

PROVINCIA REGIONALE DI RAGUSA
19° Settore - Edilizia Scolastica

Progetto di Adeguamento Sismico
dell'Istituto Professionale Statale per
l'Industria e l'Artigianato di Vittoria

Progetto Esecutivo

Relazione sulla Valutazione del Rischio
di Liquefazione



Il Tecnico

prof. ing. Francesco Castelli

Francesco Castelli

Marzo 2016

INDICE

1. Premessa

2. Condizioni Geologiche Locali

3. Misure Sismiche

4. Caratterizzazione Geotecnica

5. Valutazione dell'Azione Sismica

6. Indagini con il Dilatometro Marchetti Sismico (SDMT)

7. Valutazione del Pericolo di Liquefazione

7.1 Considerazioni Generali

7.2 Metodo di Calcolo

7.3 Risultati

8. Considerazioni Conclusive

1. Premessa

La presente relazione riguarda il *“Progetto di adeguamento sismico dell’Istituto Professionale Statale per l’Industria e l’Artigianato di Vittoria”* promosso dalla Amministrazione Provinciale di Ragusa. In essa sono sintetizzati i risultati forniti dalle campagne d’indagine appositamente eseguite, costituite da sondaggi geognostici e prove in sito, prospezioni geosismiche e prove di laboratorio.

Vengono inoltre richiamati i risultati delle indagini integrative eseguite con Dilatometro Marchetti Sismico, nonché la loro interpretazione per valutare i parametri geotecnici alla base della progettazione.

Le prove dilatometriche sono state condotte secondo le norme ASTM D6635-01 (2002). Ulteriori indicazioni sulle prove dilatometriche e sulla loro interpretazione sono fornite da: EC7 (1997) e TC16 (2001). E’ stato utilizzato il nuovo Dilatometro Marchetti Sismico (SDMT), in grado di misurare anche la velocità di propagazione delle onde di taglio, anche ai fini della determinazione della categoria di sottosuolo e del potenziale di liquefazione.

I risultati delle calcolazioni geotecniche sono stati utilizzati dal progettista, come pure le soluzioni derivanti dall’analisi del calcolo del potenziale di liquefazione contenuto nella presente relazione, di cui fanno parte integrante i seguenti documenti:

- *Risultanze geognostiche e prove geotecniche in sito;*
- *Risultanze geognostiche: integrazione prove geotecniche in sito;*
- *Risultanze di laboratorio;*
- *Risultanze prospezioni geofisiche: prove Down-Hole (DH);*
- *Prove con Dilatometro Marchetti Sismico (SDMT).*

La messa in sicurezza di un edificio ai fini sismici richiede l’esecuzione di adeguate indagini per la caratterizzazione dinamica del terreno. Le indagini devono essere quantitativamente e qualitativamente adeguate e devono consentire di determinare i parametri per la definizione del comportamento dei terreni in condizioni sismiche. Con riferimento all’azione sismica valutata secondo le NTC2008, deve essere calcolata l’accelerazione attesa alla base dell’edificio al fine di stimarne la vulnerabilità. Preliminarmente a tale valutazione deve essere eseguita la valutazione della vulnerabilità sismica del sito e dell’eventuale pericolo di liquefazione.

Con tali finalità è stato redatto uno studio geologico dell’area per accertare le caratteristiche litostratigrafiche dei terreni del substrato di fondazione. Sono stati effettuati nel mese di Giugno 2007 (*Figura 1*), lungo il perimetro esterno del complesso scolastico, n.4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti a profondità comprese tra 11,5 metri (S1) e 13,0 metri (S3) dal piano campagna, con esecuzione

di n.10 prove penetrometriche dinamiche standard (SPT) e prelievo di n.5 campioni di terreno, di cui n.1 indisturbato (S1) e n.4 disturbati. I campioni prelevati sono stati sottoposti ad analisi e prove geotecniche (caratterizzazione litologica, analisi granulometrica, peso dell'unità di volume, contenuto in acqua, calcimetria, prova di taglio diretto, prova edometrica) presso il *Laboratorio Terre e Rocce* del 13° Settore Geologia dell'Amministrazione Provinciale di Ragusa.

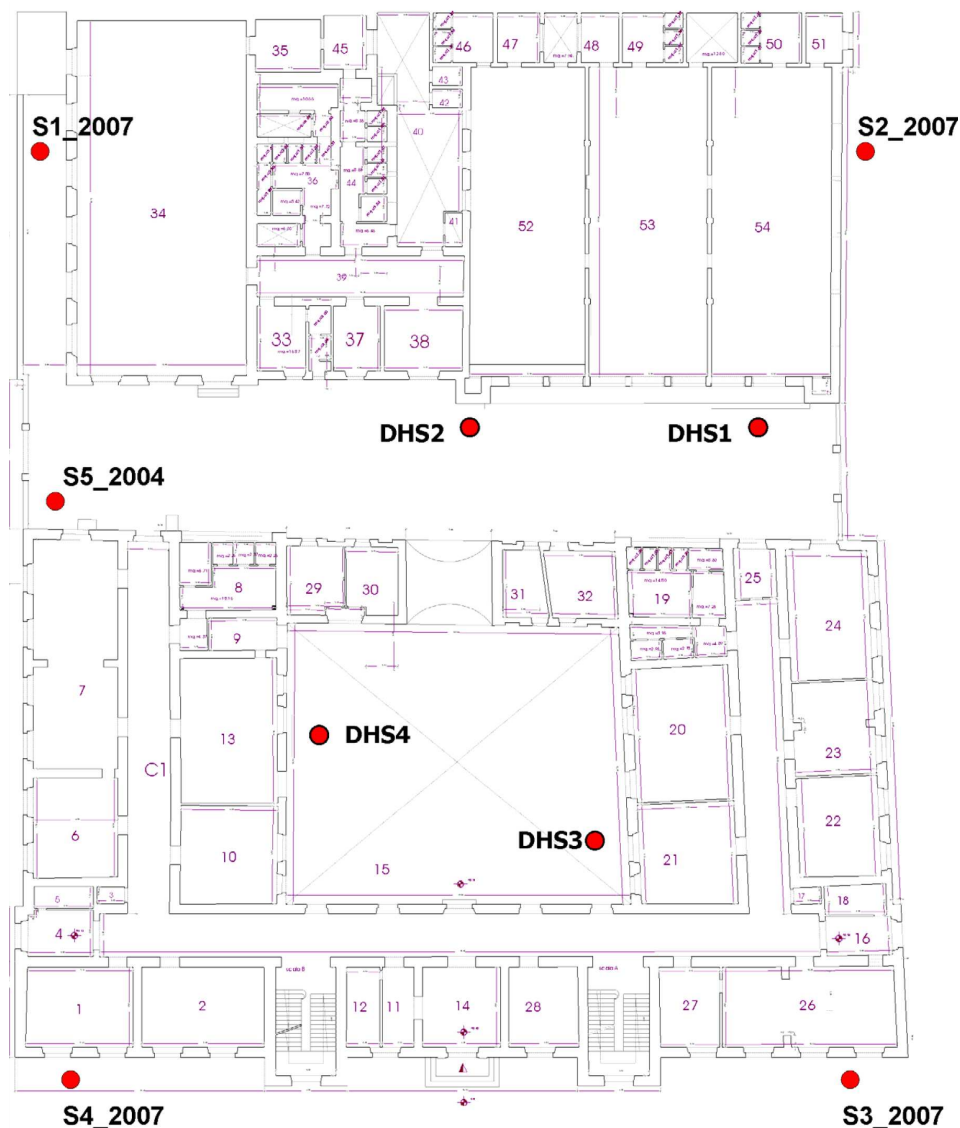


Figura 1 - Planimetria con Ubicazione dei Sondaggi Campagna 2007.

Queste indagini integrano quelle effettuate nel 2004 (Figura 2), in occasione di altri progetti, nei cortili interni del plesso scolastico. Le indagini precedenti sono consistite in n.5 perforazioni a carotaggio continuo spinte fino a profondità medie di 30 metri, comprendenti n.17 prove penetrometriche dinamiche standard (SPT) spinte a profondità comprese tra 1,45 m e 9,20 m dal piano campagna e prelievo di

campioni di terreno per prove ed analisi di laboratorio. Inoltre n.4 fori sono stati attrezzati per misure sismiche in foro tipo Down-Hole (DH), mentre n.1 (S5) è stato predisposto a tubo piezometrico per misure del livello di falda.

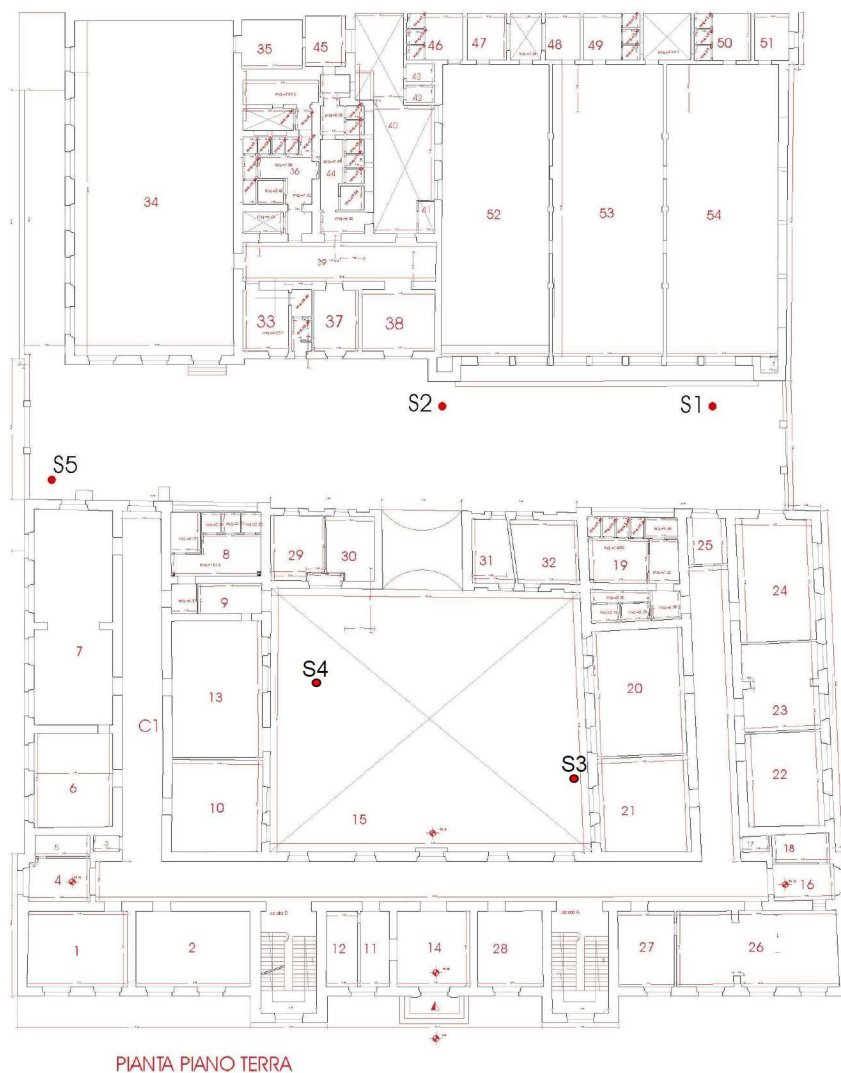


Figura 2 - Planimetria con Ubicazione dei Sondaggi Campagna 2004.

2. Condizioni Geologiche Locali

L'area in esame ricade nella piana di Vittoria dove affiora un complesso di sedimenti quaternari di ambienti di deposizione che vanno dal marino (calcareniti e sabbie) al continentale (calcarei e marne, sabbie-silts-argille lacustri, limi).

Localmente l'analisi delle colonne litostratigrafiche evidenzia, al disotto di uno strato di materiali di riporto, la presenza di sedimenti costituiti in superficie da un sottile livello di sabbie limose rossastre, passanti in profondità a termini calcarenitici marnosi biancastri e sabbioso limosi giallastri o biancastri, con intercalati livelli are-

nacci o marnosi o detritici calcarei. A circa 9-11 m di profondità e talora fino a fondo foro, questi termini passano o intercalano un livello di argilla marnoso-limosa grigia avente spessore compreso tra 6 e 23 m circa.

In particolare, procedendo dall'alto verso il basso, nel sito si evince la seguente stratigrafia:

- **Terreno di riporto** (misto granulometrico con breccia di spessore fino a 1,0 m);
- **Sabbia limosa rossa** (spessore fino a 0,6 m);
- **Calcarenite marnosa biancastra** (calcarenite marnosa biancastra di spessore variabile tra 2,0 e 7,0 m circa);
- **Sabbia bianco-giallastra** (sabbia bianco-giallastra, talora limoso-argillosa con intercalazioni di livelli detritici e/o arenaci di spessore tra 2,5 e 7,5 m circa);
- **Argilla marnoso-limosa grigia** (spessore complessivo da 6,3 fino a 23 m circa);
- **Sabbia limosa-Limo sabbioso** (Termini sabbioso-limosi o limoso-sabbiosi di colore nocciola e spessore fino a 14 m circa).

Sotto il profilo idrogeologico, i riscontri durante le perforazioni ed il successivo monitoraggio del piezometro S5 hanno consentito di evidenziare la presenza di una falda idrica ad una profondità di 2,5 m dal piano campagna, con variazioni nell'arco di tre anni di min: 1,8 m e max: 2,5 m.

La natura dei terreni e la presenza di una falda nei primi di profondità, in relazione alla sismicità dell'area, richiedono la valutazione del rischio di liquefazione.

3. Misure Sismiche

L'elaborazione delle misure sismiche in foro ha permesso di ricostruire, nell'ambito delle profondità esplorate, profili di velocità che nell'insieme esibiscono valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s comprese tra 190 e 339 m/sec, a cui si intercalano terreni con velocità V_s comprese tra 359 e 467 m/sec, localmente riscontrabili a profondità comprese tra 6,1 ed 11,6 m in DHS1; tra 6,4 e 9,3 m in DHS2; tra 5,1 e 20,6 in DHS3; tra 9,6 e 30 metri in DHS4 (*Figura 3*).

La media delle velocità V_{s30} nell'ambito dei primi 30 metri di profondità ha valori compresi tra 300 e 345 m/sec.

Oltre alle misure sismiche in foro sono effettuate n.4 misure di microtremore sismico, sia alla base della struttura che in elevazione, allo scopo di evidenziare le frequenze dominanti. I risultati delle elaborazioni e delle analisi spettrali dei microtremori sismici, registrati e campionati con le procedure esposte nelle "*Risultanze Propezioni Geosismiche: Misure di microtremore sismico*" sono sintetizzati graficamente dalle *Funzioni di Amplificazione* dedotte per ciascuno dei quattro punti di misura ubicati alla base (N1, N2, N3) e sul terrazzo (N4) dell'edificio.

Sismostrato	DHS1		DHS2		DHS3		DHS4		Sismostrato
	Prof.	Vs	Prof.	Vs	Prof.	Vs	Prof.	Vs	
	m	m/s	m	m/s	mm	m/s	m	m/s	
1	3.5	339	3.1	209	4.6	193	4.2	303	1
2	6.1	272	6.4	248	19.9	431	9.6	190	2
3	11.6	467	9.3	416	30.0	249	30.0	401	3

Figura 3 - Risultati Prove Sismiche in Foro Tipo Down Hole.

4. Caratterizzazione Geotecnica

Dai risultati delle indagini in sito, delle misure sismiche e delle prove di laboratorio, sono state valutate la successione stratigrafica dei terreni, nonché le proprietà geotecniche dei terreni stessi, riportate per esteso nella Relazione Geologica. Sui risultati delle indagini integrative effettuate con prove SDMT si riferirà nel seguito.

Complessivamente le prove eseguite sui campioni di terreno prelevati nel corso dei sondaggi geognostici eseguiti in occasione delle due campagne d'indagine del 2004 e 2007 hanno fornito i risultati sintetizzati nella Figura 4.

Le prove di compressione edometrica eseguite sui campioni di terreno di natura limosa e/o argillosa hanno fornito nell'intervallo di pressioni d'interesse valori del coefficiente di consolidazione c_v compresi tra 0,00877 e 0,00817 cm/sec^2 .

Anno	Sond.	Campione	Profondità m	Contenuto d'acqua %	Peso di volume kN/m^3	Peso specifico kN/m^3	Densità secca kN/m^3	Indice dei vuoti	Porosità %	Grado di saturazione %	CaCO ₃ %	Frazione Argillosa %	D50 mm	Coeff. di Uniformità Uc	Coesione kN/m^2	Angolo di attrito °
2004	S1	S1C1	6.00 - 6.10									24.85	0.0350	136.6		
2004	S1	S1F1	8.50 - 9.20	38.97	17.23	25.54	12.36	1.059	51	95.81	74.38	21.33	0.0066	53.7	38.54	37.2
2004	S1	S1F2	12.8 - 13.8	47.18	16.88	25.34	11.47	1.209	55	100	51.97	25.93	0.0075	15.1	9.72	32.7
2004	S2	S2C1	3.10 - 3.30									19.24	0.1000	950.0		
2004	S2	S2C2	5.50 - 5.70									4.46	0.2200	4.6		
2004	S2	S2F1	8.40 - 9.10	37.14	17.65	25.99	12.85	1.020	50	96.55	71.66	12.99	0.0220	15.1	37.90	39.7
2004	S2	S2F2	10.2 - 10.9	49.39	16.82	26.44	11.28	1.349	57	98.72	79.39	7.35	0.0250	16.9	68.32	33.9
2004	S2	S2F3	16.2 - 16.9	28.14	17.30	26.42	13.53	0.957	49	79.22	32.85	15.09	0.1750	388.8		
2004	S3	S3C2	2.00 - 2.45									0.0	0.2100	1.5		
2004	S3	S3C1	2.60 - 2.80									3.13	0.2050	16.6		
2004	S3	S3F1	5.50 - 6.35	22.50	18.66	26.38	15.20	0.731	42	82.71	3.66	0.0	0.2100	1.5	6.03	37.5
2004	S3	S3F2	7.10 - 7.90	40.50	17.36	25.38	12.36	1.047	51	99.78	79.24	19.44	0.0110	22.5	78.20	31.0
2004	S3	S3F3	9.7 - 10.5	56.44	15.80	24.72	10.10	1.448	59	98.27	55.28	13.13	0.0100	12.1		
2004	S4	S4C1	3.20 - 3.40									0.0	0.2500	1.9		
2004	S4	S4C2	7.00 - 7.20									0.0	0.2200	1.5		
2004	S4	S4F1	9.1 - 10.0	18.90	17.75	26.01	14.91	0.742	43	67.6	2.28	6.23	0.1900	2.6		
2004	S4	S4F2	11.3 - 12.1	38.41		25.92					82.59	10.01	0.0350	27.7		
2004	S5	S5C1	3.00 - 3.20									13.59	0.1800	438.0		
2004	S5	S5C2	4.50 - 4.70									0.0	0.2150	1.6		
2007	S1	S1C1	1.65 - 2.40	11.86	22.22	26.28	19.80	0.3274	25	97.09	29.00	19.38	0.1600	197.0	19.86	35.80
2007	S2	S2C4	7.00 - 7.45								84.00	13.66	0.0400	65.6		
2007	S3	S3C2	3.00 - 3.45								15.00	10.05	0.1950	111.0		
2007	S3	S3C3	5.60 - 6.05								82.00	13.38	2.1500	6256.2		
2007	S4	S4C1	2.00 - 2.45								81.00	22.67	0.0270	99.0		

Figura 4 - Risultati Prove Geotecniche di Laboratorio.

5. Valutazione dell’Azione Sismica

Il complesso scolastico è stato oggetto di un’approfondita campagna d’indagini geotecniche e strutturali; quest’ultime hanno riguardato sia gli elementi in cemento armato che quelli in muratura, nonché alcuni solai.

L’intervento si delinea come intervento di adeguamento sismico in ottemperanza alle indicazioni e richieste della normativa vigente (NTC2008).

L’edificio è del tipo in muratura, dotato di cordoli in cemento armato lungo le dorsali delle pareti e solai in latero-cemento. Sono altresì presenti travi aeree nella zona palestra connesse puntualmente con l’apparato murario.

L’area oggetto di studio è identificata dalle seguenti coordinate geografiche, intese al centro dell’edificio (*Figura 5*):

- latitudine (ϕ) = 36.93005°
- longitudine (λ) = 14.526350°



Figura 5 - Localizzazione e vista aerea della struttura.

L’azione sismica è stata determinata in conformità alle indicazioni riportate al capitolo 3.2 del D.M. 14 gennaio 2008 “*Norme tecniche per le Costruzioni*”, ovvero determinando attraverso latitudine e longitudine i parametri sismici di base a_g , F_0 e T_c^* per lo *Stato Limite di Interesse*, ed i coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica.

In accordo con quanto riportato nelle specifiche relazioni si definisce qui di seguito la categoria di suolo di fondazione e si rimanda alle relazioni geologica e geotecnica per ulteriori approfondimenti. La V_{S30} ottenuta per il caso in esame definisce un sottosuolo di fondazione di **Categoria C**. Le condizioni topografiche del sito sono quello di pendio con inclinazione media $< 30\%$, pertanto con riferimento alla tabella 3.2.IV delle NTC2008 si assume la categoria “T1”.

La sismicità del territorio investigato è stata valutata secondo la griglia appositamente elaborata dall'INGV che fornisce il valore dell'accelerazione al *bedrock* per un periodo di ritorno di 475 anni, corrispondente alla probabilità di non superamento del 10% in 50 anni. Tale valore viene utilizzato per i calcoli sismici per gli edifici di civile abitazione e per le opere infrastrutturali di dimensioni contenute o di importanza normale.

In particolare dalla *Tabella 1* si evince che per la località in esame l'accelerazione prevista al *bedrock* è di 0,273g.

Tabella 1 - Valori dei parametri sismici di base per ciascun Stato Limite.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	90	0,057	2,531	0,284
SLD	151	0,078	2,469	0,323
SLV	1424	0,273	2,400	0,482
SLC	2475	0,351	2,443	0,524

E' inoltre da considerare il fattore di amplificazione sismica locale S_s che per il sito in esame di **Categoria C** risulta $S_s = 1,30$ calcolato con l'espressione:

$$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$$

Pertanto il valore dell'accelerazione per il quale occorre valutare il pericolo di liquefazione risulta pari a:

$$a_{max} = 0,273g \times S_s = 0,273 \times 1,30 = 0,354g$$

Per la determinazione del potenziale di liquefazione è necessario risalire dal valore dell'accelerazione attesa al valore della magnitudo del terremoto ipotetico che genera tale accelerazione. Questo valore della magnitudo è stato calcolato attraverso l'utilizzo delle relazioni di attenuazione (*Spudich et al., 1999*) del parametro PGA (*peak ground acceleration*) per il valore di riferimento $a_g = 0,354g$.

Dalla correlazione empirica utilizzata si ottiene il valore di riferimento $M = 6,65$. Sulla base di tale valore si è ottenuto il fattore correttivo:

$$MSF = 10^{2.24} / M^{2.56}$$

In definitiva il calcolo del pericolo di liquefazione sarà eseguito per un valore della magnitudo pari a:

$$M = 6,65 \text{ (Magnitudo)}$$

6. Indagini con il Dilatometro Marchetti Sismico (SDMT)

Sono state eseguite n.3 verticali dilatometriche sismiche (SDMT) nei giorni 22, 24 e 25 Settembre 2011. Nella planimetria di *Figura 6* è riportata l'ubicazione planimetrica delle prove SDMT. L'indagine è stata eseguita all'interno dell'Istituto, sfruttando l'ampio cortile per l'ingresso del camion penetrometrico.

In *Tabella 2* è riportata la data di esecuzione di ciascuna prova e la profondità raggiunta. Le ubicazioni delle verticali di prova possono essere individuate mediante le foto dei piazzamenti del camion (*Figura 7*).



Figura 6 - Ubicazione delle Prove Dilatometriche Sismiche (SDMT).

Le profondità delle tre verticali di prova SDMT 1, 2 e 3 erano previste pari a circa 30 m. Nelle verticali SDMT 1 e 2 si è scelto di spingere l'indagine fino a 34-35 m, allo scopo di offrire al progettista una visione più in profondità rispetto a quanto richiesto dalla vigente normativa antisismica.

Il livello della falda assunto nell'interpretazione delle prove dilatometriche è pari a 2,7 m dal piano stradale, come rilevato nei sondaggi S1, S3 ed S4 eseguiti nella precedente campagna d'indagine.

Il dilatometro piatto è una lama di acciaio avente dimensioni 95 x 200 x 15 mm, con il bordo inferiore affilato. Su una faccia è montata una membrana metallica circolare espandibile. La lama viene fatta avanzare nel terreno verticalmente agendo

su una batteria di aste. Un cavo elettropneumatico collega la lama con la centralina in superficie.



Foto 1 - Postazione SDMT 1



Foto 2 - Postazione SDMT 1



Foto 3 - Postazione SDMT 2



Foto 4 - Postazione SDMT 2



Foto 5 - Postazione SDMT 3



Foto 6 - Postazione SDMT 3

Figura 7 - Foto Relative alle Prove Dilatometriche Sismiche (SDMT).

Tabella 2 - Prove Dilatometriche Sismiche (SDMT).

Prova	Data	Profondità (m)
SDMT 1	22 Settembre 2011	34,00
SDMT 2	24 Settembre 2011	35,00
SDMT 3	25 Settembre 2011	29,40

Ad intervalli regolari (generalmente ogni 20 cm) la penetrazione viene arrestata e viene immessa aria compressa, facendo dilatare la membrana contro il terreno. Ad ogni profondità vengono rilevati due valori di pressione:

- p_0 = pressione necessaria per controbilanciare la pressione del terreno ed iniziare il movimento della membrana (pressione di distacco o *lift-off*);
- p_1 = pressione necessaria per ottenere una dilatazione del centro della membrana contro il terreno di 1,1 mm.

I due valori di pressione determinati p_0 e p_1 vengono elaborati ottenendo tre "parametri indice":

- I_d = Indice di materiale;
- K_d = Indice di spinta orizzontale;
- E_d = modulo dilatometrico.

Dai parametri indice I_d , K_d e E_d applicando le correlazioni proposte dal Technical Committee (2001) vengono ricavati i parametri:

- M = modulo edometrico (terreni sia coesivi che granulari);
- c_u = coesione non drenata (terreni coesivi);
- K_0 = coefficiente di spinta a riposo (terreni coesivi);
- OCR = grado di sovraconsolidazione (terreni coesivi);
- ϕ = angolo di resistenza al taglio (terreni incoerenti).

Il nuovo dilatometro sismico (SDMT) è uno strumento risultante dalla combinazione della lama dilatometrica con un modulo che misura la velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

Il modulo sismico è un corpo cilindrico, collocato sopra la lama, di diametro 50 mm, munito di due ricevitori distanti 0,50 m. La sezione retta del corpo cilindrico (circa 20 cm²) è maggiore di quella della lama (circa 14 cm²), garantendo un buon contatto tra parete e terreno.

La configurazione della prova è "true interval" a due ricevitori. Tale configurazione evita i problemi connessi con la possibile inesatta determinazione dello zero dei tempi dall'impatto - talora riscontrati nella configurazione "pseudo interval" - con un solo ricevitore. Inoltre la coppia di sismogrammi ai due ricevitori corrisponde allo stesso colpo, anziché a colpi successivi non necessariamente identici. Viene così notevolmente migliorata la ripetibilità della misura di V_s .

L'energizzazione avviene in superficie mediante un martello a pendolo, avente massa battente di circa 10 kg. Essa percuote orizzontalmente la testa di una base di ferro parallelepipedica di forma allungata di lunghezza circa 80 cm, pressata verticalmente contro il terreno. L'asse longitudinale della base parallelepipedica è orientato parallelamente all'asse dei ricevitori, in modo che essi offrano la massima sensibilità

all'onda di taglio di interesse. La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s è il rapporto tra la differenza di distanza tra la sorgente e i due ricevitori ed il ritardo dell'arrivo dell'impulso dal primo al secondo ricevitore.

La velocità V_s può essere convertita nel modulo di taglio iniziale G_0 . La conoscenza combinata di G_0 e del modulo M (da DMT) può essere di aiuto nella costruzione della curva di degradazione del modulo $G-\gamma$.

Le determinazioni di V_s vengono effettuate ogni 50 cm di profondità. Sinteticamente i risultati delle prove eseguite sono riportati nelle *Figure 8 - 14* ed in allegato alla presente relazione. I risultati sono riportati in maniera estensiva nell'apposito *report* relativo all'esecuzione delle prove.

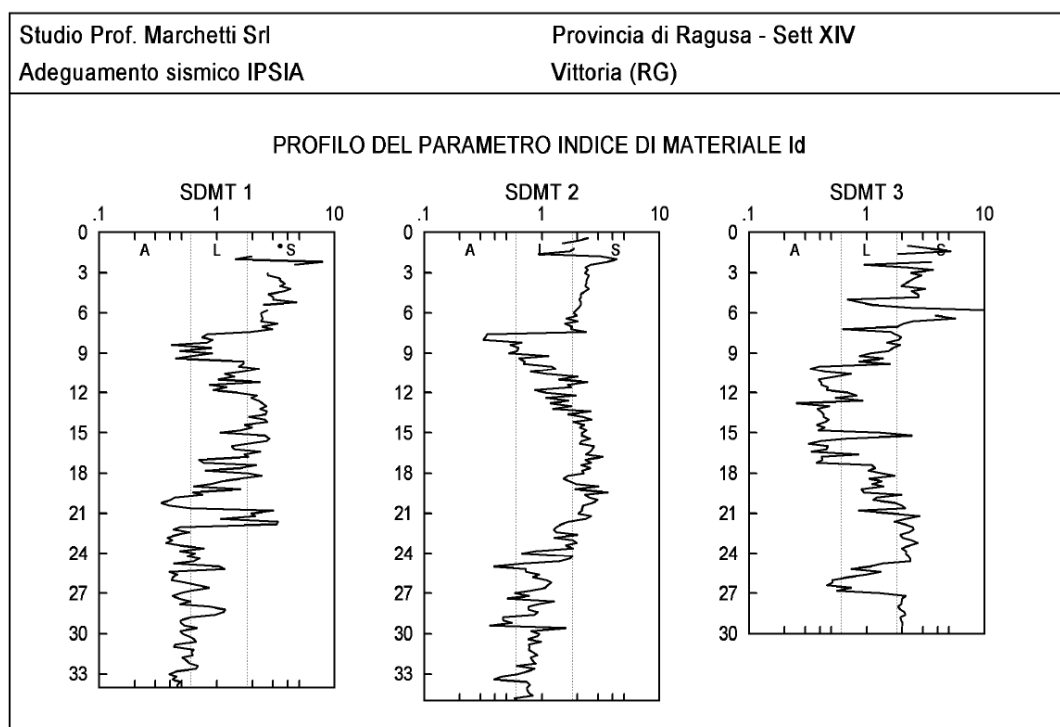


Figura 8 - Prove Dilatometriche : Profilo del Parametro Indice di Materiale.

L'indice di materiale I_d risulta superiore o all'incirca pari a 2 nei primi metri e fino ad una profondità variabile tra 21 e 24 m dal p.c., denotando un terreno di natura prevalentemente sabbiosa; più in profondità prevale la componente limosa-argillosa (*Figura 8*). I valori modulo edometrico sono mediamente compresi tra 100 e 150 MPa (*Figura 9*).

Ai terreni di natura prevalentemente coesiva possono essere associati i parametri di resistenza al taglio non drenata riportati in *Figura 10*, mentre a quelli di natura incoerente i valori del parametro angolo di attrito riportati in *Figura 11*. I risultati relativi a tutte le prove eseguite sono sintetizzati nella *Figura 14*.

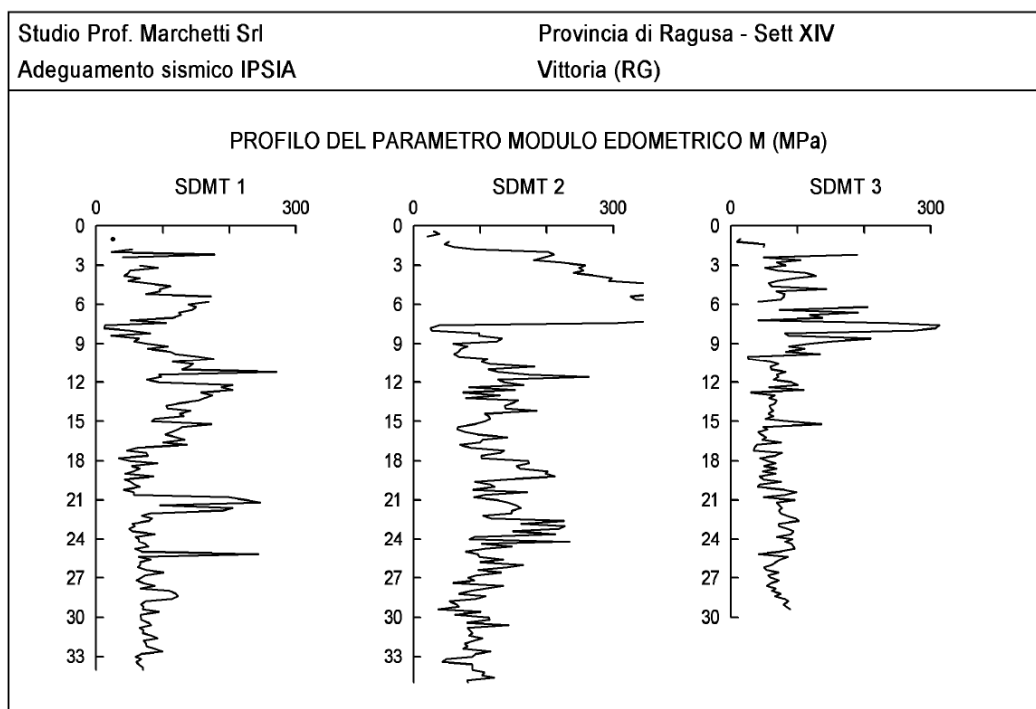


Figura 9 - Prove Dilatometriche : Profilo del Parametro Modulo Edometrico.

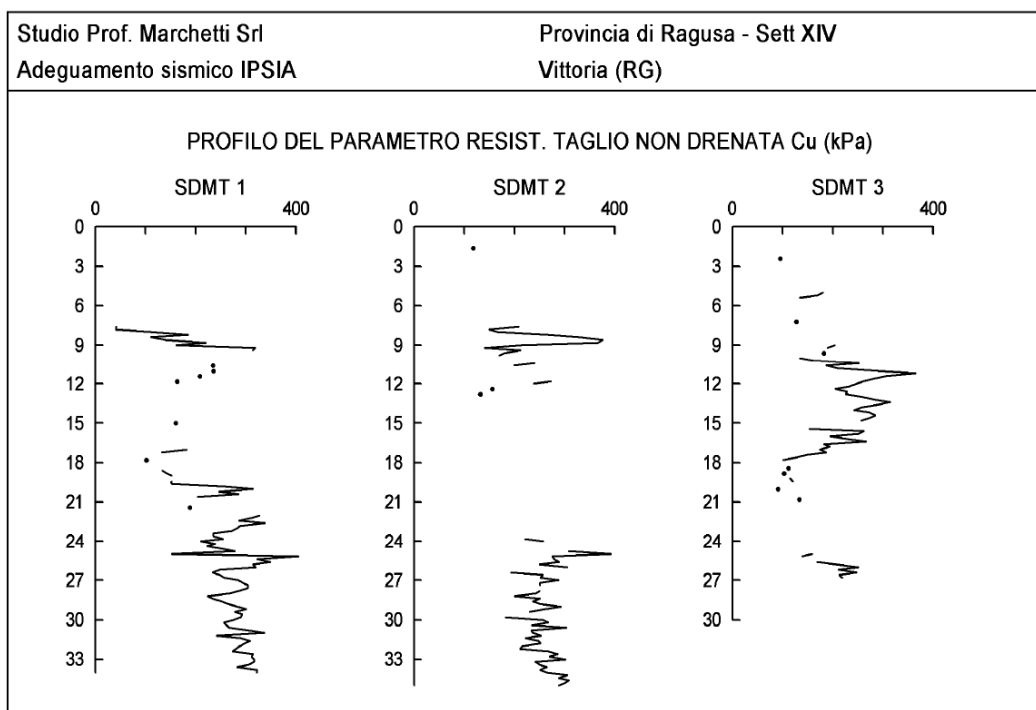


Figura 10 - Prove Dilatometriche : Profilo del Parametro Resistenza Non Drenata.

Il Dilatometro Marchetti Sismico (SDMT) consente la misura della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s (Figura 12) e mediante la teoria dell'elasticità, la determinazione dei valori del modulo di elasticità tangenziale a piccole deformazioni G_o riportati in Figura 13.

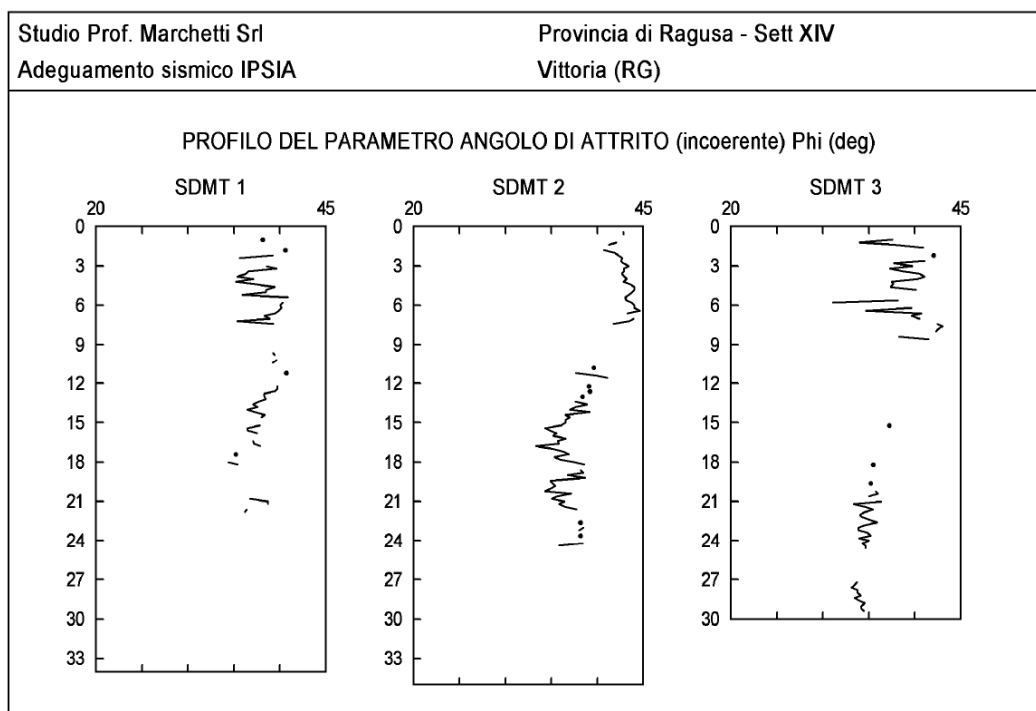


Figura 11 - Prove Dilatometriche : Profilo del Parametro Angolo di Attrito.

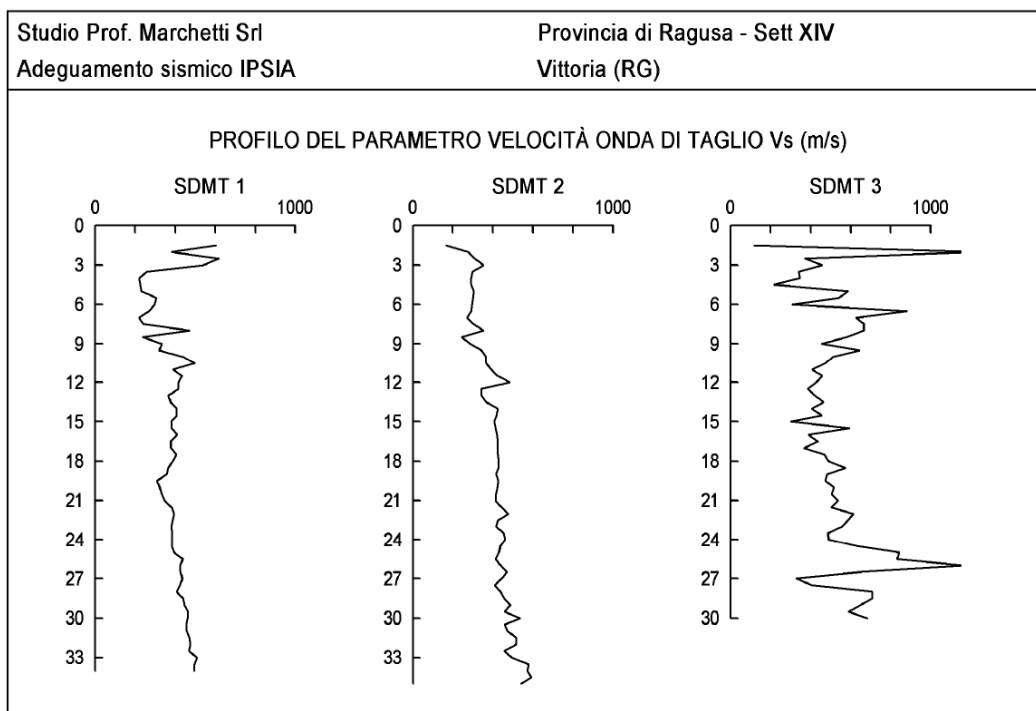


Figura 12 - Prove Dilatometriche : Profilo del Parametro Velocità Onde di Taglio.

Nell'ambito delle profondità esplorate i profili di velocità ottenuti mediante le prove dilatometriche (Figura 12) esibiscono valori delle onde di taglio V_s mediamente comprese tra circa 200 e 500 m/sec a cui localmente s'intercalano, specie nei primi metri di profondità, terreni con velocità più elevate (SDMT1 e SDMT3).

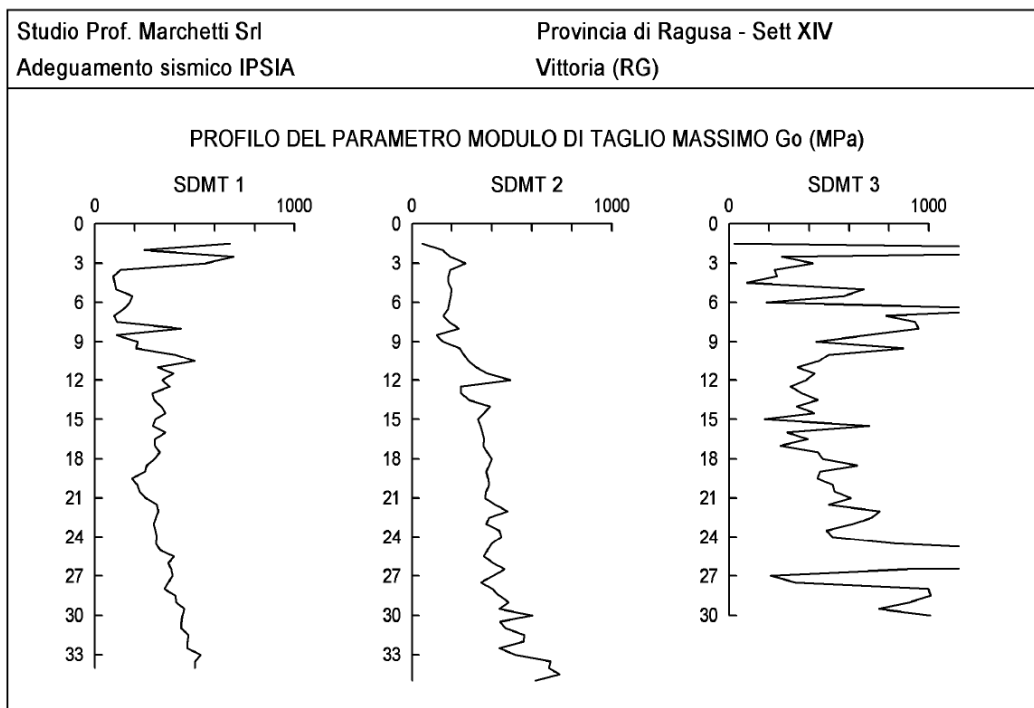


Figura 13 - Prove Dilatometriche : Profilo del Parametro Modulo di Taglio.

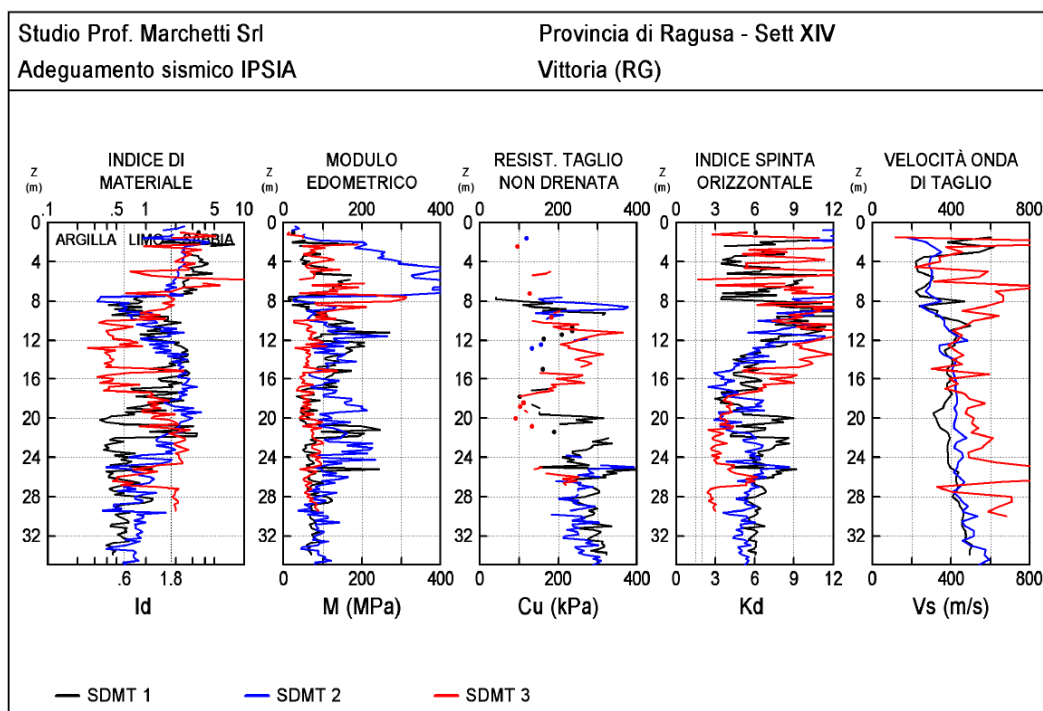


Figura 14 - Sintesi dei Risultati delle Prove Dilatometriche.

In DMTS3 valori più elevati della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s sono localmente riscontrabili anche a profondità comprese tra 6,5 e 9,5 m. *In linea generale i valori misurati con le prove dilatometriche appaiono comunque comparabili con quelli dedotti mediante le misure sismiche in foro.*

7. Valutazione del Pericolo di Liquefazione

7.1 Considerazioni Generali

Il pericolo di liquefazione può essere valutato a partire da prove penetrometriche dinamiche standardizzate (SPT), da prove penetrometriche statiche (CPT) e da prove dilatometriche (SDMT); quest'ultime possono essere impiegate per la determinazione della velocità delle onde di taglio V_s e dell'indice di spinta orizzontale K_d .

Da un punto di vista generale è conveniente valutare il potenziale di liquefazione per mezzo di più correlazioni empiriche, per evidenziare le eventuali differenze risultanti dall'utilizzo di differenti prove sperimentali.

Nella **Figura 15** sono riportati i profili dell'indice di spinta orizzontale K_d determinati con le prove SDMT. Complessivamente per le tre prove effettuate i valori risultano compresi tra 3 e 12. Dalle prove SDMT si evincono altresì valori di V_s crescenti con la profondità e compresi tra circa 200 e 500 m/sec. Dai profili non si evince infine la presenza di una crosta rigida significativa, dovuta al fatto che negli strati più superficiali è presente un terreno di riporto.

L'analisi del potenziale di liquefazione sarà eseguita con l'ausilio della procedura descritta al paragrafo successivo, per i tre profili di K_d ricavati con le prove dilatometriche SDMT1, SDMT2 e SDMT3.

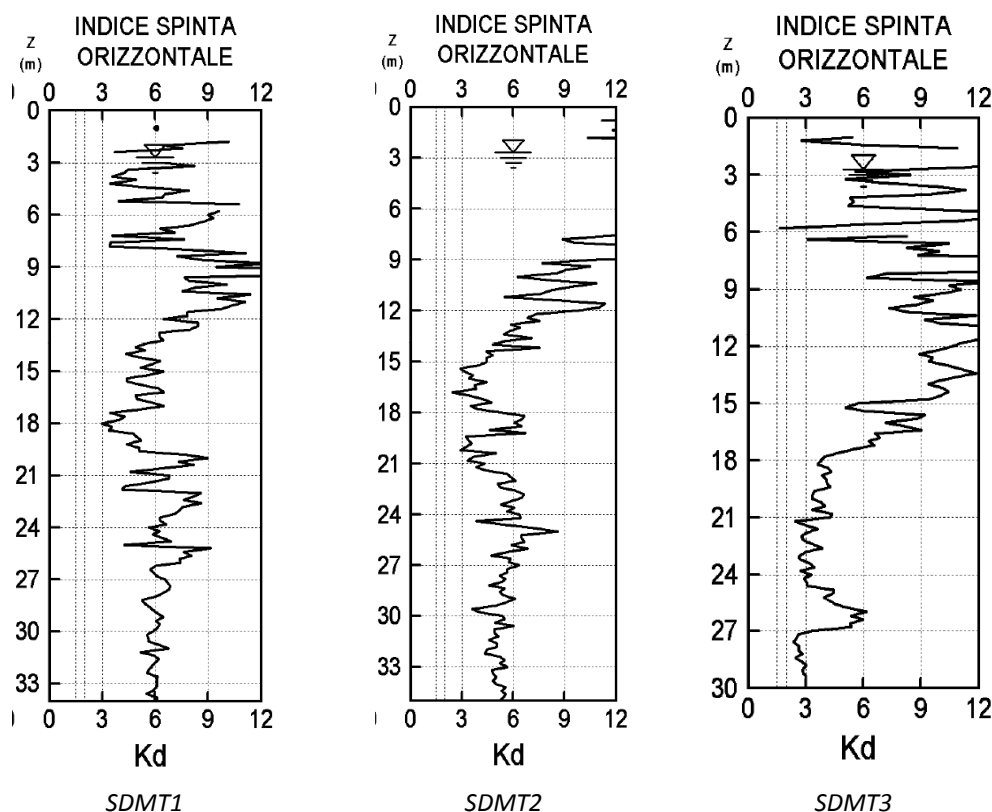


Figura 15 - Valori dell'Indice di Spinta Orizzontale K_d dedotti dalle Prove Dilatometriche.

7.2 Metodo di Calcolo

Per la valutazione della resistenza alla liquefazione dei terreni occorre effettuare il calcolo di due variabili, rappresentate dalla sollecitazione sismica localizzata sullo strato, espressa in termini di *Cyclic Stress Ratio* (CSR) e la capacità del terreno di resistere alla liquefazione, espressa in termini di *Cyclic Resistance Ratio* (CRR).

Per il calcolo del *CSR Seed & Idriss (1971)* hanno proposto la seguente equazione:

$$CSR = (\tau_{av}/\sigma'_{vo}) = 0,65(a_{max}/g)(\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}) r_d$$

dove a_{max} rappresenta l'accelerazione orizzontale di picco sulla superficie del terreno generata dal terremoto, g è l'accelerazione di gravità, σ_{vo} e σ'_{vo} sono le tensioni totali ed efficaci ed r_d è un coefficiente di riduzione che tiene conto della diversa deformabilità degli strati di terreno con la profondità.

Per la determinazione di r_d *Seed Idriss (1971)* suggeriscono di utilizzare:

$$\begin{aligned} r_d &= 1 - 0,00765z && \text{per } z \leq 9,15 \text{ m} \\ r_d &= 1,174 - 0,0267z && \text{per } 9,15 \text{ m} < z \leq 23 \text{ m} \end{aligned}$$

La valutazione di CSR è funzione della magnitudo del terremoto. In letteratura sono disponibili grafici che si riferiscono ad una magnitudo 7,5 che permettono di valutare $CSR_{7,5}$ che va successivamente confrontato con $CRR_{7,5}$.

In questo caso poiché la magnitudo di riferimento è pari a $M = 6,65$ come riportato al *Paragrafo 5*, è stato utilizzato un fattore di scala per la valutazione del fattore di sicurezza nei riguardi del potenziale di liquefazione:

$$F_s = (CRR_{7,5}/CSR)MSF$$

essendo *MSF* il valore del fattore correttivo per la magnitudo relativa al sito.

Per condurre il calcolo del potenziale di liquefazione sulla base dei valori dell'indice di spinta orizzontale K_d dedotti dalle prove dilatometriche si fa ricorso alle seguenti formulazioni suggerite da *Monaco et al. (2005)* e *Grasso & Maugeri (2006)*:

$$CRR_{7,5} = 0,0107 K_d^3 - 0,0741 K_d^2 + 0,2169 K_d - 0,1306 \quad (1)$$

$$CRR_{7,5} = 0,0242 e^{0,653K_d} \quad (2)$$

$$CRR_{7,5} = 0,0084 K_d^{2.7032} \quad (3)$$

7.3 Risultati

Un indice sintetico, rappresentativo del rischio di liquefazione, applicabile a tutti i metodi che prevedono il calcolo del profilo del fattore di sicurezza, è l'indice del potenziale di liquefazione P_L introdotto da *Iwasaki et al. (1978)*:

$$P_L = \int_0^{20} F(z)w(z)dz$$

dove $F(z)$ è una funzione che per $F_S > 1$ assume il valore 0 e per $F_S < 1$ ne è il complemento ad 1 e $W(z) = 10 - 0.5z$ è una funzione linearmente decrescente della profondità z in metri, definita fino al valore critico di 20 m oltre il quale sono da escludersi fenomeni di liquefazione.

Si riportano di seguito i grafici relativi ai profili con la profondità del potenziale di liquefazione P_L per i tre profili determinati con le prove SDMT (Figure 16-18) e per le tre metodologie descritte al paragrafo precedente basate sulle misure di K_d .

Risultati per i profili di K_d della prova SDMT1

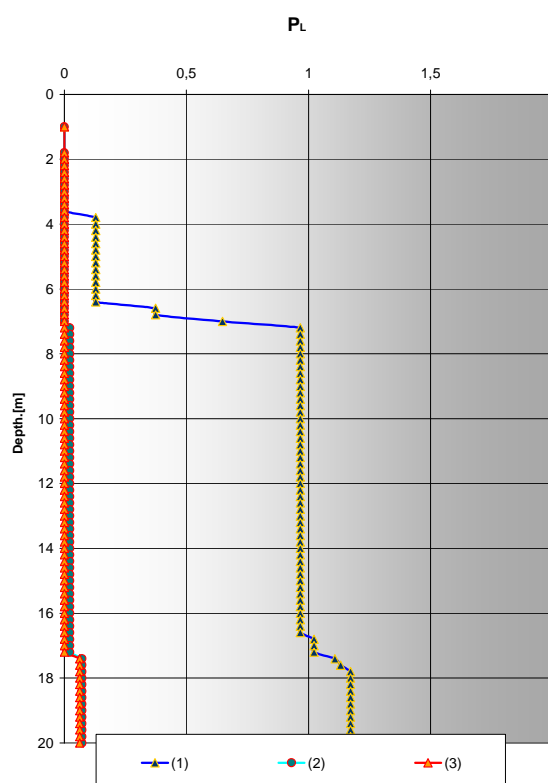


Figura 16 - Valutazione del potenziale di liquefazione per SDMT1.

Dai risultati ottenuti si evince che:

- sulla base dei valori di K_d dedotti dalla prova SDMT1 il valore massimo del potenziale di liquefazione risulta inferiore a 1 (Figura 16).
- sulla base dei valori di K_d dedotti dalla prova SDMT2 il valore massimo del potenziale di liquefazione risulta inferiore a 1 (Figura 17).
- sulla base dei valori di K_d dedotti dalla prova SDMT3 il valore massimo del potenziale di liquefazione risulta inferiore a 2 (Figura 18).

Complessivamente quindi, in base ai valori di K_d ricavati dalle prove dilatometriche, i valori massimi del potenziale di liquefazione variano tra 0 e 2, che classificano il sito esaminato a **rischio di liquefazione basso**.

Risultati per i profili di K_d della prova SDMT2

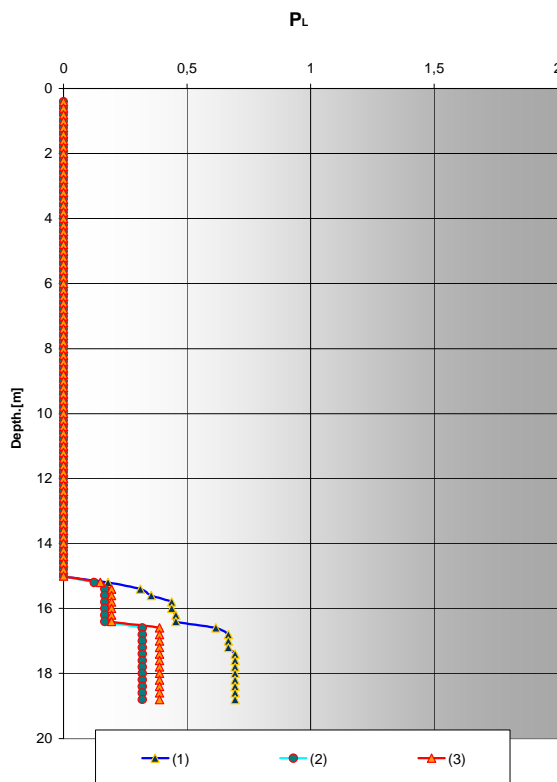


Figura 17 - Valutazione del potenziale di liquefazione per SDMT2.

Risultati per i profili di K_d della prova SDMT3

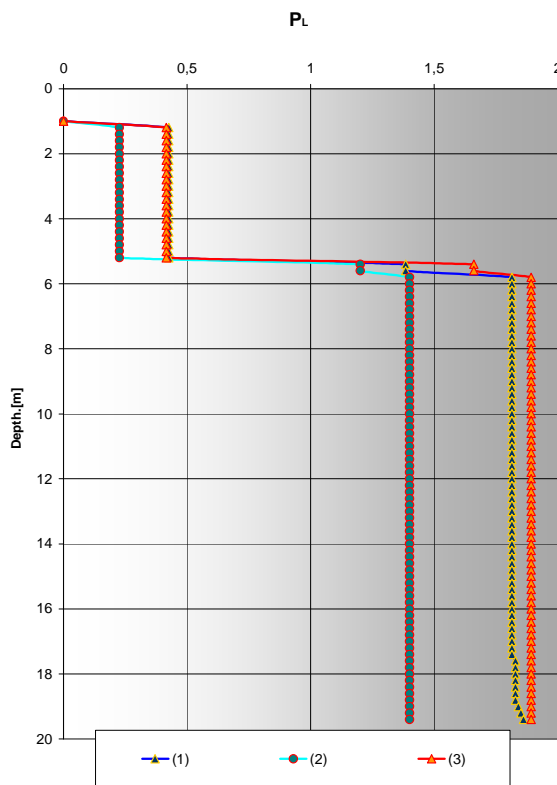


Figura 18 - Valutazione del potenziale di liquefazione per SDMT3.

8. Considerazioni conclusive

La presente relazione riguarda il “Progetto di adeguamento sismico dell’Istituto Professionale Statale per l’Industria e l’Artigianato di Vittoria” promosso dalla Amministrazione Provinciale di Ragusa.

In essa sono richiamati i risultati delle indagini integrative eseguite con Dilatometro Marchetti Sismico, nonché la loro interpretazione per valutare il potenziale di liquefazione.

Secondo il noto metodo di *Iwasaki (1978)* l’indice del potenziale di liquefazione è compreso nel *range* 0-100, ed esprime quantitativamente la severità del rischio di liquefazione.

I campi individuati indicano: un rischio molto basso ($P_L = 0$), un rischio basso ($0 < P_L \leq 5$), un rischio alto ($5 < P_L \leq 15$) ed un rischio molto alto ($P_L > 15$).

Poiché per il terreno di fondazione dell’Istituto Professionale Statale per l’Industria e l’Artigianato di Vittoria il valore del potenziale di liquefazione dedotto con l’ausilio delle prove dilatometriche risulta inferiore a 5, il rischio di liquefazione è basso.

In conseguenza di ciò non è necessario adottare soluzioni per ridurre drasticamente il pericolo di liquefazione, come per esempio il ricorso a metodi di consolidamento dei terreni, fondazioni indirette o sottofondazioni, bensì è possibile mantenere la tipologia strutturale esistente.

Giarre, Marzo 2016.



Il Tecnico

prof. ing. Francesco Castelli

PROVINCIA REGIONALE DI RAGUSA
19° Settore - Edilizia Scolastica

Progetto di Adeguamento Sismico
dell'Istituto Professionale Statale per
l'Industria e l'Artigianato di Vittoria

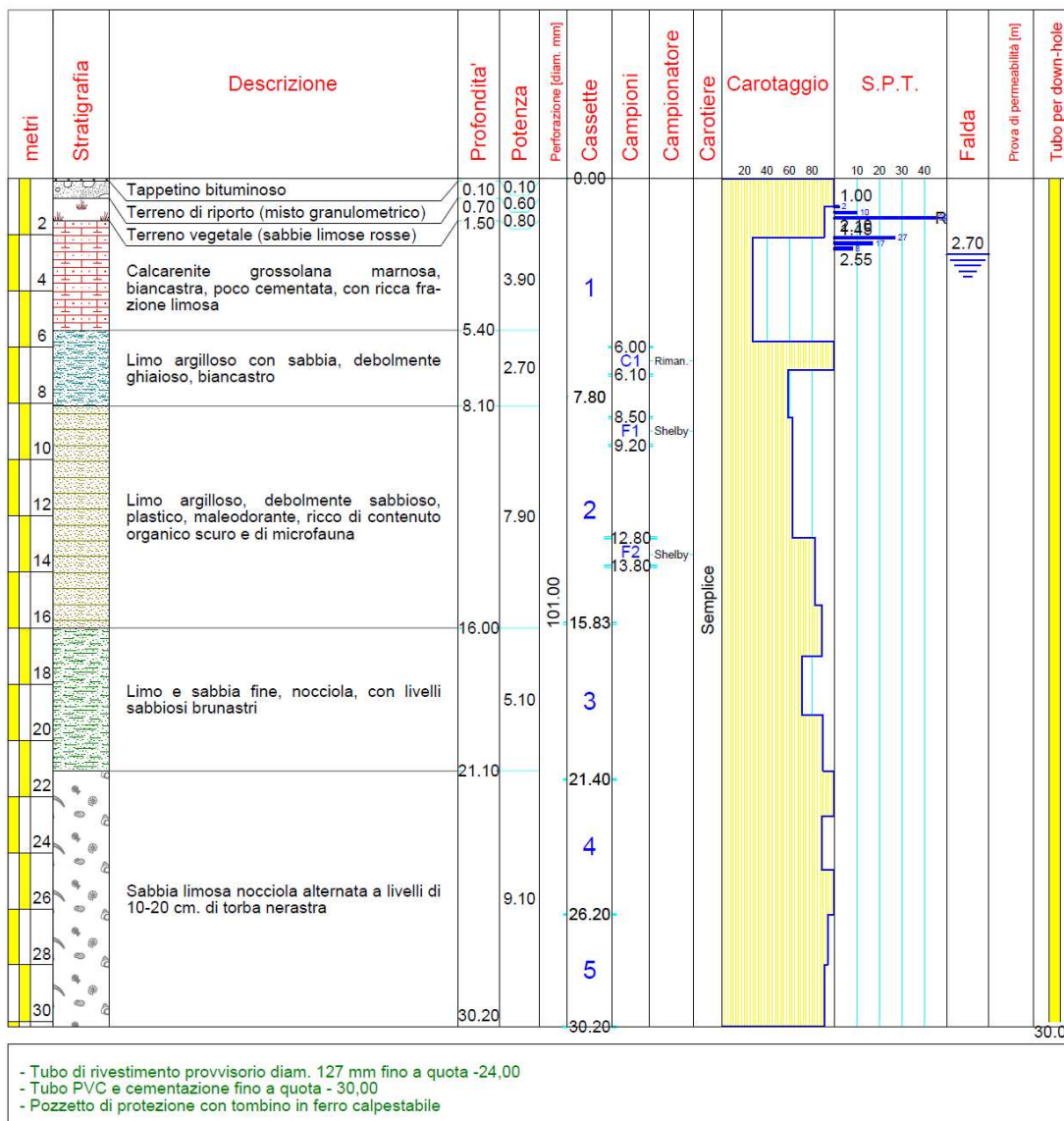
Progetto Esecutivo

Relazione sulla Valutazione del Rischio
di Liquefazione


Allegati

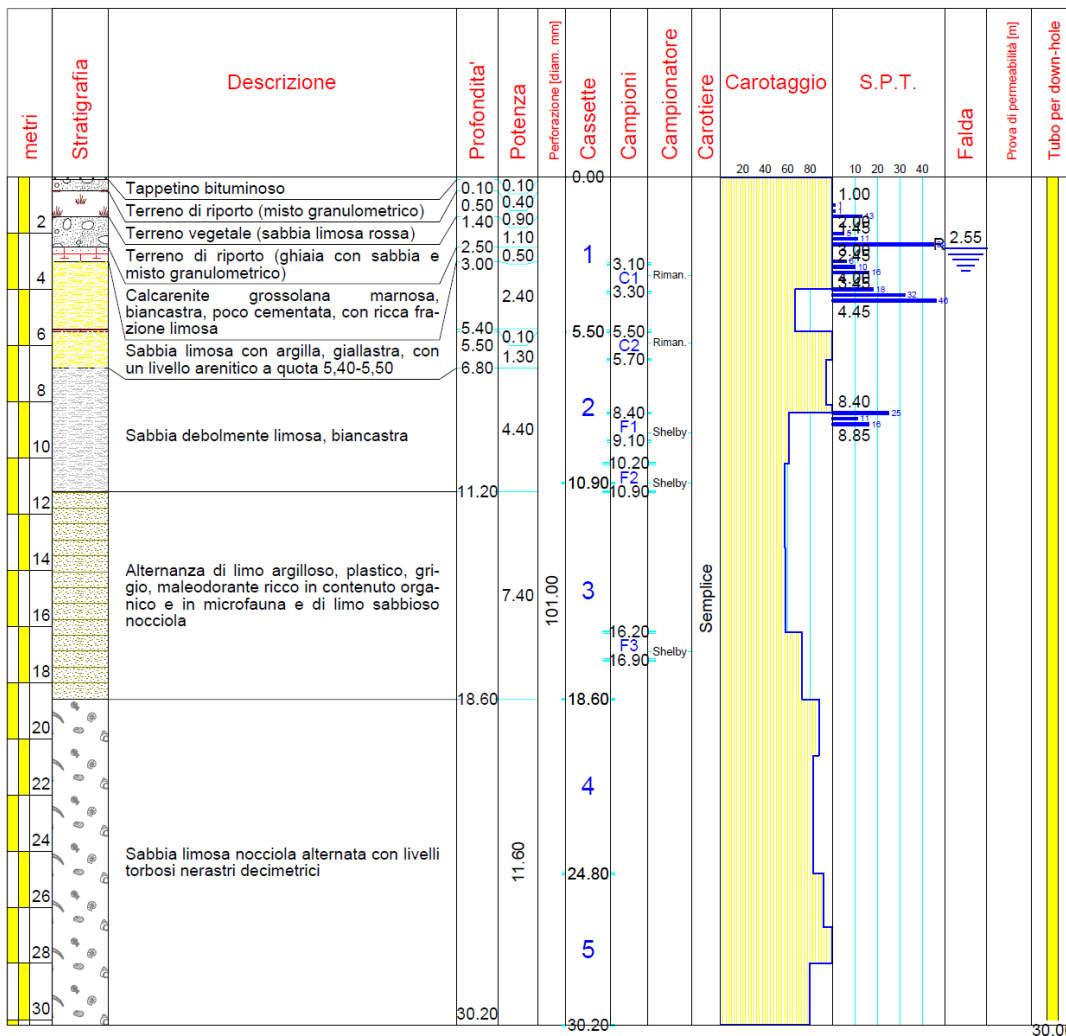
Marzo 2016

 <p>PROVINCIA REGIONALE DI RAGUSA Assessorato Territorio, Ambiente e Protezione Civile Settore Geologia e Geognostica</p>	Committente	Settore edilizia		SONDAGGIO	FOGLIO
	Cantiere	I.P.S.I.A. Vittoria			
	Modalità	Perforazione verticale, a rotazione, a carotaggio continuo		quota m slm	
	Macchina op	MORI S30	Data		



Stratigrafia Sondaggio S1/2004


 <p>PROVINCIA REGIONALE DI RAGUSA Assessorato Territorio, Ambiente e Protezione Civile Settore Geologia e Geognostica</p>	Committente	Settore edilizia	SONDAGGIO	FOGLIO
	Cantiere	I.P.S.I.A. Vittoria	S2	1
	Modalità	Perforazione verticale, a rotazione, a carotaggio continuo	quota m slm	
	Macchina op	MORI S30	Data	12/09/2004

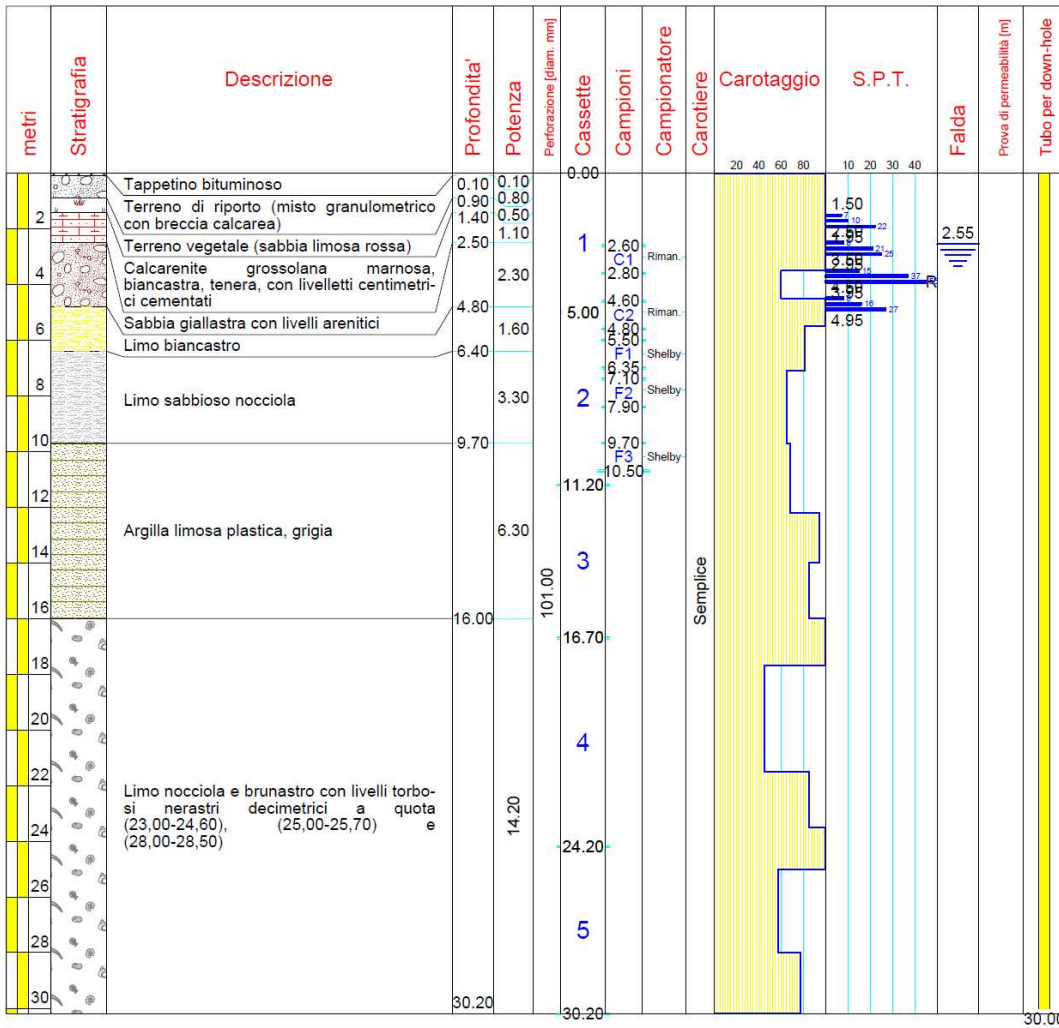


- Tubo di rivestimento provvisorio diam. 127 mm fino a quota -9,00
- Tubo PVC e cementazione fino a quota - 30,00
- Pozzetto di protezione con tombino in ferro calpestabile

Il livello di falda è stato intercettato a quota - 2,70 mt, poi risalito a quota - 2,55 mt.

Stratigrafia Sondaggio S2/2004


 <p>PROVINCIA REGIONALE DI RAGUSA Assicurata Territorio, Ambiente e Protezione Civile</p> <p>Settore Geologia e Geognostica</p>	Committente	Settore edilizia	SONDAGGIO	FOGLIO
	Cantiere	I.P.S.I.A. Vittoria	S3	1
	Modalità	Perforazione verticale, a rotazione, a carotaggio continuo		quota m slm
	Macchina op	MORI S30	Data	23/09/2004



- Tubo di rivestimento provvisorio diam. 127 mm fino a quota -6,00
 - Tubo PVC e cementazione fino a quota - 30,00
 - Pozzetto di protezione con tombino in ferro calpestabile

Il livello di falda è stato intercettato a quota - 2,50 mt, poi disceso a quota - 2,55 mt

Stratigrafia Sondaggio S3/2004

 <p>PROVINCIA REGIONALE DI RAGUSA Assessorato Territorio, Ambiente e Protezione Civile Settore Geologia e Geognostica</p>	Committente	Settore edilizia	SONDAGGIO	FOGLIO
	Cantiere	I.P.S.I.A. Vittoria	S4	1
	Modalità	Perforazione verticale, a rotazione, a carotaggio continuo		quota m slm
	Macchina op	MORI S30	Data	28/09/2003

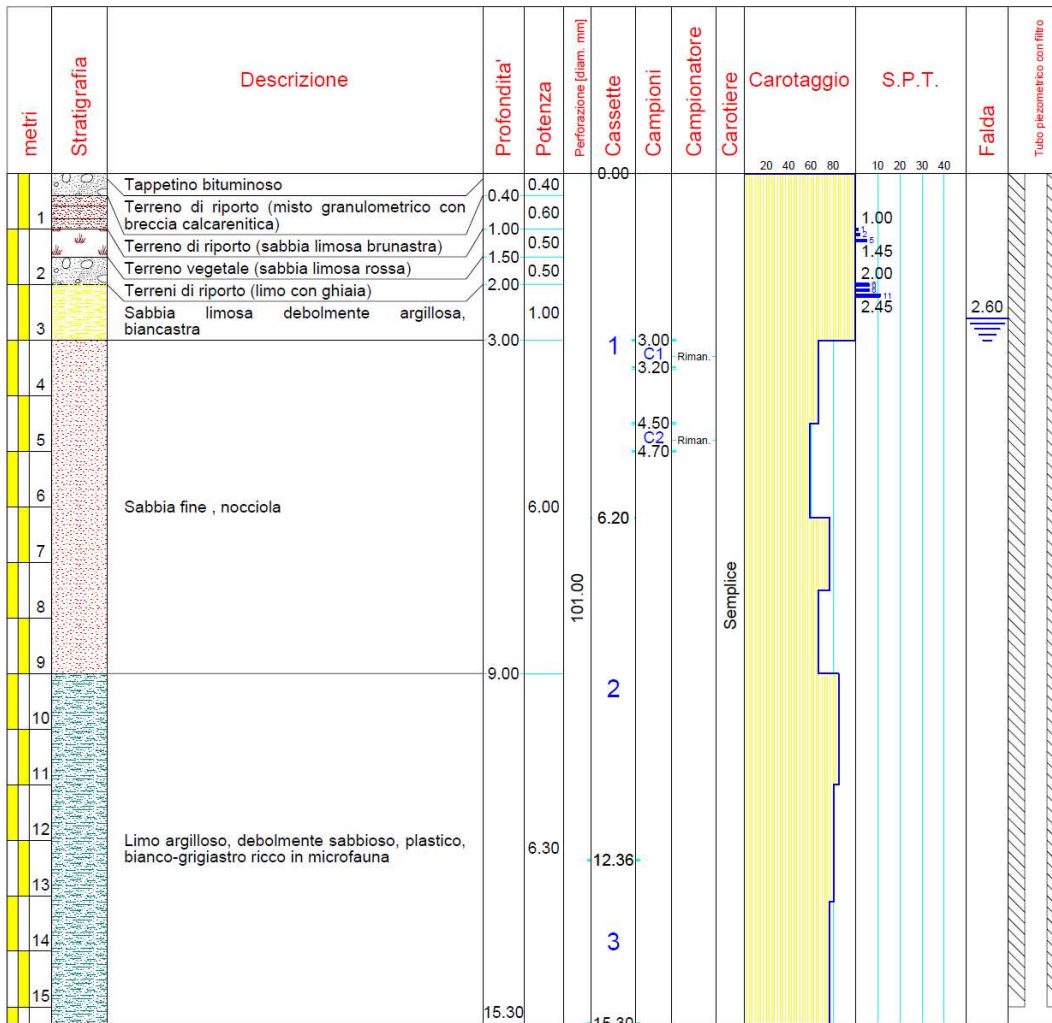
metri	Stratigrafia	Descrizione	Profondita'	Potenza	Perforazione [diam. mm]	Cassette	Campioni	Campionatore	Carotiere	Carotaggio	S.P.T.	Falda	Prova di permeabilità [m]	Tubo per down-hole
1		Tappetino bituminoso	0.10	0.10										
		Terreno di riporto costituito da breccia calcarea	0.30	0.20										
2		Terreno di riporto costituito da limo nerastro con ghiaia	1.00	0.70										
		Terreno vegetale (sabbia limosa rosastra)	1.60	0.60										
3		Limo sabbioso nocciola con ghiaia	2.60	1.00										
		Calcarene marnosa biancastra detritico-organogena decementata	3.20	0.60										
4						1	3.00							
							3.20							
5							4.50							
							4.70							
6		Sabbia bianco-giallastra fine con poco limo		4.70										
7														
8														
9				7.90										
10							2							
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20		Argilla limosa grigia e limo bianco-giastro												
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31				31.00										

- Tubo di rivestimento provvisorio diam. 127 mm fino a quota -6,00
 - Tubo PVC e cementazione fino a quota - 27.60

Il livello di falda è stato intercettato a quota - 2.65 mt. poi disceso a quota - 2.70 mt.

Stratigrafia Sondaggio S4/2004

 <p>PROVINCIA REGIONALE DI RAGUSA Assessorato Territorio, Ambiente e Protezione Civile</p> <p>Settore Geologia e Geognostica</p>	Committente	Settore edilizia	SONDAGGIO	FOGLIO
	Cantiere	I.P.S.I.A. Vittoria	S5	1
	Modalità	Perforazione verticale, a rotazione, a carotaggio continuo	quota m slm	
	Macchina op	MORI S30	Data	07/10/2004



- Tubo di rivestimento provvisorio diam. 127 mm fino a quota -10,50
 - Tubo piezometrico microfessurato fino a quota - 15,00
 - Pozzetto di protezione con tombino in ferro calpestabile

Il livello di falda è stato intercettato a quota - 2,35 mt., poi ridiscende a quota - 2,60 mt.

Stratigrafia Sondaggio S5/2004

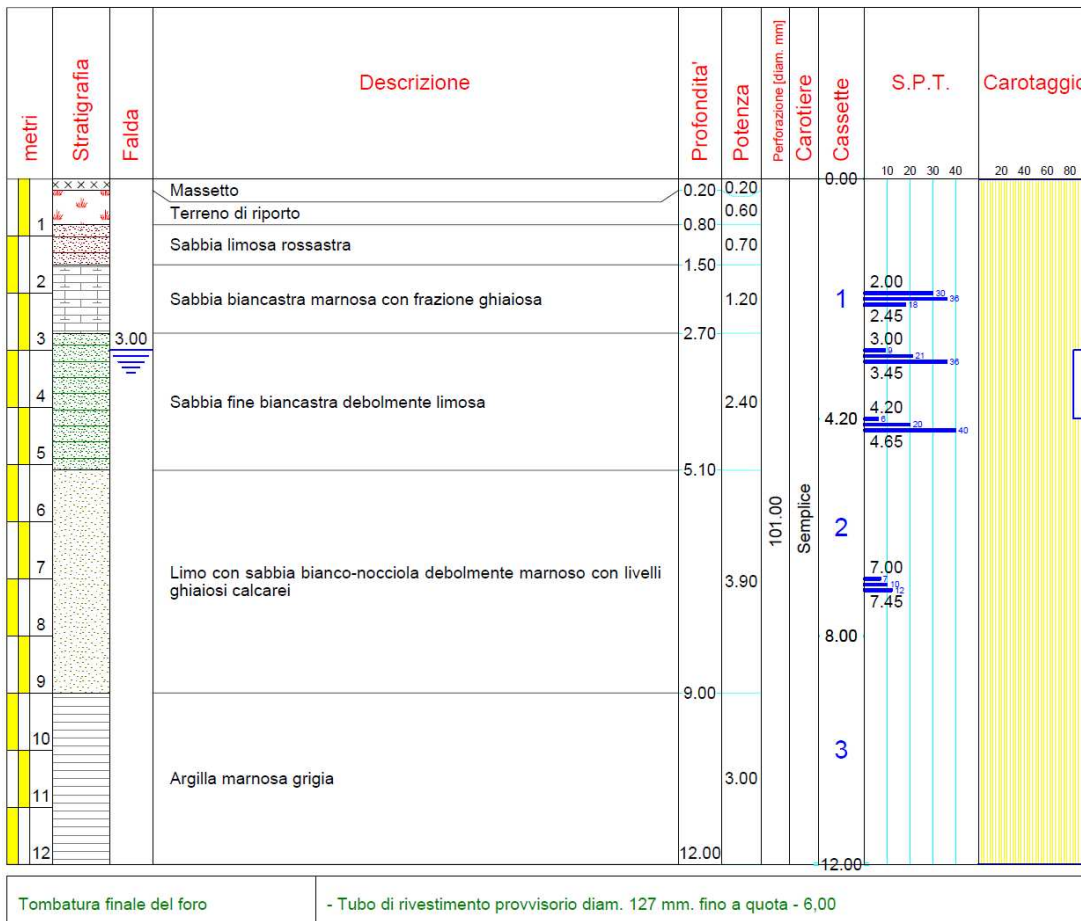
 <p>PROVINCIA REGIONALE DI RAGUSA Assessorato Territorio, Ambiente e Protezione Civile Settore Geologia e Geognostica</p>	Committente	02/07 - 19° SETTORE EDILIZIA	SONDAGGIO	FOGLIO
	Cantiere	Adeguamento sismico I.P.S.I.A. di Vittoria	S1	1
	Modalità	Sondaggio verticale, a rotazione, a carotaggio continuo	quota m sim	
	Macchina op	MORI M21	Data	26/06/2007 - 27/06/2007

metri	Stratigrafia	Falda	Descrizione	Profondita'	Potenza	Perforazione [diam. mm]	Carotiere	Cassette	Campioni	Campionatore	Carotaggio
1			Massetto	0.20	0.20			0.00			
			Terreno di riporto	0.80	0.60						
2			Sabbia limoso-argillosa bruno-giallastra con inclusi ghiaiosi calcarei	1.15							
			Sabbia biancastra marnosa	1.95	0.45				1.65		
3			Sabbia fine biancastra debolmente limosa	2.40					2.40		
		3.50		1.10				1			
4				3.50							
5											
6						101.00	Semplice				
7											
8			Sabbia fine giallastra con livelli sabbioso-limoso grigi	7.60							
9											
10											
11											
			Argilla marnosa grigia	11.10	0.40						
				11.50							


Tombatura finale del foro - Tubo di rivestimento provvisorio diam. 127 mm. fino a quota - 9,00

Stratigrafia Sondaggio S1/2007

 <p>PROVINCIA REGIONALE DI RAGUSA Assessorato Territorio, Ambiente e Protezione Civile Settore Geologia e Geognostica</p>	Committente	02/07 - 19° SETTORE EDILIZIA	SONDAGGIO	FOGLIO
	Cantiere	Adeguamento sismico I.P.S.I.A. di Vittoria	S2	1
	Modalità	Sondaggio verticale, a rotazione, a carotaggio continuo	quota m slm	
	Macchina op	MORI S30	Data	28/06/2007 - 28/06/2007



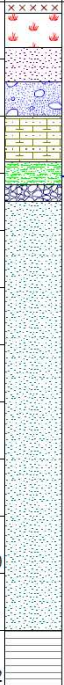
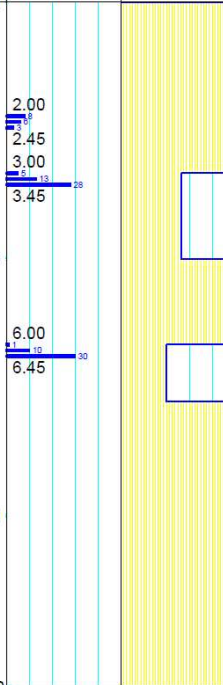
Stratigrafia Sondaggio S2/2007

 <p>PROVINCIA REGIONALE DI RAGUSA Assessorato Territorio, Ambiente e Protezione Civile Settore Geologia e Geognostica</p>	Committente	02/07 - 19° SETTORE EDILIZIA		SONDAGGIO	FOGLIO
	Cantiere	Adeguamento sismico I.P.S.I.A. di Vittoria		S3	1
	Modalità	Sondaggio verticale, a rotazione, a carotaggio continuo		quota m slm	
	Macchina op	MORI S30	Data	29/06/2007 - 29/06/2007	

metri	Stratigrafia	Falda	Descrizione	Profondita'	Potenza	Perforazione [diam. mm]	Carotiere	Cassette	S.P.T.	Carotaggio
1	xxxxx		Massetto	0.20	0.20			0.00	10 20 30 40	20 40 60 80
			Terreno di riporto	0.60	0.40					
			Sabbia limosa rossastra	1.00	0.40					
2			Terreno di riporto	1.40						
3		2.56	Sabbia limosa giallo-brunastra con inclusi ghiaiosi calcarei	1.60			1	2.00 2.45 3.00 3.45		
4			Sabbia fine biancastra debolmente argilloso-limosa	3.00	0.60					
5			Ghiaia limoso-sabbiosa biancastra debolmente marnosa	2.00				4.00		
6			Marna calcarea biancastra con livelli calcarei brecciati	5.60	1.50	101.00	Semplice	5.60 6.05		
7			Sabbia con limo biancastra	7.10	0.70					
8			Marna calcarea biancastra con livelli calcarei brecciati	7.80	1.20					
9			Marna calcarea biancastra con livelli calcarei brecciati	9.00			2			
10			Sabbia limosa biancastra con livelli ghiaiosi calcarei	4.00						
11										
12										
13				13.00				13.00		
Tombatura finale del foro			- Tubo di rivestimento provvisorio diam. 127 mm. fino a quota - 6,00							

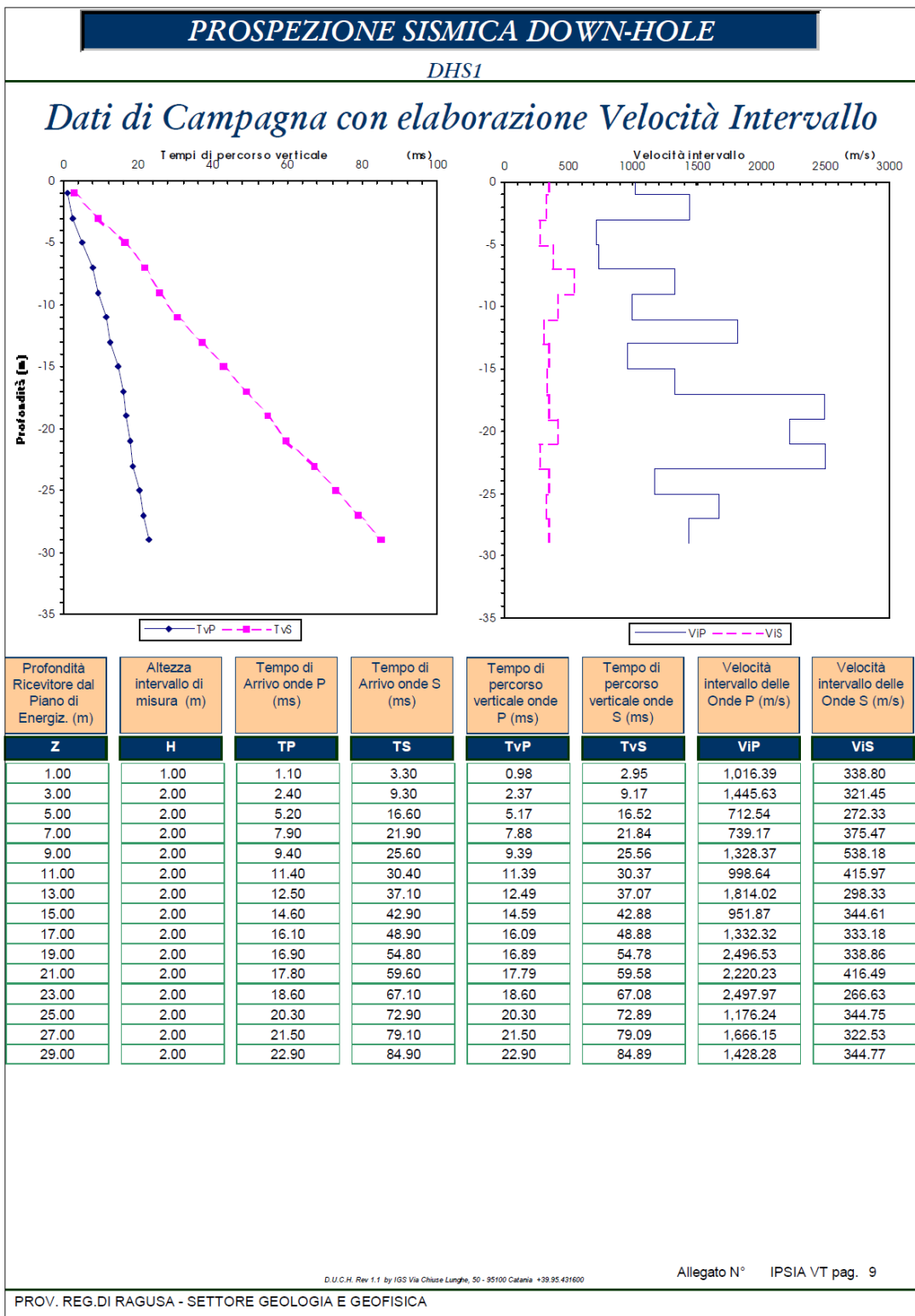
Stratigrafia Sondaggio S3/2007

 <p>PROVINCIA REGIONALE DI RAGUSA Assessorato Territorio, Ambiente e Protezione Civile Settore Geologia e Geognostica</p>	Committente	02/07 - 19° SETTORE EDILIZIA	SONDAGGIO	FOGLIO
	Cantiere	Adeguamento sismico I.P.S.I.A. di Vittoria	S4	1
	Modalità	Sondaggio verticale, a rotazione, a carotaggio continuo	quota m slm	
	Macchina op	MORI S30	Data	02/07/2007 - 02/07/2007

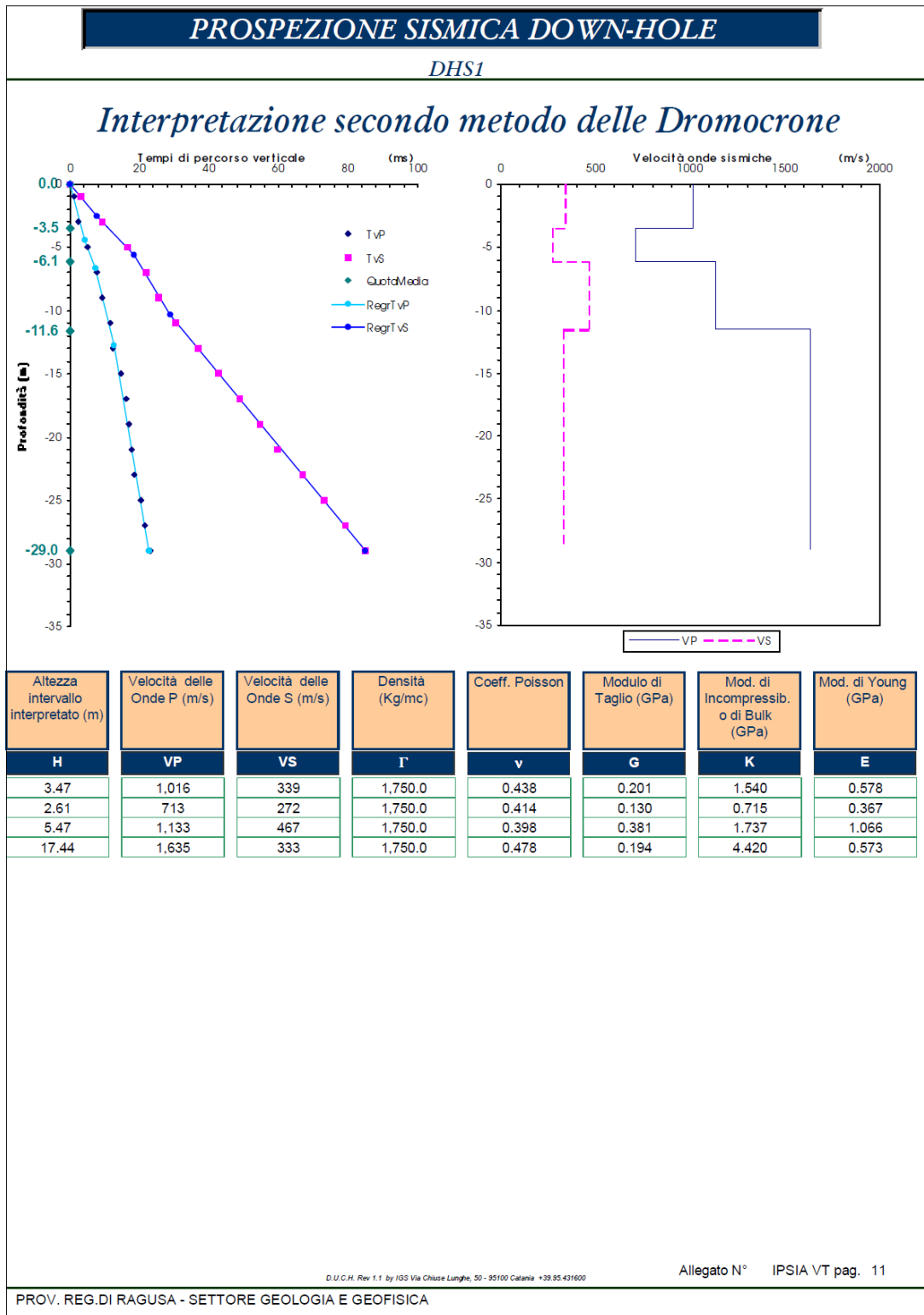
metri	Stratigrafia	Falda	Descrizione	Profondita'	Potenza	Perforazione [diam. mm]	Carotiere	Cassette	S.P.T.				Carotaggio												
									10	20	30	40	20	40	60	80									
1		3.05	Massetto	0.20	0.20	101.00	Semplice	0.00	10 20 30 40	20 40 60 80															
			Terreno di riporto	0.80	0.60																				
			Sabbia limosa rossastra	1.40	0.60																				
2			Sabbia limosa bruno-giallastra con inclusi ghiaiosi calcarei	2.00	0.60																				
			Limo con sabbia biancastro, marnoso, con inclusi ghiaiosi calcarei	2.80	0.80																				
3			Sabbia limosa giallastra	3.20	0.40																				
			Calcarene detritica brecciata	3.50	0.30																				
4			Sabbia fine giallastra												7.50										
5																									
6																									
7																									
8																									
9																									
10																									
11																									
12	Argilla marnosa grigia	11.00	1.00	12.00																					

Tombatura finale del foro - Tubo di rivestimento provvisorio diam. 127 mm. fino a quota - 6,00

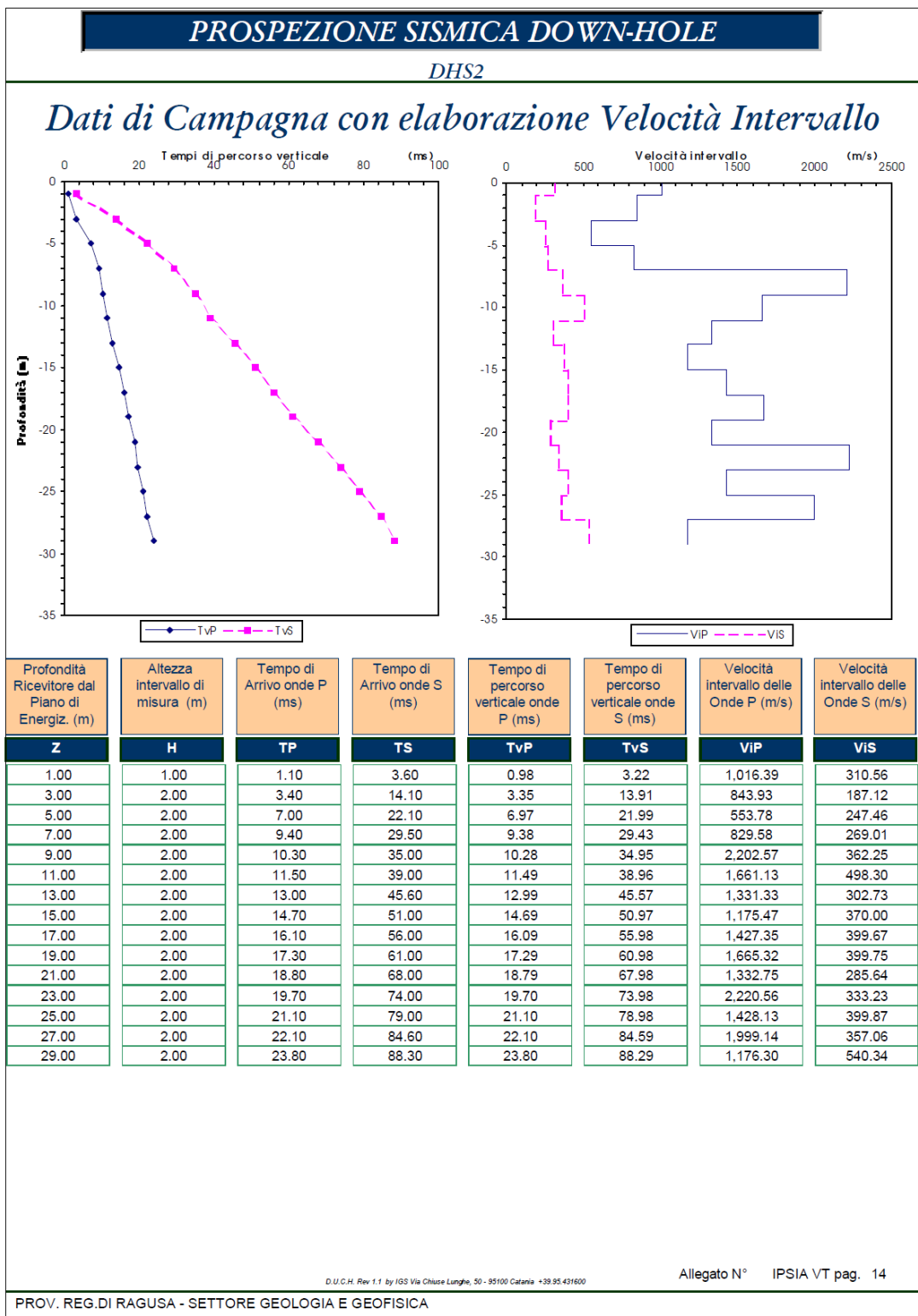
Stratigrafia Sondaggio S4/2007



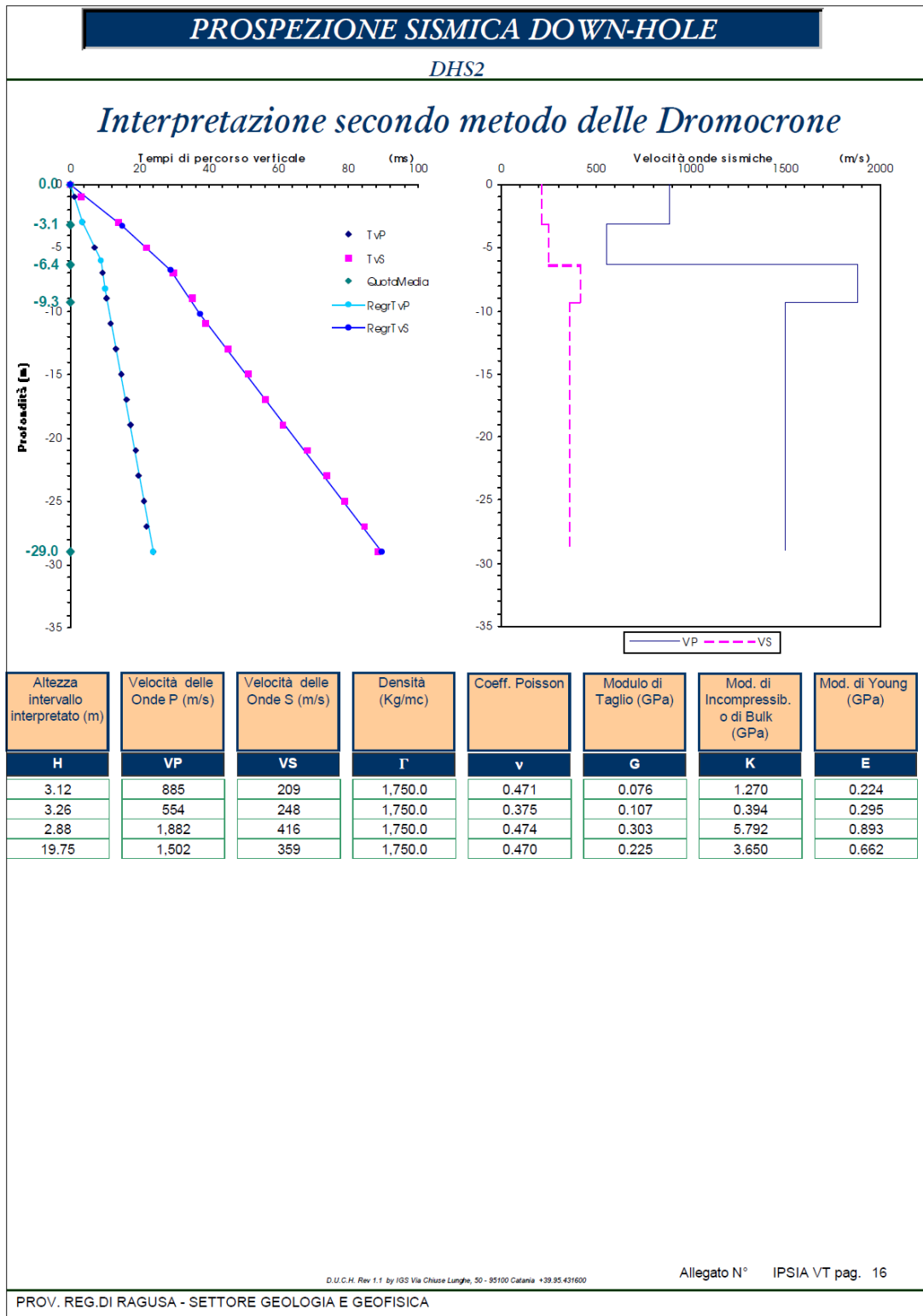
Prova Sismica Down-Hole DHS1/2004



Prova Sismica Down-Hole DHS1/2004



Prova Sismica Down-Hole DHS2/2004

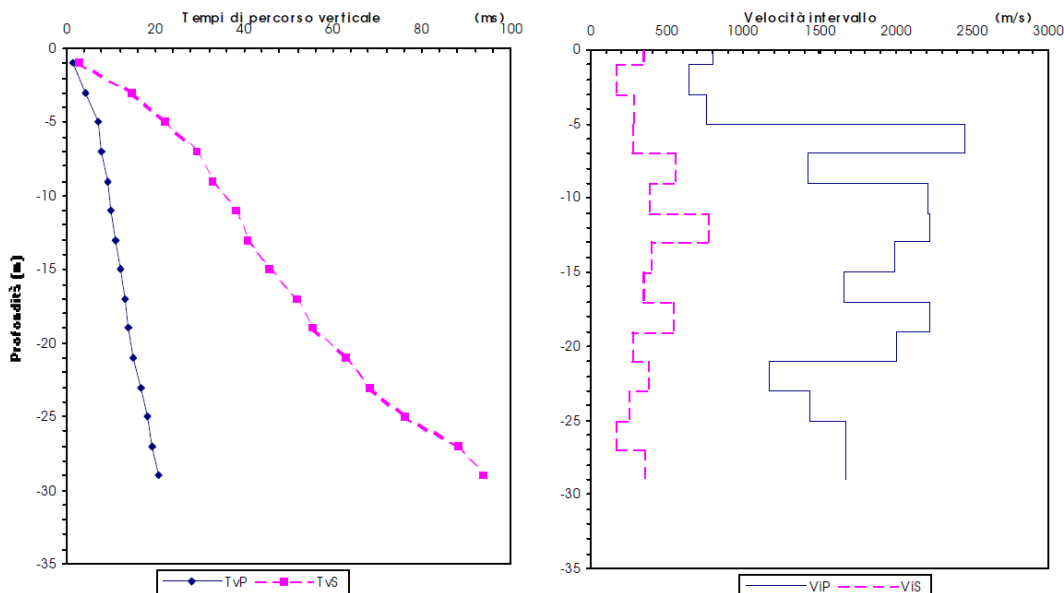


Prova Sismica Down-Hole DHS2/2004

PROSPEZIONE SISMICA DOWN-HOLE

DHS3

Dati di Campagna con elaborazione Velocità Intervallo



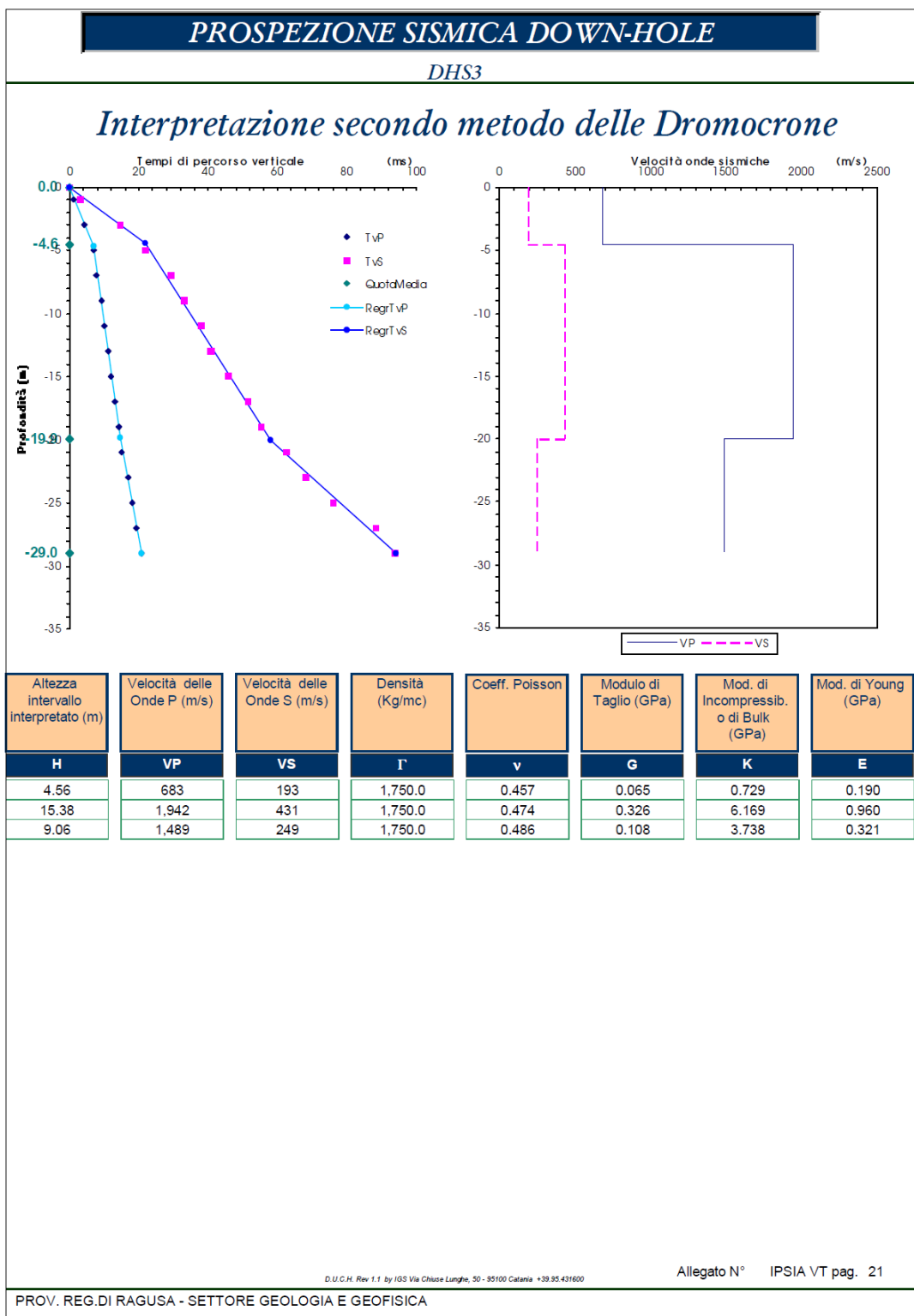
Profondità Ricevitore dal Piano di Energiz. (m)	Altezza intervallo di misura (m)	Tempo di Arrivo onde P (ms)	Tempo di Arrivo onde S (ms)	Tempo di percorso verticale onde P (ms)	Tempo di percorso verticale onde S (ms)	Velocità intervallo delle Onde P (m/s)	Velocità intervallo delle Onde S (m/s)
Z	H	TP	TS	TvP	TvS	ViP	ViS
1.00	1.00	1.40	3.30	1.25	2.95	798.60	338.80
3.00	2.00	4.40	15.00	4.34	14.80	647.68	168.86
5.00	2.00	7.00	22.10	6.97	21.99	761.87	277.99
7.00	2.00	7.80	29.40	7.78	29.33	2,454.24	272.67
9.00	2.00	9.20	33.00	9.19	32.95	1,422.82	551.89
11.00	2.00	10.10	38.20	10.09	38.16	2,213.01	383.77
13.00	2.00	11.00	40.80	10.99	40.77	2,216.58	766.50
15.00	2.00	12.00	45.80	11.99	45.77	1,997.07	399.62
17.00	2.00	13.20	51.70	13.19	51.68	1,665.34	338.81
19.00	2.00	14.10	55.40	14.10	55.38	2,220.18	540.08
21.00	2.00	15.10	62.80	15.10	62.78	1,998.80	270.22
23.00	2.00	16.80	68.10	16.80	68.08	1,176.26	377.24
25.00	2.00	18.20	76.20	18.20	76.18	1,428.24	246.89
27.00	2.00	19.40	88.40	19.40	88.38	1,666.23	163.93
29.00	2.00	20.60	94.00	20.60	93.99	1,666.30	357.07

D.U.C.H. Rev 1.1 by IGS Via Chiuse Lunghie, 50 - 95100 Catania +39.95.431600

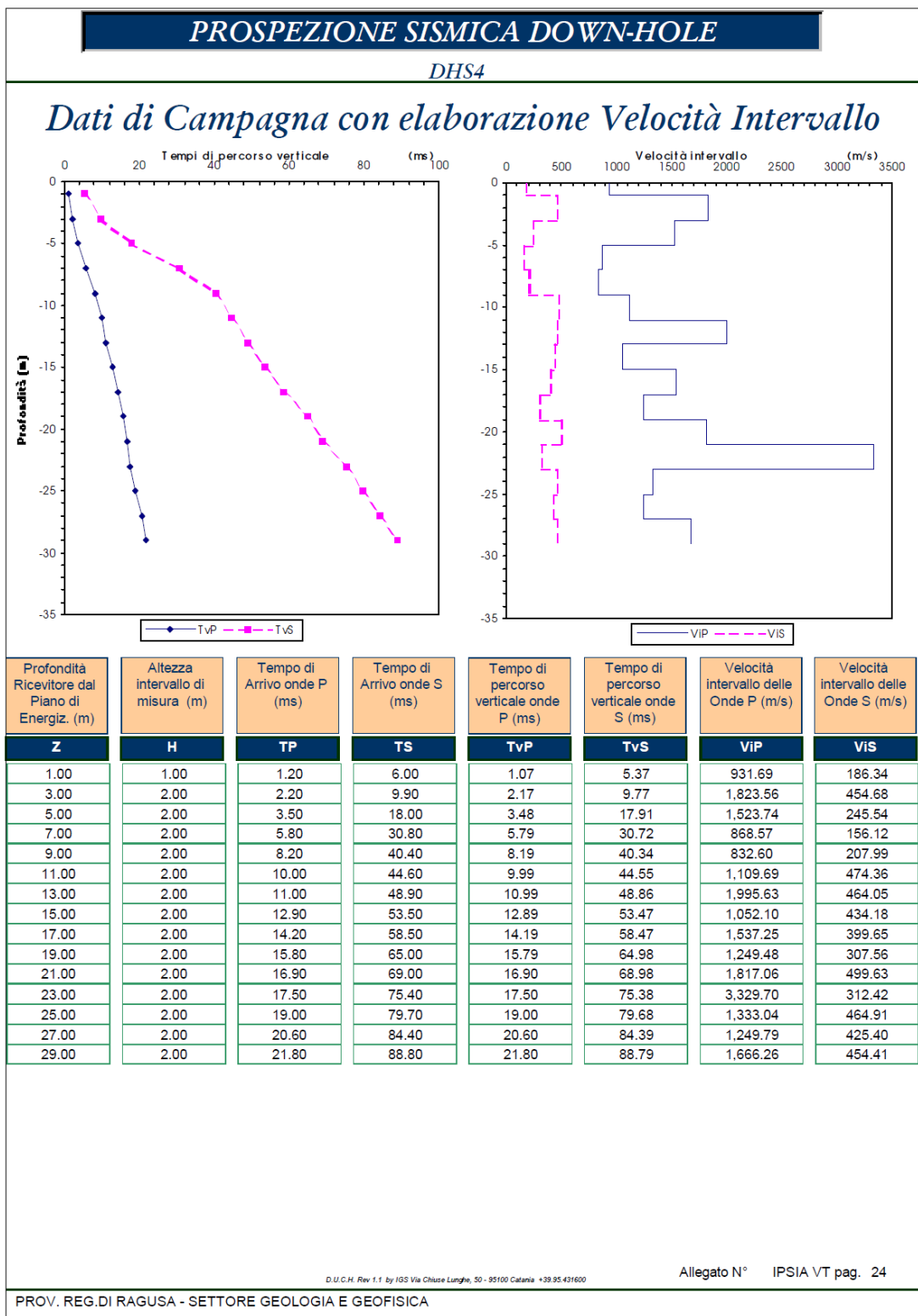
Allegato N° IPSIA VT pag. 19

PROV. REG. DI RAGUSA - SETTORE GEOLOGIA E GEOFISICA

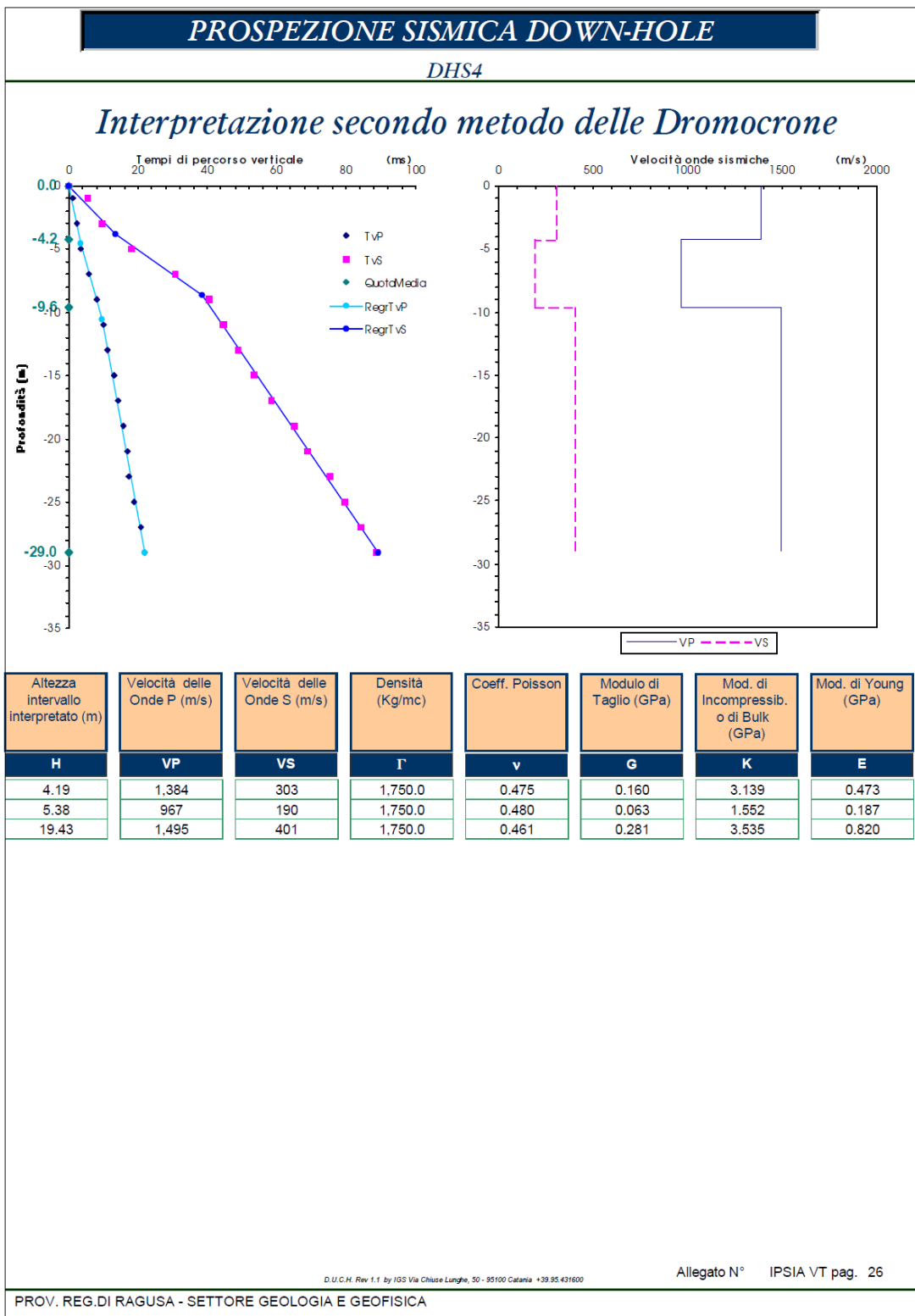
Prova Sismica Down-Hole DHS3/2004



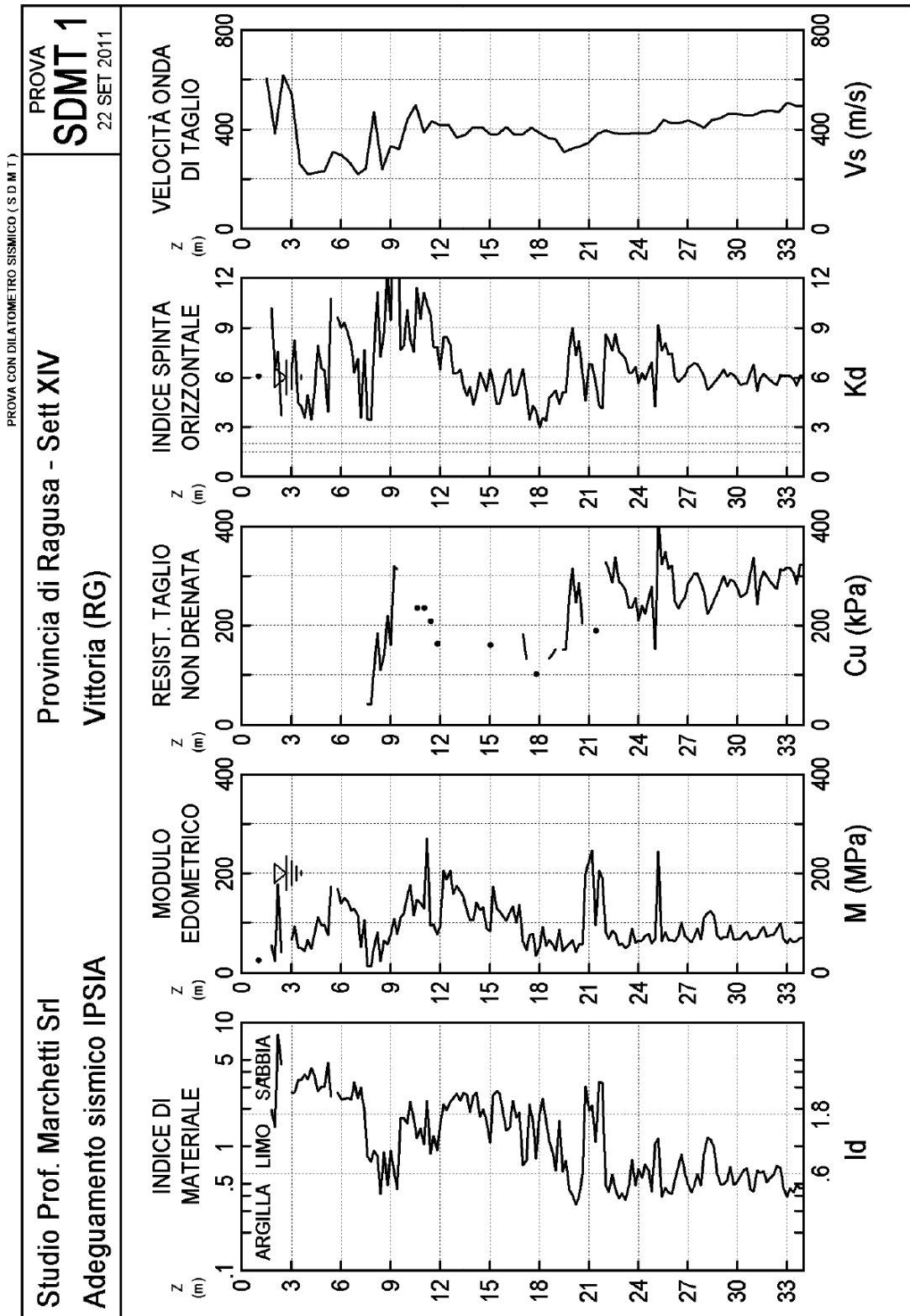
Prova Sismica Down-Hole DHS3/2004



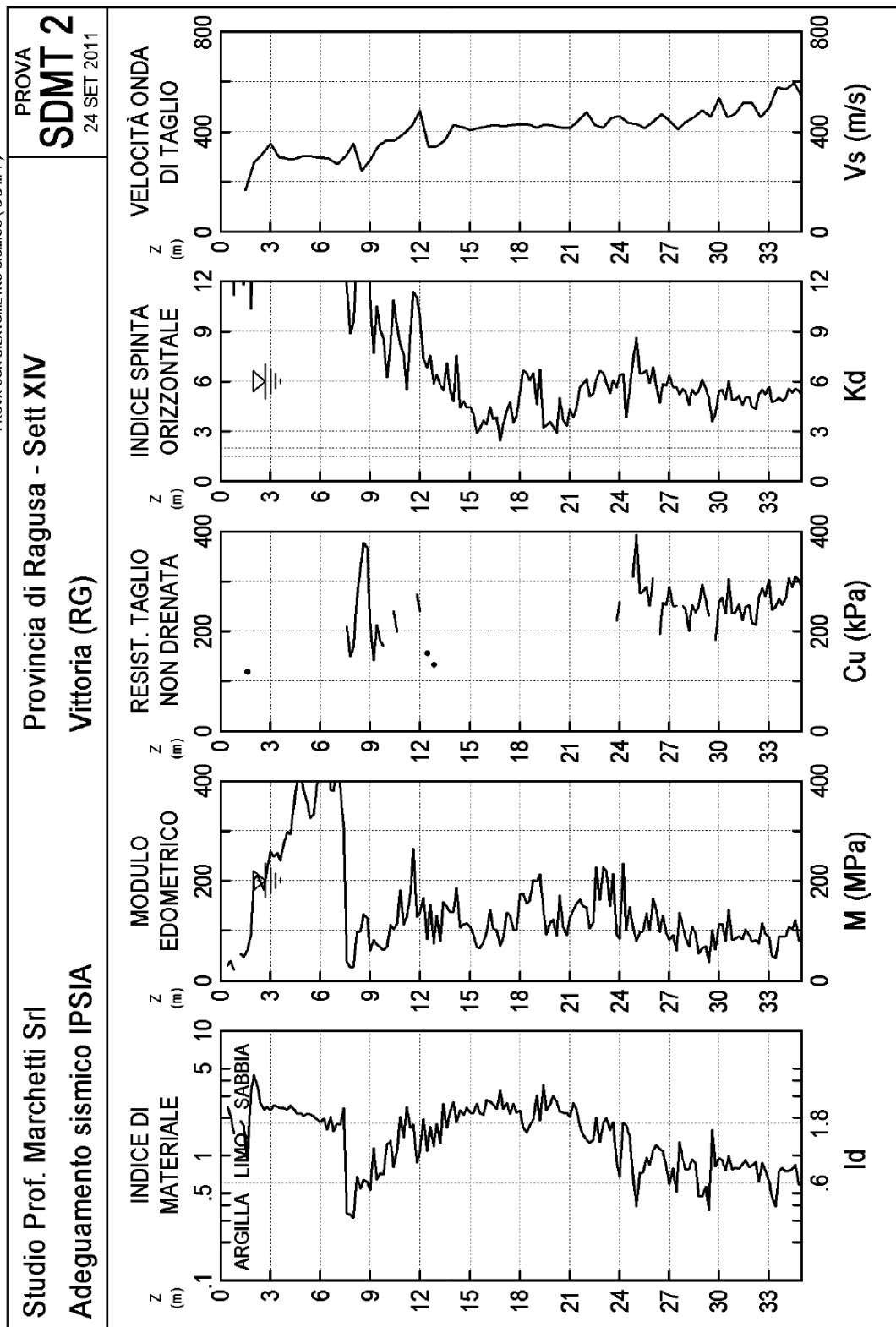
Prova Sismica Down-Hole DHS4/2004



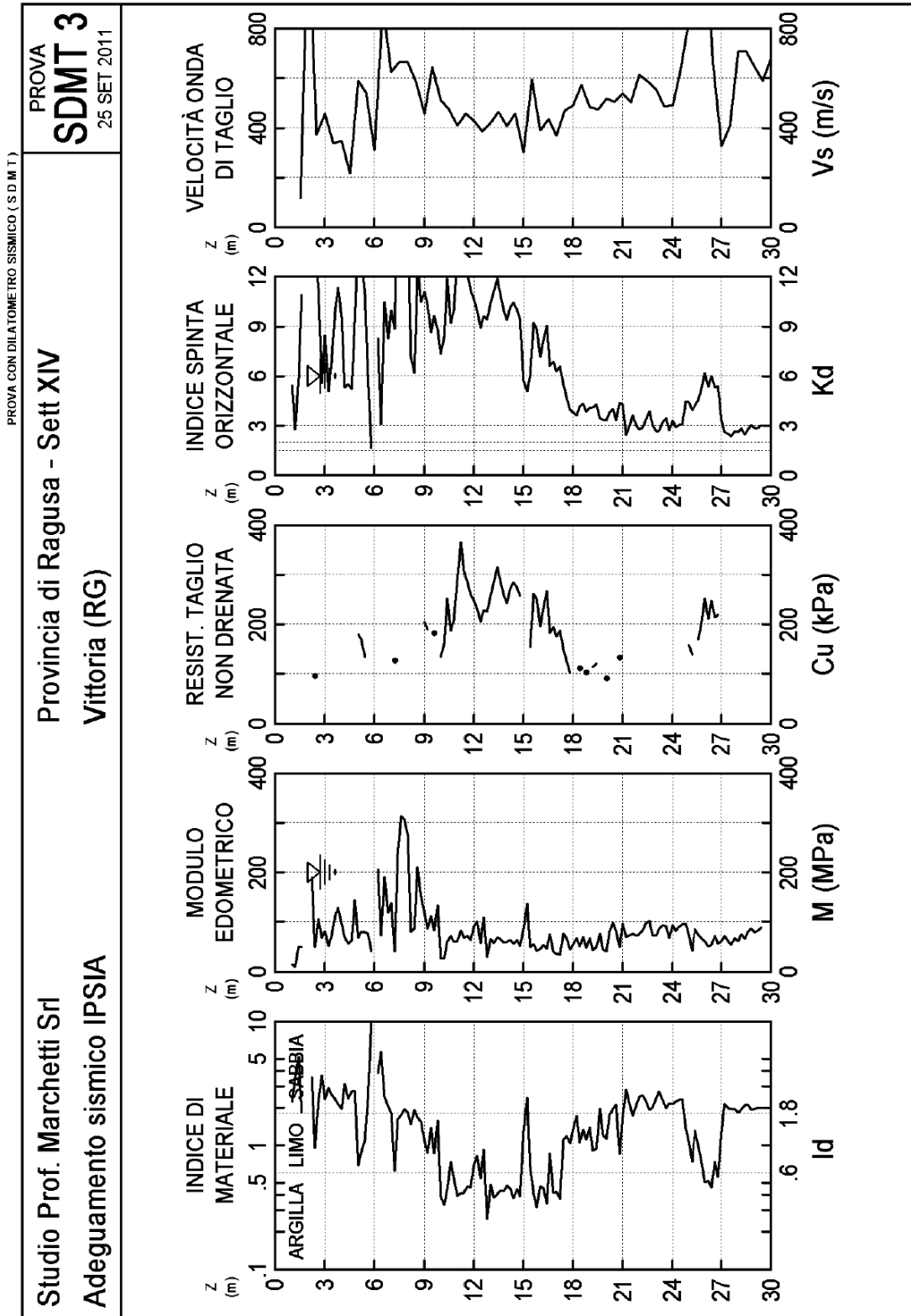
Prova Sismica Down-Hole DHS4/2004



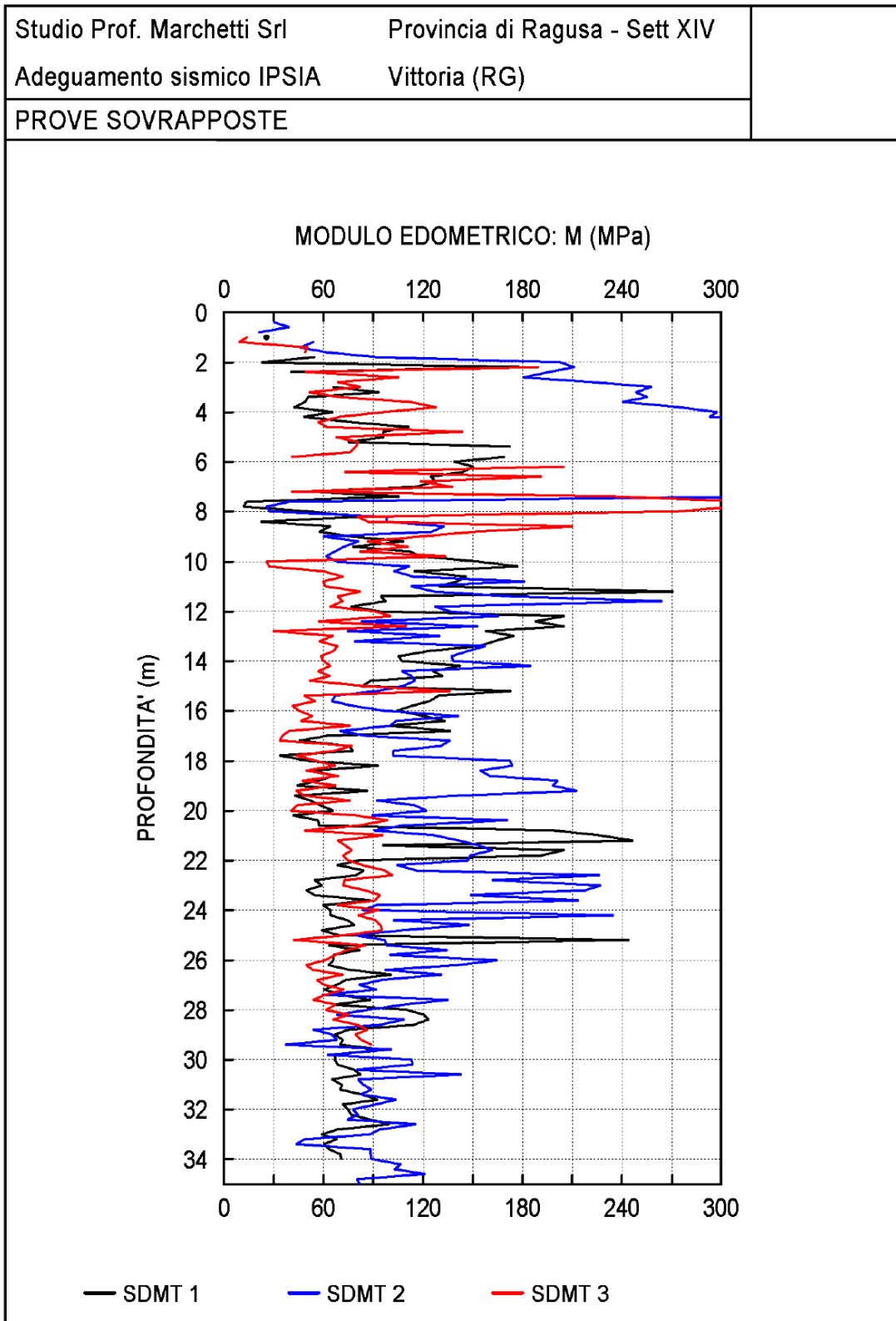
Prova Dilatometro Marchetti Sismico SDMT1/2011



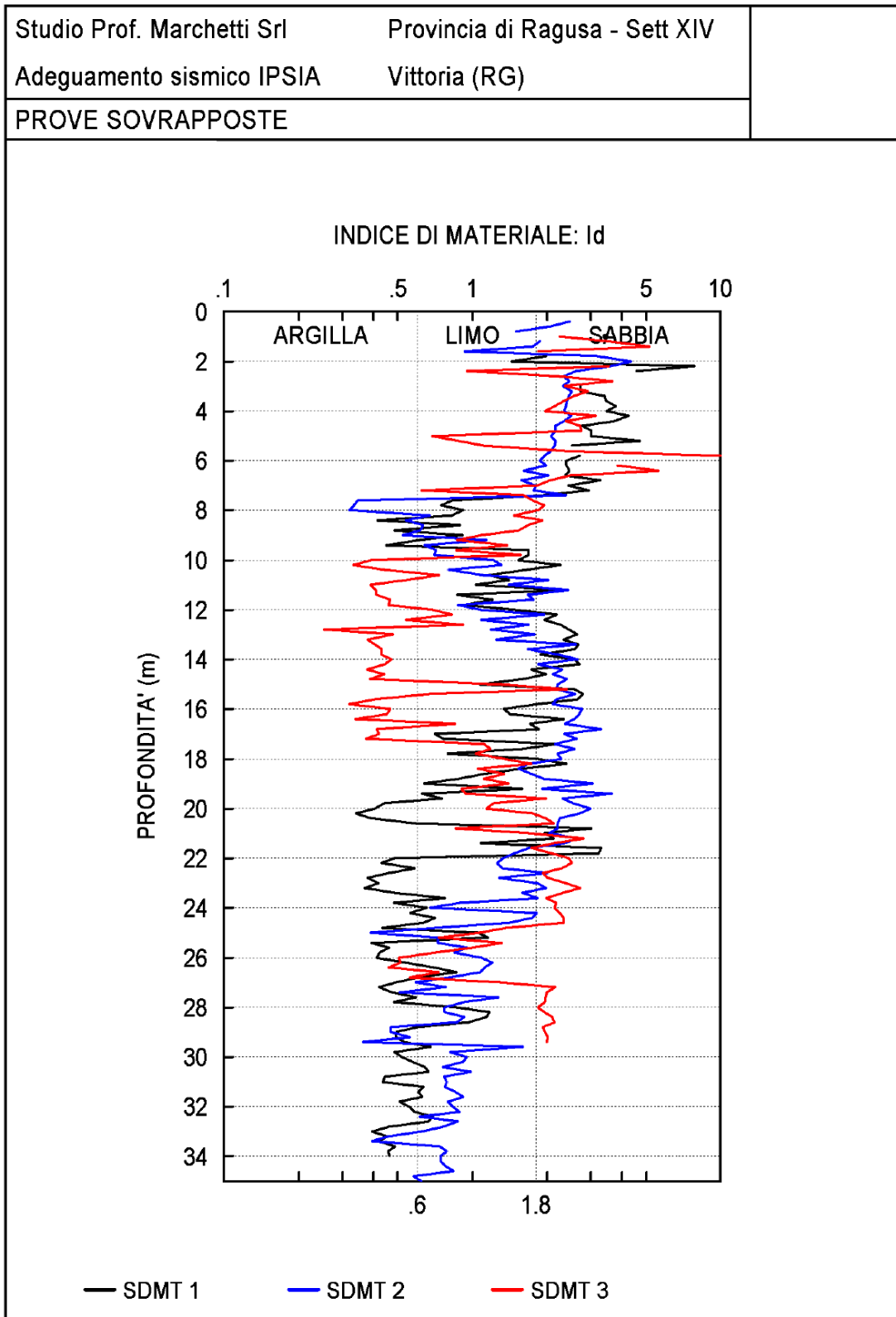
Prova Dilatometro Marchetti Sismico SDMT2/2011



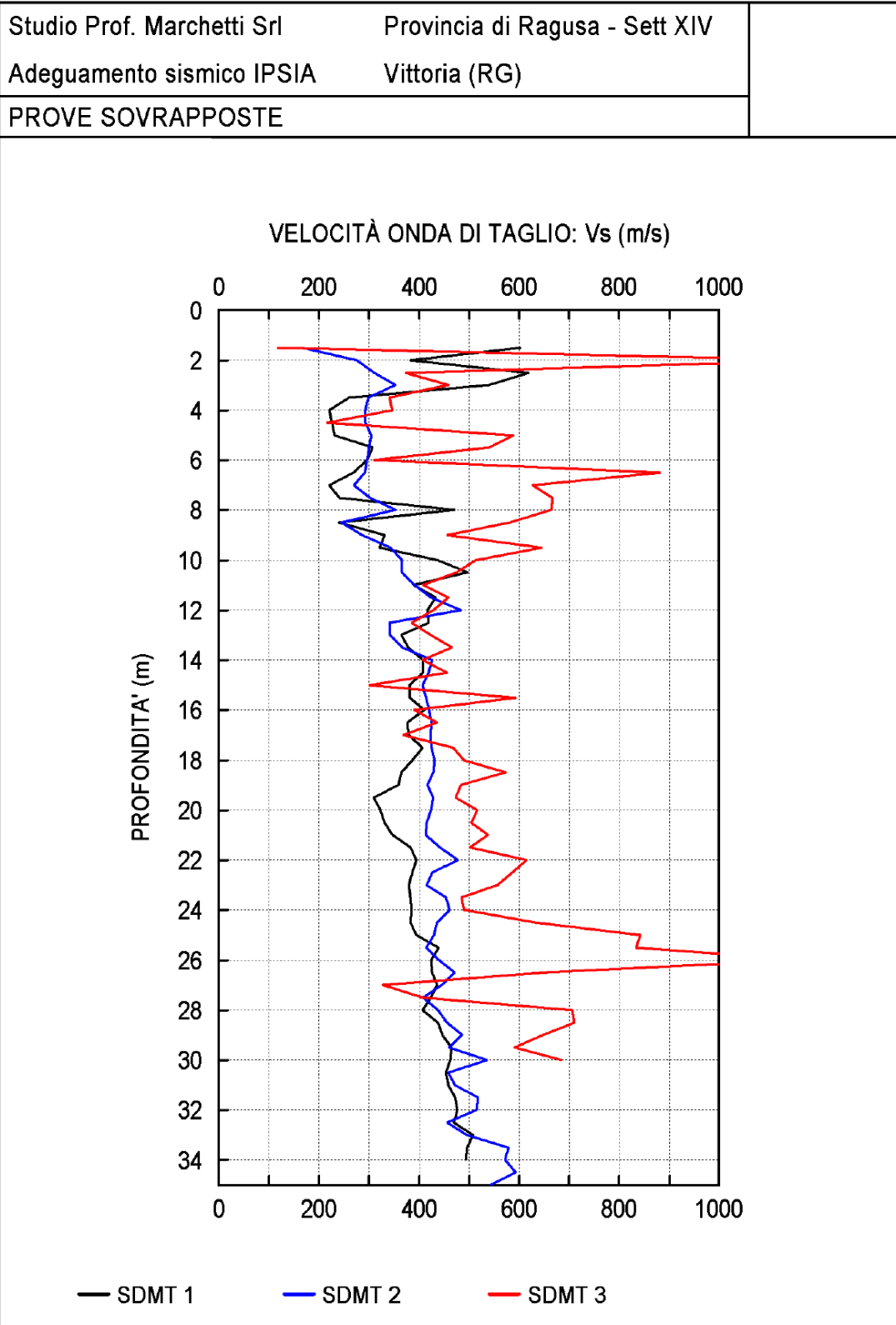
Prova Dilatometro Marchetti Sismico SDMT3/2011



Prove Dilatometriche Sovrapposte : Modulo Edometrico



Prove Dilatometriche Sovrapposte : Indice di Materiale



Prove Dilatometriche Sovrapposte : Velocità Onde di Taglio