



REGIONE LIGURIA

**autostrade // per l'italia**

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

**PROGETTO DEFINITIVO**

**DOCUMENTAZIONE GENERALE**

**GEOTECNICA**

**RELAZIONE GEOTECNICA**

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

 <b>ingegneria europea</b>	<p><b>RESPONSABILE PROGETTO GENOVA</b> 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>  <b>Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti</b> <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**

<b>1. PREMESSA</b>	<b>6</b>
<b>2. DOCUMENTAZIONE, NORMATIVE E BIBLIOGRAFIA DI RIFERIMENTO</b>	<b>8</b>
2.1 Documentazione di riferimento	8
2.2 Normative e raccomandazioni	9
2.3 Bibliografia	9
<b>3. DESCRIZIONE SINTETICA DEL TRACCIATO E DELLE OPERE DI PROGETTO</b>	<b>11</b>
<b>4. INQUADRAMENTO SISMICO</b>	<b>13</b>
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
<b>5. INDAGINI GEOTECNICHE DISPONIBILI</b>	<b>27</b>
5.1 Introduzione	27
5.2 Indagini 2011	27
5.3 Indagini 2013	29
<b>6. LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI ED IDROGEOLOGICI</b>	<b>33</b>
<b>7. CONDIZIONI STRATIGRAFICHE E DI FALDA</b>	<b>34</b>
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
<b>8. CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI MATERIALI SCIOLTI</b>	<b>54</b>
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
<b>9.</b>	<b>CRITERI PER LA CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE FORMAZIONI ROCCIOSE</b>	<b>65</b>
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
<b>10.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI MATERIALI SCIOLTI</b>	<b>74</b>
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
<b>11.</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE FORMAZIONI ROCCIOSE</b>	<b>152</b>
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
<b>12.</b>	<b>CRITERI DI COSTRUZIONE DEI RILEVATI</b>	<b>306</b>

**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
<b>Ambito 1</b>	Formazione del Monte Antola (FAN)	Riporti / Copertura su FAN
<b>Ambito 2</b>	Formazione del Monte Antola (FAN)	Copertura su FAN
<b>Ambito 3</b>	Ardesia di Monte Verzi (AMV) Scisti Mangesiferi (SCM)	Copertura su AMV
<b>Ambito 4</b>	Scisti mangesiferi (SCM) Breccia argillitica	Alluvione / Copertura su SCM

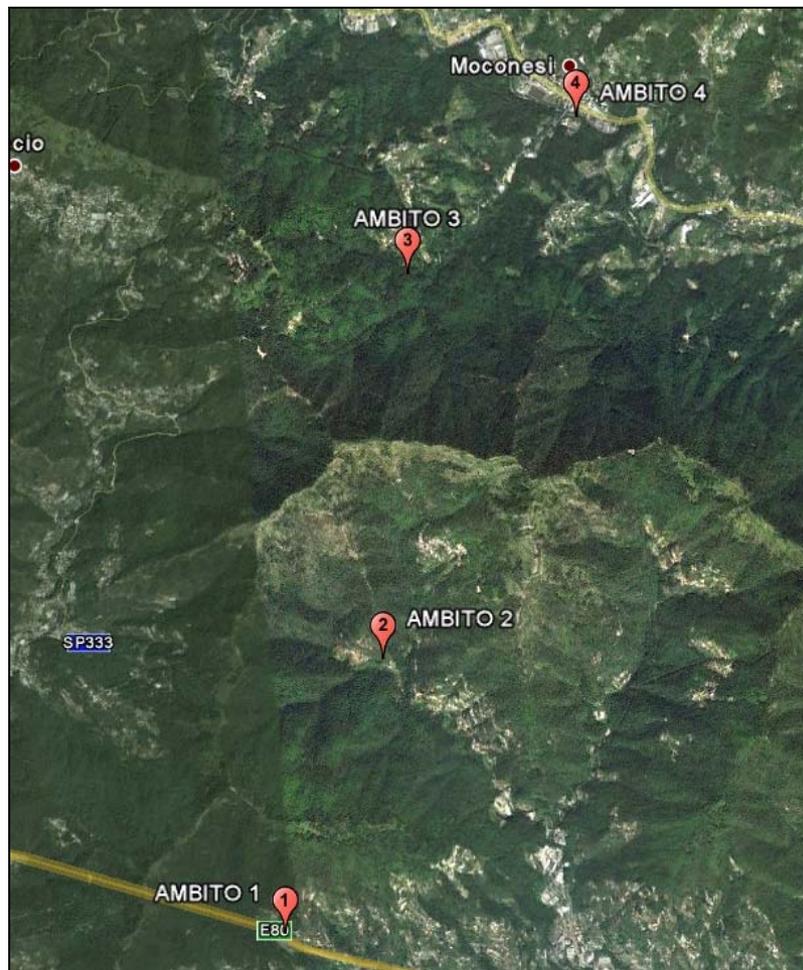
**Tabella 3.1 - Tabella riepilogativa delle formazioni presenti**

## 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><math>T_R</math> [anni]</th> <th><math>a_g</math> [g]</th> <th><math>F_o</math> [-]</th> <th><math>T_c^*</math> [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><math>T_R</math> [anni]</th> <th><math>a_g</math> [g]</th> <th><math>F_0</math> [-]</th> <th><math>T_c^*</math> [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><math>T_R</math> [anni]</th> <th><math>a_g</math> [g]</th> <th><math>F_0</math> [-]</th> <th><math>T_c^*</math> [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><math>T_R</math> [anni]</th> <th><math>a_g</math> [g]</th> <th><math>F_0</math> [-]</th> <th><math>T_c^*</math> [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).

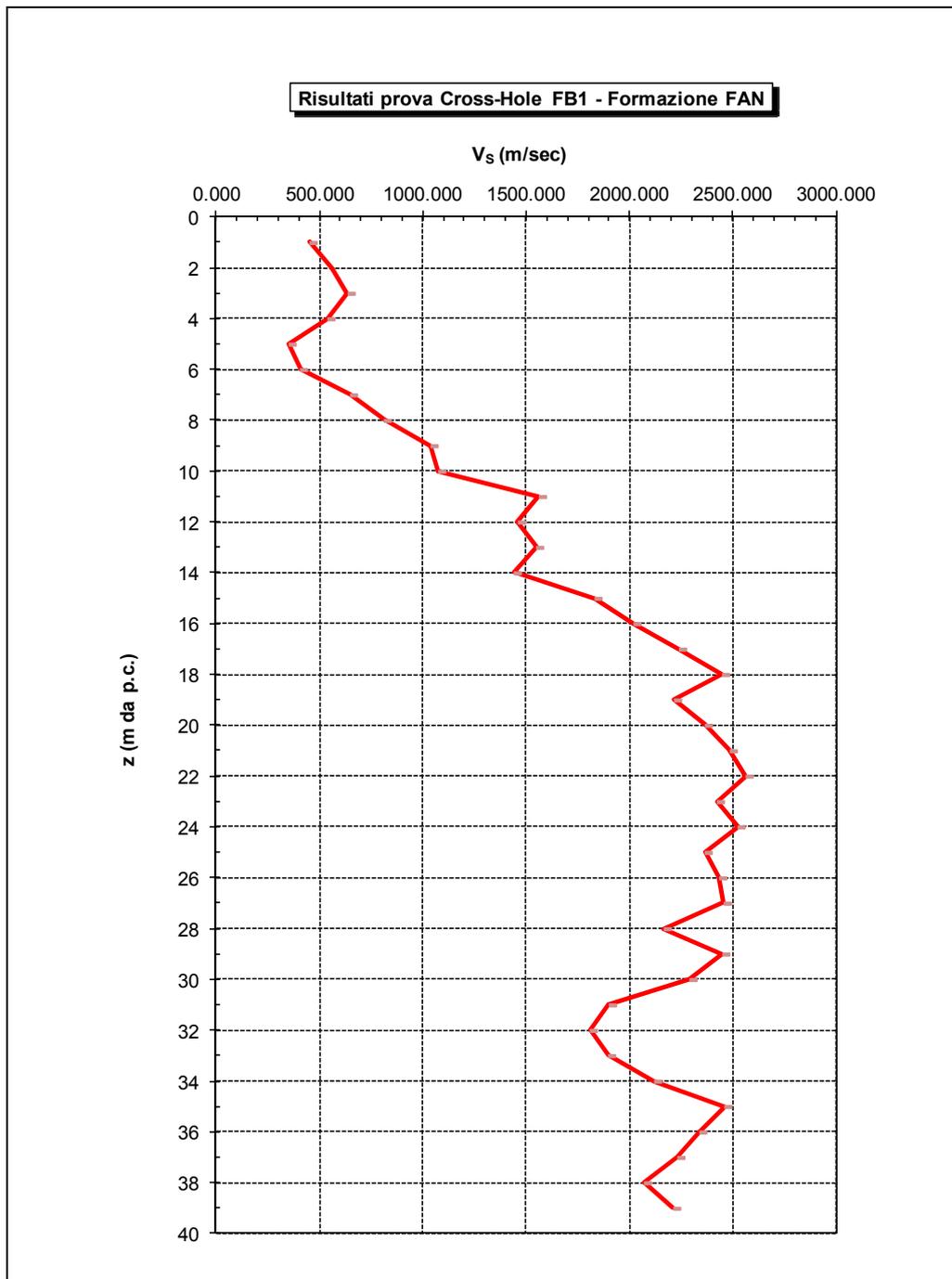
La classificazione del tracciato di progetto rispetto alla risposta sismica locale è stata svolta in accordo con le prescrizioni delle NTC2008, identificando la Categoria di Suolo di appartenenza del sito sulla base dei dati delle indagini condotte, associate ai vari punti di interesse (cfr. **Tabella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

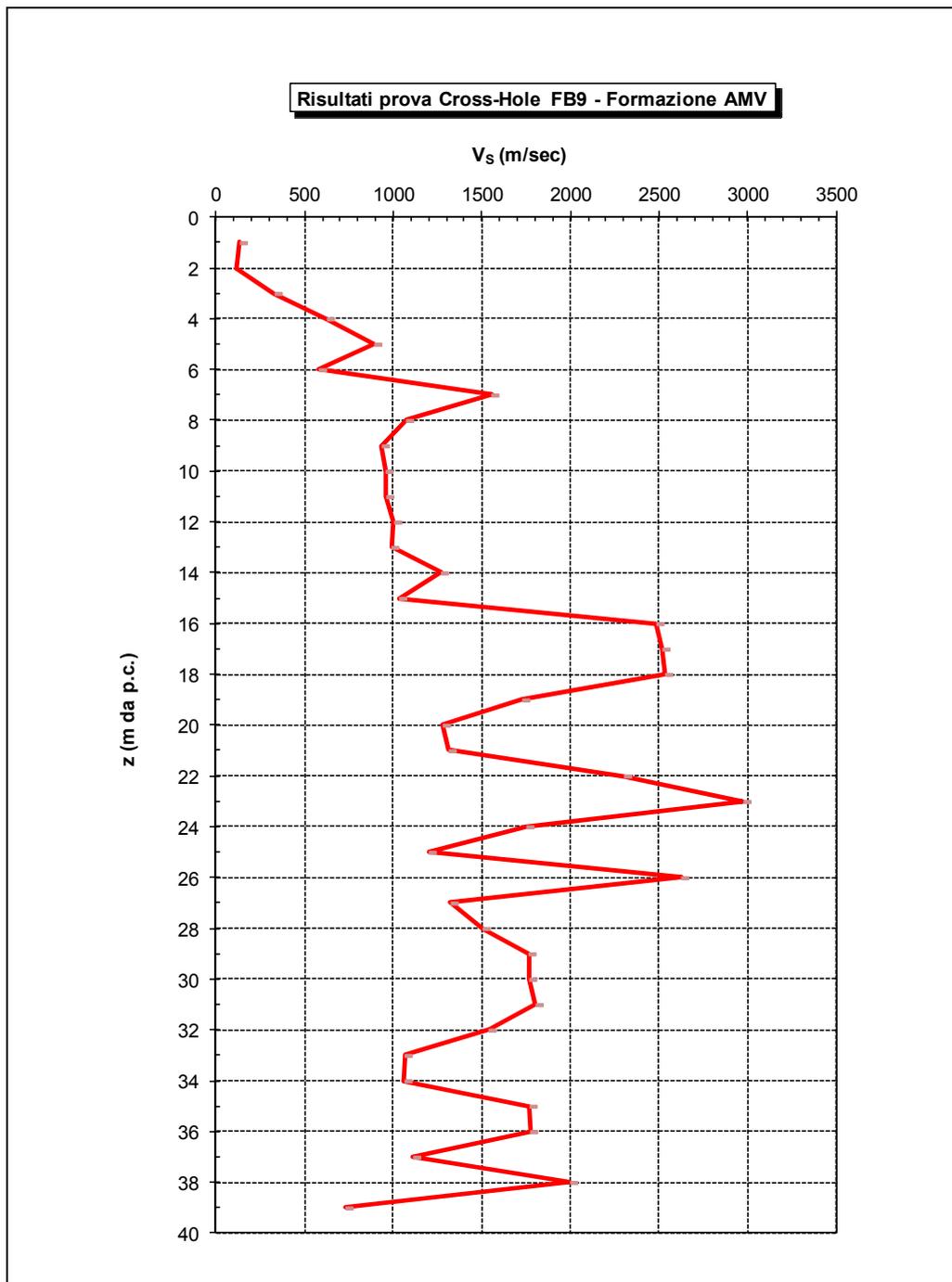


Figura 4.3 - Prova Cross-Hole FB9 - Andamento con profondità della V<sub>s</sub>

I valori di V<sub>s,30</sub> risultano rispettivamente:

Cross-Hole FB1 V<sub>s,30</sub> = 1210 m/s

Cross-Hole FB9 V<sub>s,30</sub> = 915 m/s

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

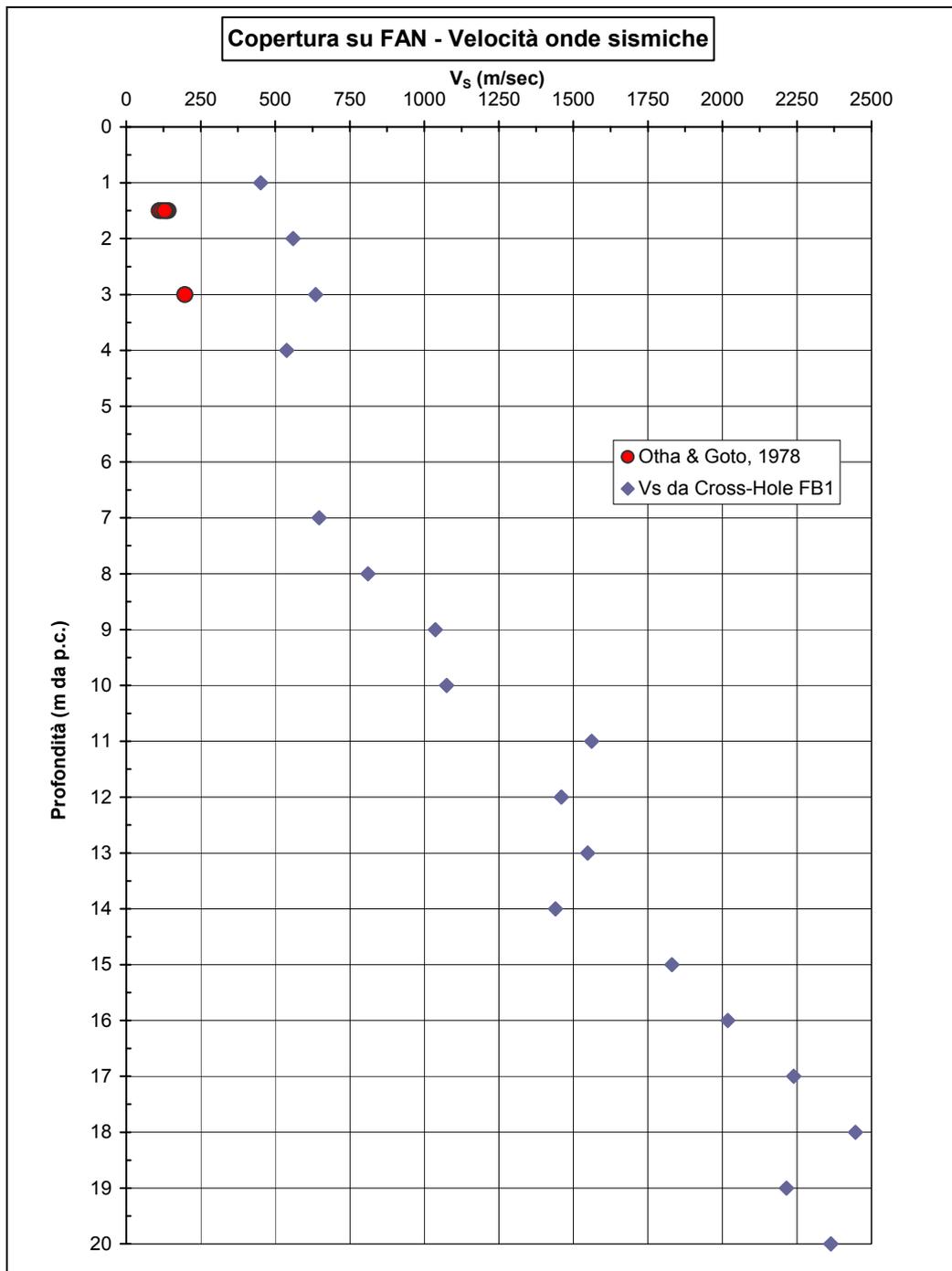
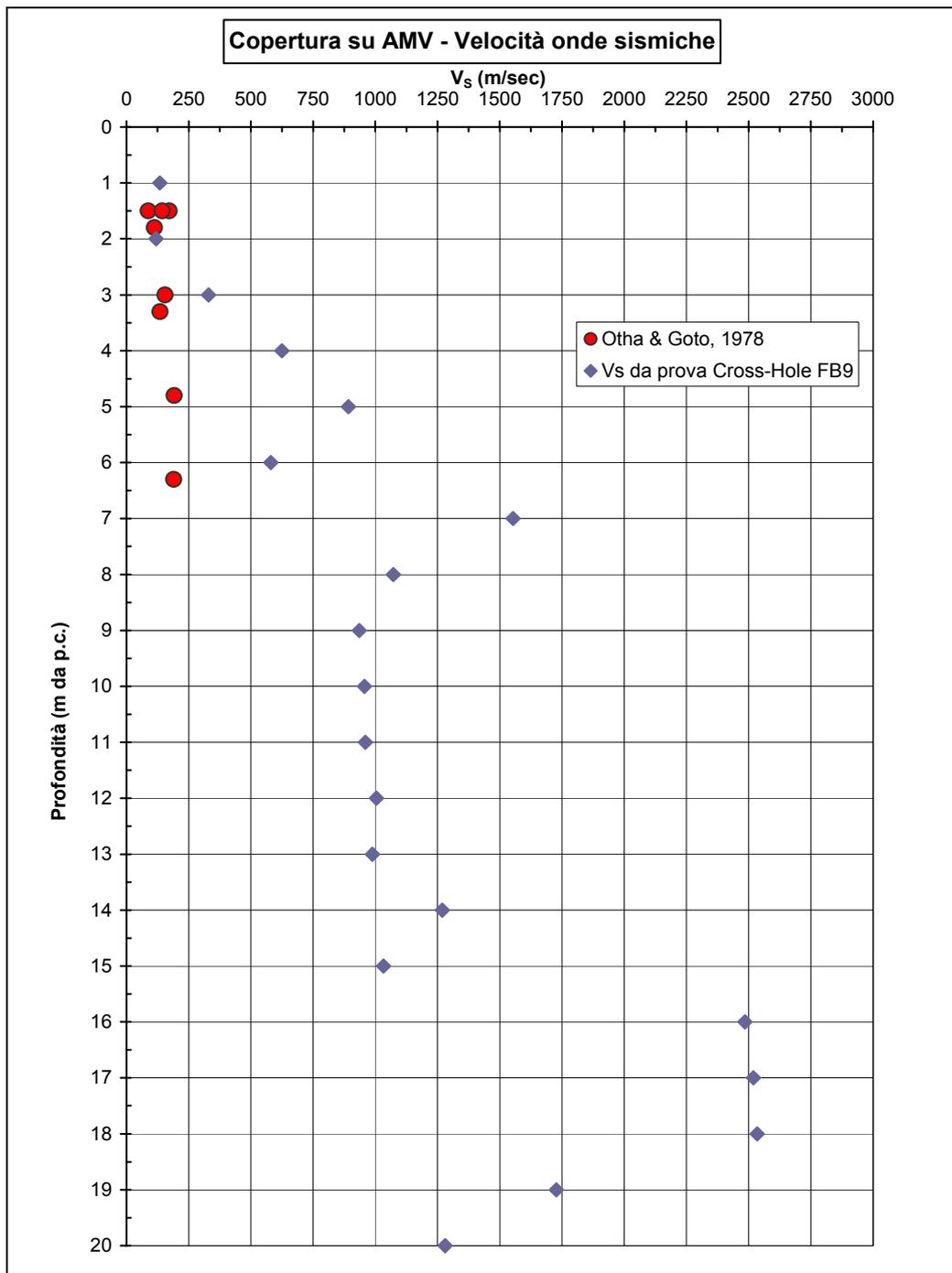


Figura 4.4 - Copertura su FAN - Velocità onde sismiche da  $N_{SPT}$



**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:

	<b>Ambito 1</b>	<b>Ambito 2</b>	<b>Ambito 3</b>	<b>Ambito 4</b>
	Svincolo A12 (Imbocco Rapallo)	Finestra di Arbocò	Stazione di Valfontanabuona Rotatoria Aveno	Raccordo viabilità S.P.225
<b>Categoria di Sottosuolo</b>	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  $15^\circ$ ), 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:

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

	Categoria di sottosuolo	
	<b>A</b>	<b>B,C,D,E</b>
	$\beta_s$	$\beta_s$
$0.2 < a_g (g) < 0.4$	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  $\beta_s$**

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	$\pm 0.0249$
2	SLV	949	0.0363	$\pm 0.0181$
3	SLV	949	0.0535	$\pm 0.0267$
4	SLV	949	0.0548	$\pm 0.0274$

**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 ( $m_b$ ,  $s$ ,  $\sigma_{cm}$ ,  $E$ ,  $c$ ,  $\phi$ );
- 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:

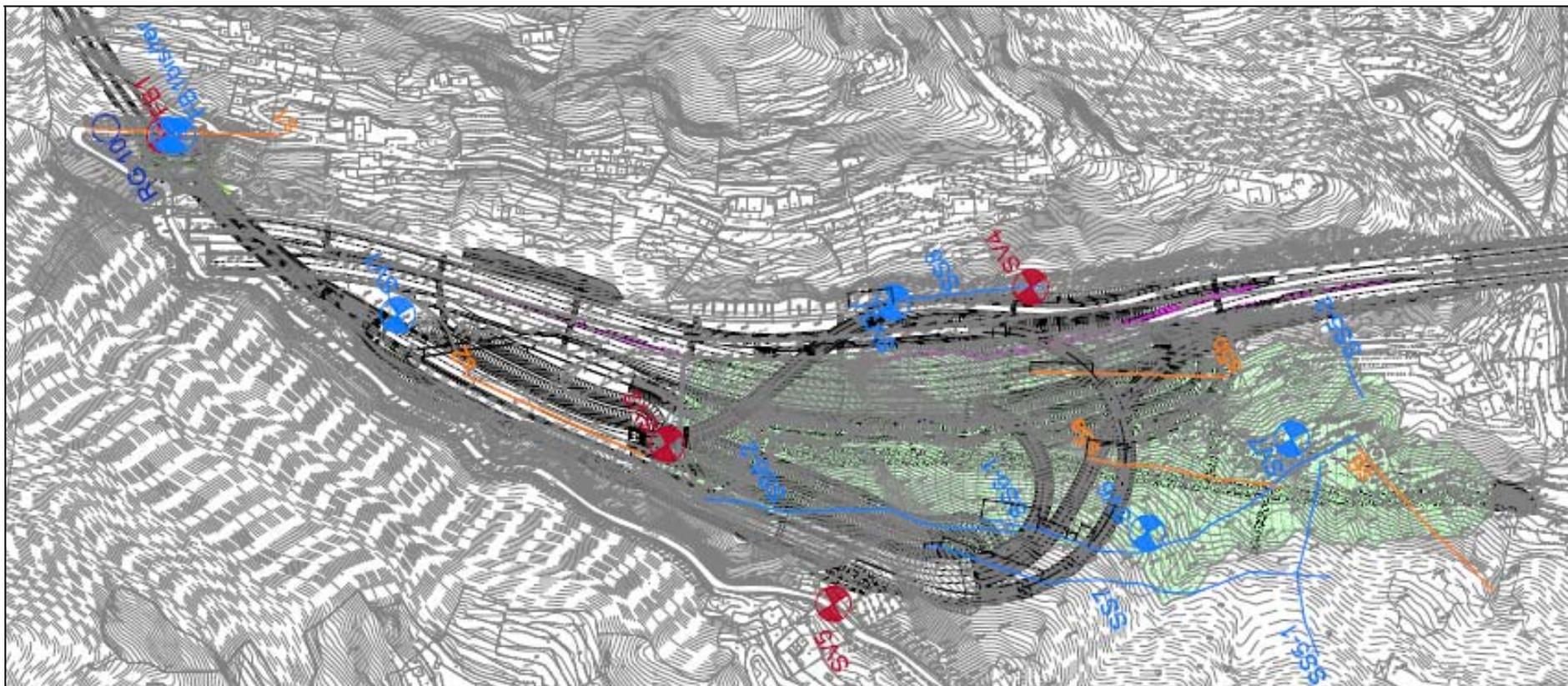


Figura 7.1 - Svincolo sulla A12 - Planimetria di ubicazione delle indagini

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:



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:

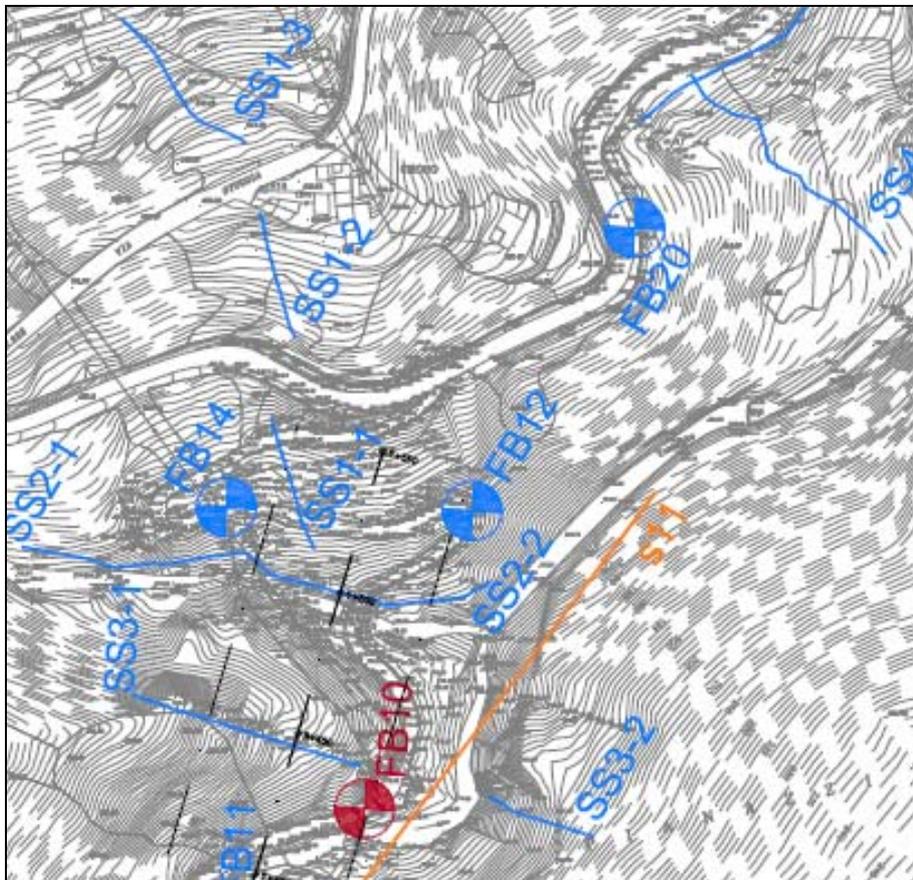
ZONA	STENDIMENTI GEOFISICI	TIPO
STAZIONE VALFONTANABUONA E ROTATORIA DI AVENO	2	geofisica a rifrazione 2013
	3	geofisica a rifrazione 2013
	SS1-1	geofisica a rifrazione 2013
	SS1-2	geofisica a rifrazione 2013
	SS1-3	geofisica a rifrazione 2013
	SS2-1	geofisica a rifrazione 2013
	SS2-2	geofisica a rifrazione 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**

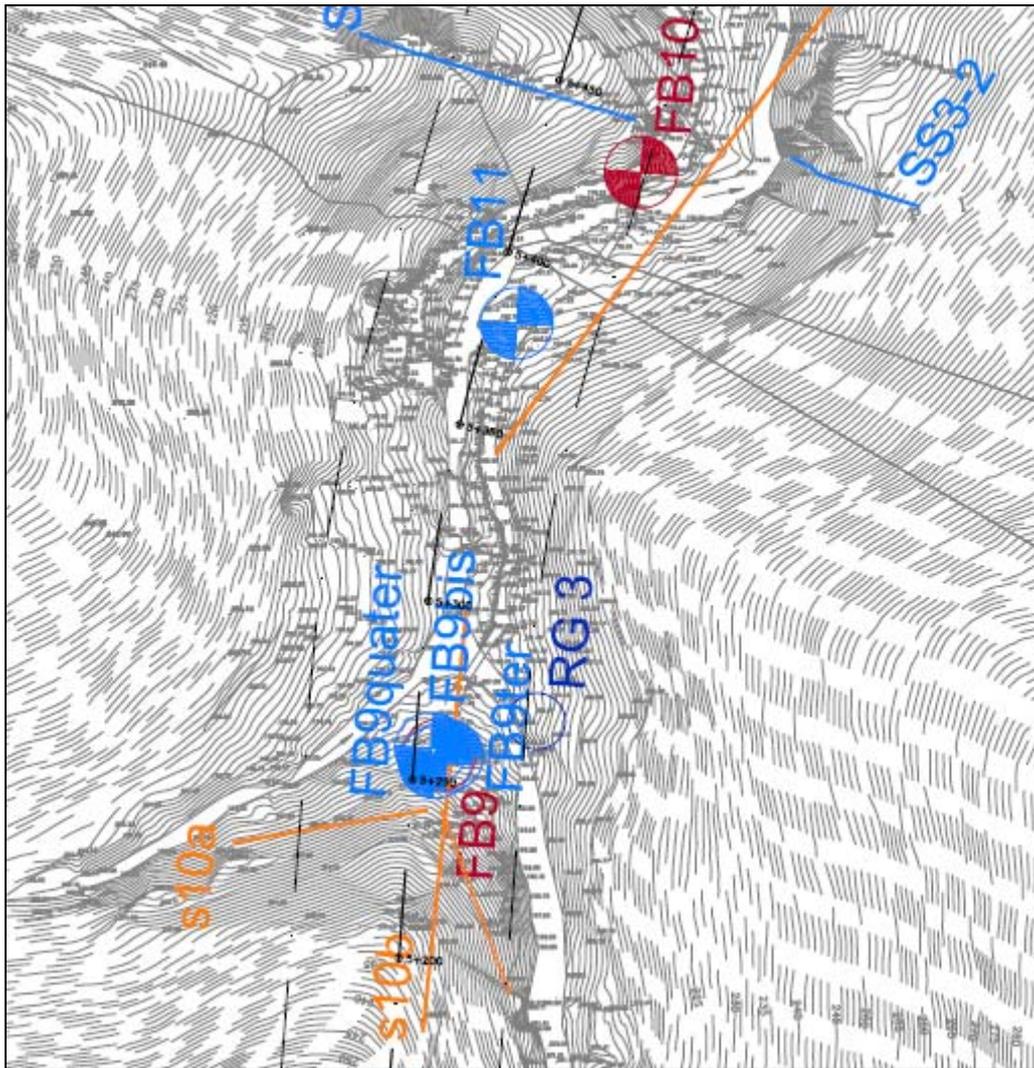


Figura 7.4 - Stazione di Fontanabuona e Rotatoria di Aveno - Planimetria di ubicazione delle indagini – Tavola 2

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:

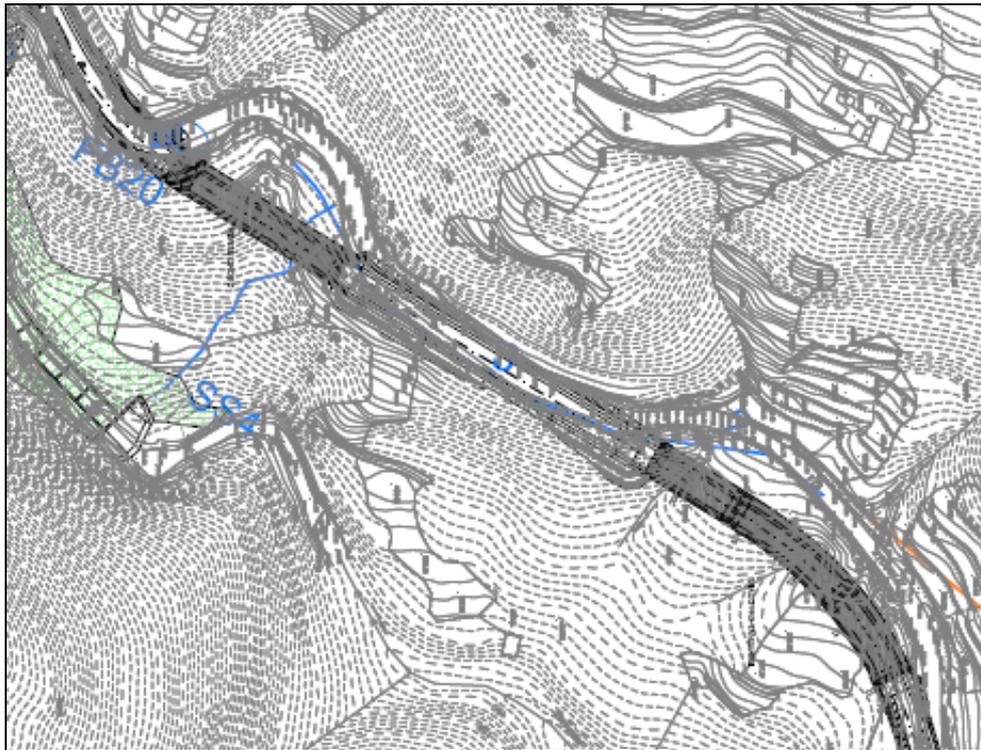


Figura 7.5 - Raccordo viabilità S.P.225 - Planimetria di ubicazione delle indagini - Tavola 1

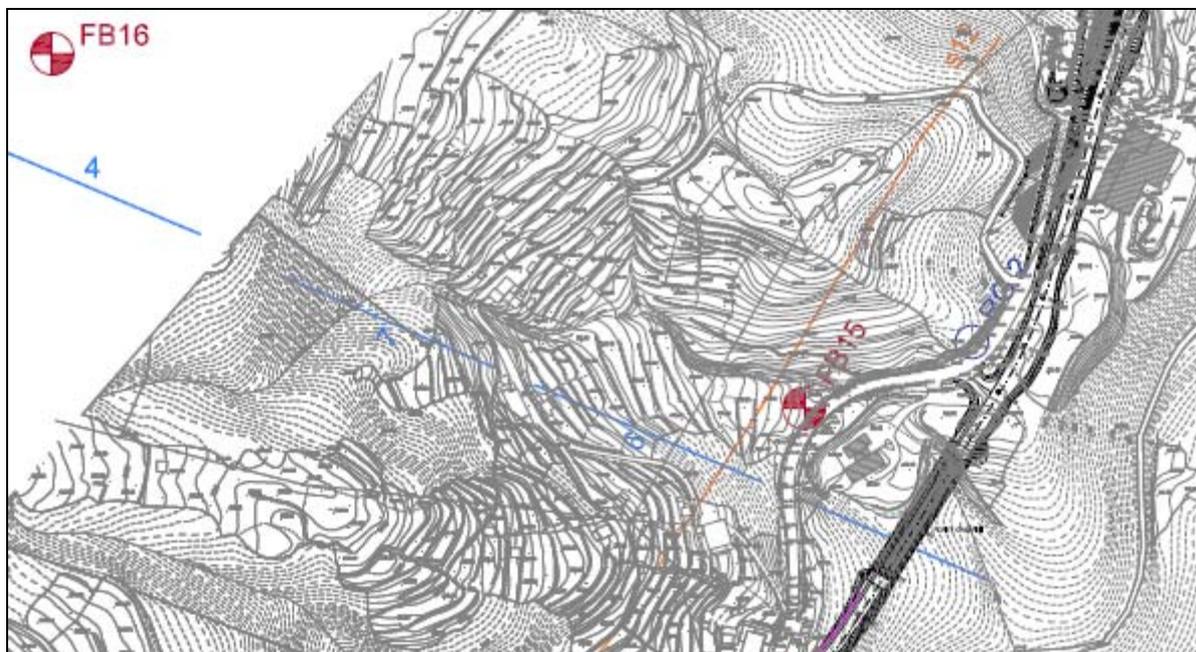


Figura 7.6 - Raccordo viabilità S.P.225 - Planimetria di ubicazione delle indagini - Tavola 2



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

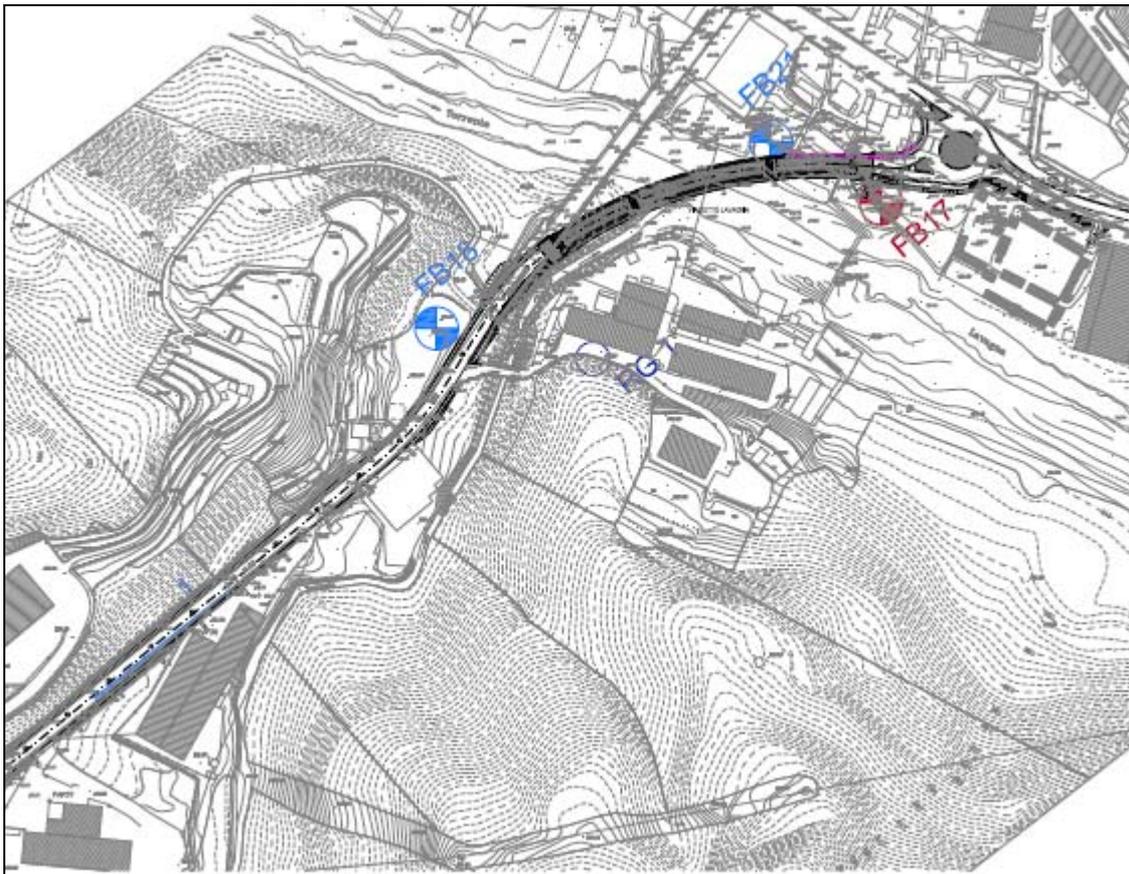


Figura 7.8 - Raccordo viabilità S.P.225 - Planimetria di ubicazione delle indagini - Tavola 4

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	9.70	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	25.10	APG		
	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**

$\sigma_{vo}'$  = pressione verticale efficace esistente in sito alla quota della prova SPT (kg/cm<sup>2</sup>)

$N_{SPT}$  = 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  $\varphi'$  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
$\sigma_2'$ = tensione principale efficace intermedia	
$\sigma_3'$ = 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**.

<b>k (m/sec)</b>	<b>Grado di permeabilità</b>	<b>Tipo di terreno</b>
$k > 1 \cdot 10^{-3}$	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**

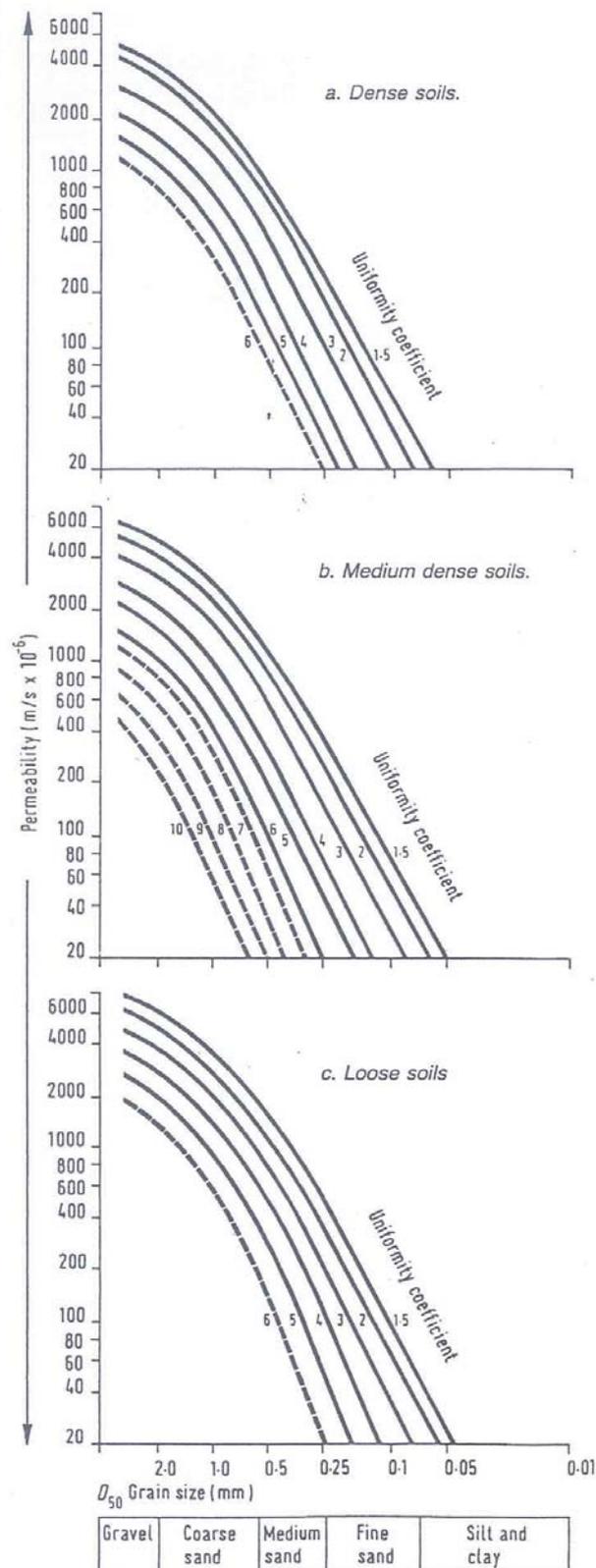


Figura 8.1 - Coefficiente di permeabilità (k) in funzione del coefficiente di uniformità U (U=D<sub>60</sub>/D<sub>10</sub>) e del D<sub>50</sub> (Sommerville, 1986)

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 $\sigma_c$ (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)**

<b>H</b>	<b>I5</b>
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)**

<b>Descrizione</b>	<b>I6</b>
Molto rugose	6
Rugose	5
Poco rugose	3
Ondulate	1
Lisce	0

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

<b>Descrizione – spessore</b>	<b>I7</b>
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)**

<b>Descrizione</b>	<b>I8</b>
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

$\sigma_1'$  = tensione principale efficace maggiore

$\sigma_3'$  = tensione principale efficace minore

$\sigma_c$  = 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**:

<b>Rocce</b>	<b><math>m_i</math> (-)</b>
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.

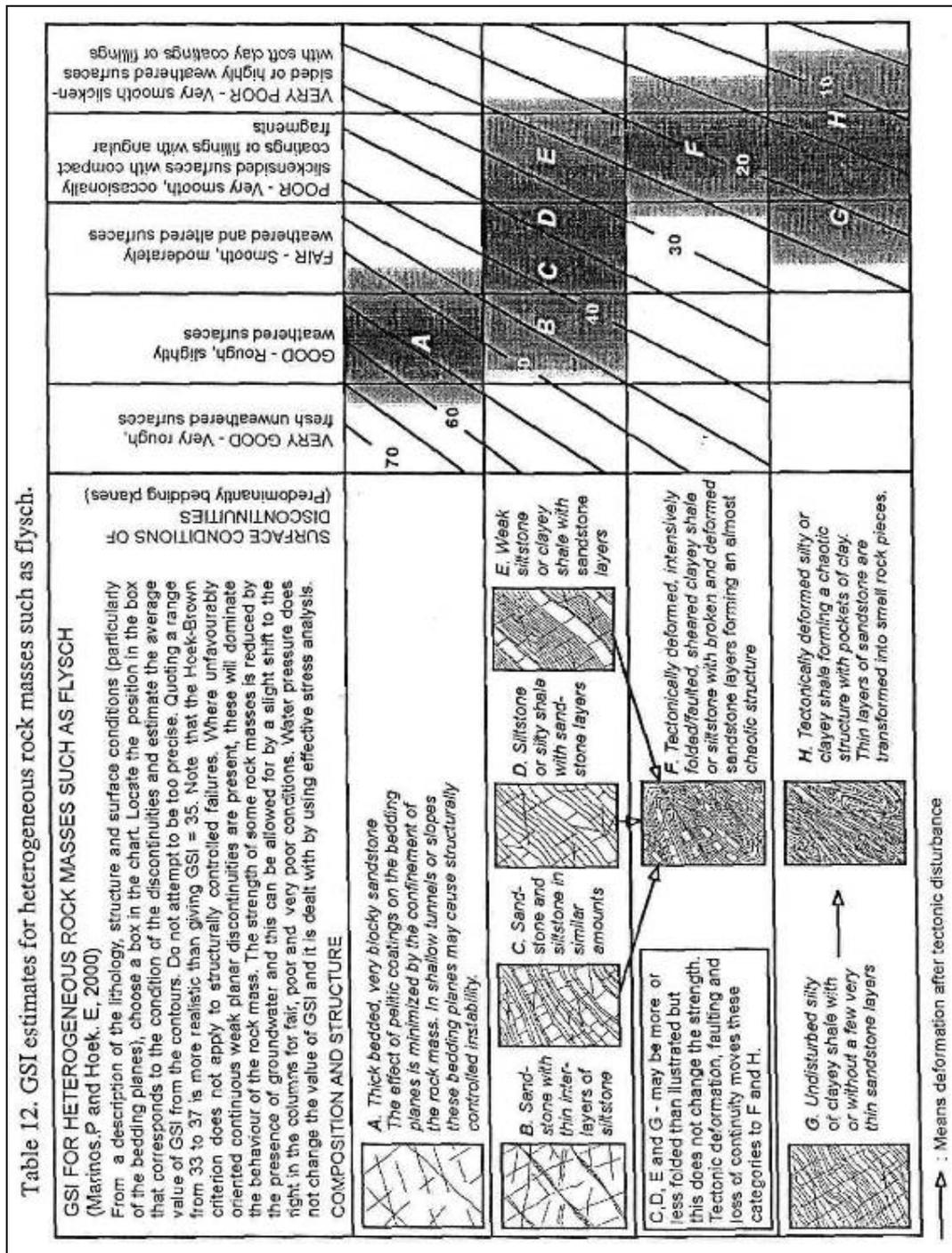


Figura 9.1 - Classificazione di ammassi rocciosi flyschoidi secondo Marinos & Hoek (2002)

Alla resistenza alla compressione semplice  $\sigma_c$  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 $\sigma_c$ 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  $\sigma_c$  e di  $m_i$  (Hoek et al.,1998; Marinos & Hoek, 2000)**

5. In accordo a Sjoberg (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 pregressi 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  $\tau$  e di tensioni normali alla superficie di rottura  $\sigma_n$  venga rappresentato con un criterio di rottura del tipo Mohr-Coulomb, questo verrà interrotto per valori di  $\sigma_n$  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:

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

$\nu'$  = rapporto di Poisson del terreno = 0,15 ÷ 0,20

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

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*

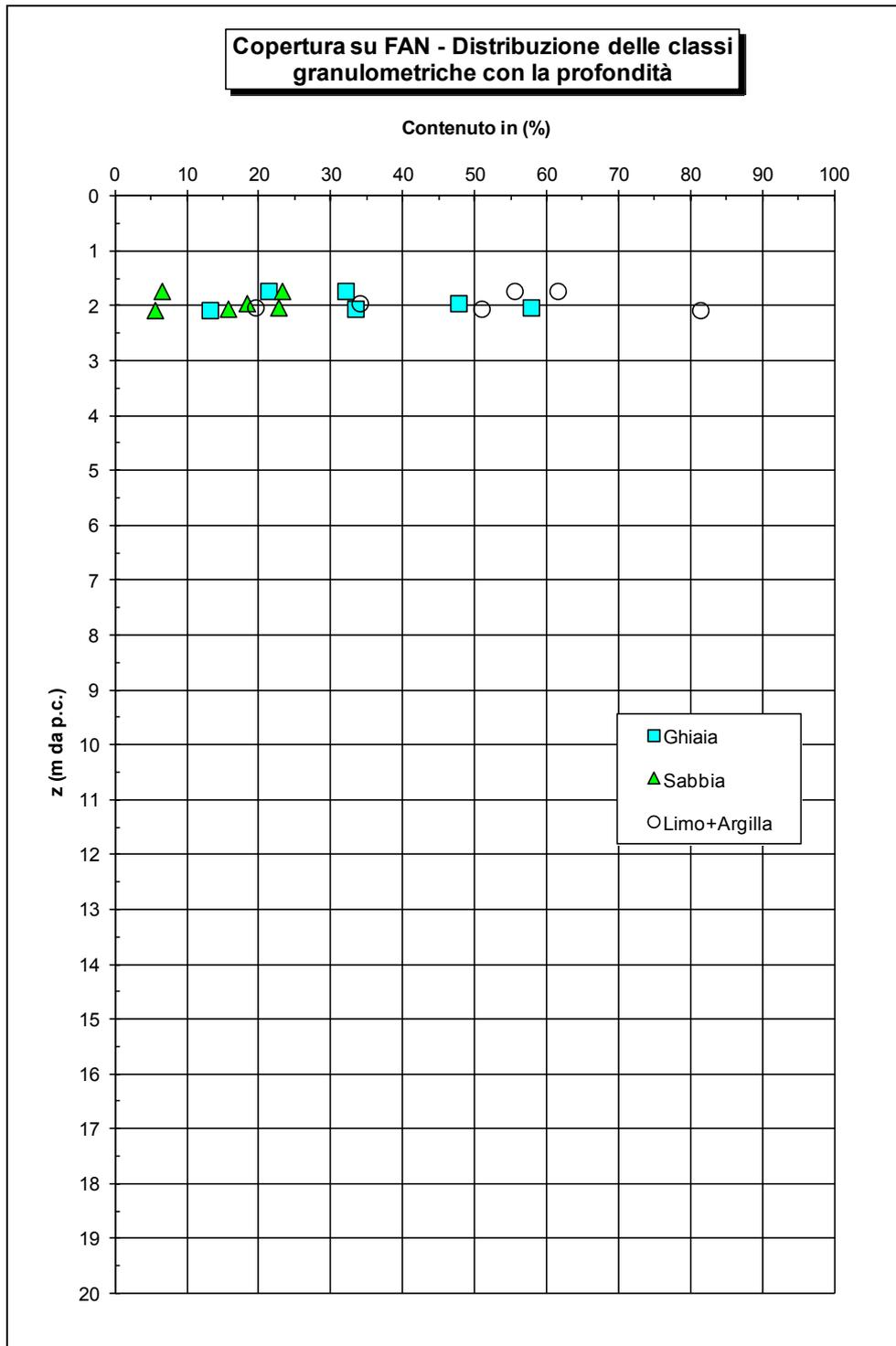
LL = 24÷50 %

LP = 13÷30 %

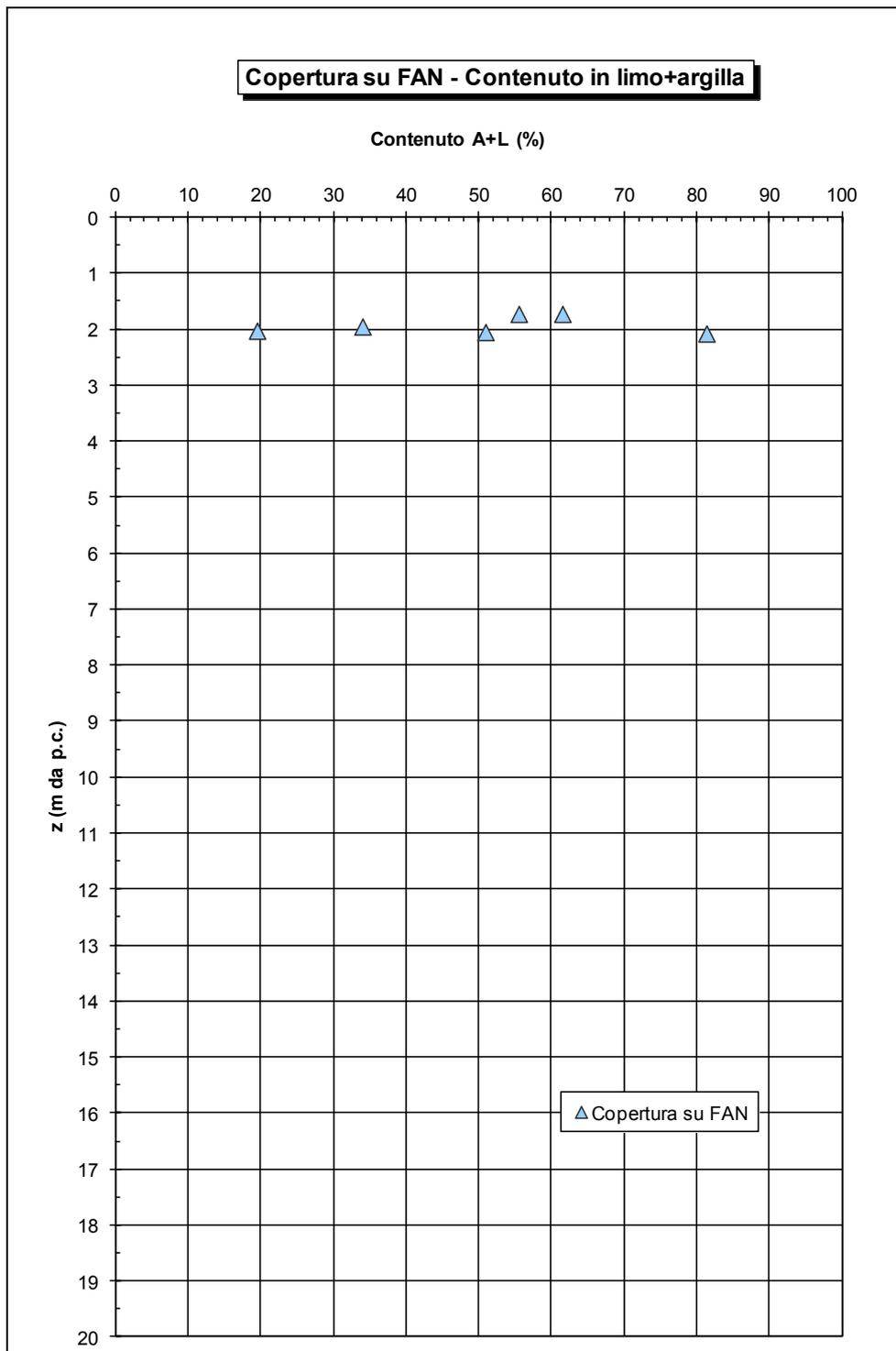
IP = 12÷21 %

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

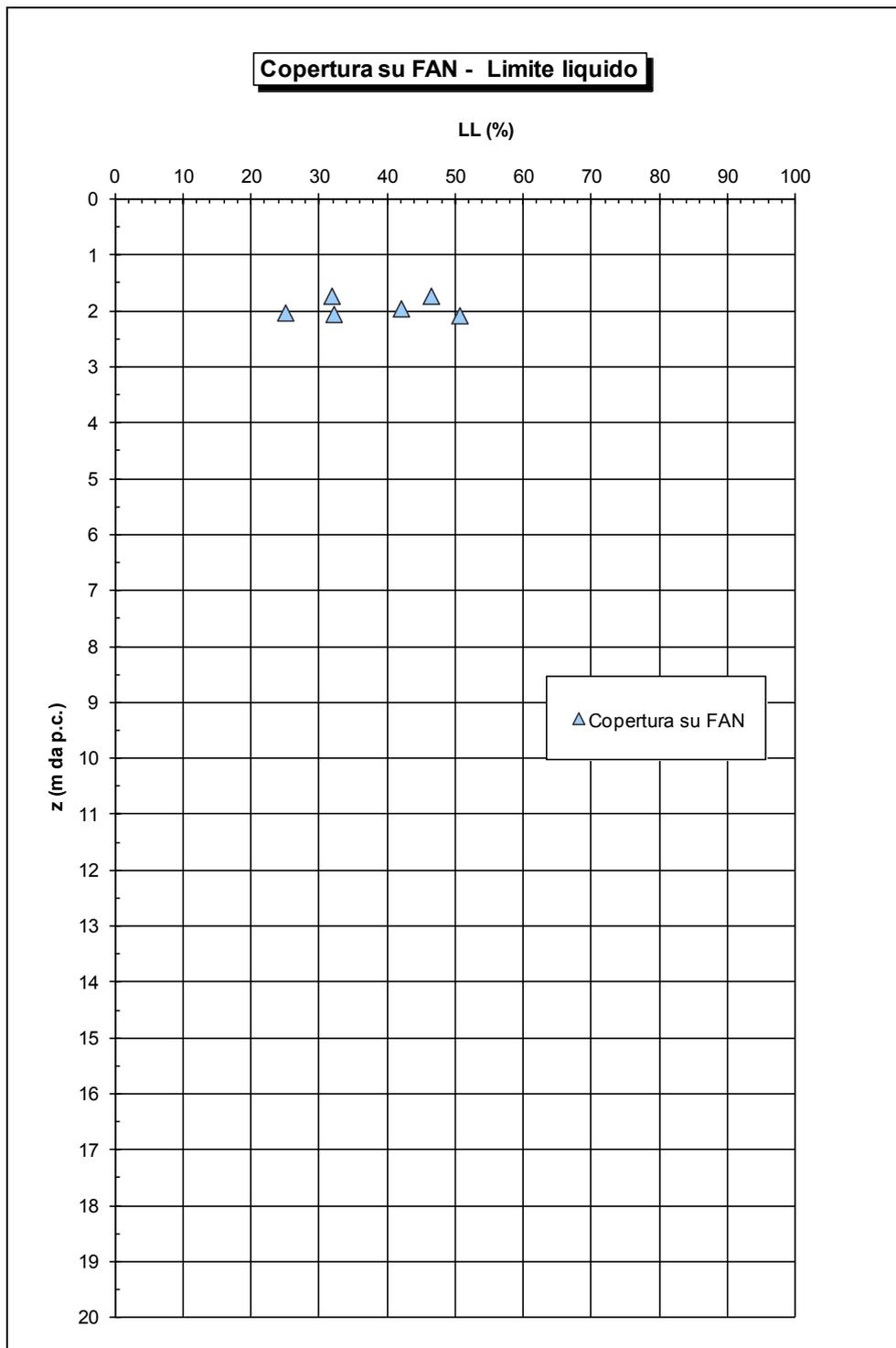
Nelle seguenti Figure si riportano i risultati delle prove eseguite diagrammati in funzione della profondità:



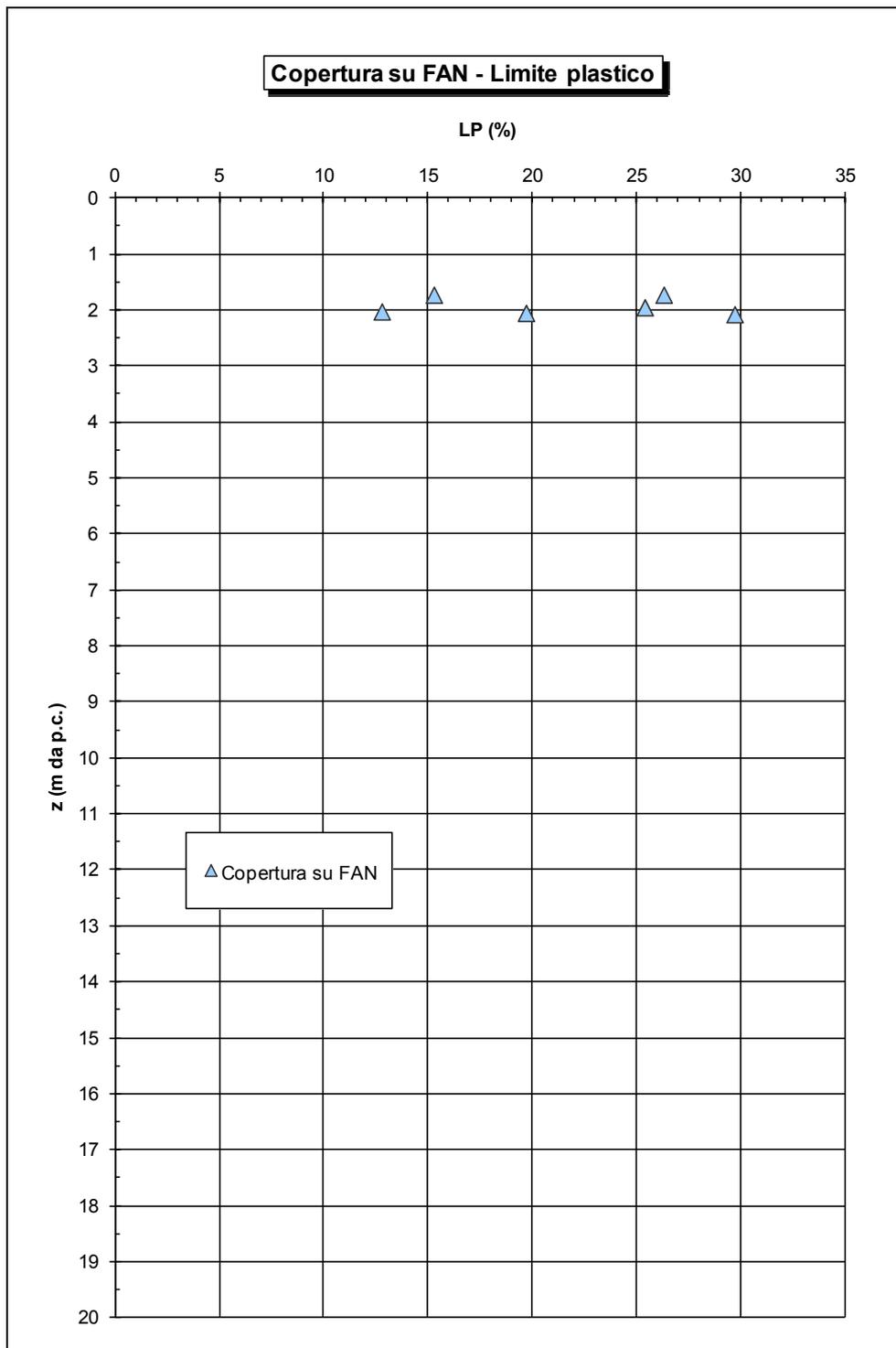
**Figura 10.1 - Copertura su FAN - Classi granulometriche**



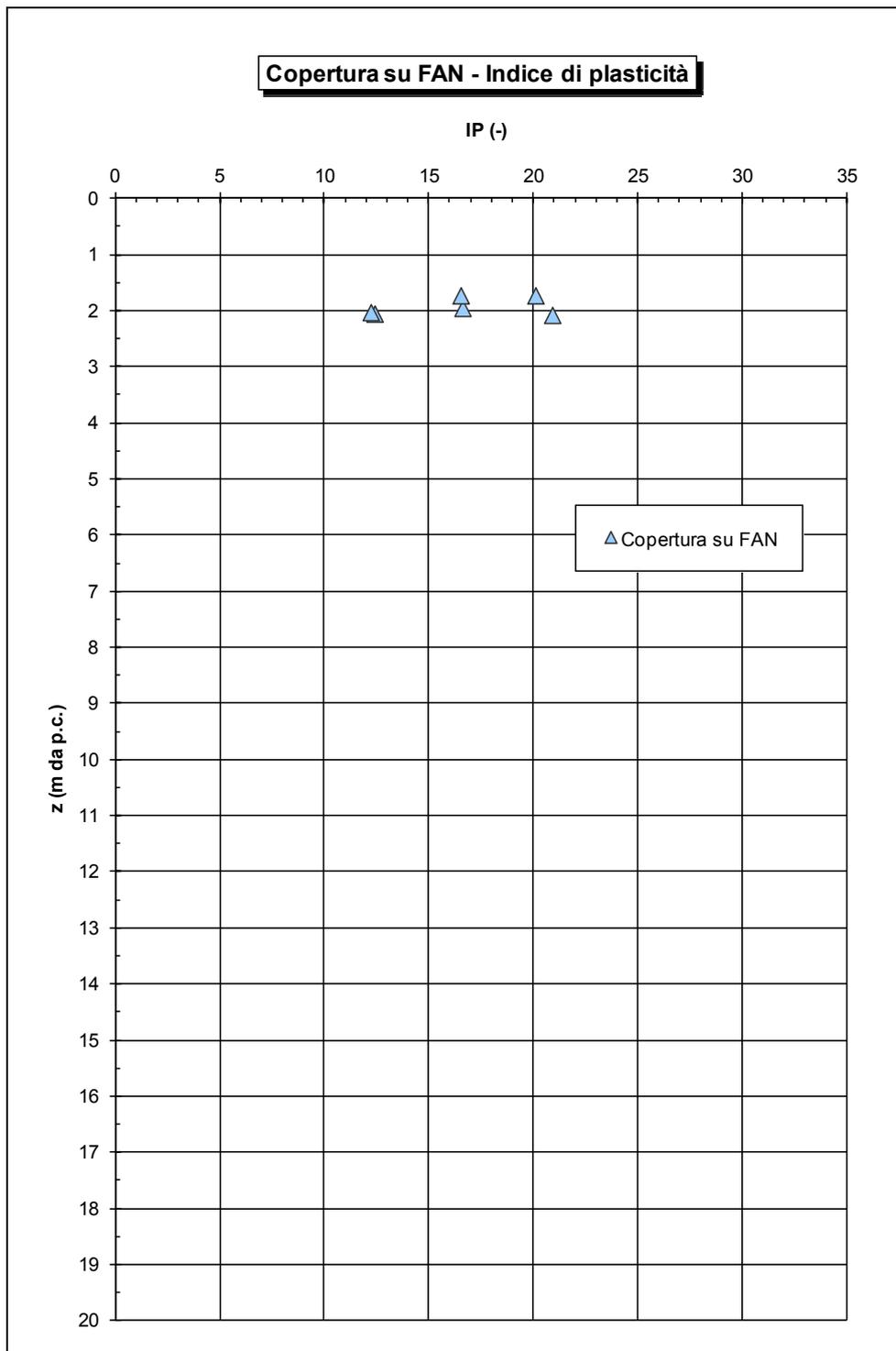
**Figura 10.2 - Copertura su FAN - Contenuto A+L**



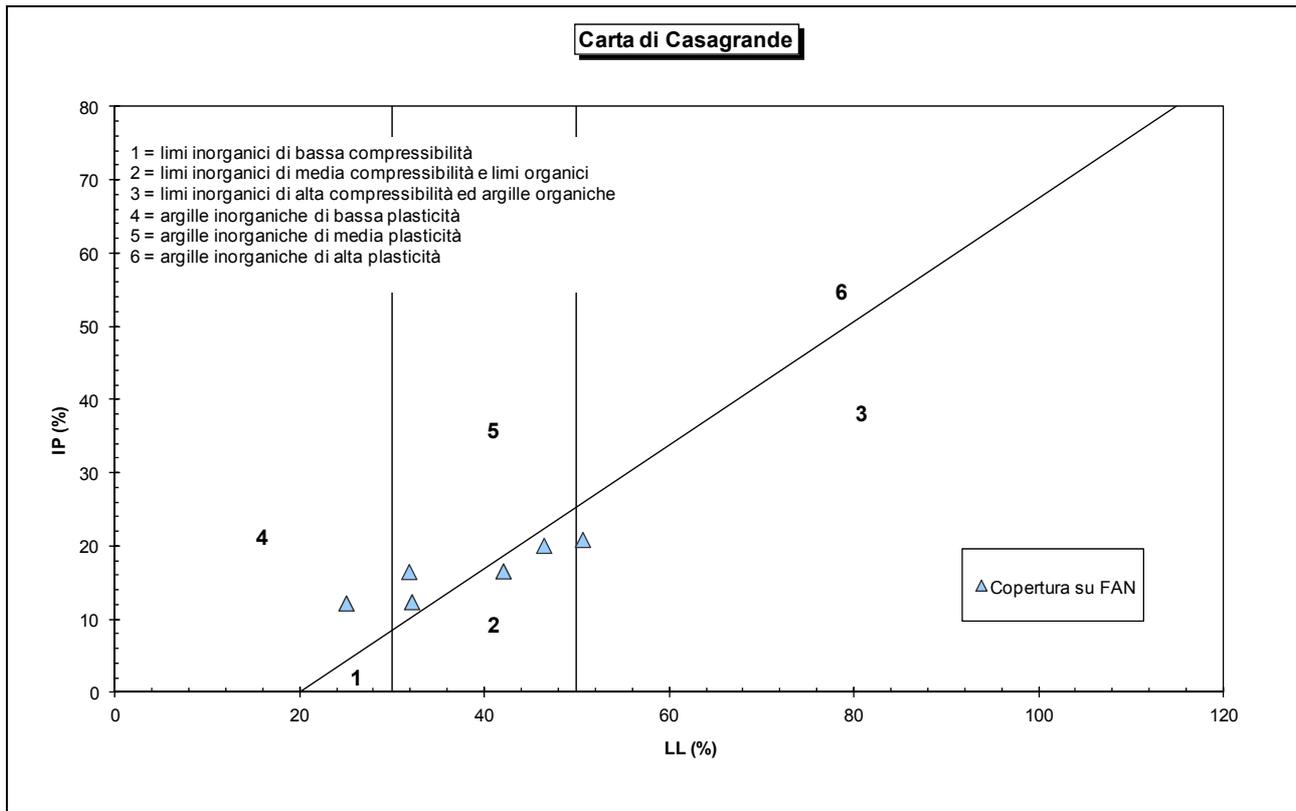
**Figura 10.3 - Copertura su FAN - Limite liquido**



**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:

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

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

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

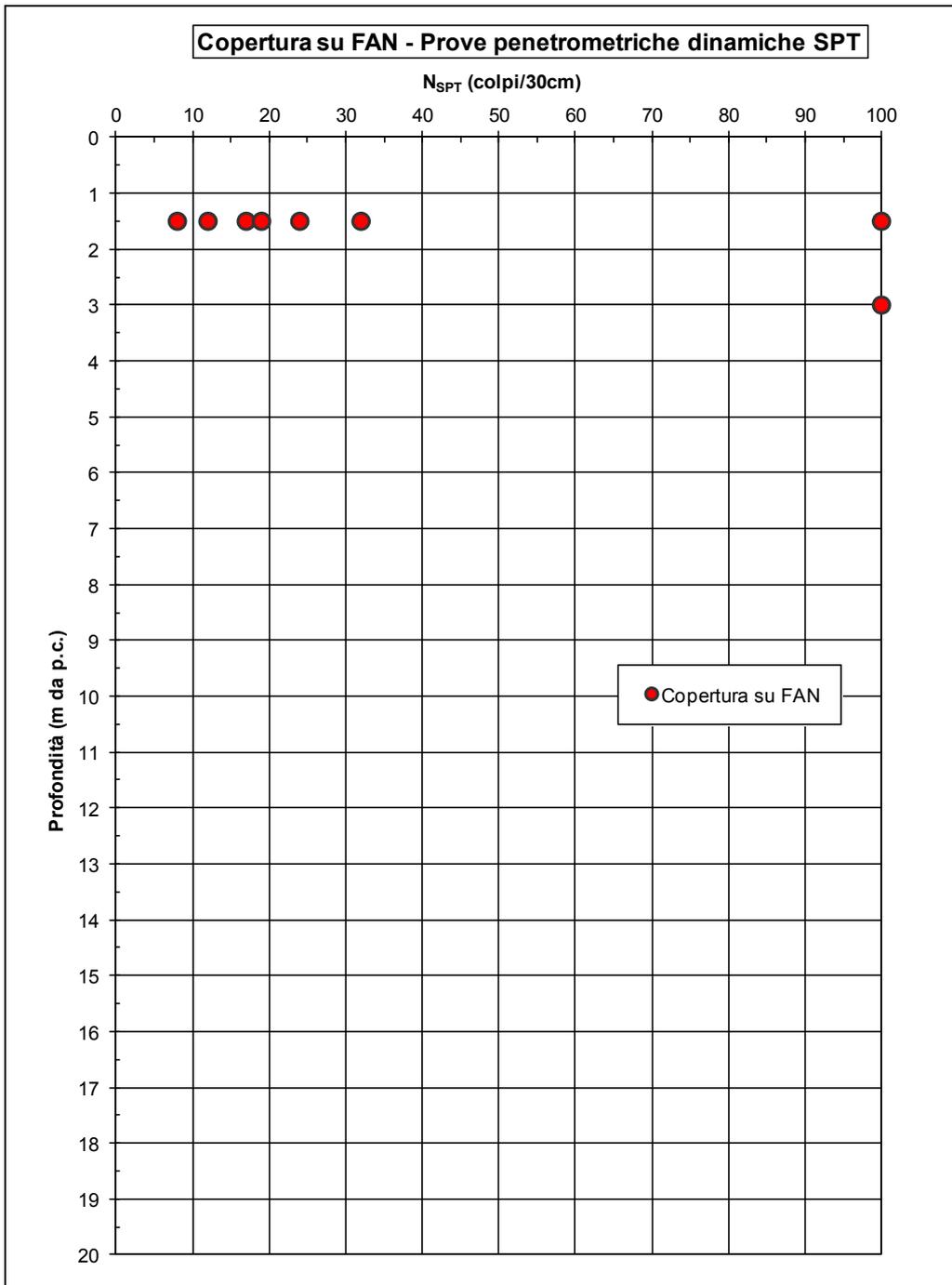
$$E_o = 50 \div 100 \text{ MPa}$$

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

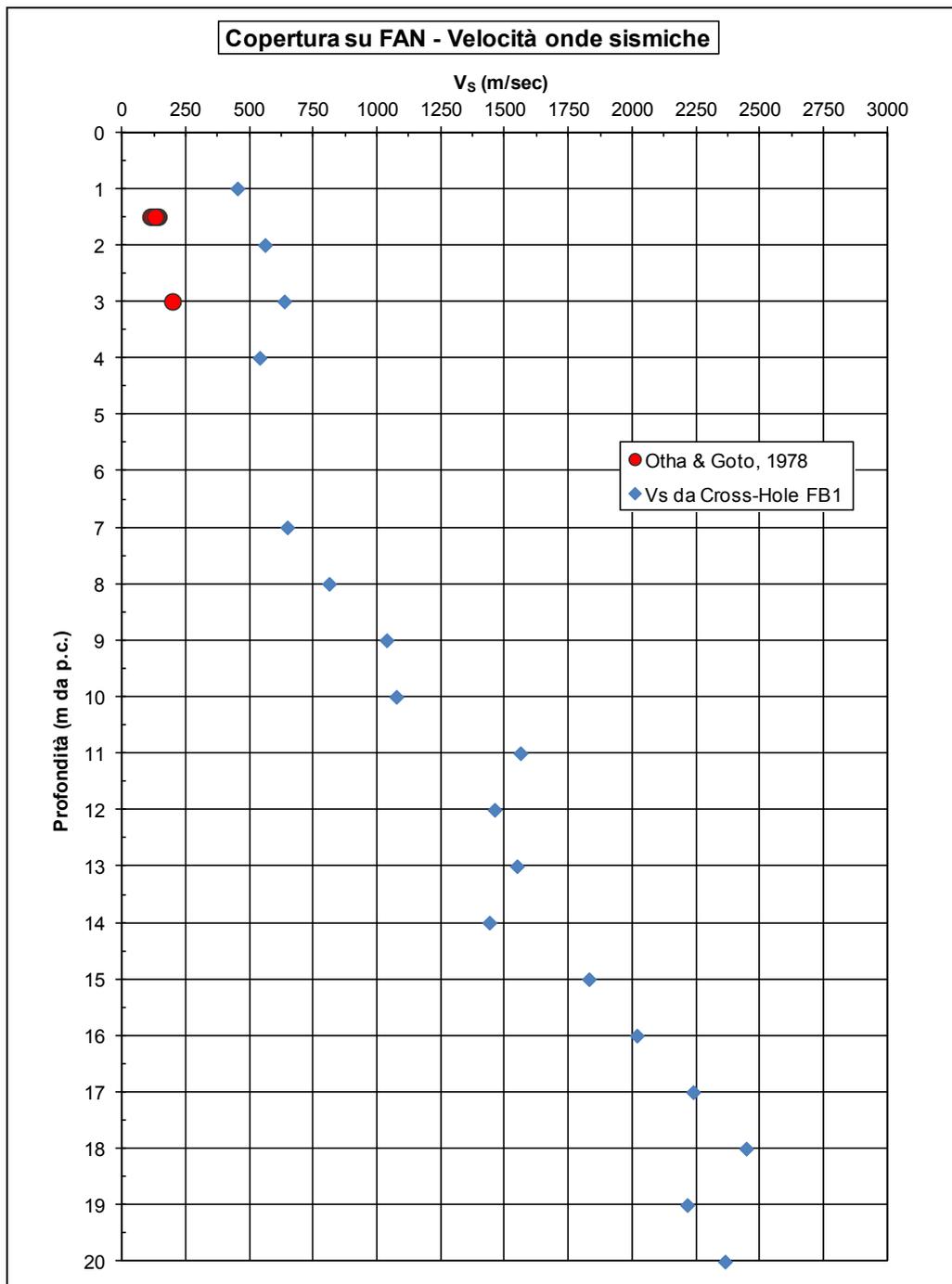
$$\phi' = 34^\circ$$

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

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**

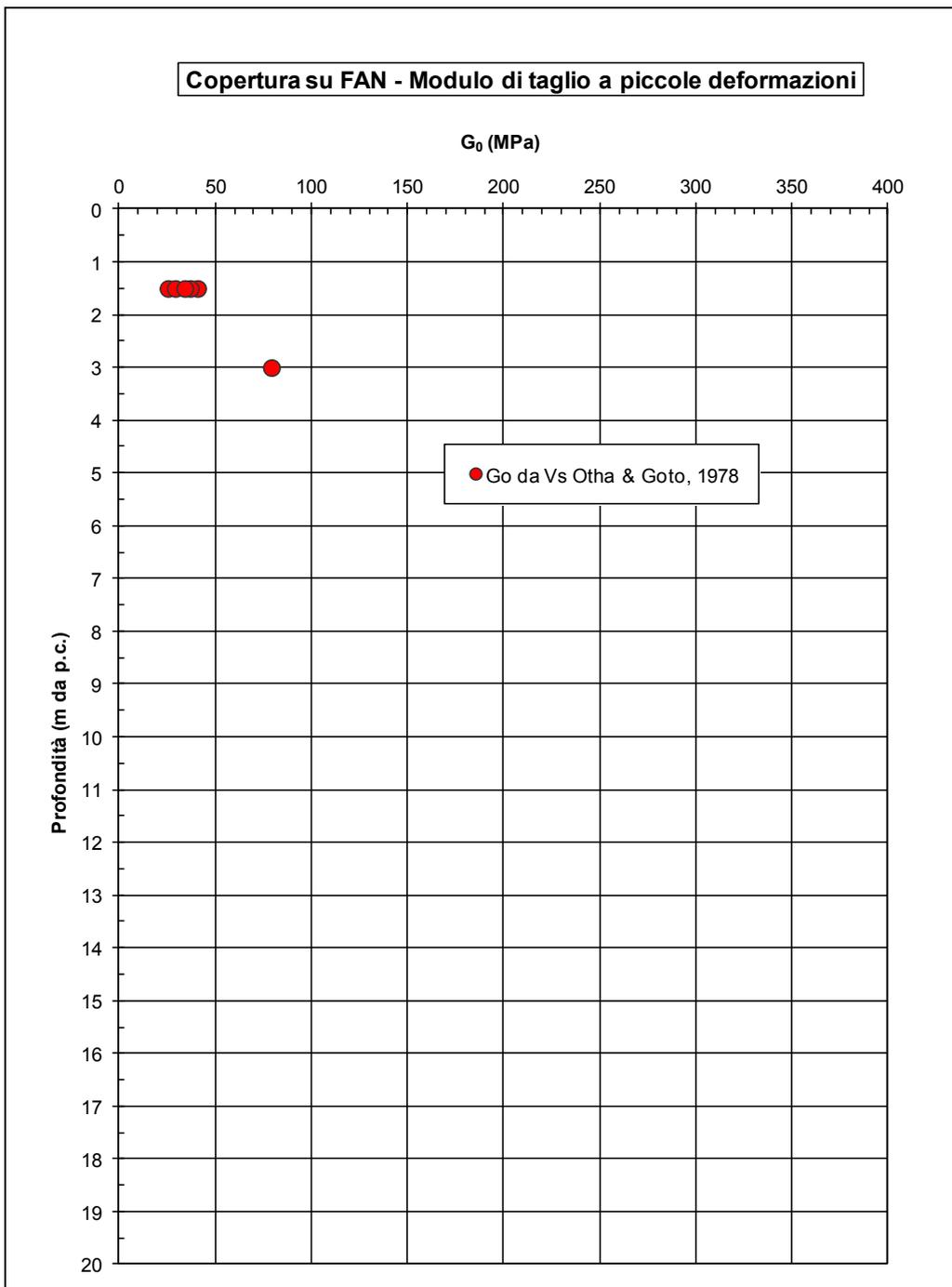
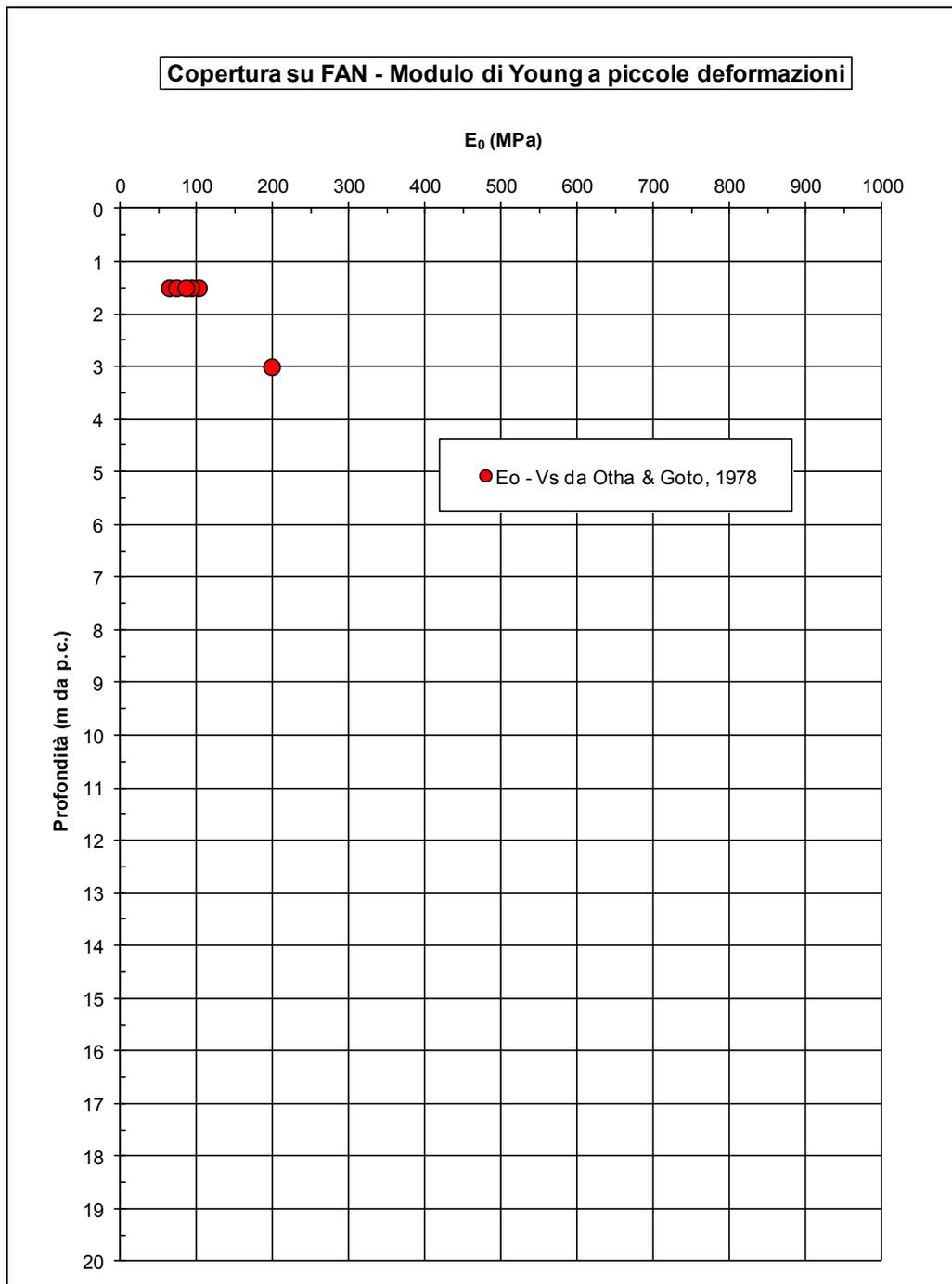
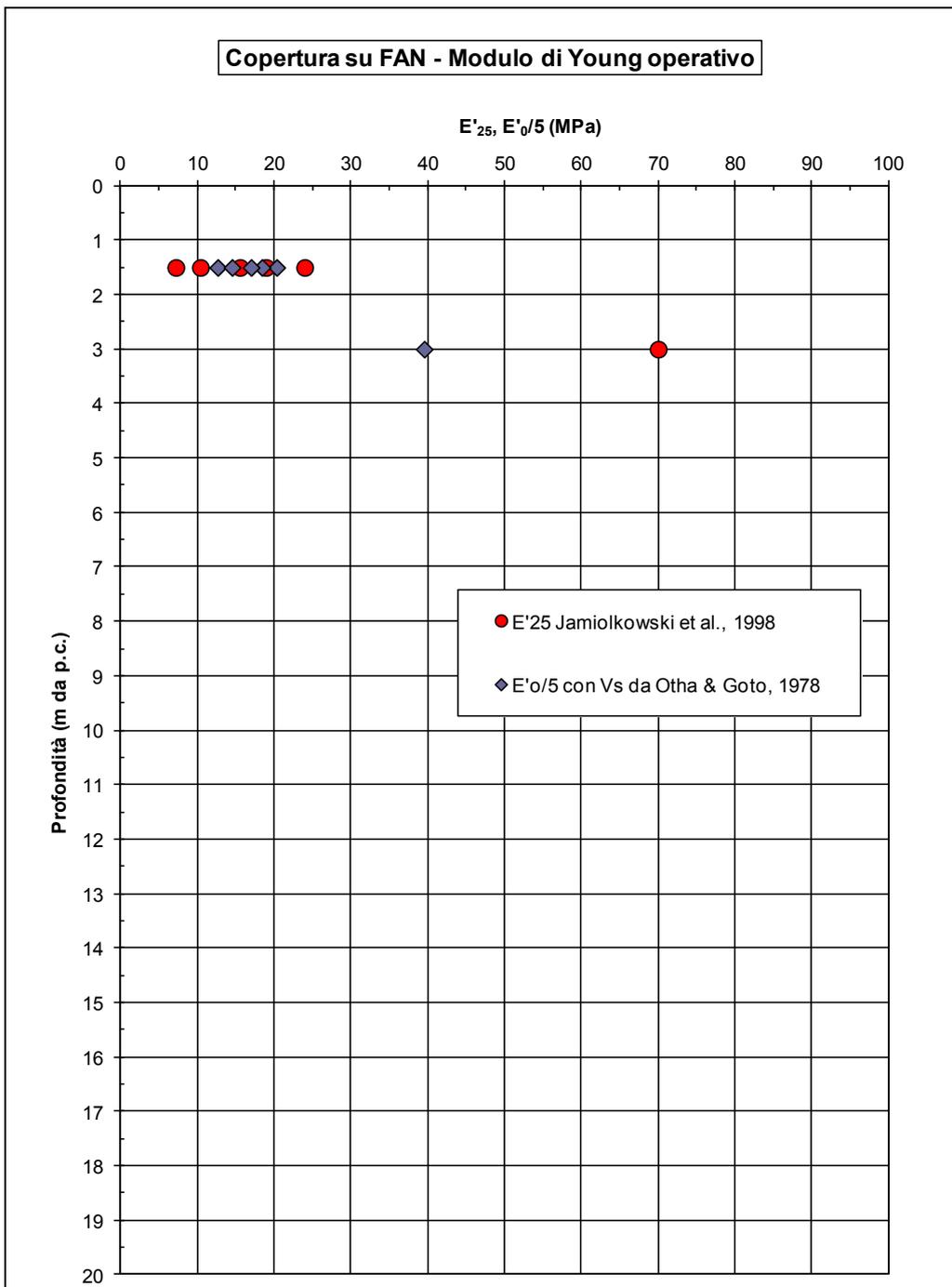


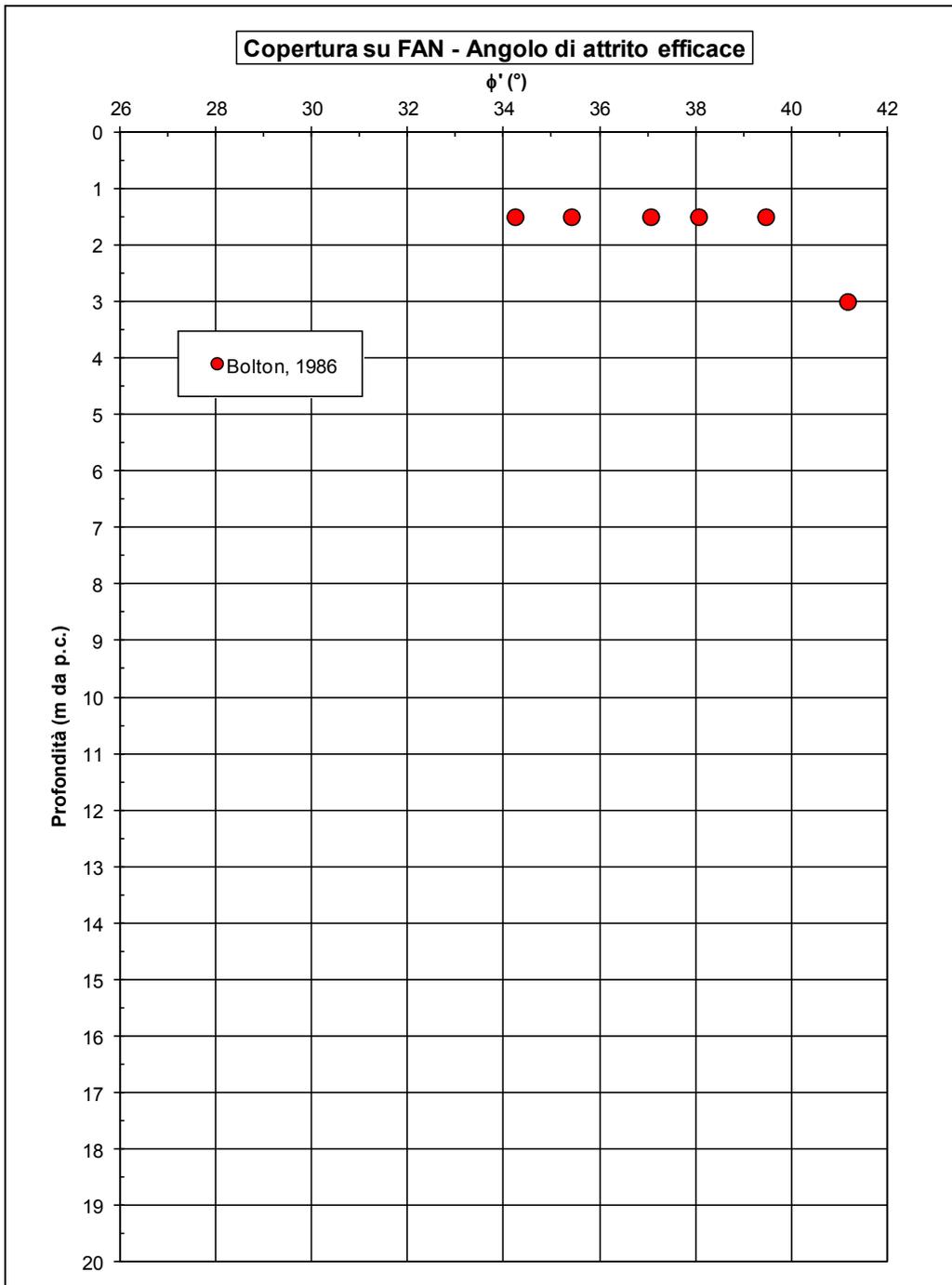
Figura 10.9 - Copertura su FAN - Modulo di taglio a piccole deformazioni



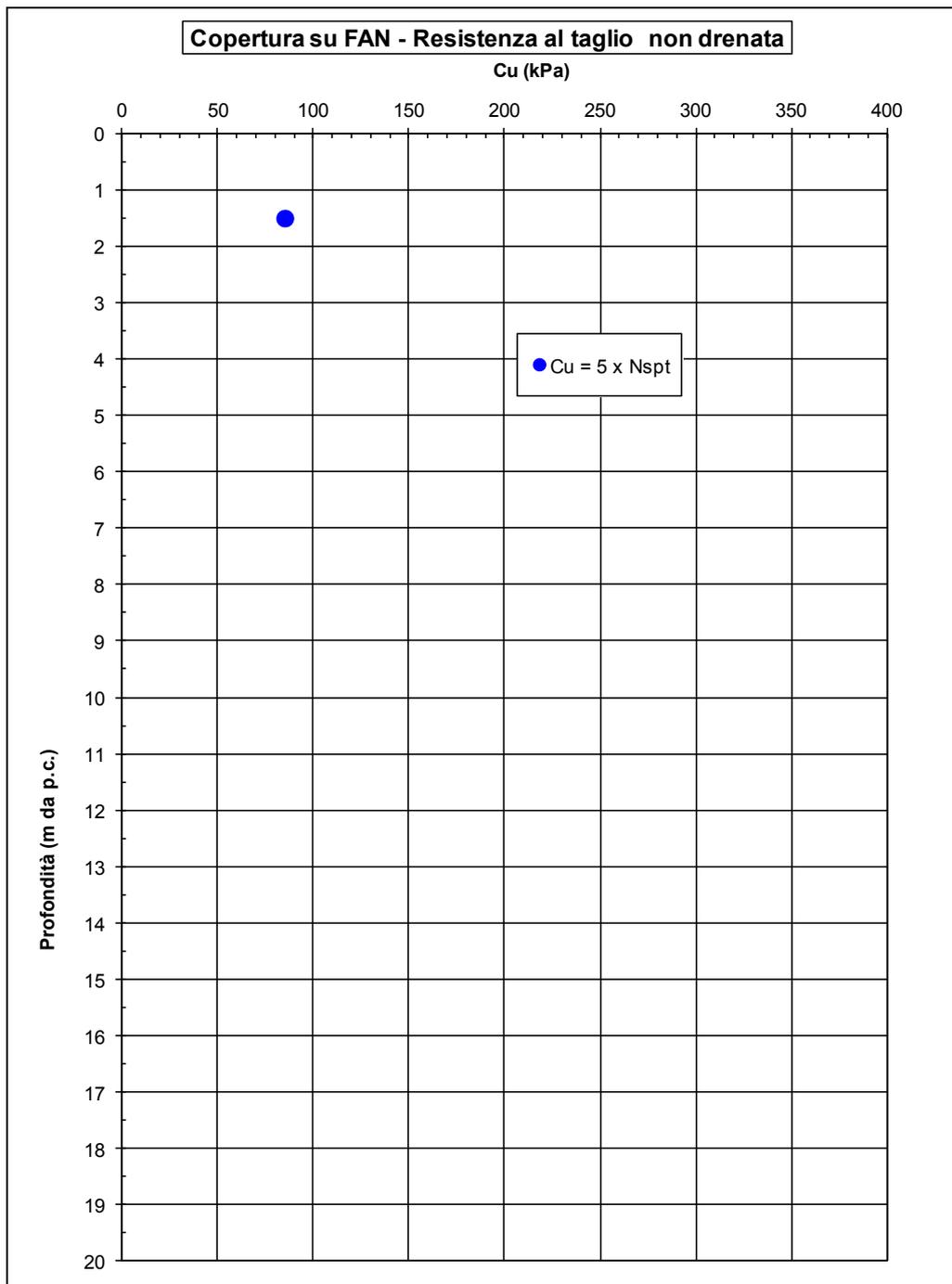
**Figura 10.10 - Copertura su FAN - Modulo di Young a piccole deformazioni**



**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  $\gamma_t$  pari a  $20$  kN/m<sup>3</sup>):

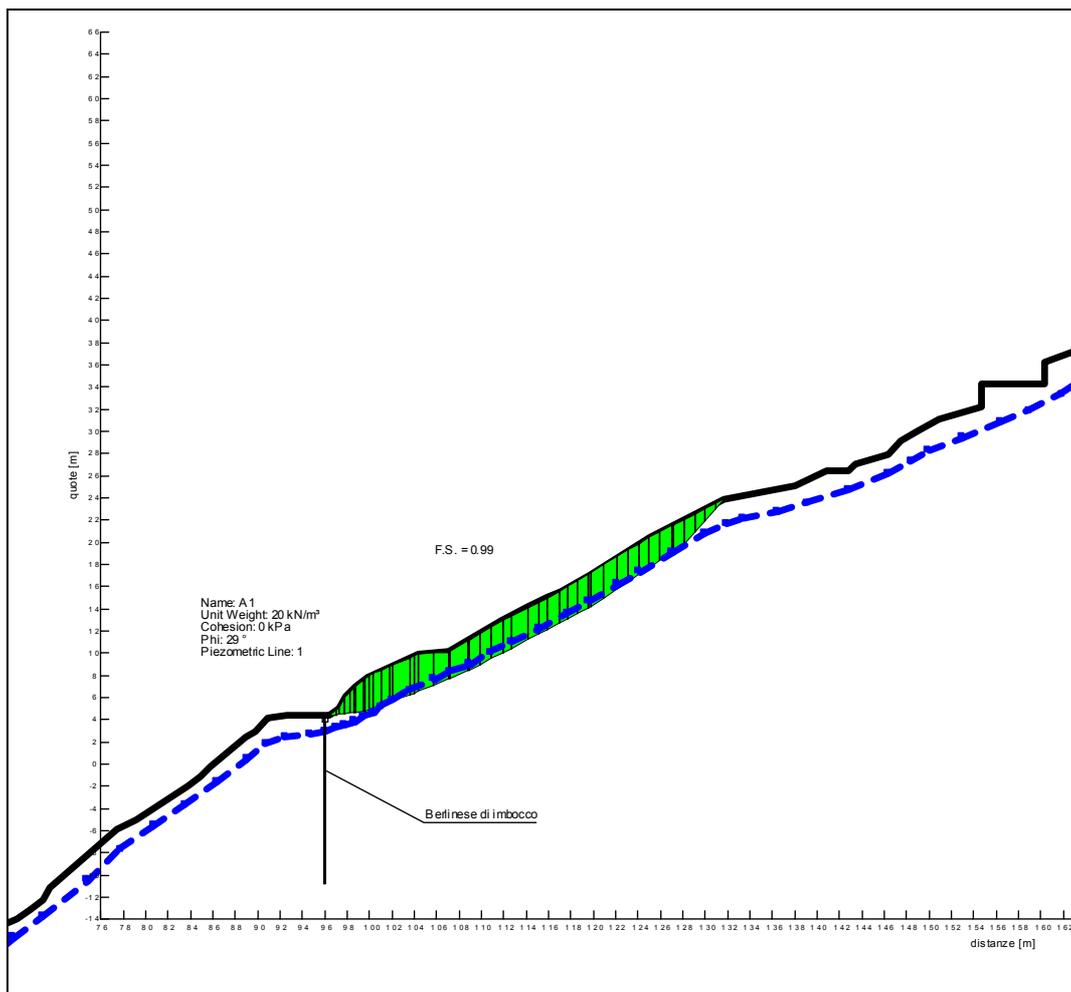


Figura 10.14 - Copertura su FAN - Risultati back-analysis

### 10.2.6 Tabella riepilogativa dei parametri caratteristici

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

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	~19.0 ÷ 20.0
$N_{SPT}$ (colpi/30 cm)	10÷30 colpi/piede
$D_r$ (%)	-
$\varphi'$ (°)	28 ÷ 30 materiale limoso/argilloso (*) 34 materiale sabbioso
$c'$ (kPa)	0.0
$c_u$ (kPa)	80.0
<b>GSC</b>	~ 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:**

$\gamma_t$  = 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;

$\varphi'$  = 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:

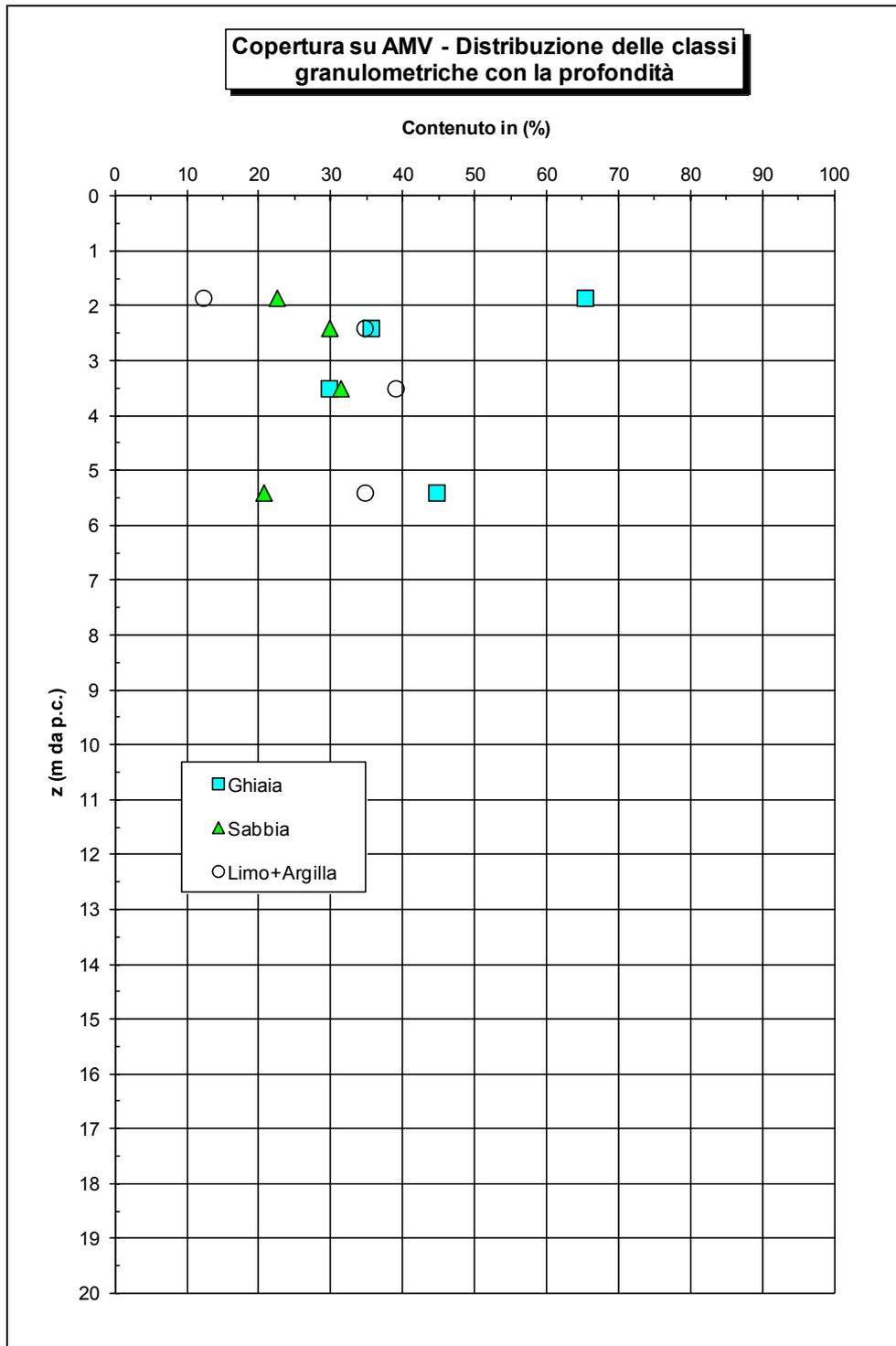
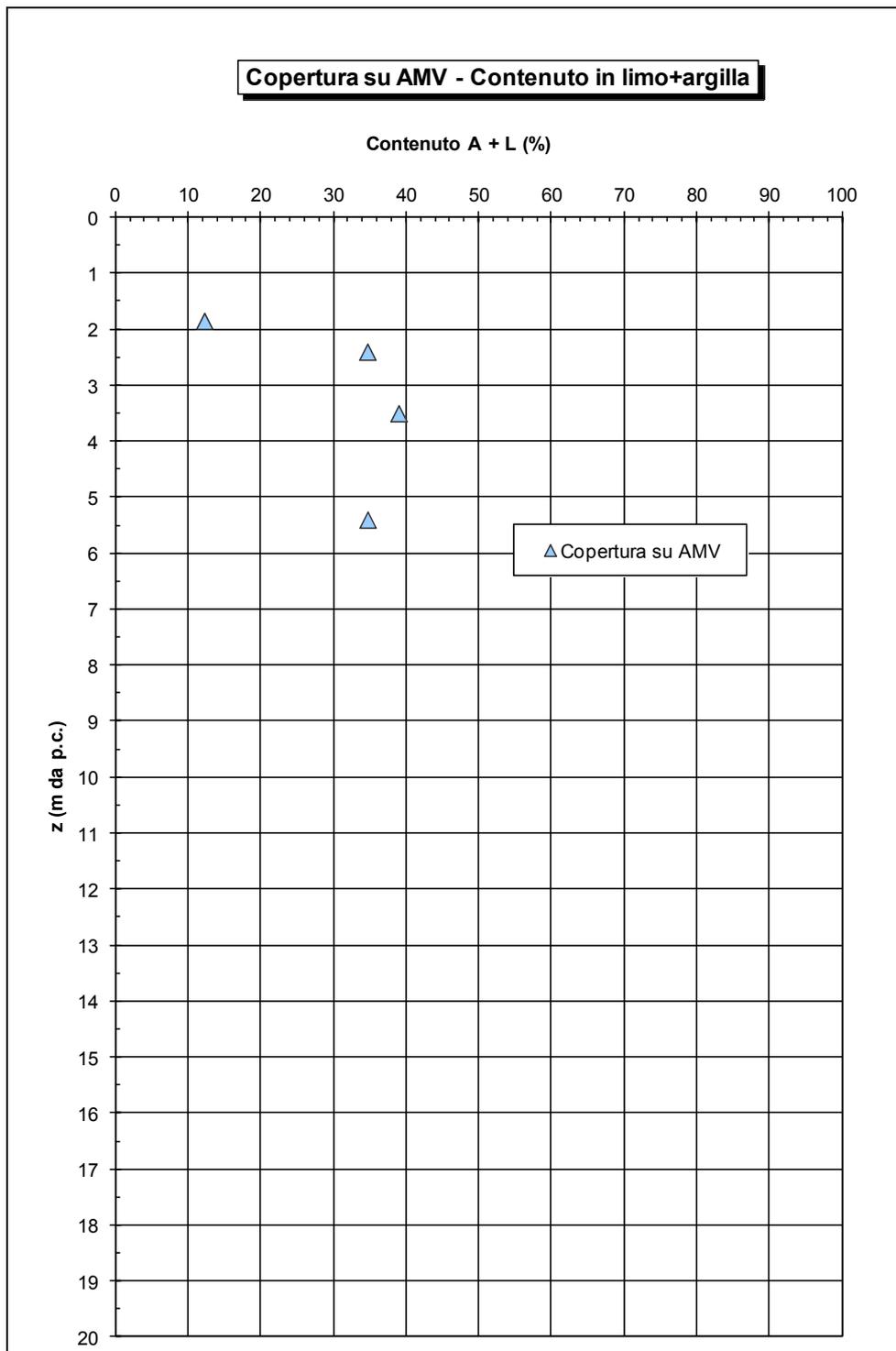
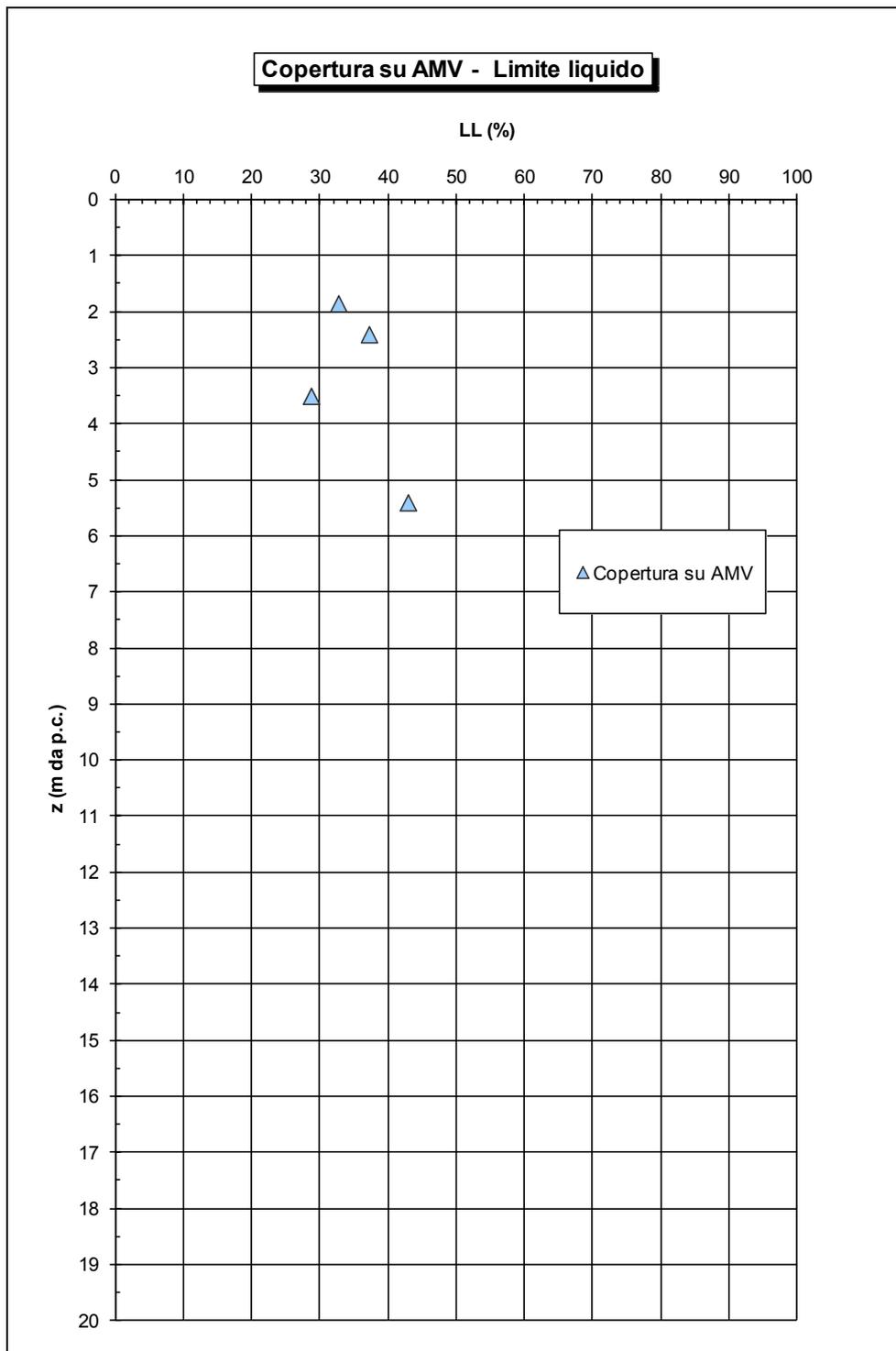


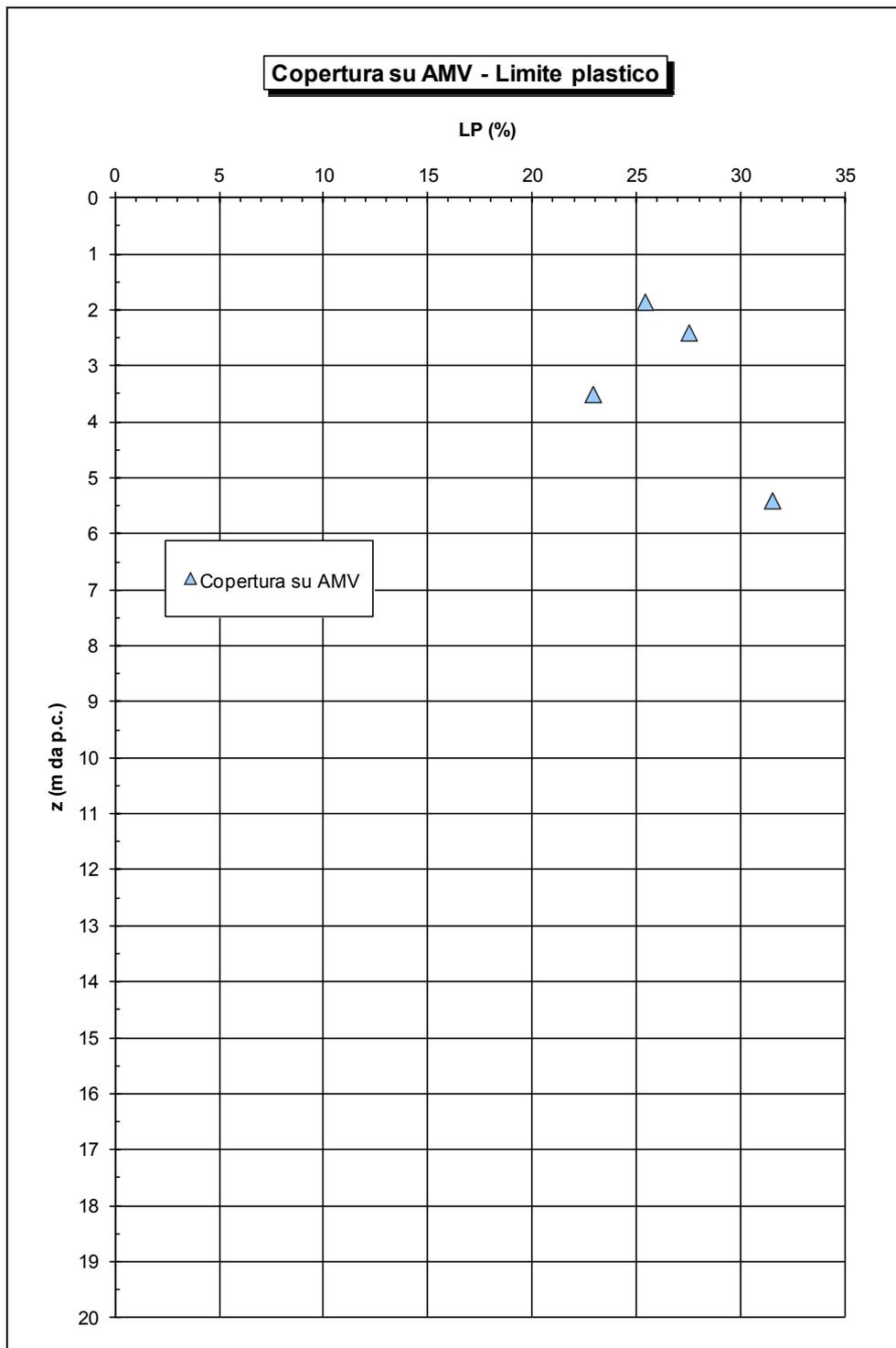
Figura 10.15 - Copertura su AMV - Classi granulometriche



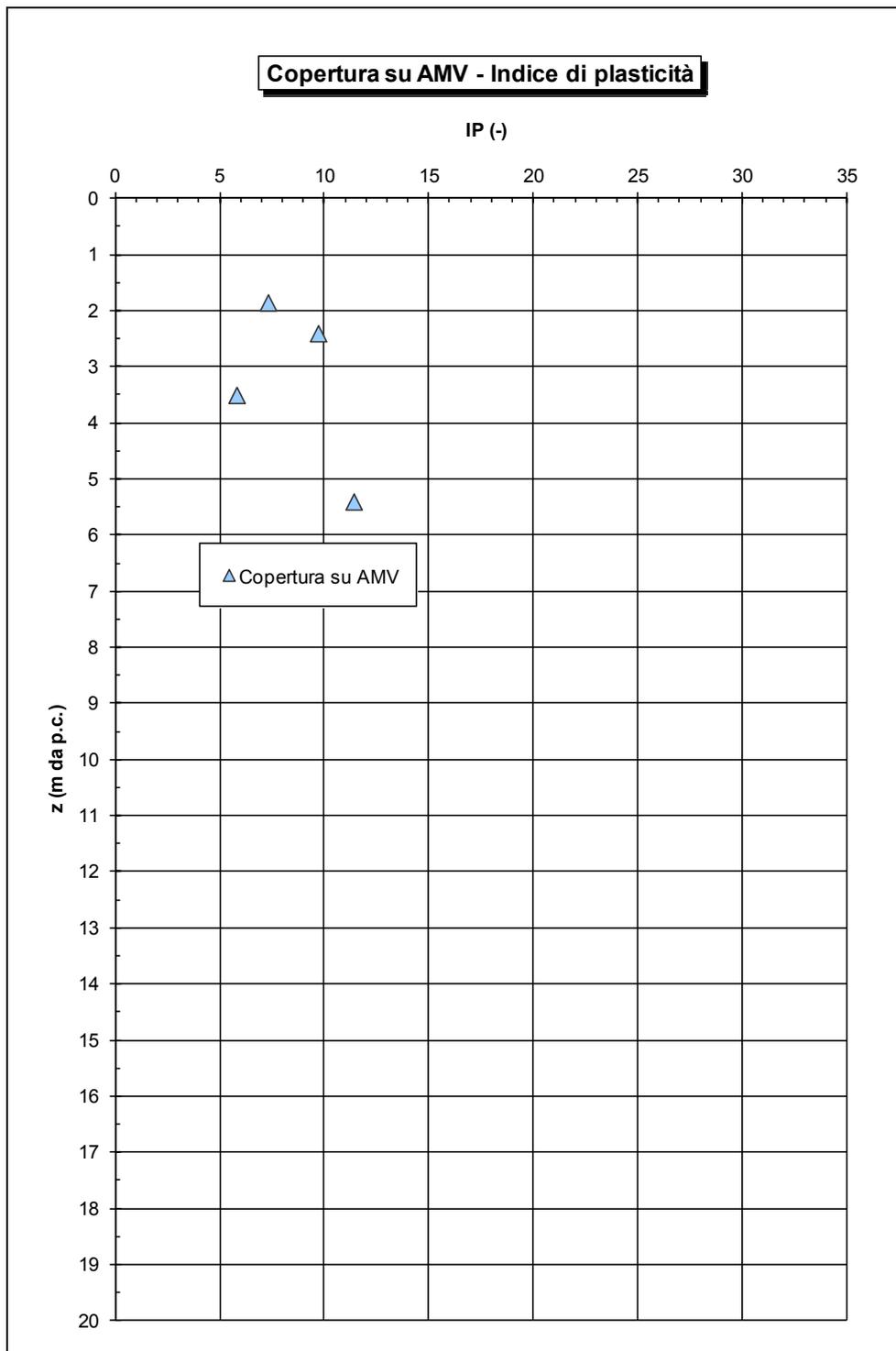
**Figura 10.16 - Copertura su AMV - Contenuto A+L**



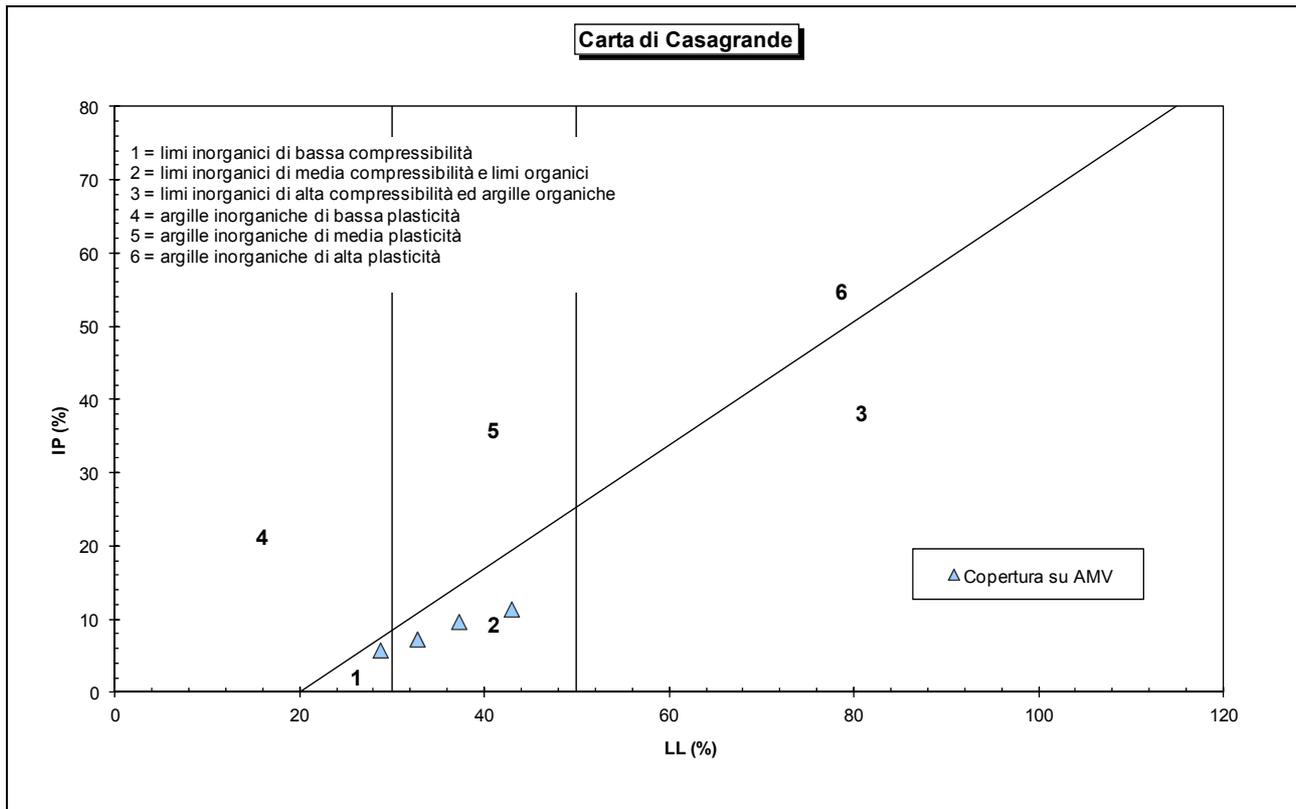
**Figura 10.17 - Copertura su AMV - Limite liquido**



**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:

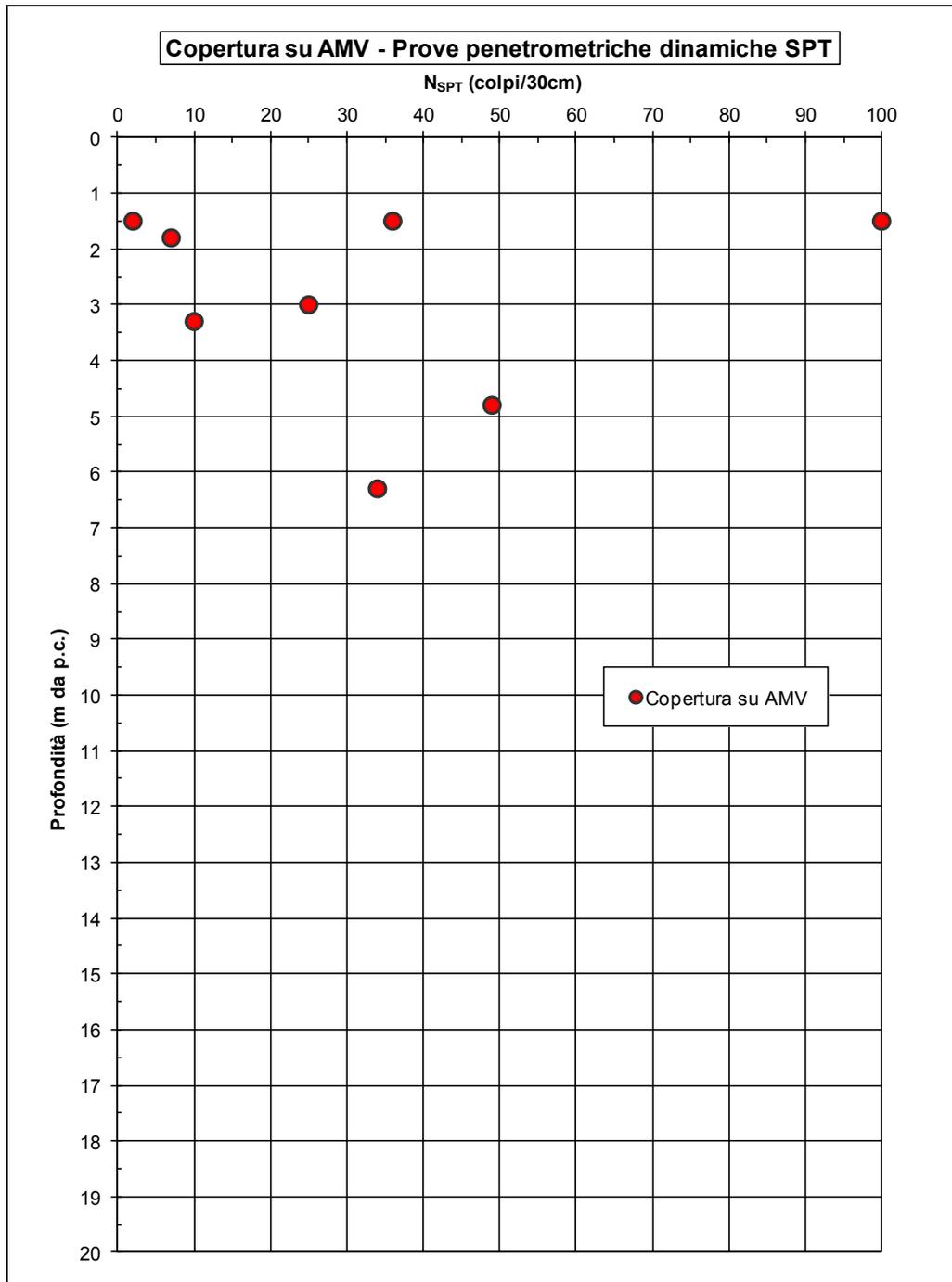


Figura 10.21 - Copertura su AMV - Valori di N<sub>SPT</sub>

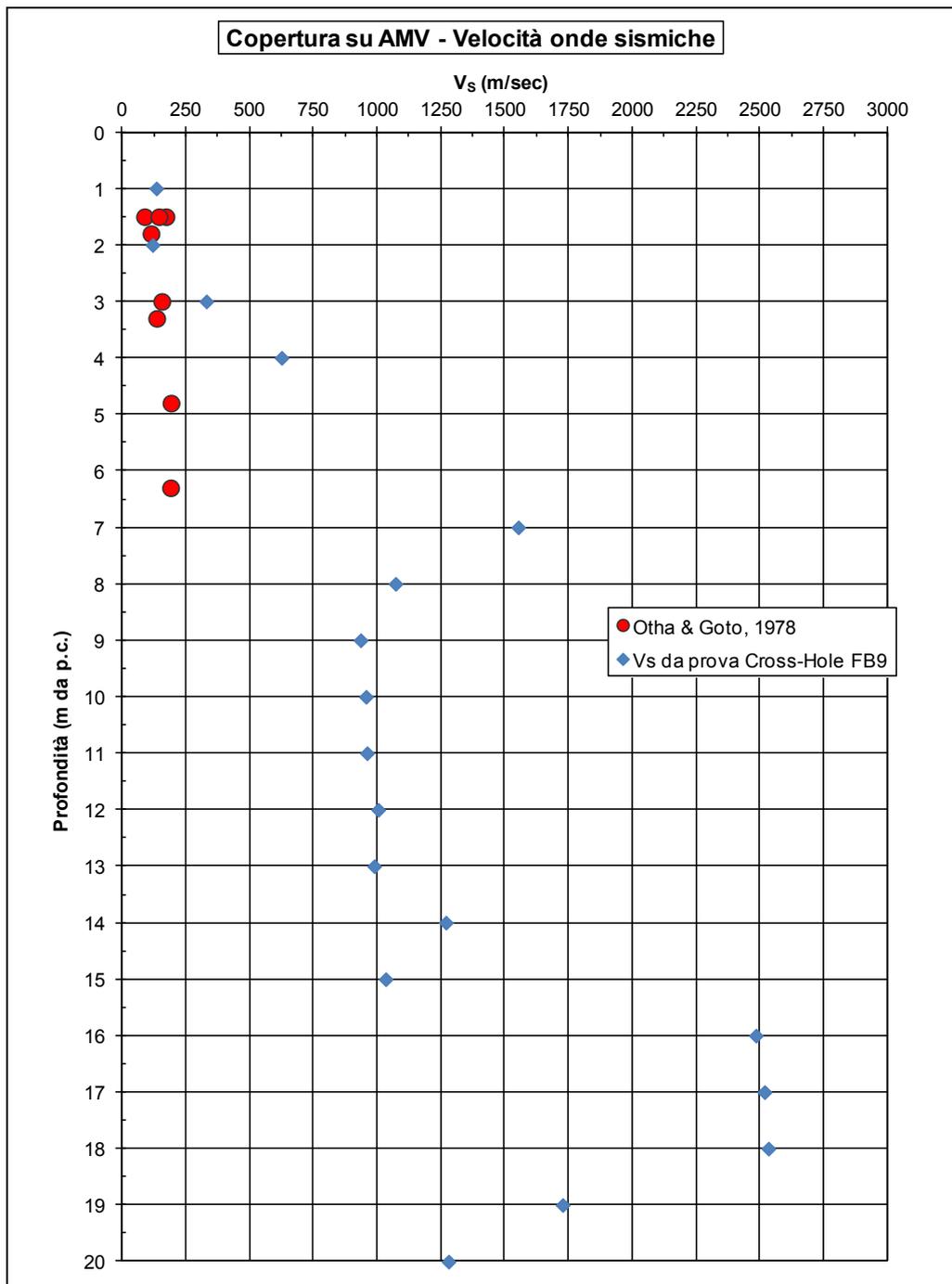
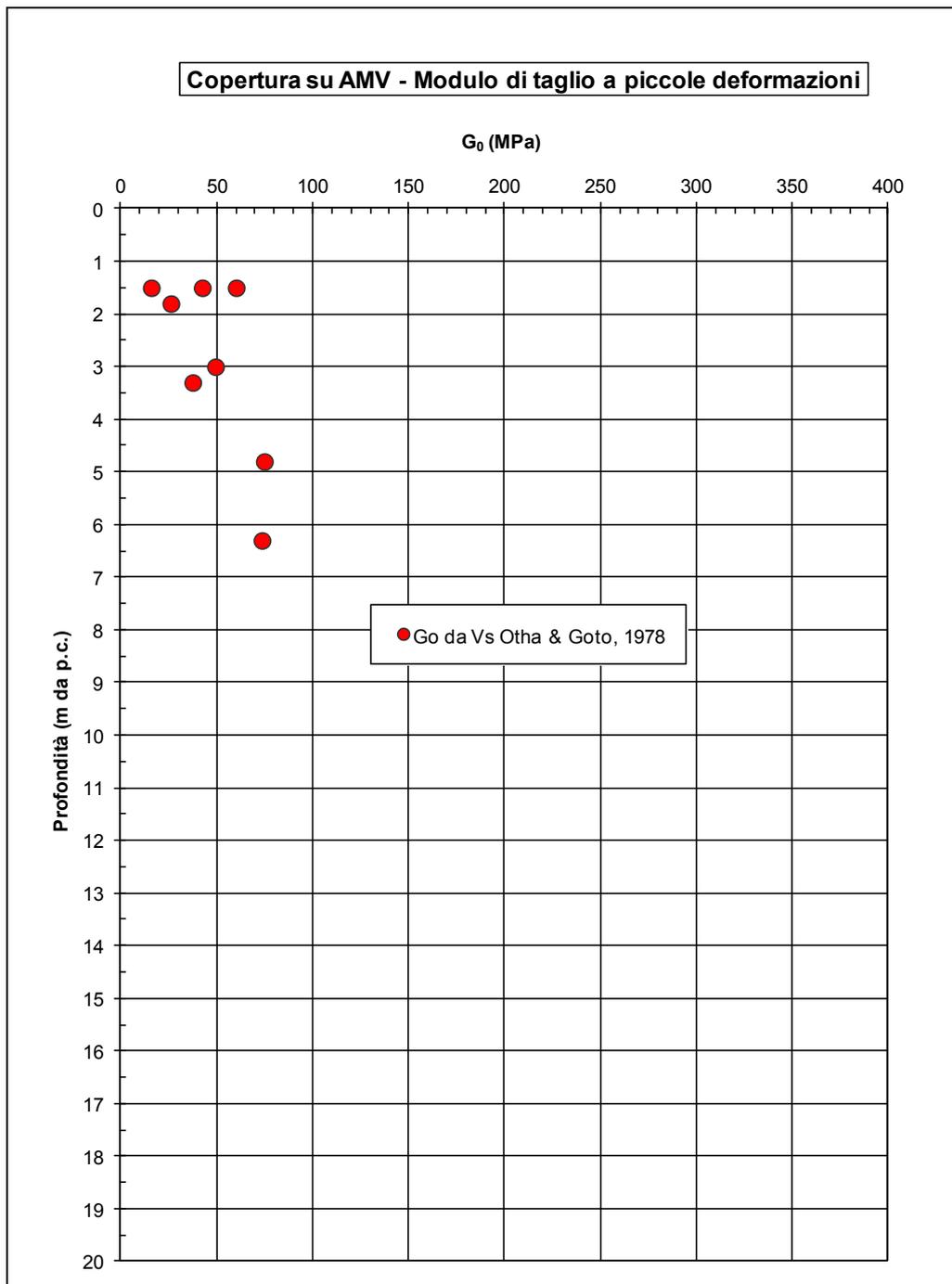


Figura 10.22 - Copertura su AMV - Velocità onde sismiche



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

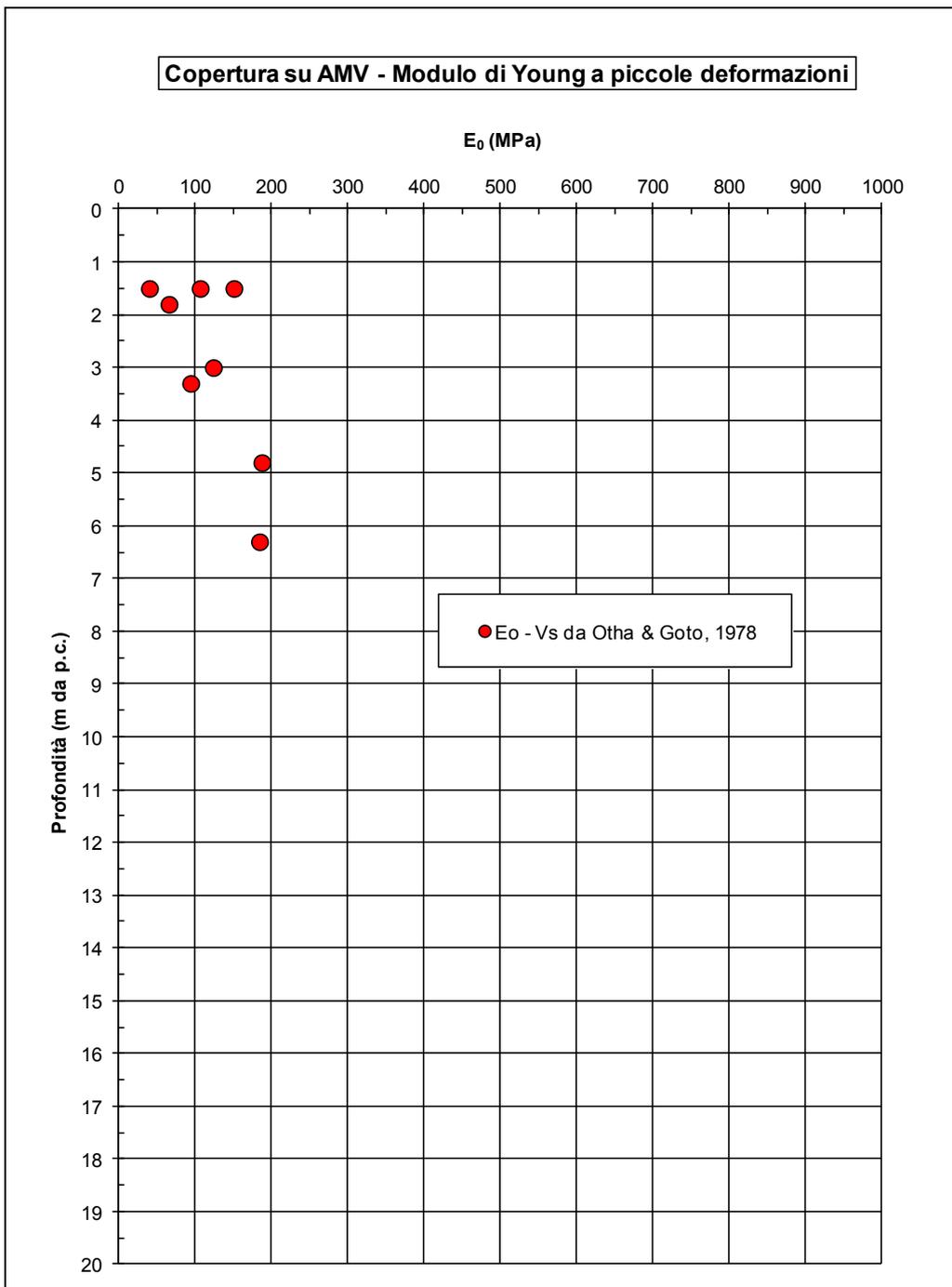
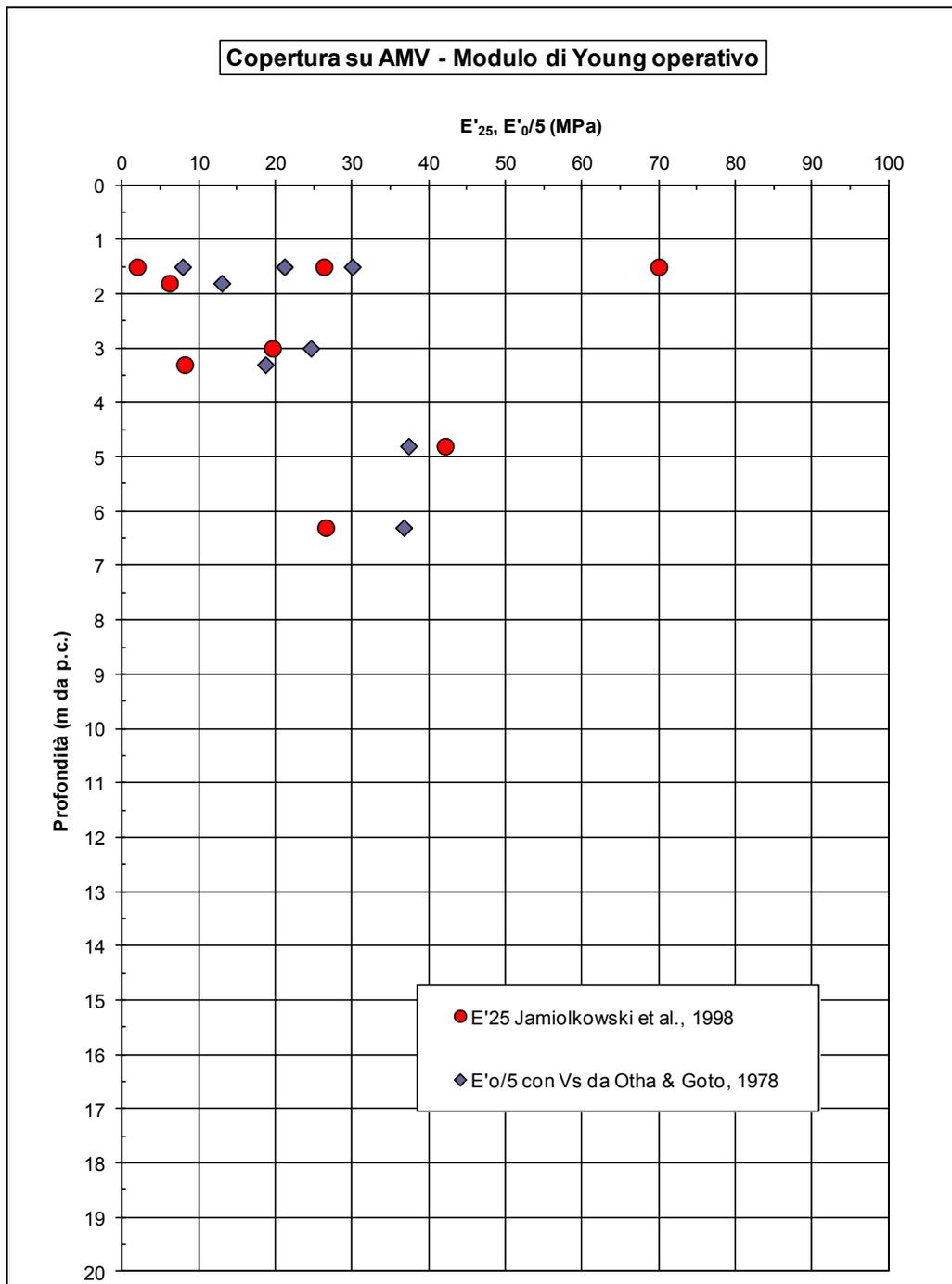


Figura 10.24 - Copertura su AMV - Modulo di Young a piccole deformazioni



**Figura 10.25 - Copertura su AMV - Modulo di Young operativo**

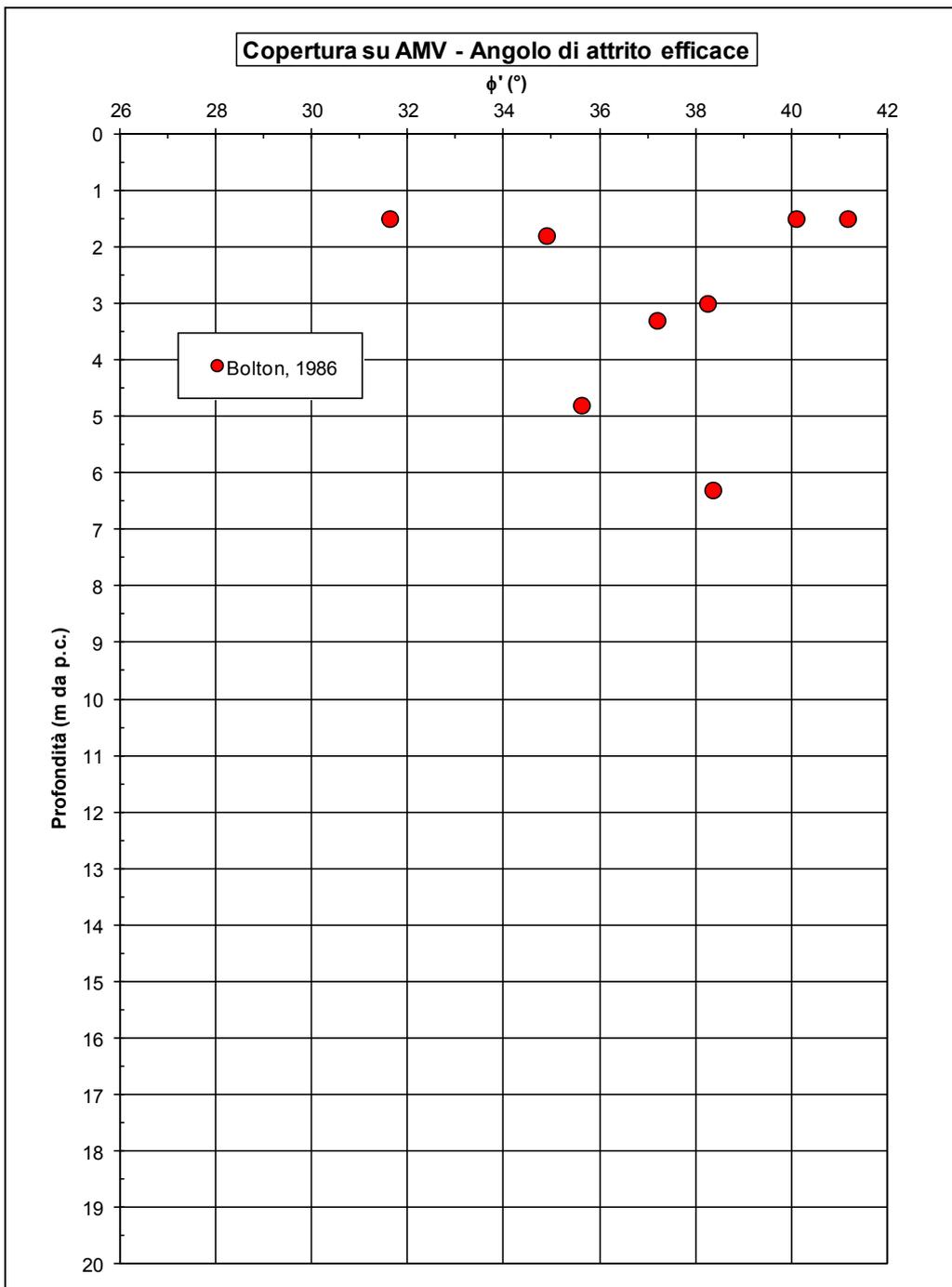


Figura 10.26 - Copertura su AMV - Angolo d'attrito efficace

### 10.3.5 Tabella riepilogativa dei parametri caratteristici

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

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	~19.0 ÷ 20.0
$N_{SPT}$ (colpi/30 cm)	7 ÷ 50
$D_r$ (%)	-
$\varphi'$ (°)	34 ÷ 36
$c'$ (kPa)	0.0
$c_u$ (kPa)	80.0
<b>GSC</b>	~ 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:

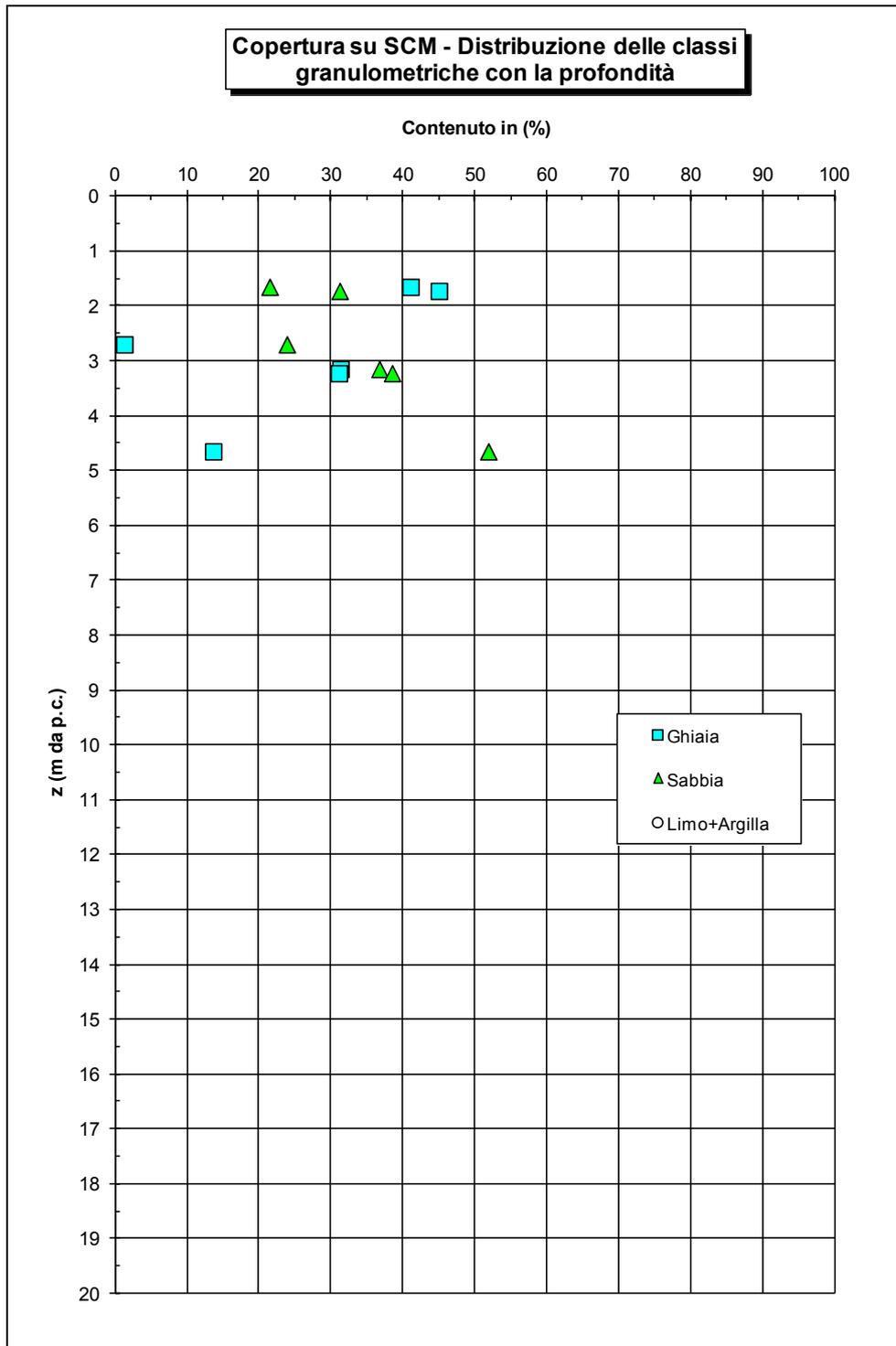


Figura 10.27 - Copertura su SCM - Classi granulometriche

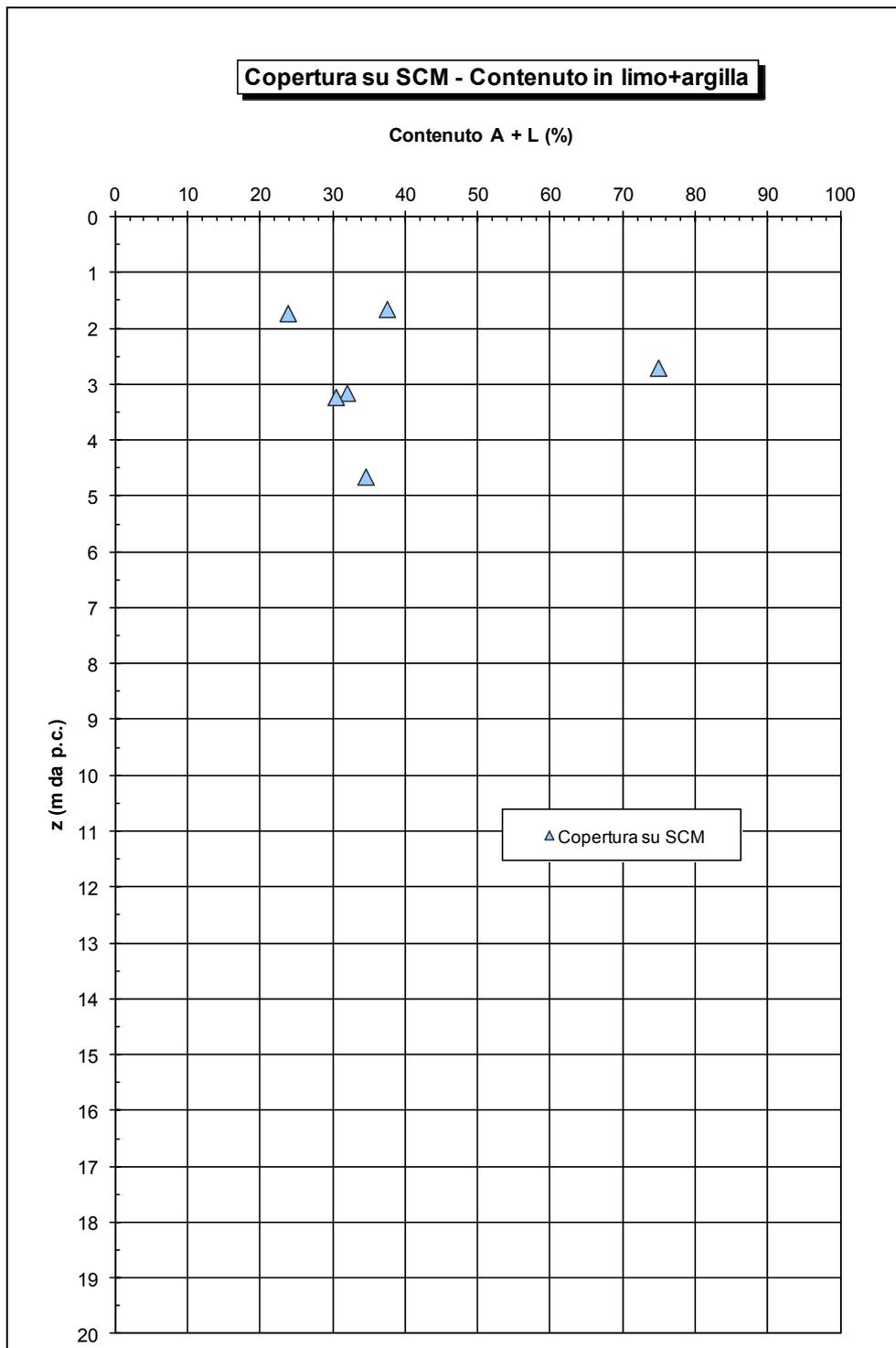
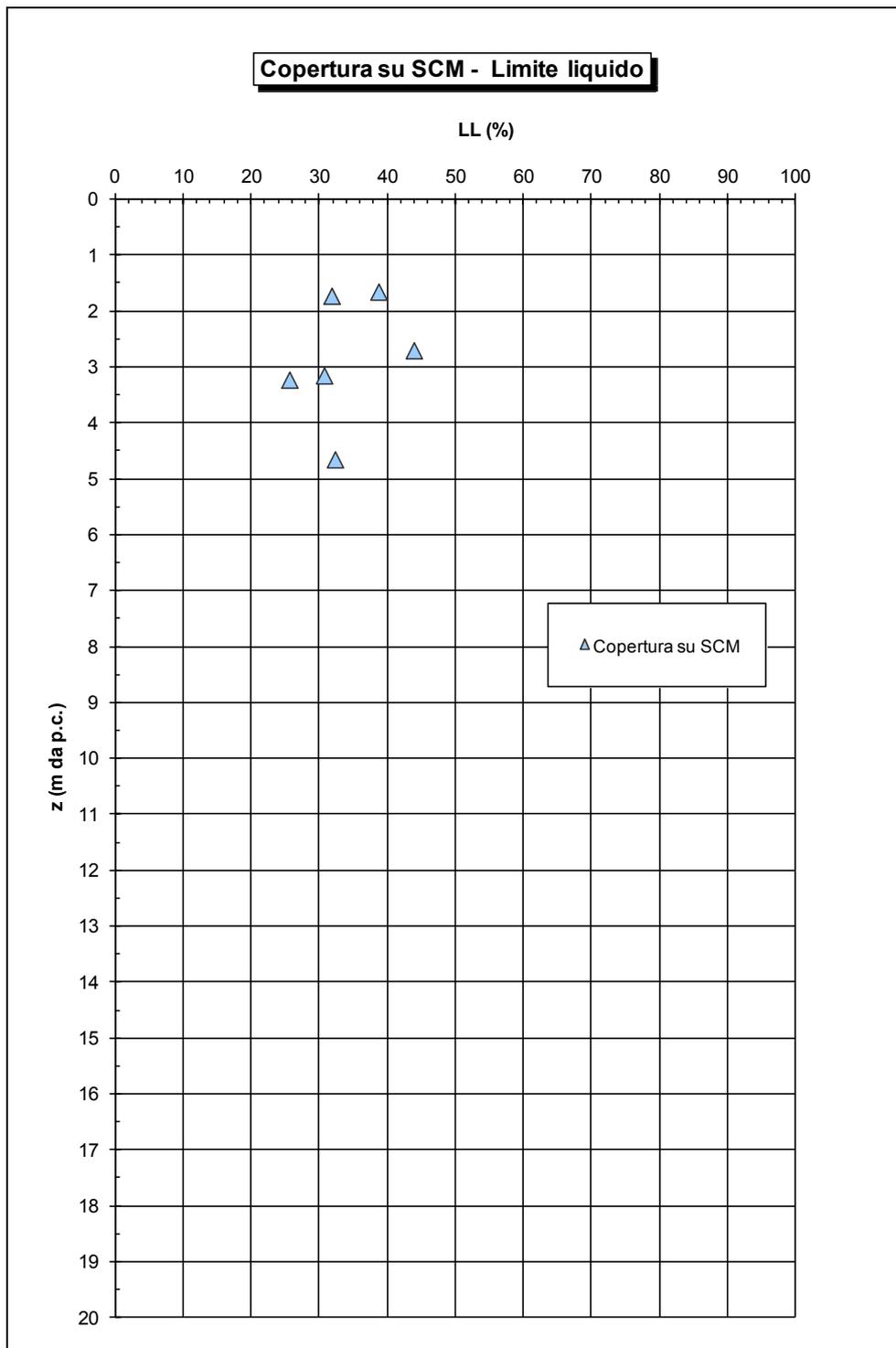
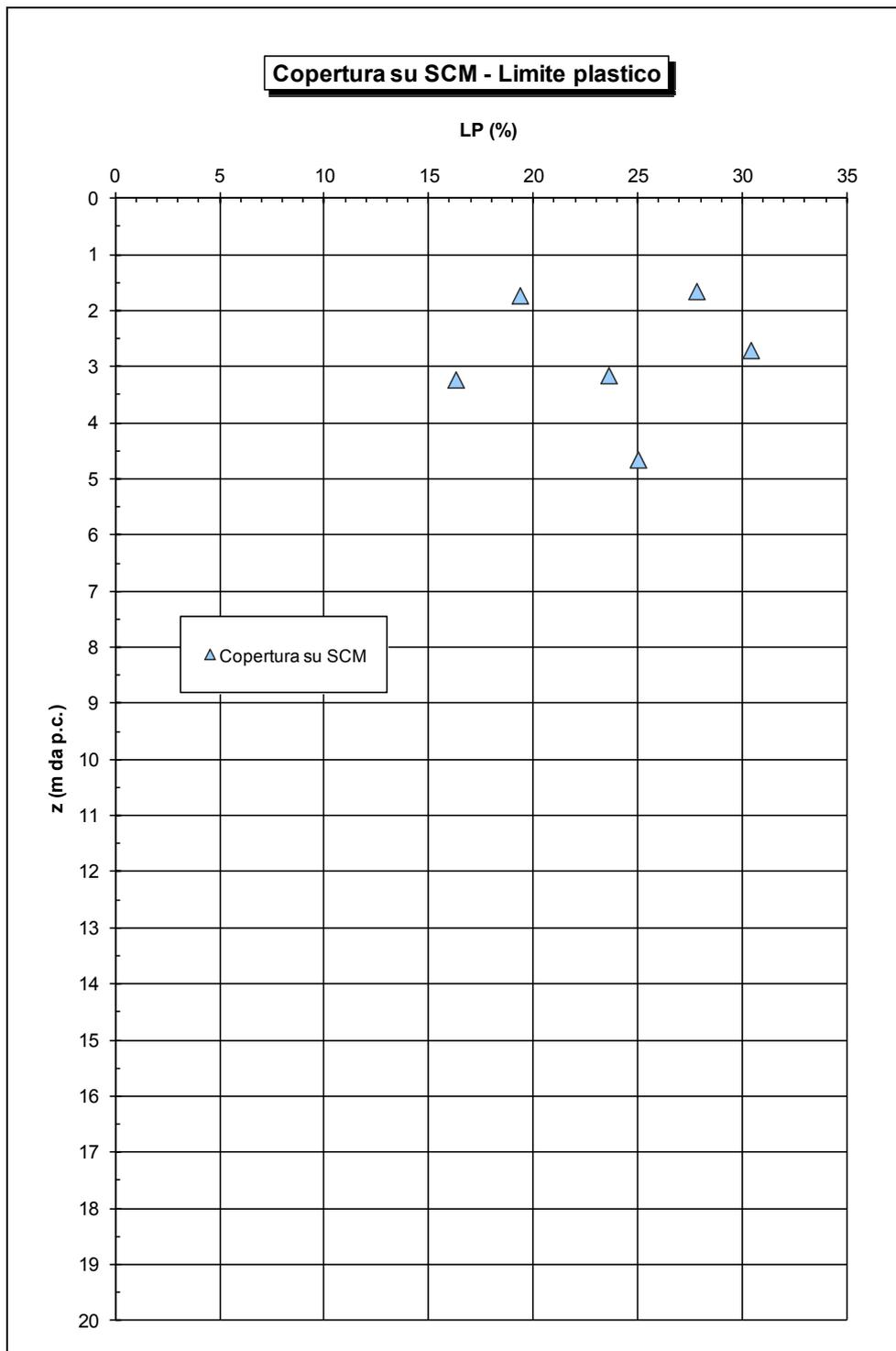


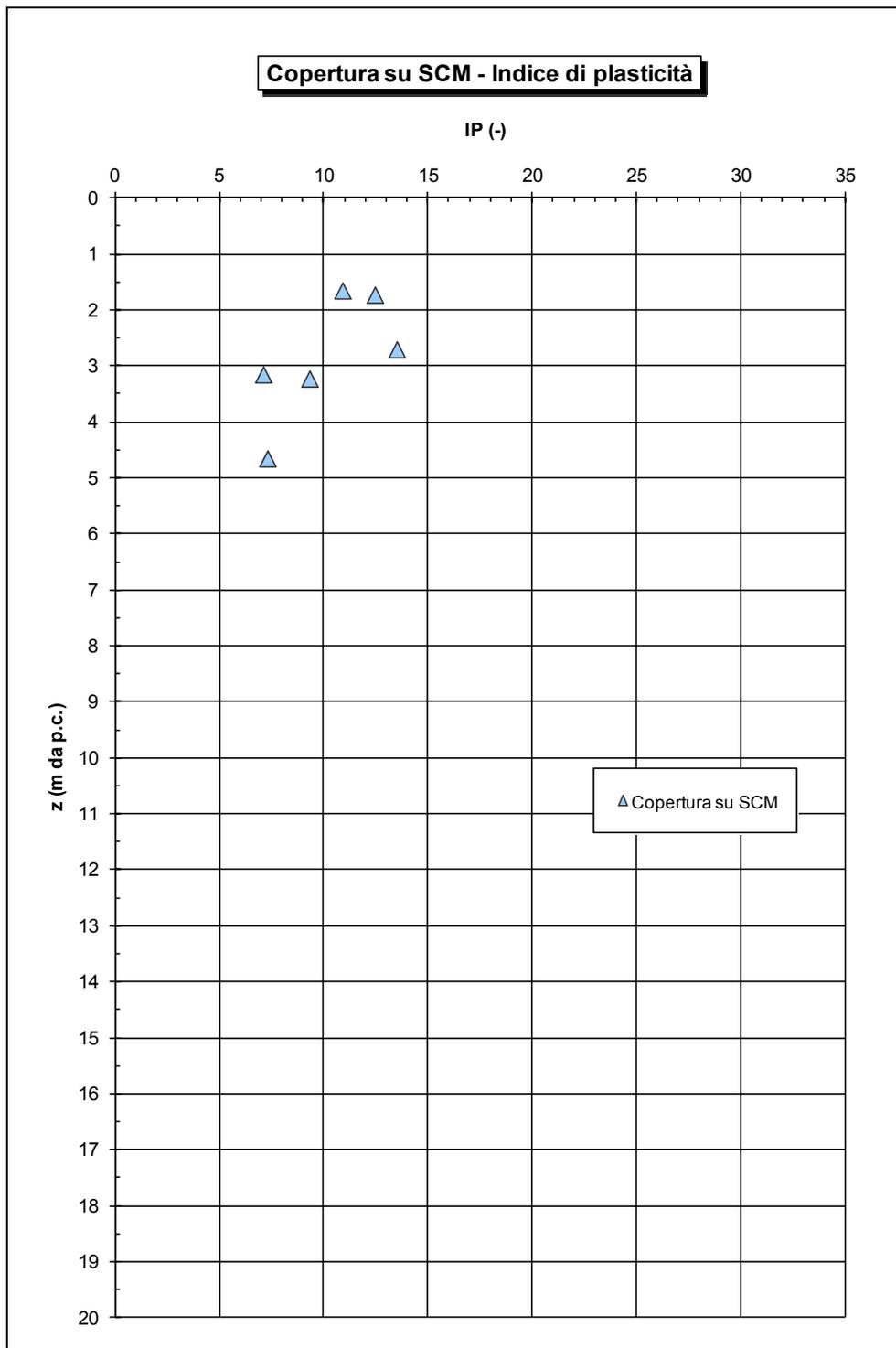
Figura 10.28 - Copertura su SCM - Contenuto A+L



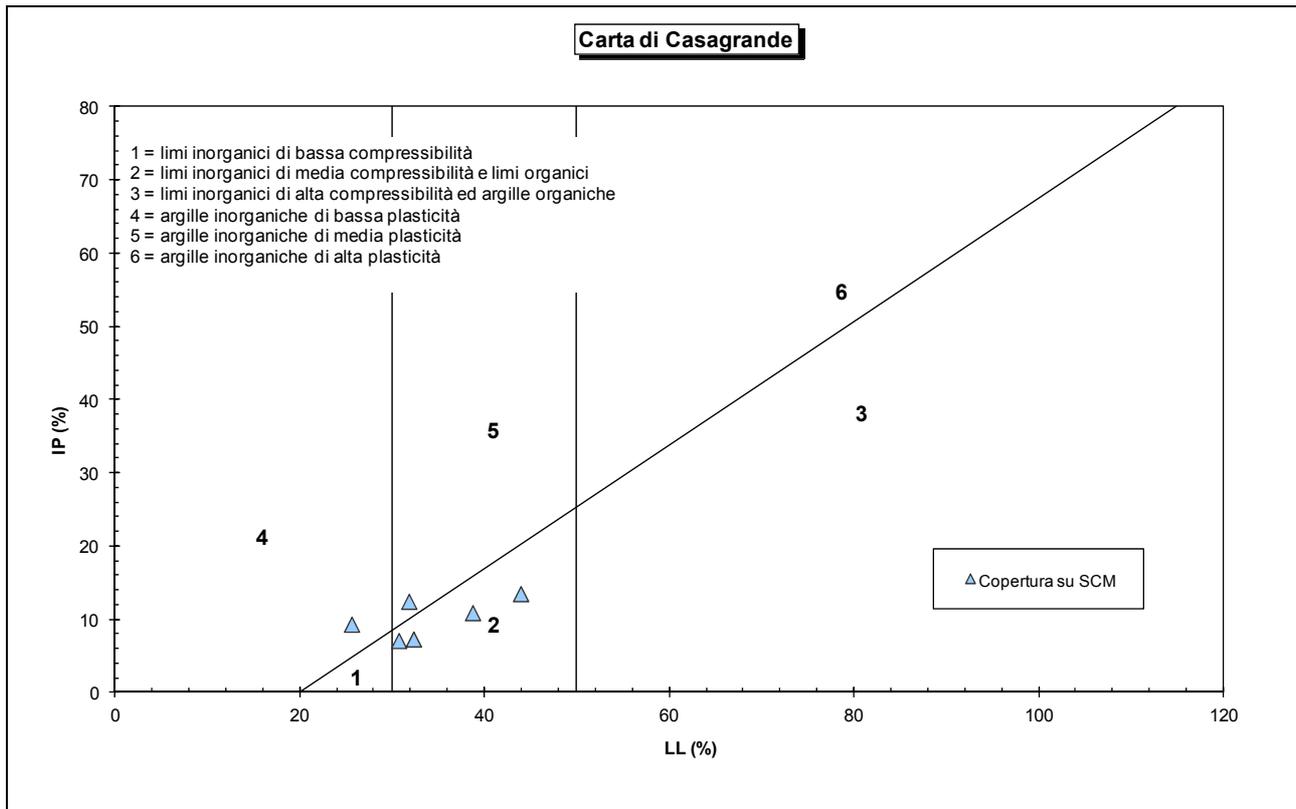
**Figura 10.29 - Copertura su SCM - Limite liquido**



**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:

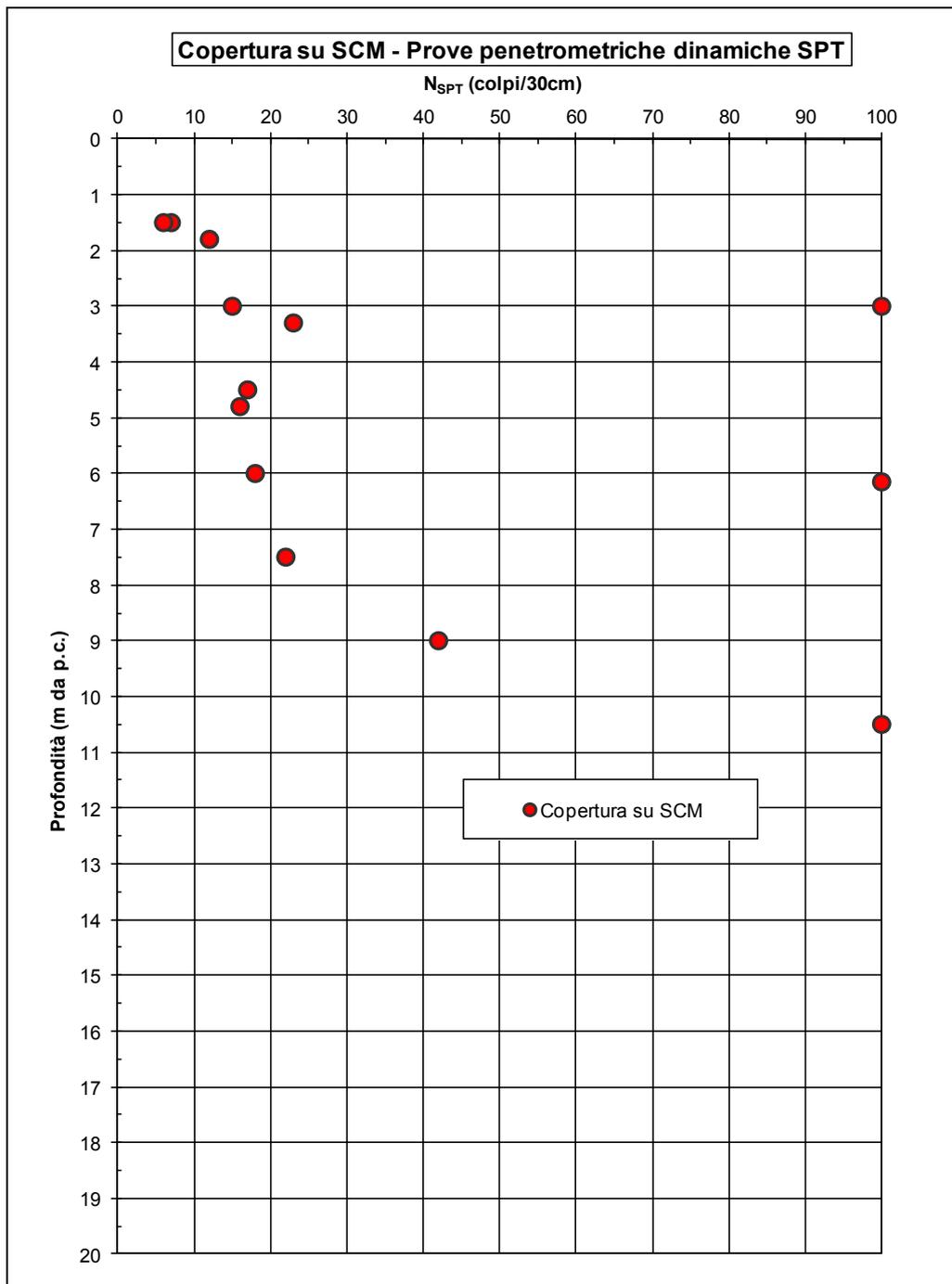
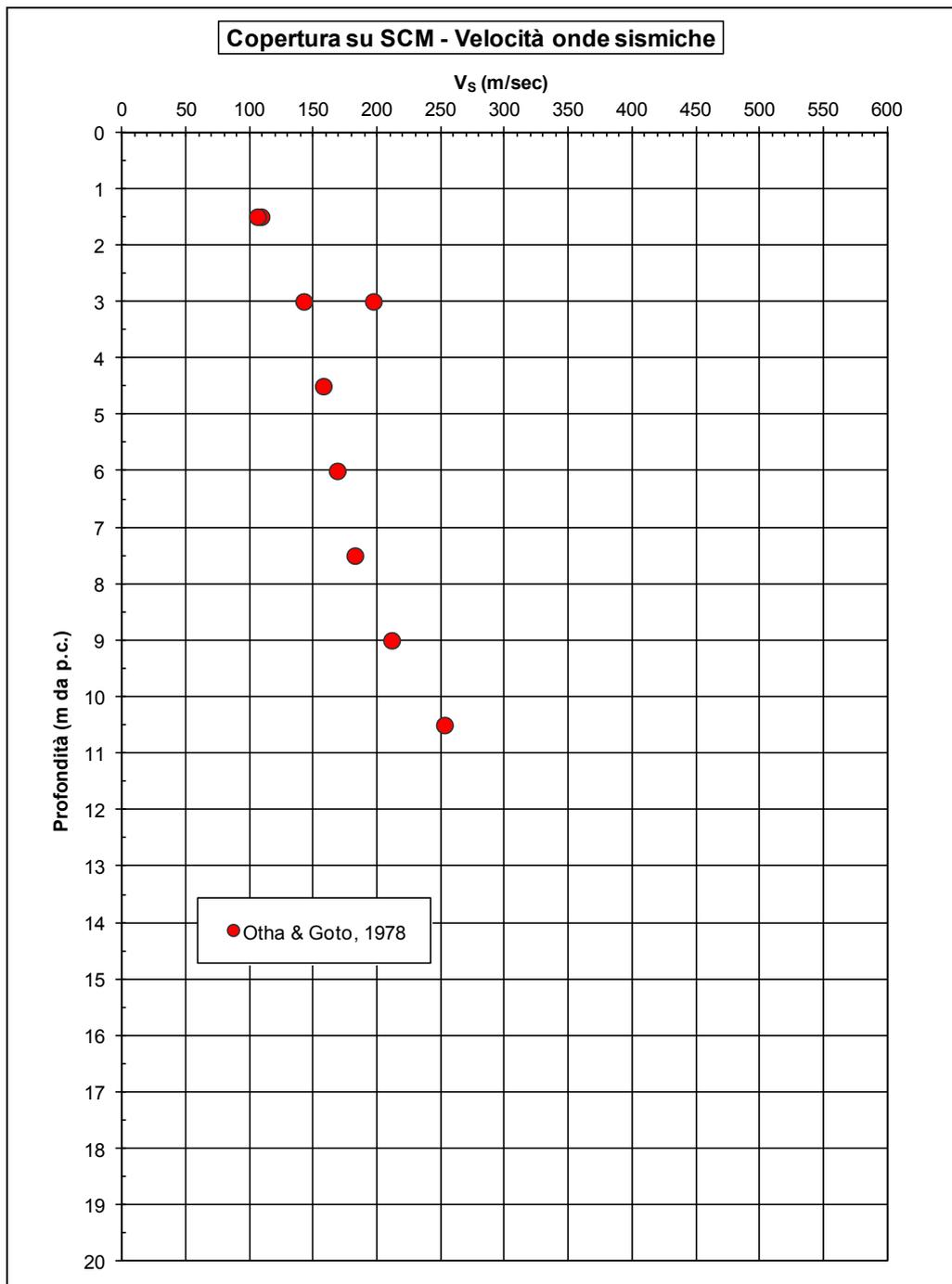


Figura 10.33 - Copertura su SCM - Valori di N<sub>SPT</sub>



**Figura 10.34 - Copertura su SCM - Velocità onde sismiche**

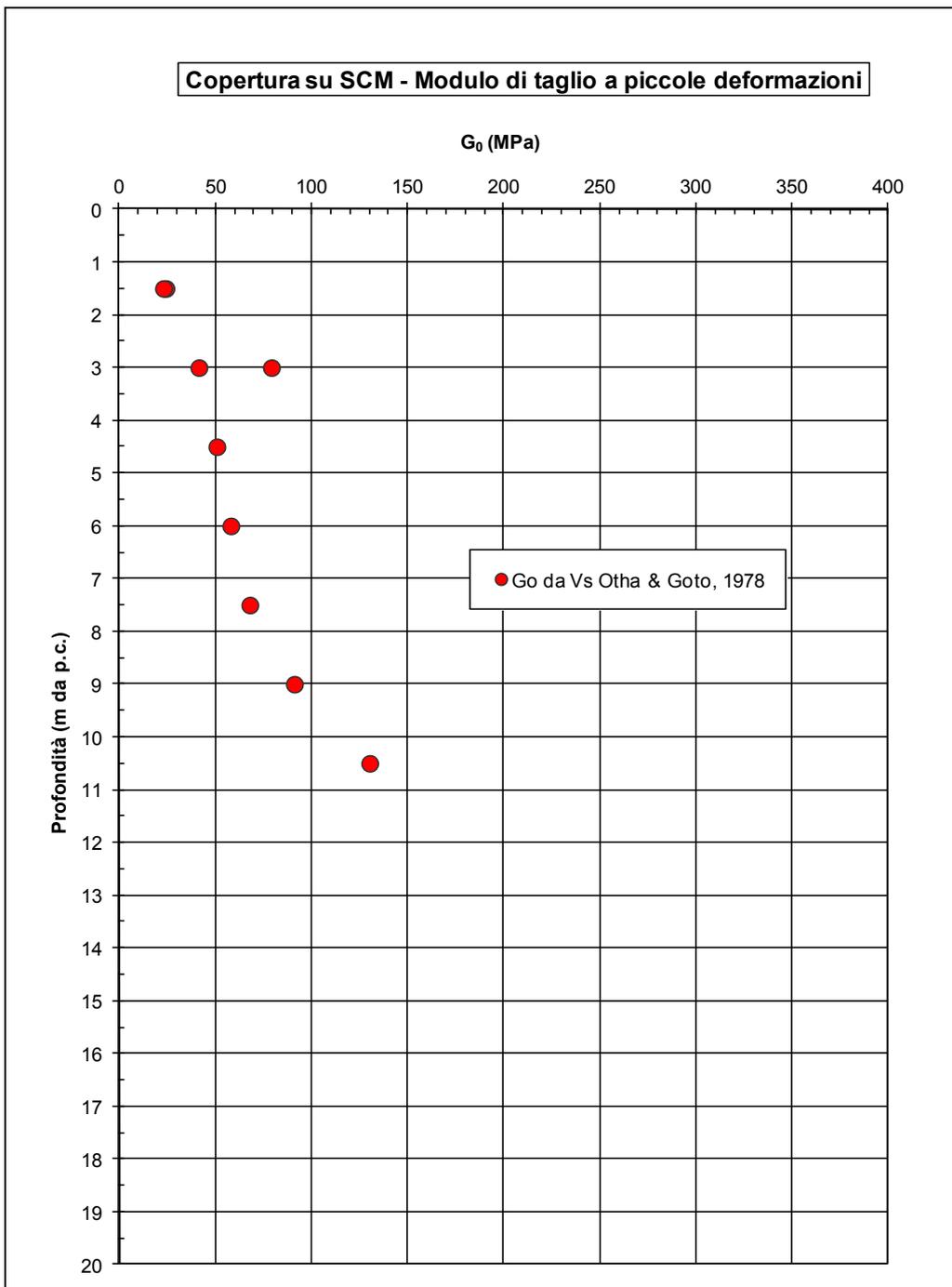


Figura 10.35 - Copertura su SCM - Modulo di taglio a piccole deformazioni

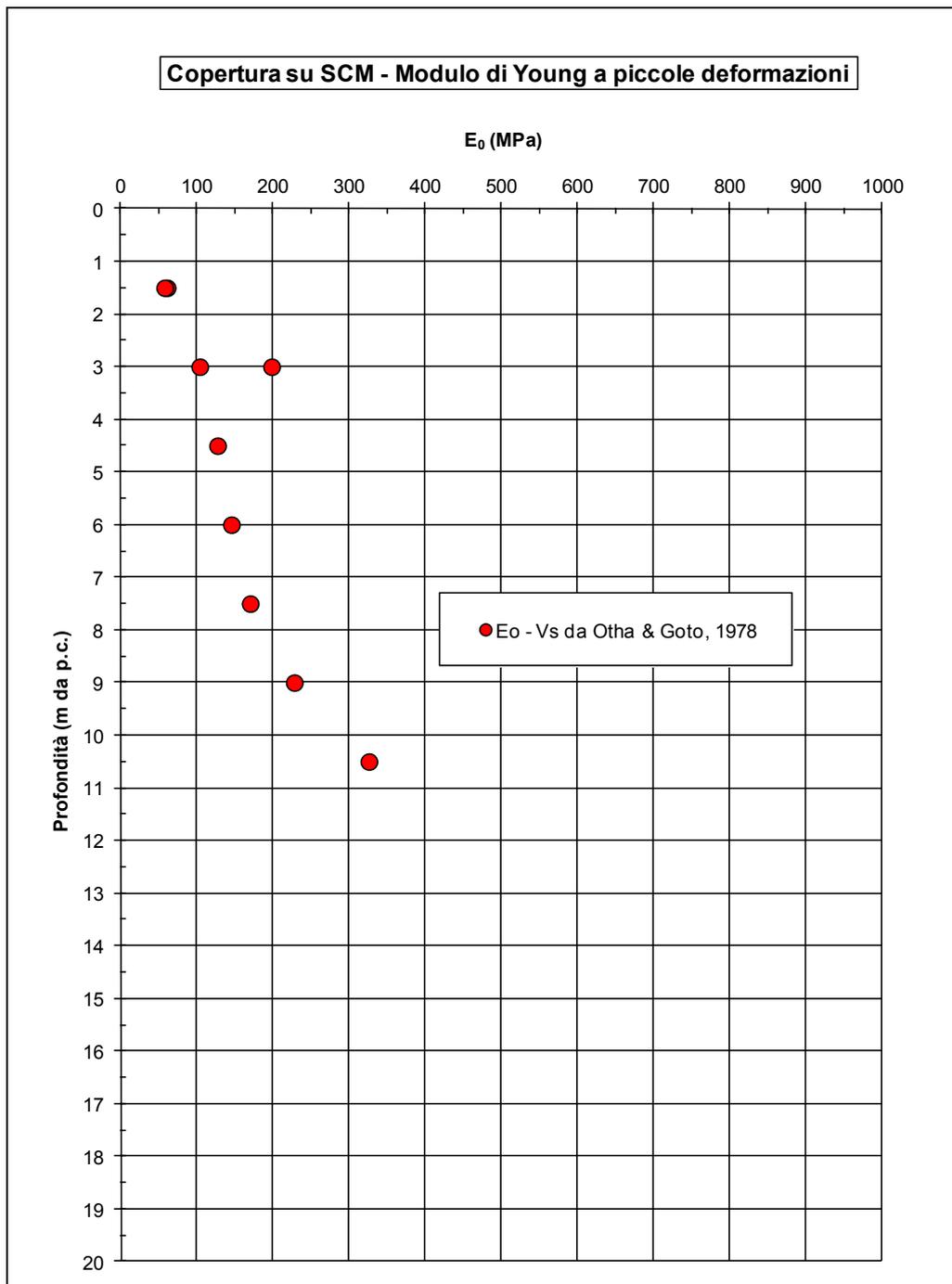


Figura 10.36 - Copertura su SCM - Modulo di Young a piccole deformazioni

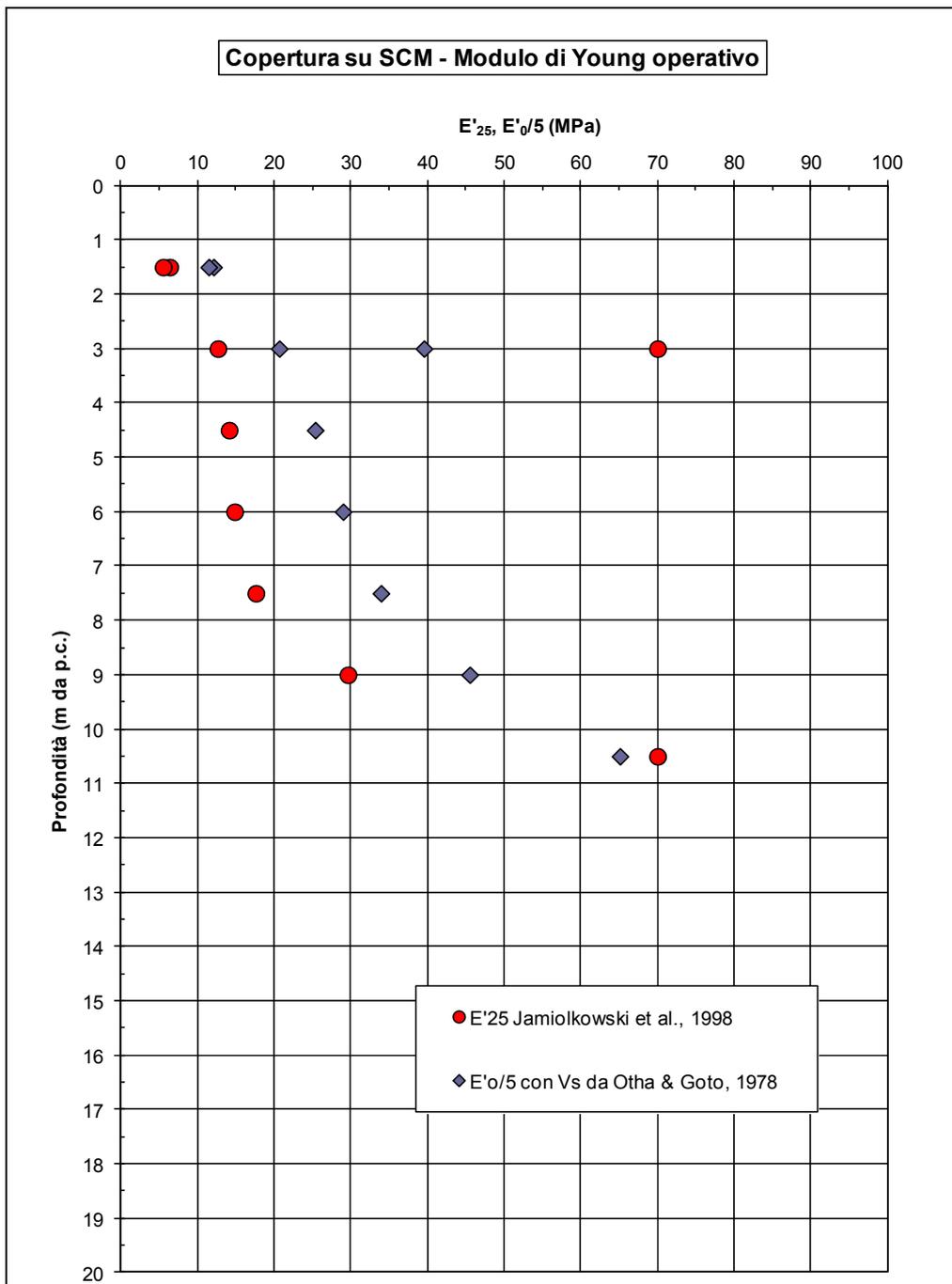
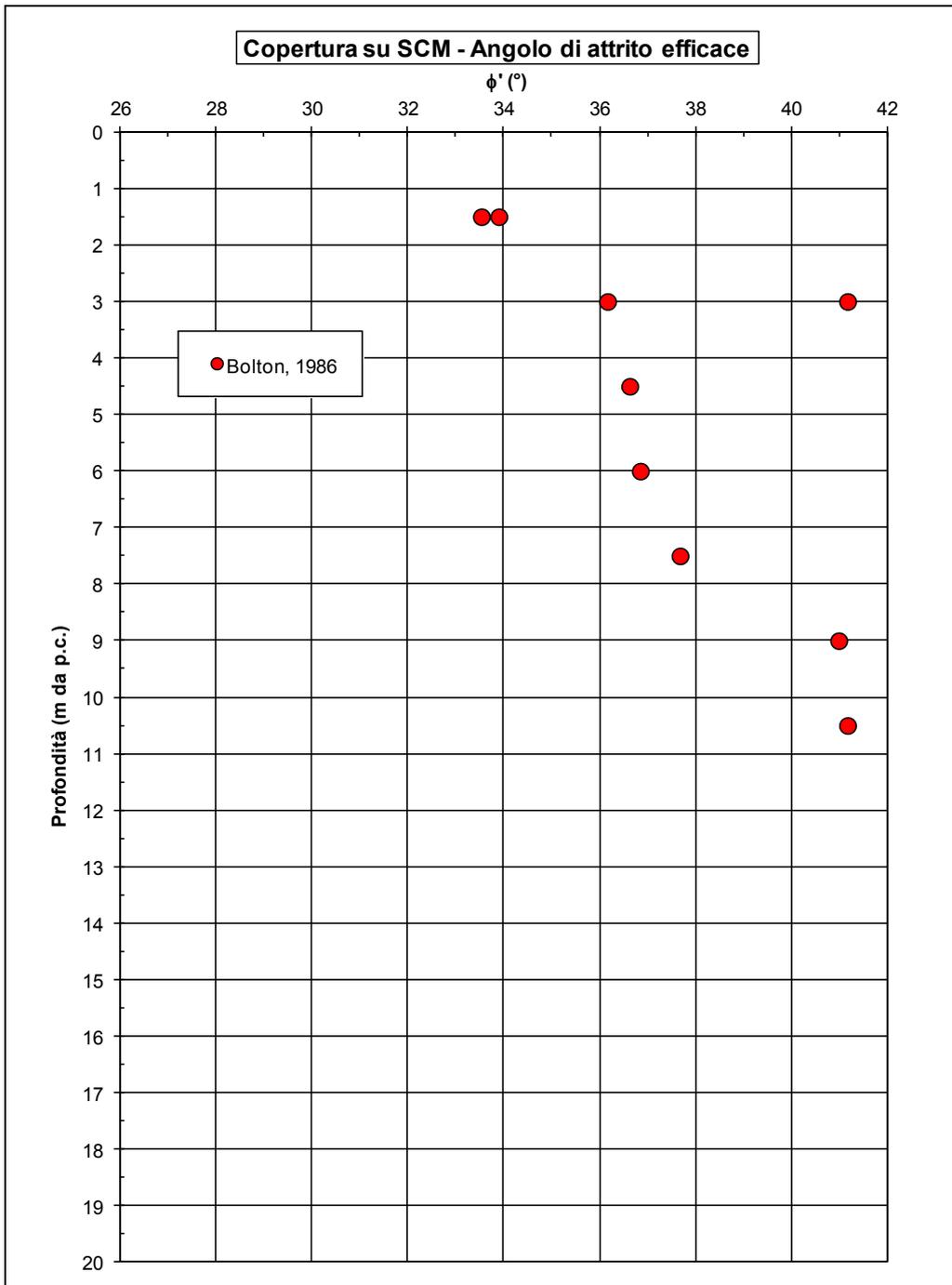
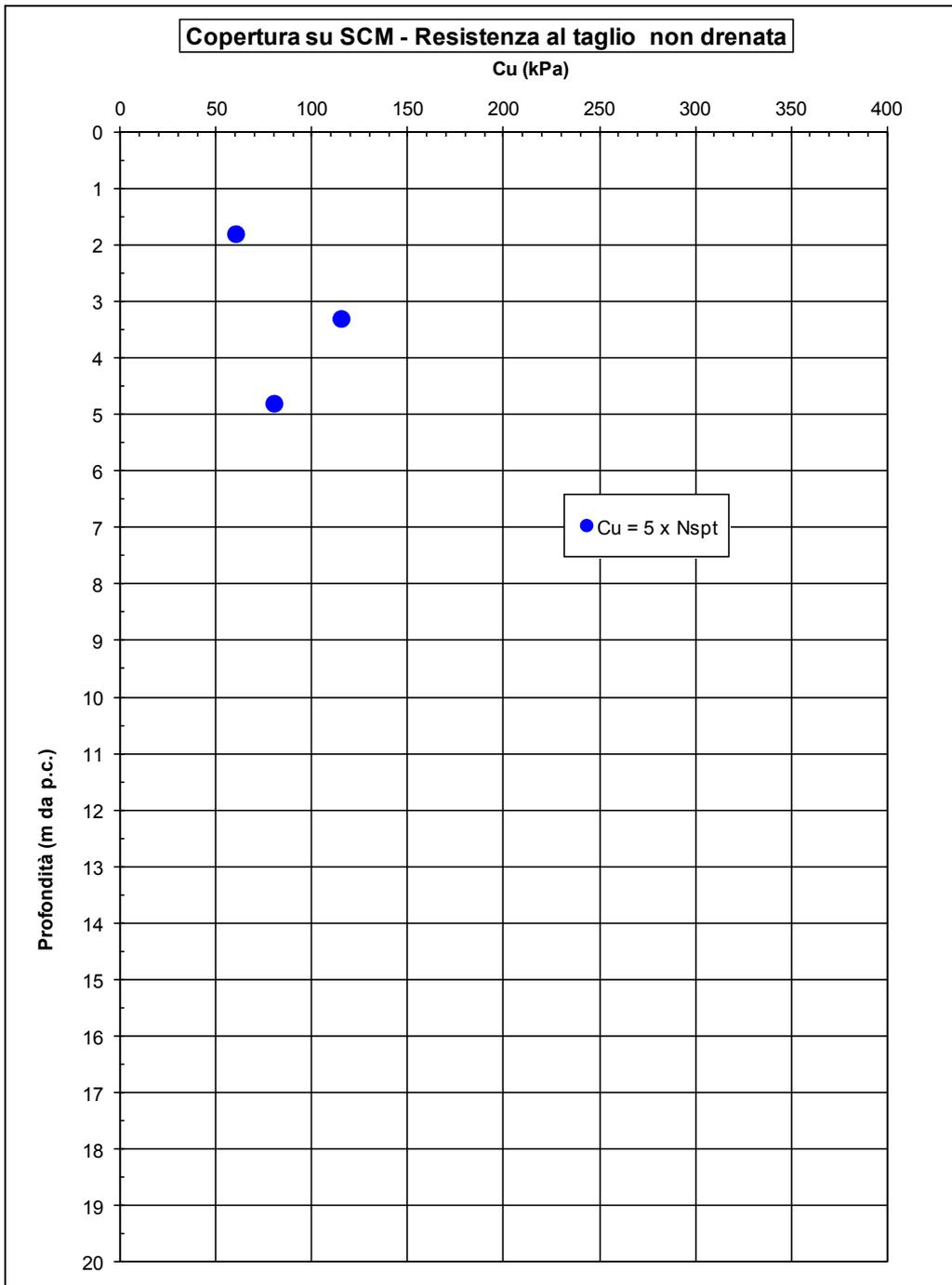


Figura 10.37 - Copertura su SCM - Modulo di Young operativo



**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:

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	~19.0 ÷ 20.0
$N_{SPT}$ (colpi/30 cm)	5 ÷ 25
$D_r$ (%)	-
$\varphi'$ (°)	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:

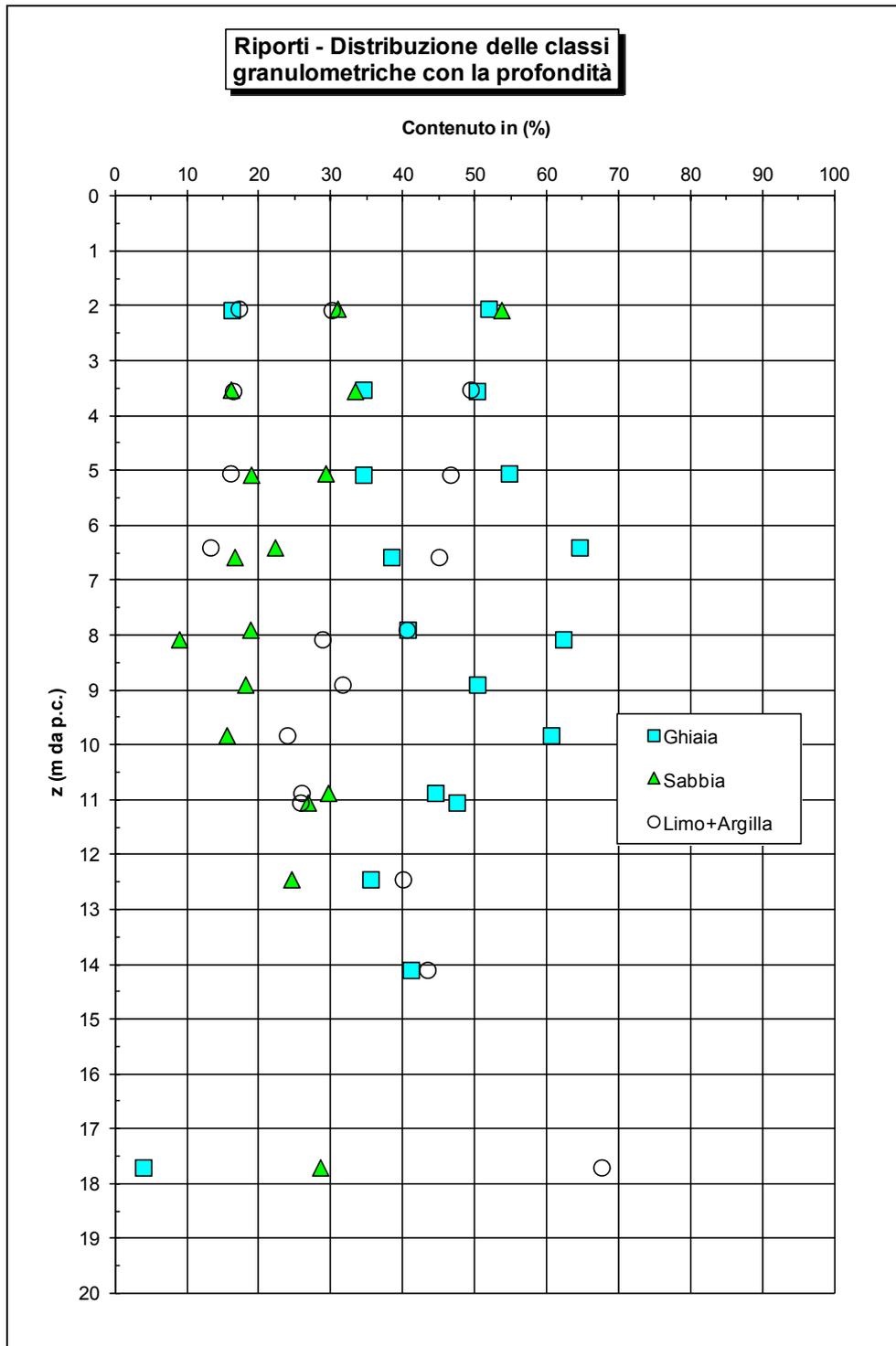
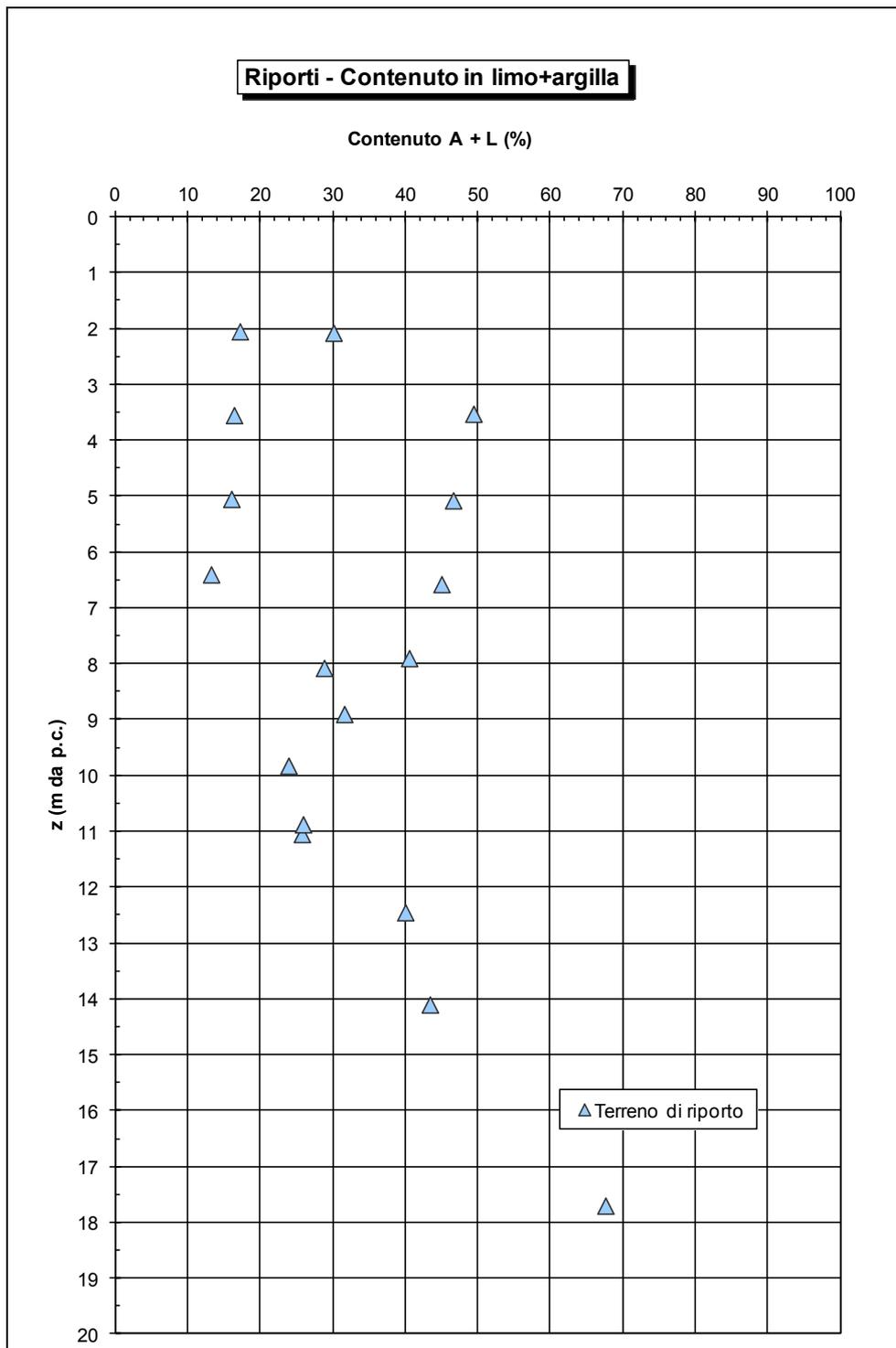


Figura 10.40 - Terreno di riporto - Classi granulometriche



**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:

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

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

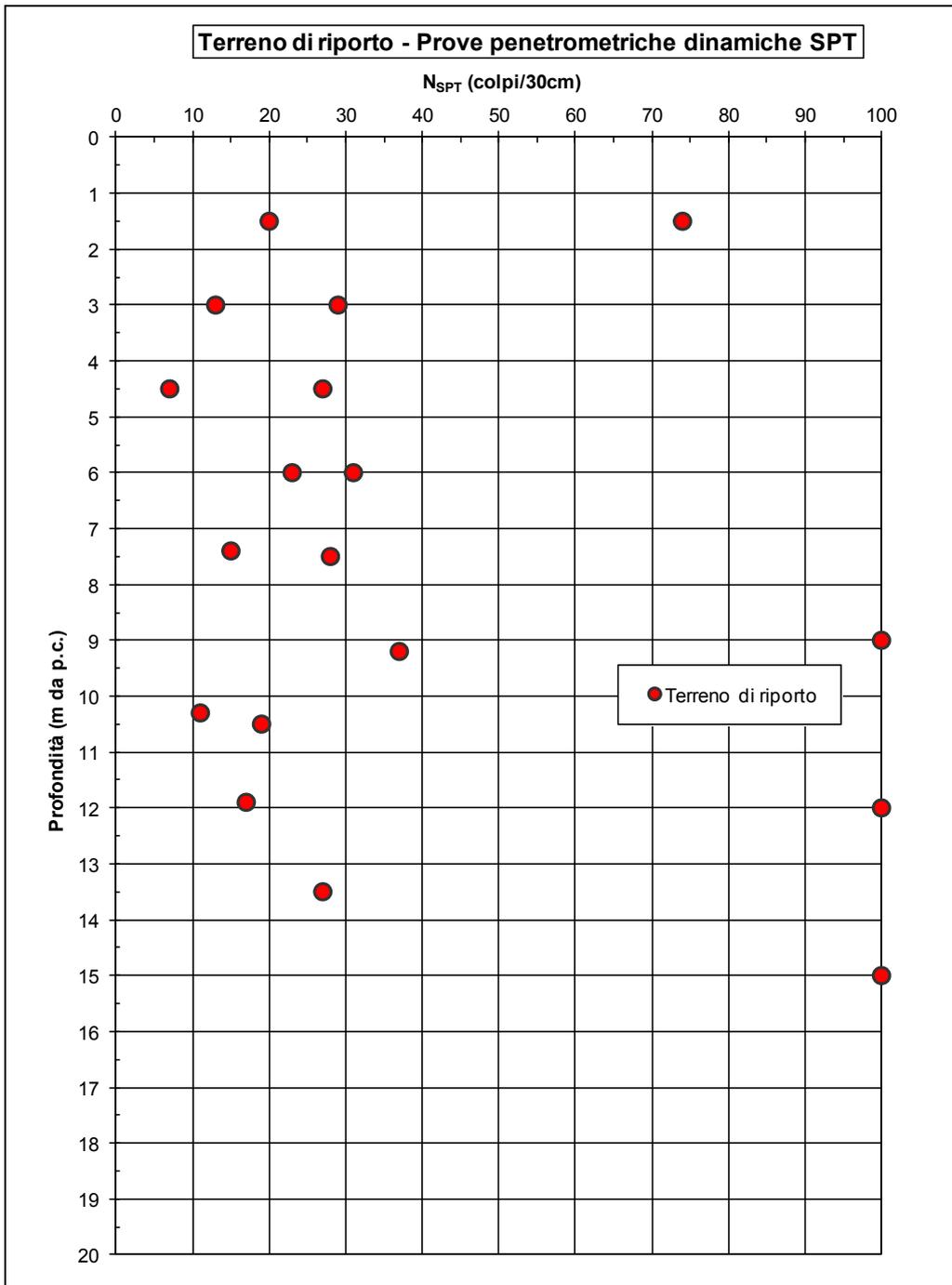
$$G_o = 30 \div 150 \text{ MPa}$$

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

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

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

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



**Figura 10.42 - Copertura su AMV - Valori di N<sub>SPT</sub>**

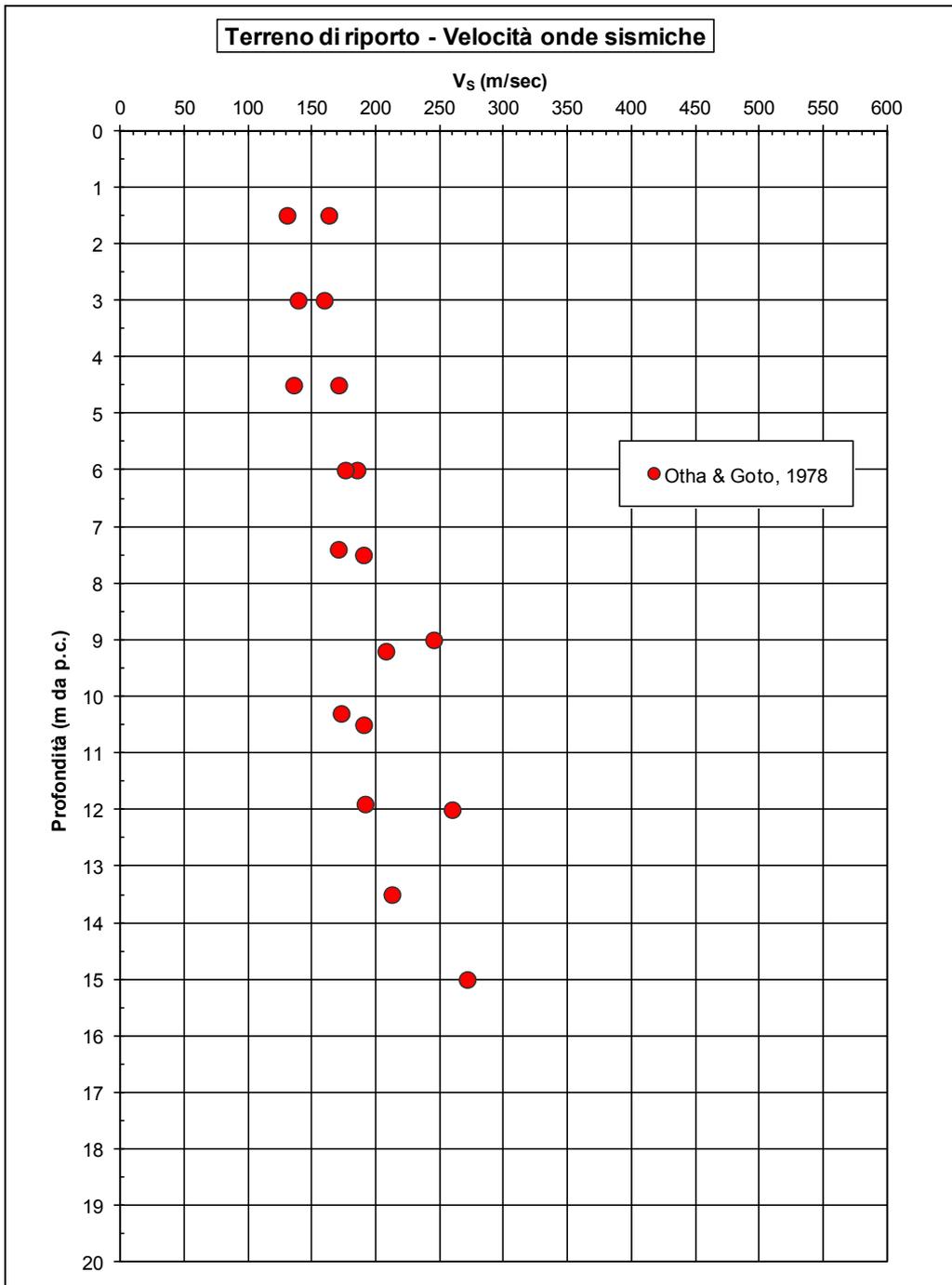
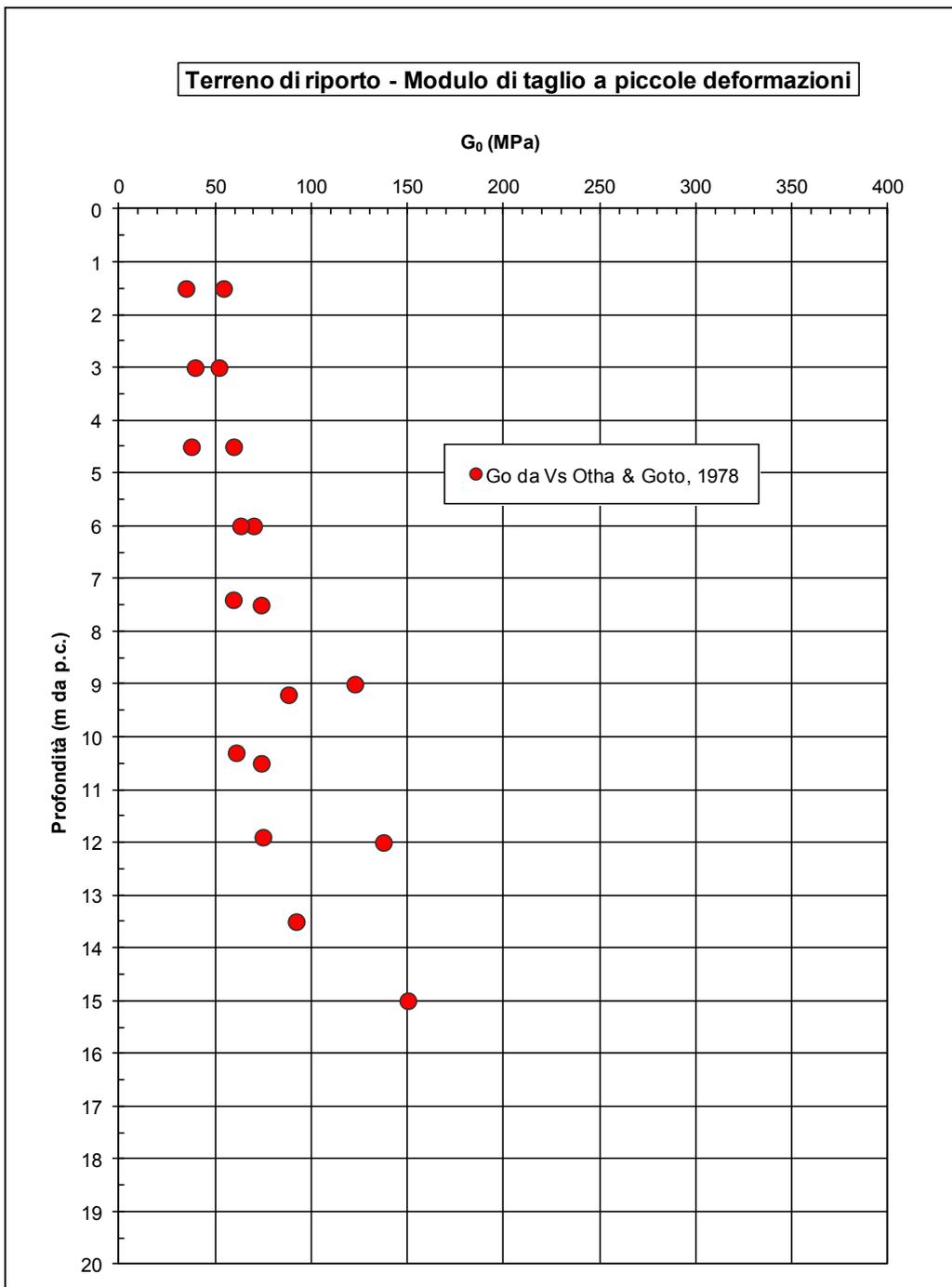


Figura 10.43 - Copertura su AMV - Velocità onde sismiche



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

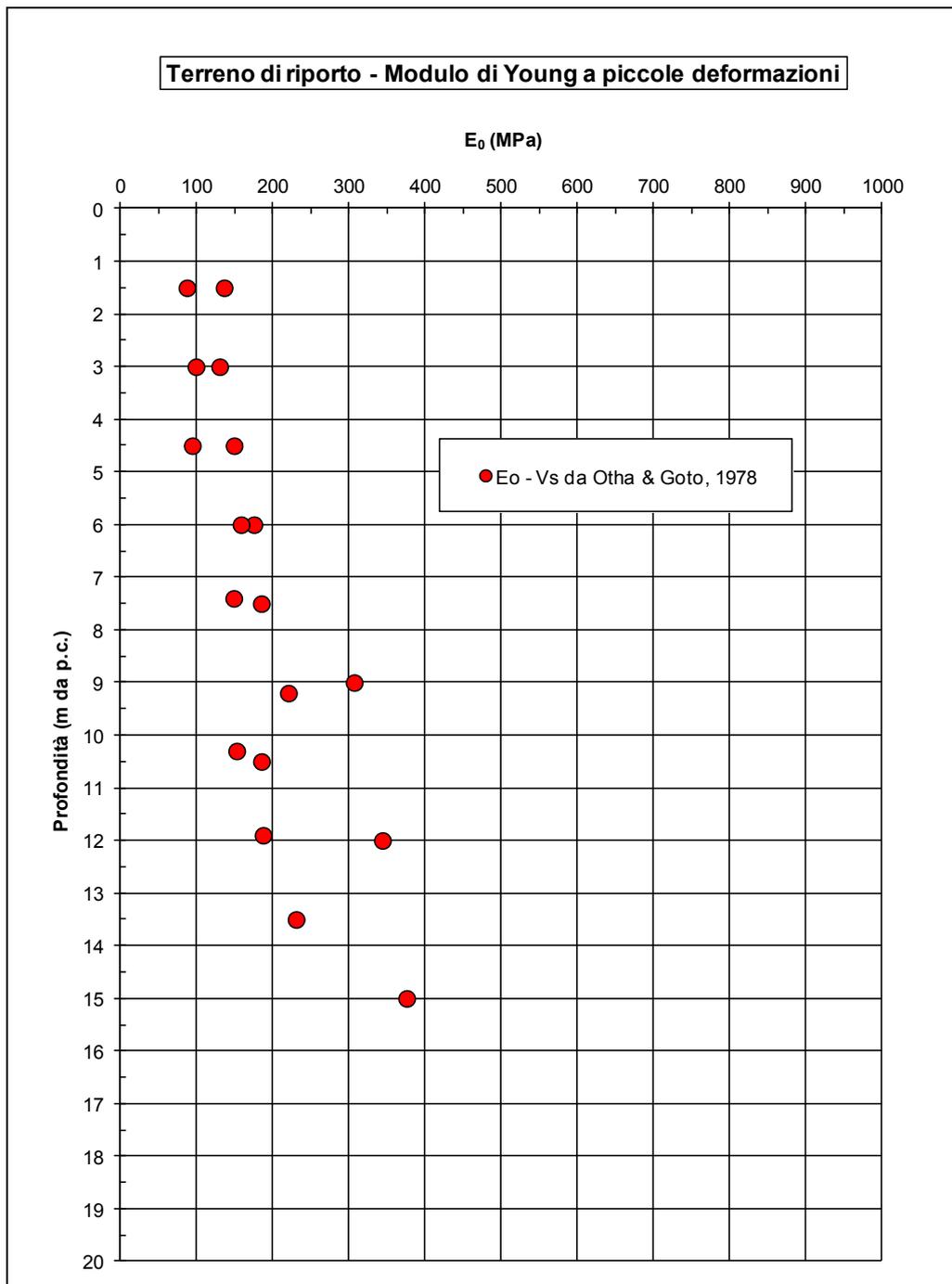
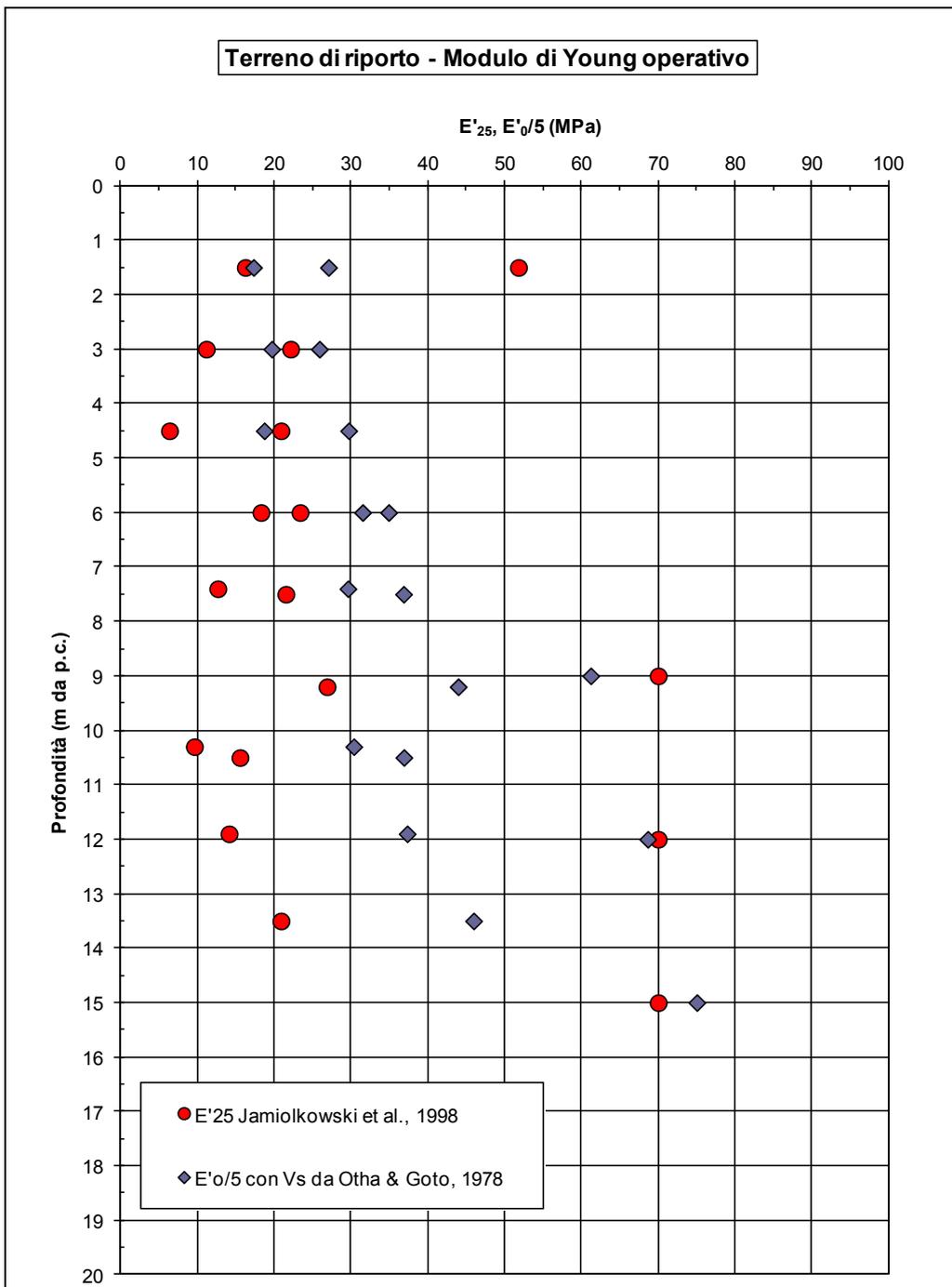


Figura 10.45 - Copertura su AMV - Modulo di Young a piccole deformazioni



**Figura 10.46 - Copertura su AMV - Modulo di Young operativo**

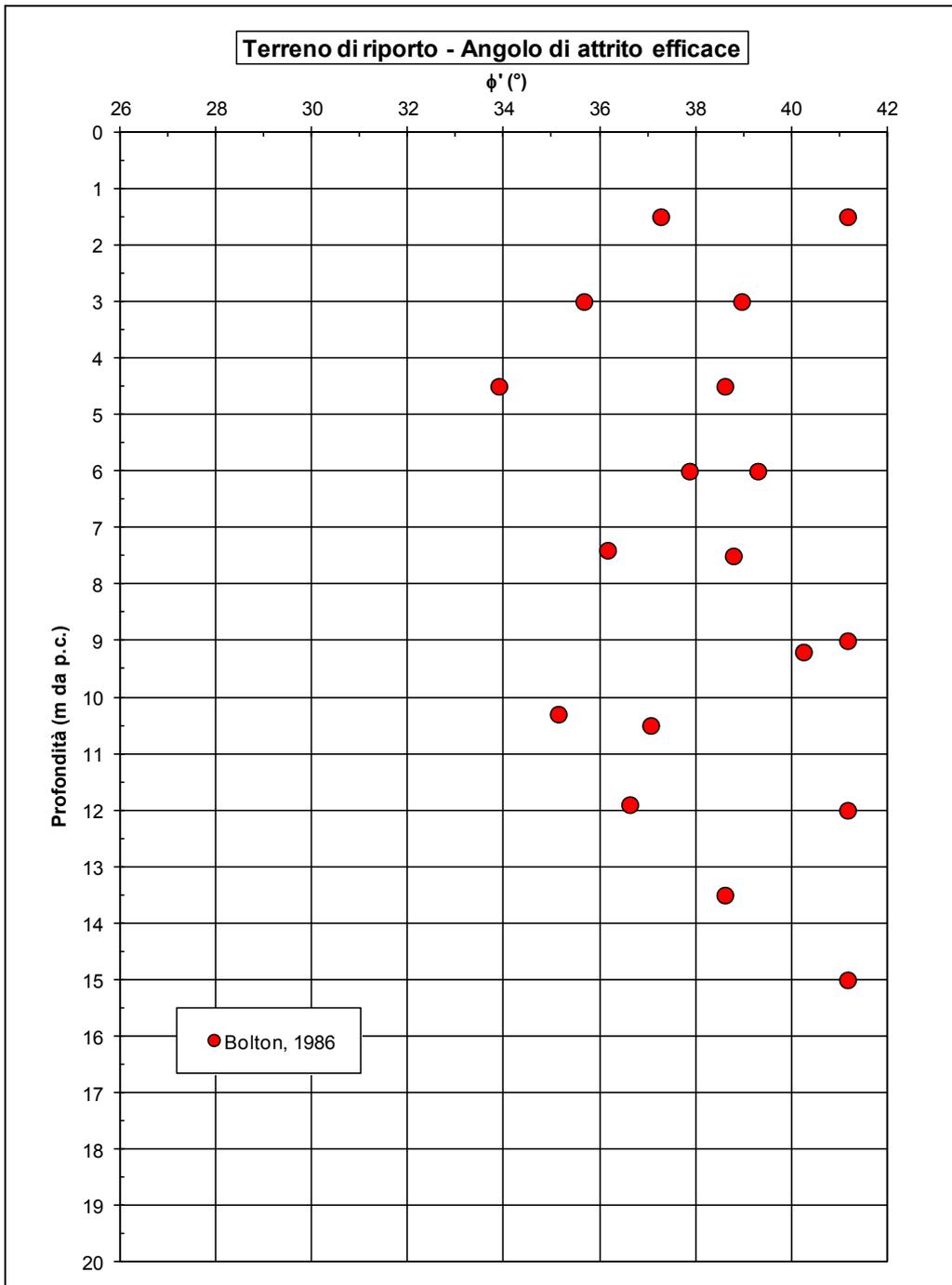


Figura 10.47 - Copertura su AMV - Angolo d'attrito efficace

### 10.5.5 Tabella riepilogativa dei parametri caratteristici

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

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	~19.0 ÷ 20.0
$N_{SPT}$ (colpi/30 cm)	7 ÷ 35
$D_r$ (%)	-
$\varphi'$ (°)	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:

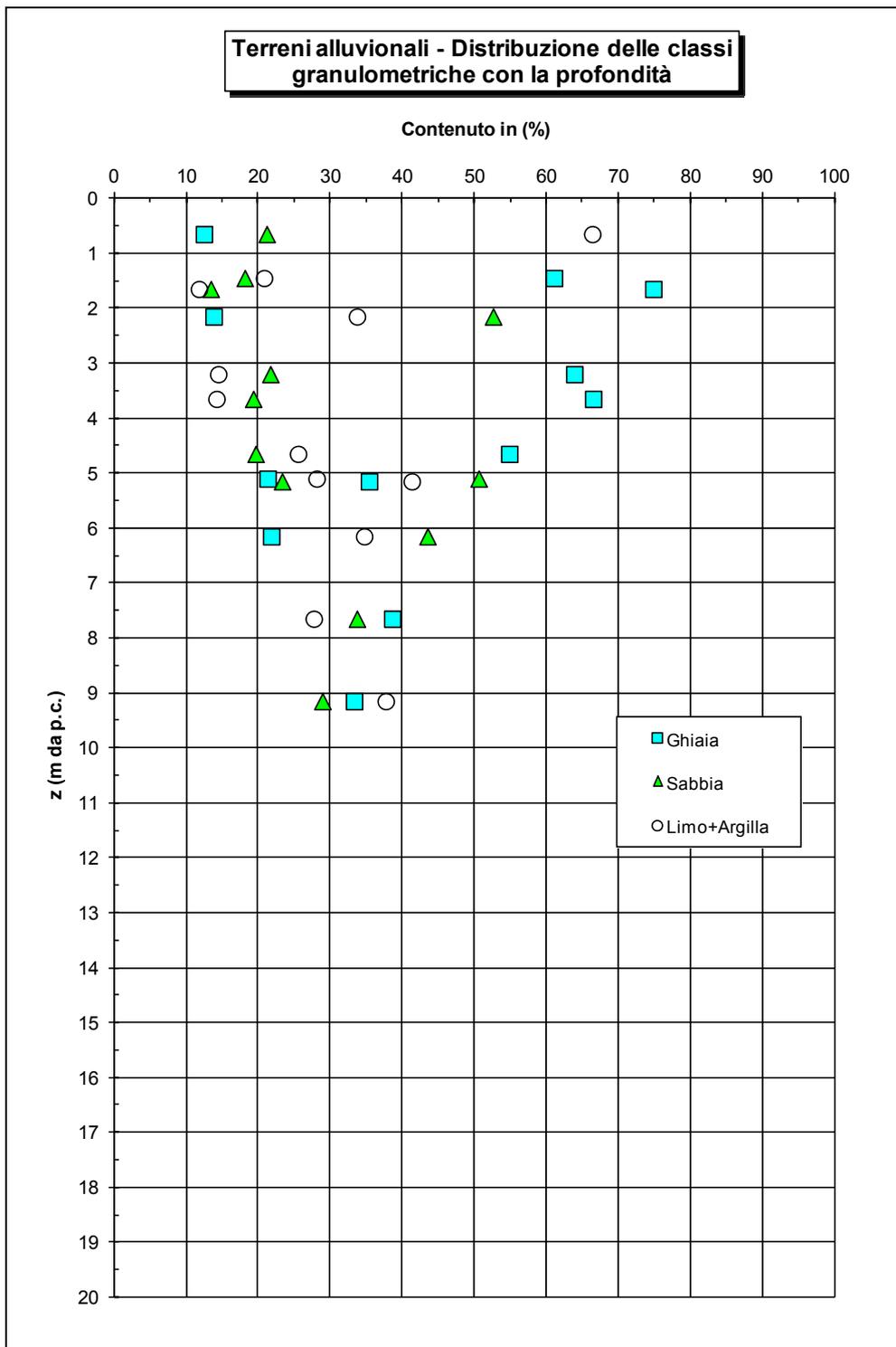
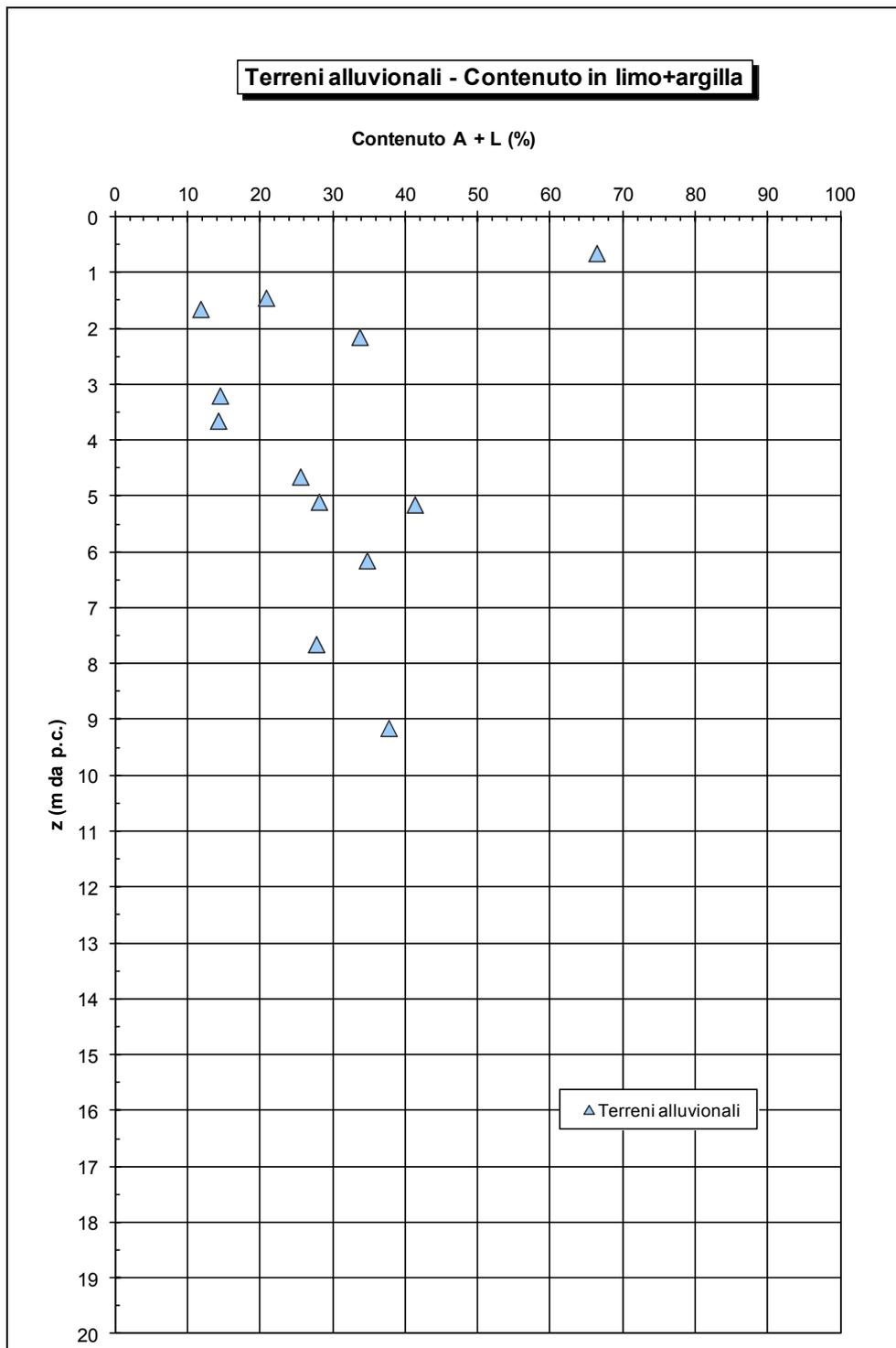
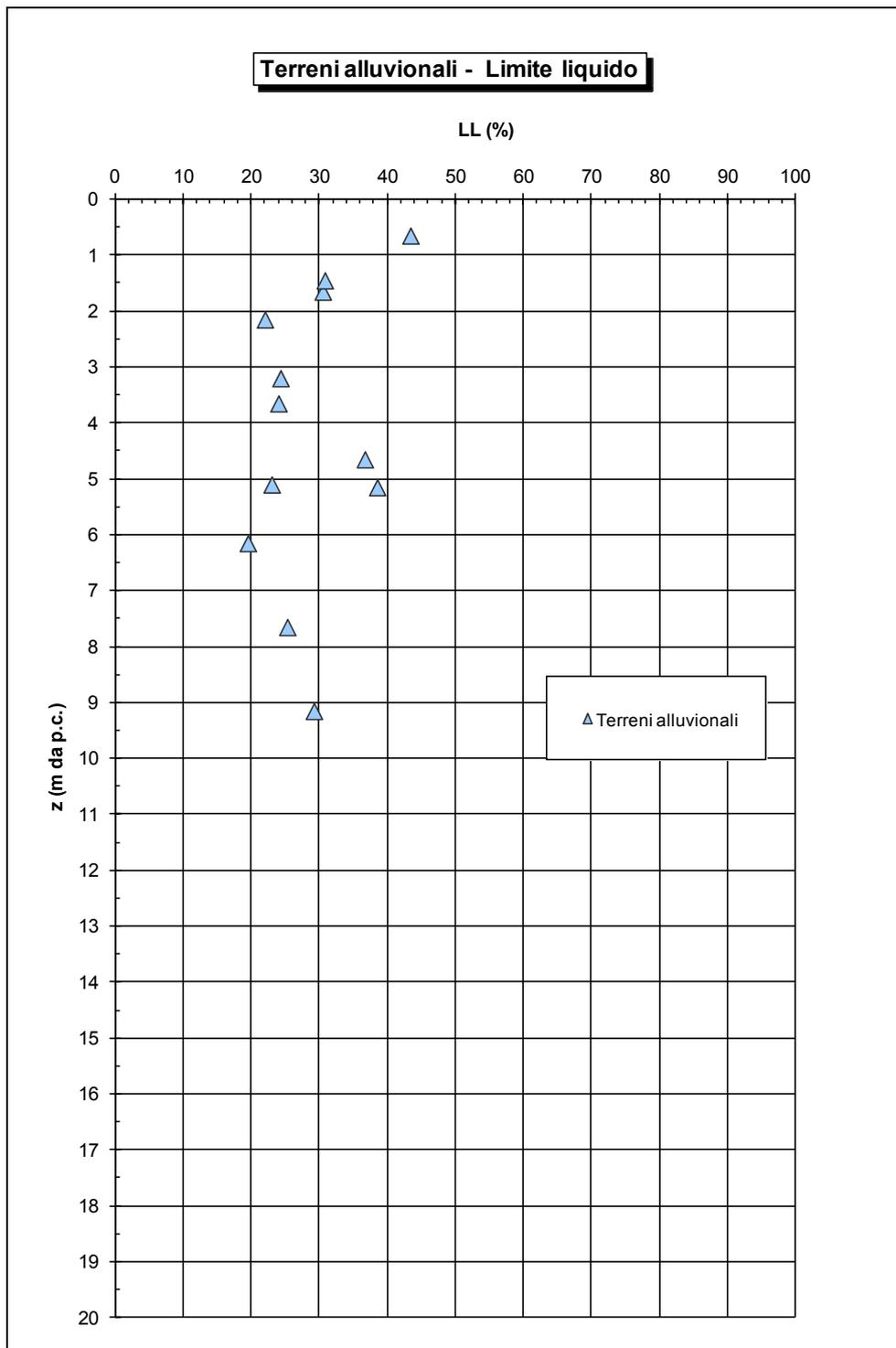


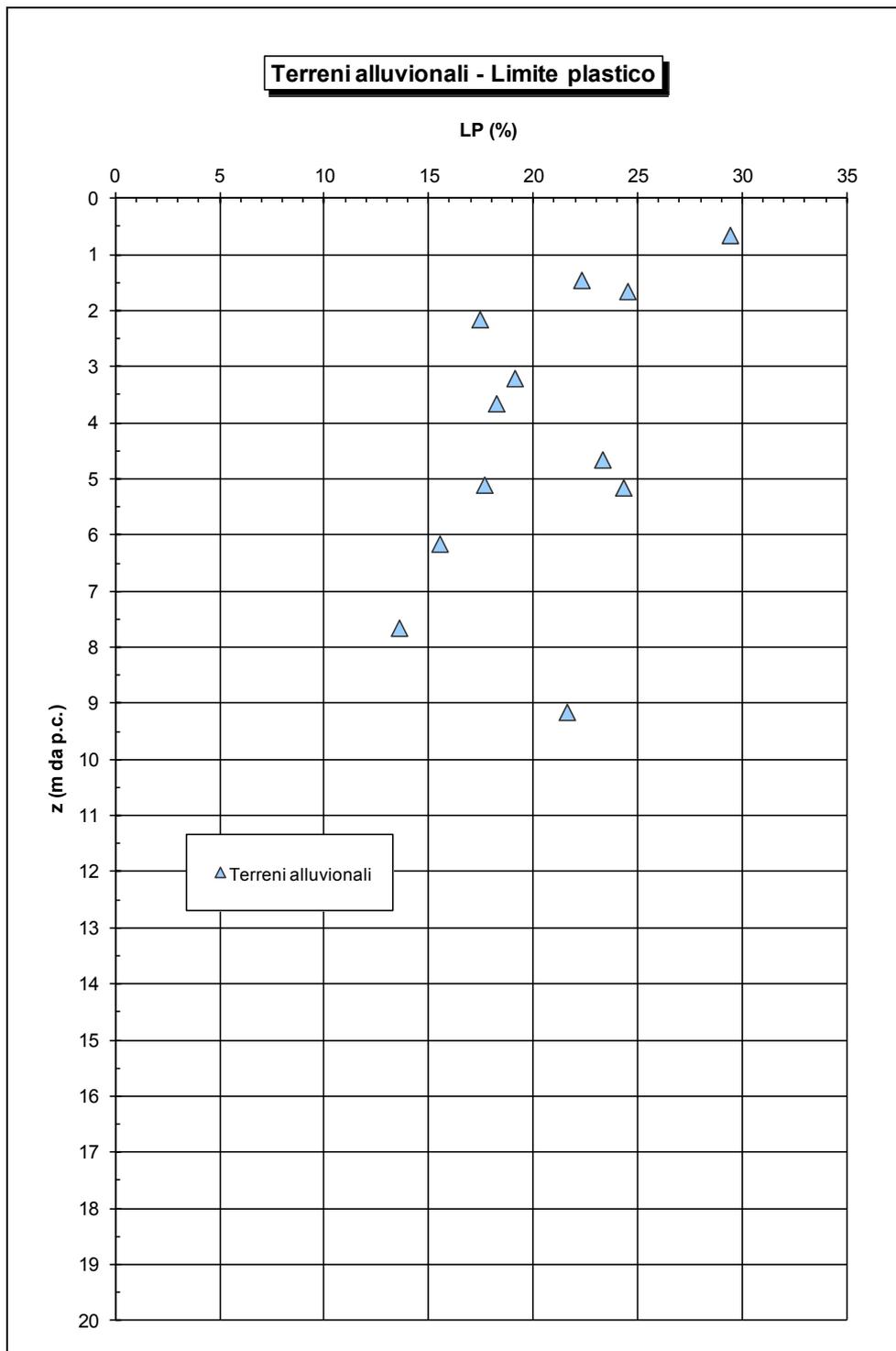
Figura 10.48 - Depositi alluvionali - Classi granulometriche



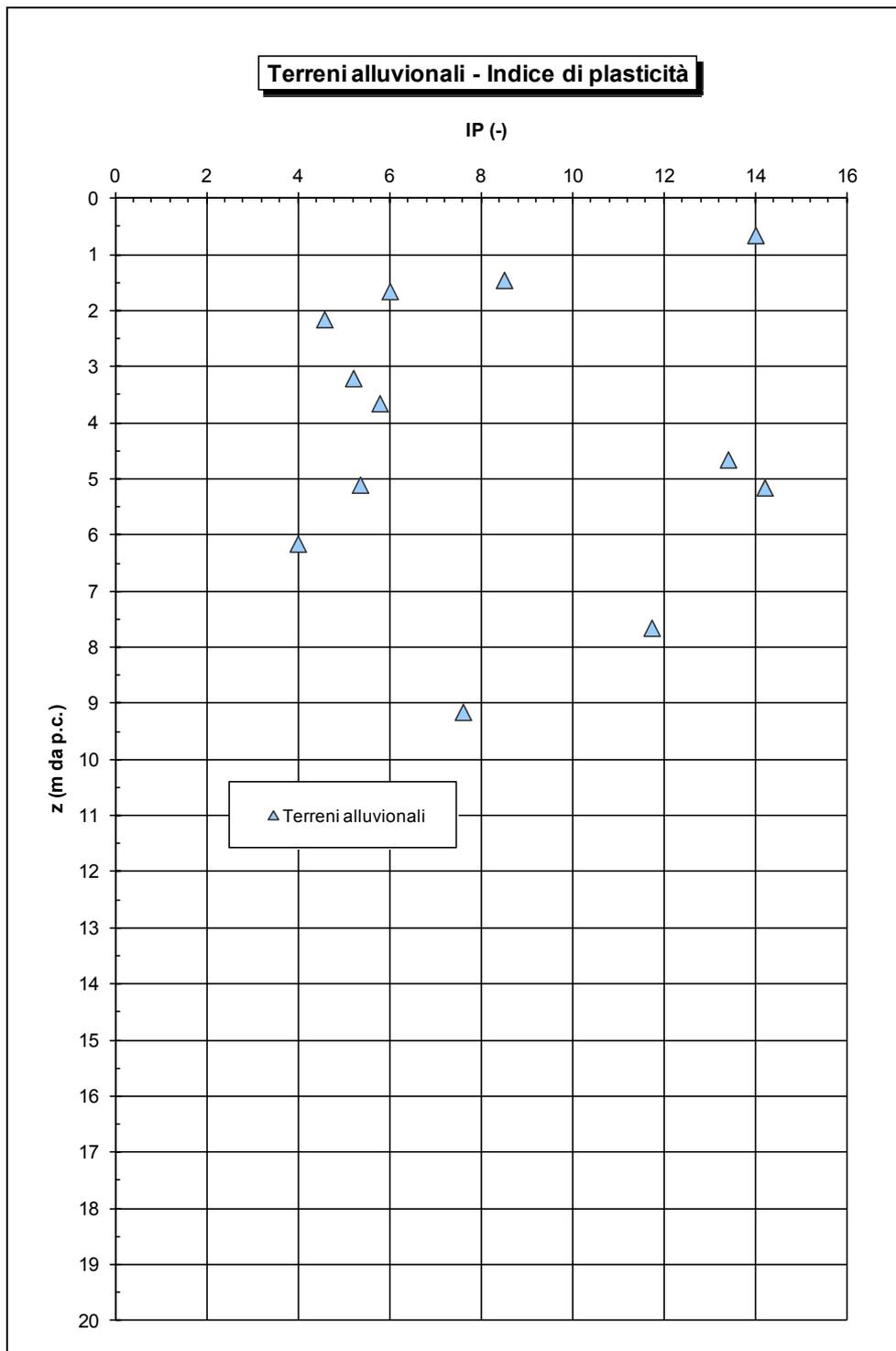
**Figura 10.49 - Depositi alluvionali - Contenuto A+L**



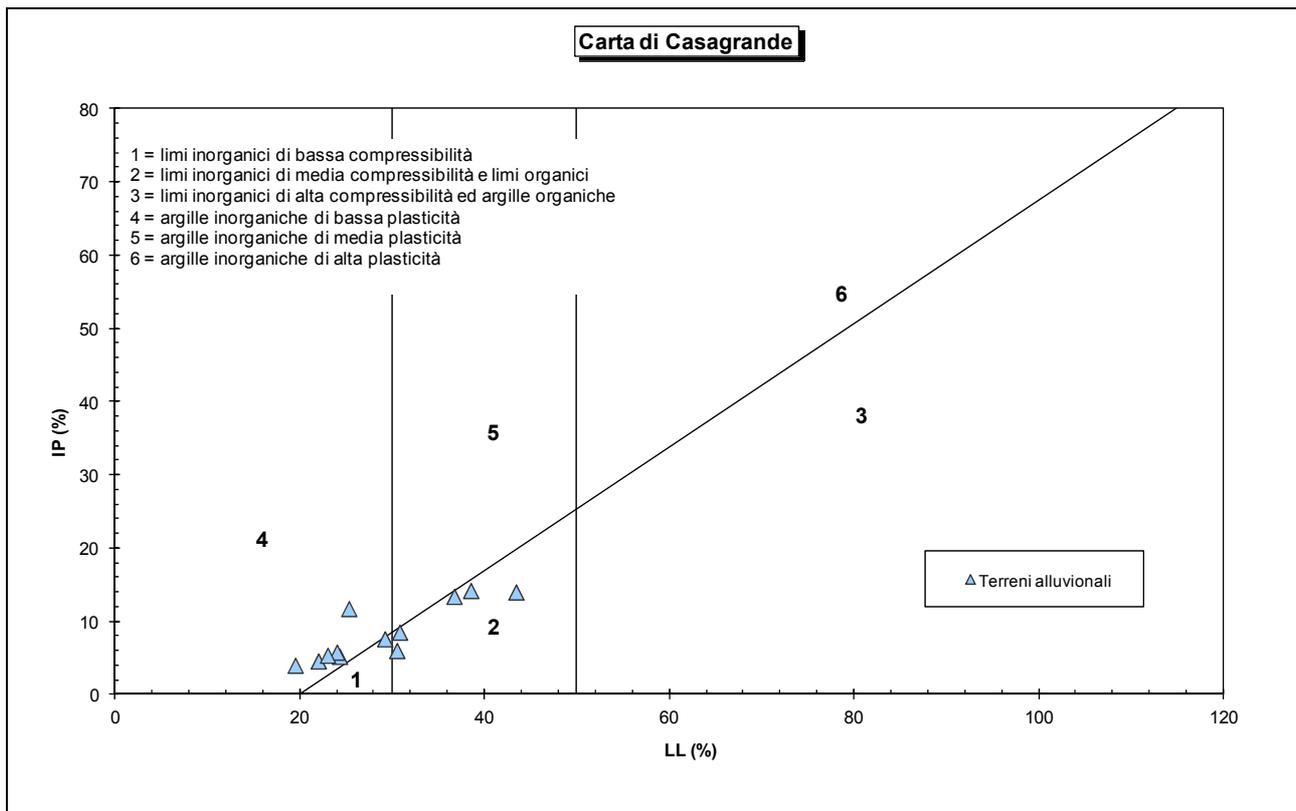
**Figura 10.50 - Depositi alluvionali - Limite liquido**



**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:

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

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

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

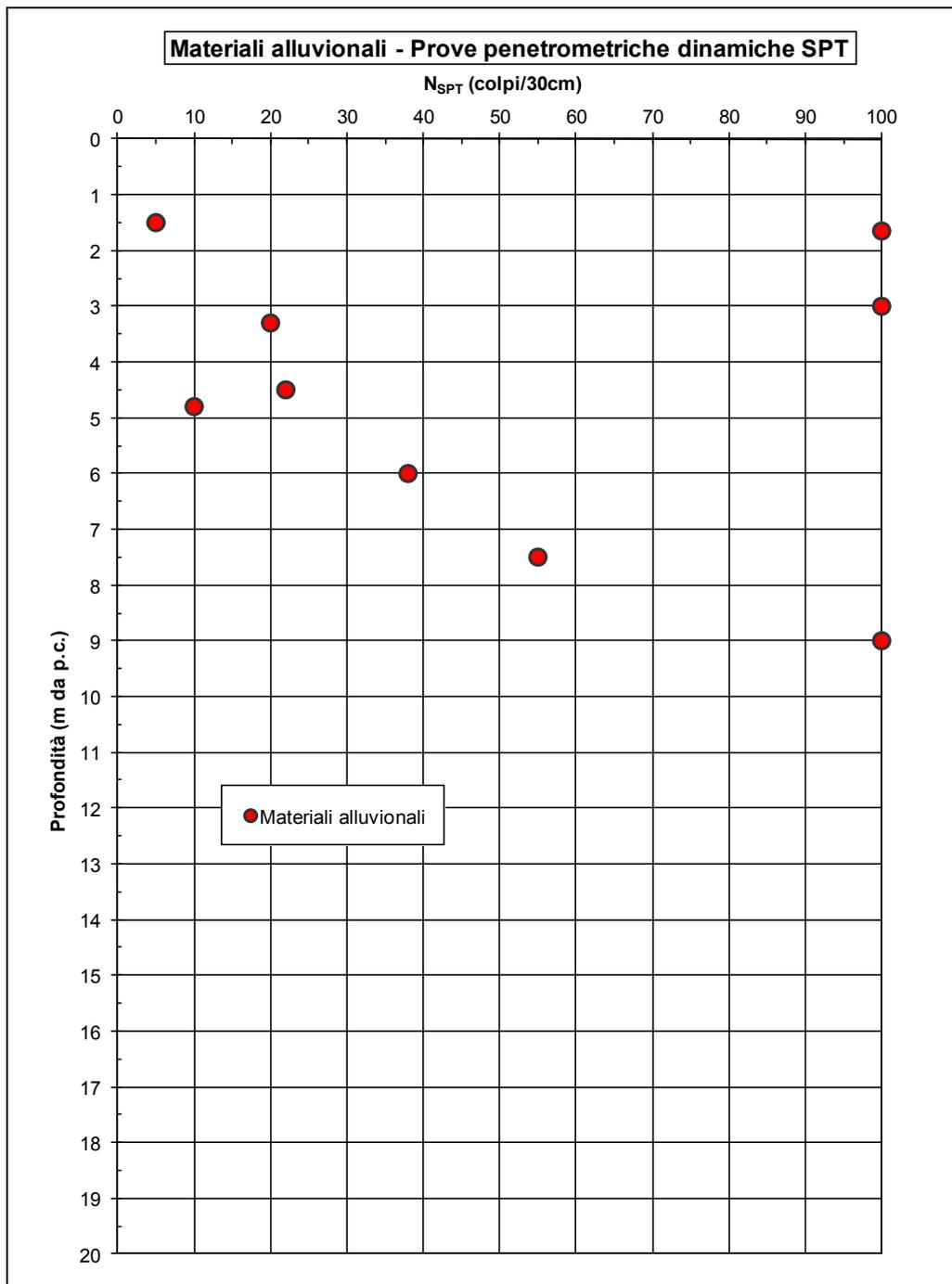
$$E_o = 50 \div 300 \text{ MPa}$$

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

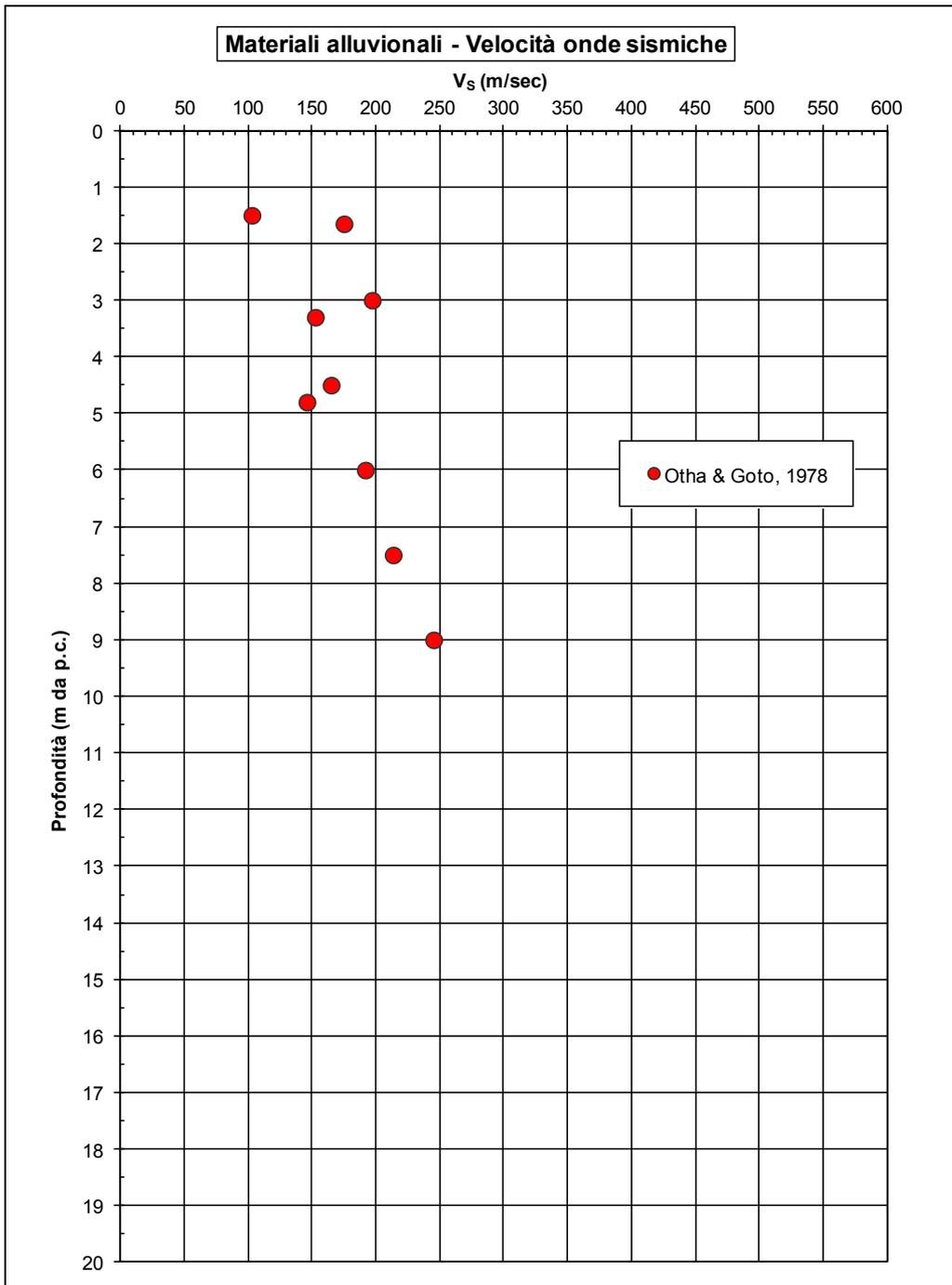
$$D_r \sim 70\%$$

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

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



**Figura 10.54 - Depositi alluvionali - Valori di N<sub>SPT</sub>**



**Figura 10.55 - Depositi alluvionali - Velocità onde sismiche**

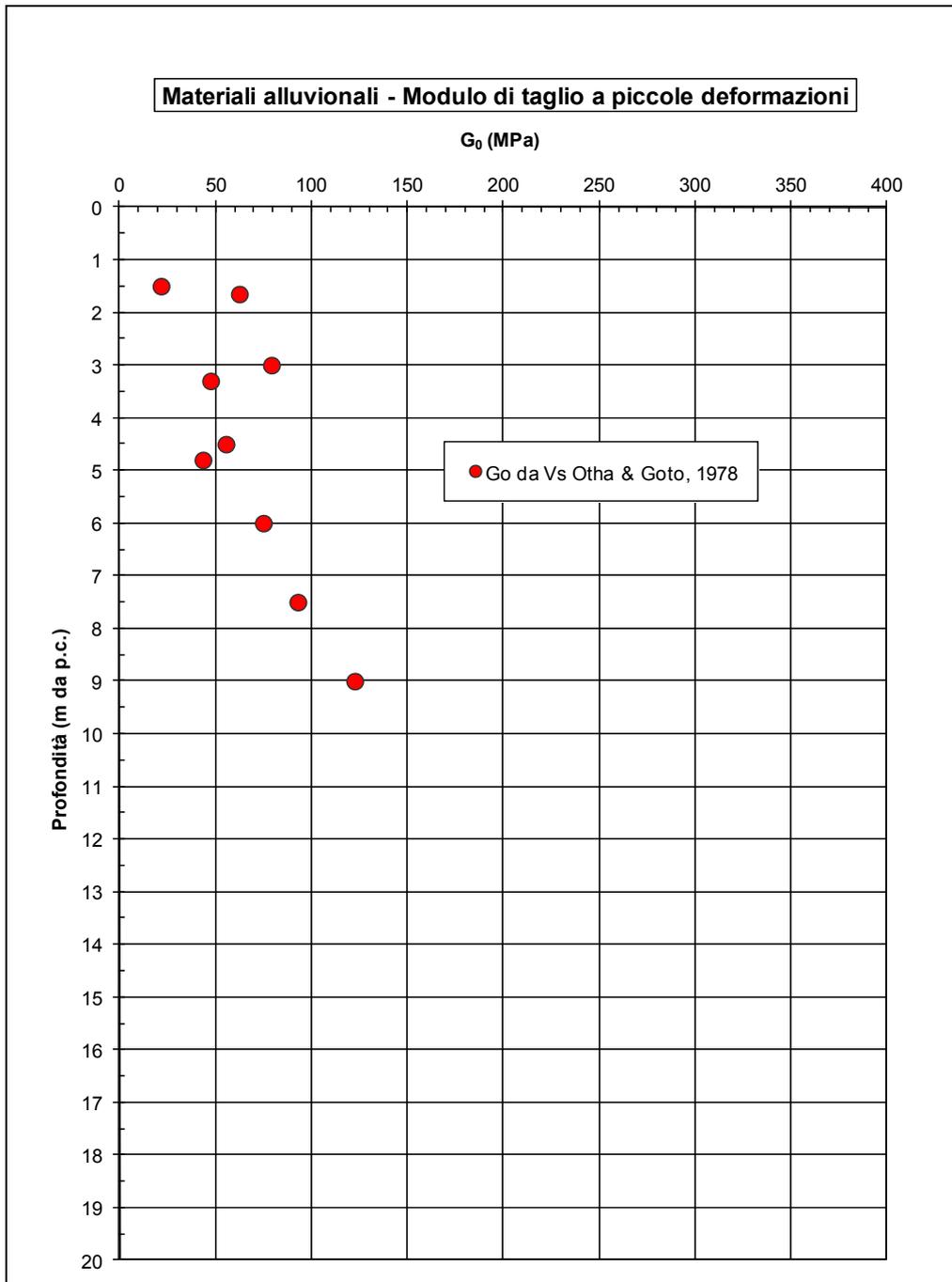


Figura 10.56 - Depositi alluvionali - Modulo di taglio a piccole deformazioni

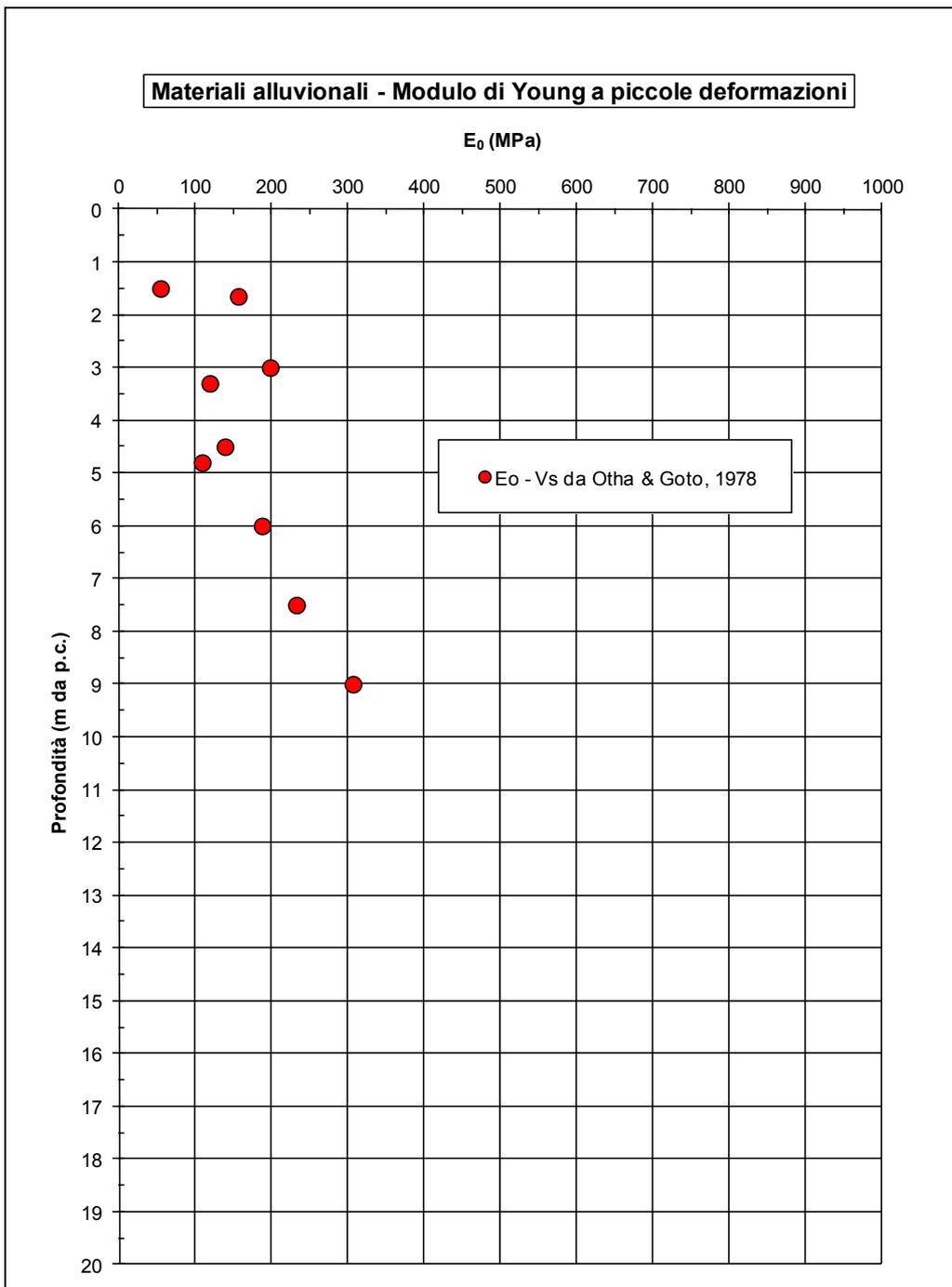
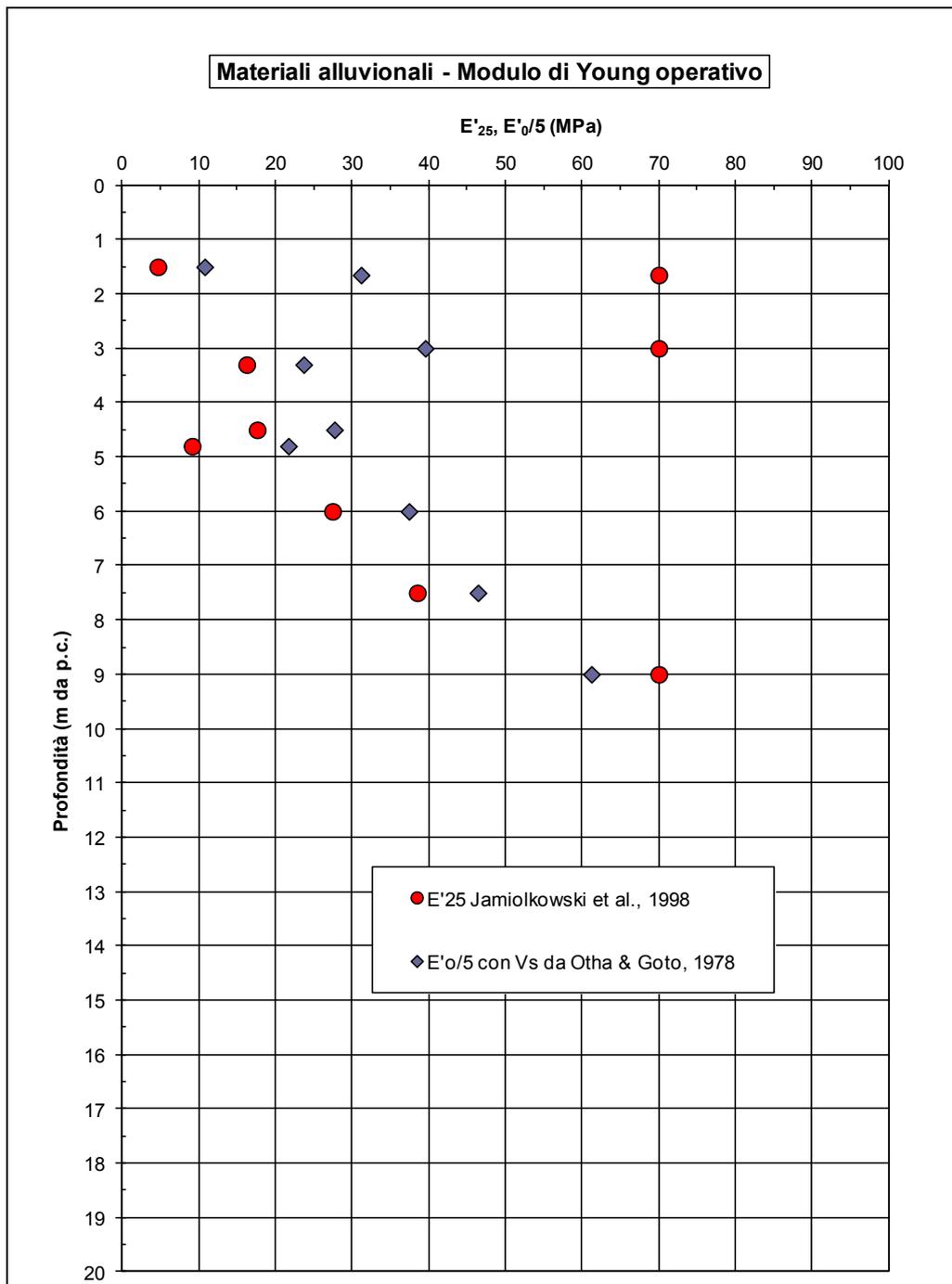


Figura 10.57 - Depositi alluvionali - Modulo di Young a piccole deformazioni



**Figura 10.58 - Depositi alluvionali - Modulo di Young operativo**

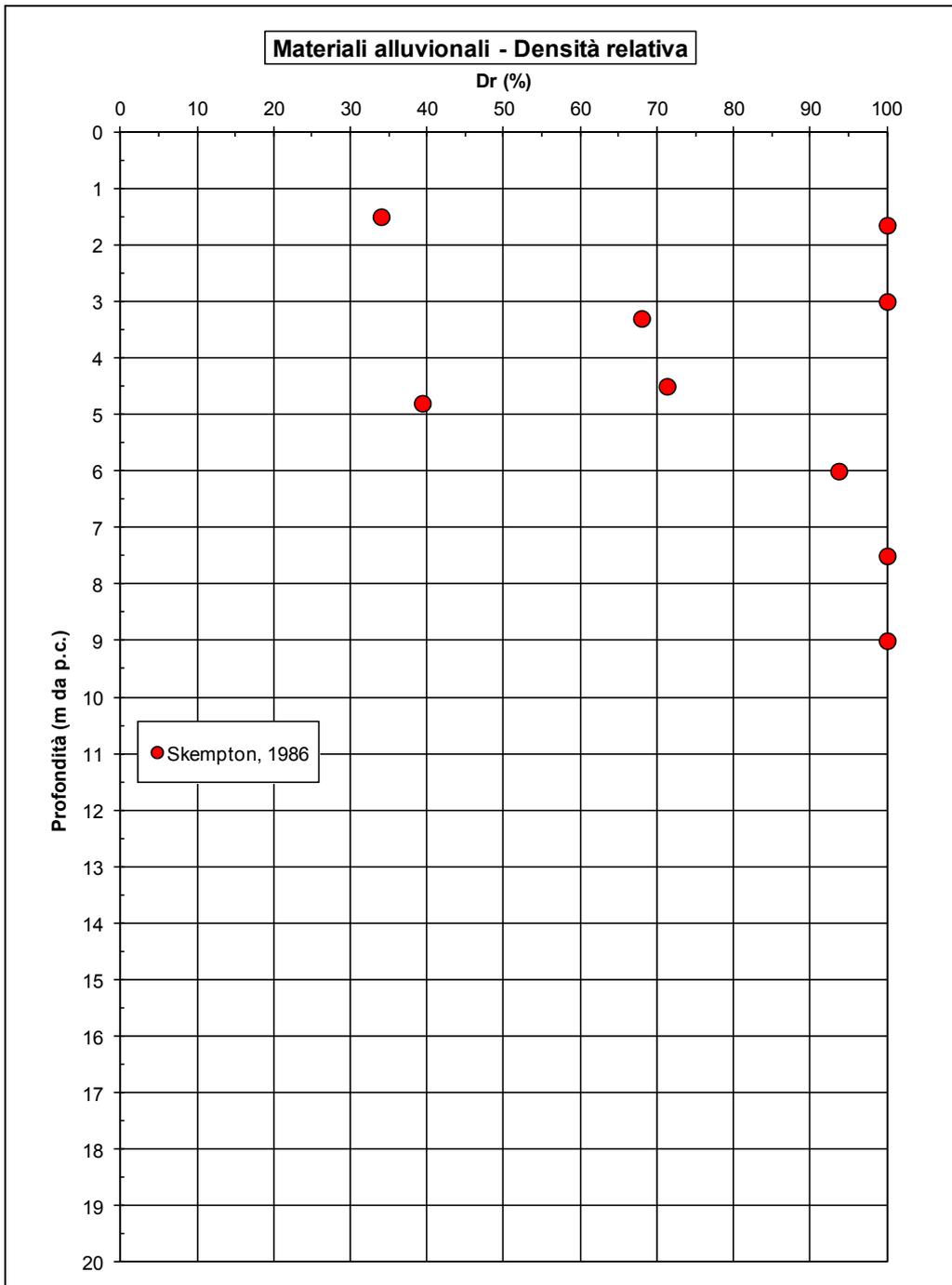
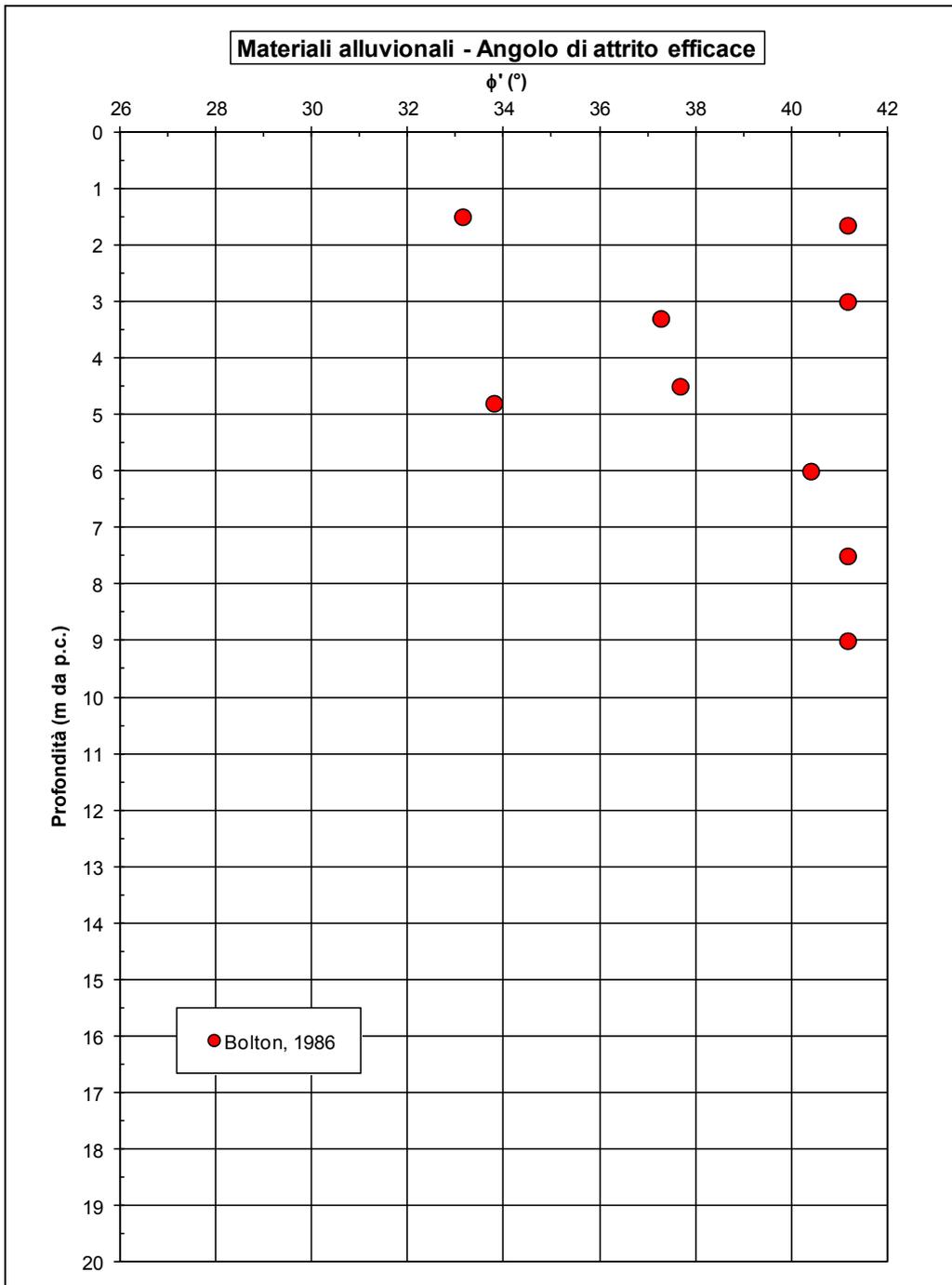


Figura 10.59 - Depositi alluvionali - Densità relativa



**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:

$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	~19.0 ÷ 20.0
$N_{SPT}$ (colpi/30 cm)	5 ÷ 55
$D_r$ (%)	~ 70%
$\phi'$ (°)	33 ÷ 38
$c'$ (kPa)	0.0
$c_u$ (kPa)	-
<b>GSC</b>	~ 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  $\text{CaCO}_3$ . 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 Manganiferi (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 Manganiferi 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  $\gamma_t$  può essere assunto variabile tra  $26 \text{ kN/m}^3$  e  $27 \text{ kN/m}^3$  (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:

$\sigma_c$  (\*) = resistenza compressione monoassiale

$I_{s50}$  = Point Load Index normalizzato

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

$\sigma_T$  = resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)

$E_{t50}$  = modulo di Young tangente

MR = rapporto di modulo ( $E_{t50}/\sigma_c$ )

$\nu$  = 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	
<b>Compressione semplice laboratorio</b>			
	media	81	
	min	46	
	max	116	
<b>da Point Load</b>			
	diametrico	assiale	
	media	51	64
	min	34	46
	max	69	83
<b>Rilievo geomeccanico</b>		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 FB1bis-FB1ter		Campagna 2011		Formazione FAN		
		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
<b>Sondaggi di riferimento</b>	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:



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  $\sigma_c$  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.

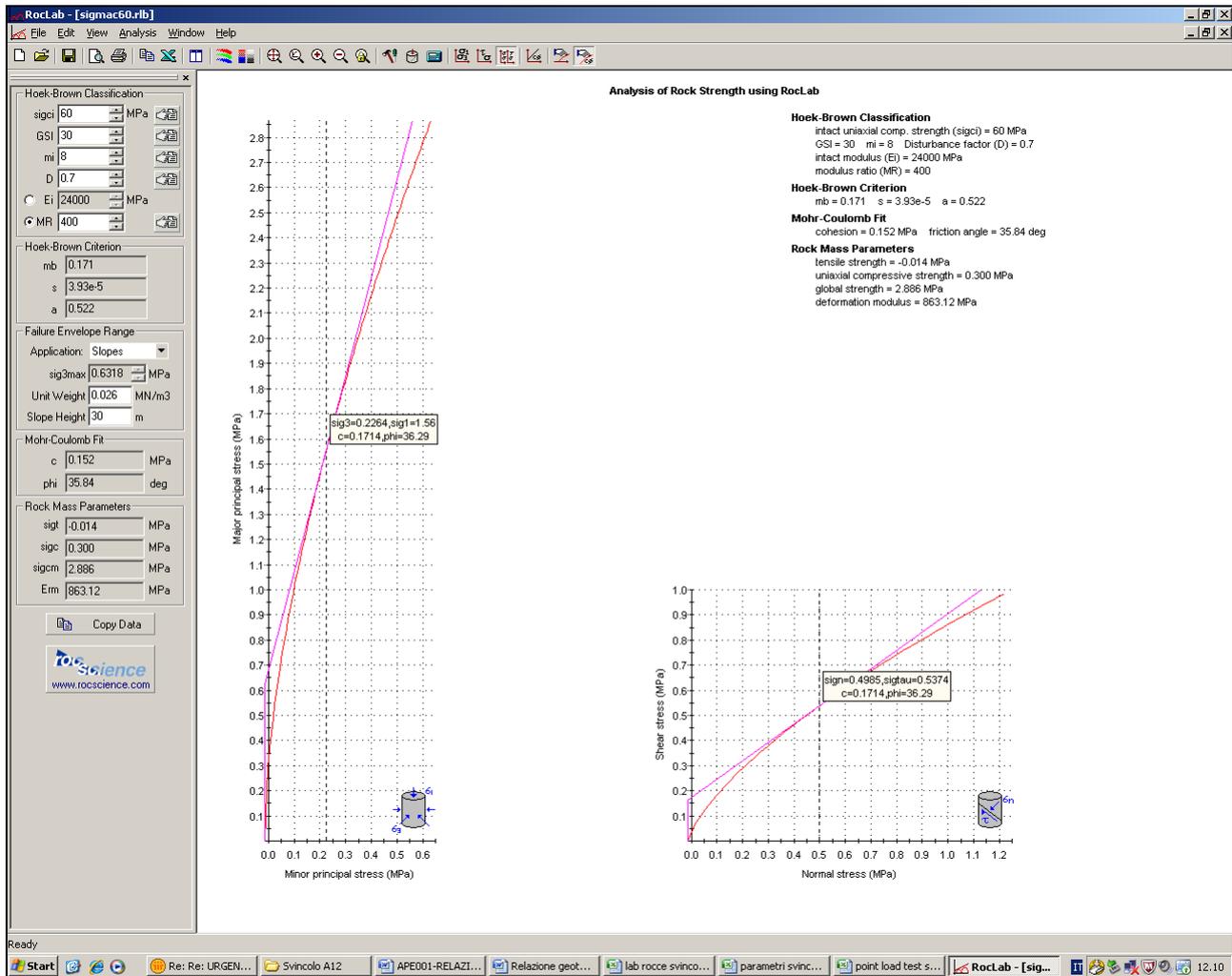


Figura 11.1 - Formazione FAN Svincolo A12 - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso fessurato / alterato

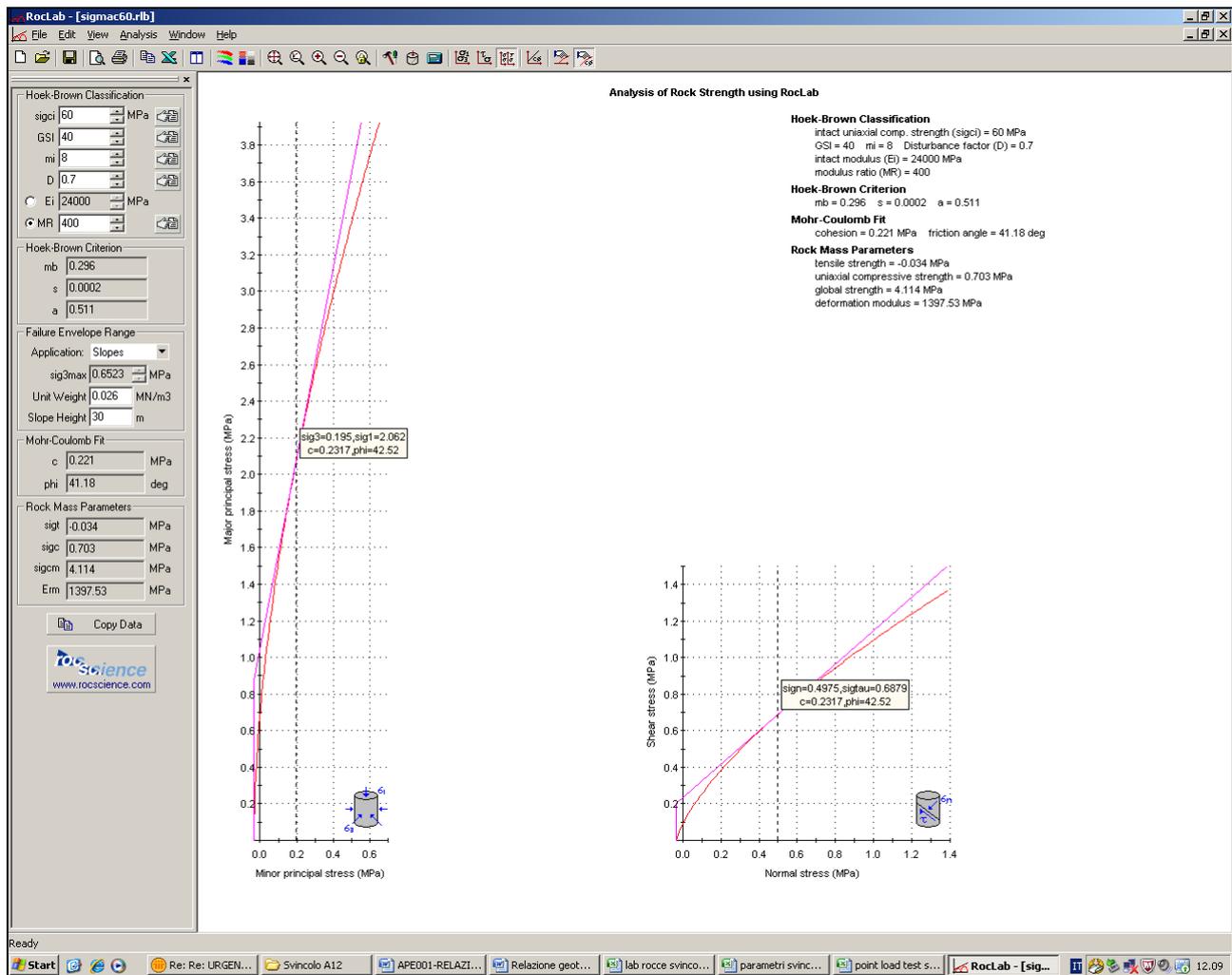


Figura 11.2 - Formazione FAN Svincolo A12 - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso compatto

### 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  $\sigma_c$ , 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.

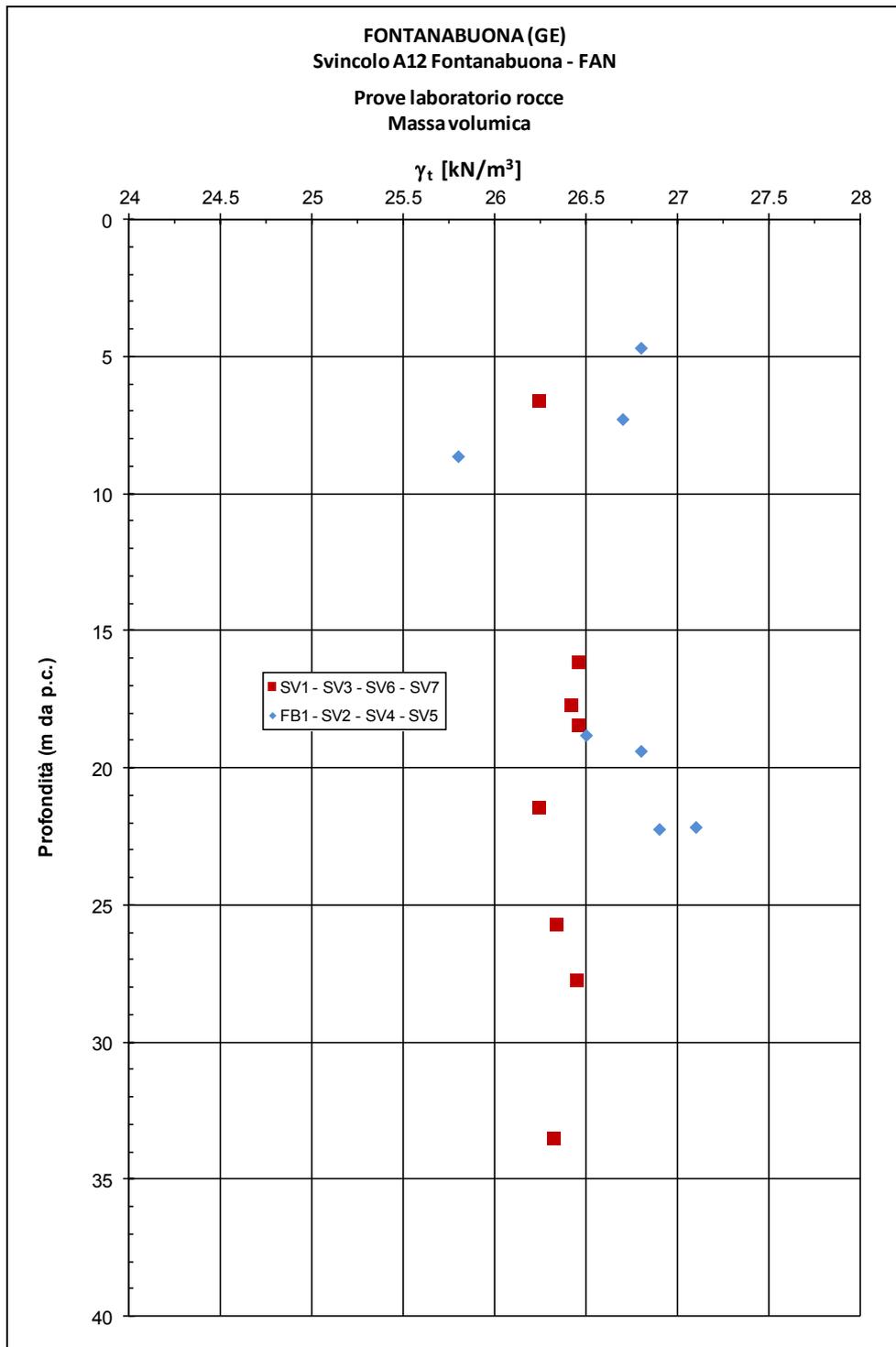
	Matrice lapidea		Ammasso roccioso compatto	Ammasso roccioso fessurato/alterato
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	26 ÷ 27	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	26 ÷ 27	
$\sigma_c$ (MPa) (*)	45 ÷ 115	RMR <sub>89</sub> (-)	35 ÷ 45	
I <sub>s50</sub> (MPa)	2.0 ÷ 3.0	GSI (-)	40	25-30
$\sigma_c$ (MPa) (**)	diametrale 50 assiale 65	JRC (-)	4	
$\sigma_T$ (MPa)		JCS (MPa)	40 ÷ 65	
E <sub>t50</sub> (GPa)	15 ÷ 50	k (m/s)	1·10 <sup>-7</sup> ÷ 5·10 <sup>-6</sup>	
MR (-)	200 ÷ 900	E <sub>d</sub> (GPa)	5 ÷ 10	
V <sub>p</sub> (m/s)	3000 - 6500	E <sub>u</sub> (GPa)	10 ÷ 15	
V <sub>s</sub> (m/s)	1500 - 3500	E <sub>op</sub> D=0.5 (GPa)	2.0 ÷ 5.0	
E <sub>din</sub> (GPa)	20 ÷ 80	E <sub>op</sub> D=1.0 (GPa)		0.8 ÷ 2.0
G <sub>din</sub> (GPa)	5 ÷ 30	c (kPa)	200 ÷ 220 ( $\sigma=0.5$ MPa)	80 ÷ 100 ( $\sigma=0.2$ MPa) 150 ÷ 170 ( $\sigma=0.5$ MPa)
$\nu$ (-)	0.25	$\phi$ (°)	40 ( $\sigma=0.5$ MPa)	42 ÷ 44 ( $\sigma=0.2$ MPa) 36 ( $\sigma=0.5$ MPa)
m <sub>i</sub> (-)	8	m <sub>b</sub> (-)	≈ 0.296	≈ 0.171
m <sub>b</sub>		s (-)	≈ 0.0002	≈ 3.93·10 <sup>-5</sup>
s		a (-)	0.511	0.522
a (-)		$\Phi_{p,joint}$ (°), c <sub>p,joint</sub> (kPa)		
		$\Phi_{r,joint}$ (°), c <sub>r,joint</sub> (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:**

- $\gamma_t$  = 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 ( $E_{t50}/s_c$ )
- $\nu$  = 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)
- RMR<sub>89</sub> = 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)
- $\phi$  = angolo di attrito (criterio di rottura di Hoek & Brown)
- $\sigma$  = pressione di confinamento



**Figura 11.3 - Formazione FAN Svincolo A12 - Peso di volume**

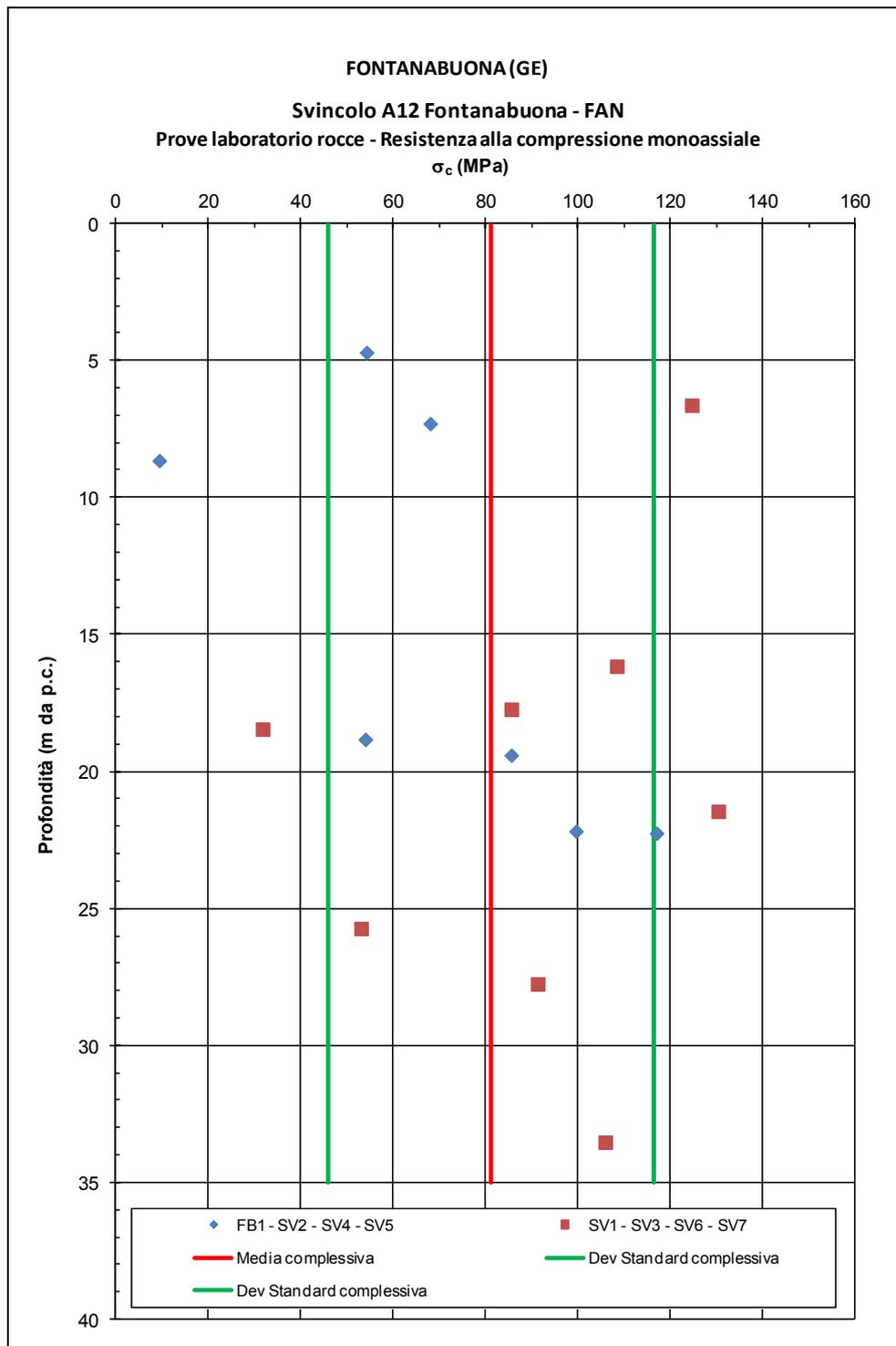
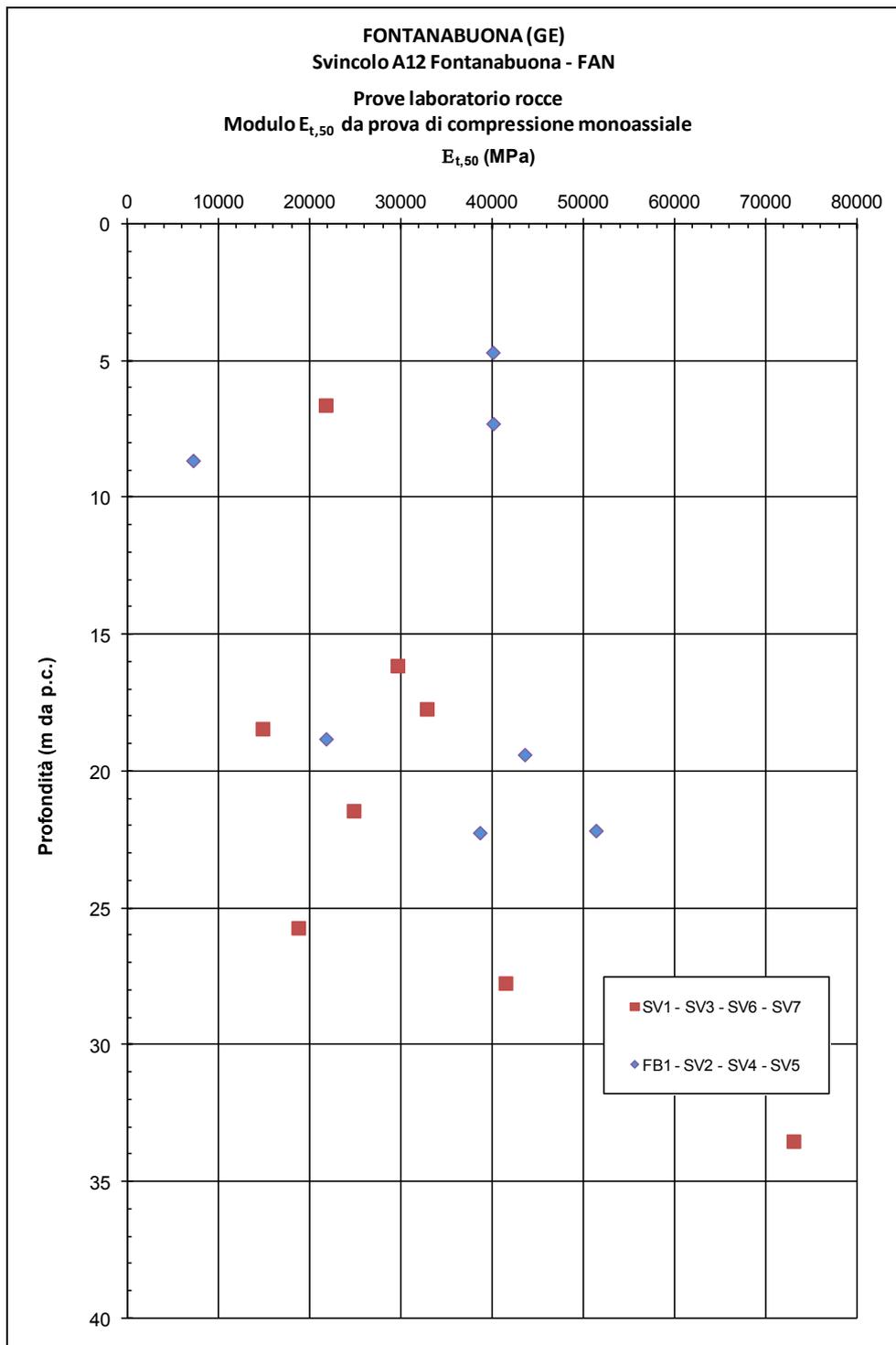


Figura 11.4 - Formazione FAN Svincolo A12 – Resistenza a compressione monoassiale



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

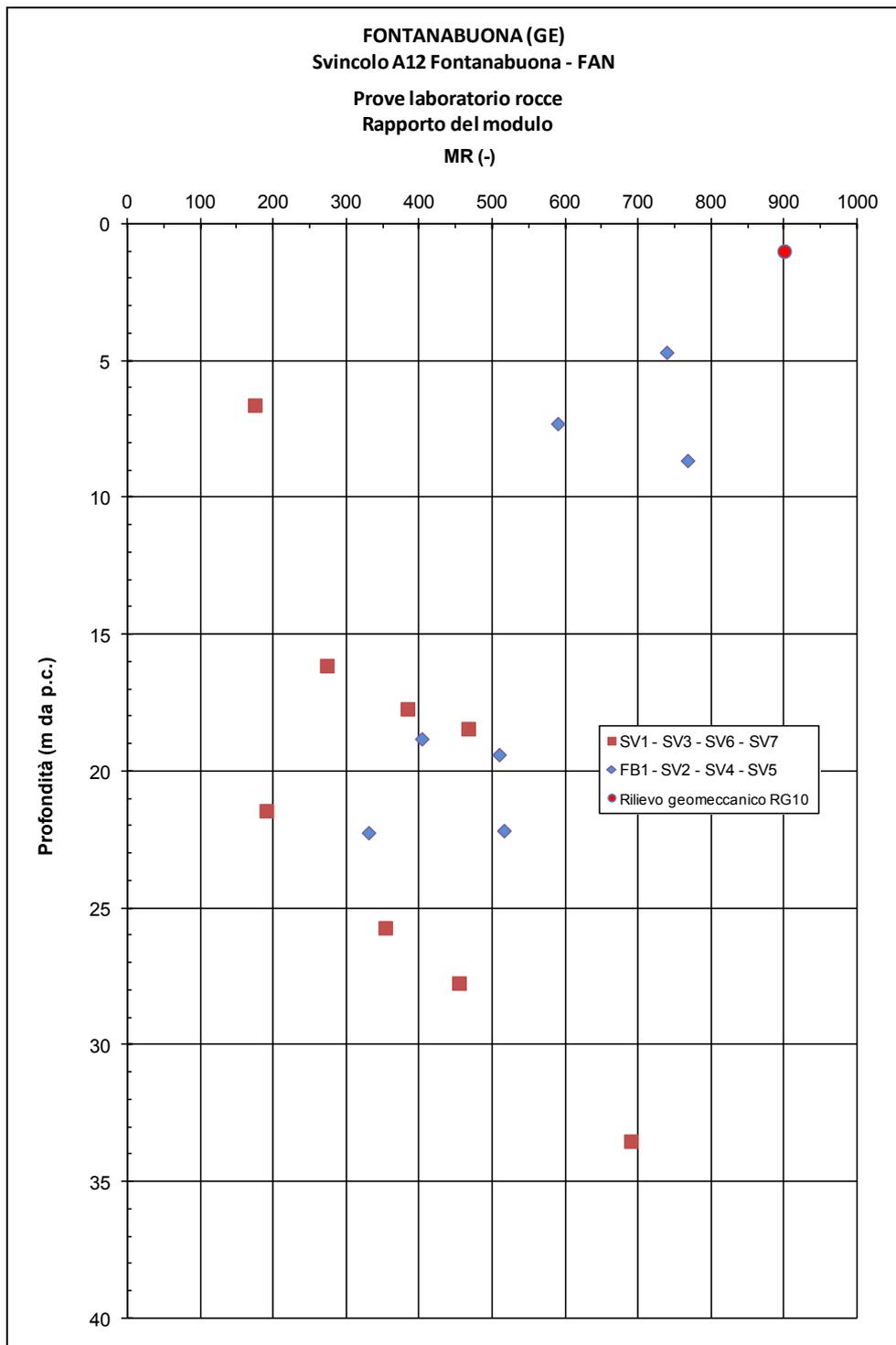


Figura 11.6 - Formazione FAN Svincolo A12 - Rapporto del modulo MR

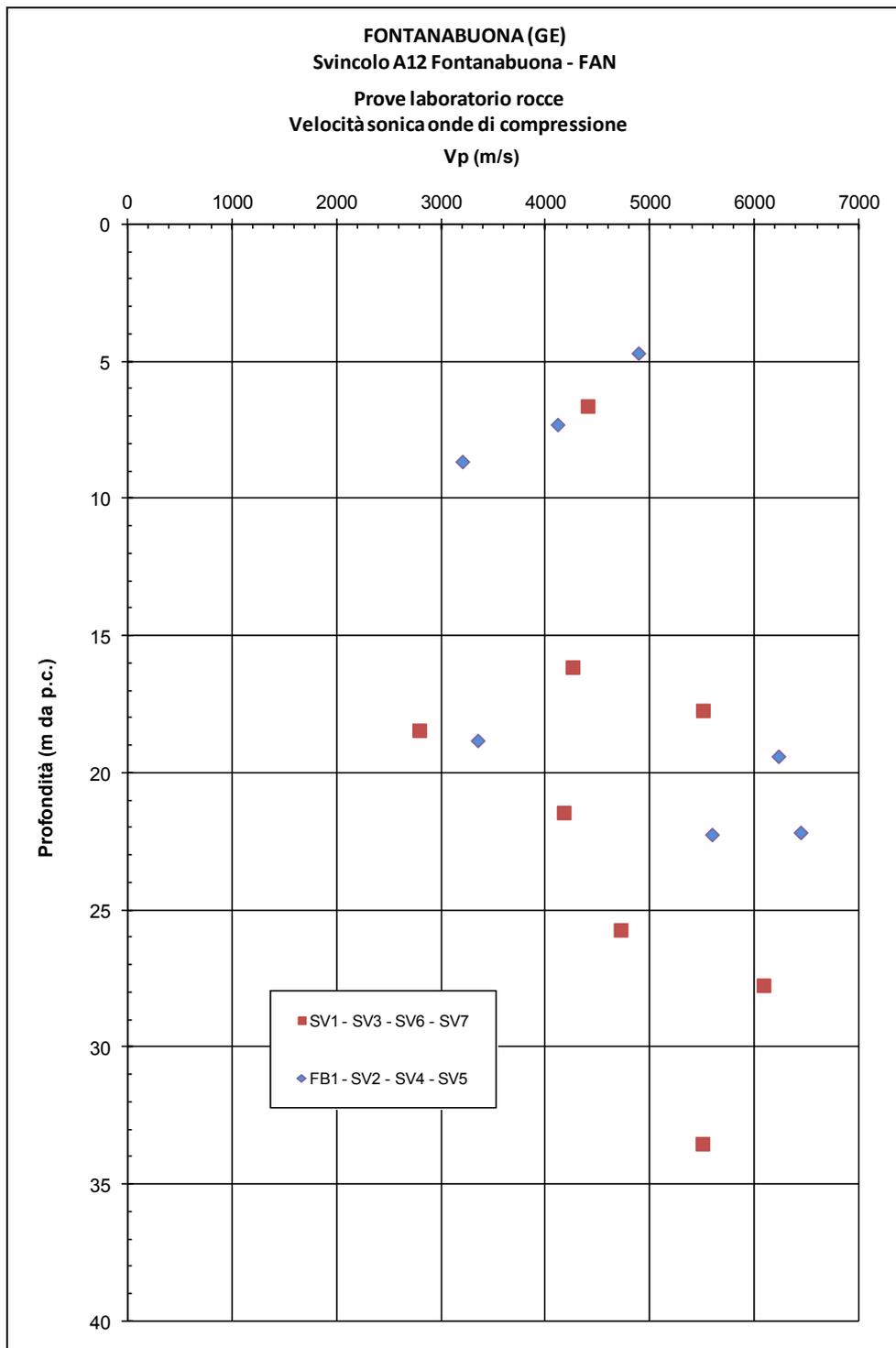


Figura 11.7 - Formazione FAN Svincolo A12 - Velocità sonica onde di compressione

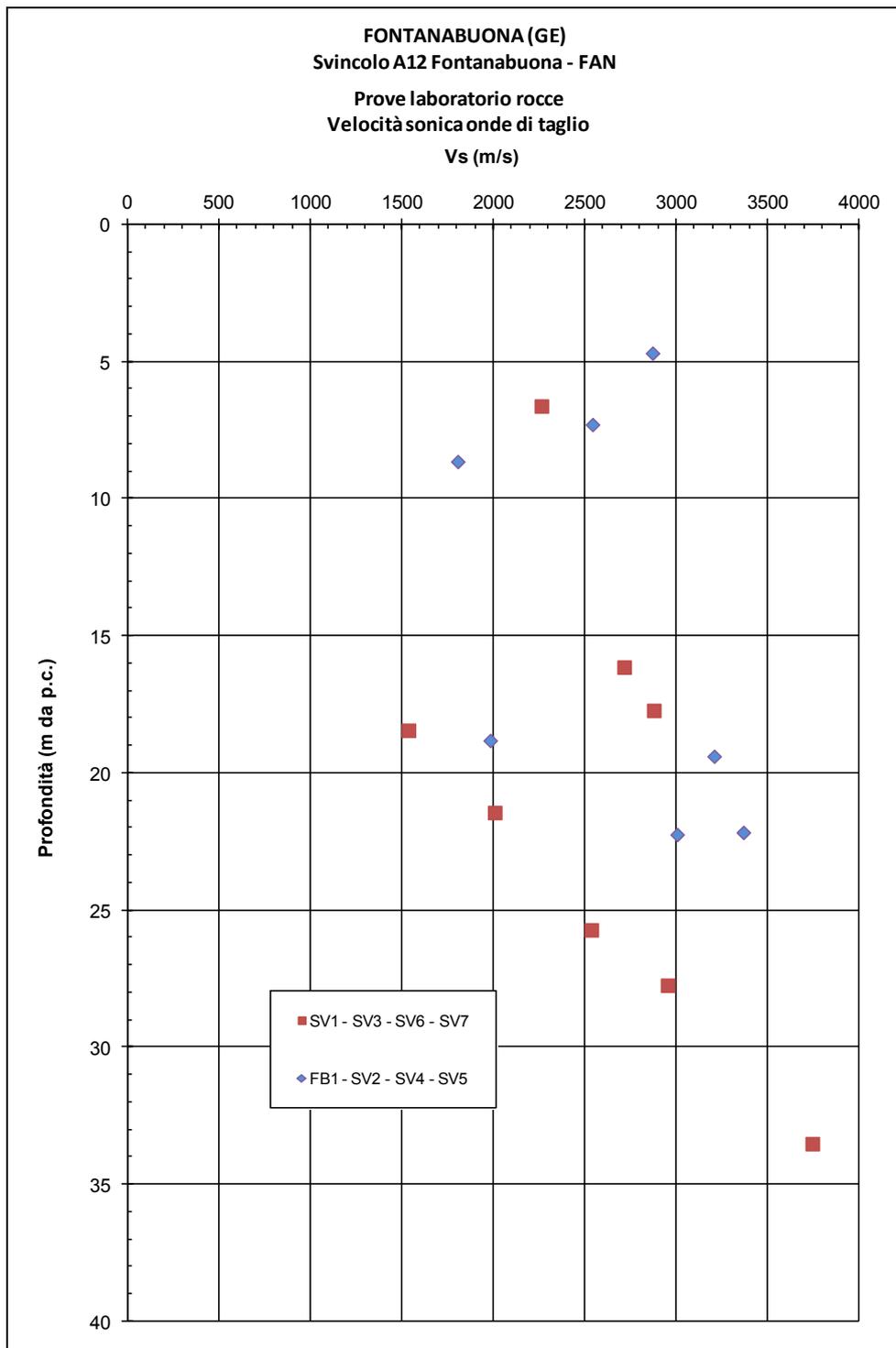
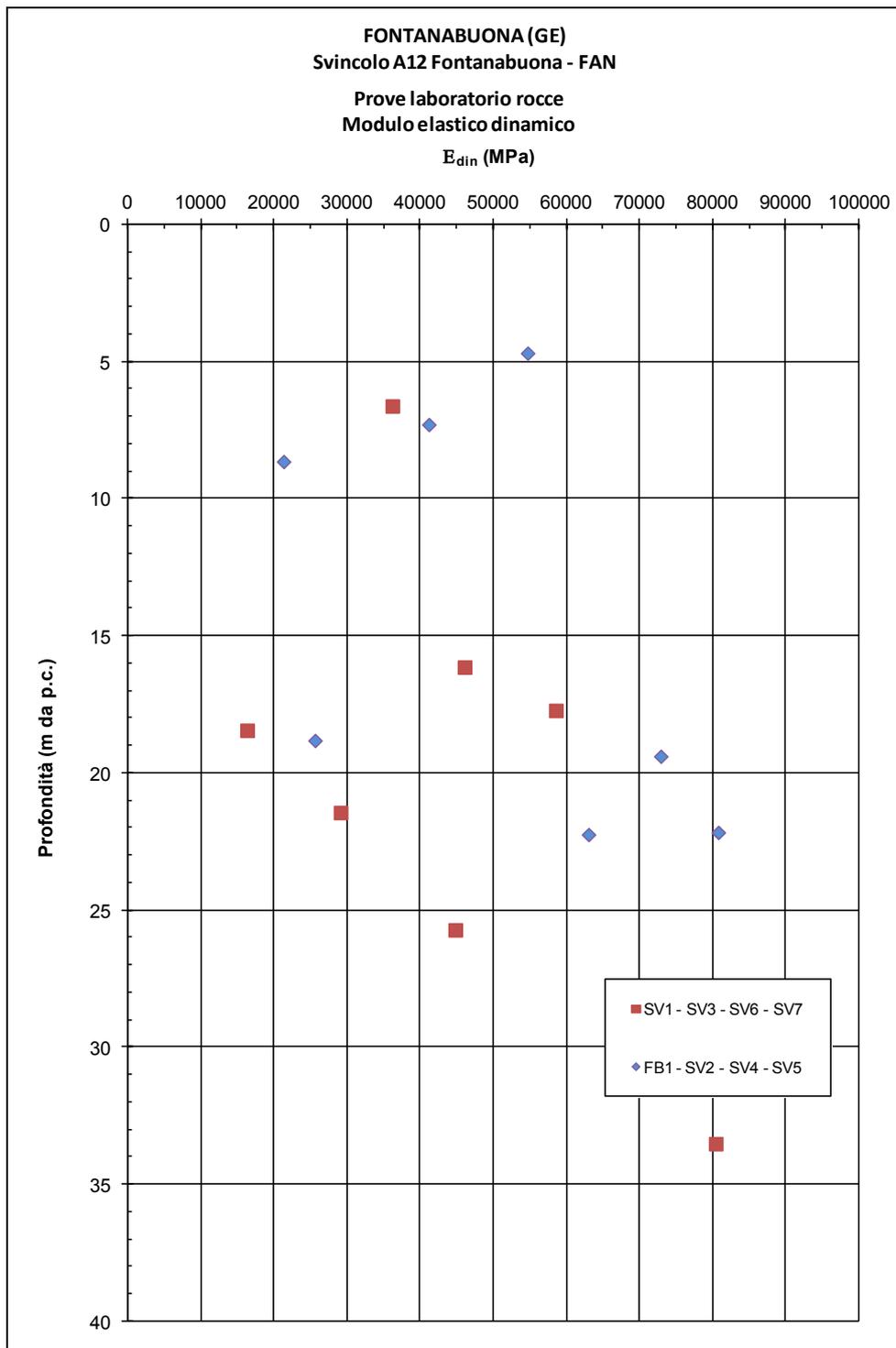


Figura 11.8 - Formazione FAN Svincolo A12 - Velocità sonica onde di taglio



**Figura 11.9 - Formazione FAN Svincolo A12 - Modulo elastico dinamico**

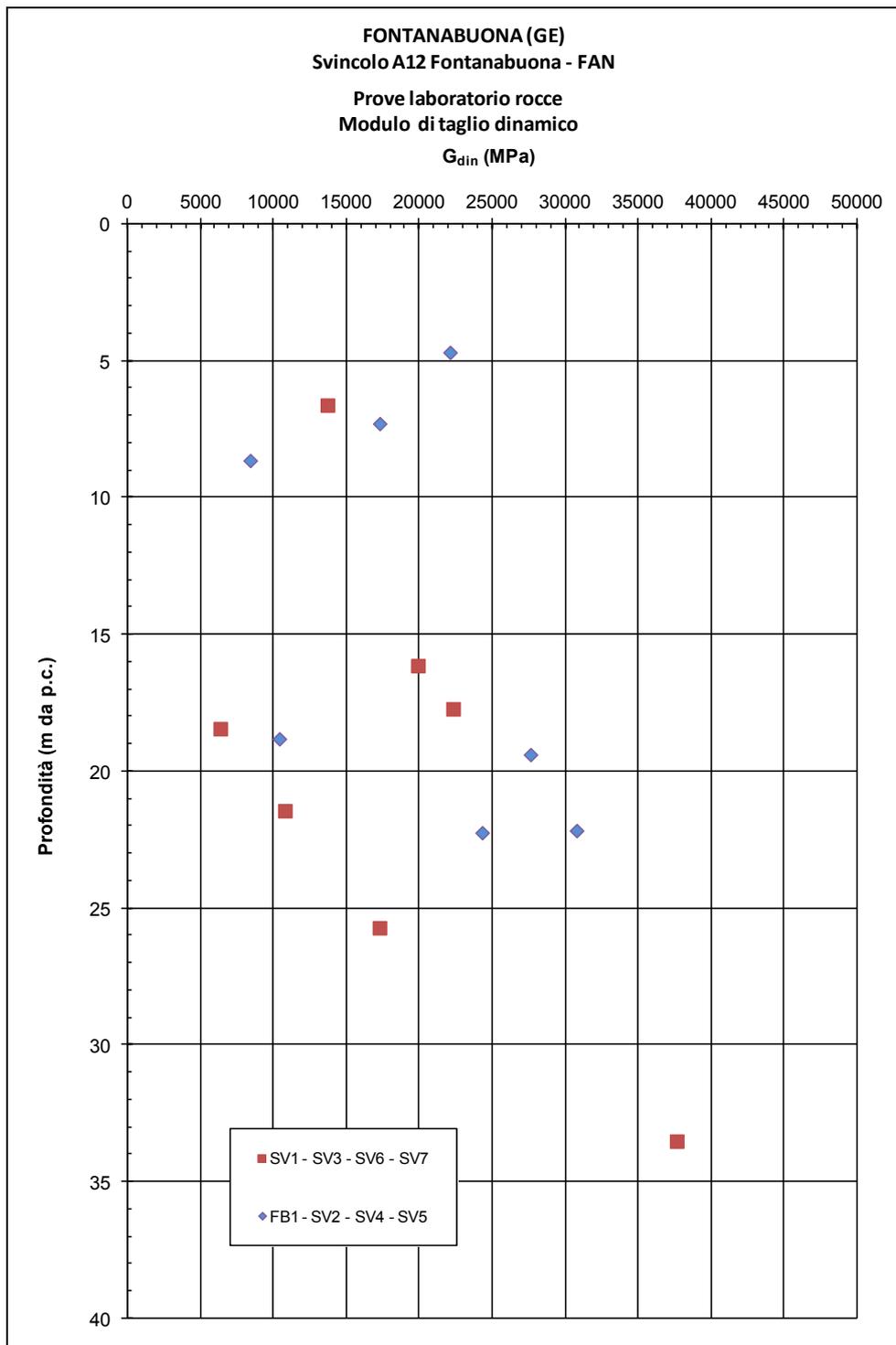
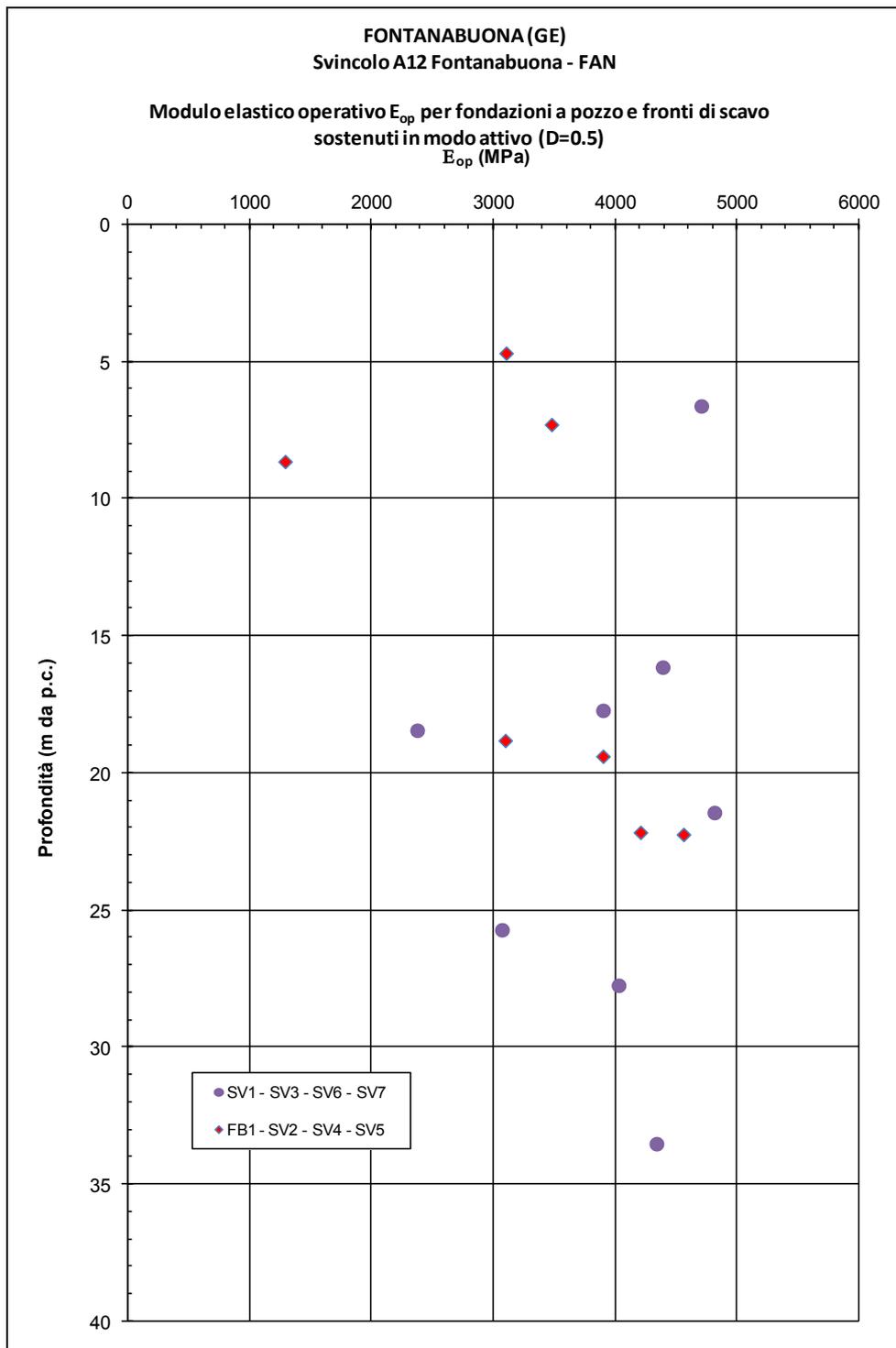
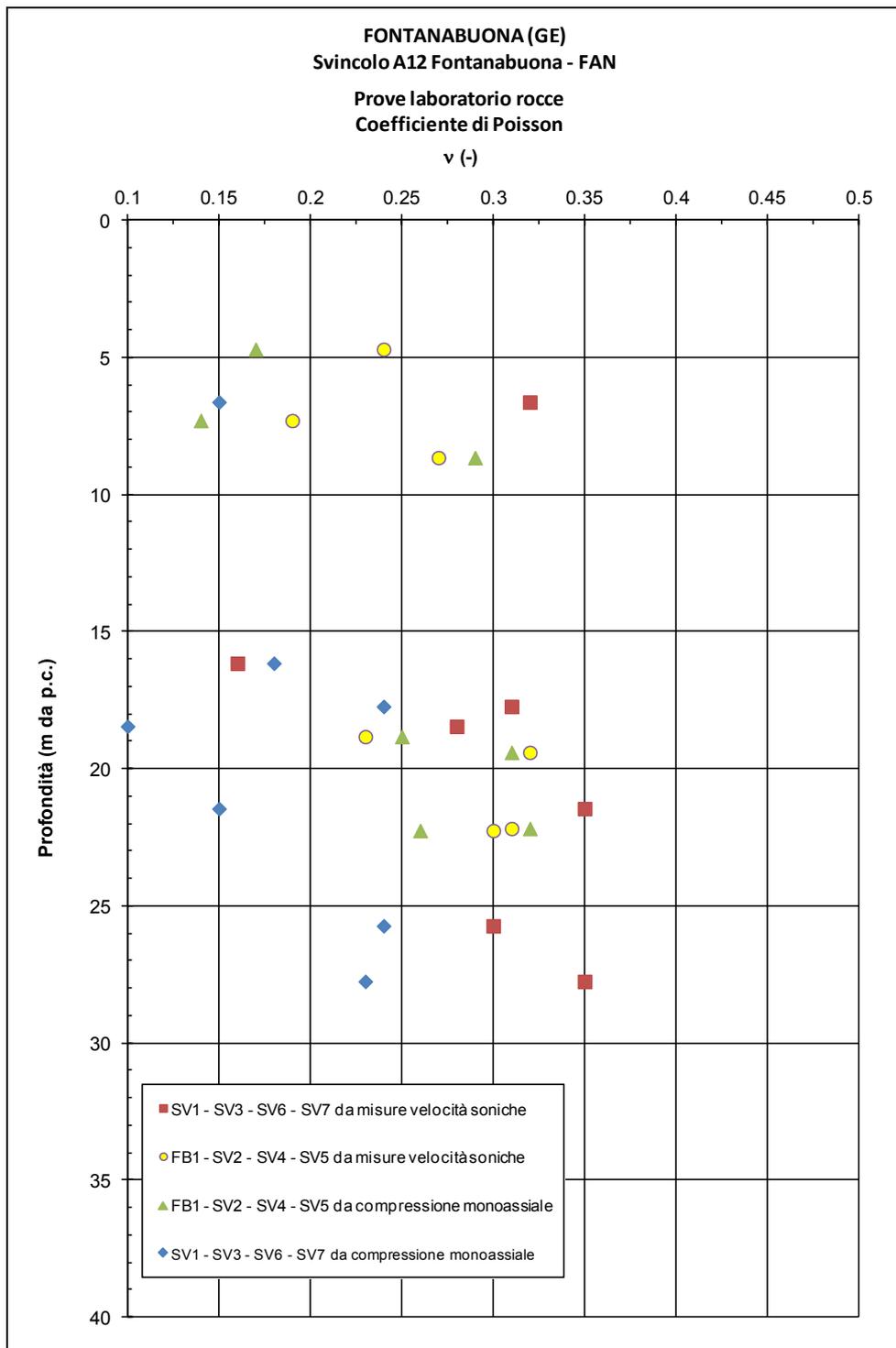


Figura 11.10 - Formazione FAN Svincolo A12 - Modulo di taglio dinamico

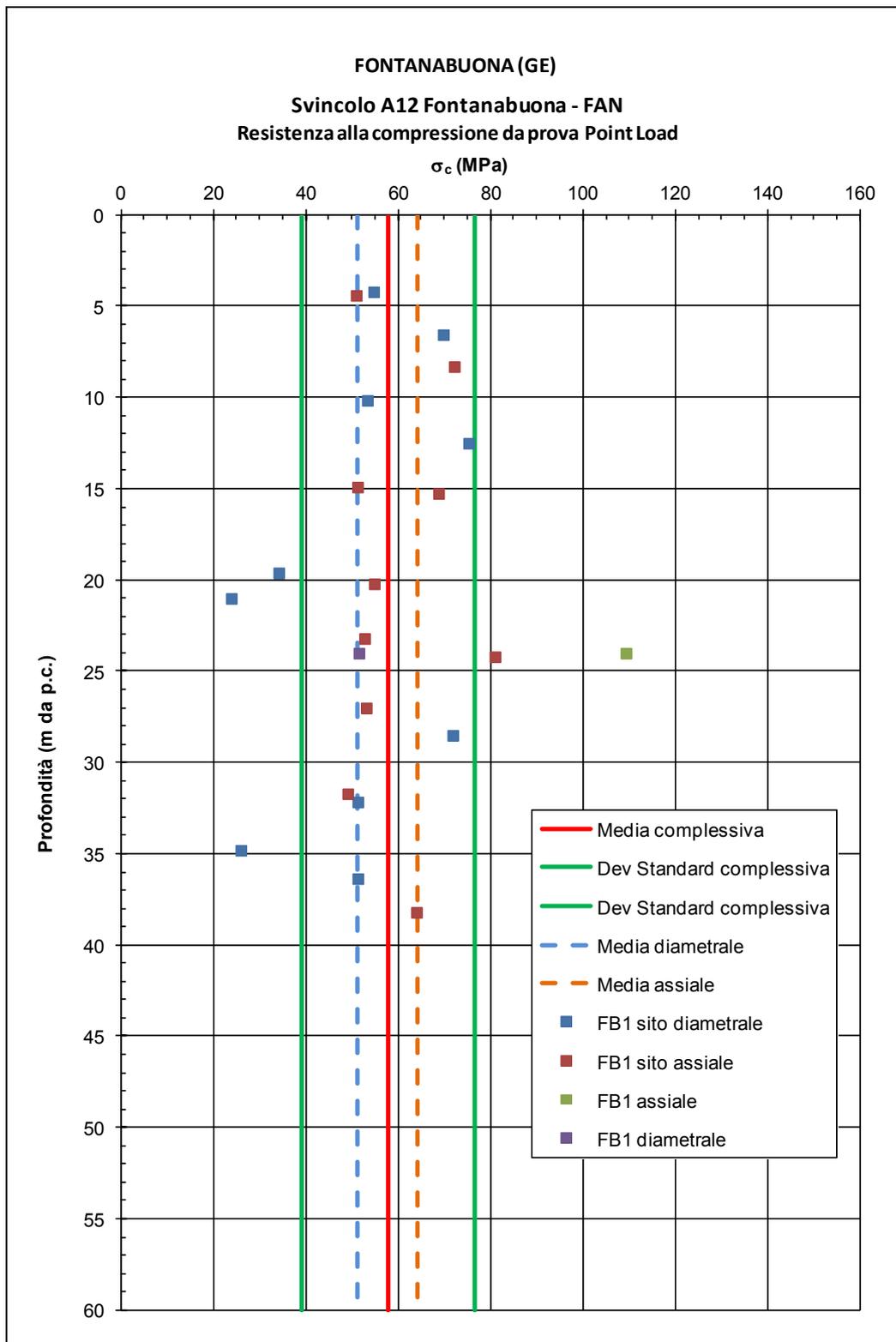


**Figura 11.11 - Formazione FAN Svincolo A12 - Modulo elastico operativo per fronti di scavo non sostenuti o sostenuti in modo passivo e per fondazioni dirette ( $D=1.0$ )**

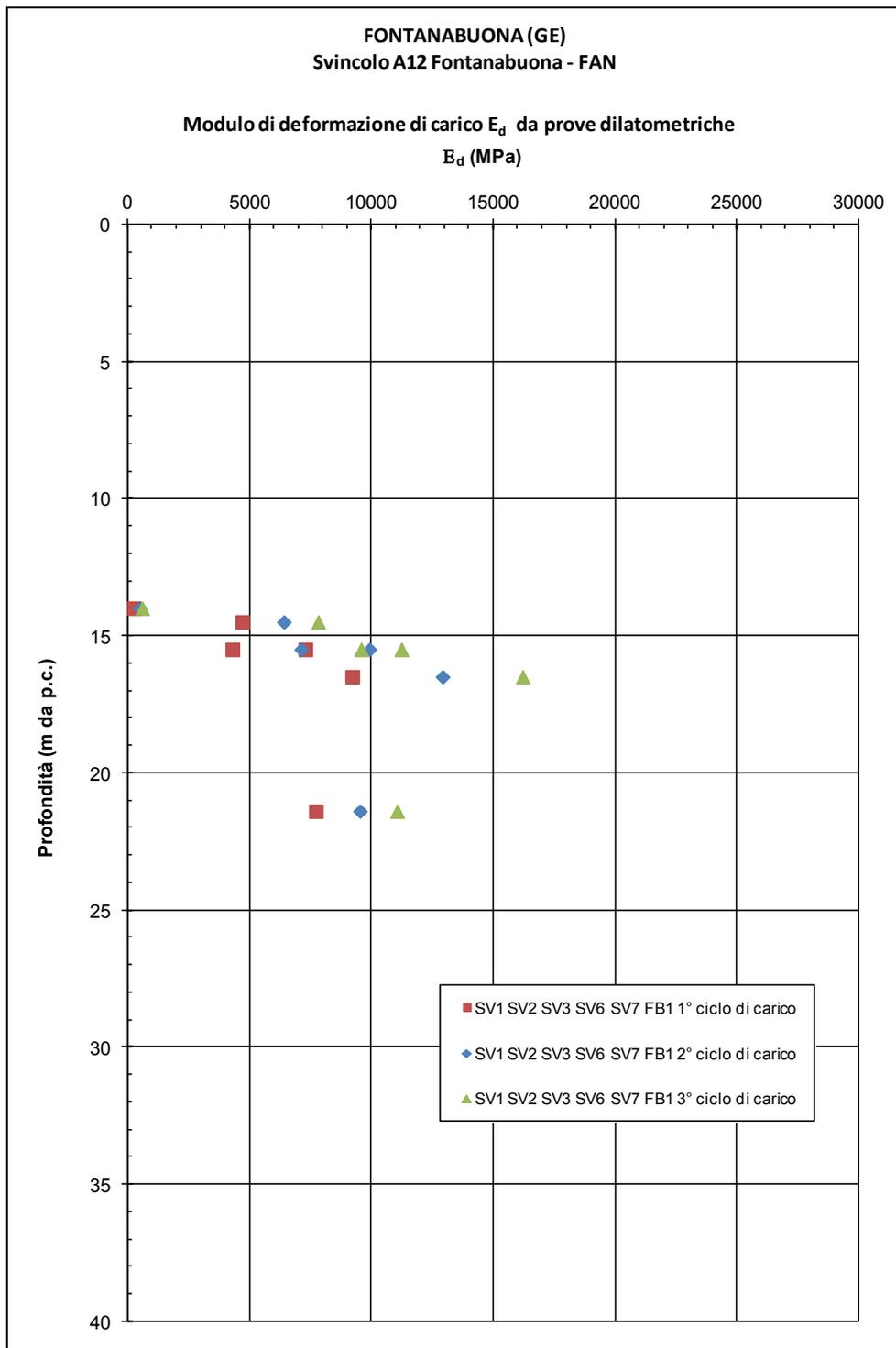




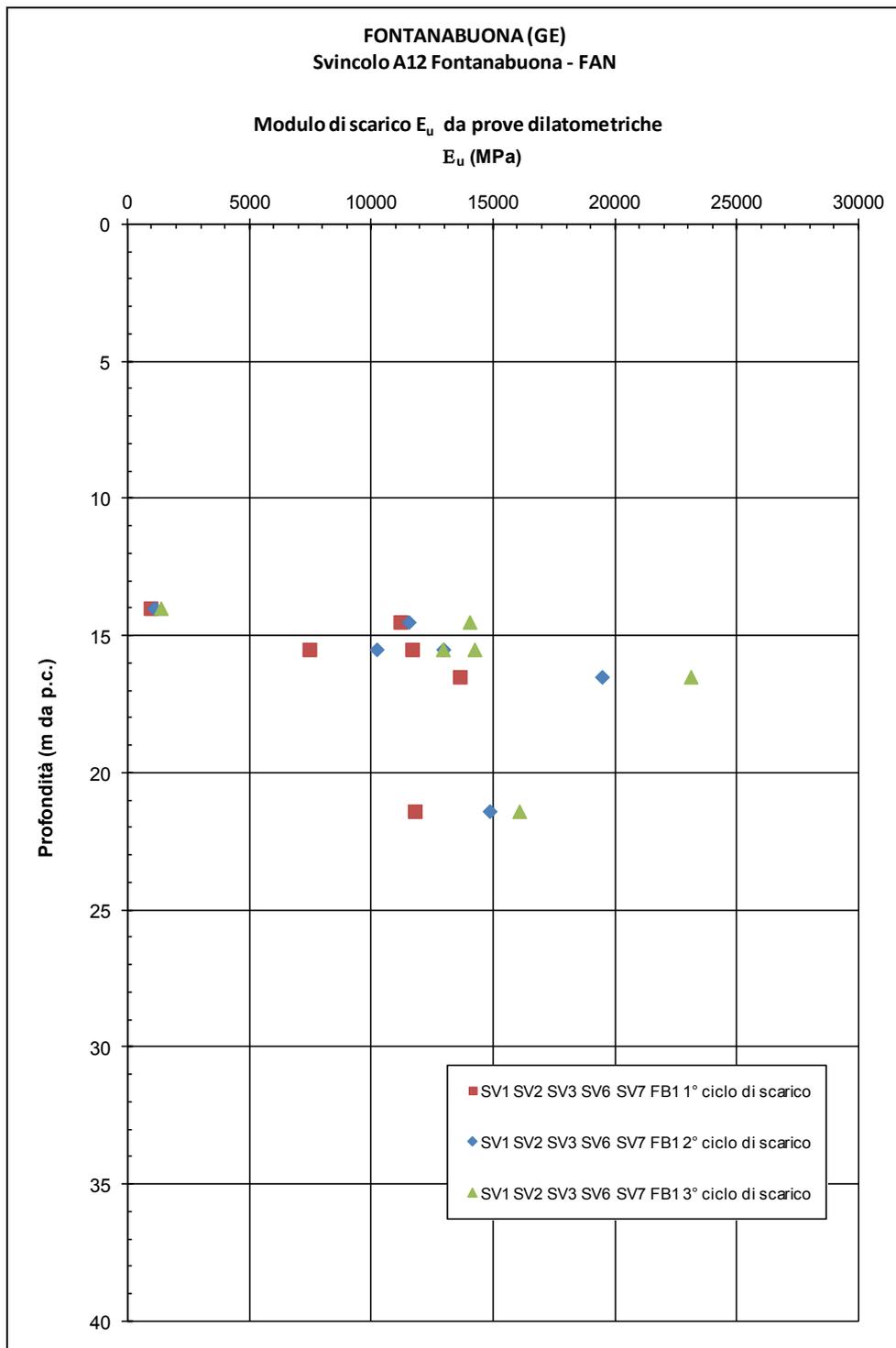
**Figura 11.13 - Formazione FAN Svincolo A12 - Coefficiente di Poisson**



**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**

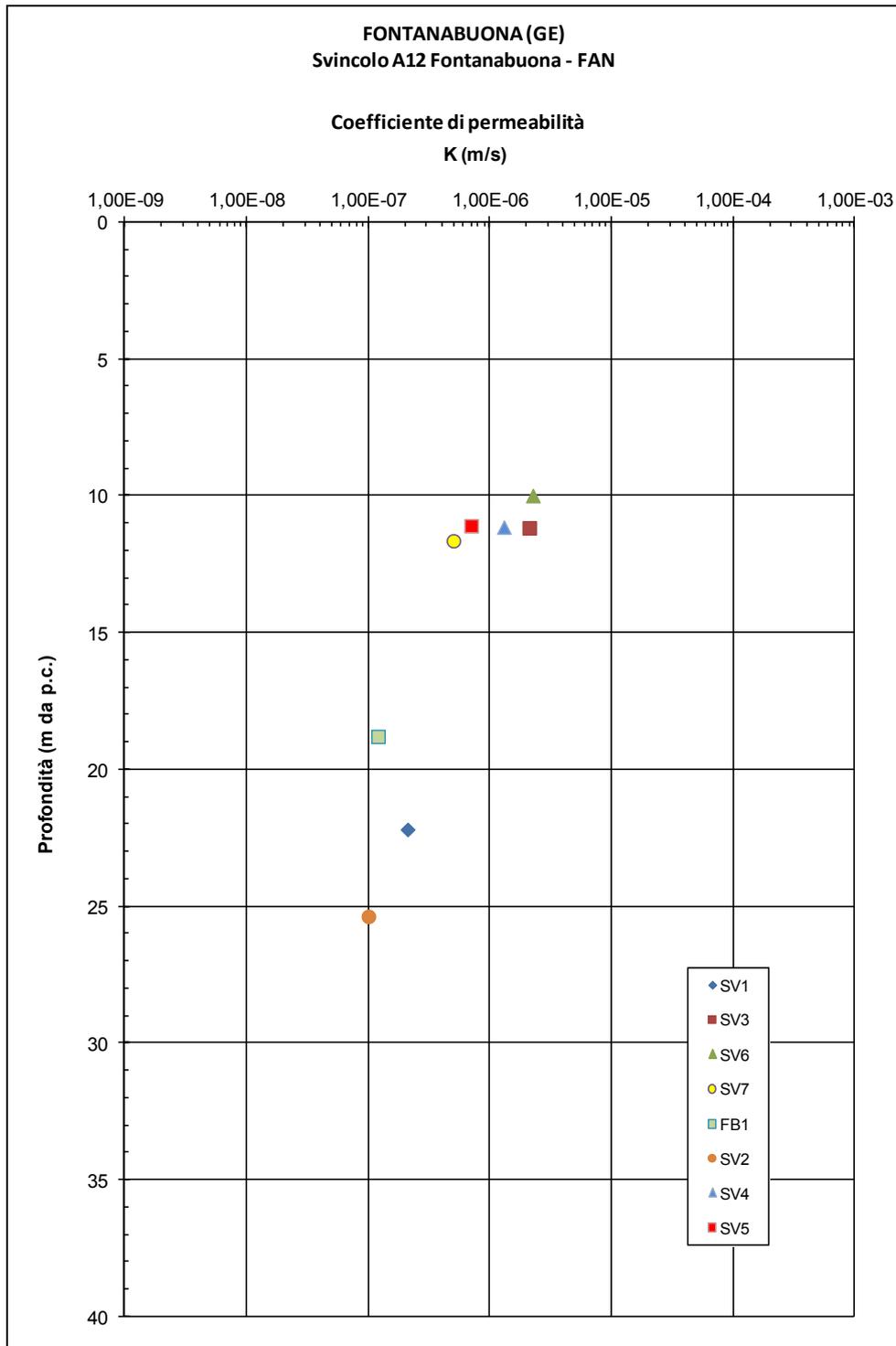


Figura 11.17 - Formazione FAN Svincolo A12 - Coefficiente di permeabilità

## 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  $\gamma_t$  può essere assunto variabile tra  $26 \text{ kN/m}^3$  e  $27 \text{ kN/m}^3$  (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:

$\sigma_c$  (\*) = resistenza compressione monoassiale

$I_{s50}$  = Point Load Index normalizzato

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

$\sigma_T$  = resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)

$E_{t50}$  = modulo di Young tangente

MR = rapporto di modulo ( $E_{t50}/\sigma_c$ )

$\nu$  = 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
<b>Compressione semplice laboratorio</b>		
	media	80
	min	45
	max	115
<b>da Point Load</b>		
	diametrico	assiale
	media	69 92
	min	39 56
	max	99 128
<b>Rilievo geomeccanico</b>		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:

<b>Finestra di Arboccò</b>		
<b>Formazione</b>	<b>FAN</b>	
<b>Sondaggi di riferimento</b>		RQD medio
	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  $\sigma_c$  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.

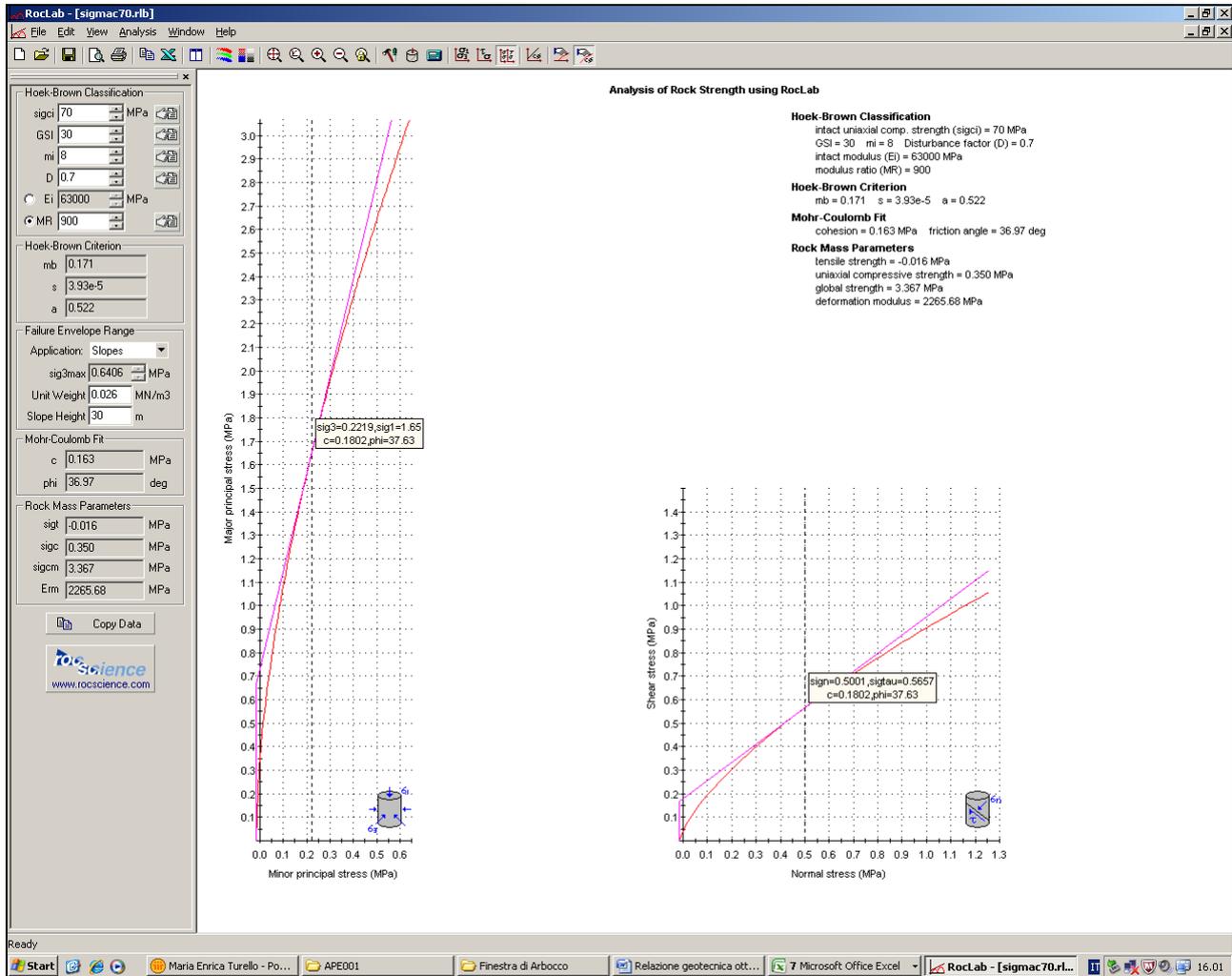


Figura 11.18 - Formazione FAN Finestra di Arbocchè - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso fessurato / alterato

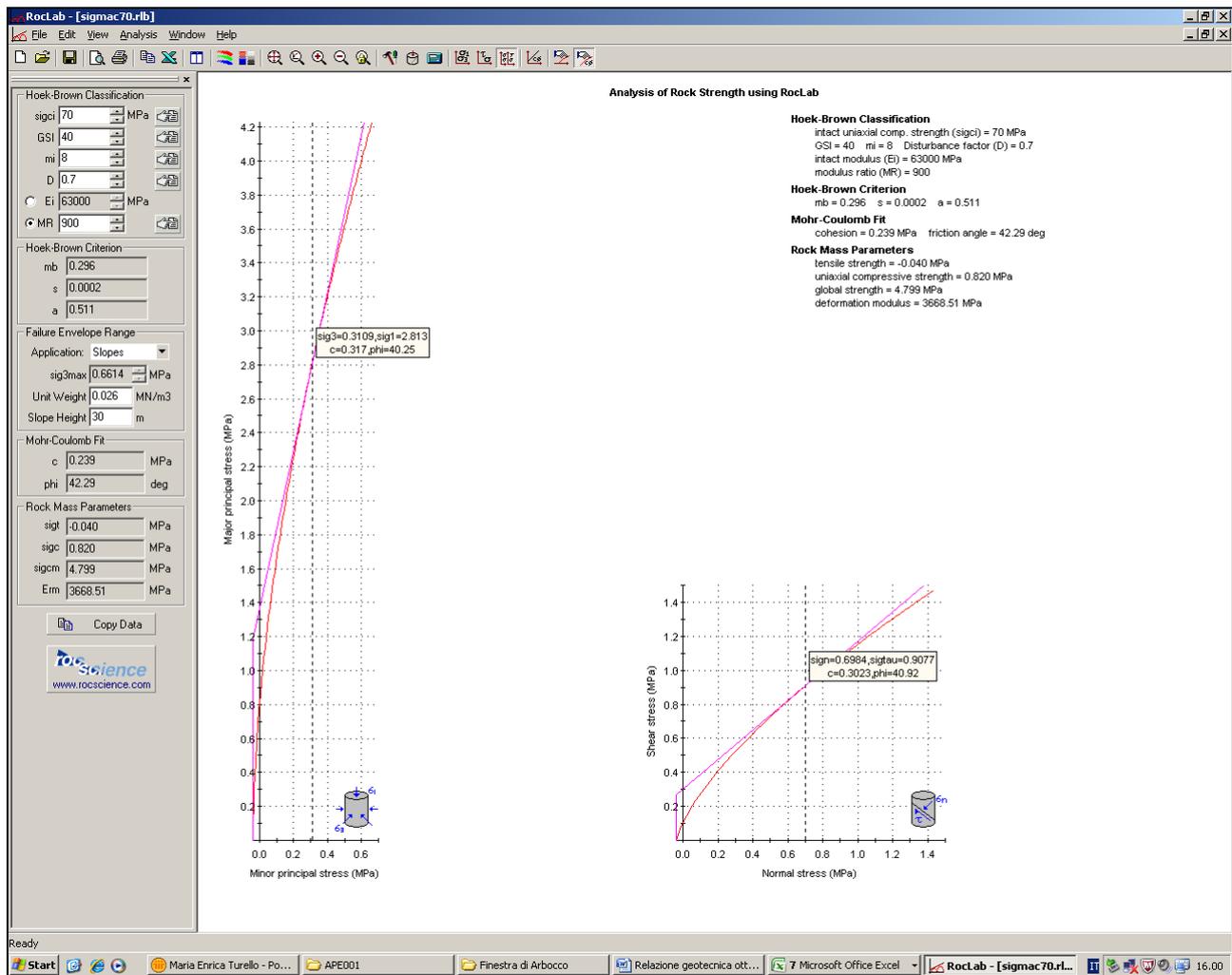


Figura 11.19 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso compatto

### 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  $\sigma_c$ , 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
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	26 ÷ 27	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	26 ÷ 27	
$\sigma_c$ (MPa) (*)	45 ÷ 115	RMR <sub>89</sub> (-)	35 ÷ 45	
I <sub>s50</sub> (MPa)	2.5 ÷ 3.8	GSI (-)	40	30
$\sigma_c$ (MPa) (**)	diametrale 60 assiale 90	JRC (-)	4 ÷ 8	
$\sigma_T$ (MPa)		JCS (MPa)	20 ÷ 80	
E <sub>t50</sub> (GPa)	30 ÷ 40	k (m/s)	$1 \cdot 10^{-7} \div 5 \cdot 10^{-6}$	
MR (-)	200 ÷ 900	E <sub>d</sub> (GPa)	8 ÷ 20	
V <sub>p</sub> (m/s)	3800 - 5500	E <sub>u</sub> (GPa)	10 ÷ 30	
V <sub>s</sub> (m/s)	2200 - 3600	E <sub>op</sub> D=0.5 (GPa)	1.2 ÷ 4	
E <sub>din</sub> (GPa)	30 ÷ 80	E <sub>op</sub> D=1.0 (GPa)		0.8 ÷ 3.0
G <sub>din</sub> (GPa)	15 ÷ 35	c (kPa)	240 ÷ 300 ( $\sigma=0.5$ MPa)	100 ( $\sigma=0.2$ MPa) 150 ÷ 170 ( $\sigma=0.5$ MPa)
$\nu$ (-)	0.25	$\phi$ (°)	40 ( $\sigma=0.5$ MPa)	45 ( $\sigma=0.2$ MPa) 35 ( $\sigma=0.5$ MPa)
m <sub>i</sub> (-)	8	m <sub>b</sub> (-)	≈ 0.296	≈ 0.171
m <sub>b</sub>		s (-)	≈ 0.0002	≈ $3.93 \cdot 10^{-5}$
s		a (-)	0.511	0.522
a (-)		$\phi_{p,joint}$ (°), c <sub>p,joint</sub> (kPa)		
		$\phi_{r,joint}$ (°), c <sub>r,joint</sub> (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:**

- $\gamma_t$  = 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 ( $E_{t50}/s_c$ )
- $\nu$  = 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)
- RMR<sub>89</sub> = 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)
- $\phi$  = angolo di attrito (criterio di rottura di Hoek & Brown)

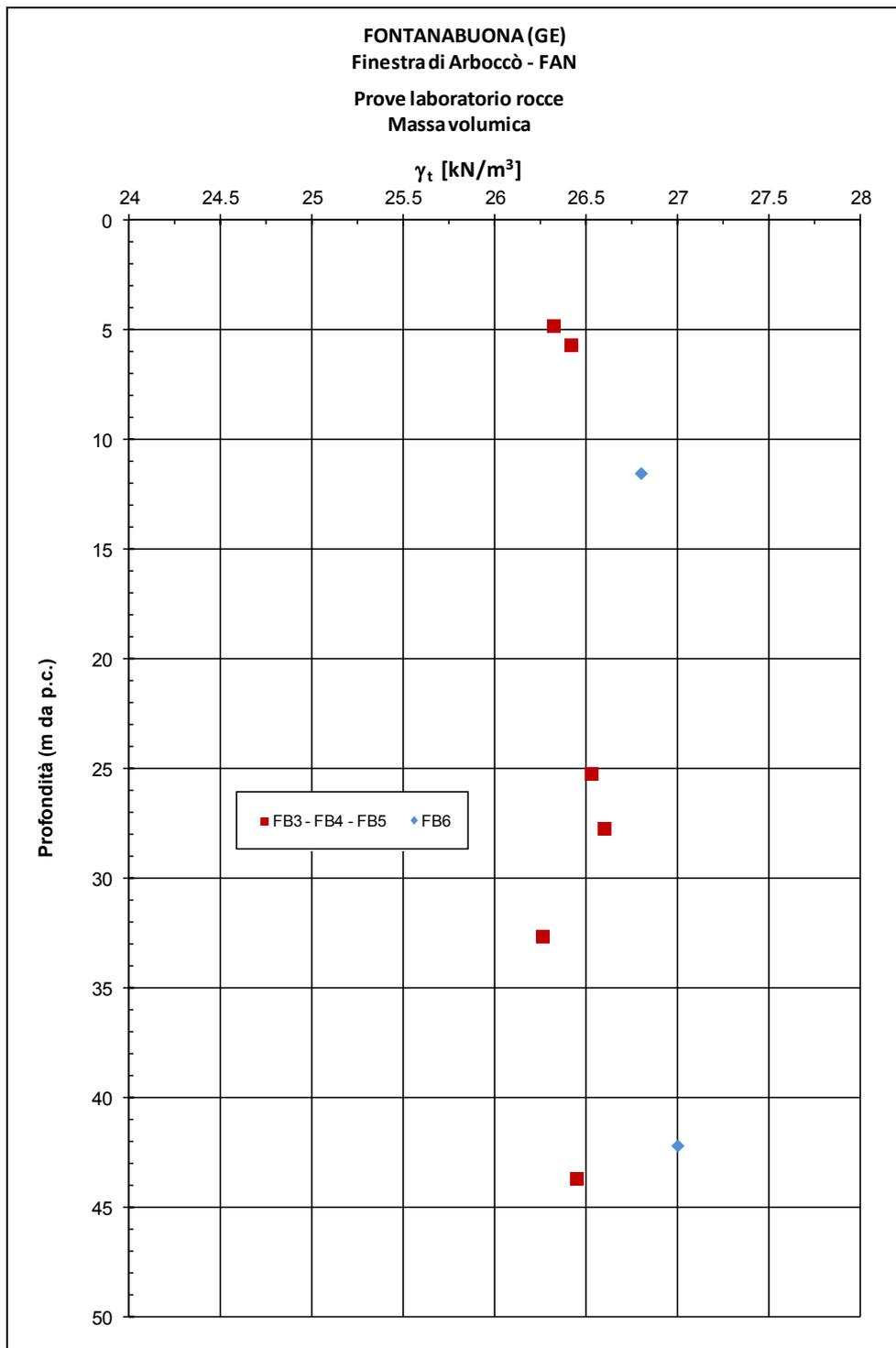
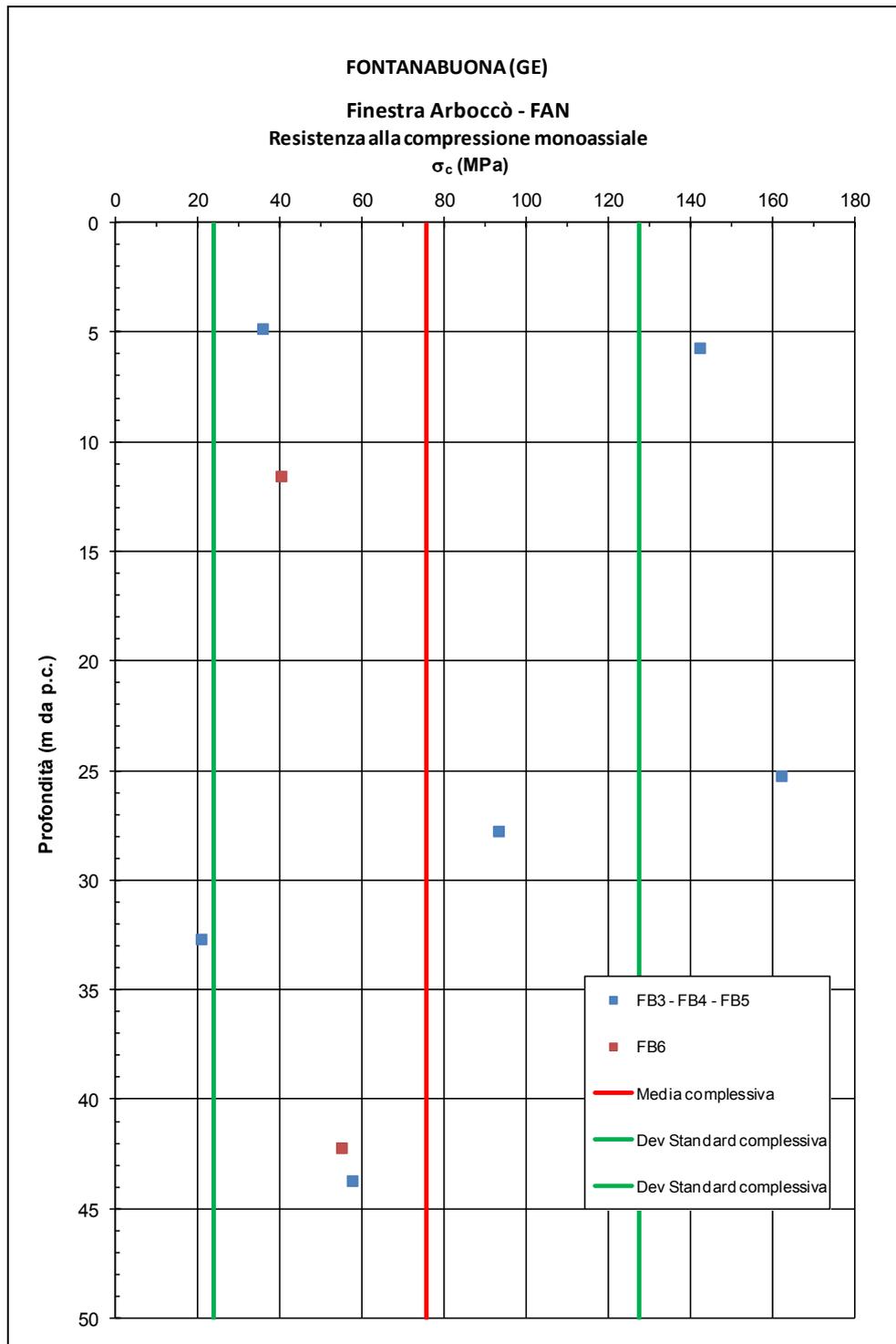
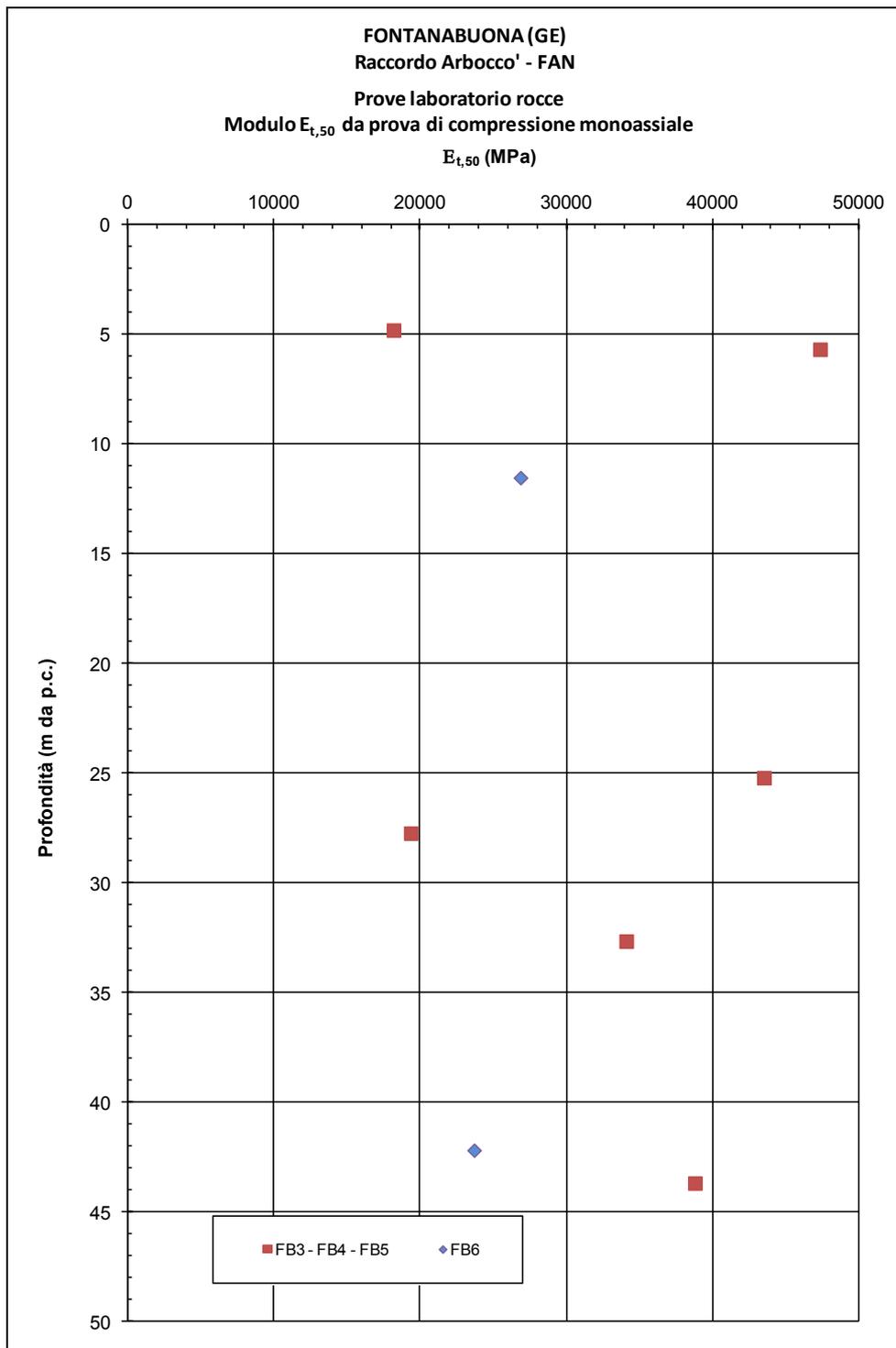


Figura 11.20 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Peso di volume



**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**

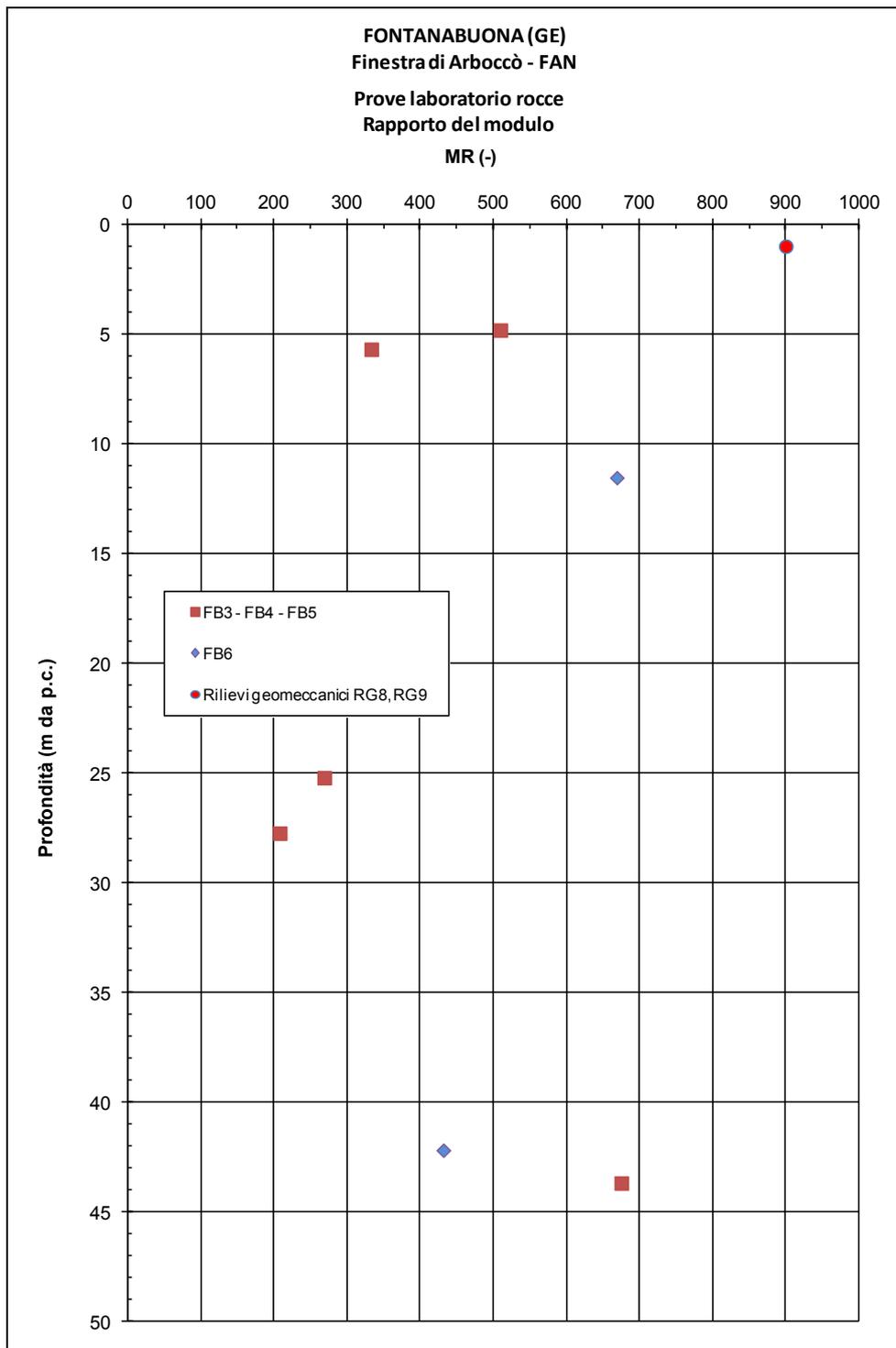


Figura 11.23 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Rapporto del modulo MR

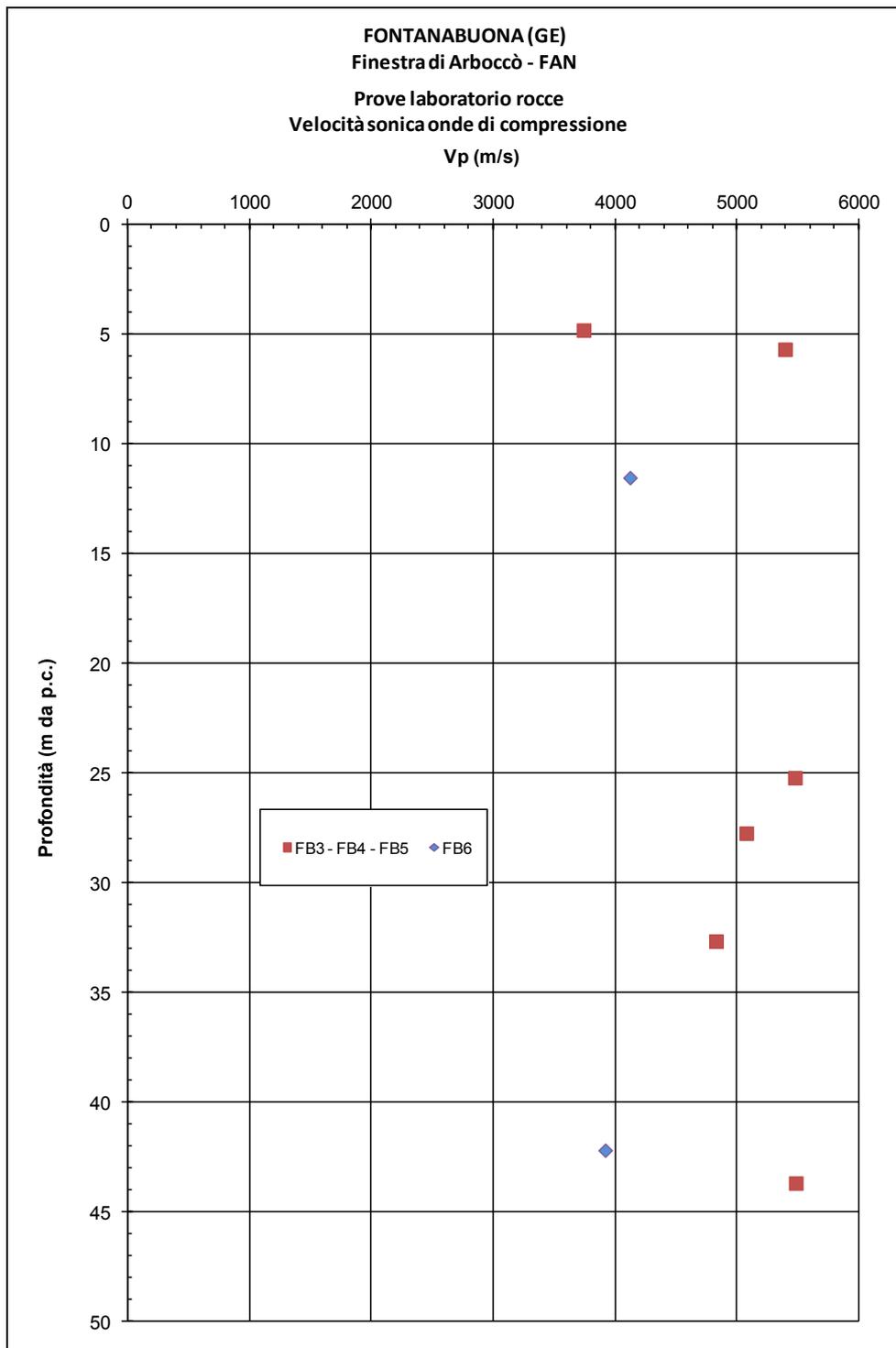
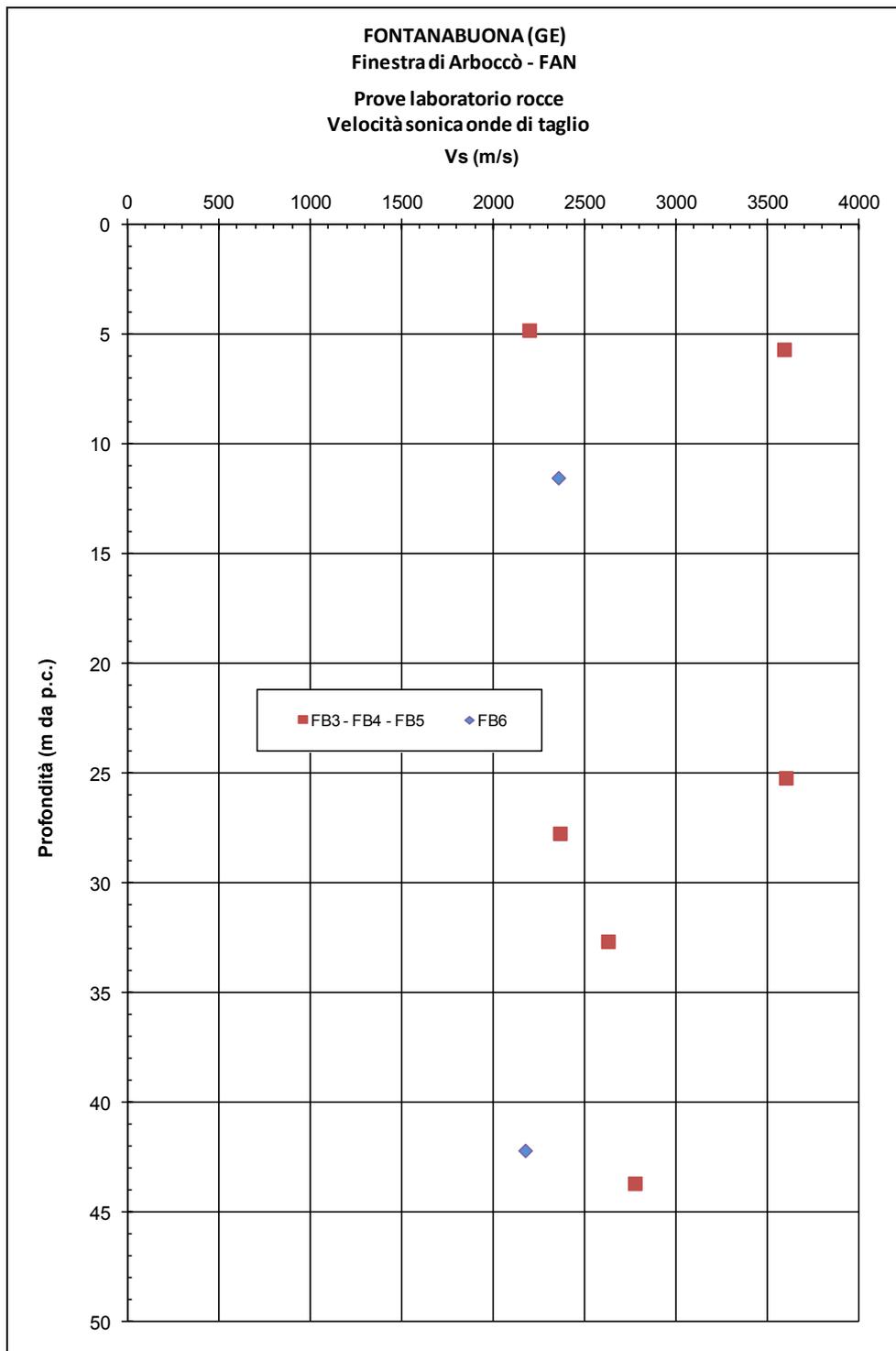


Figura 11.24 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Velocità sonica onde di compressione



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

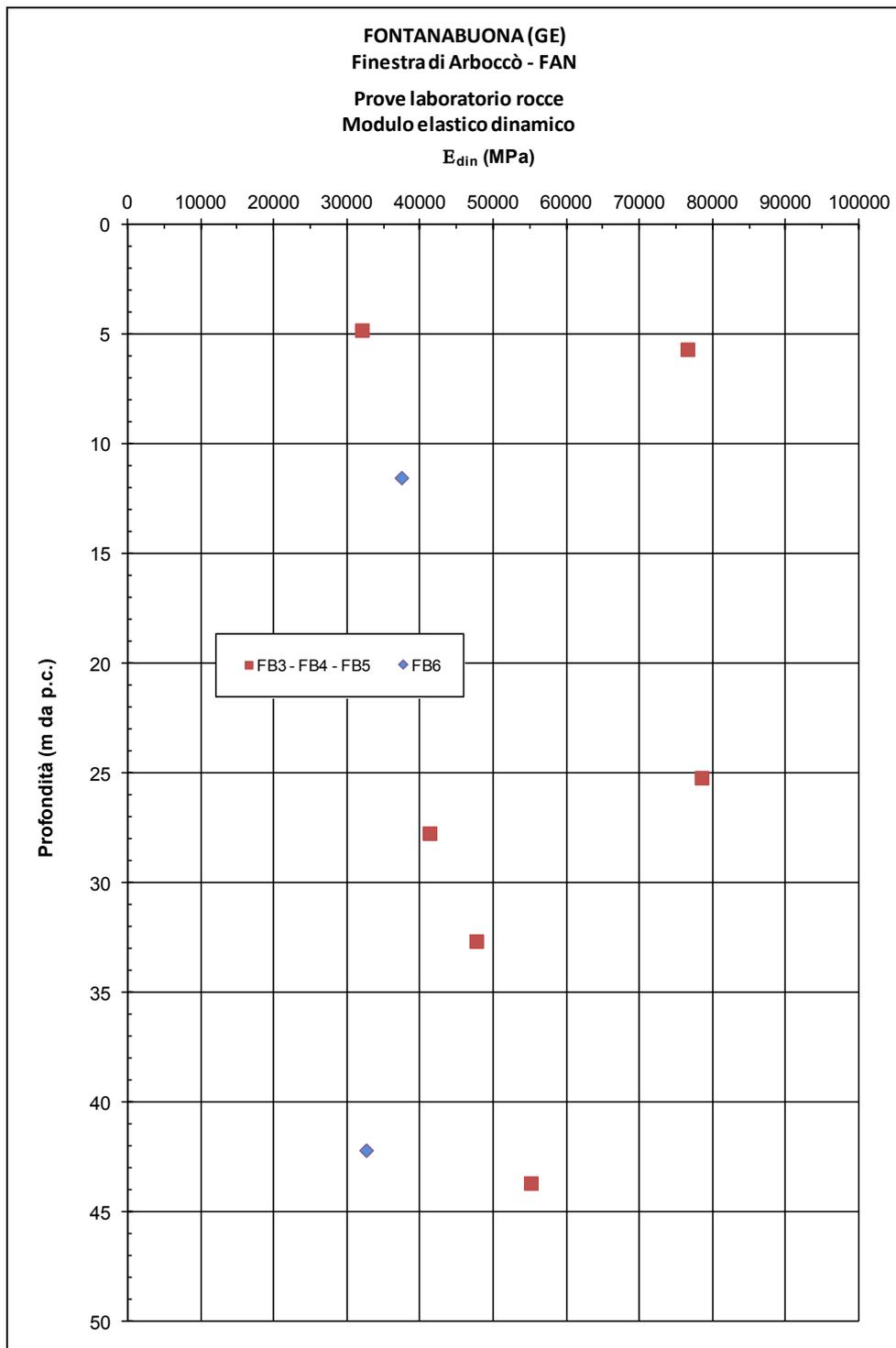


Figura 11.26 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Modulo elastico dinamico

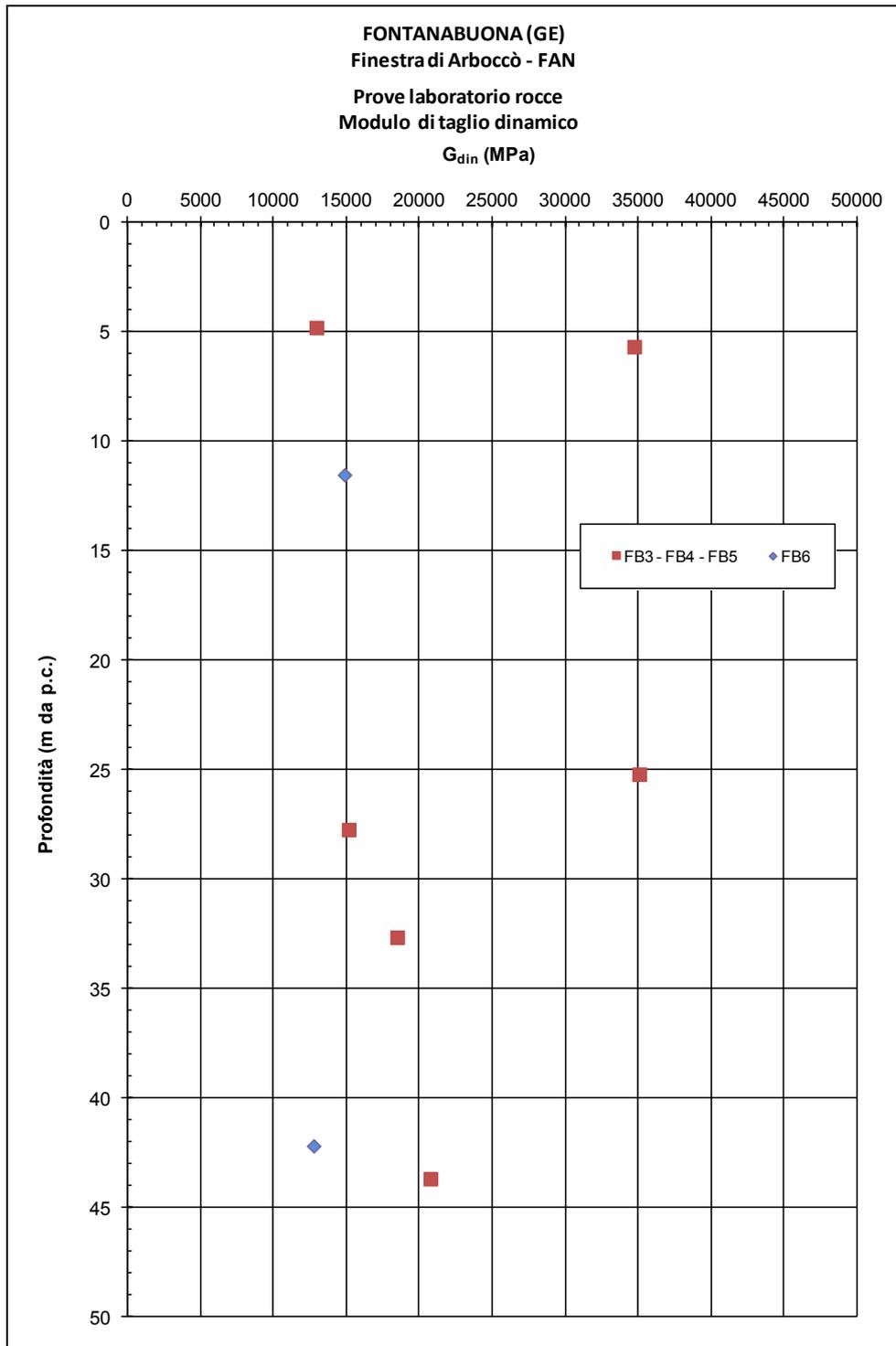
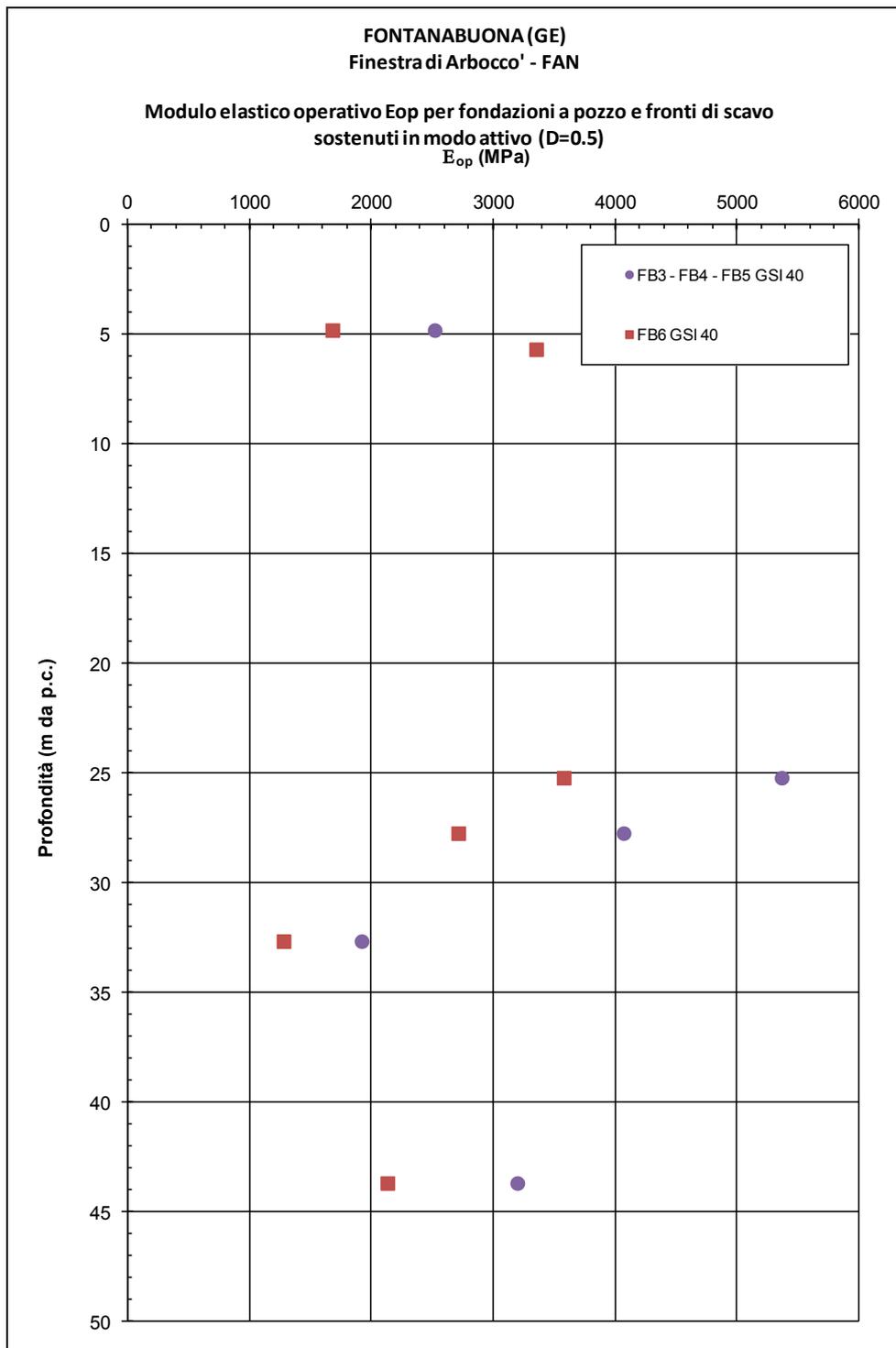
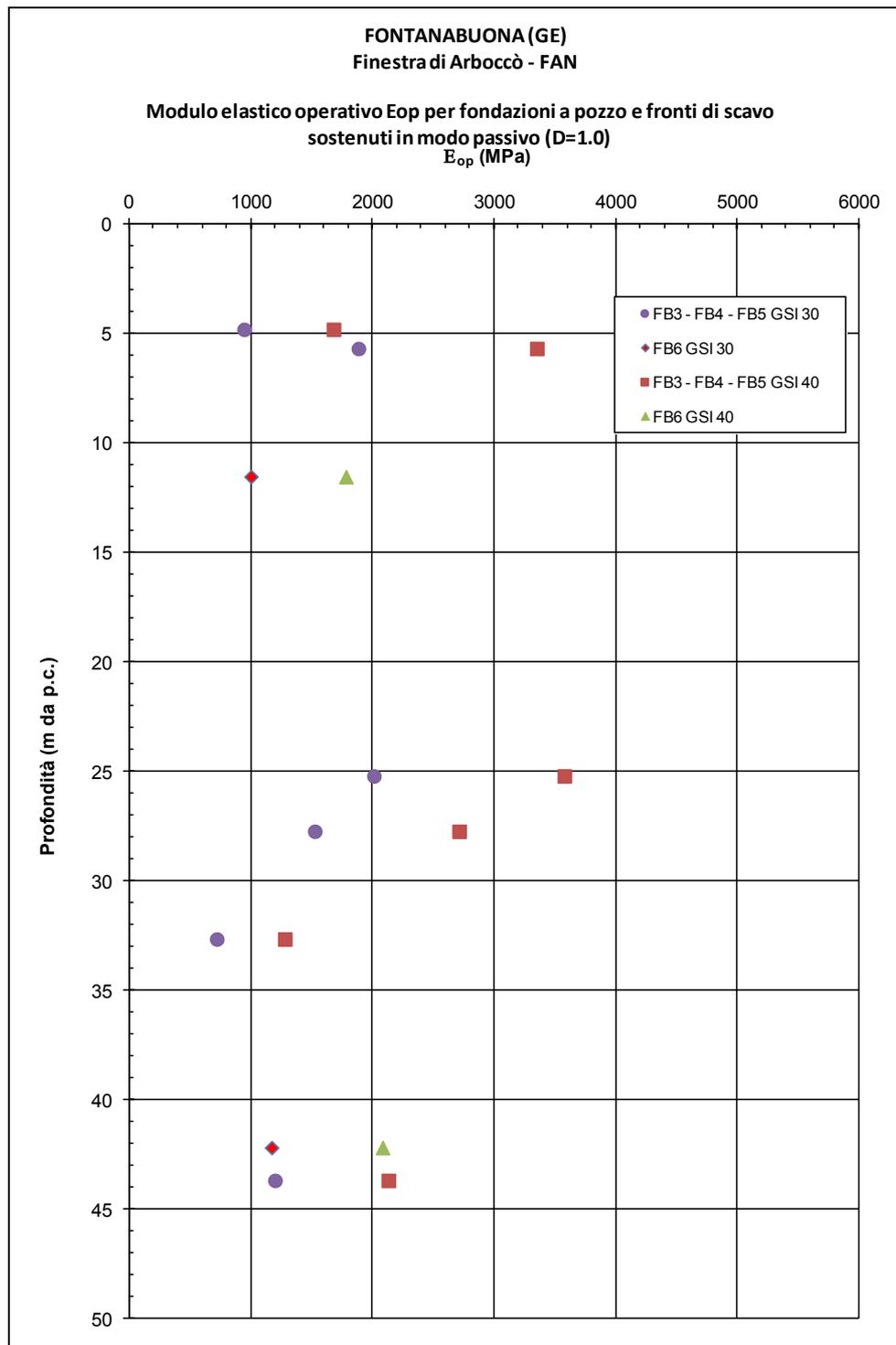


Figura 11.27 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Modulo di taglio dinamico



**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)**

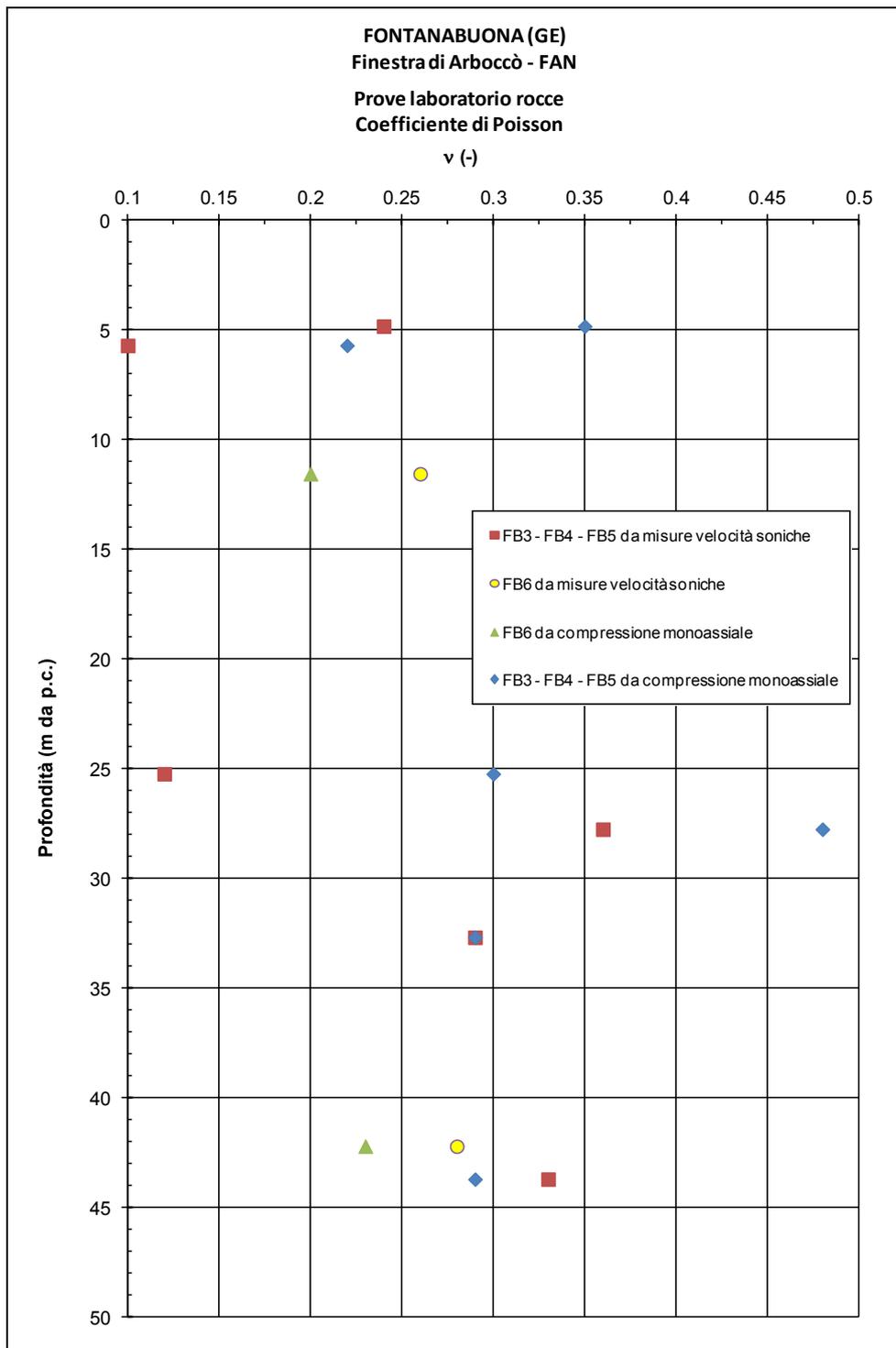
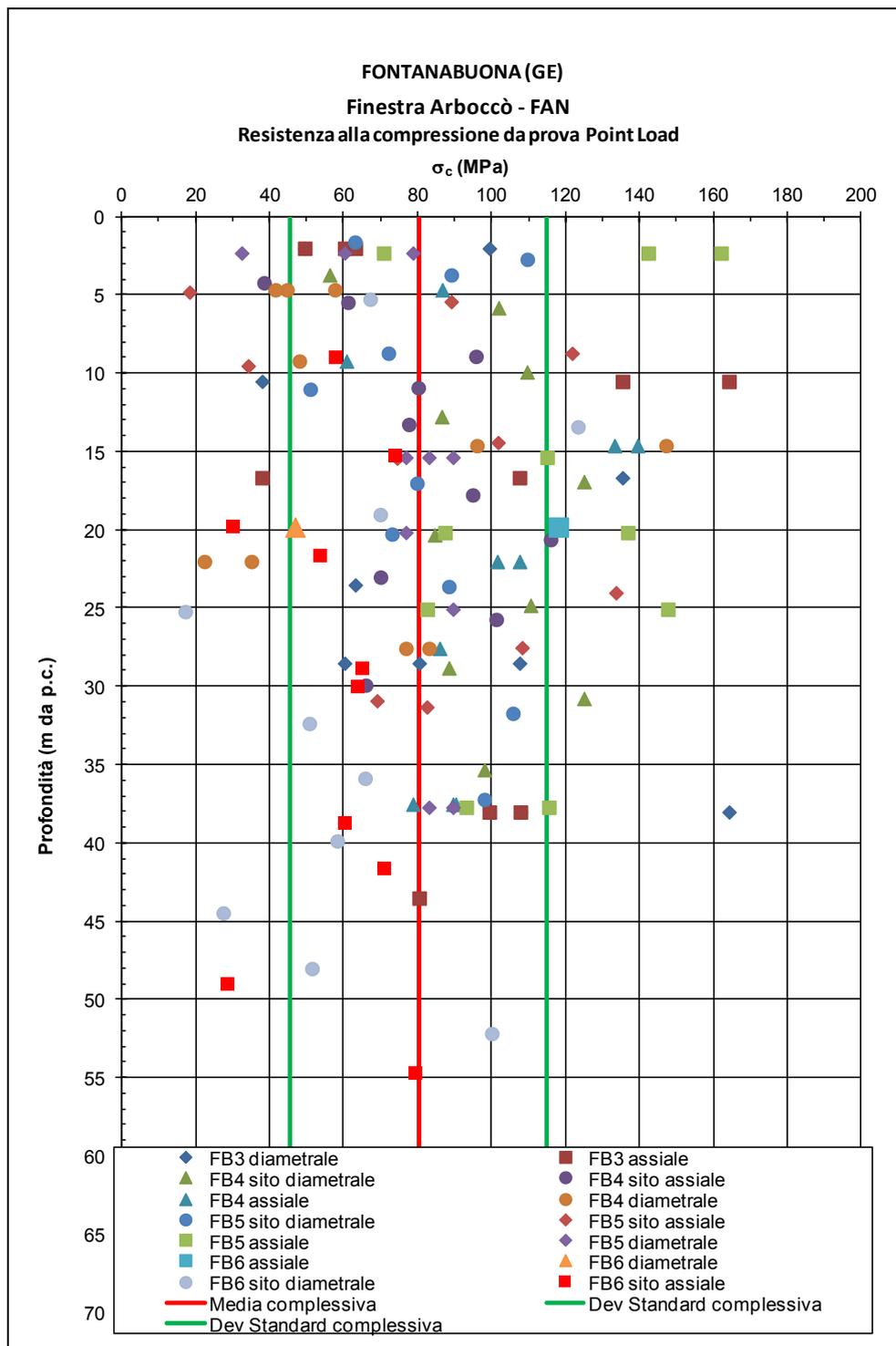


Figura 11.30 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Coefficiente di Poisson



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

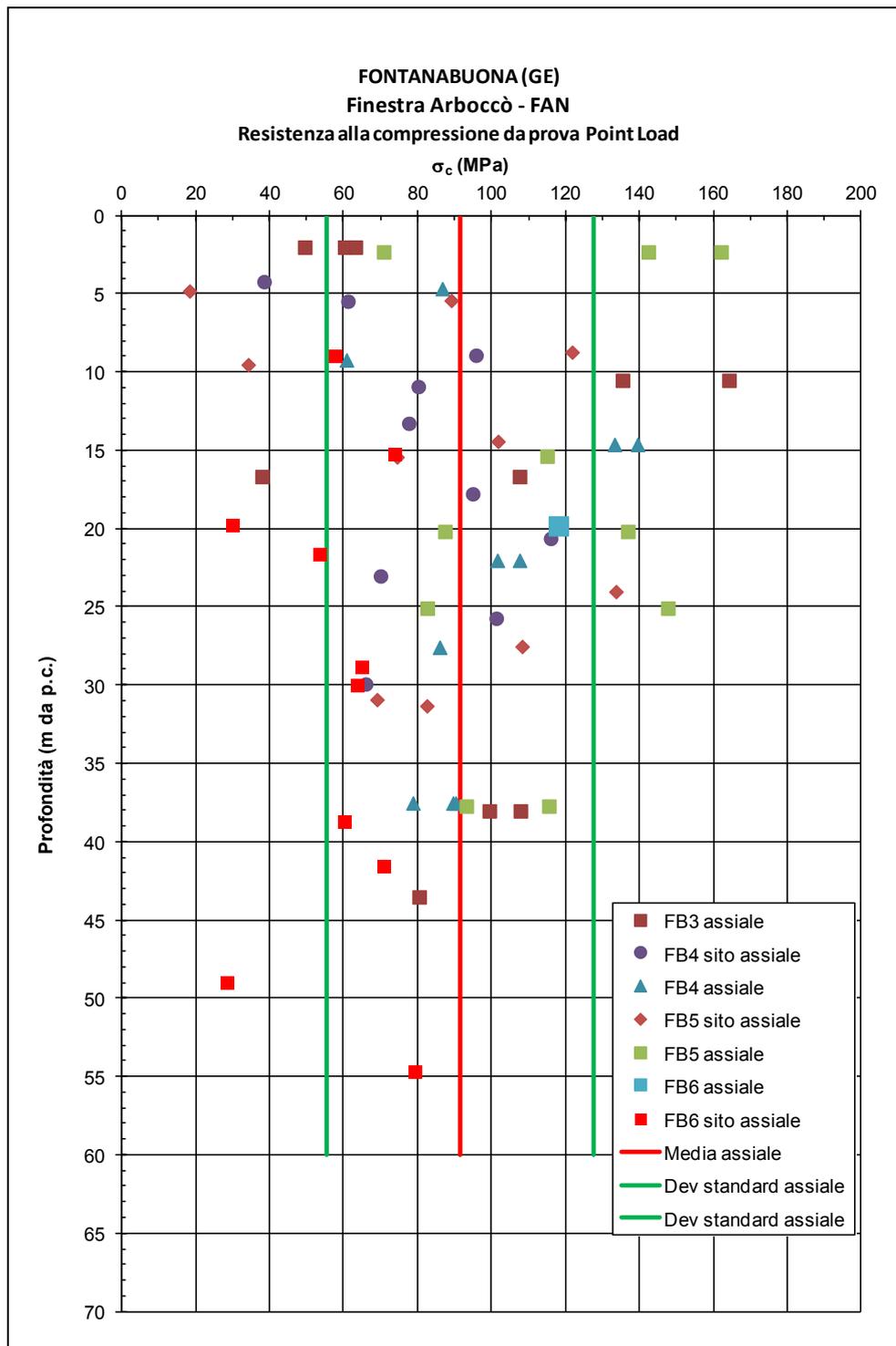
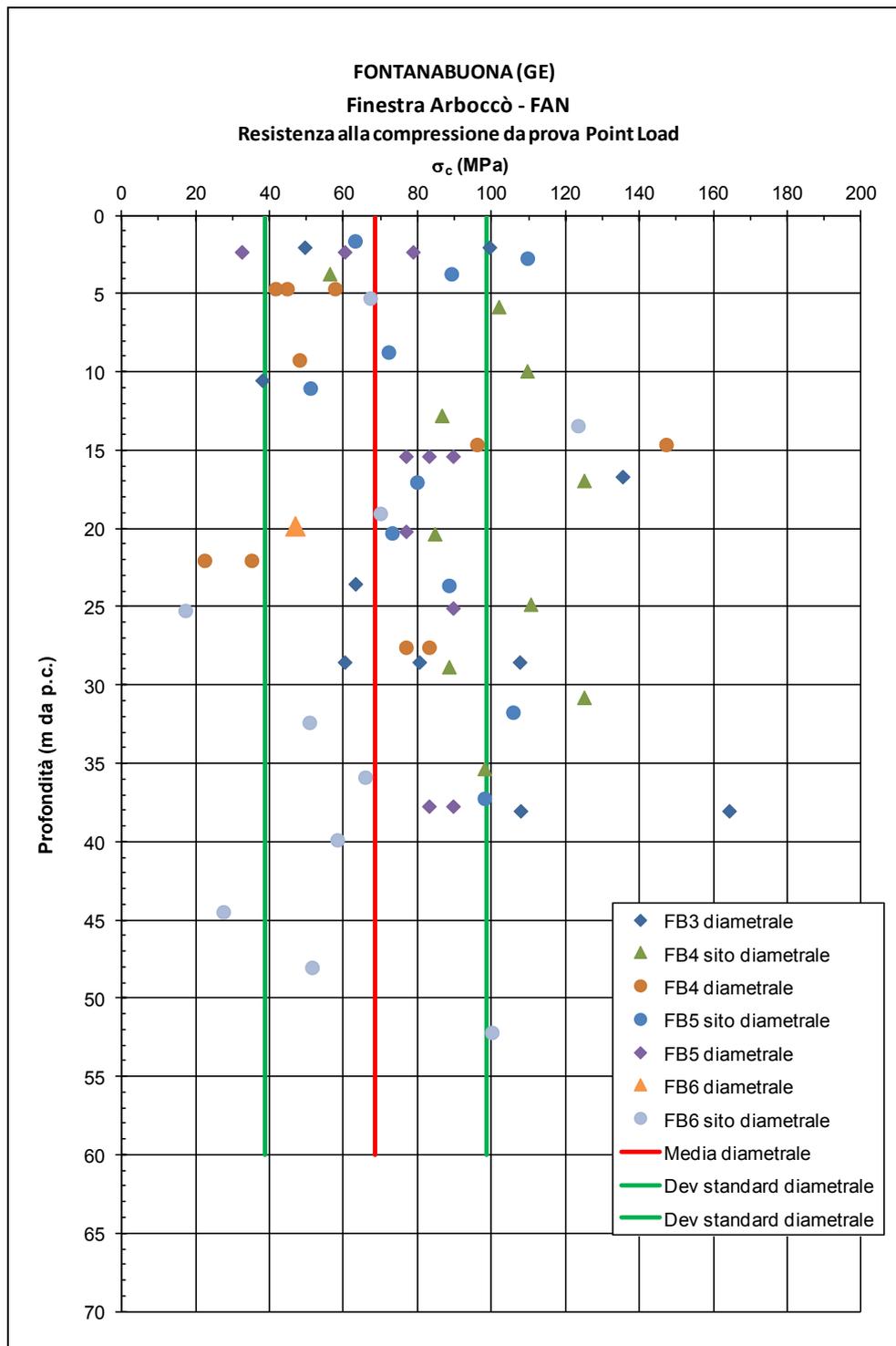
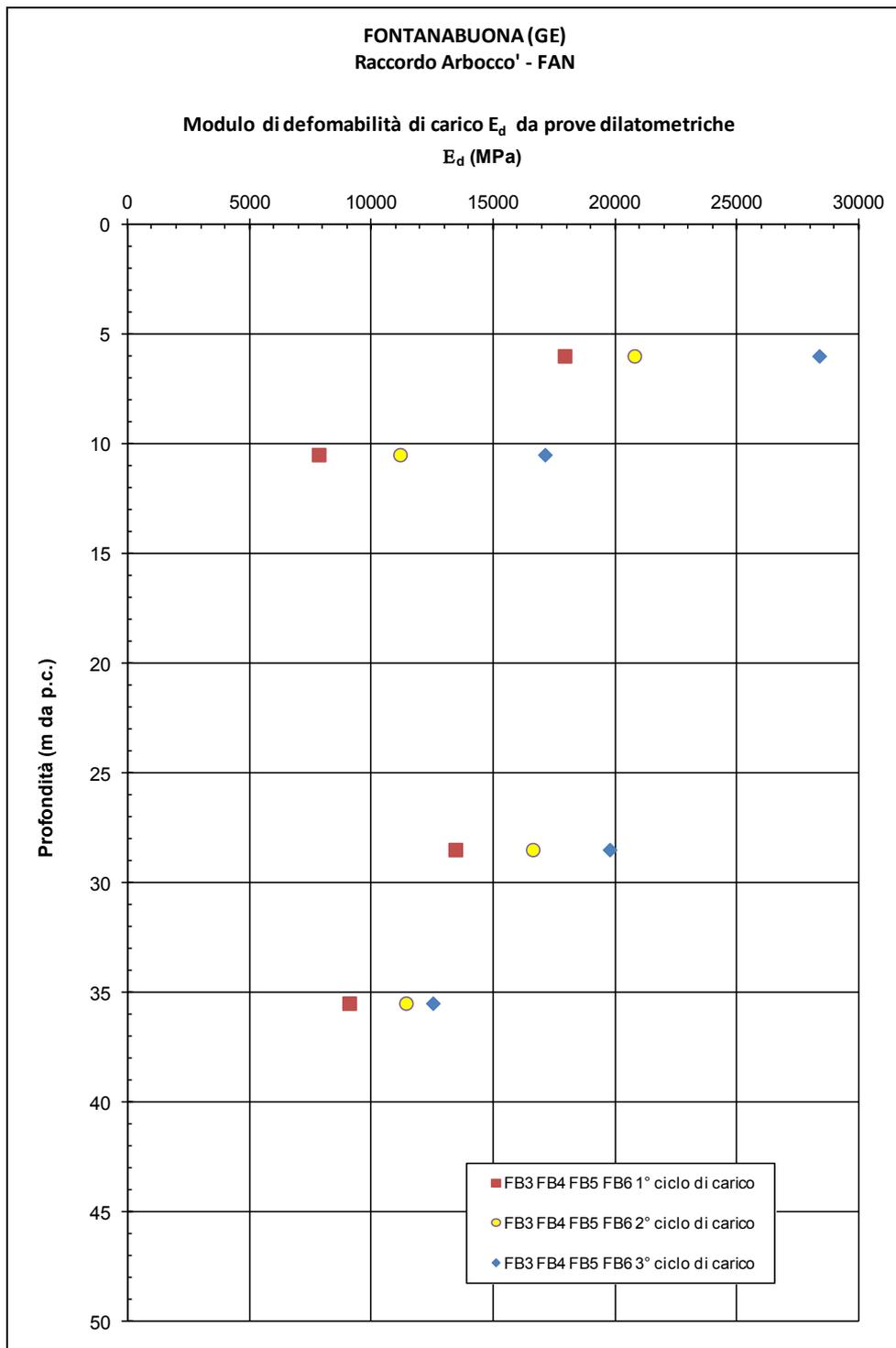


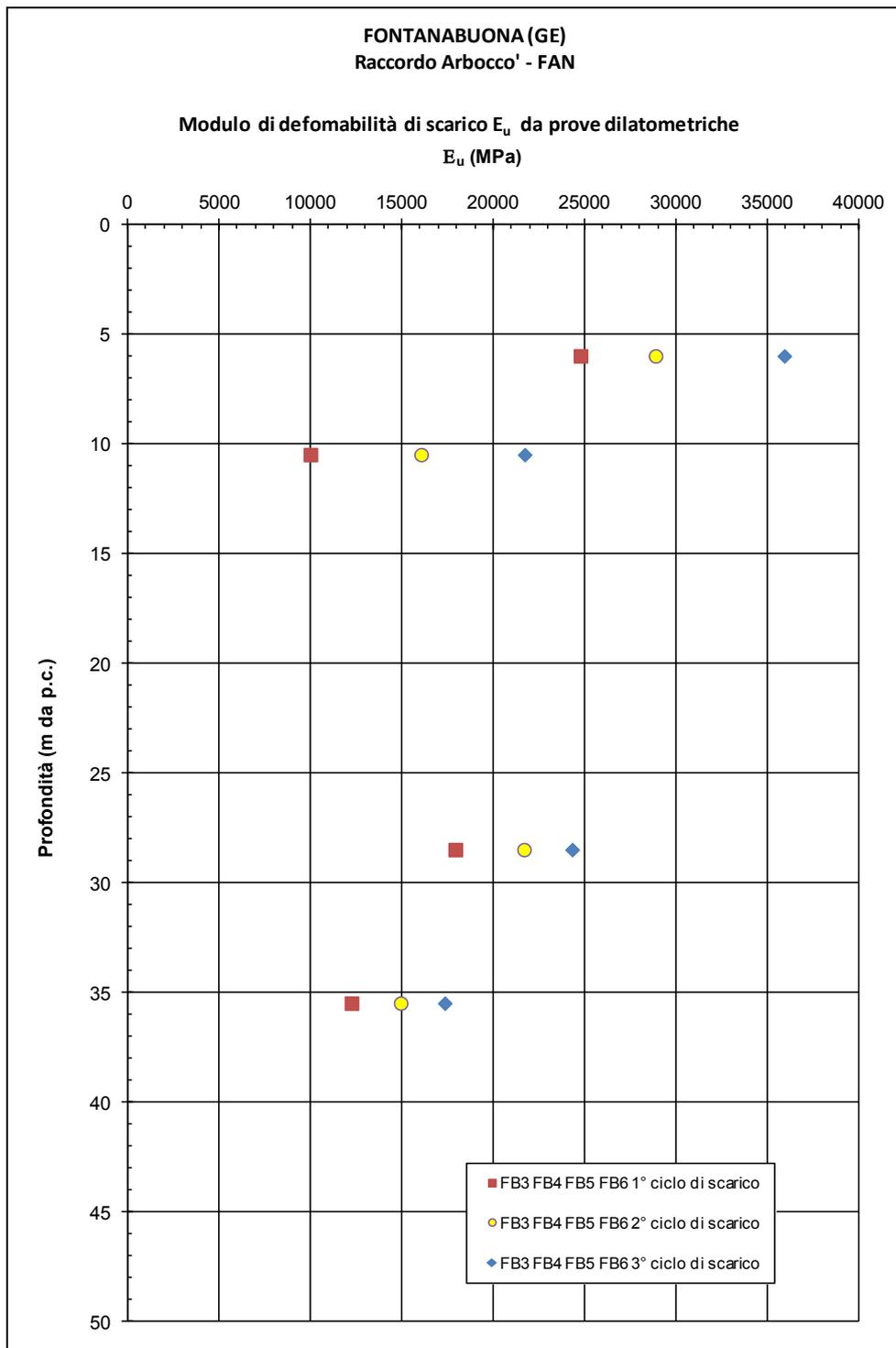
Figura 11.32 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Resistenza a compressione da prova Point Load assiale



**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**

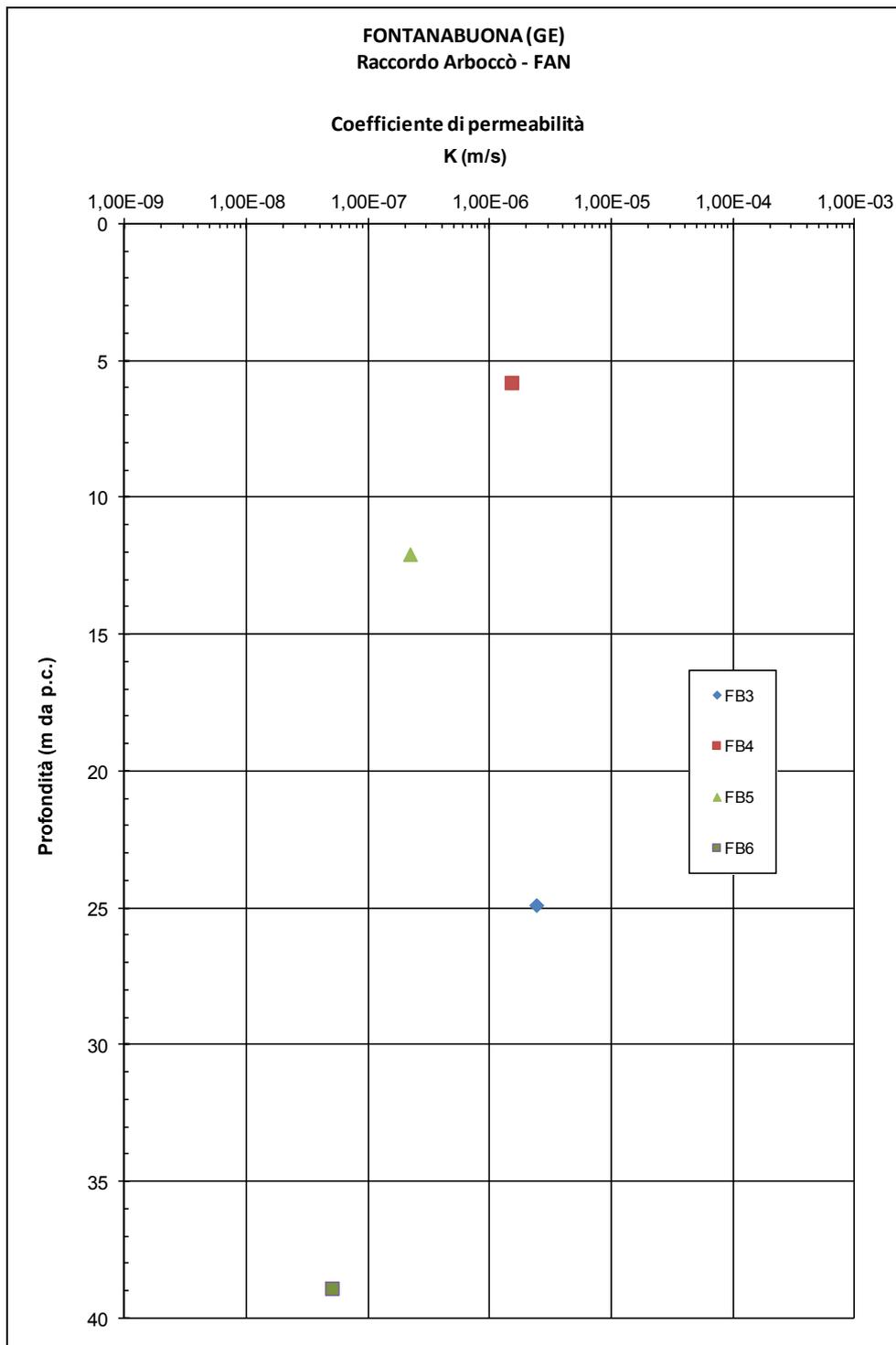


Figura 11.36 - Formazione FAN Finestra di Arboccò - Coefficiente di permeabilità

## 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  $\gamma_t$  può essere assunto variabile tra 26 kN/m<sup>3</sup> e 27 kN/m<sup>3</sup> (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:

$\sigma_c$  (\*) = resistenza compressione monoassiale

$I_{s50}$  = Point Load Index normalizzato

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

$\sigma_T$  = resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)

$E_{t50}$  = modulo di Young tangente

MR = rapporto di modulo ( $E_{t50}/\sigma_c$ )

$\nu$  = 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
<b>Compressione semplice laboratorio</b>		
	media	32
	min	14
	max	51
<b>Point load</b>	<b>diametrico</b>	<b>assiale</b>
	media	25 96
	min	8 55
	max	42 136
<b>Rilievo geomeccanico</b>		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							
		FB9bis		Campagna 2013					
		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			
						<b>88</b>			
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				
						<b>90</b>			
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				
						<b>59</b>			

**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:



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  $\sigma_c$  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.

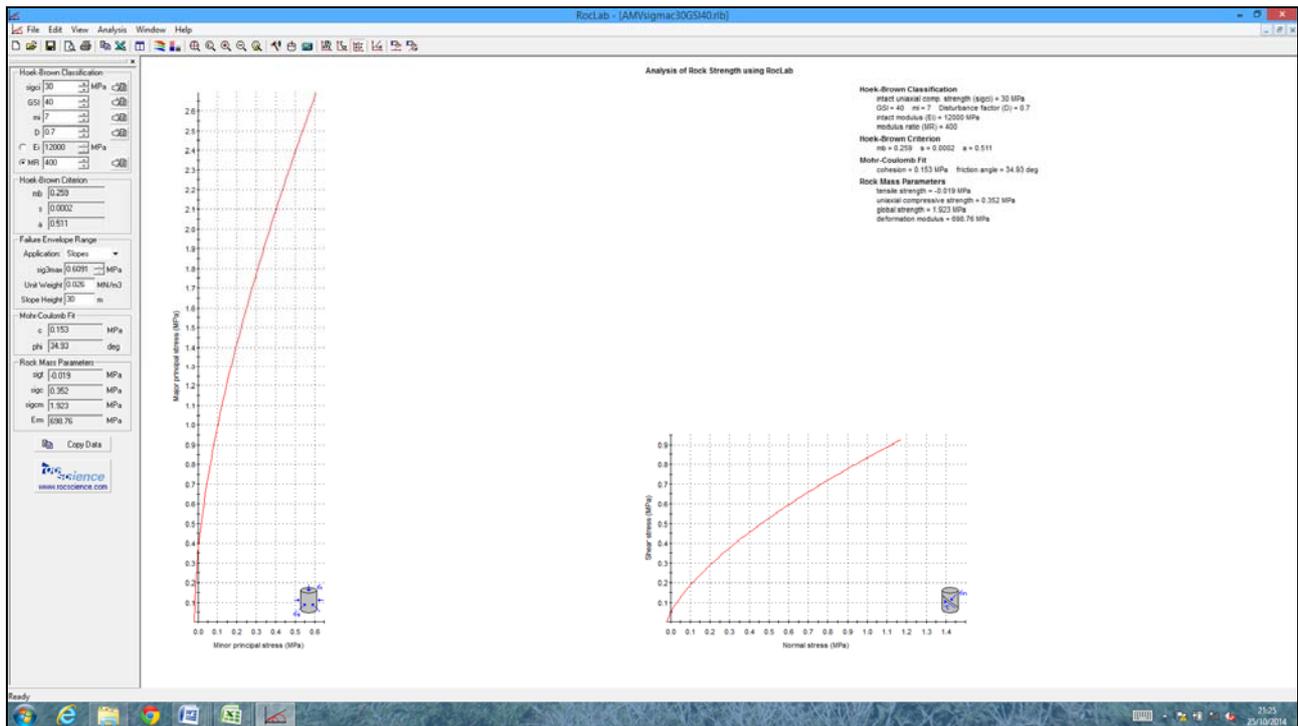


Figura 11.37 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso compatto

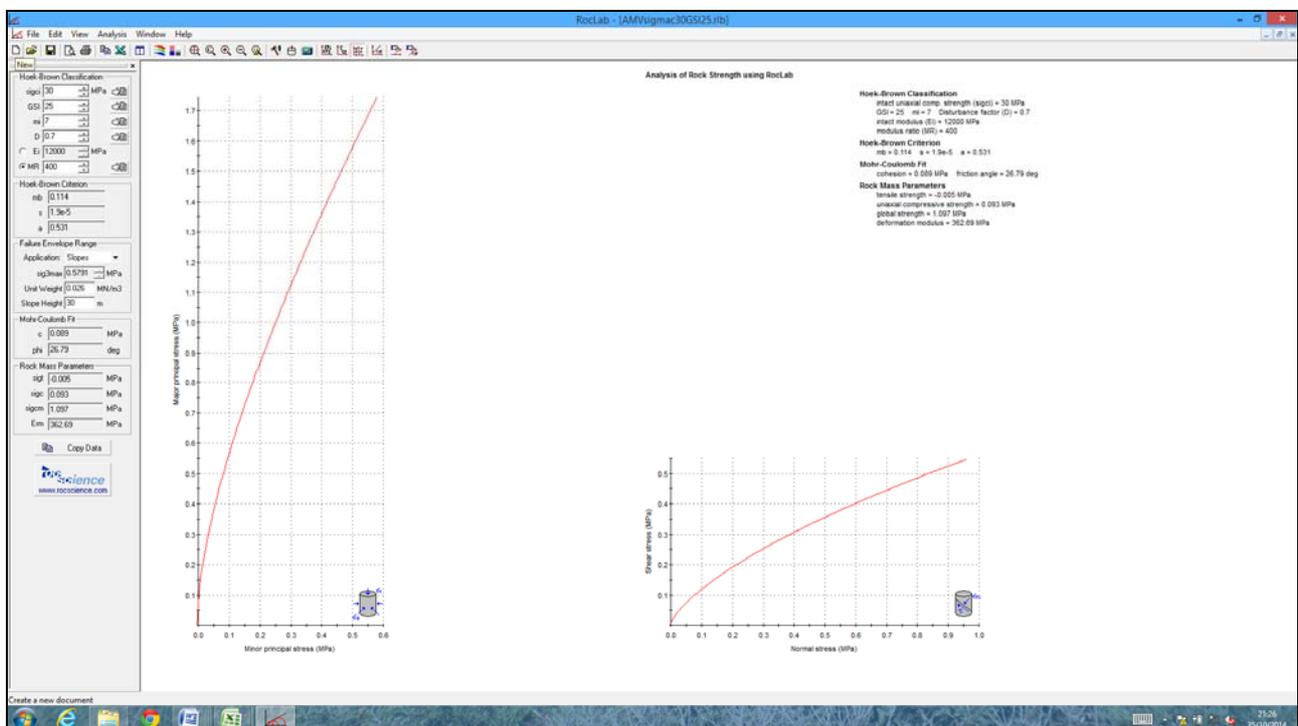


Figura 11.38 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso fessurato / alterato

#### 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  $\sigma_c$ , 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.

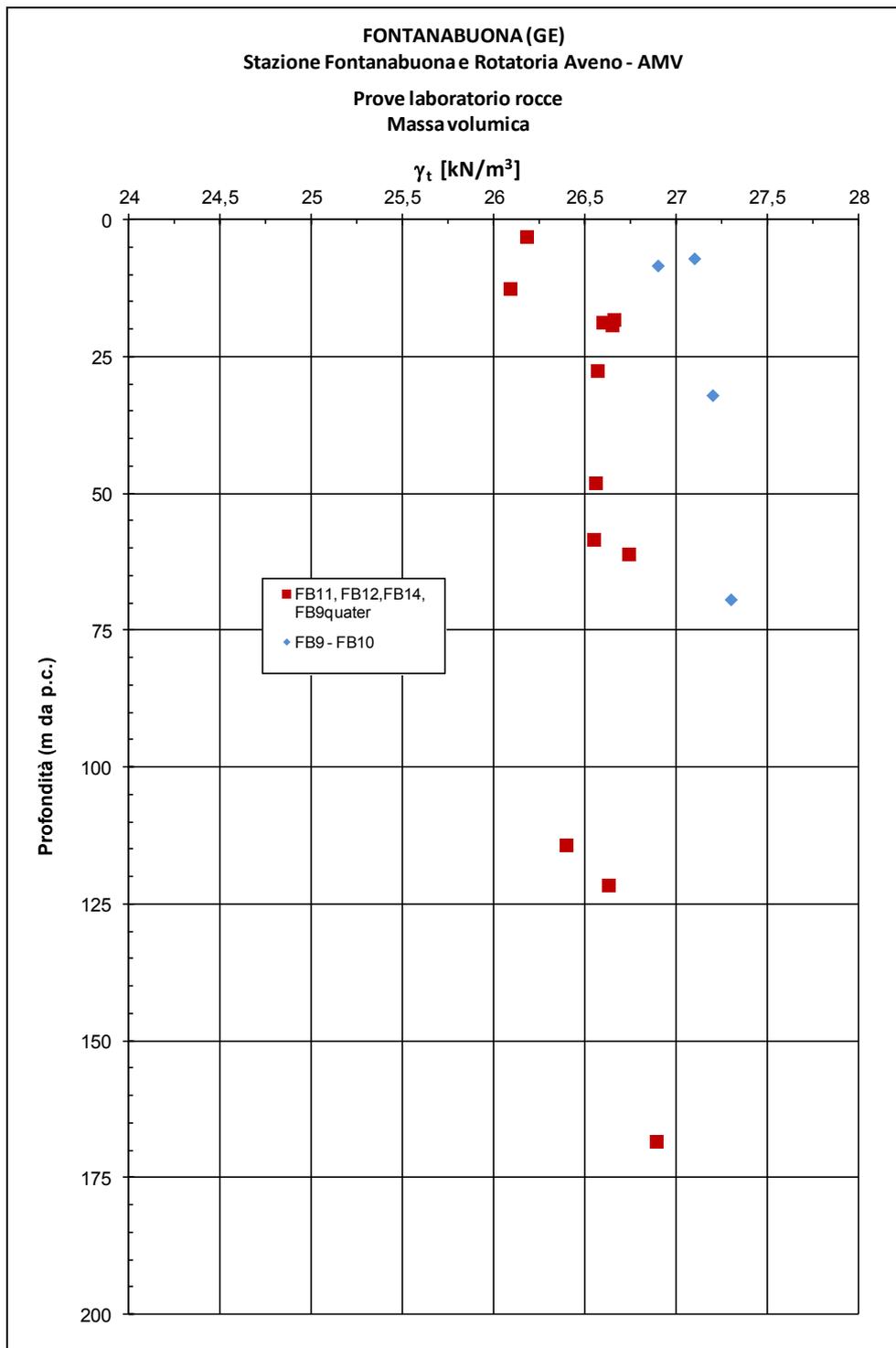
	Matrice lapidea		Ammasso roccioso compatto	Ammasso roccioso fessurato/alterato
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	26 ÷ 27	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	26 ÷ 27	
$\sigma_c$ (MPa) (*)	15 ÷ 50	RMR <sub>89</sub> (-)	30 ÷ 45	
I <sub>s50</sub> (MPa)	1.0 ÷ 4.0	GSI (-)	40	25
$\sigma_c$ (MPa) (**)	diametrico 25 assiale 95	JRC (-)	4 ÷ 8	
$\sigma_T$ (MPa)		JCS (MPa)	20 ÷ 28	
E <sub>t50</sub> (GPa)	12 ÷ 50	k (m/s)	5·10 <sup>-8</sup> ÷ 5·10 <sup>-6</sup>	
MR (-)	200 ÷ 800	E <sub>d</sub> (GPa)	2 ÷ 12	
V <sub>p</sub> (m/s)	3400 - 5000	E <sub>u</sub> (GPa)	3 ÷ 20	
V <sub>s</sub> (m/s)	1800 - 3000	E <sub>op</sub> D=0.5 (GPa)	1.8 ÷ 2.8	
E <sub>din</sub> (GPa)	20 ÷ 60	E <sub>op</sub> D=1.0 (GPa)		0.5 ÷ 1.2
G <sub>din</sub> (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 <sub>i</sub> (-)	7	m <sub>b</sub> (-)	≈ 0.259	≈ 0.114
m <sub>b</sub>	0.98	s (-)	≈ 0.0002	≈ 1.90·10 <sup>-5</sup>
s	1.00	a (-)	0.511	0.531
a (-)	0.51	Φ <sub>p,joint</sub> (°), c <sub>p,joint</sub> (kPa)	29° ÷ 32° 10 ÷ 180	
		Φ <sub>r,joint</sub> (°), c <sub>r,joint</sub> (kPa)	24° ÷ 30°	

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

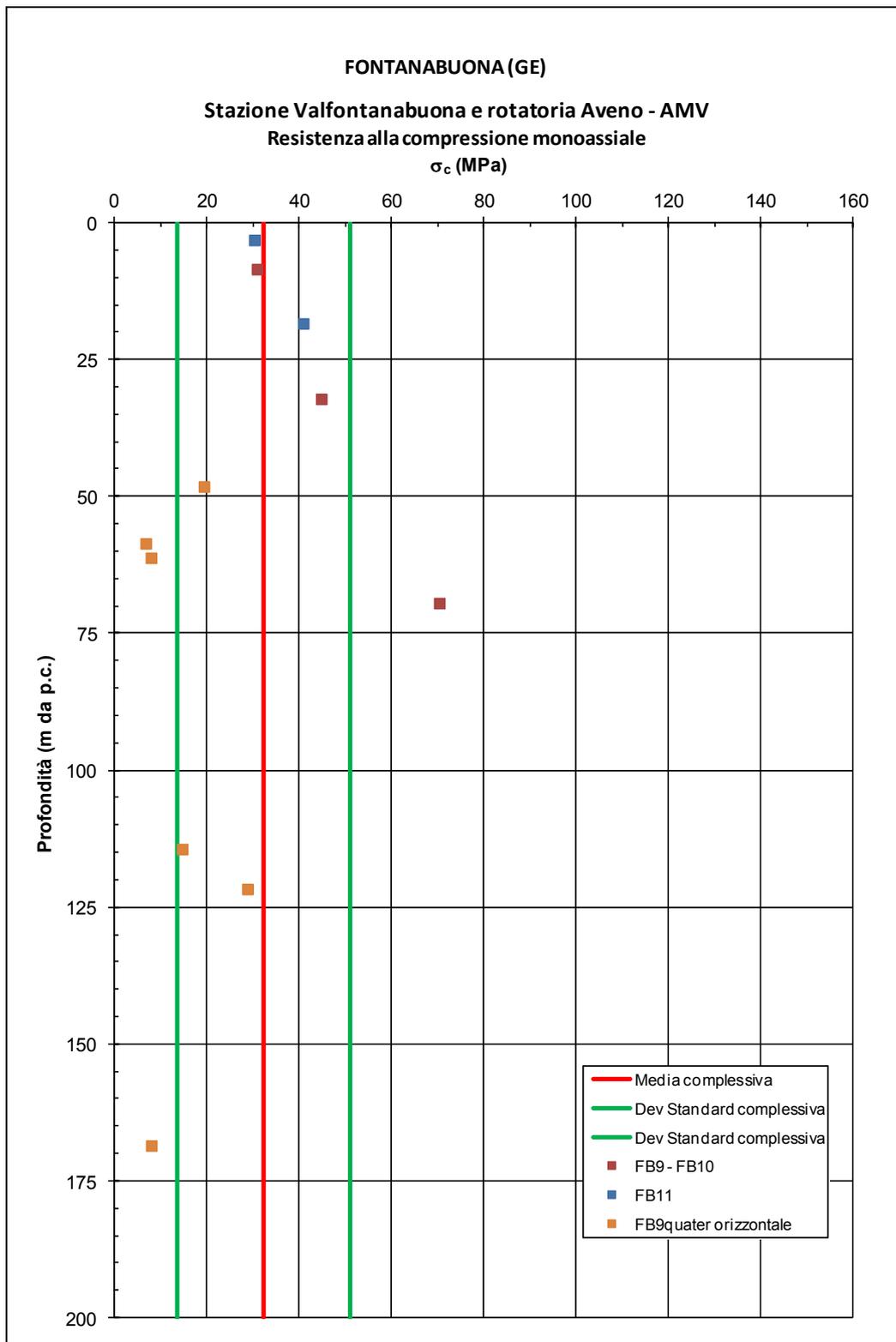
I parametri di resistenza indicati sono validi per pressioni di confinamento nell'intorno di 0.5 MPa (0.25÷0.75 MPa). Per pressioni sensibilmente inferiori i corrispondenti valori dei parametri di resistenza potranno essere individuati utilizzando le Figure in cui sono riportati gli involuppi di rottura.

**Simbologia:**

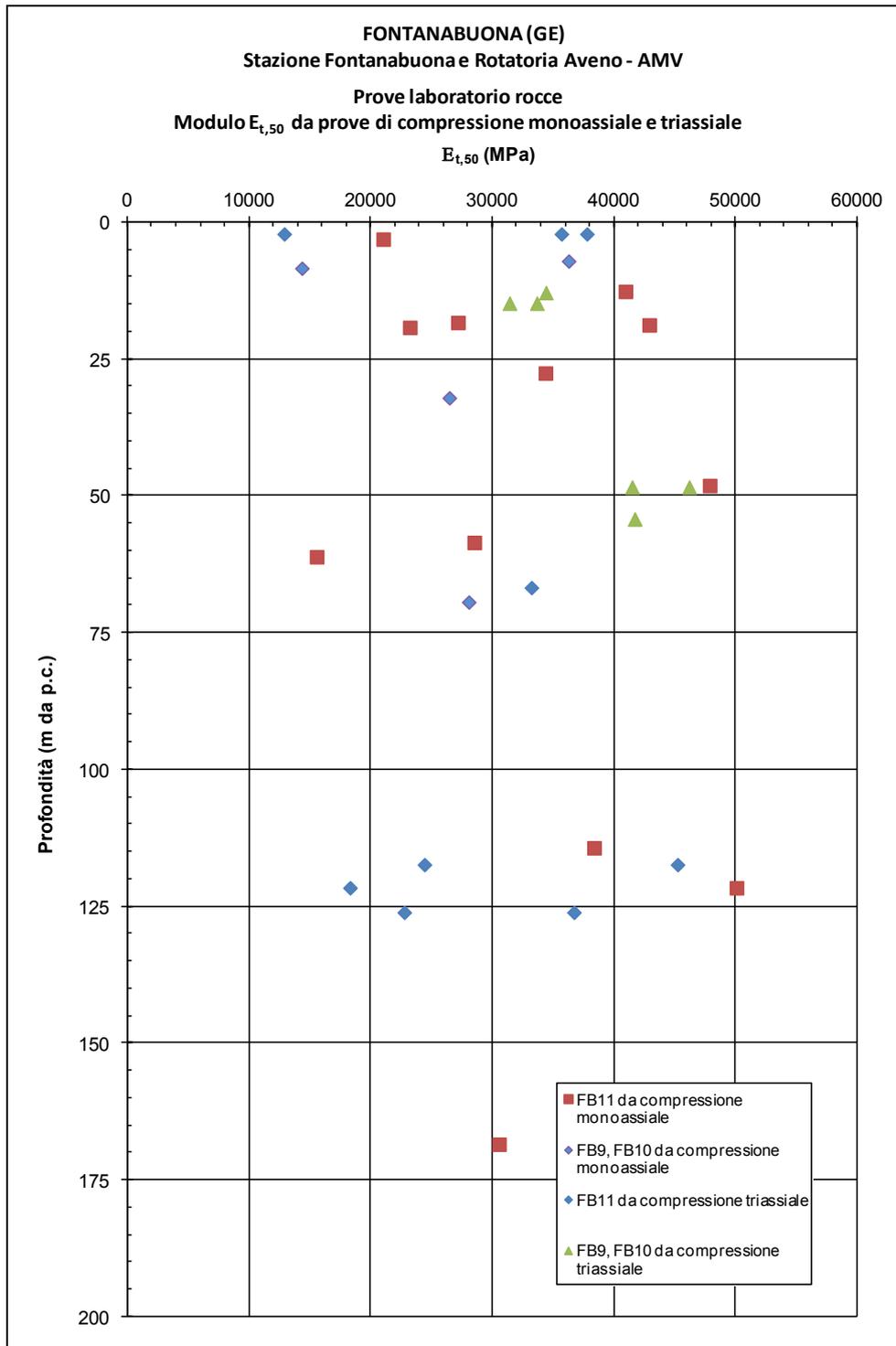
- $\gamma_t$  = peso di volume naturale;
- $s_c$  (\*) = resistenza compressione monoassiale
- $s_c$  (\*\*\*) = resistenza compressione monoassiale da prova Point Load ( $s_c = 24 \cdot I_{s50}$ )
- $s_T$  = resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)
- $E_{t50}$  = modulo di Young tangente
- MR = rapporto di modulo ( $E_{t50}/s_c$ )
- $\nu$  = 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)
- RMR<sub>89</sub> = 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)
- $\phi$  = angolo di attrito (criterio di rottura di Hoek & Brown)



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

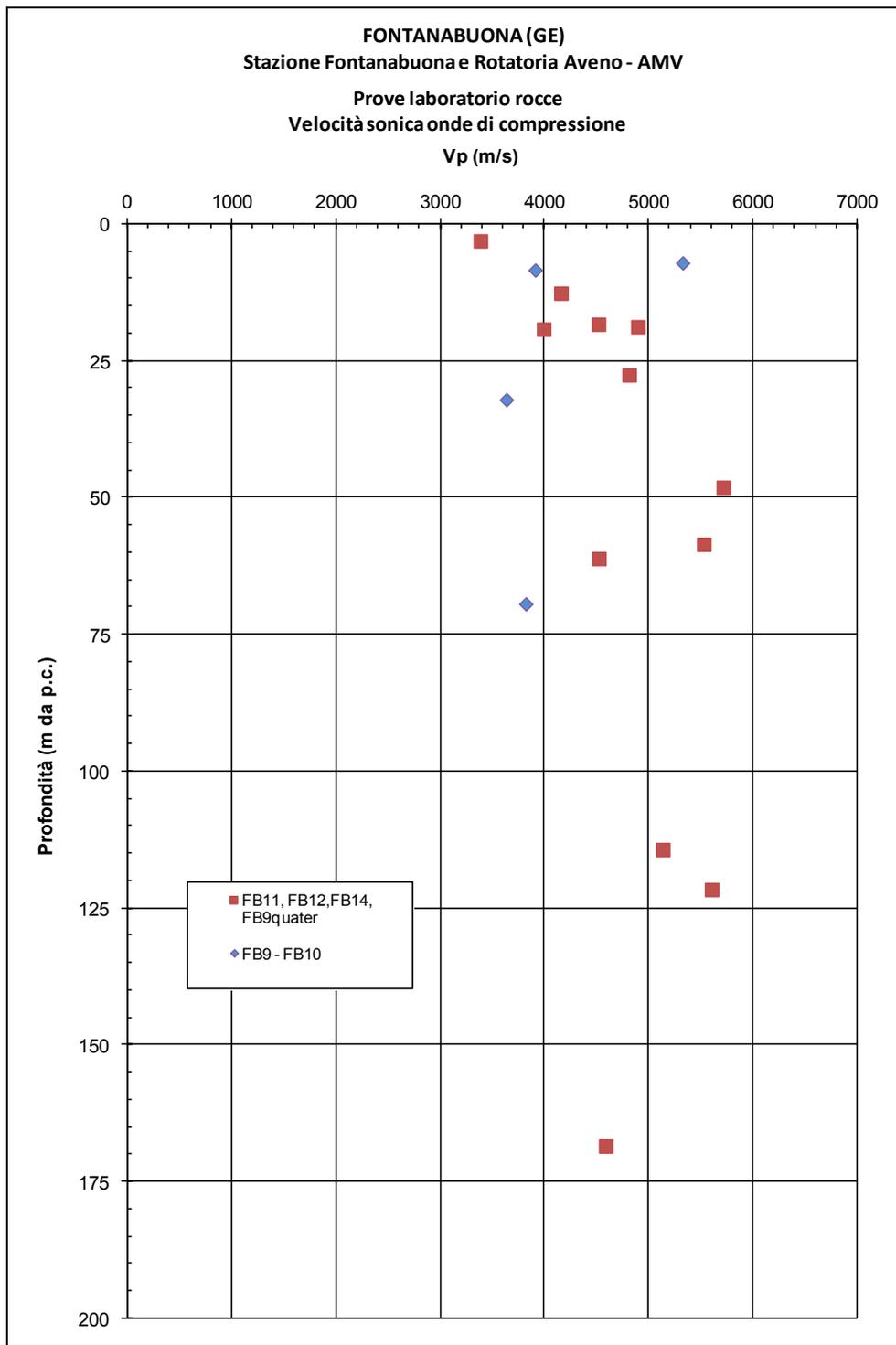


**Figura 11.40 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno – Resistenza a compressione monoassiale**

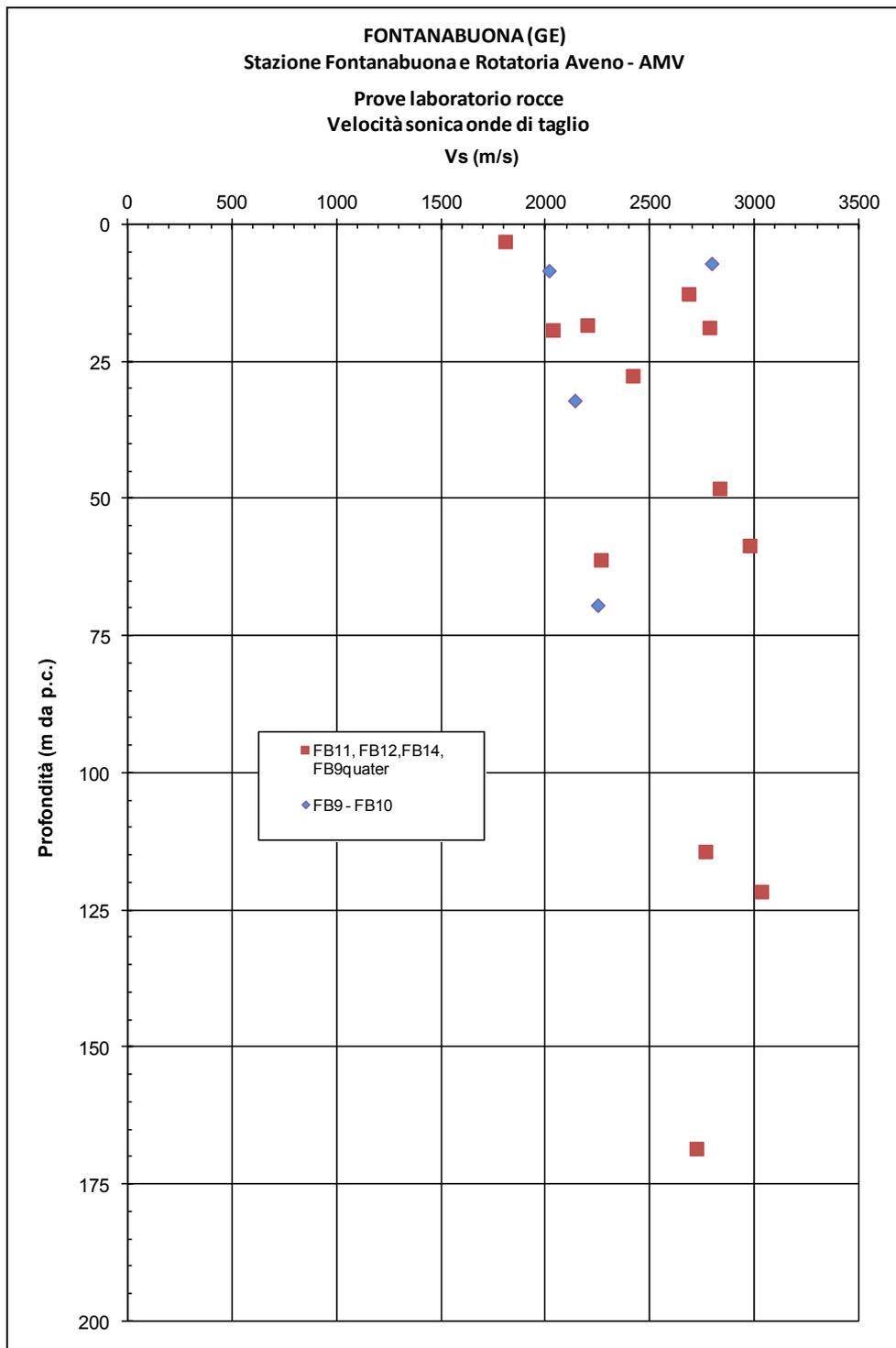


**Figura 11.41 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo  $E_{t,50}$  da prova di compressione monoassiale**

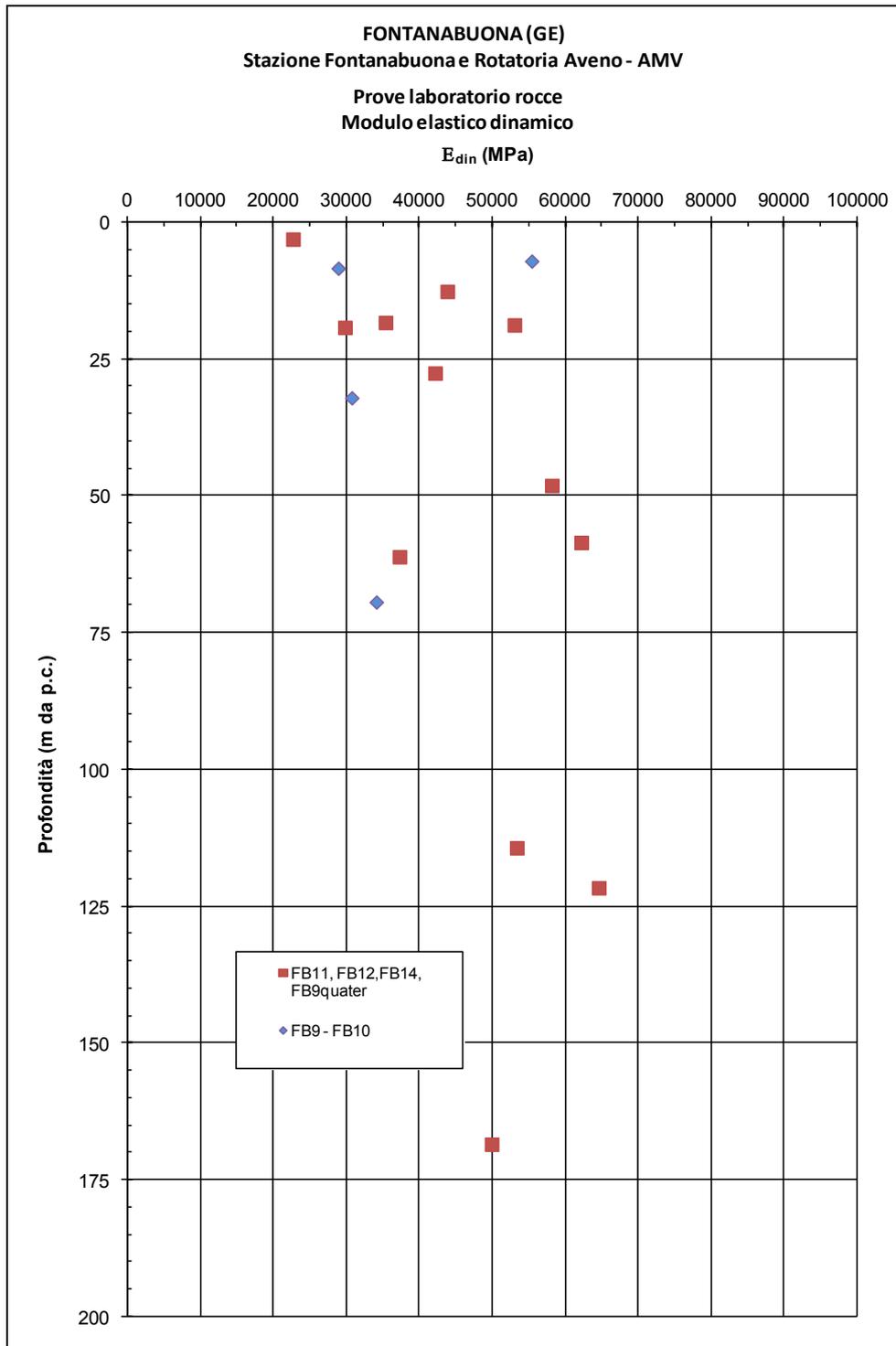




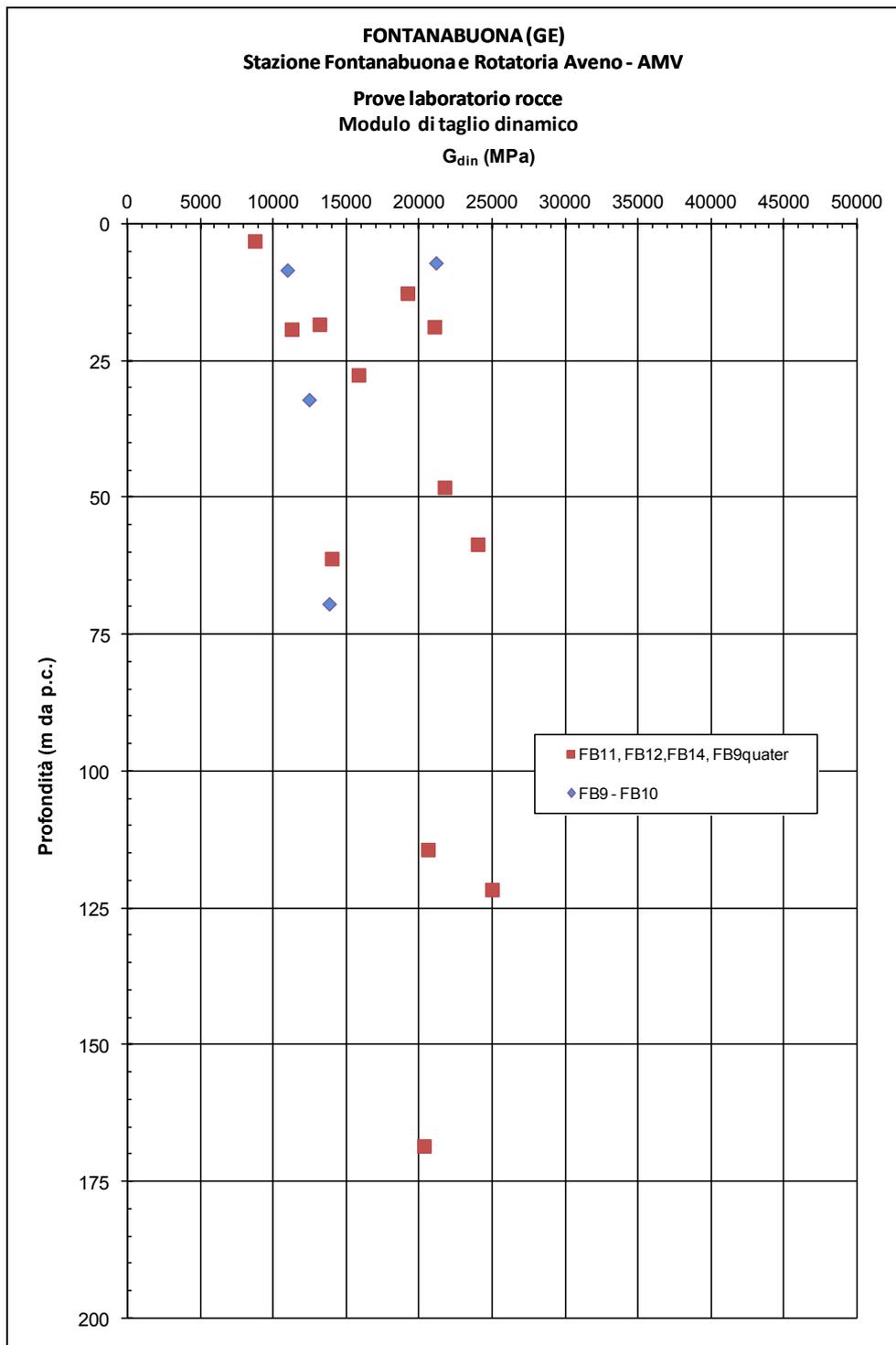
**Figura 11.43 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Velocità sonica onde di compressione**



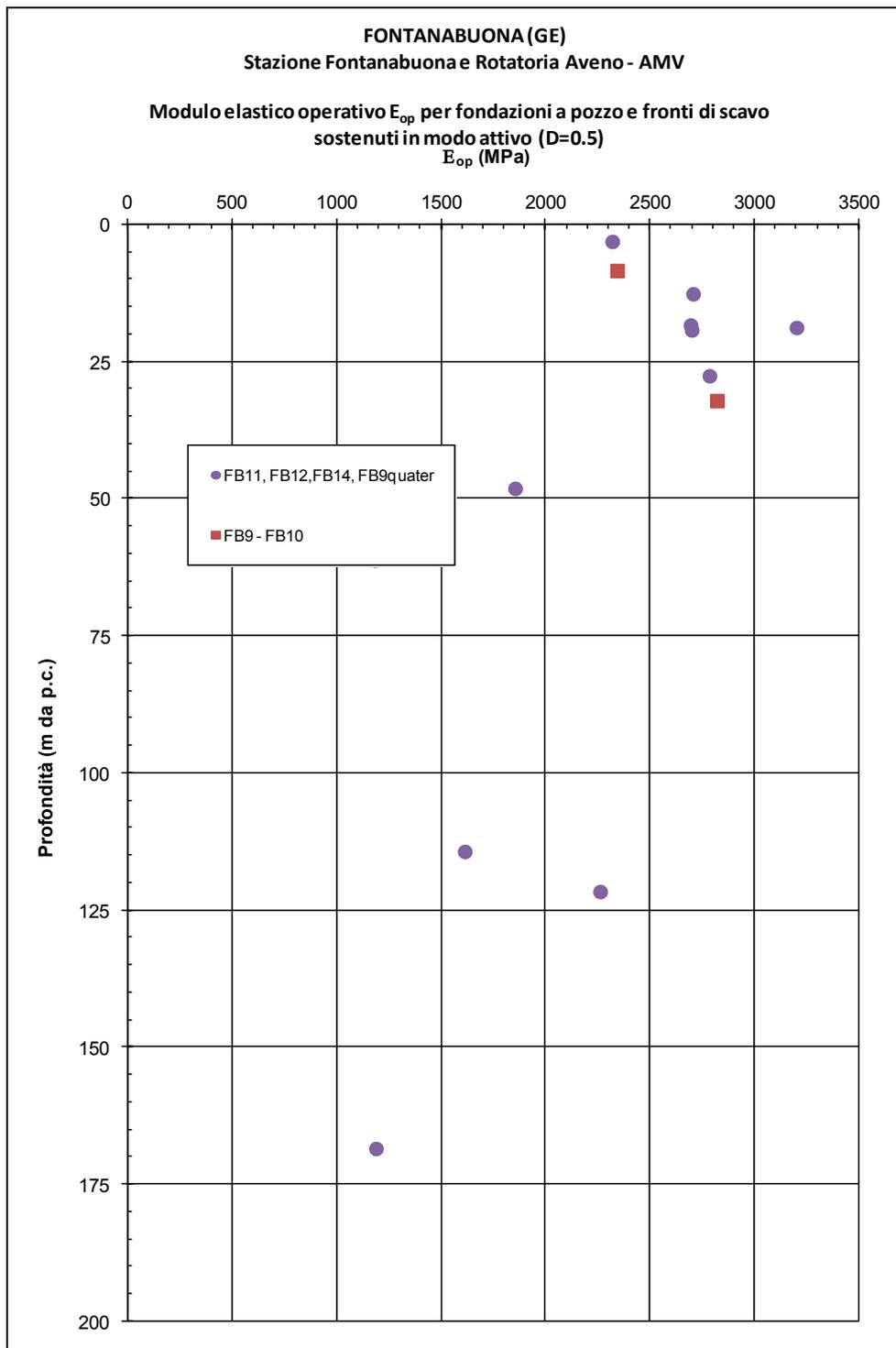
**Figura 11.44 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Velocità sonica onde di taglio**



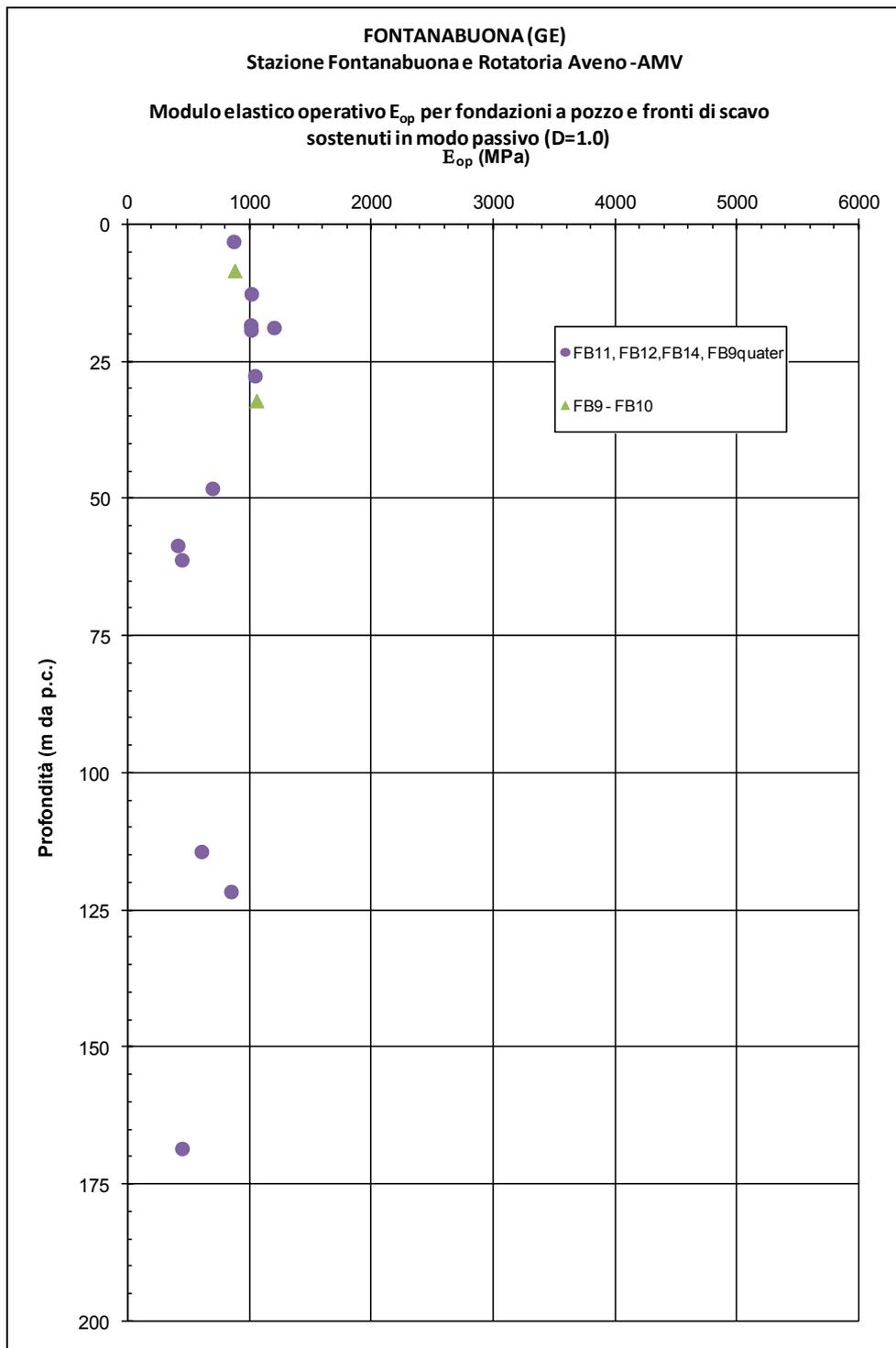
**Figura 11.45 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo elastico dinamico**



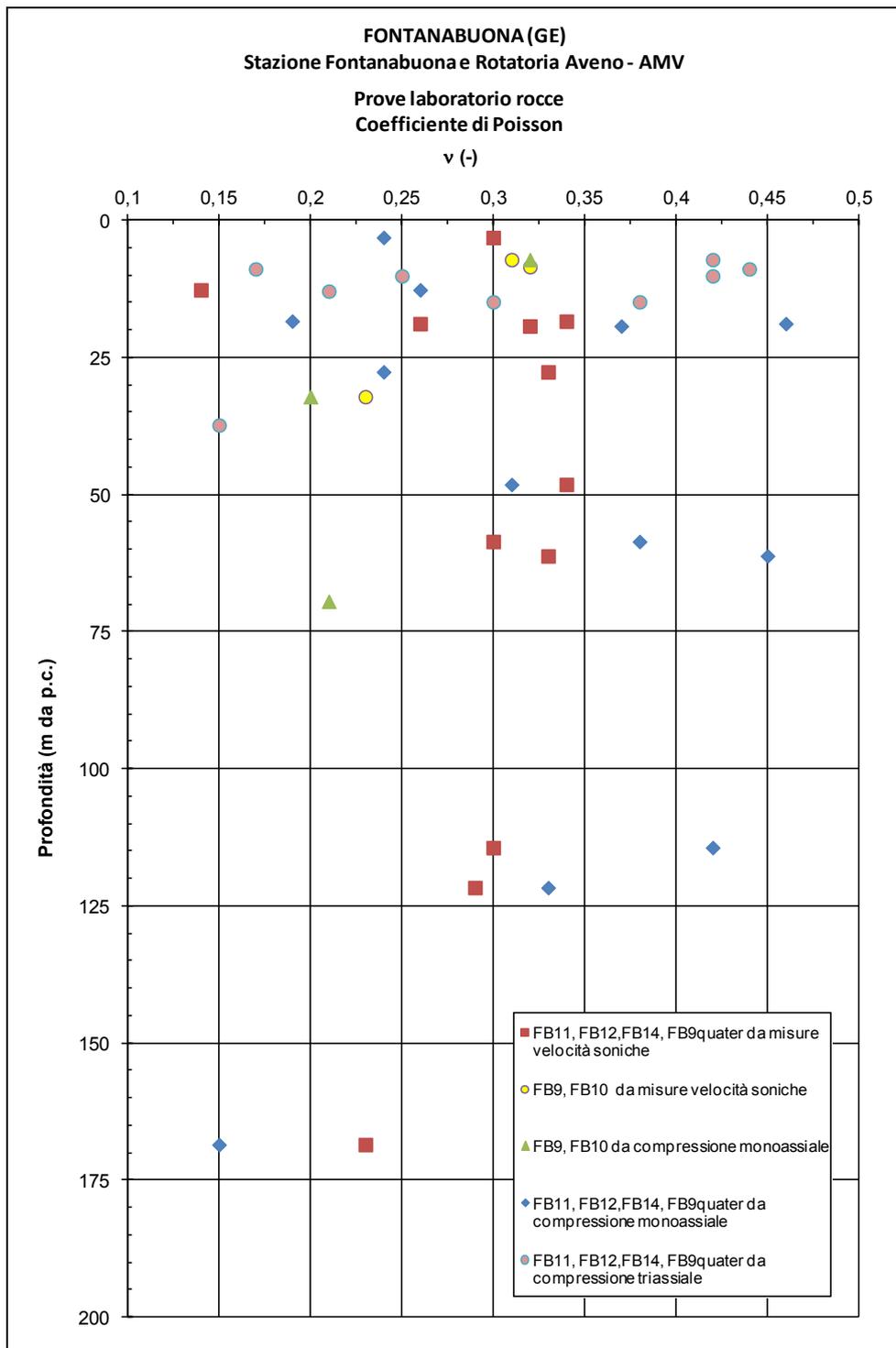
**Figura 11.46 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo di taglio dinamico**



**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**

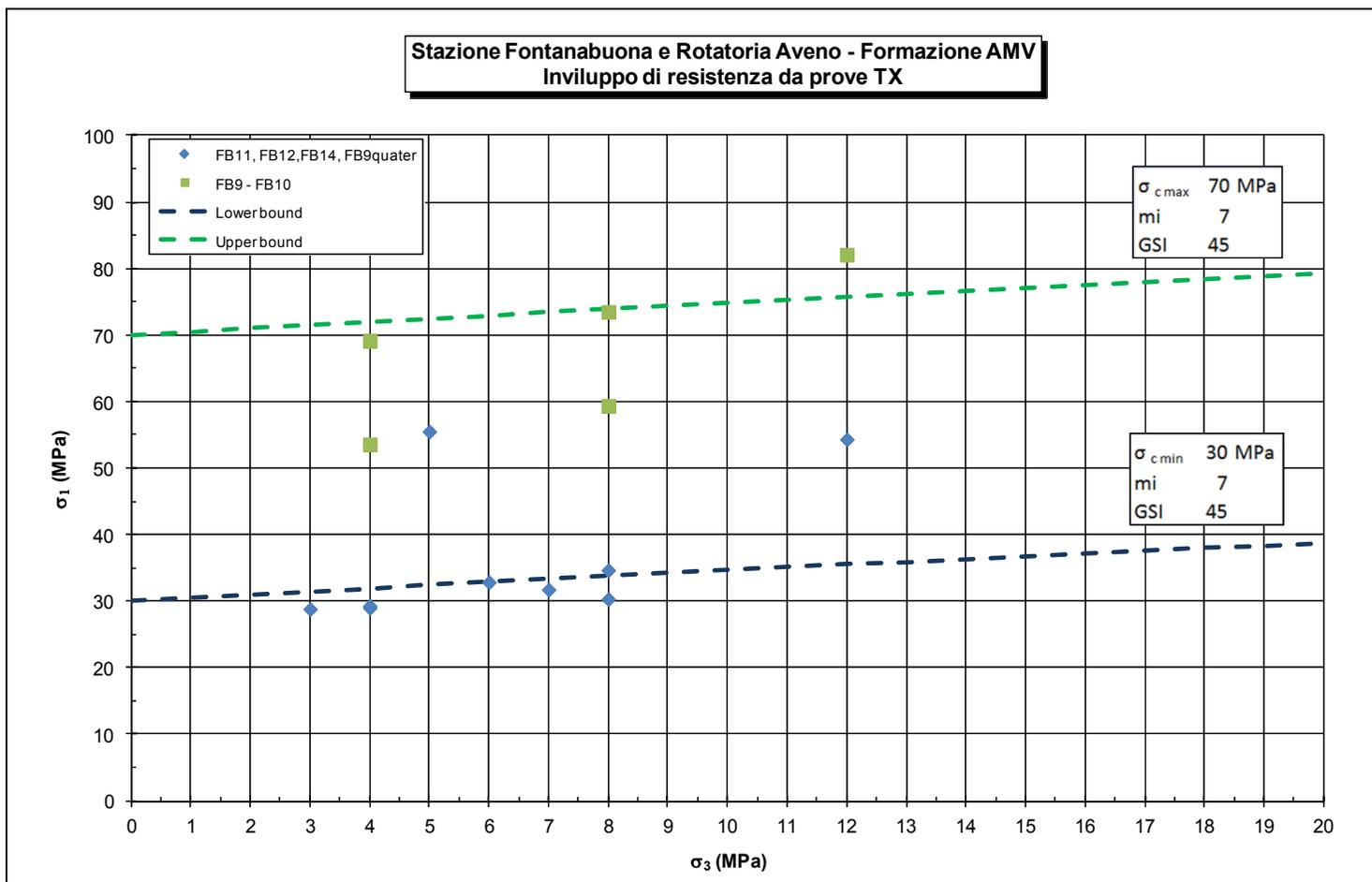
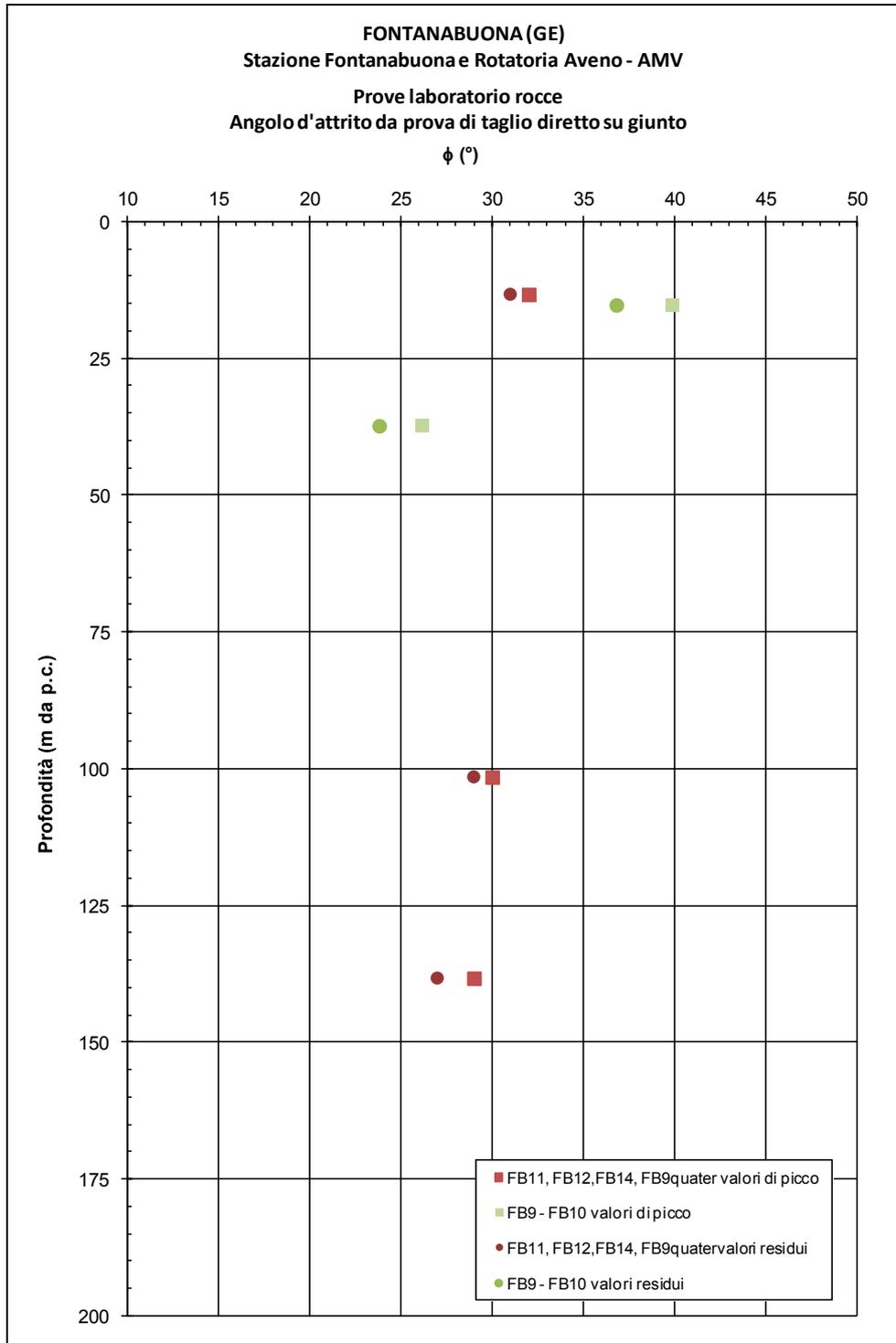
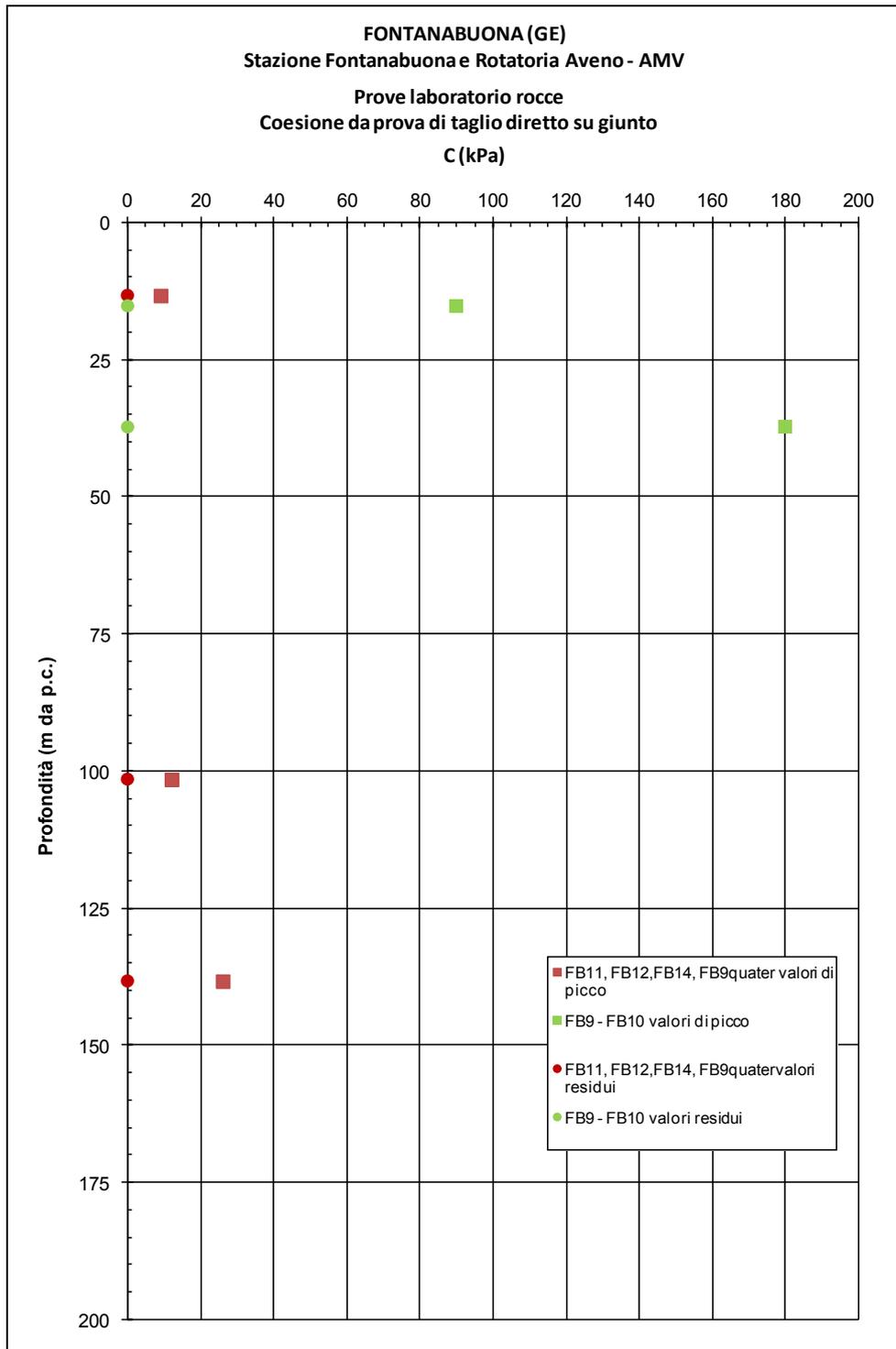


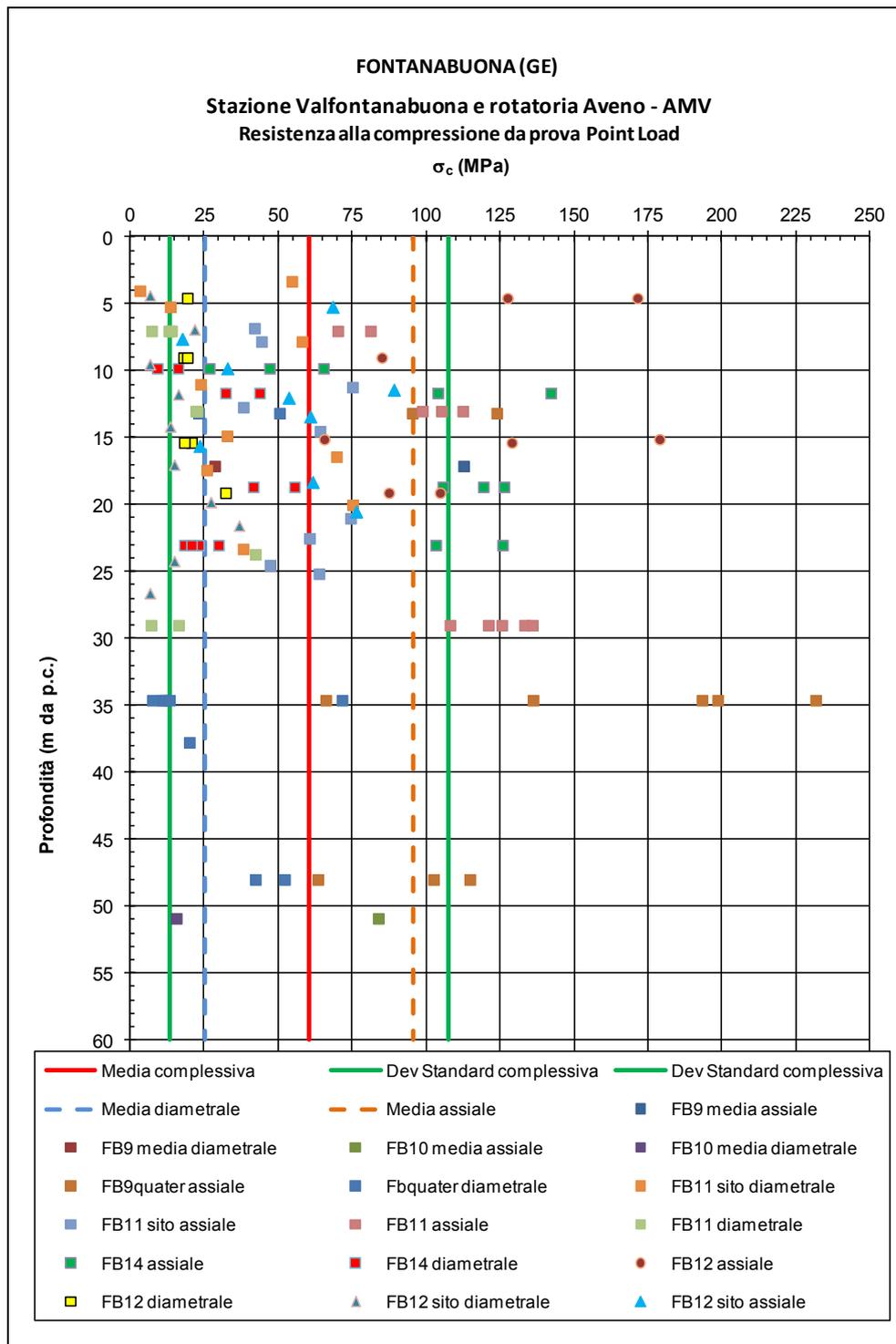
Figura 11.50 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Risultati prove TX



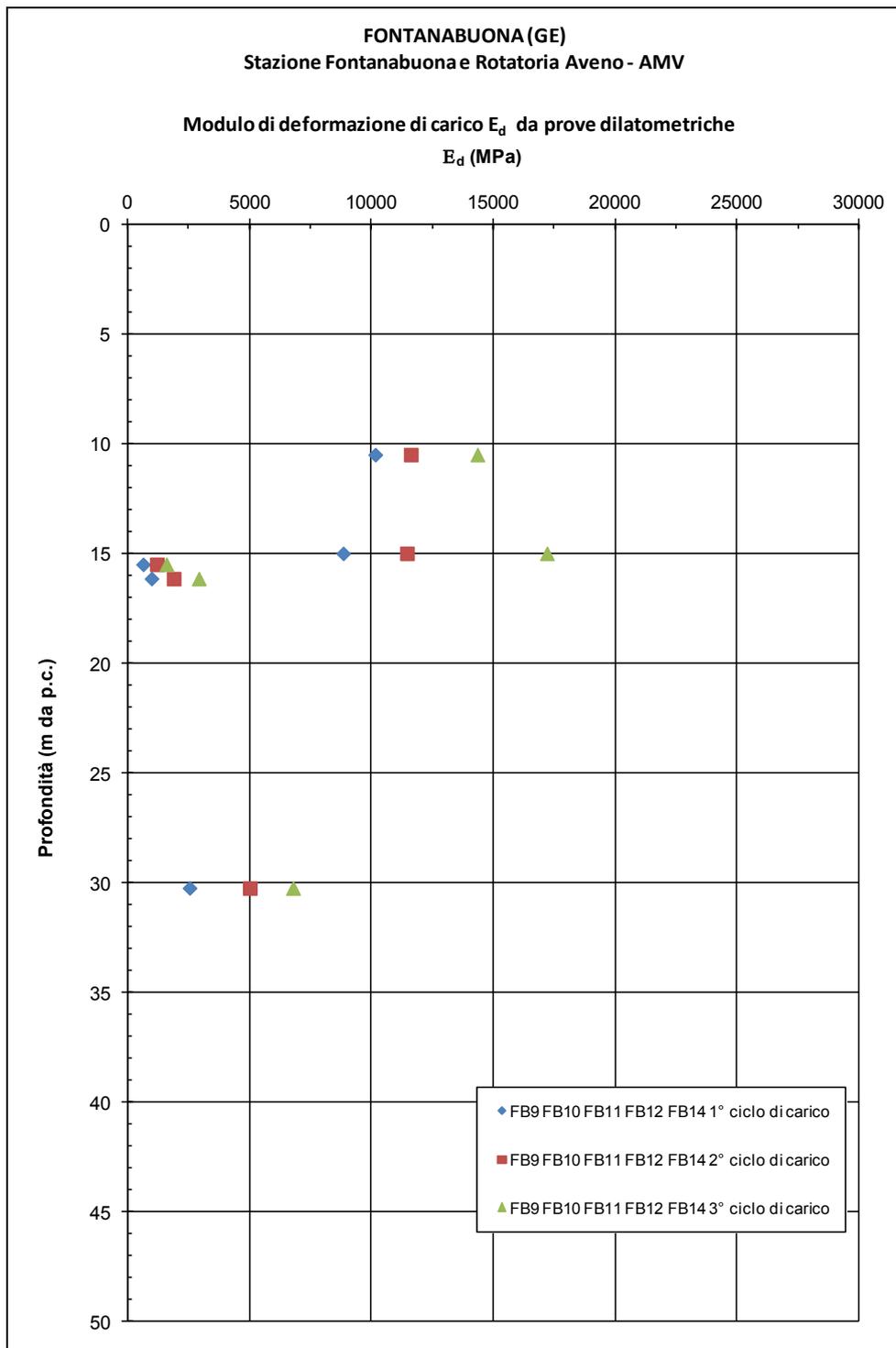
**Figura 11.51 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Angolo d'attrito da prova di taglio diretto su giunto**



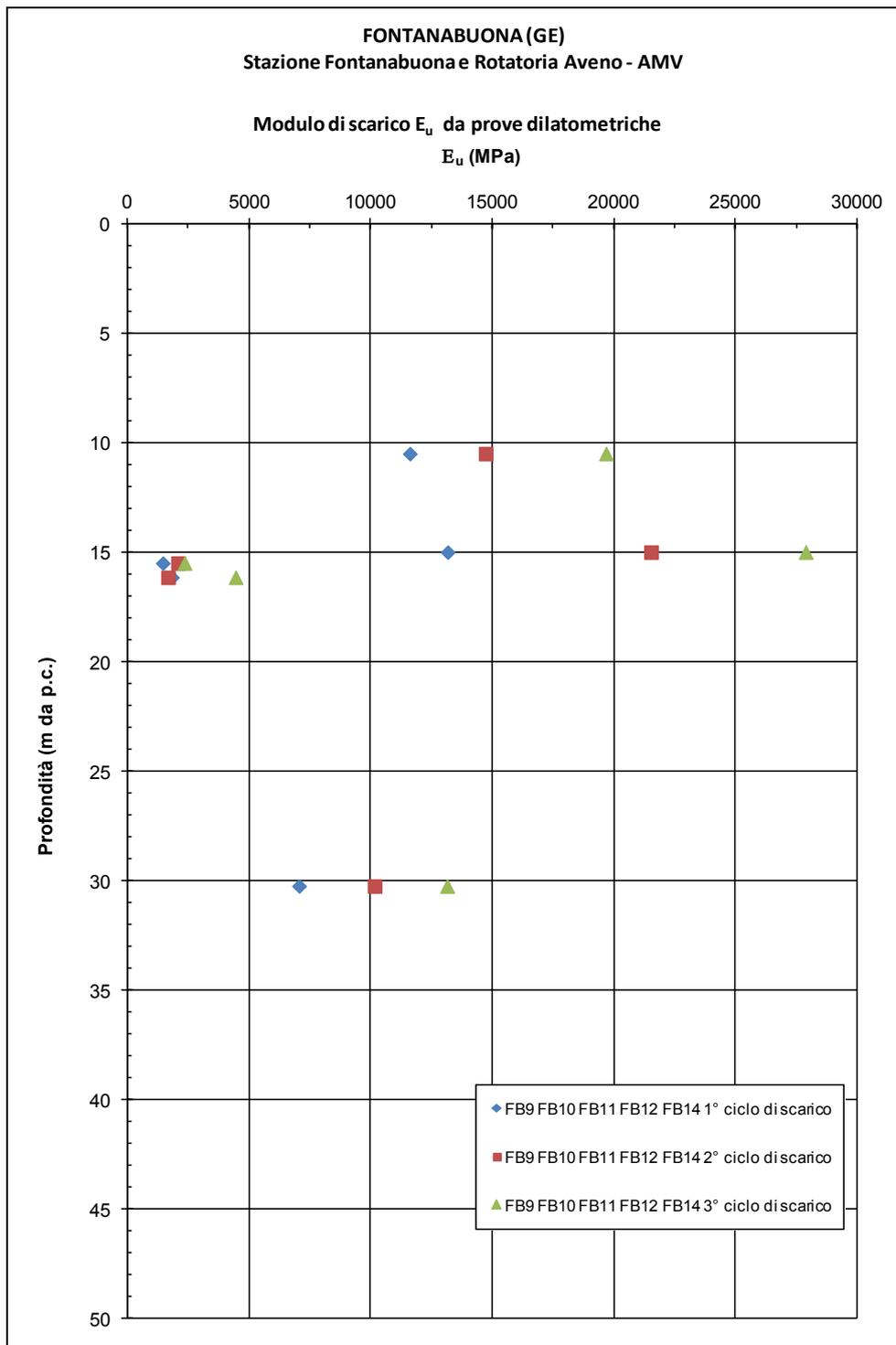
**Figura 11.52 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Coesione da prova di taglio diretto su giunto**



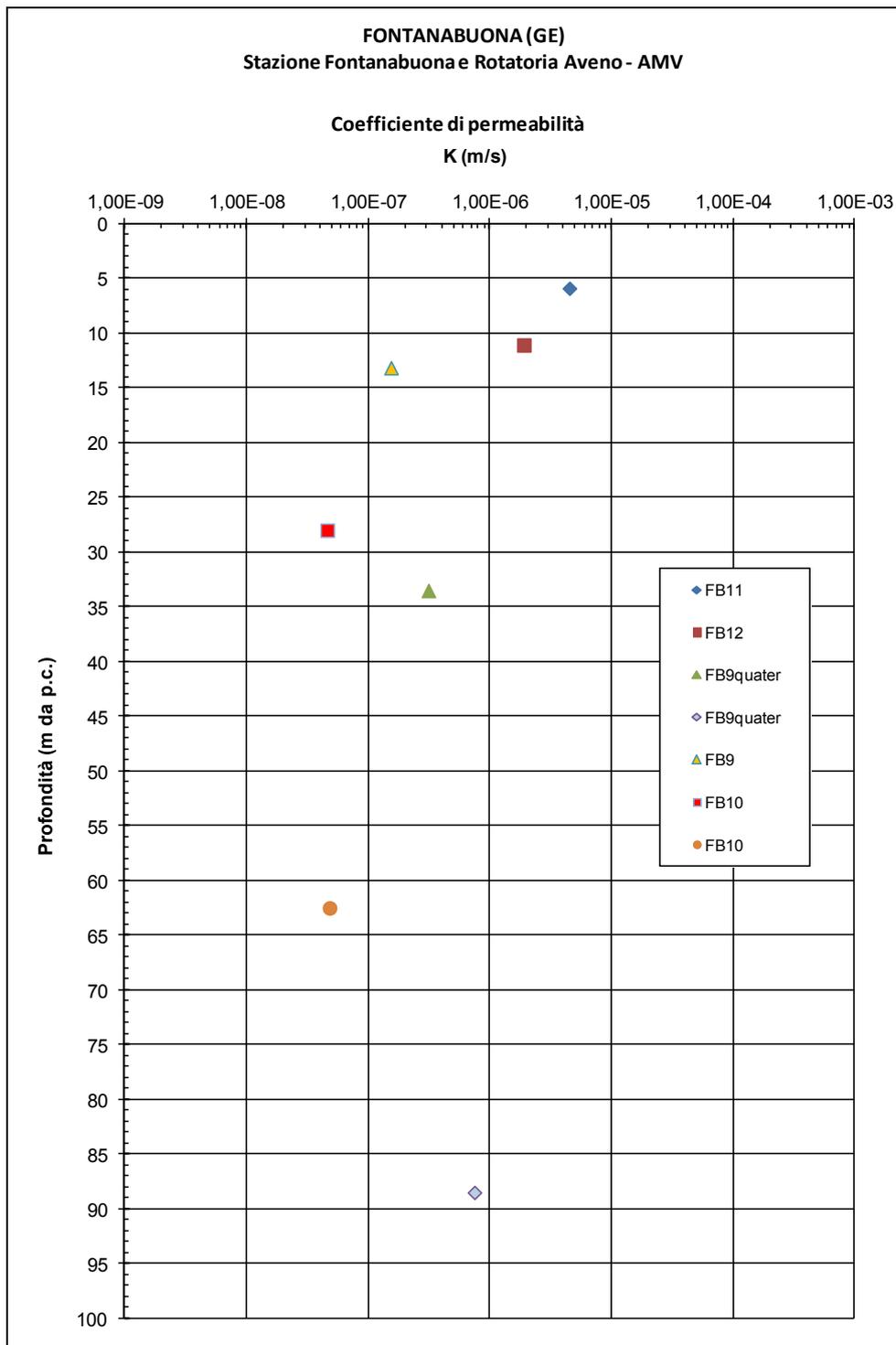
**Figura 11.53 - Formazione AMV Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Resistenza a compressione da prova Point Load**



**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 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.

### 11.5.2 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  $\gamma_t$  può essere assunto variabile tra 26.5 kN/m<sup>3</sup> e 27.5 kN/m<sup>3</sup> (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:

$\sigma_c$  (\*) = resistenza compressione monoassiale

$I_{s50}$  = Point Load Index normalizzato

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

$\sigma_T$  = resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)

$E_{t50}$  = modulo di Young tangente

MR = rapporto di modulo ( $E_{t50}/\sigma_c$ )

$\nu$  = 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
<b>Compressione semplice laboratorio</b>			
		media	26
		min	7
		max	45
<b>da Point Load</b>		diametricale	assiale
	media	26	73
	min	14	37
	max	37	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	
FB12	29	30	<25		10	10.00	
						<b>38</b>	<b>10</b>

**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:

<b>Stazione di Fontanabuona e rotatoria di Aveno</b>		
<b>Formazione</b>	<b>SCM</b>	
<b>Sondaggi di riferimento</b>		<b>RQD medio</b>
	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  $\sigma_c$  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.

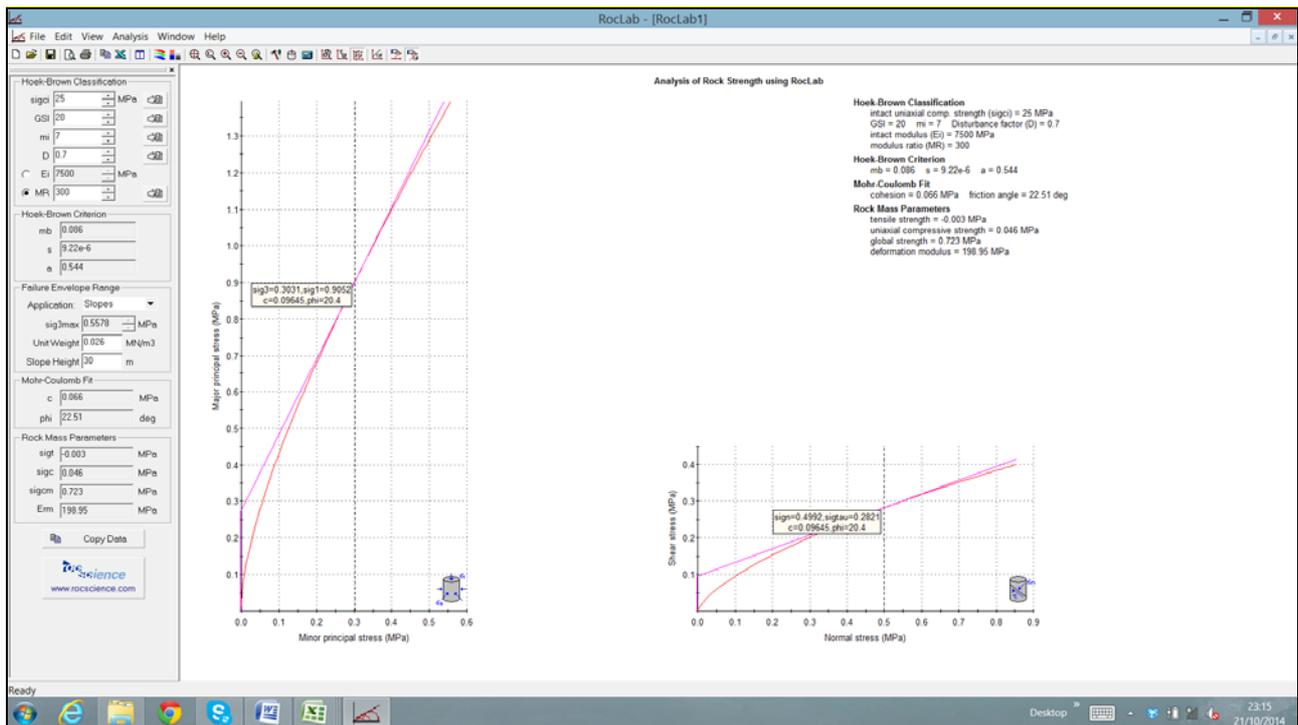


Figura 11.57 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso fessurato / alterato

### 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  $\sigma_c$ , 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 Figura ....a 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.

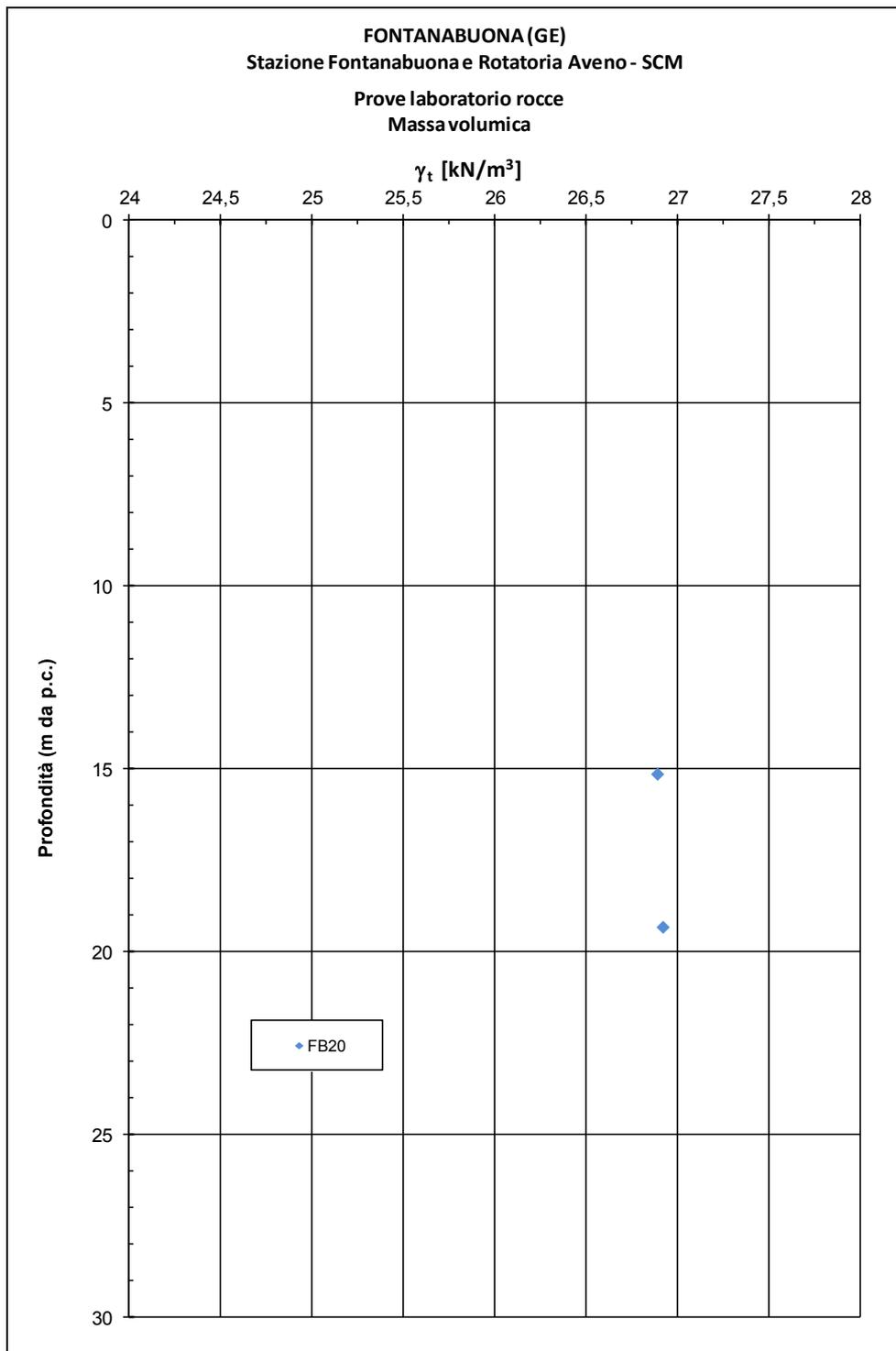
	Matrice lapidea		Ammasso roccioso compatto	Ammasso roccioso fessurato/alterato
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	26 ÷ 27	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	26 ÷ 27	
$\sigma_c$ (MPa) (*)	7 ÷ 45	RMR <sub>89</sub> (-)	25 ÷ 35	
I <sub>s50</sub> (MPa)	1.0 ÷ 3.0	GSI (-)		20
$\sigma_c$ (MPa) (**)	diametrale 25 assiale 75	JRC (-)		
$\sigma_T$ (MPa)		JCS (MPa)		
E <sub>t50</sub> (GPa)	10 ÷ 30	k (m/s)	1·10 <sup>-8</sup> ÷ 5·10 <sup>-4</sup>	
MR (-)	600 ÷ 800	E <sub>d</sub> (GPa)		0.3 ÷ 0.7
V <sub>p</sub> (m/s)	2500 - 4000	E <sub>u</sub> (GPa)		0.6 ÷ 1.1
V <sub>s</sub> (m/s)	1400 - 2400	E <sub>op</sub> D=0.5 (GPa)		1.5 ÷ 2.7
E <sub>din</sub> (GPa)	12 ÷ 35	E <sub>op</sub> D=1.0 (GPa)		0.60 ÷ 1.0
G <sub>din</sub> (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 <sub>i</sub> (-)	7	m <sub>b</sub> (-)		≈ 0.086
m <sub>b</sub>		s (-)		≈ 9.22·10 <sup>-6</sup>
s		a (-)		0.544
a (-)		φ <sub>p,joint</sub> (°), c <sub>p,joint</sub> (kPa)		
		φ <sub>r,joint</sub> (°), c <sub>r,joint</sub> (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:**

- $\gamma_t$  = 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 ( $E_{t50}/s_c$ )
- $\nu$  = 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)
- RMR<sub>89</sub> = 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)
- $\phi$  = angolo di attrito (criterio di rottura di Hoek & Brown)



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

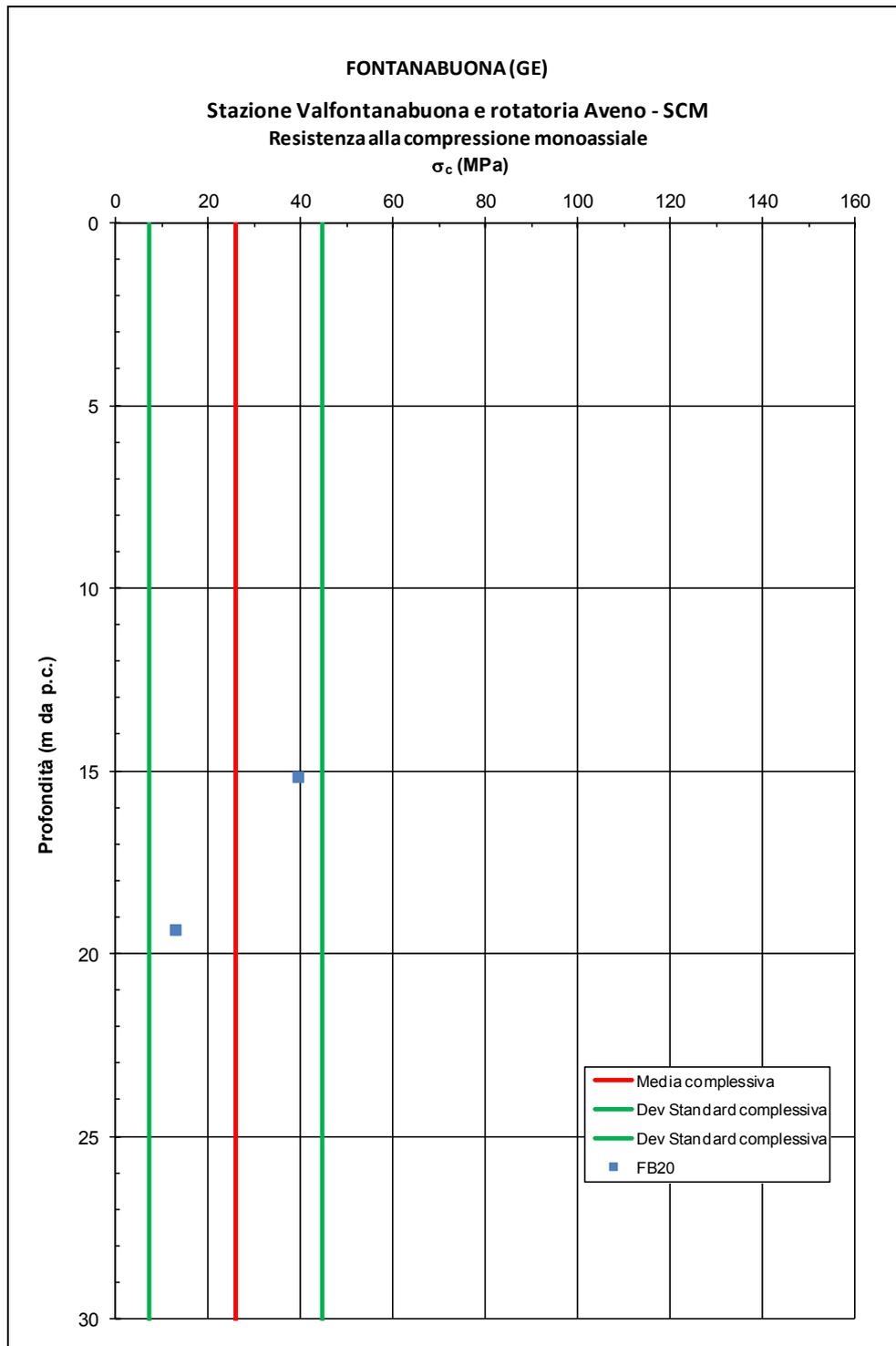


Figura 11.59 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno – Resistenza a compressione monoassiale

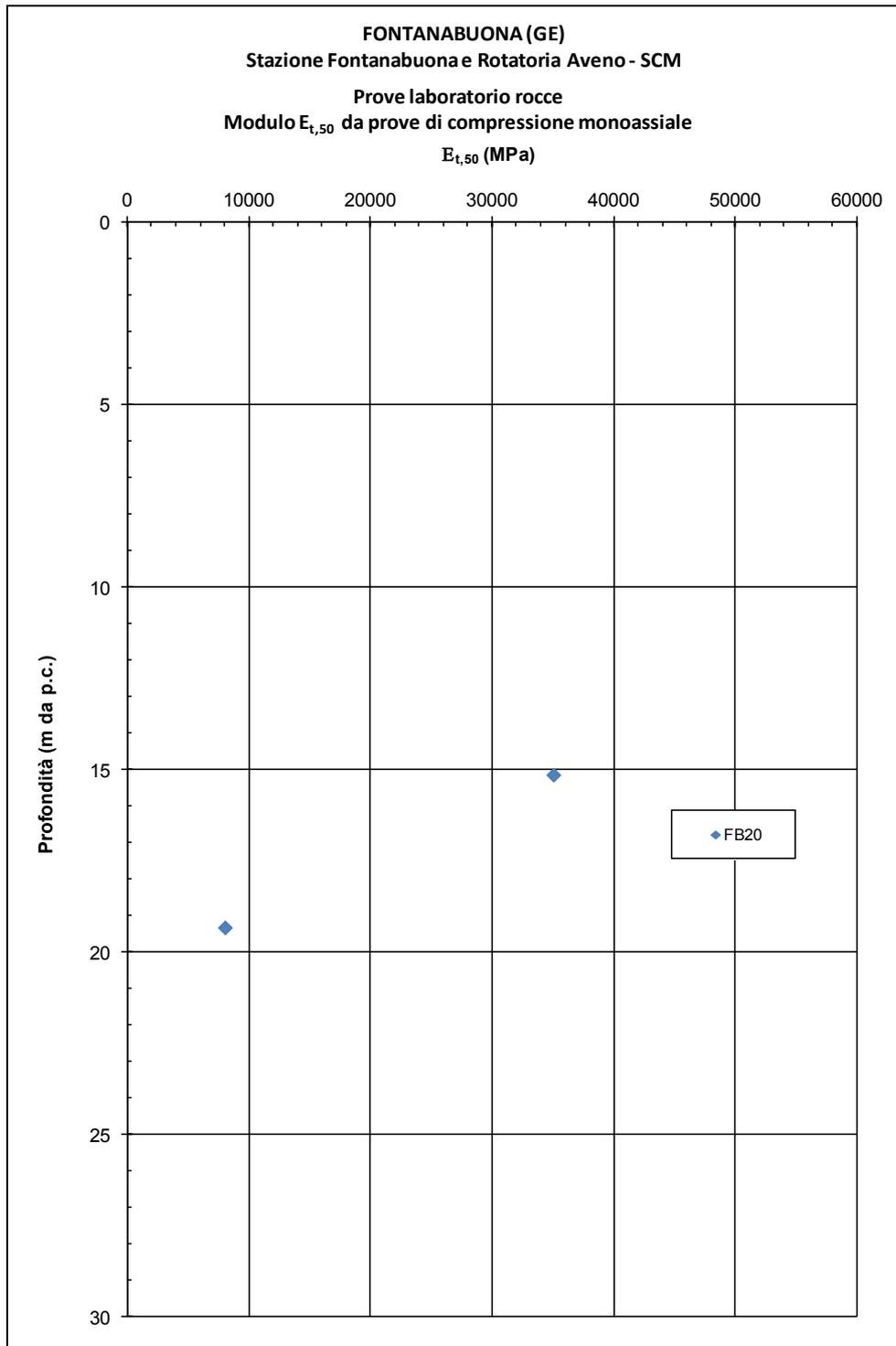
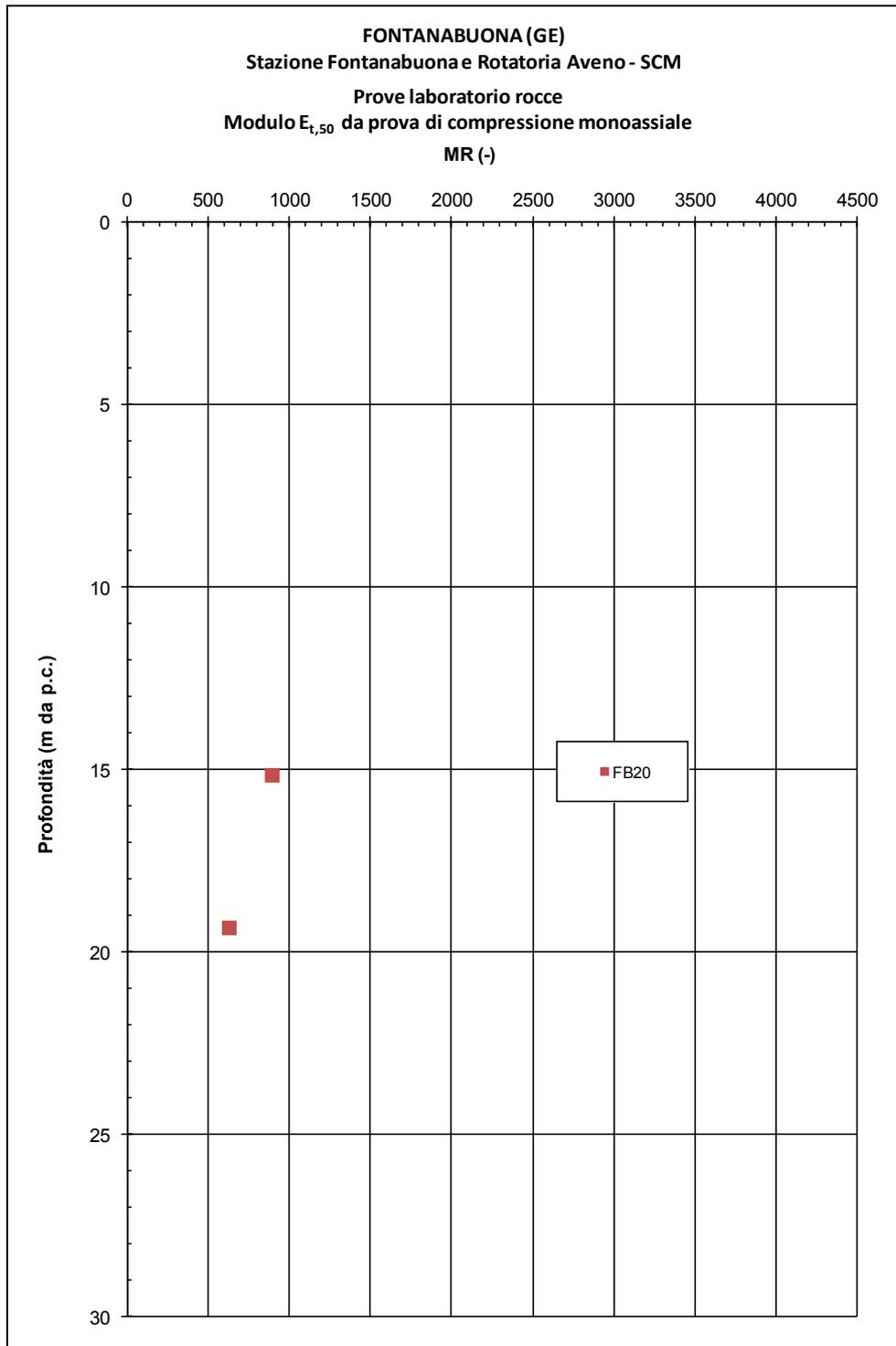
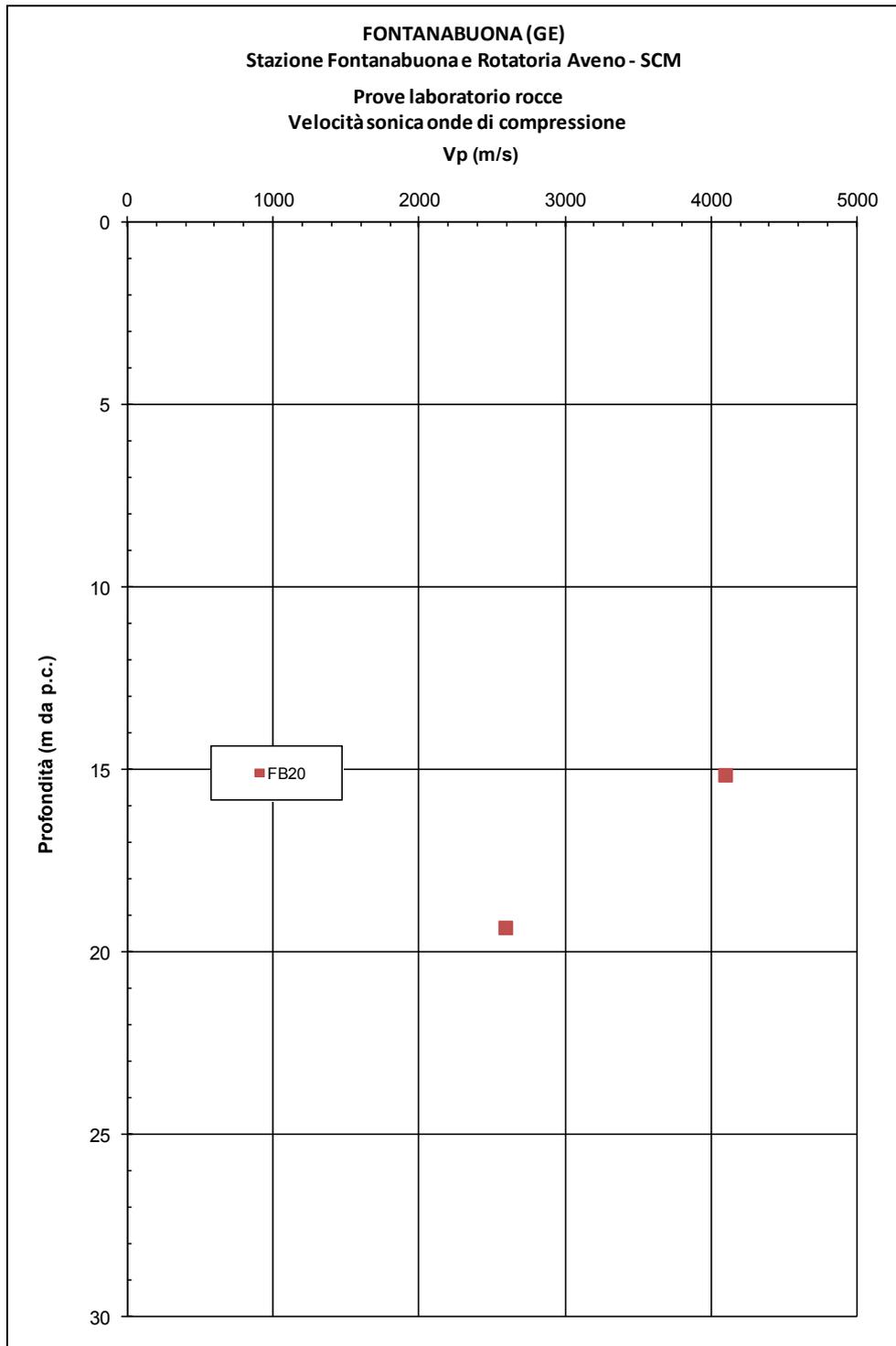


Figura 11.60 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo  $E_{t,50}$   
da prova di compressione monoassiale



**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**

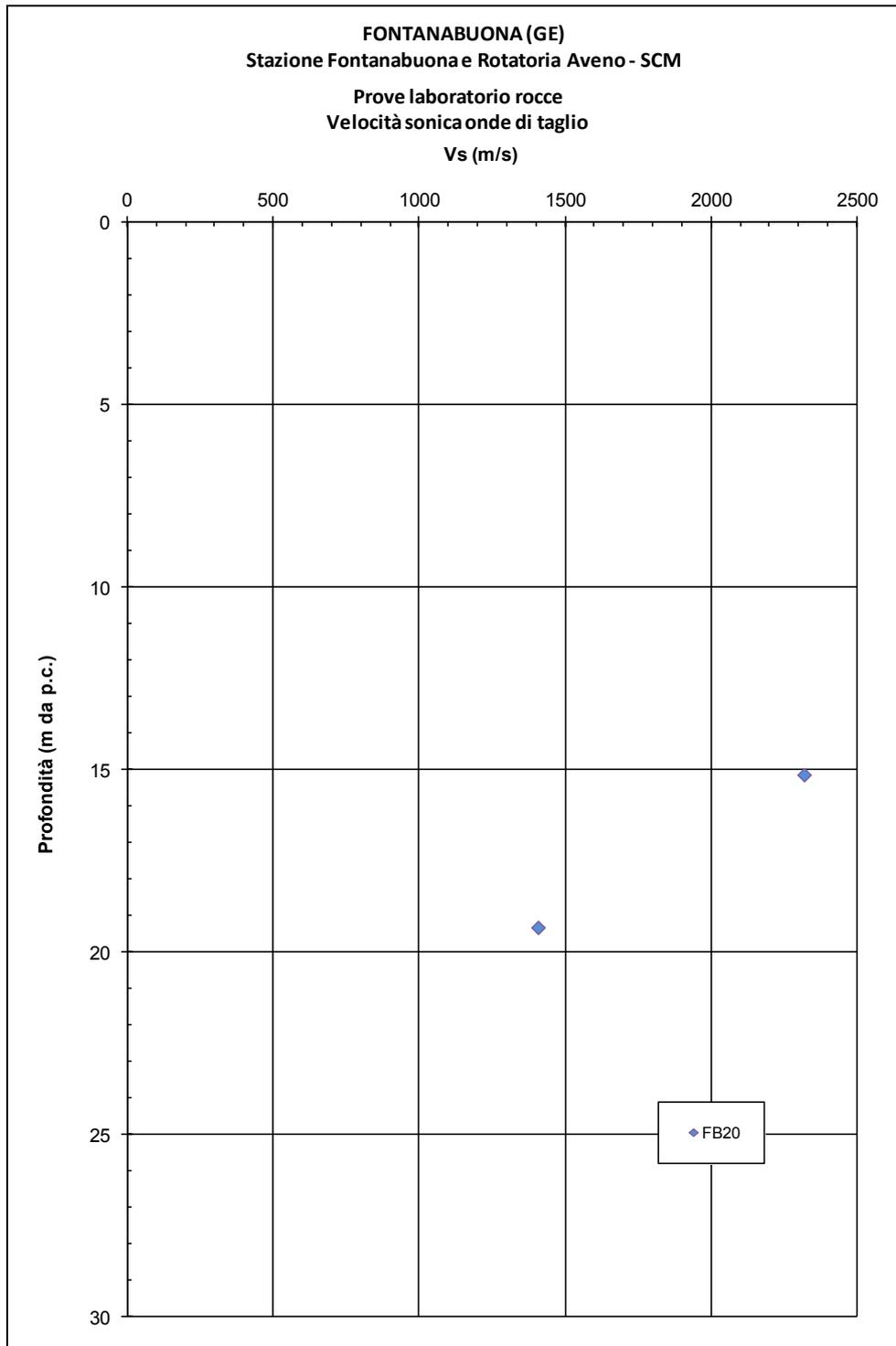
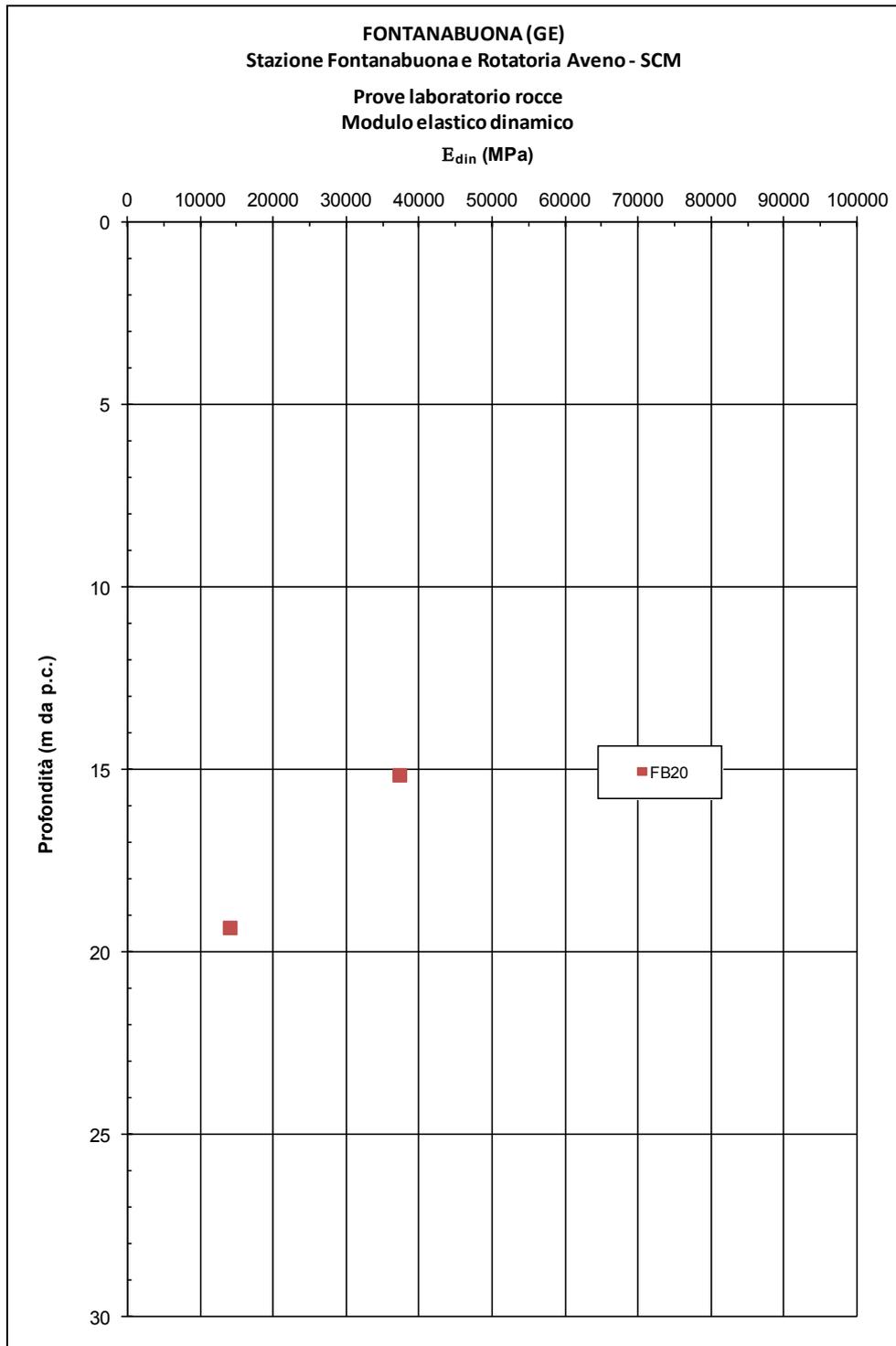
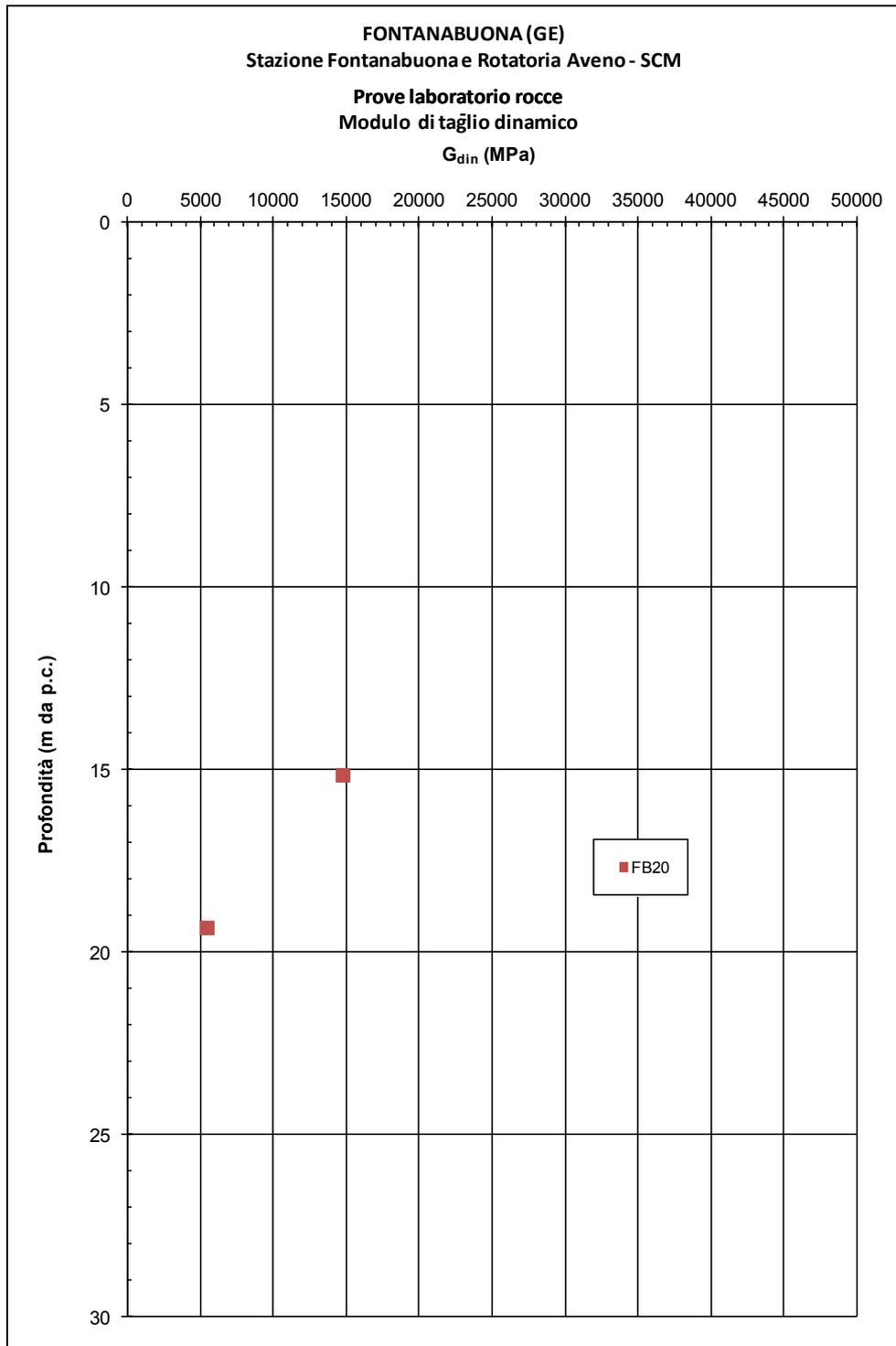


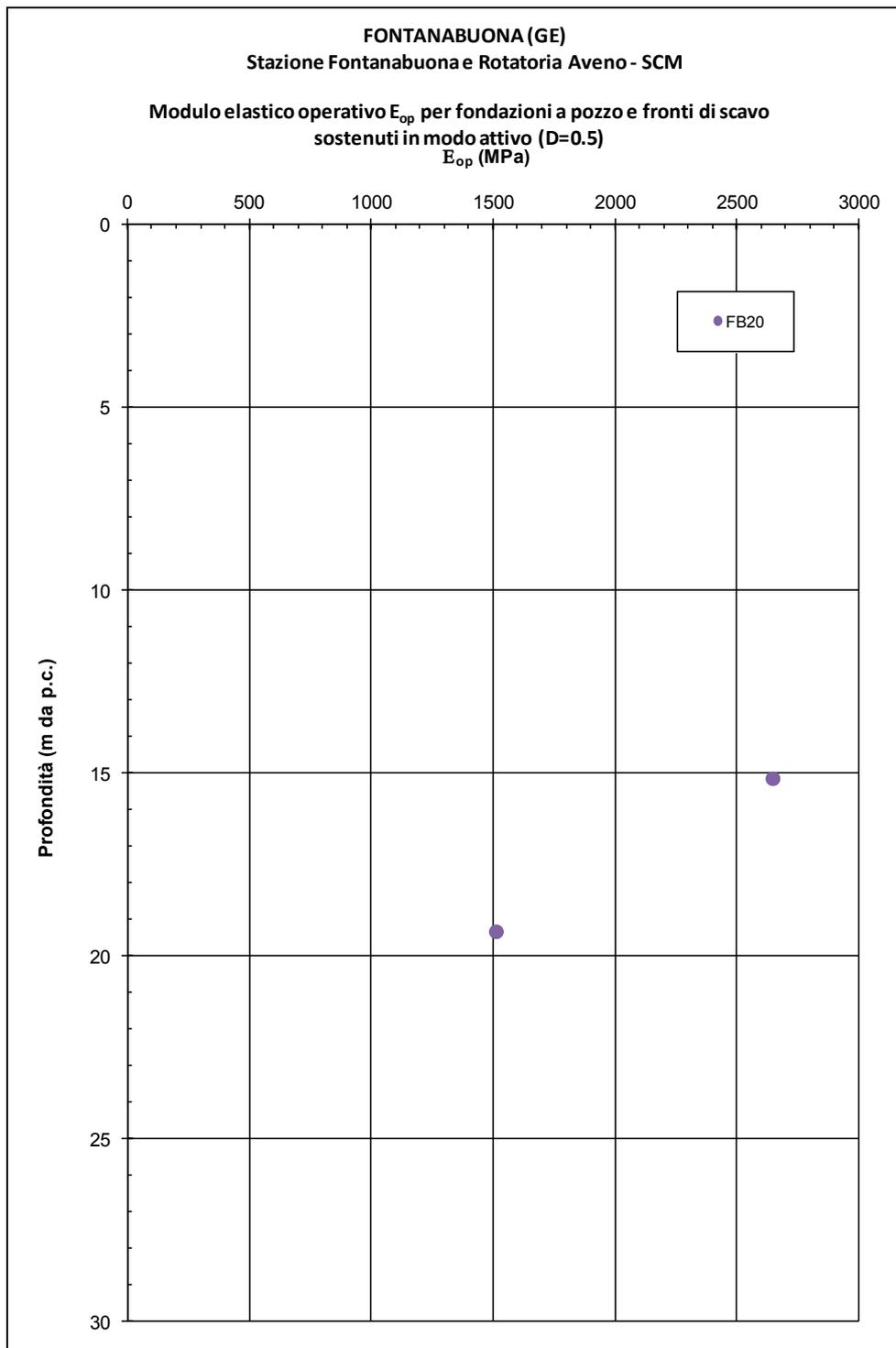
Figura 11.63 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Velocità sonica onde di taglio



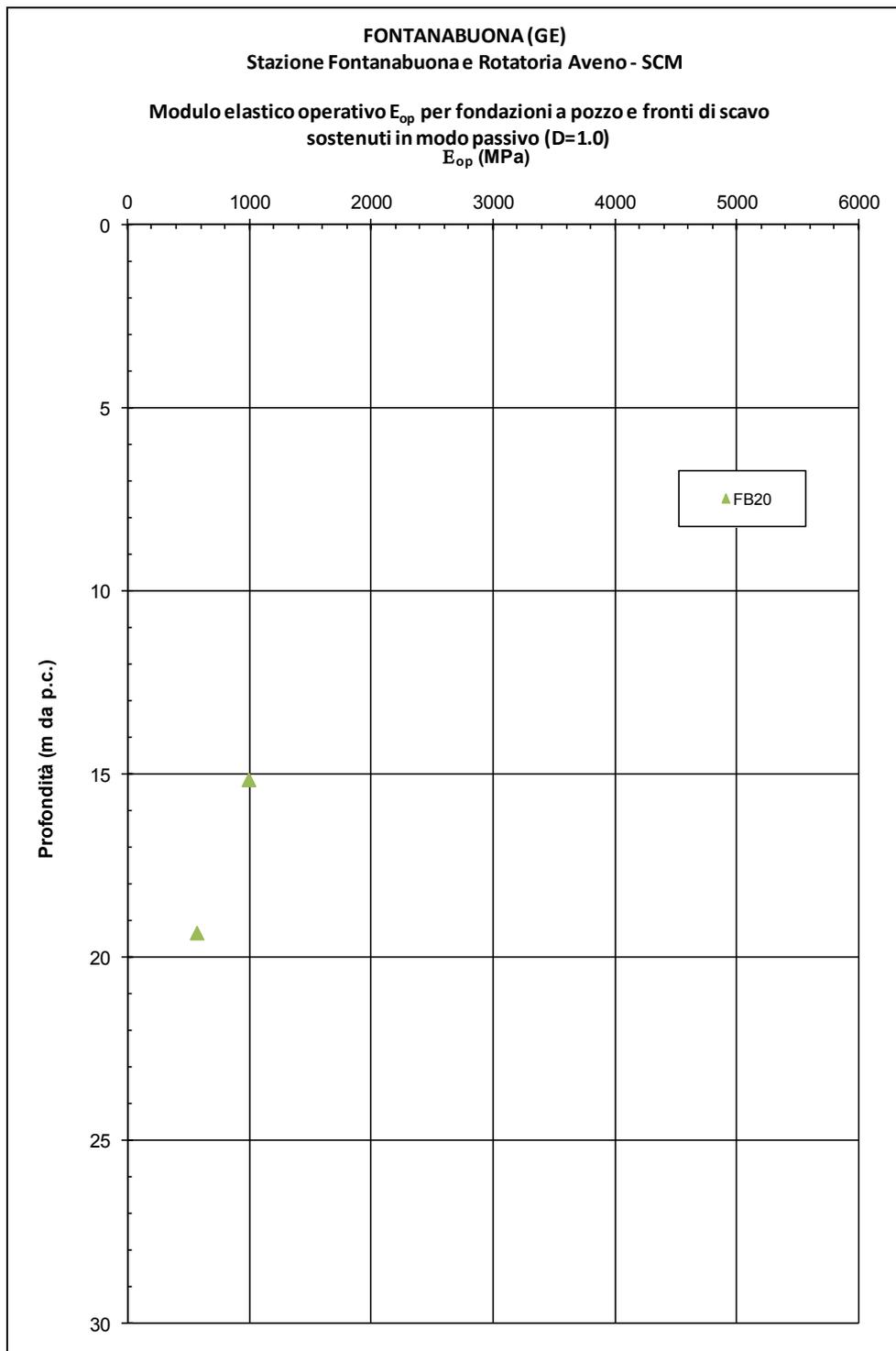
**Figura 11.64 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo elastico dinamico**



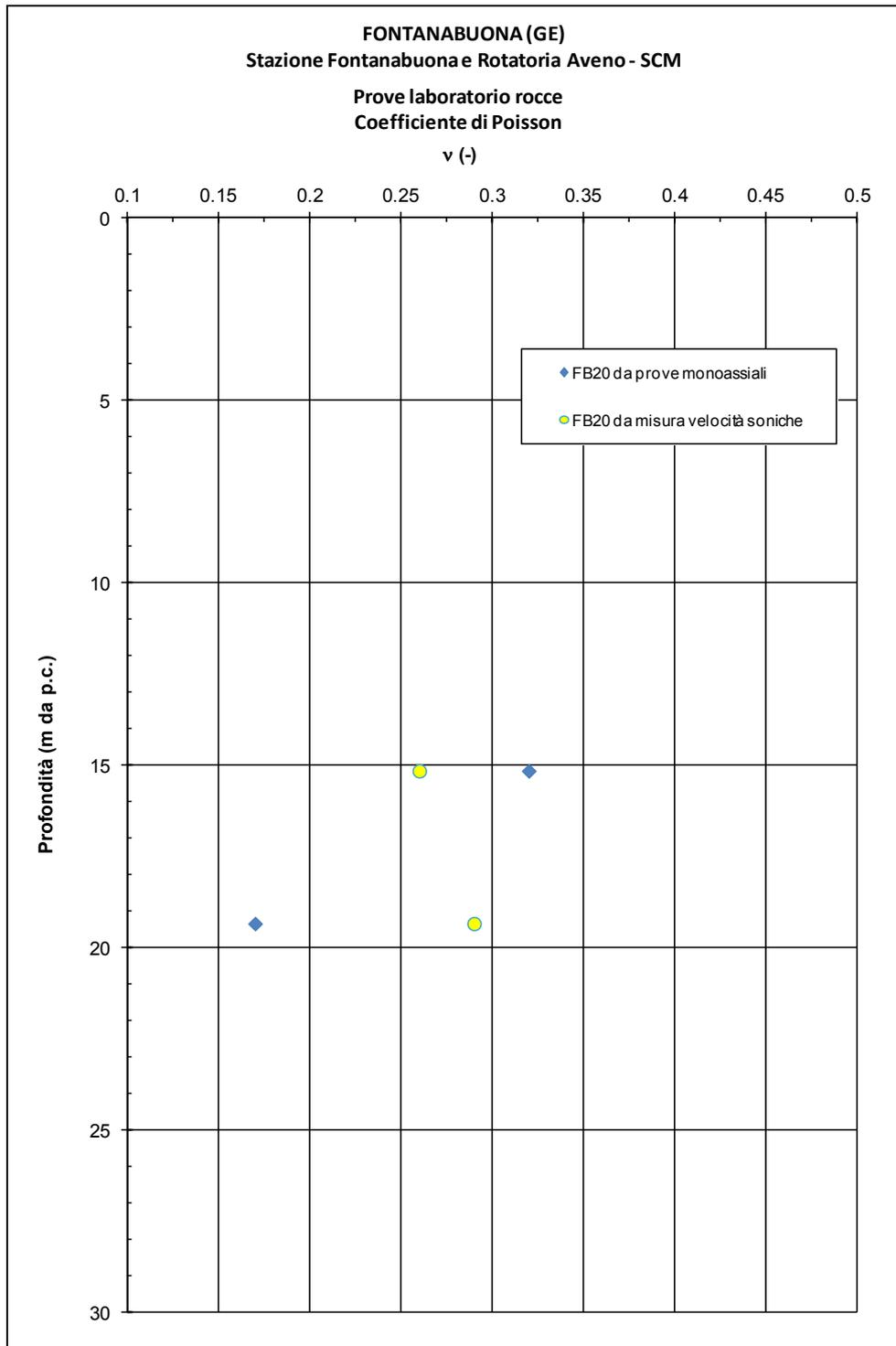
**Figura 11.65 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo di taglio dinamico**



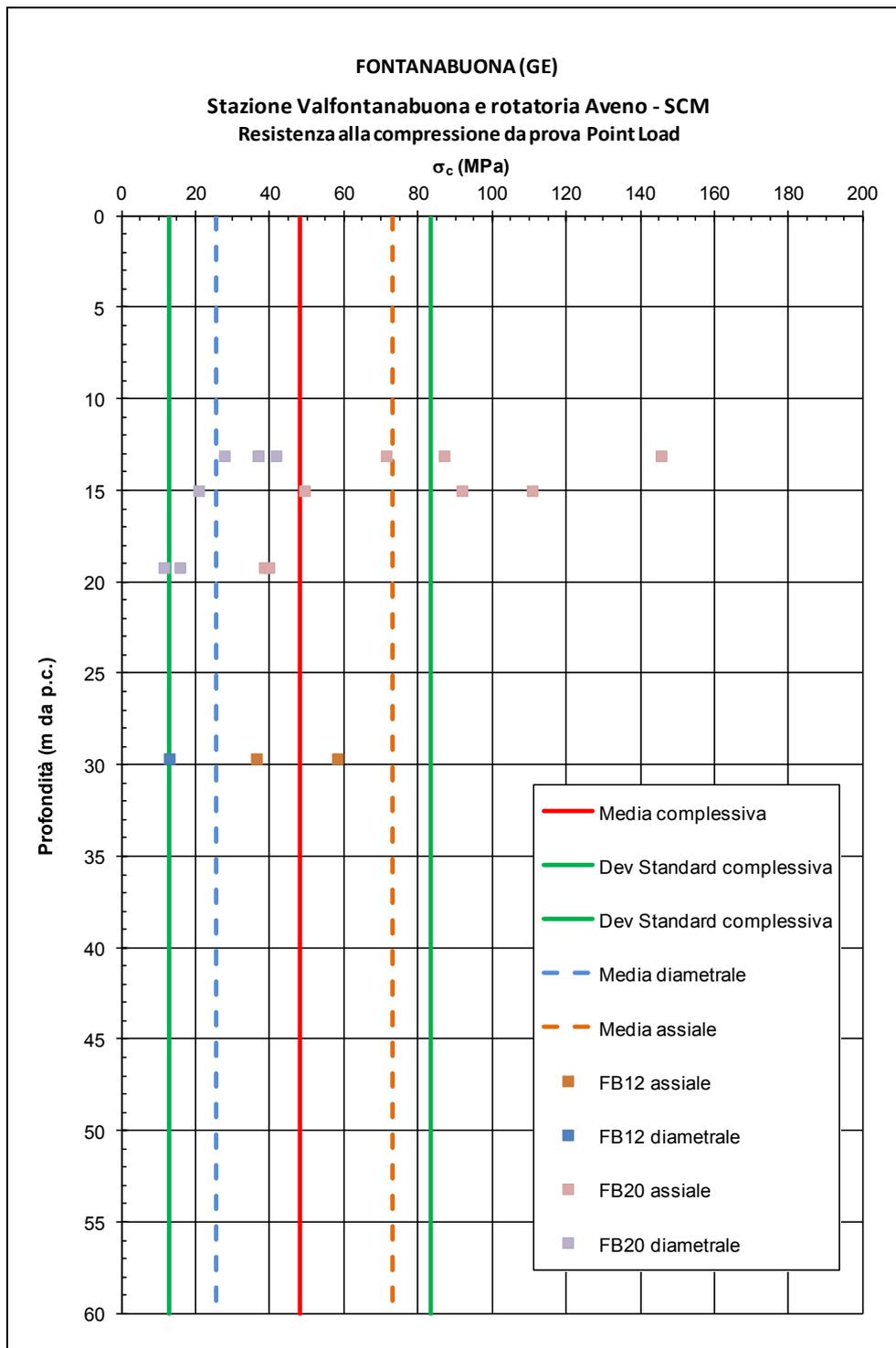
**Figura 11.66 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo elastico operativo per fondazioni a pozzo e per fronti di scavo sostenuti in modo attivo ( $D=0.5$ )**



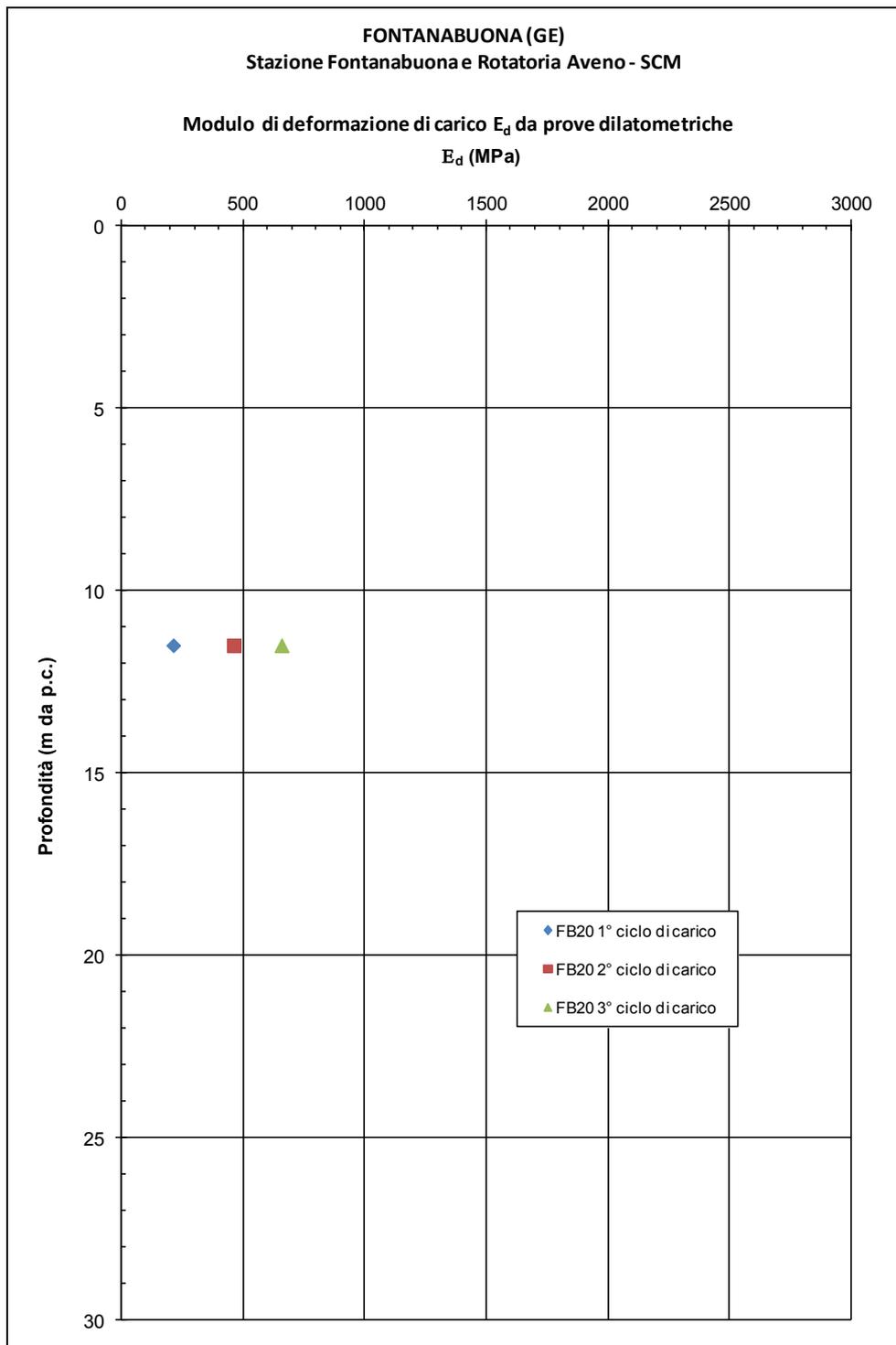
**Figura 11.67 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Modulo elastico operativo per fronti di scavo non sostenuti o sostenuti in modo passivo e per fondazioni dirette ( $D=1.0$ )**



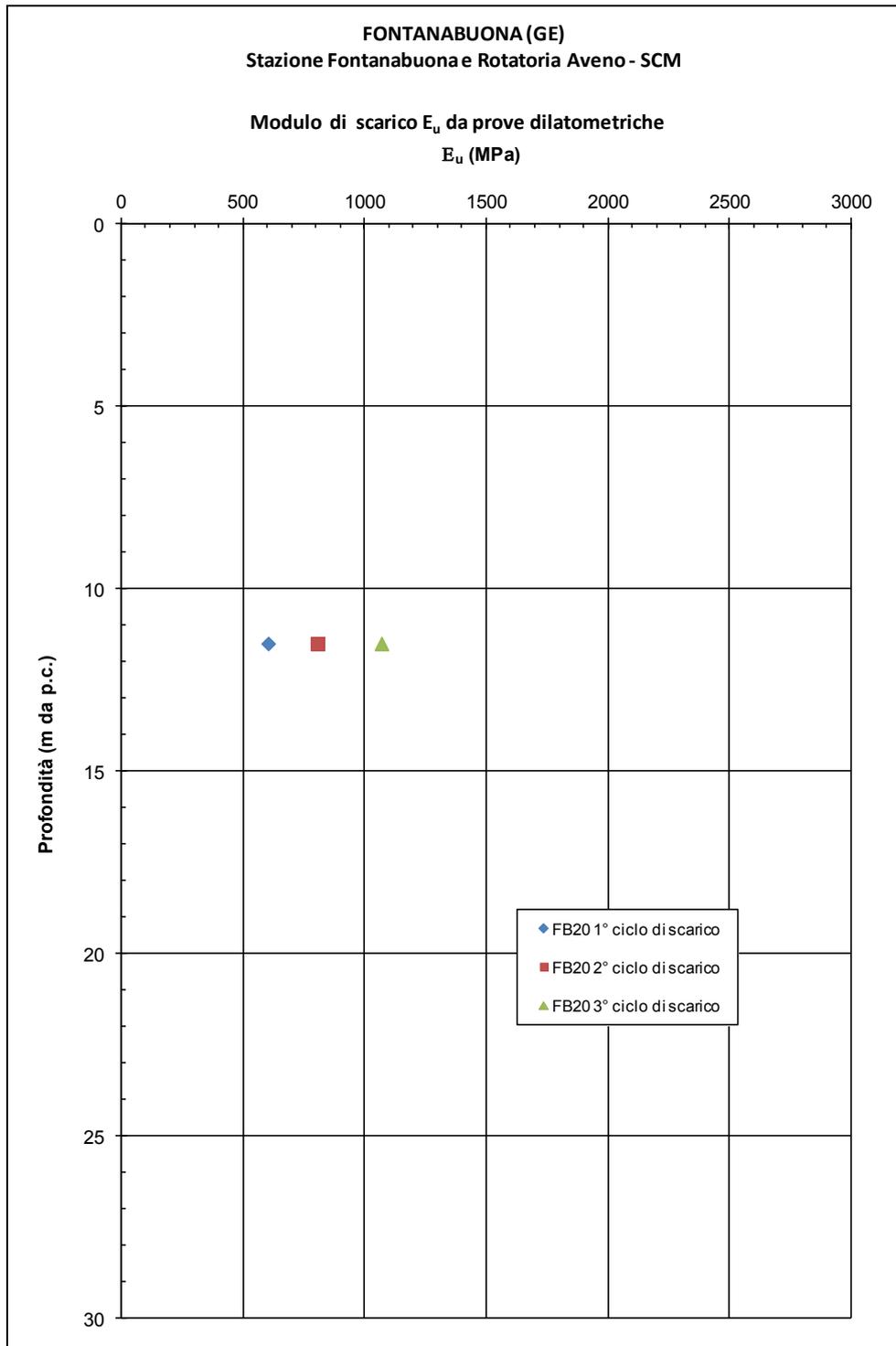
**Figura 11.68 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Coefficiente di Poisson**



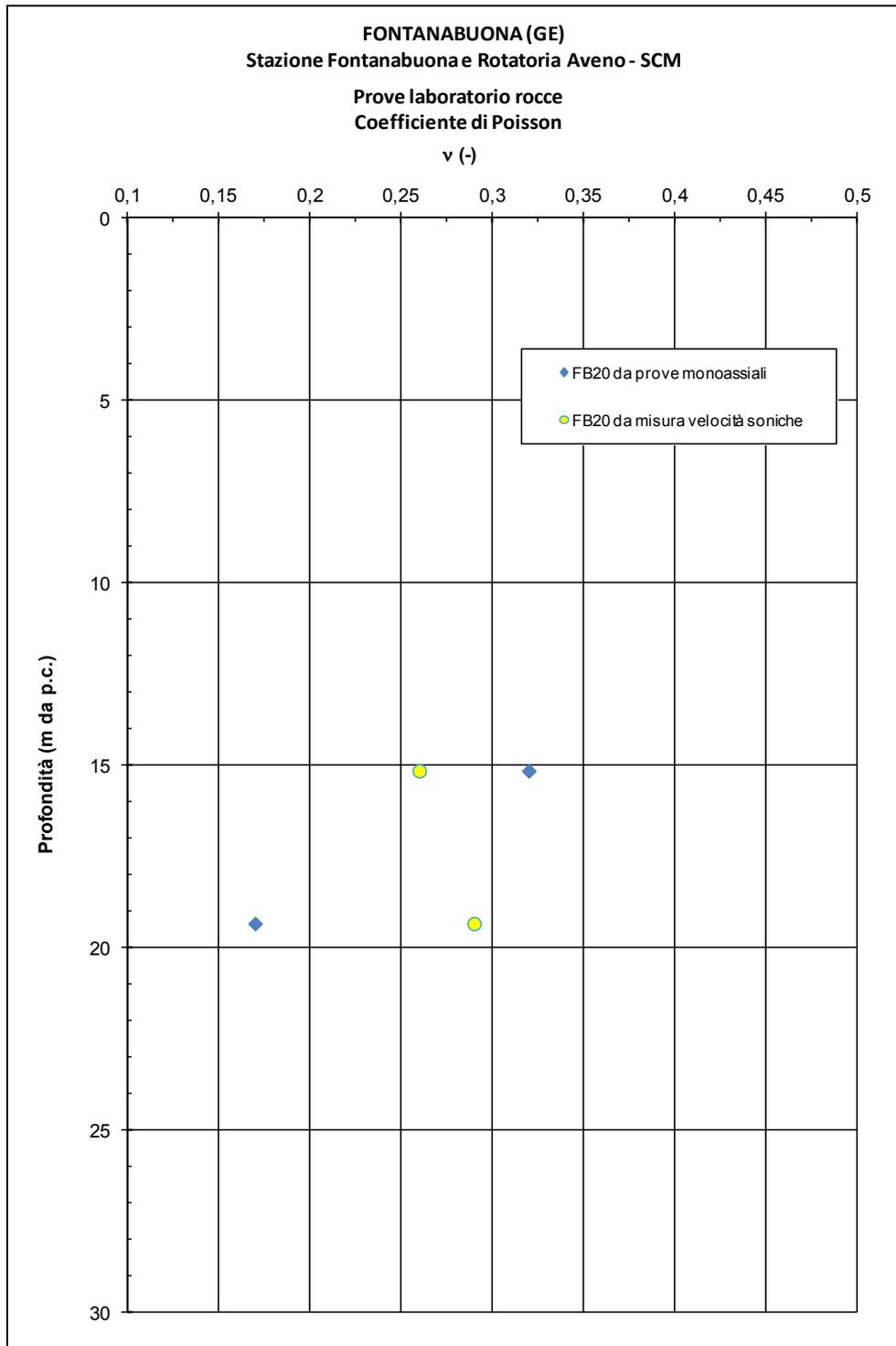
**Figura 11.69 - Formazione SCM Stazione di Fontanabuona e Rotatoria Aveno - Resistenza a compressione da prova Point Load**



**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  $\gamma_t$  può essere assunto variabile tra 26 kN/m<sup>3</sup> e 27 kN/m<sup>3</sup> (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:

$\sigma_c$  (\*) = resistenza compressione monoassiale

$I_{s50}$  = Point Load Index normalizzato

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

$\sigma_T$  = resistenza a trazione indiretta (prova brasiliana)

$E_{t50}$  = modulo di Young tangente

MR = rapporto di modulo ( $E_{t50}/\sigma_c$ )

$\nu$  = 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
<b>Compressione semplice laboratorio</b>		
	media	19
	min	9
	max	29
<b>da Point Load</b>		
	diametricale	assiale
	media	27
	min	13
	max	42
<b>Rilievo geomeccanico RG1</b>		675
<b>Rilievo geomeccanico RG2</b>		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:

<b>Raccordo viabilità SP225</b>		
<b>Formazione</b>	<b>SCM</b>	
		RQD medio
<b>Sondaggi di riferimento</b>	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  $\sigma_c$  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.

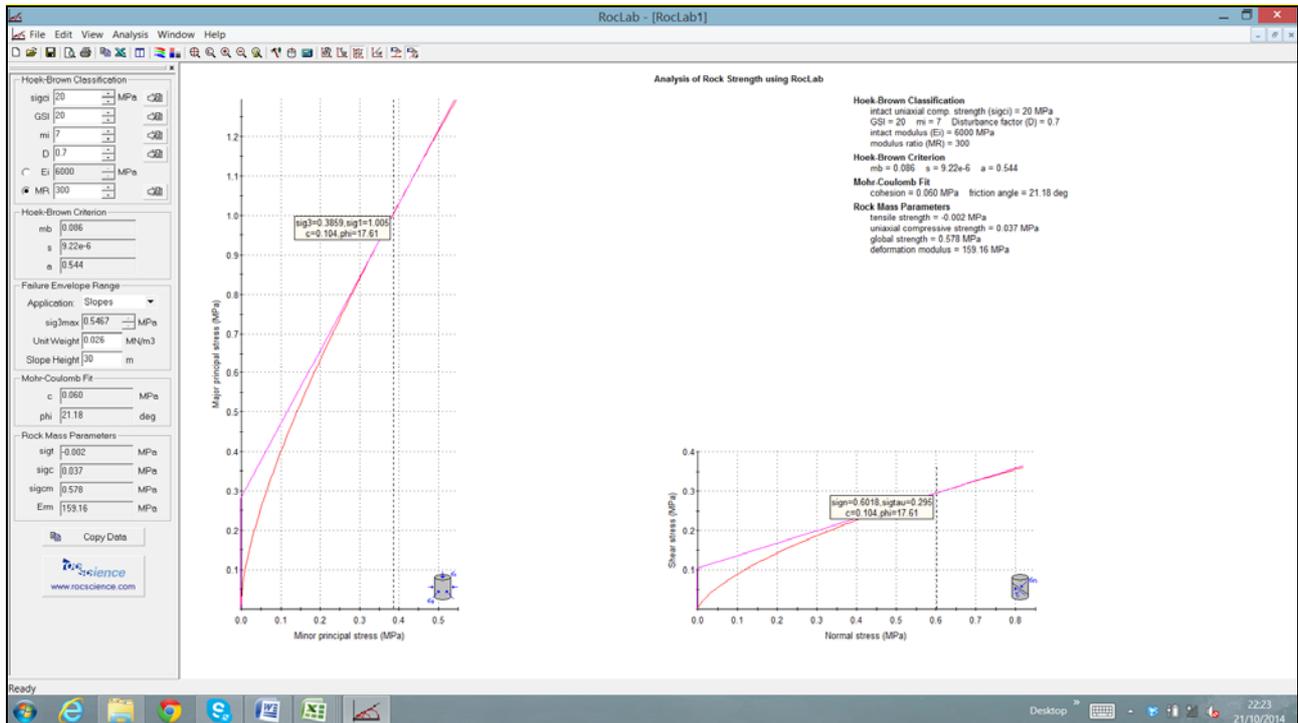


Figura 11.73 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso fessurato / alterato

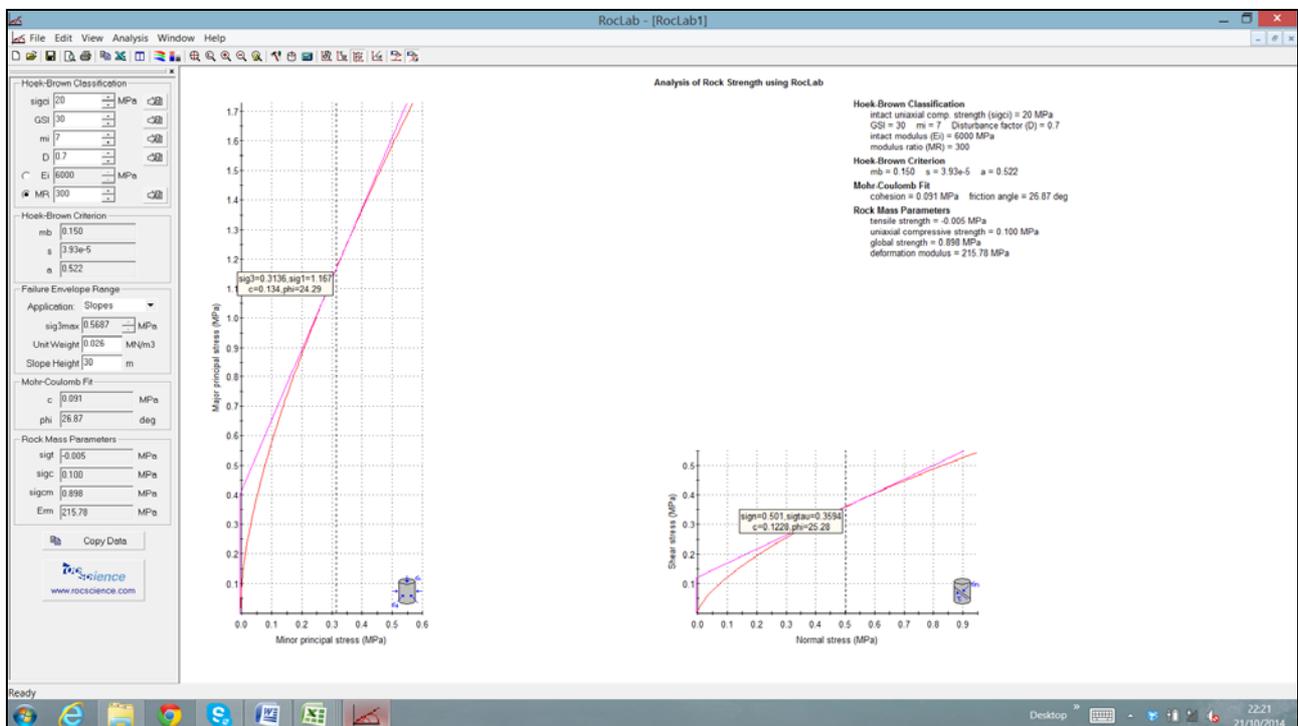


Figura 11.74 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Criterio di Hoek e Brown - Ammasso compatto

### 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  $\sigma_c$ , 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
$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	26.5 ÷ 27.5	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	26.5 ÷ 27.5	
$\sigma_c$ (MPa) (*)	9 ÷ 29	RMR <sub>89</sub> (-)	45 ÷ 50	30 ÷ 35
I <sub>s50</sub> (MPa)	0.4 ÷ 1.15	GSI (-)	30	20
$\sigma_c$ (MPa) (**)	diametrico 10 assiale 27	JRC (-)	4 ÷ 10	
$\sigma_T$ (MPa)	1.5 ÷ 5.0	JCS (MPa)	17 ÷ 24	
E <sub>t50</sub> (GPa)	5 ÷ 20	k (m/s)	1·10 <sup>-8</sup> ÷ 5·10 <sup>-4</sup>	
MR (-)	250 ÷ 800	E <sub>d</sub> (GPa)	0.5 ÷ 1.5	
V <sub>p</sub> (m/s)	2500 - 4000	E <sub>u</sub> (GPa)	1.2 ÷ 10	
V <sub>s</sub> (m/s)	1300 - 1900	E <sub>op</sub> D=0.5 (GPa)	1.2 ÷ 2.2	
E <sub>din</sub> (GPa)	12 ÷ 35	E <sub>op</sub> D=1.0 (GPa)		0.5 ÷ 1.0
G <sub>din</sub> (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 <sub>i</sub> (-)	7	m <sub>b</sub> (-)	≈ 0.15	≈ 0.086
m <sub>b</sub>	0.4	s (-)	≈ 3.93·10 <sup>-5</sup>	≈ 9.22·10 <sup>-6</sup>
s	1.0	a (-)	0.522	0.544
a (-)	0.54	φ <sub>p,joint</sub> (°), c <sub>p,joint</sub> (kPa)	22° 250	
		φ <sub>r,joint</sub> (°), c <sub>r,joint</sub> (kPa)	18° 0 ÷ 50	

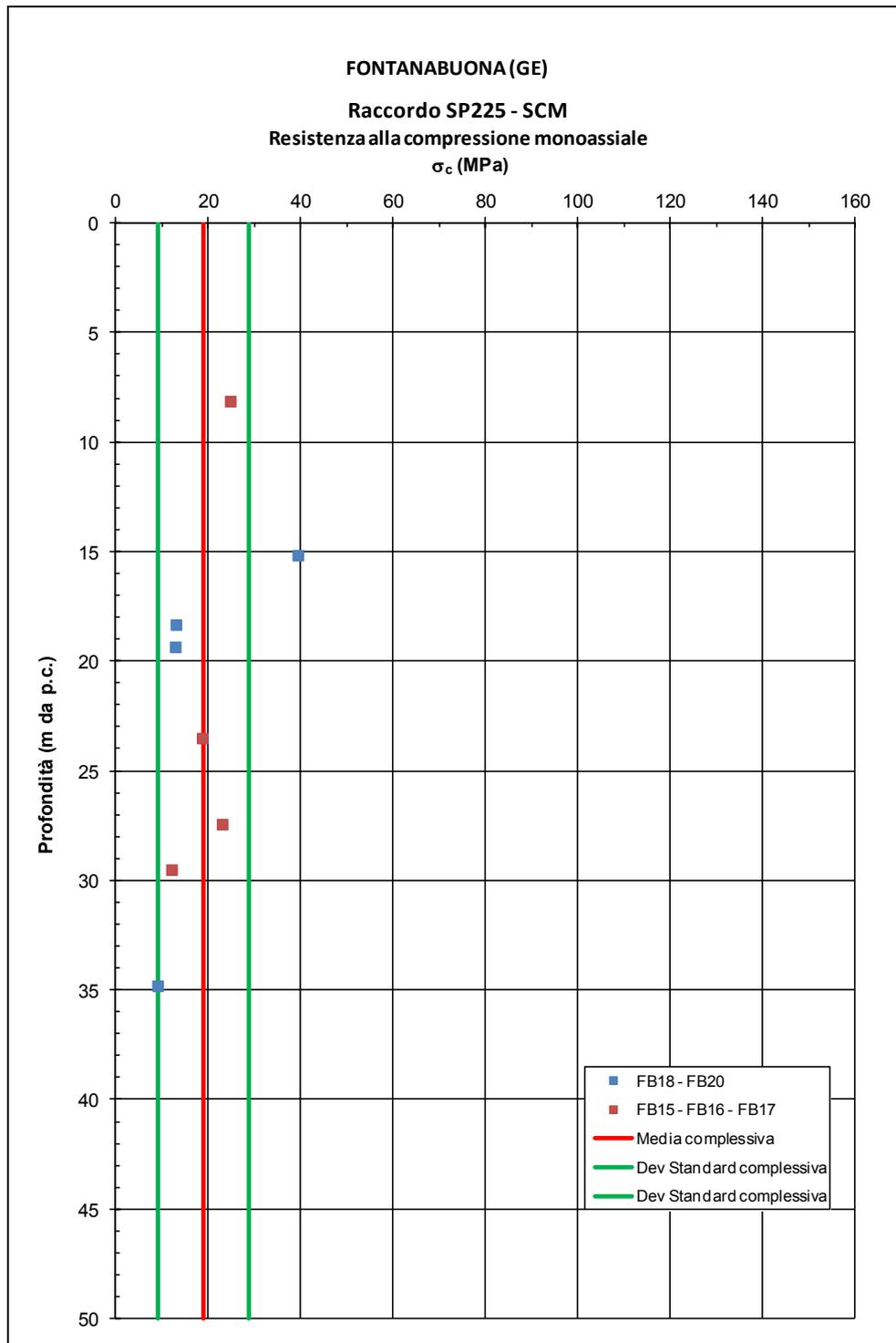
**Tabella 11.40 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Parametri caratteristici**

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

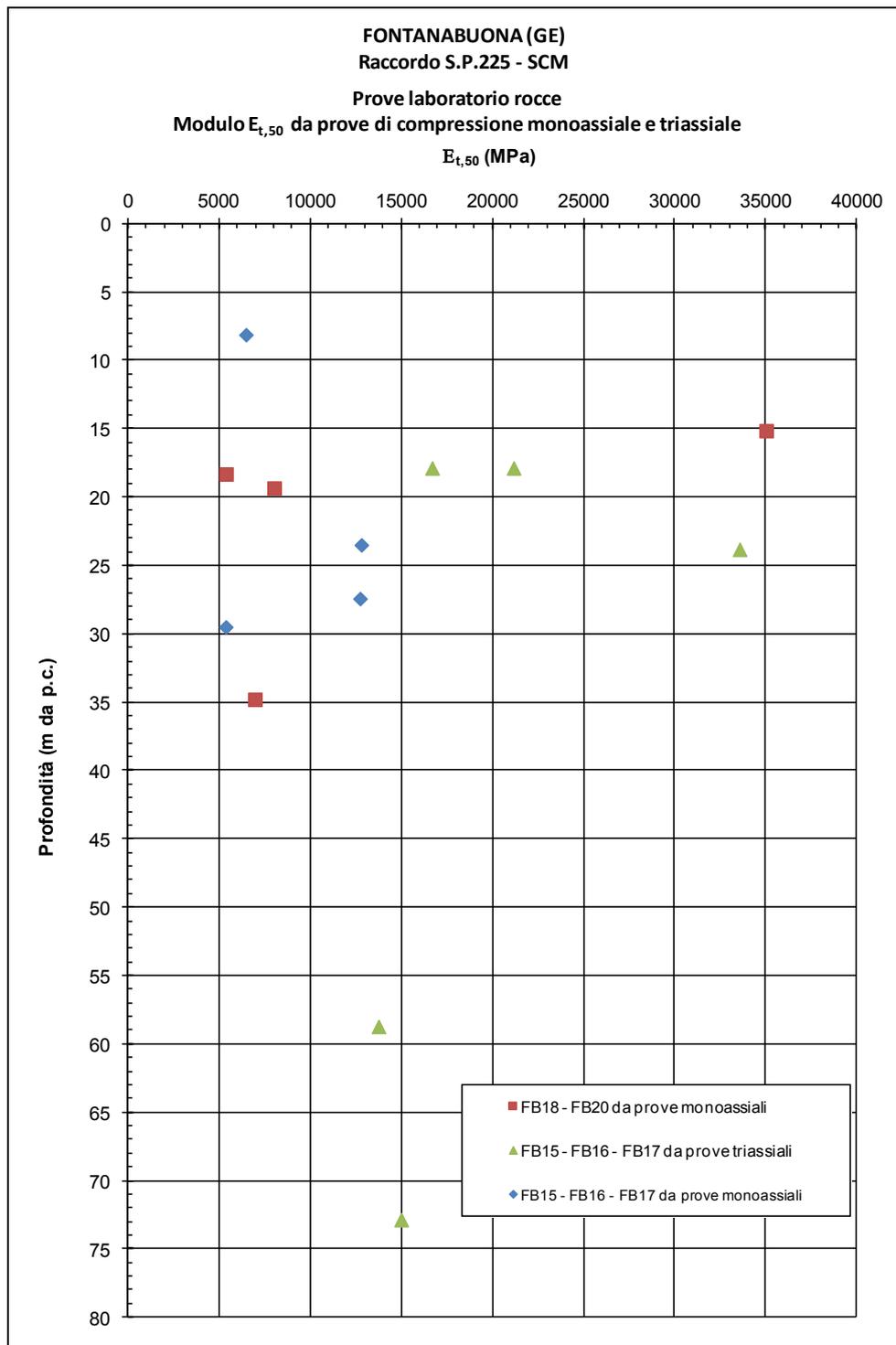
resistenza potranno essere individuati utilizzando le Figure in cui sono riportati gli involuipi di rottura.

**Simbologia:**

- $\gamma_t$  = 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 ( $E_{t50}/s_c$ )
- $\nu$  = 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)
- RMR<sub>89</sub> = 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)
- $\varphi$  = 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**

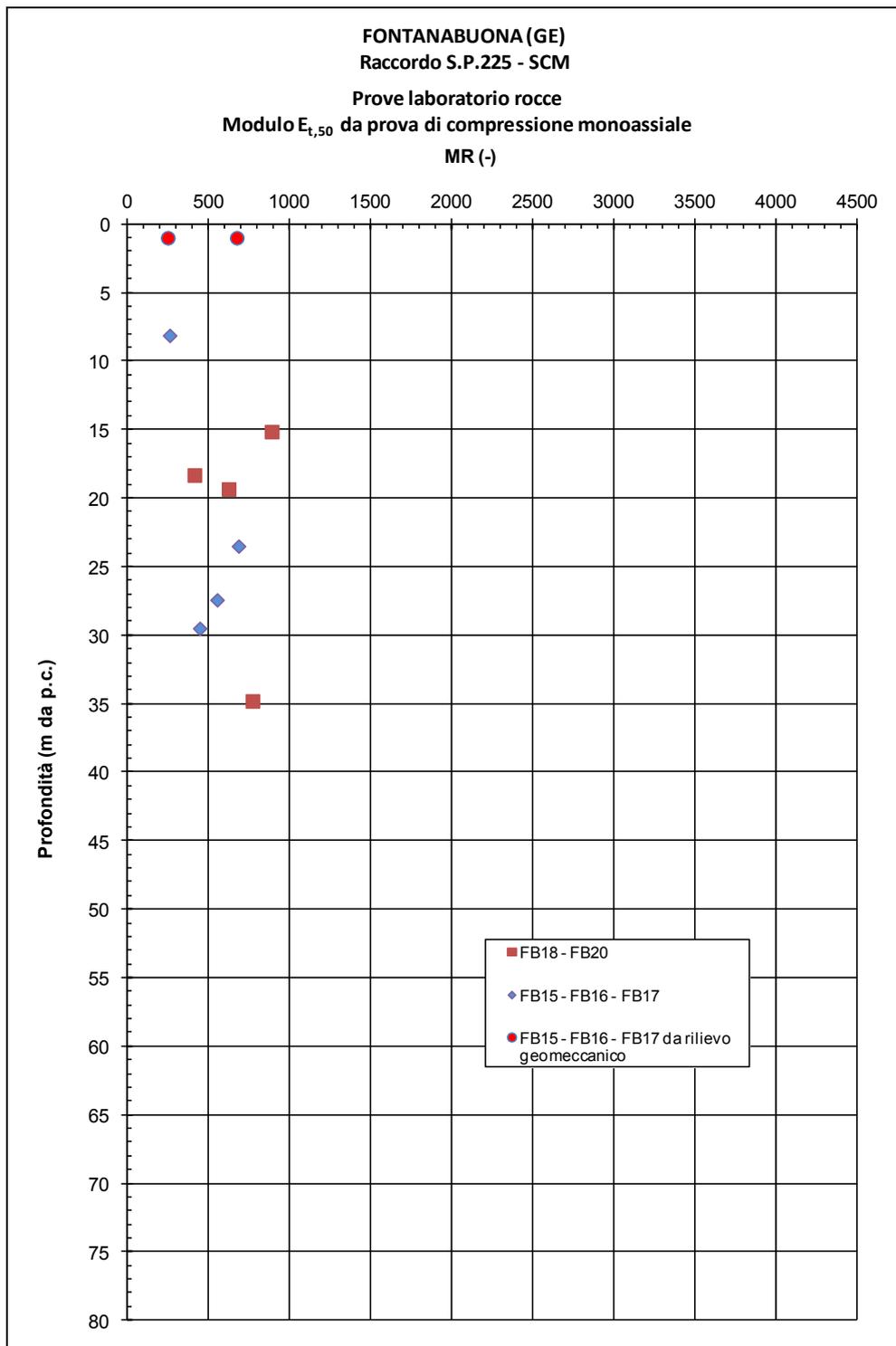


Figura 11.77 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Rapporto del modulo MR

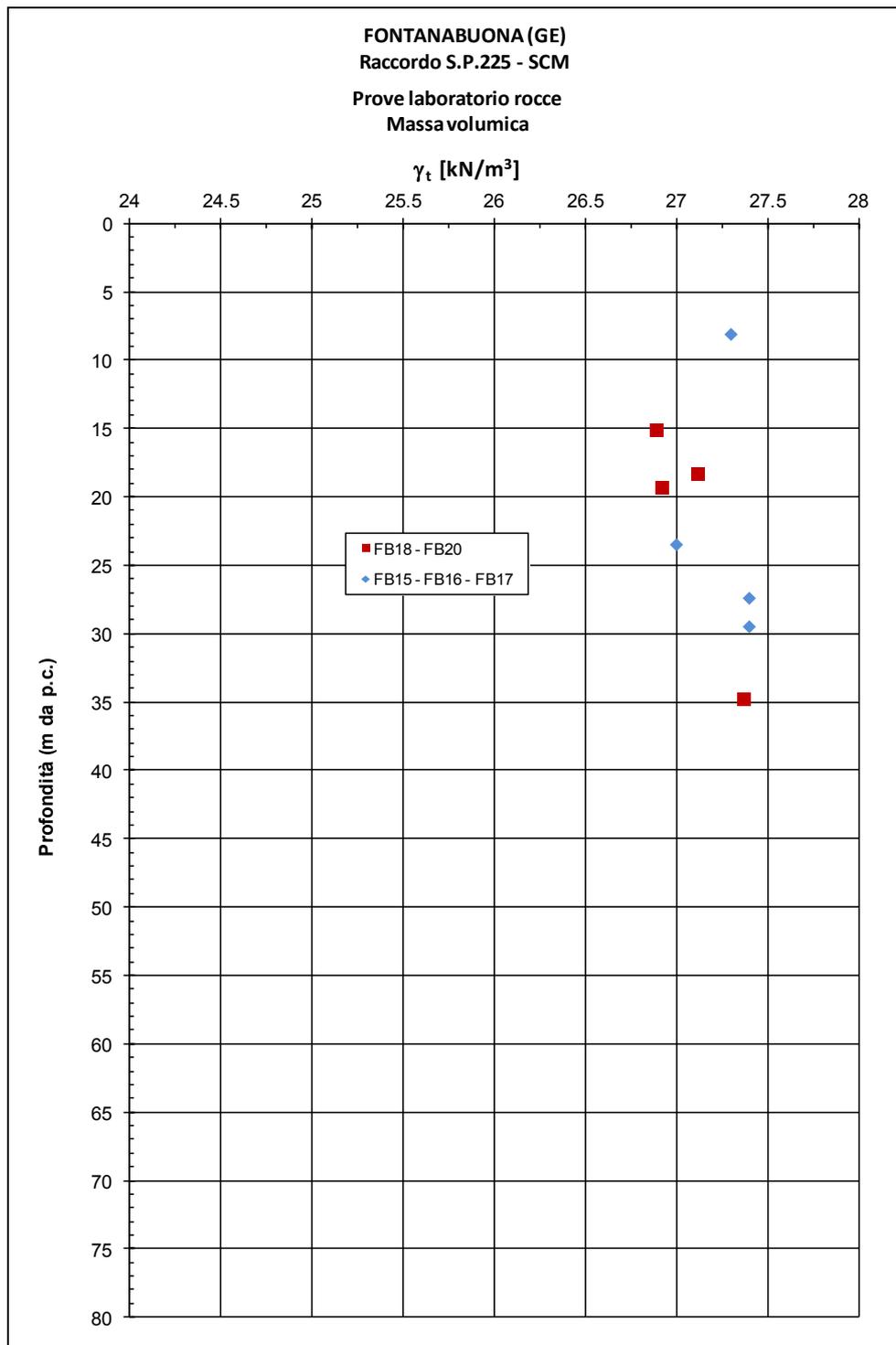


Figura 11.78 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Velocità sonica onde di compressione

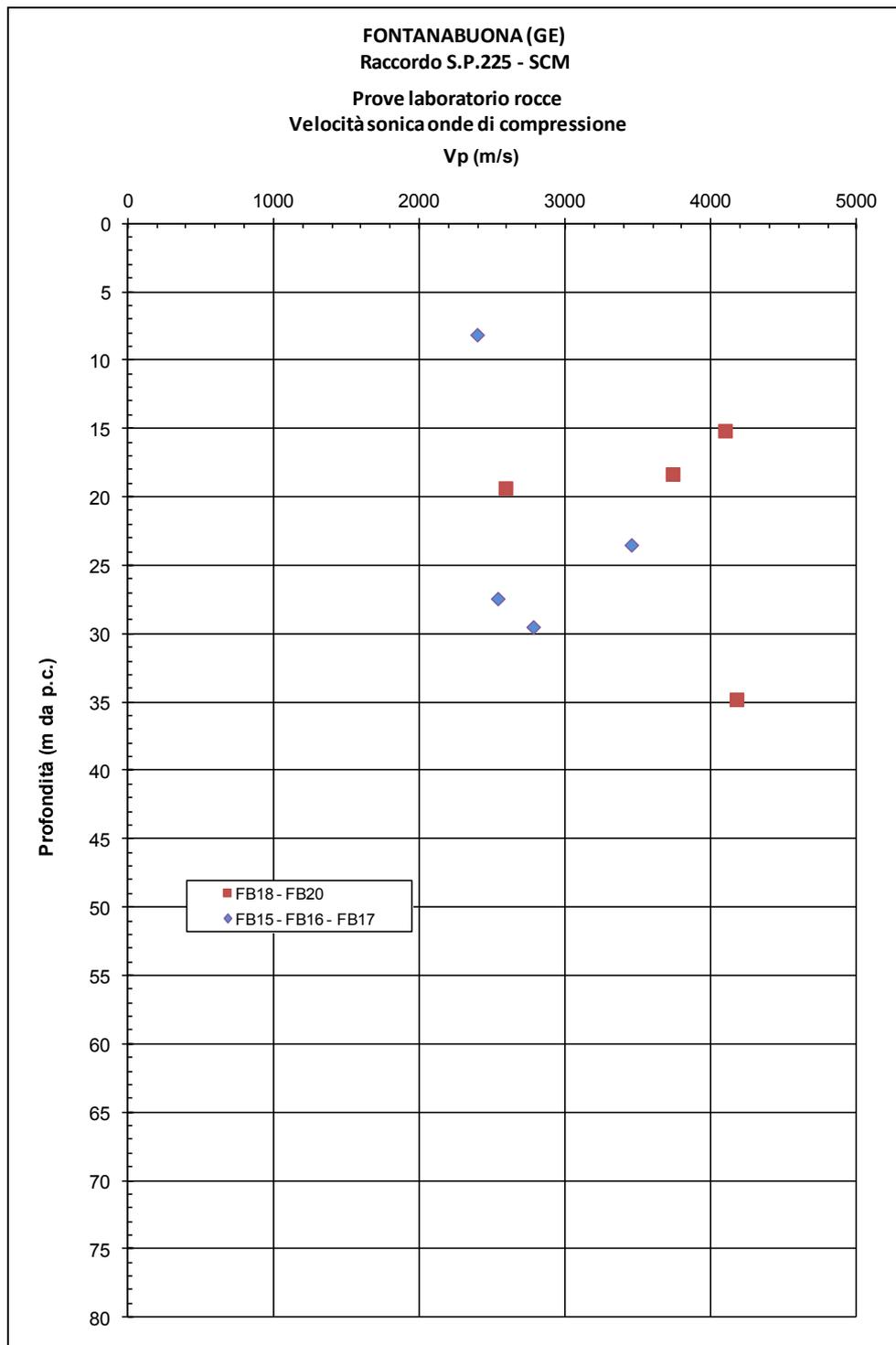


Figura 11.79 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Velocità sonica onde di compressione

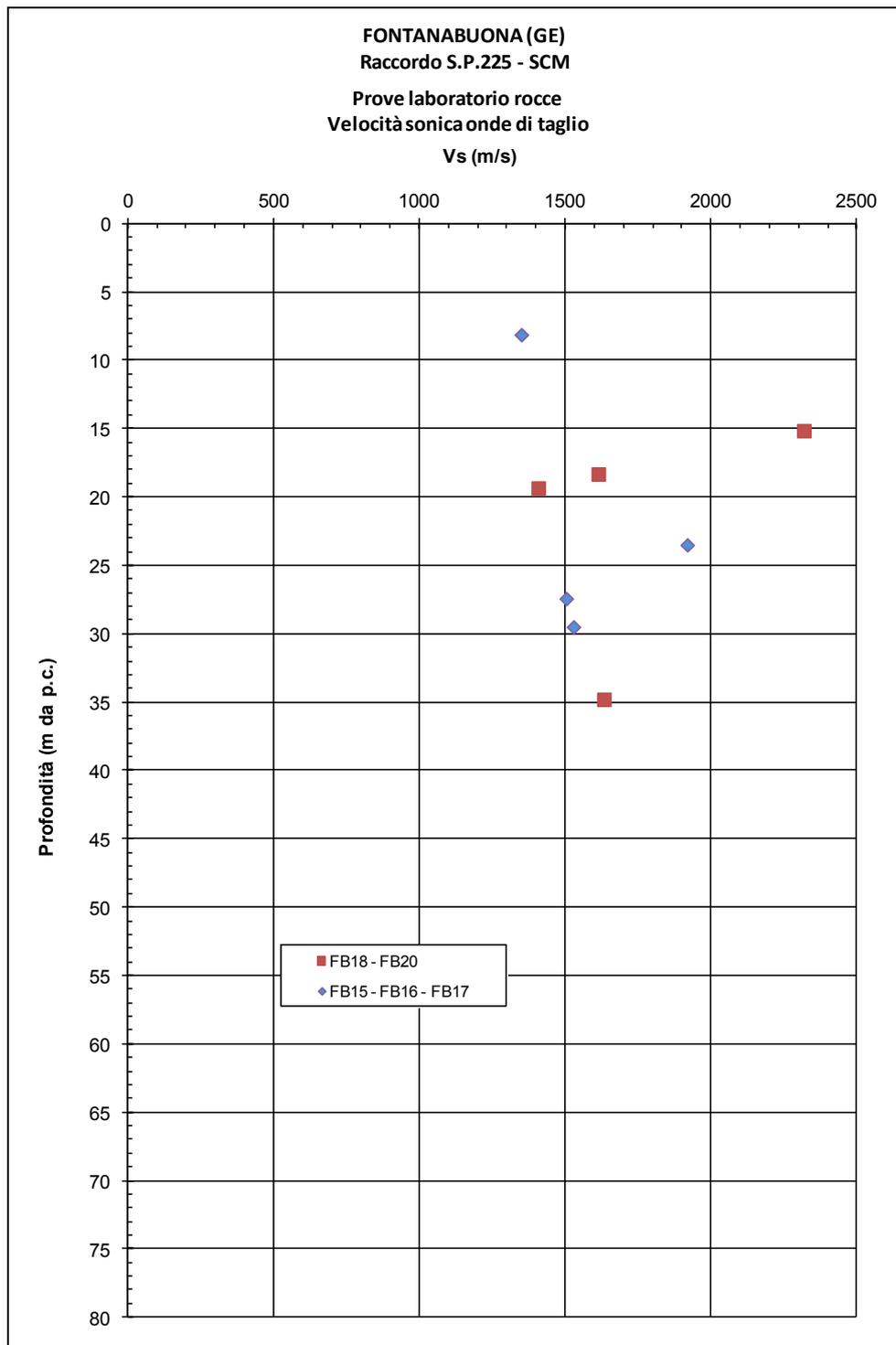


Figura 11.80 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Velocità sonica onde di taglio

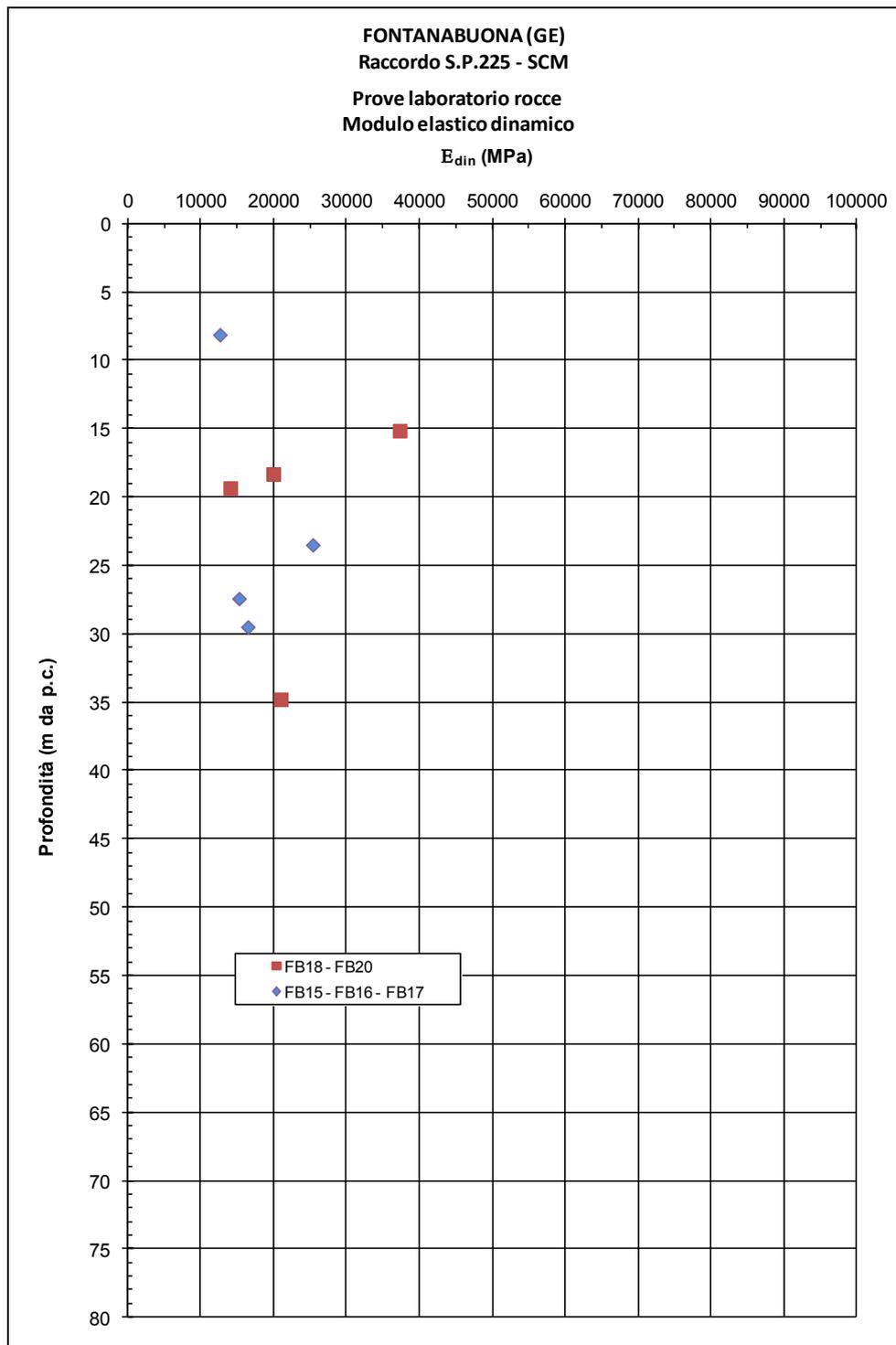
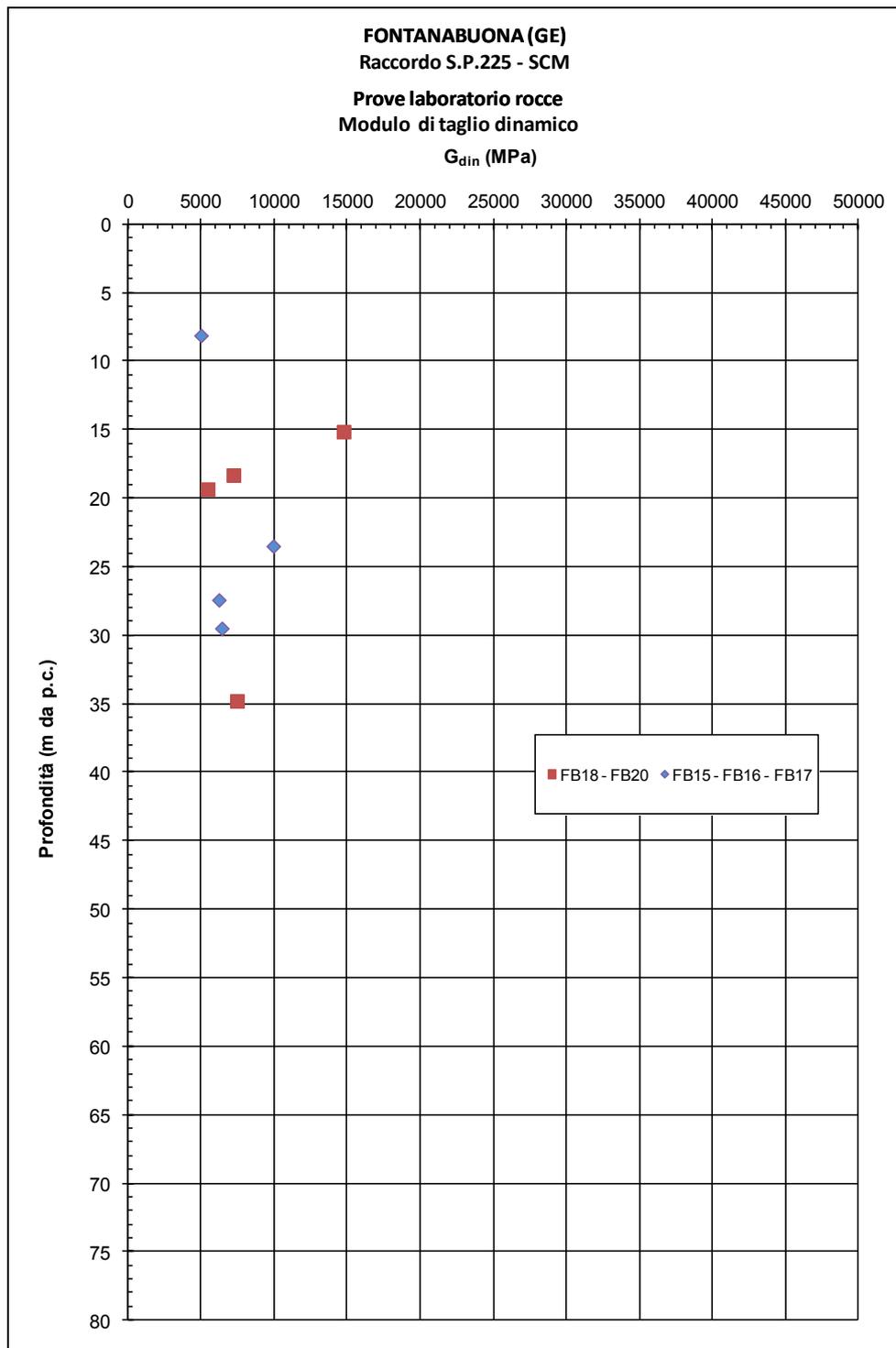
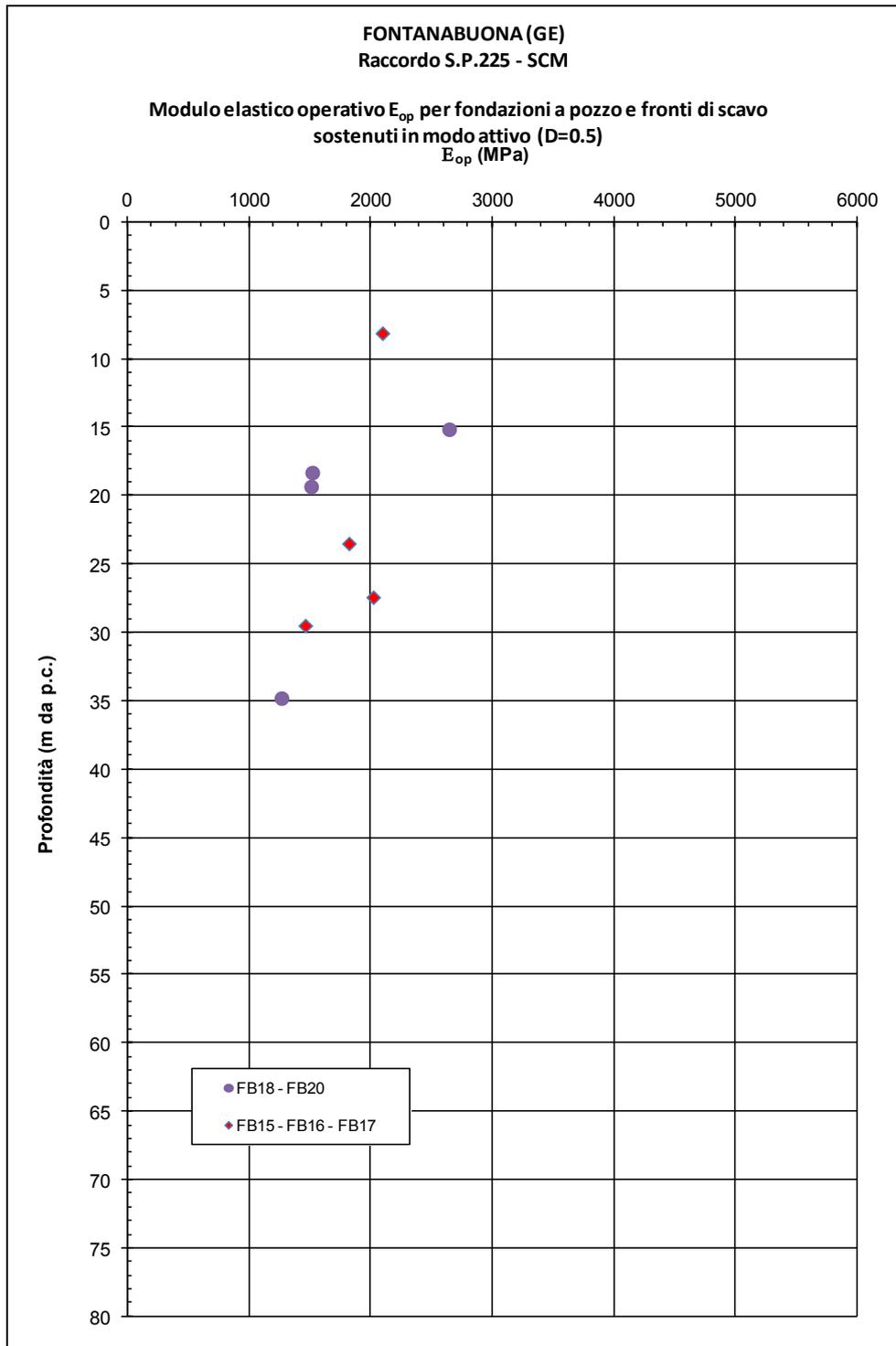


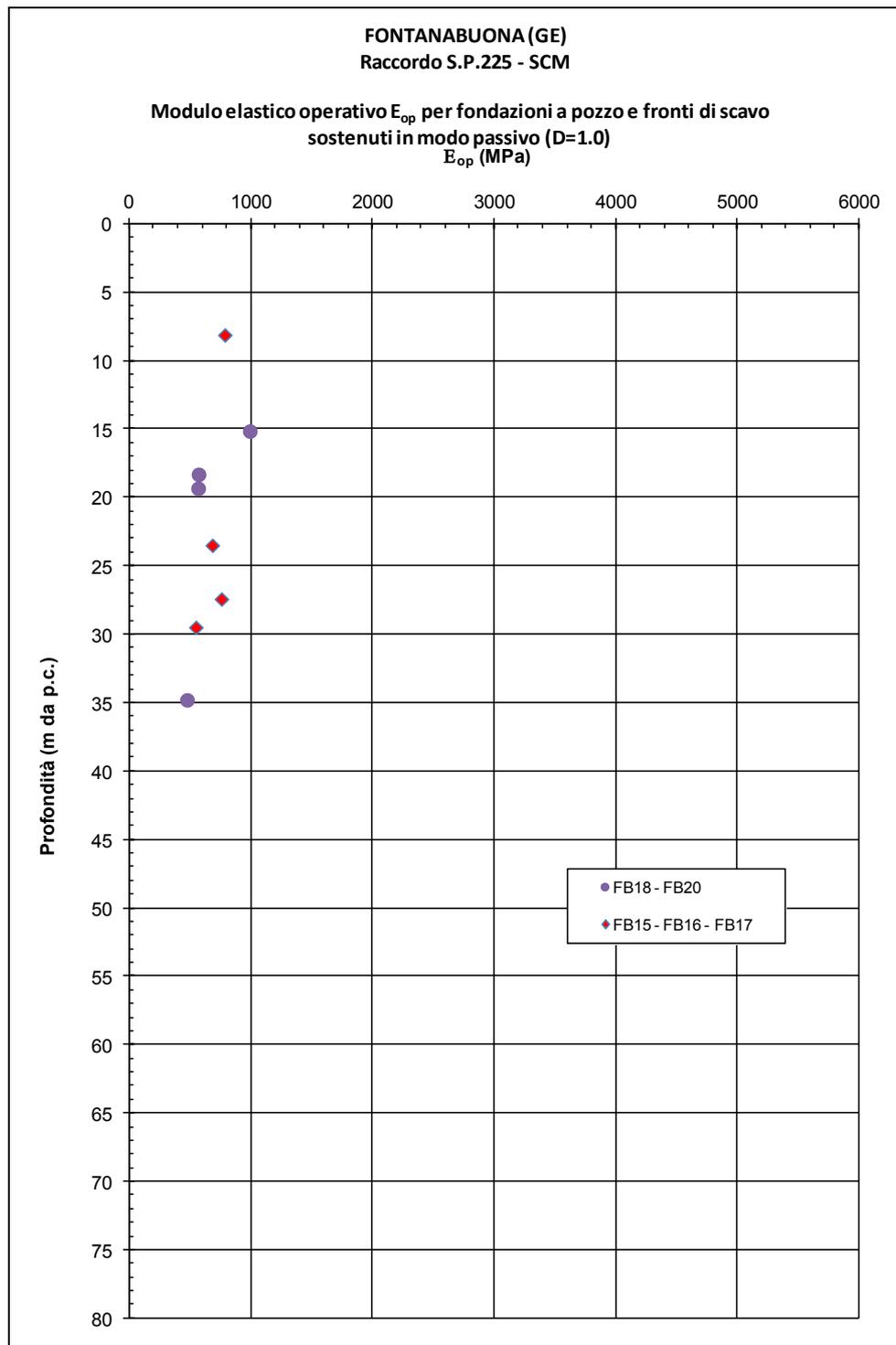
Figura 11.81 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Modulo elastico dinamico



**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 ( $D=1.0$ )**

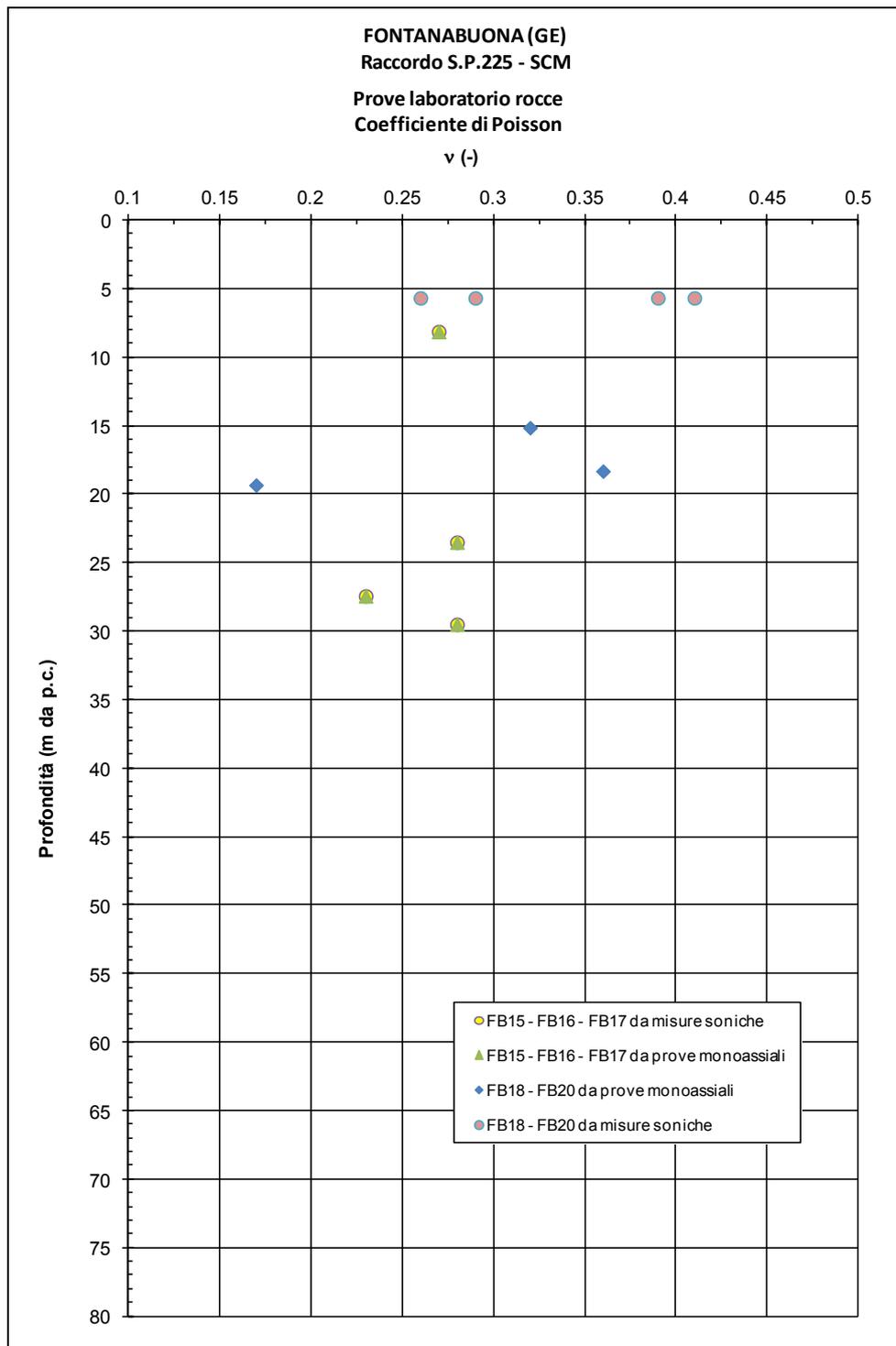
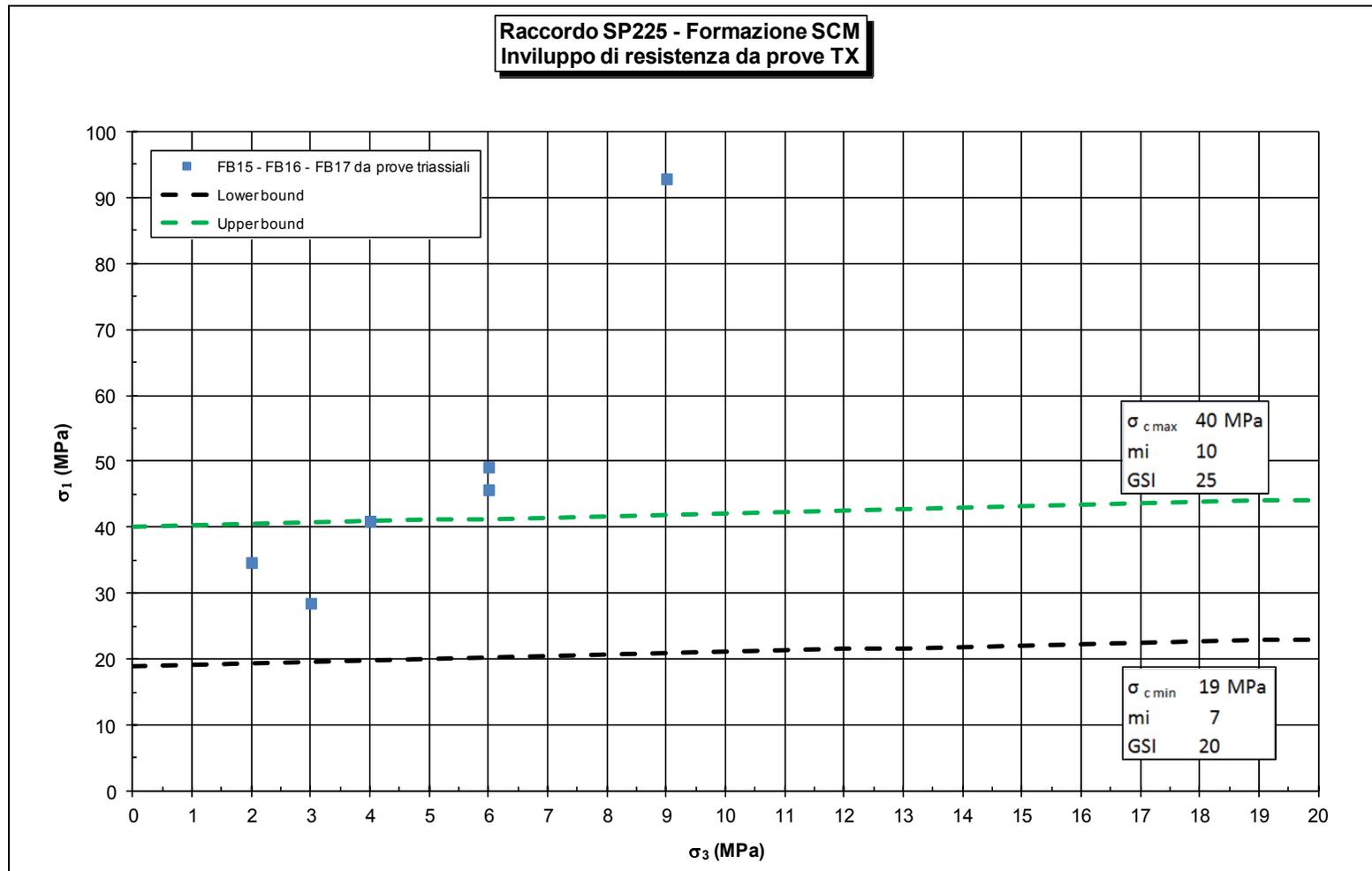
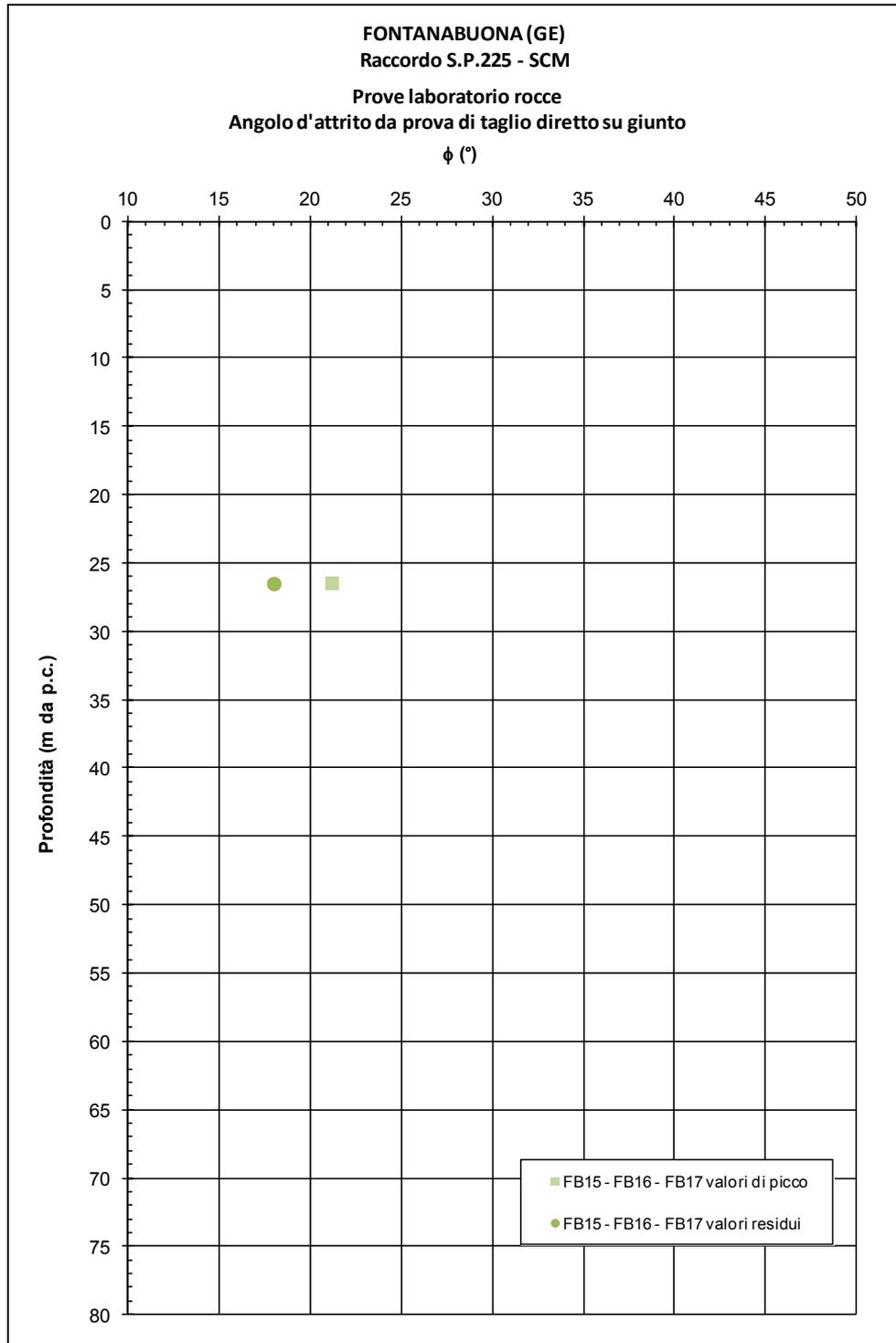


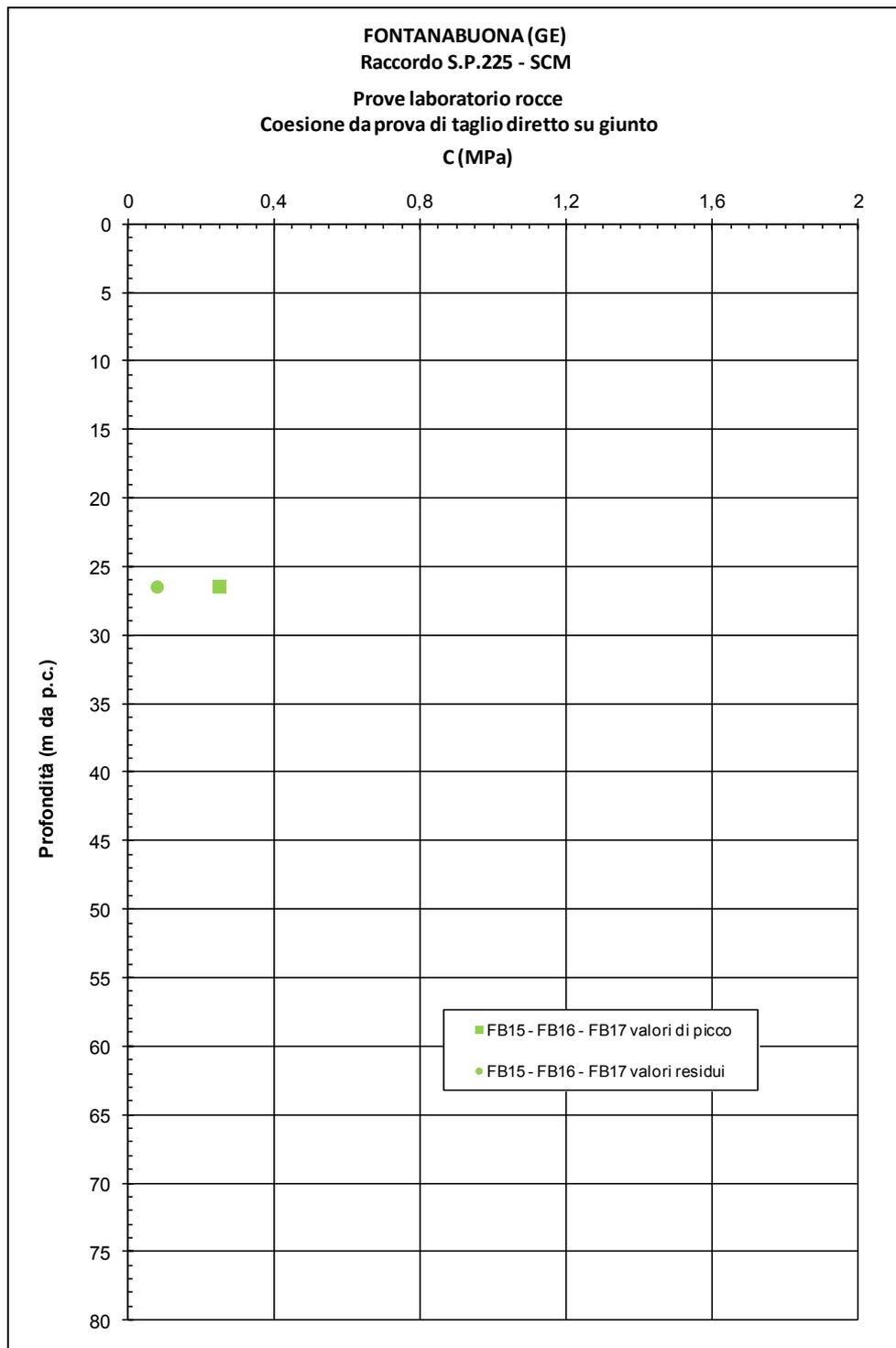
Figura 11.85 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Coefficiente di Poisson



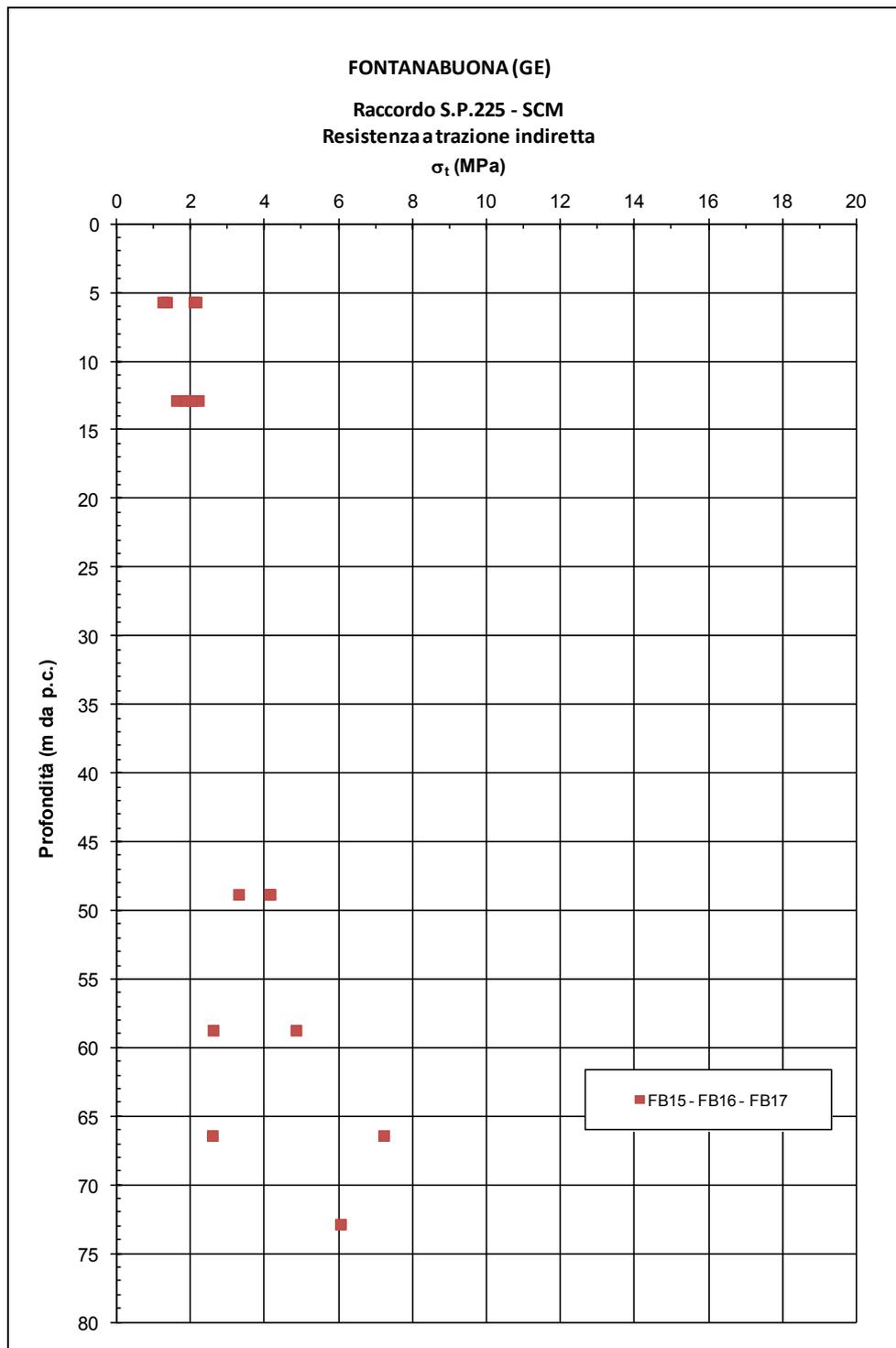
**Figura 11.86 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Risultati prove TX**



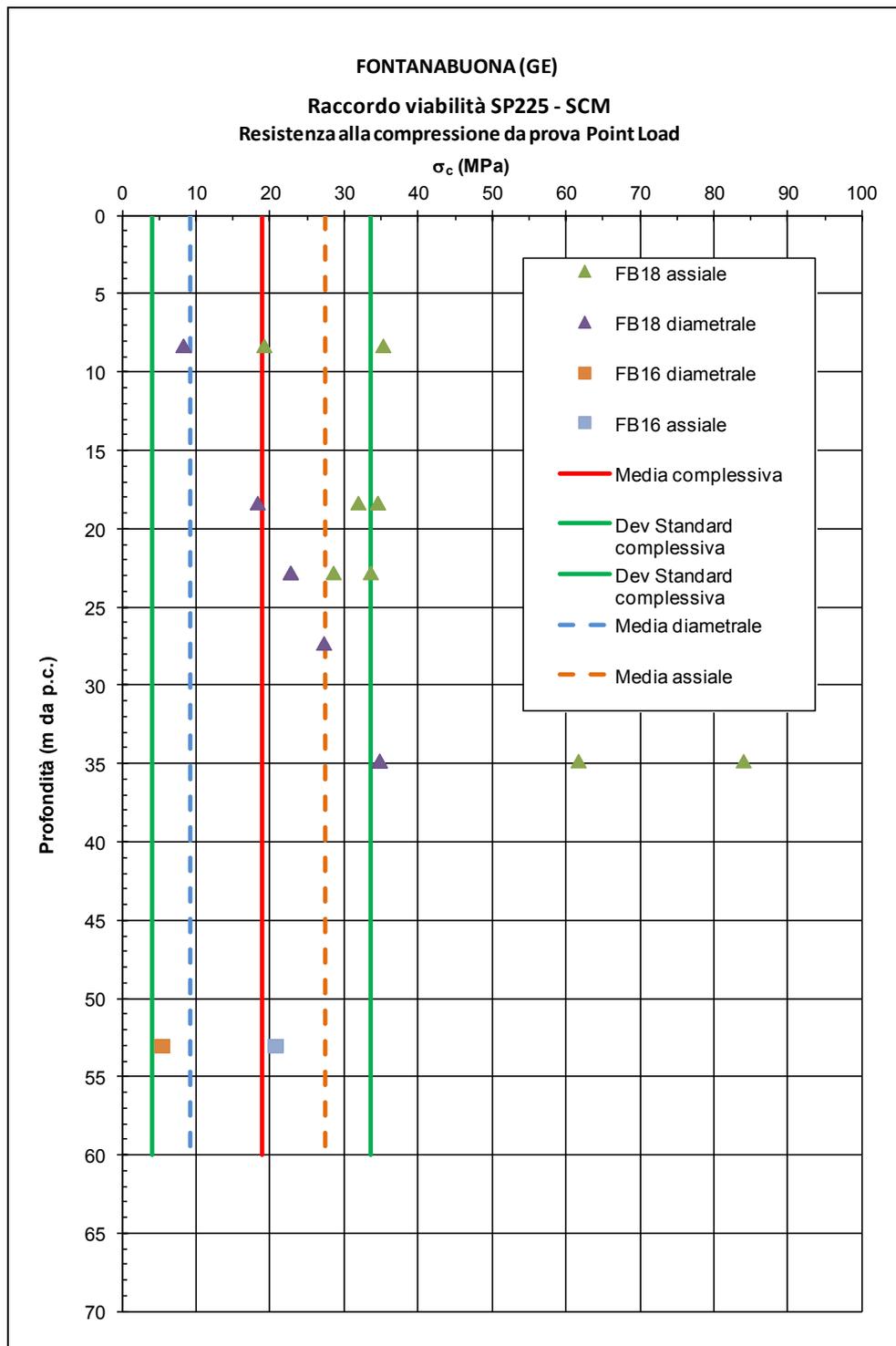
**Figura 11.87 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Angolo d'attrito da prova di taglio diretto su giunto**



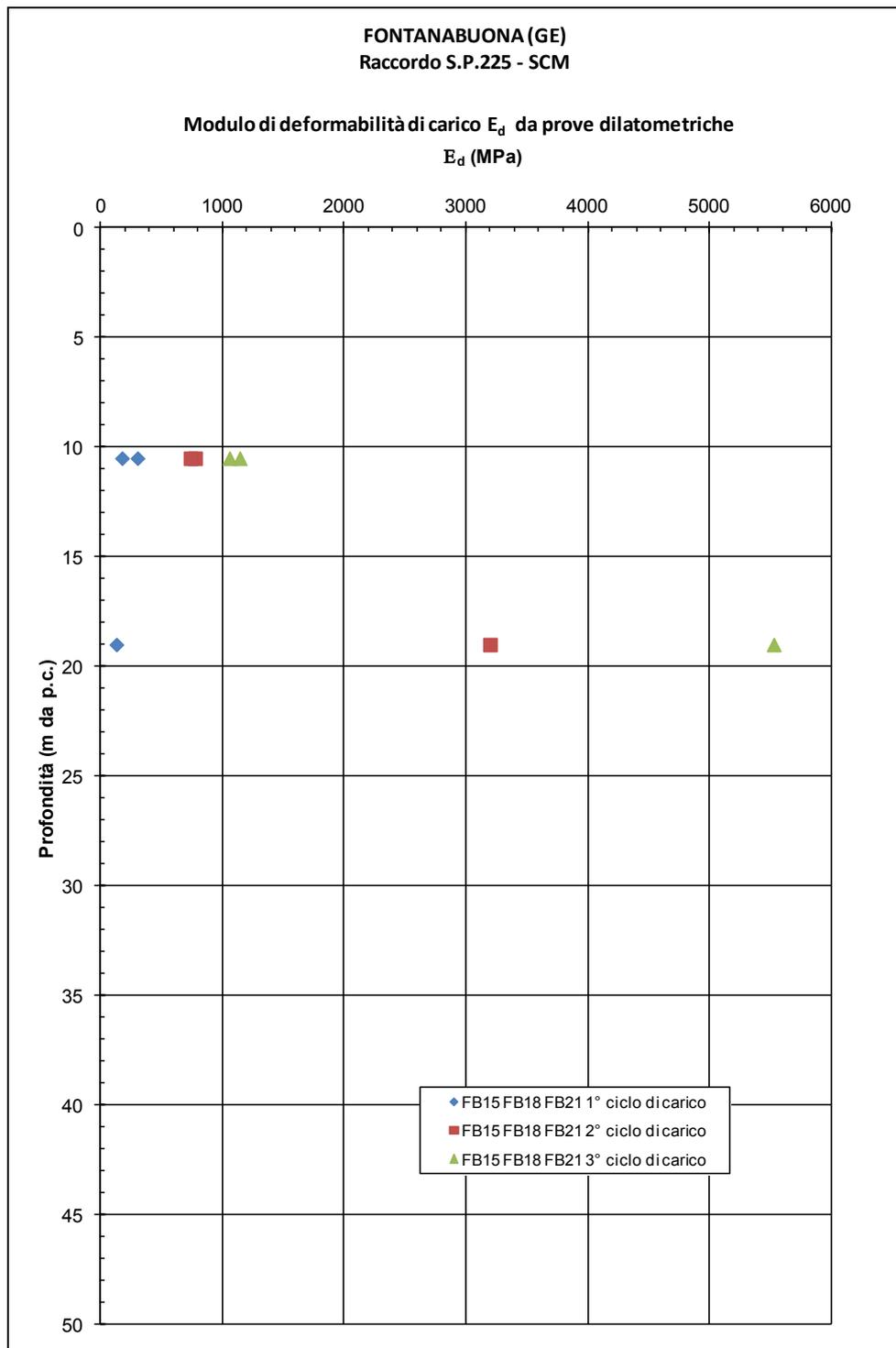
**Figura 11.88 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Coesione da prova di taglio diretto su giunto**



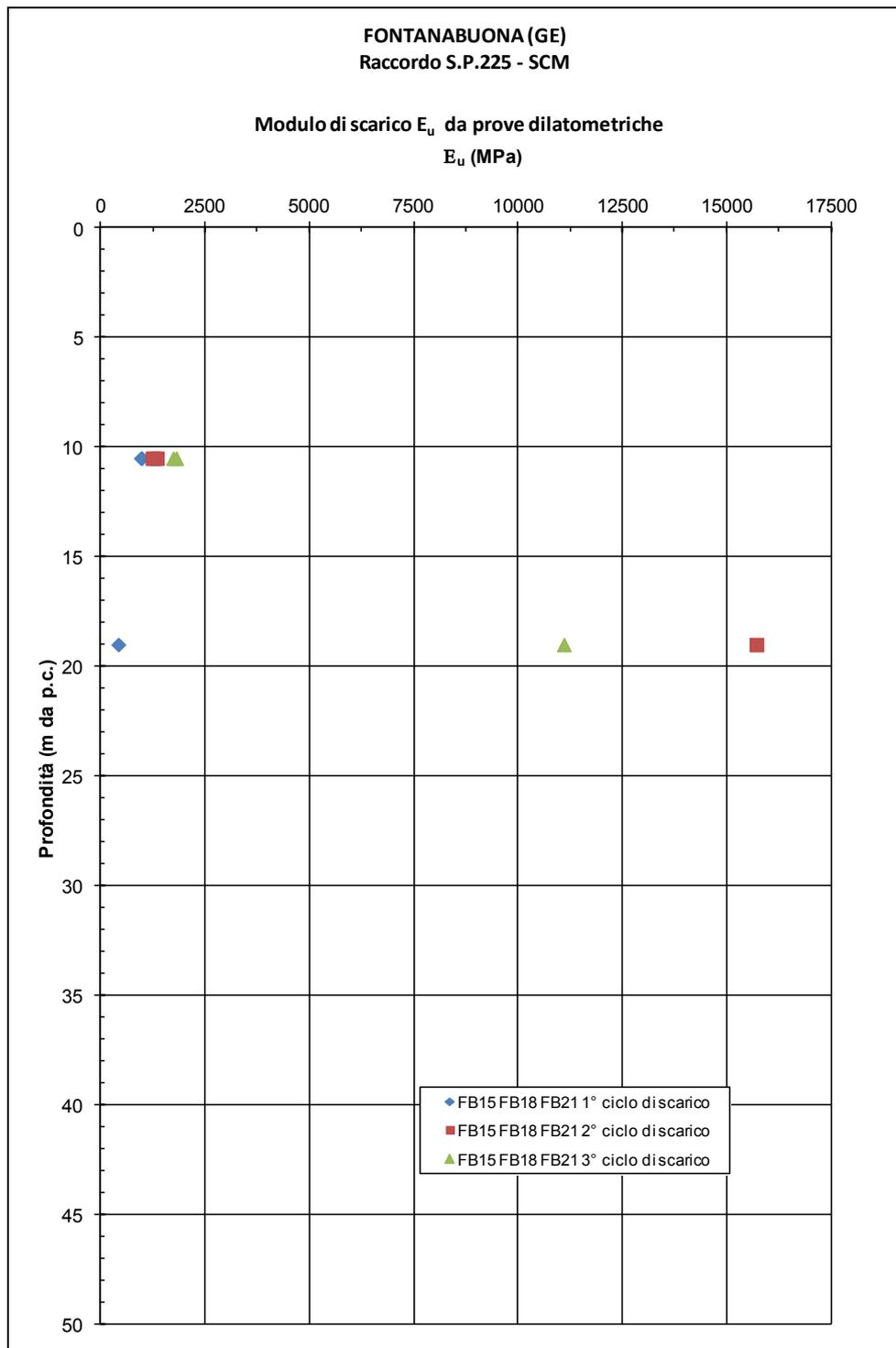
**Figura 11.89 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Resistenza a trazione da misura indiretta**



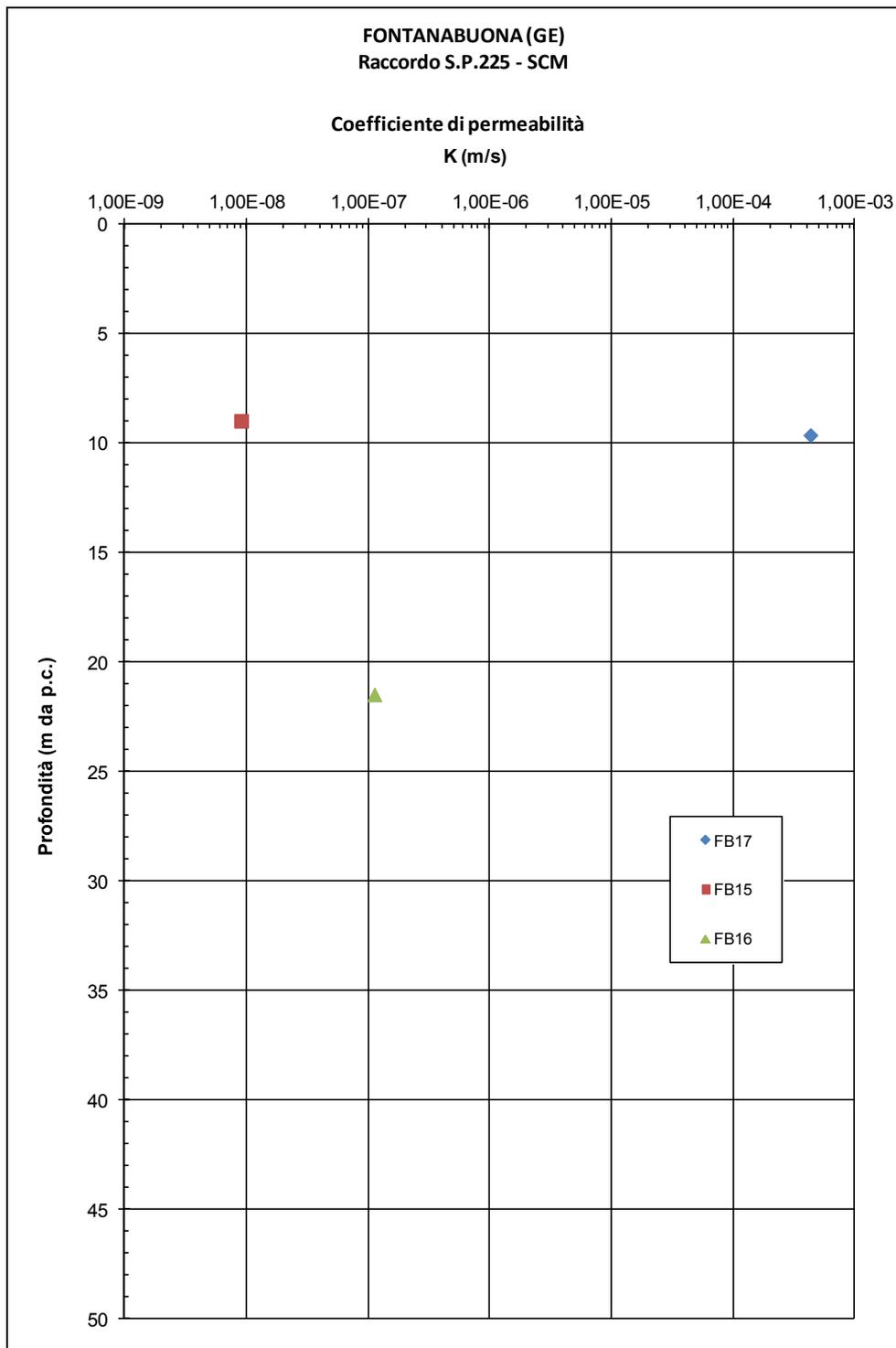
**Figura 11.90 - Formazione SCM Raccordo S.P.225 - Resistenza a compressione da prova Point Load**



**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 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)													
			Giacitura discontinuità	immersione	(°)													
				inclinazione	(°)													
				spaziatura	(cm)													

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

## 12. CRITERI DI COSTRUZIONE DEI RILEVATI

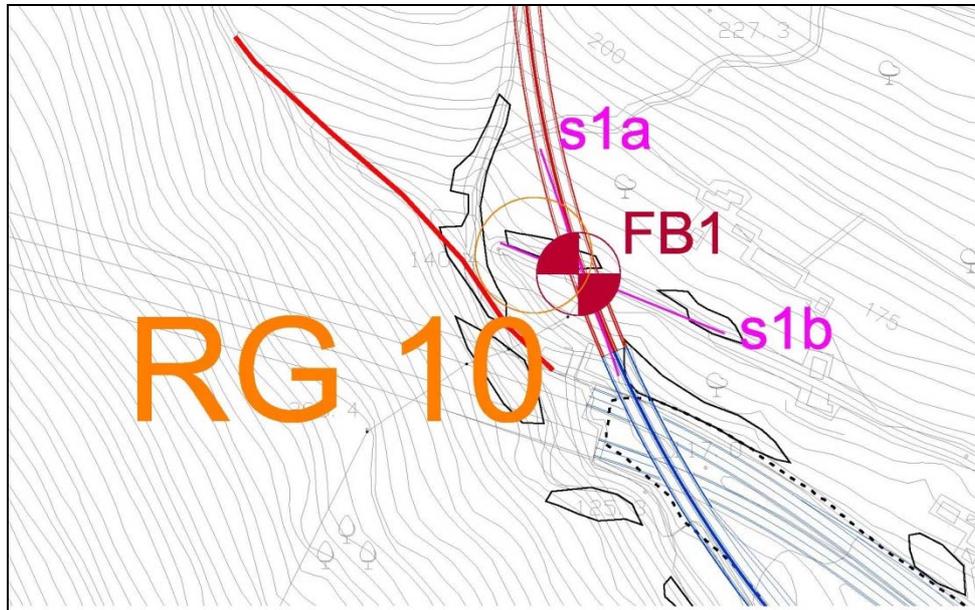
I rilevati saranno realizzati seguendo i criteri delle NTA, adottando pendenze delle scarpate di 7H:4V, con interposizione di berme ogni 5.0 m, secondo quanto esplicitato sulla Tavola Tipologica allegata al presente Progetto (elaborato di riferimento [9]).

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.

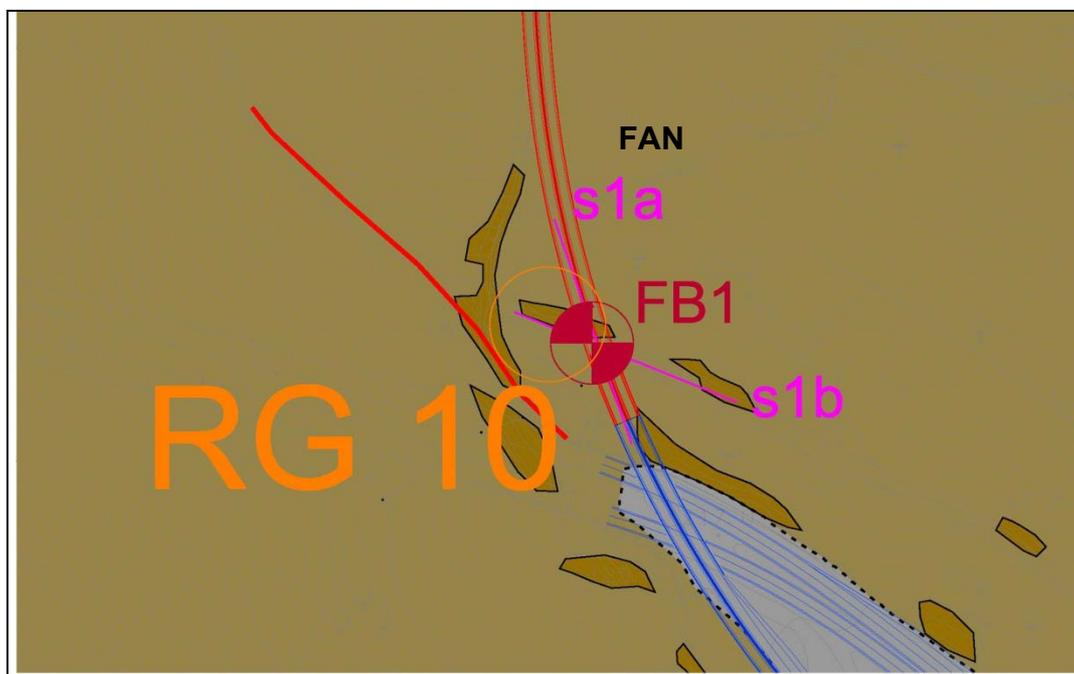
# ALLEGATO A

## Risultati rilievi geomeccanici

## RILIEVO GEOMECCANICO RG10



Ubicazione delle indagini di riferimento



Ubicazione delle indagini di riferimento su carta geologica

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

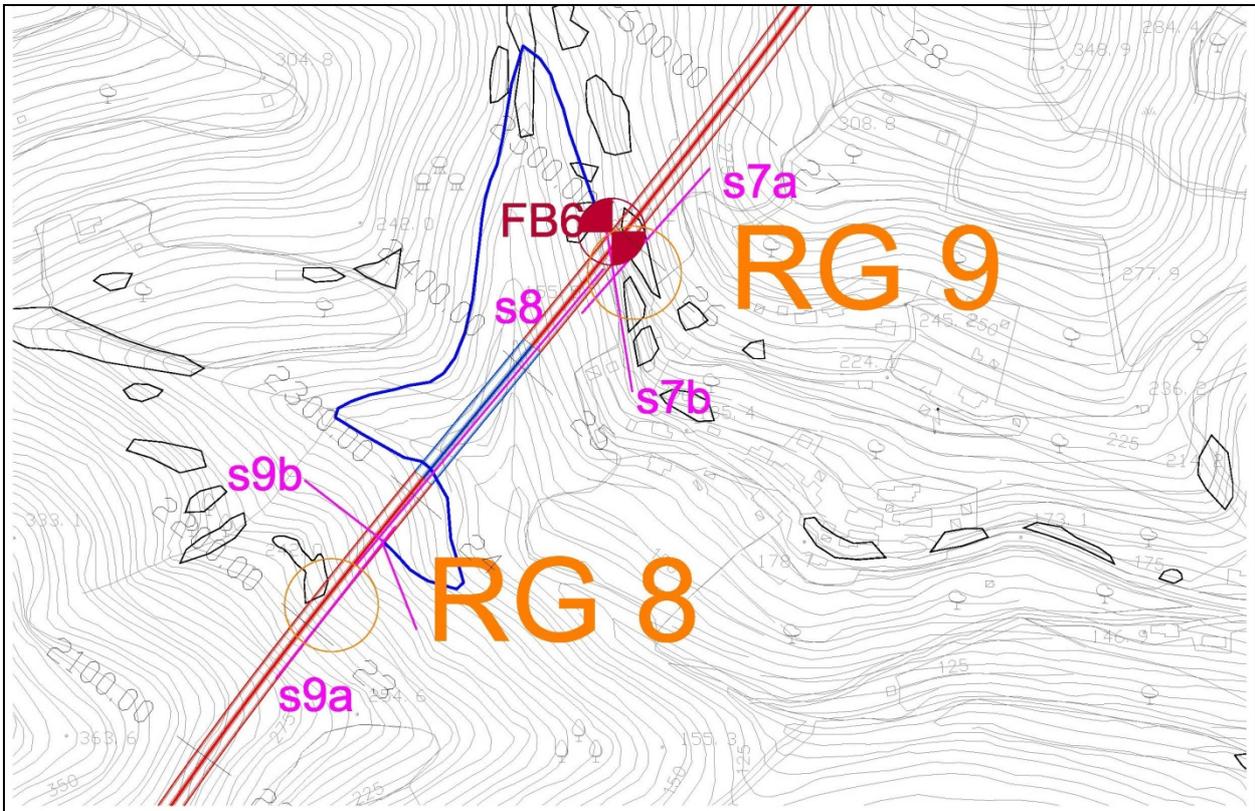


**Foto 1 - Affioramento di cui al rilievo RG10**

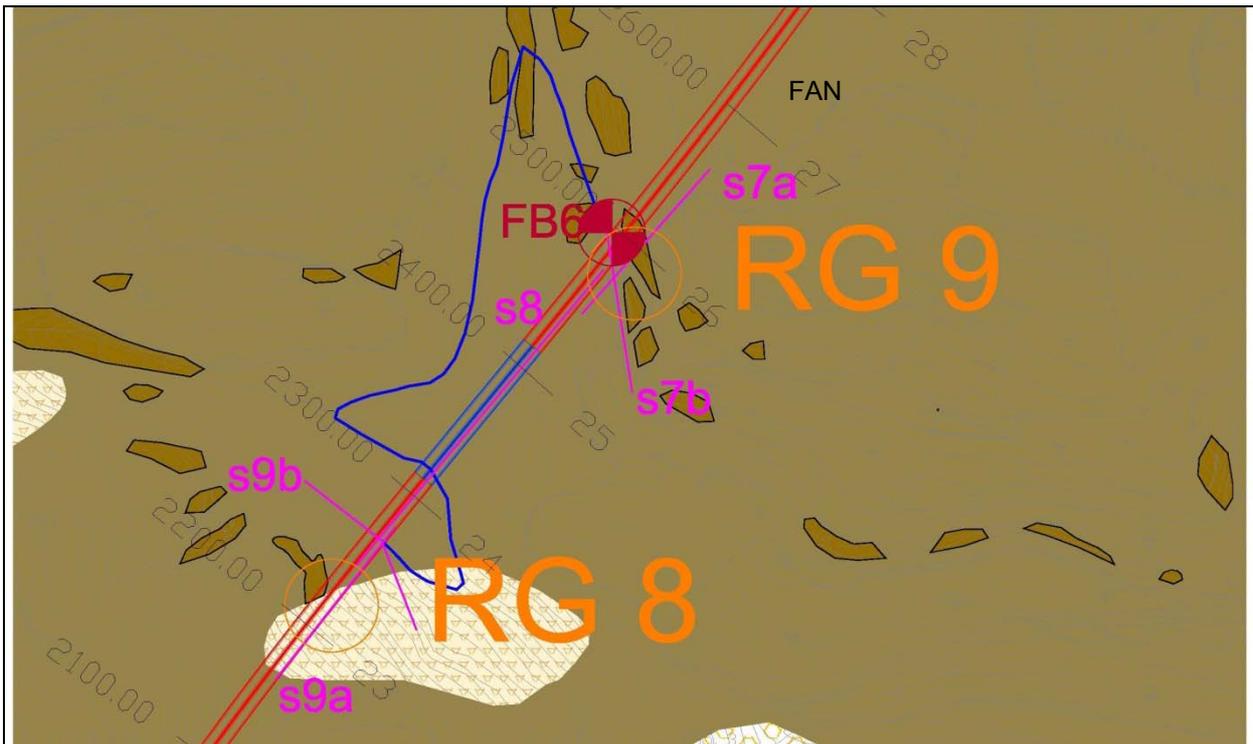


**Foto 2 - Affioramento calcareo (FAN) sul lato Ovest dell'imbocco Rapallo**

## RILIEVI GEOMECCANICI RG8 e RG9



Ubicazione delle indagini di riferimento



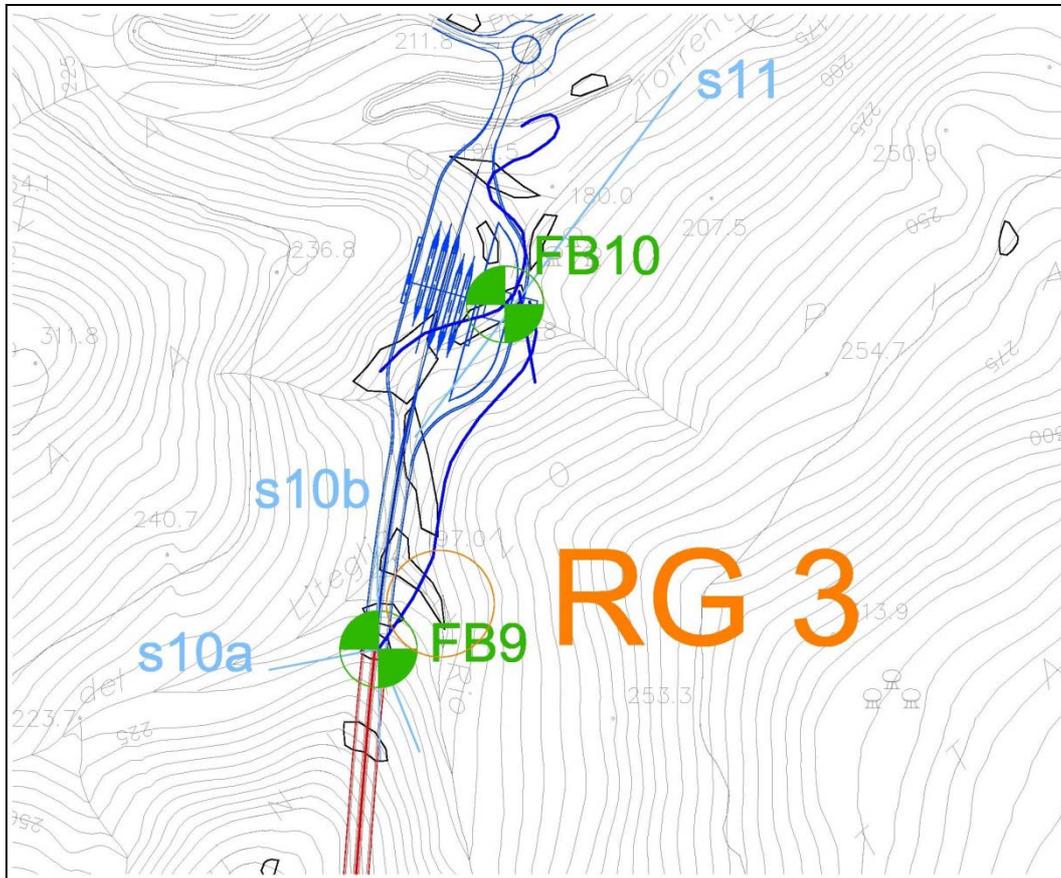
Ubicazione delle indagini di riferimento su carta geologica

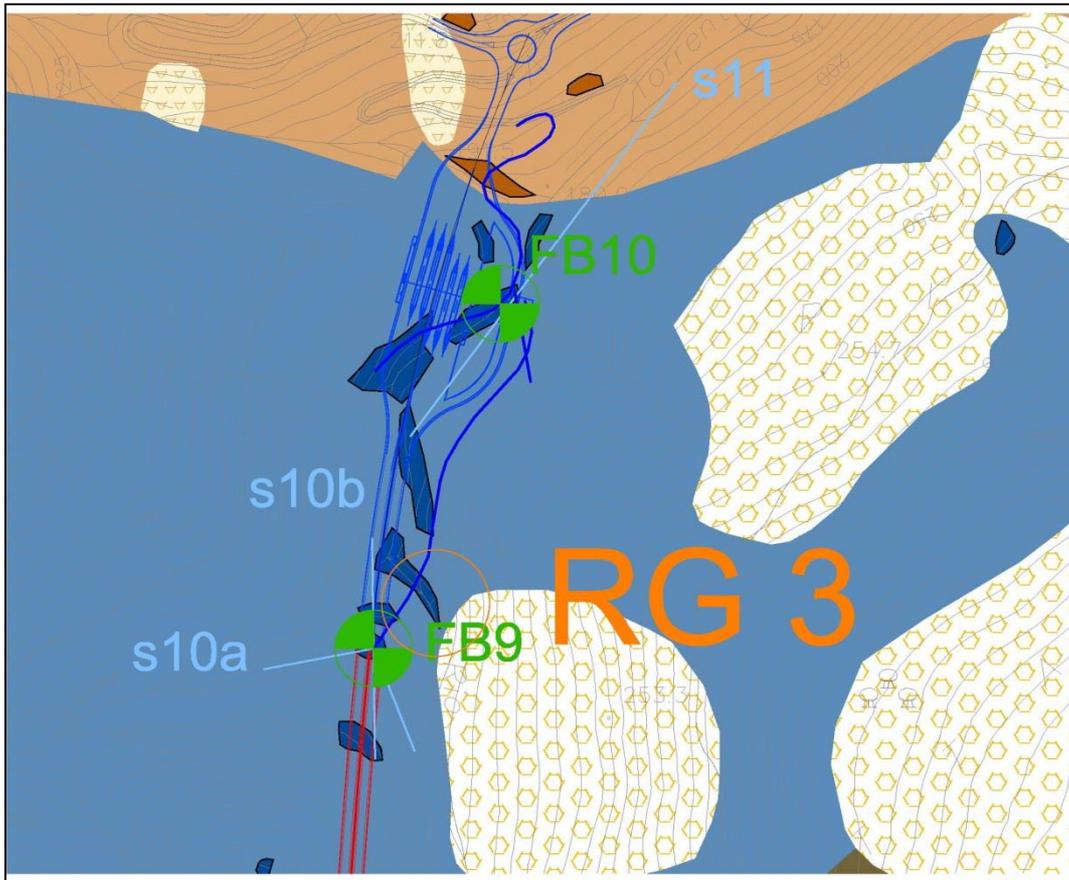


**Foto 1: Affioramento del rilievo geologico RG8**



**Foto 2: Affioramento del rilievo geologico RG9**

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

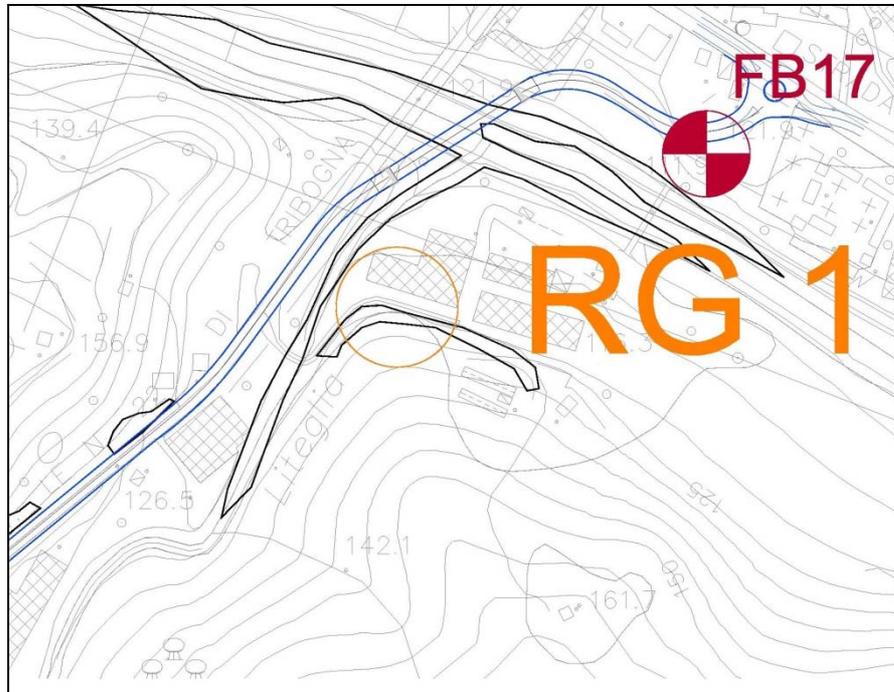


Ubicazione delle indagini di riferimento su carta geologica

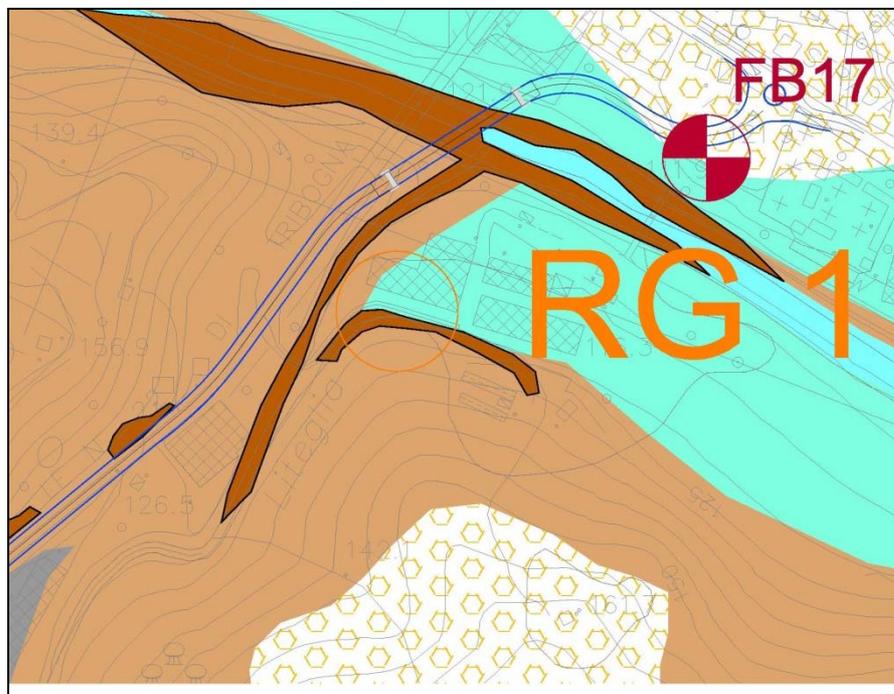


**Affioramento in corrispondenza del rilievo geomeccanico RG3 - Marne calcaree nerastre,  
nociola in alterazione in strati da centimetrici a decimetrici**

## RILIEVO GEOMECCANICO RG1



Ubicazione delle indagini di riferimento



Ubicazione delle indagini di riferimento su carta geologica

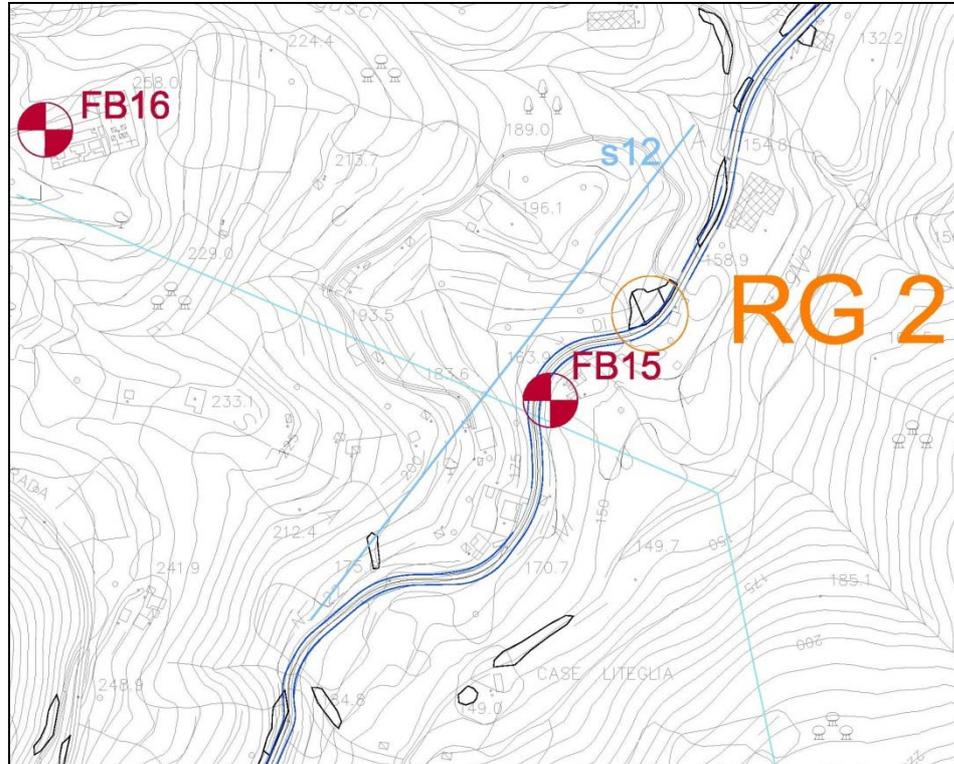


**Affioramento Formazione SMG lungo SP-225**

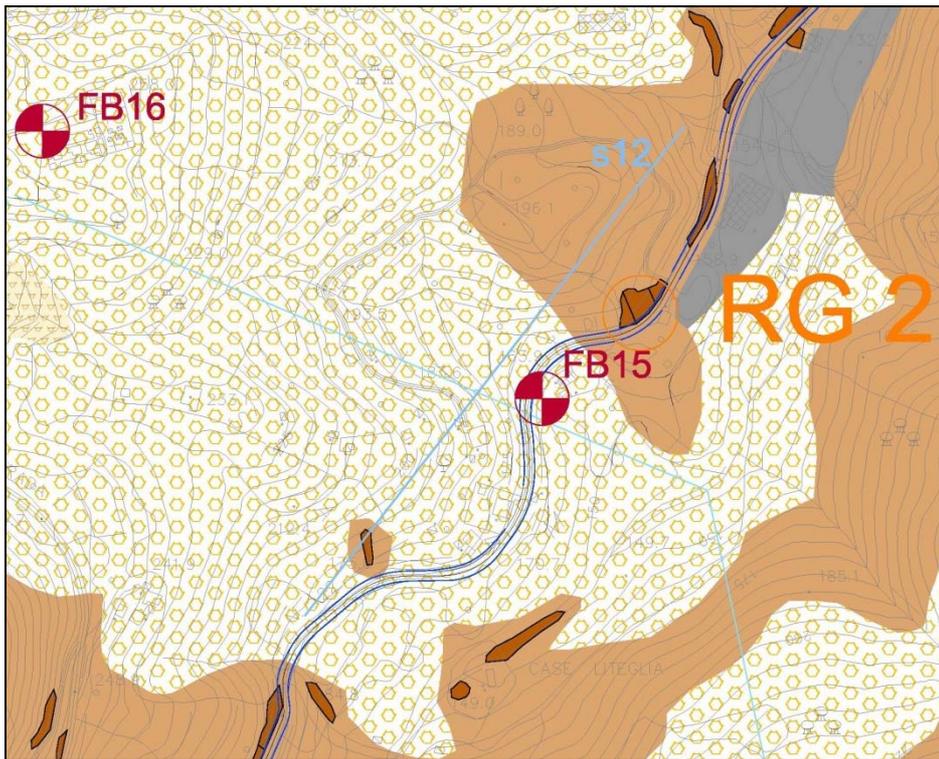


**Fotografia dell'affioramento in corrispondenza del rilievo geomeccanico RG1 - Metasiltiti grigio-verdastre fittamente laminate con subordinate intercalazioni di metaareniti fini in strati decimetrici.**

## 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 <sup>2</sup> calcolato [MN/m <sup>2</sup> ]	Is (MPa)	Is(50) (MPa)	$\sigma_c$ (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 <sup>2</sup> calcolato [MN/m <sup>2</sup> ]	Is (MPa)	Is(50) (MPa)	$\sigma_c$ (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)	$\sigma_c$ (MPa)
		da (m)	a (m)					STRENGTH INDEX Is=P/D <sup>2</sup> calcolato [MN/m <sup>2</sup> ]			
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)	$\sigma_c$ (MPa)
		da (m)	a (m)					STRENGTH INDEX Is=P/D <sup>2</sup> calcolato [MN/m <sup>2</sup> ]			
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)	$\sigma_c$ (MPa)
		da (m)	a (m)					STRENGTH INDEX Is=P/D <sup>2</sup> calcolato [MN/m <sup>2</sup> ]			
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)	$\sigma_c$ (MPa)
		da (m)	a (m)					STRENGTH INDEX Is=P/D <sup>2</sup> calcolato [MN/m <sup>2</sup> ]			
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)	$\sigma_c$
		da (m)	a (m)					STRENGTH INDEX	(MPa)	(MPa)	(MPa)
								Is=P/D <sup>2</sup> calcolato [MN/m <sup>2</sup> ]			
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	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	Par. Dinamici					Compressione monoassiale							
								V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	E (MPa)	G (MPa)	v (-)	$\sigma_c$ (MPa)	Etan_50% (MPa)	Esec_50% (MPa)	v <sub>t</sub> (-)	v <sub>s</sub> (-)	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	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	Par. Dinamici					Compressione monoassiale							
								V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	E (MPa)	G (MPa)	v (-)	$\sigma_c$ (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	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	Par. Dinamici					Compressione monoassiale									
								V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	E (MPa)	G (MPa)	$\nu$ (-)	$\sigma_c$ (MPa)	Etan_50% (MPa)	Esec_50% (MPa)	$\nu_t$ (-)	$\nu_s$ (-)	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 Arboccò – Risultati prove di laboratorio P.P.

Sond.	Camp.	da (m)	a (m)	prof. (m)	Descr.	Formazione	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	Par. Dinamici					Compressione monoassiale								
								V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	E (MPa)	G (MPa)	$\nu$ (-)	$\sigma_c$ (MPa)	Etan_50% (MPa)	Esec_50% (MPa)	$\nu$ (-)	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 Arboccò – Risultati prove di laboratorio P.D.

Sond.	Camp.	da (m)	a (m)	prof. (m)	Descr.	Formazione	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	Par. Dinamici					Compressione monoassiale							
								$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	E (MPa)	G (MPa)	$\nu$ (-)	$\sigma_c$ (MPa)	Etan_50% (MPa)	Esec_50% (MPa)	$\nu_t$ (-)	$\nu_s$ (-)	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	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	Par. Dinamici					Compressione monoassiale						
								V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	E (MPa)	G (MPa)	$\nu$ (-)	$\sigma_c$ (MPa)	E <sub>tan_50%</sub> (MPa)	E <sub>sec_50%</sub> (MPa)	$\nu$ (-)	MR	E <sub>op</sub> D=1.0 (MPa)	E <sub>op</sub> 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	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	Par. Dinamici					Compressione monoassiale					
								V <sub>p</sub> (m/s)	V <sub>s</sub> (m/s)	E (MPa)	G (MPa)	$\nu$ (-)	$\sigma_c$ (MPa)	E <sub>tan_50%</sub> (MPa)	E <sub>sec_50%</sub> (MPa)	$\nu_t$ (-)	$\nu_s$ (-)	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	$\gamma_t$ (kN/m <sup>3</sup> )	Par. Dinamici					Compressione monoassiale						
								$V_p$ (m/s)	$V_s$ (m/s)	E (MPa)	G (MPa)	$\nu$ (-)	$\sigma_c$ (MPa)	Etan_50% (MPa)	Esec_50% (MPa)	$\nu$ (-)	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)	$\sigma_c$ (MPa)
		da (m)	a (m)					STRENGTH INDEX Is=P/D <sup>2</sup> calcolato [MN/m <sup>2</sup> ]			
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)	$\sigma_c$ (MPa)
		da (m)	a (m)					STRENGTH INDEX Is=P/D <sup>2</sup> calcolato [MN/m <sup>2</sup> ]			
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	Is(50)	σ <sub>c</sub>
		da (m)	a (m)					STRENGTH INDEX Is=P/D² calcolato [MN/m²]	(MPa)	(MPa)	(MPa)
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	Is(50)	σ <sub>c</sub>
		da (m)	a (m)					STRENGTH INDEX Is=P/D² calcolato [MN/m²]	(MPa)	(MPa)	(MPa)
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)	$\sigma_c$ (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)	$\sigma_c$ (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)	$\sigma_c$ (MPa)
		da (m)	a (m)					STRENGTH INDEX Is=P/D <sup>2</sup> calcolato [MN/m <sup>2</sup> ]			
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)	$\sigma_c$ (MPa)
		da (m)	a (m)					STRENGTH INDEX Is=P/D <sup>2</sup> calcolato [MN/m <sup>2</sup> ]			
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)	$\sigma_c$ (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)	$\sigma_c$ (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)	$\sigma_c$ (MPa)
		da (m)	a (m)					STRENGTH INDEX Is=P/D <sup>2</sup> calcolato [MN/m <sup>2</sup> ]			
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)	$\sigma_c$ (MPa)
		da (m)	a (m)					STRENGTH INDEX Is=P/D <sup>2</sup> calcolato [MN/m <sup>2</sup> ]			
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 <sub>c</sub>
		da (m)	a (m)					STRENGTH INDEX	(MPa)	(MPa)	(MPa)
								Is=P/D <sup>2</sup> calcolato [MN/m <sup>2</sup> ]			
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 <sub>c</sub>
		da (m)	a (m)					STRENGTH INDEX	(MPa)	(MPa)	(MPa)
								Is=P/D <sup>2</sup> calcolato [MN/m <sup>2</sup> ]			
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 (MPa)	Is(50) (MPa)	$\sigma_c$ (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	2,99	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)	$\sigma_c$ (MPa)
		da (m)	a (m)					STRENGTH INDEX Is=P/D <sup>2</sup> calcolato [MN/m <sup>2</sup> ]			
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**