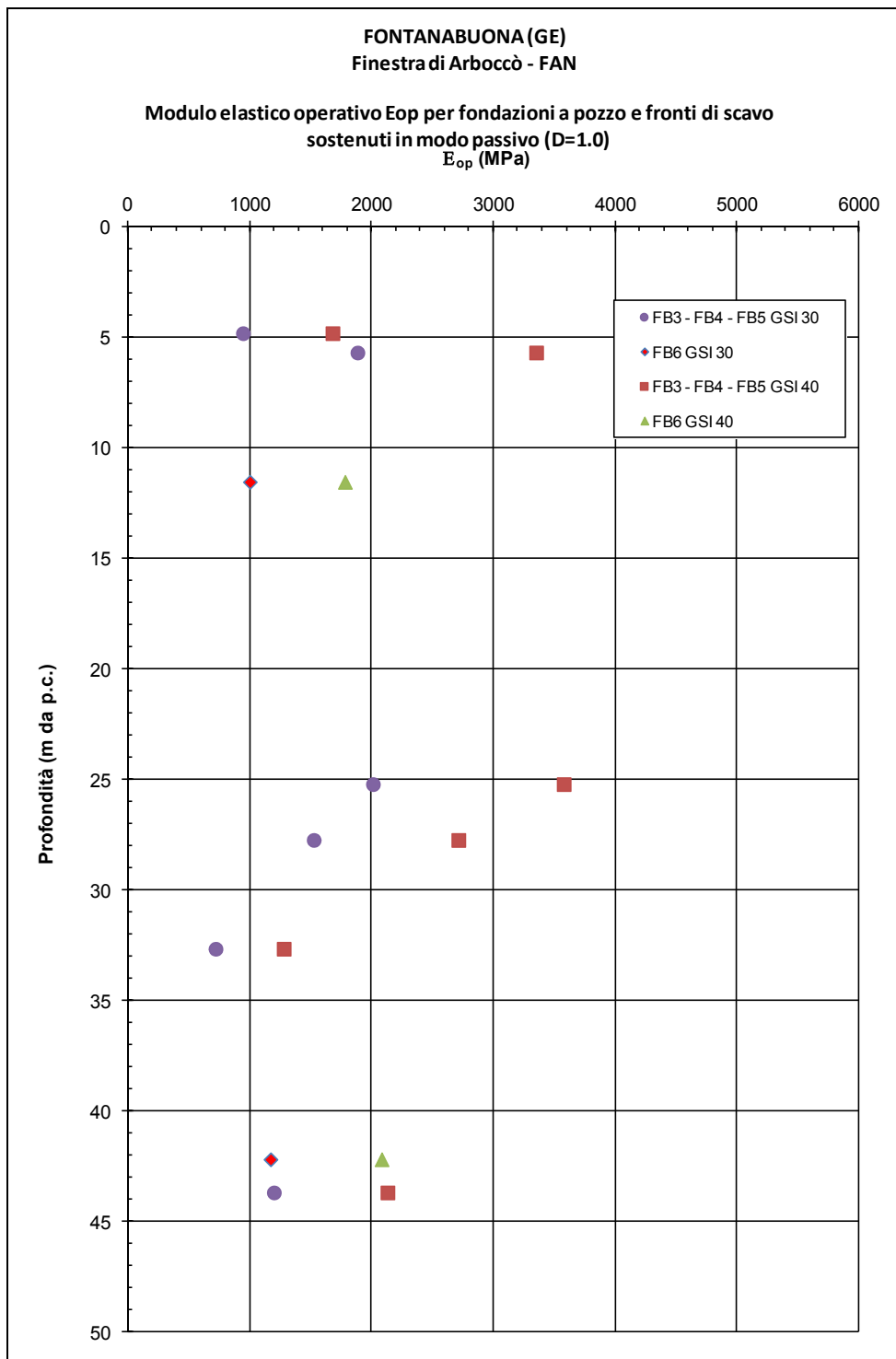


Figura 11.29 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Modulo elastico operativo per fondazioni a pozzo e per fronti di scavo sostenuti in modo attivo (D=0.5)

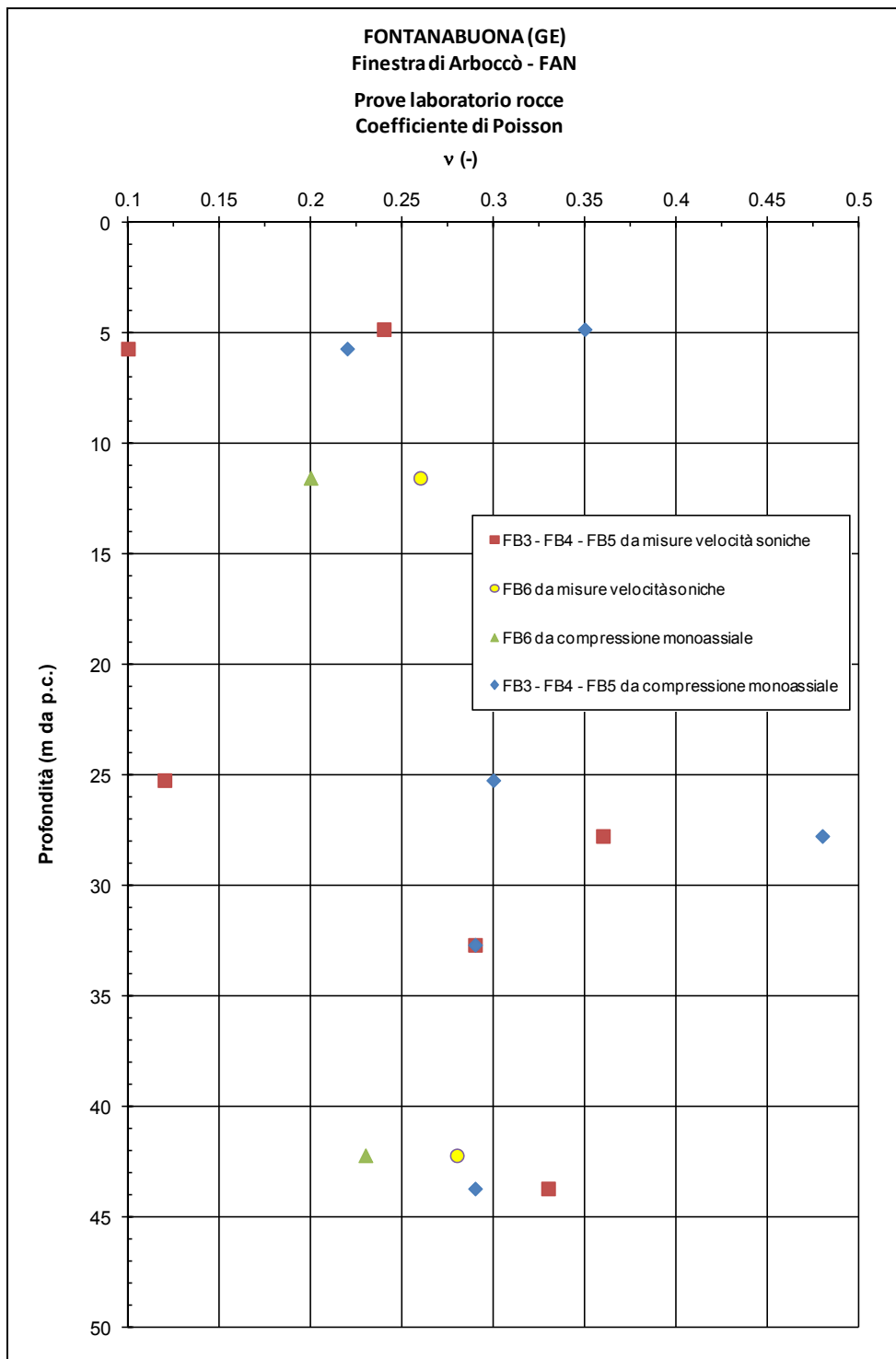


Figura 11.30 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Coefficiente di Poisson

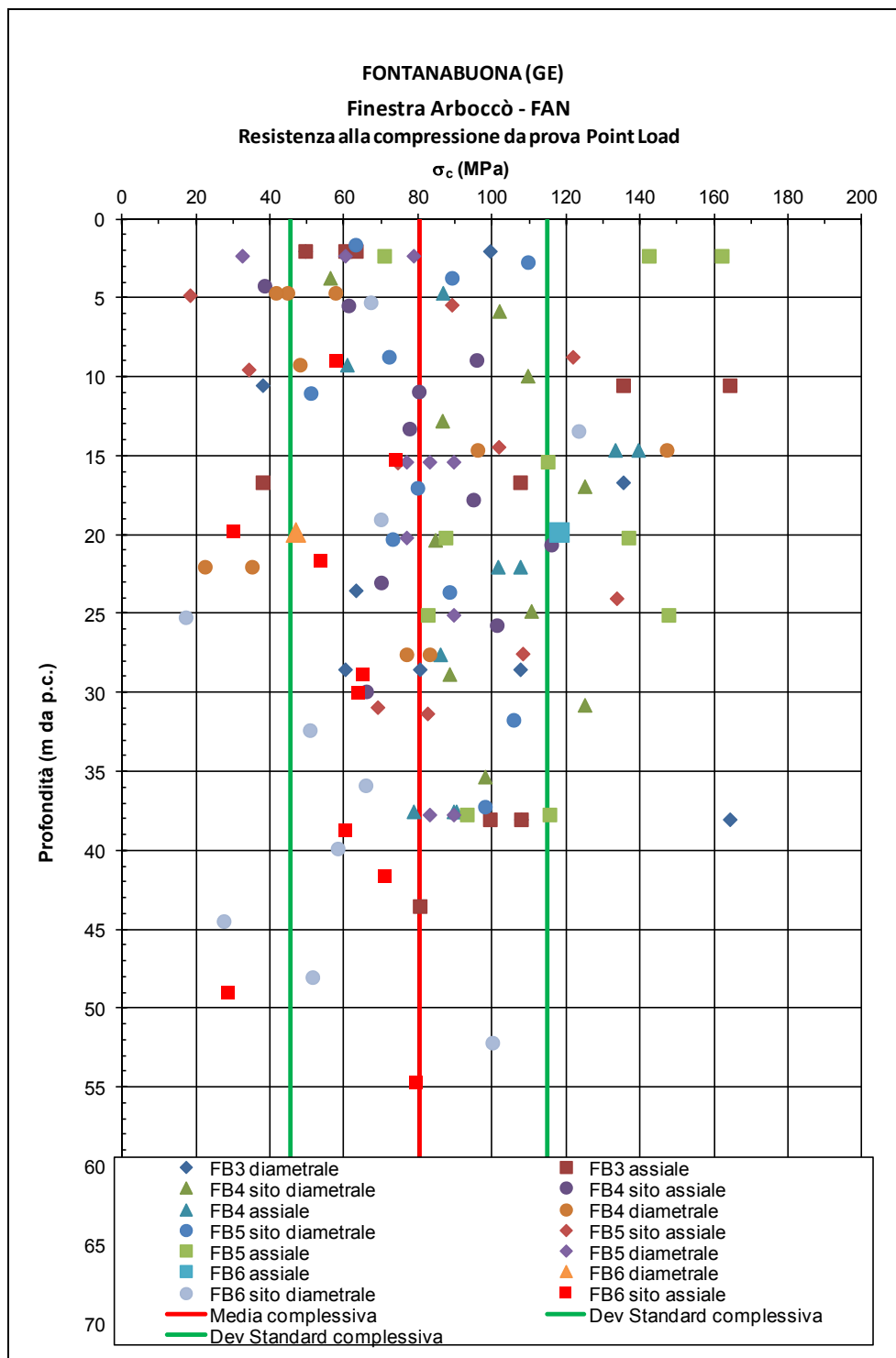


Figura 11.31 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Resistenza a compressione da prova Point Load (assiale + diametrale)

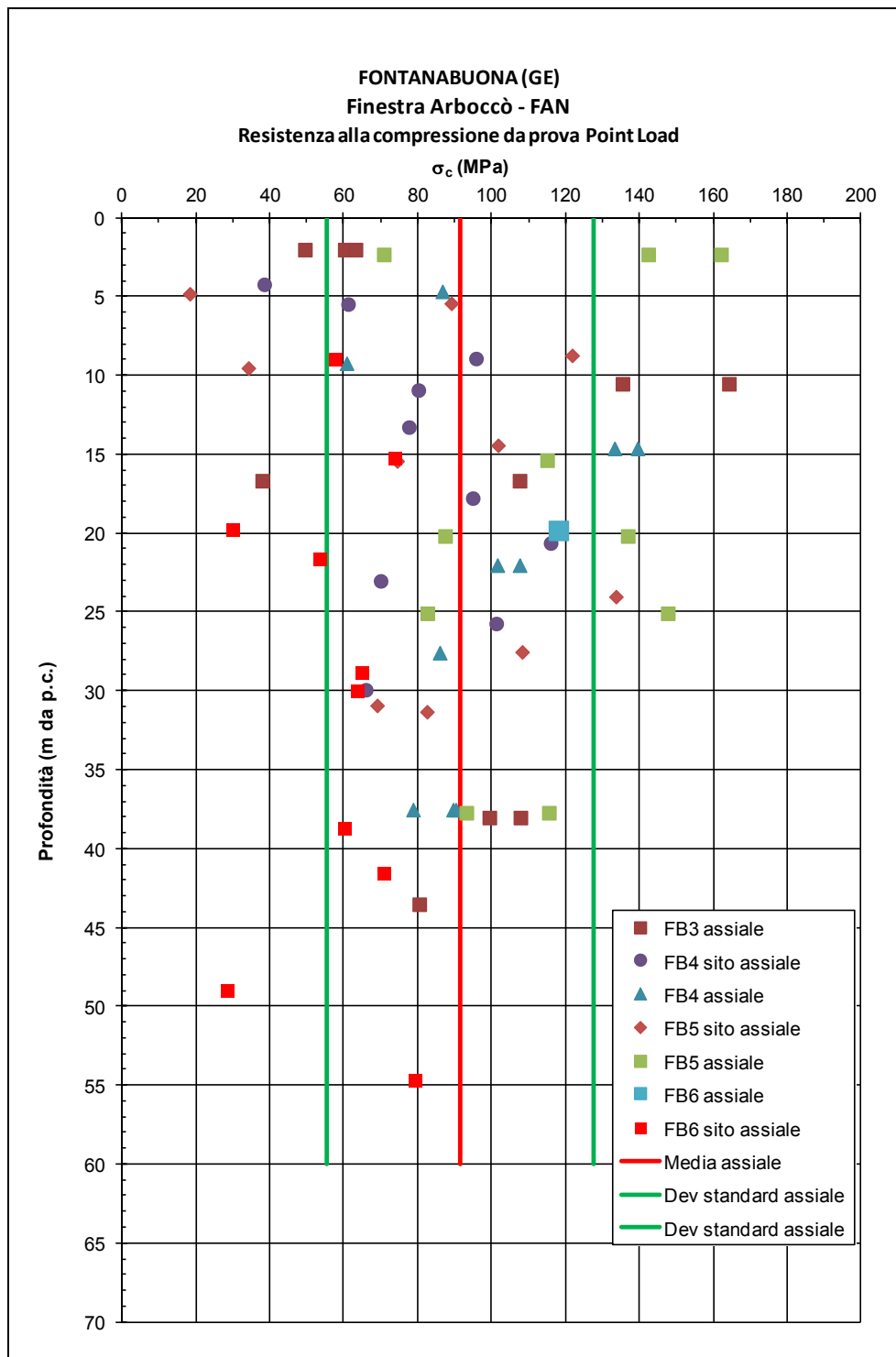


Figura 11.32 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Resistenza a compressione da prova Point Load assiale

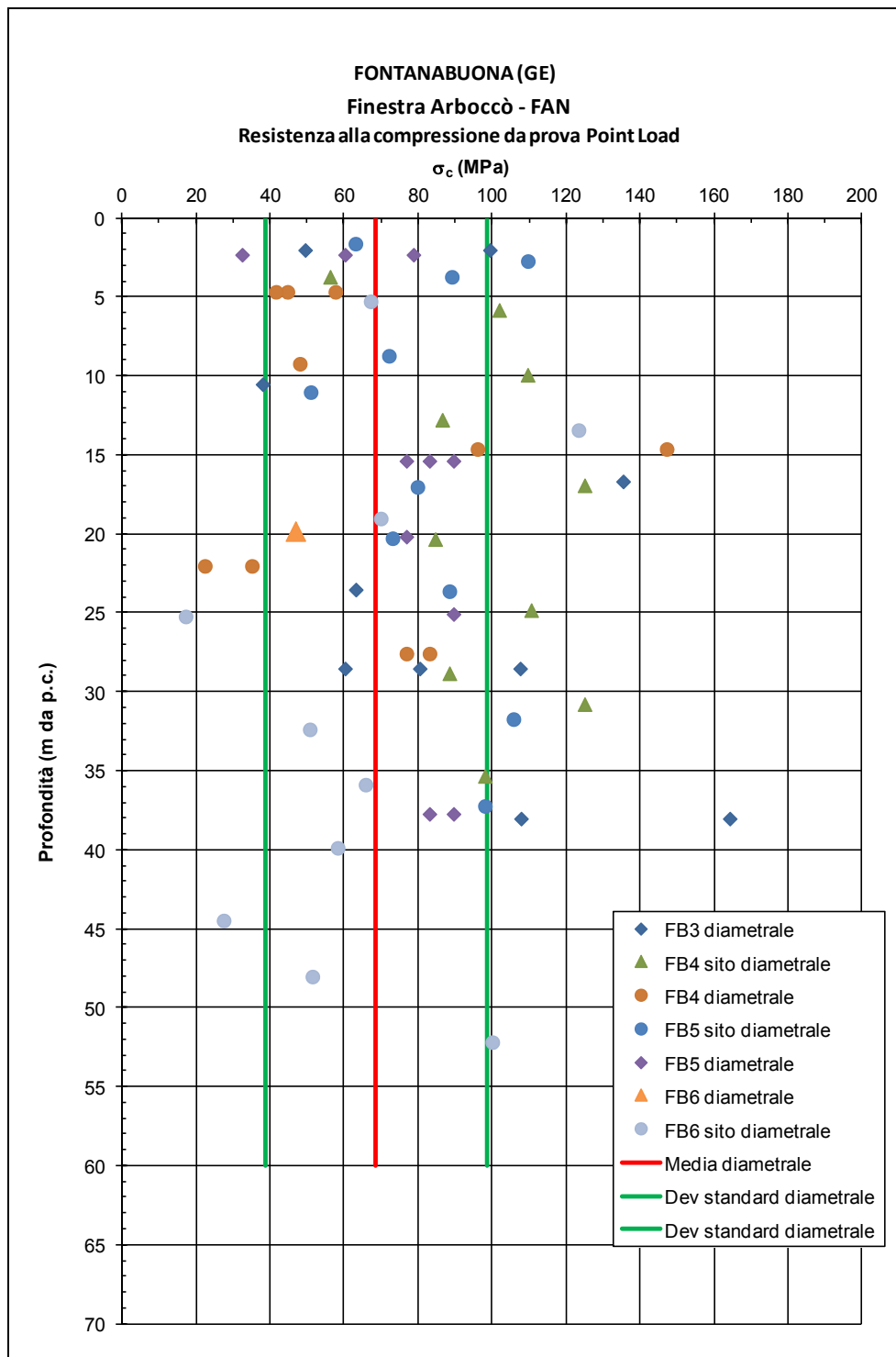


Figura 11.33 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Resistenza a compressione da prova Point Load diametrale

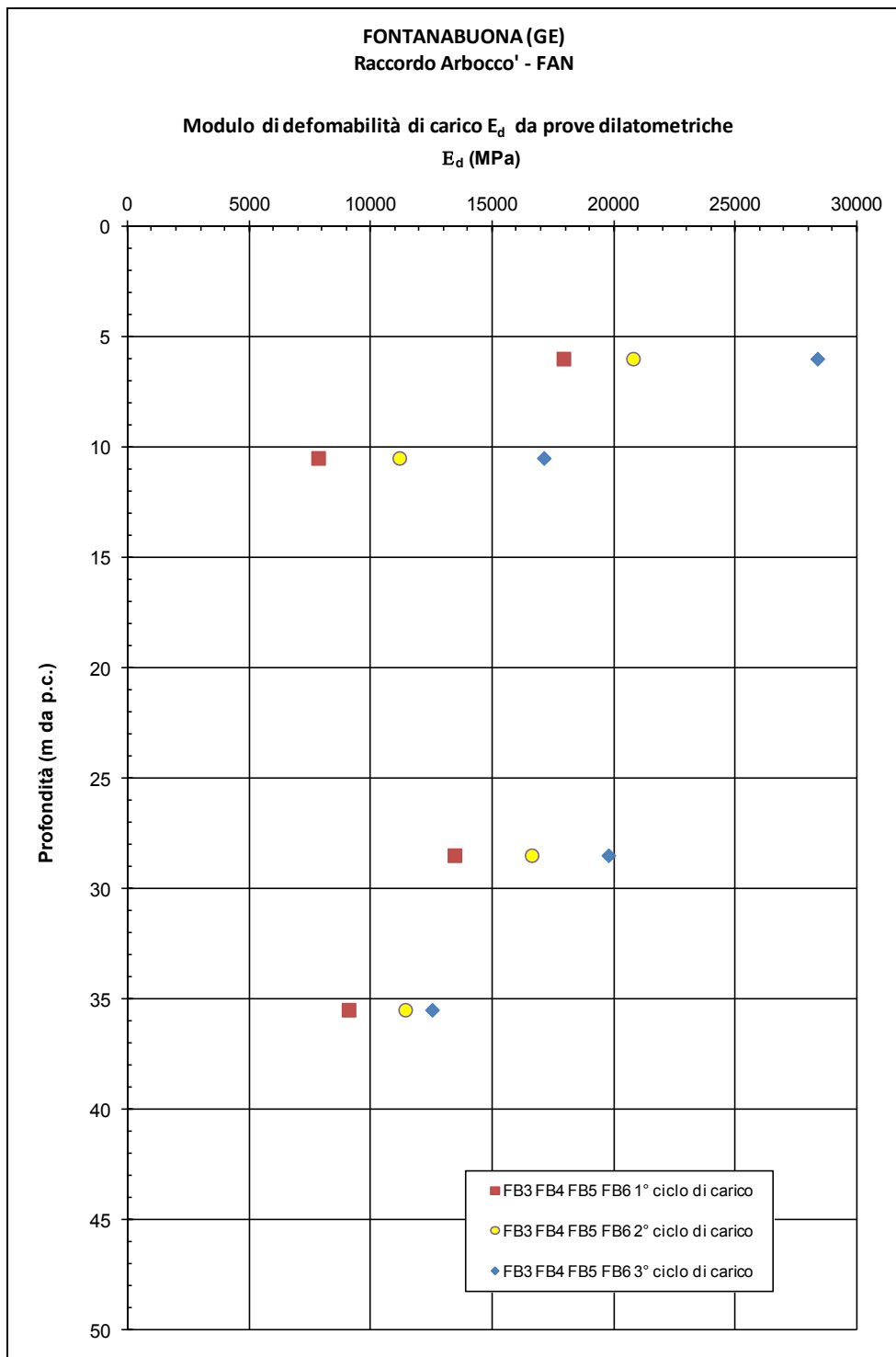


Figura 11.34 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Modulo di deformazione di carico da prova dilatometrica

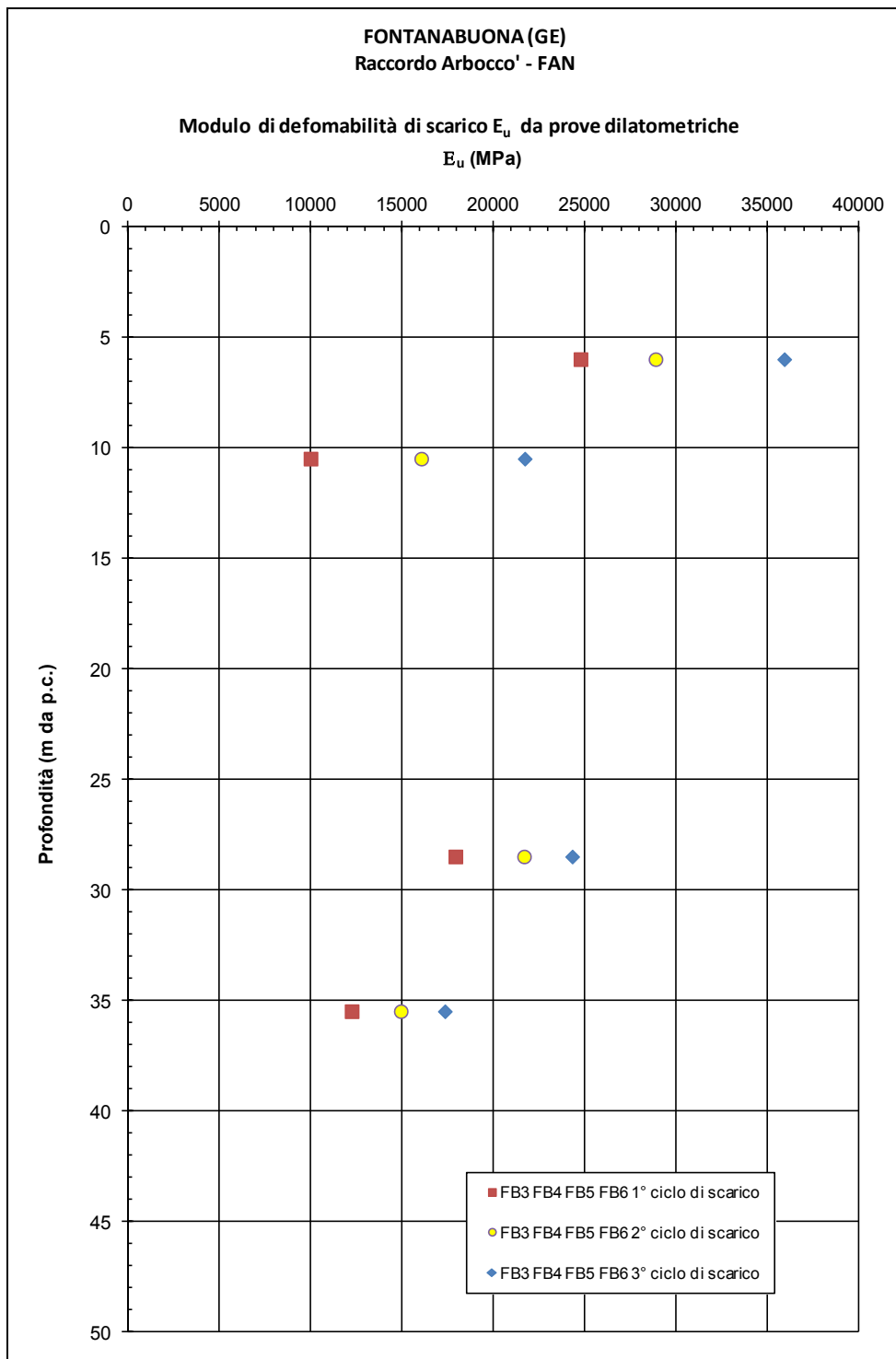


Figura 11.35 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Modulo di scarico da prova dilatometrica

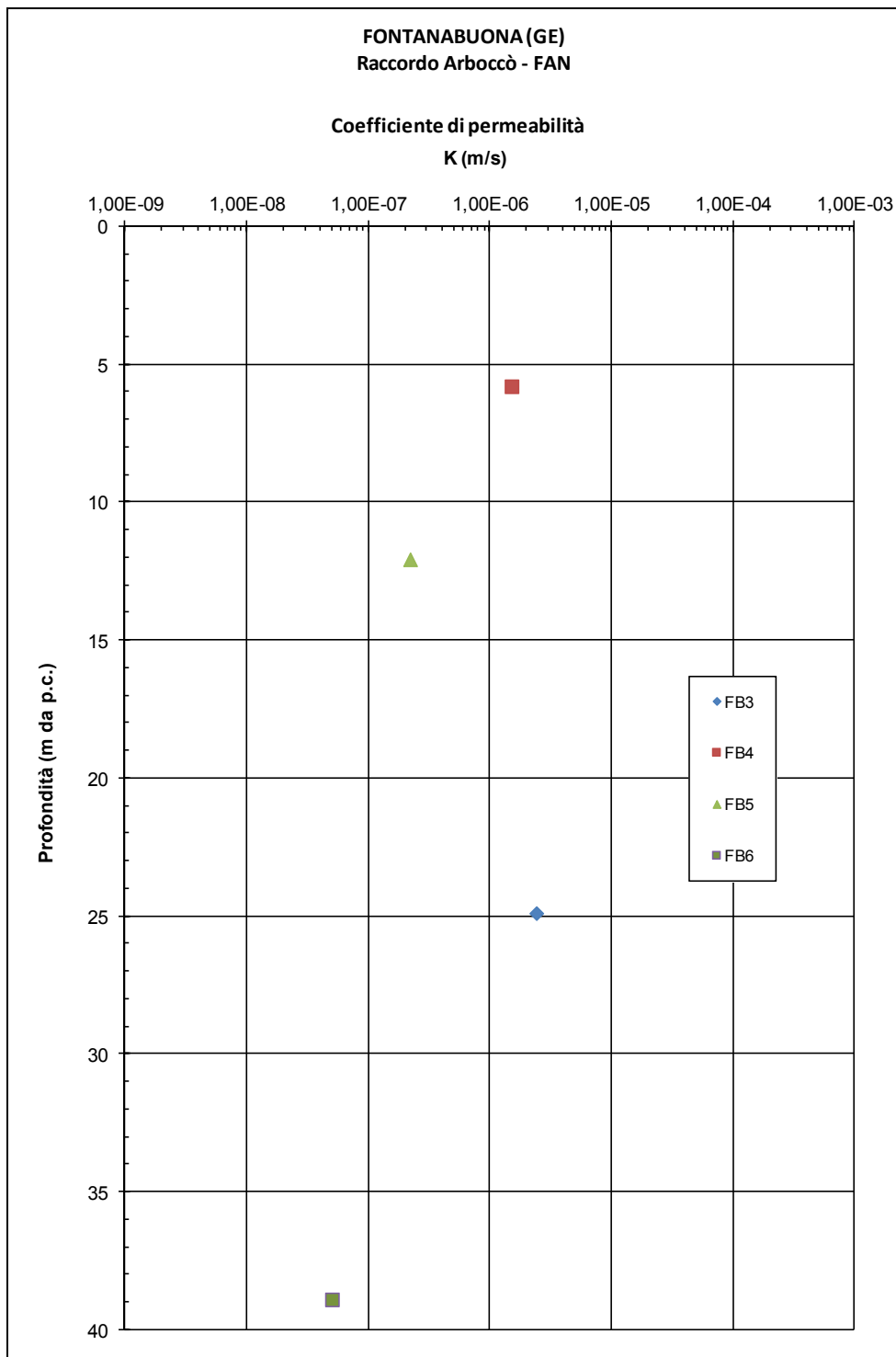


Figura 11.36 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Coefficiente di permeabilità

11.4 Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria di Aveno

11.4.1 Descrizione e caratteristiche generali

Le Ardesie di Monte Verzi (AMV) sono classificabili come torbiditi pelitico-arenacee caratterizzate dall'alternanza di strati silicoclastici medio spessi e di strati calcareo-marnosi spessi e molto spessi, questi ultimi noti con il nome di "Ardesie" o "Lavagna".

11.4.2 Indagini di riferimento

Per la caratterizzazione della formazione FAN in corrispondenza dello Svincolo suul'A12, valida anche per l'imbocco lato Sud della galleria Caravaggio, si è fatto riferimento alle indagini elencate nelle Tabelle seguenti:

| AMBITO | n° STENDIMENTO GEOFISICO | TIPO (anno) |
|---|--------------------------|-------------------------------|
| STAZIONE VALFONTANABUONA E ROTATORIA DI AVENO | 2 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | 3 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS1-1 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS1-2 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS1-3 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS2-1 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS2-2 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS3-1 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS3-2 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | SS4 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | s10a | geofisica a rifrazione (2011) |
| | s10b | geofisica a rifrazione (2011) |
| | s11 | geofisica a rifrazione (2011) |

Tabella 11.20 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Indagini geofisiche

| Sigla | Tipo | LAB | Quota | Profondità | Prove SPT | Prove Lugéon | Prove Lefranc | Prove Pressiom. | Prove Dilatom. | Strumentazione | Campioni indisturb. | Campioni rimanegg. | Campioni ambientali |
|-----------|--|-----|------------|------------|-----------|--------------|---------------|-----------------|----------------|---------------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | | | (m s.l.m.) | (m) | (n°) | (n°) | (n°) | (n°) | (n°) | | (n°) | (n°) | (n°) |
| FB11 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 182,614 | 30,00 | 1 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | - | 9 | 3 |
| FB12 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 185,840 | 30,00 | 2 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | - | 9 | 3 |
| FB14 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 194,092 | 30,00 | 4 | 1 | | 1 | 1 | piezometro t.a. | | 7 | 3 |
| FB20 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 199,287 | 20,00 | 4 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 7 | 3 |
| FB9quater | sondaggio a carotaggio continuo orizz. | X | 195,840 | 350,00 | | 5 | | | | | | 71 | 5 |
| FB9bis | sondaggio a distruzione | | 195,658 | 40,00 | | | | | | tubo pvc CROSS-HOLE | | | |
| FB9ter | sondaggio a distruzione | | 195,533 | 40,00 | | | | | | tubo pvc CROSS-HOLE | | | |
| FB9 | sondaggio a carotaggio continuo | | 202,070 | 40,00 | | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 11 | 1 |
| FB10 | sondaggio a carotaggio continuo | | 178,480 | 71,00 | 1 | 2 | | | 1 | piezometro t.a. | | 17 | 1 |

Tabella 11.21 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Sondaggi geognostici

| AMBITO | RILIEVI GEOMECCANICI (2011) | Localizzazione |
|---|-----------------------------|--|
| STAZIONE VALFONTANABUONA E ROTATORIA DI AVENO | RG3 | Imbocco N galleria Fontanabuona - Stazione Valfontanabuona |

Tabella 11.22 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Rilievi geomeccanici

11.4.3 Caratteristiche fisiche

Il peso di volume naturale γ_t può essere assunto variabile tra 26 kN/m³ e 27 kN/m³ (cfr. la Figura riportata nel seguito).

11.4.4 Parametri matrice lapidea

I parametri presi a riferimento per la caratterizzazione della matrice lapidea della roccia intatta sono i seguenti:

σ_c (*) = resistenza compressione monoassiale

I_{s50} = Point Load Index normalizzato

σ_c (**) = resistenza compressione monoassiale da prova Point Load ($\sigma_c = 24 \cdot I_{s50}$)

σ_T = resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)

E_{t50} = modulo di Young tangente

MR = rapporto di modulo (E_{t50}/σ_c)

ν = rapporto di Poisson

V_p = velocità delle onde di compressione misurata su provino

V_S = velocità sonica delle onde di taglio misurata su provino

E_{din} = modulo elastico dinamico

G_{din} = modulo di taglio dinamico

m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta

m_b, s, a = parametri criterio di rottura di Hoek-Brown (risultati prove triassiali)

L'andamento di queste grandezze, misurato in funzione della profondità, è riportato nei diagrammi riportati nelle Figure seguenti.

I valori rappresentativi della resistenza a compressione sono riportati nella Tabella seguente:

| Resistenza a compressione | MPa | MPa |
|--|-------------------|----------------|
| Compressione semplice laboratorio | | |
| | media | 32 |
| | min | 14 |
| | max | 51 |
| Point load | diametrale | assiale |
| | media | 25 |
| | min | 8 |
| | max | 42 |
| Rilievo geomeccanico | | 70 |

**Tabella 11.23 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno -
Resistenza a compressione**

11.4.5 Parametri R.Q.D., RMR'89 e GSI

L'andamento dei valori di R.Q.D. con la profondità rilevato nei sondaggi è riportato nelle Tabelle seguenti:

| AMBITO | Sondaggio | | | | | | |
|--|------------|---------------|--------|-------|-----------|------------------|----------------|
| STAZIONE VALFONTANABUONA E ROTATORIA DI AVENO | FB9 | Campagna 2011 | | | | | Formazione AMV |
| | FB10 | Campagna 2013 | | | | | |
| | FB9bis | | | | | | |
| | FB9ter | | | | | | |
| | FB9quater | | | | | | |
| | FB11 | | | | | | |
| | FB12 | | | | | | |
| | FB14 | | | | | | |
| Sondaggio | Profondità | | RQD | | RQD medio | RQD media pesata | |
| | da (m) | a (m) | da (%) | a (%) | (%) | | |
| FB9 | 1 | 2 | 25 | 50 | 38 | 37.50 | |
| | 2 | 5 | 75 | 90 | 83 | 247.50 | |
| | 5 | 6 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | |
| | 6 | 10 | 75 | 90 | 83 | 330.00 | |
| | 10 | 21 | 90 | 100 | 95 | 1045.00 | |
| | 21 | 22 | 75 | 90 | 83 | 82.50 | |
| | 22 | 28 | 90 | 100 | 95 | 570.00 | |
| | 28 | 30 | 75 | 90 | 83 | 165.00 | |
| | 30 | 33 | 90 | 100 | 95 | 285.00 | |
| | 33 | 34 | 75 | 90 | 83 | 82.50 | |
| | 34 | 35 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | |
| | 35 | 38 | 90 | 100 | 95 | 285.00 | |
| | 38 | 40 | 75 | 90 | 83 | 165.00 | |
| | | | | | | 88 | |
| FB10 | 2 | 4 | 25 | 50 | 38 | 75.00 | |
| | 4 | 5 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | |
| | 5 | 7 | 75 | 90 | 83 | 165.00 | |
| | 7 | 40 | 90 | 100 | 95 | 3135.00 | |
| | 40 | 43 | 75 | 90 | 83 | 247.50 | |
| | 43 | 51 | 90 | 100 | 95 | 760.00 | |
| | 51 | 52 | 75 | 90 | 83 | 82.50 | |
| | 52 | 54 | 50 | 75 | 63 | 125.00 | |
| | 54 | 56 | 75 | 90 | 83 | 165.00 | |
| | 56 | 68 | 90 | 100 | 95 | 1140.00 | |
| | 68 | 69 | 75 | 90 | 83 | 82.50 | |
| 69 | 71 | 90 | 100 | 95 | 190.00 | | |
| | | | | | | 90 | |
| FB9QUATER | 0 | 2 | 25 | 50 | 38 | 75.00 | |
| | 2 | 3 | 100 | 100 | 100 | 100.00 | |
| | 3 | 4 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | |
| | 4 | 6 | 25 | 50 | 38 | 75.00 | |
| | 6 | 8 | <25 | | 10 | 20.00 | |
| | 8 | 11 | 25 | 50 | 38 | 112.50 | |
| | 11 | 12 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | |
| | 12 | 13 | 25 | 50 | 38 | 37.50 | |
| | 13 | 14 | 75 | 90 | 83 | 82.50 | |
| | 14 | 15 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | |
| | 15 | 16 | 100 | 100 | 100 | 100.00 | |
| | 16 | 18 | 75 | 90 | 83 | 165.00 | |
| | 18 | 19 | 100 | 100 | 100 | 100.00 | |
| | 19 | 20 | 75 | | 38 | 37.50 | |
| | 20 | 21 | 100 | | 50 | 50.00 | |
| | 21 | 22 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | |
| | 22 | 24 | 25 | 50 | 38 | 75.00 | |
| | 24 | 25 | 75 | 90 | 83 | 82.50 | |
| | 25 | 28 | 25 | 50 | 38 | 112.50 | |
| | 28 | 29 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | |
| | 29 | 32 | 75 | 90 | 83 | 247.50 | |
| | 32 | 35 | 90 | 100 | 95 | 285.00 | |
| | 35 | 37 | 75 | 90 | 83 | 165.00 | |
| 37 | 38 | 25 | 50 | 38 | 37.50 | | |
| 38 | 39 | <25 | | 10 | 10.00 | | |
| 39 | 42 | 50 | 75 | 63 | 187.50 | | |
| 42 | 43 | 75 | 90 | 83 | 82.50 | | |
| 43 | 44 | 25 | 50 | 38 | 37.50 | | |
| 44 | 45 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | | |
| 45 | 46 | 25 | 50 | 38 | 37.50 | | |
| 46 | 50 | 50 | 75 | 63 | 250.00 | | |
| | | | | | | 59 | |

**Tabella 11.24 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Sondaggi
FB9 FB10 FB9quater - Valori di RQD**

| AMBITO | | Sondaggio | | | | | | | |
|---|------------|-----------|--------|---------------|-----------|------------------|----------------|--|--|
| STAZIONE VALFONTANABUONA E ROTATORIA DI AVENO | | FB9 | | Campagna 2011 | | | | | |
| | | FB10 | | | | | Formazione AMV | | |
| | | FB9bis | | Campagna 2013 | | | | | |
| | | FB9ter | | | | | | | |
| | | FB9quater | | | | | | | |
| | | FB11 | | | | | | | |
| | | FB12 | | | | | | | |
| | | FB14 | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | |
| Sondaggio | Profondità | | RQD | | RQD medio | RQD media pesata | | | |
| | da (m) | a (m) | da (%) | a (%) | (%) | | | | |
| FB14 | 7.5 | 10 | 50 | 75 | 63 | 156.25 | | | |
| | 10 | 11 | <25 | | 10 | 10.00 | | | |
| | 11 | 12 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | | | |
| | 12 | 14 | 25 | 50 | 38 | 75.00 | | | |
| | 14 | 16 | 0 | | 0 | 0.00 | | | |
| | 16 | 17 | 75 | 90 | 83 | 82.50 | | | |
| | 17 | 18 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | | | |
| | 18 | 21 | 90 | 100 | 95 | 285.00 | | | |
| | 21 | 30 | 50 | 75 | 63 | 562.50 | 58 | | |
| FB12 | 4 | 6 | 25 | 50 | 38 | 75.00 | | | |
| | 6 | 7 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | | | |
| | 7 | 8 | <25 | | 10 | 10.00 | | | |
| | 8 | 9 | 25 | 50 | 38 | 37.50 | | | |
| | 9 | 10 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | | | |
| | 10 | 11 | <25 | | 10 | 10.00 | | | |
| | 11 | 14 | 25 | 50 | 38 | 112.50 | | | |
| | 14 | 15 | 75 | | 38 | 37.50 | | | |
| | 15 | 17 | 25 | 50 | 38 | 75.00 | | | |
| | 17 | 19 | <25 | | 10 | 20.00 | | | |
| | 19 | 22 | 25 | 50 | 38 | 112.50 | | | |
| 22 | 29 | <25 | | 10 | 70.00 | 27 | | | |
| FB11 | 3 | 4 | 25 | 50 | 38 | 37.50 | | | |
| | 4 | 5 | <25 | | 10 | 10.00 | | | |
| | 5 | 6 | 25 | 50 | 38 | 37.50 | | | |
| | 6 | 7 | <25 | | 10 | 10.00 | | | |
| | 7 | 8 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | | | |
| | 8 | 9 | <25 | | 10 | 10.00 | | | |
| | 9 | 10 | 25 | 50 | 38 | 37.50 | | | |
| | 10 | 11 | 75 | 90 | 83 | 82.50 | | | |
| | 11 | 14 | 50 | 75 | 63 | 187.50 | | | |
| | 14 | 15 | 75 | 90 | 83 | 82.50 | | | |
| | 15 | 16 | 90 | 100 | 95 | 95.00 | | | |
| | 16 | 17 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | | | |
| | 17 | 18 | 25 | 50 | 38 | 37.50 | | | |
| | 18 | 19 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | | | |
| | 19 | 20 | 25 | | 13 | 12.50 | | | |
| | 20 | 22 | 50 | 75 | 63 | 125.00 | | | |
| | 22 | 28 | 25 | 50 | 38 | 225.00 | | | |
| 28 | 29 | <25 | | 10 | 10.00 | | | | |
| 29 | 30 | 25 | 50 | 38 | 37.50 | 45 | | | |

Tabella 11.25 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Sondaggi FB11 FB12 FB14 - Valori di RQD

I valori medi sono sintetizzati nella Tabella seguente:

| Stazione di Fontanabuona e rotatoria di Aveno | | |
|---|-----------|-----------|
| Formazione | AMV | RQD medio |
| Sondaggi di riferimento | FB9 | 88 |
| | FB10 | 90 |
| | FB9bis | |
| | FB9ter | |
| | FB9quater | 59 |
| | FB11 | 45 |
| | FB12 | 27 |
| | FB14 | 58 |

Tabella 11.26 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Valori medi di RQD

Il parametro RMR_{89} è stato stimato sulla base di quanto descritto nel par. 9 nel caso specifico si rileva che:

- è stata fatta una determinazione a partire dai parametri rilevati nei sondaggi e nelle prove di laboratorio ($RMR_{89} = 31$);
- si è anche tenuto conto di quanto determinato in corrispondenza del rilievo geomeccanico eseguito ($RG3 - RMR_{89} = 49$), riportato nella Tabella seguente:

| Rilievo geomeccanico | | RG3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|-----------------------------|--|----------------|-------------------------|--|------------|---------------------------|------------------------|-----------|---------------|------------|---------------------|----------|------------|--------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|----------------------|---------------------|
| ZONA | RILIEVI GEOMECCANICI (2011) | Localizzazione | Quota m slm | Litologia | Formazione | GSI (-) | $\sigma_{c,media}$ MPa | st dev (o var.) MPa | mi (-) | R.Q.D. (%) | RMR (-) | sp discount (cm) | Q (-) | JRC (-) | JCS (MPa) | Giacitura discontinuità | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | immersione (°) | inclinazione (°) | spaziatura (cm) | | |
| STAZIONE FONTANABUONA E ROTATORIA DI AVERNO | RG3 | Imbocco N galleria Fontanabuona - Stazione Valfontanabuona | 202 | Marme calcaree nerastre | Ardesie di Monte Verzi | 45 | 70 | 40 | 7 | 10 | 49 | 1 | 0.83 | | | 4 6 8 8 | 28 25 19 21 | 238 320 12 314 | 48 84 21 23 | 2 11 32 43 |
| | | | | GSI | Geological Strength Index | (-) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | $\sigma_{c,media}$ | resistenza a compressione monoassiale (media) | (MPa) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | st dev | deviazione standard | (MPa) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | mi | parametro dell'involuppo di rottura | (-) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | R.Q.D. | Rock Quality Designation | (%) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | RMR | Rock Mass Rating | (-) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | sp discount | spaziatura delle discontinuità | (cm) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | Q | indice di qualità intrinseco dell'ammasso roccioso | (-) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | JRC | rugosità del giunto | (-) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | JCS | resistenza a compressione del giunto | (MPa) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | immersione | | (°) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | inclinazione | | (°) | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | spaziatura | | (cm) | | | | | | | | | | | | | | |

Tabella 11.27 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Risultati rilievo geomeccanico

L'ammasso roccioso può essere mediamente caratterizzato da parametri RMR_{89} compresi tra 30 e 45.

Il parametro GSI è quindi stato assunto pari a 25 e 40 (valutazione che risulta compatibile anche con la stima in funzione dell'R.Q.D. e dei parametri J_r *joint roughness number* e J_a *joint amplitude number* – Hoek et al., 2013).

11.4.6 Involuppi di rottura

Gli involuppi di rottura dell'ammasso roccioso sono stati determinati sulla base di quanto riportato nel par. 9, tenendo conto:

- dei valori rappresentativi di GSI (40 per la roccia compatta e 25 per la roccia fessurata / alterata, valori compatibili anche con quanto suggerito da Hoek e Marinos 2002);
- resistenza a compressione σ_c pari a 30 MPa;
- D coefficiente di disturbo pari a 0.70;
- condizione slopes - mechanical excavation (altezza 30 m);
- parametro - $m_i = 8$

Nelle Figure seguenti sono riportati i diagrammi degli involuppi di rottura di Hoek e Brown ottenuti con la parametrizzazione descritta, a partire dai quali sono definiti i parametri caratteristici dell'ammasso.

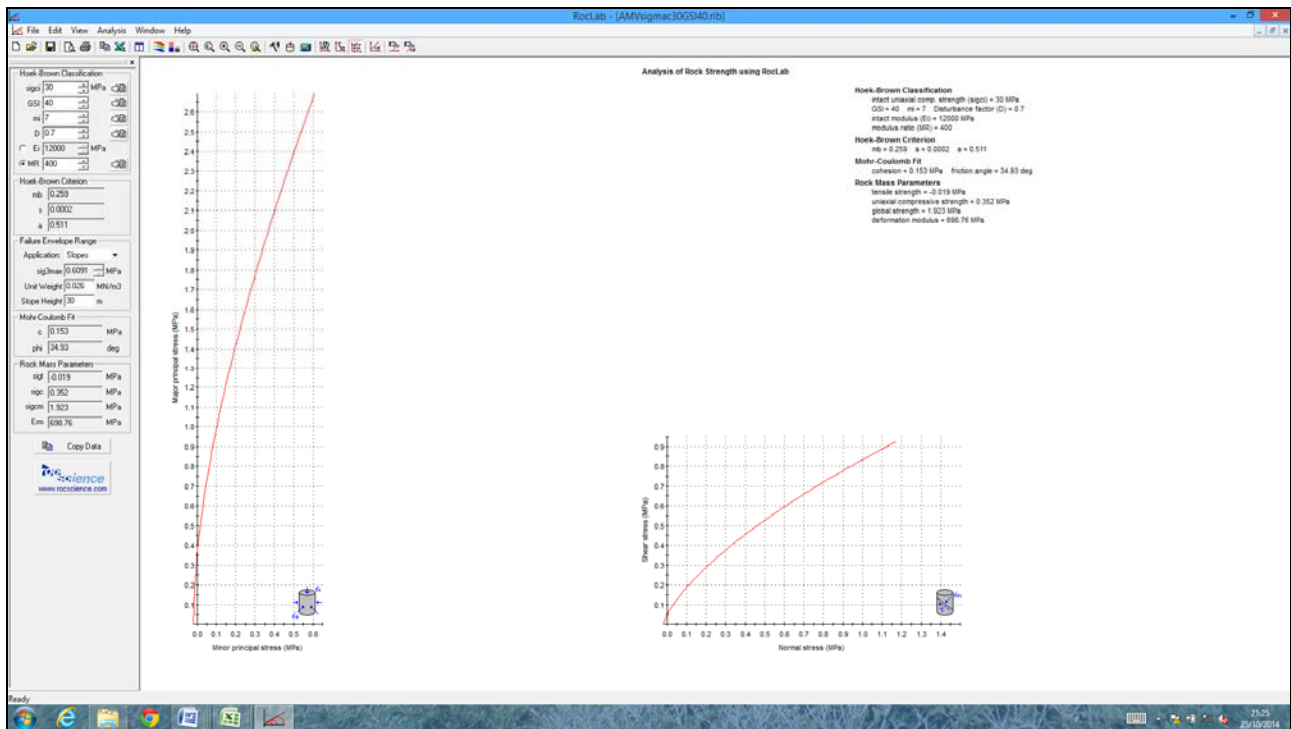


Figura 11.37 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso compatto

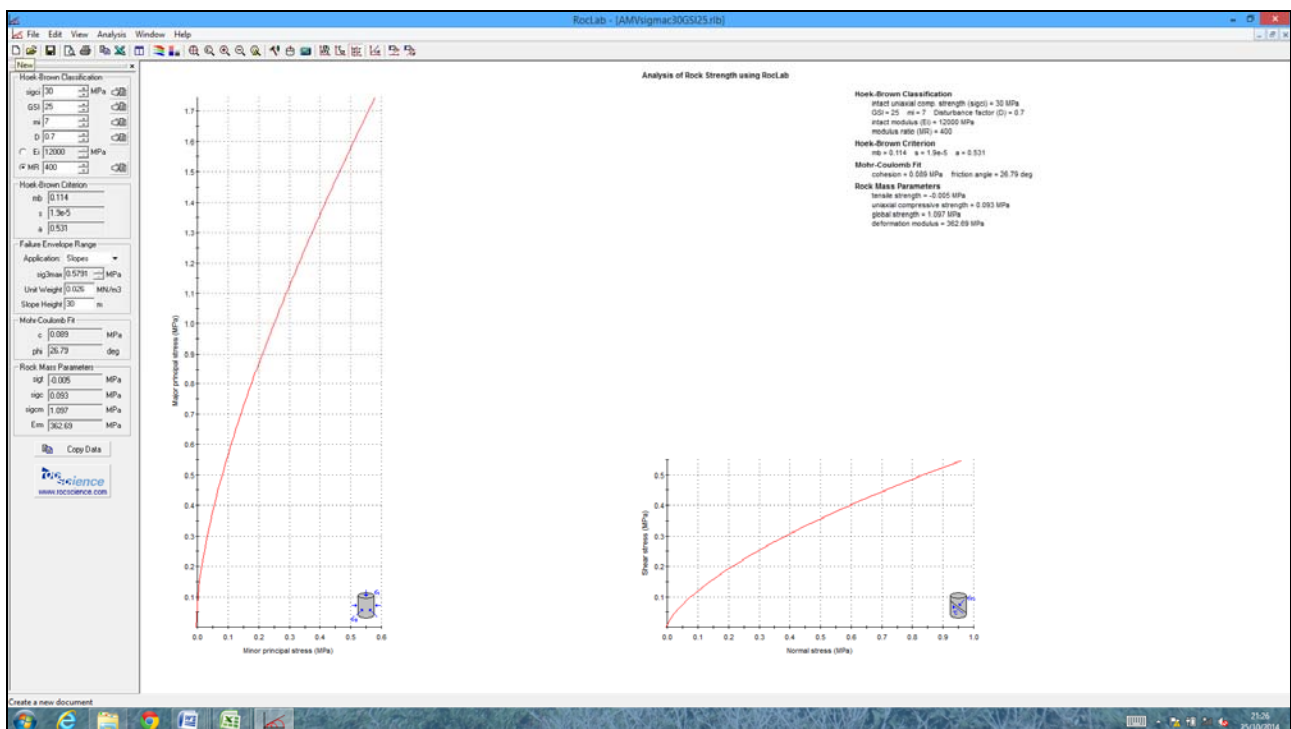


Figura 11.38 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso fessurato / alterato

11.4.7 Caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso

La deformabilità dell'ammasso roccioso è stata valutata tenendo conto di tutti i dati disponibili, in particolare:

- risultati delle prove dilatometriche;
- risultati delle misure delle velocità soniche misurate in sito (Cross-Hole);
- stima dei moduli elastici operativi in accordo a Serafim & Pereira - 1983, a partire dalla resistenza a compressione σ_c , dal GSI e ponendo:
 - o $D =$ coefficiente disturbo = 0.50 per fondazioni a pozzo e fronti di scavo sostenuti in modo attivo
 - o $D = 1.0$ per fondazioni dirette, rilevati e fronti di scavo non sostenuti oppure sostenuti in modo passivo.

I risultati ottenuti sono rappresentati nelle Figure di seguito riportate.

11.4.8 Caratteristiche di permeabilità

I coefficienti di permeabilità dell'ammasso roccioso determinati con prove di permeabilità Lugeon sono riportati nella Figura seguente. In relazione alla macrostruttura e al grado di fratturazione della formazione, i valori riportati possono essere rappresentativi della permeabilità in condizioni di flusso in direzione orizzontale; quelli in direzione verticale possono essere 1/3 ordini di grandezza inferiori.

11.4.9 Tabella riassuntiva dei parametri caratteristici

Si riporta nel seguito la Tabella di sintesi dei parametri caratteristici.

Si richiama il fatto che è stata fatta una distinzione, in termini di resistenza, fra formazione compatta e formazione fessurata / alterata. Per condizioni di "media fessurazione / alterazione", si potrà fare riferimento a parametri intermedi, tenendo conto anche di valutazioni ingegneristiche in funzione della specificità del problema in esame.

| | Matrice lapidea | | Ammasso roccioso compatto | Ammasso roccioso fessurato/alterato |
|---------------------------------|-----------------------------|---|---|---|
| γ_t (kN/m ³) | 26 ÷ 27 | γ_t (kN/m ³) | 26 ÷ 27 | |
| σ_c (MPa) (*) | 15 ÷ 50 | RMR ₈₉ (-) | 30 ÷ 45 | |
| I _{s50} (MPa) | 1.0 ÷ 4.0 | GSI (-) | 40 | 25 |
| σ_c (MPa) (**) | diametrico 25 assiale 95 | JRC (-) | 4 ÷ 8 | |
| σ_T (MPa) | | JCS (MPa) | 20 ÷ 28 | |
| E _{t50} (GPa) | 12 ÷ 50 | k (m/s) | 5·10 ⁻⁸ ÷ 5·10 ⁻⁶ | |
| MR (-) | 200 ÷ 800 | E _d (GPa) | 2 ÷ 12 | |
| V _p (m/s) | 3400 - 5000 | E _u (GPa) | 3 ÷ 20 | |
| V _s (m/s) | 1800 - 3000 | E _{op} D=0.5 (GPa) | 1.8 ÷ 2.8 | |
| E _{din} (GPa) | 20 ÷ 60 | E _{op} D=1.0 (GPa) | | 0.5 ÷ 1.2 |
| G _{din} (GPa) | 9 ÷ 25 | c (kPa) | 150 ÷ 180 (σ=0.5MPa) | 50 ÷ 70 (σ=0.2MPa) 90 ÷ 120 (σ=0.5MPa) |
| v (-) | 0.25 | φ (°) | 35 (σ=0.5MPa) | 30 ÷ 33 (σ=0.2MPa) 25 ÷ 27(σ=0.5MPa) |
| m _i (-) | 7 | m _b (-) | ≈ 0.259 | ≈ 0.114 |
| m _b | 0.98 | s (-) | ≈ 0.0002 | ≈ 1.90·10 ⁻⁵ |
| s | 1.00 | a (-) | 0.511 | 0.531 |
| a (-) | 0.51 | Φ _{p,joint} (°), c _{p,joint} (kPa) | 29° ÷ 32° 10 ÷ 180 | |
| | | Φ _{r,joint} (°), c _{r,joint} (kPa) | 24° ÷ 30° | |

Tabella 11.28 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Parametri caratteristici

I parametri di resistenza indicati sono validi per pressioni di confinamento nell'intorno di 0.5 MPa (0.25÷0.75 MPa). Per pressioni sensibilmente inferiori i corrispondenti valori dei parametri di resistenza potranno essere individuati utilizzando le Figure in cui sono riportati gli involuipi di rottura.

Simbologia:

- γ_t = peso di volume naturale;
- s_c (*) = resistenza compressione monoassiale
- s_c (***) = resistenza compressione monoassiale da prova Point Load ($s_c = 24 \cdot I_{s50}$)
- s_T = resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)
- E_{t50} = modulo di Young tangente
- MR = rapporto di modulo (E_{t50}/s_c)
- ν = rapporto di Poisson
- V_P = velocità di propagazione delle onde di compressione
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio
- E_{din} = modulo elastico dinamico
- G_{din} = modulo di taglio dinamico
- m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta
- m_b = parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
- s = parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
- a = parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
- $C_{p,joint}$ = coesione di picco (da prova di taglio su giunto)
- $\phi_{p,joint}$ = angolo di attrito di picco (da prova di taglio su giunto)
- $C_{r,joint}$ = intercetta di coesione residua (da prova di taglio su giunto)
- $\phi_{r,joint}$ = angolo di attrito residuo (da prova di taglio su giunto)
- RMR₈₉ = Rock Mass Rating
- GSI = Geological Strength Index
- JRC = rugosità del giunto
- JCS = resistenza a compressione del giunto
- k = coefficiente di permeabilità da prova Lugeon
- E_d = modulo di deformabilità di carico dell'ammasso (da prova dilatometrica)
- E_u = modulo di scarico (da prova dilatometrica)
- E_{UR} = modulo elastico (da prova dilatometrica)
- c = intercetta di coesione (criterio di rottura di Hoek & Brown)
- ϕ = angolo di attrito (criterio di rottura di Hoek & Brown)

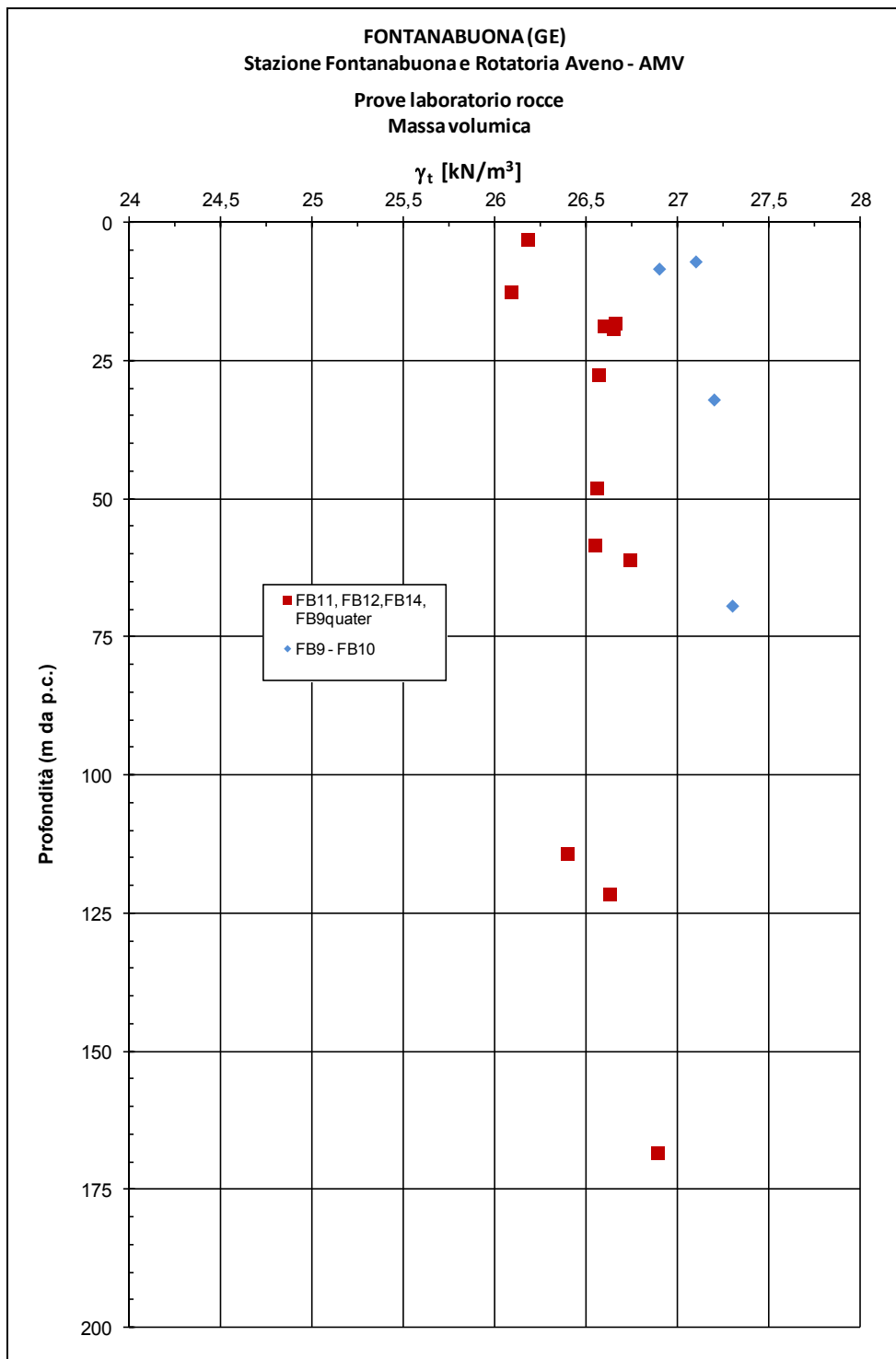


Figura 11.39 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Peso di volume

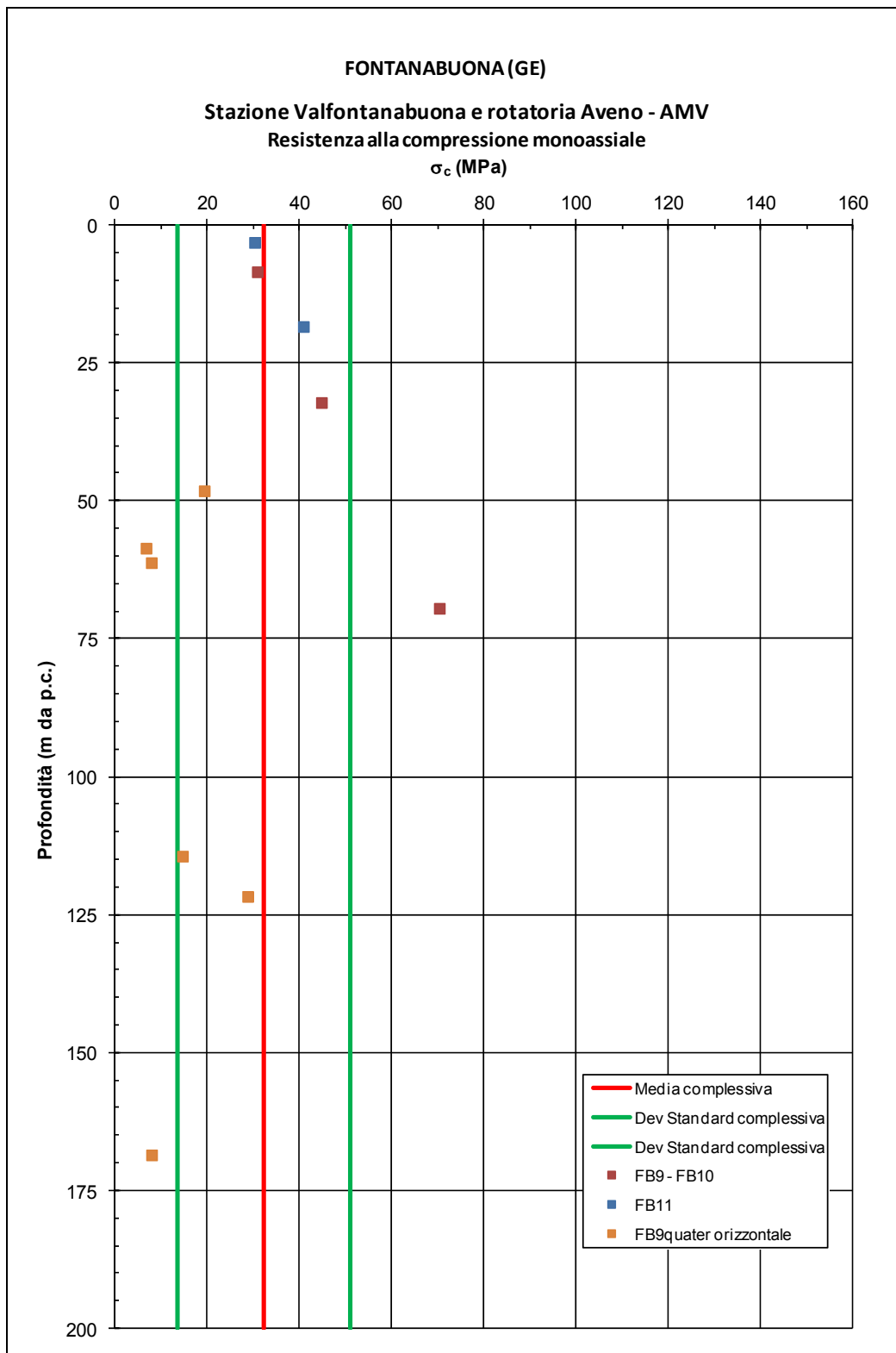


Figura 11.40 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno – Resistenza a compressione monoassiale

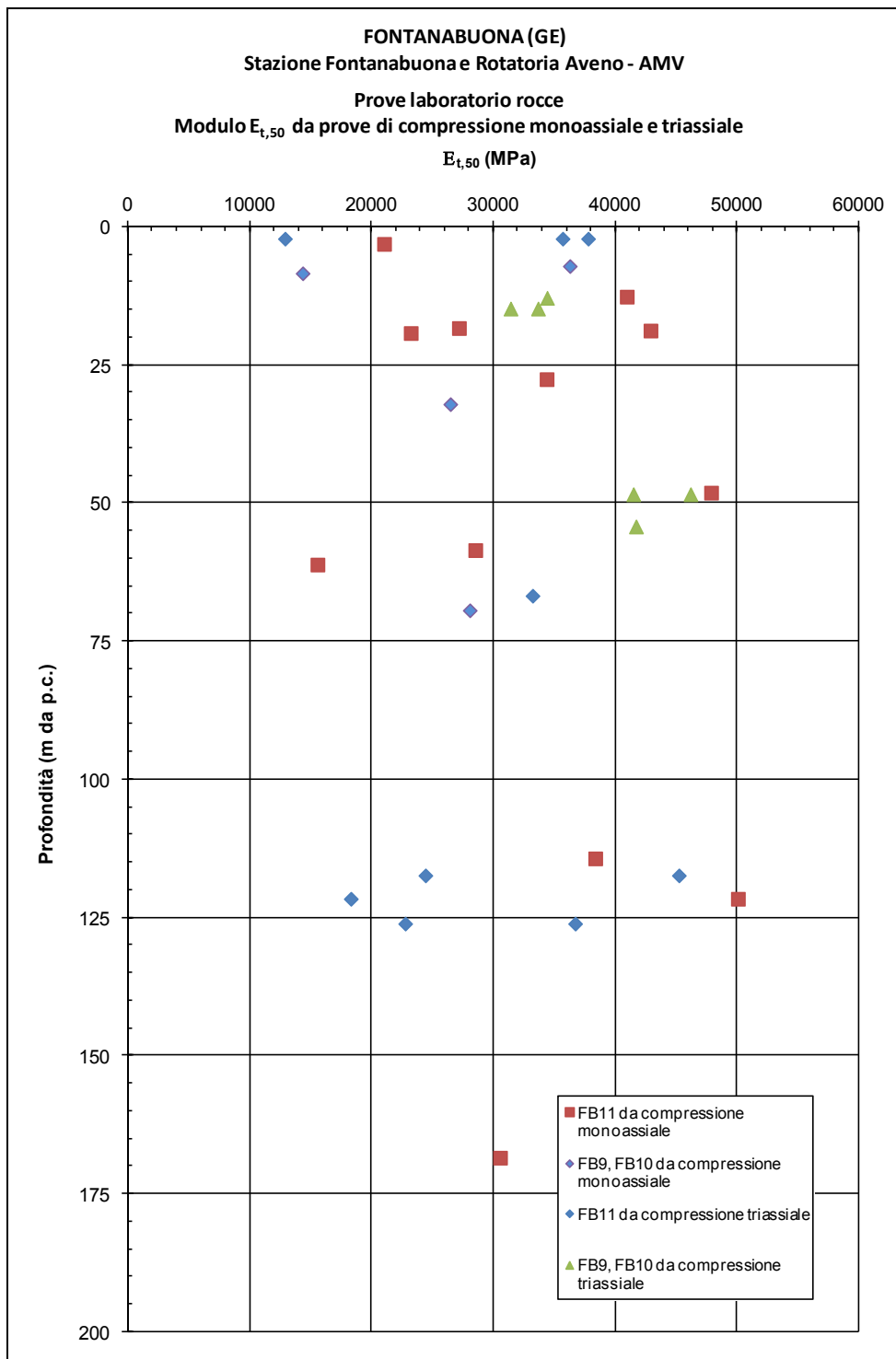


Figura 11.41 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo $E_{t,50}$ da prova di compressione monoassiale

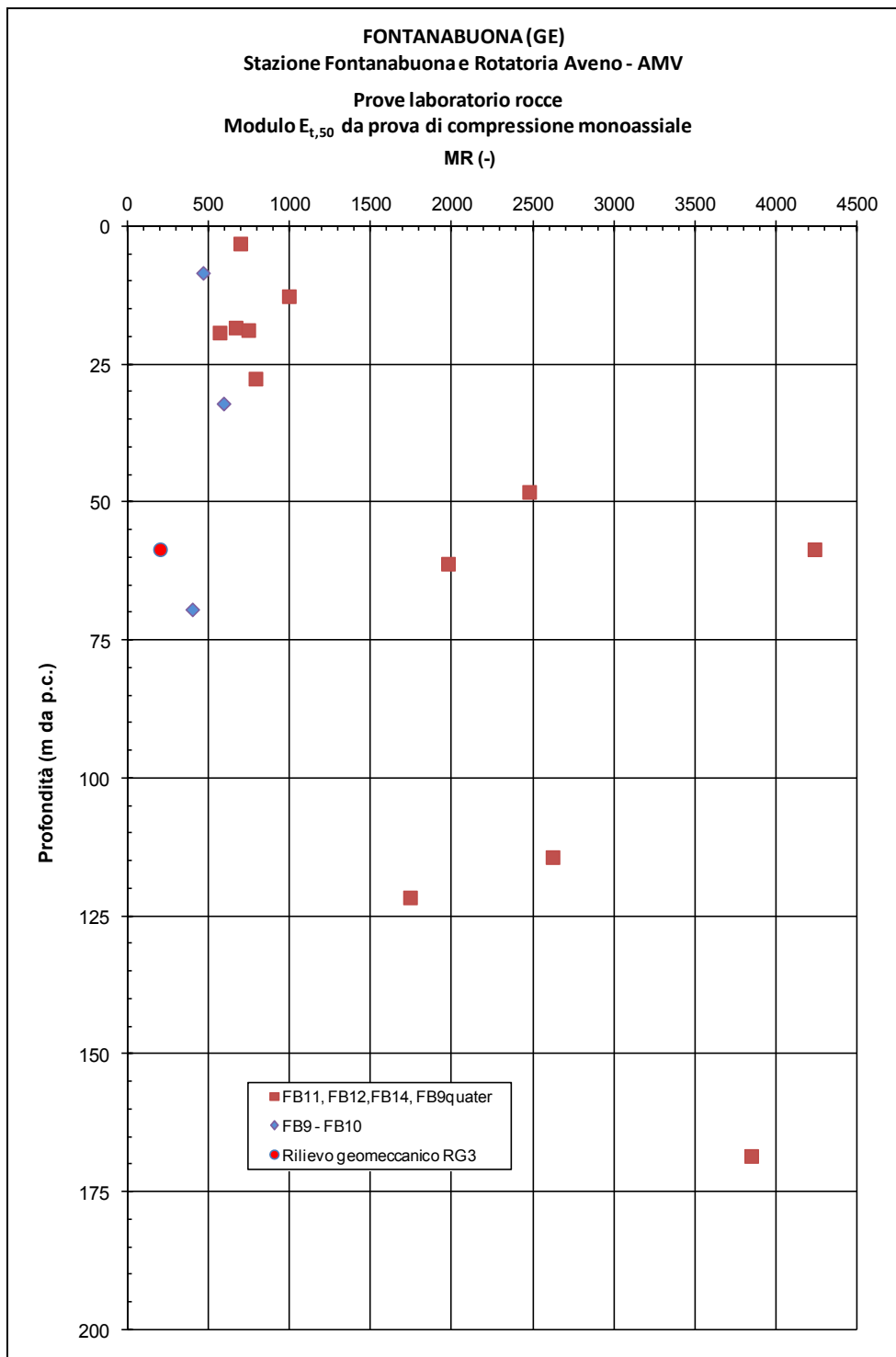


Figura 11.42 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Rapporto del modulo MR

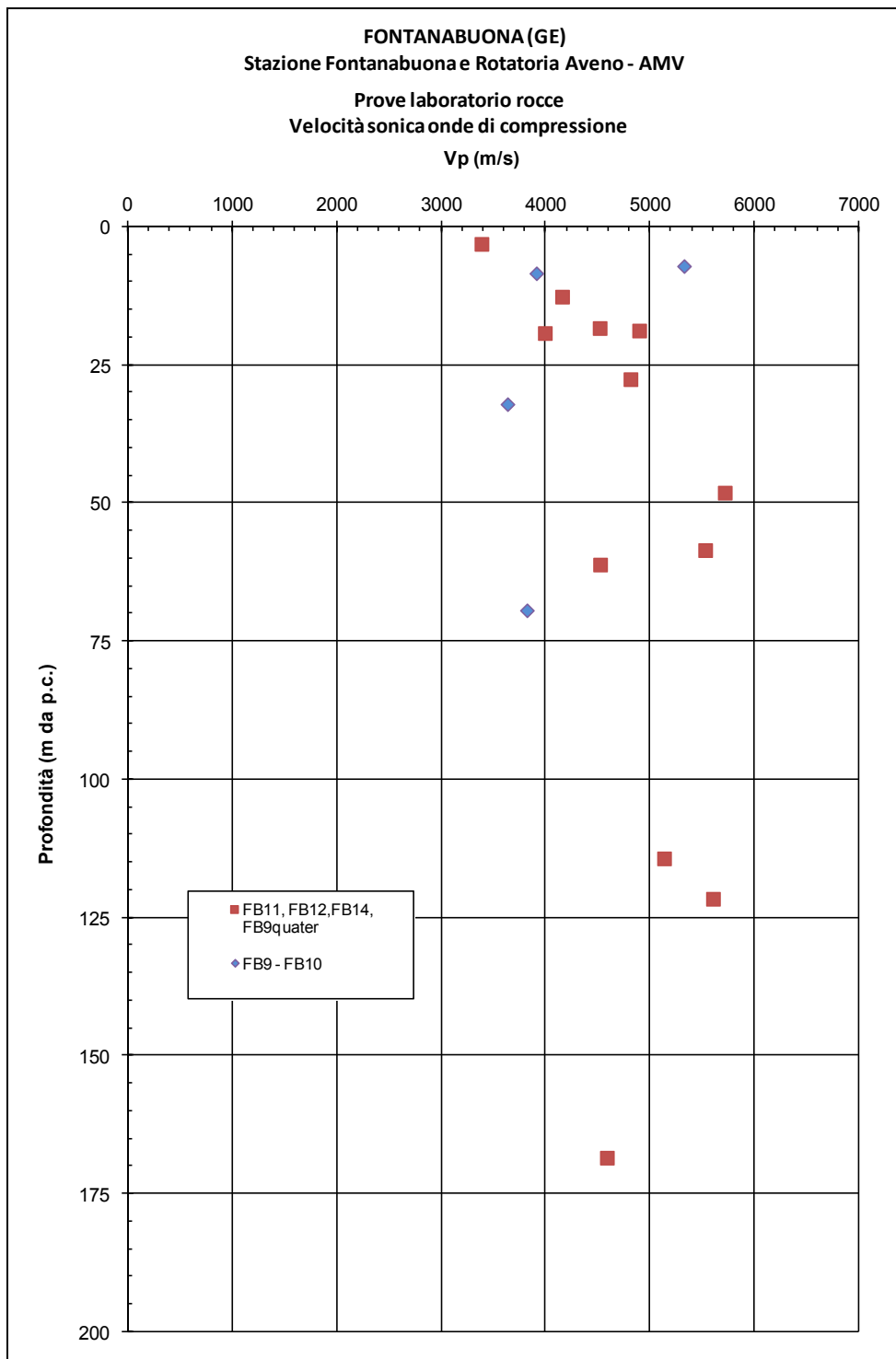


Figura 11.43 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Velocità sonica onde di compressione

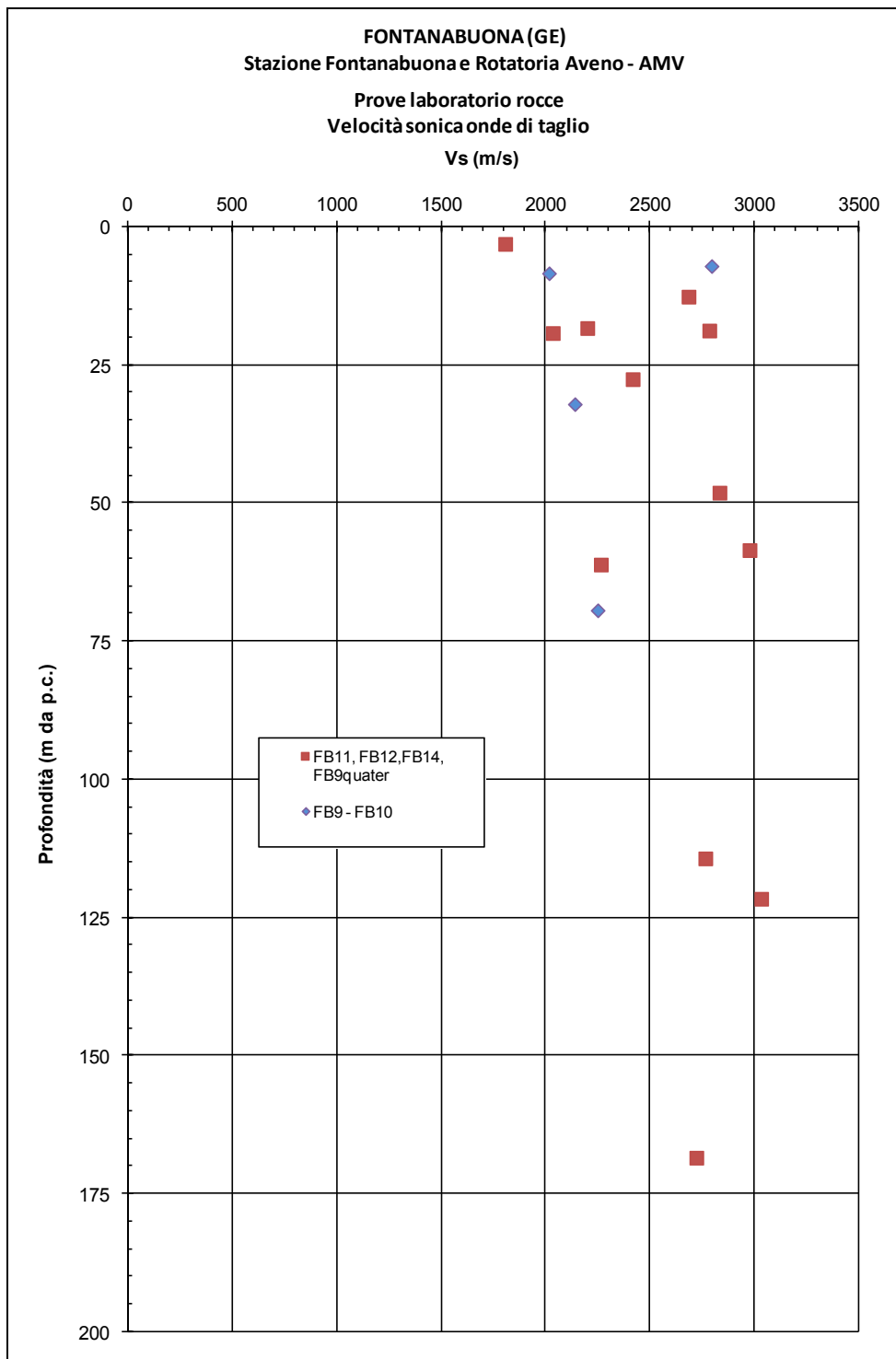


Figura 11.44 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Velocità sonica onde di taglio

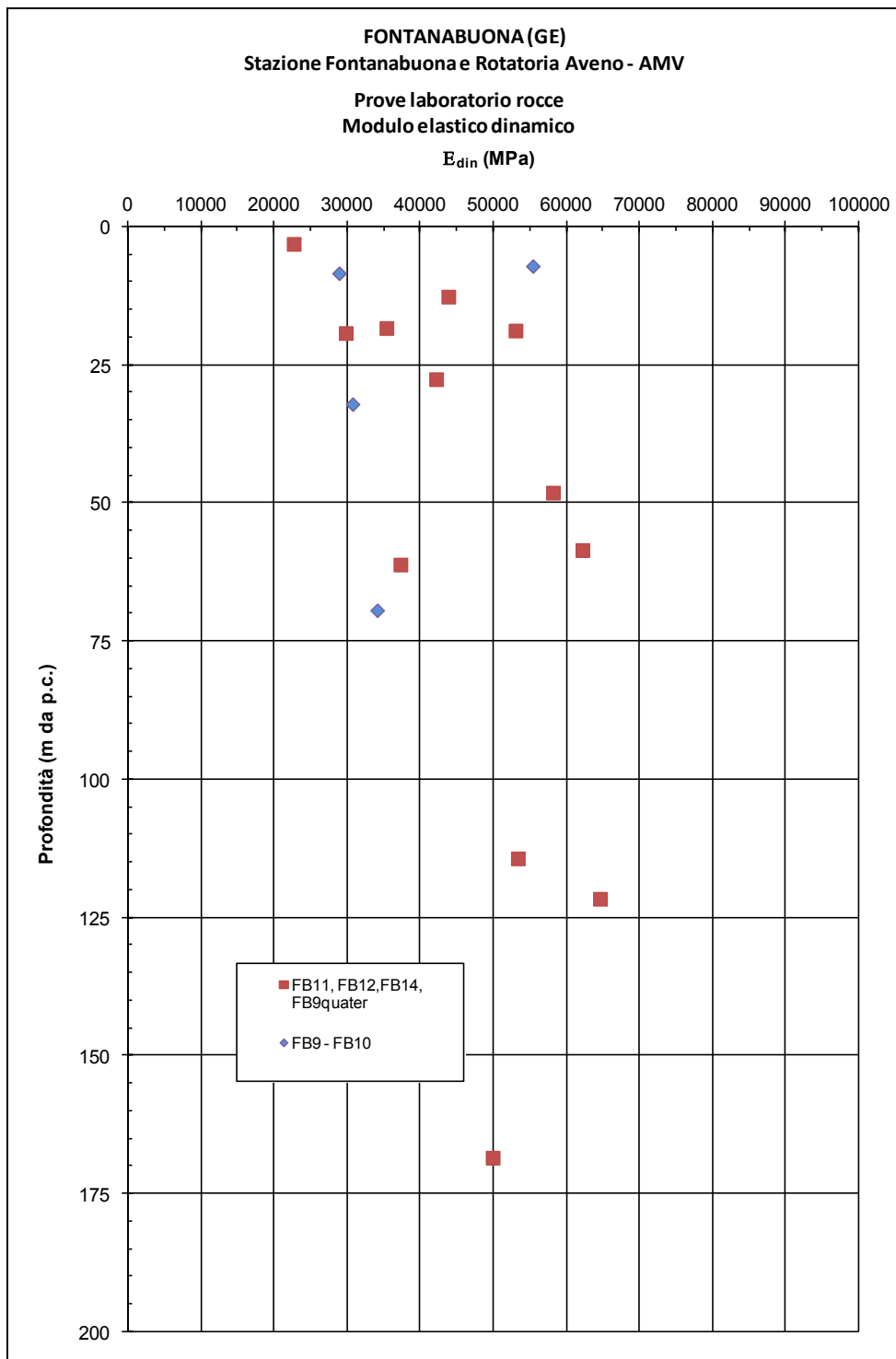


Figura 11.45 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo elastico dinamico

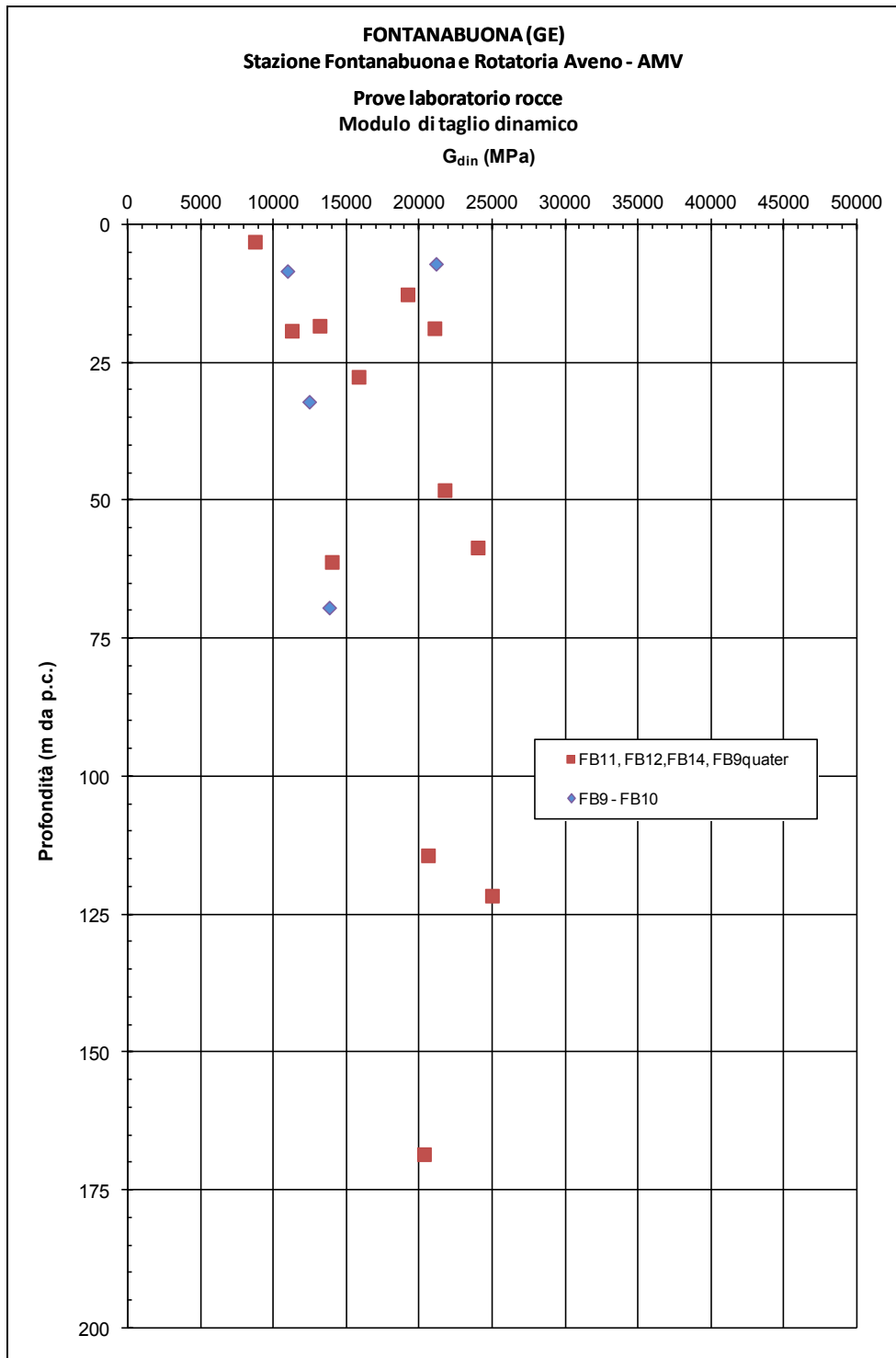


Figura 11.46 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo di taglio dinamico

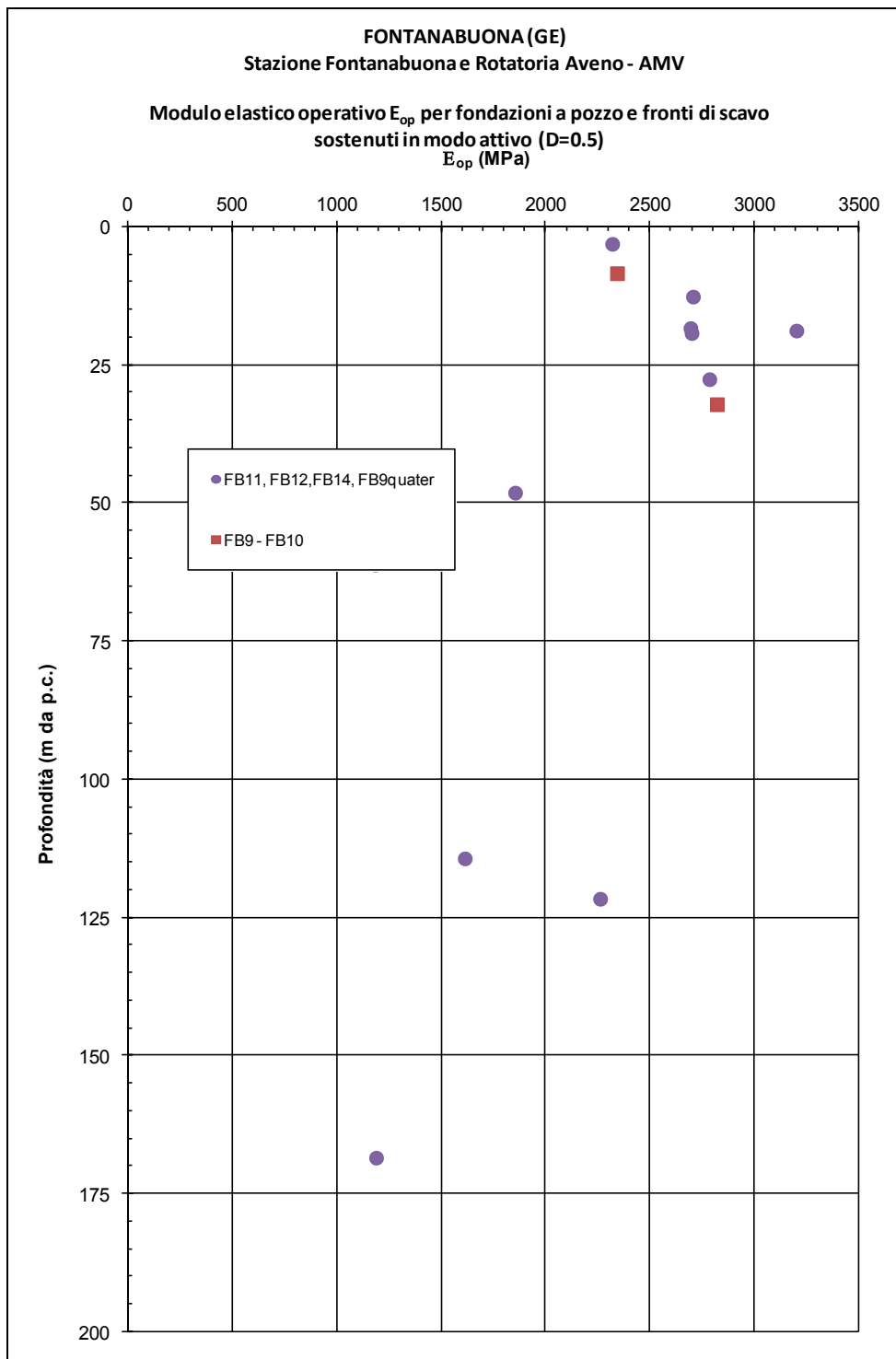


Figura 11.47 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo elastico operativo per fondazioni a pozzo e per fronti di scavo sostenuti in modo attivo (D=0.5)

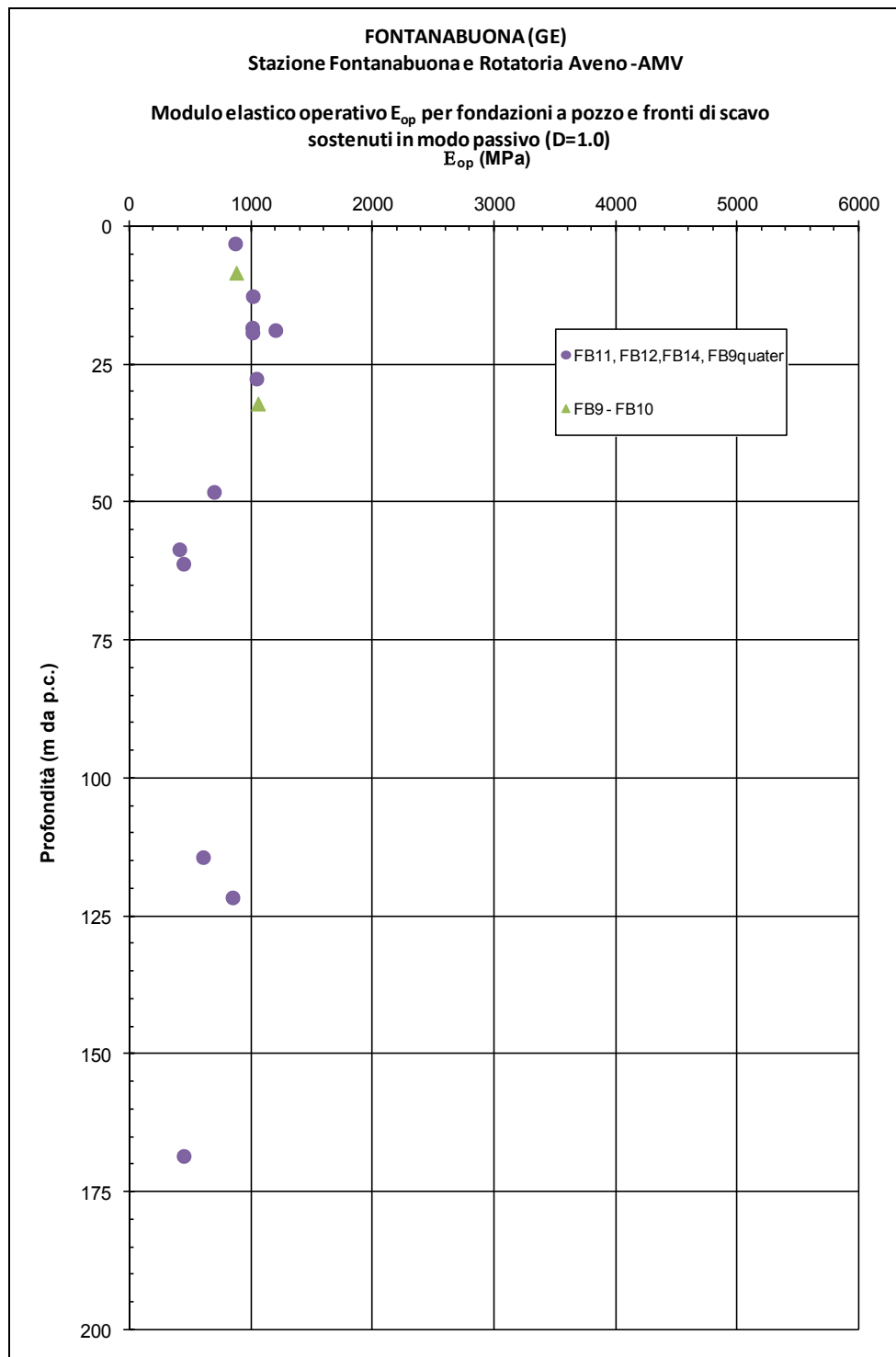


Figura 11.48 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo elastico operativo per fronti di scavo non sostenuti o sostenuti in modo passivo e per fondazioni dirette ($D=1.0$)

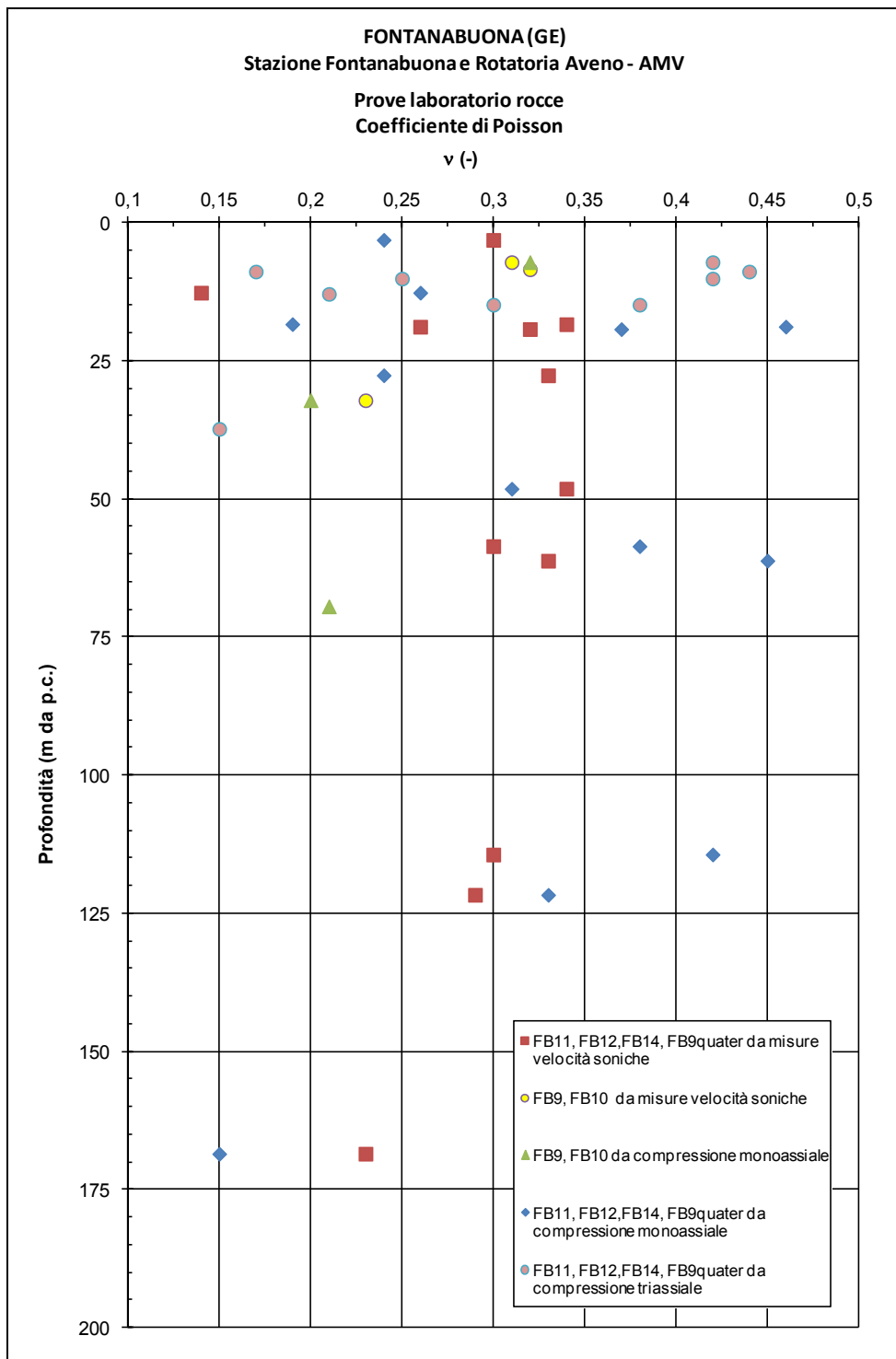


Figura 11.49 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Coefficiente di Poisson

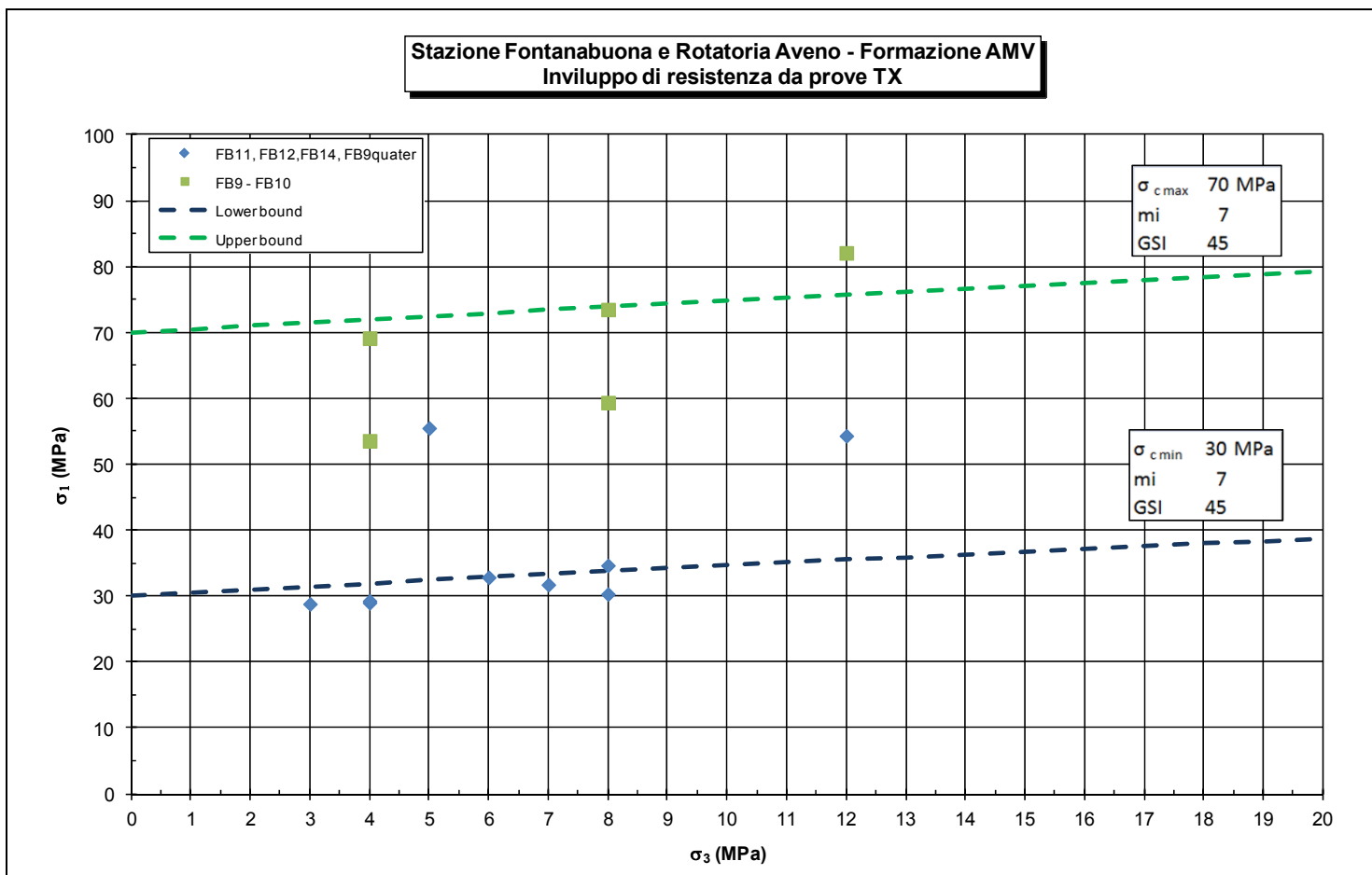


Figura 11.50 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Risultati prove TX

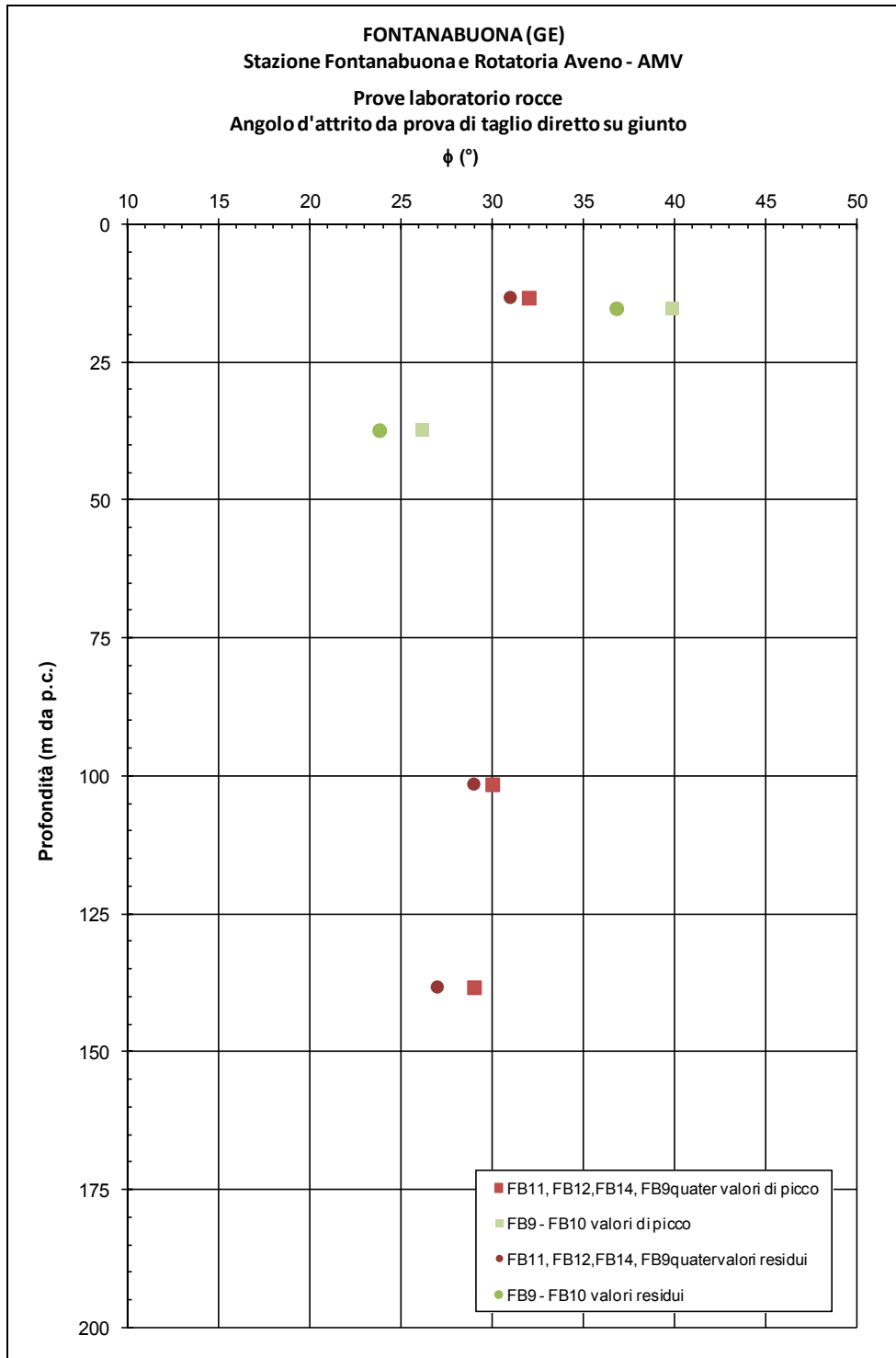


Figura 11.51 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Angolo d'attrito da prova di taglio diretto su giunto

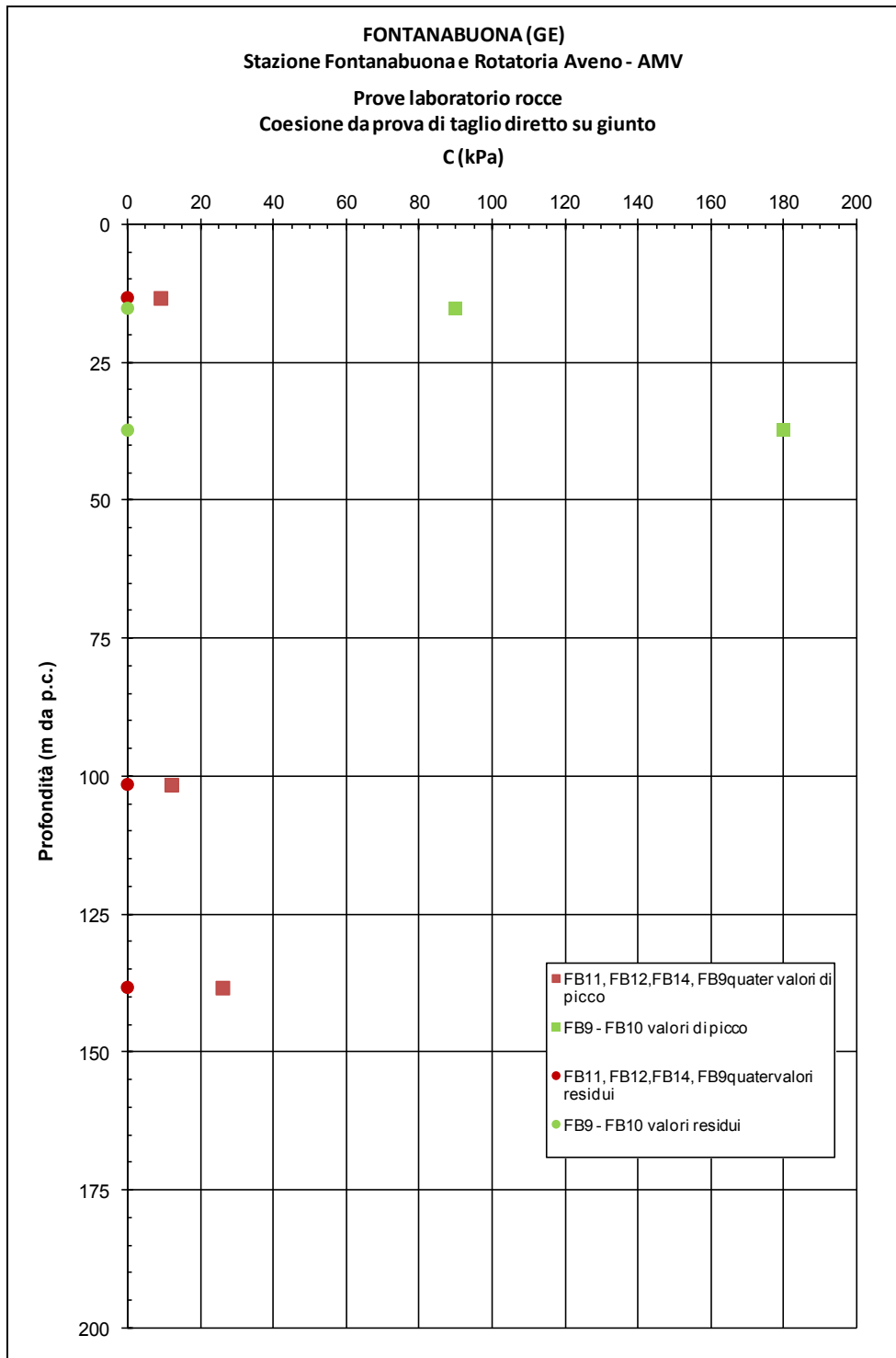


Figura 11.52 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Coesione da prova di taglio diretto su giunto

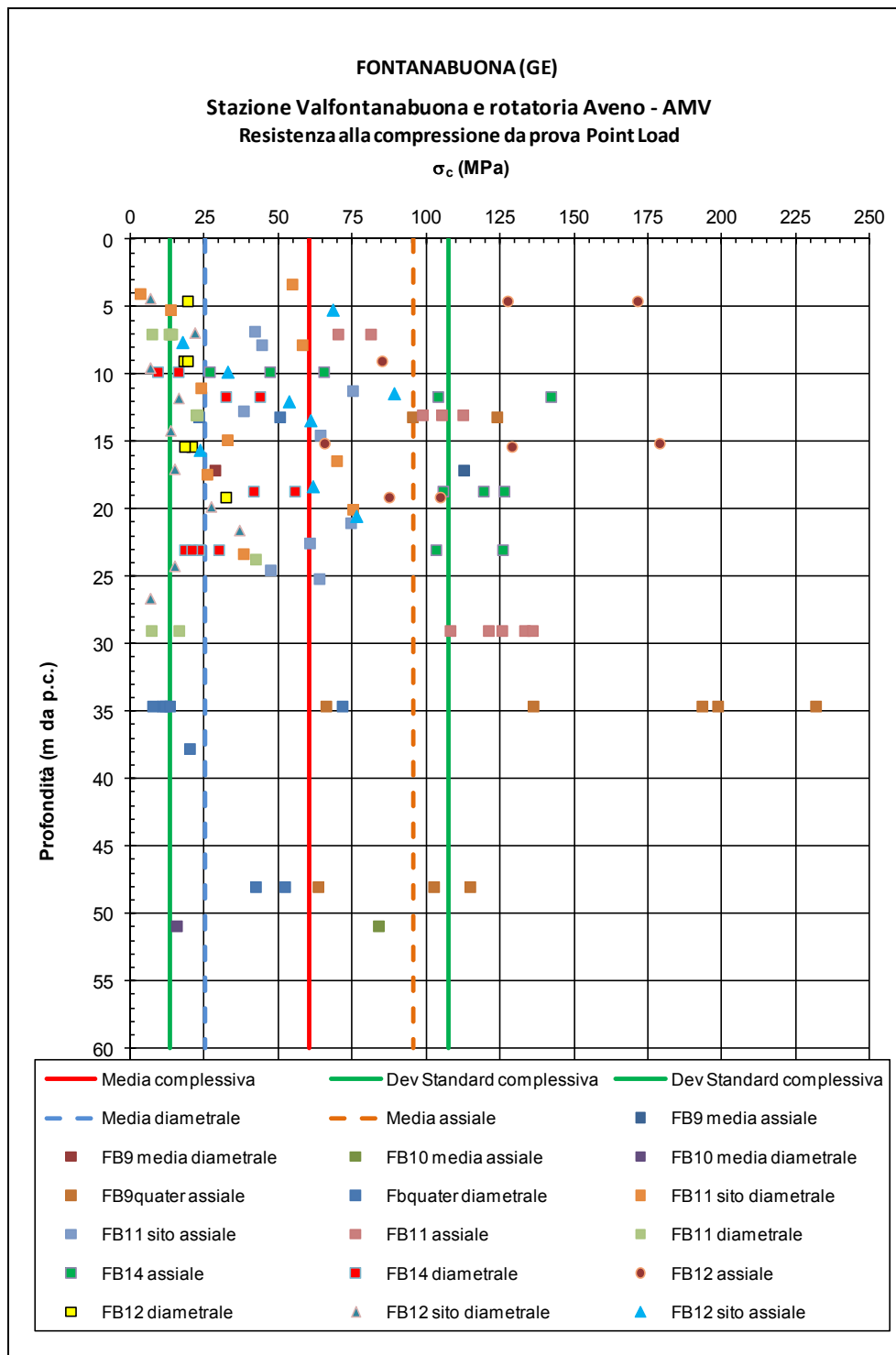


Figura 11.53 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Resistenza a compressione da prova Point Load

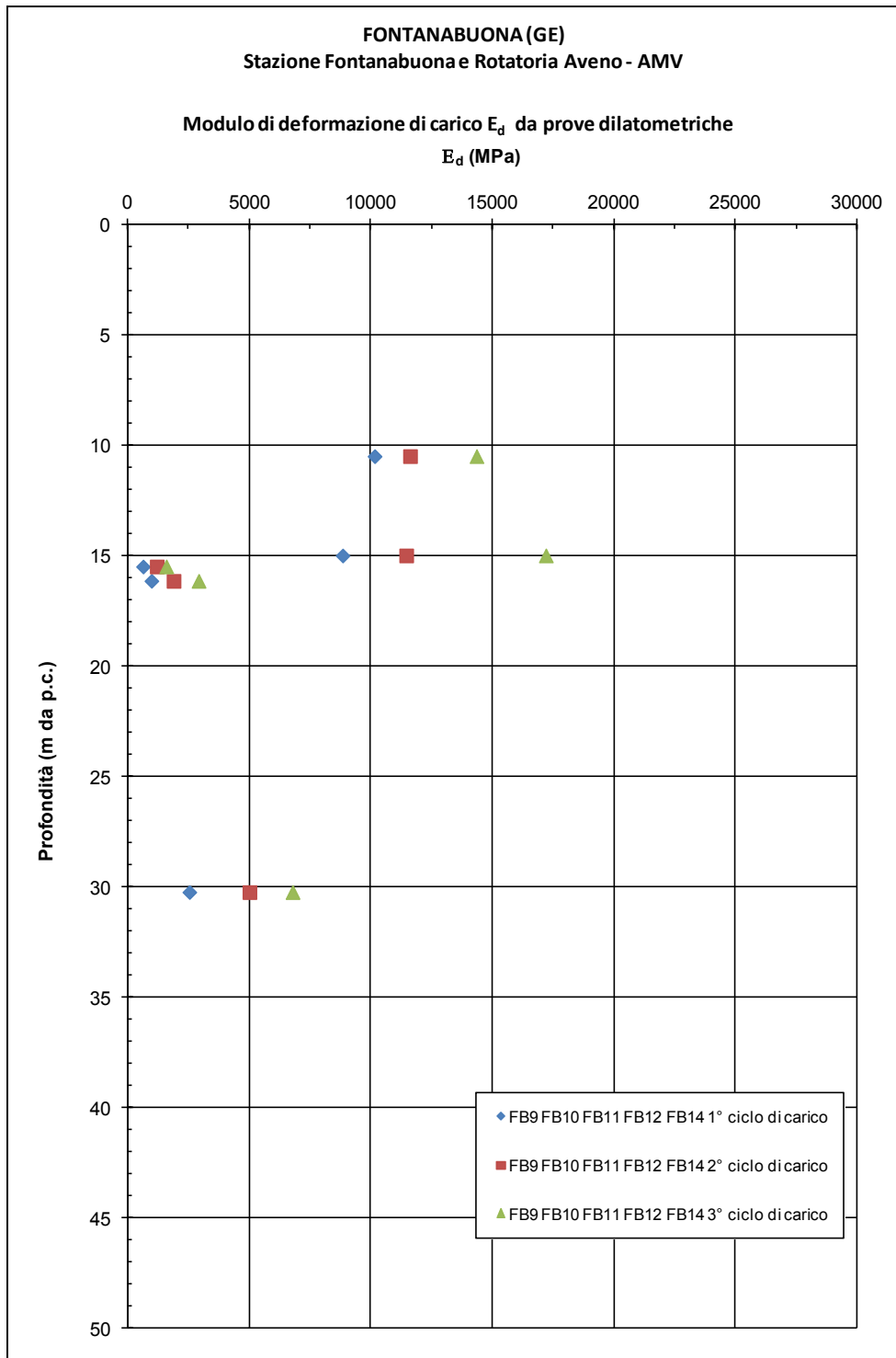


Figura 11.54 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo di deformazione di carico da prova dilatometrica

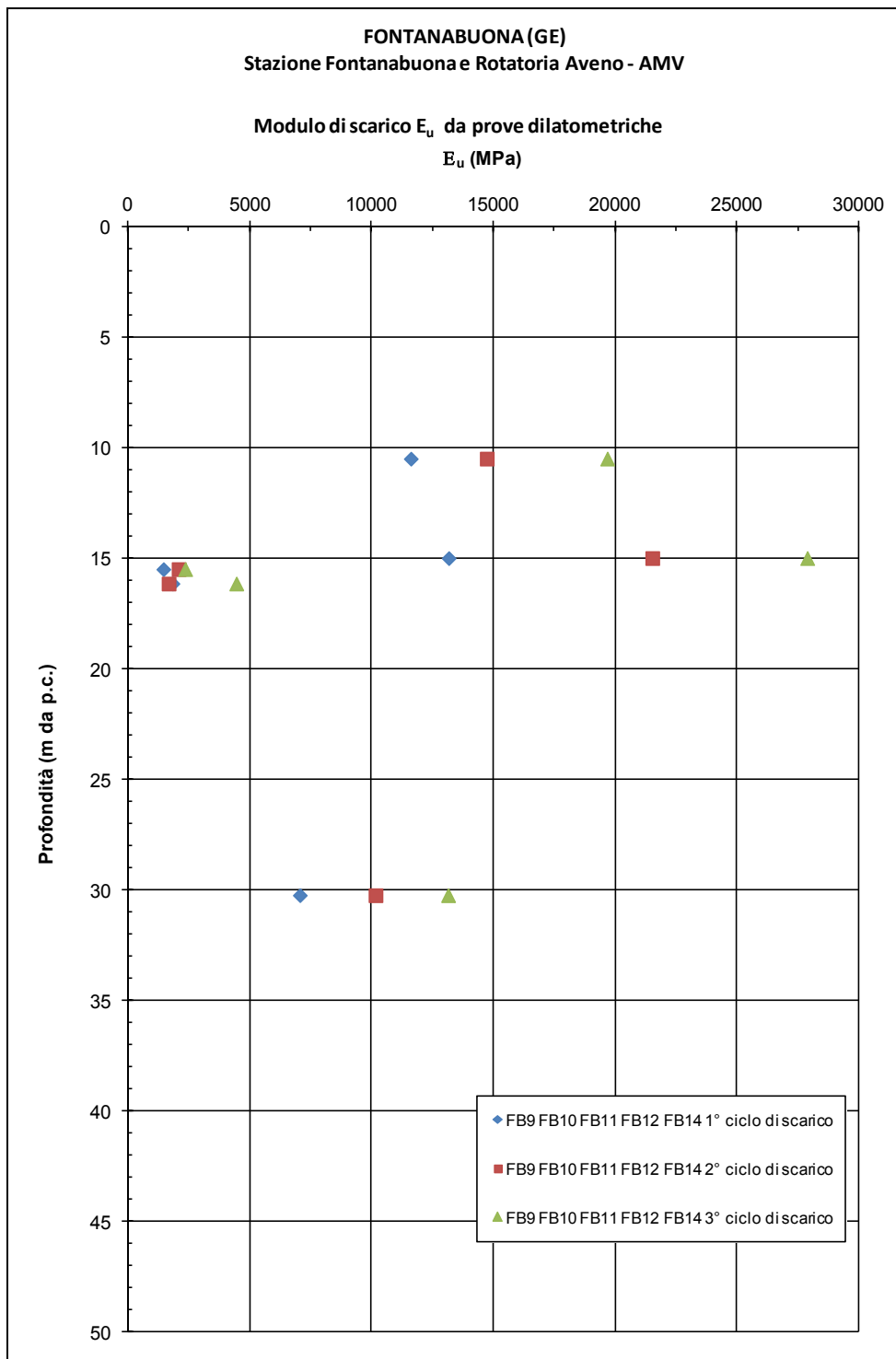


Figura 11.55 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo di scarico da prova dilatometrica

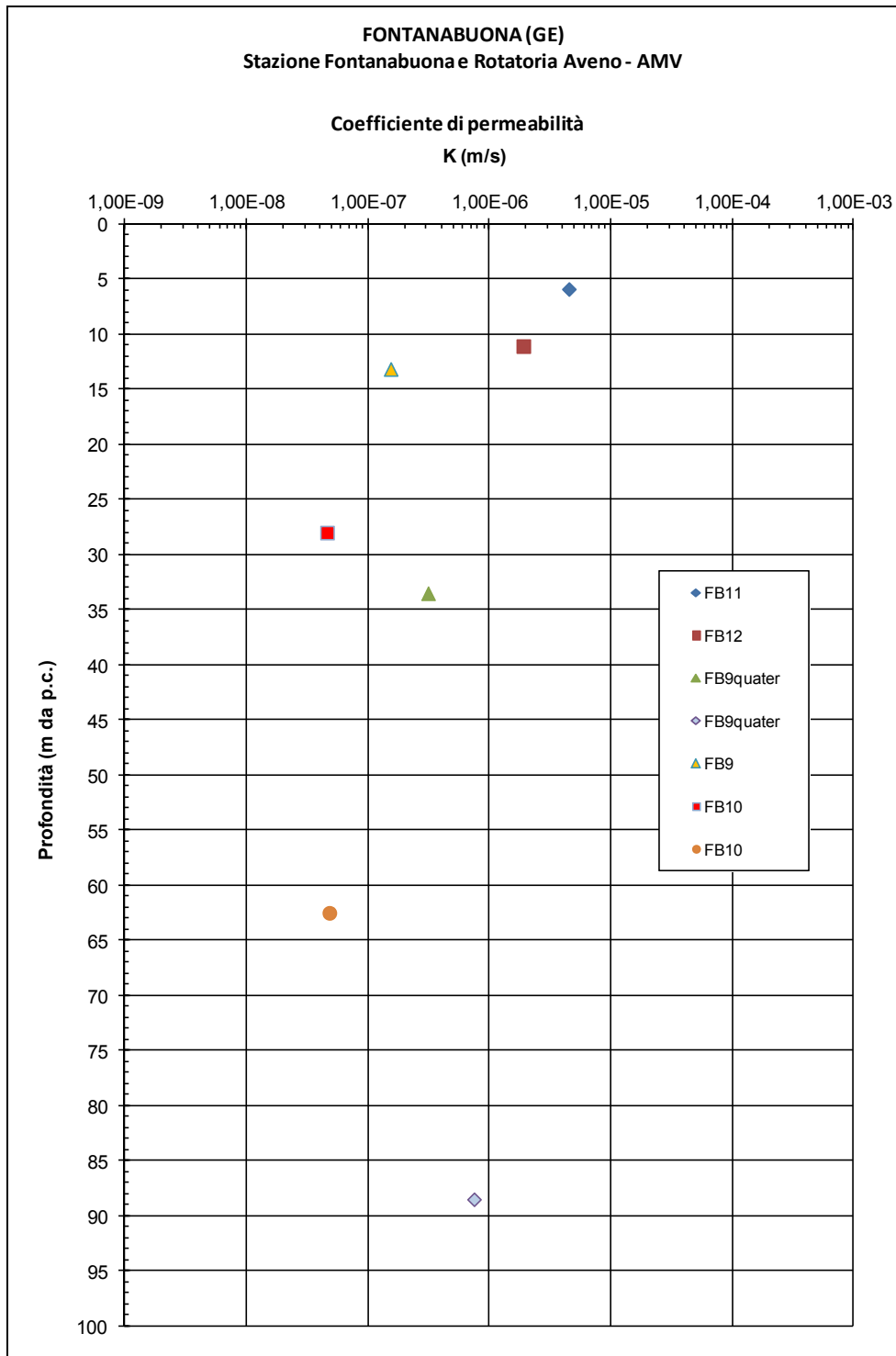


Figura 11.56 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Coefficiente di permeabilità

11.5 Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria di Aveno

11.5.1 Descrizione e caratteristiche generali

Gli Scisti Mangesiferi (SCM) sono costituiti da una successione torbidity pelitico-arenacea a composizione quasi esclusivamente silicoclastica. Macroscopicamente gli affioramenti presentano dominanza di metasiltiti grigio-verdastre fittamente laminate con subordinate intercalazioni di meta-areniti fini in strati decimetrici.

11.5.2 Indagini di riferimento

Per la caratterizzazione della formazione SCM in corrispondenza della Stazione di Fontanabuona e Rotatoria di Aveno, sono disponibili le seguenti indagini: sondaggio FB12 (tra 29 e 30 m di profondità) e sondaggio FB20.

11.5.3 Caratteristiche fisiche

Il peso di volume naturale γ_t può essere assunto variabile tra 26.5 kN/m³ e 27.5 kN/m³ (cfr. la Figura riportata nel seguito).

11.5.4 Parametri matrice lapidea

I parametri presi a riferimento per la caratterizzazione della matrice lapidea della roccia intatta sono i seguenti:

σ_c (*) = resistenza compressione monoassiale

I_{s50} = Point Load Index normalizzato

σ_c (***) = resistenza compressione monoassiale da prova Point Load ($\sigma_c = 24 \cdot I_{s50}$)

σ_T = resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)

E_{t50} = modulo di Young tangente

MR = rapporto di modulo (E_{t50}/σ_c)

ν = rapporto di Poisson

V_p = velocità delle onde di compressione misurata su provino

V_s = velocità sonica delle onde di taglio misurata su provino

E_{din} = modulo elastico dinamico

G_{din} = modulo di taglio dinamico

m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta

m_b, s, a = parametri criterio di rottura di Hoek-Brown (risultati prove triassiali)

L'andamento di queste grandezze, misurato in funzione della profondità, è riportato nei diagrammi delle Figure seguenti.

I valori rappresentativi della resistenza a compressione sono riportati nella Tabella seguente:

| Resistenza a compressione | MPa | MPa |
|--|---------------------|----------------|
| Compressione semplice laboratorio | | |
| | media | 26 |
| | min | 7 |
| | max | 45 |
| da Point Load | diametricale | assiale |
| | media | 73 |
| | min | 37 |
| | max | 109 |

**Tabella 11.29 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno -
Resistenza a compressione**

11.5.5 Parametri R.Q.D., RMR'89 e GSI

L'andamento dei valori di R.Q.D. con la profondità rilevato nei sondaggi è riportato nelle Tabelle seguenti:

| AMBITO | | Sondaggio | | | | | |
|---|------------|-----------|--------|---------------|-----------|------------------|-----------|
| STAZIONE VALFONTANABUONA E ROTATORIA DI AVENO | | FB12 | FB20 | Campagna 2013 | | Formazione SCM | |
| | | | | | | | |
| Sondaggio | Profondità | | RQD | | RQD medio | RQD media pesata | |
| | da (m) | a (m) | da (%) | a (%) | (%) | | |
| FB20 | 7 | 8 | <25 | | 10 | 10.00 | |
| | 8 | 9 | 25 | 50 | 38 | 37.50 | |
| | 9 | 13 | <25 | | 10 | 40.00 | |
| | 13 | 14 | 50 | 75 | 63 | 62.50 | |
| | 14 | 15 | 25 | 50 | 38 | 37.50 | |
| | 15 | 17 | 100 | | 50 | 100.00 | |
| | 17 | 19 | 50 | 75 | 63 | 125.00 | |
| | 19 | 20 | 75 | 90 | 83 | 82.50 | 38 |
| FB12 | 29 | 30 | <25 | | 10 | 10.00 | 10 |

Tabella 11.30 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Sondaggi FB1 SV1 SV2 SV3 - Valori di RQD

I valori medi sono sintetizzati nella Tabella seguente:

| | | |
|--|------------|------------------|
| Stazione di Fontanabuona e rotatoria di Aveno | | |
| Formazione | SCM | |
| | | RQD medio |
| Sondaggi di riferimento | FB20 | 38 |
| | FB12 | 10 |

Tabella 11.31 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Valori medi di RQD

Il parametro RMR_{89} è stato stimato sulla base di quanto descritto nel par. 9, nel caso specifico si rileva che:

- è stata fatta una determinazione a partire dai parametri rilevati nei sondaggi e nelle prove di laboratorio ($RMR_{89} = 37$).

L'ammasso roccioso può essere mediamente caratterizzato da parametri RMR_{89} compresi tra 25 e 35.

Il parametro GSI è quindi stato assunto pari a 20.

11.5.6 Inviluppi di rottura

Gli inviluppi di rottura dell'ammasso roccioso sono stati determinati sulla base di quanto riportato nel par. 9, tenendo conto:

- dei valori rappresentativi di GSI (20 per la roccia fessurata / alterata, valori compatibili anche con quanto suggerito da Hoek e Marinos 2002);
- resistenza a compressione σ_c pari a 25 MPa;
- D coefficiente di disturbo pari a 0.70;
- condizione slopes - mechanical excavation (altezza 30 m);
- parametro - $m_i = 7$

Nelle Figure seguenti sono riportati i diagrammi degli inviluppi di rottura di Hoek e Brown ottenuti con la parametrizzazione descritta, a partire dai quali sono definiti i parametri caratteristici dell'ammasso.

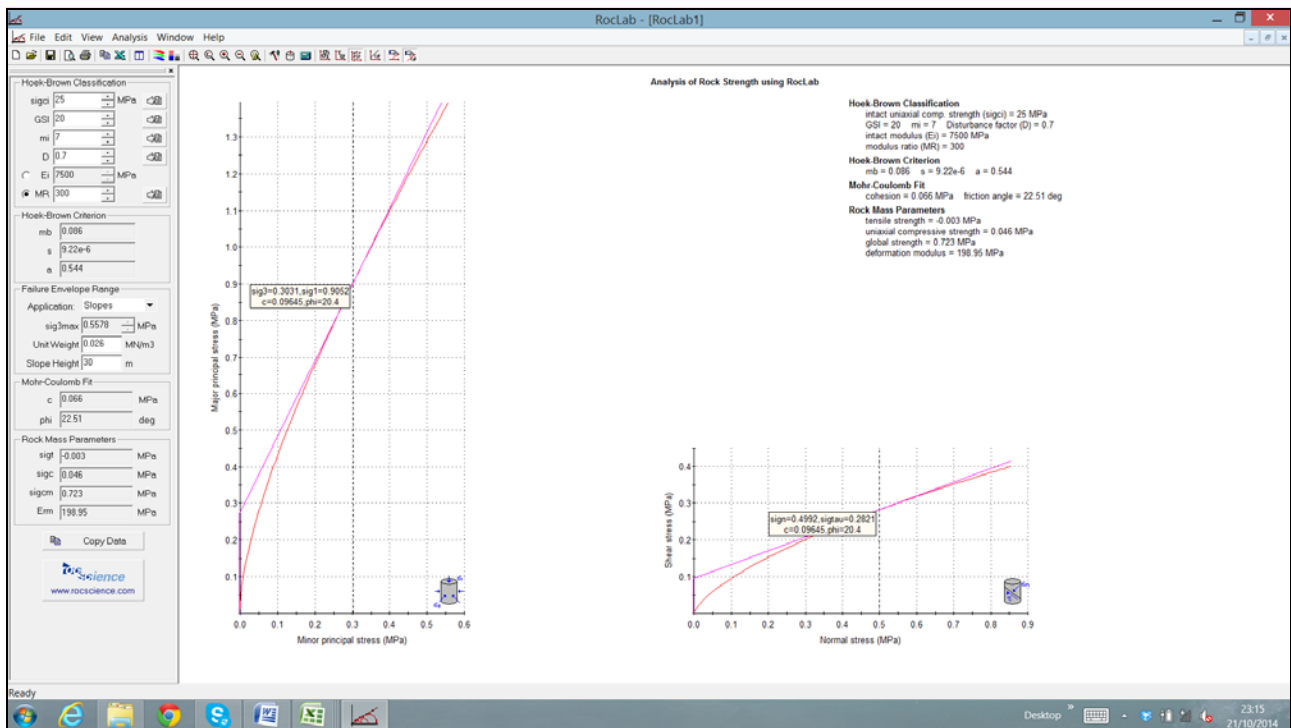


Figura 11.57 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso fessurato / alterato

11.5.7 Caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso

La deformabilità dell'ammasso roccioso è stata valutata tenendo conto di tutti i dati disponibili, in particolare:

- risultati delle prove dilatometriche;
- risultati delle misure delle velocità soniche misurate in sito (Cross-Hole);
- stima dei moduli elastici operativi in accordo a Serafim & Pereira - 1983, a partire dalla resistenza a compressione σ_c , dal GSI e ponendo:
 - o D = coefficiente disturbo = 0.50 per fondazioni a pozzo e fronti di scavo sostenuti in modo attivo
 - o D = 1.0 per fondazioni dirette, rilevati e fronti di scavo non sostenuti oppure sostenuti in modo passivo.

I risultati ottenuti sono rappresentati da Figuraa Figura

11.5.8 Caratteristiche di permeabilità

I coefficienti di permeabilità dell'ammasso roccioso determinati con prove di permeabilità Lugeon sono riportati nella Figura riportata nel seguito. In relazione alla macrostruttura e al grado di fratturazione della formazione, i valori riportati possono essere rappresentativi della permeabilità in condizioni di flusso in direzione orizzontale; quelli in direzione verticale possono essere 1/3 ordini di grandezza inferiori.

11.5.9 Tabella riassuntiva dei parametri caratteristici

Si riporta nel seguito la Tabella di sintesi dei parametri caratteristici.

| | Matrice lapidea | | Ammasso roccioso compatto | Ammasso roccioso fessurato/alterato |
|---------------------------------|-----------------------------|---|---|--|
| γ_t (kN/m ³) | 26 ÷ 27 | γ_t (kN/m ³) | 26 ÷ 27 | |
| σ_c (MPa) (*) | 7 ÷ 45 | RMR ₈₉ (-) | 25 ÷ 35 | |
| I _{s50} (MPa) | 1.0 ÷ 3.0 | GSI (-) | | 20 |
| σ_c (MPa) (**) | diametrico 25 assiale 75 | JRC (-) | | |
| σ_T (MPa) | | JCS (MPa) | | |
| E _{t50} (GPa) | 10 ÷ 30 | k (m/s) | 1·10 ⁻⁸ ÷ 5·10 ⁻⁴ | |
| MR (-) | 600 ÷ 800 | E _d (GPa) | | 0.3 ÷ 0.7 |
| V _p (m/s) | 2500 - 4000 | E _u (GPa) | | 0.6 ÷ 1.1 |
| V _s (m/s) | 1400 - 2400 | E _{op} D=0.5 (GPa) | | 1.5 ÷ 2.7 |
| E _{din} (GPa) | 12 ÷ 35 | E _{op} D=1.0 (GPa) | | 0.60 ÷ 1.0 |
| G _{din} (GPa) | 5 ÷ 15 | c (kPa) | | 50 (σ=0.2MPa) 60 ÷ 90 (σ=0.5MPa) |
| v (-) | 0.25 | φ (°) | | 27 (σ=0.2MPa) 20 (σ=0.5MPa) |
| m _i (-) | 7 | m _b (-) | | ≈ 0.086 |
| m _b | | s (-) | | ≈ 9.22·10 ⁻⁶ |
| s | | a (-) | | 0.544 |
| a (-) | | φ _{p,joint} (°), c _{p,joint} (kPa) | | |
| | | φ _{r,joint} (°), c _{r,joint} (kPa) | | |

Tabella 11.32 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Parametri caratteristici

I parametri di resistenza indicati sono validi per pressioni di confinamento nell'intorno di 0.5 MPa (0.25÷0.75 MPa). Per pressioni sensibilmente inferiori i corrispondenti valori dei parametri di resistenza potranno essere individuati utilizzando le Figure in cui sono riportati gli involuppi di rottura.

Simbologia:

- γ_t = peso di volume naturale;
- s_c (*) = resistenza compressione monoassiale
- s_c (***) = resistenza compressione monoassiale da prova Point Load ($s_c = 24 \cdot I_{s50}$)
- s_T = resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)
- E_{t50} = modulo di Young tangente
- MR = rapporto di modulo (E_{t50}/s_c)
- ν = rapporto di Poisson
- V_P = velocità di propagazione delle onde di compressione
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio
- E_{din} = modulo elastico dinamico
- G_{din} = modulo di taglio dinamico
- m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta
- m_b = parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
- s = parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
- a = parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
- $C_{p,joint}$ = coesione di picco (da prova di taglio su giunto)
- $\phi_{p,joint}$ = angolo di attrito di picco (da prova di taglio su giunto)
- $C_{r,joint}$ = intercetta di coesione residua (da prova di taglio su giunto)
- $\phi_{r,joint}$ = angolo di attrito residuo (da prova di taglio su giunto)
- RMR₈₉ = Rock Mass Rating
- GSI = Geological Strength Index
- JRC = rugosità del giunto
- JCS = resistenza a compressione del giunto
- k = coefficiente di permeabilità da prova Lugeon
- E_d = modulo di deformabilità di carico dell'ammasso (da prova dilatometrica)
- E_u = modulo di scarico (da prova dilatometrica)
- E_{UR} = modulo elastico (da prova dilatometrica)
- c = intercetta di coesione (criterio di rottura di Hoek & Brown)
- ϕ = angolo di attrito (criterio di rottura di Hoek & Brown)

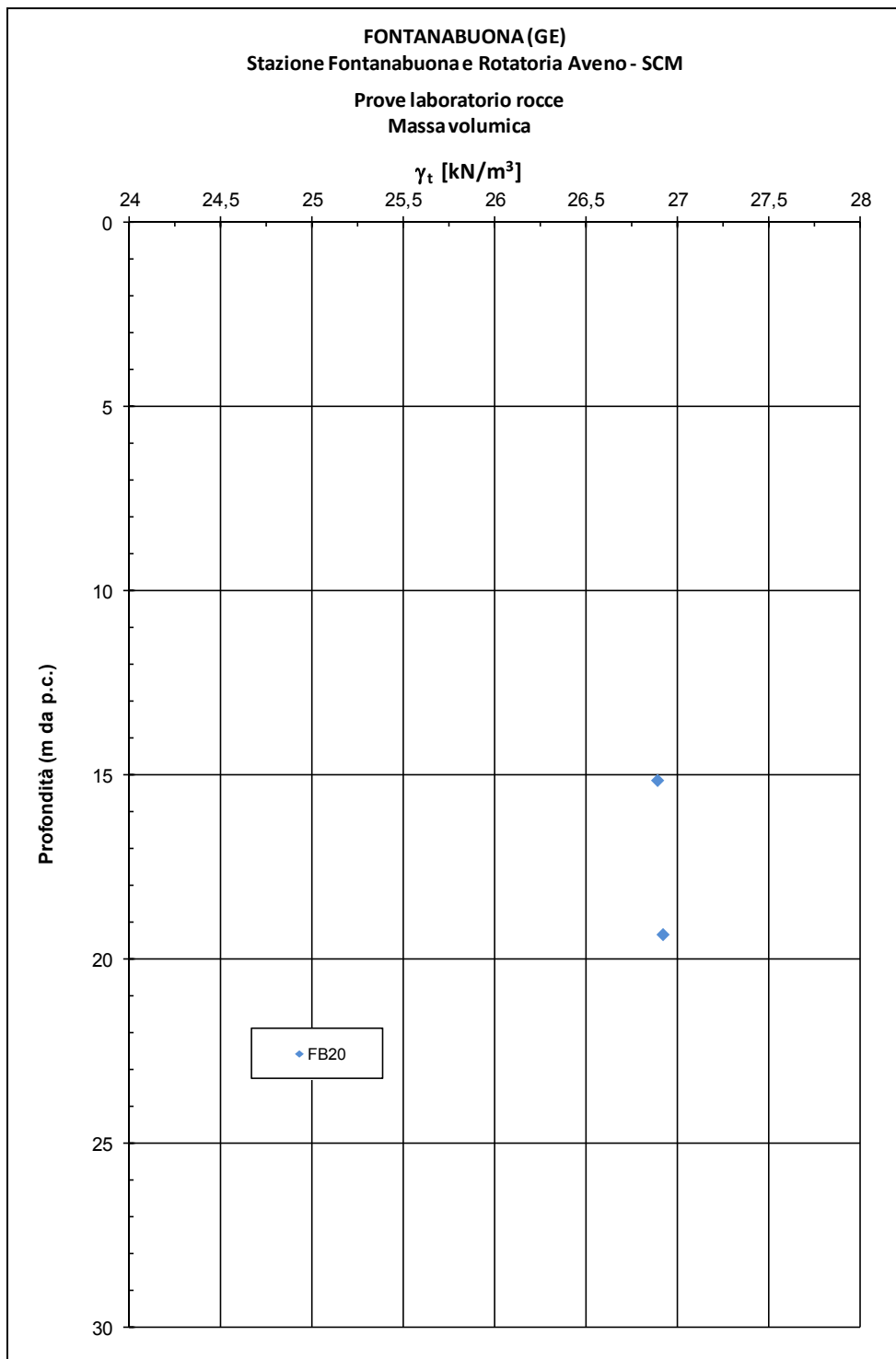


Figura 11.58 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Peso di volume

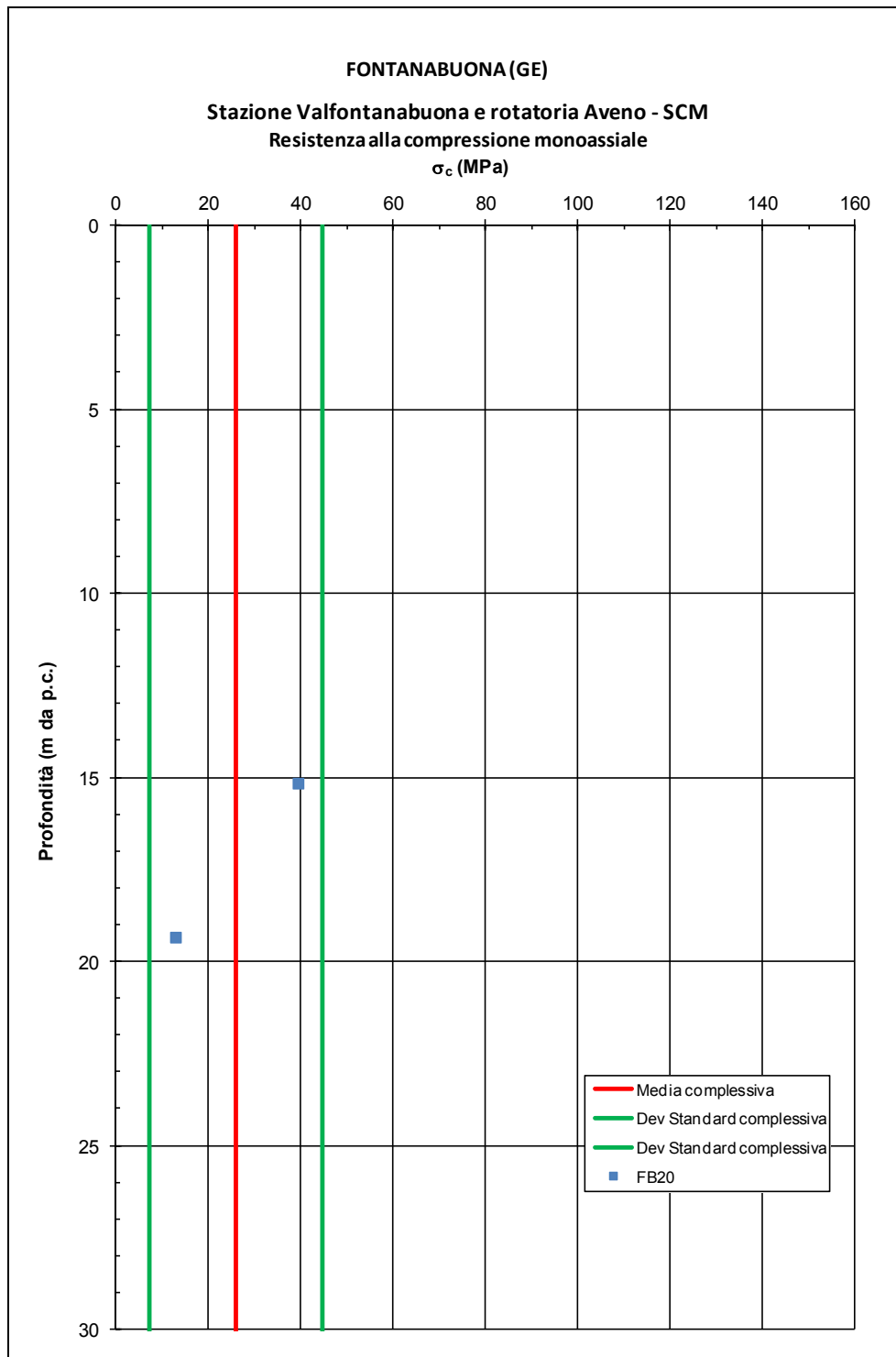


Figura 11.59 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno – Resistenza a compressione monoassiale

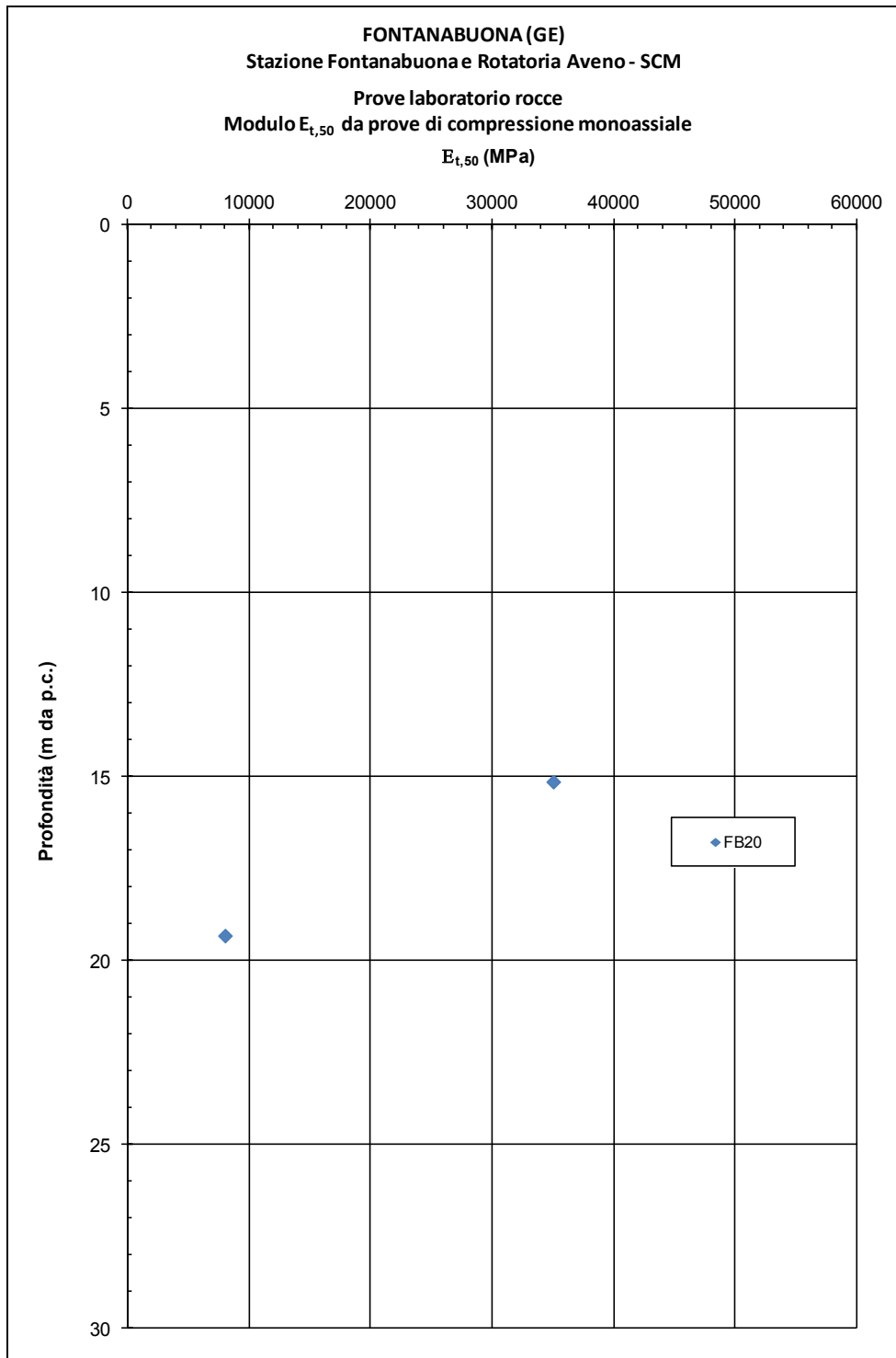


Figura 11.60 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo $E_{t,50}$
da prova di compressione monoassiale

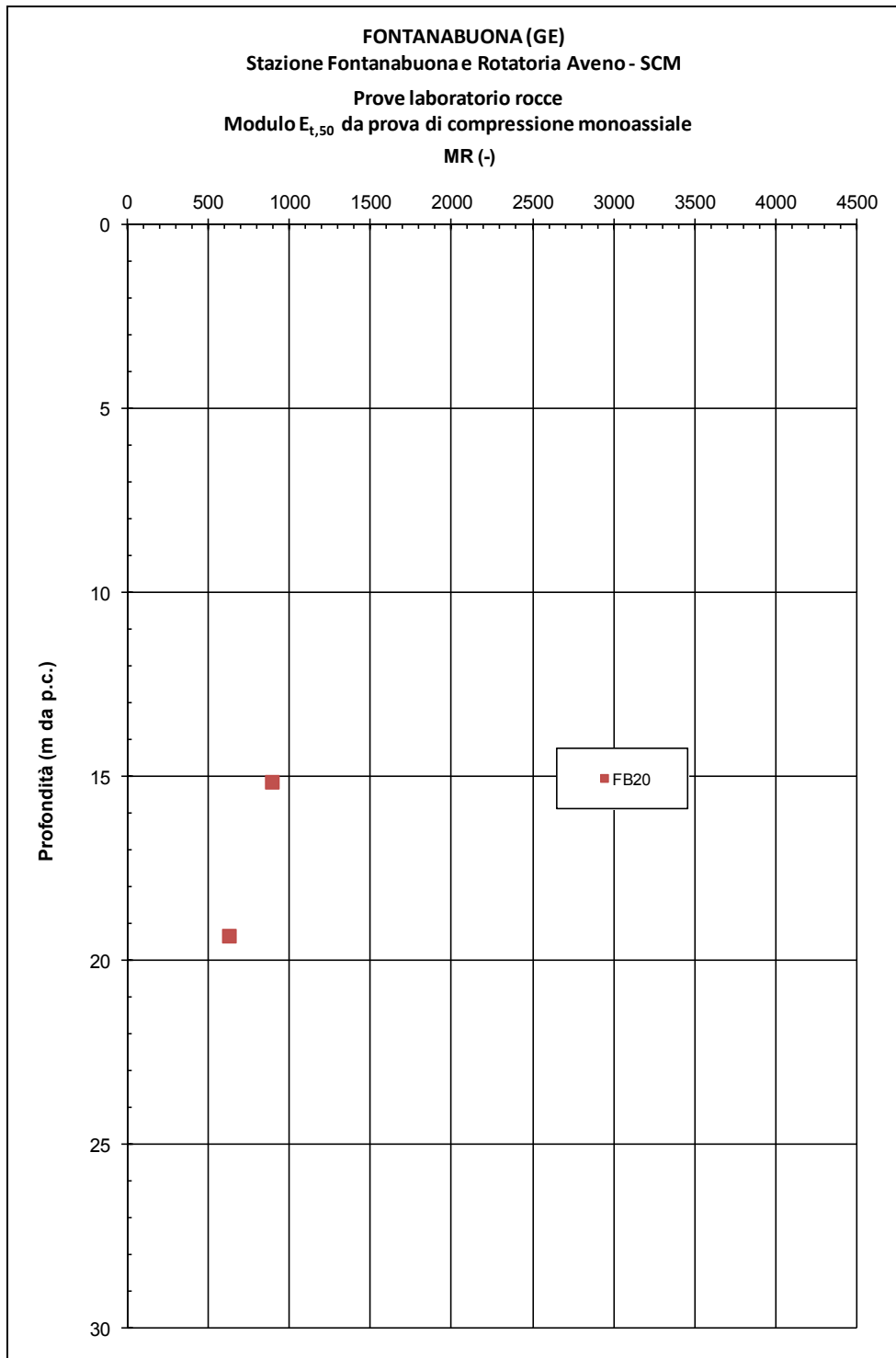


Figura 11.61 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Rapporto del modulo MR

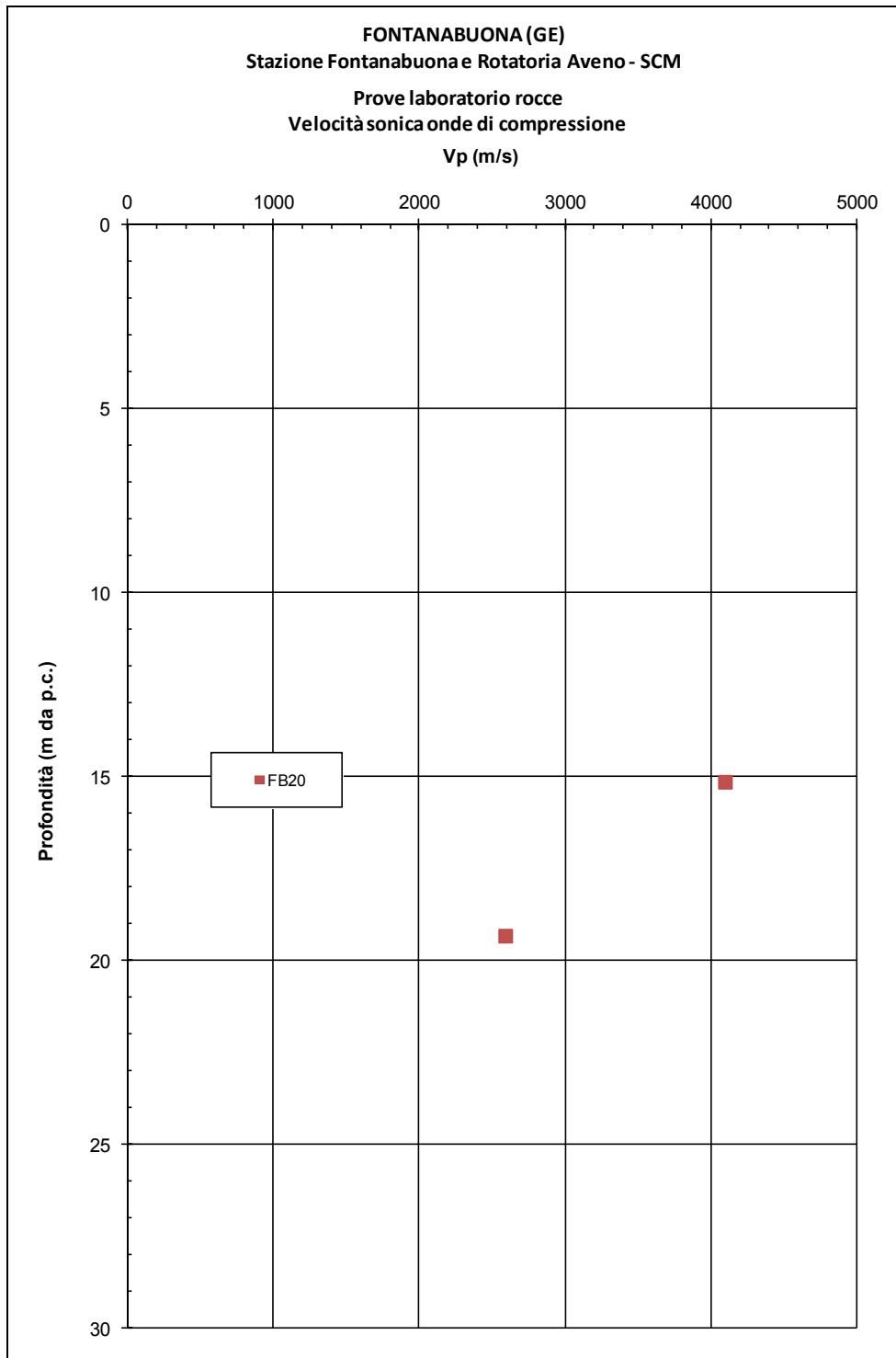


Figura 11.62 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Velocità sonica onde di compressione

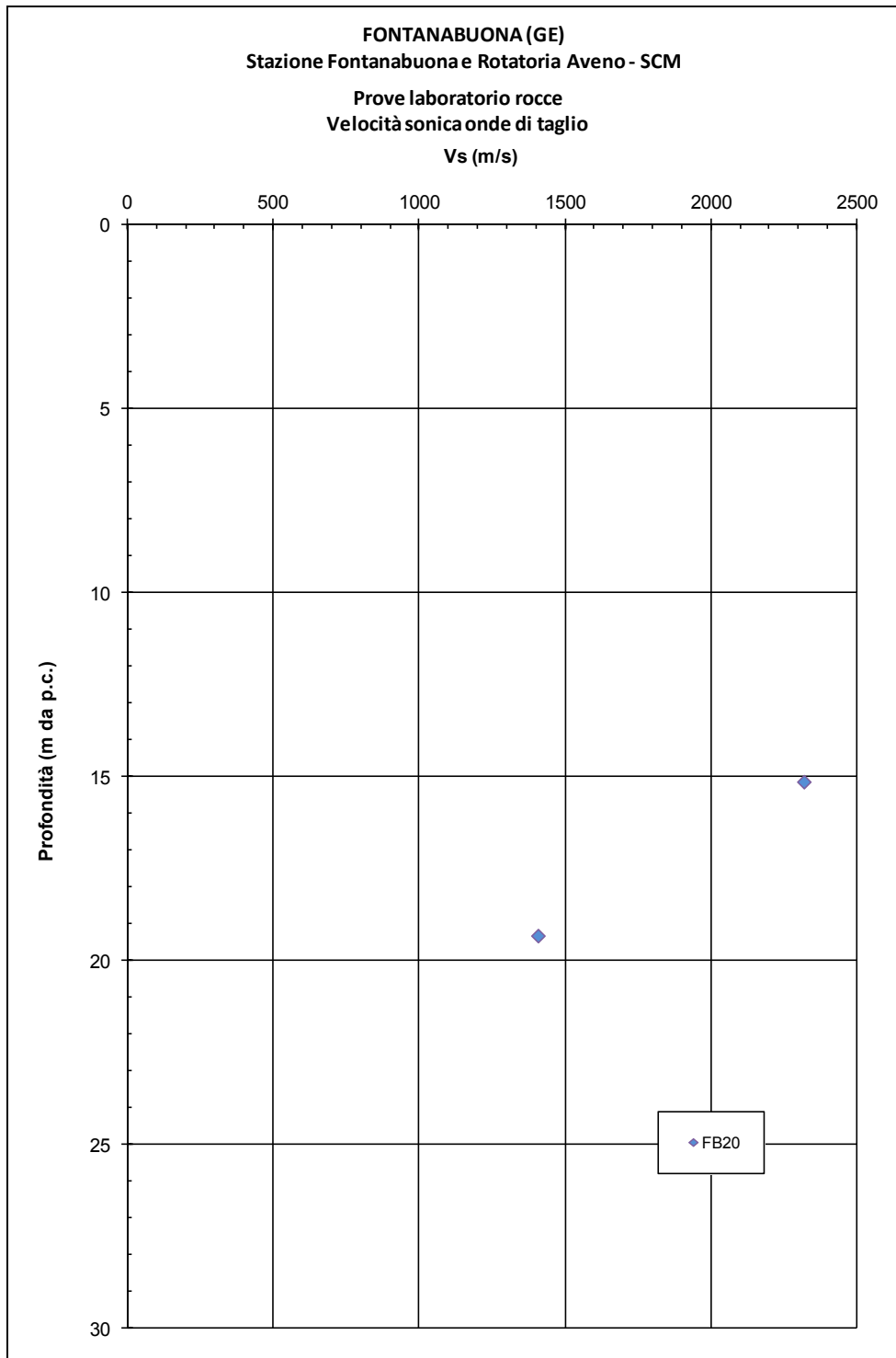


Figura 11.63 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Velocità sonica onde di taglio

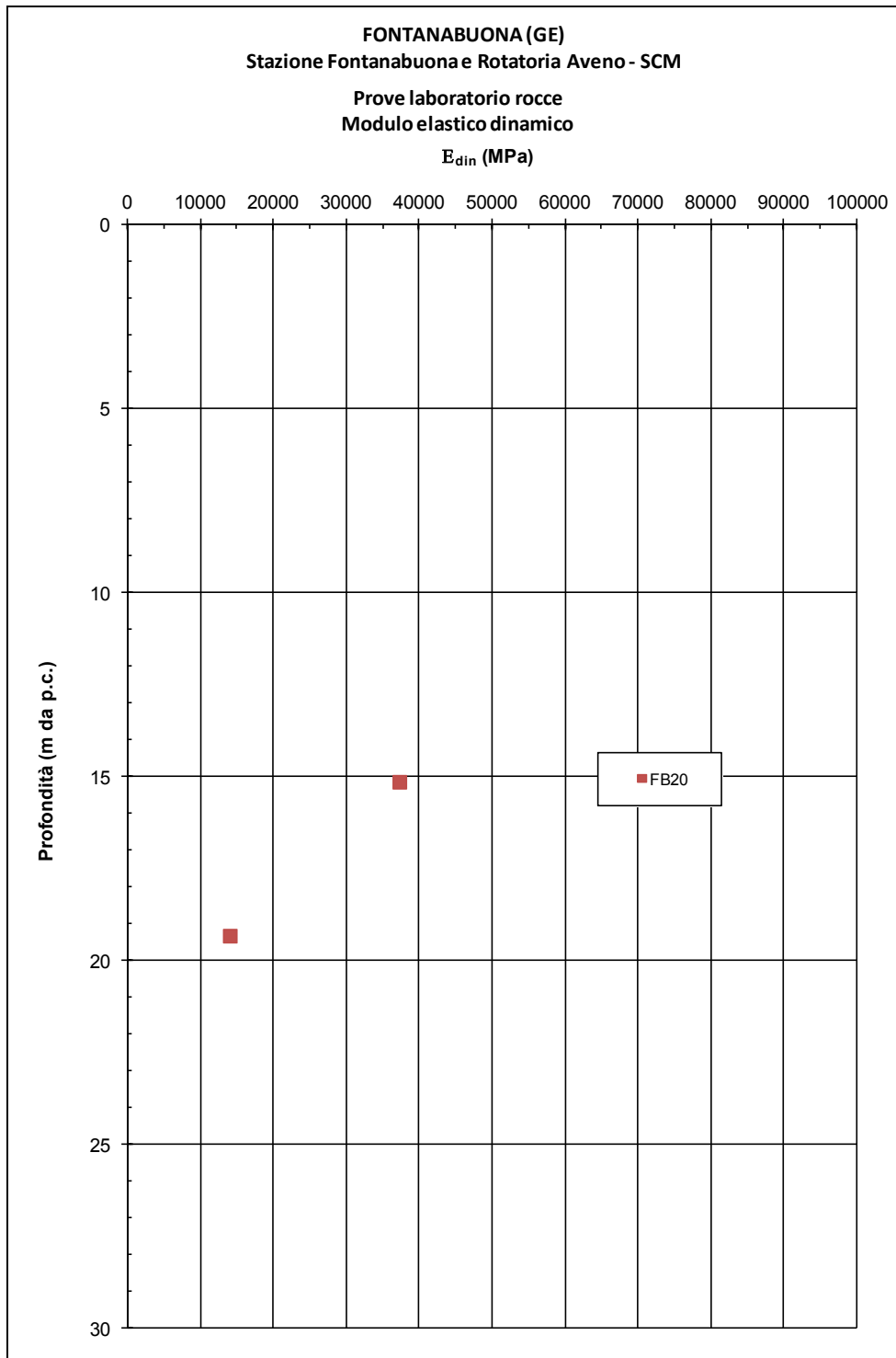


Figura 11.64 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo elastico dinamico

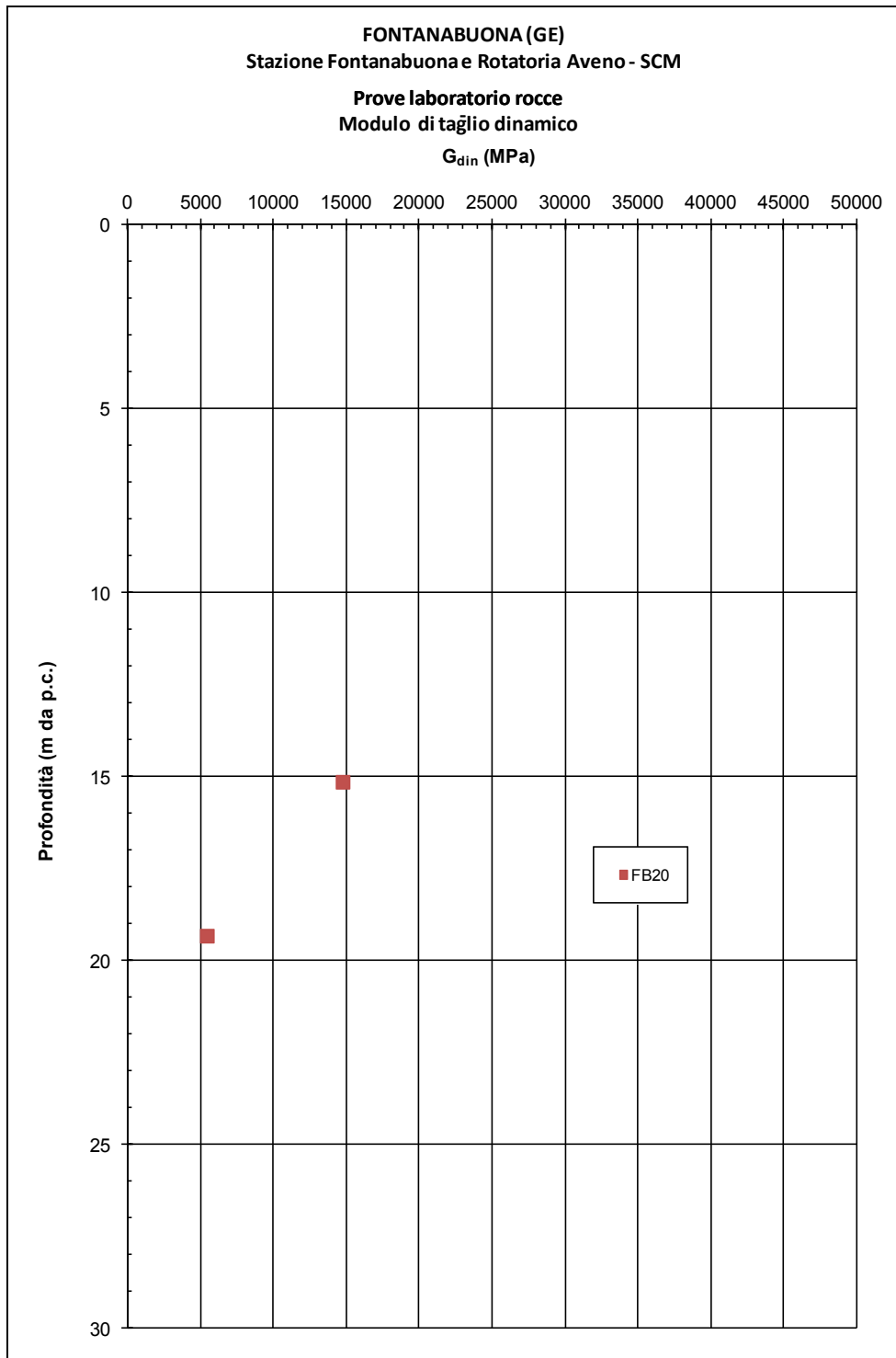


Figura 11.65 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo di taglio dinamico

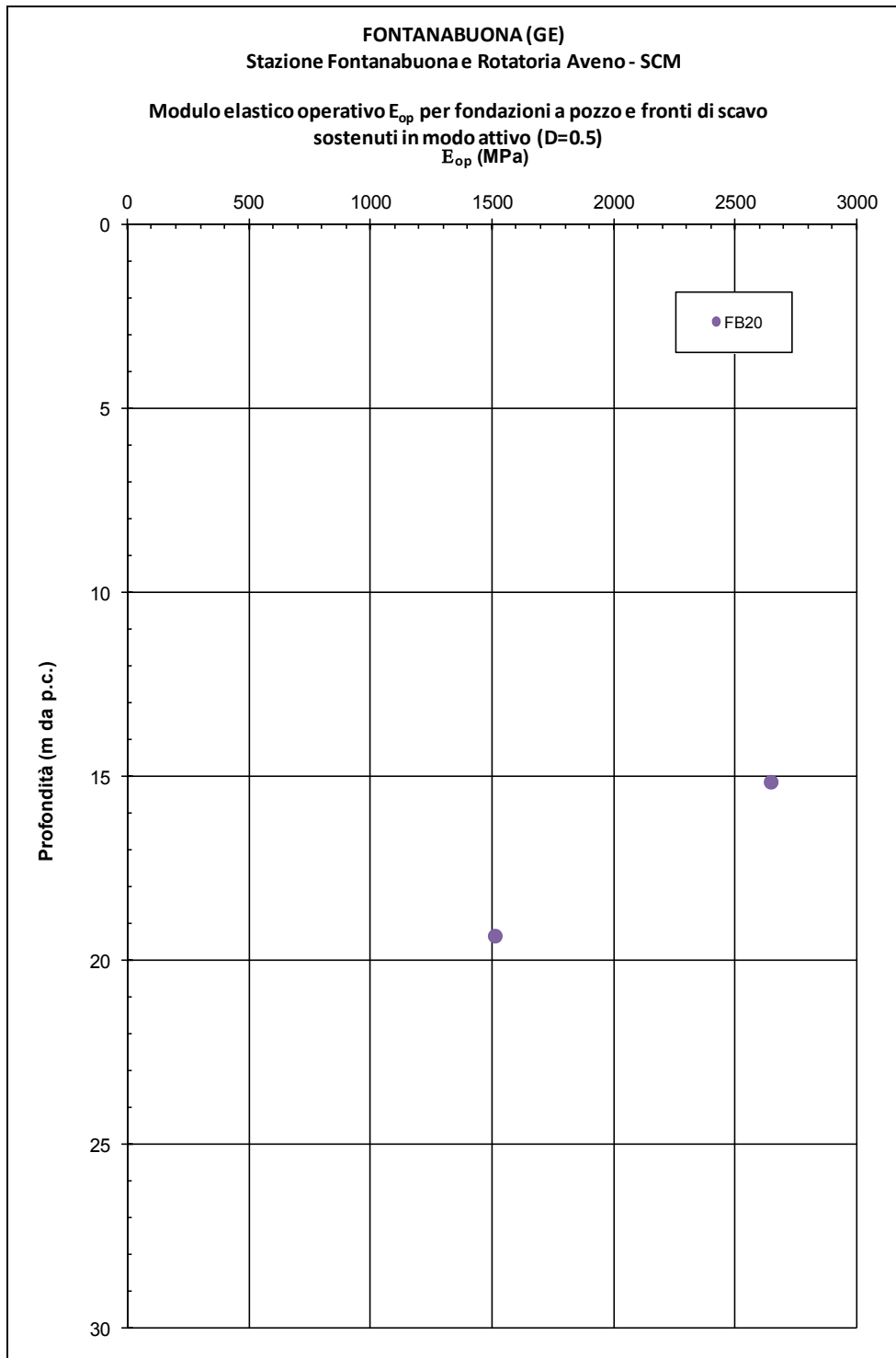


Figura 11.66 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo elastico operativo per fondazioni a pozzo e per fronti di scavo sostenuti in modo attivo ($D=0.5$)

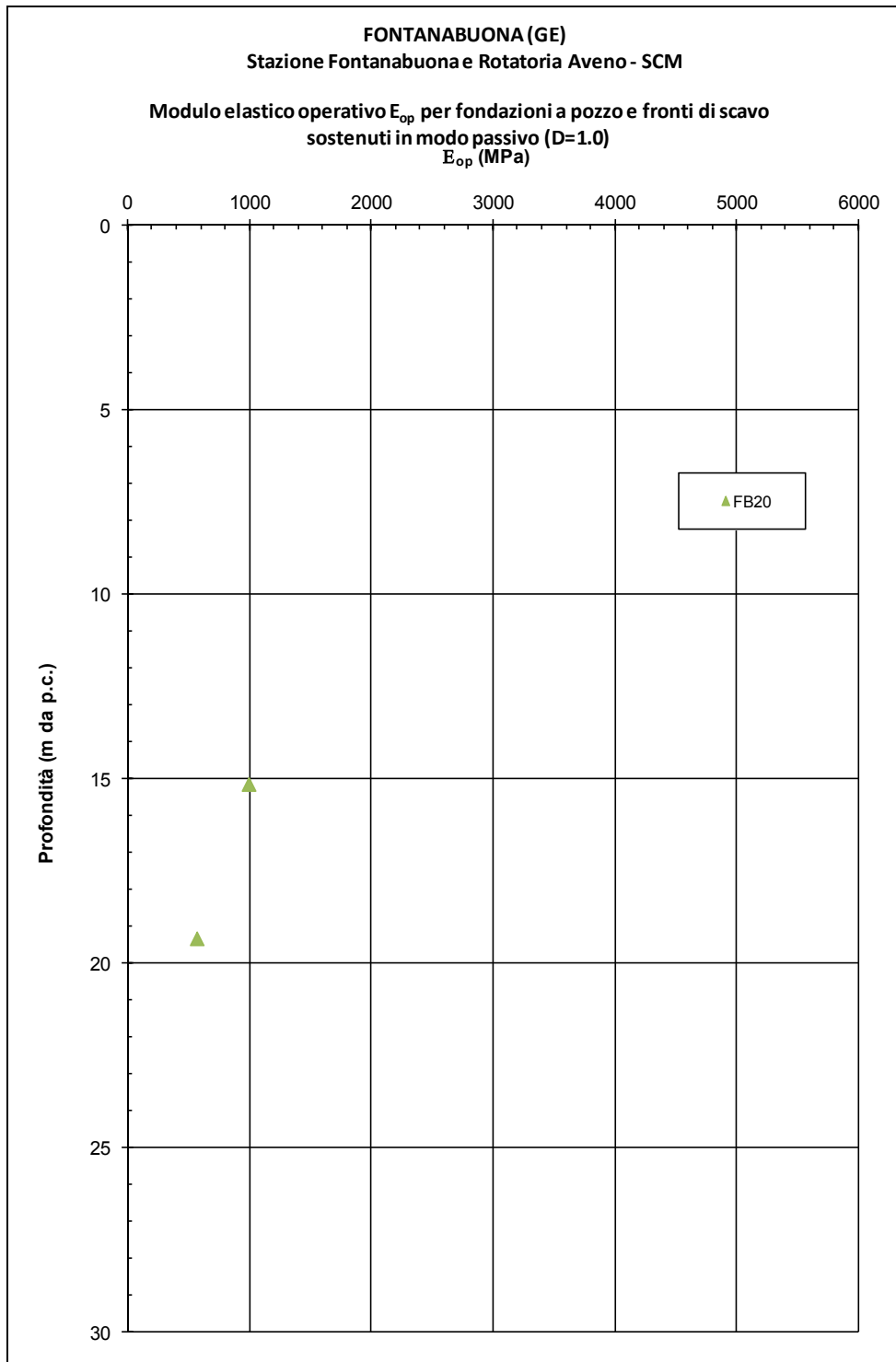


Figura 11.67 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo elastico operativo per fronti di scavo non sostenuti o sostenuti in modo passivo e per fondazioni dirette ($D=1.0$)

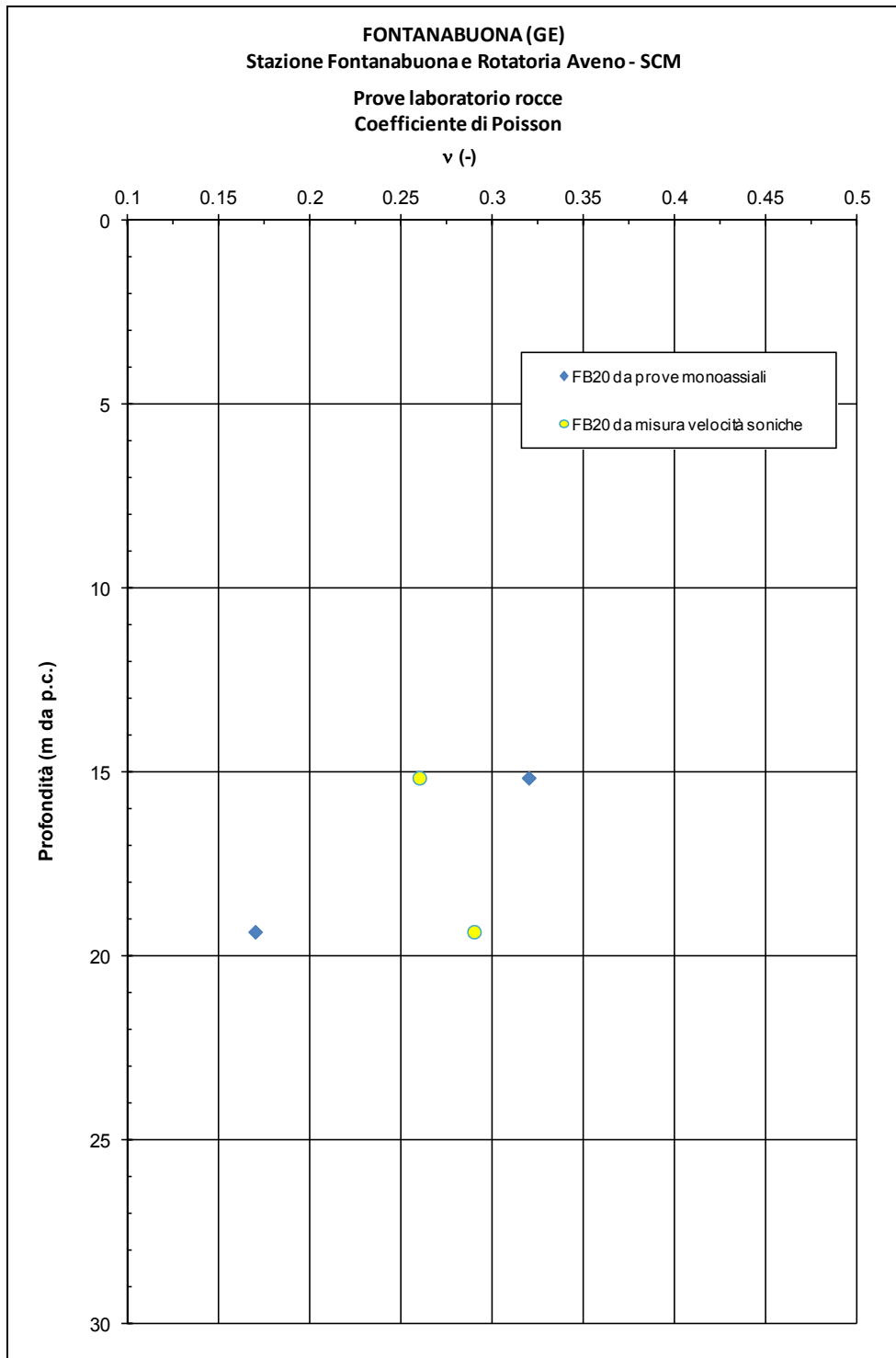


Figura 11.68 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Coefficiente di Poisson

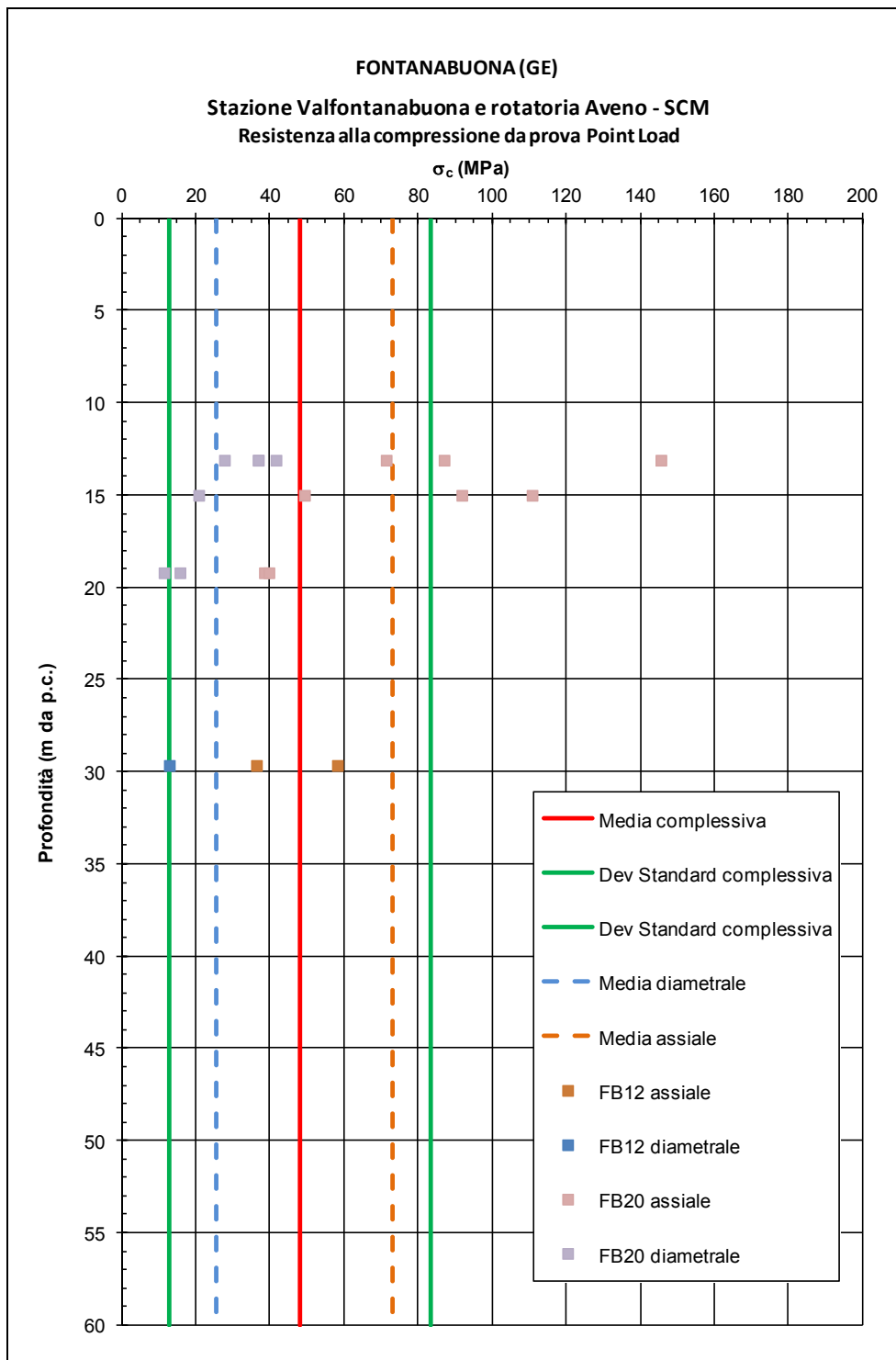


Figura 11.69 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Resistenza a compressione da prova Point Load

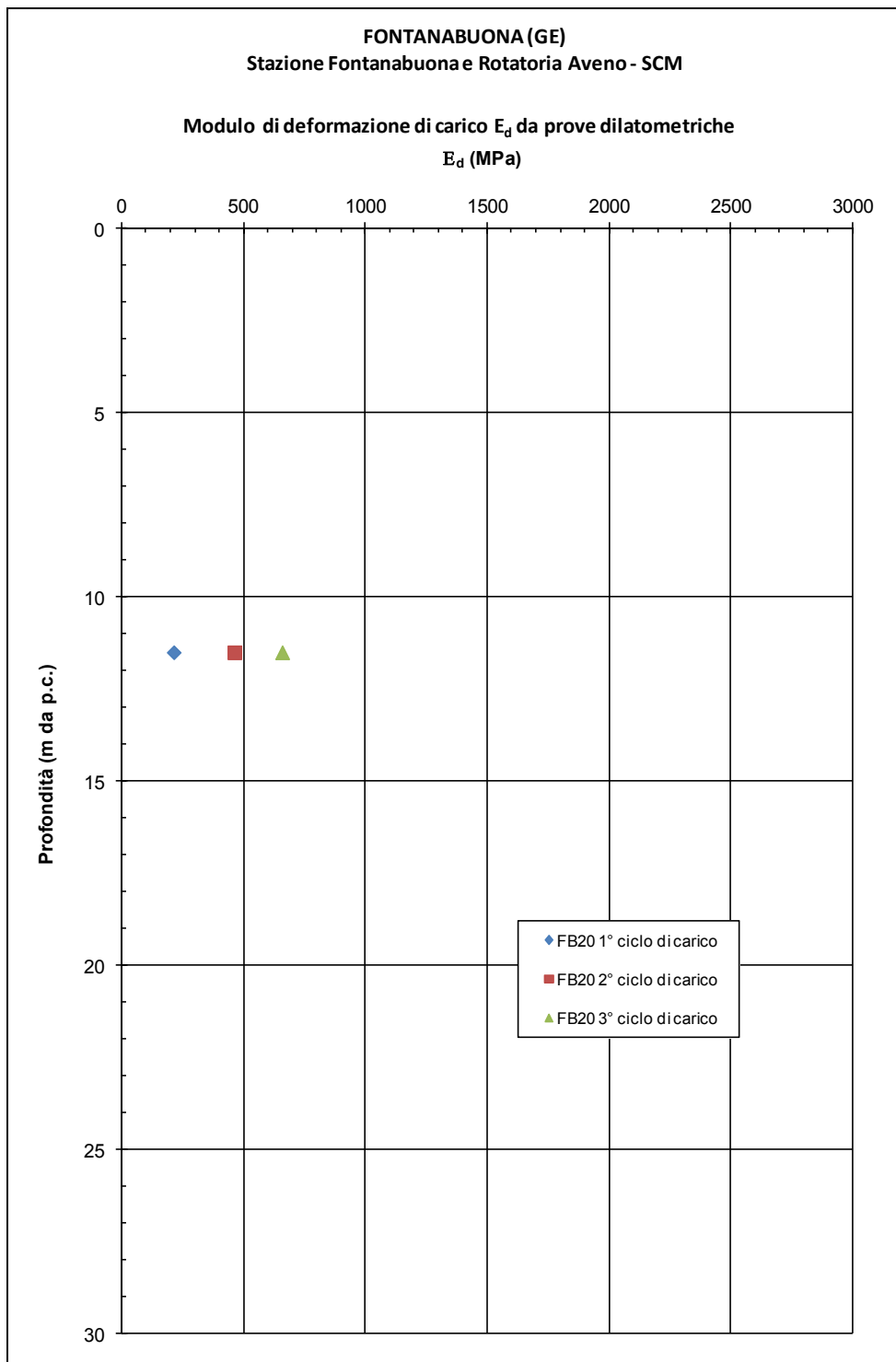


Figura 11.70 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo di deformazione di carico da prova dilatometrica

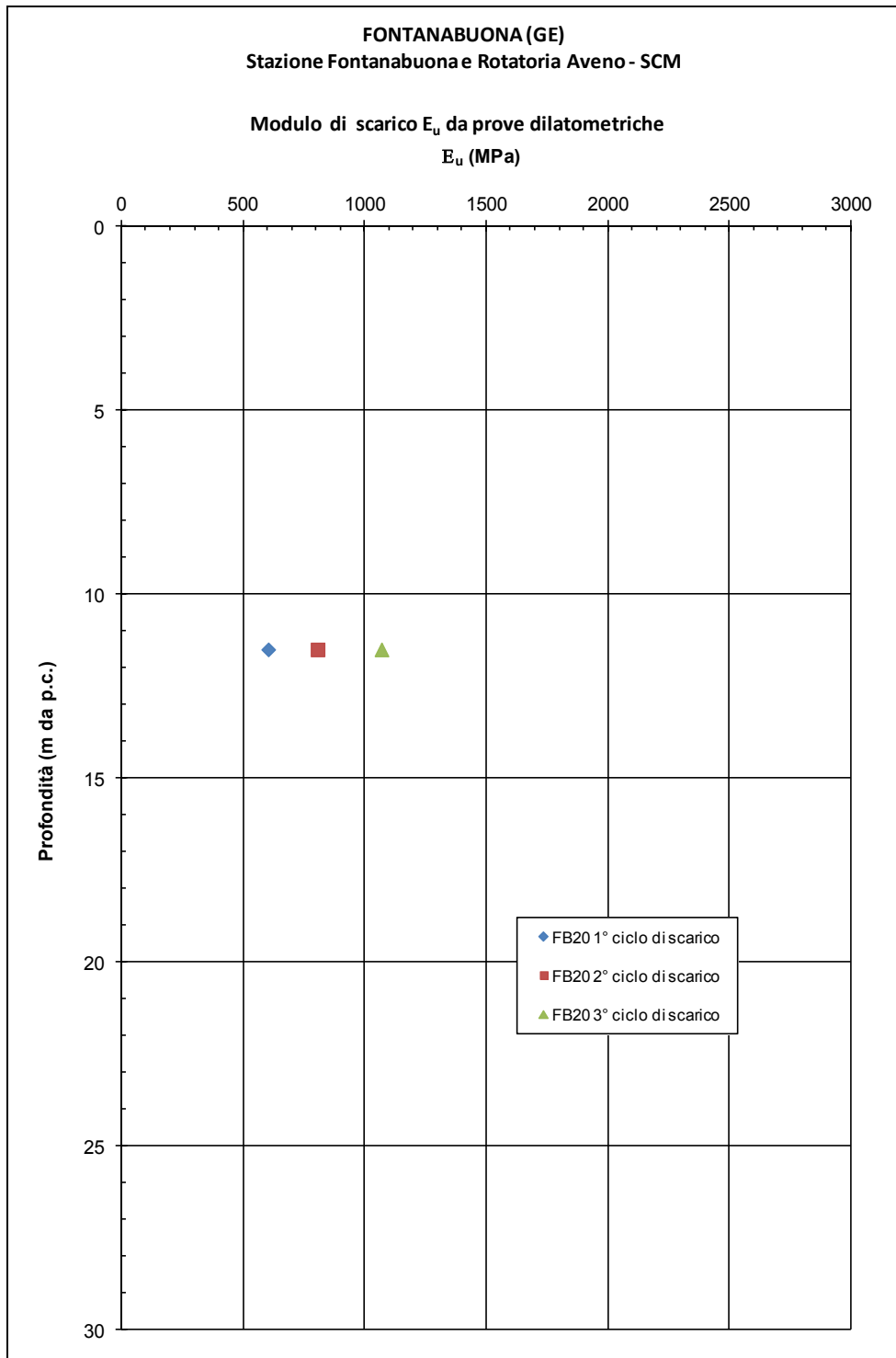


Figura 11.71 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo di scarico da prova dilatometrica

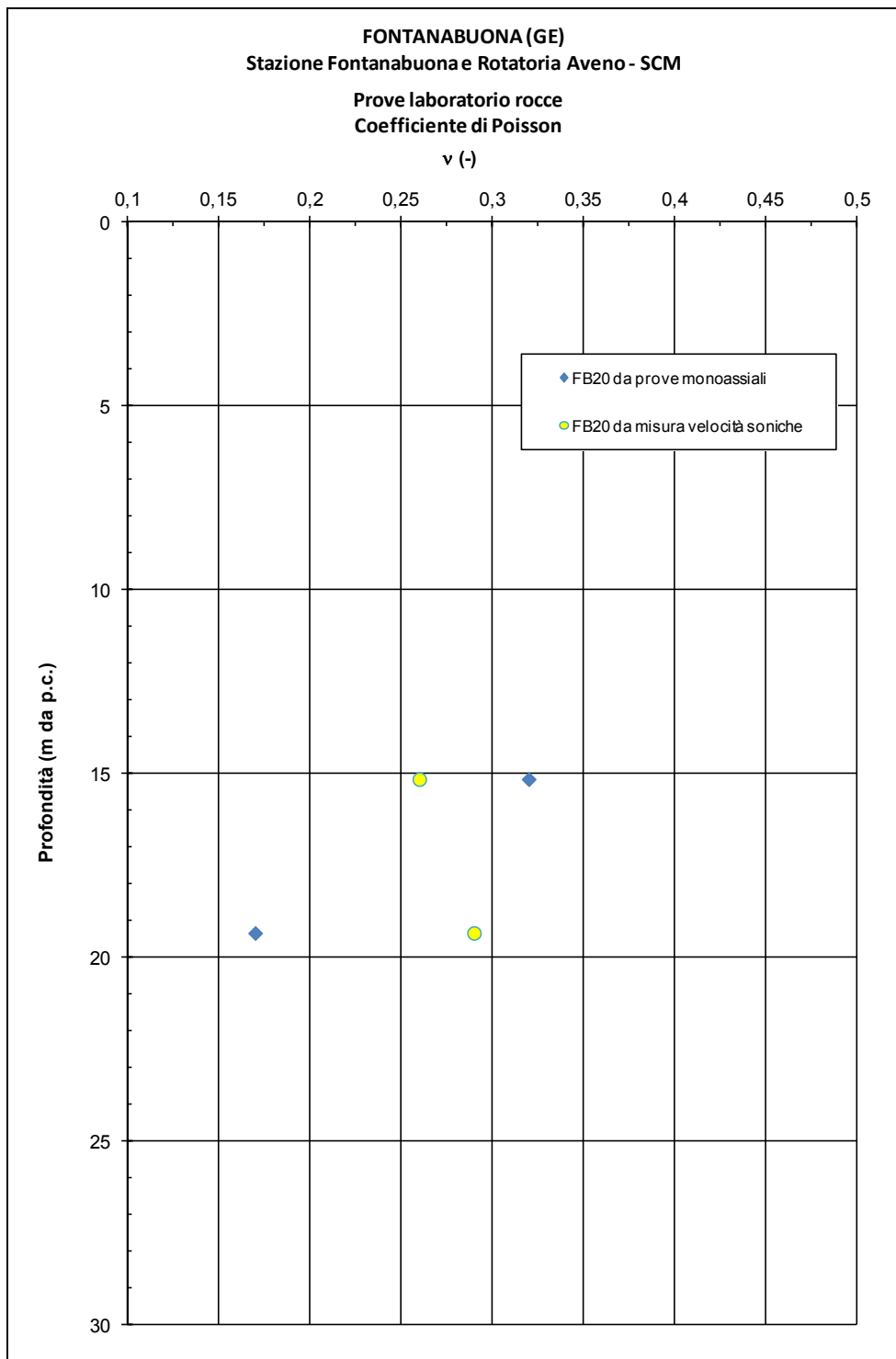


Figura 11.72 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Coefficiente di permeabilità

11.6 Formazione SCM Adeguamento Incrocio S.P.225

11.6.1 Descrizione e caratteristiche generali

Gli Scisti Mangesiferi (SCM) sono costituiti da una successione torbiditica pelitico-arenacea a composizione quasi esclusivamente silicoclastica. Macroscopicamente gli affioramenti presentano dominanza di metasiltiti grigio-verdastre fittamente laminate con subordinate intercalazioni di meta-areniti fini in strati decimetrici.

11.6.2 Indagini di riferimento

Per la caratterizzazione della formazione SCM in corrispondenza del Raccordo con la S.P.225, si è fatto riferimento alle indagini elencate nelle Tabelle seguenti:

| AMBITO | n° STENDIMENTO GEOFISICO | TIPO (anno) |
|--------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| RACCORDO VIABILITA' S.P.225 | 1 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | 4 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | 5 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | 6 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | 7 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | 8 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | 9 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | 10 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | 11 | geofisica a rifrazione (2013) |
| | s12 | geofisica a rifrazione (2011) |

Tabella 11.33 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Indagini geofisiche

| Sigla | Tipo | LAB | Quota | Profondità | Prove SPT | Prove Lugéon | Prove Lefranc | Prove Pressiom. | Prove Dilatom. | Strumentazione | Campioni indisturb. | Campioni rimanegg. | Campioni ambientali |
|-------|---------------------------------|-----|------------|------------|-----------|--------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|---------------------|--------------------|---------------------|
| | | | (m s.l.m.) | (m) | (n°) | (n°) | (n°) | (n°) | (n°) | | (n°) | (n°) | (n°) |
| FB15 | sondaggio a carotaggio continuo | | 164,080 | 30,00 | 2 | 1 | | | 1 | inclinometro | | 9 | 1 |
| FB16 | sondaggio a carotaggio continuo | | 261,930 | 75,00 | 7 | 1 | | | | inclinometro | | 20 | |
| FB17 | sondaggio a carotaggio continuo | | 120,567 | 35,00 | 6 | | 1 | | | piezometro t.a. | | 11 | |
| FB18 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 122,141 | 35,00 | 1 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 9 | 3 |
| FB21 | sondaggio a carotaggio continuo | X | 115,795 | 25,00 | 2 | 1 | | | 1 | piezometro t.a. | | 7 | 3 |

Tabella 11.34 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Sondaggi di riferimento

| AMBITO | RILIEVI GEOMECCANICI (2011) | Localizzazione |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| RACCORDO VIABILITA' S.P.225 | RG1 | Svincolo Fontanabuona Ferrada |
| | RG2 | Fontanabuona case Liteglia |

Tabella 11.35 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Rilievi geomeccanici

11.6.3 Caratteristiche fisiche

Il peso di volume naturale γ_t può essere assunto variabile tra 26 kN/m³ e 27 kN/m³ (cfr. la Figura riportata nel seguito).

11.6.4 Parametri matrice lapidea

I parametri presi a riferimento per la caratterizzazione della matrice lapidea della roccia intatta sono i seguenti:

σ_c (*) = resistenza compressione monoassiale

I_{s50} = Point Load Index normalizzato

σ_c (***) = resistenza compressione monoassiale da prova Point Load ($\sigma_c = 24 \cdot I_{s50}$)

σ_T = resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)

E_{t50} = modulo di Young tangente

MR = rapporto di modulo (E_{t50}/σ_c)

ν = rapporto di Poisson

V_p = velocità delle onde di compressione misurata su provino

V_S = velocità sonica delle onde di taglio misurata su provino

E_{din} = modulo elastico dinamico

G_{din} = modulo di taglio dinamico

m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta

m_b, s, a = parametri criterio di rottura di Hoek-Brown (risultati prove triassiali)

L'andamento di queste grandezze, misurato in funzione della profondità, è riportato nei diagrammi riportati nelle Figure seguenti.

I valori rappresentativi della resistenza a compressione sono riportati nella Tabella seguente:

| Resistenza a compressione | MPa | MPa | |
|--|------------|---------|----|
| Compressione semplice laboratorio | | | |
| | media | 19 | |
| | min | 9 | |
| | max | 29 | |
| da Point Load | | | |
| | diametrica | assiale | |
| | media | 9 | 27 |
| | min | 4 | 13 |
| | max | 15 | 42 |
| Rilievo geomeccanico RG1 | | 675 | |
| Rilievo geomeccanico RG2 | | 250 | |

Tabella 11.36 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Resistenza a compressione

11.6.5 Parametri R.Q.D., RMR'89 e GSI

L'andamento dei valori di R.Q.D. con la profondità rilevato nei sondaggi è riportato nelle Tabelle seguenti:

| AMBITO | Sondaggio | | | | | |
|-----------------------------|------------|---------------|--------|-------|-----------|------------------|
| RACCORDO VIABILITA' S.P.225 | FB15 | Campagna2011 | | | | Formazione SCM |
| | FB16 | | | | | |
| | FB17 | Campagna 2013 | | | | |
| | FB18 | | | | | |
| Sondaggio | Profondità | | RQD | | RQD medio | RQD media pesata |
| | da (m) | a (m) | da (%) | a (%) | (%) | |
| FB15 | 3 | 4 | 25 | 50 | 37.5 | |
| | 4 | 11 | 75 | 90 | 82.5 | |
| | 11 | 13 | 90 | 100 | 95 | |
| | 13 | 15 | 75 | 90 | 82.5 | |
| | 15 | 16 | 50 | 75 | 62.5 | |
| | 16 | 21 | 75 | 90 | 82.5 | |
| | 21 | 30 | 90 | 100 | 95 | 85 |
| FB16 | 17 | 18 | 50 | 75 | 62.5 | |
| | 18 | 19 | 75 | 90 | 82.5 | |
| | 19 | 23 | 90 | 100 | 95 | |
| | 23 | 24 | 50 | 75 | 62.5 | |
| | 24 | 30 | 90 | 100 | 95 | |
| | 30 | 32 | 75 | 90 | 82.5 | |
| | 32 | 34 | 90 | 100 | 95 | |
| | 34 | 35 | 50 | 75 | 62.5 | |
| | 35 | 41 | 90 | 100 | 95 | |
| | 41 | 42 | 75 | 90 | 82.5 | |
| | 42 | 55 | 90 | 100 | 95 | |
| | 55 | 56 | 75 | 90 | 82.5 | |
| 56 | 68 | 90 | 100 | 95 | | |
| 68 | 70 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| 70 | 75 | 90 | 100 | 95 | 92 | |
| FB17 | 10.5 | 11 | 25 | 50 | 37.5 | |
| | 11 | 12 | 0 | 25 | 12.5 | |
| | 12 | 15 | 50 | 75 | 62.5 | |
| | 15 | 16 | 25 | 50 | 37.5 | |
| | 16 | 18 | 75 | 90 | 82.5 | |
| | 18 | 21 | 90 | 100 | 95 | |
| | 21 | 22 | 75 | 90 | 82.5 | |
| | 22 | 23 | 50 | 75 | 62.5 | |
| | 23 | 26 | 90 | 100 | 95 | |
| | 26 | 28 | 75 | 90 | 82.5 | |
| | 28 | 31 | 90 | 100 | 95 | |
| | 31 | 32 | 75 | 90 | 82.5 | |
| | 32 | 33 | 50 | 75 | 62.5 | |
| 33 | 34 | 90 | 100 | 95 | | |
| 34 | 35 | 50 | 75 | 62.5 | 77 | |
| FB18 | 6 | 8 | 25 | 50 | 37.5 | |
| | 8 | 9 | 75 | 90 | 82.5 | |
| | 9 | 11 | 50 | 75 | 62.5 | |
| | 11 | 12 | 90 | 100 | 95 | |
| | 12 | 14 | 50 | 75 | 62.5 | |
| | 14 | 15 | 75 | 90 | 82.5 | |
| | 15 | 16 | 50 | 75 | 62.5 | |
| | 16 | 19 | 75 | 90 | 82.5 | |
| | 19 | 20 | 50 | 75 | 62.5 | |
| | 20 | 21 | 90 | 100 | 95 | |
| | 21 | 23 | 75 | 90 | 82.5 | |
| | 23 | 24 | 100 | | 50 | |
| | 24 | 25 | 25 | 50 | 37.5 | |
| | 25 | 29 | 75 | 90 | 82.5 | |
| | 29 | 30 | 50 | 75 | 62.5 | |
| 30 | 31 | 75 | 90 | 82.5 | | |
| 31 | 33 | 25 | 50 | 37.5 | | |
| 33 | 35 | 90 | 100 | 95 | 71 | |

**Tabella 11.37 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Sondaggi FB15 FB16 FB17 FB18 -
Valori di RQD**

I valori medi sono sintetizzati nella Tabella seguente:

| | | |
|---------------------------------|------------|-----------|
| | | |
| Raccordo viabilità SP225 | | |
| | | |
| Formazione | SCM | |
| | | RQD medio |
| Sondaggi di riferimento | FB15 | 85 |
| | FB16 | 92 |
| | FB17 | 77 |
| | FB18 | 71 |

Tabella 11.38 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Valori medi di RQD

Il parametro RMR_{89} è stato stimato sulla base di quanto descritto nel par. 9; nel caso specifico si rileva che:

- è stata fatta una determinazione a partire dai parametri rilevati nei sondaggi e nelle prove di laboratorio ($RMR_{89} = 37$);
- si è anche tenuto conto di quanto determinato in corrispondenza del rilievo geomeccanico eseguito ($RG1 - RMR_{89} = 46$, $RG2 - RMR_{89} = 50$), riportato nella Tabella seguente:

L'ammasso roccioso può essere mediamente caratterizzato da parametri RMR_{89} compresi tra 35 e 45.

Il parametro GSI è quindi stato assunto nell'intervallo tra 20 e 30 (valutazione che risulta compatibile anche con la stima in funzione dell'R.Q.D. e dei parametri J_r *joint roughness number* e J_a *joint amplitude number* – Hoek et al., 2013).

11.6.6 Involuppi di rottura

Gli involuppi di rottura dell'ammasso roccioso sono stati determinati sulla base di quanto riportato nel par. 9, tenendo conto:

- dei valori rappresentativi di GSI (30 per la roccia compatta e 20 per la roccia fessurata / alterata, valori compatibili anche con quanto suggerito da Hoek e Marinos 2002);
- resistenza a compressione σ_c pari a 20 MPa;
- D coefficiente di disturbo pari a 0.70;
- condizione slopes - mechanical excavation (altezza 30 m);
- parametro - $m_i = 7$

Nelle Figure seguenti sono riportati i diagrammi degli involuppi di rottura di Hoek e Brown ottenuti con la parametrizzazione descritta, a partire dai quali sono definiti i parametri caratteristici dell'ammasso.

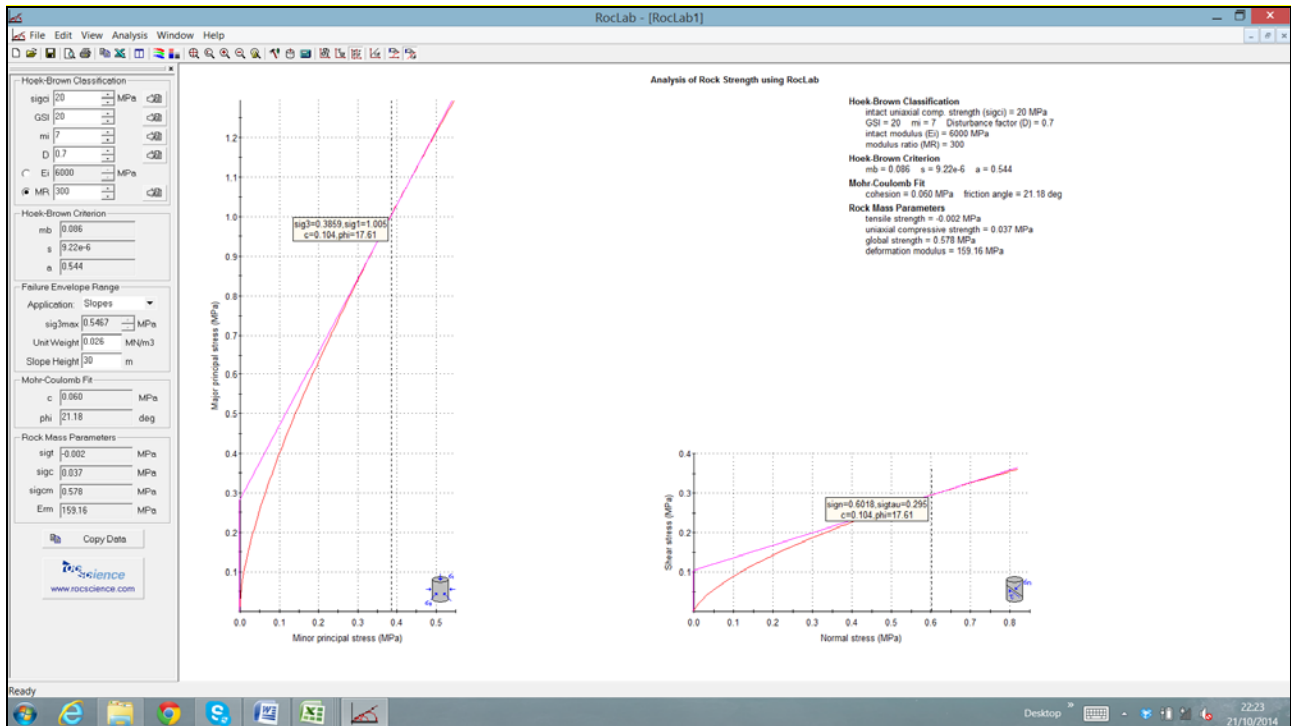


Figura 11.73 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso fessurato / alterato

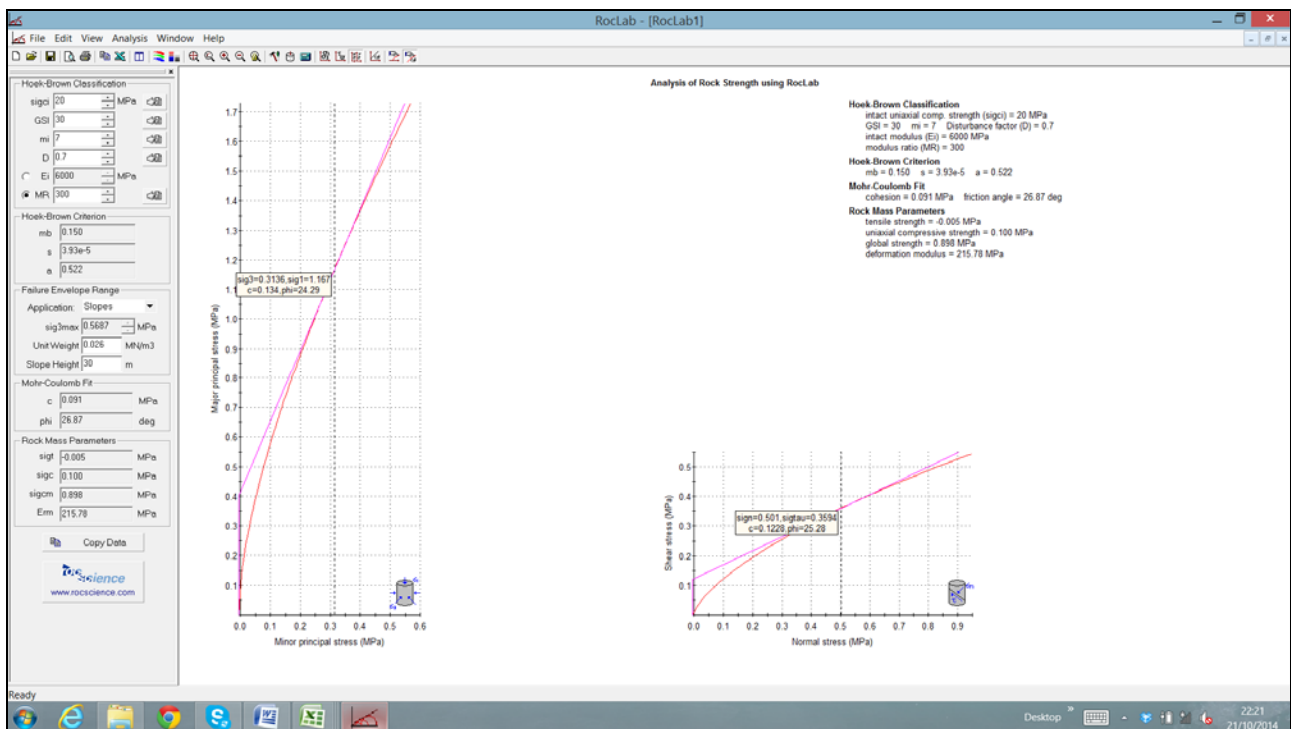


Figura 11.74 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso compatto

11.6.7 Caratteristiche di deformabilità dell'ammasso roccioso

La deformabilità dell'ammasso roccioso è stata valutata tenendo conto di tutti i dati disponibili, in particolare:

- risultati delle prove dilatometriche;
- risultati delle misure delle velocità soniche misurate in sito (Cross-Hole);
- stima dei moduli elastici operativi in accordo a Serafim & Pereira - 1983, a partire dalla resistenza a compressione σ_c , dal GSI e ponendo:
 - o $D =$ coefficiente disturbo = 0.50 per fondazioni a pozzo e fronti di scavo sostenuti in modo attivo
 - o $D = 1.0$ per fondazioni dirette, rilevati e fronti di scavo non sostenuti oppure sostenuti in modo passivo.

I risultati ottenuti sono rappresentati nelle Figure riportate nel seguito.

11.6.8 Caratteristiche di permeabilità

I coefficienti di permeabilità dell'ammasso roccioso determinati con prove di permeabilità Lugeon sono riportati nella Figura riportata nel seguito. In relazione alla macrostruttura e al grado di fratturazione della formazione, i valori riportati possono essere rappresentativi della permeabilità in condizioni di flusso in direzione orizzontale; quelli in direzione verticale possono essere 1/3 ordini di grandezza inferiori.

11.6.9 Tabella riassuntiva dei parametri caratteristici

Si riporta nel seguito la Tabella di sintesi dei parametri caratteristici.

Si richiama il fatto che è stata fatta una distinzione, in termini di resistenza, fra formazione compatta e formazione fessurata / alterata. Per condizioni di "media fessurazione / alterazione", si potrà fare riferimento a parametri intermedi, tenendo conto anche di valutazioni ingegneristiche in funzione della specificità del problema in esame.

| | Matrice lapidea | | Ammasso roccioso compatto | Ammasso roccioso fessurato/alterato |
|---------------------------------|-----------------------------|---|---|--|
| γ_t (kN/m ³) | 26.5 ÷ 27.5 | γ_t (kN/m ³) | 26.5 ÷ 27.5 | |
| σ_c (MPa) (*) | 9 ÷ 29 | RMR ₈₉ (-) | 45 ÷ 50 | 30 ÷ 35 |
| I _{s50} (MPa) | 0.4 ÷ 1.15 | GSI (-) | 30 | 20 |
| σ_c (MPa) (**) | diametrico 10 assiale 27 | JRC (-) | 4 ÷ 10 | |
| σ_T (MPa) | 1.5 ÷ 5.0 | JCS (MPa) | 17 ÷ 24 | |
| E _{t50} (GPa) | 5 ÷ 20 | k (m/s) | 1·10 ⁻⁸ ÷ 5·10 ⁻⁴ | |
| MR (-) | 250 ÷ 800 | E _d (GPa) | 0.5 ÷ 1.5 | |
| V _p (m/s) | 2500 - 4000 | E _u (GPa) | 1.2 ÷ 10 | |
| V _s (m/s) | 1300 - 1900 | E _{op} D=0.5 (GPa) | 1.2 ÷ 2.2 | |
| E _{din} (GPa) | 12 ÷ 35 | E _{op} D=1.0 (GPa) | | 0.5 ÷ 1.0 |
| G _{din} (GPa) | 5 ÷ 15 | c (kPa) | 90 ÷ 120 (σ=0.5MPa) | 40 ÷ 50 (σ=0.2MPa) 60 ÷ 90 (σ=0.5MPa) |
| v (-) | 0.25 ÷ 0.35 | φ (°) | 25 ÷ 27 (σ=0.5MPa) | 25 (σ=0.2MPa) 20 (σ=0.5MPa) |
| m _i (-) | 7 | m _b (-) | ≈ 0.15 | ≈ 0.086 |
| m _b | 0.4 | s (-) | ≈ 3.93·10 ⁻⁵ | ≈ 9.22·10 ⁻⁶ |
| s | 1.0 | a (-) | 0.522 | 0.544 |
| a (-) | 0.54 | φ _{p,joint} (°), c _{p,joint} (kPa) | 22° 250 | |
| | | φ _{r,joint} (°), c _{r,joint} (kPa) | 18° 0 ÷ 50 | |

Tabella 11.40 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Parametri caratteristici

I parametri di resistenza indicati sono validi per pressioni di confinamento nell'intorno di 0.5 MPa (0.25÷0.75 MPa). Per pressioni sensibilmente inferiori i corrispondenti valori dei parametri di

resistenza potranno essere individuati utilizzando le Figure in cui sono riportati gli involuipi di rottura.

Simbologia:

- γ_t = peso di volume naturale;
- s_c (*) = resistenza compressione monoassiale
- s_c (**) = resistenza compressione monoassiale da prova Point Load ($s_c = 24 \cdot I_{s50}$)
- s_T = resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)
- E_{t50} = modulo di Young tangente
- MR = rapporto di modulo (E_{t50}/s_c)
- ν = rapporto di Poisson
- V_p = velocità di propagazione delle onde di compressione
- V_s = velocità di propagazione delle onde di taglio
- E_{din} = modulo elastico dinamico
- G_{din} = modulo di taglio dinamico
- m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta
- m_b = parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
- s = parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
- a = parametro criterio di rottura di Hoek-Brown
- $C_{p,joint}$ = coesione di picco (da prova di taglio su giunto)
- $\varphi_{p,joint}$ = angolo di attrito di picco (da prova di taglio su giunto)
- $C_{r,joint}$ = intercetta di coesione residua (da prova di taglio su giunto)
- $\varphi_{r,joint}$ = angolo di attrito residuo (da prova di taglio su giunto)
- RMR₈₉ = Rock Mass Rating
- GSI = Geological Strength Index
- JRC = rugosità del giunto
- JCS = resistenza a compressione del giunto
- k = coefficiente di permeabilità da prova Lugeon
- E_d = modulo di deformabilità di carico dell' ammasso (da prova dilatometrica)
- E_u = modulo di scarico (da prova dilatometrica)
- E_{UR} = modulo elastico (da prova dilatometrica)
- c = intercetta di coesione (criterio di rottura di Hoek & Brown)
- φ = angolo di attrito (criterio di rottura di Hoek & Brown)

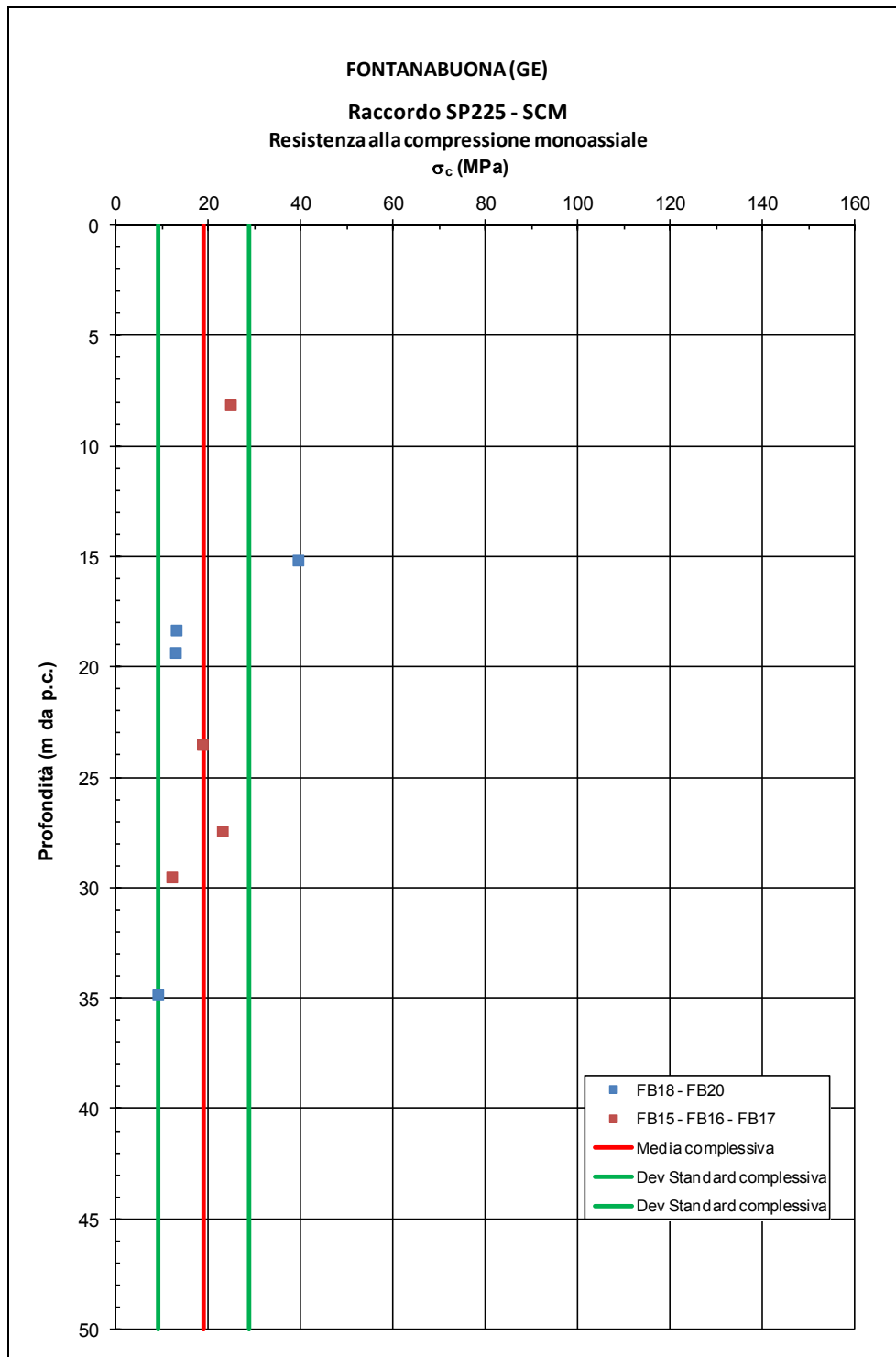


Figura 11.75 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 – Resistenza a compressione monoassiale

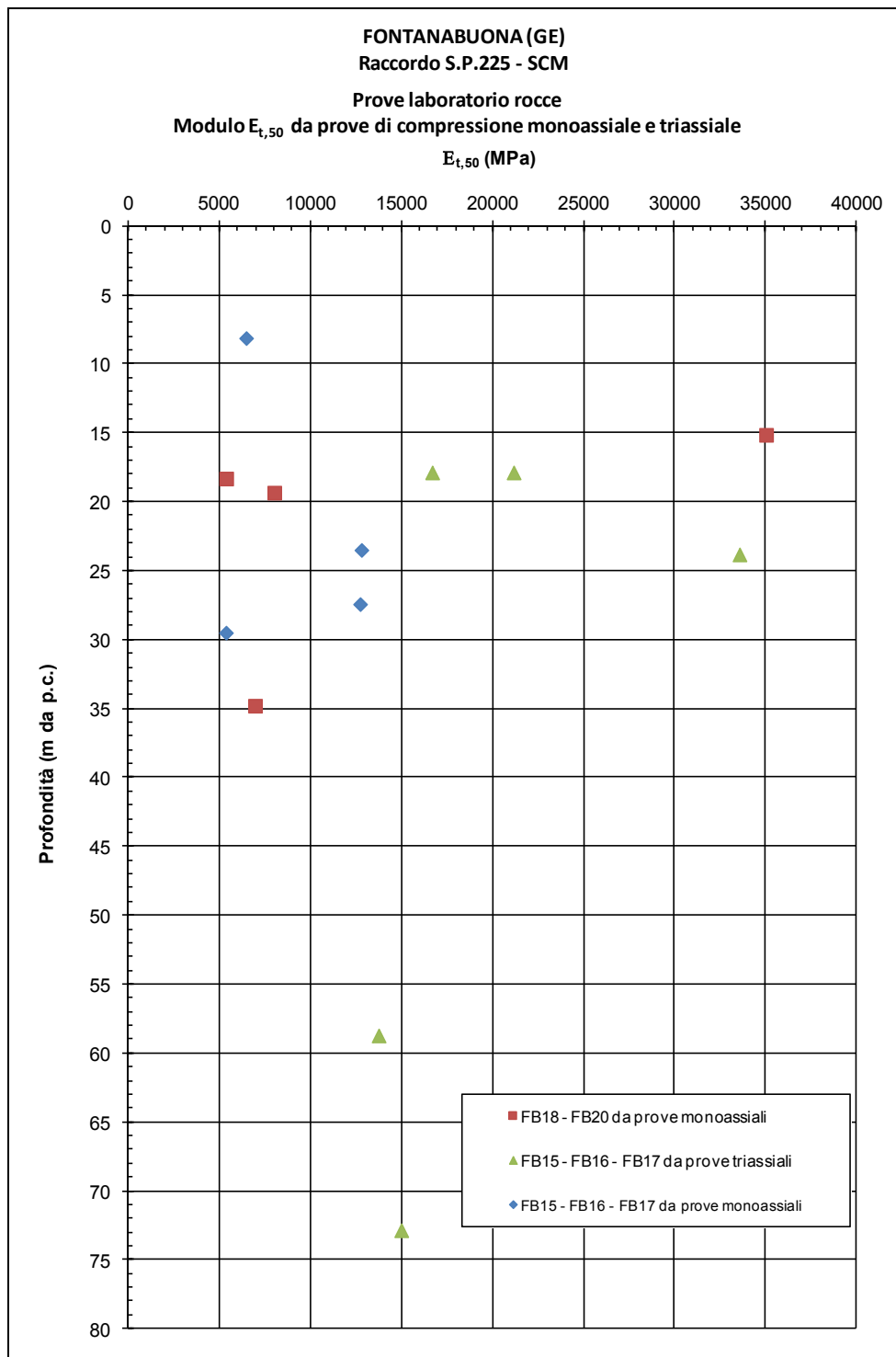


Figura 11.76 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Modulo $E_{t,50}$ da prova di compressione monoassiale

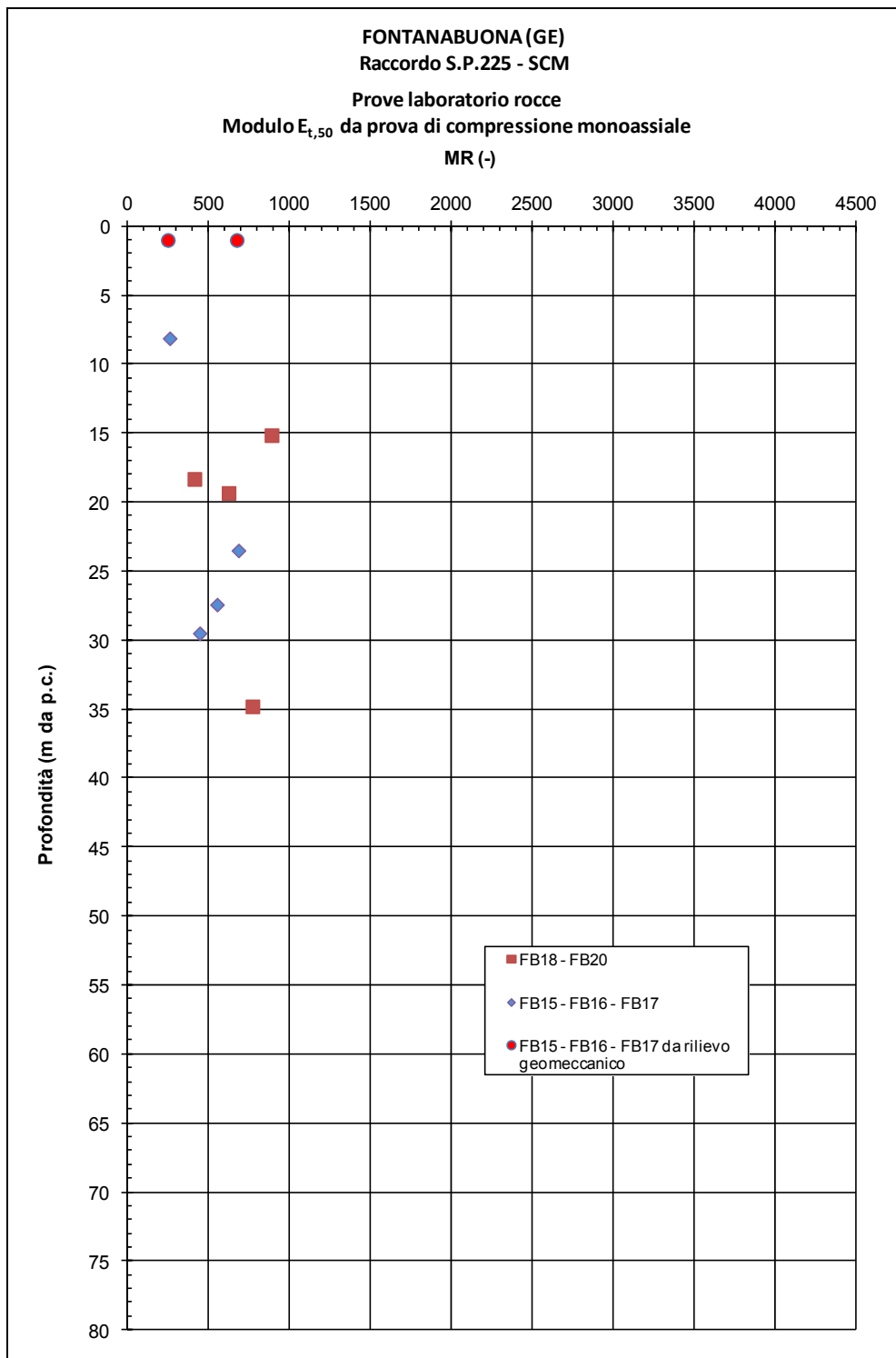


Figura 11.77 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Rapporto del modulo MR

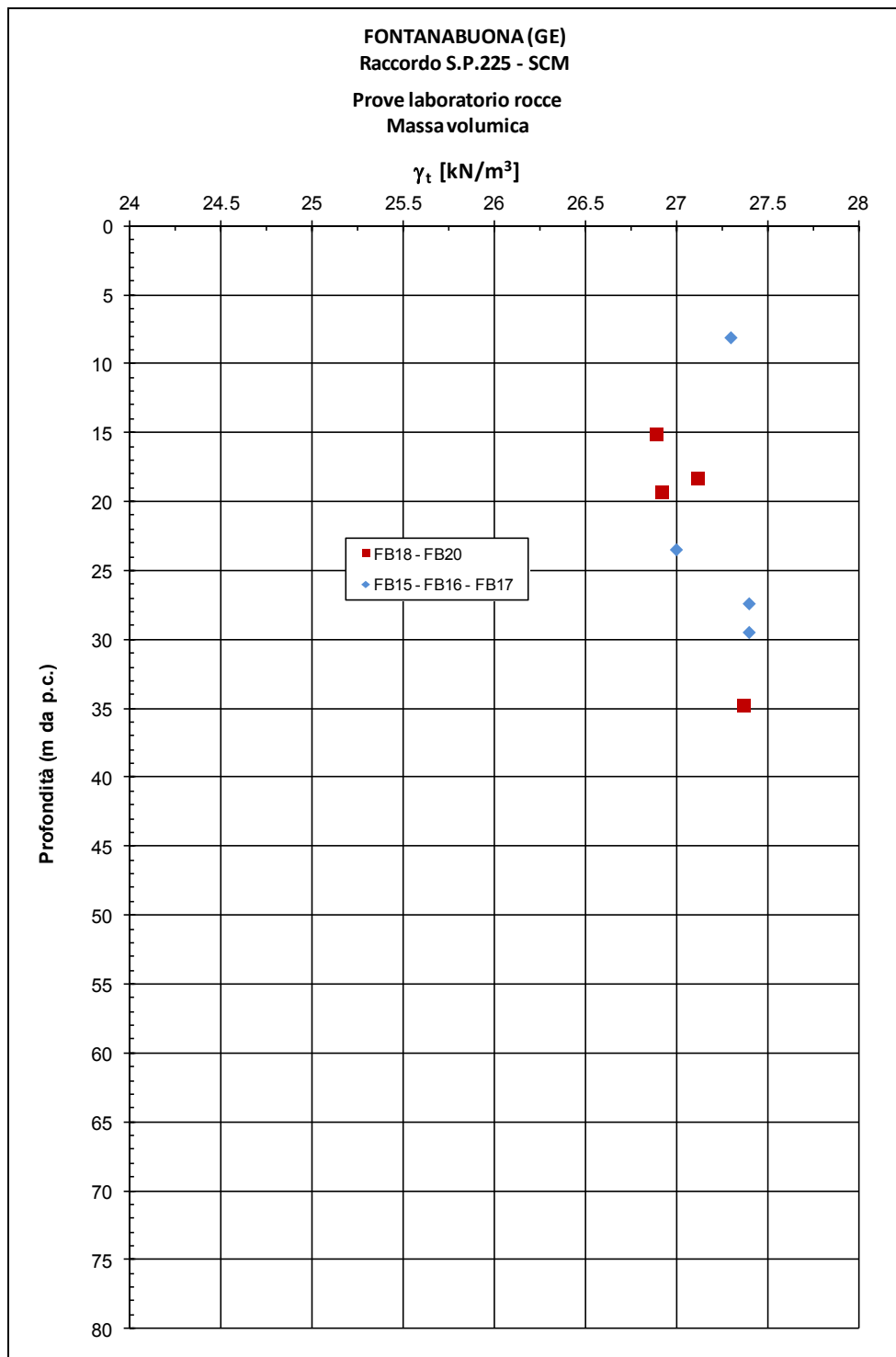


Figura 11.78 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Velocità sonica onde di compressione

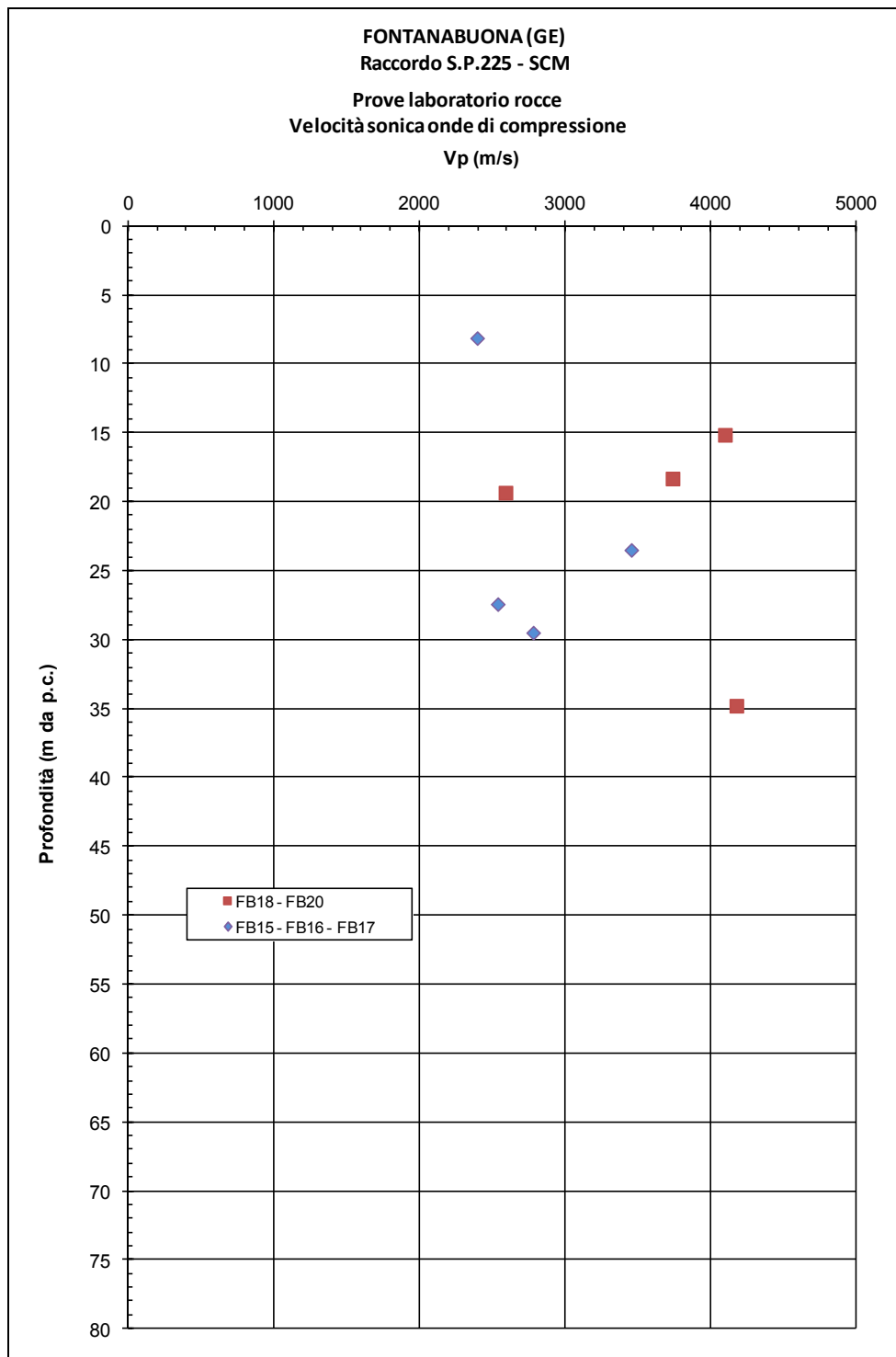


Figura 11.79 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Velocità sonica onde di compressione

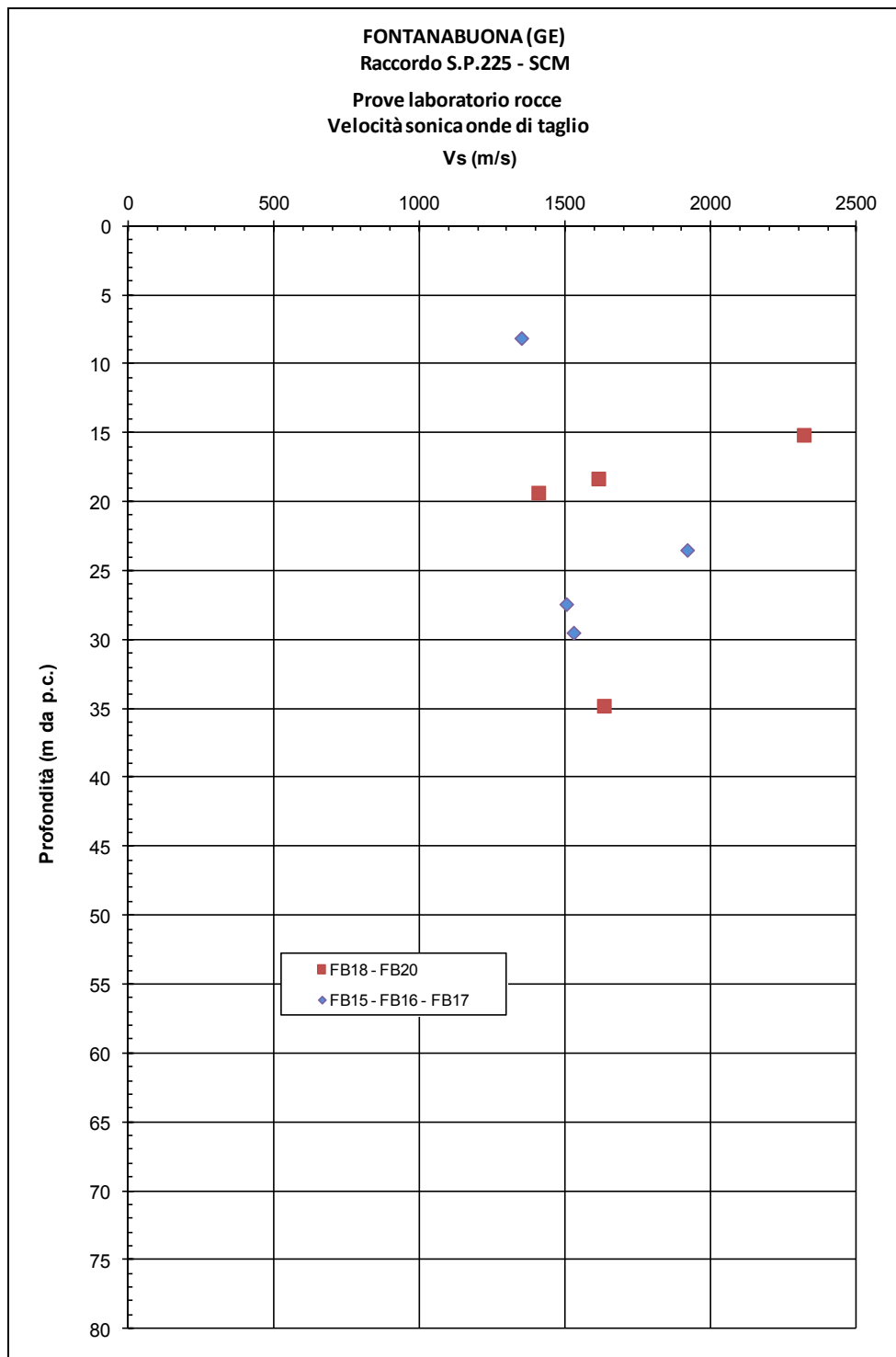


Figura 11.80 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Velocità sonica onde di taglio

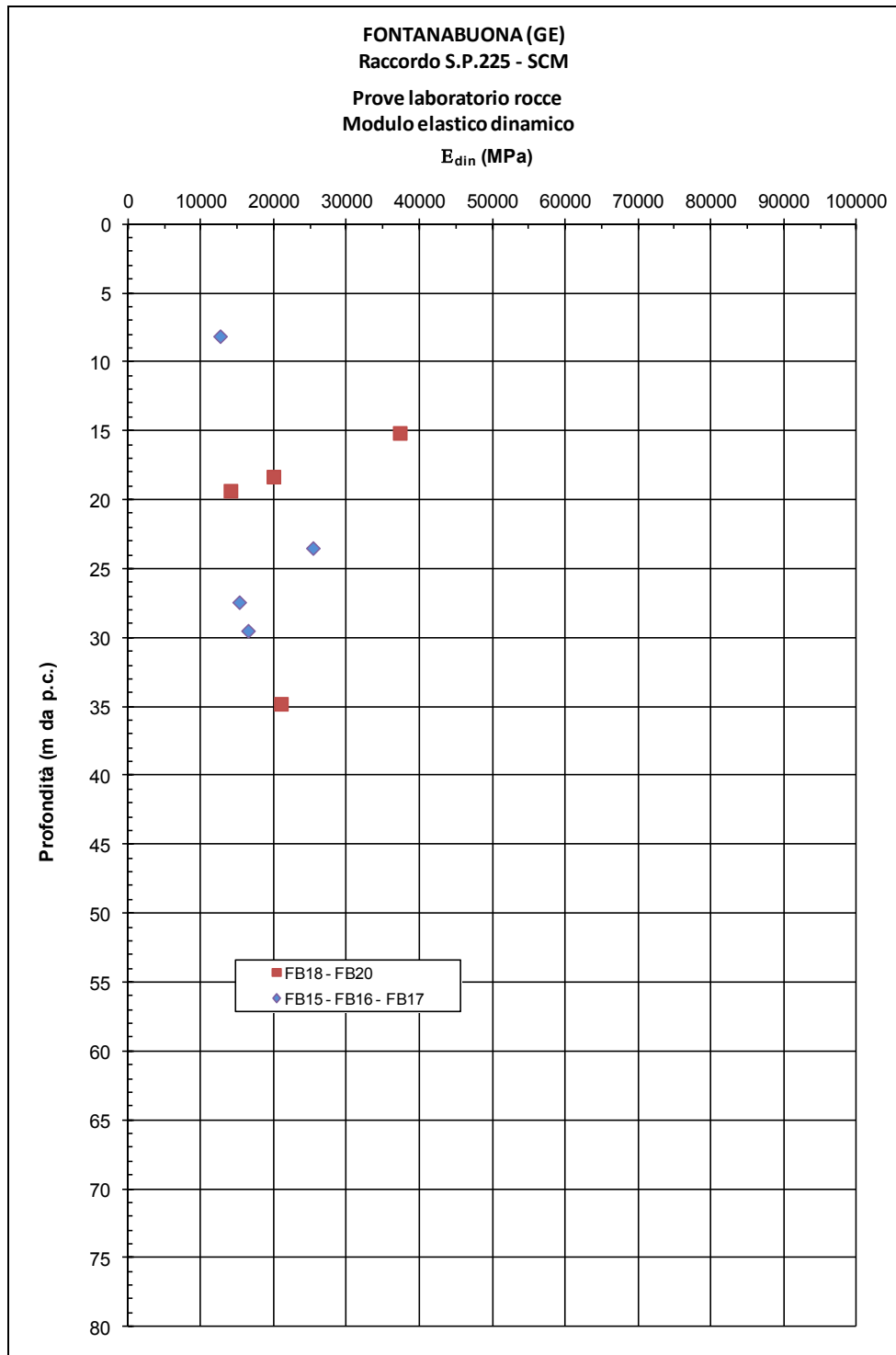


Figura 11.81 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Modulo elastico dinamico

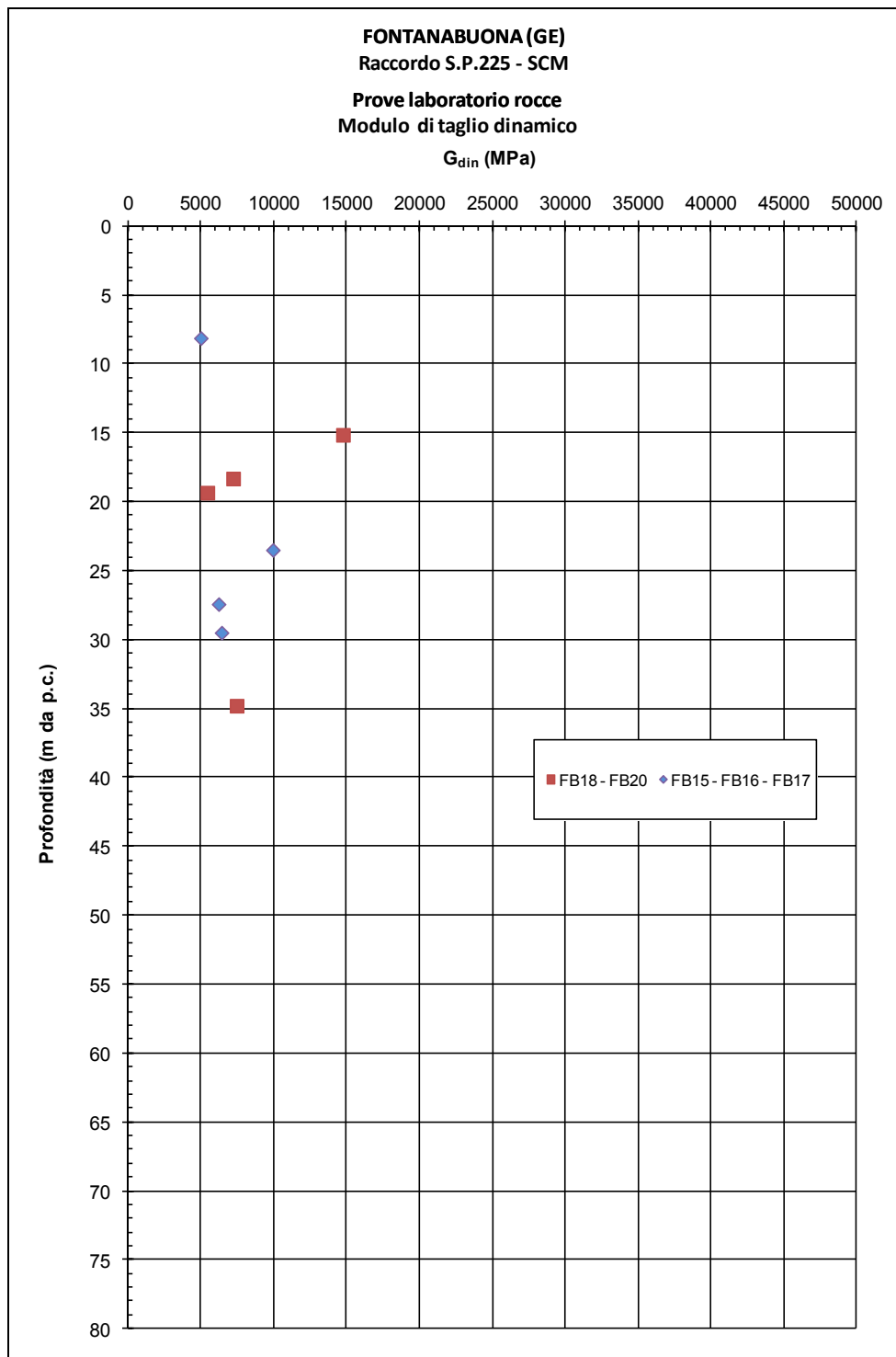


Figura 11.82 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Modulo di taglio dinamico

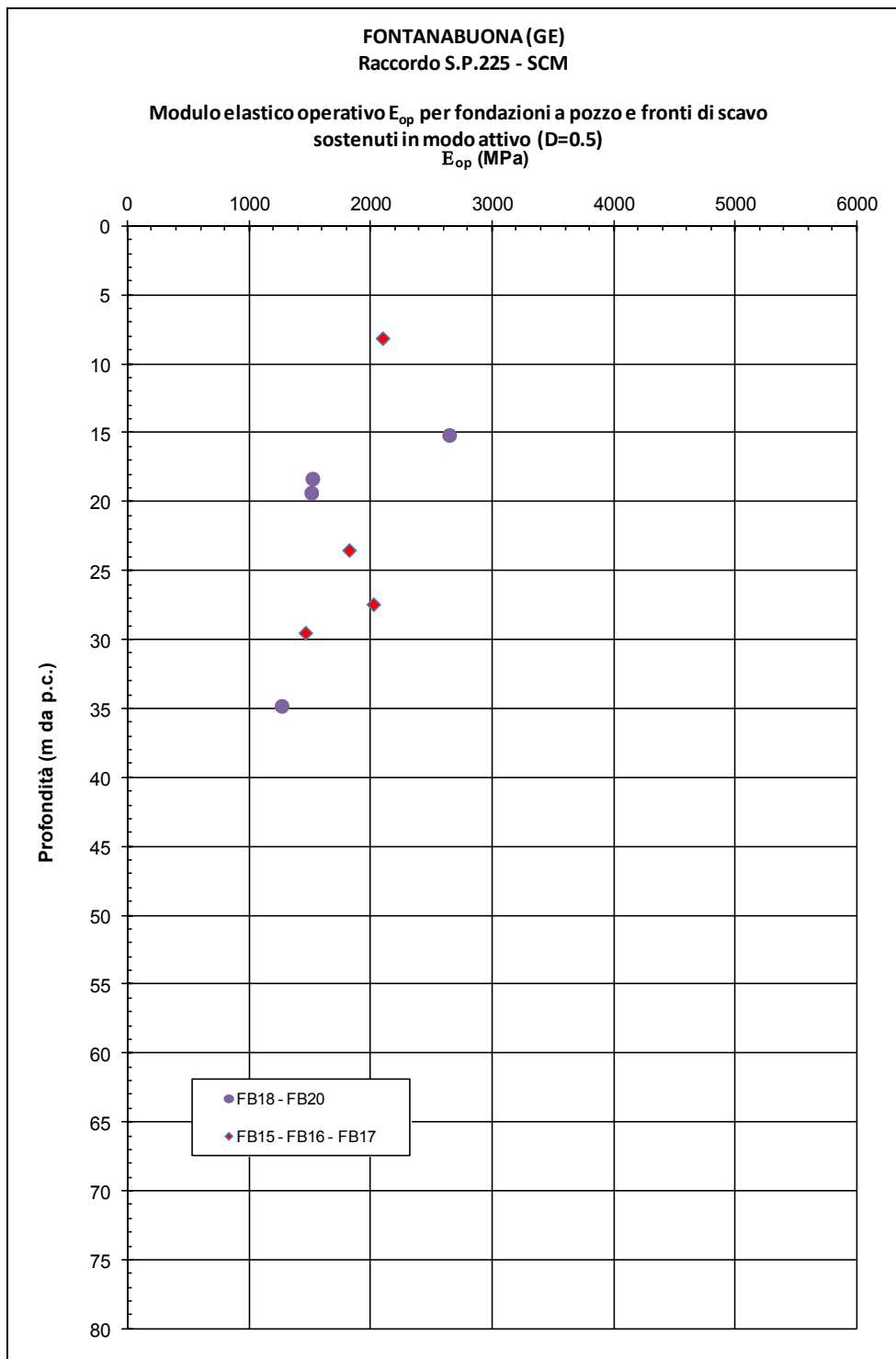


Figura 11.83 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Modulo elastico operativo per fondazioni a pozzo e per fronti di scavo sostenuti in modo attivo (D=0.5)

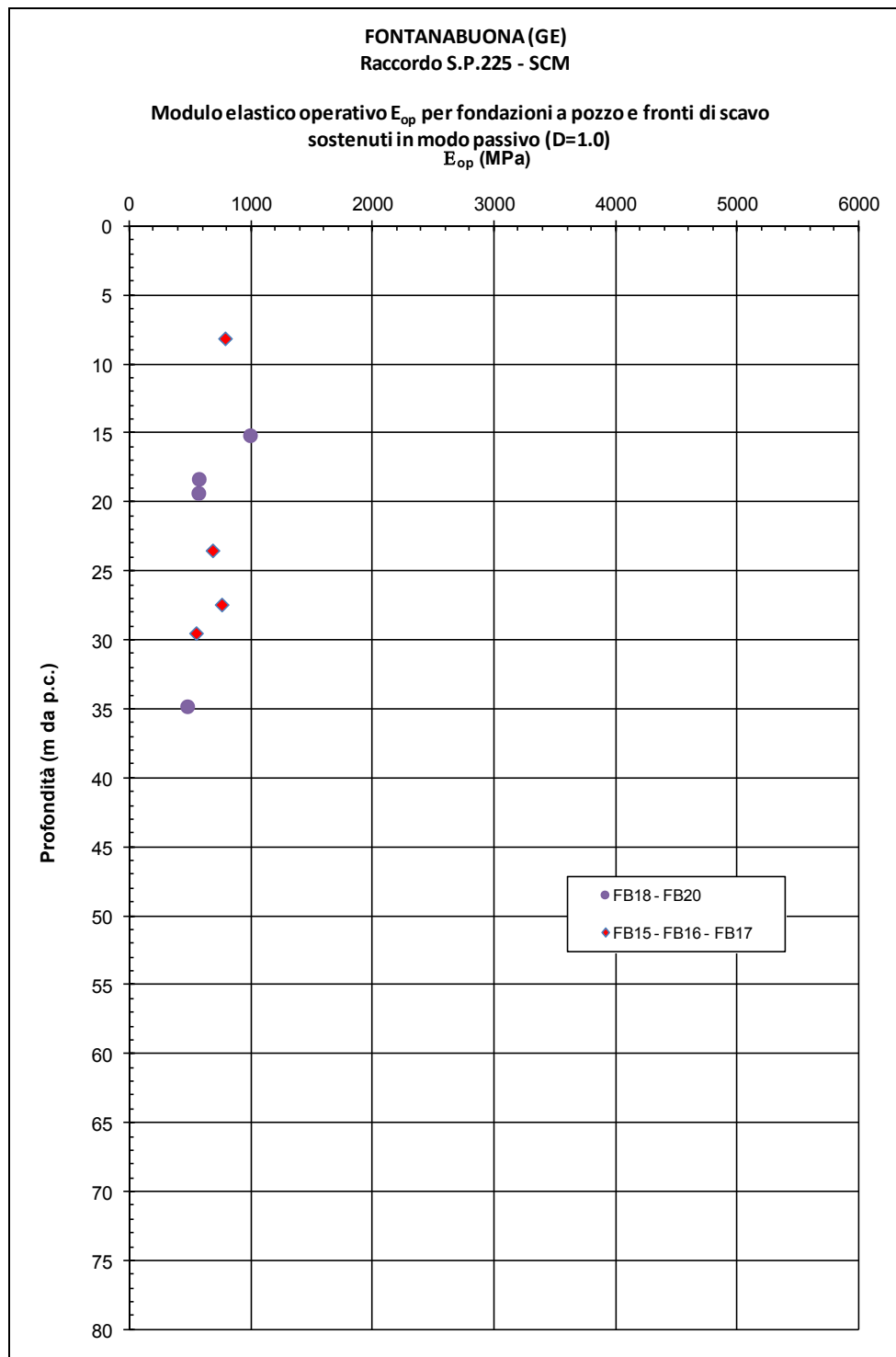


Figura 11.84 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Modulo elastico operativo per fronti di scavo non sostenuti o sostenuti in modo passivo e per fondazioni dirette ($D=1.0$)

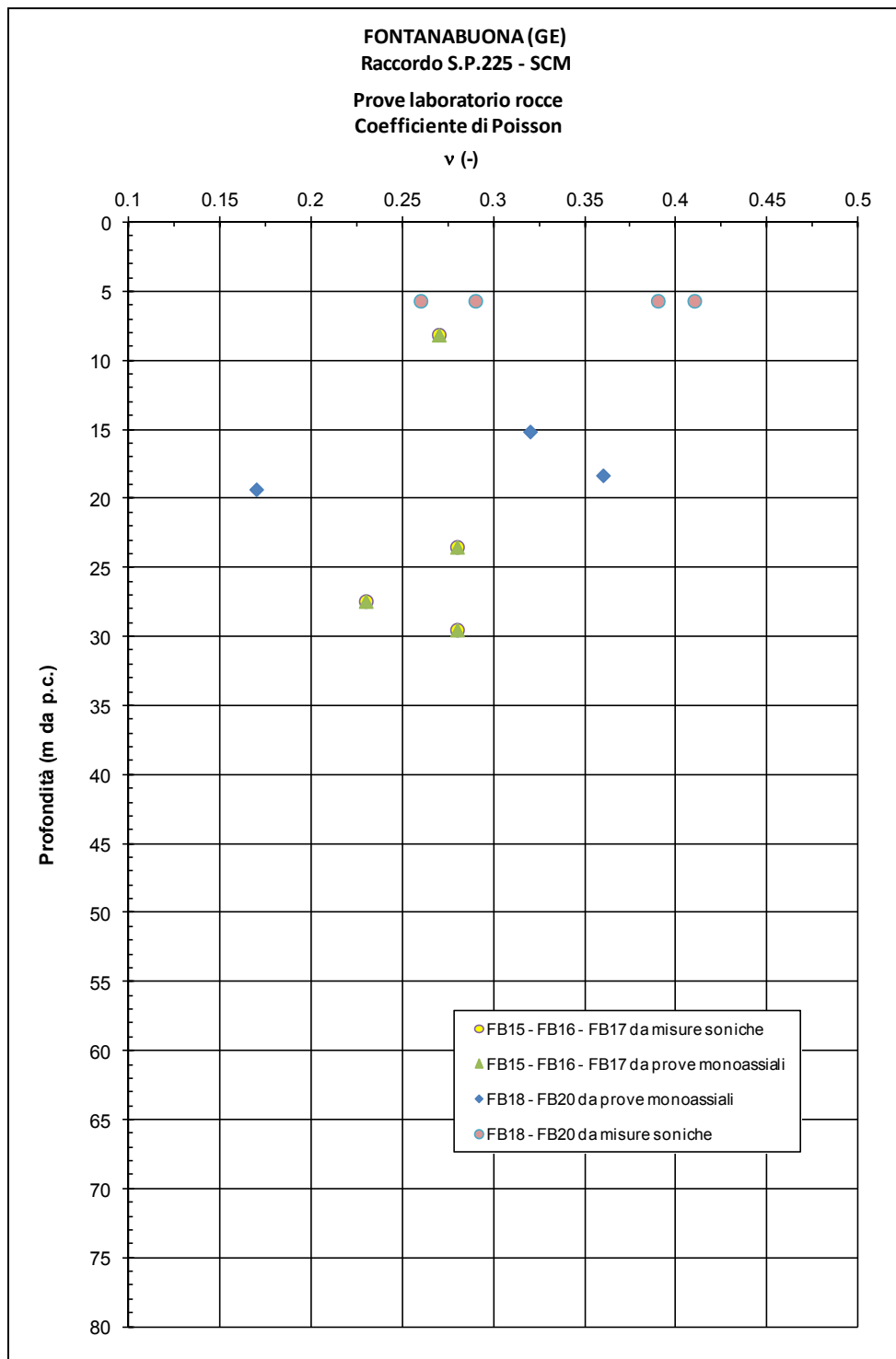


Figura 11.85 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Coefficiente di Poisson

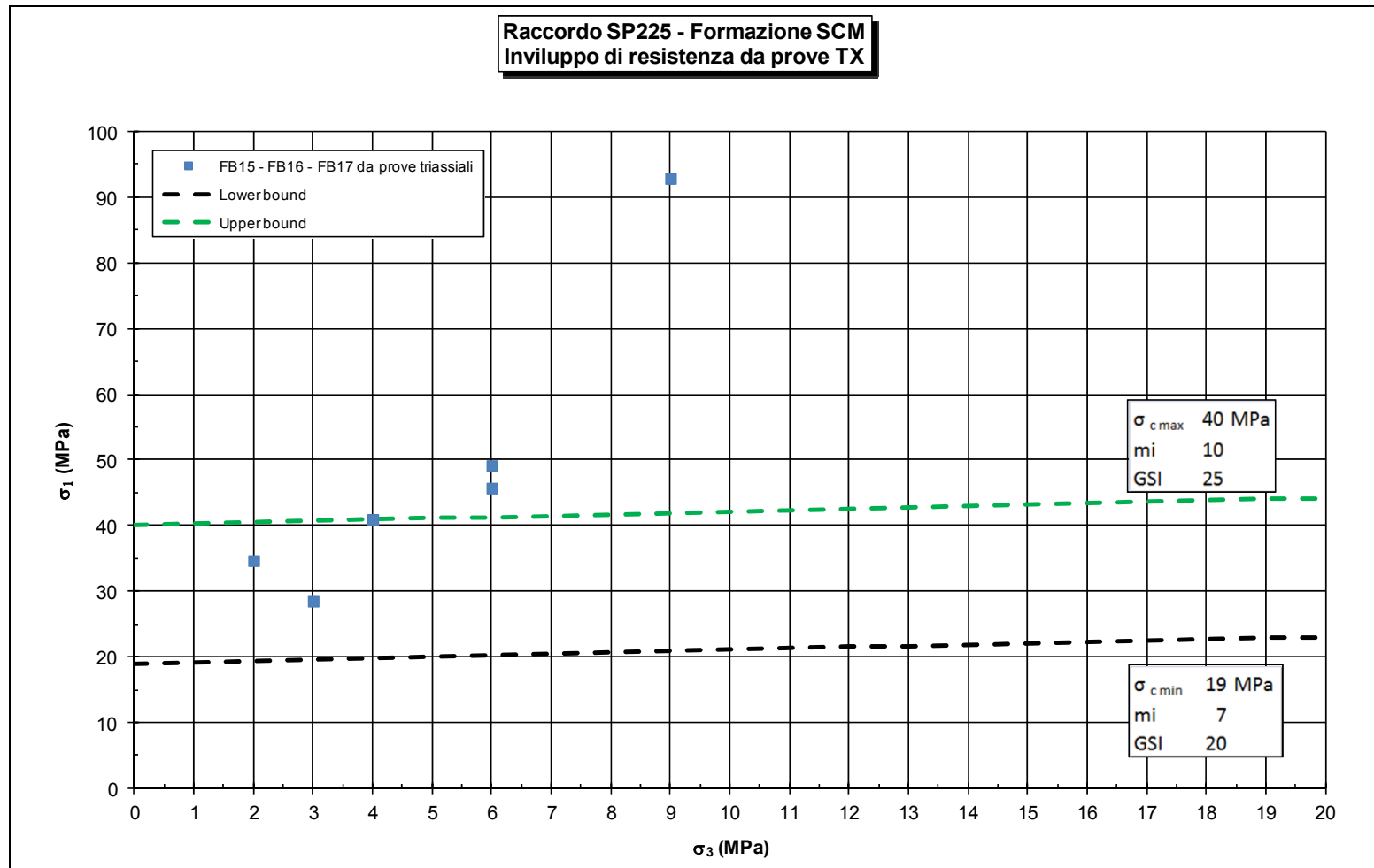


Figura 11.86 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Risultati prove TX

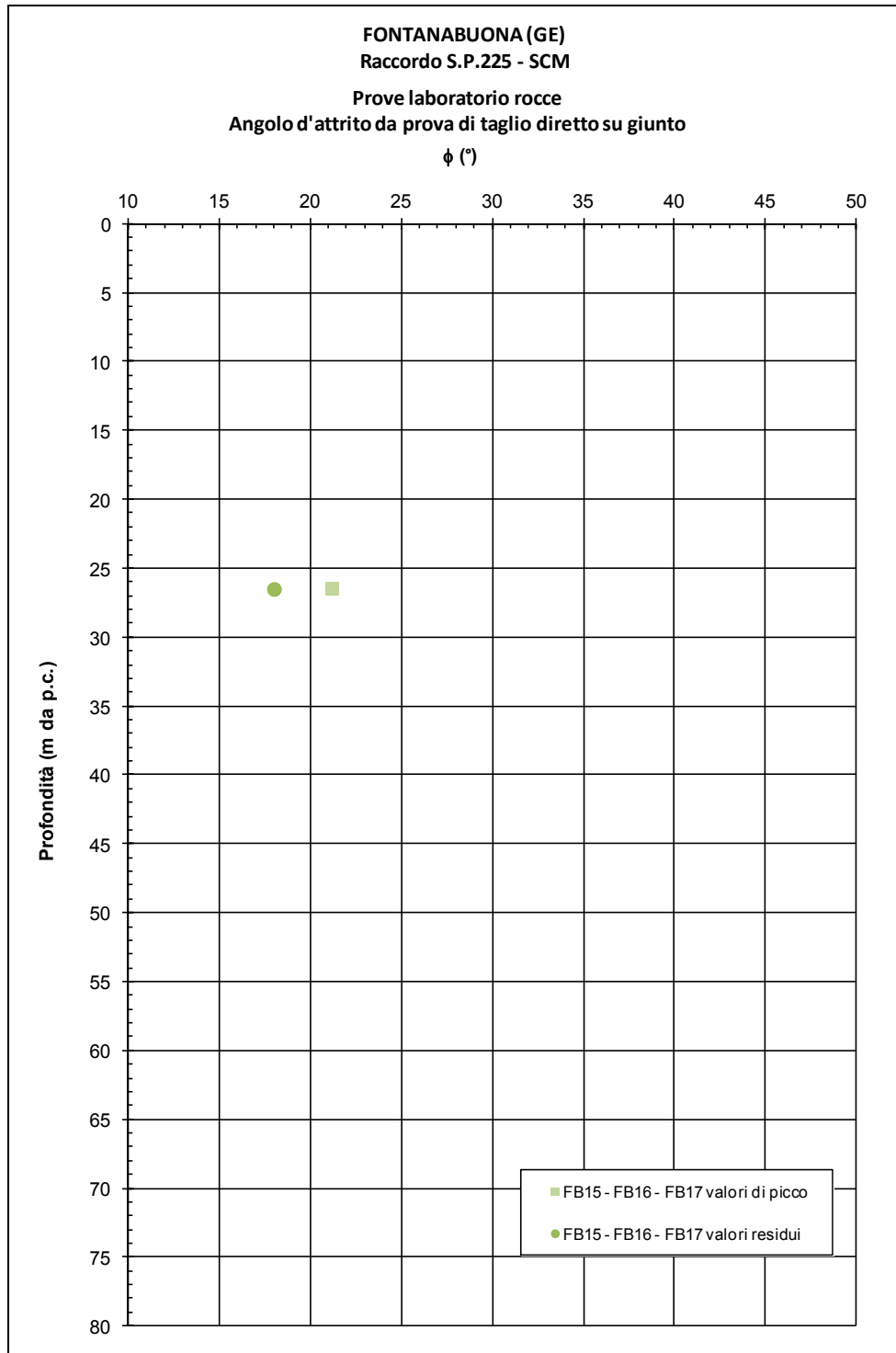


Figura 11.87 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Angolo d'attrito da prova di taglio diretto su giunto

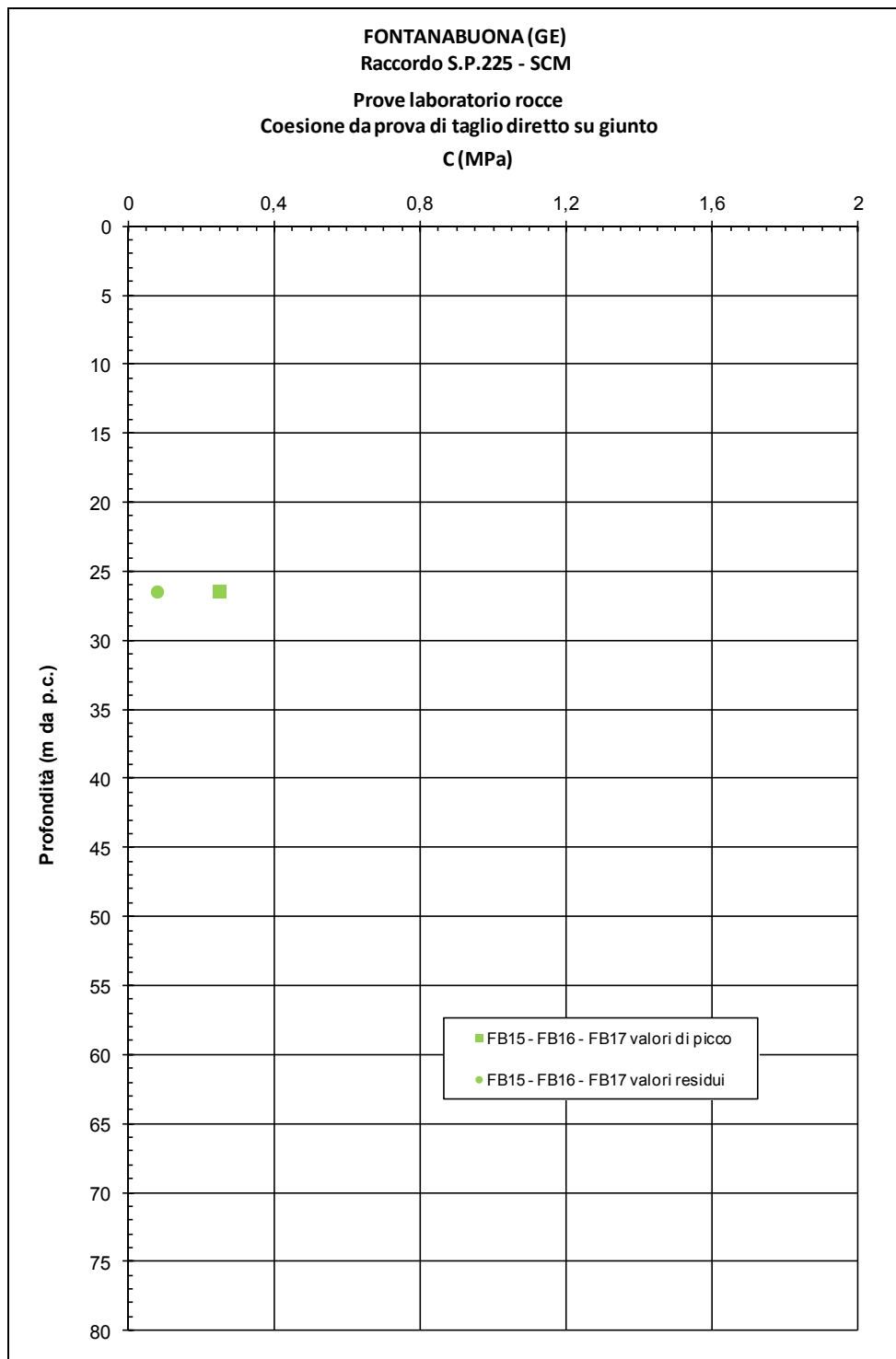


Figura 11.88 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Coesione da prova di taglio diretto su giunto

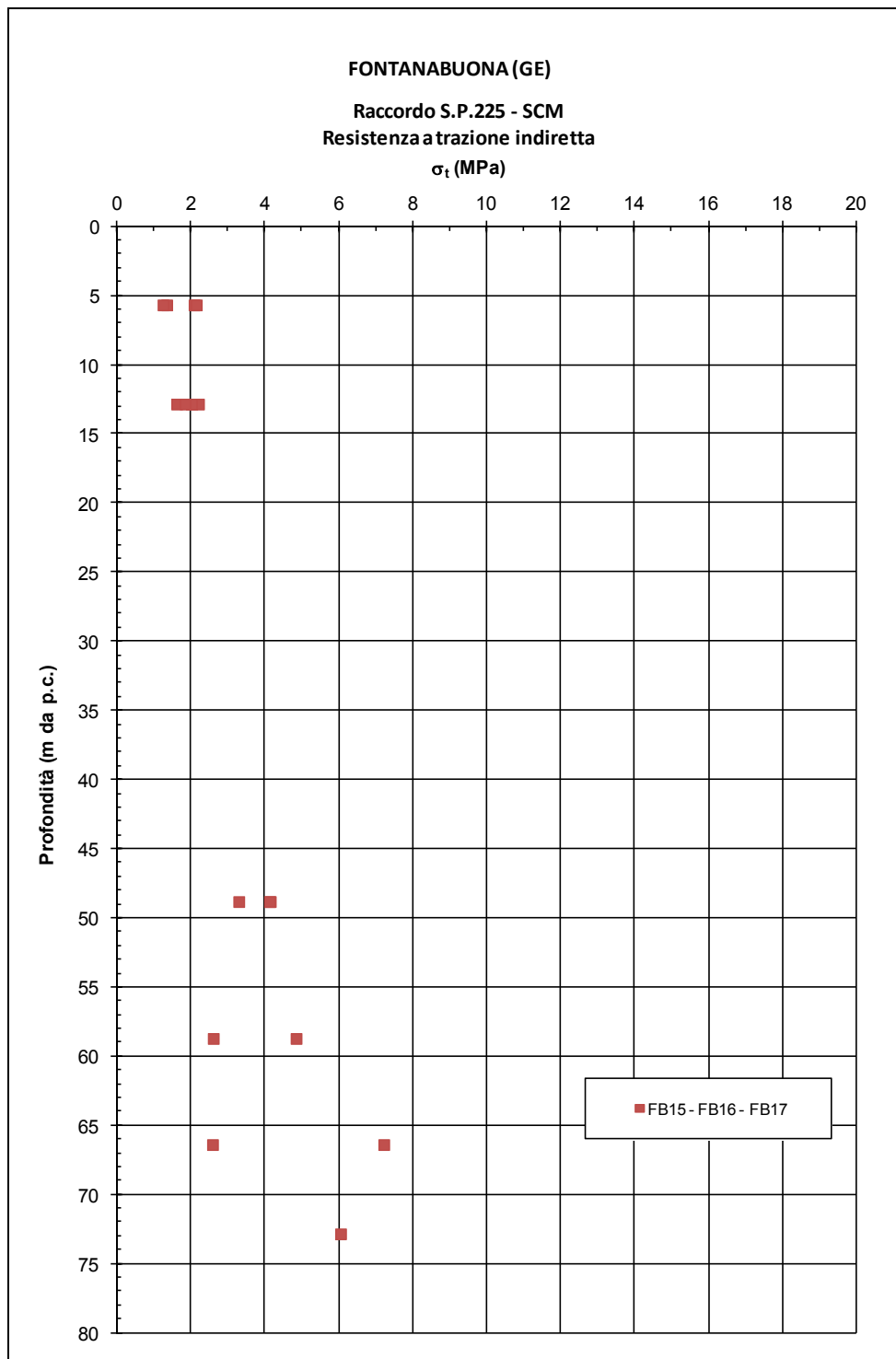


Figura 11.89 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Resistenza a trazione da misura indiretta

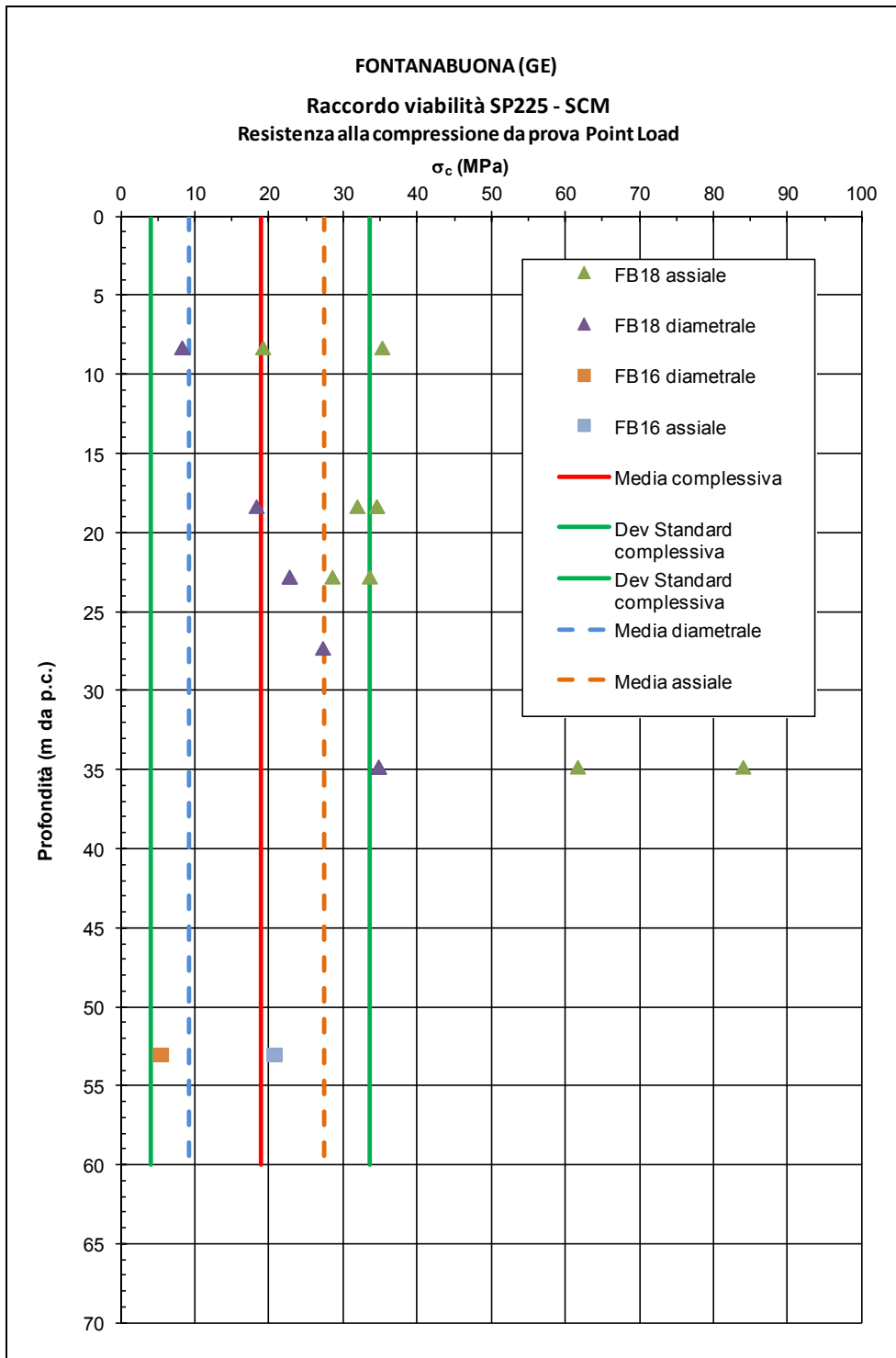


Figura 11.90 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Resistenza a compressione da prova Point Load

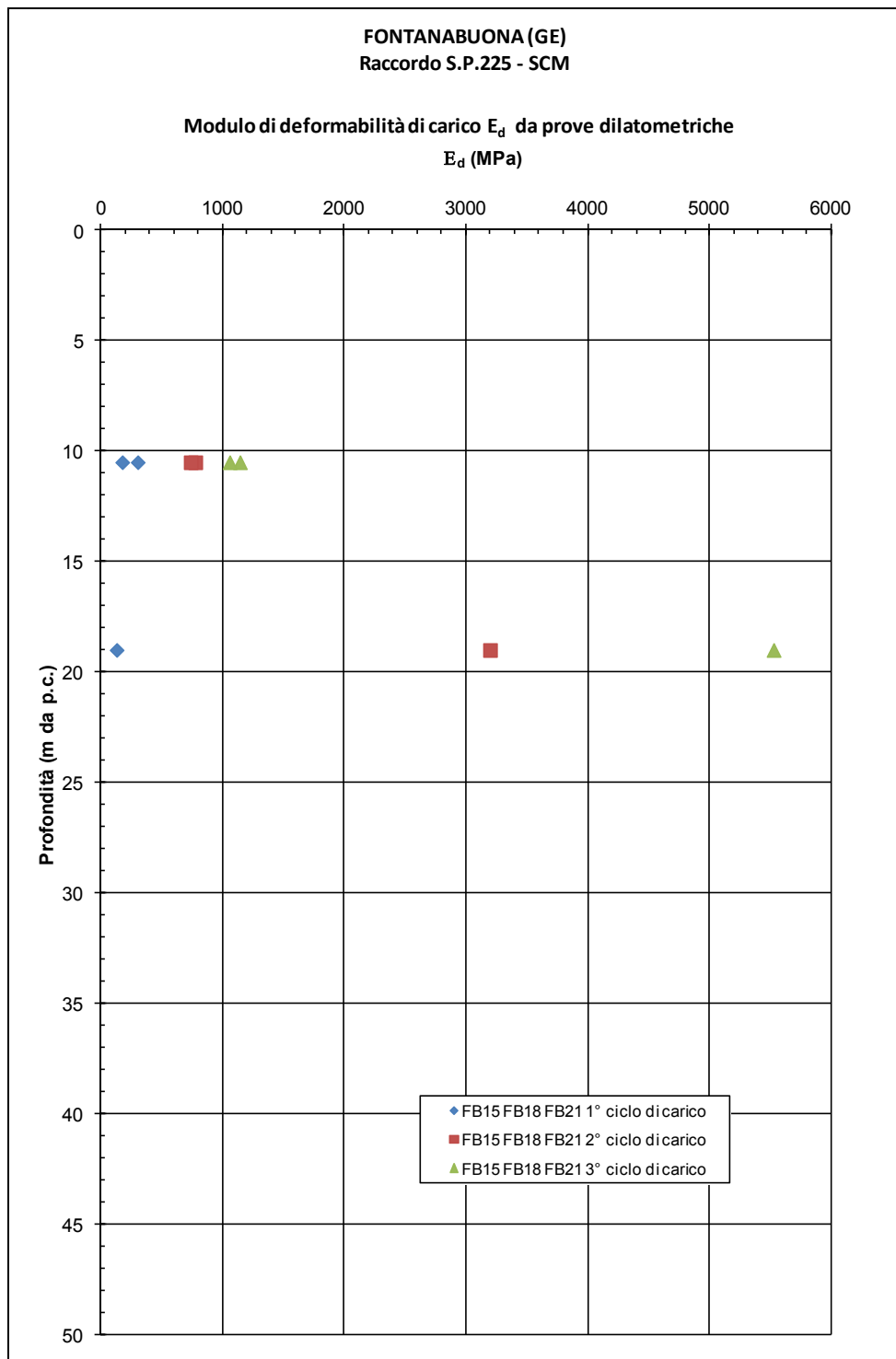


Figura 11.91 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Modulo di deformazione di carico da prova dilatometrica

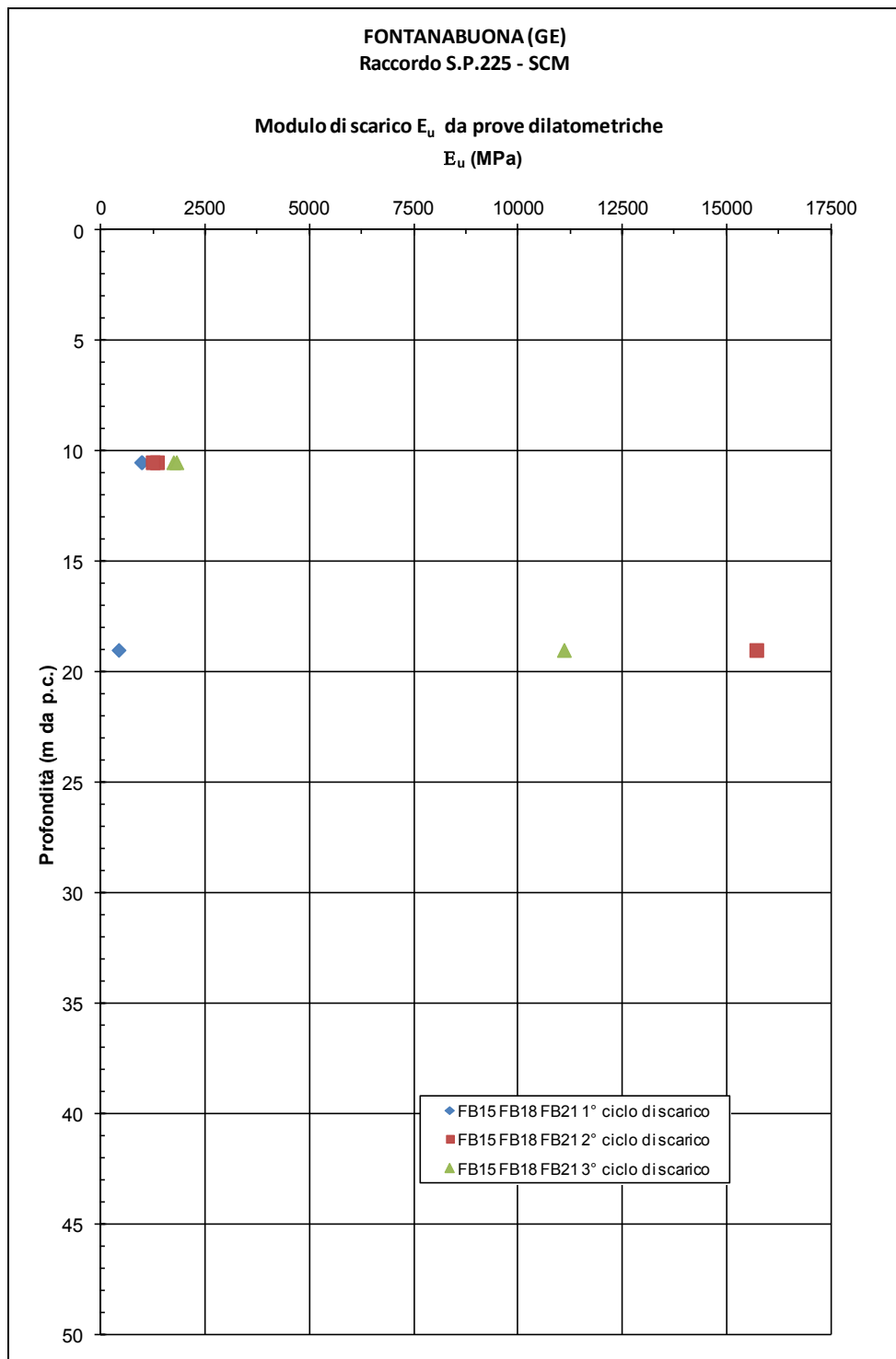


Figura 11.92 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Modulo di scarico da prova dilatometrica

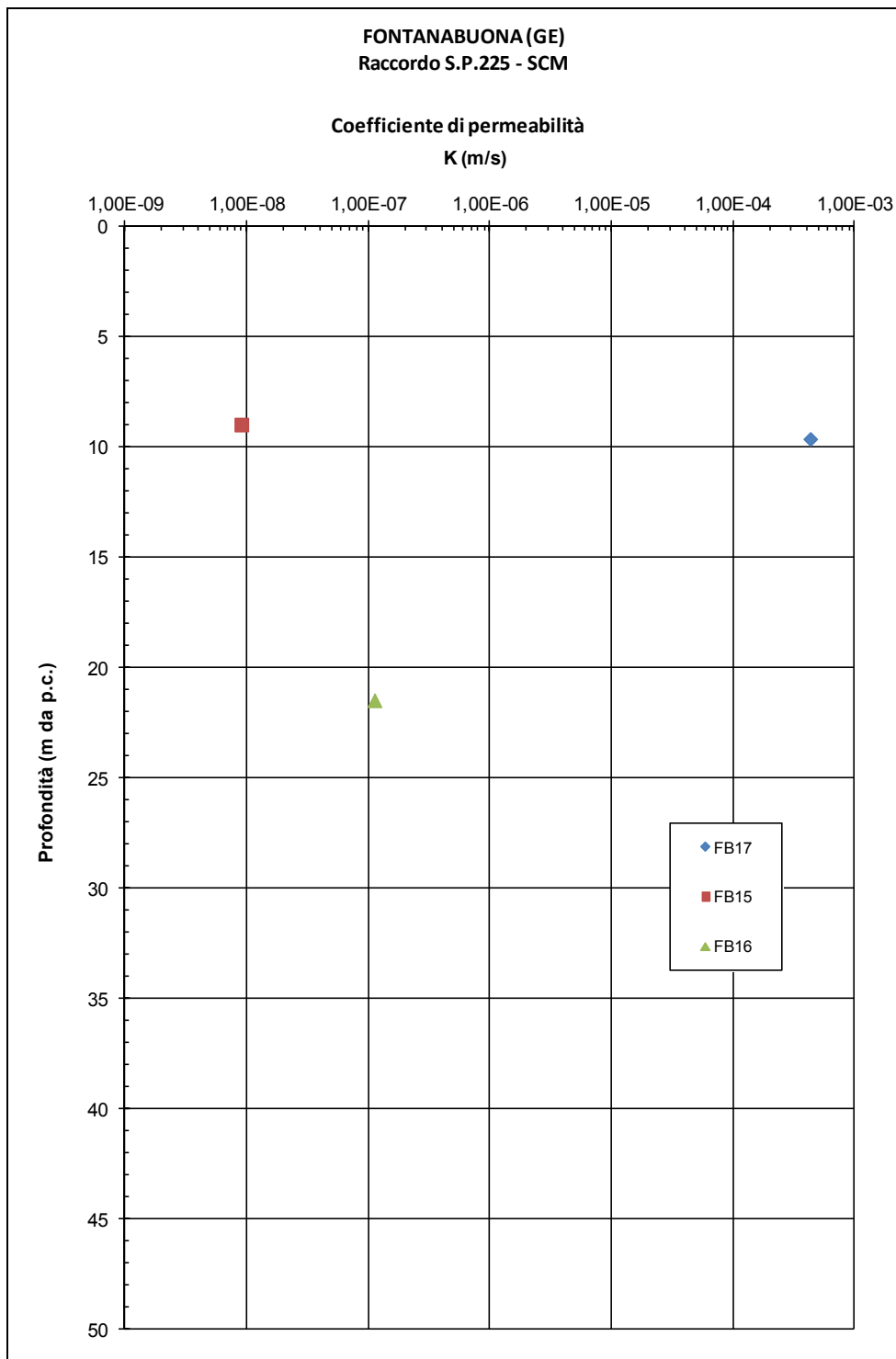


Figura 11.93 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Coefficiente di permeabilità

| Rilievo geomeccanico | | RG1, GR2 | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------------|--|--------------------|-----|--------------------|-----------------|-----|--------|-----|-------------|------|-----|-------|-------------------------|------------------|-----------------|
| ZONA | RILIEVI GEOMECCANICI (2011) | Localizzazione | Quota | Litologia | Formazione | GSI | $\sigma_{c,media}$ | st dev (o var.) | mi | R.Q.D. | RMR | sp discount | Q | JRC | JCS | Giacitura discontinuità | | |
| | | | m slm | | | (-) | MPa | MPa | (-) | (%) | (-) | (cm) | (-) | (-) | (MPa) | immersione (°) | inclinazione (°) | spaziatura (cm) |
| RACCORDO VIABILITA' S.P.225 | RG1 | Svincolo Fontanabuona Ferrada | 120 | Metasiltiti laminate | Scisti Mangesiferi | 25 | 30 | 9 | 10 | 10 | 46 | 1 | 1.33 | 4 | 16 | 146 | 39 | 1 |
| | | | | | | | | | | | | | | 4 | 24 | 253 | 57 | 14 |
| | | | | | | | | | | | | | | 8 | 17 | 15 | 46 | 20 |
| | RG2 | Fontanabuona case Liteglia | 160 | Siltiti grigio verdastre tettonizzate | Scisti Mangesiferi | 20 | 49 | 42 | 7 | 10 | 50 | 1 | 1.33 | 10 | 18 | 195 | 39 | 1 |
| | | | | | | | | | | | | | | 8 | 23 | 206 | 81 | 13 |
| | | | | | | | | | | | | | | 4 | 19 | 302 | 87 | 7 |
| | | | GSI | Geological Stregth Index | (-) | | | | | | | | | | | | | |
| | | | $\sigma_{c,media}$ | resistenza a compressione monoassiale (media) | (MPa) | | | | | | | | | | | | | |
| | | | st dev | deviazione standard | (MPa) | | | | | | | | | | | | | |
| | | | mi | parametro dell'involuppo di rottura | (-) | | | | | | | | | | | | | |
| | | | R.Q.D. | Rock Quality Designation | (%) | | | | | | | | | | | | | |
| | | | RMR | Rock Mass Rating | (-) | | | | | | | | | | | | | |
| | | | sp discount | spaziatura delle discontinuità | (cm) | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Q | indice di qualità intrinseco dell'ammasso roccioso | (-) | | | | | | | | | | | | | |
| | | | JRC | rugosità del giunto | (-) | | | | | | | | | | | | | |
| | | | JCS | resistenza a compessione del giunto | (-) | | | | | | | | | | | | | |
| | | | Giacitura discontinuità | immersione | (°) | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | inclinazione | (°) | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | spaziatura | (cm) | | | | | | | | | | | | | |

Tabella 11.41 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Risultati rilievi geomeccanici

12. CRITERI DI COSTRUZIONE DEI RILEVATI

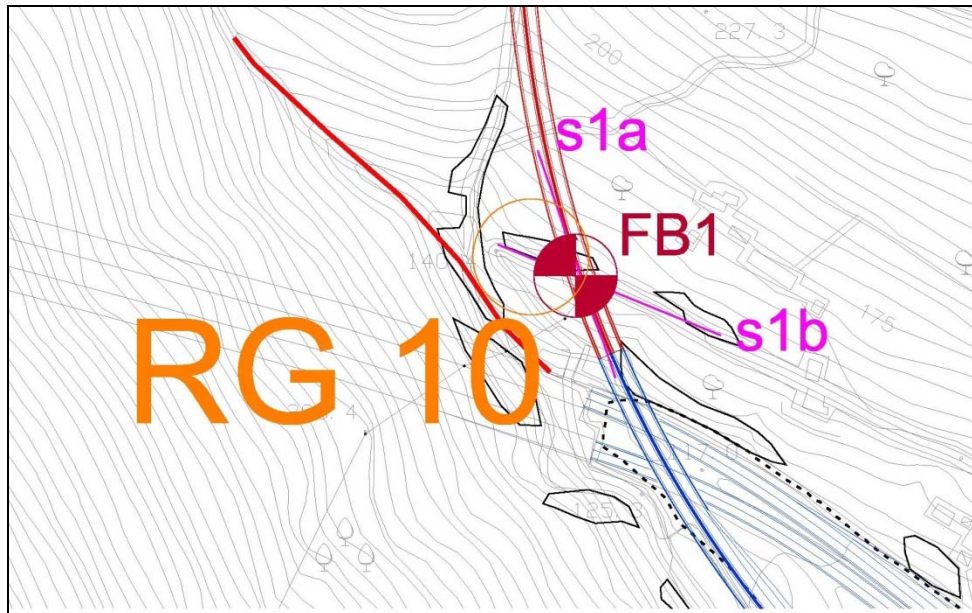
I rilevati saranno realizzati seguendo i criteri delle NTA, adottando pendenze delle scarpate di 7H:4V, con interposizione di berme ogni 5.0 m, secondo quanto esplicitato sulla Tavola Tipologica allegata al presente Progetto (elaborato di riferimento [9]).

Per quanto riguarda il materiale da costruzione, si esclude il ricorso a terreno in sito trattato a calce, prevedendo di utilizzare materiale da rilevato ottenuto da cave di prestito oppure dallo smarino delle gallerie.

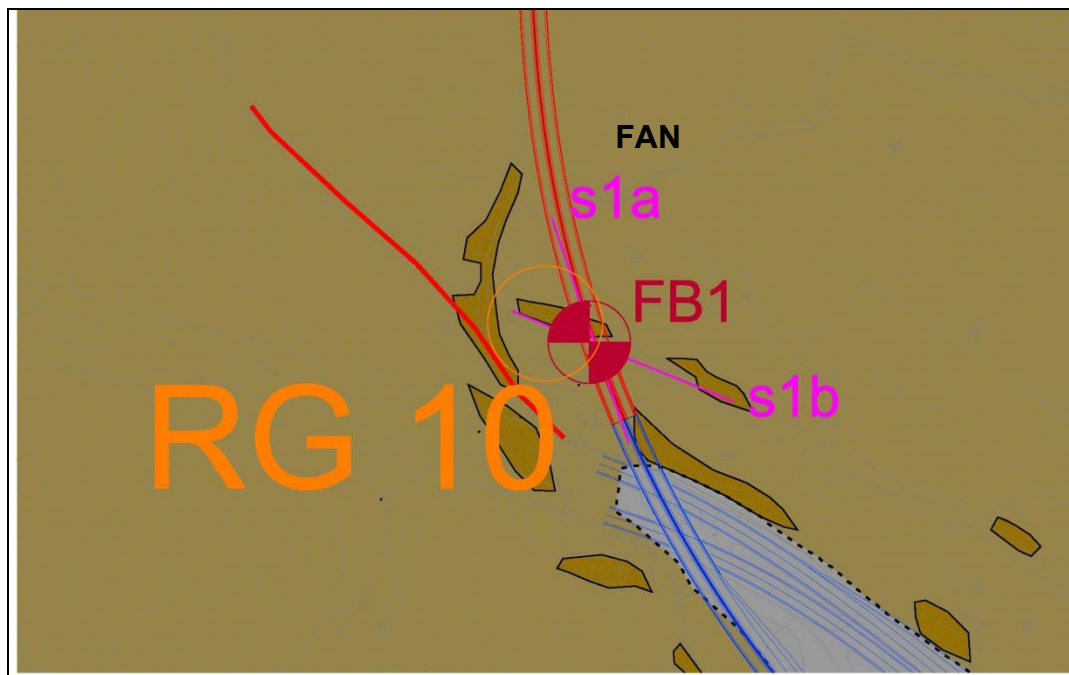
ALLEGATO A

Risultati rilievi geomeccanici

RILIEVO GEOMECCANICO RG10



Ubicazione delle indagini di riferimento



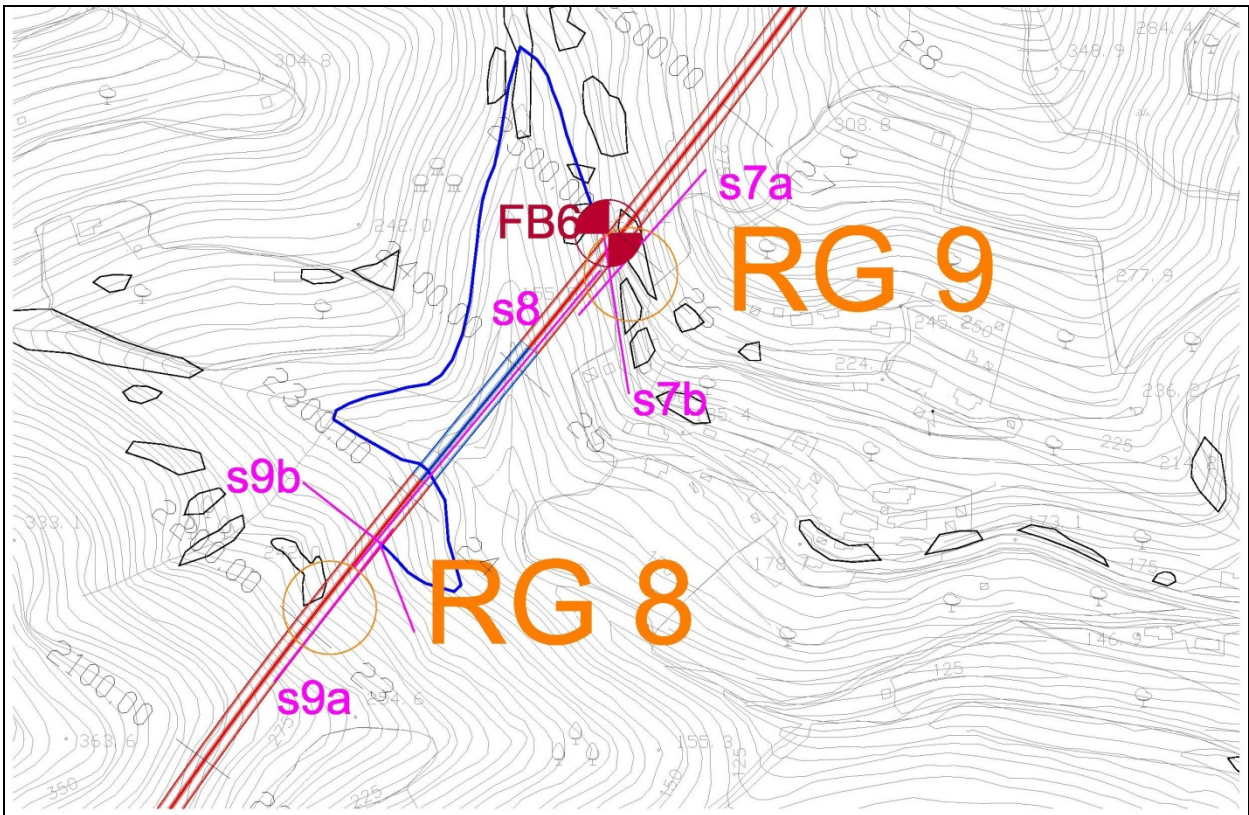
Ubicazione delle indagini di riferimento su carta geologica

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**Foto 1 - Affioramento di cui al rilievo RG10**

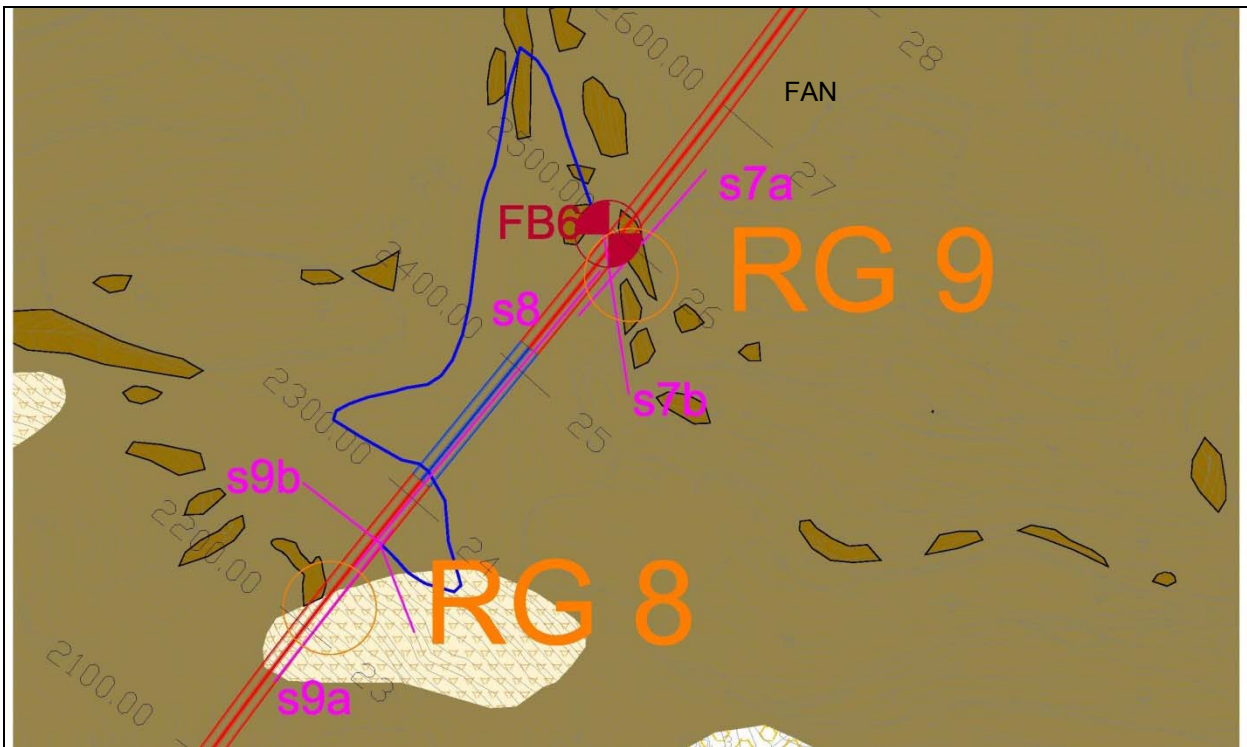


Foto 2 - Affioramento calcareo (FAN) sul lato Ovest dell'imbocco Rapallo

RILIEVI GEOMECCANICI RG8 e RG9



Ubicazione delle indagini di riferimento



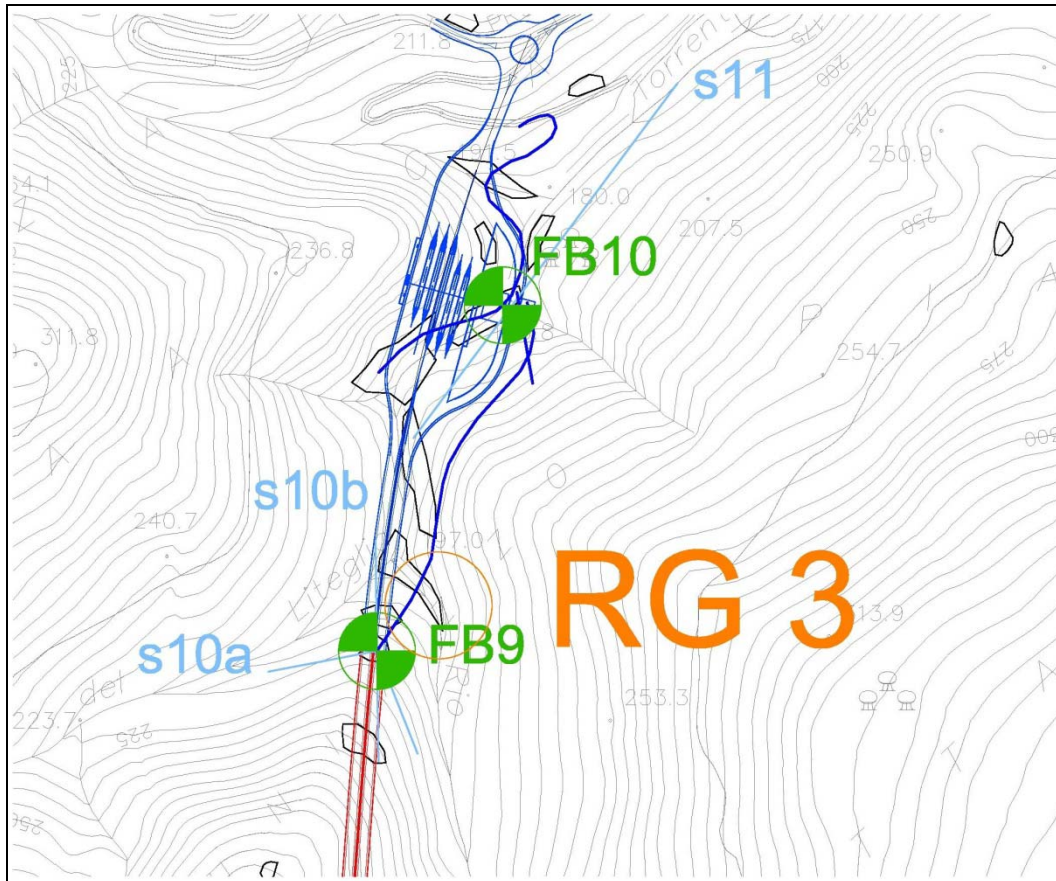
Ubicazione delle indagini di riferimento su carta geologica

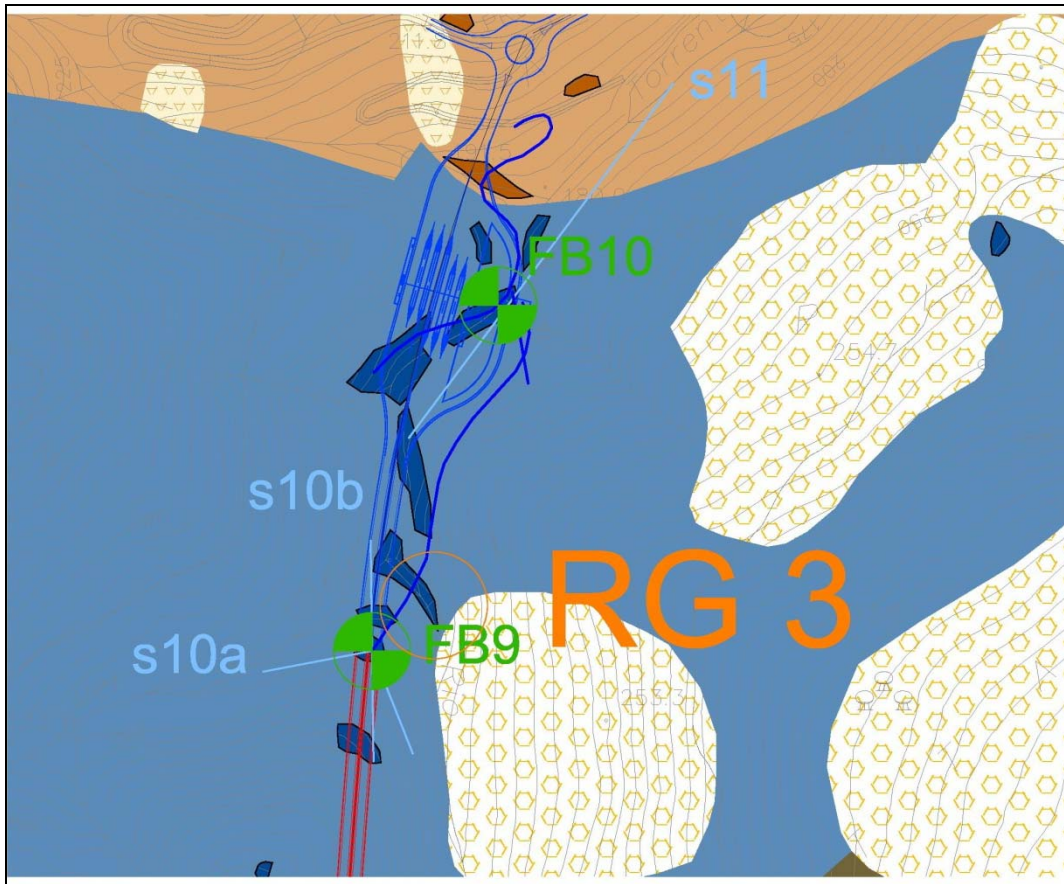


Foto 1: Affioramento del rilievo geologico RG8



Foto 2: Affioramento del rilievo geologico RG9

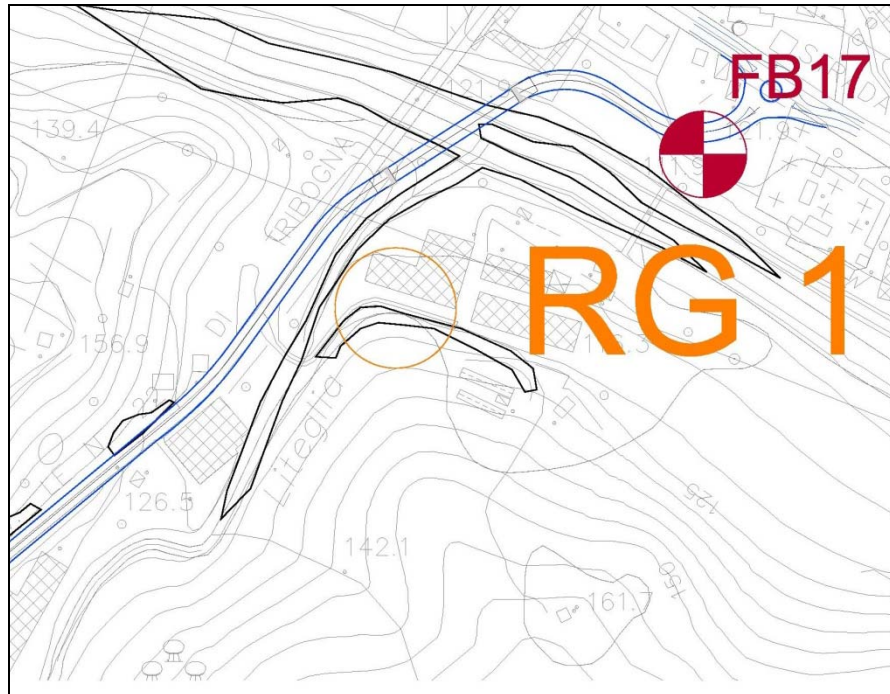
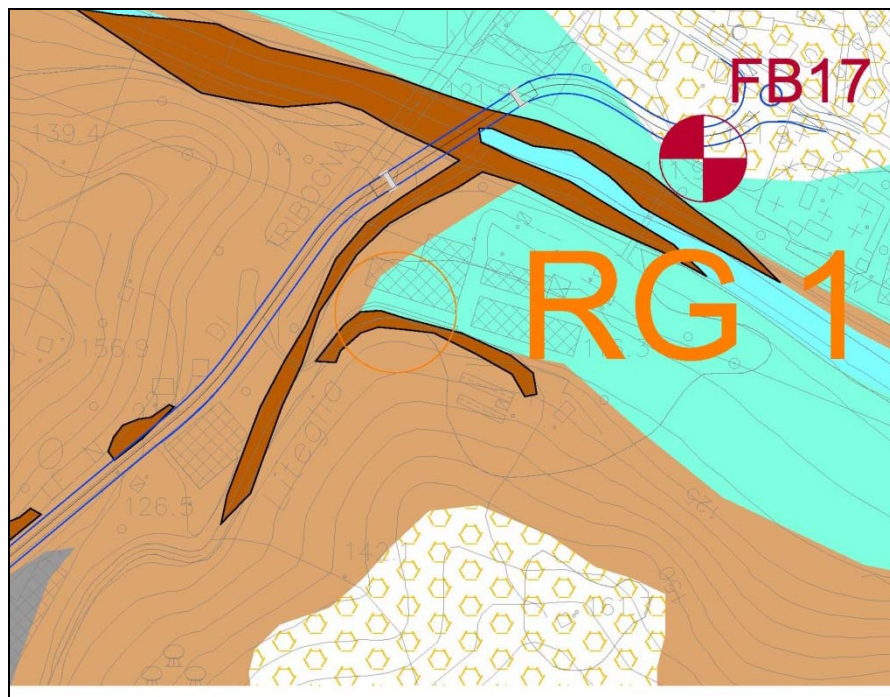
RILIEVO GEOMECCANICO RG3**Ubicazione delle indagini di riferimento**



Ubicazione delle indagini di riferimento su carta geologica



Affioramento in corrispondenza del rilievo geomeccanico RG3 - Marne calcaree nerastre, nocciola in alterazione in strati da centimetrici a decimetrici

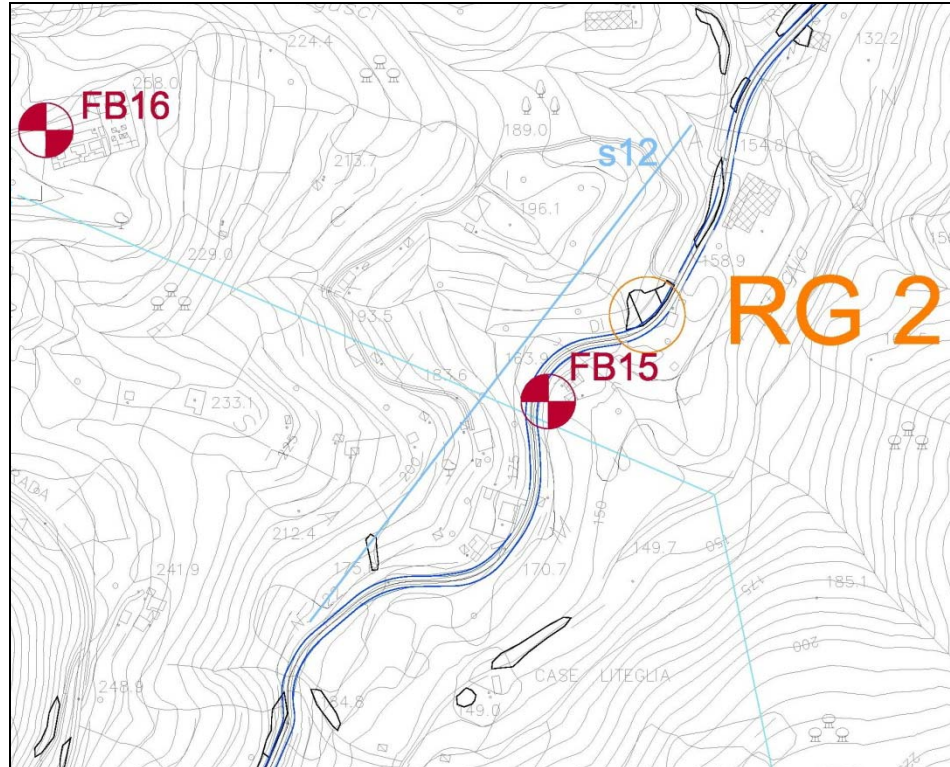
RILIEVO GEOMECCANICO RG1**Ubicazione delle indagini di riferimento****Ubicazione delle indagini di riferimento su carta geologica**

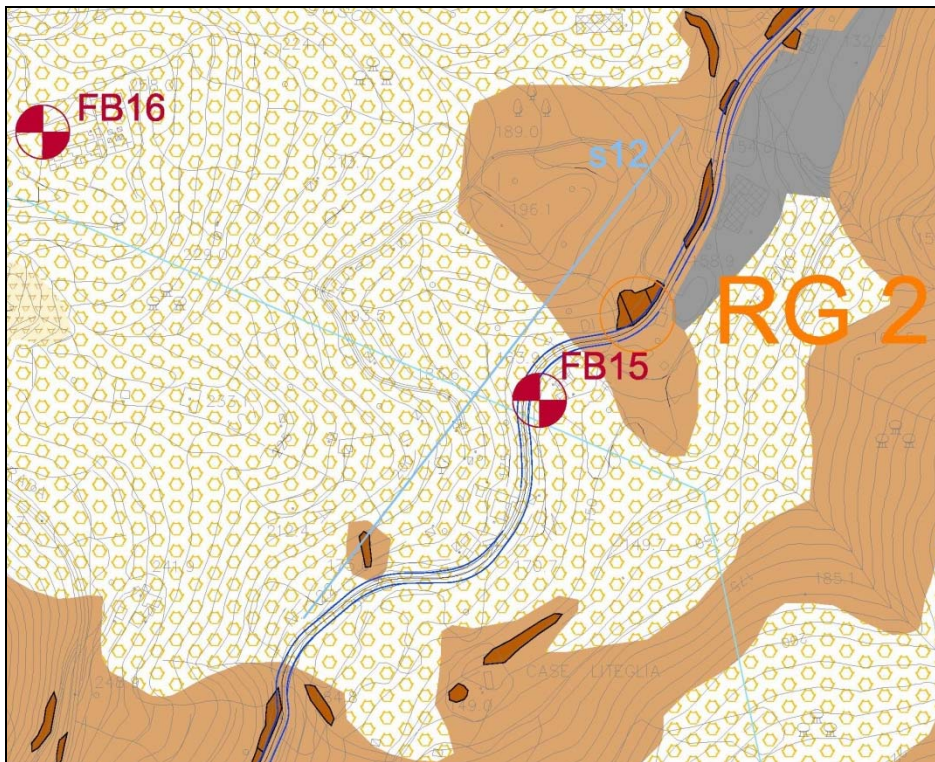


Affioramento Formazione SMG lungo SP-225



Fotografia dell'affioramento in corrispondenza del rilievo geomeccanico RG1 - Metasiltiti grigio-verdastre fittamente laminate con subordinate intercalazioni di metaareniti fini in strati decimetrici.

RILIEVO GEOMECCANICO RG2**Ubicazione delle indagini di riferimento**



Ubicazione delle indagini di riferimento su carta geologica



Zona imbocco galleria (sondaggio FB9)



Zona imbocco galleria (sondaggio FB9 -dettaglio)



Zona imbocco galleria (dettaglio)

ALLEGATO B

Tabelle risultati prove in sito

| SONDAGGI TERRA 2013 | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|------------|-------------|------------------|------------|-------------|
| Sigla | Tipo di prova | Profondità prova (m) | Ciclo di carico | | Ed (MPa) | Ciclo di scarico | | Eu (MPa) |
| | | | inizio (kPa) | fine (kPa) | | inizio (kPa) | fine (kPa) | |
| FB3 | prova dilatometrica | 28,50 | 730 | 2310 | 13443 | 2310 | 700 | 17924 |
| | | | 700 | 3910 | 16616 | 3910 | 700 | 21679 |
| | | | 700 | 7090 | 19773 | 7090 | 680 | 24315 |
| FB4 | prova dilatometrica | 10,50 | 910 | 2010 | 7837 | 2010 | 1020 | 9996 |
| | | | 1020 | 3420 | 11172 | 3420 | 990 | 16055 |
| | | | 990 | 6590 | 17117 | 6590 | 1010 | 21715 |
| FB5 | prova dilatometrica | 6,00 | 1000 | 2600 | 17925 | 2600 | 990 | 24771 |
| | | | 990 | 4990 | 20787 | 4990 | 1010 | 28875 |
| | | | 1010 | 8810 | 28366 | 8810 | 990 | 35924 |
| FB11 | prova dilatometrica | 10,50 | 800 | 2410 | 10158 | 2410 | 810 | 11611 |
| | | | 810 | 4410 | 11615 | 4410 | 1190 | 14731 |
| | | | 1199 | 7610 | 14350 | 761 | 1220 | 19676 |
| FB12 | prova dilatometrica | 15,00 | 810 | 2400 | 8844 | 2400 | 800 | 13168 |
| | | | 800 | 4400 | 11456 | 4400 | 1220 | 21526 |
| | | | 1220 | 7600 | 17202 | 7600 | 1190 | 27885 |
| SV1 | prova dilatometrica | 16,50 | 500 | 1510 | 9214 | 1510 | 520 | 13627 |
| | | | 520 | 2900 | 12923 | 2900 | 520 | 19462 |
| | | | 520 | 4490 | 16208 | 4490 | 520 | 23099 |
| SV3 | prova dilatometrica | 15,50 | 490 | 1720 | 7289 | 1720 | 500 | 11674 |
| | | | 500 | 2900 | 9922 | 2900 | 500 | 12949 |
| | | | 500 | 4500 | 11235 | 4500 | 520 | 14225 |
| SV6 | prova dilatometrica | 15,50 | 620 | 1790 | 4296 | 1790 | 590 | 7454 |
| | | | 590 | 2590 | 7124 | 2590 | 620 | 10214 |
| | | | 620 | 4590 | 9579 | 4590 | 620 | 12933 |
| SV7 | prova dilatometrica | 14,00 | 650 | 1650 | 257 | 1650 | 650 | 938 |
| | | | 650 | 2220 | 499 | 2220 | 670 | 1091 |
| | | | 670 | 3430 | 596 | 3430 | 670 | 1361 |

| SONDAGGI TERRA 2011 | | | | | | | | |
|---------------------|---------------------|-------------------------|-----------------|------------|-------------|------------------|------------|-------------|
| Sigla | Tipo di prova | Profondità prova (m) | Ciclo di carico | | Ed (MPa) | Ciclo di scarico | | Eu (MPa) |
| | | | inizio (kPa) | fine (kPa) | | inizio (kPa) | fine (kPa) | |
| FB1 | prova dilatometrica | 14,50 | 700 | 1710 | 4702 | 1710 | 710 | 11190 |
| | | | 710 | 3100 | 6412 | 3100 | 710 | 11529 |
| | | | 710 | 5120 | 7823 | 5120 | 1100 | 14029 |
| FB6 | prova dilatometrica | 35,50 | 600 | 2200 | 9087 | 2200 | 610 | 12247 |
| | | | 610 | 4200 | 11415 | 4200 | 1010 | 14934 |
| | | | 1010 | 7400 | 12520 | 7400 | 1010 | 17346 |
| SV2 | prova dilatometrica | 21,40 | 510 | 2310 | 7721 | 2310 | 680 | 11779 |
| | | | 680 | 4270 | 9531 | 4270 | 1080 | 14851 |
| | | | 1080 | 7500 | 11058 | 7500 | 1100 | 16065 |

| SONDAGGI VICENZETTO 2013 | | | | | | | | |
|--------------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------|------------|-------------|------------------|------------|-------------|
| Sigla | Tipo di prova | Profondità prova (m) | Ciclo di carico | | Ed (MPa) | Ciclo di scarico | | Eu (MPa) |
| | | | inizio (kPa) | fine (kPa) | | inizio (kPa) | fine (kPa) | |
| FB14 | prova dilatometrica (con creep) | 15,50 | 0 | 990 | 633 | 990 | 10 | 1456 |
| | | | 10 | 1990 | 1199 | 1990 | 0 | 2084 |
| | | | 0 | 3000 | 1591 | 3000 | 0 | 2352 |
| FB18 | prova dilatometrica (con creep) | 10,50 | 0 | 990 | 302 | 990 | 0 | 962 |
| | | | 0 | 2010 | 775 | 2010 | 0 | 1343 |
| | | | 0 | 3000 | 1142 | 3000 | 0 | 1734 |
| FB20 | prova dilatometrica (con creep) | 11,50 | 0 | 1010 | 213 | 1010 | 0 | 603 |
| | | | 0 | 2010 | 462 | 2010 | 0 | 806 |
| | | | 0 | 3000 | 658 | 3000 | 20 | 1069 |
| FB21 | prova dilatometrica (con creep) | 10,50 | 0 | 990 | 175 | 990 | 140 | 981 |
| | | | 140 | 2060 | 738 | 2060 | 110 | 1241 |
| | | | 110 | 2820 | 1058 | 2820 | 120 | 1808 |

| SONDAGGI RCT 2011 | | | | | | | | |
|-------------------|---------------------------------|-------------------------|-----------------|------------|-------------|------------------|------------|-------------|
| Sigla | Tipo di prova | Profondità prova (m) | Ciclo di carico | | Ed (MPa) | Ciclo di scarico | | Eu (MPa) |
| | | | inizio (kPa) | fine (kPa) | | inizio (kPa) | fine (kPa) | |
| FB7 | prova dilatometrica | 133,48 | 690 | 1480 | 1878 | 480 | 690 | 7133 |
| | | | 740 | 1700 | 11389 | 1700 | 740 | 2673 |
| | | | 630 | 1660 | 5505 | 1660 | 630 | 7590 |
| FB9 | prova dilatometrica | 16,15 | 580 | 1084 | 981 | 1084 | 580 | 1833 |
| | | | 500 | 1506 | 1892 | 1506 | 500 | 1673 |
| | | | 508 | 1900 | 2918 | 1900 | 508 | 4449 |
| FB10 | prova dilatometrica (con creep) | 30,25 | 0 | 1000 | 2541 | 1000 | 0 | 7059 |
| | | | 0 | 2170 | 5013 | 2170 | 10 | 10165 |
| | | | 10 | 3000 | 6784 | 3000 | 0 | 13145 |
| FB15 | prova dilatometrica (con creep) | 19,00 | 0 | 1010 | 129 | 1010 | 20 | 423 |
| | | | 20 | 2010 | 3197 | 2010 | 30 | 15708 |
| | | | 30 | 2730 | 5528 | 2730 | 20 | 11096 |

Risultati prove dilatometriche

| SONDAGGI VICENZETTO 2013 | | | | | | |
|--------------------------|----------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|
| Sigla | Tipo di prova | Profondità prova | Po | Pf | PI | E |
| | | (m) | (MPa) | (MPa) | (MPa) | (MPa) |
| FB14 | prova pressiométrica | 6,80 | 0,116 | 0,293 | 0,917 | 8,57 |

Risultati prove pressiométriche

| SONDAGGI TERRA 2013 | | | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------------|
| Sigla | Quota (m s.l.m.) | Tipo di prova | Profondità prova | | Profondità falda (m dal p.c.) | Coeff. perm. K (m/s) |
| | | | da (m dal p.c.) | da (m dal p.c.) | | |
| FB3 | 181,357 | L | 24,00 | 25,80 | 22,20 | 2,40E-06 |
| FB4 | 150,496 | L | 5,00 | 6,60 | 6,60 | 1,50E-06 |
| FB5 | 159,011 | L | 11,00 | 13,15 | 8,50 | 2,20E-07 |
| FB11 | 182,614 | L | 5,00 | 6,80 | 4,00 | 4,50E-06 |
| FB12 | 185,840 | L | 10,00 | 12,15 | 12,15 | 1,90E-06 |
| SV1 | 114,873 | L | 21,00 | 23,40 | 15,40 | 2,10E-07 |
| SV3 | 109,616 | L | 10,00 | 12,35 | 12,00 | 2,10E-06 |
| SV6 | 76,173 | L | 9,00 | 11,00 | 11,00 | 2,25E-06 |
| SV7 | 52,347 | L | 10,40 | 12,90 | 7,10 | 5,00E-07 |

| SONDAGGI TERRA 2011 | | | | | | |
|---------------------|---------------------|---------------|------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------------|
| Sigla | Quota (m s.l.m.) | Tipo di prova | Profondità prova | | Profondità falda (m dal p.c.) | Coeff. perm. K (m/s) |
| | | | da (m dal p.c.) | da (m dal p.c.) | | |
| FB1 | 146,639 | L | 17,30 | 20,30 | 13,50 | 1,20E-07 |
| FB6 | 208,155 | L | 37,00 | 40,80 | 20,50 | 5,00E-08 |
| FB17 | 120,567 | F | 9,00 | 10,30 | 8,50 | 4,31E-04 |
| SV2 | 108,179 | L | 23,00 | 27,75 | 15,80 | 1,00E-07 |
| SV4 | 104,438 | L | 9,00 | 13,30 | 13,30 | 1,30E-06 |
| SV5 | 130,399 | L | 9,00 | 13,20 | 13,20 | 7,00E-07 |

| SONDAGGI VICENZETTO 2013 | | | | | | |
|--------------------------|---------------------|---------------|------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------------|
| Sigla | Quota (m s.l.m.) | Tipo di prova | Profondità prova | | Profondità falda (m dal p.c.) | Coeff. perm. K (m/s) |
| | | | da (m dal p.c.) | da (m dal p.c.) | | |
| FB14 | 194,092 | L | 12,00 | 16,70 | 5,30 | non determinabile |
| FB18 | 122,141 | L | 12,00 | 16,70 | 5,30 | non determinabile |
| FB20 | 199,287 | L | 10,00 | 15,00 | 5,56 | 2,42E-08 |
| FB21 | 115,795 | L | 9,00 | 13,70 | 2,80 | non determinabile |
| FB9quater | 195,84 | L | 31,00 | 36,00 | 0,00 | 3,12E-07 |
| | | L | 86,00 | 91,00 | 0,00 | 7,46E-07 |
| | | L | 140,00 | 145,00 | 0,00 | 1,20E-06 |
| | | L | 242,00 | 247,00 | 0,00 | 2,74E-08 |
| | | L | 261,00 | 266,00 | 0,00 | 3,50E-08 |

| SONDAGGI RCT 2011 | | | | | | |
|-------------------|---------------------|---------------|------------------|-----------------|----------------------------------|-------------------------|
| Sigla | Quota (m s.l.m.) | Tipo di prova | Profondità prova | | Profondità falda (m dal p.c.) | Coeff. perm. K (m/s) |
| | | | da (m dal p.c.) | da (m dal p.c.) | | |
| FB7 | 329,01 | L | 127,50 | 132,50 | 52,20 | 1,80E-07 |
| | | L | 133,45 | 138,40 | 52,20 | 8,28E-08 |
| FB9 | 202,070 | L | 10,50 | 15,80 | assente | 1,53E-07 |
| FB10 | 178,48 | L | 25,50 | 30,50 | 8,00 | 4,59E-08 |
| | | L | 60,00 | 65,00 | 8,00 | 4,79E-08 |
| FB15 | 164,080 | L | 6,50 | 11,50 | 2,00 | 9,00E-09 |
| FB16 | 261,930 | L | 19,00 | 24,00 | assente | 1,12E-07 |

| | | | | | | |
|--|--------------|-------------|----------|--|--|--|
| | | L = LUGEON | | | | |
| | | F = LEFRANC | | | | |
| | | | | | | |
| | Unità Lugeon | 0,0000001 | 1,00E-07 | | | |

Risultati prove di permeabilità in foro

| Sondaggio | Profondità | | RQD | |
|-----------|------------|-------|--------|-------|
| | da (m) | a (m) | da (%) | a (%) |
| FB21 | 5 | 7 | < 25 | |
| | 7 | 9 | 75 | 90 |
| | 9 | 10 | 25 | 50 |
| | 10 | 16 | 50 | 75 |
| | 10 | 17 | 100 | |
| | 17 | 19 | 25 | 50 |
| | 19 | 20 | 75 | 90 |
| | 20 | 22 | < 25 | |
| | 22 | 23 | 25 | 50 |
| FB16 | 23 | 25 | < 25 | |
| | 17 | 18 | 50 | 75 |
| | 18 | 20 | 75 | 90 |
| | 20 | 23 | 90 | 100 |
| | 23 | 24 | 50 | 75 |
| | 24 | 30 | 90 | 100 |
| | 30 | 32 | 75 | 90 |
| | 32 | 34 | 90 | 100 |
| | 34 | 35 | 50 | 75 |
| | 35 | 41 | 90 | 100 |
| | 41 | 43 | 75 | 90 |
| | 43 | 55 | 90 | 100 |
| | 55 | 56 | 75 | 90 |
| | 56 | 68 | 90 | 100 |
| 68 | 70 | 75 | 90 | |
| 70 | 75 | 90 | 100 | |
| FB20 | 7 | 8 | < 25 | |
| | 8 | 9 | 25 | 50 |
| | 9 | 13 | <25 | |
| | 13 | 14 | 50 | 75 |
| | 14 | 15 | 25 | 50 |
| | 15 | 17 | 100 | |
| | 17 | 19 | 50 | 75 |
| FB1 | 19 | 20 | 75 | 90 |
| | 2 | 5 | 25 | 50 |
| | 5 | 8 | 50 | 75 |
| | 8 | 9 | 25 | 50 |
| | 9 | 10 | 50 | 75 |
| | 10 | 11 | 25 | 50 |
| | 11 | 12 | 75 | 90 |
| | 12 | 13 | 90 | 100 |
| | 13 | 14 | 50 | 75 |
| | 14 | 15 | < 25 | |
| | 15 | 17 | 25 | 50 |
| | 17 | 21 | 50 | 75 |
| | 21 | 22 | 75 | 90 |
| | 22 | 24 | 90 | 100 |
| | 24 | 27 | 50 | 75 |
| | 27 | 28 | 90 | 100 |
| | 28 | 29 | 75 | 90 |
| 29 | 30 | 25 | 50 | |
| 30 | 32 | 75 | 90 | |
| 32 | 33 | 50 | 75 | |
| 33 | 34 | 75 | 90 | |
| 34 | 35 | 50 | 75 | |
| 35 | 37 | 90 | 100 | |
| 37 | 40 | 75 | 90 | |

Risultati misure R.Q.D. su carote sondaggi – 1

| Sondaggio | Profondità | | RQD | |
|-----------|------------|-------|--------|-------|
| | da (m) | a (m) | da (%) | a (%) |
| SV2 | 19 | 20 | 50 | 75 |
| | 20 | 23 | 90 | 100 |
| | 23 | 24 | 75 | 90 |
| | 24 | 25 | 90 | 100 |
| | 25 | 26 | 50 | 75 |
| | 26 | 27 | 90 | 100 |
| | 27 | 31 | 50 | 75 |
| | 31 | 32 | 90 | 100 |
| | 32 | 34 | 75 | 90 |
| | 34 | 35 | 25 | 50 |
| SV4 | 3 | 4 | <25 | |
| | 4 | 7 | 75 | 90 |
| | 7 | 11 | 25 | 50 |
| | 11 | 12 | 75 | 90 |
| | 12 | 14 | 50 | 75 |
| | 14 | 18 | 75 | 90 |
| | 18 | 19 | 90 | 100 |
| | 19 | 21 | 75 | 90 |
| | 21 | 22 | 90 | 100 |
| | 22 | 23 | 50 | 75 |
| | 23 | 24 | 90 | 100 |
| | 24 | 26 | 50 | 75 |
| | 26 | 32 | 75 | 90 |
| | 32 | 33 | 90 | 100 |
| | 33 | 34 | 75 | 90 |
| | 34 | 37 | 90 | 100 |
| | 37 | 38 | 50 | 75 |
| 38 | 39 | 75 | 90 | |
| 39 | 40 | 90 | 100 | |
| SV5 | 1 | 2 | 25 | 50 |
| | 2 | 3 | 50 | 75 |
| | 3 | 4 | <25 | |
| | 4 | 5 | 75 | |
| | 5 | 7 | 25 | 50 |
| | 7 | 10 | 50 | 75 |
| | 10 | 11 | 25 | 50 |
| | 11 | 13 | 50 | 75 |
| | 13 | 14 | 75 | 90 |
| | 14 | 15 | 25 | 50 |
| | 15 | 16 | 75 | 90 |
| | 16 | 17 | 50 | 75 |
| | 17 | 21 | 75 | 90 |
| | 21 | 23 | 90 | 100 |
| | 23 | 24 | 75 | |
| | 24 | 28 | 75 | 90 |
| | 28 | 29 | 50 | 75 |
| | 29 | 30 | 90 | 100 |
| | 30 | 31 | 50 | 75 |
| 31 | 33 | 75 | 90 | |
| 33 | 37 | 90 | 100 | |
| 37 | 38 | 75 | | |
| 38 | 39 | 90 | 100 | |
| 39 | 40 | 75 | 90 | |

Risultati misure R.Q.D. su carote sondaggi – 2

| Sondaggio | Profondità | | RQD | |
|-----------|------------|-------|--------|-------|
| | da (m) | a (m) | da (%) | a (%) |
| FB14 | 7,5 | 10 | 50 | 75 |
| | 10 | 11 | <25 | |
| | 11 | 12 | 50 | 75 |
| | 12 | 14 | 25 | 50 |
| | 14 | 16 | 0 | |
| | 16 | 17 | 75 | 90 |
| | 17 | 18 | 50 | 75 |
| | 18 | 21 | 90 | 100 |
| | 21 | 30 | 50 | 75 |
| FB12 | 4 | 6 | 25 | 50 |
| | 6 | 7 | 50 | 75 |
| | 7 | 8 | <25 | |
| | 8 | 9 | 25 | 50 |
| | 9 | 10 | 50 | 75 |
| | 10 | 11 | <25 | |
| | 11 | 14 | 25 | 50 |
| | 14 | 15 | 75 | |
| | 15 | 17 | 25 | 50 |
| | 17 | 19 | <25 | |
| SV1 | 15 | 17 | 50 | 75 |
| | 17 | 20 | <25 | |
| | 20 | 23 | 50 | 75 |
| | 23 | 24 | 25 | 50 |
| | 24 | 25 | 50 | 75 |
| | 25 | 28 | 75 | 90 |
| | 28 | 29 | 90 | 100 |
| | 29 | 32 | 75 | 90 |
| | 32 | 33 | 90 | 100 |
| SV3 | 33 | 35 | 50 | 75 |
| | 3 | 4 | 50 | 75 |
| | 4 | 5 | <25 | |
| | 5 | 6 | 25 | 50 |
| | 6 | 8 | 50 | 75 |
| | 8 | 9 | 25 | |
| | 9 | 10 | 75 | 90 |
| | 10 | 11 | 50 | 75 |
| | 11 | 12 | 75 | 90 |
| | 12 | 13 | 25 | |
| | 13 | 18 | 75 | 90 |
| | 18 | 20 | 50 | 75 |
| | 20 | 22 | 75 | 90 |
| | 22 | 24 | 50 | 75 |
| | 24 | 25 | 25 | 50 |
| 25 | 27 | 50 | 75 | |
| 27 | 28 | 25 | 50 | |
| 28 | 31 | 50 | 75 | |
| 31 | 32 | 75 | 90 | |
| 32 | 35 | 50 | 75 | |

Risultati misure R.Q.D. su carote sondaggi – 3

| Sondaggio | Profondità | | RQD | |
|-----------|------------|-------|--------|-------|
| | da (m) | a (m) | da (%) | a (%) |
| FB11 | 3 | 4 | 25 | 50 |
| | 4 | 5 | <25 | |
| | 5 | 6 | 25 | 50 |
| | 6 | 7 | <25 | |
| | 7 | 8 | 50 | 75 |
| | 8 | 9 | <25 | |
| | 9 | 10 | 25 | 50 |
| | 10 | 11 | 75 | 90 |
| | 11 | 14 | 50 | 75 |
| | 14 | 15 | 75 | 90 |
| | 15 | 16 | 90 | 100 |
| | 16 | 17 | 50 | 75 |
| | 17 | 18 | 25 | 50 |
| | 18 | 19 | 50 | 75 |
| | 19 | 20 | 25 | |
| | 20 | 22 | 50 | 75 |
| | 22 | 28 | 25 | 50 |
| | 28 | 29 | <25 | |
| | 29 | 30 | 25 | 50 |
| FB5 | 1 | 3 | 25 | 50 |
| | 3 | 5 | 50 | 75 |
| | 5 | 7 | 90 | 100 |
| | 7 | 13 | 75 | 90 |
| | 13 | 15 | 50 | 75 |
| | 15 | 20 | 90 | 100 |
| | 20 | 21 | 75 | 90 |
| | 21 | 22 | 25 | |
| | 22 | 23 | 75 | |
| | 23 | 25 | 90 | 100 |
| | 25 | 26 | 75 | 90 |
| | 26 | 27 | 25 | 50 |
| | 27 | 32 | 50 | 75 |
| | 32 | 34 | <25 | |
| | 34 | 35 | 50 | 75 |
| | 35 | 36 | 25 | 50 |
| | 36 | 37 | 50 | 75 |
| | 37 | 38 | 90 | 100 |
| | 38 | 39 | 75 | |
| 39 | 40 | 90 | 100 | |
| FB6 | 3 | 4 | 50 | 75 |
| | 4 | 5 | 25 | 25 |
| | 5 | 6 | 75 | 75 |
| | 6 | 7 | 50 | 75 |
| | 7 | 8 | 90 | 100 |
| | 8 | 9 | 50 | 75 |
| | 9 | 10 | 75 | 90 |
| | 10 | 11 | 25 | 50 |
| | 11 | 12 | 50 | 75 |
| | 12 | 13 | 90 | 100 |
| | 13 | 14 | 50 | 75 |
| | 14 | 15 | <25 | |
| | 15 | 16 | 75 | |
| | 16 | 18 | 25 | 50 |
| | 18 | 19 | 50 | 75 |
| | 19 | 20 | 90 | 100 |
| | 20 | 21 | 50 | 75 |
| | 21 | 22 | 25 | 50 |
| | 22 | 24 | 50 | 75 |
| | 24 | 25 | <25 | |
| | 25 | 27 | 25 | 50 |
| | 27 | 28 | 50 | 75 |
| | 28 | 30 | 75 | 90 |
| | 30 | 31 | 50 | 75 |
| | 31 | 32 | 90 | 100 |
| | 32 | 33 | 75 | 75 |
| | 33 | 34 | 90 | 100 |
| | 34 | 35 | 50 | 75 |
| | 35 | 36 | 90 | 100 |
| | 36 | 40 | 75 | 90 |
| 40 | 41 | 90 | 100 | |
| 41 | 47 | 75 | 90 | |
| 47 | 48 | 50 | 75 | |
| 48 | 53 | 75 | 90 | |
| 53 | 54 | 90 | 100 | |
| 54 | 55 | 75 | 75 | |

Risultati misure R.Q.D. su carote sondaggi – 4

| Sondaggio | Profondità | | RQD | |
|-----------|------------|-------|--------|-------|
| | da (m) | a (m) | da (%) | a (%) |
| FB4 | 3 | 4 | 25 | 25 |
| | 4 | 6 | 50 | 75 |
| | 6 | 7 | 75 | 90 |
| | 7 | 8 | 90 | 100 |
| | 8 | 12 | 75 | 90 |
| | 12 | 13 | 90 | 100 |
| | 13 | 14 | 75 | 75 |
| | 14 | 15 | <25 | |
| | 15 | 16 | 50 | 75 |
| | 16 | 17 | 25 | 50 |
| | 17 | 20 | 75 | 90 |
| | 20 | 22 | 50 | 75 |
| | 22 | 23 | 90 | 100 |
| | 23 | 28 | 50 | 75 |
| | 28 | 29 | 90 | 100 |
| | 29 | 30 | 75 | 90 |
| 30 | 31 | 50 | 75 | |
| 31 | 33 | 75 | 90 | |
| 33 | 40 | 50 | 75 | |
| FB9 | 1 | 2 | 25 | 50 |
| | 2 | 5 | 75 | 90 |
| | 5 | 6 | 50 | 75 |
| | 6 | 10 | 75 | 90 |
| | 10 | 21 | 90 | 100 |
| | 21 | 22 | 75 | 90 |
| | 22 | 28 | 90 | 100 |
| | 28 | 30 | 75 | 90 |
| | 30 | 33 | 90 | 100 |
| | 33 | 34 | 75 | 90 |
| 34 | 35 | 50 | 75 | |
| 35 | 38 | 90 | 100 | |
| 38 | 40 | 75 | 90 | |
| FB3 | 1 | 9 | 50 | 75 |
| | 9 | 11 | 90 | 100 |
| | 11 | 12 | 50 | 75 |
| | 12 | 13 | 75 | 90 |
| | 13 | 14 | 90 | 100 |
| | 14 | 16 | 25 | 50 |
| | 16 | 17 | 90 | 100 |
| | 17 | 19 | 50 | 75 |
| | 19 | 20 | 75 | 90 |
| | 20 | 21 | 50 | 75 |
| | 21 | 22 | 25 | 50 |
| | 22 | 23 | 75 | |
| | 23 | 24 | <25 | |
| | 24 | 25 | 25 | 50 |
| | 25 | 26 | 50 | 75 |
| | 26 | 27 | <25 | |
| | 27 | 32 | 75 | 90 |
| | 32 | 33 | 25 | 50 |
| 33 | 35 | <25 | | |
| 35 | 36 | 25 | 50 | |
| 36 | 37 | 50 | 75 | |
| 37 | 39 | 90 | 100 | |
| 39 | 42 | 75 | | |
| 42 | 44 | 50 | 75 | |
| 44 | 45 | 75 | 90 | |

Risultati misure R.Q.D. su carote sondaggi – 5

| Sondaggio | Profondità | | RQD | |
|-----------|------------|-------|--------|-------|
| | da (m) | a (m) | da (%) | a (%) |
| FB10 | 2 | 4 | 25 | 50 |
| | 4 | 5 | 50 | 75 |
| | 5 | 7 | 75 | 90 |
| | 7 | 40 | 90 | 100 |
| | 40 | 43 | 75 | 90 |
| | 43 | 51 | 90 | 100 |
| | 51 | 52 | 75 | 90 |
| | 52 | 54 | 50 | 75 |
| | 54 | 56 | 75 | 90 |
| | 56 | 68 | 90 | 100 |
| | 68 | 69 | 75 | 90 |
| | 69 | 71 | 90 | 100 |
| FB9QUATER | 0 | 2 | 25 | 50 |
| | 2 | 3 | 100 | 100 |
| | 3 | 4 | 50 | 75 |
| | 4 | 6 | 25 | 50 |
| | 6 | 8 | <25 | |
| | 8 | 11 | 25 | 50 |
| | 11 | 12 | 50 | 75 |
| | 12 | 13 | 25 | 50 |
| | 13 | 14 | 75 | 90 |
| | 14 | 15 | 50 | 75 |
| | 15 | 16 | 100 | 100 |
| | 16 | 18 | 75 | 90 |
| | 18 | 19 | 100 | 100 |
| | 19 | 20 | 75 | |
| | 20 | 21 | 100 | |
| | 21 | 22 | 50 | 75 |
| | 22 | 24 | 25 | 50 |
| | 24 | 25 | 75 | 90 |
| | 25 | 28 | 25 | 50 |
| | 28 | 29 | 50 | 75 |
| | 29 | 32 | 75 | 90 |
| | 32 | 35 | 90 | 100 |
| | 35 | 37 | 75 | 90 |
| | 37 | 38 | 25 | 50 |
| | 38 | 39 | <25 | |
| | 39 | 42 | 50 | 75 |
| 42 | 43 | 75 | 90 | |
| 43 | 44 | 25 | 50 | |
| 44 | 45 | 50 | 75 | |
| 45 | 46 | 25 | 50 | |
| 46 | 50 | 50 | 75 | |
| FB7 | 1 | 2 | <25 | |
| | 2 | 4 | 25 | 50 |
| | 4 | 6 | <25 | |
| | 6 | 7 | 25 | 50 |
| | 7 | 11 | <25 | |
| | 11 | 13 | 25 | 50 |
| | 13 | 14 | 75 | 75 |
| | 14 | 15 | 25 | 50 |
| | 15 | 18 | 0 | 0 |
| | 18 | 19 | 50 | 75 |
| | 19 | 21 | 25 | 50 |
| | 21 | 29 | 0 | 0 |
| | 29 | 31 | <25 | |
| | 31 | 32 | 75 | 90 |
| | 32 | 33 | 50 | 75 |
| | 33 | 35 | 25 | 50 |
| | 35 | 36 | 50 | 75 |
| | 36 | 37 | 25 | 50 |
| | 37 | 38 | 75 | 90 |
| | 38 | 39 | 100 | 100 |
| 39 | 40 | 50 | 75 | |
| 40 | 44 | 90 | 100 | |
| 44 | 45 | <25 | | |
| 45 | 46 | 75 | 90 | |
| 46 | 50 | 90 | 100 | |

Risultati misure R.Q.D. su carote sondaggi – 6

| Sondaggio | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla direzione di campio- namento | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD STRENGTH INDEX Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ _c (MPa) |
|-----------|------------|---------|-------------------|------------------------------|--|----------------------------------|---|-------------|-----------------|-------------------------|
| | da (m) | a (m) | | | | | | | | |
| FB1 | 4.20 | | calcare marnoso | 79.0 | Perpendicolare | | 0.00 | | 2.283 | 55 |
| | 6.55 | | calcare marnoso | 79.0 | Perpendicolare | | 0.00 | | 2.911 | 70 |
| | 10.15 | | calcare marnoso | 79.0 | Perpendicolare | | 0.00 | | 2.226 | 53 |
| | 12.50 | | calcare marnoso | 79.0 | Perpendicolare | | 0.00 | | 3.140 | 75 |
| | 19.60 | | calcare marnoso | 79.0 | Perpendicolare | | 0.00 | | 1.427 | 34 |
| | 21.00 | | calcare marnoso | 79.0 | Perpendicolare | | 0.00 | | 0.999 | 24 |
| | 28.50 | | calcare | 79.0 | Perpendicolare | | 0.00 | | 2.997 | 72 |
| | 32.15 | | calcare marnoso | 79.0 | Perpendicolare | | 0.00 | | 2.141 | 51 |
| | 34.80 | | calcare marnoso | 79.0 | Perpendicolare | | 0.00 | | 1.085 | 26 |
| | 36.35 | | calcare marnoso | 79.0 | Perpendicolare | | 0.00 | | 2.141 | 51 |
| | 4.40 | | calcare | 82.7 | Parallelo assiale | | 0.00 | | 2.126 | 51 |
| | 8.30 | | calcare marnoso | 72.3 | Parallelo | | 0.00 | | 3.010 | 72 |
| | 14.90 | | calcare marnoso | 85.7 | Parallelo | | 0.00 | | 2.138 | 51 |
| | 15.25 | | calcare marnoso | 80.3 | Parallelo | | 0.00 | | 2.869 | 69 |
| | 20.20 | | calcare marnoso | 85.1 | Parallelo | | 0.00 | | 2.288 | 55 |
| | 23.20 | | calcare marnoso | 80.9 | Parallelo | | 0.00 | | 2.202 | 53 |
| | 24.20 | | calcare | 83.9 | Parallelo | | 0.00 | | 3.378 | 81 |
| | 27.00 | | calcare marnoso | 86.9 | Parallelo | | 0.00 | | 2.217 | 53 |
| | 31.70 | | calcare marnoso | 77.7 | Parallelo | | 0.00 | | 2.050 | 49 |
| 38.20 | | calcare | 85.1 | Parallelo | | 0.00 | | 2.670 | 64 | |

| | |
|----------------|-------------------------------|
| Perpendicolare | direzione ortogonale all'asse |
| Parallelo | direzione assiale |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB1 sito

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla direzione di campio- namento | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD STRENGTH INDEX Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ _c (MPa) |
|-----------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|--|----------------------------------|---|-------------|-----------------|-------------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | | | | |
| FB6 SITO | | 5,25 | | calcare marnoso | | Perpendicolare diametrale | | | | 2,797 | 67 |
| | | 13,40 | | calcare | | Perpendicolare | | | | 5,138 | 123 |
| | | 19,00 | | calcare marnoso | | Perpendicolare | | | | 2,911 | 70 |
| | | 25,20 | | calcare marnoso | | Perpendicolare | | | | 0,714 | 17 |
| | | 32,35 | | calcare marnoso | | Perpendicolare | | | | 2,112 | 51 |
| | | 35,85 | | calcare marnoso | | Perpendicolare | | | | 2,740 | 66 |
| | | 39,85 | | calcare marnoso | | Perpendicolare | | | | 2,426 | 58 |
| | | 44,45 | | calcare marnoso | | Perpendicolare | | | | 1,142 | 27 |
| | | 48,00 | | calcare marnoso | | Perpendicolare | | | | 2,141 | 51 |
| | | 52,15 | | calcare | | Perpendicolare | | | | 4,167 | 100 |
| | | 9,00 | | calcare marnoso | | Parallelo assiale | | | | 2,414 | 58 |
| | | 15,25 | | calcare marnoso | | Parallelo | | | | 3,083 | 74 |
| | | 19,80 | | calcare marnoso | | Parallelo | | | | 1,253 | 30 |
| | | 21,65 | | calcare marnoso | | Parallelo | | | | 2,237 | 54 |
| | | 28,85 | | calcare marnoso | | Parallelo | | | | 2,711 | 65 |
| | | 30,00 | | calcare marnoso | | Parallelo | | | | 2,655 | 64 |
| | | 38,70 | | calcare marnoso | | Parallelo | | | | 2,512 | 60 |
| | | 41,60 | | calcare marnoso | | Parallelo | | | | 2,956 | 71 |
| | | 49,00 | | calcite | | Parallelo | | | | 1,196 | 29 |
| | | 54,70 | | calcite | | Parallelo | | | | 3,305 | 79 |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB6 sito

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla direzione di campio- namento | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|-----------|----------------|------------|-----------------|-------------------|------------------------------|--|----------------------------------|---|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | | | |
| FB3 SITO | | 1,60 | | calcare marnoso | 79 | Perpendicolare diametrale | | 0,00 | | 1,998 | 48 |
| | | 4,60 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare diametrale | | 0,00 | | 3,524 | 85 |
| | | 7,20 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 3,644 | 87 |
| | | 12,35 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 3,123 | 75 |
| | | 19,75 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 4,084 | 98 |
| | | 23,20 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 3,203 | 77 |
| | | 28,00 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 3,724 | 89 |
| | | 32,70 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 4,405 | 106 |
| | | 36,35 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 3,524 | 85 |
| | | 42,40 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 3,804 | 91 |
| | | 28,50 | | calcare marnoso | 89,7 | Parallelo assiale | | 0,00 | | 1,476 | 35 |
| | | 2,00 | | calcare marnoso | 65,5 | Parallelo | | 0,00 | | 3,398 | 82 |
| | | 2,00 | | calcare marnoso | 73,6 | Parallelo | | 0,00 | | 1,751 | 42 |
| | | 16,65 | | calcare marnoso | 74,2 | Parallelo | | 0,00 | | 2,581 | 62 |
| | | 23,50 | | calcare marnoso | 72,5 | Parallelo | | 0,00 | | 4,075 | 98 |
| | | 38,00 | | calcare marnoso | 67,3 | Parallelo | | 0,00 | | 3,403 | 82 |
| | | 38,00 | | calcare marnoso | 69,7 | Parallelo | | 0,00 | | 3,399 | 82 |
| | | 28,50 | | calcare marnoso | 70,2 | Parallelo | | 0,00 | | 2,808 | 67 |
| | 28,50 | | calcare marnoso | 68,5 | Parallelo | | 0,00 | | 3,632 | 87 | |
| | 10,50 | | calcare marnoso | 67,9 | Parallelo | | 0,00 | | 3,970 | 95 | |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB3 sito

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla direzione di campio- namento | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|-----------|----------------|------------|-----------------|-------------------|------------------------------|--|----------------------------------|---|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | | | |
| FB4 SITO | | 3,70 | | calcare marnoso | 79 | Perpendicolare diametrale | | 0,00 | | 2,341 | 56 |
| | | 5,80 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 4,245 | 102 |
| | | 9,90 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 4,565 | 110 |
| | | 12,75 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 3,604 | 86 |
| | | 16,90 | | calcarenite | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 5,206 | 125 |
| | | 20,30 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 3,524 | 85 |
| | | 24,80 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 4,605 | 111 |
| | | 28,80 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 3,684 | 88 |
| | | 30,75 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 5,206 | 125 |
| | | 35,30 | | calcare marnoso | 63,5 | Perpendicolare | | 0,00 | | 4,084 | 98 |
| | | 4,20 | | calcare marnoso | 68,5 | Parallelo assiale | | 0,00 | | 1,602 | 38 |
| | | 5,45 | | calcare marnoso | 73,6 | Parallelo | | 0,00 | | 2,547 | 61 |
| | | 8,90 | | calcare marnoso | 69,7 | Parallelo | | 0,00 | | 3,989 | 96 |
| | | 10,90 | | calcare marnoso | 66,7 | Parallelo | | 0,00 | | 3,339 | 80 |
| | | 13,25 | | calcarenite | 72 | Parallelo | | 0,00 | | 3,233 | 78 |
| | | 17,75 | | calcare marnoso | 66,1 | Parallelo | | 0,00 | | 3,952 | 95 |
| | | 20,60 | | calcare marnoso | 67,3 | Parallelo | | 0,00 | | 4,830 | 116 |
| | | 23,00 | | calcare marnoso | 69,7 | Parallelo | | 0,00 | | 2,914 | 70 |
| | 25,70 | | calcare marnoso | 69,1 | Parallelo | | 0,00 | | 4,217 | 101 | |
| | 29,90 | | calcare marnoso | 66,7 | Parallelo | | 0,00 | | 2,746 | 66 | |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB4 sito

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla direzione di campio- namento | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|-----------|----------------|------------|-----------------|-------------------|------------------------------|--|----------------------------------|---|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | | | |
| FB5-SITO | | 1,60 | | calcare marnoso | | Perpendicolare diametrale | | | | 2,626 | 63 |
| | | 2,70 | | calcare marnoso | | Perpendicolare | | | | 4,567 | 110 |
| | | 3,70 | | calcarenite | | Perpendicolare | | | | 3,711 | 89 |
| | | 8,70 | | calcare marnoso | | Perpendicolare | | | | 3,003 | 72 |
| | | 11,00 | | calcare marnoso | | Perpendicolare | | | | 2,122 | 51 |
| | | 17,00 | | calcare marnoso | | Perpendicolare | | | | 3,324 | 80 |
| | | 20,25 | | calcare marnoso | | Perpendicolare | | | | 3,043 | 73 |
| | | 23,60 | | calcare marnoso | | Perpendicolare | | | | 3,684 | 88 |
| | | 31,70 | | calcare marnoso | | Perpendicolare | | | | 4,405 | 106 |
| | | 37,20 | | calcare marnoso | | Perpendicolare | | | | 4,084 | 98 |
| | | 4,80 | | calcare marnoso | | Parallelo assiale | | | | 0,763 | 18 |
| | | 5,40 | | calcare marnoso | | Parallelo | | | | 3,710 | 89 |
| | | 8,70 | | calcare marnoso | | Parallelo | | | | 5,072 | 122 |
| | | 9,50 | | calcare marnoso | | Parallelo | | | | 1,424 | 34 |
| | | 14,40 | | calcare marnoso | | Parallelo | | | | 4,238 | 102 |
| | | 15,40 | | calcare marnoso | | Parallelo | | | | 3,100 | 74 |
| | | 24,00 | | calcare marnoso | | Parallelo | | | | 5,566 | 134 |
| | | 27,50 | | calcare marnoso | | Parallelo | | | | 4,509 | 108 |
| | 30,90 | | calcare marnoso | | Parallelo | | | | 2,874 | 69 | |
| | 31,30 | | calcare marnoso | | Parallelo | | | | 3,437 | 82 | |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB5 sito

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla direzione di campio- namento | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|-----------|----------------|------------|----------------|-------------------|------------------------------|--|----------------------------------|---|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | | | |
| FB11 SITO | | 3,30 | | calcarenite | 79 | Perpendicolare diametrale | | | | 2,283 | 55 |
| | | 4,00 | | marna calcarea | 79 | Perpendicolare | | | | 0,143 | 3 |
| | | 5,20 | | marna calcarea | 79 | Perpendicolare | | | | 0,571 | 14 |
| | | 7,80 | | calcarenite | 79 | Perpendicolare | | | | 2,426 | 58 |
| | | 11,00 | | marna calcarea | 79 | Perpendicolare | | | | 0,999 | 24 |
| | | 14,85 | | marna calcarea | 79 | Perpendicolare | | | | 1,370 | 33 |
| | | 16,40 | | calcarenite | 79 | Perpendicolare | | | | 2,911 | 70 |
| | | 17,40 | | marna calcarea | 79 | Perpendicolare | | | | 1,085 | 26 |
| | | 20,00 | | calcarenite | 79 | Perpendicolare | | | | 3,140 | 75 |
| | | 23,30 | | marna calcarea | 79 | Perpendicolare | | | | 1,598 | 38 |
| | | 6,80 | | marna calcarea | 77,7 | Parallelo assiale | | | | 1,757 | 42 |
| | | 7,80 | | calcarenite | 85,1 | Parallelo | | | | 1,856 | 45 |
| | | 11,20 | | marna calcarea | 82,7 | Parallelo | | | | 3,136 | 75 |
| | | 12,70 | | marna calcarea | 86,9 | Parallelo | | | | 1,601 | 38 |
| | | 14,50 | | marna calcarea | 83,3 | Parallelo | | | | 2,680 | 64 |
| | | 21,00 | | calcarenite | 86,3 | Parallelo | | | | 3,111 | 75 |
| | | 22,50 | | marna calcarea | 80,9 | Parallelo | | | | 2,532 | 61 |
| | | 24,50 | | marna calcarea | 88 | Parallelo | | | | 1,979 | 47 |
| | 25,15 | | marna calcarea | 81,5 | Parallelo | | | | 2,665 | 64 | |
| | 29,70 | | marna calcarea | 83,9 | Parallelo | | | | 2,729 | 65 | |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB11 sito

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla direzione di campio- namento | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is | Is(50) | σ_c |
|-----------|----------------|------------|----------------|-------------------|------------------------------|--|----------------------------------|---|-------|--------|------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX | (MPa) | (MPa) | (MPa) |
| | | | | | | | | Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | | | |
| FB12 SITO | | 4,35 | | marna calcarea | 79 | Perpendicolare diametrale | | | | 0,285 | 7 |
| | | 6,90 | | marna calcarea | 79 | Perpendicolare | | | | 0,913 | 22 |
| | | 9,50 | | marna calcarea | 79 | Perpendicolare | | | | 0,285 | 7 |
| | | 11,75 | | marna calcarea | 79 | Perpendicolare | | | | 0,685 | 16 |
| | | 14,15 | | marna calcarea | 79 | Perpendicolare | | | | 0,571 | 14 |
| | | 17,00 | | marna calcarea | 79 | Perpendicolare | | | | 0,628 | 15 |
| | | 19,80 | | marna calcarea | 79 | Perpendicolare | | | | 1,142 | 27 |
| | | 21,55 | | marna calcarea | 79 | Perpendicolare | | | | 1,541 | 37 |
| | | 24,20 | | marna calcarea | 79 | Perpendicolare | | | | 0,628 | 15 |
| | | 26,60 | | marna calcarea | 79 | Perpendicolare | | | | 0,285 | 7 |
| | | 29,20 | | marna calcarea | 79 | | | | | 0,314 | 8 |
| | | 5,20 | | marna calcarea | 83,9 | Parallelo assiale | | | | 2,858 | 69 |
| | | 7,60 | | marna calcarea | 86,9 | Parallelo | | | | 0,739 | 18 |
| | | 9,80 | | marna calcarea | 80,9 | Parallelo | | | | 1,376 | 33 |
| | | 11,40 | | marna calcarea | 82,7 | Parallelo | | | | 3,721 | 89 |
| | | 12,00 | | marna calcarea | 86,3 | Parallelo | | | | 2,240 | 54 |
| | | 13,40 | | marna calcarea | 85,1 | Parallelo | | | | 2,543 | 61 |
| | | 15,60 | | marna calcarea | 86,9 | Parallelo | | | | 0,985 | 24 |
| | 18,30 | | marna calcarea | 89,7 | Parallelo | | | | 2,577 | 62 | |
| | 20,50 | | marna calcarea | 82,7 | Parallelo | | | | 3,189 | 77 | |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB12 sito

ALLEGATO C

Tabelle risultati prove di laboratorio

| Sond. | Camp. | da (m) | a (m) | prof. (m) | Descr. | Formazione | γ_t (kN/m ³) | Par. Dinamici | | | | | Compressione monoassiale | | | | | | | |
|-------|-------|--------|-------|-----------|-----------------|------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|---------|---------|-------|--------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | | | | | V _p (m/s) | V _s (m/s) | E (MPa) | G (MPa) | v (-) | σ_c (MPa) | Etan_50% (MPa) | Esec_50% (MPa) | v _t (-) | v _s (-) | MR (-) | Eop D=1.0 (MPa) | Eop D=0.5 (MPa) |
| FB1 | CR2 | 7,15 | 7,45 | 7,30 | calcare marnoso | FAN | 26,70 | 4115 | 2543 | 41180 | 17290 | 0,19 | 67,99 | 40100 | 22420 | 0,40 | 0,14 | 590 | 1304 | 3478 |
| FB1 | CR4 | 18,65 | 19,00 | 18,83 | calcare marnoso | FAN | 26,50 | 3351 | 1983 | 25630 | 10410 | 0,23 | 53,96 | 21770 | 21710 | 0,29 | 0,25 | 403 | 1161 | 3098 |
| SV2 | CR11 | 19,25 | 19,55 | 19,40 | calcare marnoso | FAN | 26,80 | 6229 | 3208 | 72900 | 27620 | 0,32 | 85,50 | 43550 | 50870 | 0,39 | 0,31 | 509 | 1462 | 3900 |
| SV2 | CR12 | 22,00 | 22,35 | 22,18 | calcare marnoso | FAN | 27,10 | 6441 | 3368 | 80770 | 30780 | 0,31 | 99,52 | 51350 | 57120 | 0,36 | 0,32 | 516 | 1577 | 4207 |
| SV4 | CR2 | 4,40 | 5,00 | 4,70 | calcare marnoso | FAN | 26,80 | 4889 | 2871 | 54690 | 22110 | 0,24 | 54,22 | 40060 | 37970 | 0,23 | 0,17 | 739 | 1164 | 3106 |
| SV5 | CR2 | 8,50 | 8,80 | 8,65 | calcare marnoso | FAN | 25,80 | 3204 | 1806 | 21330 | 8420 | 0,27 | 9,38 | 7200 | 6340 | 0,33 | 0,29 | 768 | 484 | 1292 |
| SV5 | CR5 | 22,00 | 22,50 | 22,25 | calcare marnoso | FAN | 26,90 | 5593 | 3006 | 63020 | 24300 | 0,3 | 116,92 | 38630 | 4320 | 0,27 | 0,26 | 330 | 1710 | 4560 |

Svincolo A12 – Risultati prove di laboratorio P.P.

| Sond. | Camp. | da (m) | a (m) | prof. (m) | Descr. | Formazione | γ_t (kN/m ³) | Par. Dinamici | | | | | Compressione monoassiale | | | | | | |
|-------|-------|--------|-------|-----------|-----------------|------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|---------|---------|-------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------|--------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | | | | | V _p (m/s) | V _s (m/s) | E (MPa) | G (MPa) | v (-) | σ_c (MPa) | Etan_50% (MPa) | Esec_50% (MPa) | v (-) | MR (-) | Eop D=1.0 (MPa) | Eop D=0.5 (MPa) |
| SV1 | CR8 | 16,00 | 16,30 | 16,15 | calcare marnoso | FAN | 26,46 | 4259 | 2716 | 46077 | 19908 | 0,16 | 108,32 | 29611 | 31546 | 0,18 | 273 | 1646 | 4390 |
| SV1 | CR10 | 25,55 | 25,90 | 25,73 | marna | FAN | 26,34 | 4719 | 2536 | 44801 | 17271 | 0,30 | 53,01 | 18731 | 15905 | 0,24 | 353 | 1151 | 3071 |
| SV3 | CR5 | 17,55 | 17,90 | 17,73 | calcare marnoso | FAN | 26,42 | 5507 | 2878 | 58550 | 22312 | 0,31 | 85,52 | 32818 | 37257 | 0,24 | 384 | 1462 | 3900 |
| SV3 | CR8 | 33,35 | 33,70 | 33,53 | calcare marnoso | FAN | 26,32 | 5502 | 3745 | 80414 | 37637 | 0,07 | 105,83 | 73016 | 466960 | | 690 | 1627 | 4339 |
| SV6 | CR2 | 6,50 | 6,75 | 6,63 | calcare marnoso | FAN | 26,24 | 4403 | 2263 | 36193 | 13704 | 0,32 | 124,52 | 21725 | 20065 | 0,15 | 174 | 1764 | 4706 |
| SV6 | CR5 | 21,30 | 21,60 | 21,45 | calcare marnoso | FAN | 26,24 | 4174 | 2008 | 29119 | 10789 | 0,35 | 130,29 | 24796 | 22944 | 0,15 | 190 | 1805 | 4814 |
| SV7 | CR5 | 18,30 | 18,60 | 18,45 | marna | FAN | 26,46 | 2791 | 1536 | 16331 | 6365 | 0,28 | 31,73 | 14820 | 10639 | 0,10 | 467 | 891 | 2376 |
| SV7 | CR7 | 27,55 | 27,95 | 27,75 | calcare marnoso | FAN | 26,45 | 6086 | 2954 | 63344 | 23532 | 0,35 | 91,21 | 41440 | 43571 | 0,23 | 454 | 1510 | 4028 |

Svincolo A12 – Risultati prove di laboratorio P.D.

| Sond. | Camp. | da (m) | a (m) | prof. (m) | Descr. | Formazione | γ_t (kN/m ³) | Par. Dinamici | | | | | Compressione monoassiale | | | | | | | | | |
|-------|-------|--------|-------|-----------|-----------------|------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|---------|---------|-----------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------|-------------|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | | | | | V _p (m/s) | V _s (m/s) | E (MPa) | G (MPa) | ν (-) | σ_c (MPa) | Etan_50% (MPa) | Esec_50% (MPa) | ν_t (-) | ν_s (-) | MR (-) | Eop D=1.0 (MPa) | Eop D=0.5 (MPa) | Eop D=1.0 (MPa) | Eop D=0.5 (MPa) |
| FB6 | CR3 | 11,30 | 11,80 | 11,55 | calcare marnoso | FAN | 26,80 | 4121 | 2356 | 37430 | 14880 | 0,26 | 40,15 | 26860 | 29550 | 0,22 | 0,20 | 669 | 1002 | 2672 | 1782 | 1503 |
| FB6 | CR8 | 42,00 | 42,40 | 42,20 | calcare marnoso | FAN | 27,00 | 3918 | 2174 | 32610 | 12760 | 0,28 | 54,87 | 23690 | 24900 | 0,34 | 0,23 | 432 | 1171 | 3124 | 2083 | 1757 |

Finestra di Arbocò – Risultati prove di laboratorio P.P.

| Sond. | Camp. | da (m) | a (m) | prof. (m) | Descr. | Formazione | γ_t (kN/m ³) | Par. Dinamici | | | | | Compressione monoassiale | | | | | | | | |
|-------|-------|--------|-------|-----------|-----------------|------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|---------|---------|-----------|--------------------------|-------------------|-------------------|-----------|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | | | | | V _p (m/s) | V _s (m/s) | E (MPa) | G (MPa) | ν (-) | σ_c (MPa) | Etan_50% (MPa) | Esec_50% (MPa) | ν (-) | MR (-) | Eop D=1.0 (MPa) | Eop D=0.5 (MPa) | Eop D=1.0 (MPa) | Eop D=0.5 (MPa) |
| FB3 | CR7 | 32,40 | 32,95 | 32,68 | marna | FAN | 26,26 | 4827 | 2627 | 47673 | 18484 | 0,29 | 20,71 | 34088 | 19170 | 0,29 | 1646 | 720 | 1079 | 1280 | 1919 |
| FB3 | CR9 | 43,50 | 43,90 | 43,70 | calcare marnoso | FAN | 26,45 | 5482 | 2774 | 55124 | 20756 | 0,33 | 57,45 | 38788 | 41357 | 0,29 | 675 | 1198 | 1798 | 2131 | 3197 |
| FB4 | CR1 | 4,65 | 5,00 | 4,83 | marna calcarea | FAN | 26,32 | 3741 | 2196 | 32032 | 12948 | 0,24 | 35,67 | 18176 | 20339 | 0,35 | 510 | 944 | 1416 | 1679 | 2519 |
| FB4 | CR6 | 27,55 | 27,95 | 27,75 | calcare marnoso | FAN | 26,60 | 5075 | 2364 | 41282 | 15161 | 0,36 | 93,07 | 19359 | 34106 | 0,48 | 208 | 1525 | 2288 | 2713 | 4069 |
| FB5 | CR2 | 5,50 | 5,90 | 5,70 | calcare marnoso | FAN | 26,42 | 5393 | 3590 | 76537 | 34728 | 0,10 | 142,04 | 47331 | 42741 | 0,22 | 333 | 1884 | 2827 | 3351 | 5027 |
| FB5 | CR6 | 25,05 | 25,40 | 25,23 | calcare marnoso | FAN | 26,53 | 5475 | 3600 | 78488 | 35065 | 0,12 | 161,86 | 43504 | 47880 | 0,30 | 269 | 2012 | 3017 | 3577 | 5366 |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | GSI = 30 | | GSI = 40 | |

Finestra di Arbocò – Risultati prove di laboratorio P.D.

| Sond. | Camp. | da (m) | a (m) | prof. (m) | Descr. | Formazione | γ_t (kN/m ³) | Par. Dinamici | | | | | Compressione monoassiale | | | | | | | |
|-------|-------|--------|-------|-----------|----------------|------------|------------------------------------|---------------|-------------|---------|---------|-----------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------|-------------|--------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | | | | | V_p (m/s) | V_s (m/s) | E (MPa) | G (MPa) | ν (-) | σ_c (MPa) | Etan_50% (MPa) | Esec_50% (MPa) | ν_t (-) | ν_s (-) | MR | Eop D=1.0 (MPa) | Eop D=0.5 (MPa) |
| FB9 | CR2 | 8,30 | 8,60 | 8,45 | marna calcarea | AMV | 26,90 | 3912 | 2017 | 28900 | 10960 | 0,32 | 30,84 | 14350 | 11810 | 0,14 | 0,08 | 465,30 | 878 | 2342 |
| FB9 | CR4 | 15,10 | 15,40 | 15,25 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB9 | CR4 | 15,10 | 15,40 | 15,25 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB9 | CR4 | 15,10 | 15,40 | 15,25 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB9 | CR10 | 32,00 | 32,30 | 32,15 | marna calcarea | AMV | 27,20 | 3635 | 2140 | 30750 | 12450 | 0,23 | 44,72 | 26470 | 23490 | 0,27 | 0,20 | 591,91 | 1057 | 2820 |
| FB10 | CR2 | 7,00 | 7,30 | 7,15 | marna calcarea | AMV | 27,10 | 5327 | 2795 | 55400 | 21140 | 0,31 | | 36280 | 36440 | 0,44 | 0,32 | | | |
| FB10 | CR2 | 7,00 | 7,30 | 7,15 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR3 | 8,70 | 9,00 | 8,85 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR3 | 8,70 | 9,00 | 8,85 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR3 | 8,70 | 9,00 | 8,85 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR3 | 8,70 | 9,00 | 8,85 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR3 | 8,70 | 9,00 | 8,85 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR4 | 10,00 | 10,25 | 10,13 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR4 | 10,00 | 10,25 | 10,13 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR4 | 10,00 | 10,25 | 10,13 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR6 | 14,70 | 15,00 | 14,85 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR5 | 12,80 | 13,00 | 12,90 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR6 | 14,70 | 15,00 | 14,85 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR11 | 37,20 | 37,45 | 37,33 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR11 | 37,20 | 37,45 | 37,33 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR11 | 37,20 | 37,45 | 37,33 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR13 | 48,30 | 48,60 | 48,45 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR13 | 48,30 | 48,60 | 48,45 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR14 | 54,20 | 54,35 | 54,28 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR15 | 60,00 | 60,40 | 60,20 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR15 | 60,00 | 60,40 | 60,20 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR15 | 60,00 | 60,40 | 60,20 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR15 | 60,00 | 60,40 | 60,20 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR15 | 60,00 | 60,40 | 60,20 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR15 | 60,00 | 60,40 | 60,20 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR15 | 60,00 | 60,40 | 60,20 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR15 | 60,00 | 60,40 | 60,20 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR15 | 60,00 | 60,40 | 60,20 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR15 | 60,00 | 60,40 | 60,20 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR15 | 60,00 | 60,40 | 60,20 | marna calcarea | AMV | | | | | | | | | | | | | | |
| FB10 | CR17 | 69,00 | 69,90 | 69,45 | marna calcarea | AMV | 27,30 | 3822 | 2250 | 34120 | 13820 | 0,23 | 70,27 | 28070 | 25430 | 0,32 | 0,21 | 399,46 | | |

Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Risultati prove di laboratorio P.P. - Formazione AMV - Tabella 1

| Sond. | Camp. | da (m) | a (m) | prof. (m) | Descr. | Formazione | γ_t (kN/m ³) | Par. Dinamici | | | | | Compressione monoassiale | | | | | | |
|-------|-------|--------|-------|-----------|-----------|------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|---------|---------|-----------|--------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------|--------|-----------------------------------|-----------------------------------|
| | | | | | | | | V _p (m/s) | V _s (m/s) | E (MPa) | G (MPa) | ν (-) | σ_c (MPa) | E _{tan_50%} (MPa) | E _{sec_50%} (MPa) | ν (-) | MR | E _{op} D=1.0 (MPa) | E _{op} D=0.5 (MPa) |
| FB20 | CR6 | 15,00 | 15,30 | 15,15 | siltite | AMV | 26,89 | 4095 | 2318 | 37261 | 14738 | 0,26 | 39,34 | 35016 | 34764 | 0,32 | 890,09 | 992 | 2645 |
| FB20 | CR7 | 19,20 | 19,47 | 19,34 | argillite | AMV | 26,92 | 2589 | 1407 | 14027 | 5435 | 0,29 | 12,83 | 8021 | 7718 | 0,17 | 625,18 | 566 | 1511 |

Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno – Risultati prove di laboratorio P.D. – Formazione SCM

| Sond. | Camp. | da (m) | a (m) | prof. (m) | Descr. | Formazione | γ_t (kN/m ³) | Par. Dinamici | | | | | Compressione monoassiale | | | | | |
|-------|-------|--------|-------|-----------|-------------|------------|------------------------------------|----------------------|----------------------|---------|---------|-----------|--------------------------|-------------------|-------------------|-------------|-------------|--------|
| | | | | | | | | V _p (m/s) | V _s (m/s) | E (MPa) | G (MPa) | ν (-) | σ_c (MPa) | Etan_50% (MPa) | Esec_50% (MPa) | ν_t (-) | ν_s (-) | MR |
| FB15 | CR3 | 5,55 | 5,80 | 5,68 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB15 | CR3 | 5,55 | 5,80 | 5,68 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB15 | CR3 | 5,55 | 5,80 | 5,68 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB15 | CR3 | 5,55 | 5,80 | 5,68 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB15 | CR5 | 12,70 | 13,00 | 12,85 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB15 | CR5 | 12,70 | 13,00 | 12,85 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB15 | CR5 | 12,70 | 13,00 | 12,85 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB15 | CR5 | 12,70 | 13,00 | 12,85 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB15 | CR5 | 12,70 | 13,00 | 12,85 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB15 | CR5 | 12,70 | 13,00 | 12,85 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB15 | CR4 | 8,00 | 8,25 | 8,13 | metasiltite | SCM | 27,30 | 2395 | 1349 | 12610 | 4980 | 0,27 | 24,72 | 6470 | 2180 | 0,40 | 0,10 | 261,73 |
| FB15 | CR6 | 17,75 | 18,00 | 17,88 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB15 | CR6 | 17,75 | 18,00 | 17,88 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB15 | CR8 | 23,70 | 23,95 | 23,83 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB15 | CR9 | 27,30 | 27,55 | 27,43 | metasiltite | SCM | 27,40 | 2536 | 1503 | 15240 | 6200 | 0,23 | 22,98 | 12730 | 5020 | 0,35 | 0,15 | 553,96 |
| FB16 | CR9 | 26,00 | 27,00 | 26,50 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB16 | CR7 | 22,00 | 22,40 | 22,20 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB16 | CR7 | 22,00 | 22,40 | 22,20 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB16 | CR10 | 29,30 | 29,70 | 29,50 | metasiltite | SCM | 27,40 | 2779 | 1528 | 16440 | 6410 | 0,28 | 12,02 | 5370 | 3550 | 0,32 | 0,15 | 446,83 |
| FB16 | CR15 | 48,65 | 49,00 | 48,83 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB16 | CR15 | 48,65 | 49,00 | 48,83 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB16 | CR15 | 48,65 | 49,00 | 48,83 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB16 | CR17 | 58,55 | 58,90 | 58,73 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB16 | CR17 | 58,55 | 58,90 | 58,73 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB16 | CR18 | | | | | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB16 | CR18 | | | | | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB16 | CR19 | 66,20 | 66,60 | 66,40 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB16 | CR19 | 66,20 | 66,60 | 66,40 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB16 | CR20 | 72,70 | 73,00 | 72,85 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB16 | CR17 | 58,55 | 58,90 | 58,73 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB16 | CR19 | 66,20 | 66,60 | 66,40 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB16 | CR20 | 72,70 | 73,00 | 72,85 | metasiltite | SCM | | | | | | | | | | | | |
| FB17 | CR9 | 23,25 | 23,75 | 23,50 | metasiltite | SCM | 27,00 | 3452 | 1918 | 25340 | 9930 | 0,28 | 18,66 | 12800 | 8280 | - | | 685,96 |

Raccordo con S.P.225 - Risultati prove di laboratorio P.P. - Tavola 1

| Sond. | Camp. | da (m) | a (m) | prof. (m) | Descr. | Formazione | γ_t (kN/m ³) | Par. Dinamici | | | | | Compressione monoassiale | | | | | | |
|-------|-------|--------|-------|-----------|-----------|------------|------------------------------------|---------------|-------------|---------|---------|-----------|--------------------------|-------------------|-------------------|-----------|--------|-----------------------|-----------------------|
| | | | | | | | | V_p (m/s) | V_s (m/s) | E (MPa) | G (MPa) | ν (-) | σ_c (MPa) | Etan_50% (MPa) | Esec_50% (MPa) | ν (-) | MR | Eop D=1.0 (MPa) | Eop D=0.5 (MPa) |
| FB18 | CR6 | 18,15 | 18,48 | 18,32 | argillite | SCM | 27,12 | 3736 | 1613 | 19938 | 7196 | 0,39 | 12,99 | 5383 | 4747 | 0,36 | 414,40 | 570 | 1520 |
| FB18 | CR9 | 34,60 | 35,00 | 34,80 | argillite | SCM | 27,37 | 4174 | 1632 | 20965 | 7436 | 0,41 | 9,02 | 6965 | 10929 | | 772,17 | 475 | 1267 |
| FB20 | CR6 | 15,00 | 15,30 | 15,15 | siltite | SCM | 26,89 | 4095 | 2318 | 37261 | 14738 | 0,26 | 39,34 | 35016 | 34764 | 0,32 | 890,09 | 992 | 2645 |
| FB20 | CR7 | 19,20 | 19,47 | 19,34 | argillite | SCM | 26,92 | 2589 | 1407 | 14027 | 5435 | 0,29 | 12,83 | 8021 | 7718 | 0,17 | 625,18 | 566 | 1511 |

Raccordo con S.P.225 - Risultati prove di laboratorio P.D.

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla direzione scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|-----------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|---|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | | | |
| FB1 LAB | CR3-6-7 | 14,10 | 33,90 | calcare marnoso | 62,0 | Perpendicolare assiale | 18,83 | 4,90 | 4,90 | 5,40 | 130 |
| | | | | | 42,0 | Perpendicolare | 6,63 | 3,76 | 3,69 | 3,43 | 82 |
| | | | | | 58,7 | Perpendicolare | 12,02 | 3,49 | 3,49 | 3,75 | 90 |
| | | | | | 60,8 | Perpendicolare | 16,12 | 4,36 | 4,36 | 4,77 | 114 |
| | | | | | 64,7 | Perpendicolare | 16,49 | 3,94 | 3,93 | 4,42 | 106 |
| | | | | | 68,5 | Perpendicolare | 16,87 | 3,60 | 3,60 | 4,14 | 99 |
| | | | | | 67,0 | Perpendicolare | 15,85 | 3,53 | 3,53 | 4,03 | 97 |
| | | | | | 62,8 | Perpendicolare | 11,37 | 2,88 | 2,88 | 3,19 | 77 |
| | | | | | 64,7 | Perpendicolare | 25,72 | 6,14 | 6,15 | 6,90 | 166 |
| | | | | | 60,4 | Perpendicolare | 18,58 | 5,09 | 5,10 | 5,55 | 133 |
| | | | | | 78,4 | Parallelo diametrale | 8,46 | 1,38 | 1,38 | 1,69 | 41 |
| | | | | | 78,4 | Parallelo | 6,72 | 1,09 | 1,09 | 1,34 | 32 |
| | | | | | 78,4 | Parallelo | 6,82 | 1,11 | 1,11 | 1,36 | 33 |
| | | | | | 78,4 | Parallelo | 9,16 | 1,49 | 1,49 | 1,82 | 44 |
| | | | | | 78,4 | Parallelo | 8,49 | 1,38 | 1,38 | 1,69 | 41 |
| | | | | | 78,4 | Parallelo | 10,48 | 1,71 | 1,71 | 2,09 | 50 |
| | | | | | 78,4 | Parallelo | 17,59 | 2,86 | 2,86 | 3,50 | 84 |
| | | | | 78,4 | Parallelo | 16,59 | 2,70 | 2,70 | 3,30 | 79 | |
| | | | | 78,4 | Parallelo | 10,46 | 1,70 | 1,70 | 2,08 | 50 | |
| | | | | 78,4 | Parallelo | 13,18 | 2,14 | 2,14 | 2,63 | 63 | |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB1 lab

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|-----------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|---|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | | | |
| FB6 LAB | CR3-4-5 | 11,30 | 28,30 | calcare marnoso | 65,2 | Perpendicolare assiale | 18,83 | 4,43 | 4,43 | 4,99 | 120 |
| | | | | | 59,6 | Perpendicolare | 6,63 | 1,87 | 1,87 | 2,02 | 48 |
| | | | | | 61,3 | Perpendicolare | 12,02 | 3,20 | 3,20 | 3,51 | 84 |
| | | | | | 52,7 | Perpendicolare | 16,12 | 5,80 | 5,80 | 5,94 | 143 |
| | | | | | 58,5 | Perpendicolare | 16,49 | 4,82 | 4,81 | 5,17 | 124 |
| | | | | | 51,8 | Perpendicolare | 16,87 | 6,29 | 6,29 | 6,39 | 153 |
| | | | | | 54,7 | Perpendicolare | 15,85 | 5,30 | 5,30 | 5,52 | 132 |
| | | | | | 75,5 | Perpendicolare | 11,37 | 1,99 | 1,99 | 2,40 | 58 |
| | | | | | 63,1 | Perpendicolare | 25,72 | 6,46 | 6,45 | 7,16 | 172 |
| | | | | | 56,9 | Perpendicolare | 18,58 | 5,74 | 5,73 | 6,08 | 146 |
| | | | | | 78,0 | Parallelo diametrale | 13,34 | 2,19 | 2,19 | 2,68 | 64 |
| | | | | | 78,0 | Parallelo | 10,84 | 1,78 | 1,78 | 2,18 | 52 |
| | | | | | 78,0 | Parallelo | 11,10 | 1,82 | 1,82 | 2,23 | 54 |
| | | | | | 78,0 | Parallelo | 10,32 | 1,70 | 1,70 | 2,07 | 50 |
| | | | | | 78,0 | Parallelo | 13,14 | 2,16 | 2,16 | 2,64 | 63 |
| | | | | | 78,0 | Parallelo | 7,97 | 1,31 | 1,31 | 1,60 | 38 |
| | | | | | 78,3 | Parallelo | 14,08 | 2,30 | 2,30 | 2,81 | 67 |
| | | | | 78,6 | Parallelo | 6,98 | 1,13 | 1,13 | 1,38 | 33 | |
| | | | | 78,6 | Parallelo | 5,32 | 0,86 | 0,86 | 1,06 | 25 | |
| | | | | 78,6 | Parallelo | 4,30 | 0,70 | 0,70 | 0,85 | 20 | |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB6 lab

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|-----------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|---|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | | | |
| FB7 LAB | 1-2-3-4-5-8- | 13,20 | 89,00 | calcare marnoso | 50,9 | pendicolare piano di scisto | 13,59 | 5,25 | 5,24 | 5,28 | 127 |
| | | | | | 49,3 | Perpendicolare assiale | 9,13 | 3,76 | 3,75 | 3,73 | 90 |
| | | | | | 47,6 | Perpendicolare | 9,92 | 4,38 | 4,38 | 4,28 | 103 |
| | | | | | 52,5 | Perpendicolare | 9,87 | 3,58 | 3,58 | 3,66 | 88 |
| | | | | | 50,1 | Perpendicolare | 6,70 | 2,67 | 2,67 | 2,67 | 64 |
| | | | | | 43,1 | Perpendicolare | 14,50 | 7,81 | 7,80 | 7,30 | 175 |
| | | | | | 45,0 | Perpendicolare | 10,00 | 4,94 | 4,92 | 4,69 | 113 |
| | | | | | 45,9 | Perpendicolare | 10,70 | 5,08 | 5,05 | 4,86 | 117 |
| | | | | | 44,1 | Perpendicolare | 9,80 | 5,04 | 5,04 | 4,77 | 114 |
| | | | | | 46,8 | Perpendicolare | 8,60 | 3,93 | 3,91 | 3,79 | 91 |
| | | | | | 63,5 | Parallelo piano scistosità | 15,00 | 3,72 | 3,72 | 4,14 | 99 |
| | | | | | 63,5 | Parallelo diametrale | 14,70 | 3,65 | 3,65 | 4,06 | 97 |
| | | | | | 63,5 | Parallelo | 8,40 | 2,08 | 2,08 | 2,32 | 56 |
| | | | | | 63,5 | Parallelo | 10,75 | 2,67 | 2,67 | 2,97 | 71 |
| | | | | | 63,6 | Parallelo | 6,47 | 1,60 | 1,60 | 1,78 | 43 |
| | | | | | 63,7 | Parallelo | 5,37 | 1,32 | 1,32 | 1,48 | 36 |
| | | | | | 63,7 | Parallelo | 8,82 | 2,17 | 2,17 | 2,42 | 58 |
| | | | | | 63,7 | Parallelo | 11,71 | 2,89 | 2,89 | 3,22 | 77 |
| 62,9 | Parallelo | 13,00 | 3,29 | 3,29 | 3,64 | 87 | | | | | |
| 62,9 | Parallelo | 12,76 | 3,23 | 3,23 | 3,58 | 86 | | | | | |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB7 lab

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|-----------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|---|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | | | |
| FB9 LAB | CR1-3-6-7-9 | 4,30 | 29,90 | marna calcarea | 68,6 | Perpendicolare assiale | 18,87 | 4,01 | 4,01 | 4,62 | 111 |
| | | | | | 61,7 | Perpendicolare | 17,58 | 4,62 | 4,62 | 5,08 | 122 |
| | | | | | 65,6 | Perpendicolare | 19,57 | 4,55 | 4,55 | 5,14 | 123 |
| | | | | | 70,7 | Perpendicolare | 15,95 | 3,19 | 3,19 | 3,73 | 90 |
| | | | | | 61,7 | Perpendicolare | 17,91 | 4,70 | 4,70 | 5,17 | 124 |
| | | | | | 56,6 | Perpendicolare | 12,55 | 3,92 | 3,91 | 4,14 | 99 |
| | | | | | 59,2 | Perpendicolare | 16,15 | 4,61 | 4,60 | 4,97 | 119 |
| | | | | | 58,3 | Perpendicolare | 9,48 | 2,79 | 2,79 | 2,99 | 72 |
| | | | | | 64,8 | Perpendicolare | 18,03 | 4,29 | 4,30 | 4,83 | 116 |
| | | | | | 65,6 | Perpendicolare | 24,16 | 5,61 | 5,62 | 6,35 | 152 |
| | | | | | 78,6 | Parallelo diametrale | 4,65 | 0,75 | 0,75 | 0,92 | 22 |
| | | | | | 78,6 | Parallelo | 10,86 | 1,76 | 1,76 | 2,15 | 52 |
| | | | | | 78,6 | Parallelo | 8,28 | 1,34 | 1,34 | 1,64 | 39 |
| | | | | | 78,5 | Parallelo | 2,60 | 0,42 | 0,42 | 0,52 | 12 |
| | | | | | 78,5 | Parallelo | 2,27 | 0,37 | 0,37 | 0,45 | 11 |
| | | | | | 78,7 | Parallelo | 3,51 | 0,57 | 0,57 | 0,70 | 17 |
| | | | | | 78,7 | Parallelo | 10,95 | 1,77 | 1,77 | 2,17 | 52 |
| | | | | | 78,6 | Parallelo | 1,22 | 0,20 | 0,20 | 0,24 | 6 |
| 78,7 | Parallelo | 8,73 | 1,41 | 1,41 | 1,73 | 42 | | | | | |
| 78,7 | Parallelo | 7,39 | 1,19 | 1,19 | 1,46 | 35 | | | | | |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB9 lab

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|-----------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|--|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D² calcolato [MN/m²] | | | |
| FB10 LAB | CR10-16-17 | 32,20 | 69,60 | marna calcarea | 61,6 | Perpendicolare assiale | 12,48 | 3,29 | 3,29 | 3,61 | 87 |
| | | | | | 67,1 | Perpendicolare | 17,85 | 3,96 | 3,97 | 4,53 | 109 |
| | | | | | 57,4 | Perpendicolare | 13,30 | 4,04 | 4,04 | 4,30 | 103 |
| | | | | | 50,5 | Perpendicolare | 9,89 | 3,88 | 3,89 | 3,90 | 94 |
| | | | | | 60,4 | Perpendicolare | 13,37 | 3,66 | 3,66 | 3,99 | 96 |
| | | | | | 55,7 | Perpendicolare | 8,05 | 2,59 | 2,59 | 2,72 | 65 |
| | | | | | 54,3 | Perpendicolare | 9,09 | 3,08 | 3,08 | 3,20 | 77 |
| | | | | | 67,8 | Perpendicolare | 12,24 | 2,66 | 2,66 | 3,05 | 73 |
| | | | | | 59,2 | Perpendicolare | 8,65 | 2,47 | 2,47 | 2,66 | 73 |
| | | | | | 54,7 | Perpendicolare | 10,25 | 3,43 | 3,42 | 3,56 | 64 |
| | | | | | 78,6 | Parallelo diametrale | 1,48 | 0,24 | 0,24 | 0,29 | 7 |
| | | | | | 78,6 | Parallelo | 2,02 | 0,33 | 0,33 | 0,40 | 10 |
| | | | | | 78,6 | Parallelo | 1,92 | 0,31 | 0,31 | 0,38 | 9 |
| | | | | | 78,6 | Parallelo | 3,29 | 0,53 | 0,53 | 0,65 | 16 |
| | | | | | 78,6 | Parallelo | 3,86 | 0,62 | 0,62 | 0,77 | 18 |
| | | | | | 78,4 | Parallelo | 2,15 | 0,35 | 0,35 | 0,43 | 10 |
| | | | | 78,4 | Parallelo | 2,53 | 0,41 | 0,41 | 0,50 | 12 | |
| | | | | 78,5 | Parallelo | 5,05 | 0,82 | 0,82 | 1,00 | 24 | |
| | | | | 78,5 | Parallelo | 8,08 | 1,31 | 1,31 | 1,61 | 39 | |
| | | | | 78,5 | Parallelo | 2,65 | 0,43 | 0,43 | 0,53 | 13 | |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB10 lab

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|-----------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|--|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D² calcolato [MN/m²] | | | |
| FB16 LAB | R6-9-11-12-1 | 18,50 | 39,30 | marna calcarea | 73,3 | Perpendicolare assiale | 7,03 | 1,31 | 1,31 | 1,55 | 37 |
| | | | | | 54,9 | Perpendicolare | 2,65 | 0,88 | 0,88 | 0,92 | 22 |
| | | | | | 65,6 | Perpendicolare | 4,68 | 1,09 | 1,09 | 1,23 | 30 |
| | | | | | 63,9 | Perpendicolare | 5,96 | 1,46 | 1,46 | 1,63 | 39 |
| | | | | | 70,3 | Perpendicolare | 2,97 | 0,60 | 0,60 | 0,70 | 17 |
| | | | | | 73,3 | Perpendicolare | 2,73 | 0,51 | 0,51 | 0,60 | 14 |
| | | | | | 70,3 | Perpendicolare | 3,67 | 0,74 | 0,74 | 0,86 | 21 |
| | | | | | 74,1 | Perpendicolare | 3,72 | 0,68 | 0,68 | 0,81 | 19 |
| | | | | | 81,1 | Perpendicolare | 6,57 | 1,00 | 1,00 | 1,24 | 30 |
| | | | | | 71,9 | Perpendicolare | 4,54 | 0,88 | 0,88 | 1,03 | 25 |
| | | | | | 84,5 | Parallelo diametrale | 2,19 | 0,31 | 0,31 | 0,39 | 9 |
| | | | | | 84,9 | Parallelo | 1,00 | 0,14 | 0,14 | 0,18 | 4 |
| | | | | | 84,9 | Parallelo | 3,26 | 0,45 | 0,45 | 0,57 | 14 |
| | | | | | 84,5 | Parallelo | 1,27 | 0,18 | 0,18 | 0,23 | 6 |
| | | | | | 84,5 | Parallelo | 1,03 | 0,14 | 0,14 | 0,18 | 4 |
| | | | | | 84,7 | Parallelo | 2,75 | 0,38 | 0,38 | 0,49 | 12 |
| | | | | | 84,7 | Parallelo | 1,47 | 0,20 | 0,20 | 0,26 | 6 |
| | | | | | 84,7 | Parallelo | 1,81 | 0,25 | 0,25 | 0,32 | 8 |
| | | | | 85,2 | Parallelo | 1,58 | 0,22 | 0,22 | 0,28 | 7 | |
| | | | | 85,2 | Parallelo | 0,34 | 0,05 | 0,05 | 0,06 | 1 | |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB16 lab

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|-------------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|--|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D² calcolato [MN/m²] | | | |
| FB16BIS LAB | CR14-16-18 | 44,00 | 62,00 | metasilite | 74,9 | Perpendicolare assiale | 3,07 | 0,55 | 0,55 | 0,66 | 16 |
| | | | | | 70,5 | Perpendicolare | 3,90 | 0,78 | 0,79 | 0,92 | 22 |
| | | | | | 81,8 | Perpendicolare | 3,65 | 0,55 | 0,55 | 0,68 | 16 |
| | | | | | 72,2 | Perpendicolare | 4,41 | 0,85 | 0,85 | 1,00 | 24 |
| | | | | | 73,6 | Perpendicolare | 2,81 | 0,52 | 0,52 | 0,62 | 15 |
| | | | | | 58,9 | Perpendicolare | 1,64 | 0,47 | 0,47 | 0,51 | 12 |
| | | | | | 55,1 | Perpendicolare | 2,29 | 0,75 | 0,75 | 0,79 | 19 |
| | | | | | 63,9 | Perpendicolare | 3,04 | 0,74 | 0,74 | 0,83 | 20 |
| | | | | | 63,1 | Perpendicolare | 5,80 | 1,46 | 1,46 | 1,62 | 39 |
| | | | | | 60,5 | Perpendicolare | 3,37 | 0,92 | 0,92 | 1,00 | 24 |
| | | | | | 84,8 | Parallelo diametrale | 1,18 | 0,16 | 0,16 | 0,21 | 5 |
| | | | | | 84,8 | Parallelo | 1,23 | 0,17 | 17,00 | 0,22 | 5 |
| | | | | | 84,8 | Parallelo | 1,13 | 0,16 | 0,16 | 0,20 | 5 |
| | | | | | 85,2 | Parallelo | 1,15 | 0,16 | 0,16 | 0,20 | 5 |
| | | | | | 85,2 | Parallelo | 1,61 | 0,22 | 0,22 | 0,28 | 7 |
| | | | | | 85,2 | Parallelo | 2,05 | 0,28 | 28,00 | 0,36 | 9 |
| | | | | | 85,2 | Parallelo | 0,72 | 0,10 | 0,10 | 0,13 | 3 |
| | | | | | 84,5 | Parallelo | 0,51 | 0,07 | 7,00 | 0,09 | 2 |
| | | | | 84,5 | Parallelo | 0,91 | 0,13 | 0,13 | 0,16 | 4 | |
| | | | | 84,5 | Parallelo | 2,28 | 0,32 | 0,32 | 0,40 | 10 | |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB16bis lab

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|-----------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|--|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D² calcolato [MN/m²] | | | |
| FB3 LAB | 1-CR1 | 2,00 | 2,35 | marna | 61 | Perpendicolare assiale | 8,5 | 2,28 | 2,30 | 2,51 | 60 |
| | 2-CR1 | 2,00 | 2,35 | marna | 61 | Perpendicolare | 7,0 | 1,88 | 1,89 | 2,06 | 49 |
| | 3-CR8 | 38,00 | 38,40 | marna calcarea | 55 | Perpendicolare | 12,0 | 3,97 | 3,96 | 4,14 | 99 |
| | 4-CR3 | 10,50 | 10,85 | calcarea marnoso | 63 | Perpendicolare | 20,0 | 5,04 | 5,10 | 5,64 | 135 |
| | 5-CR1 | 2,00 | 2,35 | marna | 50 | Perpendicolare | 6,5 | 2,60 | 2,64 | 2,63 | 63 |
| | 6-CR3 | 10,50 | 10,85 | calcarea marnoso | 50 | Perpendicolare | 17,0 | 6,80 | 6,85 | 6,84 | 164 |
| | 7-CR8 | 38,00 | 38,40 | marna calcarea | 51 | Perpendicolare | 11,5 | 4,42 | 4,46 | 4,49 | 108 |
| | 8-CR9 | 43,50 | 43,90 | calcarea marnoso | 66 | Perpendicolare | 13,0 | 2,98 | 2,95 | 3,35 | 80 |
| | 9-CR4 | 16,65 | 17,00 | marna | 43 | Perpendicolare | 9,0 | 4,87 | 4,78 | 4,48 | 108 |
| | 10-CR4 | 16,65 | 17,00 | marna | 46 | Perpendicolare | 3,5 | 1,65 | 1,64 | 1,58 | 38 |
| | 1-CR6 | 28,50 | 29,00 | marna calcarea | 64 | Parallelo diametrale | 4,3 | 1,05 | 1,05 | 1,17 | 28 |
| | 2-CR1 | 2,00 | 2,35 | marna | 80 | Parallelo | 7,0 | 1,09 | 1,09 | 1,35 | 32 |
| | 3-CR1 | 2,00 | 2,35 | marna | 80 | Parallelo | 4,5 | 0,70 | 0,70 | 0,87 | 21 |
| | 4-CR4 | 16,65 | 17,00 | marna | 64 | Parallelo | 5,5 | 1,34 | 1,34 | 1,50 | 36 |
| | 5-CR5 | 23,50 | 24,00 | marna calcarea | 64 | Parallelo | 3,0 | 0,73 | 0,73 | 0,82 | 20 |
| | 6-CR8 | 38,00 | 38,40 | marna calcarea | 64 | Parallelo | 15,0 | 3,66 | 3,66 | 4,09 | 98 |
| | 7-CR8 | 38,00 | 38,40 | marna calcarea | 64 | Parallelo | 8,0 | 1,95 | 1,95 | 2,18 | 52 |
| | 8-CR6 | 28,50 | 29,00 | marna calcarea | 64 | Parallelo | 6,0 | 1,46 | 1,46 | 1,64 | 39 |
| | 9-CR6 | 28,50 | 29,00 | marna calcarea | 64 | Parallelo | 8,5 | 2,08 | 2,08 | 2,32 | 56 |
| | 10-CR3 | 10,50 | 10,85 | calcarea marnoso | 64 | Parallelo | 15,0 | 3,66 | 4,09 | 4,09 | 98 |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB3 lab

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|-----------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|--|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D² calcolato [MN/m²] | | | |
| FB4-LAB | 1-CR6 | 27,55 | 27,95 | calcare marnoso | 70 | Perpendicolare assiale | 15,0 | 3,06 | 3,08 | 3,58 | 86 |
| | 2-CR2 | 9,20 | 9,70 | marna | 69 | Perpendicolare | 10,5 | 2,21 | 2,18 | 2,53 | 61 |
| | 3-CR3 | 14,60 | 14,85 | siltite calcarea | 80 | Perpendicolare | 30,0 | 4,69 | 4,71 | 5,81 | 139 |
| | 4-CR3 | 14,60 | 14,85 | siltite calcarea | 73 | Perpendicolare | 25,0 | 4,69 | 4,68 | 5,55 | 133 |
| | 5-CR1 | 4,65 | 5,00 | marna calcarea | 60 | Perpendicolare | 12,0 | 3,33 | 3,32 | 3,61 | 87 |
| | 6-CR8 | 37,50 | 37,80 | calcare marnoso | 72 | Perpendicolare | 16,5 | 3,18 | 3,16 | 3,73 | 90 |
| | 7-CR8 | 37,50 | 37,80 | calcare marnoso | 68 | Perpendicolare | 15,0 | 3,24 | 3,28 | 3,76 | 90 |
| | 8-CR8 | 37,50 | 37,80 | calcare marnoso | 83 | Perpendicolare | 18,0 | 2,61 | 2,61 | 3,28 | 79 |
| | 9-CR5 | 22,00 | 22,45 | marna | 57 | Perpendicolare | 13,0 | 4,00 | 3,99 | 4,23 | 102 |
| | 10-CR5 | 22,00 | 22,45 | marna | 64 | Perpendicolare | 16,5 | 4,03 | 4,01 | 4,48 | 108 |
| | 1-CR1 | 4,65 | 5,00 | marna calcarea | 65 | Parallelo diametrico | 9,0 | 2,13 | 2,13 | 2,40 | 58 |
| | 2-CR1 | 4,65 | 5,00 | marna calcarea | 65 | Parallelo | 7,0 | 1,66 | 1,66 | 1,86 | 45 |
| | 3-CR1 | 4,65 | 5,00 | marna calcarea | 65 | Parallelo | 6,5 | 1,54 | 1,54 | 1,73 | 42 |
| | 4-CR6 | 27,55 | 27,95 | calcare marnoso | 65 | Parallelo | 13,0 | 3,08 | 3,08 | 3,46 | 83 |
| | 5-CR6 | 27,55 | 27,95 | calcare marnoso | 65 | Parallelo | 12,0 | 2,84 | 2,84 | 3,20 | 77 |
| | 6-CR5 | 22,00 | 22,45 | marna | 65 | Parallelo | 5,5 | 1,30 | 1,30 | 1,46 | 35 |
| | 7-CR5 | 22,00 | 22,45 | marna | 65 | Parallelo | 3,5 | 0,83 | 0,83 | 0,93 | 22 |
| | 8-CR3 | 14,60 | 14,85 | siltite calcarea | 65 | Parallelo | 23,0 | 5,44 | 5,44 | 6,13 | 147 |
| | 9-CR2 | 9,20 | 9,70 | marna | 65 | Parallelo | 7,5 | 1,78 | 1,78 | 2,00 | 48 |
| | 10-CR3 | 14,60 | 14,85 | siltite calcarea | 65 | Parallelo | 15,0 | 3,55 | 3,55 | 4,00 | 96 |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB4 lab

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|-----------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|--|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D² calcolato [MN/m²] | | | |
| FB5 LAB | 1-CR1 | 2,30 | 2,65 | calcare marnoso | 63 | Perpendicolare assiale | 21,0 | 5,64 | 5,36 | 5,93 | 142 |
| | 2-CR1 | 2,30 | 2,65 | calcare marnoso | 61 | Perpendicolare | 10,0 | 2,69 | 2,70 | 2,95 | 71 |
| | 3-CR1 | 2,30 | 2,65 | calcare marnoso | 61 | Perpendicolare | 23,0 | 4,69 | 6,17 | 6,75 | 162 |
| | 4-CR4 | 15,35 | 15,70 | marna calcarea | 70 | Perpendicolare | 20,0 | 4,59 | 4,13 | 4,79 | 115 |
| | 5-CR5 | 20,15 | 20,40 | calcare marnoso | 66 | Perpendicolare | 14,0 | 3,31 | 3,22 | 3,64 | 87 |
| | 6-CR8 | 37,70 | 38,00 | calcare marnoso | 65 | Perpendicolare | 18,0 | 3,89 | 4,28 | 4,81 | 115 |
| | 7-CR6 | 25,05 | 25,40 | calcare marnoso | 68 | Perpendicolare | 25,0 | 4,11 | 5,34 | 6,15 | 148 |
| | 8-CR6 | 25,05 | 25,40 | calcare marnoso | 78 | Perpendicolare | 17,0 | 4,42 | 2,83 | 3,44 | 83 |
| | 9-CR5 | 20,15 | 20,40 | calcare marnoso | 62 | Perpendicolare | 20,0 | 4,59 | 5,17 | 5,70 | 137 |
| | 10-CR8 | 37,70 | 38,00 | calcare marnoso | 66 | Perpendicolare | 15,0 | 2,34 | 3,42 | 3,88 | 93 |
| | 1-CR1 | 2,30 | 2,65 | calcare marnoso | 80 | Parallelo diametrico | 7,0 | 1,09 | 1,09 | 1,35 | 32 |
| | 2-CR1 | 2,30 | 2,65 | calcare marnoso | 80 | Parallelo | 13,0 | 2,03 | 2,03 | 2,51 | 60 |
| | 3-CR1 | 2,30 | 2,65 | calcare marnoso | 80 | Parallelo | 17,0 | 2,66 | 2,66 | 3,28 | 79 |
| | 4-CR4 | 15,35 | 15,70 | marna calcarea | 65 | Parallelo | 14,0 | 3,31 | 3,31 | 3,73 | 90 |
| | 5-CR4 | 15,35 | 15,70 | marna calcarea | 65 | Parallelo | 13,0 | 3,08 | 3,08 | 3,46 | 83 |
| | 6-CR4 | 15,35 | 15,70 | marna calcarea | 65 | Parallelo | 12,0 | 2,84 | 2,84 | 3,20 | 77 |
| | 7-CR8 | 37,70 | 38,00 | calcare marnoso | 65 | Parallelo | 14,0 | 3,31 | 3,31 | 3,73 | 90 |
| | 8-CR8 | 37,70 | 38,00 | calcare marnoso | 65 | Parallelo | 13,0 | 3,08 | 3,08 | 3,46 | 83 |
| | 9-CR6 | 25,05 | 25,40 | calcare marnoso | 65 | Parallelo | 14,0 | 3,31 | 3,31 | 3,73 | 90 |
| | 10-CR5 | 20,15 | 20,40 | calcare marnoso | 65 | Parallelo | 12,0 | 2,84 | 2,84 | 3,20 | 77 |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB5 lab

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|-----------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|---|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | | | |
| FB11 LAB | 1-CR2 | 7,00 | 7,25 | marna | 57 | Perpendicolare assiale | 9,0 | 2,77 | 2,76 | 2,93 | 70 |
| | 2-CR2 | 7,00 | 7,25 | marna | 61 | Perpendicolare | 11,5 | 3,09 | 3,10 | 3,39 | 81 |
| | 3-CR3 | 13,00 | 13,30 | marna calcarea | 57 | Perpendicolare | 13,5 | 4,16 | 4,14 | 4,39 | 105 |
| | 4-CR3 | 13,00 | 13,30 | marna calcarea | 57 | Perpendicolare | 12,5 | 3,85 | 3,90 | 4,12 | 99 |
| | 5-CR3 | 13,00 | 13,30 | marna calcarea | 51 | Perpendicolare | 12,0 | 4,61 | 4,65 | 4,69 | 113 |
| | 6-CR6 | 29,00 | 29,20 | marna | 48 | Perpendicolare | 13,0 | 5,64 | 5,67 | 5,56 | 133 |
| | 7-CR6 | 29,00 | 29,20 | marna | 50 | Perpendicolare | 14,0 | 5,60 | 5,69 | 5,67 | 136 |
| | 8-CR6 | 29,00 | 29,20 | marna | 61 | Perpendicolare | 15,5 | 4,17 | 4,11 | 4,51 | 108 |
| | 9-CR6 | 29,00 | 29,20 | marna | 48 | Perpendicolare | 12,0 | 5,21 | 5,12 | 5,05 | 121 |
| | 10-CR6 | 29,00 | 29,20 | marna | 49 | Perpendicolare | 12,5 | 5,21 | 5,31 | 5,24 | 126 |
| | 1-CR2 | 7,00 | 7,25 | marna | 79 | Parallelo diametrale | 2,9 | 0,46 | 0,46 | 0,57 | 14 |
| | 2-CR2 | 7,00 | 7,25 | marna | 79 | Parallelo | 2,8 | 0,45 | 0,45 | 0,55 | 13 |
| | 3-CR2 | 7,00 | 7,25 | marna | 79 | Parallelo | 1,6 | 0,26 | 0,26 | 0,31 | 7 |
| | 4-CR2 | 7,00 | 7,25 | marna | 79 | Parallelo | 3,0 | 0,48 | 0,48 | 0,59 | 14 |
| | 5-CR3 | 13,00 | 13,30 | marna calcarea | 78 | Parallelo | 4,7 | 0,77 | 0,76 | 0,93 | 22 |
| | 6-CR3 | 13,00 | 13,30 | marna calcarea | 79 | Parallelo | 4,9 | 0,78 | 0,78 | 0,95 | 23 |
| | 7-CR3 | 13,00 | 13,30 | marna calcarea | 79 | Parallelo | 4,8 | 0,77 | 0,77 | 0,94 | 23 |
| | 8-CR5 | 23,70 | 23,90 | marna calcarea | 79 | Parallelo | 9,0 | 1,44 | 1,44 | 1,77 | 42 |
| | 9-CR6 | 29,00 | 29,20 | marna | 79 | Parallelo | 3,5 | 0,56 | 0,56 | 0,69 | 17 |
| | 10-CR6 | 29,00 | 29,20 | marna | 79 | Parallelo | 1,5 | 0,24 | 0,24 | 0,30 | 7 |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB11 lab

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|-----------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|---|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | | | |
| FB12 LAB | 1-CR7 | 19,10 | 19,45 | marna calcarea | 67 | Perpendicolare assiale | 17,00 | 3,79 | 3,84 | 4,37 | 105 |
| | 2-CR7 | 19,10 | 19,45 | marna calcarea | 66 | Perpendicolare | 14,00 | 3,21 | 3,22 | 3,65 | 88 |
| | 3-CR8 | 29,65 | 29,75 | siltite argillosa | 64 | Perpendicolare | 5,50 | 1,34 | 1,36 | 1,52 | 36 |
| | 4-CR8 | 29,65 | 29,75 | siltite argillosa | 60 | Perpendicolare | 8,00 | 2,22 | 2,24 | 2,43 | 58 |
| | 5-CR11 | 15,10 | 15,35 | | 53 | Perpendicolare | 7,50 | 2,67 | 2,67 | 2,74 | 66 |
| | 6-CR11 | 15,10 | 15,35 | | 52 | Perpendicolare | 20,00 | 7,40 | 7,31 | 7,46 | 179 |
| | 7-CR6 | 15,35 | 15,55 | marna calcarea | 51 | Perpendicolare | 14,00 | 5,38 | 5,31 | 5,38 | 129 |
| | 8-CR4 | 9,00 | 9,25 | marna calcarea | 64 | Perpendicolare | 13,00 | 3,17 | 3,18 | 3,55 | 85 |
| | 9-CR3 | 4,55 | 4,75 | marna calcarea | 48 | Perpendicolare | 17,00 | 7,38 | 7,26 | 7,15 | 172 |
| | 10-CR3 | 4,55 | 4,75 | marna calcarea | 52 | Perpendicolare | 14,00 | 5,18 | 5,24 | 5,32 | 128 |
| | 1-CR7 | 19,10 | 19,45 | marna calcarea | 80 | Parallelo diametrale | 7,00 | 1,09 | 1,09 | 1,35 | 32 |
| | 2-CR8 | 29,65 | 29,75 | siltite argillosa | 80 | Parallelo | 2,80 | 0,44 | 0,44 | 0,54 | 13 |
| | 3-CR11 | | | | 80 | Parallelo | 3,80 | 0,59 | 0,59 | 0,73 | 18 |
| | 4-CR11 | | | | 80 | Parallelo | 4,00 | 0,63 | 0,63 | 0,77 | 18 |
| | 5-CR11 | | | | 80 | Parallelo | 9,00 | 1,41 | 1,41 | 1,74 | 42 |
| | 6-CR6 | 15,35 | 15,55 | marna calcarea | 80 | Parallelo | 4,50 | 0,70 | 0,70 | 0,87 | 21 |
| | 7-CR6 | 15,35 | 15,55 | marna calcarea | 80 | Parallelo | 4,00 | 0,63 | 0,63 | 0,77 | 18 |
| | 8-CR4 | 9,00 | 9,25 | marna calcarea | 80 | Parallelo | 3,95 | 0,62 | 0,62 | 0,76 | 18 |
| | 9-CR4 | 9,00 | 9,25 | marna calcarea | 80 | Parallelo | 4,20 | 0,66 | 0,66 | 0,81 | 19 |
| | 10-CR3 | 4,55 | 4,75 | marna calcarea | 75 | Parallelo | 3,80 | 0,68 | 0,68 | 0,81 | 19 |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB12 lab

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is | Is(50) | σ _c |
|-----------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|---|-------|--------|----------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX | (MPa) | (MPa) | (MPa) |
| | | | | | | | | Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | | | |
| FB14 LAB | 1-CR5 | 18,65 | 19,00 | marna calcarea | 65 | Perpendicolare assiale | 16,50 | 3,91 | 3,92 | 4,41 | 106 |
| | 2-CR5 | 18,65 | 19,00 | marna calcarea | 63 | Perpendicolare | 18,00 | 4,54 | 4,47 | 4,98 | 120 |
| | 3-CR6 | 23,00 | 23,35 | marna siltosa | 72 | Perpendicolare | 19,00 | 3,67 | 3,65 | 4,31 | 103 |
| | 4-CR6 | 23,00 | 23,35 | marna siltosa | 59 | Perpendicolare | 17,00 | 4,88 | 4,87 | 5,25 | 126 |
| | 5-CR3 | 9,80 | 10,00 | marna | 63 | Perpendicolare | 4,00 | 1,01 | 1,01 | 1,12 | 27 |
| | 6-CR3 | 9,80 | 10,00 | marna | 63 | Perpendicolare | 7,00 | 1,76 | 1,77 | 1,97 | 47 |
| | 7-CR3 | 9,80 | 10,00 | marna | 60 | Perpendicolare | 9,00 | 2,50 | 2,52 | 2,73 | 66 |
| | 8-CR5 | 18,65 | 19,00 | marna calcarea | 63 | Perpendicolare | 19,00 | 4,79 | 4,74 | 5,27 | 126 |
| | 9-CR4 | 11,65 | 11,83 | marna calcarea | 57 | Perpendicolare | 18,00 | 5,54 | 5,61 | 5,93 | 142 |
| | 10-CR4 | 11,65 | 11,83 | marna calcarea | 56 | Perpendicolare | 13,00 | 4,15 | 4,12 | 4,34 | 104 |
| | 1-CR5 | 18,65 | 19,00 | marna calcarea | 80 | Parallelo diametrale | 12,00 | 1,88 | 1,88 | 2,32 | 56 |
| | 2-CR5 | 18,65 | 19,00 | marna calcarea | 80 | Parallelo | 9,00 | 1,41 | 1,41 | 1,74 | 42 |
| | 3-CR6 | 23,00 | 23,35 | marna siltosa | 80 | Parallelo | 6,50 | 1,02 | 1,02 | 1,25 | 30 |
| | 4-CR6 | 23,00 | 23,35 | marna siltosa | 80 | Parallelo | 4,00 | 0,63 | 0,63 | 0,77 | 18 |
| | 5-CR3 | 9,80 | 10,00 | marna | 80 | Parallelo | 3,50 | 0,55 | 0,55 | 0,68 | 16 |
| | 6-CR3 | 9,80 | 10,00 | marna | 80 | Parallelo | 2,00 | 0,31 | 0,31 | 0,39 | 9 |
| | 7-CR4 | 11,65 | 11,83 | marna calcarea | 80 | Parallelo | 9,50 | 1,48 | 1,48 | 1,83 | 44 |
| | 8-CR4 | 11,65 | 11,83 | marna calcarea | 80 | Parallelo | 7,00 | 1,09 | 1,09 | 1,35 | 32 |
| | 9-CR6 | 23,00 | 23,35 | marna siltosa | 80 | Parallelo | 5,00 | 0,78 | 0,78 | 0,97 | 23 |
| | 10-CR6 | 23,00 | 23,35 | marna siltosa | 80 | Parallelo | 4,50 | 0,70 | 0,70 | 0,87 | 21 |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB14 lab

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is | Is(50) | σ _c |
|-----------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|---|-------|--------|----------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX | (MPa) | (MPa) | (MPa) |
| | | | | | | | | Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | | | |
| FB18 LAB | 1-CR6 | 18,15 | 18,48 | argillite | 60 | Perpendicolare assiale | 4,80 | 1,33 | 1,32 | 1,44 | 35 |
| | 2-CR6 | 18,15 | 18,48 | argillite | 64 | Perpendicolare | 4,90 | 1,20 | 1,19 | 1,33 | 32 |
| | 3-CR6 | 18,15 | 18,48 | argillite | 58 | Perpendicolare | 4,50 | 1,34 | 1,35 | 1,44 | 35 |
| | 4-CR7 | 22,55 | 23,00 | marna | 64 | Perpendicolare | 4,40 | 1,07 | 1,06 | 1,19 | 29 |
| | 5-CR7 | 22,55 | 23,00 | marna | 56 | Perpendicolare | 4,20 | 1,34 | 1,33 | 1,40 | 34 |
| | 6-CR9 | 34,60 | 35,00 | argillite | 58 | Perpendicolare | 8,00 | 2,38 | 2,42 | 2,57 | 62 |
| | 7-CR9 | 34,60 | 35,00 | argillite | 56 | Perpendicolare | 10,50 | 3,35 | 3,32 | 3,50 | 84 |
| | 8-CR4 | 8,10 | 8,45 | argillite | 75 | Perpendicolare | 3,80 | 0,68 | 0,67 | 0,80 | 19 |
| | 9-CR4 | 8,10 | 8,45 | argillite | 56 | Perpendicolare | 4,40 | 1,40 | 1,39 | 1,47 | 35 |
| | 10-CR8 | 27,15 | 27,40 | argillite | 45 | Perpendicolare | 12,00 | 5,93 | 5,91 | 5,64 | 135 |
| | 1-CR6 | 18,15 | 18,48 | argillite | 80 | Parallelo diametrale | 1,90 | 0,30 | 0,30 | 0,37 | 9 |
| | 2-CR7 | 22,55 | 23,00 | marna | 80 | Parallelo | 2,60 | 0,41 | 0,41 | 0,50 | 12 |
| | 3-CR7 | 22,55 | 23,00 | marna | 80 | Parallelo | 2,10 | 0,33 | 0,33 | 0,41 | 10 |
| | 4-CR9 | 34,60 | 35,00 | argillite | 80 | Parallelo | 4,40 | 0,69 | 0,69 | 0,85 | 20 |
| | 5-CR9 | 34,60 | 35,00 | argillite | 80 | Parallelo | 4,30 | 0,67 | 0,67 | 0,83 | 20 |
| | 6-CR9 | 34,60 | 35,00 | argillite | 80 | Parallelo | 3,80 | 0,59 | 0,59 | 0,73 | 18 |
| | 7-CR9 | 34,60 | 35,00 | argillite | 80 | Parallelo | 4,30 | 0,67 | 0,67 | 0,83 | 20 |
| | 8-CR4 | 8,10 | 8,45 | argillite | 80 | Parallelo | 1,70 | 0,27 | 0,27 | 0,33 | 8 |
| | 9-CR4 | 8,10 | 8,45 | argillite | 80 | Parallelo | 2,10 | 0,33 | 0,33 | 0,41 | 10 |
| | 10-CR8 | 27,15 | 27,40 | argillite | 80 | Parallelo | 4,20 | 0,66 | 0,66 | 0,81 | 19 |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB18 lab

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is | Is(50) | σ_c | |
|-----------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|---|-------|--------|------------|--|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX | (MPa) | (MPa) | (MPa) | |
| | | | | | | | | Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | | | | |
| FB20 LAB | 1-CR6 | 15,00 | 15,30 | siltite | 72 | Perpendicolare assiale | 9,00 | 1,74 | 1,75 | 2,06 | 49 | |
| | 2-CR5 | 13,10 | 13,33 | siltite | 58 | Perpendicolare | 11,50 | 3,42 | 3,39 | 3,63 | 87 | |
| | 3-CR5 | 13,10 | 13,33 | siltite | 60 | Perpendicolare | 10,00 | 2,78 | 2,74 | 2,98 | 72 | |
| | 4-CR6 | 15,00 | 15,30 | siltite | 55 | Perpendicolare | 11,00 | 3,64 | 3,67 | 3,83 | 92 | |
| | 5-CR5 | 13,10 | 13,33 | siltite | 50 | Perpendicolare | 15,00 | 6,00 | 6,09 | 6,07 | 146 | |
| | 6-CR7 | 19,20 | 19,47 | argillite | 53 | Perpendicolare | 4,40 | 1,57 | 1,57 | 1,61 | 39 | |
| | 7-CR7 | 19,20 | 19,47 | argillite | 56 | Perpendicolare | 4,90 | 1,56 | 1,58 | 1,66 | 40 | |
| | 8-CR6 | 15,00 | 15,30 | siltite | 57 | Perpendicolare | 14,00 | 4,31 | 4,36 | 4,62 | 111 | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB20 lab

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is | Is(50) | σ_c |
|-----------|----------------|------------|-------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|---|-------|--------|------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX | (MPa) | (MPa) | (MPa) |
| | | | | | | | | Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | | | |
| FB21-LAB | 1-CR5 | 10,55 | 10,85 | breccia | 60 | Perpendicolare assiale | 4,10 | 1,14 | 1,15 | 1,25 | 30 |
| | 2-CR6 | 14,55 | 14,80 | argillite | 56 | Perpendicolare | 4,40 | 1,40 | 1,39 | 1,47 | 35 |
| | 3-CR7 | 19,30 | 19,60 | argillite | 57 | Perpendicolare | 4,50 | 1,39 | 1,38 | 1,46 | 35 |
| | 4-CR7 | 19,30 | 19,60 | argillite | 56 | Perpendicolare | 5,50 | 1,75 | 1,75 | 1,85 | 44 |
| | 5-CR7 | 19,30 | 19,60 | argillite | 47 | Perpendicolare | 7,00 | 3,17 | 3,22 | 3,12 | 75 |
| | 6-CR4 | 8,00 | 8,30 | argillite | 54 | Perpendicolare | 4,40 | 1,51 | 1,54 | 1,58 | 38 |
| | 7-CR7 | 19,30 | 19,60 | argillite | 56 | Perpendicolare | 4,00 | 1,28 | 1,26 | 1,33 | 32 |
| | 8-CR7 | 19,30 | 19,60 | argillite | 77 | Perpendicolare | 5,00 | 0,84 | 0,84 | 1,02 | 24 |
| | 9-CR4 | 8,00 | 8,30 | argillite | 53 | Perpendicolare | 4,80 | 1,71 | 1,71 | 1,76 | 42 |
| | 10-CR4 | 8,00 | 8,30 | argillite | 51 | Perpendicolare | 4,00 | 1,54 | 1,56 | 1,57 | 38 |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB21 lab

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|---------------|----------------|------------|--------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|--|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D² calcolato [MN/m²] | | | |
| FB9quater LAB | 1-CR9 | 48,00 | 48,30 | marna calcarea | 54 | Perpendicolare assiale | 12,00 | 4,12 | 4,13 | 4,28 | 103 |
| | 2-CR9 | 48,00 | 48,30 | marna calcarea | 69 | Perpendicolare | 11,00 | 2,31 | 2,28 | 2,65 | 64 |
| | 3-CR9 | 48,00 | 48,30 | marna calcarea | 58 | Perpendicolare | 15,00 | 4,46 | 4,49 | 4,79 | 115 |
| | 4-CR2 | 13,15 | 13,50 | siltite calcarea | 64 | Perpendicolare | 14,50 | 3,54 | 3,57 | 3,98 | 96 |
| | 5-CR2 | 13,15 | 13,50 | siltite calcarea | 50 | Perpendicolare | 13,00 | 5,20 | 5,16 | 5,17 | 124 |
| | 6-CR6 | 34,60 | 35,00 | siltite calcarea | 54 | Perpendicolare | 23,00 | 7,89 | 8,03 | 8,28 | 199 |
| | 7-CR6 | 34,60 | 35,00 | siltite calcarea | 48 | Perpendicolare | 13,50 | 5,86 | 5,76 | 5,68 | 136 |
| | 8-CR6 | 34,60 | 35,00 | siltite calcarea | 59 | Perpendicolare | 9,00 | 2,59 | 2,55 | 2,76 | 66 |
| | 9-CR6 | 34,60 | 35,00 | siltite calcarea | 46 | Perpendicolare | 21,00 | 9,92 | 10,06 | 9,66 | 232 |
| | 10-CR6 | 34,60 | 35,00 | siltite calcarea | 46 | Perpendicolare | 17,50 | 8,27 | 8,39 | 8,06 | 193 |
| | 1-CR9 | 48,00 | 48,30 | marna calcarea | 64 | Parallelo diametrale | 8,00 | 1,95 | 1,95 | 2,18 | 52 |
| | 2-CR9 | 48,00 | 48,30 | marna calcarea | 64 | Parallelo | 6,50 | 1,59 | 1,59 | 1,77 | 42 |
| | 3-CR2 | 13,15 | 13,50 | siltite calcarea | 85 | Parallelo | 5,50 | 0,76 | 0,76 | 0,97 | 23 |
| | 4-CR2 | 13,15 | 13,50 | siltite calcarea | 85 | Parallelo | 12,00 | 1,66 | 1,66 | 2,11 | 51 |
| | 5-CR6 | 34,60 | 35,00 | siltite calcarea | 85 | Parallelo | 2,60 | 0,36 | 0,36 | 0,46 | 11 |
| | 6-CR6 | 34,60 | 35,00 | siltite calcarea | 85 | Parallelo | 17,00 | 2,35 | 2,35 | 2,39 | 72 |
| | 7-CR6 | 34,60 | 35,00 | siltite calcarea | 85 | Parallelo | 1,80 | 0,25 | 0,25 | 0,32 | 8 |
| | 8-CR6 | 34,60 | 35,00 | siltite calcarea | 85 | Parallelo | 2,80 | 0,39 | 0,39 | 0,49 | 12 |
| | 9-CR6 | 34,60 | 35,00 | siltite calcarea | 85 | Parallelo | 3,20 | 0,44 | 0,44 | 0,56 | 13 |
| | 10-CR7 | 37,75 | 38,00 | siltite calcarea | 85 | Parallelo | 4,80 | 0,66 | 0,66 | 0,84 | 20 |
| | 1-CR13 | 61,00 | 61,35 | marna | 57 | Perpendicolare assiale | 5,00 | 1,54 | 1,57 | 1,65 | 40 |
| | 2-CR13 | 61,00 | 61,35 | marna | 55 | Perpendicolare | 5,20 | 1,72 | 1,69 | 1,77 | 42 |
| | 3-CR13 | 61,00 | 61,35 | marna | 67 | Perpendicolare | 9,00 | 2,00 | 2,00 | 2,28 | 55 |
| | 4-CR13 | 61,00 | 61,35 | marna | 52 | Perpendicolare | 6,00 | 2,22 | 2,21 | 2,25 | 54 |
| | 5-CR18 | 86,50 | 86,80 | siltite | 48 | Perpendicolare | 16,00 | 6,94 | 6,81 | 6,72 | 161 |
| | 6-CR18 | 86,50 | 86,80 | siltite | 52 | Perpendicolare | 17,00 | 6,29 | 6,21 | 6,34 | 152 |
| | 7-CR18 | 86,50 | 86,80 | siltite | 51 | Perpendicolare | 15,50 | 5,96 | 6,01 | 6,06 | 145 |
| | 8-CR18 | 86,50 | 86,80 | siltite | 57 | Perpendicolare | 16,50 | 5,08 | 5,02 | 5,34 | 128 |
| | 9-CR18 | 86,50 | 86,80 | siltite | 46 | Perpendicolare | 18,00 | 8,51 | 8,42 | 8,12 | 195 |
| | 10-CR13 | 61,00 | 61,35 | marna | 46 | Perpendicolare | 10,00 | 4,73 | 4,79 | 4,60 | 110 |
| | 1-CR13 | 61,00 | 61,35 | marna | 64 | Parallelo diametrale | 5,00 | 1,22 | 1,22 | 1,36 | 33 |
| | 2-CR13 | 61,00 | 61,35 | marna | 64 | Parallelo | 4,60 | 1,12 | 1,12 | 1,25 | 30 |
| | 3-CR13 | 61,00 | 61,35 | marna | 64 | Parallelo | 4,40 | 1,07 | 1,07 | 1,20 | 29 |
| | 4-CR18 | 86,50 | 86,80 | siltite | 64 | Parallelo | 6,00 | 1,46 | 1,46 | 1,64 | 39 |
| | 5-CR18 | 86,50 | 86,80 | siltite | 64 | Parallelo | 4,80 | 1,17 | 1,17 | 1,31 | 31 |
| | 6-CR18 | 86,50 | 86,80 | siltite | 64 | Parallelo | 4,70 | 1,15 | 1,15 | 1,28 | 31 |
| | 7-CR18 | 86,50 | 86,80 | siltite | 64 | Parallelo | 7,50 | 1,83 | 1,83 | 2,05 | 49 |
| | 8-CR18 | 86,50 | 86,80 | siltite | 64 | Parallelo | 4,60 | 1,12 | 1,12 | 1,25 | 30 |
| | 9-CR23 | 114,20 | 114,50 | marna | 64 | Parallelo | 5,20 | 1,27 | 1,27 | 1,42 | 34 |
| | 10-CR24 | 117,25 | 117,60 | marna | 64 | Parallelo | 4,40 | 1,07 | 1,07 | 1,20 | 29 |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB9quater lab 1

| Sondaggio | Campione N° | Profondità | | Tipo di materiale | Diametro equivalente (mm) | Orientazione della prova rispetto alla scistosità | Carico di rottura (P) [kN] | POINT LOAD | Is (MPa) | Is(50) (MPa) | σ_c (MPa) |
|---------------|----------------|------------|--------|-------------------|------------------------------|---|----------------------------------|---|-------------|-----------------|---------------------|
| | | da (m) | a (m) | | | | | STRENGTH INDEX Is=P/D ² calcolato [MN/m ²] | | | |
| FB9quater LAB | 1-CR49 | 235,40 | 235,90 | marna calcarea | 57 | Perpendicolare assiale | 15,00 | 4,62 | 4,59 | 4,88 | 117 |
| | 2-CR49 | 235,40 | 235,90 | marna calcarea | 53 | Perpendicolare | 13,00 | 4,63 | 4,71 | 4,81 | 115 |
| | 3-CR48 | 232,00 | 232,40 | siltite calcarea | 54 | Perpendicolare | 15,50 | 5,32 | 5,25 | 5,45 | 131 |
| | 4-CR48 | 232,00 | 232,40 | siltite calcarea | 51 | Perpendicolare | 16,00 | 6,15 | 6,23 | 6,27 | 150 |
| | 5-CR58 | 282,45 | 282,80 | siltite calcarea | 51 | Perpendicolare | 18,00 | 6,92 | 6,98 | 7,03 | 169 |
| | 6-CR58 | 282,45 | 282,80 | siltite calcarea | 52 | Perpendicolare | 14,00 | 5,18 | 5,11 | 5,22 | 125 |
| | 7-CR58 | 282,45 | 282,80 | siltite calcarea | 52 | Perpendicolare | 16,50 | 6,10 | 6,12 | 6,23 | 150 |
| | 8-CR58 | 282,45 | 282,80 | siltite calcarea | 54 | Perpendicolare | 15,00 | 5,14 | 5,05 | 5,25 | 126 |
| | 9-CR58 | 282,45 | 282,80 | siltite calcarea | 45 | Perpendicolare | 13,50 | 6,67 | 6,63 | 6,33 | 152 |
| | 10-CR58 | 282,45 | 282,80 | siltite calcarea | 47 | Perpendicolare | 11,50 | 5,21 | 5,25 | 5,09 | 122 |
| | 1-CR49 | 235,40 | 235,90 | marna calcarea | 64 | Parallelo diametricale | 13,00 | 3,17 | 3,17 | 3,55 | 85 |
| | 2-CR48 | 232,00 | 232,40 | siltite calcarea | 64 | Parallelo | 1,80 | 0,44 | 0,44 | 0,49 | 12 |
| | 3-CR58 | 282,45 | 282,80 | siltite calcarea | 64 | Parallelo | 2,70 | 0,66 | 0,66 | 0,74 | 18 |
| | 4-CR58 | 282,45 | 282,80 | siltite calcarea | 64 | Parallelo | 1,40 | 0,34 | 0,34 | 0,38 | 9 |
| | 5-CR58 | 282,45 | 282,80 | siltite calcarea | 64 | Parallelo | 4,60 | 1,12 | 1,12 | 1,25 | 30 |
| | 6-CR58 | 282,45 | 282,80 | siltite calcarea | 64 | Parallelo | 8,00 | 1,95 | 1,95 | 2,18 | 52 |
| | 7-CR58 | 282,45 | 282,80 | siltite calcarea | 64 | Parallelo | 7,50 | 1,83 | 1,83 | 2,05 | 49 |
| | 8-CR58 | 282,45 | 282,80 | siltite calcarea | 64 | Parallelo | 5,60 | 1,37 | 1,37 | 1,53 | 37 |
| | 9-CR49 | 235,40 | 235,90 | marna calcarea | 64 | Parallelo | 9,00 | 2,20 | 2,20 | 2,46 | 59 |
| | 10-CR48 | 232,00 | 232,40 | siltite calcarea | 64 | Parallelo | 2,20 | 0,54 | 0,54 | 0,60 | 14 |
| | 1-CR60 | 293,00 | 293,50 | marna calcarea | 55 | Perpendicolare assiale | 10,00 | 3,31 | 3,28 | 3,43 | 82 |
| | 2-CR60 | 293,00 | 293,50 | marna calcarea | 59 | Perpendicolare | 13,00 | 3,73 | 3,74 | 4,03 | 97 |
| | 3-CR60 | 293,00 | 293,50 | marna calcarea | 56 | Perpendicolare | 11,00 | 3,51 | 3,45 | 3,65 | 88 |
| | 4-CR60 | 293,00 | 293,50 | marna calcarea | 52 | Perpendicolare | 9,50 | 3,51 | 3,51 | 3,57 | 86 |
| | 5-CR60 | 293,00 | 293,50 | marna calcarea | 56 | Perpendicolare | 18,00 | 5,74 | 5,82 | 6,10 | 146 |
| | 6-CR62 | 303,60 | 304,00 | marna | 52 | Perpendicolare | 9,50 | 3,51 | 3,55 | 3,61 | 87 |
| | 7-CR62 | 303,60 | 304,00 | marna | 53 | Perpendicolare | 13,00 | 4,63 | 4,62 | 4,75 | 114 |
| | 8-CR69 | 339,00 | 339,65 | marna calcarea | 59 | Perpendicolare | 12,00 | 3,45 | 3,48 | 3,74 | 90 |
| | 9-CR69 | 339,00 | 339,65 | marna calcarea | 47 | Perpendicolare | 13,00 | 5,89 | 5,80 | 5,66 | 136 |
| | 10-CR69 | 339,00 | 339,65 | marna calcarea | 47 | Perpendicolare | 14,00 | 6,34 | 6,23 | 6,08 | 146 |
| | 1-CR62 | 303,60 | 304,00 | marna | 64 | Parallelo diametricale | 1,80 | 0,44 | 0,44 | 0,49 | 12 |
| | 2-CR60 | 293,00 | 293,50 | marna calcarea | 64 | Parallelo | 8,00 | 1,95 | 1,95 | 2,18 | 52 |
| | 3-CR60 | 293,00 | 293,50 | marna calcarea | 64 | Parallelo | 9,50 | 2,32 | 2,32 | 2,59 | 62 |
| | 4-CR60 | 293,00 | 293,50 | marna calcarea | 64 | Parallelo | 8,00 | 1,95 | 1,95 | 2,18 | 52 |
| | 5-CR60 | 293,00 | 293,50 | marna calcarea | 64 | Parallelo | 7,50 | 1,83 | 1,83 | 2,05 | 49 |
| | 6-CR60 | 293,00 | 293,50 | marna calcarea | 64 | Parallelo | 6,50 | 1,59 | 1,59 | 1,77 | 42 |
| | 7-CR60 | 293,00 | 293,50 | marna calcarea | 64 | Parallelo | 8,50 | 2,08 | 2,08 | 2,32 | 56 |
| | 8-CR60 | 293,00 | 293,50 | marna calcarea | 64 | Parallelo | 6,50 | 1,59 | 1,59 | 1,77 | 42 |
| | 9-CR69 | 339,00 | 339,65 | marna calcarea | 64 | Parallelo | 2,50 | 0,61 | 0,61 | 0,68 | 16 |
| | 10-CR69 | 339,00 | 339,65 | marna calcarea | 64 | Parallelo | 4,00 | 0,98 | 0,98 | 1,09 | 26 |

Misure valori di R.Q.D. – Sondaggio FB9quater lab 2