

Comune di Fosdinovo

PROVINCIA DI MASSA CARRARA

Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciaso

Relazione geologica

ELABORATO:

-

SCALA:

-

Committente:

Comune di Fosdinovo

A cura di:

Dr. Geol. Matteo Angiolini

maggio 2017

Dr. Geol. Matteo Angiolini

Via A. Corradi, 1
19020 BEVERINO (SP)
Tel. 0187.883282
Cell. 347.1280686

e-mail: matteoangiolini@yahoo.it
C.F.: NGL MTT 78 E 15 E 46 3T
P.iva: 01214470112

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

I N D I C E

1.	INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO	4
2.	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	4
3.	ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUL SITO D'INTERESSE	4
4.	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO GENERALE	6
5.	ASSETTO SISMOTETTONICO	10
	5.1 Parametri sismici di base riferiti al progetto	11
	5.2 Fenomenologie indotte nei terreni di progetto da azioni sismiche	12
6.	STRUMENTI E METODOLOGIE D'INDAGINE	13
	6.1 Caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi e verifiche di stabilità dei fronti	13
	6.2 Prova penetrometrica	17
	6.3 Sismica a rifrazione	17
	6.4 M. a. s. w. (Multichannel Analysis of Surface Waves)	18
	6.5 HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)	18
	6.6 Analisi congiunta M.A.S.W. – H.V.S.R.	18
7.	SITO N°1	18
	7.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI	18
	7.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE	19
	7.3 STRATIGRAFIA	19
	7.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO	20
	7.4.1 Coltri di copertura	21
	7.4.2 Substrato roccioso	22
	7.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA	23
	7.6 CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI	24
8.	SITO N°2	25
	8.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI	25
	8.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE	25
	8.3 STRATIGRAFIA	25
	8.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO	26
	8.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA	28
9.	SITO N°3	29
	9.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI	29
	9.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE	29
	9.3 STRATIGRAFIA	30
	9.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO	30
	9.4.1 Coltri di copertura	31
	9.4.2 Substrato roccioso	33
	9.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA	33
	9.6 CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI	34
10.	SITO N°4	35
	10.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI	35
	10.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE	35
	10.3 STRATIGRAFIA	36
	10.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO	36
	10.4.1 Coltri di copertura	37
	10.4.2 Substrato roccioso	39
	10.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA	39
	10.6 CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI	40
11.	SITO N°5	41
	11.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI	41
	11.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE	42
	11.3 STRATIGRAFIA	42

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	1

Relazione geologica		
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso	
11.4	PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO	42
11.5	STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.....	45
12.	SITO N°6	45
12.1	LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI	45
12.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE	46
12.3	STRATIGRAFIA	46
12.4	PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO	46
12.4.1	<i>Coltri di copertura</i>	48
12.4.2	<i>Substrato roccioso</i>	49
12.5	STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.....	49
12.6	CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI	50
13.	SITO N°7	51
13.1	LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI	51
13.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE	51
13.3	STRATIGRAFIA	51
13.4	PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO	51
13.4.1	<i>Coltri di copertura</i>	52
13.4.2	<i>Substrato roccioso</i>	52
13.5	STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.....	54
13.6	CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI	55
14.	SITO N°8	58
14.1	LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI	58
14.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE	58
14.3	STRATIGRAFIA	59
14.4	PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO	59
14.4.1	<i>Coltri di copertura</i>	61
14.4.2	<i>Substrato roccioso</i>	61
14.5	STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.....	62
14.6	CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI	62
15.	SITO N°9	64
15.1	LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI	64
15.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE	65
15.3	STRATIGRAFIA	65
15.4	PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO	65
15.4.1	<i>Coltri di copertura</i>	66
15.4.2	<i>Substrato roccioso</i>	67
15.5	STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.....	71
15.6	CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI	71
16.	SITO N°10	75
16.1	LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI	75
16.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE	76
16.3	STRATIGRAFIA	76
16.4	PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO	76
16.4.1	<i>Coltri di copertura</i>	77
16.4.2	<i>Substrato roccioso</i>	78
16.5	STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.....	79
16.6	CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI	79
17.	SITO N°11	80
17.1	LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI	80
17.2	INDAGINI GEOGNOSTICHE	81
17.3	STRATIGRAFIA	81
17.4	PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO	81
17.4.1	<i>Coltri di copertura</i>	81
17.4.2	<i>Substrato roccioso</i>	82

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato Relazione geologica	Pag. 2
-----------------------------------	----------------------------------	-----------

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

17.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.....	82
17.6 CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI	83
18. SITO N°12	84
18.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI	84
18.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE	84
18.3 STRATIGRAFIA	85
18.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO	85
18.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA.....	87
19. CONCLUSIONI	88

ALLEGATI

Tav. 1	Ubicazione area d'intervento
Tav. 2	Carta geologica – idrogeologica con elementi geomorfologici
Tav. 3a	Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche sito 1
Tav. 4a1	Sezioni stratigrafiche interpretative sito 1
Tav. 4a2	Sezioni stratigrafiche interpretative sito 1
Tav. 3b	Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche sito 2
Tav. 4b	Sezione stratigrafica interpretativa sito 2
Tav. 3c	Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche sito 3
Tav. 4c1	Sezione stratigrafica interpretativa sito 3
Tav. 4c2	Sezione stratigrafica interpretativa sito 3
Tav. 4c3	Sezione stratigrafica interpretativa sito 3
Tav. 4c4	Sezione stratigrafica interpretativa sito 3
Tav. 3d	Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche sito 4
Tav. 4d	Sezione stratigrafica interpretativa sito 4
Tav. 3e	Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche sito 5
Tav. 4e	Sezione stratigrafica interpretativa sito 5
Tav. 3f	Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche sito 6
Tav. 4f	Sezioni stratigrafiche interpretative sito 6
Tav. 3g	Planimetria generale sito 7
Tav. 4g	Sezioni stratigrafiche interpretative sito 7
Tav. 3h	Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche sito 8
Tav. 4h	Sezioni stratigrafiche interpretative sito 8
Tav. 3i	Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche sito 9
Tav. 4i	Sezioni stratigrafiche interpretative sito 9
Tav. 3l	Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche sito 10
Tav. 4l1	Sezione stratigrafica interpretativa sito 10
Tav. 4l2	Sezione stratigrafica interpretativa sito 10
Tav. 3m	Planimetria generale sito 11
Tav. 4m	Sezione stratigrafica interpretativa sito 11
Tav. 3n	Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche sito 12
Tav. 4n	Sezioni stratigrafiche interpretative sito 12

Parametri sismici

Markland Test

Prove penetrometriche

Risultati indagini geofisiche

Documentazione fotografica

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	3

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

1. INTRODUZIONE E SCOPO DEL LAVORO

In riferimento all'incarico conferitomi è stato eseguito lo studio geologico sui terreni interessati dal progetto: *"Interventi di ripristino dei rilevati Autostradali a varie Progressive chilometriche comprese nel tratto tra il Km 210+100 ed il Km 270+000 in carreggiata nord/sud"*.

La caratterizzazione e la modellazione geologica del sito, consistente nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio, è stata condotta in conformità alle norme vigenti:

- D. M. 11/03/88 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione";
 - D. G. T. N. n. 431 del 19 giugno 2006: "O. P. C. M. n. 3519 del 28/04/2006 "Classificazione sismica della Regione Toscana" che ha inserito il Comune di Fosdinovo in zona sismica 2;
 - D.M. 14/01/2008 "Norme Tecniche per le costruzioni";
 - Art. n.7 Decreto del Presidente della Giunta Regionale del 9 Luglio 2009, n.36/R;
 - Allegato 7 PAI PIANO STRALCIO ASSETTO IDROGEOLOGICO (DCI 180/06, DCRT 69/06, DCRL 24/06) NORME DI ATTUAZIONE, MODALITÀ APPLICATIVE;
 - R.D.3267/33: Norma in Materia di Vincolo Idrogeologico
- La metodologia d'indagine è stata sviluppata attraverso le seguenti fasi:
- raccolta di dati bibliografici di carattere geologico, geomorfologico ed idrogeologico relativi l'area di intervento;
 - rilevamento geologico e geologico tecnico di dettaglio, geomorfologico ed idrogeologico di superficie;
 - esecuzione di n°6 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DPSH);
 - esecuzione di n°5 prove penetrometriche dinamiche medie (DPM);
 - esecuzione di n°8 indagini geofisiche tipo sismica rifrazione in onde P;
 - esecuzione di n°7 indagini geofisiche HVSr;
 - esecuzione di n°9 indagini geofisiche MASW;
 - ricerca ed acquisizione dei parametri geotecnici e sismici dei terreni da letteratura tecnica;
 - analisi comparata dei dati raccolti e prescrizioni di intervento.

Per la stesura del presente rapporto è stato necessario realizzare i sotto elencati elaborati di

base:

- Tav. 1 Ubicazione area d'intervento
- Tav. 2 Carta geologica – idrogeologica
- Tav. 3 a-n Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche
- Tav. 4 a-n Sezione stratigrafica interpretativa

Parametri sismici

Markland Test

Prove penetrometriche

Risultati indagini geofisiche

Documentazione fotografica

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di intervento si colloca (cfr. Tav. 1) lungo la Strada Provinciale n° 10, che collega l'abitato di Marciasso e la Strada Provinciale n° 3, nel Comune di Fosdinovo e compresa tra le quote di circa 670m s.l.m. e 500m s.l.m.

Dal punto di vista cartografico ricade nella C. T. R. sezione n°249050 in scala 1:10000 della Regione Toscana.

3. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SUL SITO D'INTERESSE

- Vincolo idrogeologico: l'area ricade in zona sottoposta a vincolo idrogeologico (fonte: S.I.T.A Regione Toscana).
- Presenza di aree carsiche: nel sito di indagine sono presenti localmente litotipi soggetti a potenziali fenomeni carsici.
- Presenza di aree S.I.C. o Z.P.S.: il sito di intervento non ricade in zona S.I.C. o Z.P.S. (fonte: S.I.T.A Regione Toscana)
- Parco Alpi Apuane-Area Zona Contigua: l'area di intervento ricade nel Parco suddetto Istituito con L.R.5/85 e delimitato con L.R.65/97 (fonte: S.I.T.A Regione Toscana)

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	4

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

- Pianificazione di Bacino: gli interventi denominati 8, 9 e 10, inquadrati in Fig. ra 3.1 secondo la cartografia redatta dall'Autorità di Bacino del Fiume Magra, nell'ambito del progetto "Piano Stralcio Assetto Idrogeologico", tra le aree a Pericolosità Geomorfologica Molto Elevata (PG4); per quanto riguarda la pericolosità idraulica l'area in oggetto non viene cartografata.

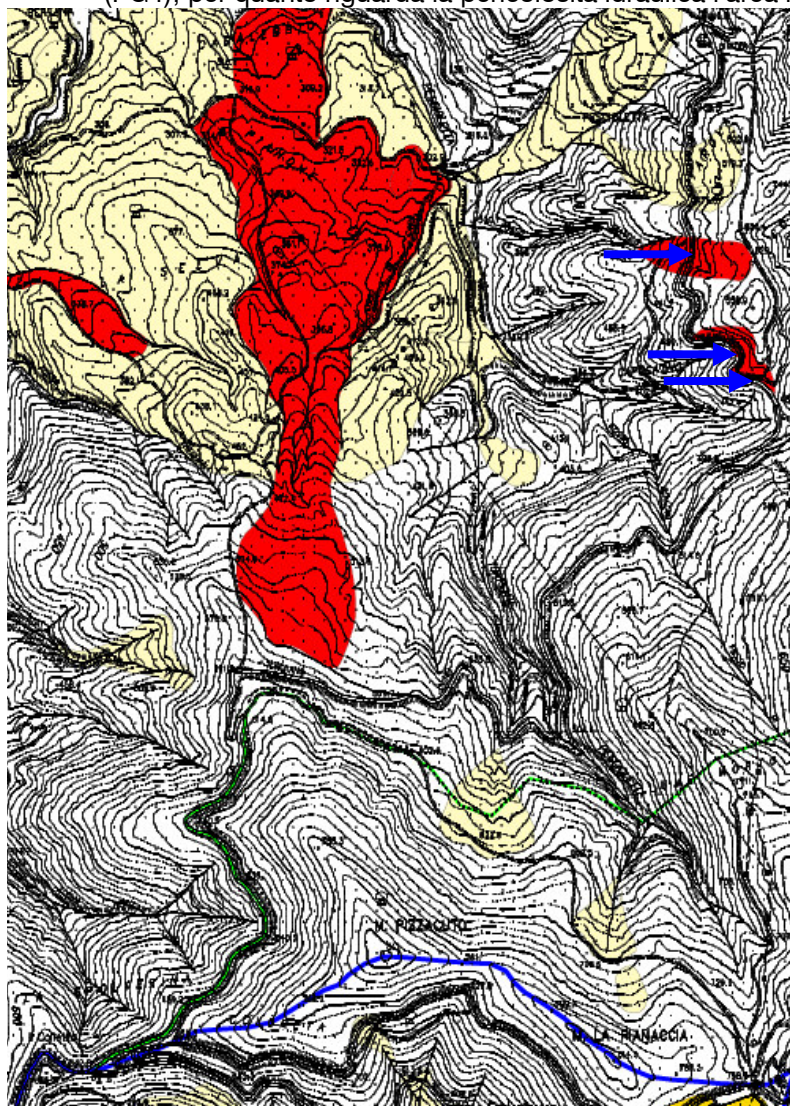


Fig. 3.1 Stralcio "Carta della Pericolosità geomorfologica" (A.d. B. Magra)

→
Siti 8, 9 e 10

Circa il reticolo idrografico (cfr Fig. ra 3.2), nella "Carta del Reticolo Idrografico" ai fini dell'applicazione delle NdA, l'arteria stradale intercetta il Torrente Pescioletta appartenente al Reticolo Minuto (tratti non studiati) ed il Fosso del Bonvino-Fosso di Trabadora appartenente al Reticolo Minuto Non Significativo.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	5

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

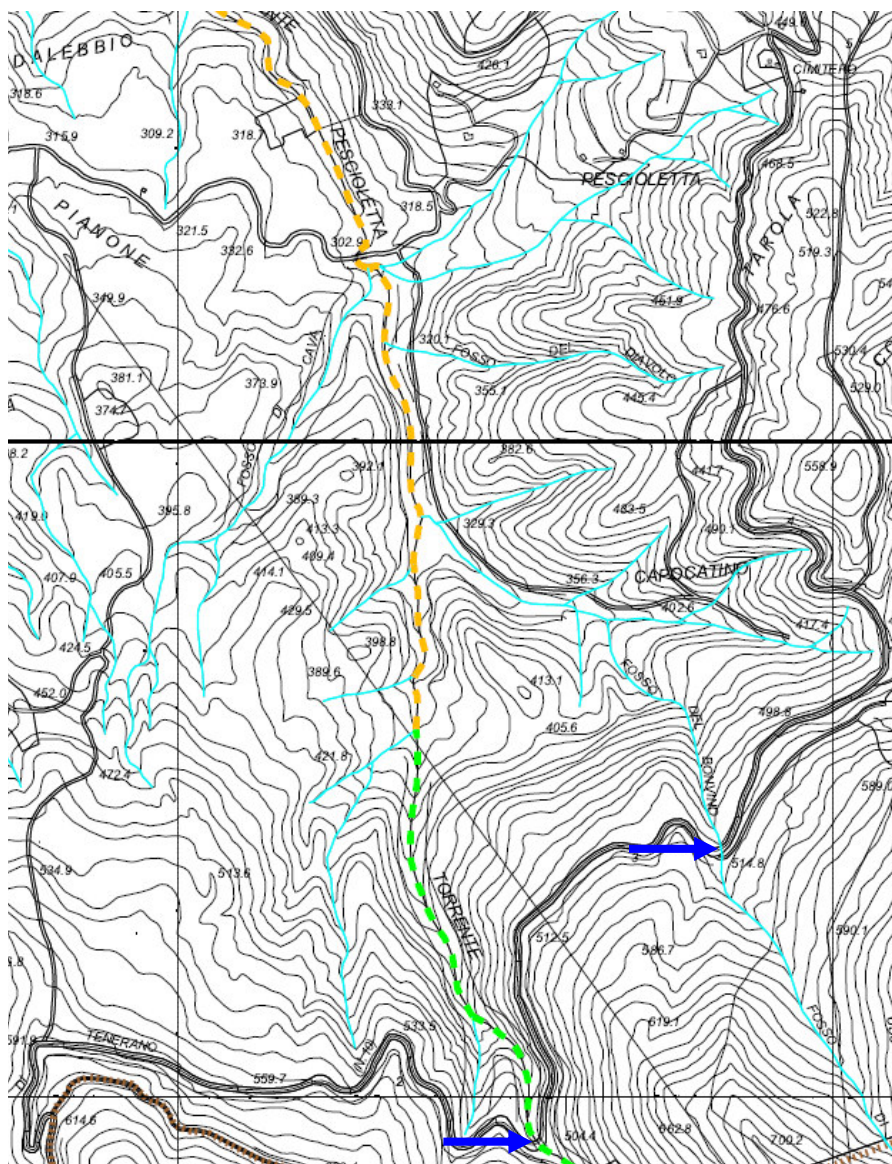


Fig. 3.2 Stralcio “Carta del Reticolo Idrografico” ai fini dell'applicazione delle NdA”

→
Zone di attraversamento fluviale della sede stradale

- **Pianificazione Urbanistica Comunale:** in riferimento alle Cartografie allegate al PIANO STRUTTURALE – QUADRO CONOSCITIVO INDAGINI GEOLOGICO-TECNICHE ed in particolare alle Tavole n.7, 8, 9 e10 si può riassumere quanto segue:
 - tutto il tracciato stradale ricade interamente in zona G2: Pericolosità geomorfologica media;
 - l'intero tracciato non ricade tra le aree a Pericolosità Idraulica;
 - il tratto di strada compreso tra l'intervento n°1 e n°8 ricade nell'Area dell'Acquifero carbonatico Alpi Apuane soggetta a specifiche misure di protezione da definirsi nel regolamento Urbanistico;
 - il tratto di strada interessato dall'intervento n°10 ricade in zona S3 a Pericolosità Sismica Elevata.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO, IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO GENERALE

Il contesto geologico strutturale dell'area di intervento è definito dalla presenza di formazioni rocciose afferenti tre Unità Tettoniche Distinte: l'Unità Tettonica di Ottone del Dominio Ligure Esterno, l'Unità Tettonica Canetolo del Dominio Subligure e la Falda Toscana del Dominio Toscano

Di seguito, dell'area indagata, verrà proposta una breve descrizione dei litotipi presenti e dei fenomeni geomorfologici che l'hanno modellata (c.f.r. Tav. 2).

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	6

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciaso

Depositi di frana con indizi di evoluzione (a1a):

sono depositi gravitativi con evidenze di movimenti in atto (indipendentemente dalla entità e dalla velocità degli stessi).

L'attività può essere continua o, più spesso, intermittente ad andamento stagionale o pluriennale.

Vengono inclusi, in questa categoria, anche depositi di frane che al momento del rilevamento non presentavano sicuri segni di movimento ma che denotano comunque una recente attività segnalata da indizi evidenti, in modo particolare a seguito dell'eventi calamitosi che hanno colpito il comprensorio comunale negli ultimi anni.

In particolare lungo l'area di intervento viene identificato un movimento gravitativo attivo classificabile come colata rapida di detrito (debris flow).

In questa tipologia di dissesti, dal punto di vista geomorfologico, si distingue una zona di alimentazione con relativa corona di distacco, una zona di trasferimento, generalmente di forma allungata ed una zona di deposito dove il materiale, con la dissipazione dell'energia, termina il suo cinematismo.

Si alimentano generalmente per aumenti improvvisi di disponibilità idrica, dovuti comunemente a piogge intense e possono provocare, con lo scorrimento dell'acqua lungo i pendii, la mobilitazione di ingenti quantità di detrito dove materiale a pezzatura eterogenea (dai massi alla argille), contenuto in una quantità variabile di acqua, si associa spesso a tronchi d'albero ed altri detriti vegetali.

Sono stati cartografati inoltre ulteriori due movimenti gravitativi attivi a cinematismo complesso la cui evoluzione ha generato un arretramento della nicchia di distacco e quindi il cedimento ed il collasso della sede stradale rispettivamente nei siti di intervento n°3 e n°1.

Un ulteriore movimento gravitativo attivo complesso si riscontra in corrispondenza del sito di intervento n°4 che interessa l'intera sede stradale.

Altri dissesti di dimensioni più contenute e non rappresentabili alla scala della cartografia allegata si rinvennero diffusamente lungo il versante di sottoscarpa della strada oggetto di intervento e sono riconducibili al decadimento delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni di imposta della sede stradale, legate a problematiche di regimazione delle acque superficiali o per ostruzione degli attraversamenti sui corsi d'acqua.

Depositi di frana senza indizi di evoluzione (a1b): questa distinzione comprende le frane che oramai da anni non mostrano segni di ripresa, permanendo pertanto la situazione attuale hanno un coefficiente di sicurezza sufficiente alla stabilità dei pendii.

Ovviamente il grado di stabilità può cambiare per cause esterne al deposito quali, per esempio, interventi antropici, degrado ambientale ecc..

Nel sito di intervento n°10, interessato dalla presenza di un corpo franoso quiescente, che è stato in passato oggetto di interventi volti al miglioramento delle condizioni di stabilità, pur non rilevando elementi riconducibili a fenomeni di riattivazione alla scala di versante mostra dei segni di erosione areale diffusa nel versante di controripa della sede stradale stessa con trasferimento di materiale detritico.

Depositi di versante (aa): sono costituiti da accumuli eterogenei di materiali litoidi e non, in matrice limo – sabbiosa – argillosa, raccolti ai piedi dei pendii o nelle depressioni vallive.

L'Unità Tettonica di Ottone affiora nell'estremo settore settentrionale della carta geologica allegata ed è rappresentata dal termine del Flysch di Ottone (OTO), costituito da torbiditi calcareo-marnose grigio-scure, talvolta a base calcarenitica, in strati di spessore da qualche centimetro ad un paio di metri, con intercalazioni di marne siltose, argilliti e argilliti calcaree e subordinatamente arenarie fini e siltiti.

L'Unità Tettonica Canetolo con il termine delle argille a calcari di Canetolo (ACCa) affiora, lungo il tracciato stradale, in prossimità dell'area cimiteriale di Marciaso e si identificano argilliti e siltiti di colore prevalentemente grigio-marrone (localmente anche verde o rosso vinato) e arenarie fini, marroni, più o meno calcarifere.

A questi litotipi si intercalano calcareniti e arenarie calcarifere grigio-marroni o verdastre, calcilutiti, marne calcaree e calcari marnosi grigi.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	7

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

La Falda Toscana su cui si snoda la quasi totalità del tracciato stradale è invece rappresentato dai seguenti termini:

Macigno (MAC): arenarie torbiditiche da fini a grossolane in strati e banchi alternate a sottili livelli di siltiti argillose grigie. Oligocene superiore.

Scaglia Toscana (STO): marne, argilliti, calcareniti e marne siltose formano i diversi membri in cui è suddivisa la scaglia toscana. Cretaceo inferiore – Oligocene inferiore.

Diaspri (DSD): radiolariti (microfossili dal guscio siliceo) rosso – violacee in strati spessi da 3 a 15 cm con interstrati millimetrici di argilliti rosse; subordinate marne silicee rosse.

Spesso le radiolariti, per alterazione, si presentano friabili e di colore giallastro o biancastro o bruno e mostrano spalmature o infiorescenze di manganese. Bajociano - Titonico

Marne a Posidonia (POD): marne e argilliti marnose grigio giallastre, talora con strati di calcareniti gradate e con rari livelli di radiolariti; intercalazioni di radiolariti nella parte alta Lias sup. – Dogger p.p.

Calcare Selcifero di Limano (LIM): calcari grigio chiari a grana fine in strati spessi 10-40 cm, con rari noduli di selce grigia. I giunti di strato sono stilolitici o costituiti da sottili livelli marnosi. Lias superiore.

Rosso Ammonitico (RSA): calcari fittamente stratificati di colore da rosa a rosso cupo, più raramente grigio chiaro o giallo nocciola; spesso a struttura nodulare, con tracce e resti di ammoniti. Lias inf. – medio (Sinemuriano – Pliensbachiano).

Calcarei Angulati (ANL): calcari e calcari marnosi grigio cupi con intercalazioni di argilliti e marne alterate in giallo; nella parte inferiore della formazione calcari grigio scuri in banchi o in grossi strati con intercalazioni di liste calcaree giallastre Lias medio (Hettangiano – Sinemuriano)

Calcare Massiccio (MSA): calcari non stratificati, da grigi a grigio scuri; localmente calcari dolomitici e dolomie Lias inf. (Hettangiano).

Per quanto riguarda gli elementi geomorfologici riscontrati (c.f.r. Tav. 2) oltre a quelli legati alla presenza di depositi di frana con o senza indizi di evoluzione si rilevano numerose criticità legate al cinematisimo di blocchi litoidi provenienti dai versanti di controripa della strada oggetto di intervento.

In linea generale nei versanti dove affiorano litotipi afferenti il Macigno l'elevato grado di fratturazione ed alterazione genera il potenziale cinematisimo di blocchi litoidi di dimensioni medio piccole mentre invece le formazioni calcaree ed in modo particolare quelle appartenenti al calcare massiccio (con discontinuità più estese e povere di materiale argillitico di rimpiombo) possono dare origine a caduta di blocchi litoidi di dimensioni considerevoli anche da altezze rilevanti come in corrispondenza del sito n°7.

L'idrografia superficiale (c.f.r. Tav. 2) è definita dalla presenza di fossi e canali condizionati dalla tettonica locale si individuano pertanto aste rettilinee, poco ramificate ed abbastanza incise con portate idriche generalmente basse ma fortemente influenzate dalle precipitazioni piovose.

Una via di deflusso importante è la Strada Provinciale n°10 che, correndo trasversalmente al versante, funge da canale di gronda per le acque provenienti da monte.

Lungo i versanti il ruscellamento è diffuso e le acque che non si infiltrano laminano verso valle generando, dove la copertura vegetale è scarsa o assente, locali eventi erosivi areali prima di immettersi nei drenaggi stradali e negli impluvi naturali.

Dal punto di vista idrogeologico i terreni sopra descritti possono essere così classificati (c.f.r. Tav. 2).

Terreni permeabilità variabile per porosità: appartengono a questa classe i depositi di versante e quelli di frana attiva e quiescente.

In linea generale questi depositi sono caratterizzati da una permeabilità medio – bassa in quanto composti da sedimenti a granulometria eterogenea, in particolare frammenti litoidi di varia pezzatura (dalla ghiaia al blocco) immersi però in una matrice limo-argillosa, solo, localmente sabbiosa, che ne riduce la permeabilità complessiva.

Dal punto di vista della permeabilità relativa, la permeabilità di questi depositi varia sensibilmente a seconda che giacciono su un substrato roccioso impermeabile, che favorisce l'imbibizione d'acqua della coltre detritica, o permeabile, che al contrario drena il deposito detritico.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	8

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Litotipi a buona permeabilità per fessurazione: appartengono a questa classe i litotipi appartenenti al Flysch di Ottone, al Calcare selcifero di Limano, al Rosso ammonitico, ai Calcari angulati e al Calcare Massiccio.

Questi litotipi presentano generalmente una elevata porosità secondaria dovuta all'intensa fratturazione che la roccia ha subito nel corso delle varie fasi tettoniche legate alla messa in posto della catena appenninica.

Le rocce a prevalente composizione carbonatica associano inoltre a questa tipologia di permeabilità una permeabilità derivante da potenziali fenomeni carsici e possono essere considerati serbatoi idrici di buona potenzialità.

Litotipi a medio bassa permeabilità per fessurazione: appartiene a questa classe la formazione del Macigno in quanto ad una già ridotta porosità primaria è associata una porosità secondaria tanto maggiormente quanto più invasiva risulta la fratturazione.

Litotipi a bassa permeabilità per fessurazione: in questa classe sono incluse le argille e calcari di Canetolo, la Scaglia Toscana, i diaspri e le marne a posidonia; questi litotipi composti da sedimenti a grana prevalentemente fina sono generalmente impermeabili, una debole permeabilità è rilevabile nei livelli più spessi e caratterizzati da una discreta continuità laterale di calcare e di arenaria, sebbene quasi mai costituiscano degli acquiferi significativi.

Le varie formazioni sopra descritte evidenziano differenti caratteristiche idrogeologiche.

In particolare i calcari della Falda Toscana rappresentano, per le loro caratteristiche di elevata permeabilità, un grande serbatoio d'acqua che, al contatto con formazioni a minore permeabilità, come quelle argillitiche o arenacee, possono dare origine a emergenze idriche anche di portata significativa.

Lungo il tracciato stradale in particolare a seguito degli eventi piovosi verificatisi a cavallo dei mesi di gennaio e febbraio 2017 sono state rilevate diverse emergenze idriche in particolare nel sito di intervento n° 2 tra i siti di intervento n°2 e n°3 e nei siti di intervento n°8 e n°9.

Le acque emergenti nel sito n°2 si raccolgono nel sistema di drenaggio stradale parzialmente ostruito e da qui convogliate nel Fosso Acqua Nera.

L'emergenza idrica rilevata tra i siti di intervento n°2 e n°3 genera un flusso d'acqua che le cunette stradali ostruite non riescono a regimare; le acque di conseguenze laminano su tutta la sede stradale fino a raggiungere il sito di intervento n°3 che, per la pendenza verso valle della carreggiata, si scaricano nel versante di sottoscarpa della sede stradale.



Sorgente rilevata
tra i siti di intervento
n°2 e n°3



L'acqua proveniente dalla sorgente rilevata
tra i siti di intervento n°2 e n°3 lamina su tutta
la sede stradale fino a raggiungere il sito di
intervento n°3

Le acque rilevate nelle sorgenti dei siti 8 e 9 una volta raggiunta la sede stradale laminano lungo la strada stessa verso le zone morfologicamente più depresse e da qui agli impluvi naturali

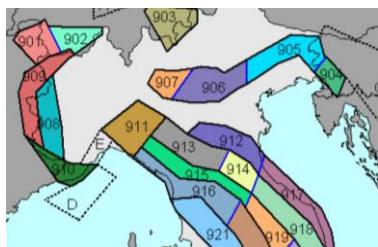
Queste sorgenti si formano a seguito di eventi piovosi particolarmente intensi in quanto il flusso idrico che si genera al contatto tra coltre detritica e substrato roccioso o negli orizzonti maggiormente fratturati del substrato intercetta la topografia.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	9

Relazione geologica	
Committente:	Lavori di consolidamento del versante in frana
Comune di Fosdinovo	della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

5. ASSETTO SISMOTETTONICO

Nella nuova zonazione sismigenetica ZS9 (Meletti e Valenise, 2004), di cui di seguito se ne riporta uno stralcio, è stata sviluppata sulla base delle precedente zonazione ZS4 (Meletti et al., 2000) prendendo in esame le evidenze di tettonica attiva e delle valutazioni sul potenziale sismogenetico acquisito negli ultimi anni.



La fascia che dalla Lunigiana arriva fino al confine Abruzzo-Molise veniva indicata in ZS4 come l'area con il maggior rilascio di energia dell'Appennino centro- settentrionale.

Essa corrisponde al settore più interno della catena appenninica, generalmente interessato da importanti faglie primarie e relative sorgenti sismogenetiche.

Tali faglie immergono verso NE nel settore compreso tra la Toscana settentrionale e l'Umbria settentrionale e verso SW nel settore che si estende dall'Umbria centrale fino a tutto l'Abruzzo (Galadini et al., 2001; Valensise e Pantosti, 2001).

Questa lunga fascia è stata suddivisa in tre zone (915 fascia di appartenza dell'area di intervento, 919 e 923) che includono le sorgenti sismogenetiche responsabili dei terremoti di più elevata magnitudo che hanno caratterizzato l'arco appenninico settentrionale e centrale.

La Classificazione sismica della Regione Toscana su Deliberazione di G. R. T. n. 431 del 19 giugno 2006 a seguito dell' O. P. C. M. n. 3519/2006 prevede la distinzione di 4 zone con livelli decrescenti di pericolosità sismica in relazione a 4 differenti valori di accelerazione orizzontale (ag/g) d'ancoraggio dello spettro di risposta elastico e a 4 differenti valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo (ag/g).

Nella tabella illustrativa seguente vengono indicate le Zone Sismiche con associati i valori di accelerazione orizzontale.

ZONA	Ag/g
2	0,25
3 S	0,25
3	0,15
4	0,05

Tabella illustrativa

Il Comune di Fosdinovo, secondo quanto indicato nel D. G. R. T n. 431 del 19/06/2006 viene inserito in **Zona sismica 2 con conseguente Ag/g=0,250g** (cfr. fig. 5.1).



Fig. 5.1: Classificazione sismica della Regione Toscana, Deliberazione di G. R. T. N. 431 del 19 giugno 1996 Ordinanza P. C. M. N. 3519 del 28/04/2006

Con riferimento a quanto riportato nel D.M. 14 gennaio 2008 recante "Norme tecniche per le costruzioni", la stima della pericolosità sismica di base di una porzione territoriale, espressa sempre come accelerazione massima orizzontale ag su suolo rigido (categoria A ovvero con Vs30>800m/s) e superficie topografica orizzontale, è stata definita mediante un nuovo approccio definito "sito dipendente" e non più "zona dipendente".

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	10

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Gli effetti di sito possono riguardare sia i terreni a comportamento sismico stabile, i quali sotto le sollecitazioni dinamiche si mantengono lontani dalla rottura e sono soggetti a deformazioni permanenti limitate, sia i terreni a comportamento instabile, che viceversa giungono a rottura e si deformano permanentemente in maniera significativa.

Nel primo caso si parla di effetti stratigrafici (amplificazione sismica dovuta a fenomeni di risonanza tra onde sismiche e terreni) e topografici (modifiche del moto sismico causate da fenomeni di focalizzazione delle onde a causa delle irregolarità del terreno) e risulta oggetto di studio l'entità dell'amplificazione che le onde possono subire propagandosi verso la superficie, ma non il grado di sicurezza rispetto ad una eventuale condizione di rottura.

5.1 Parametri sismici di base riferiti al progetto

La stima dei parametri spettrali necessari per la definizione dell'azione sismica di progetto viene effettuata con un calcolo puntuale in base alla posizione geografica del sito rispetto al nodo del reticolo sismico di riferimento (definito nell'allegato B dello stesso D.M. 14 gennaio 2008), per diverse probabilità di superamento e diversi tempi di ritorno (T_r) nonché variando successivamente tale dato ottenuto (sempre secondo criteri stabiliti dalle stesse norme tecniche) in funzione delle modifiche prodotte dalle condizioni stratigrafiche locali del sottosuolo effettivamente presente nella zona oggetto di costruzione e della morfologia di superficie, ottenendo in tal modo la risposta sismica locale.

Per la definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi (vedi cap. 3.2.2 del D.M. 14 gennaio 2008); in assenza di tali analisi, si può fare riferimento come nel presente caso, vista le situazioni geologico stratigrafiche e topografiche locali riscontrate, ad un approccio semplificato, introdotto dall'OPCM n. 3274/03, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento attraverso la misura delle V_{s30} o di altri parametri geotecnici.

Per la definizione delle condizioni stratigrafiche locali l'attuale D.M., ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, prevede la suddivisione del suolo di fondazione nelle seguenti categorie:

- Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.
- Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $NSPT_{,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
- Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT_{,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
- Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $NSPT_{,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
- Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

In aggiunta a queste categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

- S1 . Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
- S2 . Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	11

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

In generale la classificazione sismica del suolo di fondazione deve riguardare i terreni compresi tra il piano di imposta delle fondazioni degli edifici ed un substrato rigido di riferimento, (bedrock) ovvero quello presente ad una profondità commisurata all'estensione ed all'importanza dell'opera.

Per quanto riguarda il fattore di correzione topografica ST, questo si ottiene utilizzando la seguente tabella, che definisce quattro categorie topografiche:

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

Per tener conto delle condizioni topografiche si utilizzano i valori del coefficiente topografico ST riportati nella tabella seguente, in funzione delle categorie topografiche definite sopra e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	ST
T1	---	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica (ST) è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base, dove ST assume valore unitario.

Per determinare i parametri sismici necessari alla definizione delle forme spettrali per il sito in esame e di seguito elencati:

- ag (accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido),
 - Fo (valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale),
 - Tc (periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale),
- riferiti ai diversi stati limite ultimi e di esercizio (SLV, SLC, SLD, SLO) ed ai relativi periodi di ritorno TR (compresi fra 30 e 975 anni), è stato necessario sfruttare le potenzialità del Software GeoStru PS, Parametri sismici, messo a disposizione in rete dalla GeoStru, inserendo i seguenti dati:

- le coordinate geografiche dell'opera da verificare (latitudine e longitudine);
- la classe d'uso
- la vita nominale dell'edificio;
- la categoria topografica;
- la categoria di suolo;

i quali hanno permesso di ottenere per i vari siti di indagine, in dettaglio, quanto riportato in allegato "Parametri Sismici".

5.2 Fenomenologie indotte nei terreni di progetto da azioni sismiche

Per fenomenologie indotte nei terreni dalle azioni sismiche di scuotimento, d'intensità massima attesa per il sito nel periodo di riferimento, relativamente all'area indagata, si intendono tutti quei fenomeni che possano generare instabilità dei terreni come liquefazione e densificazione dei terreni, frane, smottamenti e cedimenti.

Relativamente al fenomeno della liquefazione dei terreni che, a causa delle sovrappressioni interstiziali indotte a seguito di sollecitazione sismica, porta ad una brusca riduzione della resistenza al taglio, il D.M. 14/01/2008 prevede che, affinché possa non verificarsi il fenomeno della liquefazione, debba sussistere almeno una delle seguenti condizioni:

- 1) eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
- 2) accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
- 3) profondità media stagionale della falda superiore a 15m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
- 4) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	12

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

- 5) distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura 5.2 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in figura 5.3 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

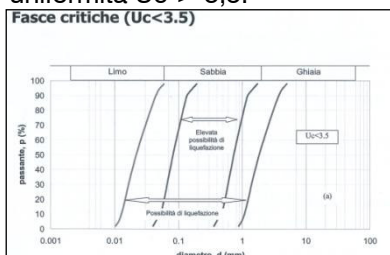


Fig. 5.2

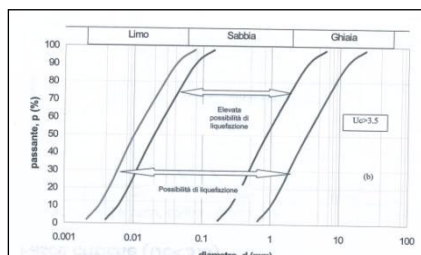


Fig. 5.3

Per densificazione si intende il fenomeno di addensamento di un terreno granulare asciutto per effetto delle vibrazioni indotte da un terremoto l'effetto di compattazione volumetrica immediata genera un miglioramento delle caratteristiche dinamiche del terreno (aumento del modulo di taglio e diminuzione del coefficiente di smorzamento) e abbassamento del livello della superficie del deposito (cedimenti).

Altra fenomenologia indotta da sisma sono gli effetti legati all'apertura di faglie e fratture in superficie dovute alla presenza di Faglie Attive e Capaci (FAC) dove per FAC si intendono tutte quelle faglie che si sono attivate almeno una volta negli ultimi 40000anni (parte alta del Pleistocene superiore – Olocene) e che raggiungono la superficie topografica producendo una fatturazione dislocazione di terreno.

Per individuare tali zone è stato fatto riferimento alle indicazioni del progetto ITHACA (Italy HAZard from CAPable faults) dove si può affermare che, nell'area di intervento, corre una struttura tettonica in prossimità dell'intervento n°8 al contatto tra Calcare Massiccio e Macigno, attiva che potrebbero generare rischi naturali.

Riguardo il rischio geomorfologico indotto da terremoto, verranno effettuate specifiche analisi di stabilità del versante e di cinematisimo di blocchi litoidi in condizioni dinamiche al fine di verificare puntualmente le eventuali instabilità che potrebbero verificarsi a seguito di evento sismico atteso.

6. STRUMENTI E METODOLOGIE D'INDAGINE

Per la definizione del modello geologico - sismico dei terreni interessati dal progetto e per una loro caratterizzazione geotecnica preliminare oltre a far riferimento al rilevamento geologico strutturale eseguito sugli affioranti rocciosi rilevabili lungo il tracciato è stata eseguita una specifica campagna geognostica composta da:

- n°6 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DPSH) spinte fino allo stato di rifiuto all'avanzamento della punta strumentale da attribuire all'incontro del substrato roccioso mediamente alterato e fratturato;
- n°5 prove penetrometriche dinamiche medie (DPM) spinte fino allo stato di rifiuto all'avanzamento della punta strumentale da attribuire all'incontro del substrato roccioso molto alterato e fratturato;
- n°8 indagini geofisiche tipo sismica a rifrazione in onde P (B);
- n°7 indagini geofisiche HVSR (HVSr);
- n°9 indagini geofisiche MASW (MASW);

6.1 Caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi e verifiche di stabilità dei fronti

Uno dei criteri più utilizzati per la definizione delle proprietà degli ammassi rocciosi è quello proposto da Hoek & Brown ed utilizzabile sia per rocce isotropiche che complesse (quali ad esempio i flysch o le molasse).

Questo criterio correla complesse equazioni matematiche a semplici osservazioni geologiche di terreno e si basa sull'assunto che la rottura sia controllata dalla traslazione e rotazione di singoli pezzi di roccia separati da molte discontinuità; questa tecnica non è applicabile in quei casi in cui la rottura avviene lungo discontinuità a grande scala che governano di fatto il cinematisimo.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	13

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

- Questa tecnica per essere sviluppata necessita delle definizioni di tre parametri classificativi:
- 1) La resistenza a compressione semplice degli elementi integri costituenti l'ammasso roccioso (σ_{ci}) valutato attraverso bibliografia, prove di laboratorio o attraverso point load test;
 - 2) La costante che definisce le caratteristiche frizionali dei componenti mineralogici della roccia (m_i) valutata attraverso prove triassiali o dati di letteratura;
 - 3) Il GSI (Geological Strength Index) che correla le proprietà dei singoli blocchi di roccia intatta con quelli dell'ammasso roccioso nel suo complesso; dipende dal grado di libertà che hanno i singoli blocchi che costituiscono l'ammasso e può essere ricavato, mediante la classificazione di Bieniawski: $GSI = RMR'b - 5$ dove $RMR'b$ è dato dai primi 4 parametri di Bieniawski sommati a 15, equivalente alle condizioni a secco.

Per gli ammassi rocciosi più complessi (flysch) questa tecnica propone una variante suggerita Hoek & Marinos (2001) la quale permette di ottenere buoni risultati sia su formazioni costituite da frequenti alternanze che in casi in cui la fatturazione o la tettonizzazione è consistente (in entrambi i casi l'ammasso viene considerato isotropo).

Non può essere considerato invece quando potenti bancate arenacee o calcaree siano separate da sottili livelli pelitici infatti il comportamento di questi litotipi è governato più dalla debolezza dei livelli argillosi che dall'ammasso roccioso nel suo complesso, in quanto questi sono di un ordine di grandezza più deboli rispetto al resto della roccia.

Un ammasso roccioso costituito da flysch ha le seguenti caratteristiche:

- eterogeneità nel comportamento meccanico (alternanza di livelli "duri", arenacei o carbonatici e "soffici", pelitici)
- presenza di minerali argillosi, affaticamento tettonico e presenza di rotture per taglio (spesso questi materiali possono essere assimilati a terreni)
- conduttività idraulica da bassa a molto bassa.

Nel caso di rocce eterogenee o complesse la scelta dei valori di queste due parametri diventa ambigua, in quanto le caratteristiche dei livelli duri e di quelli teneri sono molto differenti e la scelta di assegnare a tutto l'ammasso i valori di uno solo di questi due litotipi può condurre ad essere o molto cautelativo o a sovrastimare di molto le proprietà reali dell'ammasso.

Dopo aver definito i tre parametri della classificazione bisogna stimare le caratteristiche dell'ammasso roccioso applicando il criterio generalizzato di Hoek & Brown espresso dalla formula:

$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_{ci} [m_b (\sigma_3/\sigma_{ci}) + s]^a$ dove σ_1 e σ_3 sono gli sforzi effettivi massimo e minimo, σ_{ci} è la resistenza della roccia intatta alla compressione uniassiale, m_b , s , a sono parametri correlati alle condizioni geomeccaniche dell'ammasso: " m_b " è collegato al grado di interbloccaggio delle particelle esistenti; " s " è in relazione al grado di fratturazione nel campione di roccia; " a " è 0,5 per $GSI > 25$.

I parametri della precedente formula si ricavano da alcune relazioni con delle costanti dipendenti dal tipo di roccia e dalle rispettive condizioni.

La costante " m_i " varia con la litologia; il Geological Strength Index (GSI) consente la riduzione della resistenza dell'ammasso roccioso nelle diverse condizioni; D è un fattore che dipende dal grado di disturbo determinato dalle modalità di scavo e può variare tra 0 (danneggiamento della roccia nullo) a 1 (elevato disturbo dell'ammasso).

Per la valutazione dei parametri si rimanda alle tabelle e abachi seguenti.

Il criterio di rottura di Hoek & Brown può essere approssimato al criterio di Colulomb per un determinato campo di valori, nell'ambito dei quali i rapporti tra le tensioni principale e secondaria sono simili. I valori di coesione e angolo di attrito di Colulomb sono correlati ai parametri di Hoek & Brown mediante complesse formule.

Altre relazioni servono inoltre alla stima del modulo elastico.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	14

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Resistenza alla compressione uniassiale		
OSSERVAZIONI DI CAMPAGNA	LITOLOGIE	σ_{ci} MPa
i campioni richiedono molti colpi di martello geologico per rompersi	Anfibolite, arenaria, basalto, gabbro, gneiss, granodiorite, calcare, marmo, riolite, tufo	100-250
i campioni richiedono più di un colpo di martello geologico per rompersi	arenaria, calcare, marmo, filite, scisto, argilosisto	50-100
i campioni non possono essere grattati o pelati con un coltellino ma possono essere fratturati con un singolo colpo di martello geologico	siltite, scisto, argillite, argilosisto, carbone, conglomerato	25-50
campioni pelati con un coltellino con difficoltà e incisi superficialmente con la punta del martello geologico	dolomite, gesso, farina fossile, salgemma	5-25
campioni pelati con un coltellino e sbriciolati con un colpo di martello	roccia molto alterata	1-5
campioni incisi da un unghia	riempimento non cementato	0,25-1

Costante m_i per alcuni tipi di roccia			
LITOLOGIA	m_i	LITOLOGIA	m_i
Argille	4 ±2	Dolomite	9 ±3
Marne	7 ±2	Gesso	10 ±2
Argilosisti	6 ±3	Scisti	10 ±3
Siltiti	7 ±2	Calcare	12 ±3
Marmo	9 ±3	Tufo	13 ±5

Calcolo di E_i da MR						
	Sedimentarie	MR	Ignee	MR	Metamorfiche	MR
	Conglomerato	350±50	Granito	425±125	Marmo	450±50
	Arenaria	275±75	Granodiorite	425±25	Ardesie	500±100
	Siltite	375±25	Diorite	325±25	Quarzite	375±75
	Argillite	200±50	Gabbro	450±50	Mignatite	375±25
	Chalk	1000±0	Norite	375±25	Anfibolite	450±50
	Breccia	290±60	Dolerite	350±50	Gneiss	525±225
	Calcare cristallino	500±100	Riolite	400±100	Scisti	675±425
	Calcare micritico	900±100	Dacite	400±50	Filladi	550±25
	Dolomia	425±75	Peridotite	275±25		
	Marna	175±25	Porfirite	400±0		
	Anidride	350±0	Andesite	400±100		
			Basalto	350±100		
			Diabase	325±25		

Rock Type: General	SURFACE CONDITIONS				
GSI Selection: 40	VERY GOOD	GOOD	FAIR	POOR	VERY POOR
STRUCTURE		DECREASING SURFACE QUALITY			
INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with few widely spaced discontinuities		90	80	70	60
BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets		50	40	30	20
VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		10			
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - folded with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity					
DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces					
LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes					

Abachi per la determinazione

- della resistenza alla compressione uniassiale delle rocce e delle costanti m_i
- dei parametri E_i e MR
- del parametro GSI, basato sulla composizione e struttura della roccia e sulle condizioni delle superfici di discontinuità

Per quanto riguarda la pressione normale di riferimento, necessaria per stabilire la posizione nella curva sforzo normale di resistenza al taglio, si è considerata un'altezza del pendio pari a quella del versante sovrastante l'intervento (fino al top del versante) indicata in ogni sito di studio che, moltiplicata con un peso di volume medio, porta ad identificare il valore di σ_{3max} per quel sito.

Da questa valutazione si estrapolano i parametri intrinseci dell'ammasso roccioso che sono validi per pressioni di confinamento elevate dove la curva del materiale roccioso si avvicina a quella dell'ammasso in quanto l'influenza delle fratture diviene percentualmente meno rilevante.

A pressioni di confinamento più basse e con una notevole presenza di giunti di discontinuità, assume altresì un peso determinante la resistenza al taglio entro tali elementi.

La scelta di uno dei due approcci e quindi dei parametri di resistenza al taglio corrispondenti, va condotta in relazione alle caratteristiche del problema ingegneristico affrontato.

Nella norma, trattando di pareti rocciose, l'influenza del comportamento dei giunti risulta certamente più influente rispetto ai caratteri intrinseci dell'ammasso, al contrario, trattando di fondazioni su roccia risulta più aderente alla realtà considerare i parametri intrinseci dell'ammasso roccioso.

Nella realtà in esame in questo rapporto per quanto riguarda la stabilità dei fronti rocciosi con modeste pressioni e la possibilità di individuare un numero costante e multiorientato di giunti risulta più cautelativo considerare il comportamento dei giunti rispetto a quello dell'ammasso, il quale potrà invece essere utilizzato per le verifiche globali del versante e delle opere geotecniche profonde previste.

Il rilievo geostretturale di campagna ha inoltre permesso di raccogliere una serie di dati che hanno permesso di identificare, all'interno delle formazioni rocciose analizzate, dei sistemi precisi di giunti.

Per rappresentare in modo sintetico i dati inerenti i diversi ammassi rocciosi analizzati (stratificazione, fatturazione, discontinuità etc.) sono state utilizzate le proiezioni stereografiche, che consentono di avere una visione tridimensionale del problema in un piano.

Le proiezioni stereografiche più comunemente usate nell'ambito della geologia strutturale, sono le proiezioni equiareali di Schmidt (in cui vengono mantenute costanti le aree) e le proiezioni equiangolari di Wulff (in cui vengono mantenuti costanti gli angoli).

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	15

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Per ottenere tali rappresentazioni si deve immaginare di avere una sfera di riferimento il cui centro sia l'origine di un sistema di assi cartesiani; se per il centro di tale sfera si fa passare un piano, l'intersezione del piano con la sfera determina un "grande cerchio" che definisce l'inclinazione e l'orientazione del piano nello spazio.

Questa informazione si ricava osservando sia l'emisfero superiore che inferiore della sfera; per comodità si può usare una sola delle due semisfere (normalmente si utilizza quella inferiore). Il medesimo piano può essere rappresentato oltre che da un grande cerchio, anche da un punto detto "polo".

Esso rappresenta l'intersezione della retta passante per l'origine (centro sfera) e perpendicolare al piano con la superficie della sfera.

La rappresentazione bidimensionale del grande cerchio e del polo si ottiene proiettando la sfera di riferimento su un piano orizzontale (proiezione polare).

Generalmente le discontinuità vengono rappresentate solamente con i poli e non con i grandi cerchi per una maggiore chiarezza nel disegno.

Quando occorre avere la "rappresentazione" delle orientazioni delle discontinuità si utilizzano le proiezioni equiangolari di Wulff.

Le diverse discontinuità presenti nei diversi ammassi rocciosi sono state raggruppate in famiglie sulla base delle loro giacitura (immersione ed inclinazione) che, per quanto abbia valori più o meno dispersi, costituisce un intorno di un valore modale caratteristico per ogni singola famiglia.

Sono stati inseriti i dati di immersione ed inclinazione in un software e sono stati trovati per ciascun fronte i sistemi o famiglie di discontinuità.

Sulla base della disposizione dei poli è possibile comprendere il più probabile tipo di franamento che interesserà il versante.

Uno dei metodi più usati per valutare la stabilità di un pendio tramite proiezioni stereografiche è il cosiddetto "Test di Markland", che consente di stabilire, considerando solo la geometria del pendio e delle discontinuità e l'angolo di resistenza al taglio lungo i giunti, la possibilità che avvengano scivolamenti a "cuneo", "ribaltamenti" o "scivolamenti planari" in un ammasso roccioso fratturato.

In altre parole esso permette di identificare graficamente le "discontinuità critiche", cioè le discontinuità che rappresentano potenziali piani di instabilità, separandole da quelle che non influiscono direttamente sulla stabilità dei pendii.

I fattori che influenzano in modo particolare la stabilità di un pendio sono: la giacitura dei piani di discontinuità, gli sforzi di taglio che si manifestano sulla superficie delle discontinuità e la geometria dei cunei che si formano quando due famiglie di discontinuità si incontrano.

Le analisi di stabilità effettuate sono relative a tre diversi tipi di movimenti franosi su corpi rocciosi:

1. Scivolamento Piano lungo un'unica discontinuità: le rotture planari avvengono lungo un'unica discontinuità inclinata verso l'esterno del pendio;
affinché ci sia instabilità occorre che siano verificate le seguenti condizioni:
 - l'immersione della discontinuità deve essere compresa entro 20° dal fronte analizzato;
 - inclinazione della discontinuità deve essere minore di quella del fronte (franapoggio meno inclinata);
 - l'inclinazione della discontinuità deve essere maggiore del valore dell'angolo d'attrito riferito alla superficie di scivolamento;
2. scivolamento di un cuneo di roccia di forma tetraedrica: il cuneo è individuato da due superfici di discontinuità, tra loro non parallele, e dalle superfici del pendio.
In questo caso l'instabilità si ha quando:
 - la linea di intersezione delle due discontinuità immerge approssimativamente verso la superficie del versante;
 - l'inclinazione della linea di intersezione è minore dell'inclinazione del versante;
 - l'inclinazione della linea di intersezione è maggiore del valore di attrito riferito alle due superfici di scivolamento.
3. ribaltamento: in queste condizioni di instabilità l'ammasso roccioso è suddiviso in blocchi o colonne da una famiglia di discontinuità caratterizzato da un angolo di direzione

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	16

Relazione geologica	
Committente:	Lavori di consolidamento del versante in frana
Comune di Fosdinovo	della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

approssimativamente parallelo alla superficie del pendio e con inclinazione molto accentuata in corrispondenza dal fronte roccioso.

si ha ribaltamento quando:

- la direzione delle discontinuità è approssimativamente parallela a quella del versante (compresa normalmente entro 20°);
- l'immersione delle discontinuità deve essere opposta a quella del fronte;
- la normale al piano di ribaltamento immerga meno dell'angolo di attrito della discontinuità.

Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test".

6.2 Prova penetrometrica

Questa prova consiste nel far penetrare nel terreno una punta conica collegata ad una batteria d'aste mediante caduta di un maglio.

I penetrometri utilizzati presentano le caratteristiche menzionate nelle tabelle seguenti.

Caratteristiche	DPM (Dynamic Probing Medium)	
Massa battente	30	Kg
Altezza di caduta della massa battente	20	cm
Peso singola asta	2,4	Kg/m
Angolo punta conica	60	°
Diametro punta conica	35,7	mm
Area di base	10	cm ²
Tratto avanzamento per rilievo n° colpi (N ₁₀)	10	cm

tab. 6. 1 Principali caratteristiche del penetrometro dinamico medio (DPM)

Caratteristiche	DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)	
Massa battente	63,5	Kg
Altezza di caduta della massa battente	75	cm
Peso singola asta	6,3	Kg/m
Angolo punta conica	60	°
Diametro punta conica	54,46	mm
Area di base	20	cm ²
Tratto avanzamento per rilievo n° colpi (N ₂₀)	20	cm

tab. 6. 2 Principali caratteristiche del penetrometro dinamico super pesante (DPSH)

Il dato fornito dagli strumenti impiegati, che viene espresso dal numero di colpi del maglio per l'avanzamento di 20cm (N₂₀), per il penetrometro DPSH e di 10cm (N₁₀) per quello DPM, definisce la resistenza offerta dal terreno alla penetrazione della punta ed è direttamente correlabile con il N_{spt} mediante i seguenti rapporti $N_{spt} = 0,783 N_{10}$ e $N_{spt} = 1,504 N_{20}$.

Per maggiori dettagli sulla tipologia di indagine e sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Prove penetrometriche".

6.3 Sismica a rifrazione

Le indagini geognostiche che utilizzano le metodologie sismiche, sfruttano la proprietà delle onde sismiche di attraversare a diversa velocità i terreni in relazione al loro grado di rigidità, al fine di ottenere l'andamento stratigrafico del sottosuolo

Le principali onde sismiche che si sviluppano nel terreno, qualora una sorgente liberi in esso energia cinetica, sono le onde longitudinali o di compressione (P) e le onde trasversali o di taglio (S).

Le onde "P" si muovono con velocità maggiore delle onde "S".

L'indagine sismica consiste proprio nella registrazione, in sito, dei tempi di propagazione delle onde sismiche che costituiscono, a loro volta, i dati essenziali per la successiva elaborazione delle informazioni e per la ricostruzione della modellistica del sottosuolo.

La prospezione sismica eseguita utilizza le onde longitudinali generate da una sorgente artificiale che nel caso specifico è stata del tipo massa battente (thumper).

L'energia così prodotta si propaga nel sottosuolo sottoforma di onde sferiche che, nel corso del loro cammino, subiscono riflessioni (onde riflesse) e rifrazioni (onde rifratte) in funzione delle caratteristiche elastiche e delle discontinuità presenti nel terreno.

Una volta raggiunta la superficie, le onde vengono rilevate da un certo numero di geofoni, in questo caso 12, allineati ad intervalli costanti l'uno dall'altro per una lunghezza compresa tra 22 e 55m, che trasformano gli impulsi d'urto di ritorno in energia elettrica.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	17

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

I geofoni hanno inoltre il compito di inviare i segnali elettrici al sismografo che a sua volta li restituisce sotto forma numerica grafica (sismogrammi).

La prova si può eseguire quando al di sotto dei terreni sciolti si trovi un orizzonte rifrattore ossia un substrato roccioso dotato di una velocità di propagazione maggiore oppure quando esistano più formazioni aventi velocità delle onde di compressione crescenti all'aumentare della profondità.

Il metodo sismico a rifrazione di conseguenza non è applicabile in quelle situazioni stratigrafiche caratterizzate da strati con velocità delle onde di compressione inferiore a quella degli strati sovrastanti.

Dalla elaborazione dei dati registrati in campagna dal sismografo è stata effettuata, per mezzo del software Rayfract 3.2, una elaborazione tomografica che permette, rispetto al metodo tradizionale, di meglio dettagliare le caratteristiche dei depositi sciolti e valutare lo stato di alterazione della roccia.

In allegato *“Risultati indagini geofisiche”* sono riportate le sezioni sismiche interpretate nelle quali viene distinta la presenza di un sistema a quattro strati.

6.4 M. a. s. w. (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Le indagini geofisiche M. A. S. W. (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono una metodologia d'investigazione che permette di ricavare, partendo dalla determinazione delle velocità delle onde superficiali, l'andamento delle velocità delle onde di taglio (Vs) e di ricostruire, di conseguenza, come richiesto dalle Normative vigenti, un modello stratigrafico espresso tramite il profilo di velocità Vs

Per maggiori dettagli sulla tipologia di indagine e sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato *“Risultati indagini geofisiche”*.

6.5 HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

Il metodo con singola stazione è stato inizialmente sviluppato in Giappone da Nogoshi e Igarashi (1971) per caratterizzare la risposta di sito sotto azione sismica ed è stato successivamente reso popolare e diffuso al mondo occidentale da Nakamura (1989).

Questo metodo consiste nel calcolo del rapporto (tipicamente indicato come H/V) della media delle componenti orizzontali rispetto alla componente verticale dello spettro di Fourier del rumore ambientale, registrato in un unico sito da un sensore tridimensionale (velocimetro 3D) e generato da fenomeni naturali ed antropici presenti ovunque sulla superficie terrestre; questi vengono definiti anche microtremiti perché riguardano oscillazioni molto più piccole rispetto a quelle dei terremoti.

Questa tecnica permette di ricavare la frequenza fondamentale (o di risonanza) del sito ed ottenere un'interpretazione del profilo stratigrafico - sismico ad elevata profondità con stima sulla profondità del bedrock (substrato sismico o litologico) e del parametro VS30 (velocità media delle onde S – di taglio – nei primi 30 metri di profondità).

Per maggiori dettagli sulla tipologia di indagine e sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato *“Risultati indagini geofisiche”*.

6.6 Analisi congiunta M.A.S.W. – H.V.S.R.

L'analisi congiunta MASW-HVSR eseguita nel presente lavoro nei siti n°1 e 2 grazie al software WinMASW 3C 7.1, permette di superare le limitazioni delle prove eseguite singolarmente e quindi di ridurre notevolmente la possibilità di errore nell'elaborazione del modello finale, in quanto la metodologia MASW fornisce risultati adeguati per la caratterizzazione degli strati più superficiali di un sito mentre la tecnica HVSR consente di raggiungere strati più profondi.

Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato *“Risultati indagini geofisiche”*.

7. SITO N°1

7.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI

Il sito di intervento n°1 si sviluppa lungo la strada in oggetto per una lunghezza di circa 220m in località Coloreta; il contesto geologico è definito dalla presenza della Formazione del Macigno.

Nell'ambito delle opere in progetto il substrato affiora diffusamente lungo il versante di controripa della strada mentre nella parte valliva della stessa il substrato è mascherato con continuità da una coltre detritica naturale, mista a riporto antropico, che assume spessori da medi ad elevati.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	18

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Detto materiale detritico, incoerente - semi coerente, manifesta una certa variabilità granulometrica, dove una matrice sabbiosa limosa, localmente argillosa, ingloba clasti e trovanti litici arenacei.

Dove direttamente affiorante il substrato roccioso appare interessato da una marcata deformazione tettonica con grado di alterazione e fratturazione anche molto accentuato e tale da creare il distacco di blocchi litoidi di dimensioni medio piccole.

Dove rilevabili le superfici di strato immergono prevalentemente verso sud ovest con inclinazione nell'ordine dei 40° ponendosi pertanto a traverspoggio rispetto alla topografia del versante interessato dai lavori; locali differenze dai valori giaciturali riportati sono tuttavia rilevabili ed imputabili alla presenza di strutture deformative, di origine tettonica, a piccola e a media scala.

Si distinguono inoltre altre tre famiglie di discontinuità denominate K1, K2 e K3 così mediamente orientate:

K1: 90° (immersione) / 47° (inclinazione)

K2: 189° (Immersione) / 80° (inclinazione)

K4: 237° (Immersione) / 75° (inclinazione)

Nel complesso quindi le condizioni di conservazione sono da considerarsi da "discrete" a "scadenti", salvo peggiorare nelle porzioni più superficiali e nelle fasce a cavallo di faglie e fratture dove divengono "molto scadenti" tanto che la roccia si presenta talvolta una sabbia debolmente cementata in cui la stratificazione originaria non è più riconoscibile.

Dal punto di vista geomorfologico si distinguono due differenti tipologie di criticità: lungo la scarpata di controripa, distacco di blocchi litoidi di dimensioni medio piccole e fenomeni di erosione areale dovuta all'assenza di vegetazione mentre lungo il versante di sottoscarpa l'arretramento della corona di distacco di una frana esistente ha provocato il collasso parziale della sede stradale.

Per quanto riguarda gli aspetti idrografici e idrogeologici non sono state riscontrate linee di deflusso, pozzi, sorgenti o aree a ristagno prolungato così come dalle prove penetrometriche effettuate non è stata rilevata la presenza di acqua; le condizioni idrogeologiche generali sono tuttavia tali da non poter escludere la formazione, anche solo stagionale, di una attiva circolazione idrica impostata la contatto coltre detritica - substrato roccioso o negli orizzonti maggiormente fratturati del substrato.

7.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione del modello geologico - sismico dei terreni interessati dall'intervento n°1 e per una loro caratterizzazione geotecnica preliminare è stata eseguita una specifica campagna geognostica composta da:

- n°2 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DPSH01 e DPSH02) spinte fino allo stato di rifiuto all'avanzamento della punta strumentale, da attribuire all'incontro del substrato roccioso mediamente alterato e fratturato e precisamente alle profondità, da piano campagna, di 9,6 (DPSH01) e 7,2 (DPSH02)m;
- n°2 indagini geofisiche tipo sismica a rifrazione in onde P (B1 e B2);
- n°2 indagini geofisiche MASW (MASW1 e MASW2);
- n°2 indagini geofisiche HVSr (HVSr1 e HVSr2).

per l'esatta ubicazione delle indagini si rimanda alla Tav. 3a

7.3 STRATIGRAFIA

Sulla base delle osservazioni geologico - morfologiche e delle indagini eseguite in sito emergerebbe come, nell'area di intervento, i terreni in esame siano caratterizzati dalla presenza di un substrato roccioso, afferente il Macigno, che, dove non direttamente affiorante, è ricoperto da una coltre detritica naturale, mista a riporto antropico, di spessore da medio ad elevato.

Nello specifico sono stati distinti quattro livelli litostratigrafici denominati: Livello A, Livello B, Livello C e Livello D, di seguito descritti (cfr Tav. 4a1 e 4a2).

Livello A: dove presente, si sviluppa da piano campagna fino a profondità, dal piano campagna stesso, comprese tra 0,2 e 0,4m ed è composto da un insieme di sedimenti di riporto, da moderatamente addensati ad addensati, prevalentemente ghiaiosi.

Livello B: dove presente, si sviluppa inferiormente al Livello A fino a profondità, da piano campagna, comprese tra 4,0 e 5,6m ed identifica un insieme di sedimenti sabbioso limosi, da sciolti a poco addensati.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	19

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Livello C: dove presente, segue il livello B fino profondità, da piano campagna, comprese tra 7,0 e 9,4m ed identifica il substrato roccioso molto alterato e fratturato, assimilabile a detrito grossolano moderatamente addensato.

Livello D: dove non direttamente affiorante segue il Livello C e rappresenta il substrato roccioso, da mediamente a poco alterato e fratturato, all'interno del quale entrambe le prove penetrometriche sono andate a rifiuto.

7.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

Nel presente capitolo vengono proposti i valori rappresentativi dei parametri geotecnici dei terreni investigati.

Prima di entrare nel merito della parametrizzazione geotecnica dei livelli litostratigrafici riconosciuti, ai fini della progettazione, ritengo utile indicare quanto segue.

Nel Capitolo N°6 delle NTC 2008 per parametrizzazione geotecnica si intendono i valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni dove, per valore caratteristico, si intende una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.

Secondo le Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC (In pratica Valore operativo o di progetto basato sul giudizio del geotecnico) nelle valutazioni che il geotecnico deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici richiesti per la progettazione, appare giustificato, secondo il CSLP, il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (per esempio in fondazioni superficiali o in una frana dove il volume interessato dalla superficie di rottura è grande) con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati invece nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno (ad es. terreno di base di un palo, verifica a scorrimento di un muro), con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità.

La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni (ad esempio, effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata).

Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato.

Seguendo le prescrizioni dell'Eurocodice 7 per quanto riguarda i parametri caratteristici relativi alla: resistenza al taglio, al peso di volume e alla densità relativa, sulla famiglia di valori disponibili bisogna utilizzare il frattile del 5% (valore che ha solo il 5% di probabilità di essere minorato) derivante dalla formula: $V_k = V_m \cdot [1 - 1,645 \cdot (\sigma / V_m)]$

Ove:

- V_k : Valore caratteristico della resistenza
- V_m : Valore medio del parametro di resistenza considerato
- -1,645 : Coefficiente valido per il 5% percentile di una distribuzione gaussiana
- σ : Deviazione standard del campione.

Per quanto riguarda il modulo elastico ed edometrico, potrà essere utilizzato invece il frattile del 50% (mediana dei valori ottenuti), poiché non si è in presenza né di azione, né di resistenza.

A seguito di questa premessa, nel presente caso, la parametrizzazione geotecnica dei terreni detritici superficiali è stata estrapolata, oltre che da riferimenti ed informazioni bibliografiche inerenti terreni affini a quelli indagati, dalle interpretazioni dei risultati delle prove penetrometriche effettuate ed elaborate sulla base di correlazioni note in letteratura geotecnica; per una più dettagliata ed esauriente analisi dei risultati ottenuti sulle singole verticali di sondaggio si rimanda all'allegato: "prove penetrometriche".

Va precisato che, in merito ai parametri di resistenza al taglio dei terreni investigati, non essendo possibile con il tipo di prove eseguite, determinare la quota parte dovuta alla coesione e

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	20

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

quella dovuta all'angolo d'attrito, parametri entrambi presenti nei terreni in questione, si è ipotizzato, per una migliore schematizzazione del problema, che i livelli litostratigrafici riconosciuti manifestino un comportamento prevalentemente granulare incoerente ($\varphi' \neq 0$; $C' \approx 0$)

Sono di seguito indicate le correlazioni di riferimento utilizzate per definire i parametri geotecnici dei livelli litostratigrafici individuati sulla base dei valori di N_{10} e N_{spt} registrati:

Dr	(densità relativa)	: Meyerhof (1957)
φ	(angolo d'attrito interno)	: Meyerhof (1965)
Cu	(coesione non drenata)	: Terzaghi-Peck (per livelli B e C; valori da utilizzare solamente per le eventuali verifiche di stabilità dei fronti di scavo a breve termine)
C'	(coesione drenata)	: valutata 1/30 di Cu
γ	(peso di volume)	: Meyerhof ed altri
γ_s	(peso di volume saturo)	: Terzaghi-Peck (1948-1967)
Ey	(modulo elastico)	: Schultze-Menzenbach
M	(modulo edometrico)	: Begemann (1974).

Il substrato litoide è stato invece definito, dal punto di vista geomeccanico, attraverso il rilevamento geologico strutturale eseguito in sito.

7.4.1 Coltri di copertura

Alla coltre detritica di copertura è possibile associare i seguenti parametri geotecnici medi:

Livello A

Dr	=	100	%
γ	=	19,95	KN/m ³
γ_s	=	20,51	KN/m ³
φ'	=	39	°
C'	=	0,5	Kpa
Ey	=	16,6	MPa
M	=	8,65	MPa

Livello B

Dr	=	40	%
γ	=	14,61	KN/m ³
γ_s	=	18,44	KN/m ³
Cu	=	3,59	KPa
φ'	=	31	°
C'	=	0,12	Kpa
Ey	=	8,26	MPa
M	=	3,48	MPa

Livello C

Dr	=	62	%
γ	=	18,54	KN/m ³
γ_s	=	19,12	KN/m ³
Cu	=	99,83	Kpa
φ'	=	36	°
C'	=	3,28	Kpa
Ey	=	12	MPa
M	=	5,81	MPa

Circa i parametri geotecnici minimi si è ottenuto:

Livello A

Dr	=	100	%
γ	=	19,22	KN/m ³
γ_s	=	19,32	KN/m ³
φ'	=	37	°
C'	=	0,5	Kpa
Ey	=	12,89	MPa
M	=	6,40	MPa

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	21

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Livello B

Dr	=	39	%
γ	=	14,51	KN/m ³
γ_s	=	18,44	KN/m ³
Cu	=	3,59	Kpa
ϕ'	=	31	°
C'	=	0,12	Kpa
Ey	=	8,15	MPa
M	=	3,42	MPa

Livello C

Dr	=	59	%
γ	=	18,44	KN/m ³
γ_s	=	19,12	KN/m ³
Cu	=	99,83	Kpa
ϕ'	=	36	°
C'	=	3,23	Kpa
Ey	=	11,87	MPa
M	=	5,73	MPa

I parametri geotecnici caratteristici ricavati, così come definiti dell'Eurocodice 7, sono invece i seguenti:

Livello A

Dr	=	100	%
γ	=	18,75	KN/m ³
γ_s	=	19,56	KN/m ³
ϕ'	=	36	°
C'	=	0,5	Kpa
Ey	=	16,60	MPa
M	=	8,65	MPa

Livello B

Dr	=	39	%
γ	=	14,45	KN/m ³
γ_s	=	18,44	KN/m ³
Cu	=	3,39	KPa
ϕ'	=	31	°
C'	=	0,113	Kpa
Ey	=	8,26	MPa
M	=	3,48	MPa

Livello C

Dr	=	57	%
γ	=	18,38	KN/m ³
γ_s	=	19,12	KN/m ³
Cu	=	98,12	KPa
ϕ'	=	36	°
C'	=	3,27	Kpa
Ey	=	12	MPa
M	=	5,81	MPa

7.4.2 Substrato roccioso

Per la valutazione delle costanti e dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso affiorante è stato utilizzato il programma RocLab proposto dalla GeoStru, ricavando la parametrizzazione seguente, riferita alle peggiori condizioni geomeccaniche attese, definite in base all'esame degli affioramenti rocciosi:

PARAMETRI IMMESSI:

σ_{ci} = 25Mpa (la roccia si frattura con un colpo di martello)

GSI=33,

mi=17,

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	22

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasio

D=1 (associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

MR=275,

Ei (modulo elasticità)=200MPa

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 118,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: mb = 0.142, s=0, a=0.518. σ_{3max} = 1.875Mpa,

CRITERIO MOHR-COULOMB: c=0.217MPa, ϕ =19,870°.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: σ_t = 0.00Mpa (resistenza alla trazione), σ_c =0.0MPa (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), σ_{cm} =1.116MPa (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), Erm=6.170MPa (modulo di deformazione).

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 10,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: mb = 0.142, s=0, a=0.518. σ_{3max} = 0.198Mpa,

CRITERIO MOHR-COULOMB: c=0.046MPa, ϕ =37,080°.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: σ_t = 0.00Mpa (resistenza alla trazione), σ_c =0.0MPa (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), σ_{cm} =1.116MPa (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), Erm=6.170MPa (modulo di deformazione).

All'ammasso roccioso in oggetto è pertanto possibile assegnare i seguenti parametri geomeccanici:

Valori intrinseci dell'ammasso roccioso per elevate tensioni di confinamento

γ = 24,00 KN/m³

ϕ' = 20 °

C' = 0,217 MPa

Valori dell'ammasso roccioso per ridotte pressioni di confinamento

γ = 24,00 KN/m³

ϕ' = 37 °

C' = 0,046 MPa

7.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Per quanto riguarda i parametri sismici di base riferiti al progetto in questione il terreno potrà essere inserito, sulla base delle indagini geofisiche eseguite in sito in **categoria E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

Circa le condizioni topografiche, il coefficiente di amplificazione topografica, ST, può essere considerato pari a 1,2 (valore ricavato 1,79).

Per determinare i parametri sismici necessari alla definizione delle forme spettrali per il sito in esame si può riassumere quanto segue:

- coordinate geografiche dell'opera da verificare: latitudine: 44,124233 longitudine: 10,059118
- classe d'uso: 2
- vita nominale dell'edificio: 50 anni
- categoria topografica: T2 con coefficiente ST pari a 1,2
- categoria di suolo: E

i quali hanno permesso di ottenere in dettaglio quanto riportato in allegato "Parametri Sismici".

A riguardo delle fenomenologie indotte nei terreni di progetto da azioni sismiche, si può affermare che in riferimento alle granulometrie dei depositi individuati e delle caratteristiche idrogeologiche, la possibilità che possano verificarsi fenomeni legati alla liquefazione o alla densificazione dei sedimenti sia remota.

I fenomeni di instabilità geomorfologica rilevati in questo sito dalle verifiche e considerazioni effettuate con gli interventi previsti se realizzati a regola d'arte e se saranno soggetti a manutenzione periodica permetteranno di raggiungere, in questo tratto di versante, un sufficiente grado di stabilità anche in caso di evento sismico.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	23

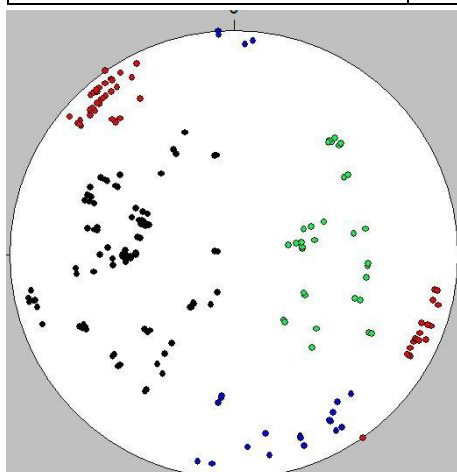
Relazione geologica	
Committente:	Lavori di consolidamento del versante in frana
Comune di Fosdinovo	della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciaso

7.6 CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI

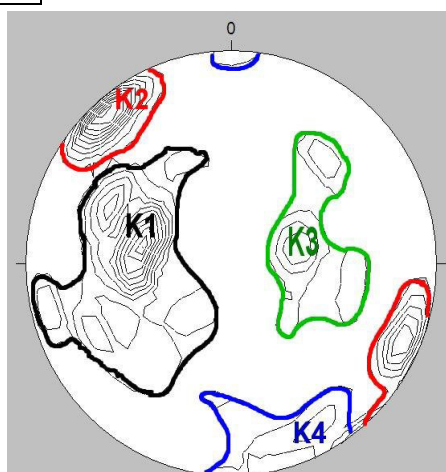
Le verifiche sono state eseguite sull'affioramento roccioso in corrispondenza del sito di intervento n°1 il fronte in oggetto presenta una lunghezza di circa 60m ed altezza di circa 10,0m e giacitura 330° (immersione) /66° (inclinazione).

Tutti i dati giacaturali (immersione ed inclinazione) delle discontinuità rilevate sono stati inseriti nel software Stereo Nett version 2.03 (Rhur – Universität-Bochum, Universitätsstr 150 D44701 Bochum, Germany, 1997) ed hanno permesso di identificare, attraverso l'utilizzo di proiezioni stereografiche, all'interno del litotipo afferente il Macigno della Falda Toscana, 4 famiglie di discontinuità lungo, i cui valori medi di immersione ed inclinazione sono di seguito riportati.

Famiglie di discontinuità	IMM. / INCL.
K1	90/47
K2	189/80
K3 (stratificazione)	264/41
K4	237/75
Fronte 1	330/66



Poli
fronte
sito 1



Famiglie
fronte
sito 1

Sulla base delle famiglie di discontinuità rilevate sono state eseguite le verifiche di stabilità sul fronte roccioso affiorante, seguendo la metodologia di analisi cinematica del test di Markland per ammassi rocciosi con reticolo Equi angolare di Wulff, che hanno fornito i seguenti risultati:

- instabilità allo scivolamento planare lungo la superficie di discontinuità K3;
 - condizione al limite della stabilità per scivolamento di un cuneo roccioso costituito dalle famiglie K2K3 e K3K4;
 - condizione al limite della stabilità per ribaltamento di un blocco roccioso lungo la discontinuità K2;
- le condizioni al limite della stabilità possono generare cinematismi in concomitanza di evento sismico e/o di eventi piovosi.

Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test"



Affioramento "Macigno" in corrispondenza del sito n°1; l'ammasso roccioso per tutta la lunghezza e l'altezza del fronte si presenta molto fratturato con resistenza a compressione è molto bassa: la roccia si rompe con solo un colpo di martello.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	24

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

8. SITO N°2

8.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI

Il sito di intervento n°2 si sviluppa lungo la strada in oggetto per una lunghezza di circa 90m subito a monte del Fosso di Acqua Nera; il contesto geologico è definito dalla presenza della Formazione del Macigno.

Nell'ambito delle opere in progetto il substrato affiora solo localmente nel versante di controripa della strada in quanto esso in prevalenza è mascherato da una coltre detritica naturale, mista a riporto antropico, che raggiunge spessori anche nell'ordine dei sei metri nel versante di sottoscarpa della sede stradale stessa.

Detto materiale detritico, incoerente - semi coerente, manifesta una certa variabilità granulometrica, dove una matrice sabbiosa limosa, localmente argillosa, ingloba clasti e trovanti litici arenacei.

Dove direttamente affiorante il substrato roccioso appare molto alterato e fratturato le condizioni di conservazione sono da considerarsi pertanto nel complesso da "scadenti" a "molto scadenti" in modo particolare nelle porzioni più superficiali.

Dal punto di vista geomorfologico si distinguono due differenti tipologie di criticità: lungo la scarpata di controripa, fenomeni erosivi sulla coltre detritica con fenomeni diffusi di soliflusso e soil creep che generano tronchi d'albero incurvati, con locali crolli di alberi di alto fusto; lungo la scarpata di valle si distinguono invece cedimenti con deformazioni della sede stradale

Per quanto riguarda gli aspetti idrografici a valle dell'area di intervento nasce il Fosso di Acqua Nera il cui corso non verrà minimamente alterato dalle opere in progetto.

Dal punto di vista idrogeologico non sono state riscontrati pozzi o aree a ristagno prolungato, tuttavia sono state rilevate, a monte della sede stradale, un'emergenza idrica per soglia di permeabilità mentre dalla prova penetrometrica, la presenza di acqua a partire dalla profondità, da piano campagna, di circa 2,9m; le condizioni idrogeologiche generali sono tuttavia tali da non poter escludere che tale livello, in concomitanza di eventi meteorici particolarmente intensi possa risalire fino a quote molto prossime al piano campagna.



emergenza idrica per soglia di permeabilità

8.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione del modello geologico - sismico dei terreni interessati dall'intervento n°2 e per una loro caratterizzazione geotecnica preliminare è stata eseguita una specifica campagna geognostica composta da:

- n°1 prova penetrometrica dinamica media (DPM01) spinta fino allo stato di rifiuto all'avanzamento della punta strumentale, da attribuire all'incontro del probabile substrato roccioso molto alterato e fratturato e precisamente alla profondità, da piano campagna, di 5,7m;
- n°1 indagine geofisica HVSR (HVSR1);
- n°1 indagine geofisica MASW (MASW1);

le indagini geofisiche HVSR e MASW sono state elaborate con metodo congiunto per l'esatta ubicazione delle indagini si rimanda alla Tav. 3b.

8.3 STRATIGRAFIA

Sulla base delle osservazioni geologico - morfologiche e delle indagini eseguite in sito emergerebbe come, nell'area di intervento, i terreni in esame siano caratterizzati dalla presenza di un

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	25

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

substrato roccioso, afferente il Macigno, che dove non direttamente affiorante è ricoperto da una coltre detritica naturale, mista a riporto antropico, che raggiunge spessori da medi ad elevati (cfr Tav. 4b).

Nello specifico sono stati distinti tre livelli litostratigrafici denominati: Livello A, Livello B e Livello C, di seguito descritti.

Livello A: dove presente, si sviluppa da piano campagna fino ad una profondità massima, dal piano campagna stesso, di circa 2,3m e costituisce un insieme di sedimenti, sciolti, sabbioso limosi

Livello B: dove presente, si estende inferiormente al Livello A fino a profondità, da piano campagna, di circa 5,6m ed identifica un insieme di sedimenti, moderatamente addensati, sabbioso limosi con clasti e trovanti litici.

Livello C: dove non direttamente affiorante, segue il Livello B e rappresenta il substrato roccioso alterato e fratturato all'interno del quale la prova penetrometrica è andata a rifiuto.

8.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

Nel presente capitolo vengono proposti i valori rappresentativi dei parametri geotecnici dei terreni investigati.

Prima di entrare nel merito della parametrizzazione geotecnica dei livelli litostratigrafici riconosciuti, ai fini della progettazione, ritengo utile indicare quanto segue.

Nel Capitolo N°6 delle NTC 2008 per parametrizzazione geotecnica si intendono i valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni dove, per valore caratteristico, si intende una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.

Secondo le Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC (In pratica Valore operativo o di progetto basato sul giudizio del geotecnico) nelle valutazioni che il geotecnico deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici richiesti per la progettazione, appare giustificato, secondo il CSLP, il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (per esempio in fondazioni superficiali o in una frana dove il volume interessato dalla superficie di rottura è grande) con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati invece nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno (ad es. terreno di base di un palo, verifica a scorrimento di un muro), con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità.

La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni (ad esempio, effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata).

Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato.

Seguendo le prescrizioni dell'Eurocodice 7 per quanto riguarda i parametri caratteristici relativi alla resistenza al taglio, sulla famiglia di valori disponibili bisogna utilizzare il frattile del 5% (valore che ha solo il 5% di probabilità di essere minorato) derivante dalla formula:

$$V_k = V_m * [1 - 1,645 * (\sigma / V_m)]$$

Con:

- V_k : Valore caratteristico della resistenza
- V_m : Valore medio del parametro di resistenza considerato
- 1,645 : Coefficiente valido per il 5% percentile di una distribuzione gaussiana
- σ : Deviazione standard del campione;

Per quanto riguarda il modulo elastico ed edometrico, potrà essere utilizzato invece il frattile del 50% (mediana dei valori ottenuti), poiché non si è in presenza né di azione, né di resistenza.

Da bibliografia tecnica è possibile inoltre ricavare tale valore caratteristico da un unico dato disponibile sfruttando la formula seguente:

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	26

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

$$V_k = V - 1,645 \cdot (COV \cdot V)$$

con

- V_k : Valore caratteristico della resistenza
- V : Valore disponibile del parametro di resistenza considerato
- $-1,645$: Coefficiente valido per il 5% percentile di una distribuzione gaussiana
- COV : coefficiente di variazione COV che può assumere i seguenti valori:

Angolo di attrito φ : 10 %

Coesione : 30 %

Modulo di comprimibilità : 40 %

Peso di volume : 5 %

A seguito di questa premessa, nel presente caso, la parametrizzazione geotecnica dei terreni detritici superficiali è stata estrapolata, oltre che da riferimenti ed informazioni bibliografiche inerenti terreni affini a quelli indagati, dalle interpretazioni dei risultati della prova penetrometrica effettuata ed elaborata sulla base di correlazioni note in letteratura geotecnica; per una più dettagliata ed esauriente analisi del risultato ottenuto sulla singola verticale di sondaggio si rimanda all'allegato: "prova penetrometrica".

Va precisato che, in merito ai parametri di resistenza al taglio dei terreni investigati, non essendo possibile con il tipo di prove eseguite, determinare la quotaparte dovuta alla coesione e quella dovuta all'angolo d'attrito, parametri entrambi presenti nei terreni in questione, si è ipotizzato, per una migliore schematizzazione del problema, che i livelli litostratigrafici riconosciuti manifestino un comportamento prevalentemente granulare incoerente ($\varphi' \neq 0$; $C' \approx 0$).

Sono di seguito indicate le correlazioni di riferimento utilizzate per definire i parametri geotecnici dei livelli litostratigrafici individuati sulla base dei valori di N_{10} e N_{spt} registrati:

Dr	(densità relativa)	: Meyerhof (1957)
φ	(angolo d'attrito interno)	: Meyerhof (1965)
φ_k	(angolo d'attrito interno valore caratteristico)	
Cu	(coesione non drenata)	: Terzaghi-Peck (per livelli A e B; valori da utilizzare solamente per le eventuali verifiche di stabilità dei fronti di scavo a breve termine)
Cuk	(coesione non drenata valore caratteristico)	
C'	(coesione drenata)	: valutata 1/30 di Cu
C'k	(Coesione drenata valore caratteristico)	
γ	(Peso di volume)	: Meyerhof ed altri
γ_K	(Peso di volume valore caratteristico)	
γ_s	(Peso di volume saturo)	: Terzaghi-Peck (1948-1967)
γ_{sk}	(Peso di volume saturo caratteristico)	
Ey	(Modulo elastico)	: Schultze-Menzenbach
Eyk	(Modulo elastico caratteristico)	
M	(Modulo edometrico)	: Begemann (1974).
Mk	(Modulo edometrico caratteristico)	

Il substrato litoide è stato invece definito, non essendo reperibili nelle vicinanze del sito di intervento affioramenti rappresentativi per una caratterizzazione geomeccanica di dettaglio degli ammassi rocciosi presenti, ipotizzando cautelativamente un substrato roccioso di qualità scadente.

Ai livelli litostratigrafici riconosciuti è possibile assimilare i seguenti parametri geotecnici

Valori nominali

Livello A

Dr	=13	%
γ	=14,02	KN/m ³
γ_s	=18,34	KN/m ³
Cu	=16,48	Kpa
φ	=31	°
C'	=0,54	Kpa
Ey	=7,85	MPa
M	=3,24	MPa

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	27

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Livello B

Dr	=66	%
γ	=17,85	KN/m ³
γ_s	=19,02	KN/m ³
Cu	=85,12	Kpa
ϕ	=35	°
C'	=2,84	Kpa
Ey	=11,15	MPa
M	=5,28	MPa

Livello C

RMR _{base'}	= 40	(classe 4 di Bieniawski 1973 – 1989, descritta come scadente)
C'	= 200	KPa
ϕ'	= 25	°
γ	= 24	KN/m ³

Valori caratteristici

Livello A

Dr	=11	%
γ_k	=13,89	KN/m ³
γ_{sk}	=16,83	KN/ m ³
Cuk	=8,34	
ϕ_k	=26	°
C'K	=0,28	Kpa
Eyk	=2,68	MPa
Mk	=1,11	MPa.

Livello B

Dr	=55	%
γ_k	=16,38	KN/m ³
γ_{sk}	=17,45	KN/ m ³
Cuk	=43,11	Kpa
ϕ_k	=29	°
C'	=1,43	Kpa
Eyk	=4,54	MPa
Mk	=2,26	MPa.

Livello C

RMR _{base'}	= 40	(classe 4 di Bieniawski 1973 – 1989, descritta come scadente)
C'	= 200	KPa
ϕ'	= 25	°
γ	= 24	KN/m ³

8.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Per quanto riguarda i parametri sismici di base riferiti al progetto in questione il terreno potrà essere inserito, sulla base delle indagini geofisiche eseguite in sito in **categoria E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

Circa le condizioni topografiche, il coefficiente di amplificazione topografica, ST, può essere considerato pari a 1,2 (valore ricavato 1,180).

Per determinare i parametri sismici necessari alla definizione delle forme spettrali per il sito in esame si può riassumere quanto segue:

- coordinate geografiche dell'opera da verificare: latitudine: 44,12571 longitudine:10,060705
- classe d'uso: 2
- vita nominale dell'edificio: 50 anni
- categoria topografica: T2 con coefficiente ST pari a 1,2
- categoria di suolo: E

i quali hanno permesso di ottenere in dettaglio quanto riportato in allegato "Parametri Sismici".

A riguardo delle fenomenologie indotte nei terreni di progetto da azioni sismiche, si può affermare che in riferimento alle granulometrie dei depositi individuati e delle caratteristiche idrogeologiche, la possibilità che possano verificarsi fenomeni legati alla liquefazione o alla densificazione dei sedimenti sia remota.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	28

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

I fenomeni di instabilità geomorfologica rilevati in questo sito dalle verifiche e considerazioni effettuate con gli interventi previsti se realizzati a regola d'arte e se saranno soggetti a manutenzione periodica permetteranno di raggiungere in questo tratto di versante un sufficiente grado di stabilità anche in caso di evento sismico.

9. SITO N°3

9.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI

Il sito di intervento n°3 si sviluppa lungo la strada in oggetto per una lunghezza di circa 65m alla quota compresa di circa 580m; il contesto geologico è definito dalla presenza della Formazione del Macigno.

Nell'ambito delle opere in progetto, il substrato affiora solo localmente lungo il versante di controripa della strada mentre nella parte valliva della stessa, il substrato è mascherato con continuità da una coltre detritica naturale, mista a riporto antropico, che assume spessori anche considerevoli e nell'ordine dei 15m.

Detto materiale detritico, incoerente - semi coerente, manifesta una certa variabilità granulometrica, dove una matrice sabbiosa limosa, localmente argillosa, ingloba clasti e trovanti litici arenacei.

Dove direttamente affiorante il substrato roccioso appare interessato da una marcata deformazione tettonica con grado di alterazione e fratturazione anche molto accentuato e tale da creare il distacco di blocchi litoidi di dimensioni medio piccole.

Dove rilevabili le superfici di strato immergono prevalentemente verso sud ovest con inclinazione compresa tra 20 e 70° ponendosi pertanto a traverspoggio rispetto alla topografia del versante interessato dai lavori; locali differenze dai valori giacitureli riportati sono tuttavia rilevabili ed imputabili alla presenza di strutture deformative, di origine tettonica, a piccola e a media scala.

Si distinguono inoltre altre tre famiglie di discontinuità denominate K1, K2 e K4 così mediamente orientate:

K1: 87° (immersione) / 68° (inclinazione)

K2: 183° (Immersione) / 79° (inclinazione)

K4: 281° (Immersione) / 43° (inclinazione)

Nel complesso quindi le condizioni di conservazione sono da considerarsi da "discrete" a "scadenti", salvo peggiorare nelle porzioni più superficiali e nelle fasce a cavallo di faglie e fratture dove divengono "molto scadenti" tanto che la roccia si presenta talvolta una sabbia debolmente cementata in cui la stratificazione originaria non è più riconoscibile.

Dal punto di vista geomorfologico a valle nell'area di intervento si distingue un corpo franoso di notevoli dimensioni che la bibliografia, nella zona a valle dell'intervento, classifica come attivo.

In particolare il tratto di strada in oggetto si posiziona nella testata della zona di distacco del dissesto suddetto, subito a valle del coronamento, la cui scarpata principale costituisce il versante di controripa della strada stessa.

Queste condizioni, unitamente allo scarso funzionamento dei sistemi di drenaggio stradali, hanno generato diffusi cedimenti della sede stradale con la formazione di fratture di trazione, che favoriscono inevitabilmente l'infiltrazione delle acque di ruscellamento superficiale nel corpo detritico provocandone un progressivo scadimento delle caratteristiche geomeccaniche.

Il versante di controripa manifesta invece per la presenza di scarsa vegetazione diffusi segni di erosione della coltre detritica oltre al distacco di blocchi litoidi di piccole dimensioni nelle pareti rocciose.

Per quanto riguarda gli aspetti idrografici e idrogeologici non sono state riscontrate linee di deflusso, pozzi, sorgenti o aree a ristagno prolungato così come dalle prove penetrometriche effettuate non è stata rilevata la presenza di acqua; le condizioni idrogeologiche generali sono tuttavia tali da non poter escludere la formazione anche solo stagionale di una attiva circolazione idrica impostata la contatto coltre detritica - substrato roccioso o negli orizzonti maggiormente fratturati del substrato.

9.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione del modello geologico - sismico dei terreni interessati dall'intervento n°3 e per una loro caratterizzazione geotecnica preliminare è stata eseguita una specifica campagna geognostica composta da:

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	29

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

- n°2 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DPSH01 e DPSH02) spinte fino allo stato di rifiuto all'avanzamento della punta strumentale, da attribuire all'incontro del substrato roccioso mediamente alterato e fratturato e precisamente alle profondità, da piano campagna, di 15,8 (DPSH01) e 14,0 (DPSH02)m;
- n°1 indagine geofisica tipo sismica a rifrazione in onde P (B1);
- n°1 indagine geofisica MASW (MASW1);
- n°2 indagini geofisiche HVSR (HVSR1, HVSR2).

per l'esatta ubicazione delle indagini si rimanda alla Tav. 3c

9.3 STRATIGRAFIA

Sulla base delle osservazioni geologico – morfologiche e delle indagini eseguite in sito emergerebbe come, nell'area di intervento, i terreni in esame siano caratterizzati dalla presenza di un substrato roccioso afferente il Macigno che, dove non direttamente affiorante, è ricoperto da una coltre detritica naturale, mista a riporto antropico, da spessa a molto spessa.

Nello specifico sono stati distinti quattro livelli litostratigrafici denominati: Livello A, Livello B, Livello C e Livello D, di seguito descritti (cfr. Tav. le 4c1, 4c2, 4c3 e 4c4).

Livello A: dove presente, si sviluppa da piano campagna fino a profondità, dal piano campagna stesso, di circa 0,6m ed è composto da un insieme di sedimenti di riporto, da addensati a molto addensati, prevalentemente ghiaiosi.

Livello B: dove presente, si sviluppa inferiormente al Livello A o direttamente da piano campagna fino a profondità, dal piano campagna stesso, comprese tra 5,0 e 8,0m ed identifica un insieme di sedimenti sabbioso limosi, poco addensati.

Livello C: dove presente, segue il livello B fino profondità, da piano campagna, comprese tra 13,8 e 15,6m ed identifica il substrato roccioso, molto alterato e fratturato assimilabile a detrito grossolano moderatamente addensato.

Livello D: dove non direttamente affiorante segue il Livello C e rappresenta il substrato roccioso, da mediamente a poco alterato e fratturato, all'interno del quale entrambe le prove penetrometriche sono andate a rifiuto.

9.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

Nel presente capitolo vengono proposti i valori rappresentativi dei parametri geotecnici dei terreni investigati.

Prima di entrare nel merito della parametrizzazione geotecnica dei livelli litostratigrafici riconosciuti, ai fini della progettazione, ritengo utile indicare quanto segue.

Nel Capitolo N°6 delle NTC 2008 per parametrizzazione geotecnica si intendono i valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni dove, per valore caratteristico, si intende una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.

Secondo le Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC (In pratica Valore operativo o di progetto basato sul giudizio del geotecnico) nelle valutazioni che il geotecnico deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici richiesti per la progettazione, appare giustificato, secondo il CSLP, il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (per esempio in fondazioni superficiali o in una frana dove il volume interessato dalla superficie di rottura è grande) con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati invece nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno (ad es. terreno di base di un palo, verifica a scorrimento di un muro), con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità.

La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni (ad esempio, effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata).

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	30

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato.

Seguendo le prescrizioni dell'Eurocodice 7 per quanto riguarda i parametri caratteristici relativi alla: resistenza al taglio, al peso di volume e alla densità relativa, sulla famiglia di valori disponibili bisogna utilizzare il frattile del 5% (valore che ha solo il 5% di probabilità di essere minorato) derivante dalla formula: $V_k = V_m \cdot [1 - 1,645 \cdot (\sigma / V_m)]$

Ove:

- V_k : Valore caratteristico della resistenza
- V_m : Valore medio del parametro di resistenza considerato
- -1,645 : Coefficiente valido per il 5% percentile di una distribuzione gaussiana
- σ : Deviazione standard del campione.

Per quanto riguarda il modulo elastico ed edometrico, potrà essere utilizzato invece il frattile del 50% (mediana dei valori ottenuti), poiché non si è in presenza né di azione, né di resistenza.

A seguito di questa premessa, nel presente caso, la parametrizzazione geotecnica dei terreni detritici superficiali è stata estrapolata, oltre che da riferimenti ed informazioni bibliografiche inerenti terreni affini a quelli indagati, dalle interpretazioni dei risultati delle prove penetrometriche effettuate ed elaborate sulla base di correlazioni note in letteratura geotecnica; per una più dettagliata ed esauriente analisi dei risultati ottenuti sulle singole verticali di sondaggio si rimanda all'allegato: "prove penetrometriche".

Va precisato che, in merito ai parametri di resistenza al taglio dei terreni investigati, non essendo possibile con il tipo di prove eseguite, determinare la quota parte dovuta alla coesione e quella dovuta all'angolo d'attrito, parametri entrambi presenti nei terreni in questione, si è ipotizzato, per una migliore schematizzazione del problema, che i livelli litostratigrafici riconosciuti manifestino un comportamento prevalentemente granulare incoerente ($\phi' \neq 0$; $C' \approx 0$)

Sono di seguito indicate le correlazioni di riferimento utilizzate per definire i parametri geotecnici dei livelli litostratigrafici individuati sulla base dei valori di N_{10} e N_{spt} registrati:

Dr	(densità relativa)	: Meyerhof (1957)
ϕ	(angolo d'attrito interno)	: Meyerhof (1965)
Cu	(coesione non drenata)	: Terzaghi-Peck (per livelli B e C; valori da utilizzare solamente per le eventuali verifiche di stabilità dei fronti di scavo a breve termine)
C'	(coesione drenata)	: valutata 1/30 di Cu
γ	(peso di volume)	: Meyerhof ed altri
γ_s	(peso di volume saturo)	: Terzaghi-Peck (1948-1967)
Ey	(modulo elastico)	: Schultze-Menzenbach
M	(modulo edometrico)	: Begemann (1974).

Il substrato litoide è stato invece definito, dal punto di vista geomeccanico, attraverso il rilevamento geologico strutturale eseguito in sito.

9.4.1 Coltri di copertura

Alla coltre detritica di copertura è possibile associare i seguenti parametri geotecnici medi:

Livello A

Dr	=	100	%
γ	=	21,52	KN/m ³
γ_s	=	21,97	KN/m ³
ϕ'	=	37	°
C'	=	0,5	Kpa
Ey	=	37,28	MPa
M	=	21,55	MPa

Livello B

Dr	=	44	%
γ	=	15,25	KN/m ³
γ_s	=	18,53	KN/m ³
Cu	=	32,61	KPa
ϕ'	=	32	°
C'	=	1,09	Kpa
Ey	=	9,74	MPa
M	=	3,77	MPa

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	31

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Livello C

Dr	=	62	%
γ	=	20,01	KN/m ³
γ_s	=	20,77	KN/m ³
Cu	=	149,36	
ϕ'	=	38	°
C'	=	4,98	Kpa
Ey	=	34,68	MPa
M	=	7,24	MPa

Circa i parametri geotecnici minimi si è ottenuto:

Livello A

Dr	=	100	%
γ	=	21,52	KN/m ³
γ_s	=	21,97	KN/m ³
ϕ'	=	37	°
C'	=	0,5	Kpa
Ey	=	37,28	MPa
M	=	21,55	MPa

Livello B

Dr	=	41	%
γ	=	15,20	KN/m ³
γ_s	=	18,53	KN/m ³
Cu	=	32,07	KPa
ϕ'	=	32	°
C'	=	1,07	Kpa
Ey	=	9,70	MPa
M	=	3,76	MPa

Livello C

Dr	=	61	%
γ	=	19,91	KN/m ³
γ_s	=	20,92	KN/m ³
Cu	=	143,86	Kpa
ϕ'	=	38	°
C'	=	4,80	Kpa
Ey	=	33,92	MPa
M	=	7,07	MPa

I parametri geotecnici caratteristici ricavati, così come definiti dell'Eurocodice 7, sono invece i seguenti:

Livello A

Dr	=	100	%
γ	=	21,52	KN/m ³
γ_s	=	21,97	KN/m ³
ϕ'	=	37	°
C'	=	0,5	Kpa
Ey	=	37,28	MPa
M	=	21,55	MPa

Livello B

Dr	=	40	%
γ	=	15,17	KN/m ³
γ_s	=	18,53	KN/m ³
Cu	=	31,72	Kpa
ϕ'	=	32	°
C'	=	1,06	Kpa
Ey	=	8,71	MPa
M	=	3,77	MPa

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	32

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Livello C

Dr	=	60	%
γ	=	19,85	KN/m ³
γ_s	=	20,51	KN/m ³
Cu	=	140,32	kpA
ϕ'	=	38	°
C'	=	4,68	Kpa (0,05Kg/cm ²)
Ey	=	34,67	MPa
M	=	7,24	MPa

9.4.2 Substrato roccioso

Per la valutazione delle costanti e dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso affiorante è stato utilizzato il programma RocLab proposto dalla GeoStru, ricavando la parametrizzazione seguente, riferita alle peggiori condizioni geomeccaniche attese, definite in base all'esame degli affioramenti rocciosi:

PARAMETRI IMMESSI:

$\sigma_c = 25\text{Mpa}$ (la roccia si frattura con un colpo di martello)

GSI=16,

mi=17,

D=1 (associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

MR=275,

Ei (modulo elasticità)=200MPa

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 161,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: mb = 0.164, s=0, a=0.516. $\sigma_{3\text{max}} = 2.508\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: c=0.27MPa, $\phi = 19,8^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0.0\text{Mpa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 1.220\text{Mpa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm} = 6.60\text{Mpa}$ (modulo di deformazione).

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 10,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: mb = 0.164, s=0, a=0.516. $\sigma_{3\text{max}} = 0.20\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: c=0.005MPa, $\phi = 38,5^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0.0\text{Mpa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 1.220\text{Mpa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm} = 6.60\text{Mpa}$ (modulo di deformazione).

All'ammasso roccioso in oggetto è pertanto possibile assegnare i seguenti parametri geomeccanici:

Valori intrinseci dell'ammasso roccioso per elevate tensioni di confinamento

γ	=	24,00	KN/m ³
ϕ'	=	20	°
C'	=	0,271	MPa

Valori dell'ammasso roccioso per ridotte pressioni di confinamento

γ	=	24,00	KN/m ³
ϕ'	=	38	°
C'	=	0,05	MPa

9.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Per quanto riguarda i parametri sismici di base riferiti al progetto in questione il terreno potrà essere inserito, sulla base delle indagini geofisiche eseguite in sito in categoria E: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	33

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Circa le condizioni topografiche, il coefficiente di amplificazione topografica, ST, può essere considerato pari a 1,1 (valore ricavato 1,09).

Per determinare i parametri sismici necessari alla definizione delle forme spettrali per il sito in esame si può riassumere quanto segue:

- coordinate geografiche dell'opera da verificare: latitudine: 44,131051 longitudine: 10,061144
- classe d'uso: 2
- vita nominale dell'edificio: 50 anni
- categoria topografica: T2 con coefficiente ST pari a 1,1
- categoria di suolo: E

i quali hanno permesso di ottenere in dettaglio quanto riportato in allegato "Parametri Sismici".

A riguardo delle fenomenologie indotte nei terreni di progetto da azioni sismiche, si può affermare che in riferimento alle granulometrie dei depositi individuati e delle caratteristiche idrogeologiche, la possibilità che possano verificarsi fenomeni legati alla liquefazione o alla densificazione dei sedimenti sia remota.

I fenomeni di instabilità geomorfologica rilevati in questo sito dalle verifiche e considerazioni effettuate con gli interventi previsti se realizzati a regola d'arte e se saranno soggetti a manutenzione periodica permetteranno di raggiungere in questo tratto di versante un sufficiente grado di stabilità anche in caso di evento sismico.

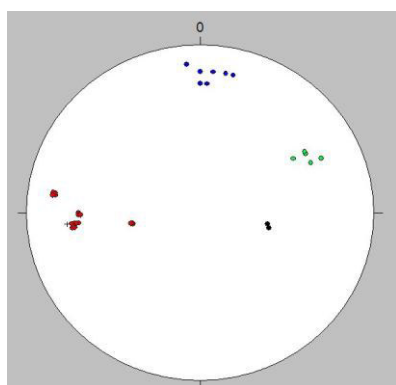
9.6 CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI

Le verifiche sono state eseguite sull'affioramento roccioso in corrispondenza del sito di intervento n°3 il fronte in oggetto presenta una giacitura una lunghezza di circa 15m ed altezza di 10m e giacitura 12° (immersione) /55° (inclinazione).

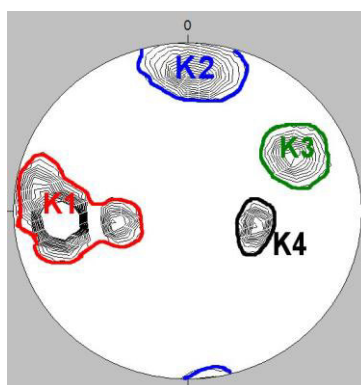
Tutti i dati giacaturali (immersione ed inclinazione) delle discontinuità rilevate sono stati inseriti nel software Stereo Nett version 2.03 (Rhur – Universität-Bochum, Universitätsstr 150 D44701 Bochum, Germany, 1997) ed hanno permesso di identificare, attraverso l'utilizzo di proiezioni stereografiche, all'interno del litotipo afferente il Macigno della Falda Toscana 4 famiglie di discontinuità lungo, i cui valori medi di immersione ed inclinazione sono di seguito riportati

Famiglie di discontinuità	IMM. / INCL.
K1	87°/68°
K2	183°/79°
K3 (strato)	241°/70°
K4	281°/43°

distribuzione dei poli delle discontinuità e riconoscimento delle famiglie K1-K2-K3-K4



Poli fronte sito 3



Famiglie fronte sito 3



Affioramento "Macigno" nel sito n°3

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	34

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso



Affioramento "Macigno" nel sito n°3
con distacco di blocchi litoidi

Sulla base delle famiglie di discontinuità rilevate sono state eseguite le verifiche di stabilità sul fronte roccioso affiorante, seguendo la metodologia di analisi cinematica del test di Markland per ammassi rocciosi con reticolo Equi angolare di Wulff, che hanno fornito i seguenti risultati:

- instabilità a ribaltamento per la famiglia di discontinuità K2
- condizione al limite della stabilità per scivolamento di un cuneo roccioso costituito dalle famiglie K3 e K4; questo cinematismo potrà attivarsi a seguito di evento sismico o di precipitazioni piovose.

le condizioni al limite della stabilità possono generare cinematismi in concomitanza di evento sismico e/o di eventi piovosi.

Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test".

10. SITO N°4

10.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI

Il sito di intervento n°4 si sviluppa lungo la strada in oggetto per una lunghezza di circa 70m alla quota di circa 550m slm; il contesto geologico del sito è abbastanza complesso in quanto si trovano, in contatto stratigrafico tra loro: la Scaglia Toscana, i diaspri, le Marne a Posidonia e il Calcare selcifero di Limano.

Nell'ambito delle opere in progetto il substrato non affiora in quanto è mascherato con continuità da una coltre detritica naturale, mista a riporto antropico, che assume spessori massimi nell'ordine degli otto metri.

Detto materiale detritico, incoerente - semi coerente, manifesta una certa variabilità granulometrica, dove una matrice sabbiosa limosa, localmente argillosa, ingloba clasti e trovanti litici.

Il substrato con i diaspri e il calcare selcifero di Limano, affiora solo localmente ai margini del sito di intervento, nel versante di controripa della sede stradale.

Dove direttamente affiorante appare interessato da una marcata deformazione tettonica con grado di alterazione e fratturazione da medio ad elevato e tale da creare il distacco di blocchi litoidi di dimensioni medio piccole.

Dal punto di vista geomorfologico si distingue un movimento franoso attivo complesso che ha interessato con il suo cinematismo l'intero tratto stradale con uno sviluppo lineare di circa 40m.

Questa condizione di instabilità è generata principalmente dalle condizioni geologiche del sito, caratterizzato dal contatto tra litotipi con caratteristiche litotecniche e idrogeologiche differenti che favoriscono, in questa zona, una buona circolazione d'acqua con conseguenti fenomeni di alterazione e fatturazione del substrato e formazione di coltri detritiche che se imbibite possono generare fenomeni di disequilibrio.

Per quanto riguarda gli aspetti idrografici, il tratto di strada in oggetto intercetta un corso d'acqua il cui deflusso in condizioni normali è garantito dalla presenza di un tubo fonsider che si sviluppa sotto la sede stradale.

Circa gli aspetti idrogeologici non sono stati riscontrati pozzi, sorgenti o aree a ristagno prolungato così come dalle prove penetrometriche effettuate non è stata rilevata la presenza di acqua; le condizioni idrogeologiche generali sono tuttavia tali da non poter escludere la formazione, anche solo stagionale, di una attiva circolazione idrica impostata la contatto coltre detritica - substrato roccioso o negli orizzonti maggiormente fratturati del substrato.

10.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione del modello geologico - sismico dei terreni interessati dall'intervento n°4 e per una loro caratterizzazione geotecnica preliminare è stata eseguita una specifica campagna geognostica composta da:

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	35

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

- n°2 prove penetrometriche dinamiche super pesanti (DPSH01 e DPSH02) spinte fino allo stato di rifiuto all'avanzamento della punta strumentale, da attribuire all'incontro del substrato roccioso mediamente alterato e fratturato e precisamente alle profondità, da piano campagna, di 7,6 (DPSH01) e 7,8 (DPSH02)m;
 - n°2 indagini geofisiche tipo sismica a rifrazione in onde P (B1 e B2);
 - n°2 indagini geofisiche MASW (MASW1 e MASW2).
- per l'esatta ubicazione delle indagini si rimanda alla Tav. 3d

10.3 STRATIGRAFIA

Sulla base delle osservazioni geologico – morfologiche e delle indagini eseguite in sito emergerebbe come, nell'area di intervento, i terreni in esame siano caratterizzati dalla presenza di un substrato roccioso eterogeneo ricoperto da una coltre detritica naturale mista a riporto antropico di spessore da medio ad elevato.

Nello specifico sono stati distinti quattro livelli litostratigrafici denominati: Livello A, Livello B, Livello C e Livello D, di seguito descritti (cfr. Tav. 4d).

Livello A: dove presente, si sviluppa da piano campagna fino a profondità, dal piano campagna stesso, comprese tra 0,4 e 0,6m ed è composto da un insieme di sedimenti di riporto, molto addensati ad addensati, prevalentemente ghiaiosi.

Livello B: dove presente, si sviluppa inferiormente al Livello A o direttamente da piano campagna fino a profondità, dal piano campagna stesso, comprese tra 3,0 e 4,4m ed identifica un insieme di sedimenti sabbioso limosi, poco addensati.

Livello C: dove presente, segue il livello B fino profondità, da piano campagna, comprese tra 7,4 e 8,0m ed identifica il substrato roccioso, molto alterato e fratturato assimilabile a detrito grossolano moderatamente addensato.

Livello D: dove non direttamente affiorante segue il Livello C e rappresenta il substrato roccioso, da mediamente a poco alterato e fratturato, all'interno del quale entrambe le prove penetrometriche sono andate a rifiuto.

10.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

Nel presente capitolo vengono proposti i valori rappresentativi dei parametri geotecnici dei terreni investigati.

Prima di entrare nel merito della parametrizzazione geotecnica dei livelli litostratigrafici riconosciuti, ai fini della progettazione, ritengo utile indicare quanto segue.

Nel Capitolo N°6 delle NTC 2008 per parametrizzazione geotecnica si intendono i valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni dove, per valore caratteristico, si intende una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.

Secondo le Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC (In pratica Valore operativo o di progetto basato sul giudizio del geotecnico) nelle valutazioni che il geotecnico deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici richiesti per la progettazione, appare giustificato, secondo il CSLP, il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (per esempio in fondazioni superficiali o in una frana dove il volume interessato dalla superficie di rottura è grande) con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidezza sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati invece nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno (ad es. terreno di base di un palo, verifica a scorrimento di un muro), con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidezza.

La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni (ad esempio, effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata).

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	36

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato.

Seguendo le prescrizioni dell'Eurocodice 7 per quanto riguarda i parametri caratteristici relativi alla: resistenza al taglio, al peso di volume e alla densità relativa, sulla famiglia di valori disponibili bisogna utilizzare il frattile del 5% (valore che ha solo il 5% di probabilità di essere minorato) derivante dalla formula: $V_k = V_m \cdot [1 - 1,645 \cdot (\sigma / V_m)]$

Ove:

- V_k : Valore caratteristico della resistenza
- V_m : Valore medio del parametro di resistenza considerato
- -1,645 : Coefficiente valido per il 5% percentile di una distribuzione gaussiana
- σ : Deviazione standard del campione.

Per quanto riguarda il modulo elastico ed edometrico, potrà essere utilizzato invece il frattile del 50% (mediana dei valori ottenuti), poiché non si è in presenza né di azione, né di resistenza.

A seguito di questa premessa, nel presente caso, la parametrizzazione geotecnica dei terreni detritici superficiali è stata estrapolata, oltre che da riferimenti ed informazioni bibliografiche inerenti terreni affini a quelli indagati, dalle interpretazioni dei risultati delle prove penetrometriche effettuate ed elaborate sulla base di correlazioni note in letteratura geotecnica; per una più dettagliata ed esauriente analisi dei risultati ottenuti sulle singole verticali di sondaggio si rimanda all'allegato: "prove penetrometriche".

Va precisato che, in merito ai parametri di resistenza al taglio dei terreni investigati, non essendo possibile con il tipo di prove eseguite, determinare la quotaparte dovuta alla coesione e quella dovuta all'angolo d'attrito, parametri entrambi presenti nei terreni in questione, si è ipotizzato, per una migliore schematizzazione del problema, che i livelli litostratigrafici riconosciuti manifestino un comportamento prevalentemente granulare incoerente ($\varphi' \neq 0$; $C' = 0$)

Sono di seguito indicate le correlazioni di riferimento utilizzate per definire i parametri geotecnici dei livelli litostratigrafici individuati sulla base dei valori di N_{10} e N_{spt} registrati:

Dr	(densità relativa)	: Meyerhof (1957)
φ	(angolo d'attrito interno)	: Meyerhof (1965)
Cu	(coesione non drenata)	: Terzaghi-Peck (per livelli B e C; valori da utilizzare solamente per le eventuali verifiche di stabilità dei fronti di scavo a breve termine)
C'	(coesione drenata)	: valutata 1/30 di Cu
γ	(peso di volume)	: Meyerhof ed altri
γ_s	(peso di volume saturo)	: Terzaghi-Peck (1948-1967)
Ey	(modulo elastico)	: Schultze-Menzenbach
M	(modulo edometrico)	: Begemann (1974).

Il substrato litoide è stato invece definito, dal punto di vista geomeccanico, attraverso il rilevamento geologico strutturale eseguito in sito.

10.4.1 Coltri di copertura

Alla coltre detritica di copertura è possibile associare i seguenti parametri geotecnici medi:

Livello A

Dr	=	100	%
γ	=	20,59	KN/m ³
γ_s	=	20,81	KN/m ³
φ'	=	39	°
C'	=	0,5	Kpa
Ey	=	15,64	MPa
M	=	8,07	MPa

Livello B

Dr	=	46	%
γ	=	15,30	KN/m ³
γ_s	=	18,53	KN/m ³
Cu	=	33,25	KPa
φ'	=	32	°
C'	=	1,11	KPa
Ey	=	8,75	MPa
M	=	3,79	MPa

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	37

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Livello C

Dr	=	69	%
γ	=	19,47	KN/m ³
γ_s	=	16,62	KN/m ³
Cu	=	135,48	KPa
ϕ'	=	37	°
C'	=	4,52	KPa
Ey	=	13,37	MPa
M	=	6,67	MPa

Circa i parametri geotecnici minimi si è ottenuto:

Livello A

Dr	=	100	%
γ	=	20,59	KN/m ³
γ_s	=	20,81	KN/m ³
ϕ'	=	39	°
C'	=	0,5	Kpa
Ey	=	15,56	MPa
M	=	8,02	MPa

Livello B

Dr	=	43	%
γ	=	15,00	KN/m ³
γ_s	=	18,53	KN/m ³
Cu	=	28,93	KPa
ϕ'	=	32	°
C'	=	0,96	KPa
Ey	=	8,52	MPa
M	=	3,64	MPa

Livello C

Dr	=	68	%
γ	=	19,42	KN/m ³
γ_s	=	19,62	KN/m ³
Cu	=	131,70	KPa
ϕ'	=	37	°
C'	=	4,39	KPa
Ey	=	13,31	MPa
M	=	6,62	MPa

I parametri geotecnici caratteristici ricavati, così come definiti dell'Eurocodice 7, sono invece i seguenti:

Livello A

Dr	=	100	%
γ	=	20,59	KN/m ³
γ_s	=	20,81	KN/m ³
ϕ'	=	39	°
C'	=	0,5	Kpa
Ey	=	15,64	MPa
M	=	8,07	MPa

Livello B

Dr	=	41	%
γ	=	14,81	KN/m ³
γ_s	=	18,53	KN/m ³
Cu	=	26,15	KPa
ϕ'	=	32	°
C'	=	0,87	Kpa
Ey	=	8,75	MPa
M	=	3,79	MPa

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	38

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Livello C

Dr	=	67	%
γ	=	19,38	KN/m ³
γ_s	=	19,62	KN/m ³
Cu	=	129,27	KPa
ϕ'	=	37	°
C'	=	4,31	KPa
Ey	=	13,37	MPa
M	=	6,62	MPa

10.4.2 Substrato roccioso

Per la valutazione delle costanti e dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso affiorante è stato utilizzato il programma RocLab proposto dalla GeoStru, ricavando la parametrizzazione seguente, riferita alle peggiori condizioni geomeccaniche attese, definite in base all'esame degli affioramenti rocciosi:

PARAMETRI IMMESSI:

$\sigma_c = 40\text{Mpa}$ (CALCARE SELCIFERO DI LIMANO la roccia si frattura con un colpo di martello)

GSI=25,

mi=8,

D=1 (associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

MR=900,

Ei (modulo elasticità)=200MPa

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 130,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: mb = 0.038, s=0, a=0.531. $\sigma_{3\text{max}} = 0.279\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: c=0.137MPa, $\phi = 13,17^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0.0\text{Mpa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 0.814\text{Mpa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), Erm=5.060MPa (modulo di deformazione).

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 4,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: mb = 0.038, s=0, a=0.531. $\sigma_{3\text{max}} = 0.084\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: c=0.017MPa, $\phi = 34,450^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0.0\text{Mpa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 0.814\text{Mpa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), Erm=5.060MPa (modulo di deformazione).

All'ammasso roccioso in oggetto è pertanto possibile assegnare i seguenti parametri geomeccanici:

Valori intrinseci dell'ammasso roccioso per elevate tensioni di confinamento

γ	=	24,00	KN/m ³
ϕ'	=	13	°
C'	=	0,137	MPa

Valori dell'ammasso roccioso per ridotte pressioni di confinamento

γ	=	24,00	KN/m ³
ϕ'	=	34	°
C'	=	0,017	MPa

10.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Per quanto riguarda i parametri sismici di base riferiti al progetto in questione il terreno potrà essere inserito, sulla base delle indagini geofisiche eseguite in sito in categoria E: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	39

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasio

Circa le condizioni topografiche, il coefficiente di amplificazione topografica, ST, può essere considerato pari a 1,1 (valore ricavato 1,091).

Per determinare i parametri sismici necessari alla definizione delle forme spettrali per il sito in esame si può riassumere quanto segue:

- coordinate geografiche dell'opera da verificare: latitudine: 44,13047 longitudine: 10,065855
- classe d'uso: 2
- vita nominale dell'edificio: 50 anni
- categoria topografica: T2 con coefficiente ST pari a 1,1
- categoria di suolo: E

i quali hanno permesso di ottenere in dettaglio quanto riportato in allegato "Parametri Sismici".

A riguardo delle fenomenologie indotte nei terreni di progetto da azioni sismiche, si può affermare che in riferimento alle granulometrie dei depositi individuati e delle caratteristiche idrogeologiche, la possibilità che possano verificarsi fenomeni legati alla liquefazione o alla densificazione dei sedimenti sia remota.

I fenomeni di instabilità geomorfologica rilevati in questo sito dalle verifiche e considerazioni effettuate, gli interventi previsti, se realizzati a regola d'arte e se saranno soggetti a manutenzione periodica, permetteranno di raggiungere in questo tratto di versante un sufficiente grado di stabilità anche in caso di evento sismico.

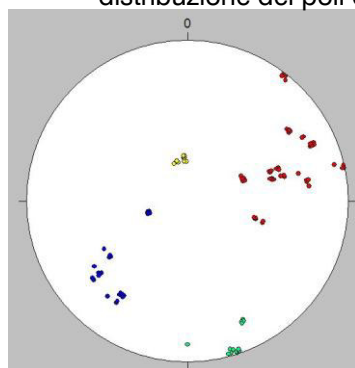
10.6 CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI

Le verifiche sono state eseguite sull'affioramento roccioso in corrispondenza del sito di intervento n°4 il fronte in oggetto presenta una giacitura una lunghezza di circa 20m ed altezza di 4,0m e giacitura 308° (immersione) /64° (inclinazione).

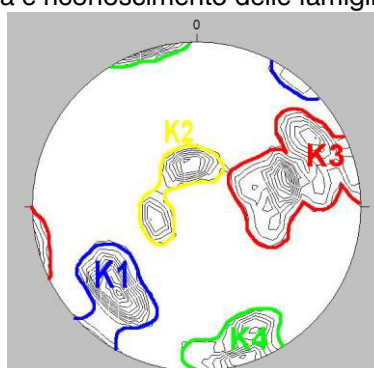
Tutti i dati giacaturali (immersione ed inclinazione) delle discontinuità rilevate sono stati inseriti nel software Stereo Nett version 2.03 (Rhur – Universität-Bochum, Universitätsstr 150 D44701 Bochum, Germany, 1997) ed hanno permesso di identificare, attraverso l'utilizzo di proiezioni stereografiche, all'interno del litotipo afferente il Calcere selcifero di Limano della Falda Toscana, 4 famiglie di discontinuità, i cui valori medi di immersione ed inclinazione sono di seguito riportati

Famiglie di discontinuità	IMM. / INCL.
K1	49°/54°
K2	155°/21°
K3	251°/58°
K4	307°/80°
Fronte	308°/64°

distribuzione dei poli delle discontinuità e riconoscimento delle famiglie K1-K2-K3-K4



Poli fronte
sito 4



Famiglie
fronte sito 4

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciaso



Affioramento "calcare selcifero di Limano"
nel sito n°4 con caduta di blocchi litoidi

Sulla base delle famiglie di discontinuità rilevate sono state eseguite le verifiche di stabilità sul fronte roccioso affiorante, seguendo la metodologia di analisi cinematica del test di Markland per ammassi rocciosi con reticolo Equi angolare di Wulff, che hanno fornito i seguenti risultati:

- instabilità allo scivolamento planare della superficie K3;
- instabilità allo scivolamento di un cuneo roccioso costituito dalle famiglie K1 e K4;

Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test".

11. SITO N°5

11.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI

Il sito di intervento n°5 si sviluppa lungo la strada in oggetto per una lunghezza di circa 80m subito a monte di un corso d'acqua affluente del Torrente Pescioletta alla quota di circa 520m s.l.m.; il contesto geologico è definito dalle formazioni delle Marne a Posidonia e del calcare selcifero di Limano con il contatto che corre in corrispondenza dell'area di intervento.

Nell'ambito delle opere in progetto il substrato affiora solo localmente con le marne a posidonia lungo il versante di controripa della strada in quanto in prevalenza esso è mascherato da una coltre detritica naturale, mista a riporto antropico che assume spessori massimi dove più massicci sono quest'ultimi nell'ordine dei quattro metri.

Detto materiale detritico, incoerente - semi coerente, manifesta una certa variabilità granulometrica, dove una matrice sabbiosa limosa, localmente argillosa, ingloba clasti e trovanti litici a pezzatura eterogenea.

Dove direttamente affiorante il substrato roccioso appare interessato da una marcata deformazione tettonica con grado di alterazione e fratturazione anche molto accentuato e tale da creare il distacco di blocchi litoidi di piccole dimensioni.

Dove rilevabili le superfici di strato immergono prevalentemente verso nord ovest con inclinazione nell'ordine dei 10° ponendosi pertanto a traverspoggio rispetto alla topografia del versante interessato dai lavori; locali differenze dai valori giacitureali riportati sono tuttavia rilevabili ed imputabili alla presenza di strutture deformative, di origine tettonica, a piccola e a media scala.

Nel complesso quindi le condizioni di conservazione sono da considerarsi da "scadenti", salvo peggiorare nelle porzioni più superficiali e nelle fasce a cavallo di faglie e fratture dove divengono "molto scadenti" tanto che la roccia si presenta talvolta una sabbia debolmente cementata in cui la stratificazione originaria non è più riconoscibile.

Dal punto di vista geomorfologico si distingue un corso d'acqua attraversato dalla strada provinciale in oggetto con tendenza all'erosione di fondo in modo particolare a monte della strada stessa con trasporto di materiale solido, composto da blocchi litoidi anche di dimensioni metriche durante i periodi di maggior portata.

Per quanto riguarda gli aspetti idrografici si rileva che il tratto di strada oggetto di intervento intercetta un corso d'acqua il cui deflusso, in caso di maggiori portate, non è garantito dal sistema di drenaggio esistente; le opere in progetto dovranno pertanto assicurare, nel tempo, il regolare deflusso delle acque.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	41

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso



Il sistema di drenaggio passante sotto strada non garantisce il regolare deflusso delle acque in caso di maggiori portate del corso d'acqua

Circa gli aspetti idrogeologici non si rilevano sorgenti o aree a ristagno prolungato che possano interferire con le opere in progetto così come dalla prova penetrometrica effettuata non è stata rilevata la presenza di acqua; le condizioni idrogeologiche generali sono tuttavia tali da non poter escludere la formazione anche solo stagionale di una attiva circolazione idrica impostata la contatto coltre detritica - substrato roccioso o negli orizzonti maggiormente fratturati del substrato.

11.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione del modello geologico - sismico dei terreni interessati dall'intervento n°5 e per una loro caratterizzazione geotecnica preliminare è stata eseguita una specifica campagna geognostica composta da:

- n°1 prova penetrometrica dinamica media (DPM01) spinta fino allo stato di rifiuto all'avanzamento della punta strumentale, da attribuire all'incontro del probabile substrato roccioso molto alterato e fratturato e precisamente alla profondità, da piano campagna, di 3,4m;
 - n°1 indagine geofisica HVSR (HVSR1);
- per l'esatta ubicazione delle indagini si rimanda alla Tav. 3e.

11.3 STRATIGRAFIA

Sulla base delle osservazioni geologico – morfologiche e delle indagini eseguite in sito emergerebbe come, nell'area di intervento, i terreni in esame siano caratterizzati dalla presenza di un substrato roccioso costituito da litotipi differenti che dove non direttamente affiorante è mascherato da una coltre detritica naturale mista a riporto antropico di medio spessore.

Nello specifico sono stati distinti tre livelli litostratigrafici denominati: Livello A, Livello B e Livello C, di seguito descritti (cfr Tav.4f).

Livello A: dove presente, si sviluppa da piano campagna fino ad una profondità massima, dal piano campagna stesso, di circa 1,8m e costituisce un insieme di sedimenti, sciolti, sabbioso limosi localmente argillosi.

Livello B: dove presente, segue il livello A e rappresenta un insieme di sedimenti, moderatamente addensati, sabbioso limosi con clasti e trovanti litici.

Livello C: dove non direttamente affiorante, segue il Livello B ed identifica il substrato roccioso, variamente alterato e fratturato, afferente il calcare selcifero di Limano all'interno del quale la prova penetrometrica è andata a rifiuto.

11.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

Nel presente capitolo vengono proposti i valori rappresentativi dei parametri geotecnici dei terreni investigati.

Prima di entrare nel merito della parametrizzazione geotecnica dei livelli litostratigrafici riconosciuti, ai fini della progettazione, ritengo utile indicare quanto segue.

Nel Capitolo N°6 delle NTC 2008 per parametrizzazione geotecnica si intendono i valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni dove, per valore caratteristico, si intende una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	42

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Secondo le Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC (In pratica Valore operativo o di progetto basato sul giudizio del geotecnico) nelle valutazioni che il geotecnico deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici richiesti per la progettazione, appare giustificato, secondo il CSLP, il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (per esempio in fondazioni superficiali o in una frana dove il volume interessato dalla superficie di rottura è grande) con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati invece nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno (ad es. terreno di base di un palo, verifica a scorrimento di un muro), con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità.

La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni (ad esempio, effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata).

Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato.

Seguendo le prescrizioni dell'Eurocodice 7 per quanto riguarda i parametri caratteristici relativi alla resistenza al taglio, sulla famiglia di valori disponibili bisogna utilizzare il frattile del 5% (valore che ha solo il 5% di probabilità di essere minorato) derivante dalla formula:

$$V_k = V_m \cdot [1 - 1,645 \cdot (\sigma / V_m)]$$

con

- V_k : Valore caratteristico della resistenza
- V_m : Valore medio del parametro di resistenza considerato
- -1,645 : Coefficiente valido per il 5% percentile di una distribuzione gaussiana
- σ : Deviazione standard del campione;

Per quanto riguarda il modulo elastico ed edometrico, potrà essere utilizzato invece il frattile del 50% (mediana dei valori ottenuti), poiché non si è in presenza né di azione, né di resistenza.

Da bibliografia tecnica è possibile inoltre ricavare tale valore caratteristico da un unico dato disponibile sfruttando la formula seguente:

$$V_k = V \cdot 1,645 \cdot (COV \cdot V)$$

con

- V_k : Valore caratteristico della resistenza
- V : Valore disponibile del parametro di resistenza considerato
- -1,645 : Coefficiente valido per il 5% percentile di una distribuzione gaussiana
- COV : coefficiente di variazione COV che può assumere i seguenti valori:

Angolo di attrito φ	: 10 %
Coesione	: 30 %
Modulo di comprimibilità	: 40 %
Peso di volume	: 5 %

A seguito di questa premessa, nel presente caso, la parametrizzazione geotecnica dei terreni detritici superficiali è stata estrapolata, oltre che da riferimenti ed informazioni bibliografiche inerenti terreni affini a quelli indagati, dalle interpretazioni dei risultati della prova penetrometrica effettuata ed elaborata sulla base di correlazioni note in letteratura geotecnica; per una più dettagliata ed esauriente analisi del risultato ottenuto sulla singola verticale di sondaggio si rimanda all'allegato: "prova penetrometrica".

Va precisato che, in merito ai parametri di resistenza al taglio dei terreni investigati, non essendo possibile con il tipo di prove eseguite, determinare la quota parte dovuta alla coesione e quella dovuta all'angolo d'attrito, parametri entrambi presenti nei terreni in questione, si è ipotizzato, per una migliore schematizzazione del problema, che i livelli litostratigrafici riconosciuti manifestino un comportamento prevalentemente granulare incoerente ($\varphi' \neq 0$; $C' \approx 0$).

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	43

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasio

Sono di seguito indicate le correlazioni di riferimento utilizzate per definire i parametri geotecnici dei livelli litostratigrafici individuati sulla base dei valori di N_{10} e N_{spt} registrati:

Dr	(densità relativa)	: Meyerhof (1957)
ϕ	(angolo d'attrito interno)	: Meyerhof (1965)
ϕK	(angolo d'attrito interno valore caratteristico)	
Cu	(coesione non drenata)	: Terzaghi-Peck (per livelli A e B; valori da utilizzare solamente per le eventuali verifiche di stabilità dei fronti di scavo a breve termine)
Cuk	(coesione non drenata valore caratteristico)	
C'	(coesione drenata)	: valutata 1/30 di Cu
C'k	(Coesione drenata valore caratteristico)	
γ	(Peso di volume)	: Meyerhof ed altri
γK	(Peso di volume valore caratteristico)	
γ_s	(Peso di volume saturo)	: Terzaghi-Peck (1948-1967)
γ_{sk}	(Peso di volume saturo caratteristico)	
Ey	(Modulo elastico)	: Schultze-Menzenbach
Eyk	(Modulo elastico caratteristico)	
M	(Modulo edometrico)	: Begemann (1974).
Mk	(Modulo edometrico caratteristico)	

Il substrato litoide è stato invece definito, non essendo reperibili nelle vicinanze del sito di intervento affioramenti rappresentativi per una caratterizzazione geomeccanica di dettaglio degli ammassi rocciosi presenti, ipotizzando cautelativamente un substrato roccioso di qualità scadente.

Ai livelli litostratigrafici riconosciuti è possibile assimilare i seguenti parametri geotecnici

Valori nominali

Livello A

Dr	=39	%
γ	=14,12	KN/m ³
γ_s	=18,34	KN/m ³
Cu	=23,44	KPa
ϕ	=31	°
C'	=0,78	KPa
Ey	=7,93	MPa
M	=3,28	MPa

Livello B

Dr	=76	%
γ	=18,24	KN/m ³
γ_s	=19,02	KN/m ³
Cu	=85,61	KPa
ϕ	=35	°
C'	=2,85	Kpa
Ey	=11,58	MPa
M	=5,55	MPa

Livello C

RMR _{base}	= 40	(classe 4 di Bieniawski 1973 – 1989, descritta come scadente)
C'	= 200	KPa
ϕ'	= 25	°
γ	= 24	KN/m ³

Valori caratteristici

Livello A

Dr	=33	%
γ_k	=12,96	KN/m ³
γ_{sk}	=16,83	KN/ m ³
Cu	=11,87	KPa
ϕ_k	=26	°
C'	=0,40	Kpa
Eyk	=2,71	MPa
Mk	=1,12	MPa.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	44

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Livello B

Dr	=63	%
γ_k	=16,74	KN/m ³
γ_{sk}	=17,46	KN/ m ³
Cu	=43,36	KPa
ϕ_k	=29	°
C'	=1,45	Kpa
Eyk	=3,96	MPa
Mk	=1,90	MPa.

Livello C

RMR _{base'}	= 40	(classe 4 di Bieniawski 1973 – 1989, descritta come scadente)
C'	= 200	KPa
ϕ'	= 25	°
γ	= 24	KN/m ³

11.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Per quanto riguarda i parametri sismici di base riferiti al progetto in questione il terreno potrà essere inserito, sulla base delle indagini geofisiche eseguite in aree limitrofe a quelle di intervento in **categoria E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

Circa le condizioni topografiche, il coefficiente di amplificazione topografica, ST, può essere considerato pari a 1,1 (valore ricavato 1,09).

Per determinare i parametri sismici necessari alla definizione delle forme spettrali per il sito in esame si può riassumere quanto segue:

- coordinate geografiche dell'opera da verificare:
latitudine:44,129761, longitudine:10,067807
- classe d'uso: 2
- vita nominale dell'edificio: 50 anni
- categoria topografica: T2 con coefficiente ST pari a 1,1
- categoria di suolo: E

i quali hanno permesso di ottenere in dettaglio quanto riportato in allegato "Parametri Sismici".

A riguardo delle fenomenologie indotte nei terreni di progetto da azioni sismiche, si può affermare che in riferimento alle granulometrie dei depositi individuati e delle caratteristiche idrogeologiche, la possibilità che possano verificarsi fenomeni legati alla liquefazione o alla densificazione dei sedimenti sia remota.

I fenomeni di instabilità geomorfologica rilevati in questo sito dalle verifiche e considerazioni effettuate con gli interventi previsti se realizzati a regola d'arte e se saranno soggetti a manutenzione periodica permetteranno di raggiungere in questo tratto di versante un sufficiente grado di stabilità anche in caso di evento sismico.

12. SITO N°6

12.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI

Il sito di intervento n°6 si sviluppa lungo la strada in oggetto per una lunghezza di circa 20m sulla destra orografica del Torrente Pescioletta alla quota di circa 510m s.l.m.; il contesto geologico è definito dalle formazione delle Marne a Posidonia, del Calcare Selcifero di Limano e del Rosso Ammonitico con i contatti che corrono in corrispondenza dell'area di intervento.

Nell'ambito delle opere in progetto il substrato dove non direttamente affiorante è mascherato da una coltre detritica naturale mista a riporto antropico di spessore variabile e inferiore a quattro metri.

Detto materiale detritico, incoerente - semi coerente, manifesta una certa variabilità granulometrica, dove una matrice sabbiosa limosa, localmente argillosa, ingloba clasti e trovanti litici a pezzatura eterogenea.

Dove direttamente affiorante il substrato roccioso appare interessato da una marcata deformazione tettonica con grado di alterazione e fratturazione anche molto accentuato e tale da creare il distacco di blocchi litoidi di dimensioni medio piccole.

Dove rilevabili le superfici di strato immergono prevalentemente verso nord con inclinazione nell'ordine dei 60° ponendosi pertanto a traverspoggio rispetto alla topografia del versante interessato

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	45

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

dai lavori; locali differenze dai valori giaciturali riportati sono tuttavia rilevabili ed imputabili alla presenza di strutture deformative, di origine tettonica, a piccola e a media scala.

Nel complesso quindi le condizioni di conservazione sono da considerarsi da "discrete" a "scadenti", salvo peggiorare nelle porzioni più superficiali e nelle fasce a cavallo di faglie e fratture dove divergono "molto scadenti" tanto che la roccia si presenta talvolta una sabbia debolmente cementata in cui la stratificazione originaria non è più riconoscibile.

Dal punto di vista geomorfologico il sito di intervento è interessato da un movimento franoso di scivolamento planare di blocchi rocciosi di dimensioni medio piccole misti a detrito su pendio molto ripido.

Per quanto riguarda gli aspetti idrografici l'intervento in progetto non andrà ad alterare minimamente il regolare deflusso del limitrofo corso d'acqua (Torrente Pescioletta).

Circa gli aspetti idrogeologici non si rilevano sorgenti o aree a ristagno prolungato che possano interferire con le opere in progetto; le condizioni idrogeologiche generali sono tuttavia tali da non poter escludere la formazione anche solo stagionale di una attiva circolazione idrica impostata la contatto coltre detritica - substrato roccioso o negli orizzonti maggiormente fratturati del substrato.

12.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione del modello geologico - sismico dei terreni interessati dall'intervento n°6 e per una loro caratterizzazione geotecnica preliminare è stata eseguita una specifica campagna geognostica composta da:

- n°1 prova penetrometrica dinamica media (DPM01) spinta fino allo stato di rifiuto all'avanzamento della punta strumentale, da attribuire all'incontro del probabile substrato roccioso variamente alterato e fratturato e precisamente alla profondità, da piano campagna, di 4,1m;
 - n°1 indagine geofisica HVSr (HVSr1);
- per l'esatta ubicazione delle indagini si rimanda alla Tav. 3f.

12.3 STRATIGRAFIA

Sulla base delle osservazioni geologico - morfologiche e delle indagini eseguite in sito emergerebbe come, nell'area di intervento, i terreni in esame siano caratterizzati dalla presenza di un substrato roccioso che, dove non direttamente affiorante, è mascherato da una coltre detritica naturale mista a riporto antropico di spessore da ridotto a medio.

Nello specifico sono stati distinti tre livelli litostratigrafici denominati: Livello A , Livello B e LivelloC, di seguito descritti (cfr Tav. 4f).

Livello A: dove presente, si sviluppa da piano campagna fino a profondità massime, dal piano campagna stesso, di circa 1,8m e costituisce un insieme di sedimenti, sciolti, sabbioso limosi.

Livello B: dove presente si inviluppa inferiormente al Livello A fino a profondità massime dal piano campagna stesso di circa 4,0m rappresenta un insieme di sedimenti, moderatamente addensati, sabbioso limosi con clasti e trovanti litici.

Livello C: dove non direttamente affiorante, segue il Livello B ed identifica il substrato roccioso, variamente alterato e fratturato, afferente il Calcare Selcifero di Limano, le Marne a Posidonia ed il Rosso Ammonitico.

12.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

Nel presente capitolo vengono proposti i valori rappresentativi dei parametri geotecnici dei terreni investigati.

Prima di entrare nel merito della parametrizzazione geotecnica dei livelli litostratigrafici riconosciuti, ai fini della progettazione, ritengo utile indicare quanto segue.

Nel Capitolo N°6 delle NTC 2008 per parametrizzazione geotecnica si intendono i valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni dove, per valore caratteristico, si intende una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.

Secondo le Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC (In pratica Valore operativo o di progetto basato sul giudizio del geotecnico) nelle valutazioni che il geotecnico deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici richiesti per la progettazione, appare giustificato, secondo il CSLP, il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (per esempio in

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	46

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

fondazioni superficiali o in una frana dove il volume interessato dalla superficie di rottura è grande) con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati invece nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno (ad es. terreno di base di un palo, verifica a scorrimento di un muro), con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità.

La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni (ad esempio, effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata).

Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato.

Seguendo le prescrizioni dell'Eurocodice 7 per quanto riguarda i parametri caratteristici relativi alla resistenza al taglio, sulla famiglia di valori disponibili bisogna utilizzare il frattile del 5% (valore che ha solo il 5% di probabilità di essere minorato) derivante dalla formula:

$$V_k = V_m \cdot [1 - 1,645 \cdot (\sigma / V_m)]$$

con

- V_k : Valore caratteristico della resistenza
- V_m : Valore medio del parametro di resistenza considerato
- -1,645 : Coefficiente valido per il 5% percentile di una distribuzione gaussiana
- σ : Deviazione standard del campione;

Per quanto riguarda il modulo elastico ed edometrico, potrà essere utilizzato invece il frattile del 50% (mediana dei valori ottenuti), poiché non si è in presenza né di azione, né di resistenza.

Da bibliografia tecnica è possibile inoltre ricavare tale valore caratteristico da un unico dato disponibile sfruttando la formula seguente:

$$V_k = V \cdot 1,645 \cdot (COV \cdot V)$$

con

- V_k : Valore caratteristico della resistenza
- V : Valore disponibile del parametro di resistenza considerato
- -1,645 : Coefficiente valido per il 5% percentile di una distribuzione gaussiana
- COV : coefficiente di variazione COV che può assumere i seguenti valori:

Angolo di attrito φ	: 10 %
Coesione	: 30 %
Modulo di comprimibilità	: 40 %
Peso di volume	: 5 %

A seguito di questa premessa, nel presente caso, la parametrizzazione geotecnica dei terreni detritici superficiali è stata estrapolata, oltre che da riferimenti ed informazioni bibliografiche inerenti terreni affini a quelli indagati, dalle interpretazioni dei risultati della prova penetrometrica effettuata ed elaborata sulla base di correlazioni note in letteratura geotecnica; per una più dettagliata ed esauriente analisi del risultato ottenuto sulla singola verticale di sondaggio si rimanda all'allegato: "prova penetrometrica".

Va precisato che, in merito ai parametri di resistenza al taglio dei terreni investigati, non essendo possibile con il tipo di prove eseguite, determinare la quota parte dovuta alla coesione e quella dovuta all'angolo d'attrito, parametri entrambi presenti nei terreni in questione, si è ipotizzato, per una migliore schematizzazione del problema, che i livelli litostratigrafici riconosciuti manifestino un comportamento prevalentemente granulare incoerente ($\varphi' \neq 0$; $C' \approx 0$).

Sono di seguito indicate le correlazioni di riferimento utilizzate per definire i parametri geotecnici dei livelli litostratigrafici individuati sulla base dei valori di N_{10} e N_{spt} registrati:

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	47

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Dr	(densità relativa)	: Meyerhof (1957)
ϕ	(angolo d'attrito interno)	: Meyerhof (1965)
ϕK	(angolo d'attrito interno valore caratteristico)	
Cu	(coesione non drenata)	: Terzaghi-Peck (per livelli A e B; valori da utilizzare solamente per le eventuali verifiche di stabilità dei fronti di scavo a breve termine)
C _{uk}	(coesione non drenata valore caratteristico)	
C'	(coesione drenata)	: valutata 1/30 di Cu
C' _k	(Coesione drenata valore caratteristico)	
γ	(Peso di volume)	: Meyerhof ed altri
γK	(Peso di volume valore caratteristico)	
γ_s	(Peso di volume saturo)	: Terzaghi-Peck (1948-1967)
γ_{sk}	(Peso di volume saturo caratteristico)	
E _y	(Modulo elastico)	: Schultze-Menzenbach
E _{yk}	(Modulo elastico caratteristico)	
M	(Modulo edometrico)	: Begemann (1974).
M _k	(Modulo edometrico caratteristico)	

Il substrato litoide (Livello C) è stato invece definito dal punto di vista geomeccanico attraverso il rilevamento geologico - strutturale eseguito nell'area di intervento.

Ai livelli litostratigrafici riconosciuti è possibile assimilare i seguenti parametri geotecnici

12.4.1 Coltri di copertura

Valori nominali

Livello A

Dr	=45	%
γ	=13,69	KN/m ³
γ_s	=18,33	KN/m ³
Cu	=23,14	KPa
ϕ	=31	°
C'	=0,77	KPa
E _y	=8,22	MPa
M	=3,45	MPa

Livello B

Dr	=68	%
γ	=14,71	KN/m ³
γ_s	=18,97	KN/m ³
Cu	=78,26	KPa
ϕ	=34	°
C'	=2,85	Kpa
E _y	=10,82	MPa
M	=5,07	MPa

Valori caratteristici

Livello A

Dr	=38	%
γ_k	=12,56	KN/m ³
γ_{sk}	=16,82	KN/ m ³
Cu	=11,72	KPa
ϕ_k	=26	°
C'	=0,39	Kpa
E _{yk}	=2,81	MPa
M _k	=1,18	MPa.

Livello B

Dr	=56	%
γ_k	=13,50	KN/m ³
γ_{sk}	=17,41	KN/ m ³
Cu	=39,63	KPa
ϕ_k	=28	°
C'	=1,32	Kpa
E _{yk}	=3,70	MPa
M _k	=1,73	MPa.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	48

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

12.4.2 Substrato roccioso

Il fronte indagato si sviluppa per una lunghezza di circa 20m per una altezza di circa 10-12m; Per la valutazione delle costanti e dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso affiorante è stato utilizzato il programma RocLab proposto dalla GeoStru, ricavando la parametrizzazione seguente, riferita alle peggiori condizioni geomeccaniche attese, definite in base all'esame degli affioramenti rocciosi:

Fronte 6

PARAMETRI IMMESSI:

$\sigma_c = 100\text{Mpa}$ (la roccia si frattura con un colpo di martello)

GSI=30,

$m_i = 7$,

D=1 (associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

MR=200,

E_i (modulo elasticità)=200MPa

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 180,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.047$, $s=0$, $a=0.523$. $\sigma_{3\max} = 2.954\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=0.291\text{MPa}$, $\phi=17,910^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.0\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0\text{MPa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 2.439\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm} = 5.670\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

Pendii; profondità 12,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.047$, $s=0$, $a=0.523$. $\sigma_{3\max} = 0.251\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=0.056\text{MPa}$, $\phi=36,170^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.0\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0\text{MPa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 2.439\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm} = 5.670\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

All'ammasso roccioso in oggetto è pertanto possibile assegnare i seguenti parametri geomeccanici:

Valori intrinseci dell'ammasso roccioso per elevate tensioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$

$\phi' = 18^\circ$

$C' = 0,291 \text{ MPa}$

Valori dell'ammasso roccioso per ridotte pressioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$

$\phi' = 36^\circ$

$C' = 0,056 \text{ MPa}$

12.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Per quanto riguarda i parametri sismici di base riferiti al progetto in questione il terreno potrà essere inserito cautelativamente, sulla base delle indagini geofisiche eseguite in aree limitrofe a quelle di intervento in **categoria E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800 \text{ m/s}$).

Circa le condizioni topografiche, il coefficiente di amplificazione topografica, ST, può essere considerato pari a 1,1 (valore ricavato 1,09).

Per determinare i parametri sismici necessari alla definizione delle forme spettrali per il sito in esame si può riassumere quanto segue:

- coordinate geografiche dell'opera da verificare:
latitudine: 44,130216, longitudine: 10,069503
- classe d'uso: 2
- vita nominale dell'edificio: 50 anni
- categoria topografica: T2 con coefficiente ST pari a 1,1
- categoria di suolo: E

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	49

Relazione geologica	
Committente:	Lavori di consolidamento del versante in frana
Comune di Fosdinovo	della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

i quali hanno permesso di ottenere in dettaglio quanto riportato in allegato "Parametri Sismici".

A riguardo delle fenomenologie indotte nei terreni di progetto da azioni sismiche, si può affermare che in riferimento alle granulometrie dei depositi individuati e delle caratteristiche idrogeologiche, la possibilità che possano verificarsi fenomeni legati alla liquefazione o alla densificazione dei sedimenti sia remota.

I fenomeni di instabilità geomorfologica rilevati in questo sito dalle verifiche e considerazioni effettuate con gli interventi previsti se realizzati a regola d'arte e se saranno soggetti a manutenzione periodica permetteranno di raggiungere in questo tratto di versante un sufficiente grado di stabilità anche in caso di evento sismico.

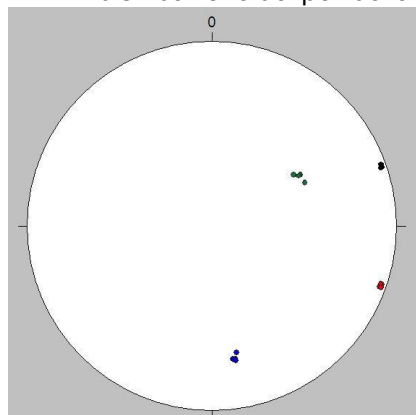
12.6 CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI

Il fronte indagato si sviluppa per una lunghezza di circa 20m per una altezza di circa 10-12m orientato 275°(Immersione)/60°(inclinazione);

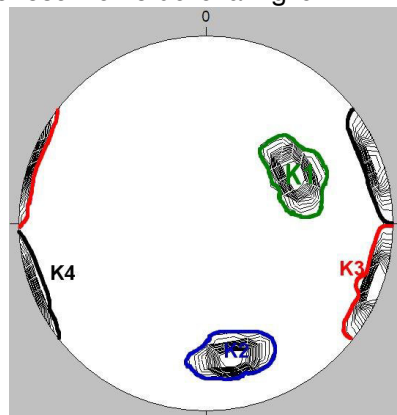
Tutti i dati giacitureali (immersione ed inclinazione) delle discontinuità rilevate sono stati inseriti nel software Stereo Nett version 2.03 (Rhur – Universität-Bochum, Universitätsstr 150 D44701 Bochum, Germany, 1997) ed hanno permesso di identificare, attraverso l'utilizzo di proiezioni stereografiche, all'interno del litotipo afferente le Marne a Posidonia della Falda Toscana, 4 famiglie di discontinuità, i cui valori medi di immersione ed inclinazione sono di seguito riportati

Famiglie di discontinuità	IMM. / INCL.
K1	240°/45°
K2 (stratificazione)	350°/63°
K3	290°/87°
K4	250°/87°
Fronte	275°/60°

distribuzione dei poli delle discontinuità e riconoscimento delle famiglie K1-K2-K3-K4



Poli fronte
sito 6



Famiglie fronte
sito 6



Sito di intervento n°6
caduta di blocchi litoidi sulla
sede stradale



Sito di intervento n°6
Affioramento di Calcarei Angulati

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	50

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Sulla base delle famiglie di discontinuità rilevate sono state eseguite le verifiche di stabilità sul fronte roccioso affiorante, seguendo la metodologia di analisi cinematica del test di Markland per ammassi rocciosi con reticolo Equi angolare di Wulff, che hanno fornito i seguenti risultati:

- instabilità allo scivolamento planare lungo la superficie di discontinuità K1;
- instabilità allo scivolamento di un cuneo roccioso costituito dalle famiglie K1 e K2;
- condizioni al limite della stabilità allo scivolamento di un cuneo roccioso costituito dalle famiglie K1 e K3.

Le condizioni al limite della stabilità possono generare cinematismi in concomitanza di evento sismico e/o di eventi piovosi.

Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test".

13. SITO N°7

13.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI

Il sito di intervento n°7 si sviluppa lungo la strada in oggetto per una lunghezza di circa 380m ad una quota media di 520 s.l.m.; il contesto geologico è definito dalla presenza della Formazione del Calcare Massiccio della Falda Toscana.

Nell'ambito delle opere in progetto il substrato affiora diffusamente lungo tutto il versante, solo localmente è mascherato da spessori estremamente contenuti di detrito.

Dove direttamente affiorante il substrato roccioso presenta superfici di strato che immergono prevalentemente verso nord nord est con inclinazione nell'ordine dei 30° ed altre superfici di discontinuità diversamente orientate che generano il distacco di blocchi litoidi di dimensioni anche rilevanti.

Nel complesso quindi le condizioni di conservazione sono da considerarsi da "discrete" a "buone", salvo peggiorare nelle porzioni più superficiali e nelle fasce a cavallo di faglie e fratture dove divengono "scadenti" tanto che la roccia si presenta talvolta un insieme di blocchi disarticolati dove la stratificazione originaria non è più riconoscibile.

Dal punto di vista geomorfologico si distingue un versante molto acclive soggetto distacchi di blocchi litoidi di dimensioni eterogenee che interrompono il loro cinematismo nella sede stradale o lungo il solco fluviale del Torrente Pescioletta.

Per quanto riguarda gli aspetti idrografici e idrogeologici non sono state riscontrate linee di deflusso, pozzi, sorgenti o aree a ristagno prolungato che possano interferire con le opere in progetto.

13.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Non ritenendo necessario, viste le condizioni geologiche e geomorfologiche riscontrate, effettuare specifiche indagini geognostiche dirette in sito, per la definizione del modello geologico - sismico dei terreni interessati dall'intervento n°7 e per una loro caratterizzazione geotecnica preliminare è stato fatto riferimento al rilevamento geologico strutturale eseguito in sito con metodologia di Hoek & Brown,

13.3 STRATIGRAFIA

Sulla base delle osservazioni geologico - morfologiche e delle indagini eseguite in sito emergerebbe come, nell'area di intervento, i terreni in esame siano caratterizzati dalla presenza di un substrato roccioso, costituito dai Calcari Massicci, che, dove non direttamente affiorante, è mascherato da una coltre detritica naturale di spessore sempre contenuto.

Nello specifico sono stati distinti due livelli litostratigrafici denominati: Livello A e Livello B, di seguito descritti (cfr Tav. 4g) .

Livello A: dove presente, si sviluppa da piano campagna fino ad una profondità massima, dal piano campagna stesso, di circa 1,0m e costituisce un insieme di sedimenti, sciolti, sabbioso limosi localmente argillosi con clasti e trovanti litici.

Livello B: dove non direttamente affiorante, segue il Livello A ed identifica il substrato roccioso, variamente alterato e fratturato, afferente il Calcare Massiccio.

13.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

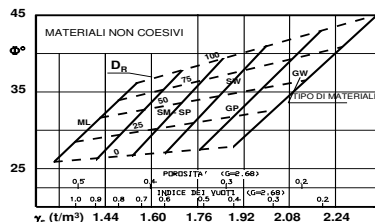
Nel presente capitolo vengono proposti i valori rappresentativi dei parametri geotecnici della coltre detritica superficiale (Livello A) e del substrato roccioso (Livello B).

La parametrizzazione geotecnica, per quanto riguarda i terreni detritici superficiali (Livello A), è stata estrapolata, visti i ridotti spessori e la tipologia di intervento in oggetto, da informazioni e

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	51

Relazione geologica	
Committente:	Lavori di consolidamento del versante in frana
Comune di Fosdinovo	della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

riferimenti bibliografici inerenti terreni affini a quelli indagati ed in particolare facendo riferimento al diagramma NAVFAC di seguito riportato.



Tale sedimento può essere assimilato ad una sabbia limosa con elementi grossolani all'interno e quindi cautelativamente assegnato, nella classificazione U.S.C.S., al gruppo SM, per cui, ipotizzando un valore cautelativo di densità relativa pari al 20%, dal diagramma proposto, si ricava un angolo di attrito interno (ϕ) di circa 28°.

Per quanto concerne il peso di volume (γ), sulla scorta dei manuali NAVFAC e AGI ed in base alla peculiare natura litologica, a tali terreni è consentito attribuire un valore medio di circa 1,6 - 1,7 t/m³.

il substrato litoide (Livello B) è stato invece definito dal punto di vista geomeccanico attraverso il rilevamento geologico - strutturale eseguito nell'area di intervento.

13.4.1 Coltri di copertura

Alla coltre di copertura possono essere pertanto associati i seguenti parametri geotecnici:

Livello A

γ	=	1,6	t/m³
γ_s	=	1,7	t/m³
ϕ	=	28	°
C'	=	0	Kg/cm²

13.4.2 Substrato roccioso

Il fronte indagato è stato suddiviso in quattro porzioni, che si distinguono per un differente grado di fatturazione ed alterazione,

- La prima porzione (fronte 7a), di circa 25m di lunghezza, presenta immersione ed inclinazione di 230/85;
- la seconda porzione (fronte 7b), di circa 40m di lunghezza, presenta sempre la medesima immersione ed inclinazione del fronte 6a ma al suo interno si riconosce un andamento diverso della stratificazione.
- la terza porzione (fronte 7c), di lunghezza di circa 60m, presenta una stratificazione ancora differente (presenza di pieghe) ma l'immersione e l'inclinazione del fronte si mantengono identiche ai due fronti precedenti;
- la quarta porzione (fronte 7d), di lunghezza di circa 80 metri ed altezza inferiore (circa 4m), presenta una immersione ed inclinazione di 275/80 e strati di spessore maggiore.

Per la valutazione delle costanti e dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso affiorante è stato utilizzato il programma RocLab proposto dalla GeoStru, ricavando la parametrizzazione seguente, riferita alle peggiori condizioni geomeccaniche attese, definite in base all'esame degli affioramenti rocciosi:

Fronte 7a

PARAMETRI IMMESSI:

$\sigma_c = 150 \text{ Mpa}$ (la roccia si frattura con un colpo di martello)

$GSI = 50$,

$mi = 13$,

$D = 1$ (associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

$MR = 500$,

E_i (modulo elasticità) = 200 MPa

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 350,0m; peso unità di Volume 24,00 kN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: $mb = 0.366$, $s = 0$, $a = 0.506$. $\sigma_{3max} = 6.236 \text{ Mpa}$,

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	52

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=1.359\text{MPa}$, $\phi=33,43^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.082\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c=2.017\text{MPa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm}=11.807\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm}=13.400\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

All'ammasso roccioso in oggetto è pertanto possibile assegnare i seguenti parametri geomeccanici:

Valori intrinseci dell'ammasso roccioso per elevate tensioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$
 $\phi' = 32^\circ$
 $C' = 1,36 \text{ MPa}$

In questo sito non sono stati individuati i parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso con ridotte pressioni di confinamento ritenendo sufficientemente cautelativi per le verifiche di stabilità dei fronti (Markland test) in parametri sopra indicati.

Fronte 7b

PARAMETRI IMMESSI:

$\sigma_c = 150\text{Mpa}$ (la roccia si frattura con un colpo di martello)

$GSI=45$,

$m_i=13$,

$D=1$ (associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

$MR=500$,

E_i (modulo elasticità) $=200\text{MPa}$

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 350,0m; peso unità di Volume $24,00\text{KN/m}^3$

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.256$, $s=0$, $a=0.508$. $\sigma_{3\max} = 6.127\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=1.159\text{MPa}$, $\phi=29,45^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.059\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c=1.390\text{MPa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm}=9.696\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm}=10.190\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

All'ammasso roccioso in oggetto è pertanto possibile assegnare i seguenti parametri geomeccanici:

Valori intrinseci dell'ammasso roccioso per elevate tensioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$
 $\phi' = 29^\circ$
 $C' = 1,159 \text{ MPa}$

In questo sito non sono stati individuati i parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso con ridotte pressioni di confinamento ritenendo sufficientemente cautelativi per le verifiche di stabilità dei fronti (Markland test) in parametri sopra indicati.

Fronte 7c

PARAMETRI IMMESSI:

$\sigma_c = 150\text{Mpa}$ (la roccia si frattura con un colpo di martello)

$GSI=54$,

$m_i=13$,

$D=1$ (associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

$MR=500$,

E_i (modulo elasticità) $=200\text{MPa}$

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 350,0m; peso unità di Volume $24,00\text{KN/m}^3$

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.486$, $s=0,001$, $a=0.505$. $\sigma_{3\max} = 6.325\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=1.578\text{MPa}$, $\phi=34,730^\circ$.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	53

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasio

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.154 \text{ Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 3.241 \text{ Mpa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 13.820 \text{ Mpa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm} = 16.970 \text{ Mpa}$ (modulo di deformazione).

All'ammasso roccioso in oggetto è pertanto possibile assegnare i seguenti parametri geomeccanici:

Valori intrinseci dell'ammasso roccioso per elevate tensioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$
 $\phi' = 34^\circ$
 $C' = 1,578 \text{ MPa}$

In questo sito non sono stati individuati i parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso con ridotte pressioni di confinamento ritenendo sufficientemente cautelativi per le verifiche di stabilità dei fronti (Markland test) in parametri sopra indicati.

Fronte 7d

PARAMETRI IMMESSI:

$\sigma_c = 150 \text{ Mpa}$ (la roccia si frattura con un colpo di martello)

GSI=36,

mi=13,

D=1 (associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

MR=500,

Ei (modulo elasticità)=200MPa

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 350,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: mb = 0.125, s=0,000, a=0.516. $\sigma_{3max} = 5.899 \text{ Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: c=0. 803MPa, $\phi = 23,520^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.000 \text{ Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0.000 \text{ Mpa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 6.362 \text{ Mpa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm} = 6.60 \text{ Mpa}$ (modulo di deformazione).

All'ammasso roccioso in oggetto è pertanto possibile assegnare i seguenti parametri geomeccanici:

Valori intrinseci dell'ammasso roccioso per elevate tensioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$
 $\phi' = 24^\circ$
 $C' = 0,803 \text{ MPa}$

In questo sito non sono stati individuati i parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso con ridotte pressioni di confinamento ritenendo sufficientemente cautelativi per le verifiche di stabilità dei fronti (Markland test) in parametri sopra indicati.

13.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Per quanto riguarda i parametri sismici di base riferiti al progetto in questione il terreno potrà essere inserito viste le condizioni stratigrafiche riscontrate in **categoria B:** Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).

Circa le condizioni topografiche, il coefficiente di amplificazione topografica, ST, può essere considerato pari a 1,2 (valore ricavato 1,15).

Per determinare i parametri sismici necessari alla definizione delle forme spettrali per il sito in esame si può riassumere quanto segue:

- coordinate geografiche dell'opera da verificare: latitudine: 44,132057 longitudine:10,069246
- classe d'uso: 2
- vita nominale dell'edificio: 50 anni
- categoria topografica: T2 con coefficiente ST pari a 1,2
- categoria di suolo: B

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	54

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

i quali hanno permesso di ottenere in dettaglio quanto riportato in allegato "Parametri Sismici".

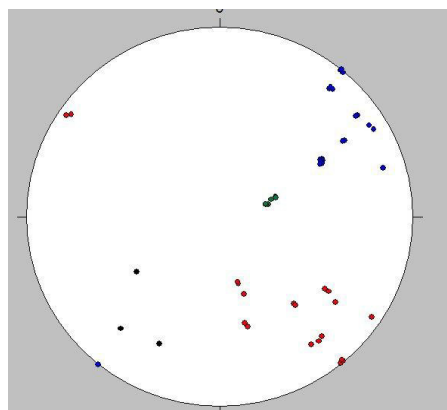
A riguardo delle fenomenologie indotte nei terreni di progetto da azioni sismiche, si può affermare che in riferimento alle granulometrie dei depositi individuati e delle caratteristiche idrogeologiche, la possibilità che possano verificarsi fenomeni legati alla liquefazione o alla densificazione dei sedimenti sia remota.

I fenomeni di instabilità geomorfologica rilevati in questo sito dalle verifiche e considerazioni effettuate con gli interventi previsti se realizzati a regola d'arte e se saranno soggetti a manutenzione periodica permetteranno di raggiungere, in questo tratto di versante, un sufficiente grado di stabilità anche in caso di evento sismico.

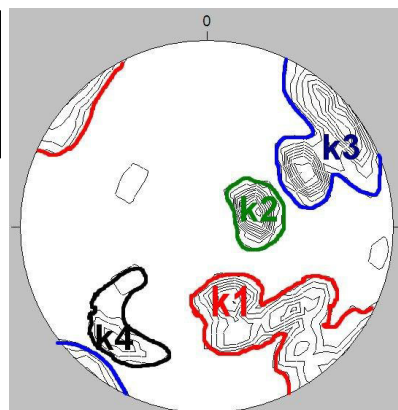
13.6 CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI

Le verifiche sono state eseguite sugli affioramenti rocciosi in corrispondenza del sito di intervento n°7; tutti i dati giacaturali (immersione ed inclinazione) delle discontinuità rilevate sono stati inseriti nel software Stereo Nett version 2.03 (Rhur – Universität-Bochum, Universitätsstr 150 D44701 Bochum, Germany, 1997) ed hanno permesso di identificare, attraverso l'utilizzo di proiezioni stereografiche, all'interno del litotipo afferente il Calcare Massiccio della Falda Toscana una serie di famiglie di discontinuità, i cui valori medi di immersione ed inclinazione sono di seguito riportati

Famiglie di discontinuità	IMM. / INCL.
K1	308°/60°
K2	253°/21°
K3	235°/68°
K4	102°/58°
Fronte 7a	230°/85°



Poli fronte
sito 7
(Fronte 7a)



Famiglie
fronte
sito 7
(Fronte 7a)

Sulla base delle famiglie di discontinuità rilevate sono state eseguite le verifiche di stabilità sul fronte roccioso affiorante, seguendo la metodologia di analisi cinematica del test di Markland per ammassi rocciosi con reticolo Equi angolare di Wulff, che hanno fornito i seguenti risultati:

- instabilità allo scivolamento planare della superfici K1 e K3;
- instabilità allo scivolamento di un cuneo roccioso costituito dalle famiglie K1K3 e K3K4;

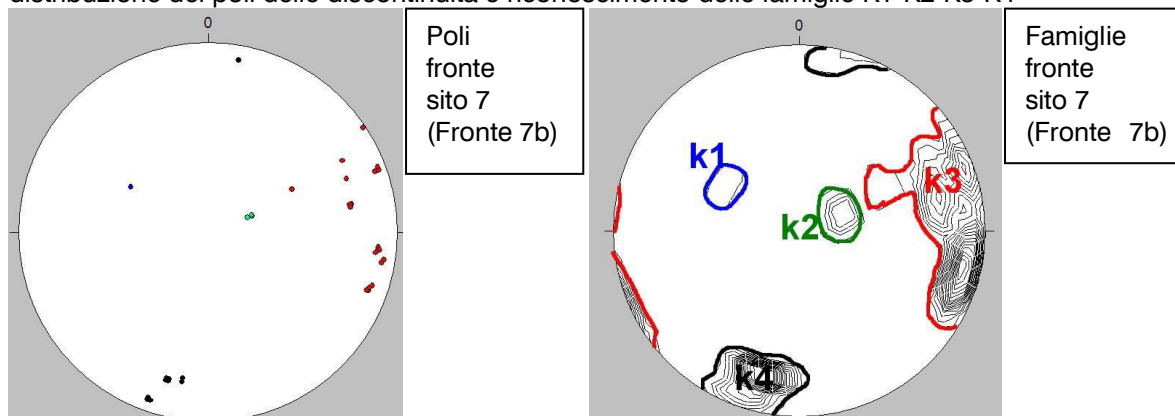
Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test".

Famiglie di discontinuità	IMM. / INCL.
K1	120°/39°
K2	250°/19°
K3	256°/76°
K4 (stratificazione)	30°/73°
Fronte 7b	230°/85°

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	55

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

distribuzione dei poli delle discontinuità e riconoscimento delle famiglie K1-K2-K3-K4



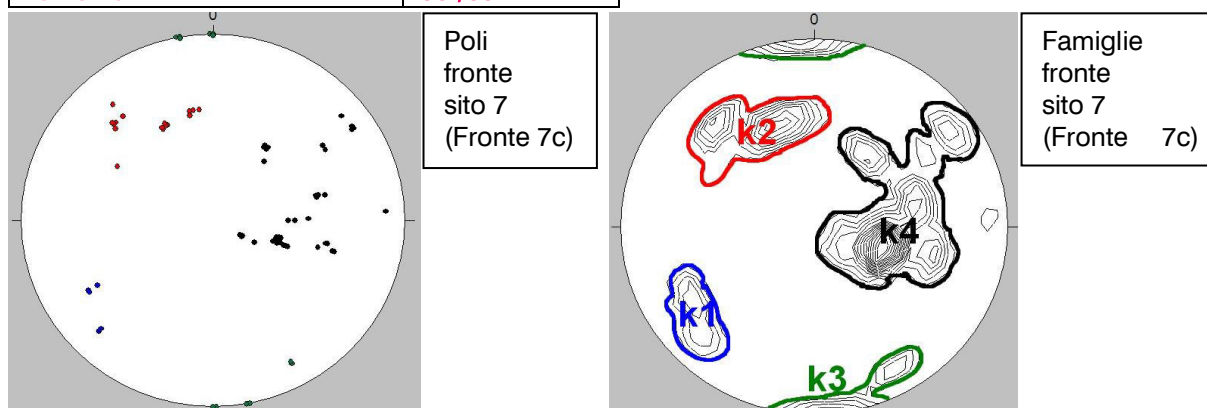
Sulla base delle famiglie di discontinuità rilevate sono state eseguite le verifiche di stabilità sul fronte roccioso affiorante, seguendo la metodologia di analisi cinematica del test di Markland per ammassi rocciosi con reticolo Equi angolare di Wulff, che hanno fornito i seguenti risultati:

- instabilità allo scivolamento planare della superficie K3;
- condizione al limite della stabilità allo scivolamento planare della superficie K1;
- condizione al limite della stabilità allo scivolamento di un cuneo roccioso formato dalle superfici K1K3 e K3K4;
- condizione al limite della stabilità al ribaltamento per la superficie di discontinuità K4.

Le condizioni al limite della stabilità possono generare cinematismi di blocchi litoidi a seguito di eventi piovosi e/o sismici.

Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test".

Famiglie di discontinuità	IMM. / INCL.
K1	160°/51°
K2	178°/49°
K3	224°/71°
K4 (stratificazione)	260°/49°
Fronte 7c	230°/85°



Sulla base delle famiglie di discontinuità rilevate sono state eseguite le verifiche di stabilità sul fronte roccioso affiorante, seguendo la metodologia di analisi cinematica del test di Markland per ammassi rocciosi con reticolo Equi angolare di Wulff, che hanno fornito i seguenti risultati:

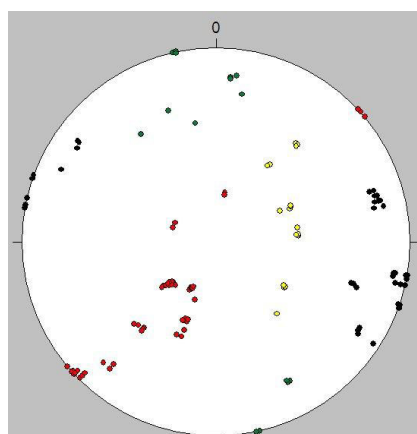
- instabilità allo scivolamento planare delle superficie K1, K2, K3 e K4;
- instabilità allo scivolamento di cunei rocciosi composti dalle superfici di discontinuità K1K2, K1K3, K1K4, K2K3, K2K4, K3K4.

Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test".

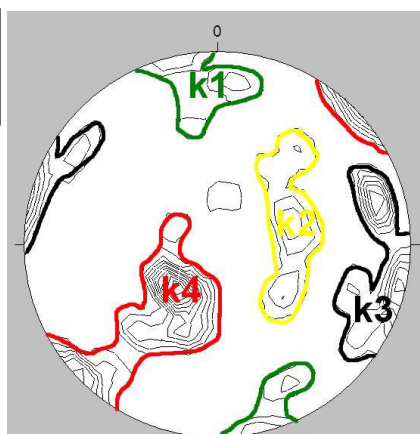
Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	56

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Famiglie di discontinuità	IMM. / INCL.
K1	213°/73°
K2	251°/40°
K3	258°/79°
K4 (Stratificazione)	47°/89°
Fronte 7d	275°/80°



Poli fronte
sito 7
(Fronte 7d)

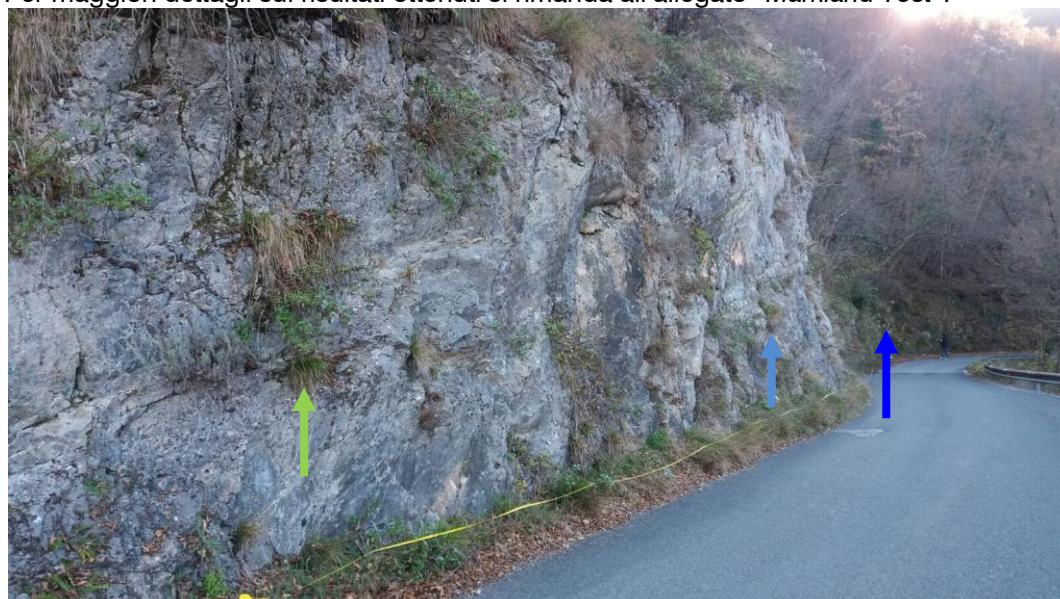


Famiglie
fronte
sito 7
(Fronte 7d)

Sulla base delle famiglie di discontinuità rilevate sono state eseguite le verifiche di stabilità sul fronte roccioso affiorante, seguendo la metodologia di analisi cinematica del test di Markland per ammassi rocciosi con reticolo Equi angolare di Wulff, che hanno fornito i seguenti risultati:

- instabilità allo scivolamento planare delle superficie K1,K2,K3
 - condiziona al limite della stabilità per la superficie e K4;
 - instabilità allo scivolamento di cunei rocciosi composti dalle superfici di discontinuità K1K2, K3K4.
 - condiziona al limite della stabilità per lo scivolamento di cunei rocciosi composti dalle superfici K1K3 e K2K4;
- Le condizioni al limite della stabilità possono generare cinematismi di blocchi litoidi a seguito di eventi piovosi e/o sismici.

Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test".



Fronti 7a, 7b e 7c; Calcare Massiccio

→ fronte 7a, → fronte 7b, → fronte 7c

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	57

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasio



Blocco franato sottostrada – fronte 7b



fronte 7d; Calcare Massiccio

14. SITO N°8

14.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI

Il sito di intervento n°8 si sviluppa lungo la strada in oggetto per una lunghezza di circa 140m alla quota di 480m s.l.m.; il contesto geologico è definito dalla presenza della Formazione del Macigno.

Nell'ambito delle opere in progetto il substrato affiora diffusamente lungo il versante di controripa della strada mentre nella parte valliva della stessa il substrato è mascherato con continuità da una coltre detritica naturale, mista a riporto antropico, che assume spessori nell'ordine dei tre metri.

Detto materiale detritico, incoerente - semi coerente, manifesta una certa variabilità granulometrica, dove una matrice sabbiosa limosa, localmente argillosa, ingloba clasti e trovanti litici arenacei.

Dove direttamente affiorante il substrato roccioso appare interessato da una marcata deformazione tettonica con grado di alterazione e fratturazione anche molto accentuato e tale da creare il distacco di blocchi litoidi di dimensioni medio piccole.

Dove rilevabili le superfici di strato immergono prevalentemente verso nord nord ovest con inclinazione nell'ordine dei 25° ponendosi pertanto a traverspoggio rispetto alla topografia del versante interessato dai lavori; locali differenze dai valori giacitureali riportati sono tuttavia rilevabili ed imputabili alla presenza di strutture deformative, di origine tettonica, a piccola e a media scala.

Si distinguono inoltre altre famiglie di discontinuità diversamente orientate e con diversa persistenza, apertura e rugosità.

Nel complesso quindi le condizioni di conservazione sono da considerarsi da "discrete" a "scadenti", salvo peggiorare nelle porzioni più superficiali e nelle fasce a cavallo di faglie e fratture dove divengono "molto scadenti" tanto che la roccia si presenta talvolta una sabbia debolmente cementata in cui la stratificazione originaria non è più riconoscibile.

Dal punto di vista geomorfologico si distinguono lungo il versante di controripa della strada diversi cinematismi di blocchi litoidi di dimensioni medio piccole e segni di erosione areale delle acque di ruscellamento superficiale legati dall'assenza di vegetazione.

Si rilevano inoltre situazioni al limite dell'equilibrio per la presenza di terreno detritico sospeso su superfici molto acclivi dove la vegetazione riveste un ruolo fondamentale per il mantenimento della stabilità.

Per quanto riguarda gli aspetti idrografici e idrogeologici non sono state riscontrate linee di deflusso, pozzi o aree a ristagno prolungato così come dalla prova penetrometrica effettuata non è stata rilevata la presenza di acqua; le condizioni idrogeologiche generali sono tuttavia tali che a seguito di eventi piovosi particolarmente intensi, come quelli che si sono verificati tra gennaio e febbraio 2017, si genera una attiva circolazione idrica impostata al contatto coltre detritica - substrato roccioso o negli orizzonti maggiormente fratturati del substrato con un flusso di acqua che, quando intercetta la topografia, dà origine a emergenze idriche per soglia di permeabilità.

14.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione del modello geologico - sismico dei terreni interessati dall'intervento n°8 e per una loro caratterizzazione geotecnica preliminare oltre a far riferimento al rilevamento geologico strutturale eseguite sulle pareti rocciose è stata eseguita una specifica campagna geognostica

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	58

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

composta da n°1 prova penetrometrica dinamica media (DPM01) spinta fino allo stato di rifiuto all'avanzamento della punta strumentale da attribuire all'incontro del probabile substrato roccioso molto alterato e fratturato e precisamente alla profondità, da piano campagna, di 3,4m; per l'esatta ubicazione delle indagini si rimanda alla Tav. 3H.

14.3 STRATIGRAFIA

Sulla base delle osservazioni geologico – morfologiche e delle indagini eseguite in sito emergerebbe come, nell'area di intervento, i terreni in esame siano caratterizzati dalla presenza di un substrato roccioso, afferente il Macigno, che, dove non direttamente affiorante è mascherato da una coltre detritica naturale mista a riporto antropico che assume spessori nell'ordine dei tre metri.

Nello specifico sono stati distinti tre livelli litostratigrafici denominati: Livello A, Livello B e Livello C, di seguito descritti (cfr Tav. 4h).

Livello A: dove presente, si sviluppa da piano campagna fino ad una profondità, dal piano campagna stesso, di circa 1,8m e costituisce un insieme di sedimenti, sciolti, sabbioso limosi

Livello B: dove presente, si estende inferiormente al Livello A fino a profondità, da piano campagna, di circa 3,3m ed identifica un insieme di sedimenti, moderatamente addensati, sabbioso limosi con clasti e trovanti litici.

Livello C: dove non direttamente affiorante segue il Livello B e rappresenta il substrato roccioso alterato e fratturato all'interno del quale la prova penetrometrica è andata a rifiuto.

14.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

Nel presente capitolo vengono proposti i valori rappresentativi dei parametri geotecnici dei terreni investigati.

Prima di entrare nel merito della parametrizzazione geotecnica dei livelli litostratigrafici riconosciuti, ai fini della progettazione, ritengo utile indicare quanto segue.

Nel Capitolo N°6 delle NTC 2008 per parametrizzazione geotecnica si intendono i valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni dove, per valore caratteristico, si intende una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.

Secondo le Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC (In pratica Valore operativo o di progetto basato sul giudizio del geotecnico) nelle valutazioni che il geotecnico deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici richiesti per la progettazione, appare giustificato, secondo il CSLP, il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (per esempio in fondazioni superficiali o in una frana dove il volume interessato dalla superficie di rottura è grande) con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati invece nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno (ad es. terreno di base di un palo, verifica a scorrimento di un muro), con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità.

La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni (ad esempio, effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata).

Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato.

Seguendo le prescrizioni dell'Eurocodice 7 per quanto riguarda i parametri caratteristici relativi alla resistenza al taglio, sulla famiglia di valori disponibili bisogna utilizzare il frattile del 5% (valore che ha solo il 5% di probabilità di essere minorato) derivante dalla formula:

$$V_k = V_m \cdot [1 - 1,645 \cdot (\sigma / V_m)] \quad \text{con}$$

- V_k : Valore caratteristico della resistenza
- V_m : Valore medio del parametro di resistenza considerato
- 1,645 : Coefficiente valido per il 5% percentile di una distribuzione gaussiana
- σ : Deviazione standard del campione;

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	59

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Per quanto riguarda il modulo elastico ed edometrico, potrà essere utilizzato invece il frattile del 50% (mediana dei valori ottenuti), poiché non si è in presenza né di azione, né di resistenza.

Da bibliografia tecnica è possibile inoltre ricavare tale valore caratteristico da un unico dato disponibile sfruttando la formula seguente:

$$V_k = V - 1,645 \cdot (COV \cdot V)$$

con

- V_k : Valore caratteristico della resistenza
- V : Valore disponibile del parametro di resistenza considerato
- $-1,645$: Coefficiente valido per il 5% percentile di una distribuzione gaussiana
- COV : coefficiente di variazione COV che può assumere i seguenti valori:

Angolo di attrito φ : 10 %

Coesione : 30 %

Modulo di comprimibilità : 40 %

Peso di volume : 5 %

A seguito di questa premessa, nel presente caso, la parametrizzazione geotecnica dei terreni detritici superficiali è stata estrapolata, oltre che da riferimenti ed informazioni bibliografiche inerenti terreni affini a quelli indagati, dalle interpretazioni dei risultati della prova penetrometrica effettuata ed elaborata sulla base di correlazioni note in letteratura geotecnica; per una più dettagliata ed esauriente analisi del risultato ottenuto sulla singola verticale di sondaggio si rimanda all'allegato: "prova penetrometrica".

Va precisato che, in merito ai parametri di resistenza al taglio dei terreni investigati, non essendo possibile con il tipo di prove eseguite, determinare la quotaparte dovuta alla coesione e quella dovuta all'angolo d'attrito, parametri entrambi presenti nei terreni in questione, si è ipotizzato, per una migliore schematizzazione del problema, che i livelli litostratigrafici riconosciuti manifestino un comportamento prevalentemente granulare incoerente ($\varphi' \neq 0$; $C' \approx 0$).

Sono di seguito indicate le correlazioni di riferimento utilizzate per definire i parametri geotecnici dei livelli litostratigrafici individuati sulla base dei valori di N_{10} e N_{spt} registrati:

Dr	(densità relativa)	:Meyerhof (1957)
φ	(angolo d'attrito interno)	:Meyerhof (1965)
φ_k	(angolo d'attrito interno valore caratteristico)	
Cu	(coesione non drenata)	:Terzaghi-Peck (per livelli A e B; valori da utilizzare solamente per le eventuali verifiche di stabilità dei fronti di scavo a breve termine)
Cuk	(coesione non drenata valore caratteristico)	
C'	(coesione drenata)	:valutata 1/30 di Cu
C'k	(Coesione drenata valore caratteristico)	
γ	(Peso di volume)	:Meyerhof ed altri
γ_K	(Peso di volume valore caratteristico)	
γ_s	(Peso di volume saturo)	:Terzaghi-Peck (1948-1967)
γ_{sk}	(Peso di volume saturo caratteristico)	
Ey	(Modulo elastico)	:Schultze-Menzenbach
Eyk	(Modulo elastico caratteristico)	
M	(Modulo edometrico)	:Begemann (1974).
Mk	(Modulo edometrico caratteristico)	

Il substrato litoide è stato invece definito, non essendo reperibili nelle vicinanze del sito di intervento affioramenti rappresentativi per una caratterizzazione geomeccanica di dettaglio degli ammassi rocciosi presenti, ipotizzando cautelativamente un substrato roccioso di qualità scadente.

Ai livelli litostratigrafici riconosciuti è possibile assimilare i seguenti parametri geotecnici.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	60

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

14.4.1 Coltri di copertura

Valori nominali

Livello A

Dr	=45	%
γ	=14,61	KN/m ³
γ_s	=18,44	KN/m ³
Cu	=23,44	Kpa
ϕ	=31	°
C'	=0,78	Kpa
Ey	=8,23	MPa
M	=3,46	MPa

Livello B

Dr	=71	%
γ	=17,85	KN/m ³
γ_s	=19,02	KN/m ³
Cu	=85,61	Kpa
ϕ	=35	°
C'	=2,85	Kpa
Ey	=11,18	MPa
M	=5,30	MPa

Valori caratteristici

Livello A

Dr	= 38	%
γ_k	=13,41	KN/m ³
γ_{sk}	=16,92	KN/ m ³
Cuk	=8,34	
ϕ_k	=26	°
C'K	=0,40	Kpa
Eyk	=2,81	MPa
Mk	=1,18	MPa.

Livello B

Dr	=59	%
γ_k	=16,38	KN/m ³
γ_{sk}	=17,46	KN/ m ³
Cuk	=43,11	Kpa
ϕ_k	=29	°
C'	=1,44	Kpa
Eyk	=3,82	MPa
Mk	=1,81	MPa.

14.4.2 Substrato roccioso

Per la valutazione delle costanti e dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso affiorante è stato utilizzato il programma RocLab proposto dalla GeoStru, ricavando la parametrizzazione seguente, riferita alle peggiori condizioni geomeccaniche attese, definite in base all'esame degli affioramenti rocciosi:

PARAMETRI IMMESSI:

σ_{ci} =25Mpa (la roccia si frattura con un colpo di martello)

GSI=30,

mi=17,

D=1 (associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

MR=275,

Ei (modulo elasticità) =200MPa

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 80,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: mb = 0.115, s=0, a=0.523. σ_{3max} = 1.30Mpa,

CRITERIO MOHR-COULOMB: c=0.148MPa, ϕ =20,55°.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: σ_t =0.00Mpa (resistenza alla trazione), σ_c =0.0MPa (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata),

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	61

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

$\sigma_{cm}=0.973\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm}=5.670\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 20,0m; peso unità di Volume $24,00\text{KN/m}^3$

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.115$, $s=0$, $a=0.523$. $\sigma_{3\max} = 0.368\text{MPa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=0.064\text{MPa}$, $\phi=29,80^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{MPa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c=0.0\text{MPa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm}=0.973\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm}=5.670\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

All'ammasso roccioso in oggetto è pertanto possibile assegnare i seguenti parametri geomeccanici:

Valori intrinseci dell'ammasso roccioso per elevate tensioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$

$\phi' = 20^\circ$

$C' = 0,148 \text{ MPa}$

Valori dell'ammasso roccioso per ridotte pressioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$

$\phi' = 30^\circ$

$C' = 0,064 \text{ MPa}$

14.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Per quanto riguarda i parametri sismici di base riferiti al progetto in questione il terreno potrà essere inserito, sulla base delle indagini geofisiche eseguite in aree limitrofe a quelle di intervento, in **categoria E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800 \text{ m/s}$).

Circa le condizioni topografiche, il coefficiente di amplificazione topografica, ST, può essere considerato pari a 1,2 (valore ricavato 1,18).

Per determinare i parametri sismici necessari alla definizione delle forme spettrali per il sito in esame si può riassumere quanto segue:

- coordinate geografiche dell'opera da verificare: latitudine: 44,136831; longitudine: 10,076058
- classe d'uso: 2
- vita nominale dell'edificio: 50 anni
- categoria topografica: T2 con coefficiente ST pari a 1,2
- categoria di suolo: E

i quali hanno permesso di ottenere in dettaglio quanto riportato in allegato "Parametri Sismici".

A riguardo delle fenomenologie indotte nei terreni di progetto da azioni sismiche, si può affermare che in riferimento alle granulometrie dei depositi individuati e delle caratteristiche idrogeologiche, la possibilità che possano verificarsi fenomeni legati alla liquefazione o alla densificazione dei sedimenti sia remota.

Gli interventi previsti sono finalizzati al miglioramento delle condizioni di stabilità della sede stradale quindi non sono da considerarsi come nuova edificazione la presenza della faglia potenzialmente capace individuata non preclude pertanto la realizzazione di questa tipologia di interventi.

I fenomeni di instabilità geomorfologica rilevati in questo sito dalle verifiche e considerazioni effettuate con gli interventi previsti se realizzati a regola d'arte e se saranno soggetti a manutenzione periodica permetteranno di raggiungere in questo tratto di versante un sufficiente grado di stabilità anche in caso di evento sismico.

14.6 CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI

Le verifiche sono state eseguite sull'affioramento roccioso in corrispondenza del sito di intervento n°8 il fronte in oggetto presenta un' altezza di circa 20,m e giacitura 220° (immersione) / 65° (inclinazione).

Tutti i dati giacaturali (immersione ed inclinazione) delle discontinuità rilevate sono stati inseriti nel software Stereo Nett version 2.03 (Rhur – Universität-Bochum, Universitätsstr 150 D44701

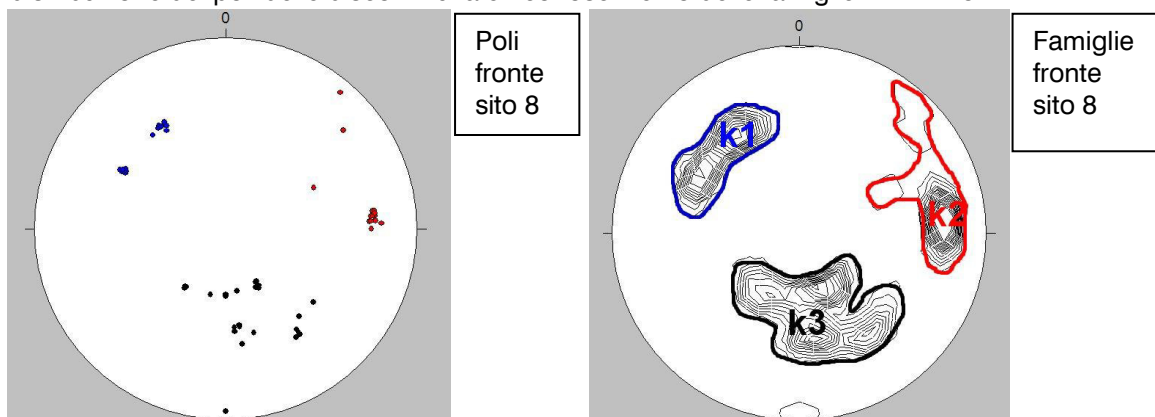
Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	62

Relazione geologica	
Committente:	Lavori di consolidamento del versante in frana
Comune di Fosdinovo	della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Bochum, Germany, 1997) ed hanno permesso di identificare, attraverso l'utilizzo di proiezioni stereografiche, all'interno del litotipo afferente il Macigno della Falda Toscana, tre famiglie di discontinuità, i cui valori medi di immersione ed inclinazione sono di seguito riportati

Famiglie di discontinuità	IMM. / INCL.
K1	136°/52°
K2	259°/66°
K3	246°/40°
Fronte 8	220°/65°

distribuzione dei poli delle discontinuità e riconoscimento delle famiglie K1-K2-K3-K4



Sulla base delle famiglie di discontinuità rilevate sono state eseguite le verifiche di stabilità sul fronte roccioso affiorante, seguendo la metodologia di analisi cinematica del test di Markland per ammassi rocciosi con reticolo Equi angolare di Wulff, che hanno fornito i seguenti risultati:

- instabilità allo scivolamento piano della famiglia di discontinuità K3
- condizioni al limite della stabilità allo scivolamento piano delle superfici di discontinuità K1 e K3
- instabilità per scivolamento di un cuneo roccioso costituito dalle famiglie K1K3 e K1K2;
- condizioni al limite della stabilità allo scivolamento di un cuneo roccioso formato dalle discontinuità K2K3

Le condizioni al limite della stabilità rilevate possono generare cinematismi di blocchi litoidi a seguito di evento sismico e/o piovoso.

Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test".



Il fronte, di altezza di circa 20m, presenta, al centro, una grossa frattura sub verticale (faglia; evidenziata in rosso) con immersione ed inclinazione pari a 120/51.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	63

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasio



fronte roccioso "Macigno"
sito n° 8



Stratificazione in nero e due diverse famiglie di discontinuità; le discontinuità di colore rosso presentano una immersione ed una inclinazione pari a $150^{\circ}/54^{\circ}$ mentre le discontinuità di colore giallo pari a $330^{\circ}/28^{\circ}$



frattura sub-orizzontale che taglia la stratificazione



Nel tratto finale del fronte 8 è stato impossibile effettuare il rilievo geomeccanico per l'estrema fatturazione ed alterazione del substrato roccioso.

15. SITO N°9

15.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI

Il sito di intervento n°9 si sviluppa lungo la strada in oggetto per una lunghezza di circa 250m ad una quota di circa 490m slm; il contesto geologico è definito dalla presenza della Formazione del Macigno.

Nell'ambito delle opere in progetto il substrato affiora diffusamente lungo il versante di controripa della strada mentre nella parte valliva della stessa il substrato è mascherato con continuità da una coltre detritica naturale, mista a riporto antropico, che assume spessori anche considerevoli e nell'ordine dei 10m.

Detto materiale detritico, incoerente - semi coerente, manifesta una certa variabilità granulometrica, dove una matrice sabbiosa limosa, localmente argillosa, ingloba clasti e trovanti litici arenacei.

Dove direttamente affiorante il substrato roccioso appare interessato da una marcata deformazione tettonica con grado di alterazione e fratturazione anche molto accentuato e tale da creare il distacco di blocchi litoidi di dimensioni eterogenee medio piccole.

Dove rilevabili le superfici di strato immergono prevalentemente nord nord ovest con pendenze nell'ordine dei 20° ponendosi pertanto a traverpoggio rispetto alla topografia del versante

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	64

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

interessato dai lavori, si distinguono inoltre altre superfici di discontinuità variabili sia come giacitura che apertura e persistenza.

Nel complesso quindi le condizioni di conservazione dell'ammasso sono da considerarsi da "discrete" a "scadenti", salvo peggiorare nelle porzioni più superficiali e nelle fasce a cavallo di faglie e fratture dove divengono "molto scadenti" tanto che la roccia si presenta talvolta una sabbia debolmente cementata in cui la stratificazione originaria non è più riconoscibile.

Dal punto di vista geomorfologico si distinguono lungo la scarpata di controripa instabilità legate al distacco di blocchi litoidi di dimensioni anche grandi e fenomeni di erosione areale dovuta all'assenza di vegetazione.

Nel versante di sottoscarpa invece nonostante la presenza di notevoli spessori detritici non si rilevano particolari fenomeni di degrado attivi.

Per quanto riguarda gli aspetti idrografici non sono state riscontrate linee di deflusso che possano interferire con l'intervento in progetto.

Dal punto di vista idrogeologico lungo la scarpata di controripa della strada in oggetto si rilevano venute idriche di modesta portata che si alimentano a seguito di eventi piovosi a testimoniare la formazione di una attiva circolazione idrica impostata al contatto coltre detritica substrato roccioso o negli orizzonti maggiormente fratturati del substrato.

15.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione del modello geologico - sismico dei terreni interessati dall'intervento n°9 e per una loro caratterizzazione geotecnica preliminare oltre a far riferimento al rilevamento geologico strutturale eseguite sulle pareti rocciose è stata eseguita una specifica campagna geognostica composta da:

- n°1 indagine geofisica tipo sismica rifrazione in onde P (B1);
- n°1 indagine geofisica MASW (MASW1).

per l'esatta ubicazione delle indagini si rimanda alla Tav. 3i.

15.3 STRATIGRAFIA

Sulla base delle osservazioni geologico – morfologiche e delle indagini eseguite in sito emergerebbe come, nell'area di intervento, i terreni in esame siano caratterizzati dalla presenza di un substrato roccioso, prevalentemente arenaceo, che, dove non direttamente affiorante è mascherato da un mantello detritico naturale misto a riporto antropico che assume spessori anche notevoli.

Nello specifico sono stati distinti tre livelli litostratigrafici denominati: Livello A, Livello B e Livello C, di seguito descritti (cfr Tav. 4i).

Livello A: dove presente, si sviluppa da piano campagna fino a profondità, dal piano campagna stesso, comprese tra circa due e cinque metri e costituisce un insieme di sedimenti, da poco a moderatamente addensati, sabbioso limosi localmente argillosi che inglobano clasti e trovanti litici arenacei.

In questo livello litostratigrafico la velocità di propagazione delle onde sismiche P è inferiore a 800m/s mentre le onde sismiche "S" assumono una velocità media di circa 180m/s.

Livello B: dove non direttamente affiorante, segue il livello A e rappresenta il substrato litoide, molto alterato e fratturato, afferente al Macigno, assimilabile detrito grossolano moderatamente addensato in matrice sabbiosa limosa.

In questo livello litostratigrafico le onde sismiche "P" si propagano con velocità comprese tra circa 800 e 1500m/s mentre le onde sismiche "S" assumono una velocità media di 350m/s.

Livello C: segue il livello B e con velocità medie di propagazione delle onde sismiche "S" pari a 900m/s identifica il substrato roccioso da mediamente a poco alterato e fratturato.

15.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

Nel presente capitolo vengono proposti i valori rappresentativi dei parametri geotecnici dei terreni investigati.

L'indagine geofisica MASW effettuate in sito ha consentito di procedere alla definizione dei principali parametri granulometrici e fisico/meccanici dei Livelli A e B riconosciuti tramite l'applicazione di correlazioni empiriche con le velocità sismiche, in particolare con le onde "S".

Vengono indicate, di seguito, le correlazioni di riferimento utilizzate per la definizione delle caratteristiche granulometriche e dei parametri geotecnici e fisici del Livello A riconosciuto:

F (fattore granulometrico); Ohta e Goto (1978) $= V_s / (78,98 * Z^{0,312})$

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	65

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasio

F	Tipo di suolo
1	argilla
1,26	sabbia fine
1,282	sabbia media
1,422	sabbia grossa
1,641	sabbia e ghiaia
2,255	ghiaia

d_{50} (mm; diametro medio dei grani); lysan (1996) $= (Vs/408)^{1/0,247}$
 I_c (soil behavior type index); Mayne (2006) $= -0,7174 \cdot \ln[Vs^2/(9,81 \cdot Z)] + 6,3211$
 $F_c\%$ (percentuale passante al setaccio 0,074mm); Robertson e Fear (1995) $= 42,4179 \cdot I_c - 54,8574$
 γ_{sat} (KN/m³; peso di volume saturo); Mayne (2001) $= 8,63 \cdot \log(Vs) - 1,18 \cdot \log(Z) - 0,53$
 γ (KN/m³; peso di volume naturale); Keceli (2012) $= 4,3 \cdot (Vs^{0,25})$
 e_0 (Indice dei vuoti); Burns e Mayne (1996) $= 121 \cdot Vs^{-1,0} \cdot Z^{0,22}$
 V_{s1} (m/s; Velocità sismica normalizzata); Chang (2005) $= 188,38 - 77,744 \cdot e_0$
 V_{s1cs} (m/s; Velocità sismica normalizzata corretta rispetto al contenuto di fine F_c) $= K \cdot V_{s1}$

Valori di K rispetto a F_c per il calcolo di V_{s1cs} (juang et al. 2002)	
$F_c(\%)$	K
≤ 5	1
5-35	$K = 1 + (F_c - 5) \cdot [0,009 - 0,0109 \cdot (Vs_1/100) + 0,0038 \cdot (Vs_1/100)^2]$
> 35	$K = 1 + (30) \cdot [0,009 - 0,0109 \cdot (Vs_1/100) + 0,0038 \cdot (Vs_1/100)^2]$

DR (%; densità relativa); Andrus et al. (2004) $= 17,974 \cdot (Vs_{1cs}/100)^{1,976}$
 ϕ' (°; angolo d'attrito interno); Uzielli et al. (2013) $= 3,9 \cdot Vs_1^{0,44}$
 C_u (KPa; coesione non drenata); Dickenson (1990) $= (Vs/23)^{1/0,475}$
 C' (KPa; coesione drenata); valutata 1/30 di C_u
 E_{50} (KPa; mod elastico normale operativo); Mayne (2007) $= 0,06 \cdot Vs^{2,25}$
 E_{u50} (KPa; modulo non drenato operativo); Mayne (2007) $= 0,079 \cdot Vs^{2,25}$
 M_{50} (KPa; modulo confinato edometrico); Mayne (2007) $= 0,064 \cdot Vs^{2,25}$

Con:

V_s (m/s) : velocità delle onde sismiche "S" nello strato di riferimento
 Z (m) : profondità dello strato di riferimento

Per quanto riguarda il livello C questo è stato caratterizzato dal punto di vista geomeccanico attraverso il rilevamento geologico strutturale eseguito in prossimità dell'area di intervento.

15.4.1 Coltri di copertura

Alla coltre detritica di copertura è possibile associare i seguenti parametri geotecnici:

Livello A

V_s	=	180	m/s
Z	=	5	m
F	=	1,37	sabbia medio grossa
d_{50}	=	0,04	mm
I_c	=	1,66	
F_c	=	16	%
γ_{sat}	=	18,11	KN/m ³
γ	=	15,75	KN/m ³
e_0	=	0,95	
V_{s1}	=	114	m/s
DR	=	26	%
ϕ'	=	31	°
C_u	=	76,06	KPa
C'	=	2,53	KPa
E_{50}	=	7120	KPa
E_{u50}	=	9375	KPa
M_{50}	=	7595	KPa

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	66

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Livello B

Vs	=	350	m/s
Z	=	10	m
F	=	2,16	ghiaia
d50	=	0,53	mm
Ic	=	1,21	
Fc	=	<1,0	%
γ_{sat}	=	20,25	KN/m ³
γ	=	18,59	KN/m ³
e0	=	0,57	
Vs ₁	=	147	m/s
DR	=	37	%
φ'	=	35	°
Cu	=	308,41	KPa
C'	=	10,28	KPa
E50	=	31791	KPa
Eu50	=	41858	KPa
M50	=	33910	KPa

15.4.2 Substrato roccioso

Il fronte indagato sito n°9 è stato suddiviso in cinque porzioni diverse (9a-b-c-d-e) per le diverse immersioni ed inclinazioni del fronte ma anche per le diverse caratteristiche dell'ammasso roccioso più o meno fratturato.

- Fronte 6a: lungo 6-7m ed alto circa 40m presenta immersione ed inclinazione pari a 240/75;
- Fronte 6b: lungo 5m ed alto circa 40 metri con immersione ed inclinazione pari a 180/55;
- Fronte 6c: lungo circa 20 metri ed alto 6-8m presenta immersione ed inclinazione pari a 180/55.
- Fronte 6d: lungo 5-6m ed alto 6-8m presenta immersione ed inclinazione pari a 317/76;
- Fronte 6e: lungo circa 5m ed alto circa 8m presenta immersione ed inclinazione pari a 320/45. Il fronte coincide con la superficie della stratificazione.

Per la valutazione delle costanti e dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso affiorante è stato utilizzato il programma RocLab proposto dalla GeoStru, ricavando la parametrizzazione seguente, riferita alle peggiori condizioni geomeccaniche attese, definite in base all'esame degli affioramenti rocciosi:

Fronte 9a

PARAMETRI IMMESSI:

$\sigma_c = 50\text{Mpa}$ (la roccia si frattura dopo più di un colpo di martello)

GSI=30,

mi=17,

D=1 (associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

MR=275,

Ei (modulo elasticità)=200MPa

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 80,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: mb = 0.115, s=0, a=0.523. $\sigma_{3max} = 1.380\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: c=0.196MPa, $\phi = 24,980^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0.0\text{Mpa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 1.946\text{Mpa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_m = 5.670\text{Mpa}$ (modulo di deformazione).

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 40,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: mb = 0.115, s=0, a=0.523. $\sigma_{3max} = 0.737\text{Mpa}$,

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	67

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=0.128\text{MPa}$, $\phi=29,80^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{MPa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0.0\text{MPa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 1.946\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm} = 5.670\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

All'ammasso roccioso in oggetto è pertanto possibile assegnare i seguenti parametri geomeccanici:

Valori intrinseci dell'ammasso roccioso per elevate tensioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$
 $\phi' = 25^\circ$
 $C' = 0,196 \text{ MPa}$

Valori dell'ammasso roccioso per ridotte pressioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$
 $\phi' = 30^\circ$
 $C' = 0,128 \text{ MPa}$

Fronte 9b

Per la valutazione delle costanti e dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso affiorante è stato utilizzato il programma RocLab proposto dalla GeoStru, ricavando la parametrizzazione seguente, riferita alle peggiori condizioni geomeccaniche attese, definite in base all'esame degli affioramenti rocciosi:

PARAMETRI IMMESSI:

$\sigma_c = 50\text{MPa}$ (la roccia si frattura dopo più di un colpo di martello)

$GSI = 20$,

$m_i = 17$,

$D = 1$ (associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

$MR = 275$,

E_i (modulo elasticità) $= 200\text{MPa}$

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 80,0m; peso unità di Volume $24,00\text{KN/m}^3$

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.056$, $s = 0$, $a = 0.544$. $\sigma_{3\max} = 1.319\text{MPa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c = 0.121\text{MPa}$, $\phi = 18,21^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{MPa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0.0\text{MPa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 1.139\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm} = 4.680\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 40,0m; peso unità di Volume $24,00\text{KN/m}^3$

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.056$, $s = 0$, $a = 0.544$, $\sigma_{3\max} = 0.702\text{MPa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c = 0.080\text{MPa}$, $\phi = 22,00^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{MPa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0.0\text{MPa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 1.139\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm} = 4.680\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

All'ammasso roccioso in oggetto è pertanto possibile assegnare i seguenti parametri geomeccanici:

Valori intrinseci dell'ammasso roccioso per elevate tensioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$
 $\phi' = 18^\circ$
 $C' = 0,121 \text{ MPa}$

Valori dell'ammasso roccioso per ridotte pressioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$
 $\phi' = 22^\circ$
 $C' = 0,080 \text{ MPa}$

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	68

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Fronte 9c

Per la valutazione delle costanti e dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso affiorante è stato utilizzato il programma RocLab proposto dalla GeoStru, ricavando la parametrizzazione seguente, riferita alle peggiori condizioni geomeccaniche attese, definite in base all'esame degli affioramenti rocciosi:

PARAMETRI IMMESSI:

$\sigma_c = 50\text{Mpa}$ (la roccia si frattura dopo più di un colpo di martello)

GSI=30,

$m_i = 17$,

D=1 (associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

MR=275,

E_i (modulo elasticità)=200MPa

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 80,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.115$, $s=0$, $a=0.523$. $\sigma_{3\max} = 1.380\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=0.196\text{MPa}$, $\phi=24,980^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0.0\text{MPa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 1.946\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm} = 5.670\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 40,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.115$, $s=0$, $a=0.523$. $\sigma_{3\max} = 0.737\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=0.128\text{MPa}$, $\phi=29,80^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0.0\text{MPa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 1.946\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm} = 5.670\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

All'ammasso roccioso in oggetto è pertanto possibile assegnare i seguenti parametri geomeccanici:

Valori intrinseci dell'ammasso roccioso per elevate tensioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$

$\phi' = 25^\circ$

$C' = 0,196 \text{ MPa}$

Valori dell'ammasso roccioso per ridotte pressioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$

$\phi' = 30^\circ$

$C' = 0,128 \text{ MPa}$

Fronte 9d

Per la valutazione delle costanti e dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso affiorante è stato utilizzato il programma RocLab proposto dalla GeoStru, ricavando la parametrizzazione seguente, riferita alle peggiori condizioni geomeccaniche attese, definite in base all'esame degli affioramenti rocciosi:

PARAMETRI IMMESSI:

$\sigma_c = 50\text{Mpa}$ (la roccia si frattura dopo più di un colpo di martello)

GSI=20,

$m_i = 17$,

D=1 (associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

MR=275,

E_i (modulo elasticità)=200MPa

Limite superiore tensione di confinamento

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	69

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Pendii; profondità 80,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.056$, $s=0$, $a=0.544$, $\sigma_{3max} = 1.319\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=0.121\text{MPa}$, $\phi=18,21^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c=0.0\text{MPa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm}=1.139\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm}=4.680\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 40,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.056$, $s=0$, $a=0.544$, $\sigma_{3max} = 0.702\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=0.080\text{MPa}$, $\phi=22,00^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c=0.0\text{MPa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm}=1.139\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm}=4.680\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

All'ammasso roccioso in oggetto è pertanto possibile assegnare i seguenti parametri geomeccanici:

Valori intrinseci dell'ammasso roccioso per elevate tensioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$

$\phi' = 18^\circ$

$C' = 0,121 \text{ MPa}$

Valori dell'ammasso roccioso per ridotte pressioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$

$\phi' = 22^\circ$

$C' = 0,080 \text{ MPa}$

Fronte 9e

Per la valutazione delle costanti e dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso affiorante è stato utilizzato il programma RocLab proposto dalla GeoStru, ricavando la parametrizzazione seguente, riferita alle peggiori condizioni geomeccaniche attese, definite in base all'esame degli affioramenti rocciosi:

PARAMETRI IMMESSI:

$\sigma_{ci} = 30\text{Mpa}$ (la roccia si frattura dopo più di un colpo di martello)

$GSI=25$,

$mi=17$,

$D=1$ (associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

$MR=275$,

E_i (modulo elasticità) = 200MPa

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 80,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.080$, $s=0$, $a=0.531$, $\sigma_{3max} = 1.292\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=0.128\text{MPa}$, $\phi=18,620^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c=0.0\text{MPa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm}=0.907\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm}=5.060\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 40,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.080$, $s=0$, $a=0.531$, $\sigma_{3max} = 0.688\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=0.085\text{MPa}$, $\phi=22,74^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c=0.0\text{MPa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata),

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	70

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

$\sigma_{cm}=0.907\text{MPa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_m=5.060\text{MPa}$ (modulo di deformazione).

All'ammasso roccioso in oggetto è pertanto possibile assegnare i seguenti parametri geomeccanici:

Valori intrinseci dell'ammasso roccioso per elevate tensioni di confinamento

γ = 24,00 KN/m³

φ' = 19 °

C' = 0,128 MPa

Valori dell'ammasso roccioso per ridotte pressioni di confinamento

γ = 24,00 KN/m³

φ' = 23 °

C' = 0,085 MPa

15.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Per quanto riguarda i parametri sismici di base riferiti al progetto in questione il terreno potrà essere inserito, sulla base delle indagini geofisiche eseguite in sito in **categoria E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Circa le condizioni topografiche, il coefficiente di amplificazione topografica, ST, può essere considerato pari a 1,2 (valore ricavato 1,16).

Per determinare i parametri sismici necessari alla definizione delle forme spettrali per il sito in esame si può riassumere quanto segue:

- coordinate geografiche dell'opera da verificare:
latitudine: 44,137947; longitudine: 10,074738
- classe d'uso: 2
- vita nominale dell'edificio: 50 anni
- categoria topografica: T2 con coefficiente ST pari a 1,2
- categoria di suolo: E

i quali hanno permesso di ottenere in dettaglio quanto riportato in allegato "Parametri Sismici".

A riguardo delle fenomenologie indotte nei terreni di progetto da azioni sismiche, si può affermare che in riferimento alle granulometrie dei depositi individuati e delle caratteristiche idrogeologiche, la possibilità che possano verificarsi fenomeni legati alla liquefazione o alla densificazione dei sedimenti sia remota.

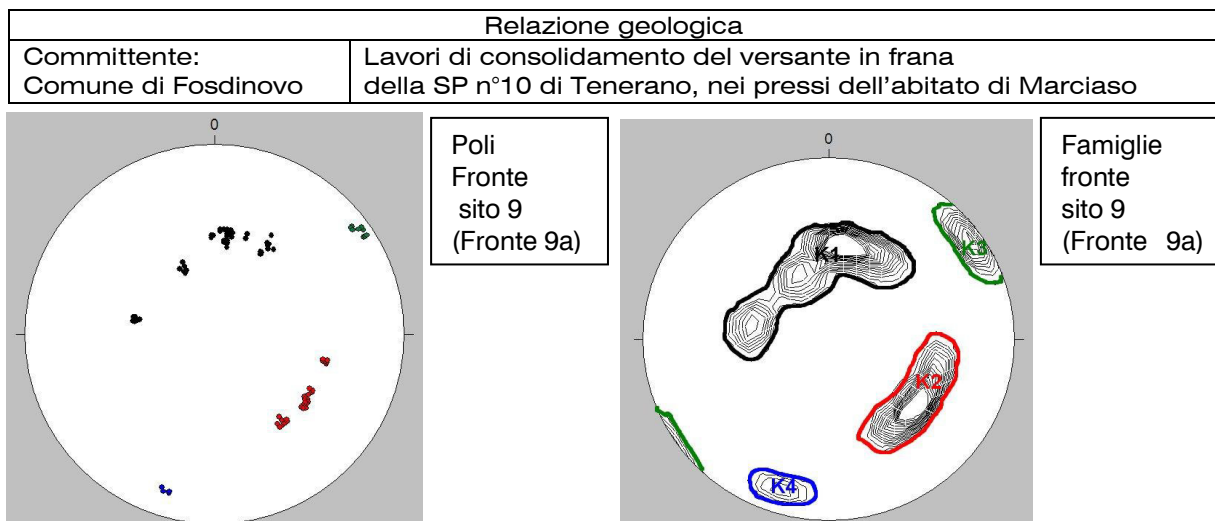
I fenomeni di instabilità geomorfologica rilevati in questo sito dalle verifiche e considerazioni effettuate con gli interventi previsti se realizzati a regola d'arte e se saranno soggetti a manutenzione periodica permetteranno di raggiungere in questo tratto di versante un sufficiente grado di stabilità anche in caso di evento sismico.

15.6 CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI

Le verifiche sono state eseguite sugli affioramenti rocciosi in corrispondenza del sito di intervento n°9; tutti i dati giaciture (immersione ed inclinazione) delle discontinuità rilevate sono stati inseriti nel software Stereo Nett version 2.03 (Rhur – Universität-Bochum, Universitätsstr 150 D44701 Bochum, Germany, 1997) ed hanno permesso di identificare, attraverso l'utilizzo di proiezioni stereografiche, all'interno del litotipo afferente il Macigno della Falda Toscana una serie di famiglie di discontinuità, i cui valori medi di immersione ed inclinazione sono di seguito riportati

Famiglie di discontinuità	IMM. / INCL.
K1	172°/40°
K2 (stratificazione)	306°/50°
K3	234°/83°
K4	17°/75°
Fronte 9a	240°/75°

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	71



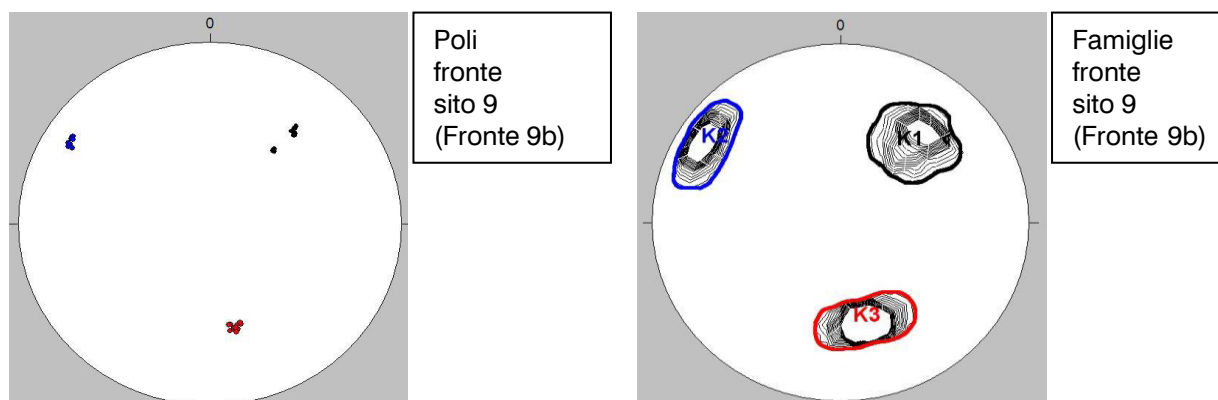
Sulla base delle famiglie di discontinuità rilevate sono state eseguite le verifiche di stabilità sul fronte roccioso affiorante, seguendo la metodologia di analisi cinematica del test di Markland per ammassi rocciosi con reticolo Equi angolare di Wulff, che hanno fornito i seguenti risultati:

- instabilità allo scivolamento planare della superfici K1 e K2;
- instabilità allo scivolamento di un cuneo roccioso costituito dalle superfici di discontinuità K2K4;
- condizioni al limite della stabilità allo scivolamento di cunei rocciosi costituiti dalle superfici di discontinuità K3K4 e K2K3.

Le condizioni al limite della stabilità rilevate possono generare cinematismi di blocchi litoidi in concomitanza di eventi sismici e/o piovosi.

Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test".

Famiglie di discontinuità	IMM. / INCL.
K1	220°/52°
K2	122°/74°
K3	347°/49°
Fronte 9b	180°/55°

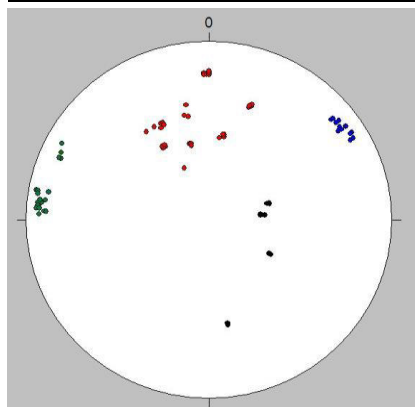


Sulla base delle famiglie di discontinuità rilevate sono state eseguite le verifiche di stabilità sul fronte roccioso affiorante, seguendo la metodologia di analisi cinematica del test di Markland per ammassi rocciosi con reticolo Equi angolare di Wulff, che hanno fornito i seguenti risultati:

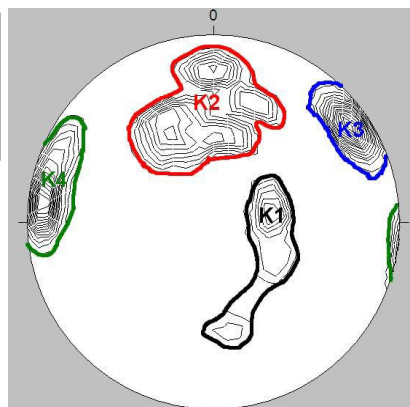
- instabilità allo scivolamento planare della superficie K1;
 - instabilità allo scivolamento di un cuneo roccioso costituito dalle superfici di discontinuità K1K2;
 - condizioni al limite della stabilità al ribaltamento della superficie di discontinuità K3
- Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test".

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Famiglie di discontinuità	IMM. / INCL.
K1	286°/32°
K2	171°/59°
K3	235°/78°
K4	100°/81°
F (Faglia)	150°/50°
Fronte 9c	180°/55°



Poli
fronte
sito 9
(Fronte 9c)



Famiglie
fronte
sito 9
(Fronte 9c)

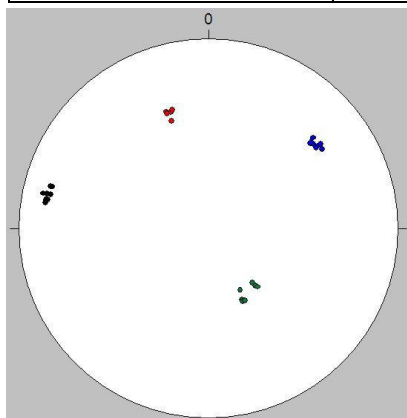
Sulla base delle famiglie di discontinuità rilevate sono state eseguite le verifiche di stabilità sul fronte roccioso affiorante, seguendo la metodologia di analisi cinematica del test di Markland per ammassi rocciosi con reticolo Equi angolare di Wulff, che hanno fornito i seguenti risultati:

- instabilità allo scivolamento planare della superficie F;
- condizione al limite della stabilità per movimento planare lungo la superficie K2
- instabilità allo scivolamento di un cuneo formato dalle discontinuità K3K4, FK4, FK3
- condizioni al limite della stabilità per scivolamento di un cuneo formato dalle discontinuità K1K2, K2K3 e K2K4

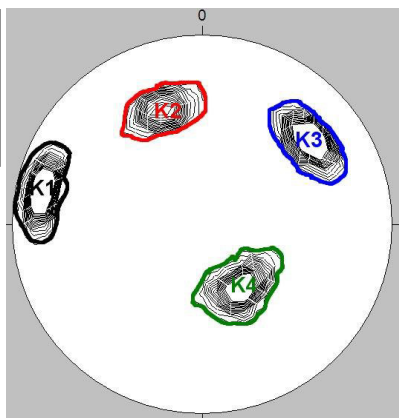
Le condizioni al limite della stabilità rilevate possono generare cinematismi di blocchi litoidi in concomitanza di eventi sismici e/o piovosi.

Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test".

Famiglie di discontinuità	IMM. / INCL.
K1	102°/76°
K2	161°/54°
K3	232°/61°
K4	328°/33°
Fronte 9d	317°/76°



Poli
fronte
sito 9
(Fronte 9d)



Famiglie
fronte
sito 9
(Fronte 9d)

Sulla base delle famiglie di discontinuità rilevate sono state eseguite le verifiche di stabilità sul fronte roccioso affiorante, seguendo la metodologia di analisi cinematica del test di Markland per ammassi rocciosi con reticolo Equi angolare di Wulff, che hanno fornito i seguenti risultati:

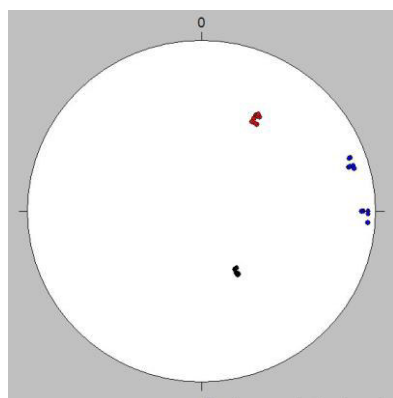
Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	73

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

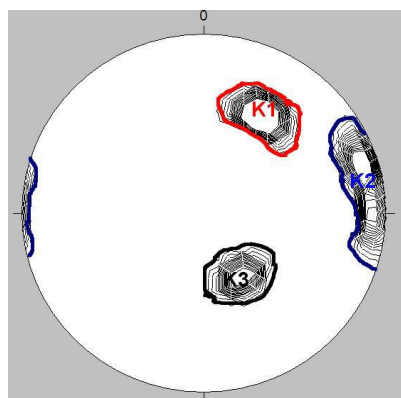
- instabilità allo scivolamento planare della superficie K4;
 - condizione al limite della stabilità per movimento planare lungo la superficie K3
 - instabilità allo scivolamento di un cuneo formato dalle discontinuità K3K4,
 - condizioni al limite della stabilità per scivolamento di un cuneo formato dalle discontinuità K1K2;
 - condizioni di instabilità rilevata per ribaltamento lungo la superficie di discontinuità K1.
- Le condizioni al limite della stabilità rilevate possono generare cinematismi di blocchi litoidi in concomitanza di eventi sismici e/o piovosi.

Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test".

Famiglie di discontinuità	IMM. / INCL.
K1	87°/68°
K2	183°/79°
K3	241°/70°
Fronte 9e	320°/45°



Poli
fronte
sito 9
(Fronte 9e)



Famiglie
Fronte
sito 9
(Fronte 9e)

Sulla base delle famiglie di discontinuità rilevate sono state eseguite le verifiche di stabilità sul fronte roccioso affiorante, seguendo la metodologia di analisi cinematica del test di Markland per ammassi rocciosi con reticolo Equi angolare di Wulff, che hanno fornito i seguenti risultati:

- non si rilevano particolari situazioni di criticità

Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test".



frana che separa il fronte 9a ed il fronte 9b
Fronte 9a Macigno



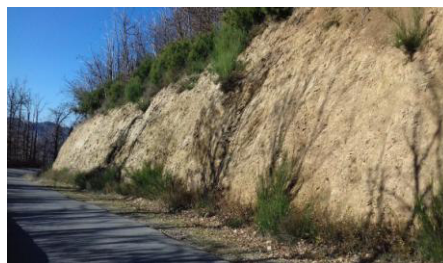
fronte 9b

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	74

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso



fronte 9c



fronte 9d



fronte 9e

16. SITO N°10

16.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI

Il sito di intervento n°10 si sviluppa lungo la strada in oggetto per una lunghezza di circa 180m alla quota di circa 400m s.l.m.; il contesto geologico è definito dalla presenza della Formazione del Macigno.

Nell'ambito delle opere in progetto il substrato dove non direttamente affiorante è mascherato da una coltre detritica che assume spessori anche notevoli nell'ordine dei dieci metri.

Detto materiale detritico, incoerente - semi coerente, manifesta una certa variabilità granulometrica, dove una matrice sabbiosa limosa, localmente argillosa, ingloba clasti e trovanti litici arenacei.

Dove direttamente affiorante il substrato roccioso appare interessato da una marcata deformazione tettonica con grado di alterazione e fratturazione anche molto accentuato e tale da creare il distacco di blocchi litoidi di dimensioni medio piccole.

Dal rilevamento effettuato si distinguono quattro famiglie di discontinuità denominate K1, K2, K3 e K4, così mediamente orientate:

K1 216°(immersione) /76°(inclinazione)

K2 183°(immersione) /48°(inclinazione)

K3 95°(immersione) /72°(inclinazione)

K4 343°(immersione) /72°(inclinazione)

Nel complesso le condizioni di conservazione sono da considerarsi da "discrete" a "scadenti", salvo peggiorare nelle porzioni più superficiali e nelle fasce a cavallo di faglie e fratture dove divengono "molto scadenti" tanto che la roccia si presenta talvolta una sabbia debolmente cementata in cui la stratificazione originaria non è più riconoscibile.

Dal punto di vista geomorfologico si distingue nell'area di intervento un corpo franoso compreso tra due incisioni vallive solcate dal fosso del Diavolo e da un fosso senza nome affluenti entrambi del Torrente Pescioletta.

La forma del versante in questo tratto è convessa ed assume una pendenza variabile compresa tra circa 20 e 35°.

Il presente corpo franoso in è già stato in passato oggetto di interventi di sistemazione che si configurano in una serie di gradonature nel lato monte della sede stradale con il pendio che assume in questo tratto pendenze medie nell'ordine dei 40°.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	75

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Dal punto di vista della stabilità il corpo franoso in oggetto non mostra elementi riconducibili a cinematismi di riattivazione (quali fratture di trazione o contropendenze) alla scala di versante, gli unici segni di instabilità attiva si riscontrano lungo i fronti delle gradonature con movimento e accumulo di detriti di diversa pezzature, dai blocchi alle sabbie limose, al piede delle fasce.

Questi fenomeni sono dovuti a due fattori principali: il primo derivante dall'azione erosiva areale dovuta al ruscellamento delle acque superficiali su superfici prive di copertura vegetale ed il secondo alla pendenza delle gradonature superiore all'angolo di riposo del materiale detritico presente.

Per quanto riguarda gli aspetti idrografici e idrogeologici non sono state riscontrate linee di deflusso, pozzi, sorgenti o aree a ristagno prolungato che possano interferire con le opere in progetto così come dalle indagini geognostiche eseguite non è stata rilevata la presenza significativa di acqua; le condizioni idrogeologiche generali sono tuttavia tali da non poter escludere la formazione anche solo stagionale di una attiva circolazione idrica impostata la contatto coltre detritica - substrato roccioso o negli orizzonti maggiormente fratturati del substrato.

16.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione del modello geologico sismico dei terreni interessati dal progetto e per una loro caratterizzazione geotecnica preliminare oltre al rilevamento geologico strutturale eseguito in sito con metodologia di Hoek & Brown e a consultare l'elaborato tecnico messo a disposizione dalla committenza: "Indagine Geognostica Studio Geologico Tecnico dell'area interessata da Movimento Franoso in Loc. Tarola Comune di Fosdinovo" redatta dalla Dott.ssa Geologa Giovanna Costo, nell'Aprile 2013, è stata eseguita una specifica campagna geognostica composta da: n°1 'indagine geofisica tipo sismica a rifrazione in onde P e n°1 indagine geofisica MASW per l'esatta ubicazione della quale si rimanda alla Tav. 3l.

16.3 STRATIGRAFIA

Sulla base delle osservazioni geologico – morfologiche e delle indagini eseguite in sito emergerebbe come, nell'area di intervento, i terreni in esame siano caratterizzati dalla presenza di un substrato roccioso, afferente il Macigno, che, dove non direttamente affiorante, è mascherato da una coltre detritica naturale che raggiunge spessori anche notevoli.

Nello specifico sono stati distinti tre livelli litostratigrafici denominati: Livello A, Livello B e Livello C, di seguito descritti (cfr Tav. le 4l1 e 4l2) .

Livello A: dove presente, si sviluppa da piano campagna fino a profondità, dal piano campagna stesso, comprese tra circa 3,0 e 6,5m e costituisce un insieme di sedimenti, da sciolti a moderatamente addensati, sabbioso limosi con clasti e trovanti litici.

In questo livello litostratigrafico la velocità di propagazione delle onde sismiche P è inferiore a 800m/s mentre le onde sismiche S assumono una velocità media di circa 180m/s.

Livello B: dove non direttamente affiorante, segue il Livello A fino a profondità, da piano campagna, di circa 13m; rappresenta il substrato roccioso molto alterato e fratturato, afferente il Macigno, assimilabile a detrito grossolano, moderatamente addensato, in matrice sabbiosa limosa.

In questo livello litostratigrafico le onde sismiche P si propagano con velocità comprese tra 800 e 1500m/s mentre le onde sismiche "S" assumono una velocità media compresa tra 400 e 500m/s.

Livello C: dove non direttamente affiorante, segue il Livello B ed identifica il substrato roccioso, da mediamente a poco alterato e fratturato, dove le onde sismiche S assumono velocità medie superiori a 900m/s.

16.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

Nel presente capitolo vengono proposti i valori rappresentativi dei parametri geotecnici dei terreni investigati.

L'indagine geofisica MASW effettuate in sito ha consentito di procedere alla definizione dei principali parametri granulometrici e fisico/meccanici dei Livelli A e B riconosciuti tramite l'applicazione di correlazioni empiriche con le velocità sismiche, in particolare con le onde "S".

Vengono indicate, di seguito, le correlazioni di riferimento utilizzate per la definizione delle caratteristiche granulometriche e dei parametri geotecnici e fisici del Livello A riconosciuto:
F (fattore granulometrico); Ohta e Goto (1978)

$$=V_s / (78,98 \cdot Z^{0,312})$$

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	76

Relazione geologica	
Committente:	Lavori di consolidamento del versante in frana
Comune di Fosdinovo	della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

F	Tipo di suolo
1	argilla
1,26	sabbia fine
1,282	sabbia media
1,422	sabbia grossa
1,641	sabbia e ghiaia
2,255	ghiaia

d_{50} (mm; diametro medio dei grani); lysan (1996) $= (Vs/408)^{1/0,247}$
 I_c (soil behavior type index); Mayne (2006) $= -0,7174 \cdot \ln[Vs^2/(9,81 \cdot Z)] + 6,3211$
 $F_c\%$ (percentuale passante al setaccio 0,074mm); Robertson e Fear (1995) $= 42,4179 \cdot I_c - 54,8574$
 γ_{sat} (KN/m³; peso di volume saturo); Mayne (2001) $= 8,63 \cdot \log(Vs) - 1,18 \cdot \log(Z) - 0,53$
 γ (KN/m³; peso di volume naturale); Keceli (2012) $= 4,3 \cdot (Vs^{0,25})$
 e_0 (Indice dei vuoti); Burns e Mayne (1996) $= 121 \cdot Vs^{-1,0} \cdot Z^{0,22}$
 V_{s1} (m/s; Velocità sismica normalizzata); Chang (2005) $= 188,38 - 77,744 \cdot e_0$
 V_{s1cs} (m/s; Velocità sismica normalizzata corretta rispetto al contenuto di fine F_c) $= K \cdot V_{s1}$

Valori di K rispetto a F_c per il calcolo di V_{s1cs} (juang et al. 2002)	
$F_c(\%)$	K
≤ 5	1
5-35	$K = 1 + (F_c - 5) \cdot [0,009 - 0,0109 \cdot (Vs_1/100) + 0,0038 \cdot (Vs_1/100)^2]$
> 35	$K = 1 + (30) \cdot [0,009 - 0,0109 \cdot (Vs_1/100) + 0,0038 \cdot (Vs_1/100)^2]$

DR (%; densità relativa); Andrus et al. (2004) $= 17,974 \cdot (Vs_{1cs}/100)^{1,976}$
 ϕ' (°; angolo d'attrito interno); Uzielli et al. (2013) $= 3,9 \cdot Vs_1^{0,44}$
 C_u (KPa; coesione non drenata); Dickenson (1990) $= (Vs/23)^{1/0,475}$
 C' (KPa; coesione drenata); valutata 1/30 di C_u
 E_{50} (KPa; mod elastico normale operativo); Mayne (2007) $= 0,06 \cdot Vs^{2,25}$
 E_{u50} (KPa; modulo non drenato operativo); Mayne (2007) $= 0,079 \cdot Vs^{2,25}$
 M_{50} (KPa; modulo confinato edometrico); Mayne (2007) $= 0,064 \cdot Vs^{2,25}$

Con:

V_s (m/s) : velocità delle onde sismiche "S" nello strato di riferimento
 Z (m) : profondità dello strato di riferimento

Per quanto riguarda il livello C questo è stato caratterizzato dal punto di vista geomeccanico attraverso il rilevamento geologico strutturale eseguito in prossimità dell'area di intervento.

16.4.1 Coltri di copertura

Alla coltre detritica di copertura è possibile associare i seguenti parametri geotecnici:

Livello A

V_s	=	180	m/s
Z	=	6,5	m
F	=	1,27	sabbia medio fine
d_{50}	=	0,04	mm
I_c	=	1,85	
F_c	=	24	%
γ_{sat}	=	17,97	KN/m ³
γ	=	15,75	KN/m ³
e_0	=	1,01	
V_{s1}	=	109	m/s
DR	=	26	%
ϕ'	=	30	°
C_u	=	76,06	KPa
C'	=	2,53	KPa
E_{50}	=	7120	KPa
E_{u50}	=	9375	KPa
M_{50}	=	7595	KPa

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	77

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Livello B

Vs	=	400	m/s
Z	=	13	m
F	=	2,28	ghiaia
d50	=	0,92	mm
Ic	=	1,20	
Fc	=	<1,0	%
γ_{sat}	=	20,61	KN/m ³
γ	=	19,23	KN/m ³
e0	=	0,53	
Vs ₁	=	147	m/s
DR	=	36	%
φ'	=	35	°
Cu	=	408,53	KPa
C'	=	13,61	KPa
E50	=	7120	KPa
Eu50	=	9375	KPa
M50	=	7595	KPa

16.4.2 Substrato roccioso

Per la valutazione delle costanti e dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso affiorante è stato utilizzato il programma RocLab proposto dalla GeoStru, ricavando la parametrizzazione seguente, riferita alle peggiori condizioni geomeccaniche attese, definite in base all'esame degli affioramenti rocciosi:

PARAMETRI IMMESSI:

$\sigma_c = 25\text{Mpa}$ (la roccia si frattura con un colpo di martello)

GSI=16,

mi=17,

D=1 (associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

MR=275,

Ei (modulo elasticità)=200MPa

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 50,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: mb = 0.042, s=0, a=0.557. $\sigma_{3max} = 0.115\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: c=0.054MPa, $\phi = 14,41^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0.0\text{Mpa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 0.439\text{Mpa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm} = 4.47\text{Mpa}$ (modulo di deformazione).

Pendii; profondità 6,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: mb = 0.042, s=0, a=0.557. $\sigma_{3max} = 0.115\text{Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: c=0.015MPa, $\phi = 25,96^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00\text{Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0.0\text{Mpa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 0.439\text{Mpa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm} = 4.47\text{Mpa}$ (modulo di deformazione).

All'ammasso roccioso in oggetto è pertanto possibile assegnare i seguenti parametri geomeccanici:

Valori intrinseci dell'ammasso roccioso per elevate tensioni di confinamento

γ	=	24,00	KN/m ³
φ'	=	14	°
C'	=	0,054	MPa

Valori dell'ammasso roccioso per ridotte pressioni di confinamento

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	78

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

γ = 24,00 KN/m³
 ϕ' = 26 °
 C' = 0,015 MPa

16.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Per quanto riguarda i parametri sismici di base riferiti al progetto in questione il terreno potrà essere inserito, sulla base delle indagini geofisiche eseguite in sito in **categoria E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Circa le condizioni topografiche, il coefficiente di amplificazione topografica, ST, può essere considerato pari a 1,2 (valore ricavato 1,17).

Per determinare i parametri sismici necessari alla definizione delle forme spettrali per il sito in esame si può riassumere quanto segue:

- coordinate geografiche dell'opera da verificare: latitudine: 44,10422 longitudine: 9,951193
- classe d'uso: 2
- vita nominale dell'edificio: 50 anni
- categoria topografica: T2 con coefficiente ST pari a 1,2
- categoria di suolo: E

i quali hanno permesso di ottenere in dettaglio quanto riportato in allegato "Parametri Sismici".

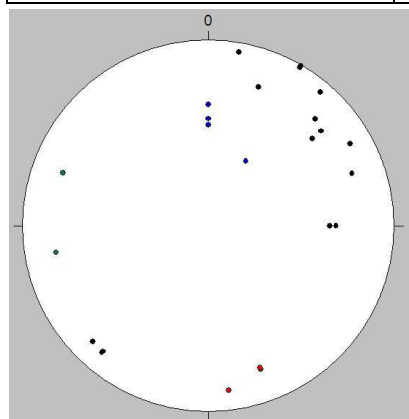
A riguardo delle fenomenologie indotte nei terreni di progetto da azioni sismiche, si può affermare che in riferimento alle granulometrie dei depositi individuati e delle caratteristiche idrogeologiche, la possibilità che possano verificarsi fenomeni legati alla liquefazione o alla densificazione dei sedimenti sia remota.

I fenomeni di instabilità geomorfologica rilevati in questo sito dalle verifiche e considerazioni effettuate con gli interventi previsti se realizzati a regola d'arte e se saranno soggetti a manutenzione periodica permetteranno di raggiungere in questo tratto di versante un sufficiente grado di stabilità anche in caso di evento sismico.

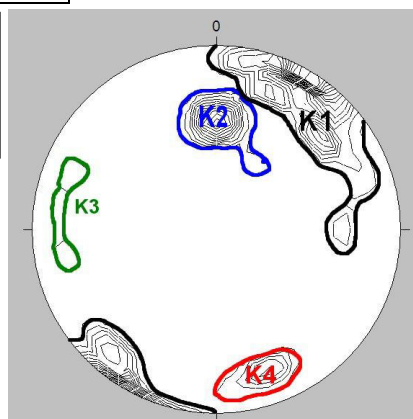
16.6 CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI

Le verifiche sono state eseguite sugli affioramenti rocciosi in corrispondenza del sito di intervento n°10; tutti i dati giacitureali (immersione ed inclinazione) delle discontinuità rilevate sono stati inseriti nel software Stereo Nett version 2.03 (Rhur – Universität-Bochum, Universitätsstr 150 D44701 Bochum, Germany, 1997) ed hanno permesso di identificare, attraverso l'utilizzo di proiezioni stereografiche, all'interno del litotipo afferente il Macigno della Falda Toscana una serie di famiglie di discontinuità, i cui valori medi di immersione ed inclinazione sono di seguito riportati

Famiglie di discontinuità	IMM. / INCL.
K1	216/76
K2	183/48
K3	95/72
K4	343/72
Fronte 10	250/55



Poli
fronte
sito 10



Famiglie
fronte
sito 10

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	79

Relazione geologica	
Committente:	Lavori di consolidamento del versante in frana
Comune di Fosdinovo	della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso
	

Macigno affiorante nel sito n°10 con caduta di blocchi litoidi sulla sede stradale

Sulla base delle famiglie di discontinuità rilevate sono state eseguite le verifiche di stabilità sul fronte roccioso affiorante, seguendo la metodologia di analisi cinematica del test di Markland per ammassi rocciosi con reticolo Equi angolare di Wulff, che hanno fornito i seguenti risultati:

- instabilità allo scivolamento di un cuneo roccioso costituito dalle superfici di discontinuità K1K4;
- condizioni di instabilità al ribaltamento di blocchi litoidi lungo la superficie di discontinuità K3;
- condizioni al limite della stabilità allo scivolamento planare lungo la superficie di discontinuità K2;

Le condizioni al limite della stabilità rilevate possono generare cinematismi di blocchi litoidi in concomitanza di eventi sismici e/o piovosi.

Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test".

17. SITO N°11

17.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI

Il sito di intervento n°11 si sviluppa lungo la strada in oggetto per una lunghezza di circa 40m alla quota di circa 470m s.l.m.; il contesto geologico è definito dalla presenza della Formazione del Macigno.

Nell'ambito delle opere in progetto il substrato affiora diffusamente lungo il versante di controripa della strada mentre nella parte valliva della stessa il substrato è mascherato con continuità da una coltre detritica naturale, mista a riporto antropico, che assume spessori stimabili nell'ordine dei tre metri.

Detto materiale detritico, incoerente - semi coerente, manifesta una certa variabilità granulometrica, dove una matrice sabbiosa limosa, localmente argillosa, ingloba clasti e trovanti litici arenacei.

Dove direttamente affiorante il substrato roccioso appare interessato da una marcata deformazione tettonica con grado di alterazione e fratturazione anche molto accentuato e tale da creare il distacco di blocchi litoidi di dimensioni medio piccole.

Dal rilevamento effettuato si distinguono quattro famiglie di discontinuità denominate K1, K2, K3 e K4, così mediamente orientate:

K1: 263° (immersione) / 27° (inclinazione)

K2: 59° (Immersione) / 59° (inclinazione)

K3: 154° (Immersione) / 74° (inclinazione)

K4: 237° (Immersione) / 59° (inclinazione)

Nel complesso le condizioni di conservazione del substrato sono da considerarsi da "discrete" a "scadenti", salvo peggiorare nelle porzioni più superficiali e nelle fasce a cavallo di faglie e fratture dove divengono "molto scadenti" tanto che la roccia si presenta talvolta una sabbia debolmente cementata in cui la stratificazione originaria non è più riconoscibile.

Dal punto di vista geomorfologico si distingue lungo la scarpata di controripa della sede stradale il distacco di blocchi litoidi di dimensioni medio piccole e fenomeni di erosione areale dovuta all'assenza di vegetazione.

Per quanto riguarda gli aspetti idrografici e idrogeologici non sono state riscontrate linee di deflusso, pozzi, sorgenti o aree a ristagno prolungato che possano interferire con le opere in

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	80

Relazione geologica	
Committente:	Lavori di consolidamento del versante in frana
Comune di Fosdinovo	della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

progetto; le condizioni idrogeologiche generali sono tuttavia tali da non poter escludere la formazione anche solo stagionale di una attiva circolazione idrica impostata la contatto coltre detritica - substrato roccioso o negli orizzonti maggiormente fratturati del substrato.

17.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Non ritenendo necessario, viste le condizioni geologiche e geomorfologiche riscontrate, effettuare specifiche indagini geognostiche dirette in sito, per la definizione del modello geologico dei terreni interessati dall'intervento n°11 e per una loro caratterizzazione geotecnica preliminare è stato fatto riferimento al rilevamento geologico strutturale eseguito in sito con metodologia di Hoek & Brown,

17.3 STRATIGRAFIA

Sulla base delle osservazioni geologico – morfologiche e delle indagini eseguite in sito emergerebbe come, nell'area di intervento, i terreni in esame siano caratterizzati dalla presenza di un substrato roccioso, afferente il Macigno, che, dove non direttamente affiorante, è mascherato da una coltre detritica naturale di spessore sempre contenuto.

Nello specifico sono stati distinti due livelli litostratigrafici denominati: Livello A e Livello B, di seguito descritti.

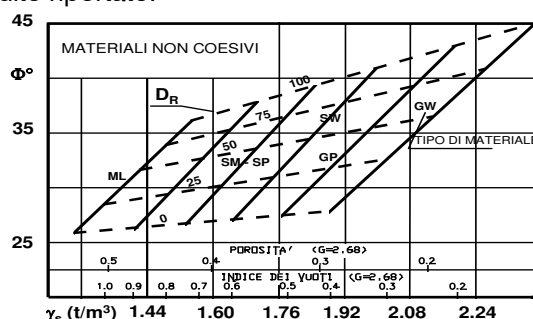
Livello A: dove presente, si sviluppa da piano campagna fino ad una profondità massima, dal piano campagna stesso, di circa 1,0m e costituisce un insieme di sedimenti, sciolti, sabbioso limosi localmente argillosi con clasti e trovanti litici.

Livello B: dove non direttamente affiorante, segue il Livello A ed identifica il substrato roccioso, variamente alterato e fratturato, afferente il Macigno.

17.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

Nel presente capitolo vengono proposti i valori rappresentativi dei parametri geotecnici della coltre detritica superficiale (Livello A) e del substrato roccioso (Livello B).

La parametrizzazione geotecnica, per quanto riguarda i terreni detritici superficiali (Livello A), è stata estrapolata, visti i ridotti spessori e la tipologia di intervento in oggetto, da informazioni e riferimenti bibliografici inerenti terreni affini a quelli indagati ed in particolare facendo riferimento al diagramma NAVFAC di seguito riportato.



Tale sedimento può essere assimilato ad una sabbia limosa con elementi grossolani all'interno e quindi cautelativamente assegnato, nella classificazione U.S.C.S., al gruppo SM, per cui, ipotizzando un valore cautelativo di densità relativa pari al 20%, dal diagramma proposto, si ricava un angolo di attrito interno (ϕ) di circa 28°.

Per quanto concerne il peso di volume (γ), sulla scorta dei manuali NAVFAC e AGI ed in base alla peculiare natura litologica, a tali terreni è consentito attribuire un valore medio di circa 1,6 - 1,7 t/m³.

il substrato litoide (Livello B) è stato invece definito dal punto di vista geomeccanico attraverso il rilevamento geologico - strutturale eseguito nell'area di intervento.

17.4.1 Coltri di copertura

Alla coltre di copertura possono essere pertanto associati i seguenti parametri geotecnici:

Livello A

γ	=	1,6	t/m³
γ_s	=	1,7	t/m³
ϕ	=	28	°
C'	=	0	Kg/cm²

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	81

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

17.4.2 Substrato roccioso

Per la valutazione delle costanti e dei parametri geomeccanici dell'ammasso roccioso affiorante è stato utilizzato il programma RocLab proposto dalla GeoStru, ricavando la parametrizzazione seguente, riferita alle peggiori condizioni geomeccaniche attese, definite in base all'esame degli affioramenti rocciosi:

PARAMETRI IMMESSI:

$\sigma_c = 25 \text{ Mpa}$ (la roccia si frattura con un colpo di martello)

GSI=16,

$m_i = 17$,

D=1 (associabile a taglio di scarpate per opere di ingegneria civile: strade, imposte di dighe con uso di esplosivo con cariche non controllate o con uso di scavo meccanizzato)

MR=275,

E_i (modulo elasticità)=200MPa

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 70,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.042$, $s=0$, $a=0.557$. $\sigma_{3\max} = 0.115 \text{ Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=0.065 \text{ Mpa}$, $\phi=12,97^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00 \text{ Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0.0 \text{ Mpa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 0.439 \text{ Mpa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm} = 4.47 \text{ Mpa}$ (modulo di deformazione).

Limite superiore tensione di confinamento

Pendii; profondità 6,0m; peso unità di Volume 24,00KN/m³

CRITERIO HOEK BROWN: $m_b = 0.042$, $s=0$, $a=0.557$. $\sigma_{3\max} = 0.115 \text{ Mpa}$,

CRITERIO MOHR-COULOMB: $c=0.015 \text{ Mpa}$, $\phi=25,96^\circ$.

PARAMETRI AMMASSO ROCCIOSO: $\sigma_t = 0.00 \text{ Mpa}$ (resistenza alla trazione), $\sigma_c = 0.0 \text{ Mpa}$ (resistenza alla compressione uniassiale dell'ammasso roccioso, oltre la quale si verifica la rottura localizzata), $\sigma_{cm} = 0.439 \text{ Mpa}$ (resistenza globale dell'ammasso roccioso, agente per collaborazione e incastro dei blocchi rocciosi), $E_{rm} = 4.47 \text{ Mpa}$ (modulo di deformazione).

All'ammasso roccioso in oggetto è pertanto possibile assegnare i seguenti parametri geomeccanici:

Valori intrinseci dell'ammasso roccioso per elevate tensioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$

$\phi' = 13^\circ$

$C' = 0,065 \text{ Mpa}$

Valori dell'ammasso roccioso per ridotte pressioni di confinamento

$\gamma = 24,00 \text{ KN/m}^3$

$\phi' = 26^\circ$

$C' = 0,015 \text{ Mpa}$

17.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Per quanto riguarda i parametri sismici di base riferiti al progetto in questione il terreno potrà essere inserito cautelativamente, sulla base delle indagini geofisiche eseguite in aree limitrofe a quella di intervento in **categoria E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800 \text{ m/s}$).

Circa le condizioni topografiche, il coefficiente di amplificazione topografica, ST, può essere considerato pari a 1,2 (valore ricavato 1,16).

Per determinare i parametri sismici necessari alla definizione delle forme spettrali per il sito in esame si può riassumere quanto segue:

- coordinate geografiche dell'opera da verificare:
latitudine: 44,14342 longitudine:10,073686
- classe d'uso: 2
- vita nominale dell'edificio: 50 anni
- categoria topografica: T2 con coefficiente ST pari a 1,2
- categoria di suolo: E

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	82

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

i quali hanno permesso di ottenere in dettaglio quanto riportato in allegato "Parametri Sismici".

A riguardo delle fenomenologie indotte nei terreni di progetto da azioni sismiche, si può affermare che in riferimento alle granulometrie dei depositi individuati e delle caratteristiche idrogeologiche, la possibilità che possano verificarsi fenomeni legati alla liquefazione o alla densificazione dei sedimenti sia remota.

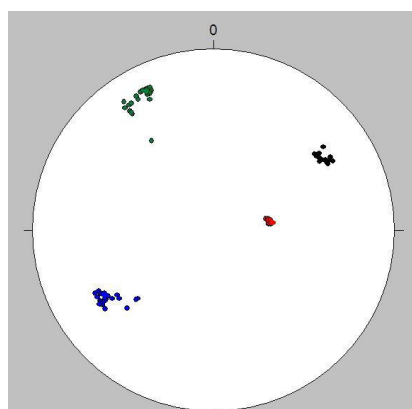
I fenomeni di instabilità geomorfologica rilevati in questo sito dalle verifiche e considerazioni effettuate con gli interventi previsti se realizzati a regola d'arte e se saranno soggetti a manutenzione periodica permetteranno di raggiungere in questo tratto di versante un sufficiente grado di stabilità anche in caso di evento sismico.

17.6 CONSIDERAZIONI SULLA STABILITÀ DEI FRONTI

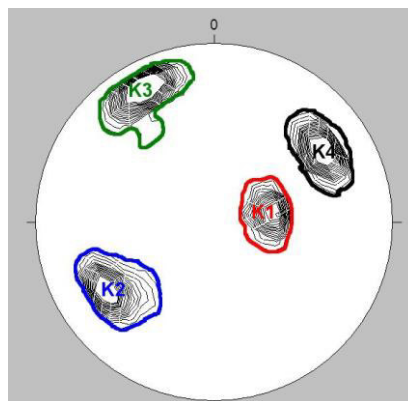
Le verifiche sono state eseguite sull'affioramento roccioso in corrispondenza del sito di intervento n°11 il fronte in oggetto presenta una lunghezza di circa 40m ed altezza di circa 6,0m e giacitura 260° (immersione) /56° (inclinazione).

Tutti i dati giacaturali (immersione ed inclinazione) delle discontinuità rilevate sono stati inseriti nel software Stereo Nett version 2.03 (Rhur – Universität-Bochum, Universitätsstr 150 D44701 Bochum, Germany, 1997) ed hanno permesso di identificare, attraverso l'utilizzo di proiezioni stereografiche, all'interno del litotipo afferente il Macigno della Falda Toscana, 4 famiglie di discontinuità, i cui valori medi di immersione ed inclinazione sono di seguito riportati

Famiglie di discontinuità	IMM. / INCL.
K1	263°/27°
K2	59°/59°
K3	154°/74°
K4	237°/59°
Fronte 11	260°/56°



Poli
fronte
sito 11



Famiglie
fronte
sito 11

Sulla base delle famiglie di discontinuità rilevate sono state eseguite le verifiche di stabilità sul fronte roccioso affiorante, seguendo la metodologia di analisi cinematica del test di Markland per ammassi rocciosi con reticolo Equi angolare di Wulff, che hanno fornito i seguenti risultati:

- instabilità allo scivolamento planare lungo la superficie di discontinuità K3;
 - instabilità per scivolamento di un cuneo formato dalle superfici K3K4
 - condizione al limite della stabilità per scivolamento di un cuneo roccioso costituito dalle famiglie K2K3;
 - condizione al limite della stabilità per ribaltamento di un blocco roccioso lungo la discontinuità K2;
- le condizioni al limite della stabilità possono generare cinematismi in concomitanza di evento sismico e/o di eventi piovosi.

Per maggiori dettagli sui risultati ottenuti si rimanda all'allegato "Markland Test"

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	83

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso



Affioramento "Macigno" in corrispondenza del sito n°11; l'ammasso roccioso per tutta la lunghezza e l'altezza del fronte si presenta molto fratturato.

I blocchi che si distaccano da questa parete rocciosa sono di dimensioni medio-piccole

18. SITO N°12

18.1 LINEAMENTI GEOLOGICI, GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI ED IDROGEOLOGICI

Il sito di intervento n°12 si sviluppa lungo la strada in oggetto per una lunghezza di circa 40m subito a monte di un fosso senza nome affluente alla quota di circa 450m; il contesto geologico è definito dalla presenza della Formazione del Macigno.

Nell'ambito delle opere in progetto il substrato affiora solo localmente nel versante di controripa della strada in quanto esso in prevalenza è mascherato da una coltre detritica naturale, mista a riporto antropico, che raggiunge spessori anche nell'ordine dei quattro metri nel versante di sottoscarpa della sede stradale stessa.

Detto materiale detritico, incoerente - semi coerente, manifesta una certa variabilità granulometrica, dove una matrice sabbiosa limosa, localmente argillosa, ingloba clasti e trovanti litici arenacei.

Dove direttamente affiorante il substrato roccioso appare molto alterato e fratturato le condizioni di conservazione sono da considerarsi pertanto nel complesso da "scadenti" a "molto scadenti" in modo particolare nelle porzioni più superficiali.

Dal punto di vista geomorfologico si distinguono due differenti tipologie di criticità: lungo la scarpata di controripa, fenomeni erosivi sulla coltre detritica con localizzati fenomeni di soliflusso e soil creep ed un corso d'acqua con tendenza all'erosione concentrata di fondo, lungo la scarpata di valle si distinguono invece cedimenti con deformazioni della sede stradale

Per quanto riguarda gli aspetti idrografici la strada intercetta un fosso senza nome il cui regolare deflusso delle acque dovrà essere garantito nel tempo dalla realizzazione di attraversamenti opportunamente dimensionati e soggetti a periodiche pulizie.

Dal punto di vista idrogeologico non sono state riscontrati pozzi, sorgenti o aree a ristagno prolungato, tuttavia dalla prova penetrometrica effettuata è stata rilevata la presenza di acqua a partire dalla profondità, da piano campagna, di circa 1,0m; le condizioni idrogeologiche generali sono tuttavia tali da non poter escludere che tale livello, in concomitanza di eventi meteorici particolarmente intensi possa risalire fino a quote molto prossime al piano campagna.

18.2 INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la definizione del modello geologico - sismico dei terreni interessati dall'intervento n°12 e per una loro caratterizzazione geotecnica preliminare è stata eseguita una specifica campagna geognostica composta da:

- n°1 prova penetrometrica dinamica media (DPM01) spinta fino allo stato di rifiuto all'avanzamento della punta strumentale da attribuire all'incontro del probabile substrato roccioso molto alterato e fratturato e precisamente alla profondità, da piano campagna, di 4,5m;

per l'esatta ubicazione delle indagini si rimanda alla Tav. 12n.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	84

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

18.3 STRATIGRAFIA

Sulla base delle osservazioni geologico – morfologiche e delle indagini eseguite in sito emergerebbe come, nell'area di intervento, i terreni in esame siano caratterizzati dalla presenza di un substrato roccioso, afferente il Macigno, ricoperto da una coltre detritica naturale mista a riporto antropico di spessore da ridotto a medio.

Nello specifico sono stati distinti tre livelli litostratigrafici denominati: Livello A, Livello B e Livello C, di seguito descritti.

Livello A: dove presente, si sviluppa da piano campagna fino ad una profondità massima, dal piano campagna stesso, di circa 3,8m e costituisce un insieme di sedimenti, poco addensati, sabbioso limosi

Livello B: dove presente, si estende inferiormente al Livello A fino a profondità, da piano campagna, di circa 4,4m ed identifica un insieme di sedimenti, moderatamente addensati, sabbioso limosi con clasti e trovanti litici.

Livello C: dove non direttamente affiorante, segue il Livello B e rappresenta il substrato roccioso alterato e fratturato all'interno del quale la prova penetrometrica è andata a rifiuto.

18.4 PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA DEL TERRENO

Nel presente capitolo vengono proposti i valori rappresentativi dei parametri geotecnici dei terreni investigati.

Prima di entrare nel merito della parametrizzazione geotecnica dei livelli litostratigrafici riconosciuti, ai fini della progettazione, ritengo utile indicare quanto segue.

Nel Capitolo N°6 delle NTC 2008 per parametrizzazione geotecnica si intendono i valori caratteristici delle grandezze fisiche e meccaniche da attribuire ai terreni dove, per valore caratteristico, si intende una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro nello stato limite considerato.

Secondo le Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (CSLP) sulle NTC (In pratica Valore operativo o di progetto basato sul giudizio del geotecnico) nelle valutazioni che il geotecnico deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici richiesti per la progettazione, appare giustificato, secondo il CSLP, il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno (per esempio in fondazioni superficiali o in una frana dove il volume interessato dalla superficie di rottura è grande) con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati invece nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno (ad es. terreno di base di un palo, verifica a scorrimento di un muro), con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità.

La scelta di valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni (ad esempio, effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata).

Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato.

Seguendo le prescrizioni dell'Eurocodice 7 per quanto riguarda i parametri caratteristici relativi alla resistenza al taglio, sulla famiglia di valori disponibili bisogna utilizzare il frattile del 5% (valore che ha solo il 5% di probabilità di essere minorato) derivante dalla formula:

$$V_k = V_m \cdot [1 - 1,645 \cdot (\sigma / V_m)]$$

con

- V_k : Valore caratteristico della resistenza
- V_m : Valore medio del parametro di resistenza considerato
- 1,645 : Coefficiente valido per il 5% percentile di una distribuzione gaussiana
- σ : Deviazione standard del campione;

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	85

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasio

Per quanto riguarda il modulo elastico ed edometrico, potrà essere utilizzato invece il frattile del 50% (mediana dei valori ottenuti), poiché non si è in presenza né di azione, né di resistenza.

Da bibliografia tecnica è possibile inoltre ricavare tale valore caratteristico da un unico dato disponibile sfruttando la formula seguente:

$$V_k = V - 1,645 \cdot (COV \cdot V)$$

con

- V_k : Valore caratteristico della resistenza
- V : Valore disponibile del parametro di resistenza considerato
- $-1,645$: Coefficiente valido per il 5% percentile di una distribuzione gaussiana
- COV : coefficiente di variazione COV che può assumere i seguenti valori:

Angolo di attrito φ : 10 %

Coesione : 30 %

Modulo di comprimibilità : 40 %

Peso di volume : 5 %

A seguito di questa premessa, nel presente caso, la parametrizzazione geotecnica dei terreni detritici superficiali è stata estrapolata, oltre che da riferimenti ed informazioni bibliografiche inerenti terreni affini a quelli indagati, dalle interpretazioni dei risultati della prova penetrometrica effettuata ed elaborata sulla base di correlazioni note in letteratura geotecnica; per una più dettagliata ed esauriente analisi del risultato ottenuto sulla singola verticale di sondaggio si rimanda all'allegato: "prova penetrometrica".

Va precisato che, in merito ai parametri di resistenza al taglio dei terreni investigati, non essendo possibile con il tipo di prove eseguite, determinare la quotaparte dovuta alla coesione e quella dovuta all'angolo d'attrito, parametri entrambi presenti nei terreni in questione, si è ipotizzato, per una migliore schematizzazione del problema, che i livelli litostratigrafici riconosciuti manifestino un comportamento prevalentemente granulare incoerente ($\varphi' \neq 0$; $C' \approx 0$).

Sono di seguito indicate le correlazioni di riferimento utilizzate per definire i parametri geotecnici dei livelli litostratigrafici individuati sulla base dei valori di N_{10} e N_{spt} registrati:

Dr	(densità relativa)	: Meyerhof (1957)
φ	(angolo d'attrito interno)	: Meyerhof (1965)
φ_K	(angolo d'attrito interno valore caratteristico)	
Cu	(coesione non drenata)	: Terzaghi-Peck (per livelli A e B; valori da utilizzare solamente per le eventuali verifiche di stabilità dei fronti di scavo a breve termine)
C _{uk}	(coesione non drenata valore caratteristico)	
C'	(coesione drenata)	: valutata 1/30 di Cu
C' _k	(Coesione drenata valore caratteristico)	
γ	(Peso di volume)	: Meyerhof ed altri
γ_K	(Peso di volume valore caratteristico)	
γ_s	(Peso di volume saturo)	: Terzaghi-Peck (1948-1967)
γ_{sk}	(Peso di volume saturo caratteristico)	
E _y	(Modulo elastico)	: Schultze-Menzenbach
E _{yk}	(Modulo elastico caratteristico)	
M	(Modulo edometrico)	: Begemann (1974).
M _k	(Modulo edometrico caratteristico)	

Il substrato litoide è stato invece definito, non essendo reperibili nelle vicinanze del sito di intervento affioramenti rappresentativi per una caratterizzazione geomeccanica di dettaglio degli ammassi rocciosi presenti, ipotizzando cautelativamente un substrato roccioso di qualità scadente.

Ai livelli litostratigrafici riconosciuti è possibile assimilare i seguenti parametri geotecnici

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	86

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fossdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

Valori nominali

Livello A

Dr	=51	%
γ	=15,30	KN/m ³
γ_s	=18,53	KN/m ³
Cu	=33,93	Kpa
ϕ	=32	°
C'	=1,13	Kpa
Ey	=8,78	MPa
M	=3,81	MPa

Livello B

Dr	=91	%
γ	=19,52	KN/m ³
γ_s	=19,81	KN/m ³
Cu	=182,31	Kpa
ϕ	=37	°
C'	=6,07	Kpa
Ey	=20,80	MPa
M	=6,98	MPa

Livello C

RMR _{base}	=40	(classe 4 di Bieniawski 1973 – 1989, descritta come scadente)
C'	=200	KPa
ϕ'	=25	°
γ	=24	KN/m ³

Valori caratteristici

Livello A

Dr	=42	%
γ_k	=14,04	KN/m ³
γ_{sk}	=17,01	KN/ m ³
C _{uk}	=17,19	
ϕ_k	=27	°
C' _k	=0,57	Kpa
E _{yk}	=3,00	MPa
M _k	=1,30	MPa.

Livello B

Dr	=76	%
γ_k	=17,91	KN/m ³
γ_{sk}	=18,18	KN/ m ³
C _{uk}	=92,34	Kpa
ϕ_k	=31	°
C'	=3,07	Kpa
E _{yk}	=7,11	MPa
M _k	=2,38	MPa.

Livello C

RMR _{base}	=40	(classe 4 di Bieniawski 1973 – 1989, descritta come scadente)
C'	=200	KPa
ϕ'	=25	°
γ	=24	KN/m ³

18.5 STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA

Per quanto riguarda i parametri sismici di base riferiti al progetto in questione il terreno potrà essere inserito, sulla base delle indagini geofisiche eseguite in sito in **categoria E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

Circa le condizioni topografiche, il coefficiente di amplificazione topografica, ST, può essere considerato pari a 1,1 (valore ricavato 1,08).

Per determinare i parametri sismici necessari alla definizione delle forme spettrali per il sito in esame si può riassumere quanto segue:

- coordinate geografiche dell'opera da verificare: latitudine: 44,12571 longitudine:10,060705
- classe d'uso: 2
- vita nominale dell'edificio: 50 anni

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	87

Relazione geologica	
Committente: Comune di Fosdinovo	Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciasso

- categoria topografica: T2 con coefficiente ST pari a 1,1
- categoria di suolo: E
i quali hanno permesso di ottenere in dettaglio quanto riportato in allegato "Parametri Sismici".

A riguardo delle fenomenologie indotte nei terreni di progetto da azioni sismiche, si può affermare che in riferimento alle granulometrie dei depositi individuati e delle caratteristiche idrogeologiche, la possibilità che possano verificarsi fenomeni legati alla liquefazione o alla densificazione dei sedimenti sia remota.

I fenomeni di instabilità geomorfologica rilevati in questo sito dalle verifiche e considerazioni effettuate con gli interventi previsti se realizzati a regola d'arte e se saranno soggetti a manutenzione periodica permetteranno di raggiungere in questo tratto di versante un sufficiente grado di stabilità anche in caso di evento sismico.

19. CONCLUSIONI

La Strada Provinciale n°10 di Tenerano presenta lungo il suo tracciato diverse criticità geomorfologiche sia nei versanti si sottoscarpa che di controripa in particolare, oltre ai dodici siti oggetto di intervento, durante le fasi di indagine, sono state rilevate le seguenti aree in dissesto:

- area compresa tra i siti interessati dagli interventi n°2 e n°3 a circa 400m dall'intervento n°2 con caduta di blocchi litoidi sulla sede stradale e formazione di emergenza idrica per soglia di permeabilità a seguito di eventi piovosi intensi.
L'acqua sorgiva una volta raggiunta la superficie topografica lamina su tutta la sede stradale fino a defluire nel versante di sottosopra del tratto di strada interessato dall'intervento n°3;
- parete rocciosa ubicata a circa 50m, direzione Fosdinovo, dall'intervento n°6, soggetta a caduta di blocchi litoidi sulla sede stradale con apertura di rete metallica in aderenza;
- scarpata di controripa della sede stradale compresa tra i siti di intervento n°7 e n°8 a circa 200m, direzione Fosdinovo, dall'attraversamento stradale con il Fosso del Bonvino, si rilevano potenziali distacchi di blocchi litoidi sulla sede stradale e fenomeni di erosione areale delle acque di ruscellamento superficiale nelle zone con mancanza di copertura vegetale;
- tratto di strada compresa tra i siti di intervento n°7 e n°8 a circa 50m, direzione Fosdinovo, dall'attraversamento stradale con il Fosso del Bonvino, caduta di blocchi litoidi su sede stradale.

Per quanto riguarda le soluzioni progettuali per la messa in sicurezza della strada in oggetto potranno essere previste, a seconda delle tipologie ed estensioni delle criticità rilevate nei vari siti, interventi con opere di difesa attiva quali: tiranti, chiodi, bulloni, legature associati ad interventi che riducano i processi di degradazione fisica e di erosione superficiale sui fronti come reti metalliche addossate, reticolo di funi metalliche, rivestimenti con reti metalliche e tasche vegetative e/o con geosintetici o passiva quali: reti paramassi, interventi di risagomatura dei versanti con formazioni di berme di rallentamento, valli (trincee) e rilevati paramassi; barriere ed ostacoli artificiali, quali: muri in calcestruzzo, muri in terre rinforzate, muri cellulari.

Per quanto riguarda le criticità rilevate lungo i versanti di sottoscarpa per il contenimento della sede stradale appare necessario fare ricorso ad opere di carattere ingegneristico che prevedano un ancoraggio diretto su substrato roccioso mediante opere fondazionali profonde (pali, micropali, tiranti).

Di prioritaria importanza sarà la realizzazione e la manutenzione periodica di accurati presidi che garantiscano la raccolta e l'allontanamento, nei più vicini fossi di scolo naturali, delle acque percolanti e di quelle provenienti dalla sede stradale al fine di evitare l'infiltrazioni concentrate nel sottosuolo e fenomeni di ruscellamento diffusi con conseguente scadimento delle caratteristiche geotecniche dei terreni ed erosioni areali e concentrate.

Le opere idrauliche previste dovranno essere dimensionate in maniera adeguata come previsto dalle Norme di Attuazione Piano Stralcio "ASSETTO IDROGEOLOGICO" del bacino del Fiume Magra e del Torrente Parmignola.

Dr. Geol. Matteo Angiolini



Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione geologica	88

Comune di Fosdinovo

PROVINCIA DI MASSA CARRARA

Lavori di consolidamento
del versante in frana della SP n°10
di Tenerano,
nei pressi dell'abitato di Marciaso

Allegati

ELABORATO:

-

SCALA:

-

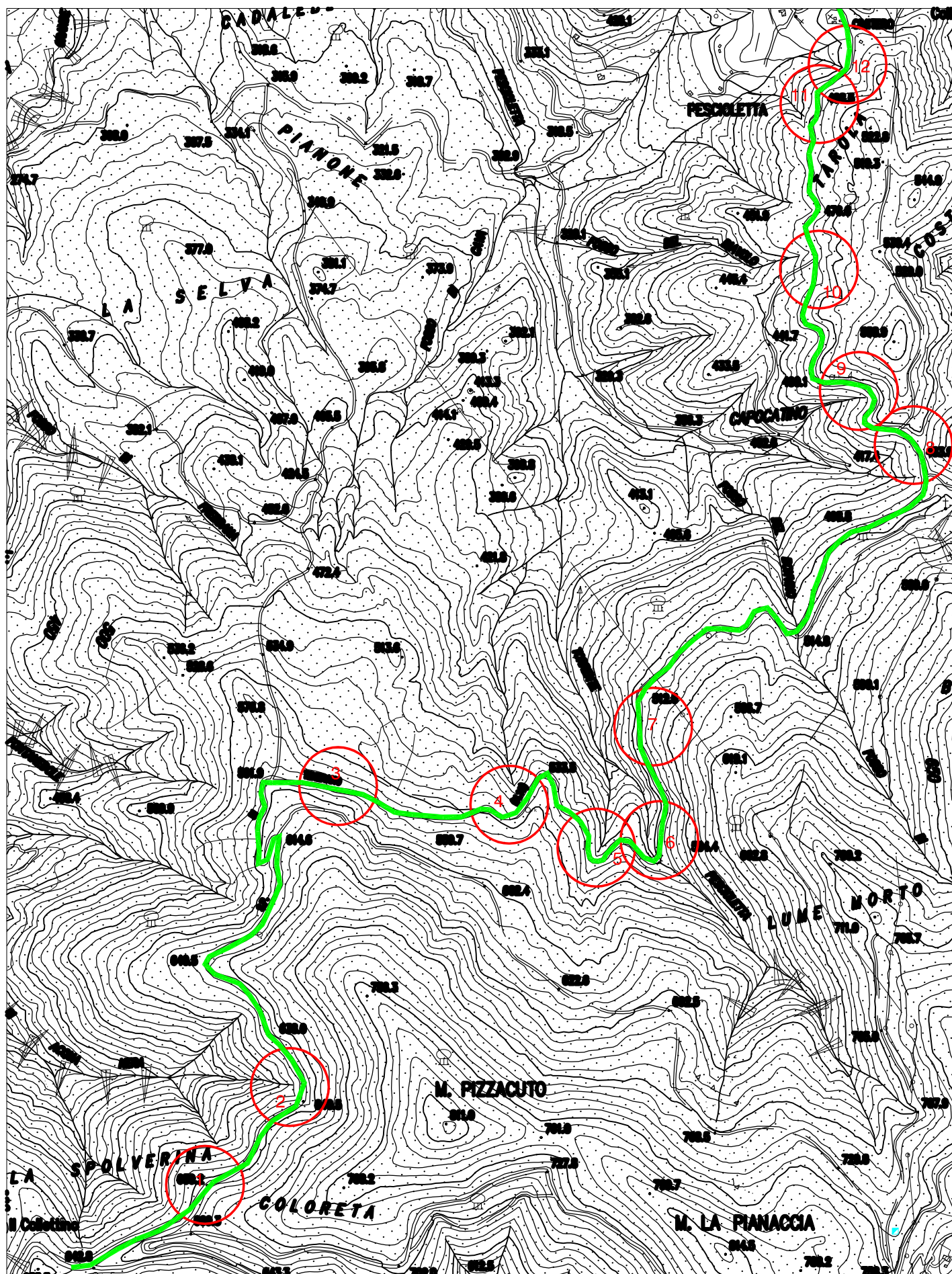
Committente:
Comune di Fosdinovo

A cura di:
Dr. Geol. Matteo Angiolini

maggio 2017

Dr. Geol. Matteo Angiolini
Via A. Corradi, 1
19020 BEVERINO (SP)
Tel. 0187.883282
Cell. 347.1280686
e-mail: matteoangiolini@yahoo.it
C.F.: NGL MTT 78 E 15 E 46 3T
P.iva: 01214470112

Tav. 1 Ubicazione area d'intervento



legenda



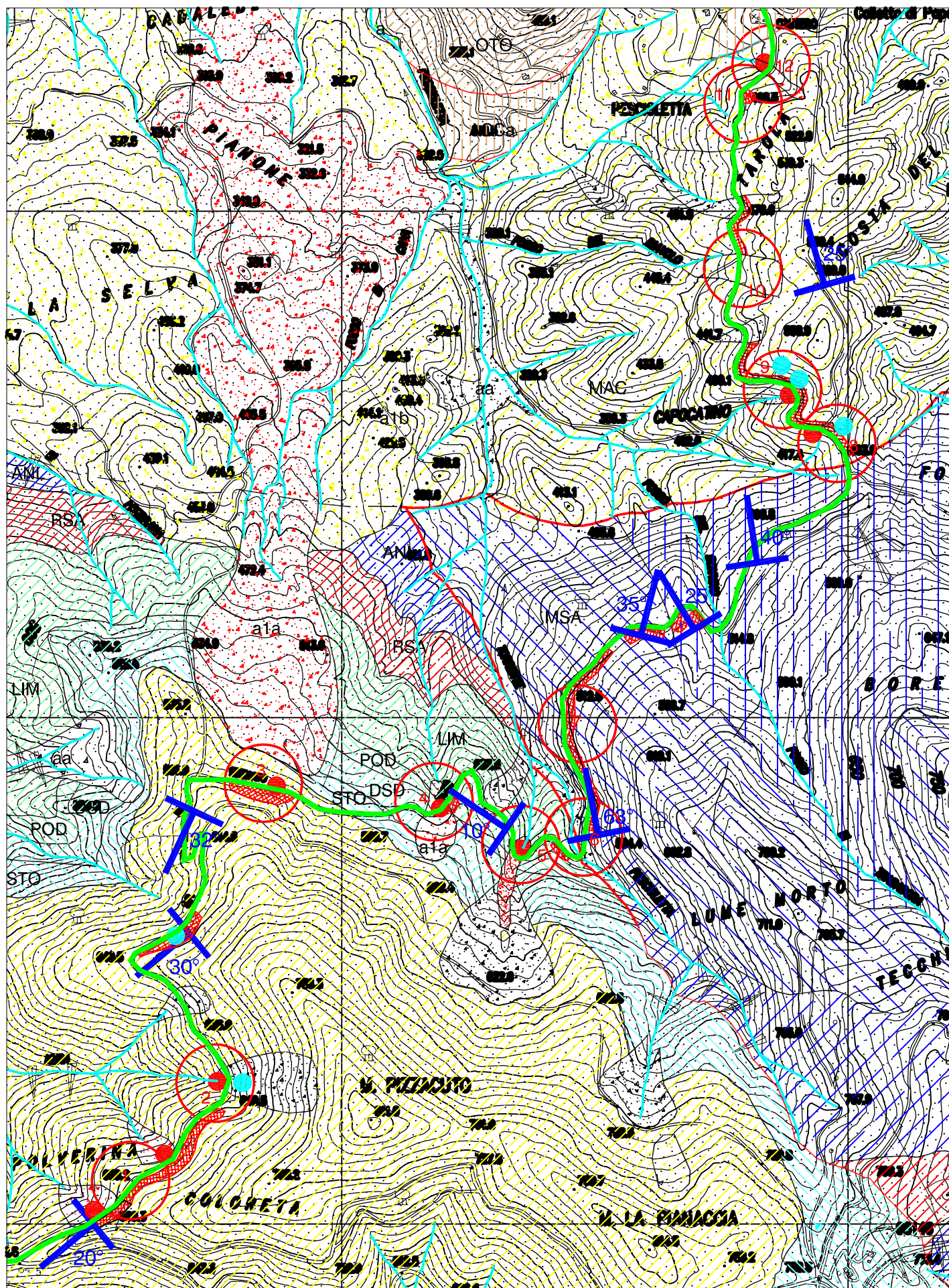
tracciato stradale



1 siti oggetto di intervento

stralcio C.T.R. scala 1:10000
Regione Toscana









Tav. 2 Carta geologica - idrogeologica
con elementi geomorfologici



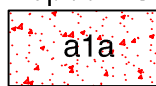
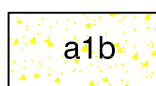
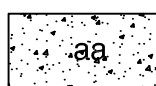
Legenda di Tav. 2 Carta geologica - idrogeologica con elementi geomorfologici

legenda

scala 1:10000


-  tracciato stradale
-  oggetto di intervento
-  giaciture di strato
-  faglie e contatti tettonici
-  principali linee di deflusso
-  sorgenti
-  cedimenti della sede stradale lungo il versante di sottoscarpa
-  aree soggette a distacco di blocchi litoidi lungo il versante di controripa della sede stradale

Depositi Olocenici

-  **a1a** depositi di frana con indizi di evoluzione
permeabilità variabile per porosità
-  **a1b** depositi di frana senza indizi di evoluzione
permeabilità variabile per porosità
-  **aa** depositi di versante
permeabilità variabile per porosità

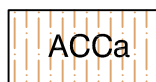
Dominio Ligure Esterno

Unità Tettonica di Ottone

-  **OTO** Flysch di Ottone
litotipo a buona permeabilità per fessurazione








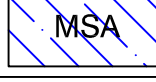
Dominio Subligure

Unità Tettonica di Canetolo

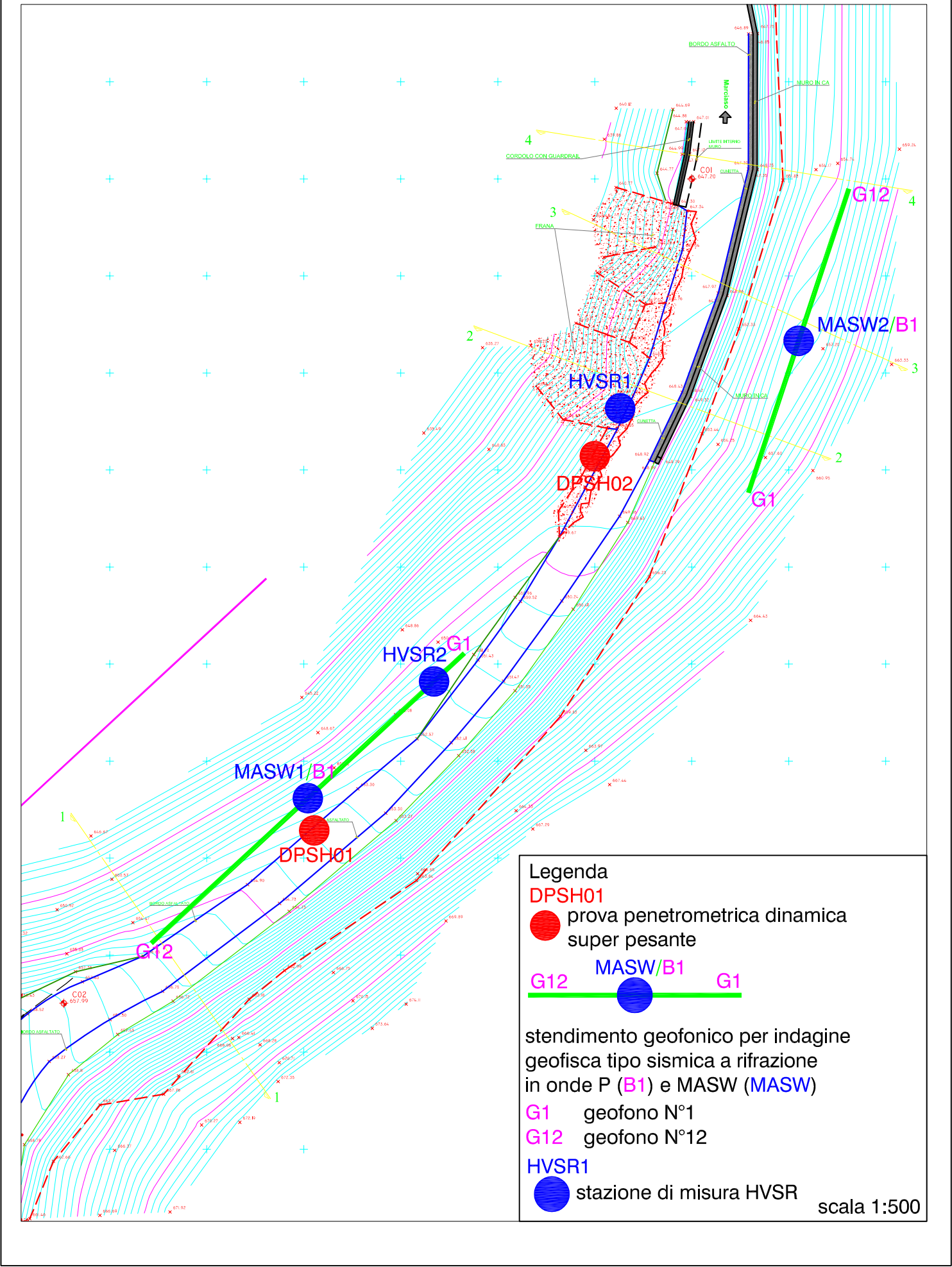
-  **ACCa** argille e calcari di Canetolo
litotipo a bassa permeabilità per fessurazione

Dominio Toscano

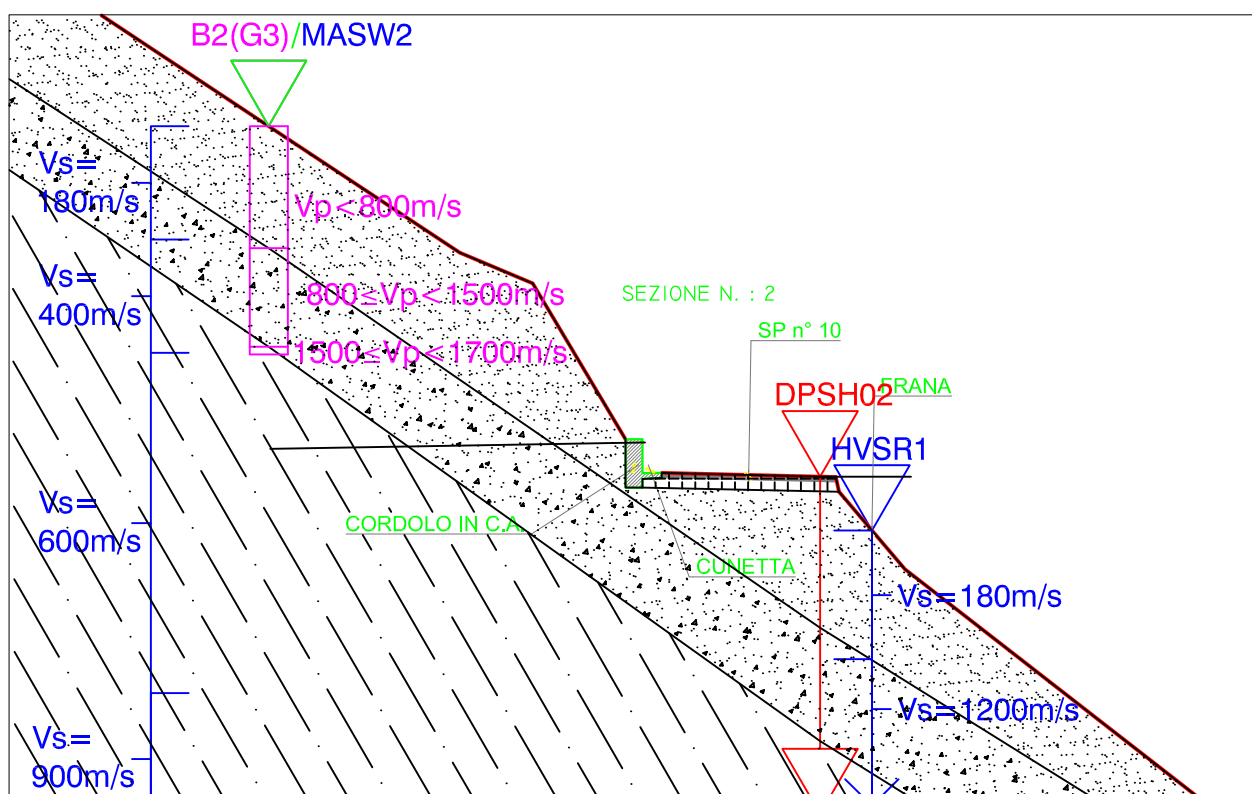
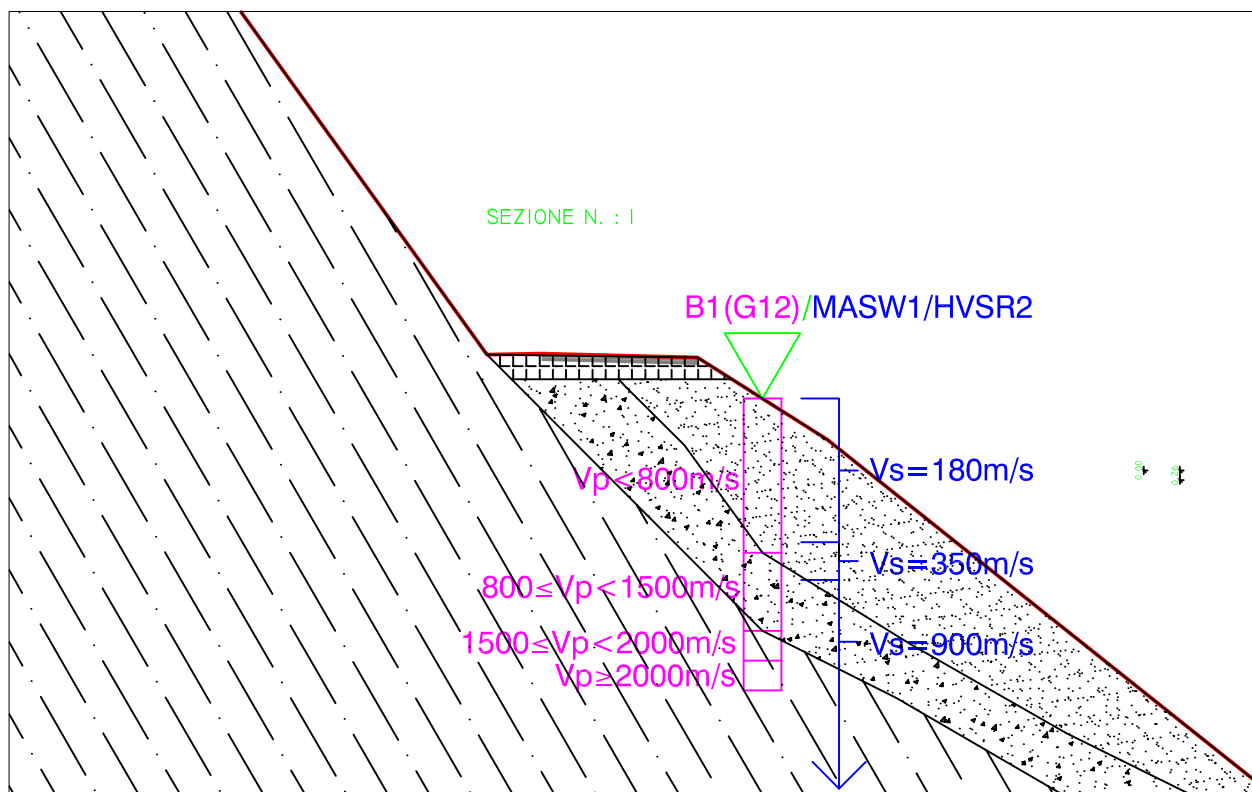
Falda Toscana

-  **MAC** Macigno
litotipo a medio bassa permeabilità per fessurazione
-  **STO** Scaglia Toscana
litotipo a bassa permeabilità per fessurazione
-  **DSD** Diaspri
litotipo a bassa permeabilità per fessurazione
-  **POD** Marne a Posidonia
litotipo a bassa permeabilità per fessurazione
-  **LIM** Calcare selcifero di Limano
litotipo a buona permeabilità per fessurazione
-  **RSA** Rosso Ammonitico
litotipo a buona permeabilità per fessurazione
-  **ANL** Calcari angulati
litotipo a buona permeabilità per fessurazione
-  **MSA** Calcare Massiccio
litotipo a buona permeabilità per fessurazione

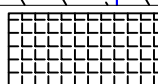
Tav. 3a Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche
sito 1



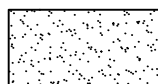
Tav. 4a1 Sezioni stratigrafiche interpretative sito 1



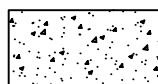
Legenda



Livello A:
Ghiaia (riporto)



Livello B:
sabbia limosa



Livello C: substrato roccioso
molto alterato e fratturato
assimilabile a detrito grossolano



Livello D: substrato roccioso
mediamente alterato e fratturato

B1(G12)/MASW



DPSH01



HVSR2



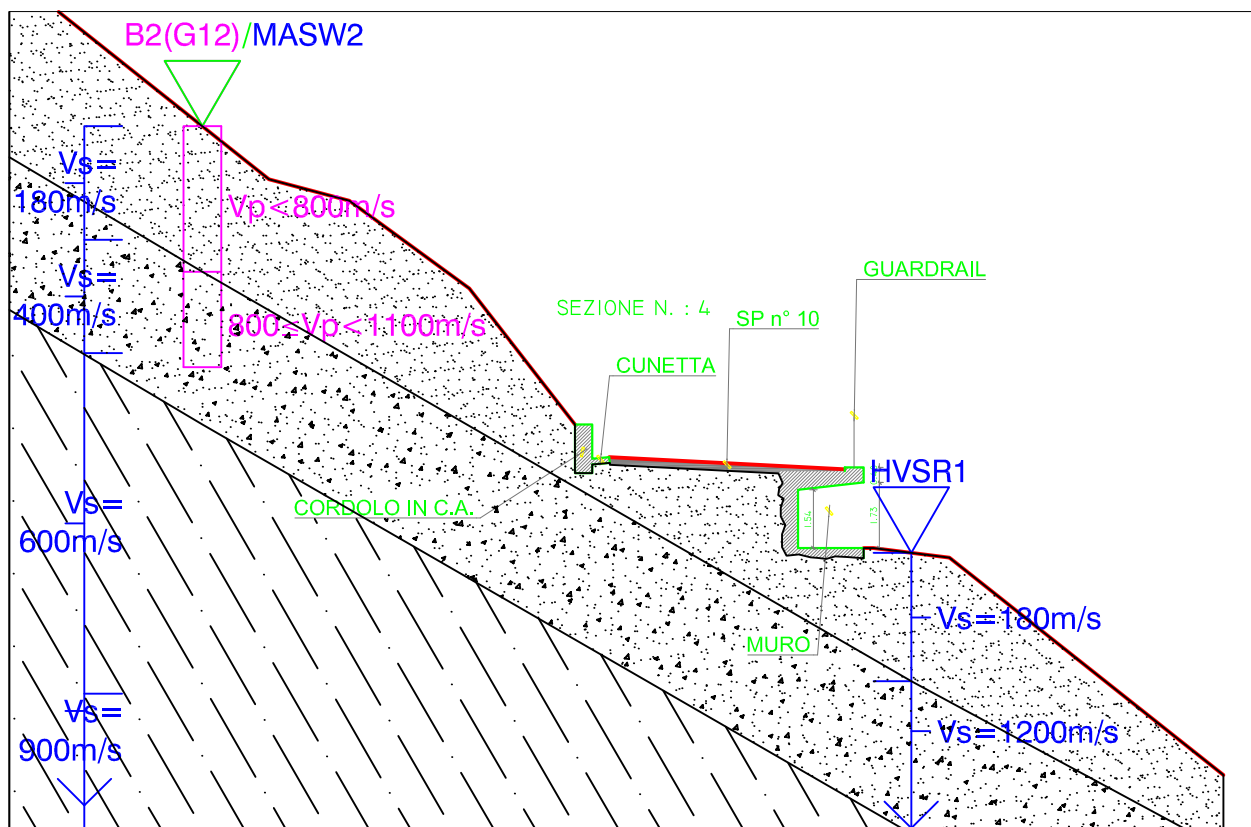
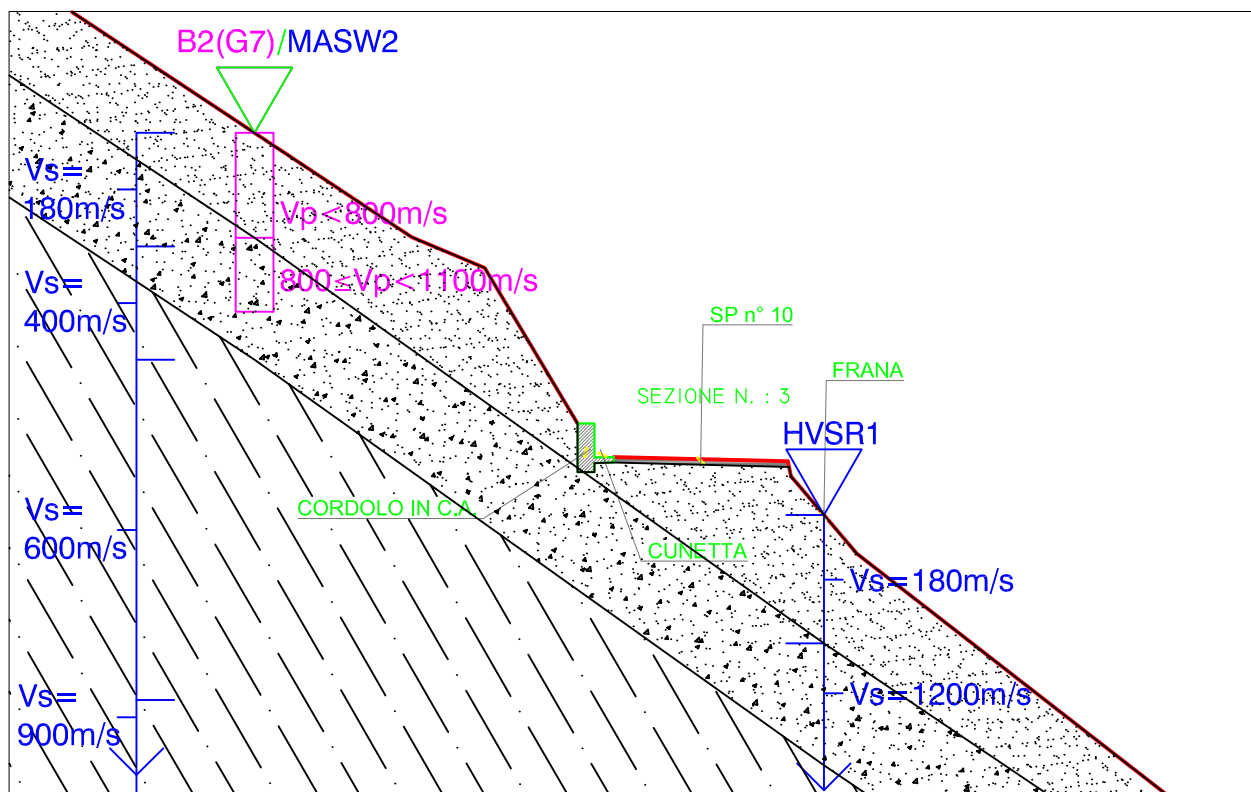
intersezione con stendimento geofonico
per indagine geofisica tipo sismica
a rifrazione all'altezza del geofono n°12 e
MASW con indicate le velocità di propagazione
delle onde P, in magenta e S, in blu

prova penetrometrica
dinamica super pesante

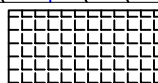
intersezione con stazione di misura HVSR
con indicate le velocità di propagazione
delle onde sismiche "S"

scala 1:200

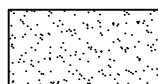
Tav. 4a2 Sezioni stratigrafiche interpretative sito 1



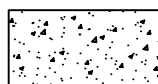
Legenda



Livello A:
Ghiaia (riporto)



Livello B:
sabbia limosa



Livello C: substrato roccioso
molto alterato e fratturato
assimilabile a detrito grossolano



Livello D: substrato roccioso
mediamente alterato e fratturato

B2(G12)/MASW



intersezione con stendimento geofonico
per indagine geofisica tipo sismica
a rifrazione all'altezza del geofono n°12 e
MASW con indicate le velocità
di propagazione delle onde P, in magenta
e S, in blu

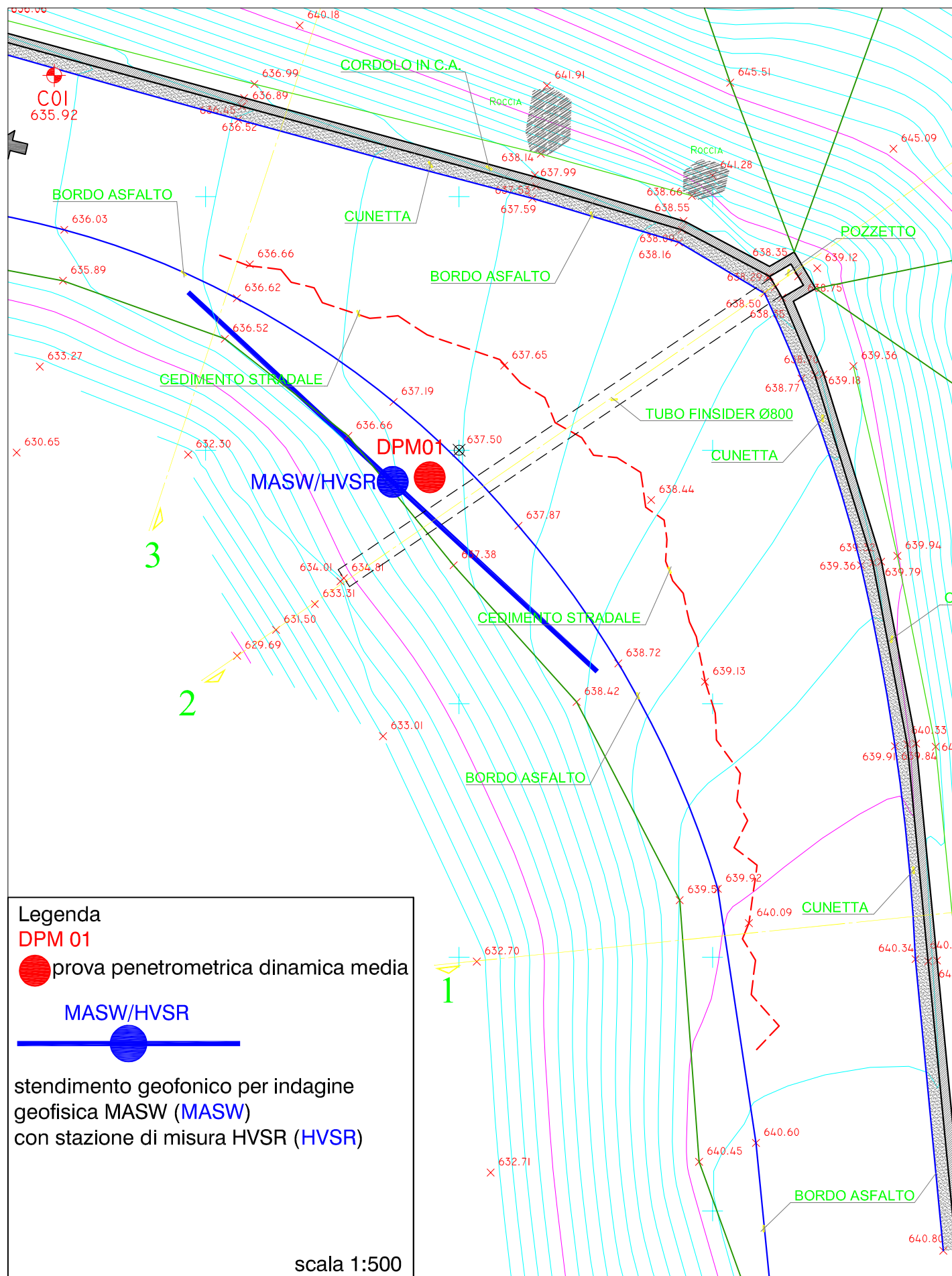
HVSRI



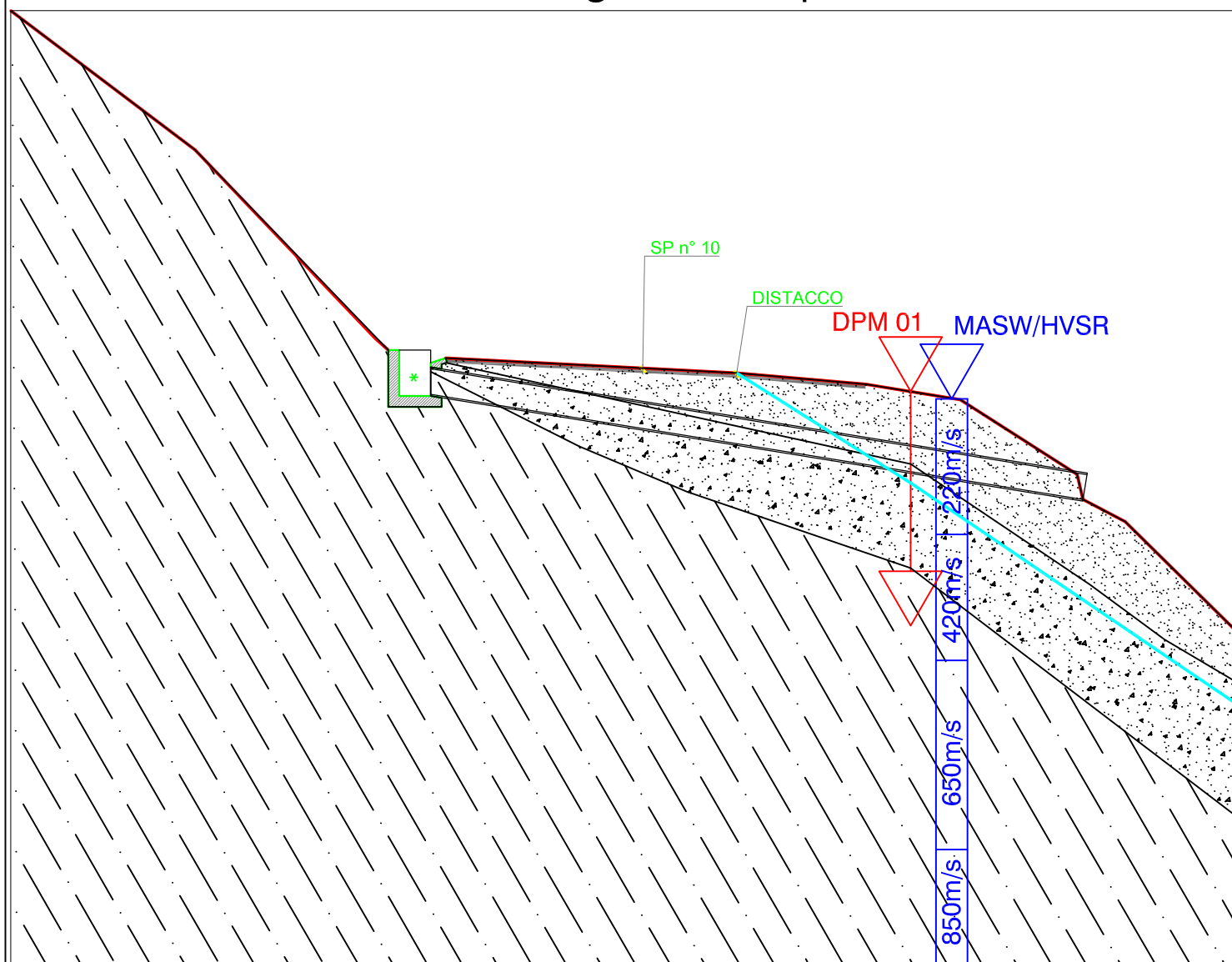
stazione di misura HVSRI
con indicate le velocità di propagazione
delle onde sismiche "S"

scala 1:200

Tav. 3b Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche
sito 2

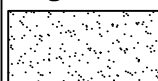


Tav. 4b Sezione stratigrafica interpretativa sito 2

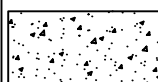


scala 1:200

Legenda



Livello A:
sabbia limosa



Livello B: sabbia limosa
con clasti e trovanti litici



Livello C: substrato roccioso
variamente alterato e fratturato

— Livello falda come rilevato all'atto delle indagini

MASW/HVSR



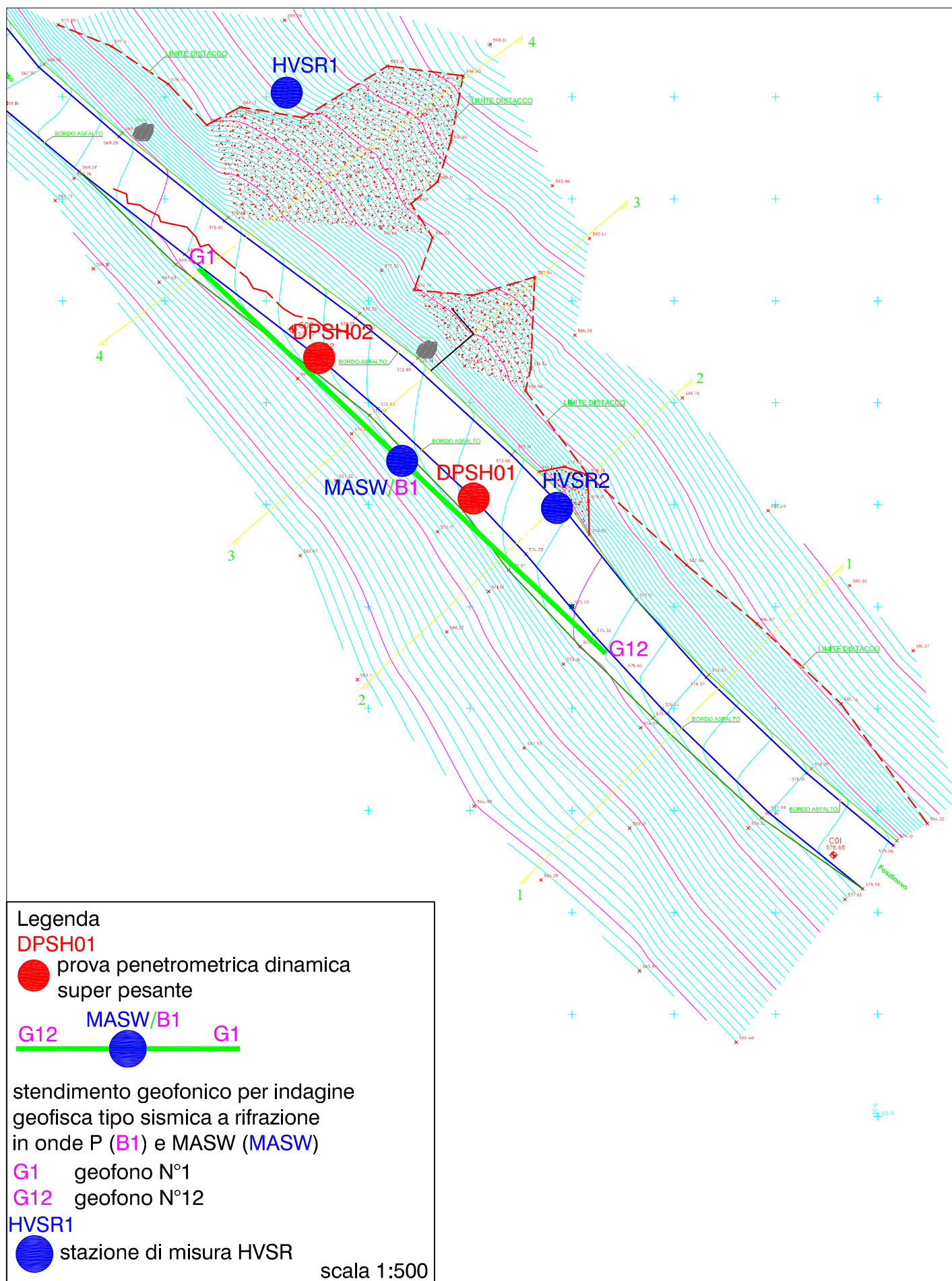
intersezione con stendimento geofonico
per indagine geofisica MASW
e stazione di misura HVSR
con indicate le velocità di propagazione
delle onde sismiche S

DPM01



prova penetrometrica
dinamica media

Tav. 3c Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche
sito 3



Tav. 4c1 Sezione stratigrafica interpretativa sito 3

Legenda

Livello B:
sabbia limosa

Livello C: substrato roccioso molto alterato e fratturato assimilabile a detrito grossolano

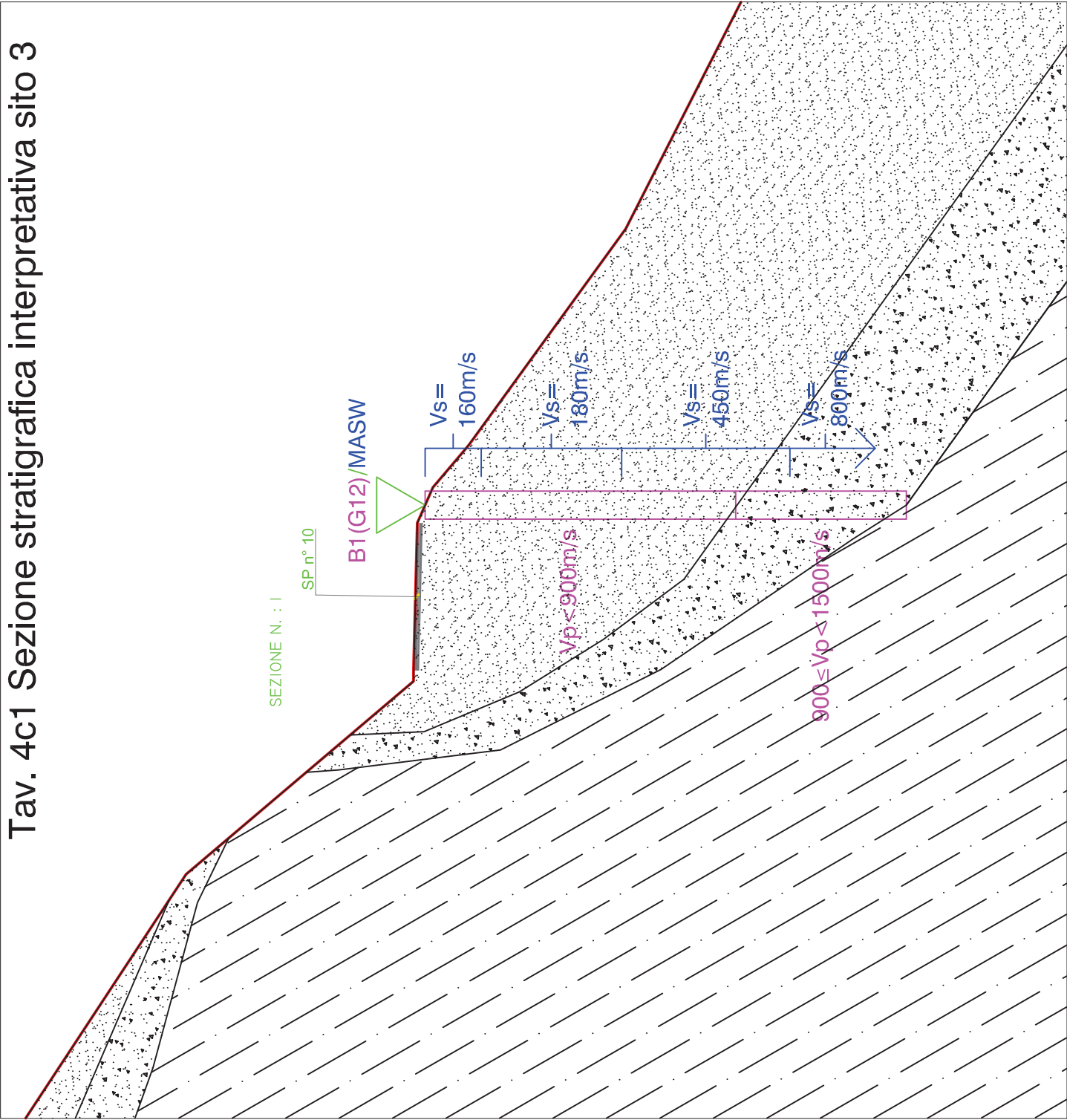
Livello D: substrato roccioso mediamente alterato e fratturato

B1(G12)/MASW

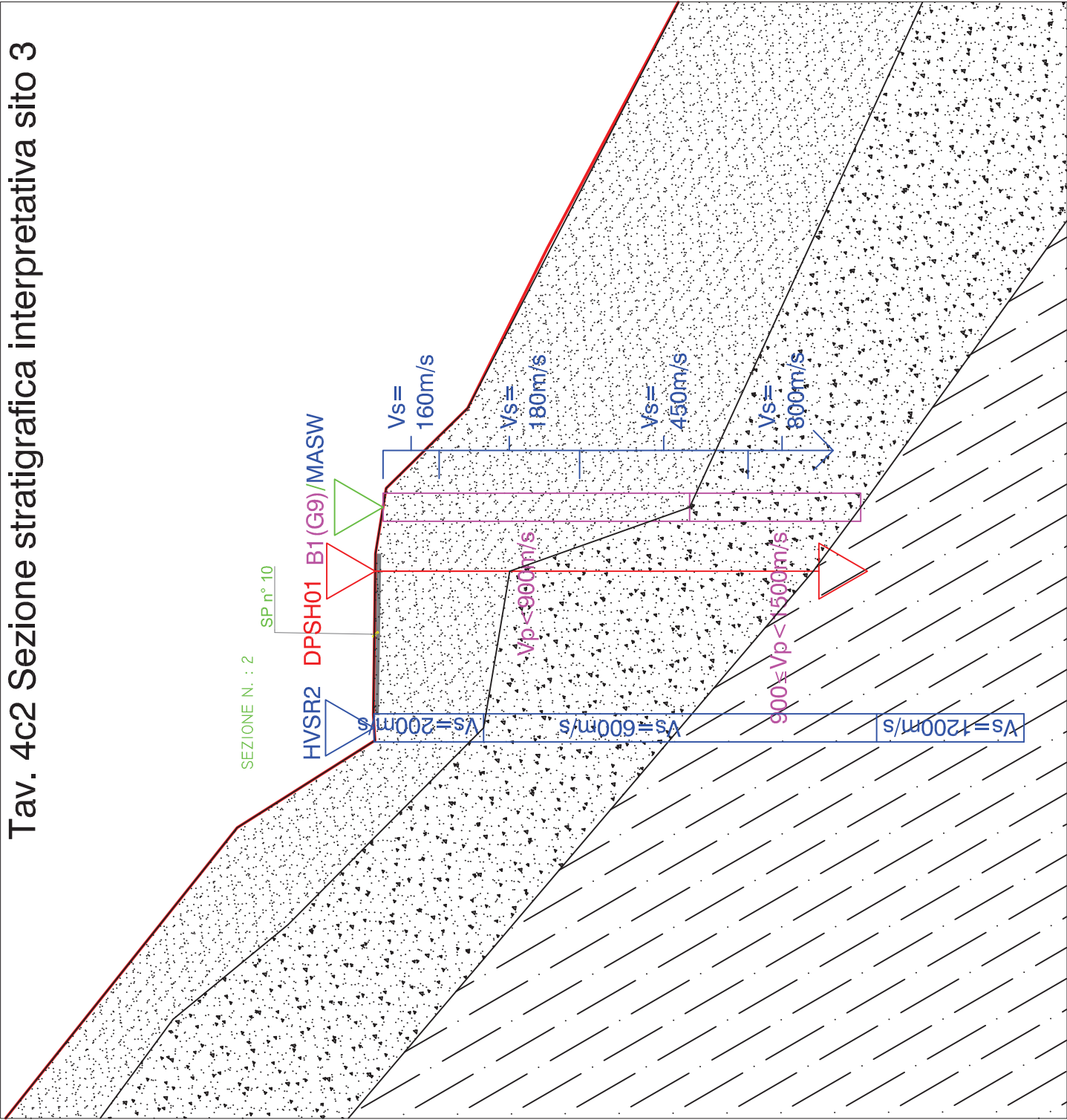
intersezione con
stendimento geofonico
per indagine geofisica tipo sismica
a rifrazione all'altezza
del geofono n°12 e MASW
con indicate le velocità
di propagazione delle onde P,
in magenta e S, in blu

DPSH01

prova penetrometrica
dinamica super pesante

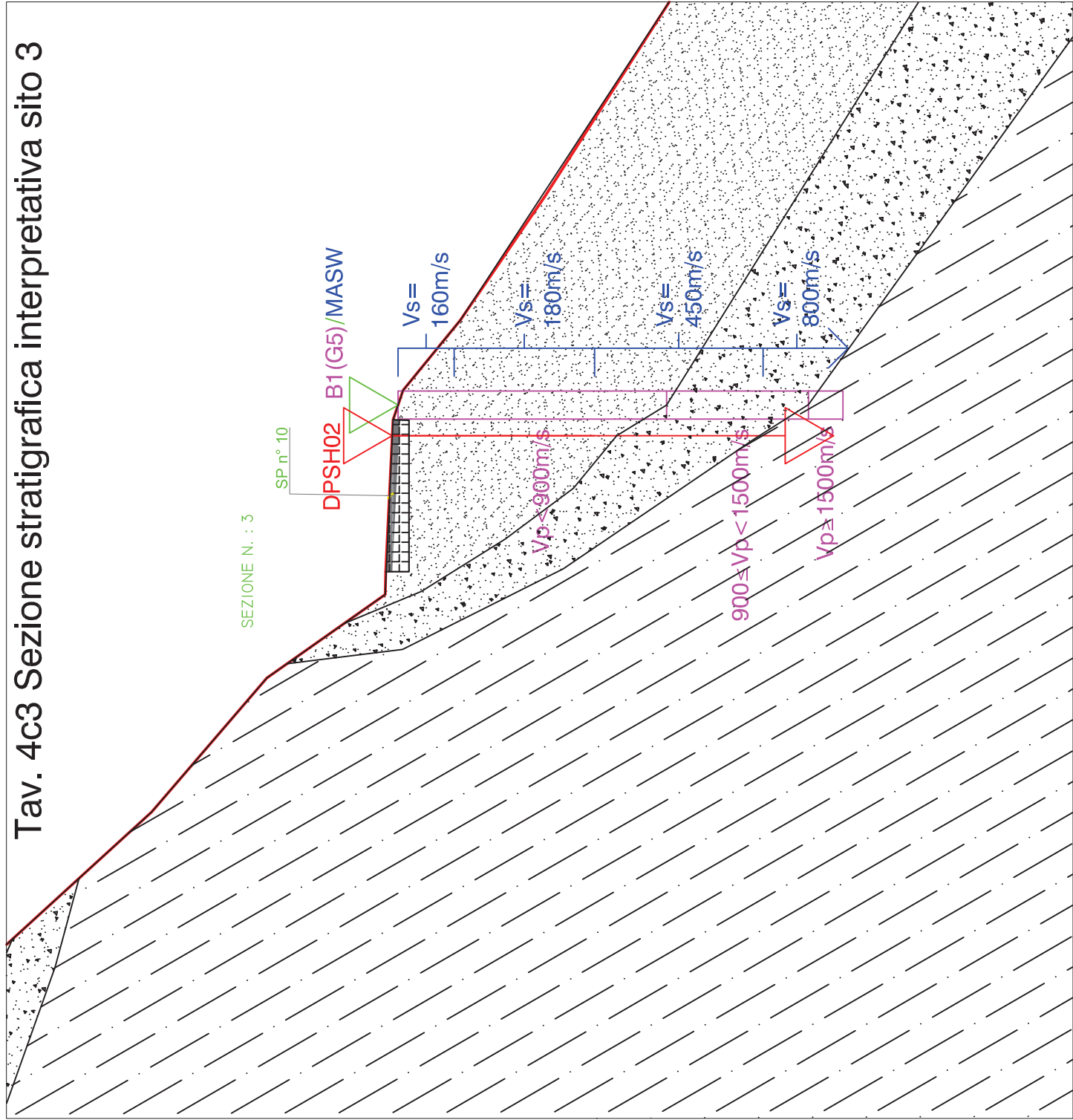


Tav. 4c2 Sezione stratigrafica interpretativa sito 3

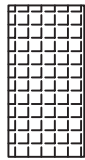


- Legenda**
- Livello B: sabbia limosa
 - Livello C: substrato roccioso molto alterato e fratturato assimilabile a detrito grossolano
 - Livello D: substrato roccioso mediamente alterato e fratturato
- B1(G12)/MASW**
- intersezione con stendimento geofonico per indagine geofisica tipo sismica a rifrazione all'altezza del geofono n°9 e MASW con indicate le velocità di propagazione delle onde P, in magenta e S, in blu
- DPSH01**
- prova penetrometrica dinamica super pesante
- HVS2**
- intersezione con stazione di misura HVS2 con indicate le velocità di propagazione delle onde sismiche "S"

Tav. 4c3 Sezione stratigrafica interpretativa sito 3

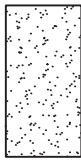


Legenda



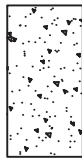
Livello A:

Ghiaia (riporto)

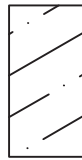


Livello B:

sabbia limosa



Livello C: substrato roccioso molto alterato e fratturato assimilabile a detrito grossolano



Livello D: substrato roccioso mediamente alterato e fratturato

B1(G5)/MASW



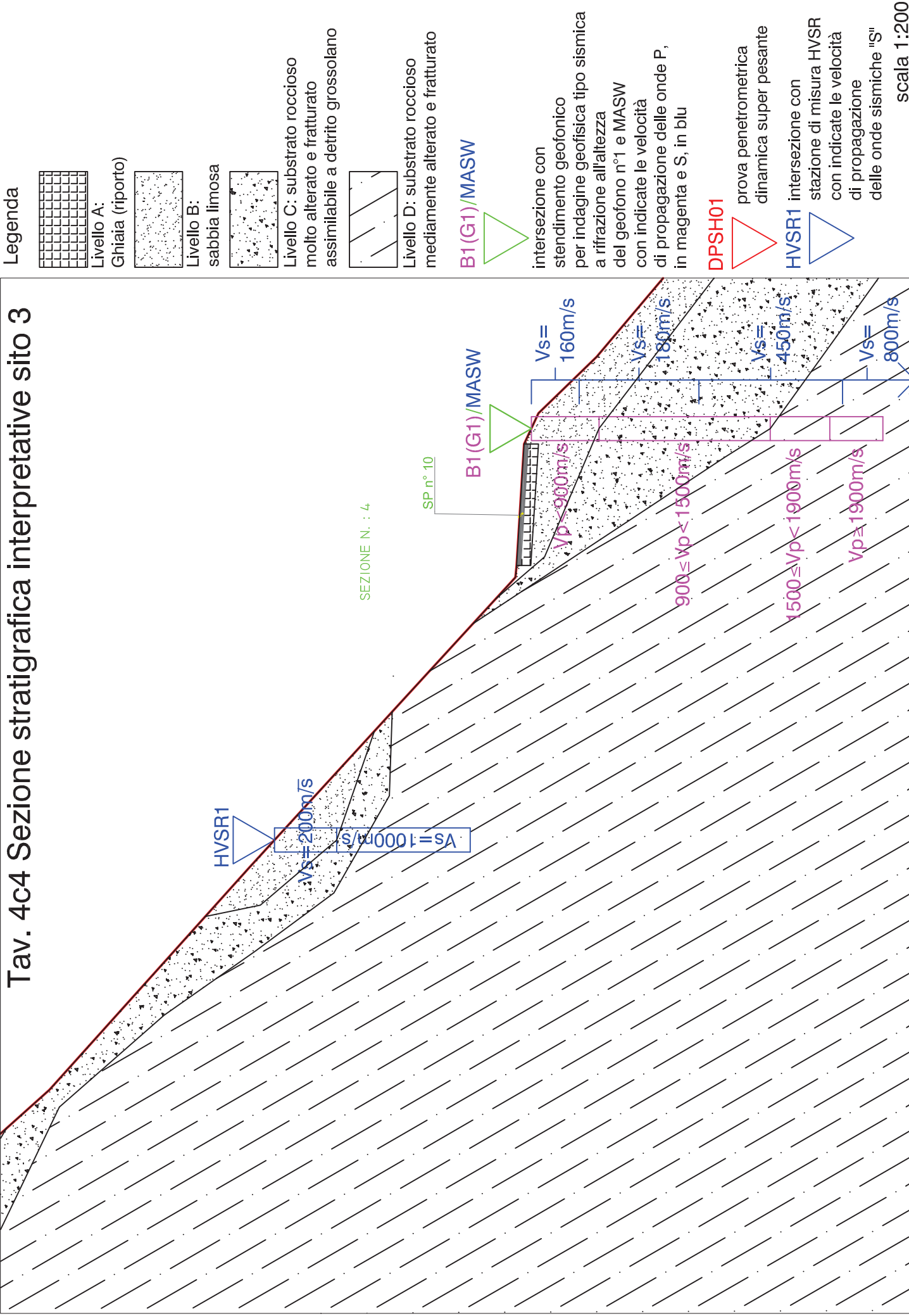
intersezione con stendimento geofonico per indagine geofisica tipo sismica a rifrazione all'altezza del geofono n°5 e MASW con indicate le velocità di propagazione delle onde P, in magenta e S, in blu

DPSH02

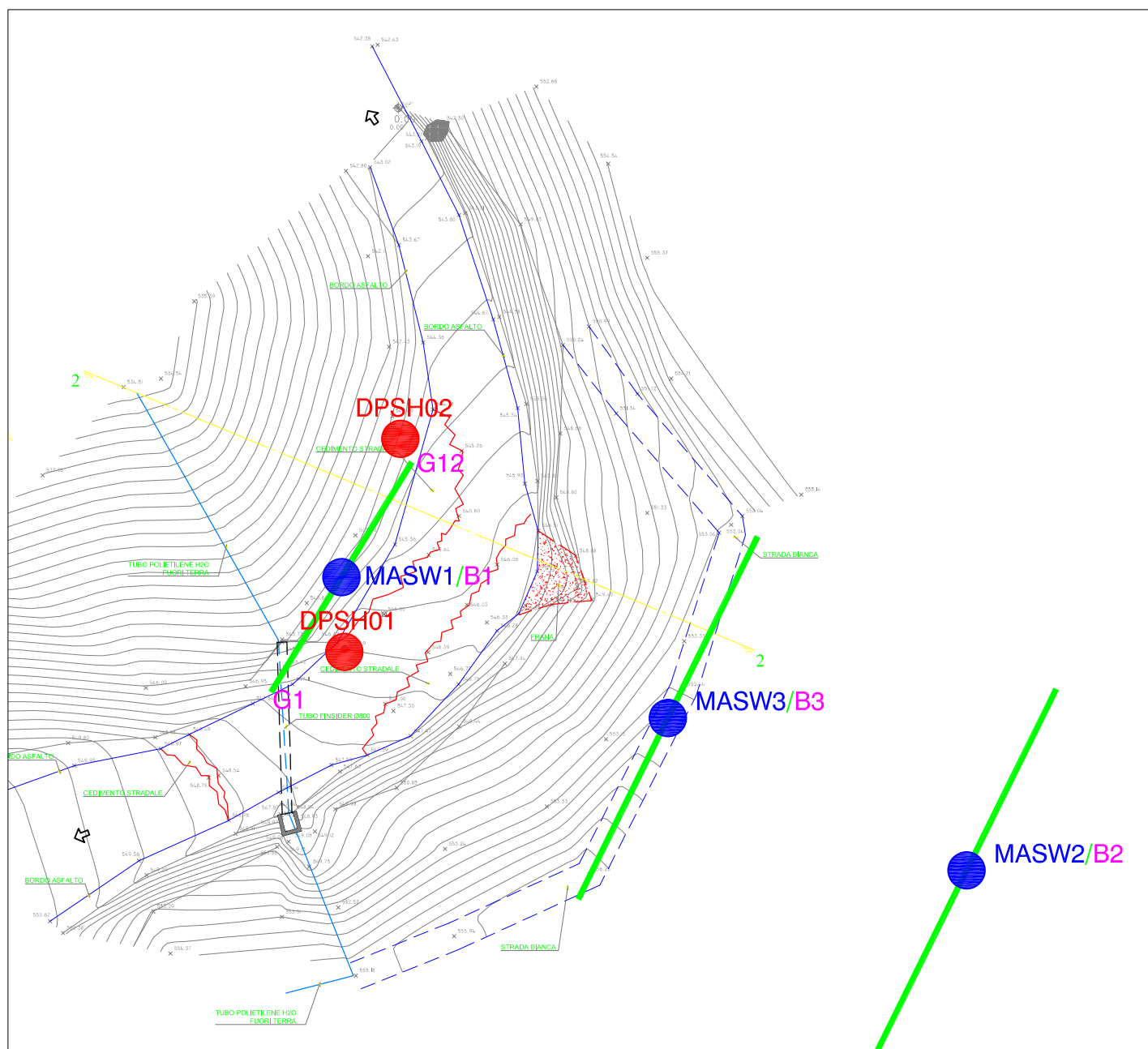


prova penetrometrica dinamica super pesante

Tav. 4c4 Sezione stratigrafica interpretative sito 3



Tav. 3d Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche sito 4



Legenda

DPSH01

 prova penetrometrica dinamica
super pesante

G12 **MASW/B1** **G1**

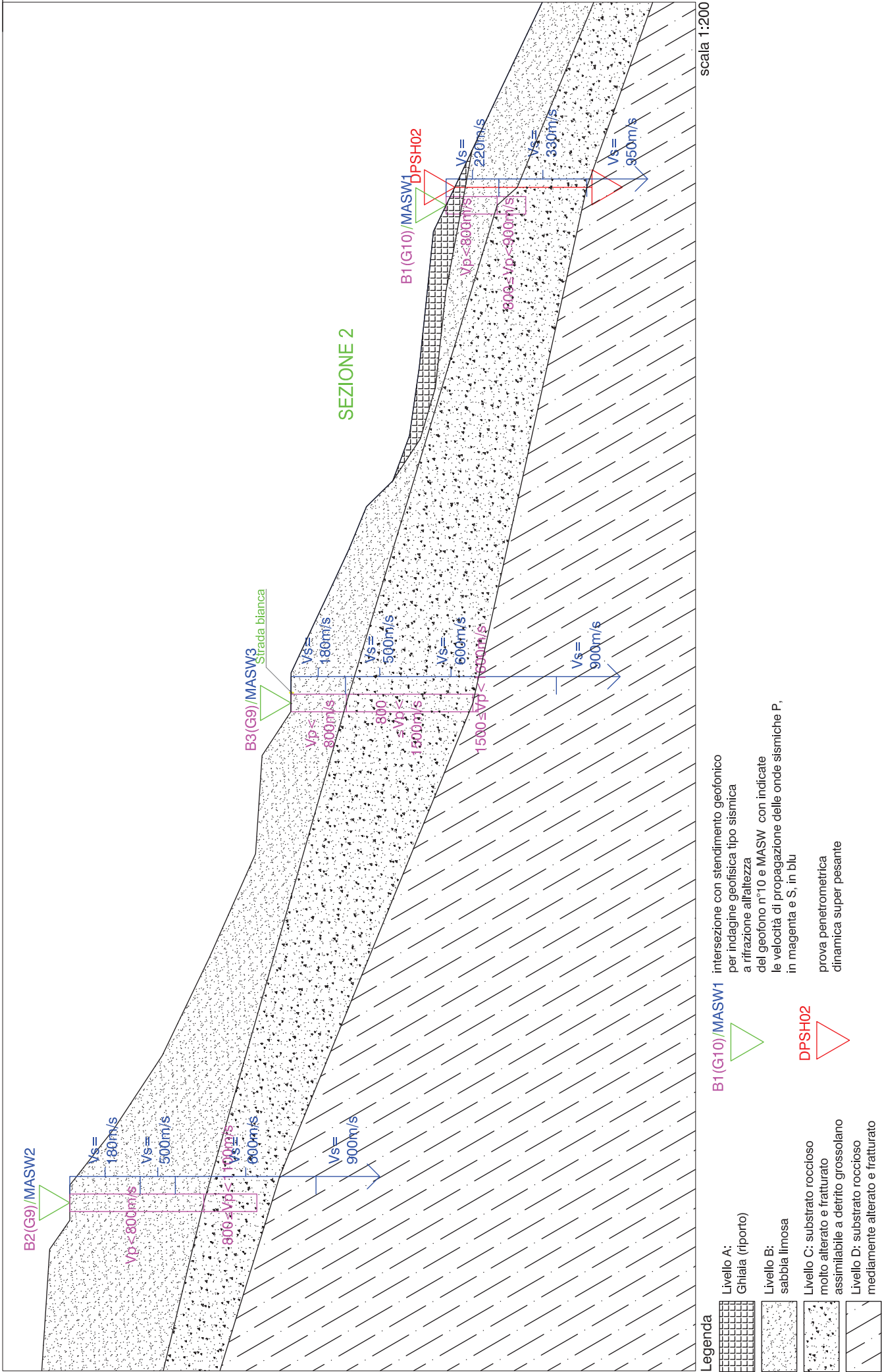

stendimento geofonico per indagine
geofisica tipo sismica a rifrazione
in onde P (**B1**) e MASW (**MASW**)

G1 geofono N°1

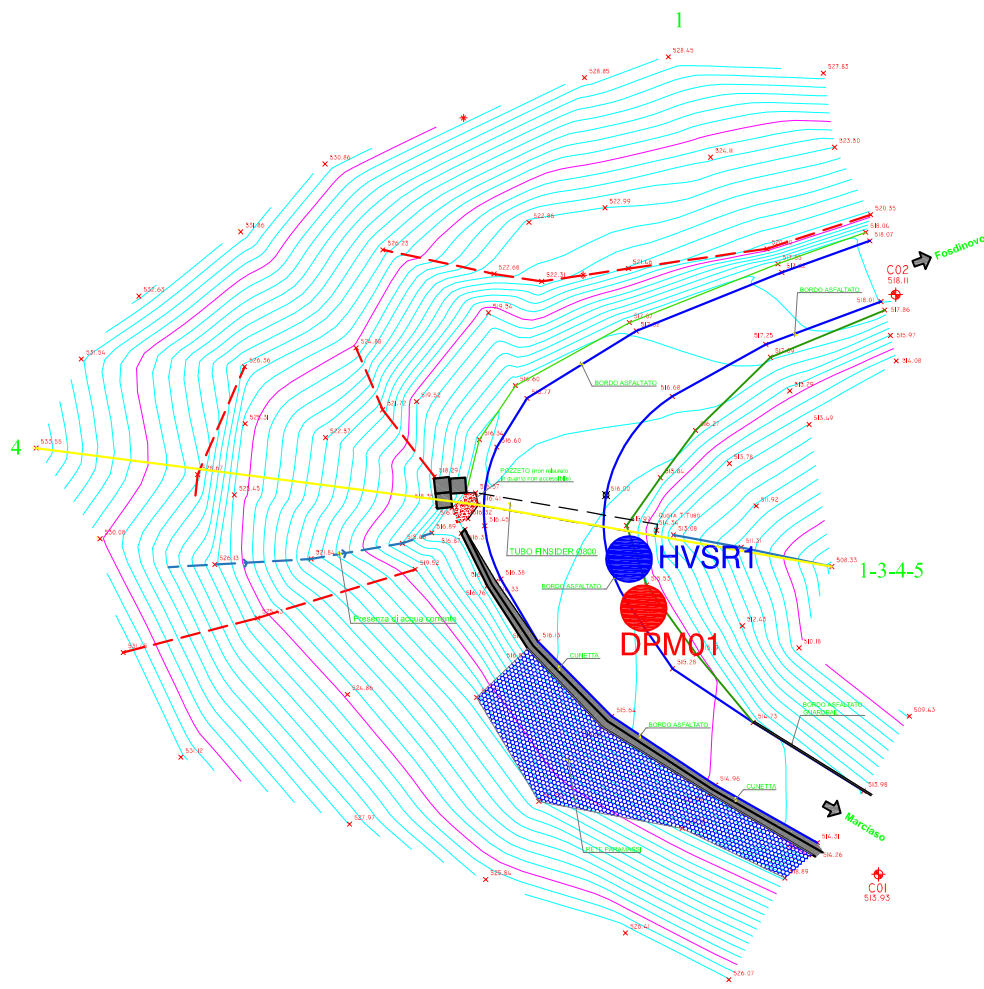
G12 geofono N°12

scala 1:500

Tav. 4d Sezione stratigrafica interpretativa sito 4



Tav. 3e Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche
sito 5



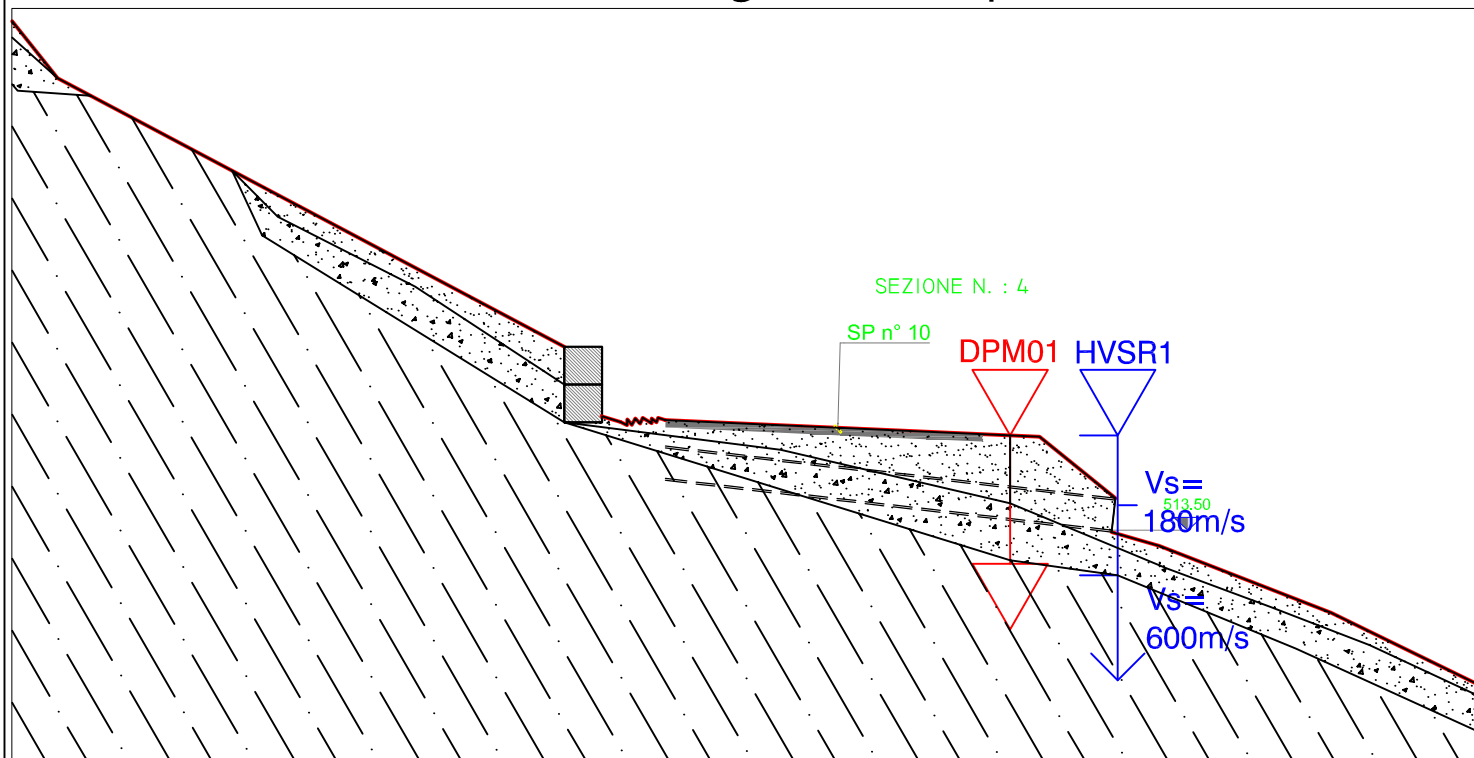
Legenda

DPM01
● prova penetrometrica dinamica media

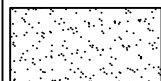
HVSRI
● stazione di misura HVSRI

scala 1:500

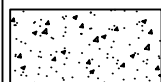
Tav. 4e Sezione stratigrafica interpretativa sito 5



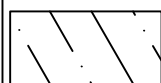
Legenda



Livello A:
sabbia limosa



Livello B: sabbia limosa con
clasti e trovanti litici



Livello C: substrato roccioso
variamente alterato e fratturato

HVS1



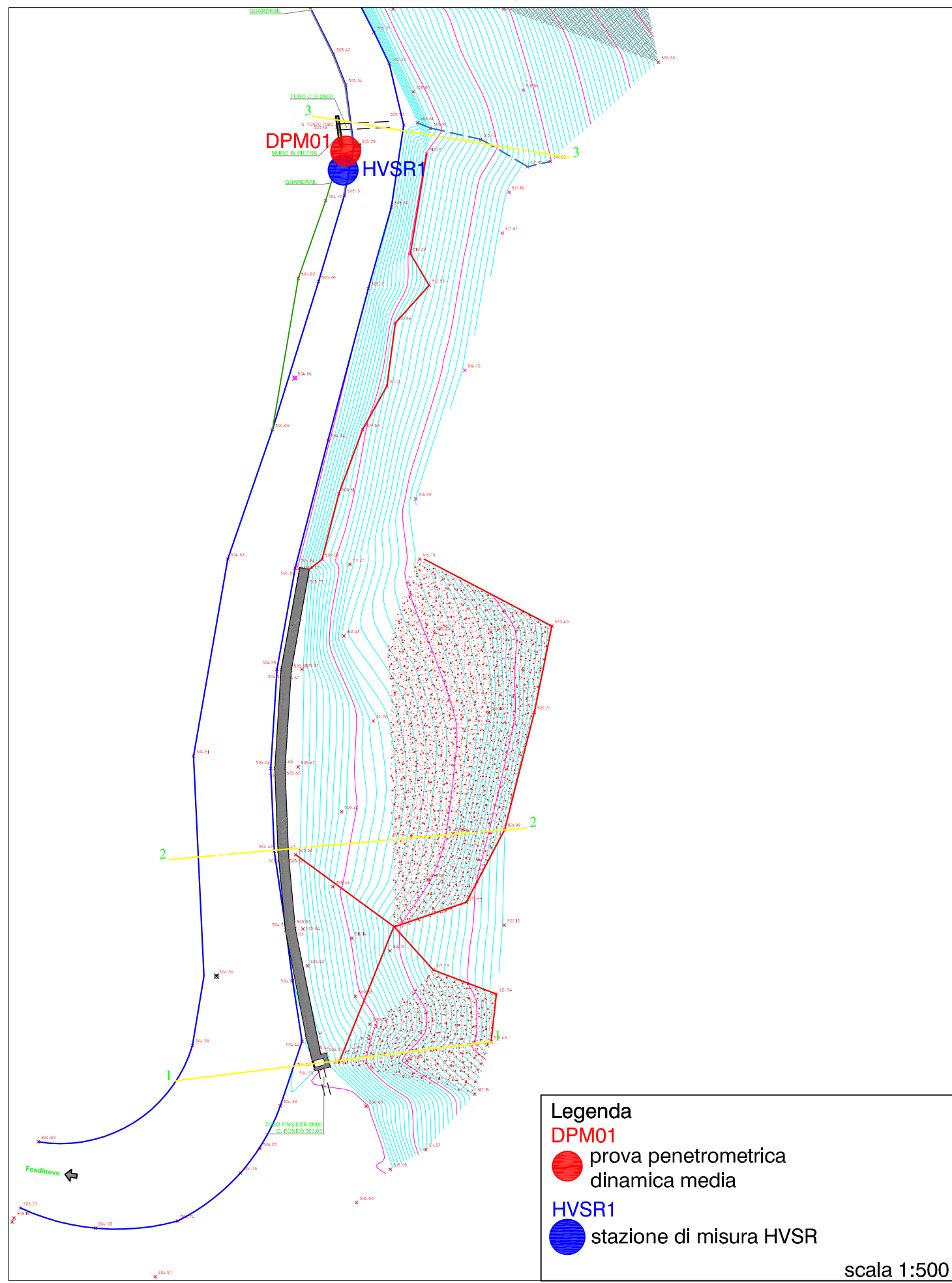
intersezione con stazione di misura HVS1
con indicate le velocità di propagazione
delle onde sismiche S

DPM01

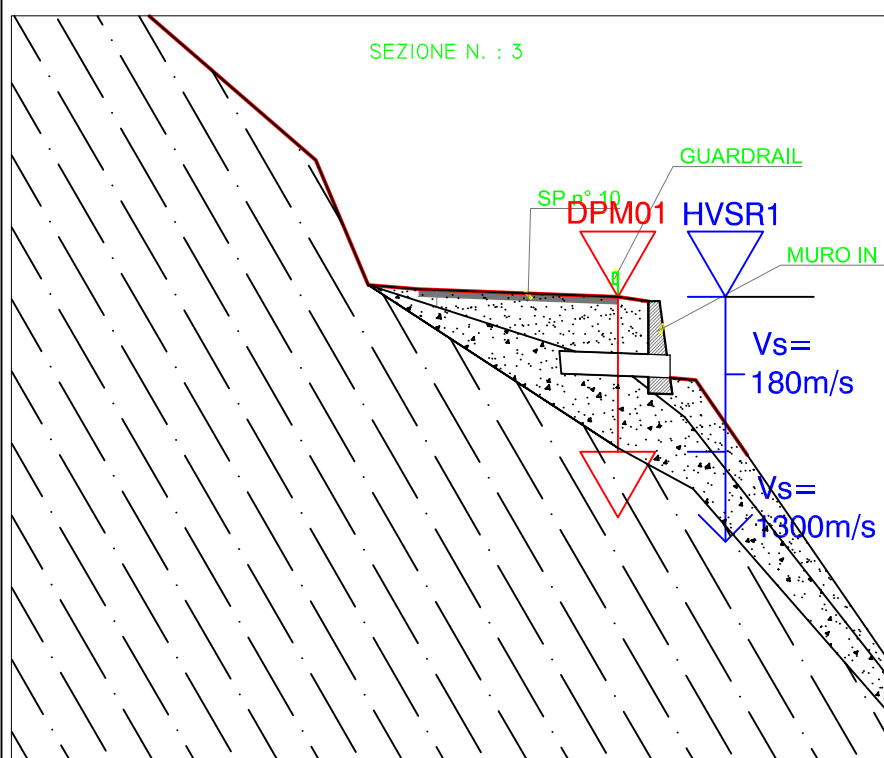
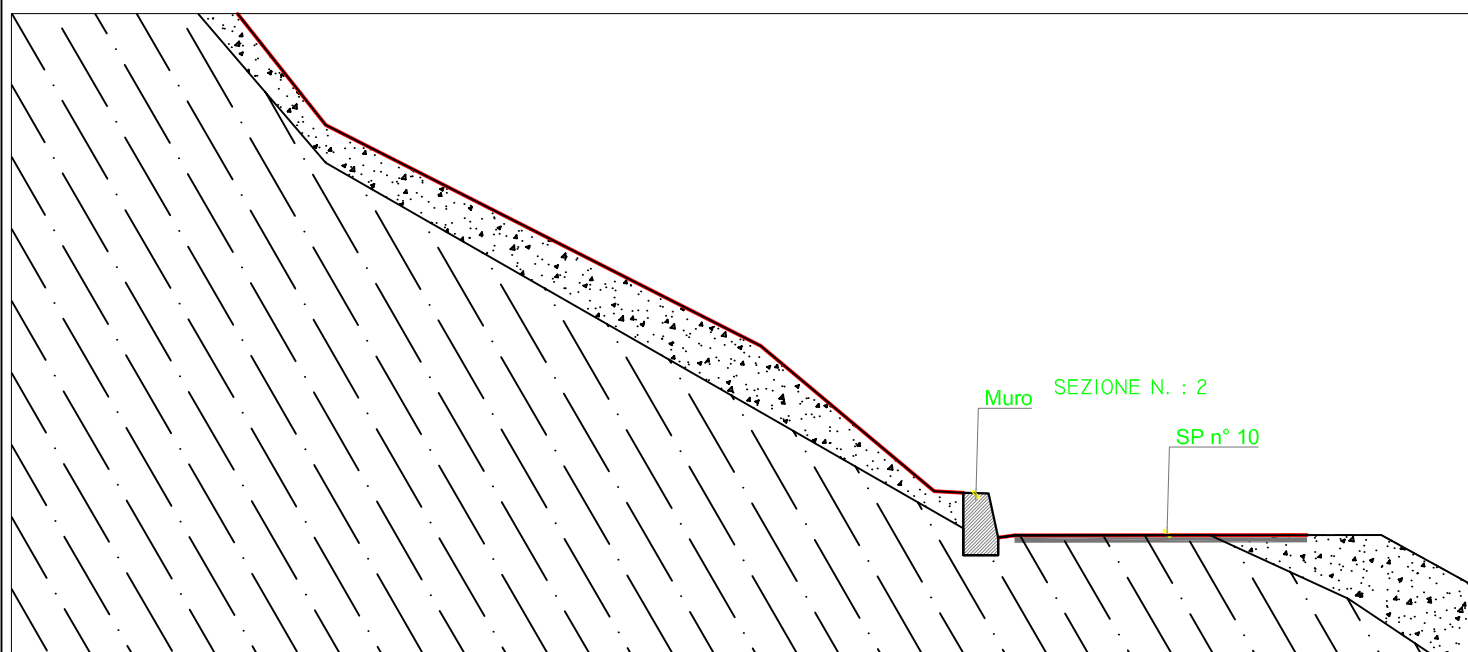
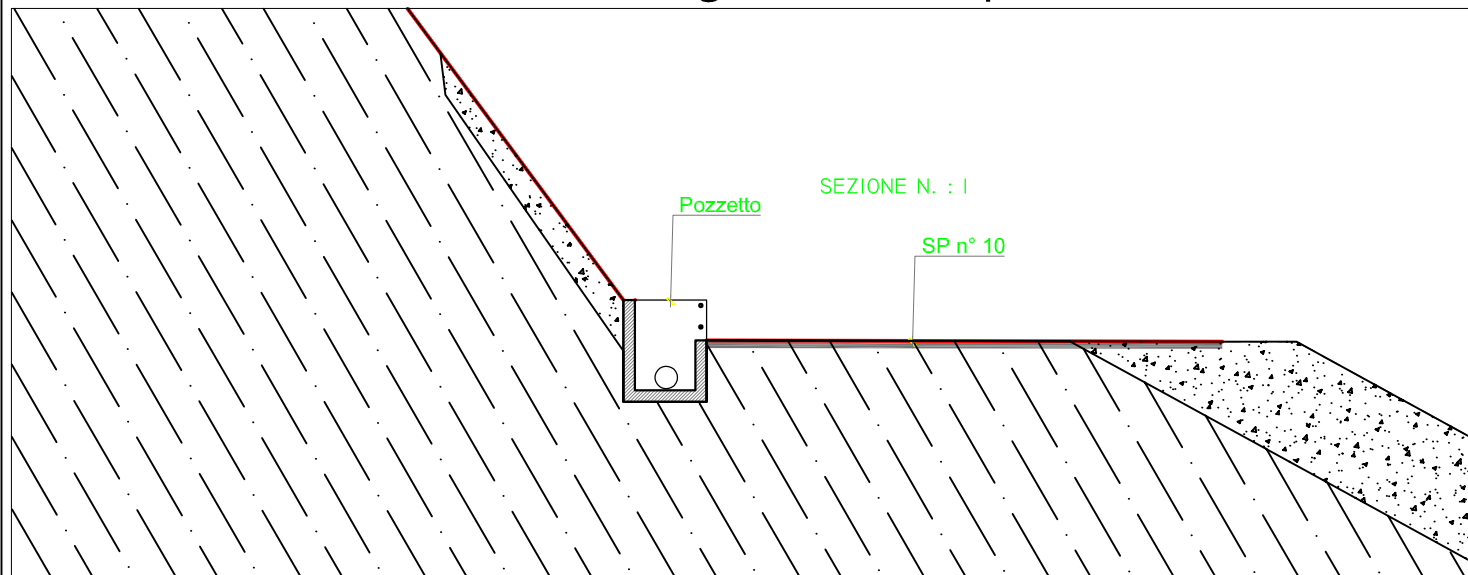


prova penetrometrica
dinamica media



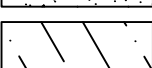
Tav. 3f Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche
sito 6



Tav. 4f Sezioni stratigrafiche interpretative sito 6



Legenda

-  Livello A:
sabbia limosa
-  Livello B: sabbia limosa con
clasti e trovanti litici
-  Livello C: substrato roccioso
variamente alterato e fratturato

HVSr1



intersezione con stazione
di misura HVSr
con indicate le velocità
di propagazione
delle onde sismiche S

DPM01



prova penetrometrica
dinamica media

scala 1:200

Tav. 3g Planimetria generale sito 7

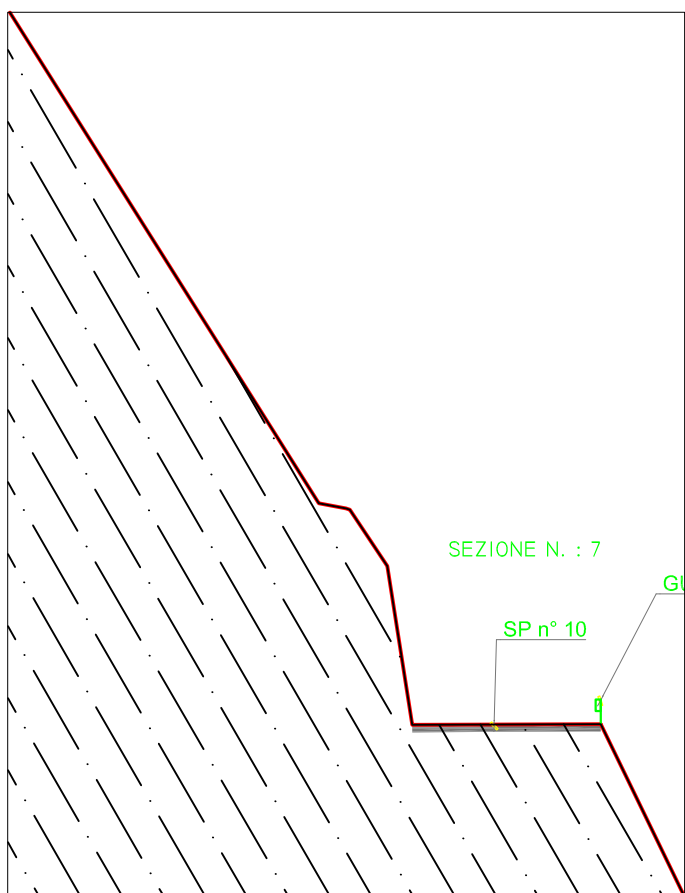
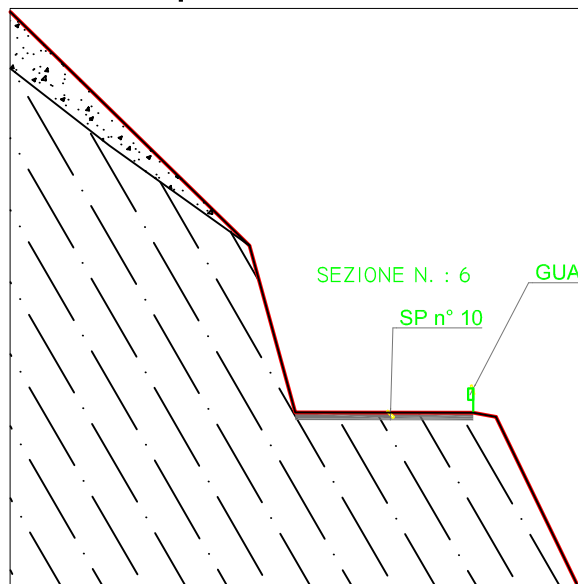
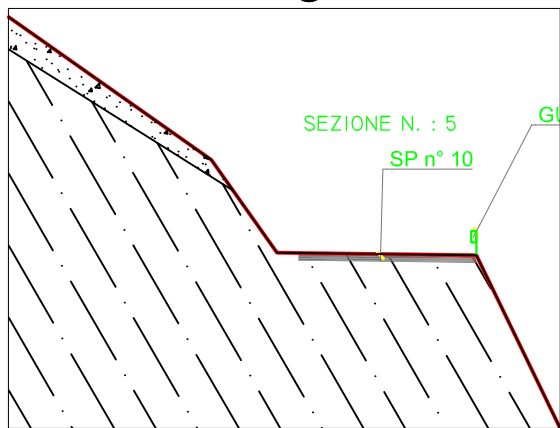


Legenda

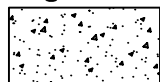
traccia di sezione stratigrafica interpretativa

scala 1:1000

Tav. 4g Sezioni stratigrafiche interpretative sito 7



Legenda



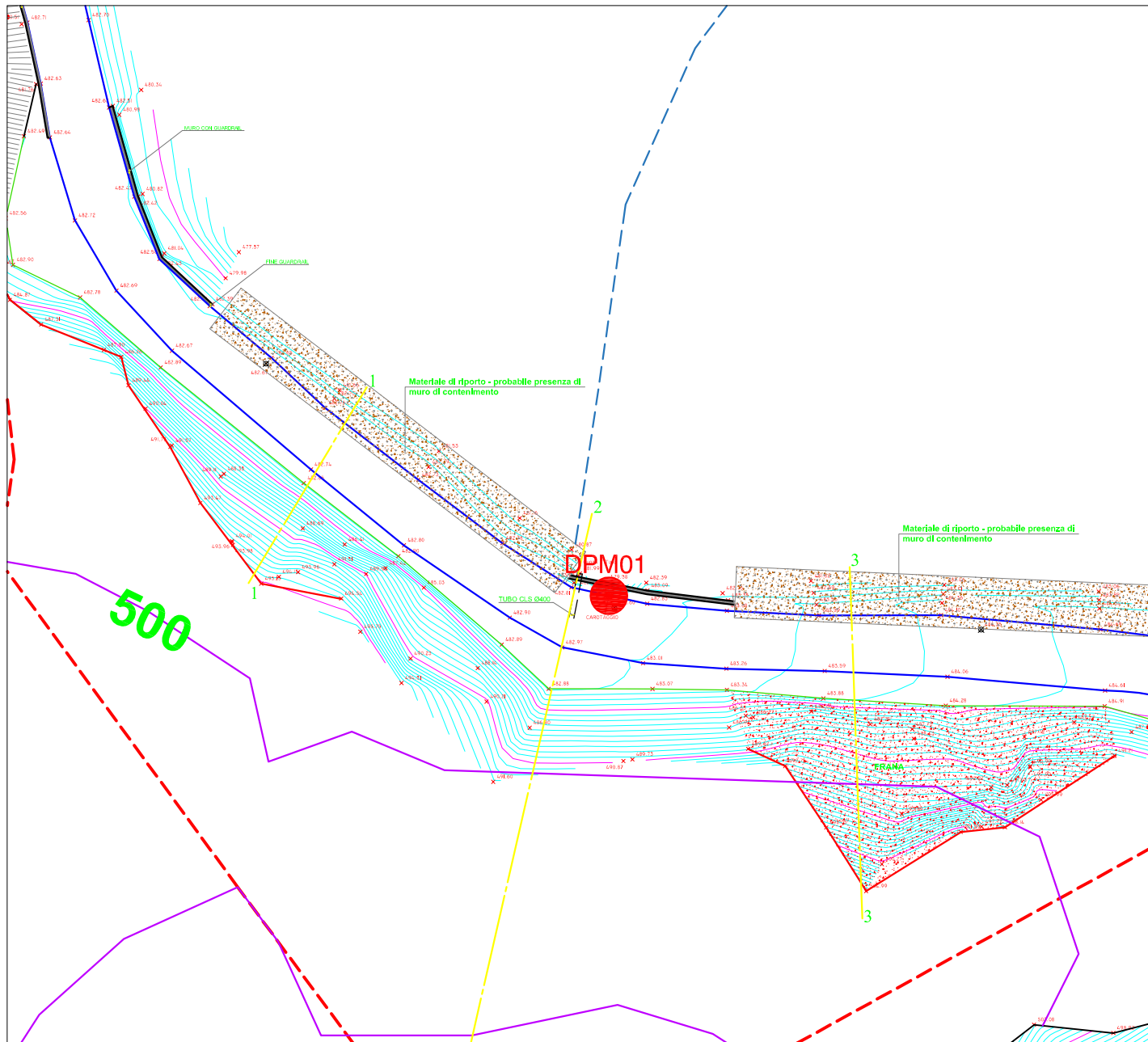
Livello A: sabbia limosa con
clasti e trovanti litici



Livello B: substrato roccioso
variamente alterato e fratturato


scala 1:200

Tav. 3h Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche sito 8



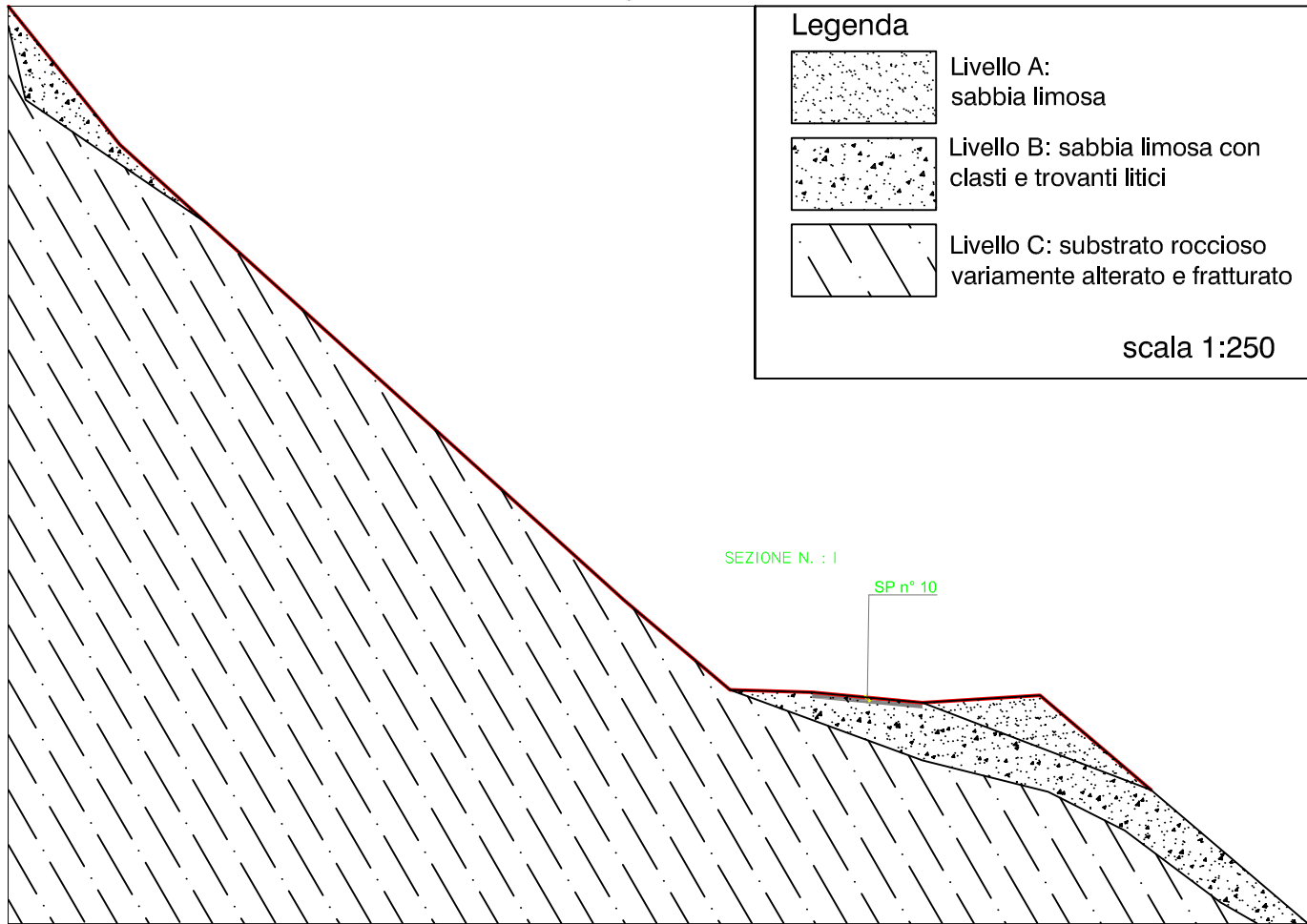
Legenda

DPM01

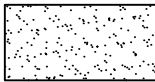
 prova penetrometrica dinamica media

scala 1:500

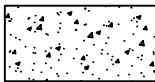
Tav. 4h Sezioni stratigrafiche interpretative sito 8



Legenda



Livello A:
sabbia limosa

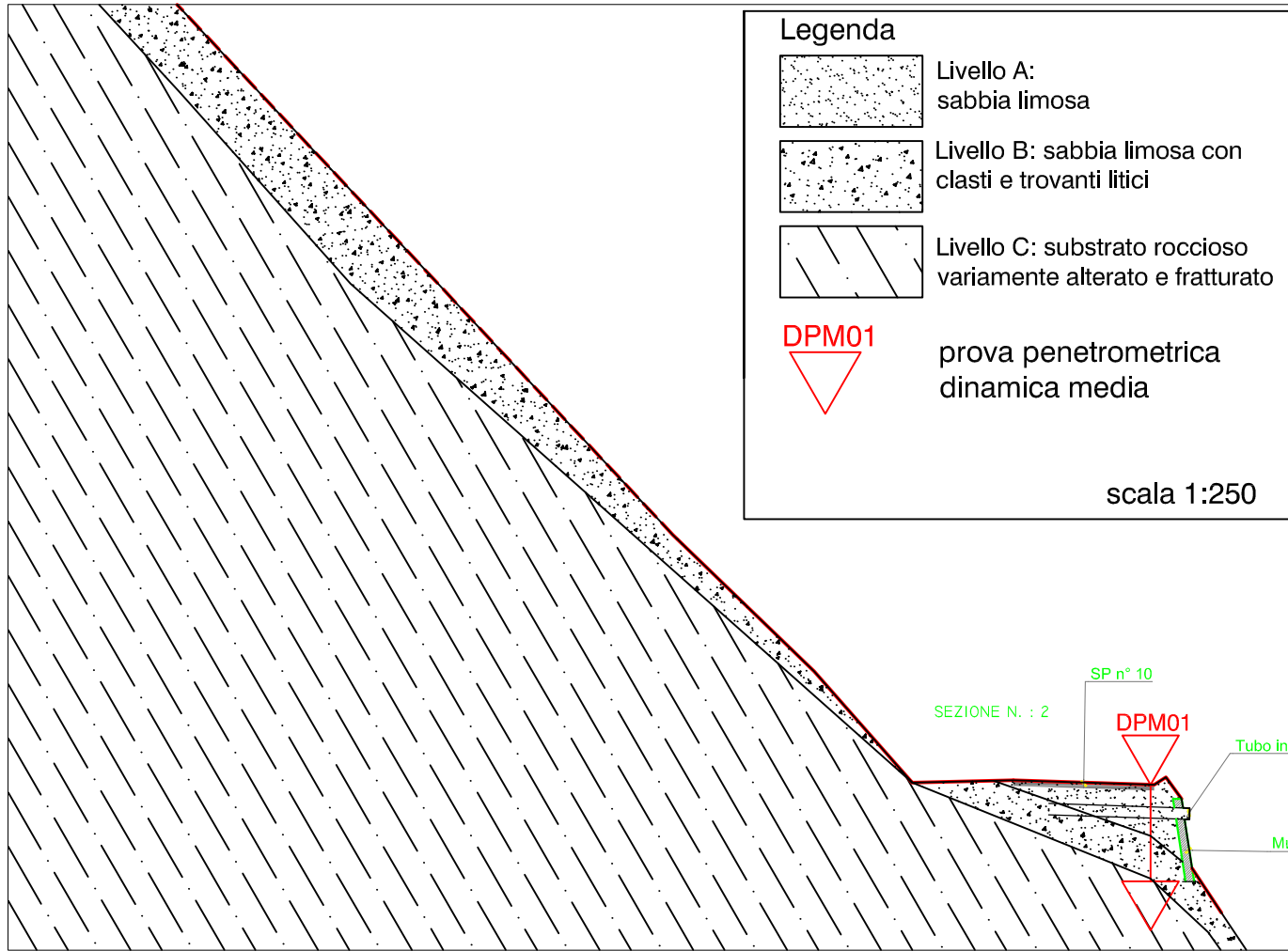


Livello B: sabbia limosa con
clasti e trovanti litici

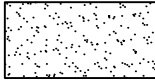


Livello C: substrato roccioso
variamente alterato e fratturato

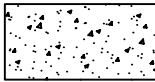
scala 1:250



Legenda



Livello A:
sabbia limosa



Livello B: sabbia limosa con
clasti e trovanti litici



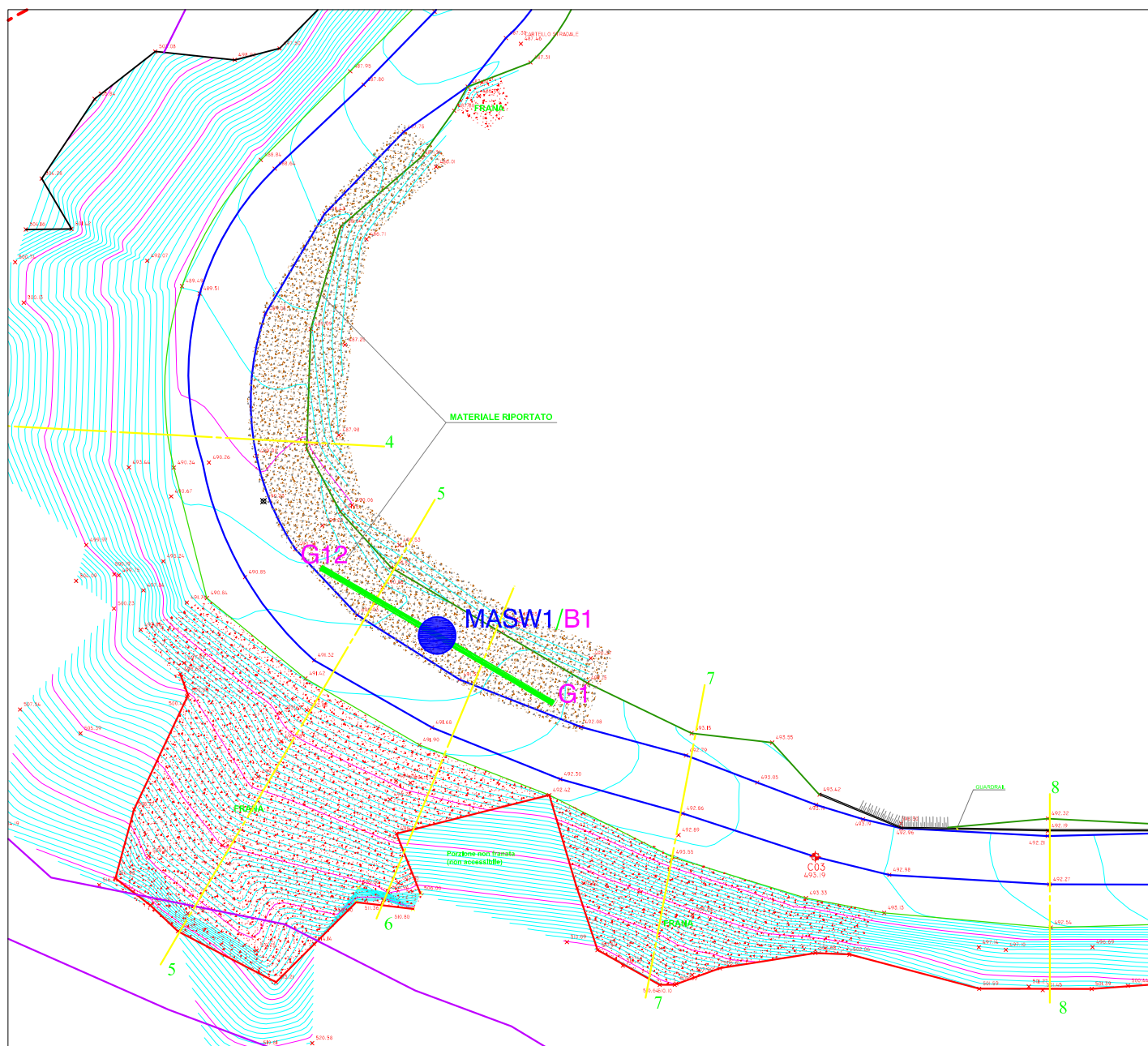
Livello C: substrato roccioso
variamente alterato e fratturato



prova penetrometrica
dinamica media

scala 1:250

Tav. 3i Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche
sito 9



Legenda

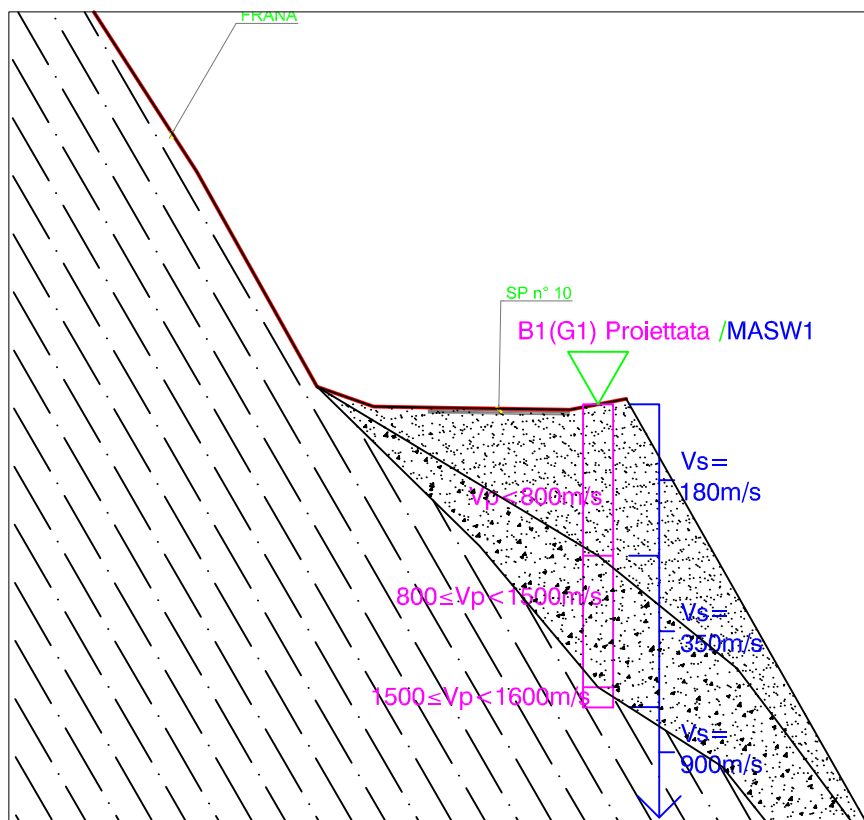
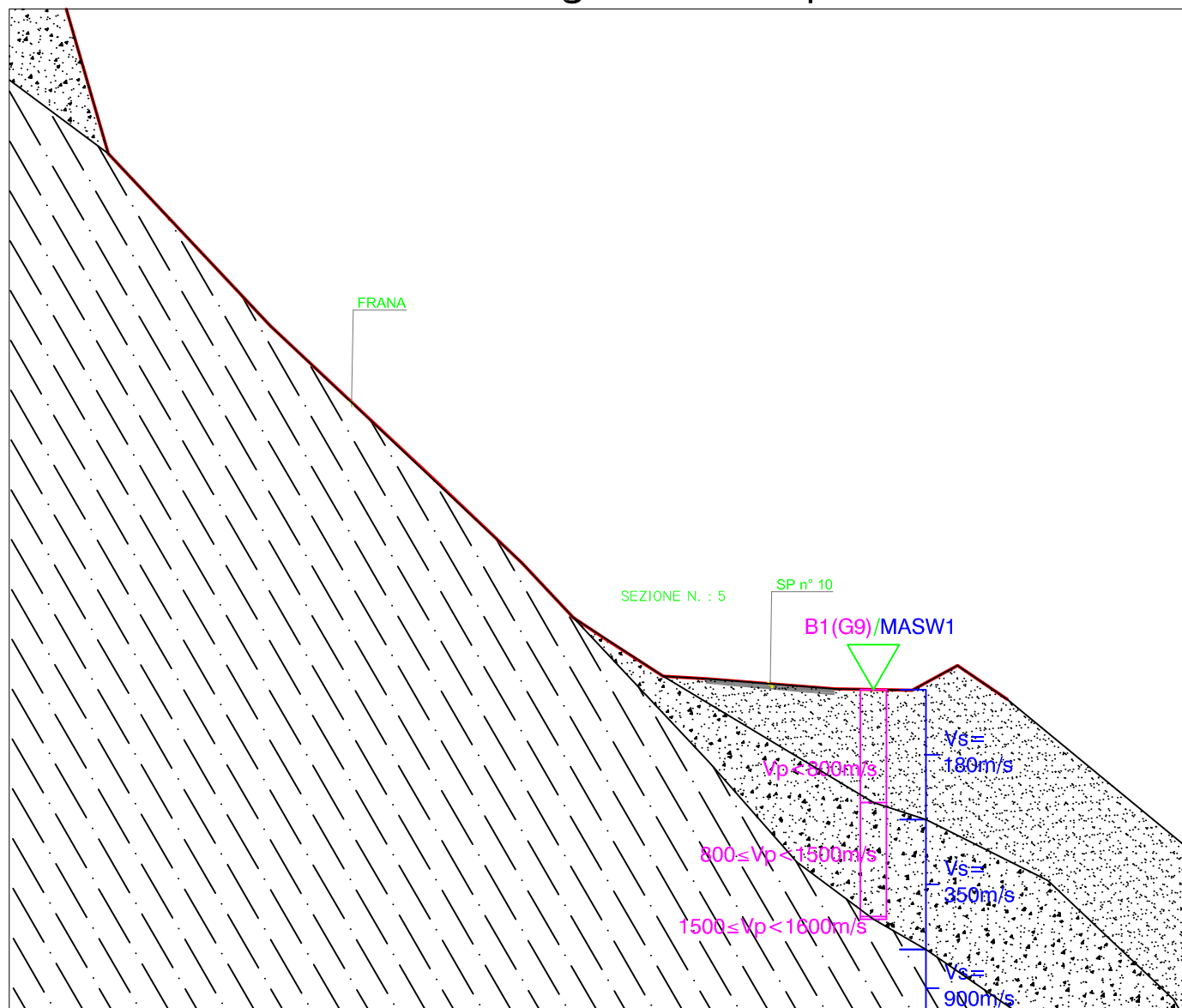
G12 **MASW1/B1** **G1**

stendimento geofonico per indagine
geofisica tipo sismica a rifrazione
in onde P (**B1**) e MASW (**MASW**)


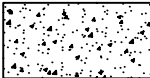

G1 geofono N°1
G12 geofono N°12

scala 1:500


Tav. 4i Sezioni stratigrafiche interpretative sito 9



Legenda

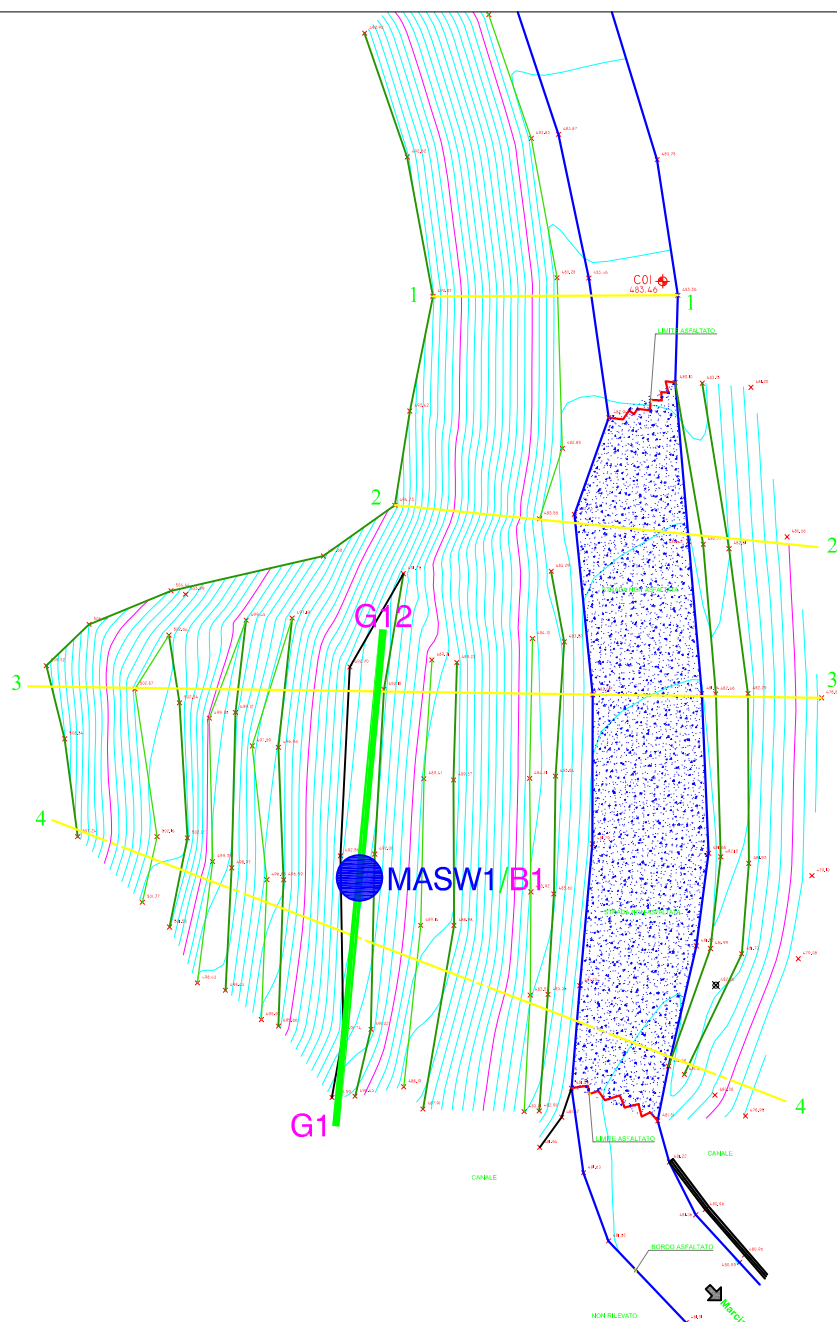
-  Livello A:
sabbia limosa
-  Livello B: substrato roccioso
molto alterato e fratturato
assimilabile a detrito grossolano
-  Livello C: substrato roccioso
mediamente alterato e
fratturato

B1(G9)/MASW1

 intersezione con stendimento geofonico
per indagine geofisica tipo sismica a
rifrazione all'altezza del geofono n°9
e MASW con indicate le velocità
di propagazione delle onde P,
in magenta e S, in blu

scala 1:250

Tav. 3I Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche
sito 10



Legenda

G12 **MASW1/B1** **G1**

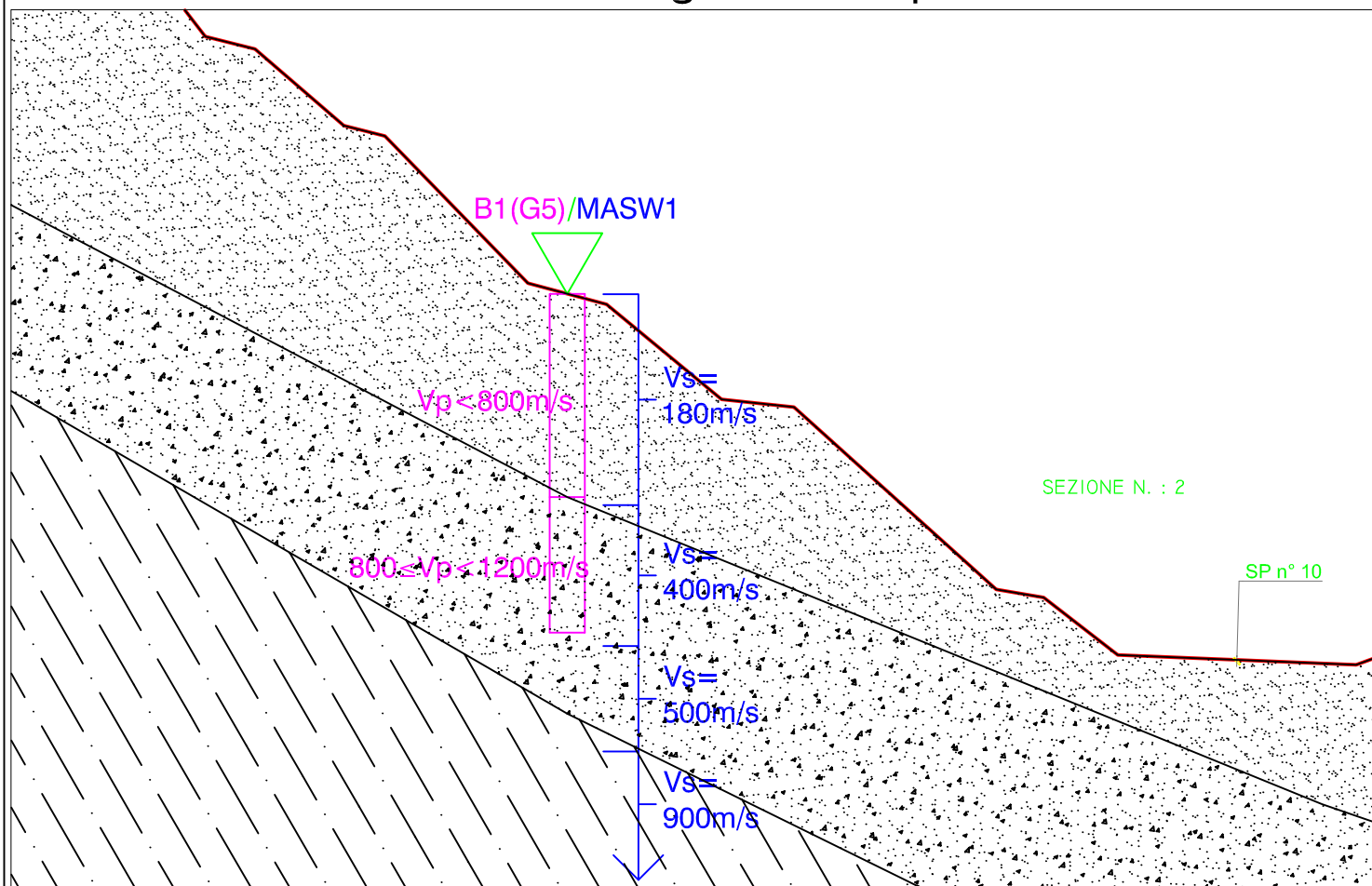
stendimento geofonico per indagine
geofisica tipo sismica a rifrazione
in onde P (**B1**) e MASW (**MASW**)

G1 geofono N°1

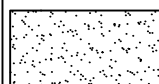
G12 geofono N°12

scala 1:500

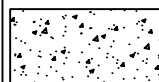
Tav. 4I1 Sezione stratigrafica interpretativa sito 10



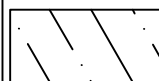
Legenda



Livello A:
sabbia limosa



Livello B: sabbia limosa con
clasti e trovanti litici



Livello C: substrato roccioso
variamente alterato e fratturato

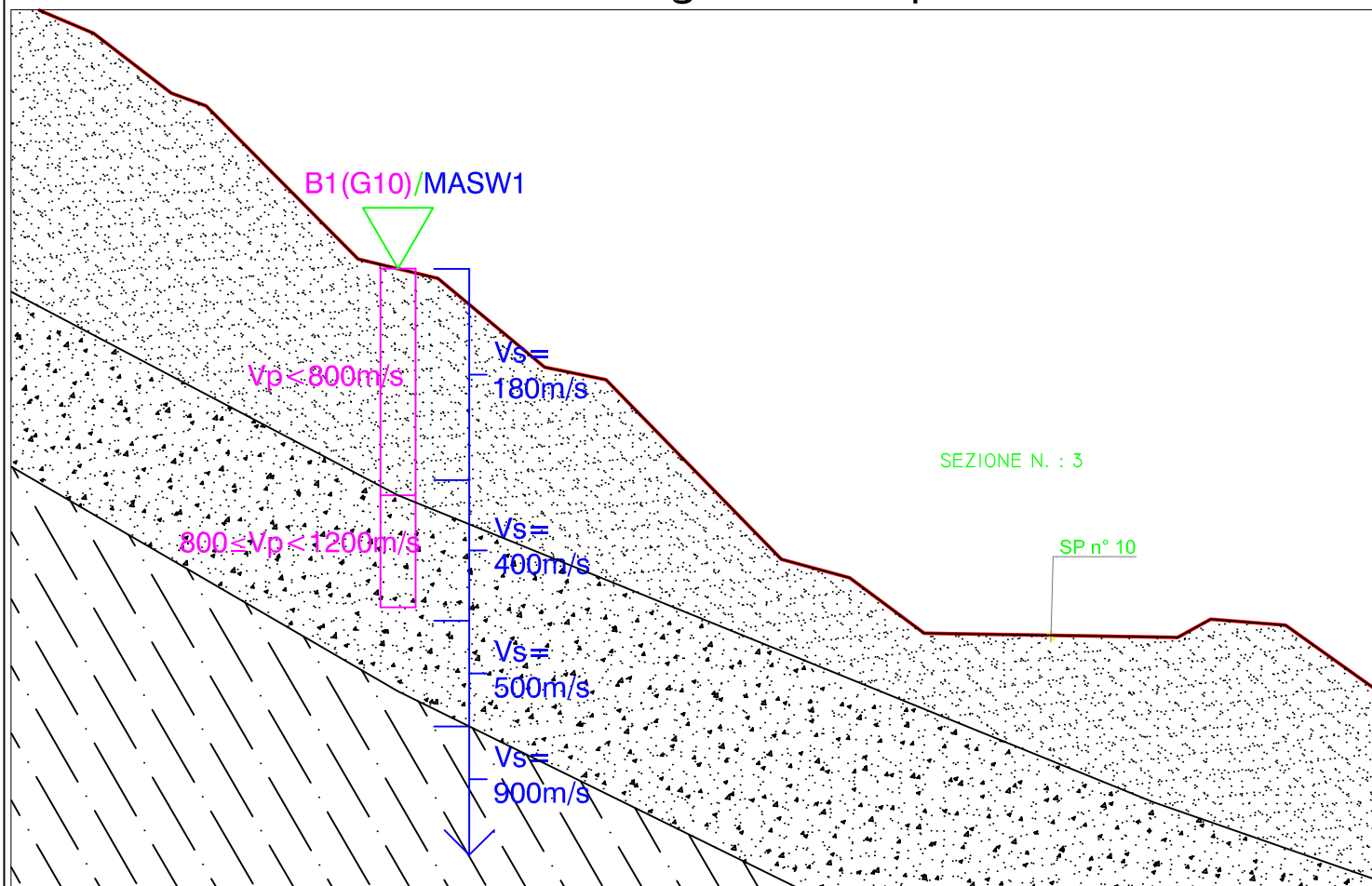
B1(G5)/MASW



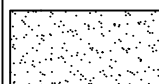
intersezione con stendimento geofonico
per indagine geofisica tipo sismica a rifrazione
all'altezza del geofono n°5 e MASW
con indicate le velocità di propagazione delle onde P,
in magenta e S, in blu

scala 1:200

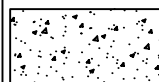
Tav. 4I2 Sezione stratigrafica interpretativa sito 10



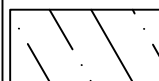
Legenda



Livello A:
sabbia limosa



Livello B: sabbia limosa con
clasti e trovanti litici



Livello C: substrato roccioso
variamente alterato e fratturato

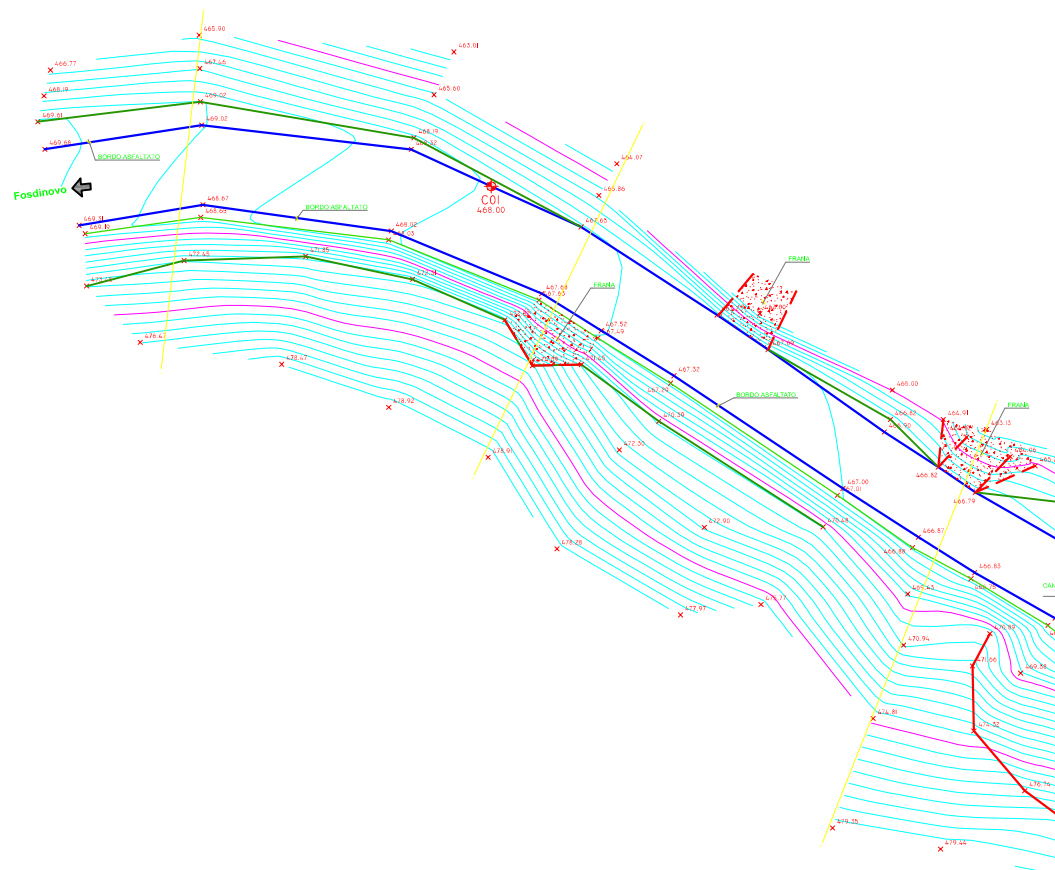
B1(G10)/MASW1



intersezione con stendimento geofonico
per indagine geofisica tipo sismica a rifrazione
all'altezza del geofono n°10 e MASW
con indicate le velocità di propagazione delle onde P,
in magenta e S, in blu

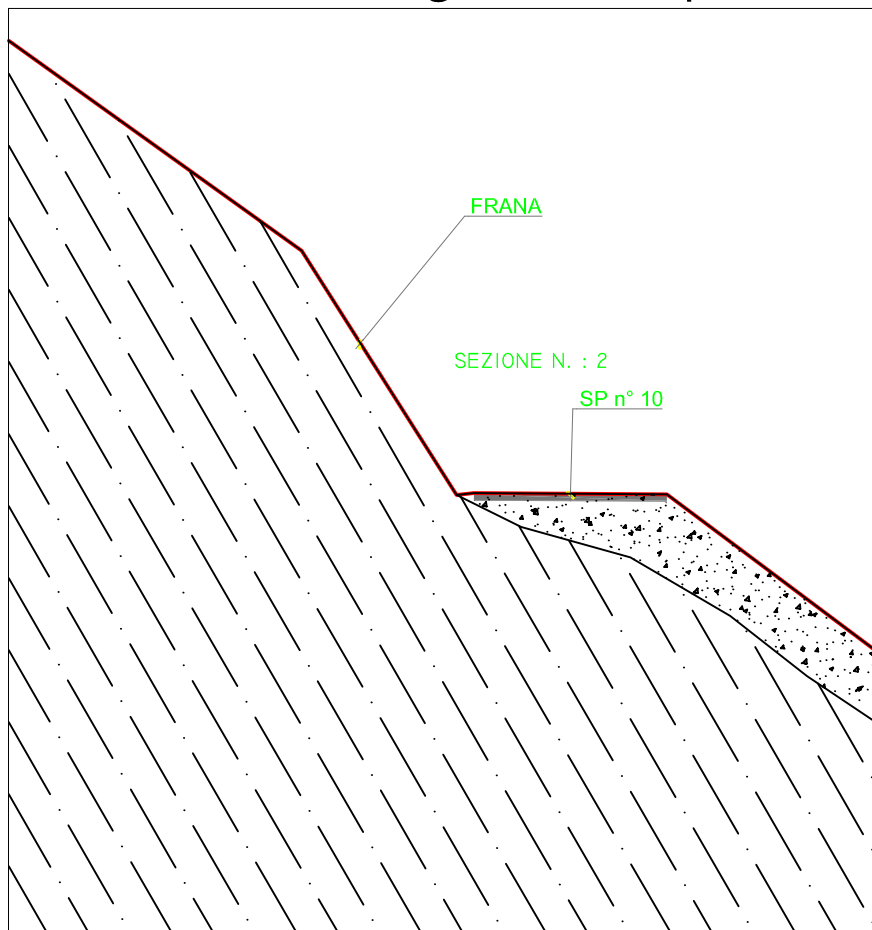
scala 1:200

Tav. 3m Planimetria generale sito 11

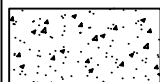


scala 1:500

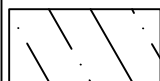
Tav. 4m Sezione stratigrafica interpretativa sito 11



Legenda



Livello A: sabbia limosa con
clasti e trovanti litici



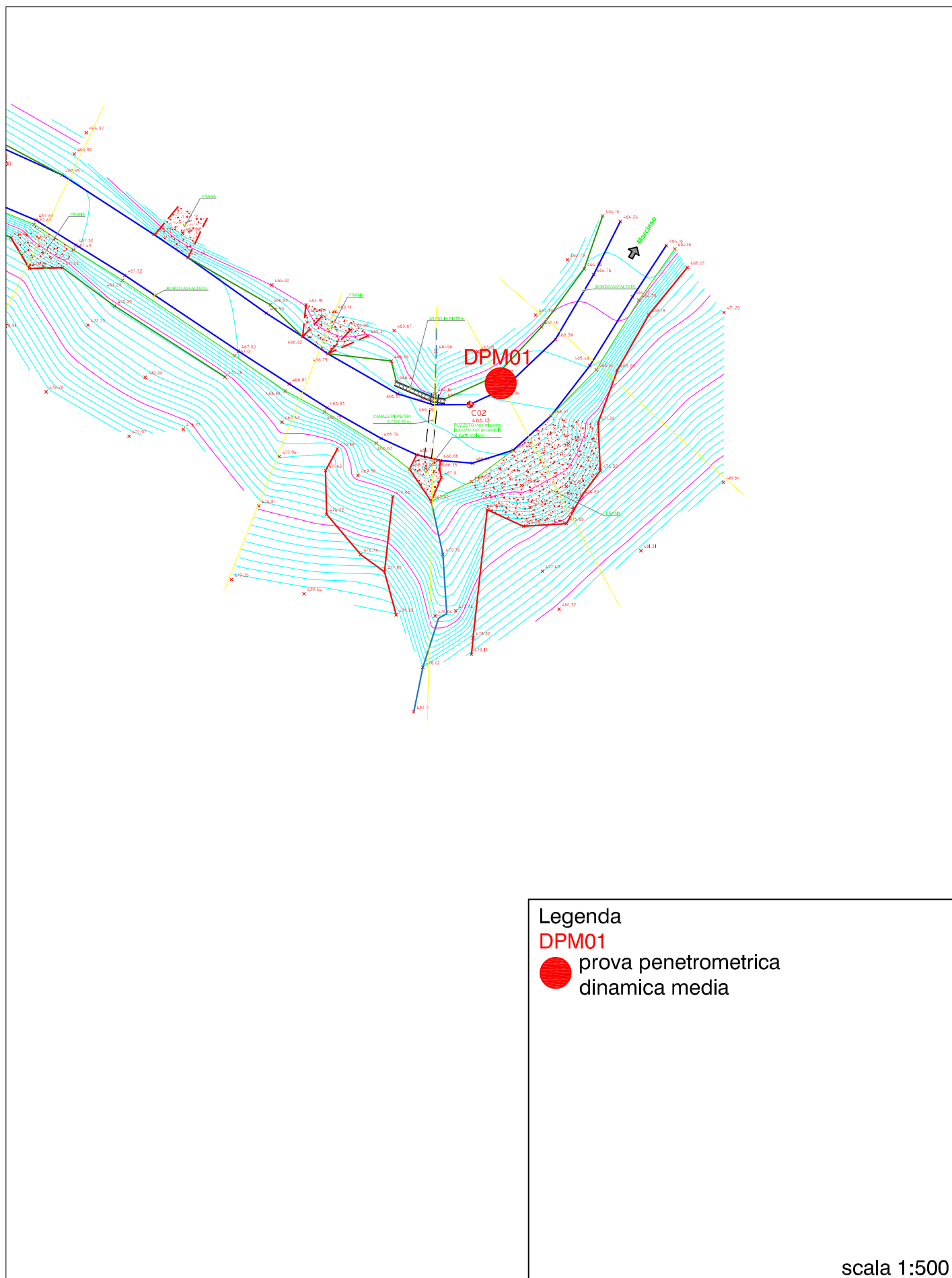
Livello B: substrato roccioso
variamente alterato e fratturato



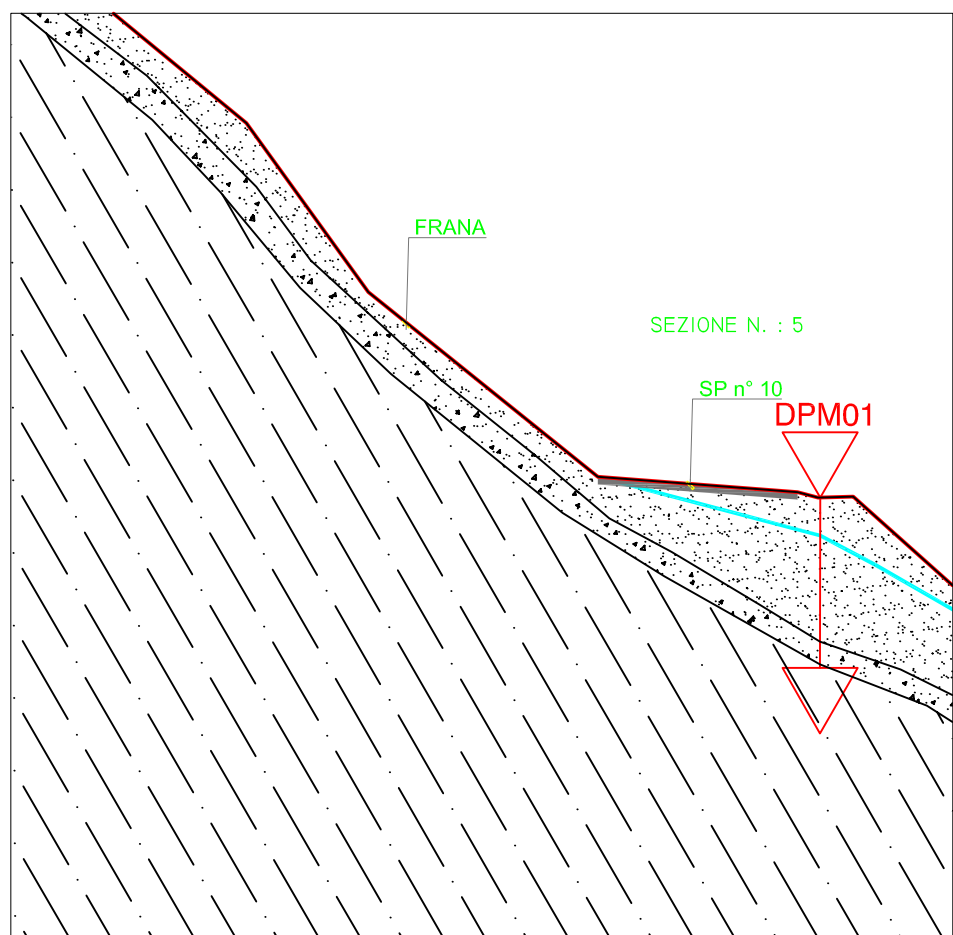
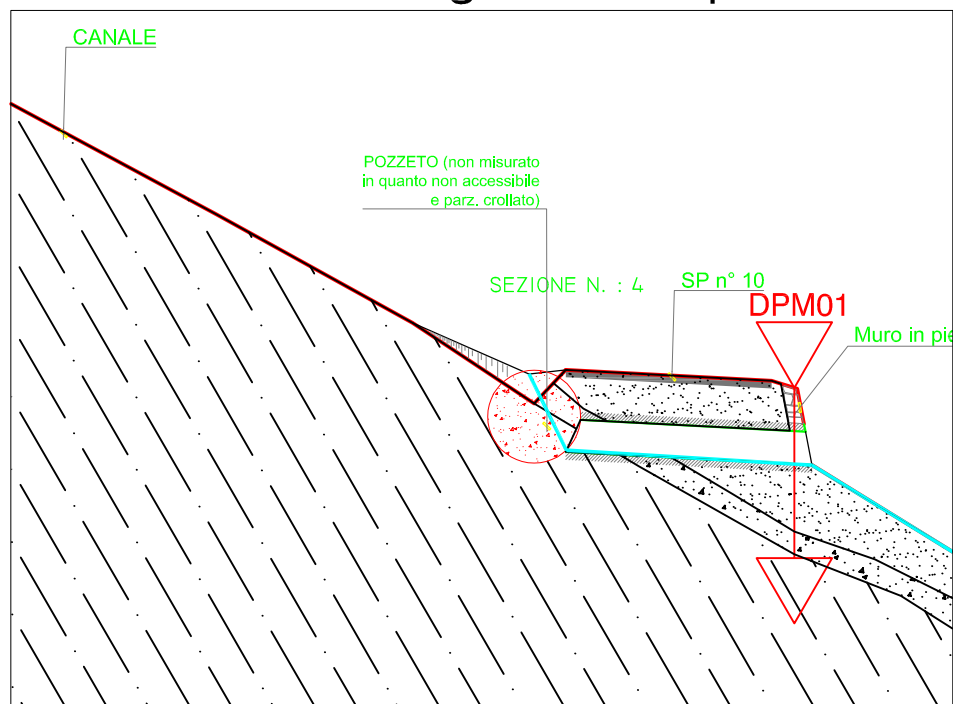
Livello falda come rilevato all'atto delle indagini

scala 1:200

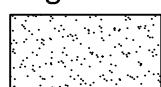
Tav. 3n Planimetria generale con ubicazione indagini geognostiche sito 12



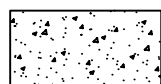
Tav. 4n Sezione stratigrafica interpretativa sito 12



Legenda



Livello A:
sabbia limosa



Livello B: sabbia limosa con
clasti e trovanti litici



Livello C: substrato roccioso
variamente alterato e fratturato

— Livello falda come rilevato all'atto delle indagini

DPM01



prova penetrometrica
dinamica media

Comune di Fosdinovo

PROVINCIA DI MASSA CARRARA

Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciaso

Parametri sismici

ELABORATO:

-

SCALA:

-

Committente:

Comune di Fosdinovo

A cura di:

Dr. Geol. Matteo Angiolini

maggio 2017

Dr. Geol. Matteo Angiolini

Via A. Corradi, 1

19020 BEVERINO (SP)

Tel. 0187.883282

Cell. 347.1280686

e-mail: matteoangiolini@yahoo.it

C.F.: NGL MTT 78 E 15 E 46 3T

P.iva: 01214470112

Parametri sismici Sito N°1

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,124233

longitudine: 10,059118

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18265	Lat: 44,1335	Lon: 10,0074	Distanza: 4253,938
Sito 2	ID: 18266	Lat: 44,1355	Lon: 10,0770	Distanza: 1902,007
Sito 3	ID: 18488	Lat: 44,0856	Lon: 10,0798	Distanza: 4603,589
Sito 4	ID: 18487	Lat: 44,0836	Lon: 10,0103	Distanza: 5970,617

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	E		
Categoria topografica:	T2		
Periodo di riferimento:	50anni		
Coefficiente cu:	1		
Operatività (SLO):			
Probabilità di superamento:	81	%	
Tr:		30	[anni]
ag:		0,049 g	
Fo:		2,458	
Tc*:		0,236	[s]
Danno (SLD):			
Probabilità di superamento:	63	%	
Tr:		50	[anni]
ag:		0,062 g	
Fo:		2,479	
Tc*:		0,253	[s]
Salvaguardia della vita (SLV):			
Probabilità di superamento:	10	%	
Tr:		475	[anni]
ag:		0,154 g	
Fo:		2,396	
Tc*:		0,290	[s]
Prevenzione dal collasso (SLC):			
Probabilità di superamento:	5	%	
Tr:		975	[anni]
ag:		0,197 g	
Fo:		2,375	
Tc*:		0,296	[s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss:	1,600
Cc:	2,050
St:	1,200
Kh:	0,019
Kv:	0,009
Amax:	0,926
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,600
Cc:	1,990
St:	1,200
Kh:	0,024
Kv:	0,012
Amax:	1,160
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,600
Cc:	1,890
St:	1,200
Kh:	0,071
Kv:	0,035
Amax:	2,891
Beta:	0,240

SLC:

Ss:	1,490
Cc:	1,870
St:	1,200
Kh:	0,084
Kv:	0,042
Amax:	3,447
Beta:	0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - www.geostru.com

Coordinate WGS84

latitudine: 44.123273

longitudine: 10.058102

Parametri sismici sito n°2

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,12571

longitudine: 10,060705

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18265	Lat: 44,1335	Lon: 10,0074	Distanza: 4341,105
Sito 2	ID: 18266	Lat: 44,1355	Lon: 10,0770	Distanza: 1698,849
Sito 3	ID: 18488	Lat: 44,0856	Lon: 10,0798	Distanza: 4714,732
Sito 4	ID: 18487	Lat: 44,0836	Lon: 10,0103	Distanza: 6177,727

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T2
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente cu:	1
Operatività (SLO):	
Probabilità di superamento:	81 %
Tr:	30 [anni]
ag:	0,049 g
Fo:	2,458
Tc*:	0,236 [s]
Danno (SLD):	
Probabilità di superamento:	63 %
Tr:	50 [anni]
ag:	0,062 g
Fo:	2,477
Tc*:	0,253 [s]
Salvaguardia della vita (SLV):	
Probabilità di superamento:	10 %
Tr:	475 [anni]
ag:	0,154 g
Fo:	2,395
Tc*:	0,289 [s]
Prevenzione dal collasso (SLC):	
Probabilità di superamento:	5 %
Tr:	975 [anni]
ag:	0,197 g
Fo:	2,375
Tc*:	0,296 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:	
Ss:	1,600
Cc:	2,050
St:	1,200
Kh:	0,019
Kv:	0,009
Amax:	0,929
Beta:	0,200
SLD:	
Ss:	1,600
Cc:	1,990
St:	1,200
Kh:	0,024
Kv:	0,012
Amax:	1,164
Beta:	0,200
SLV:	
Ss:	1,590
Cc:	1,890
St:	1,200
Kh:	0,071
Kv:	0,035
Amax:	2,886
Beta:	0,240
SLC:	
Ss:	1,480
Cc:	1,870
St:	1,200
Kh:	0,084
Kv:	0,042
Amax:	3,439
Beta:	0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - www.geostru.com

Coordinate WGS84

latitudine: 44.124751

longitudine: 10.059689

Parametri sismici Sito n°3

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,131051

longitudine: 10,061144

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18265	Lat: 44,1335	Lon: 10,0074	Distanza: 4297,132
Sito 2	ID: 18266	Lat: 44,1355	Lon: 10,0770	Distanza: 1360,310
Sito 3	ID: 18488	Lat: 44,0856	Lon: 10,0798	Distanza: 5270,140
Sito 4	ID: 18487	Lat: 44,0836	Lon: 10,0103	Distanza: 6660,773

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: E

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%	
Tr:		30	[anni]

ag:	0,050 g
-----	---------

Fo:	2,456
-----	-------

Tc*:	0,236	[s]
------	-------	-----

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%	
Tr:		50	[anni]

ag:	0,062 g
-----	---------

Fo:	2,474
-----	-------

Tc*:	0,254	[s]
------	-------	-----

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%	
Tr:		475	[anni]

ag:	0,156 g
-----	---------

Fo:	2,394
-----	-------

Tc*:	0,289	[s]
------	-------	-----

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%	
Tr:		975	[anni]

ag:	0,199 g
-----	---------

Fo:	2,375
-----	-------

Tc*:	0,296	[s]
------	-------	-----

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss:	1,600
-----	-------

Cc:	2,050
-----	-------

St:	1,100
-----	-------

Kh:	0,017
-----	-------

Kv:	0,009
-----	-------

Amax:	0,857
-------	-------

Beta:	0,200
-------	-------

SLD:

Ss:	1,600
-----	-------

Cc:	1,990
-----	-------

St:	1,100
-----	-------

Kh:	0,022
-----	-------

Kv:	0,011
-----	-------

Amax:	1,075
-------	-------

Beta:	0,200
-------	-------

SLV:

Ss:	1,590
-----	-------

Cc:	1,890
-----	-------

St:	1,100
-----	-------

Kh:	0,065
-----	-------

Kv:	0,033
-----	-------

Amax:	2,670
-------	-------

Beta:	0,240
-------	-------

SLC:

Ss:	1,480
-----	-------

Cc:	1,870
-----	-------

St:	1,100
-----	-------

Kh:	0,078
-----	-------

Kv:	0,039
-----	-------

Amax:	3,182
-------	-------

Beta:	0,240
-------	-------

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - www.geostru.com

Coordinate WGS84

latitudine: 44.130092

longitudine: 10.060128

Parametri sismici Sito n°4

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,13047

longitudine: 10,065855

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 18265 Lat: 44,1335Lon: 10,0074 Distanza: 4676,657

Sito 2 ID: 18266 Lat: 44,1355Lon: 10,0770 Distanza: 1053,067

Sito 3 ID: 18488 Lat: 44,0856Lon: 10,0798 Distanza: 5113,294

Sito 4 ID: 18487 Lat: 44,0836Lon: 10,0103 Distanza: 6847,135

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: E

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %

Tr: 30 [anni]

ag: 0,050 g

Fo: 2,455

Tc*: 0,236 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %

Tr: 50 [anni]

ag: 0,063 g

Fo: 2,472

Tc*: 0,254 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %

Tr: 475 [anni]

ag: 0,157 g

Fo: 2,393

Tc*: 0,289 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr: 975 [anni]

ag: 0,201 g

Fo: 2,374

Tc*: 0,295 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,600

Cc: 2,050

St: 1,100

Kh: 0,018

Kv: 0,009

Amax: 0,862

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,600

Cc: 1,990

St: 1,100

Kh: 0,022

Kv: 0,011

Amax: 1,083

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,590

Cc: 1,890

St: 1,100

Kh: 0,066

Kv: 0,033

Amax: 2,693

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,480

Cc: 1,870

St: 1,100

Kh: 0,092

Kv: 0,046

Amax: 3,208

Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - www.geostru.com

Coordinate WGS84

latitudine: 44.129511

longitudine: 10.064839

Parametri sismici Sito n°5

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,129761

longitudine: 10,067807

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18265	Lat: 44,1335	Lon: 10,0074	Distanza: 4838,232
Sito 2	ID: 18266	Lat: 44,1355	Lon: 10,0770	Distanza: 975,298
Sito 3	ID: 18488	Lat: 44,0856	Lon: 10,0798	Distanza: 5004,212
Sito 4	ID: 18487	Lat: 44,0836	Lon: 10,0103	Distanza: 6890,151

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	E		
Categoria topografica:	T2		
Periodo di riferimento:	50anni		
Coefficiente cu:	1		
Operatività (SLO):			
Probabilità di superamento:	81	%	
Tr:		30	[anni]
ag:		0,050	g
Fo:		2,455	
Tc*:		0,236	[s]
Danno (SLD):			
Probabilità di superamento:	63	%	
Tr:		50	[anni]
ag:		0,063	g
Fo:		2,471	
Tc*:		0,254	[s]
Salvaguardia della vita (SLV):			
Probabilità di superamento:	10	%	
Tr:		475	[anni]
ag:		0,157	g
Fo:		2,393	
Tc*:		0,289	[s]
Prevenzione dal collasso (SLC):			
Probabilità di superamento:	5	%	
Tr:		975	[anni]
ag:		0,201	g
Fo:		2,374	
Tc*:		0,295	[s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss:	1,600
Cc:	2,050
St:	1,100
Kh:	0,018
Kv:	0,009
Amax:	0,863
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,600
Cc:	1,990
St:	1,100
Kh:	0,022
Kv:	0,011
Amax:	1,085
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,590
Cc:	1,890
St:	1,100
Kh:	0,066
Kv:	0,033
Amax:	2,699
Beta:	0,240

SLC:

Ss:	1,470
Cc:	1,870
St:	1,100
Kh:	0,091
Kv:	0,046
Amax:	3,194
Beta:	0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - www.geostru.com

Coordinate WGS84

latitudine: 44.128802

longitudine: 10.066791

Parametri sismici Sito n°6

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,130216

longitudine: 10,069503

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18265	Lat: 44,1335	Lon: 10,0074	Distanza: 4969,095
Sito 2	ID: 18266	Lat: 44,1355	Lon: 10,0770	Distanza: 841,695
Sito 3	ID: 18488	Lat: 44,0856	Lon: 10,0798	Distanza: 5029,959
Sito 4	ID: 18487	Lat: 44,0836	Lon: 10,0103	Distanza: 7018,422

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	E		
Categoria topografica:	T2		
Periodo di riferimento:	50anni		
Coefficiente cu:	1		
Operatività (SLO):			
Probabilità di superamento:	81	%	
Tr:	30	[anni]	
ag:	0,050	g	
Fo:	2,454		
Tc*:	0,236	[s]	
Danno (SLD):			
Probabilità di superamento:	63	%	
Tr:	50	[anni]	
ag:	0,063	g	
Fo:	2,469		
Tc*:	0,254	[s]	
Salvaguardia della vita (SLV):			
Probabilità di superamento:	10	%	
Tr:	475	[anni]	
ag:	0,158	g	
Fo:	2,392		
Tc*:	0,289	[s]	
Prevenzione dal collasso (SLC):			
Probabilità di superamento:	5	%	
Tr:	975	[anni]	
ag:	0,202	g	
Fo:	2,374		
Tc*:	0,295	[s]	

Coefficienti Sismici

SLO:		
Ss:	1,600	
Cc:	2,050	
St:	1,100	
Kh:	0,018	
Kv:	0,009	
Amax:	0,866	
Beta:	0,200	
SLD:		
Ss:	1,600	
Cc:	1,990	
St:	1,100	
Kh:	0,022	
Kv:	0,011	
Amax:	1,089	
Beta:	0,200	
SLV:		
Ss:	1,580	
Cc:	1,890	
St:	1,100	
Kh:	0,066	
Kv:	0,033	
Amax:	2,694	
Beta:	0,240	
SLC:		
Ss:	1,470	
Cc:	1,870	
St:	1,100	
Kh:	0,092	
Kv:	0,046	
Amax:	3,208	
Beta:	0,280	

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - www.geostru.com

Coordinate WGS84

latitudine: 44.129257

longitudine: 10.068487

Parametri sismici Sito N°7

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,132057

longitudine: 10,069246

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18265	Lat: 44,1335	Lon: 10,0074	Distanza: 4937,634
Sito 2	ID: 18266	Lat: 44,1355	Lon: 10,0770	Distanza: 730,021
Sito 3	ID: 18488	Lat: 44,0856	Lon: 10,0798	Distanza: 5235,282
Sito 4	ID: 18487	Lat: 44,0836	Lon: 10,0103	Distanza: 7157,509

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T2
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente cu:	1
Operatività (SLO):	
Probabilità di superamento:	81 %
Tr:	30 [anni]
ag:	0,050 g
Fo:	2,453
Tc*:	0,237 [s]
Danno (SLD):	
Probabilità di superamento:	63 %
Tr:	50 [anni]
ag:	0,063 g
Fo:	2,468
Tc*:	0,254 [s]
Salvaguardia della vita (SLV):	
Probabilità di superamento:	10 %
Tr:	475 [anni]
ag:	0,159 g
Fo:	2,391
Tc*:	0,288 [s]
Prevenzione dal collasso (SLC):	
Probabilità di superamento:	5 %
Tr:	975 [anni]
ag:	0,203 g
Fo:	2,374
Tc*:	0,295 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:	
Ss:	1,200
Cc:	1,470
St:	1,200
Kh:	0,014
Kv:	0,007
Amax:	0,711
Beta:	0,200
SLD:	
Ss:	1,200
Cc:	1,450
St:	1,200
Kh:	0,018
Kv:	0,009
Amax:	0,894
Beta:	0,200
SLV:	
Ss:	1,200
Cc:	1,410
St:	1,200
Kh:	0,055
Kv:	0,027
Amax:	2,242
Beta:	0,240
SLC:	
Ss:	1,200
Cc:	1,400
St:	1,200
Kh:	0,082
Kv:	0,041
Amax:	2,869
Beta:	0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - www.geostru.com

Coordinate WGS84

latitudine: 44.131098

longitudine: 10.068230

Parametri sismici Sito n°8

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,136831

longitudine: 10,076058

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18265	Lat: 44,1335	Lon: 10,0074	Distanza: 5490,850
Sito 2	ID: 18266	Lat: 44,1355	Lon: 10,0770	Distanza: 162,045
Sito 3	ID: 18044	Lat: 44,1855	Lon: 10,0742	Distanza: 5413,797
Sito 4	ID: 18043	Lat: 44,1835	Lon: 10,0046	Distanza: 7708,271

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	E
Categoria topografica:	T2
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente cu:	1
Operatività (SLO):	
Probabilità di superamento:	81 %
Tr:	30 [anni]
ag:	0,052 g
Fo:	2,448
Tc*:	0,237 [s]
Danno (SLD):	
Probabilità di superamento:	63 %
Tr:	50 [anni]
ag:	0,065 g
Fo:	2,456
Tc*:	0,254 [s]
Salvaguardia della vita (SLV):	
Probabilità di superamento:	10 %
Tr:	475 [anni]
ag:	0,164 g
Fo:	2,388
Tc*:	0,287 [s]
Prevenzione dal collasso (SLC):	
Probabilità di superamento:	5 %
Tr:	975 [anni]
ag:	0,210 g
Fo:	2,375
Tc*:	0,293 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:	
Ss:	1,600
Cc:	2,040
St:	1,200
Kh:	0,020
Kv:	0,010
Amax:	0,972
Beta:	0,200
SLD:	
Ss:	1,600
Cc:	1,990
St:	1,200
Kh:	0,025
Kv:	0,013
Amax:	1,229
Beta:	0,200
SLV:	
Ss:	1,570
Cc:	1,890
St:	1,200
Kh:	0,074
Kv:	0,037
Amax:	3,039
Beta:	0,240
SLC:	
Ss:	1,450
Cc:	1,880
St:	1,200
Kh:	0,103
Kv:	0,051
Amax:	3,591
Beta:	0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - www.geostru.com

Coordinate WGS84

latitudine: 44.135872

longitudine: 10.075042

Parametri sismici Sito n°9

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,137947

longitudine: 10,074738

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18265	Lat: 44,1335	Lon: 10,0074	Distanza: 5395,630
Sito 2	ID: 18266	Lat: 44,1355	Lon: 10,0770	Distanza: 322,830
Sito 3	ID: 18044	Lat: 44,1855	Lon: 10,0742	Distanza: 5287,833
Sito 4	ID: 18043	Lat: 44,1835	Lon: 10,0046	Distanza: 7546,865

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	E		
Categoria topografica:	T2		
Periodo di riferimento:	50anni		
Coefficiente cu:	1		
Operatività (SLO):			
Probabilità di superamento:	81	%	
Tr:	30	[anni]	
ag:	0,052	g	
Fo:	2,448		
Tc*:	0,237	[s]	
Danno (SLD):			
Probabilità di superamento:	63	%	
Tr:	50	[anni]	
ag:	0,065	g	
Fo:	2,456		
Tc*:	0,254	[s]	
Salvaguardia della vita (SLV):			
Probabilità di superamento:	10	%	
Tr:	475	[anni]	
ag:	0,165	g	
Fo:	2,389		
Tc*:	0,287	[s]	
Prevenzione dal collasso (SLC):			
Probabilità di superamento:	5	%	
Tr:	975	[anni]	
ag:	0,211	g	
Fo:	2,377		
Tc*:	0,293	[s]	

Coefficienti Sismici

SLO:		
Ss:	1,600	
Cc:	2,040	
St:	1,200	
Kh:	0,020	
Kv:	0,010	
Amax:	0,973	
Beta:	0,200	
SLD:		
Ss:	1,600	
Cc:	1,990	
St:	1,200	
Kh:	0,025	
Kv:	0,013	
Amax:	1,230	
Beta:	0,200	
SLV:		
Ss:	1,570	
Cc:	1,890	
St:	1,200	
Kh:	0,074	
Kv:	0,037	
Amax:	3,042	
Beta:	0,240	
SLC:		
Ss:	1,450	
Cc:	1,880	
St:	1,200	
Kh:	0,103	
Kv:	0,051	
Amax:	3,595	
Beta:	0,280	

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - www.geostru.com

Coordinate WGS84

latitudine: 44.136988

longitudine: 10.073722

Parametri sismici Sito n°10

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,140033

longitudine: 10,073558

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18265	Lat: 44,1335	Lon: 10,0074	Distanza: 5328,362
Sito 2	ID: 18266	Lat: 44,1355	Lon: 10,0770	Distanza: 570,127
Sito 3	ID: 18044	Lat: 44,1855	Lon: 10,0742	Distanza: 5055,951
Sito 4	ID: 18043	Lat: 44,1835	Lon: 10,0046	Distanza: 7322,186

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: E

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]

ag: 0,052 g

Fo: 2,447

Tc*: 0,237 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]

ag: 0,065 g

Fo: 2,455

Tc*: 0,254 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]

ag: 0,165 g

Fo: 2,390

Tc*: 0,287 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]

ag: 0,211 g

Fo: 2,380

Tc*: 0,293 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,600

Cc: 2,040

St: 1,200

Kh: 0,020

Kv: 0,010

Amax: 0,974

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,600

Cc: 1,990

St: 1,200

Kh: 0,025

Kv: 0,013

Amax: 1,232

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,570

Cc: 1,890

St: 1,200

Kh: 0,075

Kv: 0,037

Amax: 3,047

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,450

Cc: 1,880

St: 1,200

Kh: 0,103

Kv: 0,051

Amax: 3,602

Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - www.geostru.com

Coordinate WGS84

latitudine: 44.139074

longitudine: 10.072542

Parametri sismici Sito N°11

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,14342

longitudine: 10,073686

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18265	Lat: 44,1335	Lon: 10,0074	Distanza: 5402,404
Sito 2	ID: 18266	Lat: 44,1355	Lon: 10,0770	Distanza: 915,254
Sito 3	ID: 18044	Lat: 44,1855	Lon: 10,0742	Distanza: 4679,255
Sito 4	ID: 18043	Lat: 44,1835	Lon: 10,0046	Distanza: 7087,174

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: E

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]

ag: 0,052 g

Fo: 2,447

Tc*: 0,237 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]

ag: 0,066 g

Fo: 2,454

Tc*: 0,254 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]

ag: 0,165 g

Fo: 2,391

Tc*: 0,287 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]

ag: 0,212 g

Fo: 2,383

Tc*: 0,293 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,600

Cc: 2,040

St: 1,200

Kh: 0,020

Kv: 0,010

Amax: 0,976

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,600

Cc: 1,990

St: 1,200

Kh: 0,025

Kv: 0,013

Amax: 1,235

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,570

Cc: 1,900

St: 1,200

Kh: 0,075

Kv: 0,037

Amax: 3,055

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,450

Cc: 1,880

St: 1,200

Kh: 0,103

Kv: 0,052

Amax: 3,612

Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - www.geostru.com

Coordinate WGS84

latitudine: 44.142461

longitudine: 10.072670

Parametri sismici Sito N°12

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 44,144289

longitudine: 10,074383

Classe: 2

Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 18265	Lat: 44,1335	Lon: 10,0074	Distanza: 5477,159
Sito 2	ID: 18266	Lat: 44,1355	Lon: 10,0770	Distanza: 995,006
Sito 3	ID: 18044	Lat: 44,1855	Lon: 10,0742	Distanza: 4582,480
Sito 4	ID: 18043	Lat: 44,1835	Lon: 10,0046	Distanza: 7070,508

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: E

Categoria topografica: T2

Periodo di riferimento: 50anni

Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]

ag: 0,052 g

Fo: 2,447

Tc*: 0,237 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]

ag: 0,066 g

Fo: 2,453

Tc*: 0,254 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]

ag: 0,165 g

Fo: 2,391

Tc*: 0,287 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]

ag: 0,212 g

Fo: 2,383

Tc*: 0,293 [s]

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,600

Cc: 2,040

St: 1,100

Kh: 0,018

Kv: 0,009

Amax: 0,895

Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,600

Cc: 1,990

St: 1,100

Kh: 0,023

Kv: 0,012

Amax: 1,133

Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,560

Cc: 1,900

St: 1,100

Kh: 0,068

Kv: 0,034

Amax: 2,785

Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,440

Cc: 1,880

St: 1,100

Kh: 0,094

Kv: 0,047

Amax: 3,291

Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru software - www.geostru.com

Coordinate WGS84

latitudine: 44.143330

longitudine: 10.073367

Comune di Fosdinovo

PROVINCIA DI MASSA CARRARA

Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciaso

Markland Test

ELABORATO:

-

SCALA:

-

Committente:

Comune di Fosdinovo

A cura di:

Dr. Geol. Matteo Angiolini

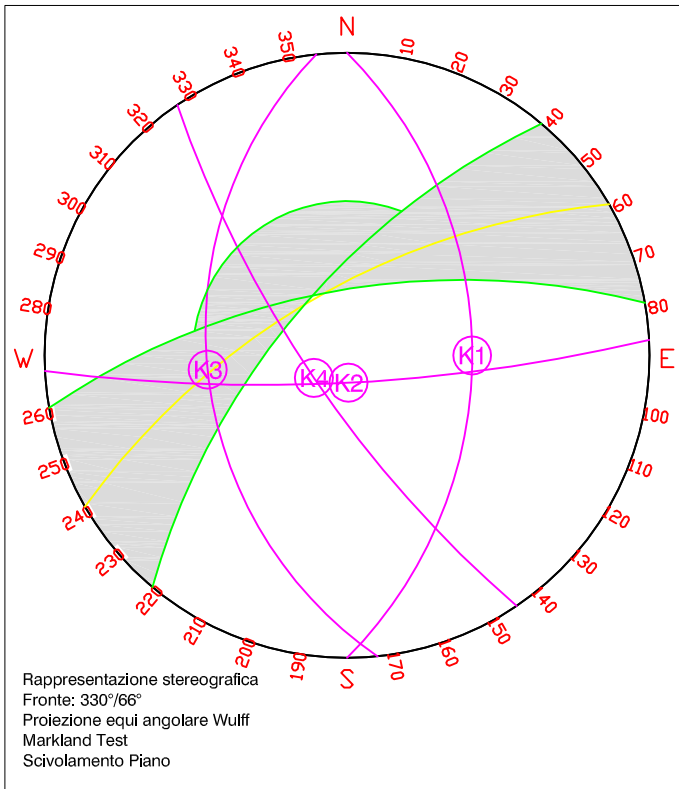
maggio 2017

Dr. Geol. Matteo Angiolini

Via A. Corradi, 1
19020 BEVERINO (SP)
Tel. 0187.883282
Cell. 347.1280686
e-mail: matteoangiolini@yahoo.it
C.F.: NGL MTT 78 E 15 E 46 3T
P.iva: 01214470112





Markland Test

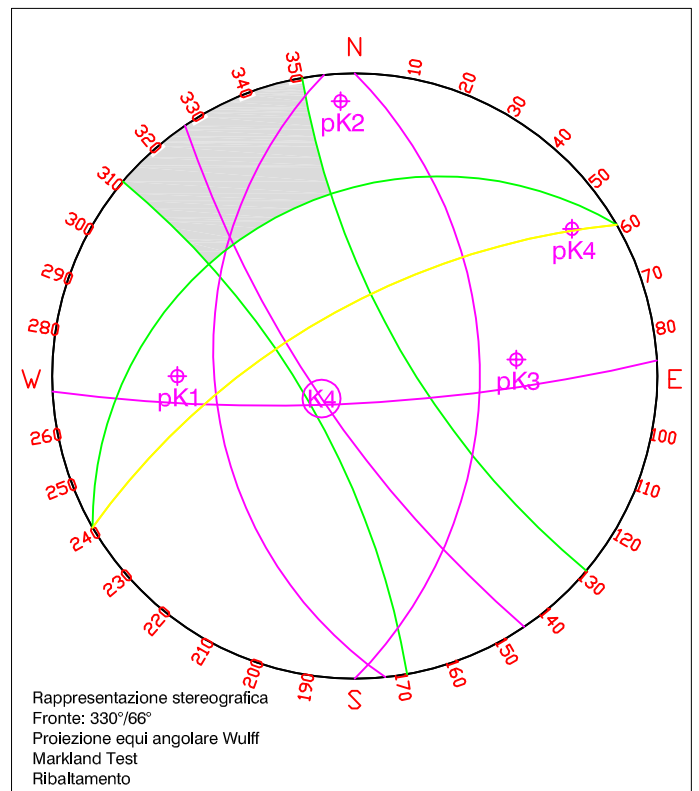
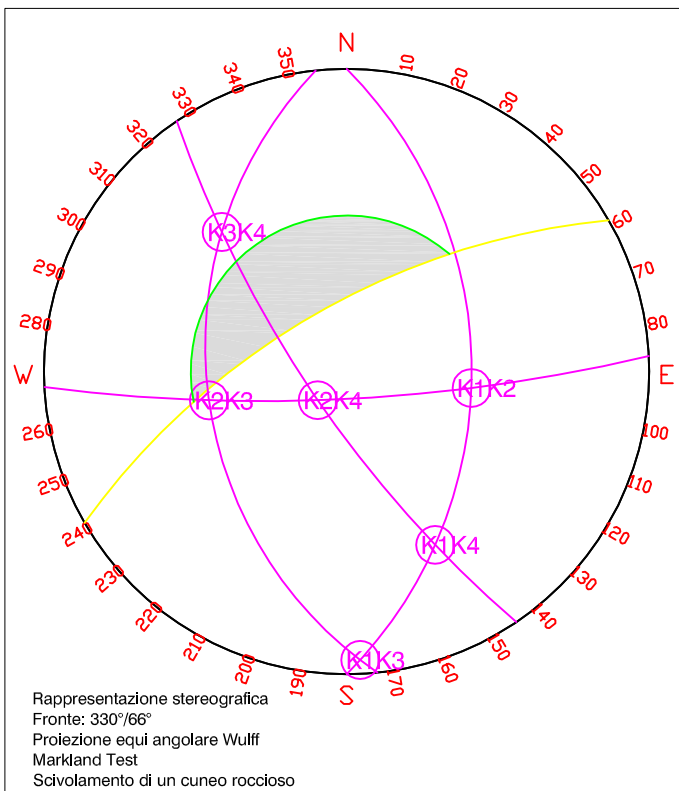
fronte intervento n°1 (330°/66°)



famiglia di discontinuità
relativa alla stratificazione K1
immersione=90°
inclinazione=47°
famiglia di discontinuità K2
immersione=189°
inclinazione=80°
famiglia di discontinuità K3
immersione=264°
inclinazione=41°
famiglia di discontinuità K4
immersione=237°
inclinazione=75°
fronte
immersione=330°
inclinazione=66°
cono d'attrito=37°

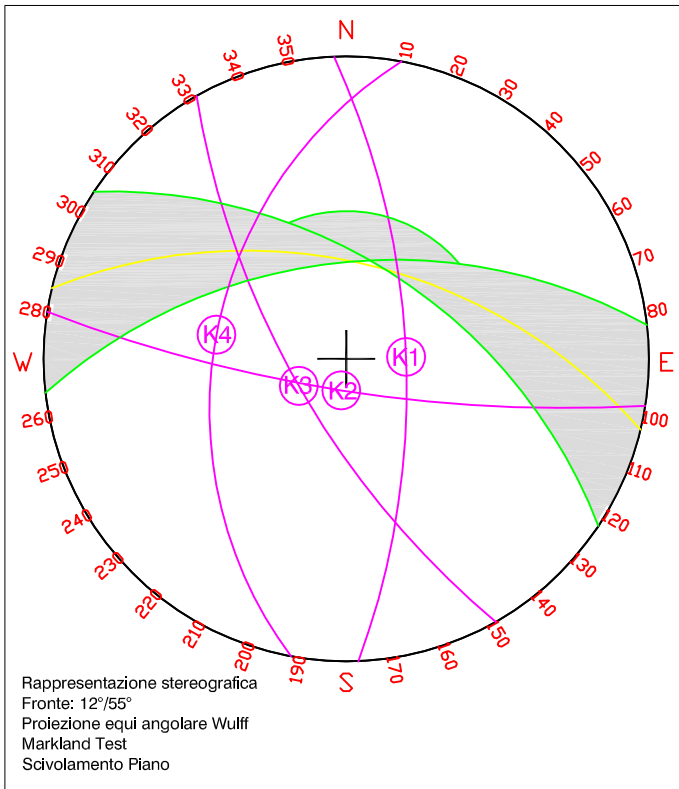
 area instabile

-  K1 polo famiglia di discontinuità K1
-  K2 polo famiglia di discontinuità K2
-  K3 polo famiglia di discontinuità K3
-  K4 polo famiglia di discontinuità K4



Markland Test

fronte intervento 3 ($12^\circ/55^\circ$)



famiglia di discontinuità
relativa alla stratificazione K1
immersione= 87°
inclinazione= 68°
famiglia di discontinuità K2
immersione= 183°
inclinazione= 79°
famiglia di discontinuità K3
immersione= 241°
inclinazione= 70°
famiglia di discontinuità K4
immersione= 281°
inclinazione= 43°
fronte
immersione= 12°
inclinazione= 55°
cono d'attrito= 38°

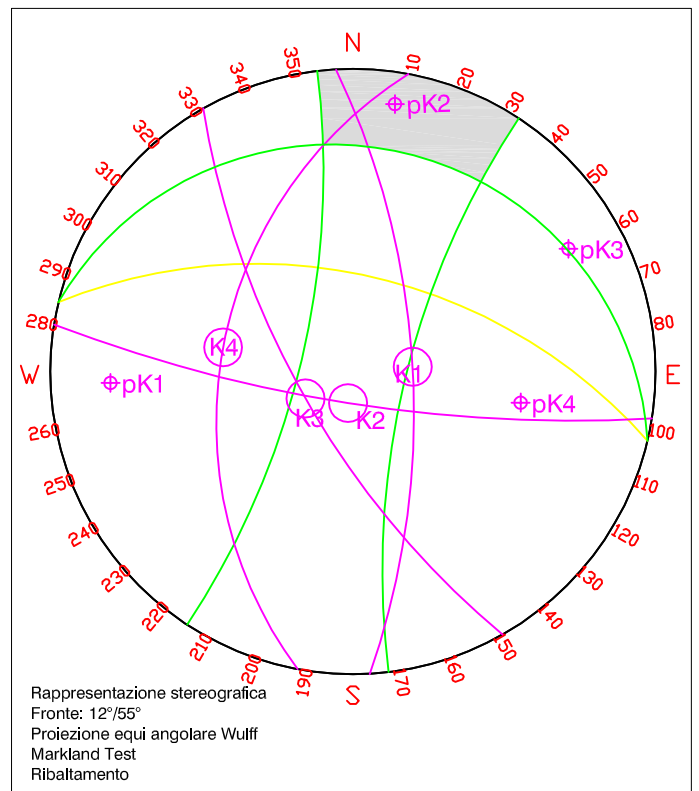
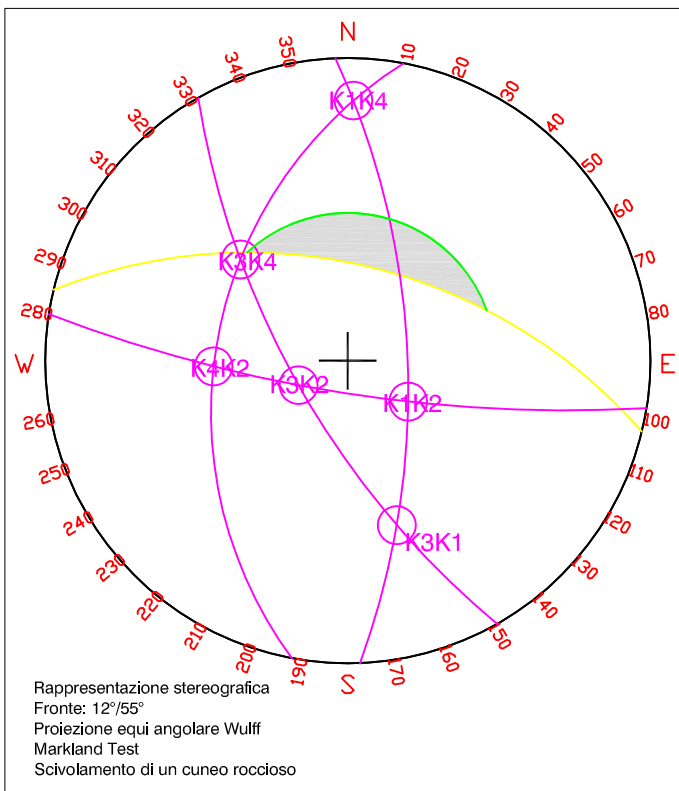
area instabile

\oplus_{K1} polo famiglia di discontinuità K1

\oplus_{K2} polo famiglia di discontinuità K2

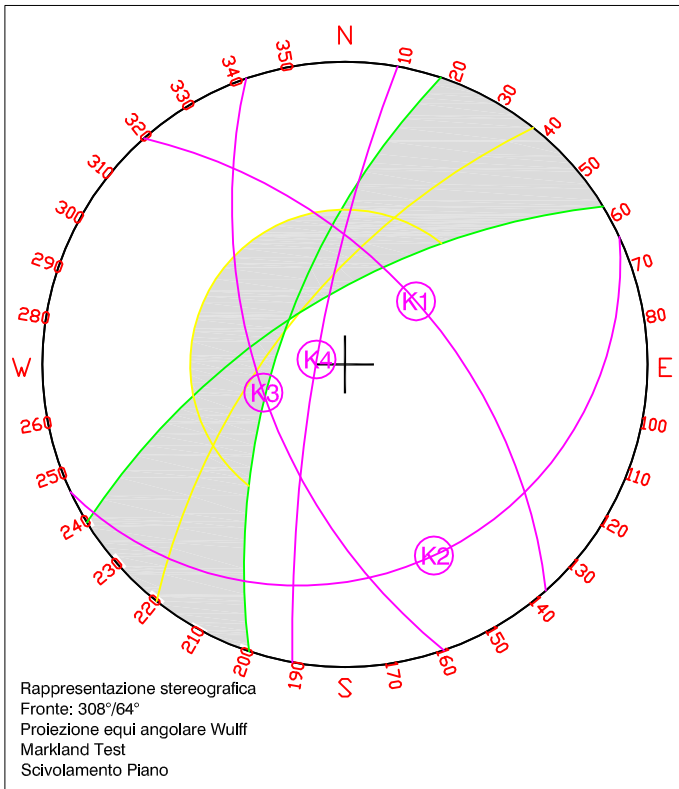
\oplus_{K3} polo famiglia di discontinuità K3

\oplus_{K4} polo famiglia di discontinuità K4



Markland Test

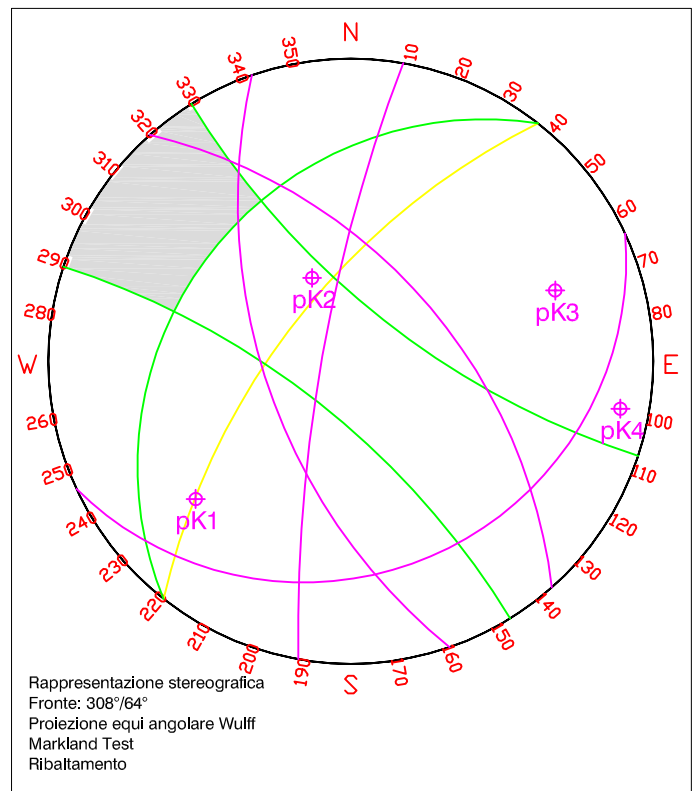
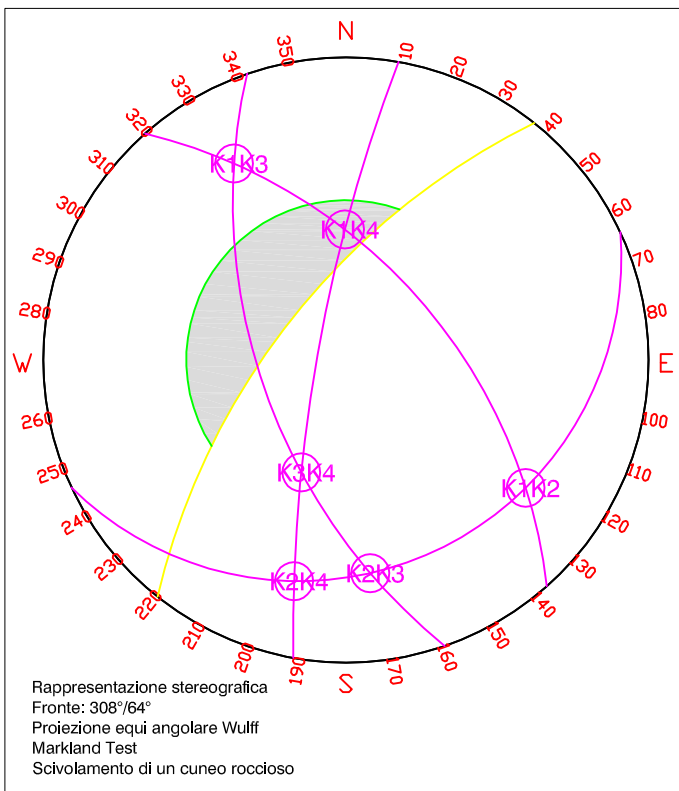
fronte 4 (308°/64°)



famiglia di discontinuità
relativa alla stratificazione K1
immersione=49°
inclinazione=54°
famiglia di discontinuità K2
immersione=155°
inclinazione=21°
famiglia di discontinuità K3
immersione=251°
inclinazione=58°
famiglia di discontinuità K4
immersione=307°
inclinazione=80°
fronte
immersione=308°
inclinazione=64°
cono d'attrito=35°

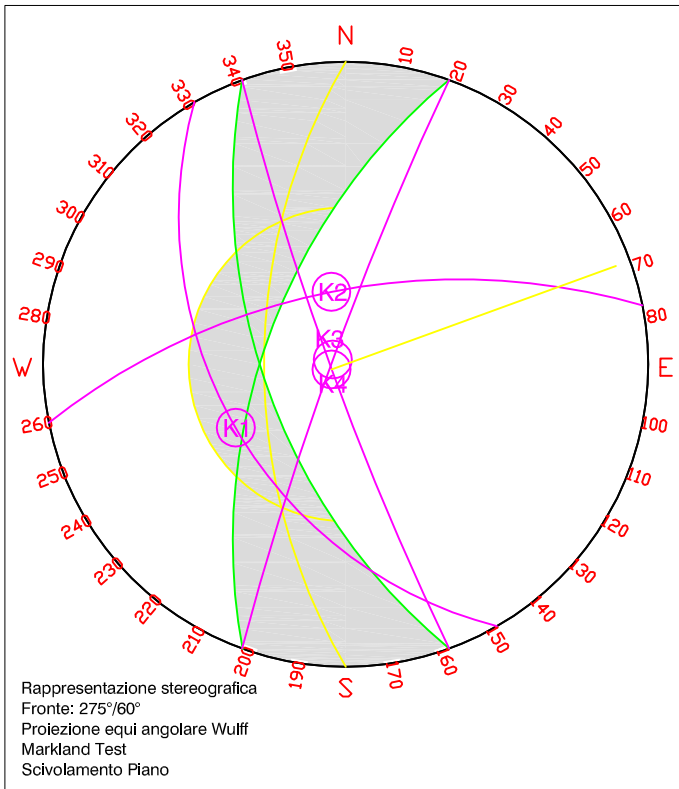
area instabile

- ⊕_{K1} polo famiglia di discontinuità K1
- ⊕_{K2} polo famiglia di discontinuità K2
- ⊕_{K3} polo famiglia di discontinuità K3
- ⊕_{K4} polo famiglia di discontinuità K4




Markland Test


fronte 6 (275°/60°)





famiglia di discontinuità
relativa alla stratificazione K1
immersione=240°
inclinazione=45°
famiglia di discontinuità K2
immersione=350°
inclinazione=63°
famiglia di discontinuità K3
immersione=290°
inclinazione=87°
famiglia di discontinuità K4
immersione=250°
inclinazione=87°
fronte
immersione=275°
inclinazione=60°
cono d'attrito=36°

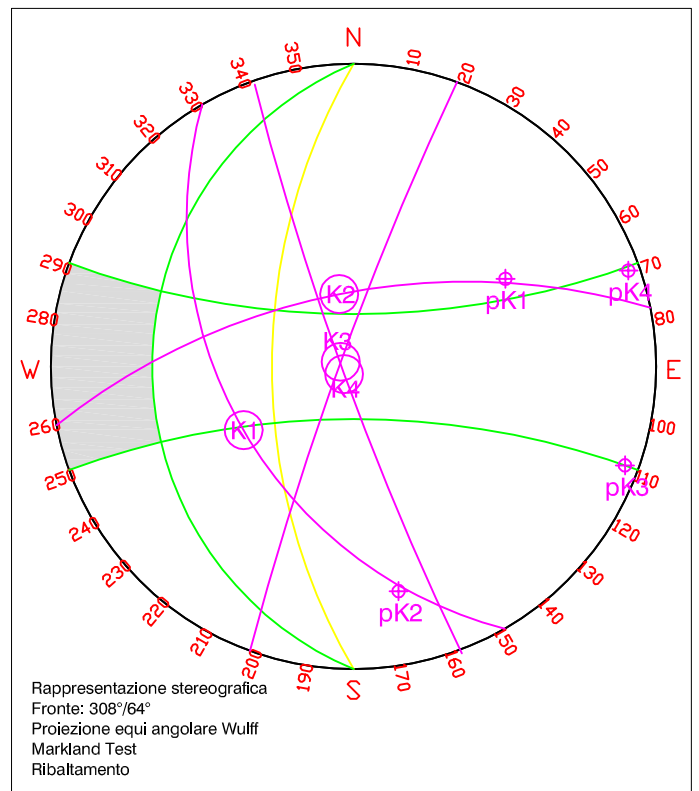
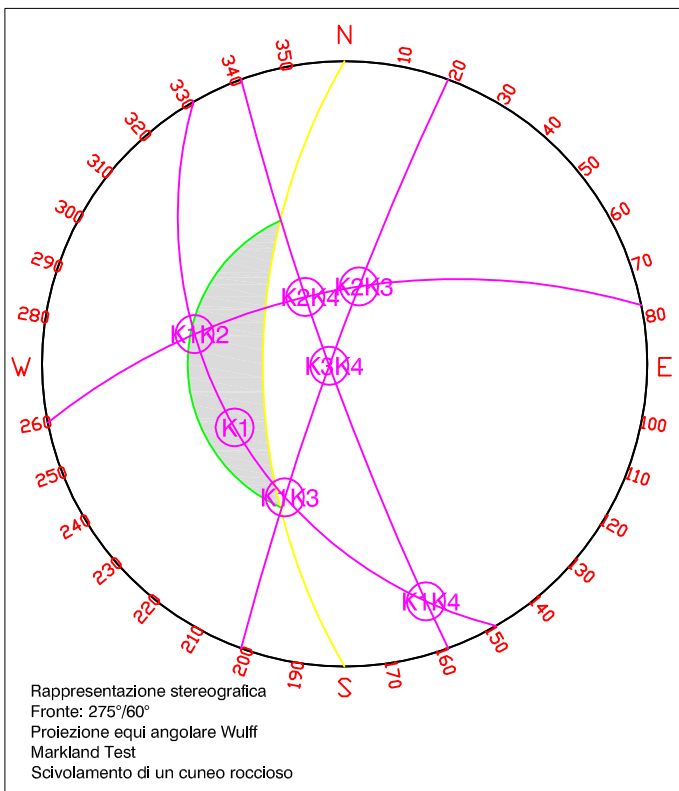
 area instabile

 K1 polo famiglia di discontinuità K1

 K2 polo famiglia di discontinuità K2

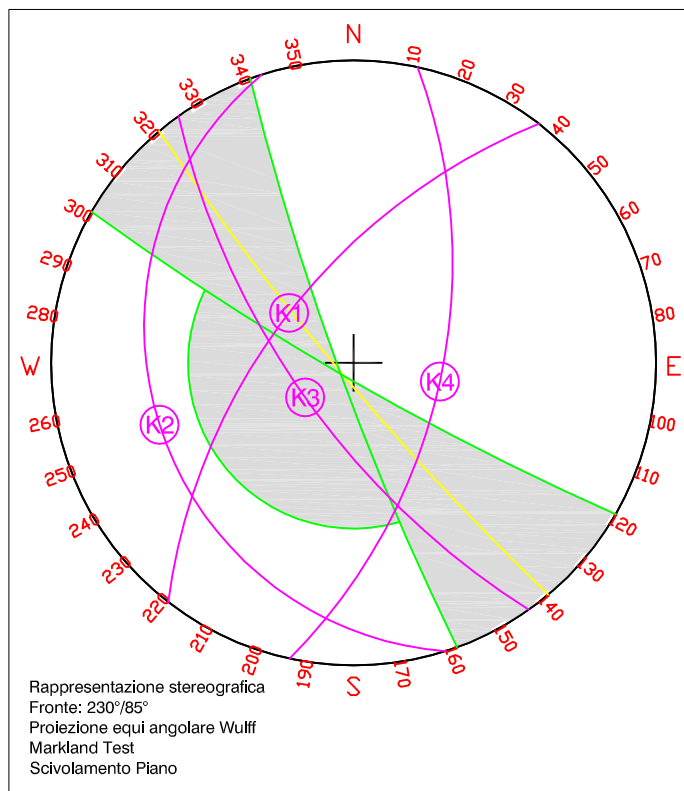
 K3 polo famiglia di discontinuità K3

 K4 polo famiglia di discontinuità K4





Markland Test


fronte 7a (230°/85°)





famiglia di discontinuità
relativa alla stratificazione K1
immersione=308°
inclinazione=60°
famiglia di discontinuità K2
immersione=253°
inclinazione=21°
famiglia di discontinuità K3
immersione=235°
inclinazione=68°
famiglia di discontinuità K4
immersione=102°
inclinazione=58°
fronte
immersione=230°
inclinazione=85°
cono d'attrito=32°

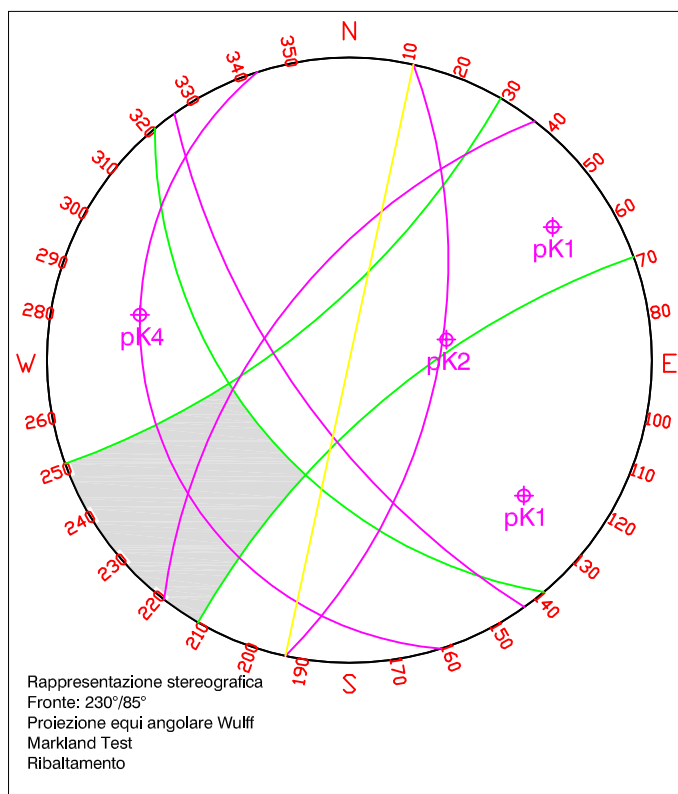
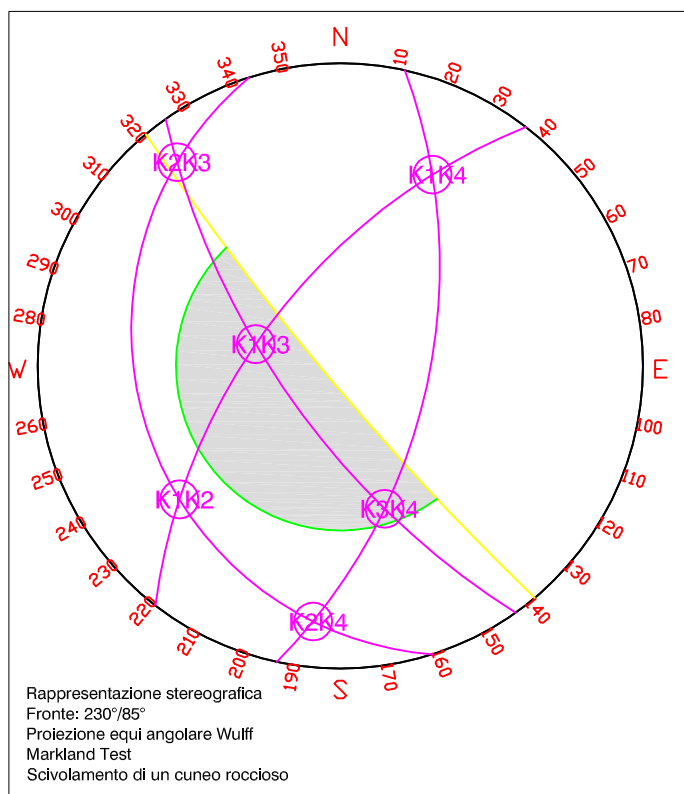
 area instabile

 polo famiglia di discontinuità K1

 polo famiglia di discontinuità K2

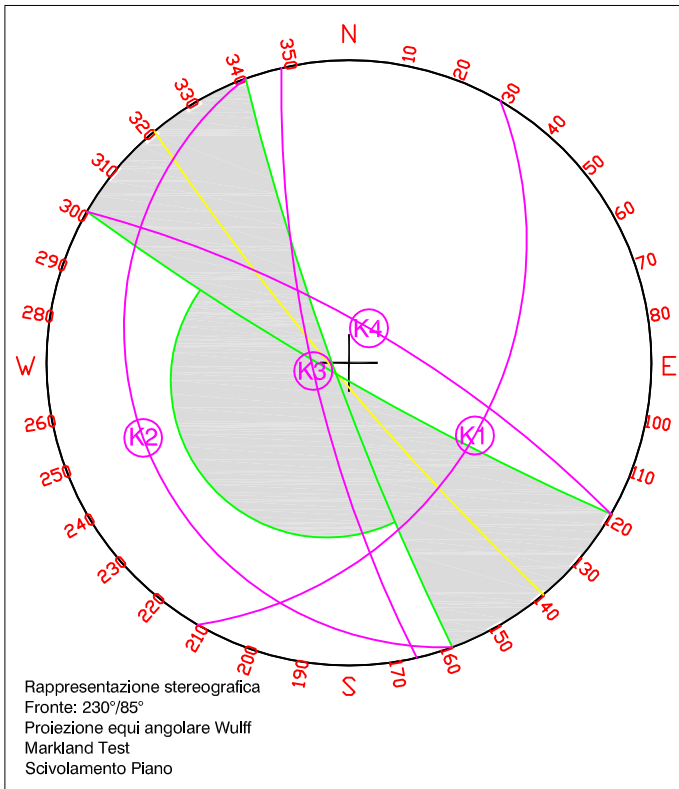
 polo famiglia di discontinuità K3

 polo famiglia di discontinuità K4







Markland Test

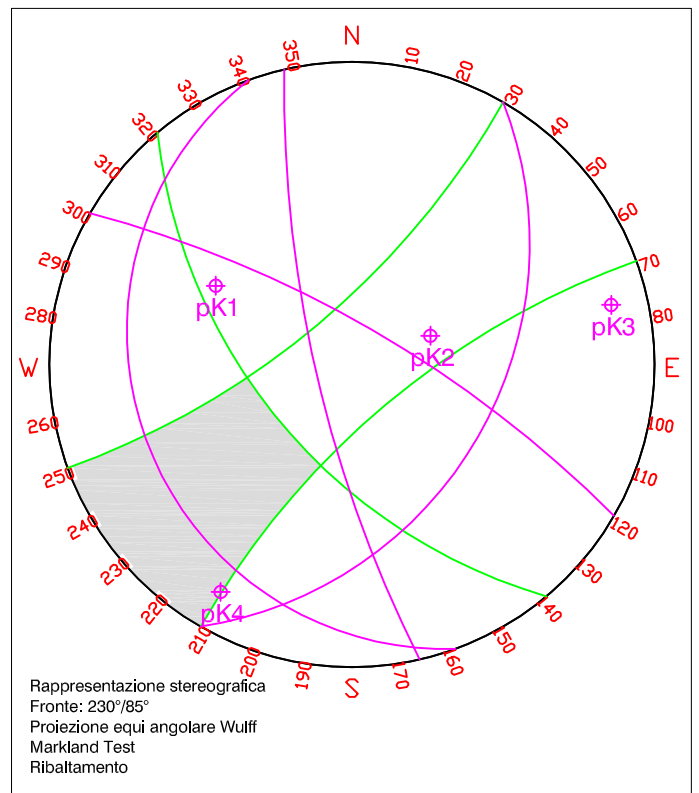
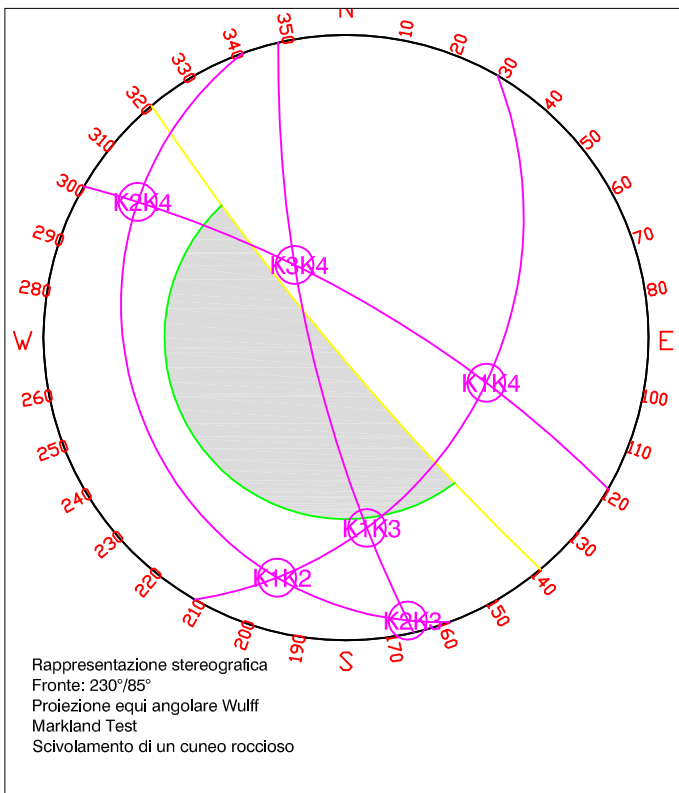
fronte 7b (230°/85°)



famiglia di discontinuità
relativa alla stratificazione K1
immersione=120°
inclinazione=39°
famiglia di discontinuità K2
immersione=250°
inclinazione=19°
famiglia di discontinuità K3
immersione=256°
inclinazione=76°
famiglia di discontinuità K4
immersione=30°
inclinazione=73°
fronte
immersione=230°
inclinazione=85°
cono d'attrito=29°

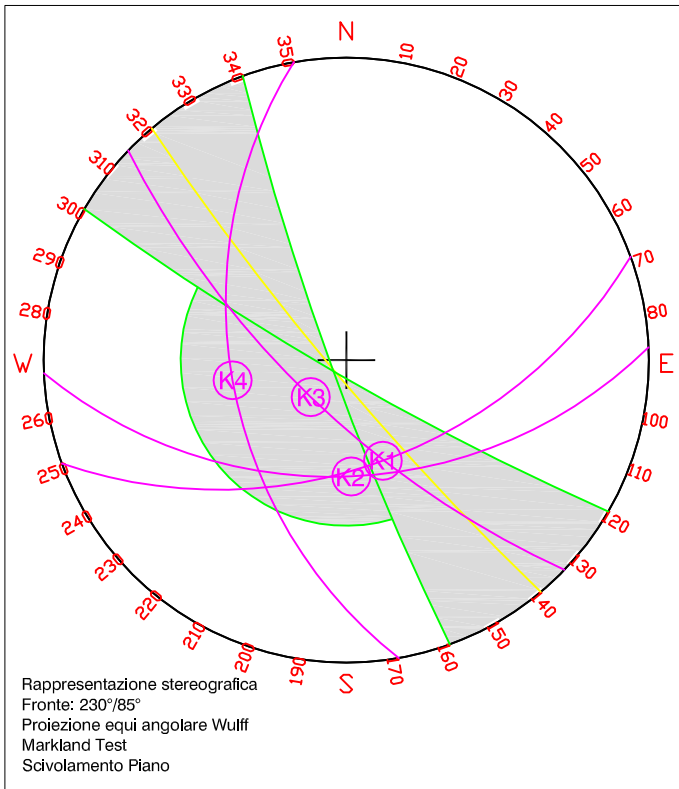
 area instabile

-  polo famiglia di discontinuità K1
-  polo famiglia di discontinuità K2
-  polo famiglia di discontinuità K3
-  polo famiglia di discontinuità K4




Markland Test


fronte 7c (230°/85°)





famiglia di discontinuità
relativa alla stratificazione K1
immersione=160°
inclinazione=51°
famiglia di discontinuità K2
immersione=178°
inclinazione=49°
famiglia di discontinuità K3
immersione=224°
inclinazione=71°
famiglia di discontinuità K4
immersione=260°
inclinazione=49°
fronte
immersione=230°
inclinazione=85°
cono d'attrito=34°

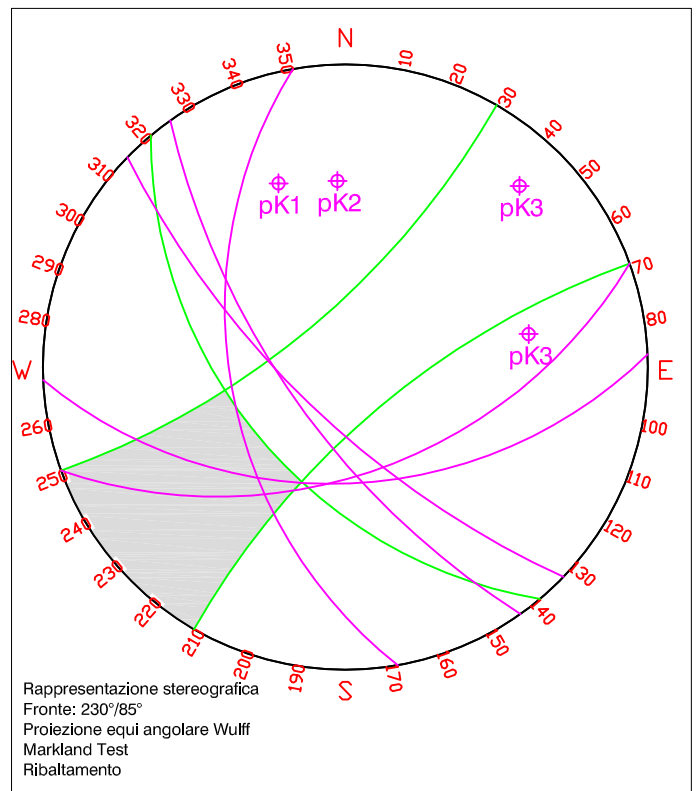
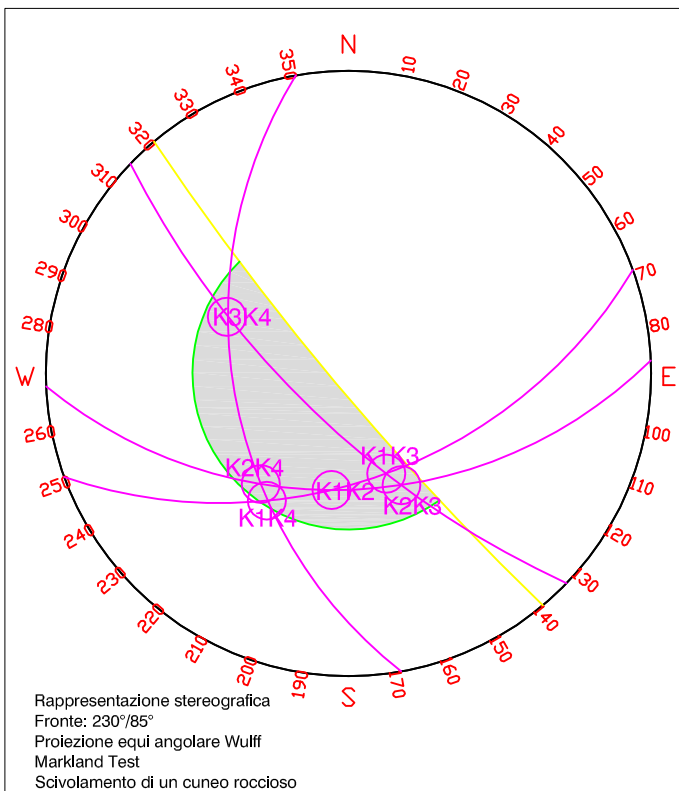
 area instabile

 polo famiglia di discontinuità K1

 polo famiglia di discontinuità K2

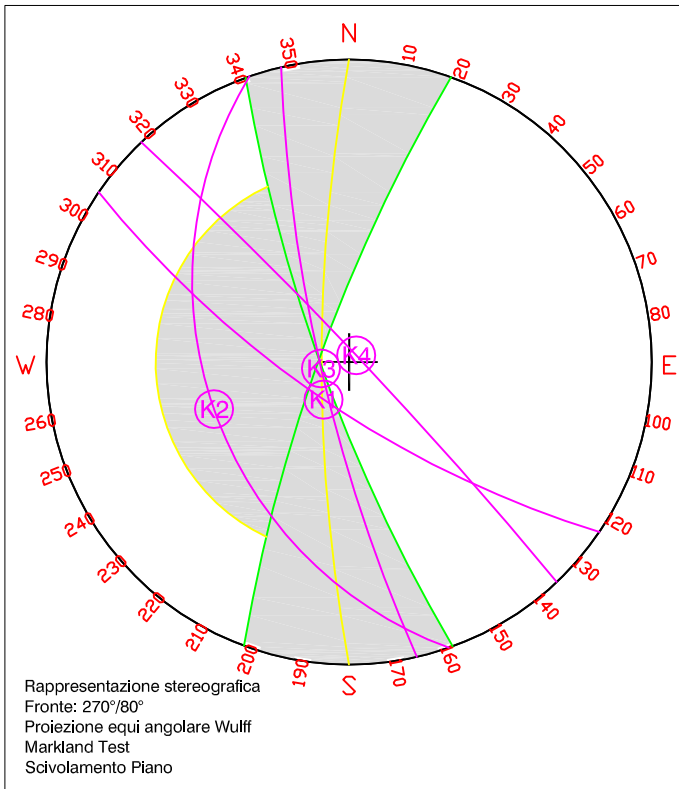
 polo famiglia di discontinuità K3

 polo famiglia di discontinuità K4







Markland Test

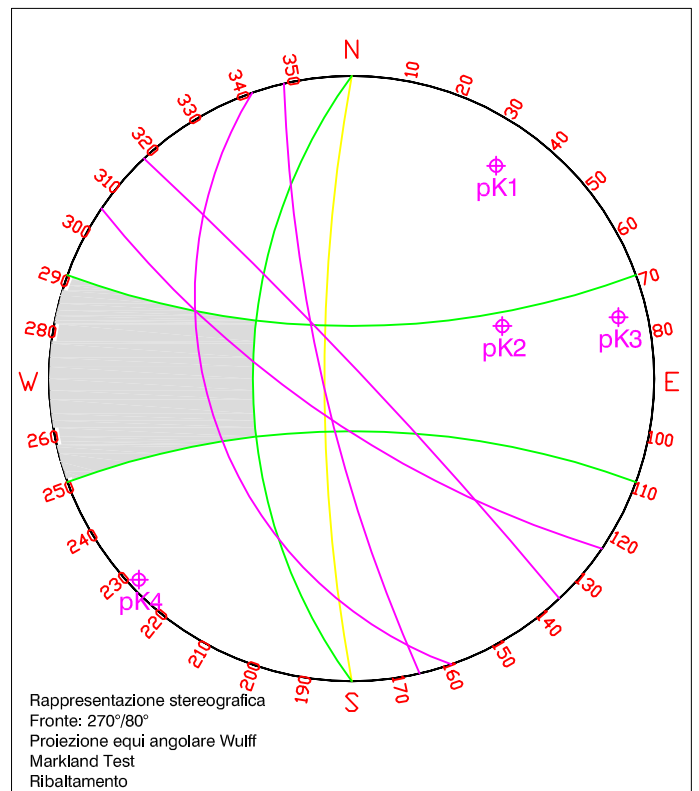
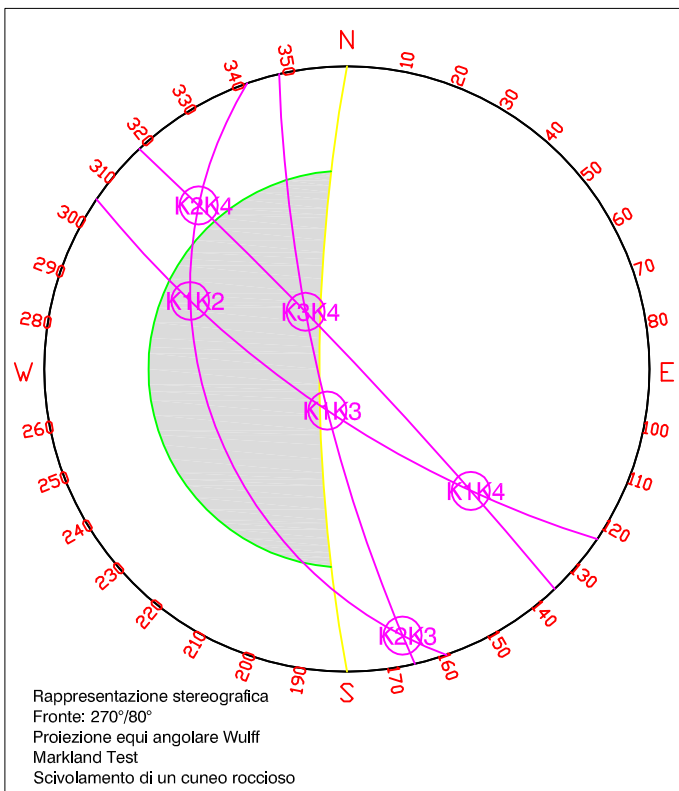
fronte 7d (270°/80°)



famiglia di discontinuità
relativa alla stratificazione K1
immersione=213°
inclinazione=73°
famiglia di discontinuità K2
immersione=251°
inclinazione=40°
famiglia di discontinuità K3
immersione=258°
inclinazione=79°
famiglia di discontinuità K4
immersione=47°
inclinazione=89°
fronte
immersione=275°
inclinazione=80°
cono d'attrito=24°

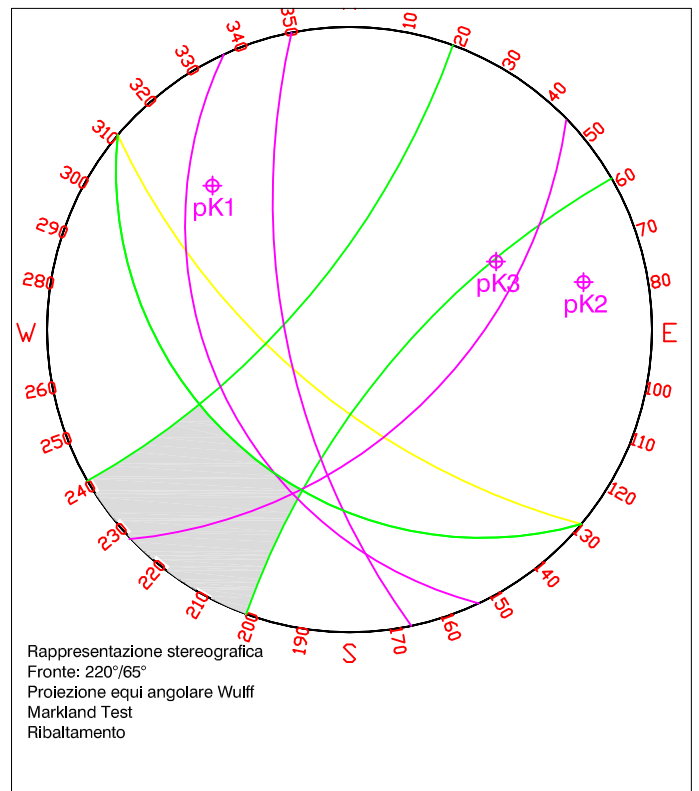
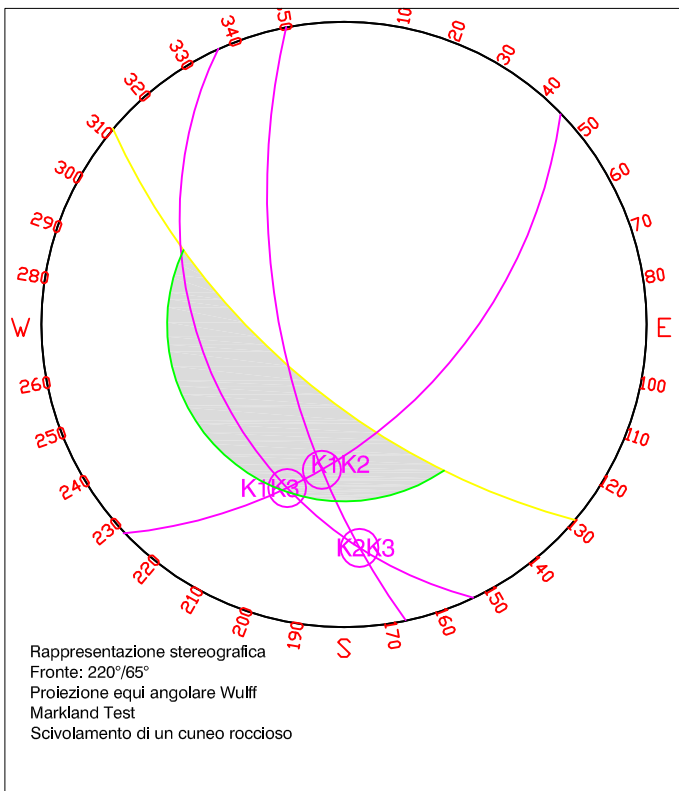
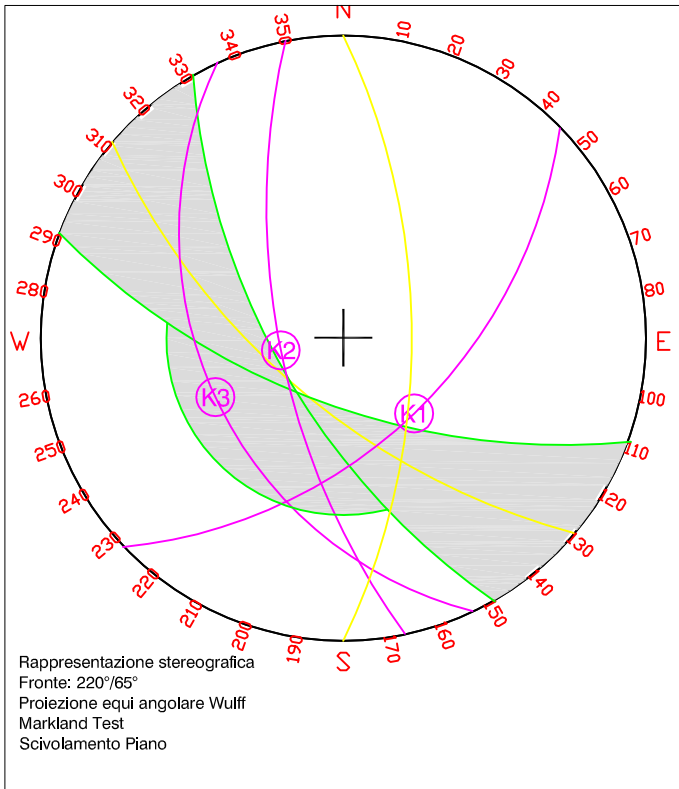
 area instabile

-  K1 polo famiglia di discontinuità K1
-  K2 polo famiglia di discontinuità K2
-  K3 polo famiglia di discontinuità K3
-  K4 polo famiglia di discontinuità K4



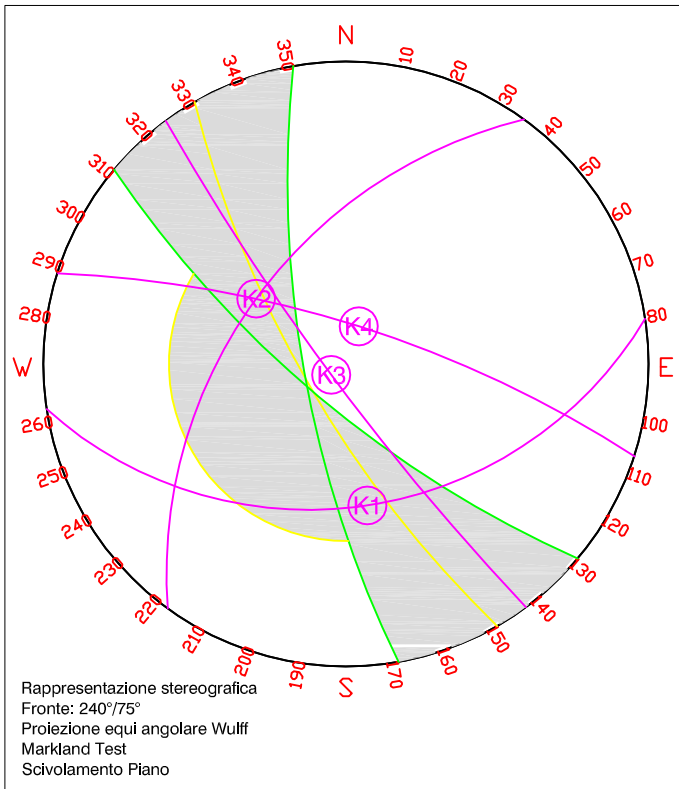
Markland Test

fronte 8 (220°/65°)







Markland Test

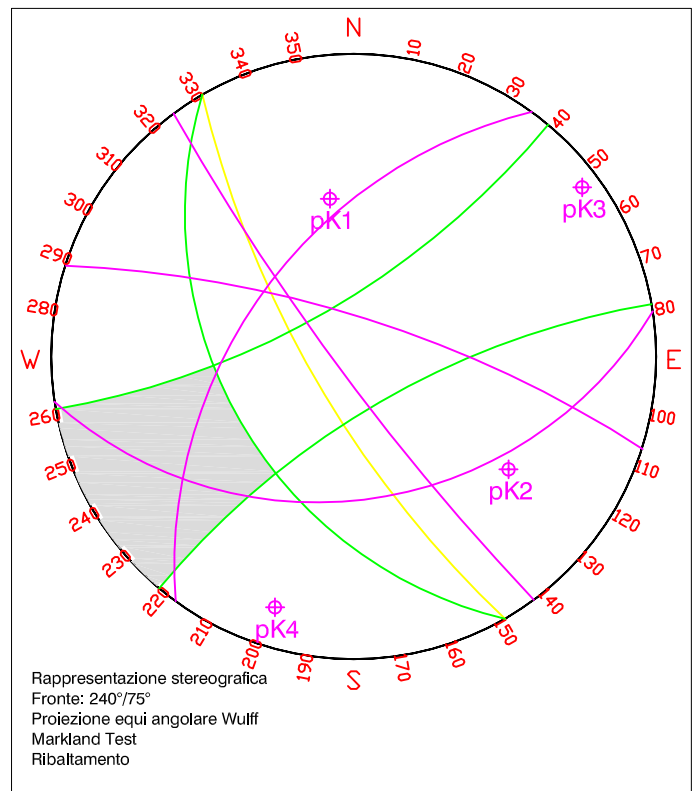
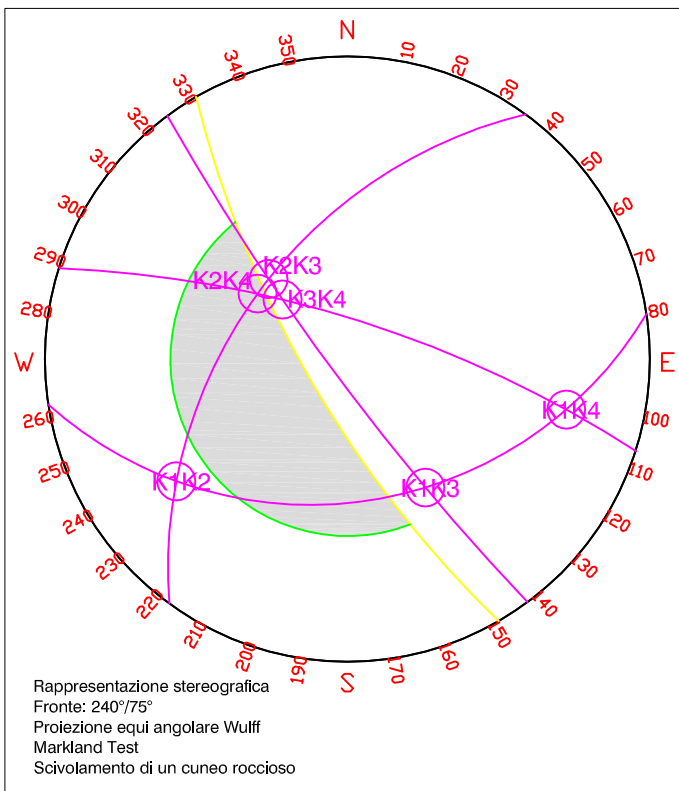
fronte 9a (240°/75°)



famiglia di discontinuità
relativa alla stratificazione K1
immersione=172°
inclinazione=40°
famiglia di discontinuità K2
immersione=306°
inclinazione=50°
famiglia di discontinuità K3
immersione=234°
inclinazione=83°
famiglia di discontinuità K4
immersione=17°
inclinazione=75°
fronte
immersione=240°
inclinazione=75°
cono d'attrito=30°

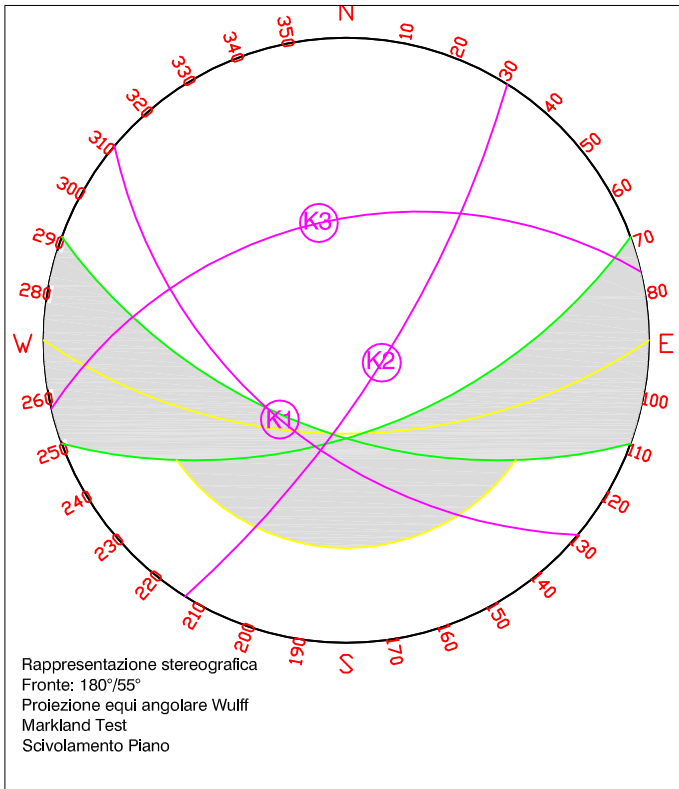
 area instabile

-  K1 polo famiglia di discontinuità K1
-  K2 polo famiglia di discontinuità K2
-  K3 polo famiglia di discontinuità K3
-  K4 polo famiglia di discontinuità K4






Markland Test

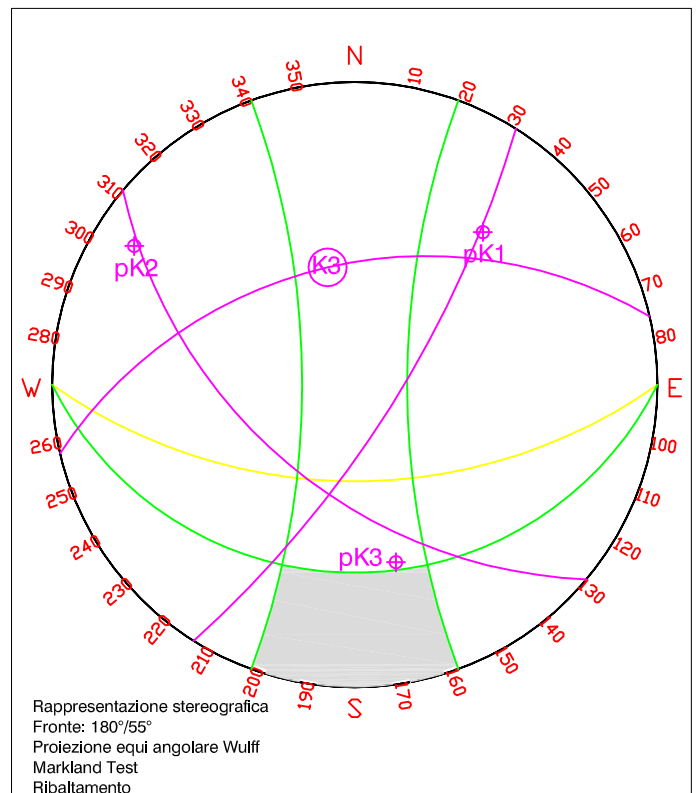
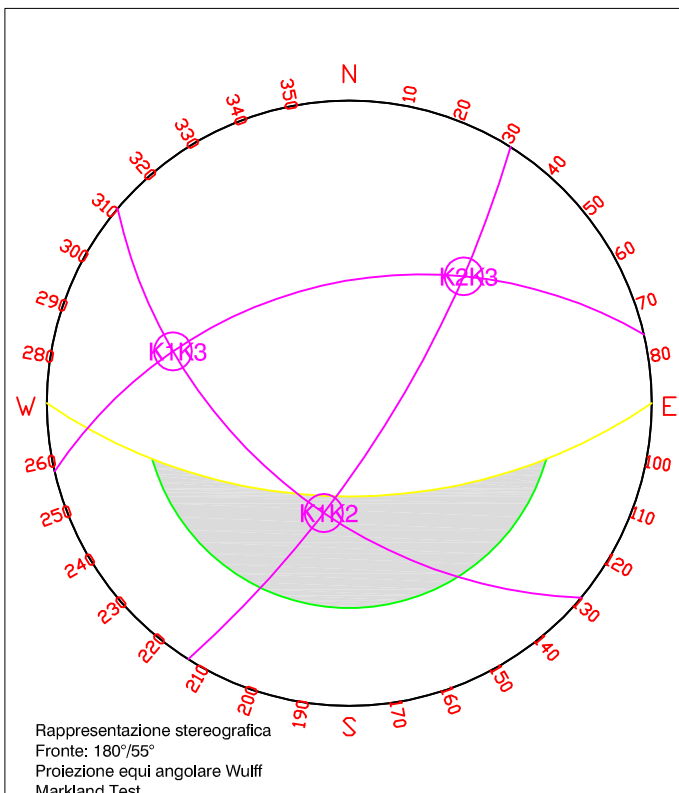
fronte 9b (180°/55°)



famiglia di discontinuità
relativa alla stratificazione K1
immersione=220°
inclinazione=52°
famiglia di discontinuità K2
immersione=122°
inclinazione=74°
famiglia di discontinuità K3
immersione=347°
inclinazione=49°
fronte
immersione=180°
inclinazione=55°
cono d'attrito=22°

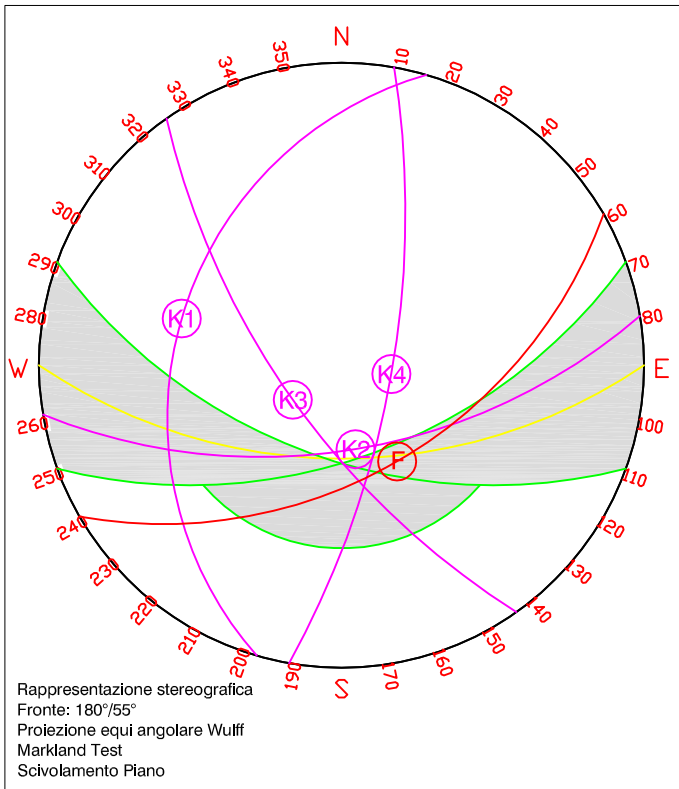
 area instabile

 polo famiglia di discontinuità K1
 polo famiglia di discontinuità K2
 polo famiglia di discontinuità K3








Markland Test

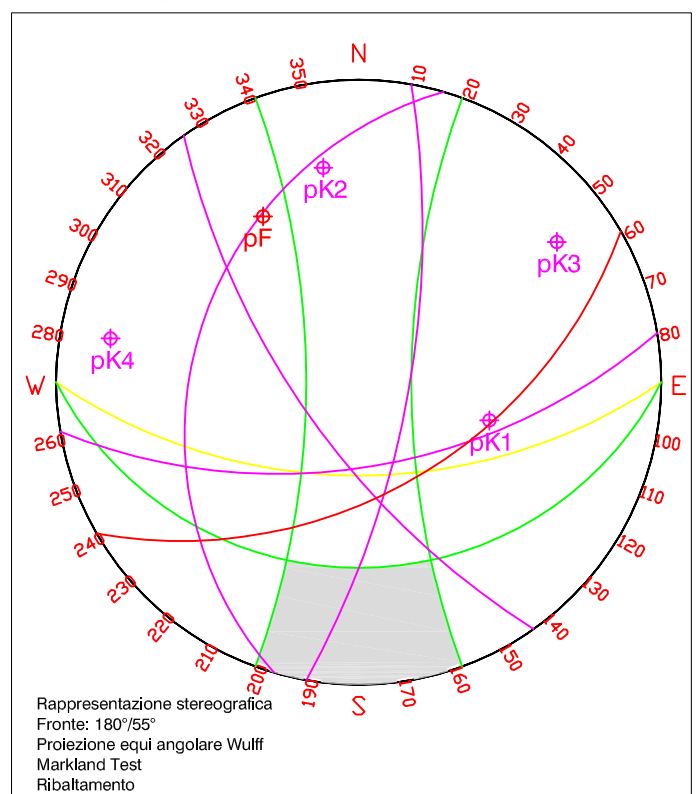
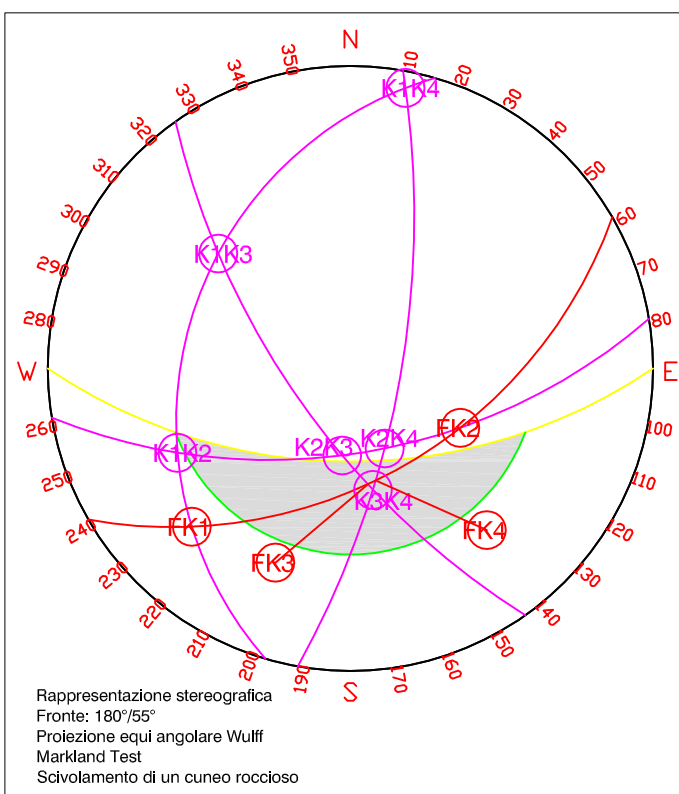
fronte 9c (180°/55°)



famiglia di discontinuità
relativa alla stratificazione K1
immersione=286°
inclinazione=32°
famiglia di discontinuità K2
immersione=171°
inclinazione=59°
famiglia di discontinuità K3
immersione=235°
inclinazione=78°
famiglia di discontinuità K4
immersione=100°
inclinazione=81°
Discontinuità F (Faglia)
immersione=150°
inclinazione=50°
fronte
immersione=180°
inclinazione=55°
cono d'attrito=30°

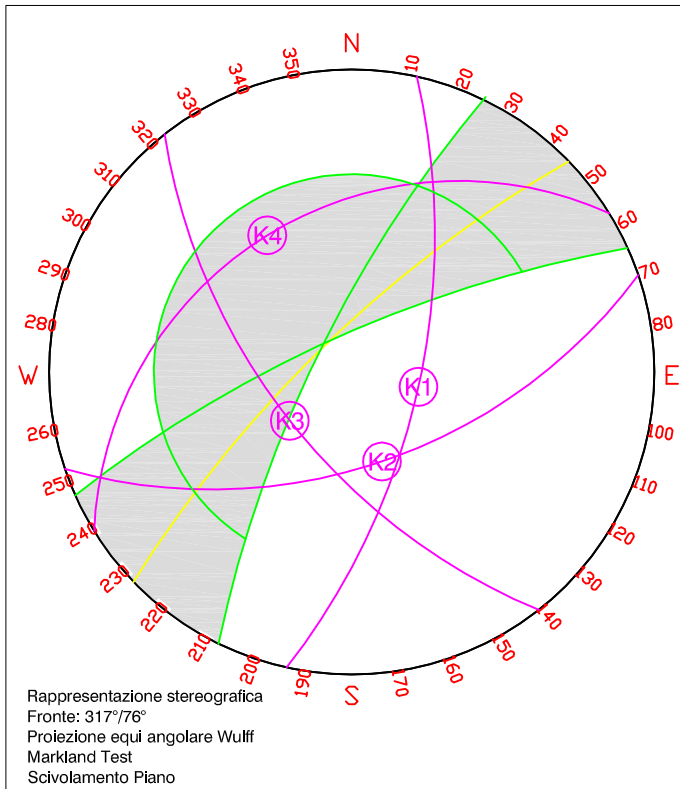
 area instabile

-  polo famiglia di discontinuità K1
-  polo famiglia di discontinuità K2
-  polo famiglia di discontinuità K3
-  polo famiglia di discontinuità K4
-  polo Faglia discontinuità F




Markland Test


fronte 9d (317°/76°)





famiglia di discontinuità
relativa alla stratificazione K1
immersione=102°
inclinazione=76°
famiglia di discontinuità K2
immersione=161°
inclinazione=54°
famiglia di discontinuità K3
immersione=232°
inclinazione=61°
famiglia di discontinuità K4
immersione=328°
inclinazione=33°
fronte
immersione=317°
inclinazione=76°
cono d'attrito=22°

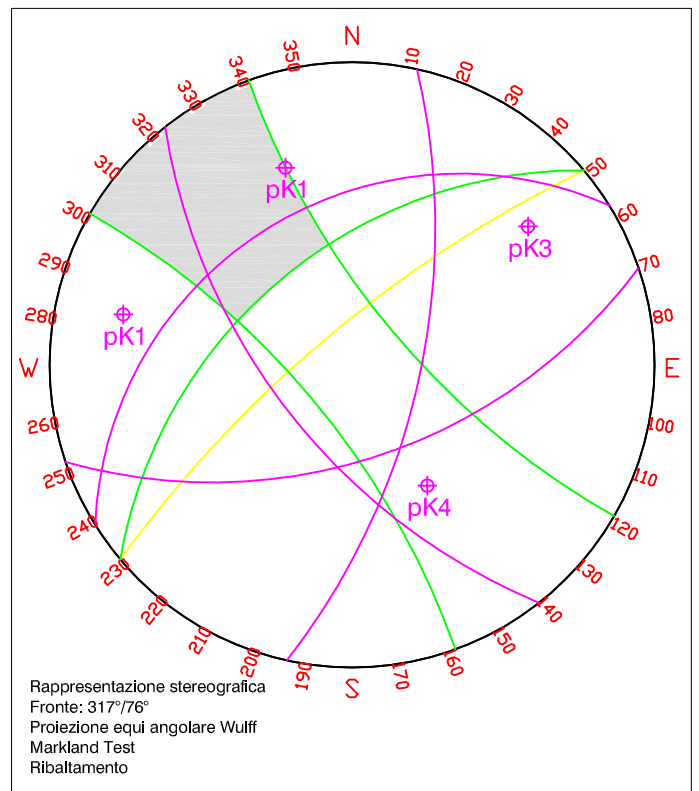
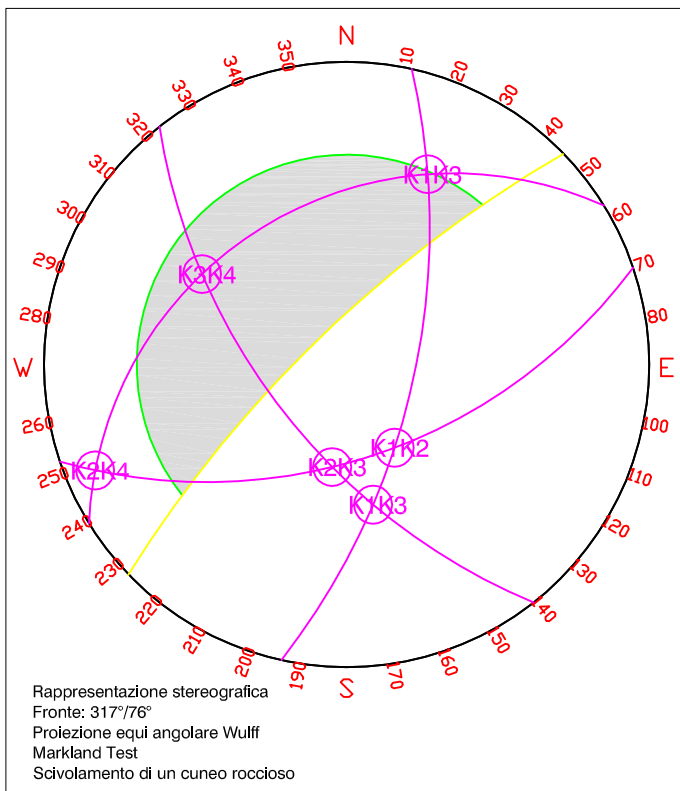
 area instabile

 polo famiglia di discontinuità K1

 polo famiglia di discontinuità K2

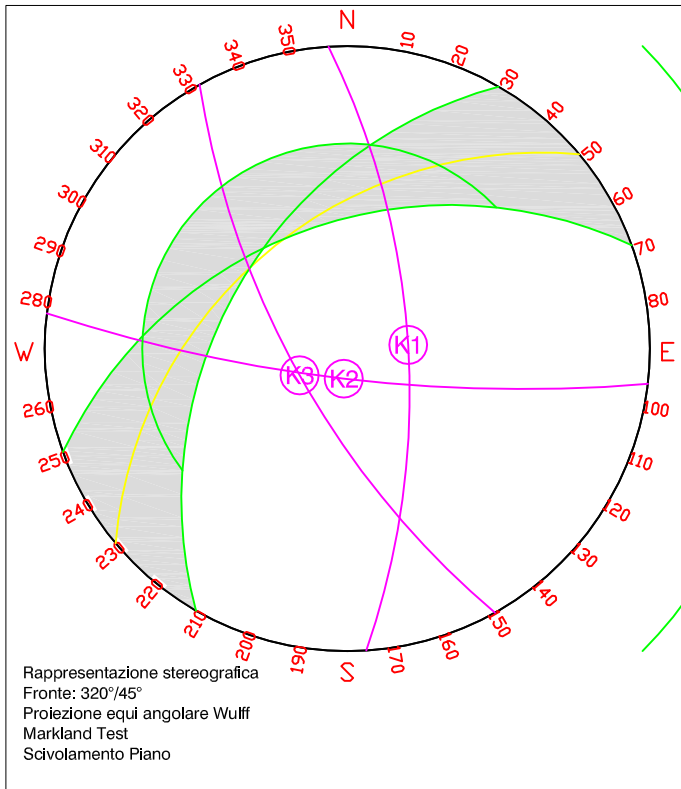
 polo famiglia di discontinuità K3

 polo famiglia di discontinuità K4






Markland Test

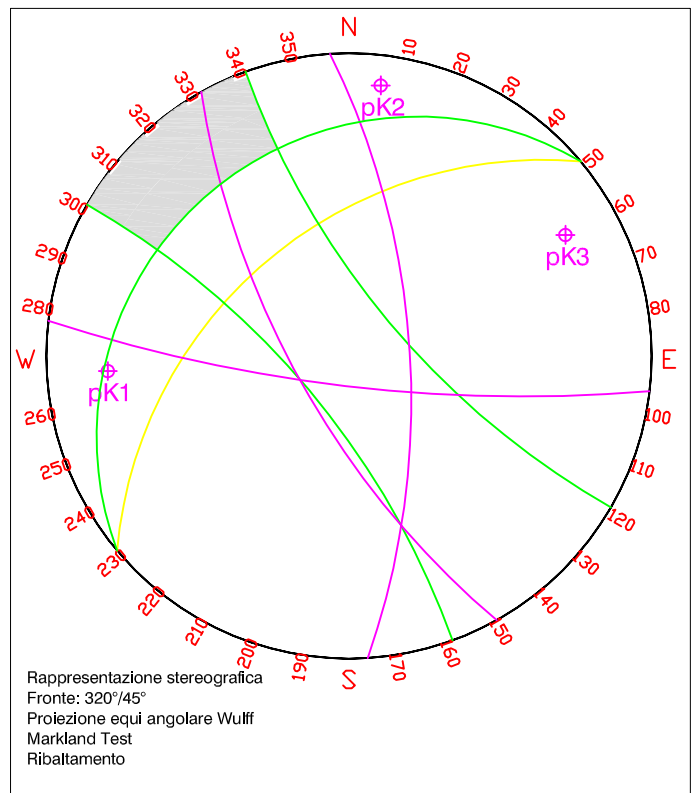
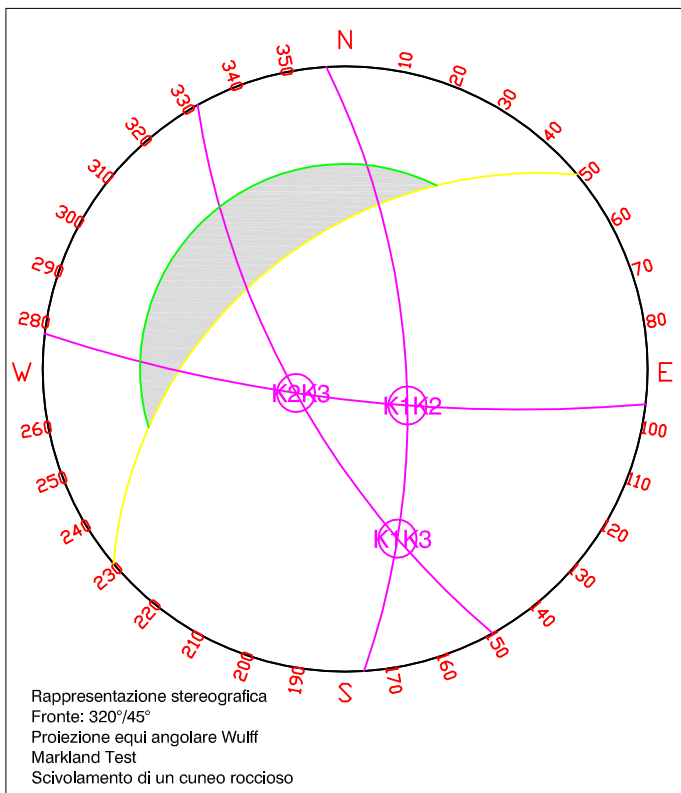
fronte 9e (320°/45°)



famiglia di discontinuità
relativa alla stratificazione K1
immersione=87°
inclinazione=68°
famiglia di discontinuità K2
immersione=184°
inclinazione=79°
famiglia di discontinuità K3
immersione=241°
inclinazione=70°
fronte
immersione=320°
inclinazione=45°
cono d'attrito=23°

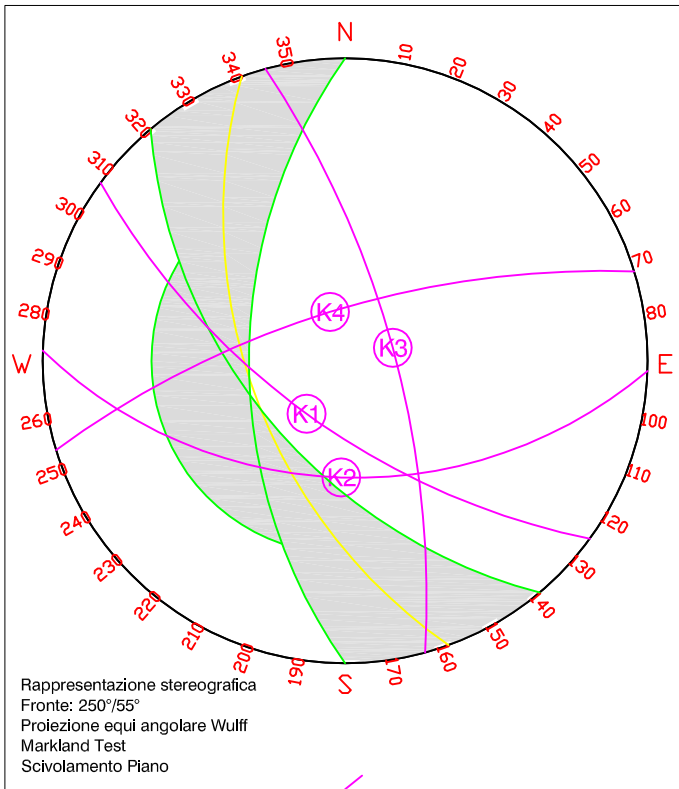
 area instabile

-  polo famiglia di discontinuità K1
-  polo famiglia di discontinuità K2
-  polo famiglia di discontinuità K3




Markland Test


fronte 10 (250°/55°)





famiglia di discontinuità
relativa alla stratificazione K1
immersione=216°
inclinazione=76°
famiglia di discontinuità K2
immersione=183°
inclinazione=48°
famiglia di discontinuità K3
immersione=95°
inclinazione=72°
famiglia di discontinuità K4
immersione=343°
inclinazione=729°
fronte
immersione=250°
inclinazione=55°
cono d'attrito=26°

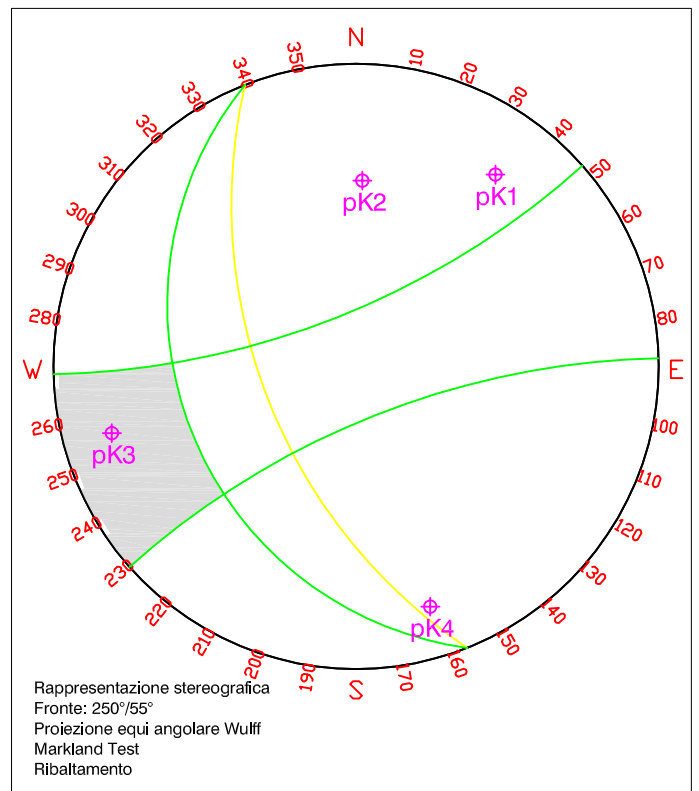
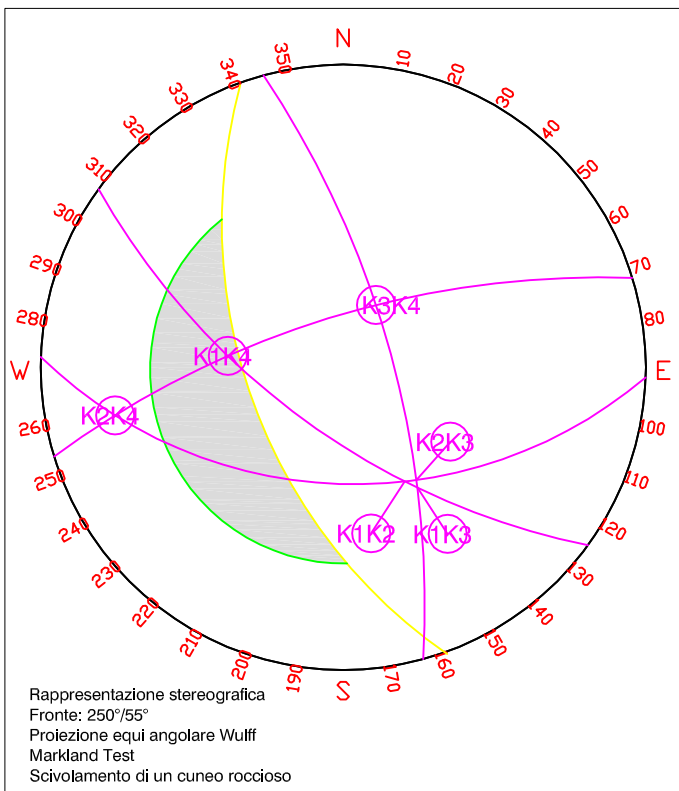
 area instabile

 K1 polo famiglia di discontinuità K1

 K2 polo famiglia di discontinuità K2

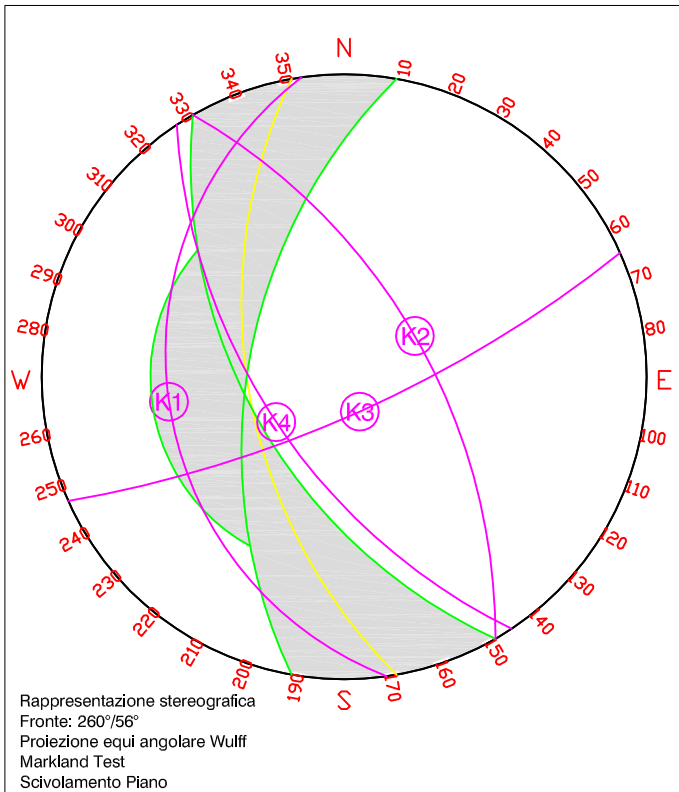
 K3 polo famiglia di discontinuità K3

 K4 polo famiglia di discontinuità K4




Markland Test


fronte 11 (260°/56°)





famiglia di discontinuità
relativa alla stratificazione K1
immersione=263°
inclinazione=27°
famiglia di discontinuità K2
immersione=59°
inclinazione=59°
famiglia di discontinuità K3
immersione=154°
inclinazione=74°
famiglia di discontinuità K4
immersione=237°
inclinazione=599°
fronte
immersione=260°
inclinazione=56°
cono d'attrito=26°

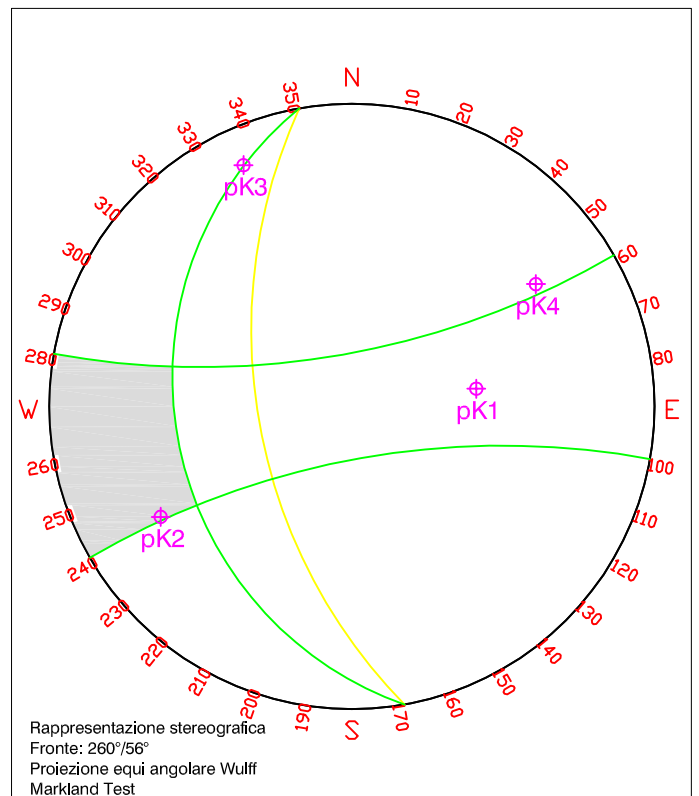
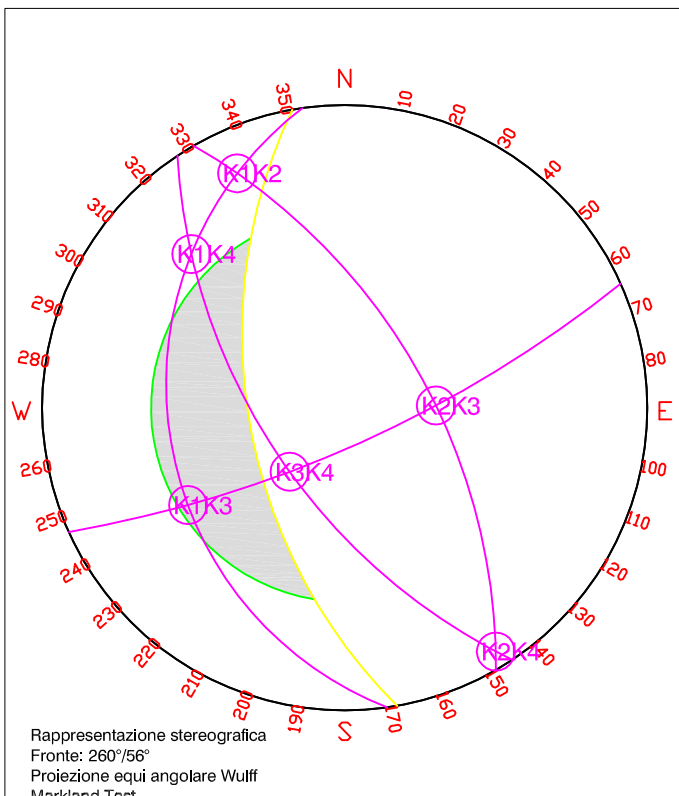
 area instabile

 K1 polo famiglia di discontinuità K1

 K2 polo famiglia di discontinuità K2

 K3 polo famiglia di discontinuità K3

 K4 polo famiglia di discontinuità K4



Comune di Fosdinovo

PROVINCIA DI MASSA CARRARA

Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciaso

Indagini geognostiche

ELABORATO:

-

SCALA:

-

Committente:
Comune di Fosdinovo

A cura di:
Dr. Geol. Matteo Angiolini

maggio 2017

Dr. Geol. Matteo Angiolini
Via A. Corradi, 1
19020 BEVERINO (SP)
Tel. 0187.883282
Cell. 347.1280686
e-mail: matteoangiolini@yahoo.it
C.F.: NGL MTT 78 E 15 E 46 3T
P.iva: 01214470112

Comune di Fosdinovo

PROVINCIA DI MASSA CARRARA

Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciaso

Prove penetrometriche

ELABORATO:

-

SCALA:

-

Committente:
Comune di Fosdinovo

A cura di:
Dr. Geol. Matteo Angiolini

maggio 2017

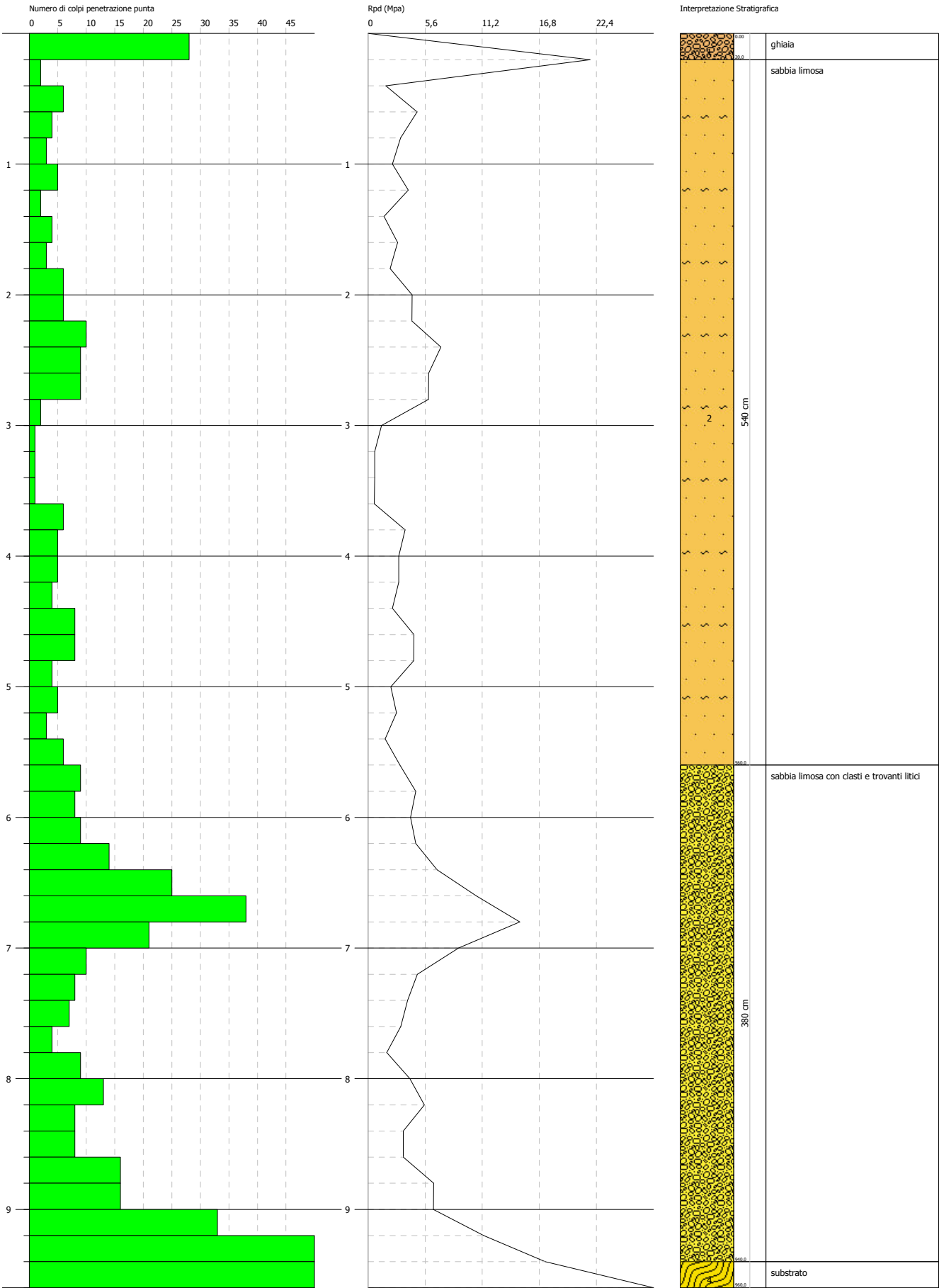
Dr. Geol. Matteo Angiolini
Via A. Corradi, 1
19020 BEVERINO (SP)
Tel. 0187.883282
Cell. 347.1280686
e-mail: matteoangiolini@yahoo.it
C.F.: NGL MTT 78 E 15 E 46 3T
P.iva: 01214470112

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Provincia di Massa Carrara
Cantiere: Fosdino
Località: Strada Fosdinovo Marciasso sito 1

Data:

Scala 1:41

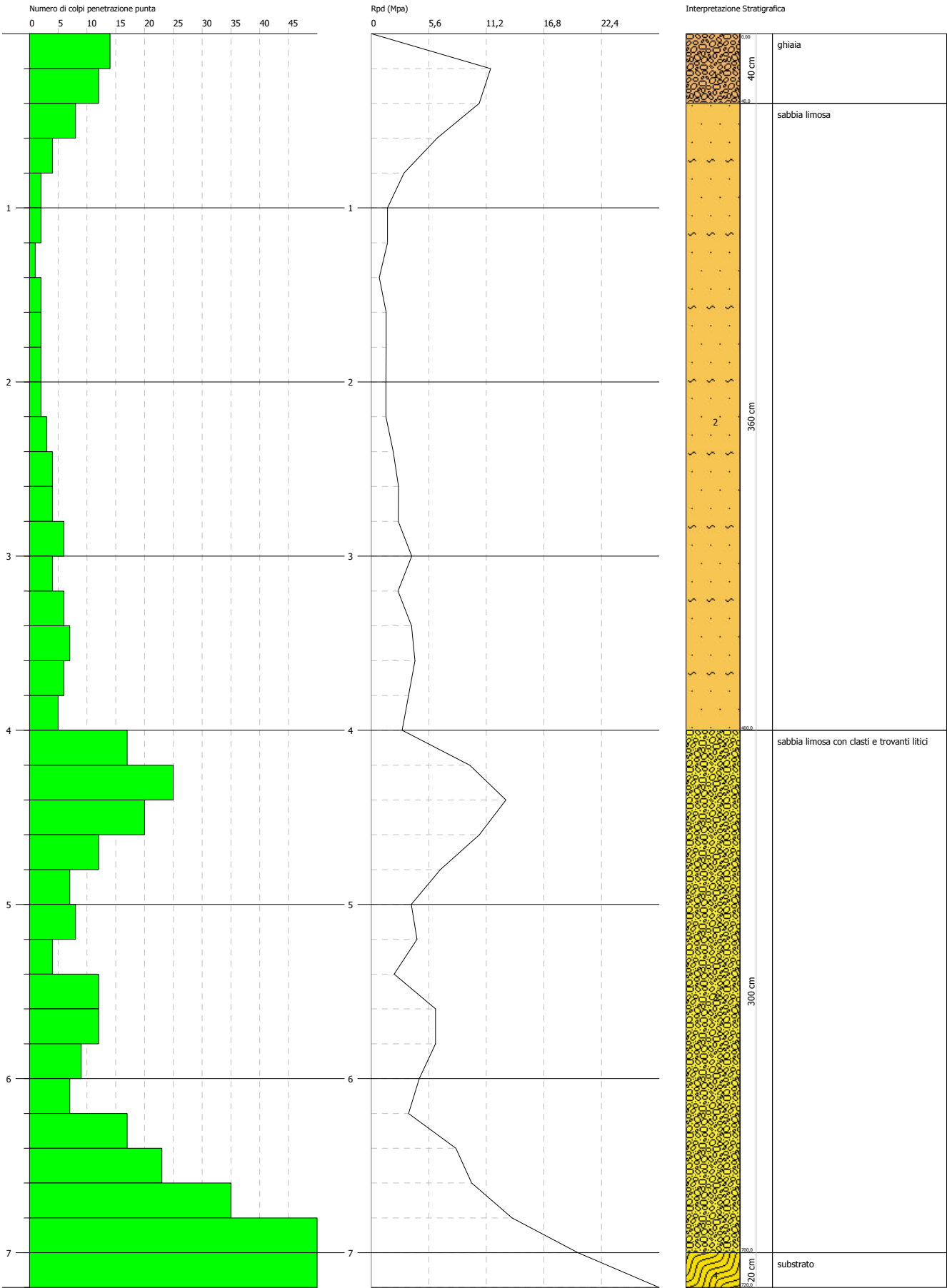


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Provincia di Massa Carrara
Cantiere: Fosdino
Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 1

Data:

Scala 1:31



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Comune di Fosdinovo; Cantiere: Fosdinovo; Località: Strada Fosdinovo Marciasso sito 1

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	0,63 Kg
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base punta	20,43 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

(DYNAMIC PROBING)

DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data

Profondità prova 9,60 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio Minimo

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	28	0,755	21,77	28,85	1088,62	1442,58
0,40	2	0,851	1,75	2,06	87,66	103,04
0,60	6	0,847	4,81	5,67	240,30	283,71
0,80	4	0,843	3,19	3,78	159,51	189,14
1,00	3	0,840	2,38	2,84	119,12	141,85
1,20	5	0,836	3,95	4,73	197,71	236,42
1,40	2	0,833	1,58	1,89	78,76	94,57
1,60	4	0,830	2,90	3,50	144,98	174,77
1,80	3	0,826	2,17	2,62	108,31	131,08
2,00	6	0,823	4,32	5,24	215,80	262,16
2,20	6	0,820	4,30	5,24	215,00	262,16
2,40	10	0,817	7,14	8,74	357,03	436,93
2,60	9	0,814	5,95	7,31	297,58	365,47

2,80	9	0,811	5,93	7,31	296,55	365,47
3,00	2	0,809	1,31	1,62	65,68	81,22
3,20	1	0,806	0,65	0,81	32,73	40,61
3,40	1	0,803	0,65	0,81	32,62	40,61
3,60	1	0,801	0,61	0,76	30,38	37,93
3,80	6	0,798	3,63	4,55	181,70	227,58
4,00	5	0,796	3,02	3,79	150,96	189,65
4,20	5	0,794	3,01	3,79	150,52	189,65
4,40	4	0,791	2,40	3,03	120,08	151,72
4,60	8	0,789	4,49	5,69	224,67	284,66
4,80	8	0,787	4,48	5,69	224,06	284,66
5,00	4	0,785	2,23	2,85	111,73	142,33
5,20	5	0,783	2,79	3,56	139,31	177,92
5,40	3	0,781	1,67	2,13	83,38	106,75
5,60	6	0,779	3,13	4,02	156,65	201,06
5,80	9	0,777	4,69	6,03	234,42	301,59
6,00	8	0,775	4,16	5,36	207,89	268,08
6,20	9	0,774	4,67	6,03	233,35	301,59
6,40	14	0,722	6,77	9,38	338,73	469,14
6,60	25	0,670	10,61	15,83	530,67	791,62
6,80	38	0,619	14,89	24,07	744,51	1203,27
7,00	21	0,667	8,87	13,30	443,65	664,96
7,20	10	0,766	4,85	6,33	242,44	316,65
7,40	8	0,764	3,87	5,07	193,58	253,32
7,60	7	0,763	3,20	4,20	160,23	210,09
7,80	4	0,761	1,83	2,40	91,39	120,05
8,00	9	0,760	4,11	5,40	205,26	270,11
8,20	13	0,709	5,53	7,80	276,46	390,16
8,40	8	0,757	3,64	4,80	181,82	240,10
8,60	8	0,756	3,45	4,56	172,51	228,19
8,80	16	0,705	6,43	9,13	321,62	456,39
9,00	16	0,703	6,42	9,13	321,06	456,39
9,20	33	0,602	11,34	18,83	566,93	941,29
9,40	58	0,551	18,24	33,09	911,75	1654,40
9,60	100	0,550	29,89	54,35	1494,56	2717,63

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) ghiaia	41,16	0,00-0,20	41,16	Meyerhof (1957)	100
Strato (2) sabbia limosa	4,22	0,20-5,60	4,22	Meyerhof (1957)	40,24
Strato (3) sabbia limosa con clasti e trovanti litici	15,08	5,60-9,40	15,08	Meyerhof (1957)	58,98
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) ghiaia	41,16	0,00-0,20	41,16	Meyerhof (1965)	41,63
Strato (2) sabbia limosa	4,22	0,20-5,60	4,22	Meyerhof (1965)	31,34
Strato (3) sabbia limosa con clasti e trovanti litici	15,08	5,60-9,40	15,08	Meyerhof (1965)	35,5
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) ghiaia	41,16	0,00-0,20	41,16	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	20,31
Strato (2) sabbia limosa	4,22	0,20-5,60	4,22	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	8,36
Strato (3) sabbia limosa con clasti e trovanti litici	15,08	5,60-9,40	15,08	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	11,87
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) ghiaia	41,16	0,00-0,20	41,16	Begemann (1974)	10,98
Strato (2) sabbia limosa	4,22	0,20-5,60	4,22	Begemann (1974)	3,54
Strato (3) sabbia limosa con clasti e trovanti litici	15,08	5,60-9,40	15,08	Begemann (1974)	5,73
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) ghiaia	41,16	0,00-0,20	41,16	Classificazione A.G.I	ADDENSATO
Strato (2) sabbia limosa	4,22	0,20-5,60	4,22	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3) sabbia limosa con clasti e trovanti litici	15,08	5,60-9,40	15,08	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) ghiaia	41,16	0,00-0,20	41,16	Meyerhof ed altri	21,67
Strato (2) sabbia limosa	4,22	0,20-5,60	4,22	Meyerhof ed altri	14,71
Strato (3) sabbia limosa con clasti e trovanti litici	15,08	5,60-9,40	15,08	Meyerhof ed altri	18,44
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Strato (1) ghiaia	41,16	0,00-0,20	41,16	Terzaghi-Peck 1948-1967	20,69
Strato (2) sabbia limosa	4,22	0,20-5,60	4,22	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,44
Strato (3) sabbia limosa con clasti e trovanti litici	15,08	5,60-9,40	15,08	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,12
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato...

DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data

Profondità prova

7,20 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio Minimo

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	14	0,805	11,61	14,43	580,37	721,29
0,40	12	0,851	10,52	12,36	525,99	618,25
0,60	8	0,847	6,41	7,57	320,40	378,28
0,80	4	0,843	3,19	3,78	159,51	189,14
1,00	2	0,840	1,59	1,89	79,42	94,57
1,20	2	0,836	1,58	1,89	79,09	94,57
1,40	1	0,833	0,79	0,95	39,38	47,28
1,60	2	0,830	1,45	1,75	72,49	87,39
1,80	2	0,826	1,44	1,75	72,21	87,39
2,00	2	0,823	1,44	1,75	71,93	87,39
2,20	2	0,820	1,43	1,75	71,67	87,39
2,40	3	0,817	2,14	2,62	107,11	131,08
2,60	4	0,814	2,65	3,25	132,26	162,43
2,80	4	0,811	2,64	3,25	131,80	162,43
3,00	6	0,809	3,94	4,87	197,03	243,65
3,20	4	0,806	2,62	3,25	130,92	162,43
3,40	6	0,803	3,91	4,87	195,75	243,65
3,60	7	0,801	4,25	5,31	212,64	265,51
3,80	6	0,798	3,63	4,55	181,70	227,58
4,00	5	0,796	3,02	3,79	150,96	189,65
4,20	17	0,744	9,59	12,90	479,54	644,81
4,40	25	0,691	13,11	18,96	655,65	948,24

4,60	20	0,739	10,52	14,23	526,09	711,66
4,80	12	0,787	6,72	8,54	336,09	427,00
5,00	7	0,785	3,91	4,98	195,53	249,08
5,20	8	0,783	4,46	5,69	222,89	284,66
5,40	4	0,781	2,22	2,85	111,17	142,33
5,60	12	0,779	6,27	8,04	313,30	402,12
5,80	12	0,777	6,25	8,04	312,56	402,12
6,00	9	0,775	4,68	6,03	233,87	301,59
6,20	7	0,774	3,63	4,69	181,49	234,57
6,40	17	0,722	8,23	11,39	411,31	569,67
6,60	23	0,670	9,76	14,57	488,22	728,29
6,80	35	0,619	13,71	22,17	685,74	1108,27
7,00	56	0,567	20,11	35,46	1005,73	1773,24
7,20	100	0,566	35,82	63,33	1791,11	3166,49

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) ghiaia	18,38	0.00-0,40	18,38	Meyerhof (1957)	100
Strato (2) sabbia limosa	3,59	0,40-4,00	3,59	Meyerhof (1957)	38,93
Strato (3) sabbia limosa con clasti e trovanti litici	15,88	4,00-7,00	15,88	Meyerhof (1957)	66,24
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) ghiaia	18,38	0.00-0,40	18,38	Meyerhof (1965)	36,57
Strato (2) sabbia limosa	3,59	0,40-4,00	3,59	Meyerhof (1965)	31,07
Strato (3) sabbia limosa con clasti e trovanti litici	15,88	4,00-7,00	15,88	Meyerhof (1965)	35,77
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) ghiaia	18,38	0.00-0,40	18,38	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	12,94
Strato (2) sabbia limosa	3,59	0,40-4,00	3,59	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	8,15
Strato (3) sabbia limosa con clasti e trovanti litici	15,88	4,00-7,00	15,88	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	12,13
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) ghiaia	18,38	0.00-0,40	18,38	Begemann (1974)	6,40
Strato (2) sabbia limosa	3,59	0,40-4,00	3,59	Begemann (1974)	3,42
Strato (3) sabbia limosa con clasti e trovanti litici	15,88	4,00-7,00	15,88	Begemann (1974)	5,89
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) ghiaia	18,38	0.00-0,40	18,38	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (2) sabbia limosa	3,59	0,40-4,00	3,59	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (3) sabbia limosa con clasti e trovanti litici	15,88	4,00-7,00	15,88	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) ghiaia	18,38	0.00-0,40	18,38	Meyerhof ed altri	19,22
Strato (2) sabbia limosa	3,59	0,40-4,00	3,59	Meyerhof ed altri	14,51
Strato (3) sabbia limosa con clasti e trovanti litici	15,88	4,00-7,00	15,88	Meyerhof ed altri	18,63
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume saturo

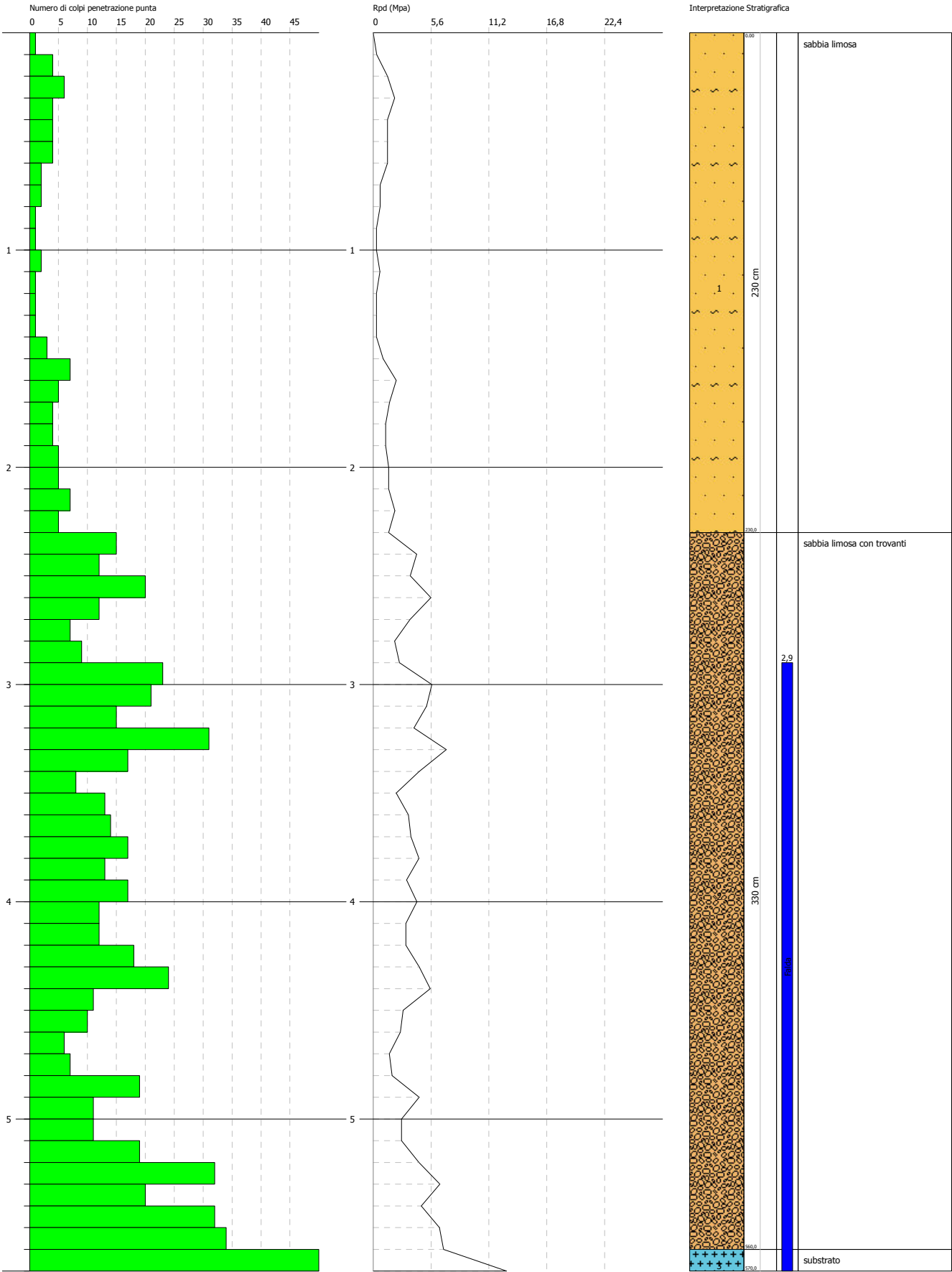
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Strato (1) ghiaia	18,38	0.00-0,40	18,38	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,32
Strato (2) sabbia limosa	3,59	0,40-4,00	3,59	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,44
Strato (3) sabbia limosa con clasti e trovanti litici	15,88	4,00-7,00	15,88	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,12
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DL-30 (60°)

Committente: Provincia di Massa Carrara
Cantiere: Fosdinovo
Località: Strada Fosdinovo Marciato sito 2

Data: 11/02/2008

Scala 1:25



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Comune di Fosdinovo, Cantiere: Fosdinovo Località: Strada Fosdinovo Marciasso sito 2
Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DL-30 (60°)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	11 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2,4 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,783
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

(DYNAMIC PROBING) DPSH – DPM (... *scpt ecc.*)

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...

DL-30 (60°)

Prova eseguita in data

11/02/2008 09:00:20

Profondità prova

5,70 mt

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,10	1	0,857	0,35	0,41	17,42	20,34
0,20	4	0,855	1,39	1,63	69,52	81,35
0,30	6	0,853	2,08	2,44	104,04	122,02
0,40	4	0,851	1,38	1,63	69,21	81,35
0,50	4	0,849	1,38	1,63	69,05	81,35
0,60	4	0,847	1,38	1,63	68,90	81,35
0,70	2	0,845	0,69	0,81	34,37	40,67
0,80	2	0,843	0,69	0,81	34,30	40,67
0,90	1	0,842	0,32	0,39	16,22	19,27
1,00	1	0,840	0,32	0,39	16,18	19,27
1,10	2	0,838	0,65	0,77	32,30	38,54
1,20	1	0,836	0,32	0,39	16,12	19,27
1,30	1	0,835	0,32	0,39	16,08	19,27

1,40	1	0,833	0,32	0,39	16,05	19,27
1,50	3	0,831	0,96	1,16	48,05	57,81
1,60	7	0,830	2,24	2,70	111,90	134,90
1,70	5	0,828	1,60	1,93	79,77	96,35
1,80	4	0,826	1,27	1,54	63,70	77,08
1,90	4	0,825	1,21	1,46	60,41	73,24
2,00	5	0,823	1,51	1,83	75,37	91,56
2,10	5	0,822	1,50	1,83	75,23	91,56
2,20	7	0,820	2,10	2,56	105,12	128,18
2,30	5	0,819	1,50	1,83	74,95	91,56
2,40	15	0,767	4,21	5,49	210,71	274,67
2,50	12	0,816	3,58	4,39	179,23	219,73
2,60	20	0,764	5,60	7,32	279,88	366,22
2,70	12	0,813	3,57	4,39	178,60	219,73
2,80	7	0,811	2,08	2,56	104,01	128,18
2,90	9	0,810	2,54	3,14	127,16	156,98
3,00	23	0,709	5,69	8,02	284,31	401,18
3,10	21	0,707	5,18	7,33	259,09	366,30
3,20	15	0,756	3,96	5,23	197,80	261,64
3,30	31	0,655	7,08	10,81	354,01	540,72
3,40	17	0,753	4,47	5,93	223,40	296,53
3,50	8	0,802	2,24	2,79	111,93	139,54
3,60	13	0,751	3,41	4,54	170,26	226,75
3,70	14	0,750	3,66	4,88	183,06	244,20
3,80	17	0,748	4,44	5,93	221,92	296,53
3,90	13	0,747	3,24	4,33	161,76	216,49
4,00	17	0,746	4,22	5,66	211,20	283,10
4,10	12	0,795	3,18	4,00	158,84	199,83
4,20	12	0,794	3,17	4,00	158,61	199,83
4,30	18	0,743	4,45	6,00	222,58	299,75
4,40	24	0,691	5,53	7,99	276,34	399,67
4,50	11	0,790	2,90	3,66	144,77	183,18
4,60	10	0,789	2,63	3,33	131,43	166,53
4,70	6	0,788	1,58	2,00	78,75	99,92
4,80	7	0,787	1,84	2,33	91,75	116,57
4,90	19	0,736	4,46	6,05	222,80	302,70
5,00	11	0,785	2,75	3,50	137,57	175,25
5,10	11	0,784	2,75	3,50	137,39	175,25
5,20	19	0,733	4,44	6,05	221,88	302,70
5,30	32	0,632	6,44	10,20	322,20	509,80
5,40	20	0,731	4,66	6,37	232,93	318,63
5,50	32	0,630	6,42	10,20	321,22	509,80
5,60	34	0,629	6,82	10,83	340,78	541,67
5,70	70	0,578	12,90	22,30	644,81	1115,20

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) sabbia limosa	2,69	0.00-2,30	2,69	Meyerhof (1957)	12,65
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	12,86	2,30-5,60	12,86	Meyerhof (1957)	66,45
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) sabbia limosa	2,69	0.00-2,30	2,69	Meyerhof (1965)	30,68
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	12,86	2,30-5,60	12,86	Meyerhof (1965)	34,72
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) sabbia limosa	2,69	0.00-2,30	2,69	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	7,86
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	12,86	2,30-5,60	12,86	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	11,15
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) sabbia limosa	2,69	0.00-2,30	2,69	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	3,24
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	12,86	2,30-5,60	12,86	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	5,28
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) sabbia limosa	2,69	0.00-2,30	2,69	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	12,86	2,30-5,60	12,86	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE E ADDENSATO
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) sabbia limosa	2,69	0.00-2,30	2,69	Meyerhof ed altri	14,02
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	12,86	2,30-5,60	12,86	Meyerhof ed altri	17,85
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume saturo

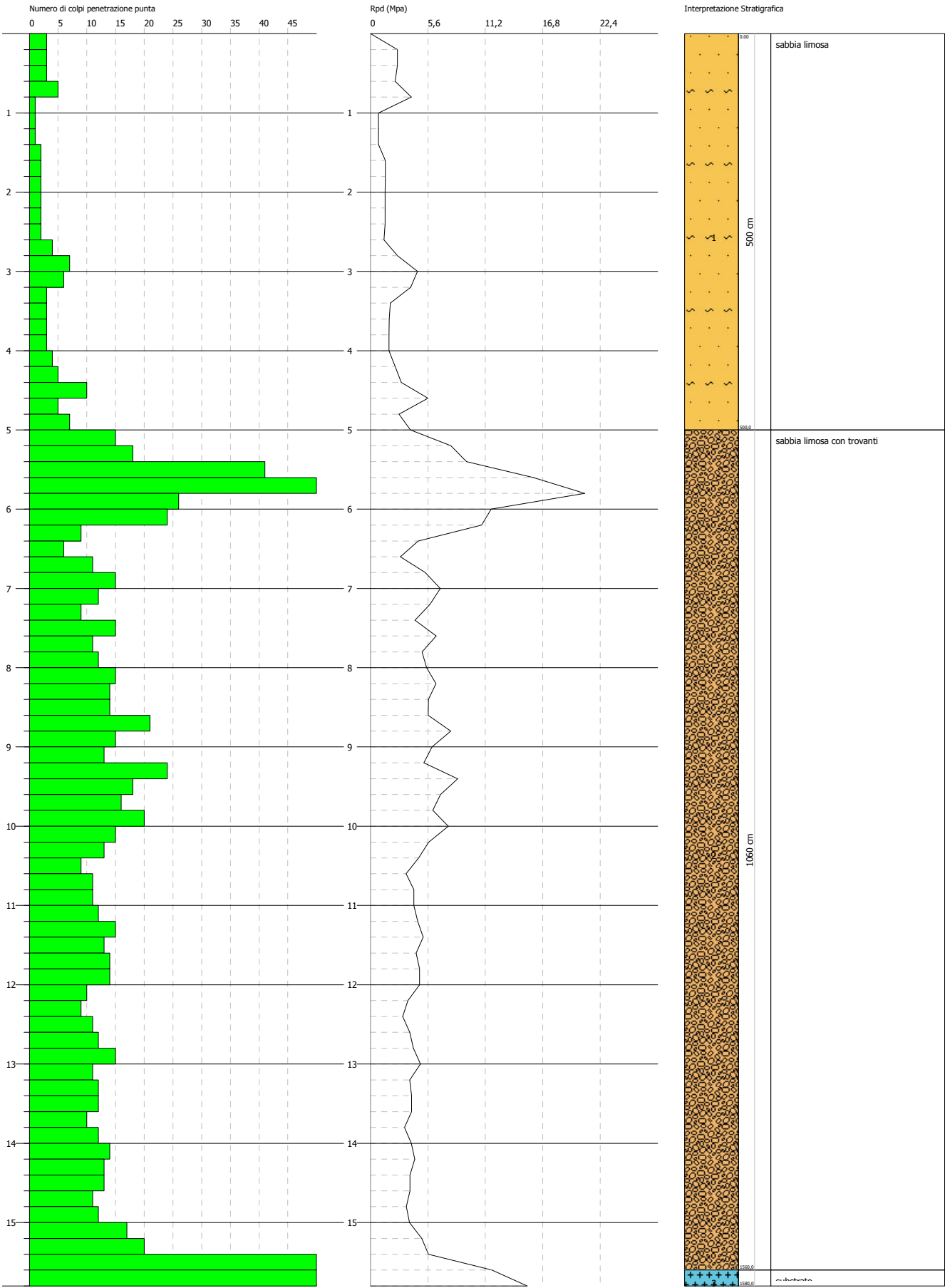
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Strato (1) sabbia limosa	2,69	0.00-2,30	2,69	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,34
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	12,86	2,30-5,60	12,86	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,02
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Provincia di Massa Carrara
Cantiere: Fosdinovo
Località: Strada Fosdinovo Marciasso sito 3

Data:

Scala 1:68

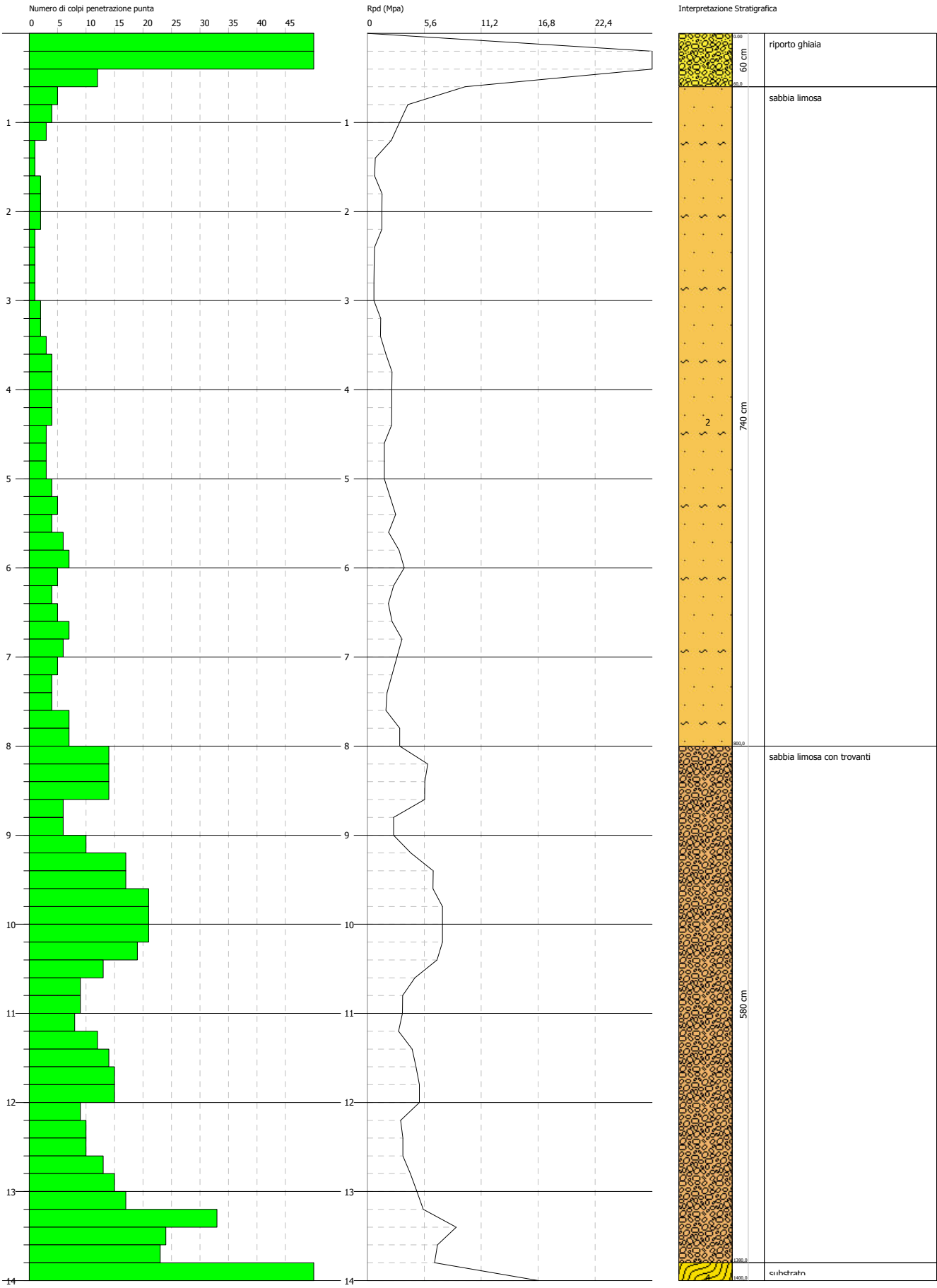


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Provincia di Massa Carrara
Cantiere: Fosdinovo
Località: Strada Fosdinovo Marciato sito 3

Data: 04/01/2017

Scala 1:60



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Comune di Fosdinovo; Cantiere: Fosdinovo; Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 3
Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	0,63 Kg
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base punta	20,43 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

(DYNAMIC PROBING) DPSH – DPM (... *scpt ecc.*)

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data

Profondità prova 15,80 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	3	0,855	2,64	3,09	132,09	154,56
0,40	3	0,851	2,63	3,09	131,50	154,56
0,60	3	0,847	2,40	2,84	120,15	141,85
0,80	5	0,843	3,99	4,73	199,38	236,42
1,00	1	0,840	0,79	0,95	39,71	47,28
1,20	1	0,836	0,79	0,95	39,54	47,28
1,40	1	0,833	0,79	0,95	39,38	47,28
1,60	2	0,830	1,45	1,75	72,49	87,39
1,80	2	0,826	1,44	1,75	72,21	87,39
2,00	2	0,823	1,44	1,75	71,93	87,39
2,20	2	0,820	1,43	1,75	71,67	87,39
2,40	2	0,817	1,43	1,75	71,41	87,39
2,60	2	0,814	1,32	1,62	66,13	81,22

2,80	4	0,811	2,64	3,25	131,80	162,43
3,00	7	0,809	4,60	5,69	229,87	284,25
3,20	6	0,806	3,93	4,87	196,38	243,65
3,40	3	0,803	1,96	2,44	97,87	121,82
3,60	3	0,801	1,82	2,28	91,13	113,79
3,80	3	0,798	1,82	2,28	90,85	113,79
4,00	3	0,796	1,81	2,28	90,58	113,79
4,20	4	0,794	2,41	3,03	120,42	151,72
4,40	5	0,791	3,00	3,79	150,09	189,65
4,60	10	0,789	5,62	7,12	280,84	355,83
4,80	5	0,787	2,80	3,56	140,04	177,92
5,00	7	0,785	3,91	4,98	195,53	249,08
5,20	15	0,733	7,82	10,67	391,24	533,75
5,40	18	0,731	9,36	12,81	468,23	640,50
5,60	41	0,579	15,91	27,48	795,67	1373,90
5,80	54	0,577	20,89	36,19	1044,61	1809,53
6,00	26	0,675	11,77	17,43	588,51	871,26
6,20	24	0,674	10,84	16,08	541,83	804,24
6,40	9	0,772	4,66	6,03	232,83	301,59
6,60	6	0,770	2,93	3,80	146,36	189,99
6,80	11	0,769	5,36	6,97	267,76	348,31
7,00	15	0,717	6,81	9,50	340,64	474,97
7,20	12	0,766	5,82	7,60	290,93	379,98
7,40	9	0,764	4,36	5,70	217,77	284,98
7,60	15	0,713	6,42	9,00	320,85	450,19
7,80	11	0,761	5,03	6,60	251,33	330,14
8,00	12	0,760	5,47	7,20	273,68	360,15
8,20	15	0,709	6,38	9,00	318,99	450,19
8,40	14	0,707	5,94	8,40	297,17	420,18
8,60	14	0,706	5,64	7,99	281,92	399,34
8,80	21	0,655	7,84	11,98	392,18	599,01
9,00	15	0,703	6,02	8,56	301,00	427,86
9,20	13	0,702	5,21	7,42	260,42	370,81
9,40	24	0,651	8,91	13,69	445,73	684,58
9,60	18	0,700	6,85	9,78	342,40	489,17
9,80	16	0,699	6,08	8,70	303,86	434,82
10,00	20	0,698	7,58	10,87	379,22	543,53
10,20	15	0,697	5,68	8,15	283,96	407,64
10,40	13	0,696	4,91	7,07	245,72	353,29
10,60	9	0,744	3,48	4,67	173,87	233,55
10,80	11	0,743	4,24	5,71	212,20	285,45
11,00	11	0,742	4,24	5,71	211,90	285,45
11,20	12	0,741	4,62	6,23	230,84	311,40
11,40	15	0,690	5,37	7,79	268,69	389,25
11,60	13	0,689	4,45	6,46	222,48	322,79
11,80	14	0,688	4,78	6,95	239,24	347,62
12,00	14	0,687	4,78	6,95	238,89	347,62
12,20	10	0,736	3,66	4,97	182,79	248,30
12,40	9	0,735	3,29	4,47	164,29	223,47
12,60	11	0,734	3,84	5,24	192,22	261,82
12,80	12	0,733	4,19	5,71	209,40	285,63
13,00	15	0,682	4,87	7,14	243,53	357,03
13,20	11	0,731	3,83	5,24	191,41	261,82
13,40	12	0,730	4,17	5,71	208,51	285,63
13,60	12	0,729	4,00	5,49	199,94	274,28
13,80	10	0,728	3,33	4,57	166,37	228,56
14,00	12	0,727	3,99	5,49	199,35	274,28

14,20	14	0,676	4,32	6,40	216,22	319,99
14,40	13	0,675	4,01	5,94	200,44	297,13
14,60	13	0,673	3,85	5,72	192,46	285,77
14,80	11	0,722	3,49	4,84	174,66	241,81
15,00	12	0,721	3,80	5,28	190,23	263,79
15,20	17	0,670	5,01	7,47	250,36	373,71
15,40	20	0,669	5,88	8,79	294,00	439,65
15,60	54	0,517	11,83	22,87	591,64	1143,36
15,80	70	0,516	15,30	29,64	765,05	1482,14

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) sabbia limosa	5,23	0.00-5,00	5,23	Meyerhof (1957)	46,05
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	23,39	5,00-15,60	23,39	Meyerhof (1957)	63,46
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) sabbia limosa	5,23	0.00-5,00	5,23	Meyerhof (1965)	31,77
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	23,39	5,00-15,60	23,39	Meyerhof (1965)	38,04
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) sabbia limosa	5,23	0.00-5,00	5,23	Schultze-Menzenbach	9,70
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	23,39	5,00-15,60	23,39	Schultze-Menzenbach	33,92
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) sabbia limosa	5,23	0.00-5,00	5,23	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	3,75
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	23,39	5,00-15,60	23,39	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	7,41
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) sabbia limosa	5,23	0.00-5,00	5,23	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	23,39	5,00-15,60	23,39	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) sabbia limosa	5,23	0.00-5,00	5,23	Meyerhof ed altri	15,20
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	23,39	5,00-15,60	23,39	Meyerhof ed altri	20,10
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Strato (1) sabbia limosa	5,23	0.00-5,00	5,23	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,53
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	23,39	5,00-15,60	23,39	Terzaghi-Peck 1948-1967	20,61
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato...

DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data

04/01/2017

Profondità prova

14,00 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	120	0,655	80,95	123,65	4047,25	6182,48
0,40	59	0,651	39,56	60,79	1978,16	3039,72
0,60	12	0,847	9,61	11,35	480,61	567,42
0,80	5	0,843	3,99	4,73	199,38	236,42
1,00	4	0,840	3,18	3,78	158,83	189,14
1,20	3	0,836	2,37	2,84	118,63	141,85
1,40	1	0,833	0,79	0,95	39,38	47,28
1,60	1	0,830	0,72	0,87	36,25	43,69
1,80	2	0,826	1,44	1,75	72,21	87,39
2,00	2	0,823	1,44	1,75	71,93	87,39
2,20	2	0,820	1,43	1,75	71,67	87,39
2,40	1	0,817	0,71	0,87	35,70	43,69
2,60	1	0,814	0,66	0,81	33,06	40,61
2,80	1	0,811	0,66	0,81	32,95	40,61
3,00	1	0,809	0,66	0,81	32,84	40,61
3,20	2	0,806	1,31	1,62	65,46	81,22
3,40	2	0,803	1,30	1,62	65,25	81,22
3,60	3	0,801	1,82	2,28	91,13	113,79

3,80	4	0,798	2,42	3,03	121,13	151,72
4,00	4	0,796	2,42	3,03	120,77	151,72
4,20	4	0,794	2,41	3,03	120,42	151,72
4,40	4	0,791	2,40	3,03	120,08	151,72
4,60	3	0,789	1,69	2,13	84,25	106,75
4,80	3	0,787	1,68	2,13	84,02	106,75
5,00	3	0,785	1,68	2,13	83,80	106,75
5,20	4	0,783	2,23	2,85	111,45	142,33
5,40	5	0,781	2,78	3,56	138,96	177,92
5,60	4	0,779	2,09	2,68	104,43	134,04
5,80	6	0,777	3,13	4,02	156,28	201,06
6,00	7	0,775	3,64	4,69	181,90	234,57
6,20	5	0,774	2,59	3,35	129,64	167,55
6,40	4	0,772	2,07	2,68	103,48	134,04
6,60	5	0,770	2,44	3,17	121,97	158,32
6,80	7	0,769	3,41	4,43	170,40	221,65
7,00	6	0,767	2,92	3,80	145,75	189,99
7,20	5	0,766	2,42	3,17	121,22	158,32
7,40	4	0,764	1,94	2,53	96,79	126,66
7,60	4	0,763	1,83	2,40	91,56	120,05
7,80	7	0,761	3,20	4,20	159,94	210,09
8,00	7	0,760	3,19	4,20	159,65	210,09
8,20	14	0,709	5,95	8,40	297,72	420,18
8,40	14	0,707	5,94	8,40	297,17	420,18
8,60	14	0,706	5,64	7,99	281,92	399,34
8,80	6	0,755	2,58	3,42	129,17	171,14
9,00	6	0,753	2,58	3,42	128,96	171,14
9,20	10	0,752	4,29	5,70	214,58	285,24
9,40	17	0,701	6,80	9,70	339,97	484,91
9,60	17	0,700	6,47	9,24	323,38	462,00
9,80	21	0,649	7,41	11,41	370,28	570,70
10,00	21	0,648	7,39	11,41	369,64	570,70
10,20	21	0,647	7,38	11,41	369,02	570,70
10,40	19	0,696	7,18	10,33	359,13	516,35
10,60	13	0,694	4,69	6,75	234,27	337,35
10,80	9	0,743	3,47	4,67	173,62	233,55
11,00	9	0,742	3,47	4,67	173,37	233,55
11,20	8	0,741	3,08	4,15	153,90	207,60
11,40	12	0,740	4,61	6,23	230,52	311,40
11,60	14	0,689	4,79	6,95	239,59	347,62
11,80	15	0,688	5,13	7,45	256,33	372,45
12,00	15	0,687	5,12	7,45	255,95	372,45
12,20	9	0,736	3,29	4,47	164,52	223,47
12,40	10	0,735	3,65	4,97	182,54	248,30
12,60	10	0,734	3,49	4,76	174,74	238,02
12,80	13	0,683	4,23	6,19	211,38	309,43
13,00	15	0,682	4,87	7,14	243,53	357,03
13,20	17	0,681	5,51	8,09	275,58	404,64
13,40	33	0,580	9,11	15,71	455,59	785,47
13,60	24	0,629	6,90	10,97	345,02	548,55
13,80	23	0,628	6,60	10,51	330,08	525,69
14,00	70	0,527	16,86	32,00	842,86	1599,94

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2
TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) riporto ghiaia	93,59	0,00-0,60	93,59	Meyerhof (1957)	100
Strato (2) sabbia limosa	5,41	0,60-8,00	5,41	Meyerhof (1957)	40,88
Strato (3) sabbia limosa con trovanti	21,74	8,00-13,80	21,74	Meyerhof (1957)	60,8
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) riporto ghiaia	93,59	0,00-0,60	93,59	Meyerhof (1965)	37,49
Strato (2) sabbia limosa	5,41	0,60-8,00	5,41	Meyerhof (1965)	31,84
Strato (3) sabbia limosa con trovanti	21,74	8,00-13,80	21,74	Meyerhof (1965)	37,58
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) riporto ghiaia	93,59	0,00-0,60	93,59	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	37,28
Strato (2) sabbia limosa	5,41	0,60-8,00	5,41	Schultze-Menzenbach	9,78
Strato (3) sabbia limosa con trovanti	21,74	8,00-13,80	21,74	Schultze-Menzenbach	35,43
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) riporto ghiaia	93,59	0,00-0,60	93,59	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	21,55
Strato (2) sabbia limosa	5,41	0,60-8,00	5,41	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	3,78
Strato (3) sabbia limosa con trovanti	21,74	8,00-13,80	21,74	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	7,07
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) riporto ghiaia	93,59	0,00-0,60	93,59	Classificazione A.G.I	MOLTO ADDENSATO
Strato (2) sabbia limosa	5,41	0,60-8,00	5,41	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3) sabbia limosa con trovanti	21,74	8,00-13,80	21,74	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) riporto ghiaia	93,59	0,00-0,60	93,59	Meyerhof ed altri	24,52
Strato (2) sabbia limosa	5,41	0,60-8,00	5,41	Meyerhof ed altri	15,30
Strato (3) sabbia limosa con trovanti	21,74	8,00-13,80	21,74	Meyerhof ed altri	19,91
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume saturo

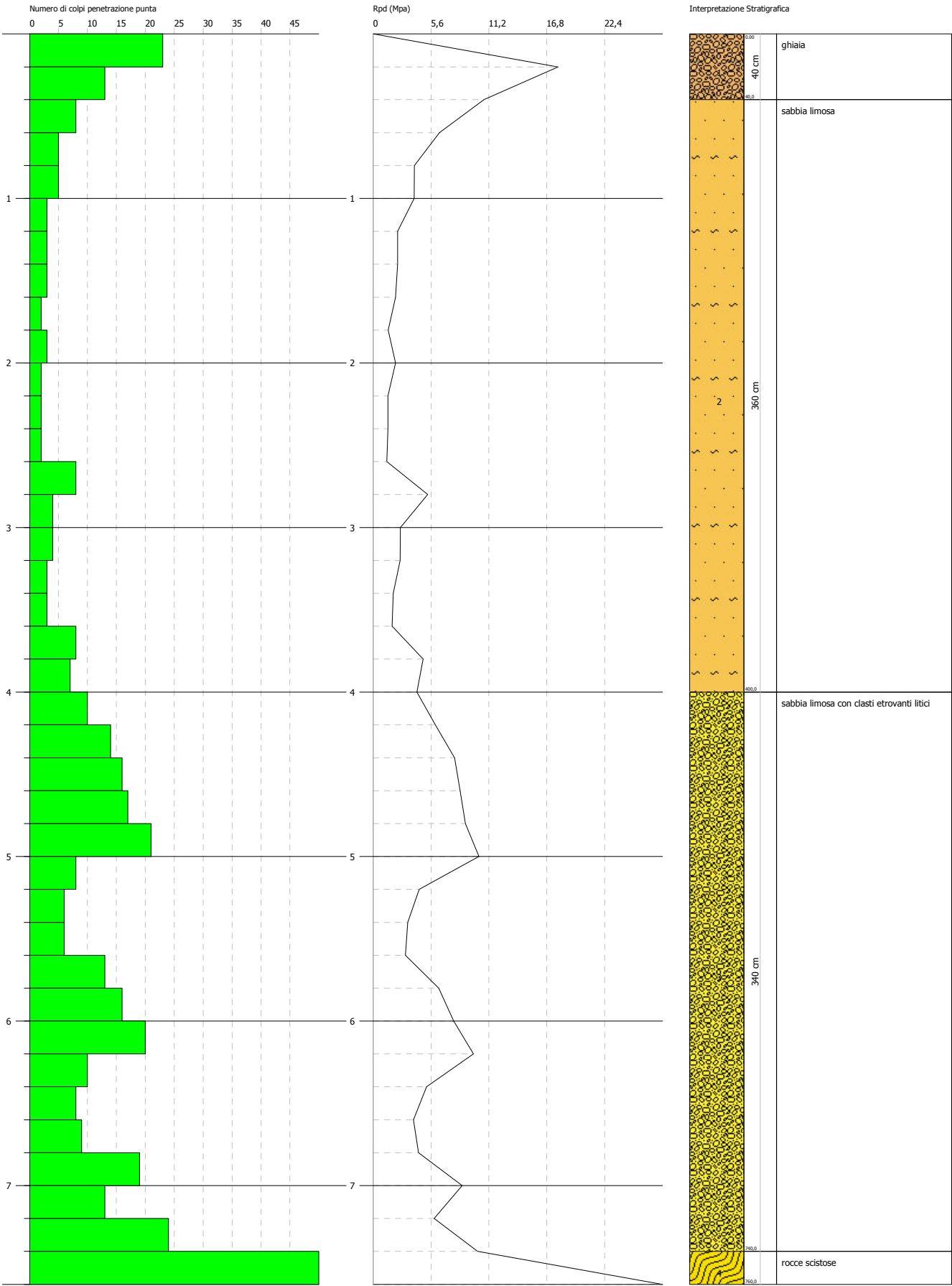
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Strato (1) riporto ghiaia	93,59	0,00-0,60	93,59	Terzaghi-Peck 1948-1967	21,97
Strato (2) sabbia limosa	5,41	0,60-8,00	5,41	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,53
Strato (3) sabbia limosa con trovanti	21,74	8,00-13,80	21,74	Terzaghi-Peck 1948-1967	20,92
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Provincia di Massa Carrara
Cantiere: Fosdinovo
Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 4

Data:

Scala 1:33

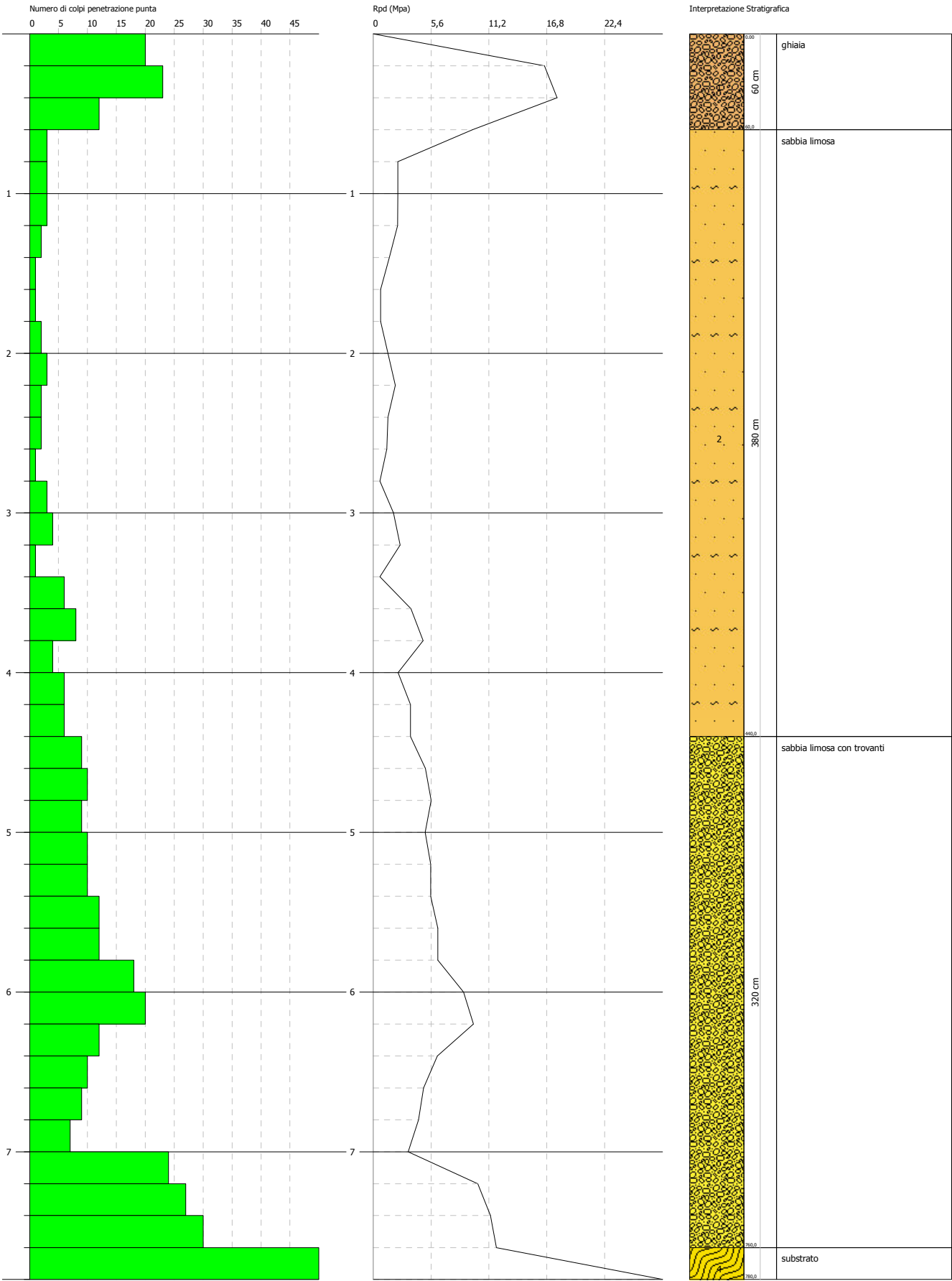


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: Provincia di Massa Carrara
Cantiere: Fosdinovo
Località: Strada Fosdinovo Marciasso sito 4

Data: 04/01/2017

Scala 1:34



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Comune di Fosdinovo; Cantiere: Fosdinovo; Località: Strada Fosdinovo Marciasso sito 4
Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH TG 63-200 PAGANI

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	0,63 Kg
Diametro punta conica	51,00 mm
Area di base punta	20,43 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,31 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,40 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,47
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

(DYNAMIC PROBING) DPSH – DPM (... sept ecc.)

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data

Profondità prova 7,60 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	23	0,755	17,88	23,70	894,22	1184,98
0,40	13	0,801	10,73	13,40	536,33	669,77
0,60	8	0,847	6,41	7,57	320,40	378,28
0,80	5	0,843	3,99	4,73	199,38	236,42
1,00	5	0,840	3,97	4,73	198,54	236,42
1,20	3	0,836	2,37	2,84	118,63	141,85
1,40	3	0,833	2,36	2,84	118,15	141,85
1,60	3	0,830	2,17	2,62	108,74	131,08
1,80	2	0,826	1,44	1,75	72,21	87,39
2,00	3	0,823	2,16	2,62	107,90	131,08
2,20	2	0,820	1,43	1,75	71,67	87,39
2,40	2	0,817	1,43	1,75	71,41	87,39

2,60	2	0,814	1,32	1,62	66,13	81,22
2,80	8	0,811	5,27	6,50	263,60	324,86
3,00	4	0,809	2,63	3,25	131,35	162,43
3,20	4	0,806	2,62	3,25	130,92	162,43
3,40	3	0,803	1,96	2,44	97,87	121,82
3,60	3	0,801	1,82	2,28	91,13	113,79
3,80	8	0,798	4,85	6,07	242,27	303,44
4,00	7	0,796	4,23	5,31	211,35	265,51
4,20	10	0,794	6,02	7,59	301,05	379,30
4,40	14	0,741	7,87	10,62	393,71	531,02
4,60	16	0,739	8,42	11,39	420,87	569,33
4,80	17	0,737	8,92	12,10	445,88	604,91
5,00	21	0,685	10,24	14,94	511,88	747,24
5,20	8	0,783	4,46	5,69	222,89	284,66
5,40	6	0,781	3,34	4,27	166,75	213,50
5,60	6	0,779	3,13	4,02	156,65	201,06
5,80	13	0,727	6,34	8,71	316,82	435,63
6,00	16	0,725	7,78	10,72	388,97	536,16
6,20	20	0,724	9,70	13,40	485,04	670,20
6,40	10	0,772	5,17	6,70	258,70	335,10
6,60	8	0,770	3,90	5,07	195,15	253,32
6,80	9	0,769	4,38	5,70	219,08	284,98
7,00	19	0,717	8,63	12,03	431,48	601,63
7,20	13	0,716	5,89	8,23	294,59	411,64
7,40	24	0,664	10,09	15,20	504,73	759,96
7,60	100	0,563	33,78	60,03	1688,82	3001,26

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) ghiaia	26,46	0.00-0,40	26,46	Meyerhof (1957)	100
Strato (2) sabbia limosa	6,13	0,40-4,00	6,13	Meyerhof (1957)	48,89
Strato (3) sabbia limosa con clasti e trovanti litici	19,89	4,00-7,40	19,89	Meyerhof (1957)	67,5
Strato (4) rocce scistose	Da altra caratterizzazione				

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) ghiaia	26,46	0.00-0,40	26,46	Meyerhof (1965)	38,84
Strato (2) sabbia limosa	6,13	0,40-4,00	6,13	Meyerhof (1965)	32,14
Strato (3) sabbia limosa con clasti e trovanti litici	19,89	4,00-7,40	19,89	Meyerhof (1965)	37,04
Strato (4) rocce scistose	Da altra caratterizzazione				

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) ghiaia	26,46	0.00-0,40	26,46	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	15,56
Strato (2) sabbia limosa	6,13	0,40-4,00	6,13	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	8,98
Strato (3) sabbia limosa con clasti ritrovanti litici	19,89	4,00-7,40	19,89	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	13,43
Strato (4) rocce scistose	Da altra caratterizzazione				

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) ghiaia	26,46	0.00-0,40	26,46	Begemann (1974)	8,02
Strato (2) sabbia limosa	6,13	0,40-4,00	6,13	Begemann (1974)	3,93
Strato (3) sabbia limosa con clasti ritrovanti litici	19,89	4,00-7,40	19,89	Begemann (1974)	6,70
Strato (4) rocce scistose	Da altra caratterizzazione				

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) ghiaia	26,46	0.00-0,40	26,46	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (2) sabbia limosa	6,13	0,40-4,00	6,13	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3) sabbia limosa con clasti ritrovanti litici	19,89	4,00-7,40	19,89	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (4) rocce scistose	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) ghiaia	26,46	0.00-0,40	26,46	Meyerhof ed altri	20,59
Strato (2) sabbia limosa	6,13	0,40-4,00	6,13	Meyerhof ed altri	15,59
Strato (3) sabbia limosa con clasti ritrovanti litici	19,89	4,00-7,40	19,89	Meyerhof ed altri	19,52
Strato (4) rocce scistose	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Strato (1) ghiaia	26,46	0,00-0,40	26,46	Terzaghi-Peck 1948-1967	20,81
Strato (2) sabbia limosa	6,13	0,40-4,00	6,13	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,53
Strato (3) sabbia limosa con clasti ritrovanti litici	19,89	4,00-7,40	19,89	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,62
Strato (4) rocce scistose	Da altra caratterizzazione				

PROVA ... Nr.2

Strumento utilizzato...

DPSH TG 63-200 PAGANI

Prova eseguita in data

04/01/2017

Profondità prova

7,80 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,20	20	0,805	16,58	20,61	829,10	1030,41
0,40	23	0,751	17,79	23,70	889,65	1184,98
0,60	12	0,847	9,61	11,35	480,61	567,42
0,80	3	0,843	2,39	2,84	119,63	141,85
1,00	3	0,840	2,38	2,84	119,12	141,85
1,20	3	0,836	2,37	2,84	118,63	141,85
1,40	2	0,833	1,58	1,89	78,76	94,57
1,60	1	0,830	0,72	0,87	36,25	43,69
1,80	1	0,826	0,72	0,87	36,10	43,69
2,00	2	0,823	1,44	1,75	71,93	87,39
2,20	3	0,820	2,15	2,62	107,50	131,08
2,40	2	0,817	1,43	1,75	71,41	87,39
2,60	2	0,814	1,32	1,62	66,13	81,22
2,80	1	0,811	0,66	0,81	32,95	40,61
3,00	3	0,809	1,97	2,44	98,52	121,82
3,20	4	0,806	2,62	3,25	130,92	162,43
3,40	1	0,803	0,65	0,81	32,62	40,61
3,60	6	0,801	3,65	4,55	182,26	227,58
3,80	8	0,798	4,85	6,07	242,27	303,44
4,00	4	0,796	2,42	3,03	120,77	151,72
4,20	6	0,794	3,61	4,55	180,63	227,58
4,40	6	0,791	3,60	4,55	180,11	227,58
4,60	9	0,789	5,06	6,40	252,75	320,25
4,80	10	0,787	5,60	7,12	280,07	355,83
5,00	9	0,785	5,03	6,40	251,40	320,25
5,20	10	0,783	5,57	7,12	278,62	355,83
5,40	10	0,781	5,56	7,12	277,92	355,83
5,60	12	0,779	6,27	8,04	313,30	402,12
5,80	12	0,777	6,25	8,04	312,56	402,12
6,00	18	0,725	8,75	12,06	437,59	603,18
6,20	20	0,724	9,70	13,40	485,04	670,20
6,40	12	0,772	6,21	8,04	310,44	402,12
6,60	10	0,770	4,88	6,33	243,93	316,65
6,80	9	0,769	4,38	5,70	219,08	284,98
7,00	7	0,767	3,40	4,43	170,05	221,65

7,20	24	0,666	10,12	15,20	505,86	759,96
7,40	27	0,664	11,36	17,10	567,82	854,95
7,60	30	0,663	11,93	18,01	596,68	900,38
7,80	100	0,561	33,69	60,03	1684,57	3001,26

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.2

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) ghiaia	26,95	0,00-0,60	26,95	Meyerhof (1957)	100
Strato (2) sabbia limosa	4,72	0,60-4,40	4,72	Meyerhof (1957)	42,61
Strato (3) sabbia limosa con trovanti	19,51	4,40-7,40	19,51	Meyerhof (1957)	70,17
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) ghiaia	26,95	0,00-0,60	26,95	Meyerhof (1965)	38,96
Strato (2) sabbia limosa	4,72	0,60-4,40	4,72	Meyerhof (1965)	31,55
Strato (3) sabbia limosa con trovanti	19,51	4,40-7,40	19,51	Meyerhof (1965)	37,38
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) ghiaia	26,95	0,00-0,60	26,95	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	15,71
Strato (2) sabbia limosa	4,72	0,60-4,40	4,72	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	8,52
Strato (3) sabbia limosa con trovanti	19,51	4,40-7,40	19,51	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	13,31
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) ghiaia	26,95	0,00-0,60	26,95	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	8,12
Strato (2) sabbia limosa	4,72	0,60-4,40	4,72	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	3,64
Strato (3) sabbia limosa con trovanti	19,51	4,40-7,40	19,51	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	6,62
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) ghiaia	26,95	0,00-0,60	26,95	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (2) sabbia limosa	4,72	0,60-4,40	4,72	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (3) sabbia limosa con trovanti	19,51	4,40-7,40	19,51	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) ghiaia	26,95	0,00-0,60	26,95	Meyerhof ed altri	20,59
Strato (2) sabbia limosa	4,72	0,60-4,40	4,72	Meyerhof ed altri	15,00
Strato (3) sabbia limosa con trovanti	19,51	4,40-7,40	19,51	Meyerhof ed altri	19,42
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume saturo

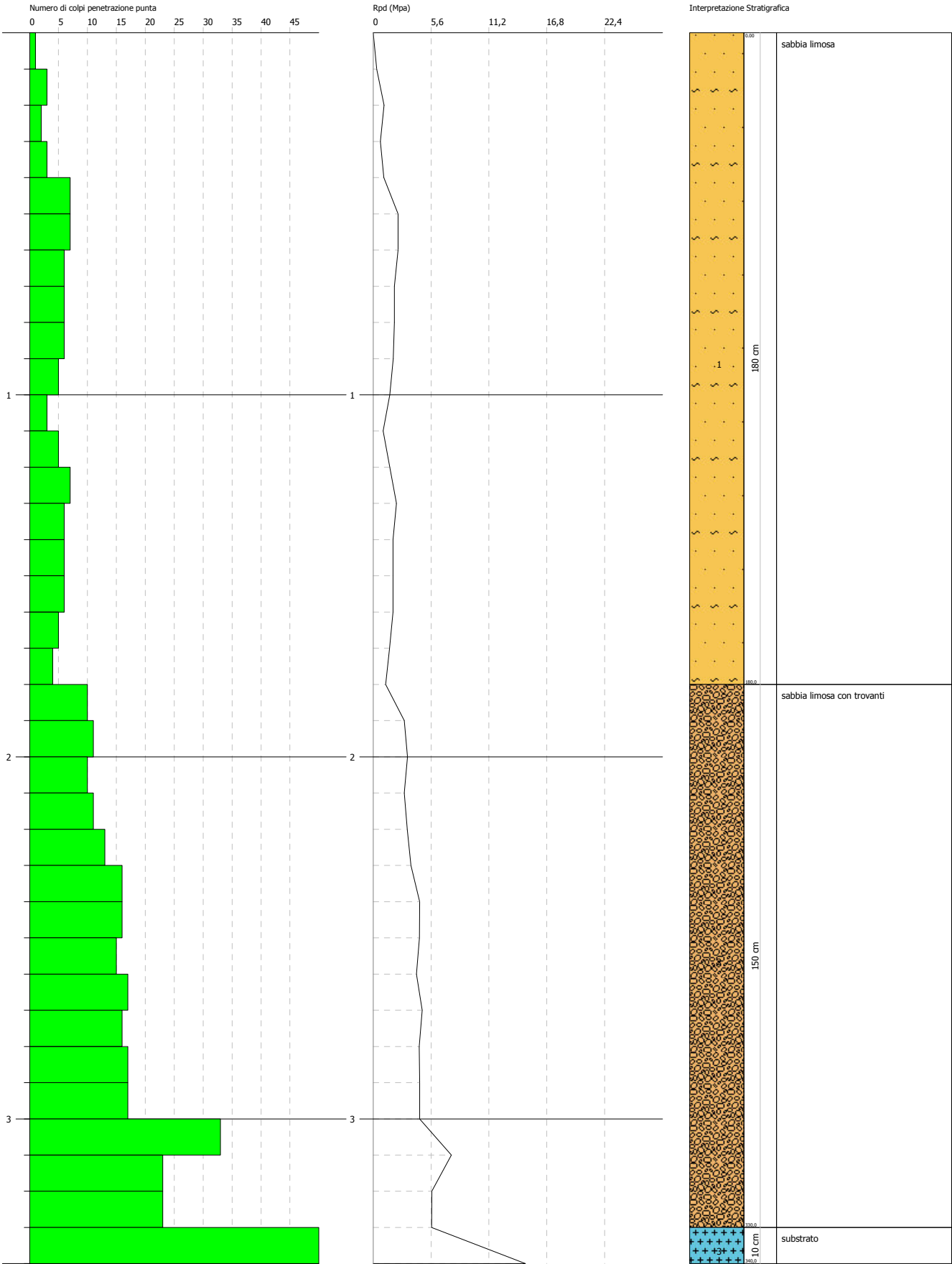
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Strato (1) ghiaia	26,95	0,00-0,60	26,95	Terzaghi-Peck 1948-1967	20,81
Strato (2) sabbia limosa	4,72	0,60-4,40	4,72	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,53
Strato (3) sabbia limosa con trovanti	19,51	4,40-7,40	19,51	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,62
Strato (4) substrato	Da altra caratterizzazione				

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DL-30 (60°)

Committente: Provincia di Massa Carrara
Cantiere: Fosdinovo
Località: Strada Fosdinovo Marciasso sito 5

Data:

Scala 1:15



SIGNATURE 1

SIGNATURE 2

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Comune di Fosdinovo; Cantiere: Fosdinovo; Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 5

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DL-30 (60°)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	11 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2,4 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,783
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

(DYNAMIC PROBING) DPSH – DPM (... *scpt ecc.*)

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...

DL-30 (60°)

Prova eseguita in data

Profondità prova

3,70 mt

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,10	1	0,857	0,35	0,41	17,42	20,34
0,20	3	0,855	1,04	1,22	52,14	61,01
0,30	2	0,853	0,69	0,81	34,68	40,67
0,40	3	0,851	1,04	1,22	51,90	61,01
0,50	3	0,849	1,04	1,22	51,79	61,01
0,60	5	0,847	1,72	2,03	86,13	101,68
0,70	4	0,845	1,37	1,63	68,75	81,35
0,80	5	0,843	1,72	2,03	85,75	101,68
0,90	4	0,842	1,30	1,54	64,87	77,08
1,00	4	0,840	1,29	1,54	64,73	77,08
1,10	4	0,838	1,29	1,54	64,60	77,08
1,20	5	0,836	1,61	1,93	80,58	96,35
1,30	4	0,835	1,29	1,54	64,33	77,08

1,40	4	0,833	1,28	1,54	64,20	77,08
1,50	4	0,831	1,28	1,54	64,07	77,08
1,60	4	0,830	1,28	1,54	63,94	77,08
1,70	6	0,828	1,91	2,31	95,73	115,62
1,80	13	0,776	3,89	5,01	194,48	250,52
1,90	23	0,725	6,10	8,42	305,23	421,16
2,00	34	0,673	8,38	12,45	419,11	622,58
2,10	23	0,722	6,08	8,42	303,93	421,16
2,20	12	0,820	3,60	4,39	180,21	219,73
2,30	15	0,769	4,22	5,49	211,12	274,67
2,40	12	0,817	3,59	4,39	179,55	219,73
2,50	10	0,816	2,99	3,66	149,36	183,11
2,60	13	0,764	3,64	4,76	181,92	238,05
2,70	13	0,763	3,63	4,76	181,59	238,05
2,80	16	0,761	4,46	5,86	223,08	292,98
2,90	18	0,760	4,77	6,28	238,63	313,97
3,00	17	0,759	4,50	5,93	224,97	296,53
3,10	17	0,757	4,49	5,93	224,57	296,53
3,20	18	0,756	4,75	6,28	237,36	313,97
3,30	17	0,755	4,48	5,93	223,79	296,53
3,40	23	0,703	5,64	8,02	282,19	401,18
3,50	27	0,702	6,61	9,42	330,67	470,95
3,60	35	0,651	7,95	12,21	397,35	610,49
3,70	70	0,600	14,64	24,42	732,15	1220,99

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) sabbia limosa	2,89	0.00-1,60	2,89	Meyerhof (1957)	39,33
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	14,17	1,60-3,60	14,17	Meyerhof (1957)	75,72
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) sabbia limosa	2,89	0.00-1,60	2,89	Meyerhof (1965)	31,17
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	14,17	1,60-3,60	14,17	Meyerhof (1965)	34,75
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) sabbia limosa	2,89	0.00-1,60	2,89	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	7,93
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	14,17	1,60-3,60	14,17	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	11,58
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) sabbia limosa	2,89	0.00-1,60	2,89	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	3,28
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	14,17	1,60-3,60	14,17	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	5,55
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) sabbia limosa	2,89	0.00-1,60	2,89	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	14,17	1,60-3,60	14,17	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) sabbia limosa	2,89	0.00-1,60	2,89	Meyerhof ed altri	14,12
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	14,17	1,60-3,60	14,17	Meyerhof ed altri	18,24
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume saturo

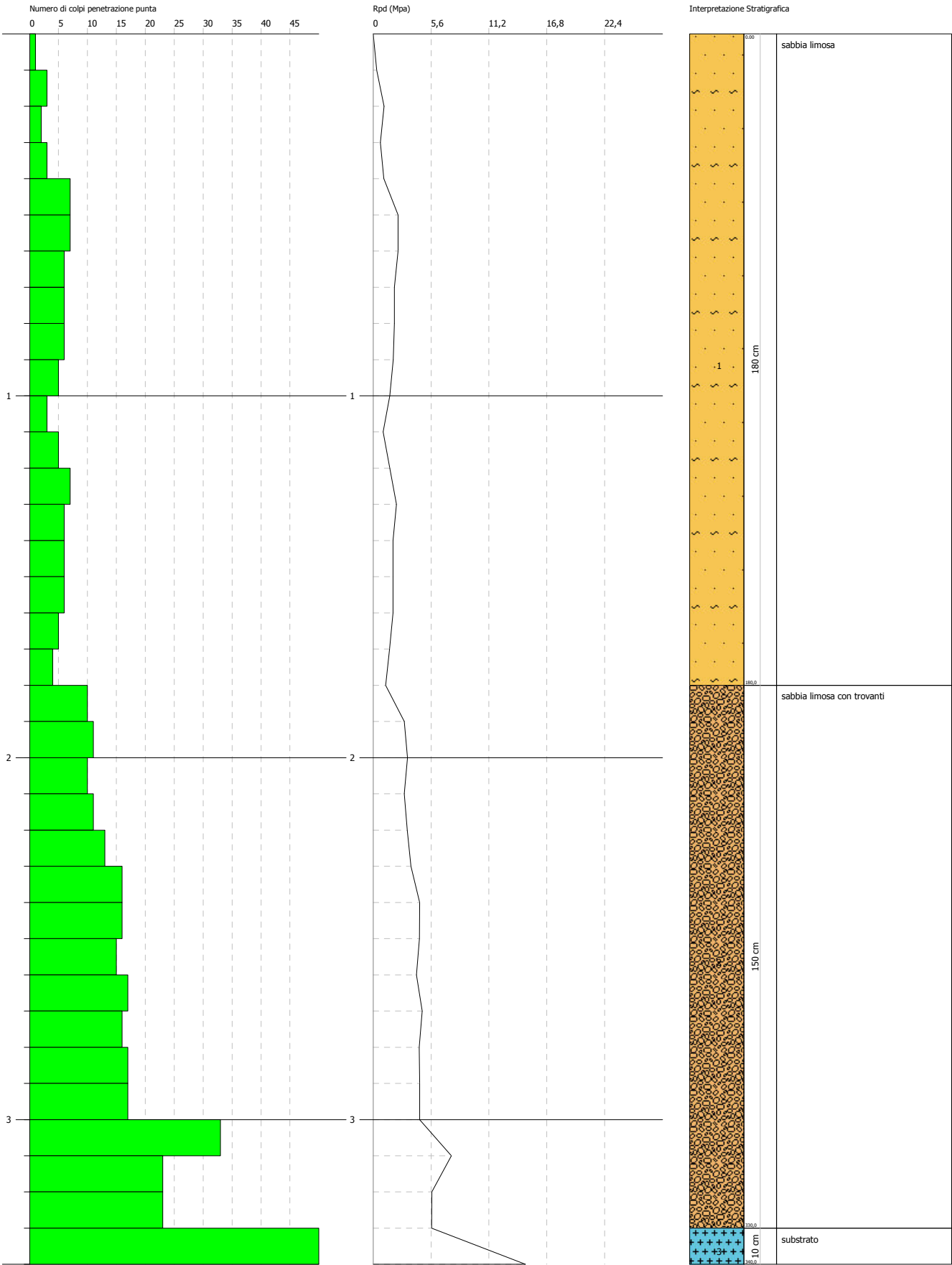
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Strato (1) sabbia limosa	2,89	0.00-1,60	2,89	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,34
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	14,17	1,60-3,60	14,17	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,02
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DL-30 (60°)

Committente: Provincia di Massa Carrara
Cantiere: Fosdinovo
Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 8

Data:

Scala 1:15



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Comune di Fosdinovo; Cantiere: Fosdinovo; Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 8
Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DL-30 (60°)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	11 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2,4 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,783
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE (DYNAMIC PROBING) DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...

DL-30 (60°)

Prova eseguita in data

Profondità prova

3,40 mt

Falda non rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,10	1	0,857	0,35	0,41	17,42	20,34
0,20	3	0,855	1,04	1,22	52,14	61,01
0,30	2	0,853	0,69	0,81	34,68	40,67
0,40	3	0,851	1,04	1,22	51,90	61,01
0,50	7	0,849	2,42	2,85	120,84	142,35
0,60	7	0,847	2,41	2,85	120,58	142,35
0,70	6	0,845	2,06	2,44	103,12	122,02
0,80	6	0,843	2,06	2,44	102,90	122,02
0,90	6	0,842	1,95	2,31	97,30	115,62
1,00	5	0,840	1,62	1,93	80,91	96,35
1,10	3	0,838	0,97	1,16	48,45	57,81

1,20	5	0,836	1,61	1,93	80,58	96,35
1,30	7	0,835	2,25	2,70	112,58	134,90
1,40	6	0,833	1,93	2,31	96,30	115,62
1,50	6	0,831	1,92	2,31	96,11	115,62
1,60	6	0,830	1,92	2,31	95,92	115,62
1,70	5	0,828	1,60	1,93	79,77	96,35
1,80	4	0,826	1,27	1,54	63,70	77,08
1,90	10	0,825	3,02	3,66	151,02	183,11
2,00	11	0,823	3,32	4,03	165,81	201,42
2,10	10	0,822	3,01	3,66	150,45	183,11
2,20	11	0,820	3,30	4,03	165,19	201,42
2,30	13	0,769	3,66	4,76	182,97	238,05
2,40	16	0,767	4,50	5,86	224,76	292,98
2,50	16	0,766	4,49	5,86	224,33	292,98
2,60	15	0,764	4,20	5,49	209,91	274,67
2,70	17	0,763	4,75	6,23	237,46	311,29
2,80	16	0,761	4,46	5,86	223,08	292,98
2,90	17	0,760	4,51	5,93	225,37	296,53
3,00	17	0,759	4,50	5,93	224,97	296,53
3,10	33	0,657	7,57	11,51	378,36	575,61
3,20	23	0,706	5,66	8,02	283,23	401,18
3,30	23	0,705	5,65	8,02	282,71	401,18
3,40	70	0,603	14,73	24,42	736,75	1220,99

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) sabbia limosa	3,83	0.00-1,80	3,83	Meyerhof (1957)	44,85
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	12,94	1,80-3,30	12,94	Meyerhof (1957)	70,98
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) sabbia limosa	3,83	0.00-1,80	3,83	Meyerhof (1965)	31,17
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	12,94	1,80-3,30	12,94	Meyerhof (1965)	34,75
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) sabbia limosa	3,83	0.00-1,80	3,83	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	8,23
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	12,94	1,80-3,30	12,94	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	11,18
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) sabbia limosa	3,83	0.00-1,80	3,83	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	3,46
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	12,94	1,80-3,30	12,94	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	5,30
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) sabbia limosa	3,83	0.00-1,80	3,83	Classificazione A.G.I	SCIOLTO
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	12,94	1,80-3,30	12,94	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) sabbia limosa	3,83	0.00-1,80	3,83	Meyerhof ed altri	14,61
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	12,94	1,80-3,30	12,94	Meyerhof ed altri	17,85
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume saturo

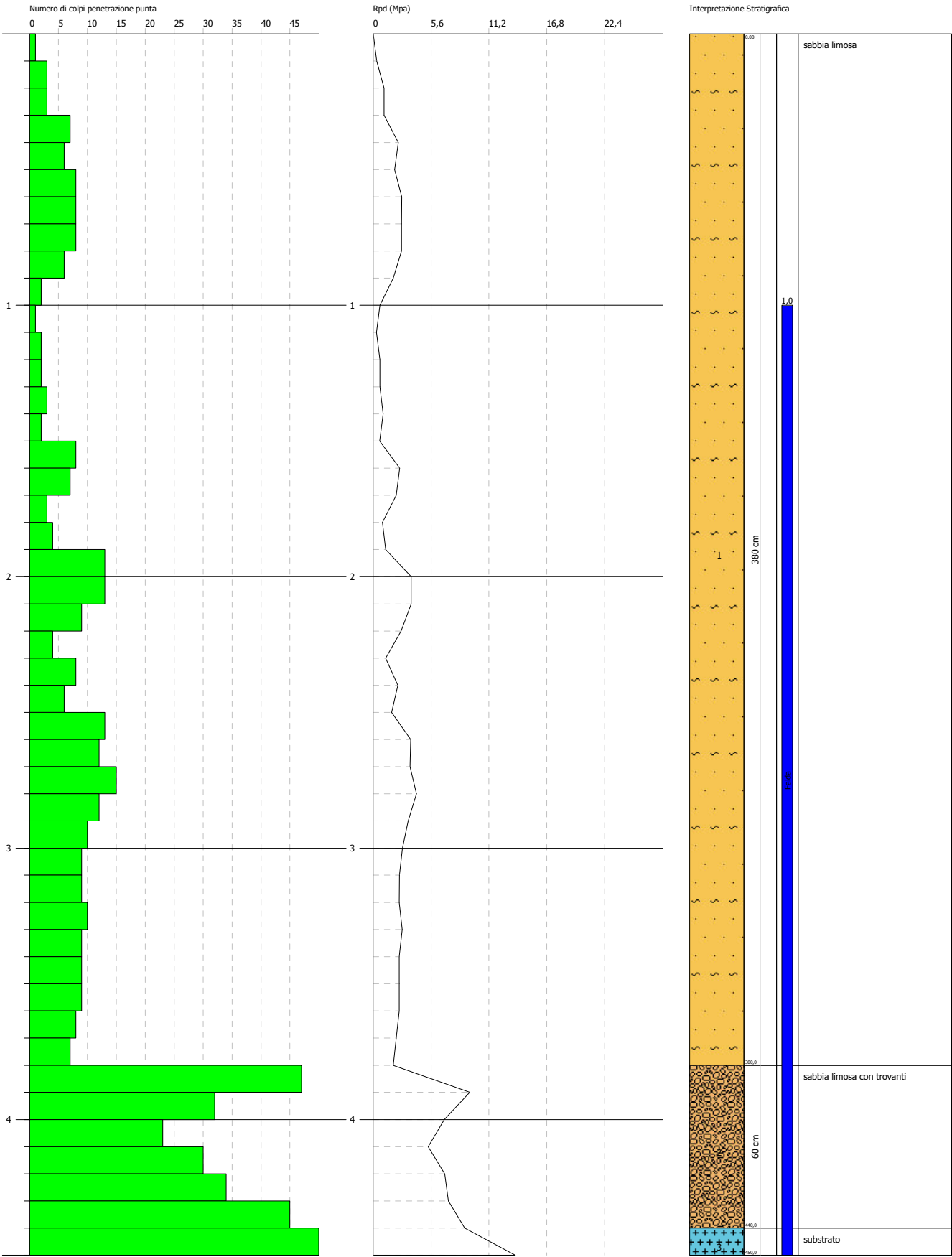
Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Strato (1) sabbia limosa	3,83	0.00-1,80	3,83	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,44
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	12,94	1,80-3,30	12,94	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,02
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DL-30 (60°)

Committente: Provincia di Massa Carrara
Cantiere: Fosdinovo
Località: Strada Fosdinovo Marciato sito 12

Data:

Scala 1:20



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Comune di Fosdinovo; Cantiere: Fosdinovo; Località: Strada Fosdinovo Marciasso sito 12

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DL-30 (60°)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	11 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2,4 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,783
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE

(DYNAMIC PROBING) DPSH – DPM (... scpt ecc.)

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL);
- tipo MEDIO (DPM);
- tipo PESANTE (DPH);
- tipo SUPERPESANTE (DPSH).

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof. max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...

DL-30 (60°)

Prova eseguita in data

11/02/2008 09:00:20

Profondità prova

4,50 mt

Falda rilevata

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Mpa)	Res. dinamica (Mpa)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (KPa)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (KPa)
0,10	1	0,857	0,35	0,41	17,42	20,34
0,20	3	0,855	1,04	1,22	52,14	61,01
0,30	3	0,853	1,04	1,22	52,02	61,01
0,40	7	0,851	2,42	2,85	121,11	142,35
0,50	6	0,849	2,07	2,44	103,58	122,02
0,60	8	0,847	2,76	3,25	137,80	162,69
0,70	8	0,845	2,75	3,25	137,50	162,69
0,80	8	0,843	2,74	3,25	137,20	162,69
0,90	6	0,842	1,95	2,31	97,30	115,62
1,00	2	0,840	0,65	0,77	32,37	38,54
1,10	1	0,838	0,32	0,39	16,15	19,27
1,20	2	0,836	0,64	0,77	32,23	38,54
1,30	2	0,835	0,64	0,77	32,16	38,54
1,40	3	0,833	0,96	1,16	48,15	57,81

1,50	2	0,831	0,64	0,77	32,04	38,54
1,60	8	0,830	2,56	3,08	127,89	154,17
1,70	7	0,828	2,23	2,70	111,68	134,90
1,80	3	0,826	0,96	1,16	47,77	57,81
1,90	4	0,825	1,21	1,46	60,41	73,24
2,00	13	0,773	3,68	4,76	184,05	238,05
2,10	13	0,772	3,67	4,76	183,69	238,05
2,20	9	0,820	2,70	3,30	135,16	164,80
2,30	4	0,819	1,20	1,46	59,96	73,24
2,40	8	0,817	2,39	2,93	119,70	146,49
2,50	6	0,816	1,79	2,20	89,62	109,87
2,60	13	0,764	3,64	4,76	181,92	238,05
2,70	12	0,813	3,57	4,39	178,60	219,73
2,80	15	0,761	4,18	5,49	209,14	274,67
2,90	12	0,810	3,39	4,19	169,55	209,31
3,00	10	0,809	2,82	3,49	141,05	174,43
3,10	9	0,807	2,53	3,14	126,74	156,98
3,20	9	0,806	2,53	3,14	126,53	156,98
3,30	10	0,805	2,81	3,49	140,36	174,43
3,40	9	0,803	2,52	3,14	126,12	156,98
3,50	9	0,802	2,52	3,14	125,92	156,98
3,60	9	0,801	2,51	3,14	125,72	156,98
3,70	8	0,800	2,23	2,79	111,58	139,54
3,80	7	0,798	1,95	2,44	97,49	122,10
3,90	47	0,597	9,35	15,65	467,43	782,68
4,00	32	0,646	6,89	10,66	344,26	532,89
4,10	23	0,695	5,32	7,66	266,14	383,01
4,20	30	0,694	6,93	9,99	346,56	499,58
4,30	34	0,643	7,28	11,32	363,81	566,20
4,40	45	0,591	8,86	14,99	443,21	749,38
4,50	70	0,590	13,76	23,31	688,14	1165,70

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA Nr.1

TERRENI INCOERENT I

Densità relativa

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato (1) sabbia limosa	5,54	0.00-3,80	5,54	Meyerhof (1957)	51,12
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	27,54	3,80-4,40	21,27	Meyerhof (1957)	90,95
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Angolo di resistenza al taglio

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato (1) sabbia limosa	5,54	0.00-3,80	5,54	Meyerhof (1965)	31,9
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	27,54	3,80-4,40	21,27	Meyerhof (1965)	37,44
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo di Young

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Mpa)
Strato (1) sabbia limosa	5,54	0.00-3,80	5,54	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	8,78
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	27,54	3,80-4,40	21,27	Schultze-Menzenbach Sabbia fina	20,80
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Modulo Edometrico

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo Edometrico (Mpa)
Strato (1) sabbia limosa	5,54	0.00-3,80	5,54	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	3,81
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	27,54	3,80-4,40	21,27	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	6,98
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Classificazione AGI

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato (1) sabbia limosa	5,54	0.00-3,80	5,54	Classificazione A.G.I	POCO ADDENSATO
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	27,54	3,80-4,40	21,27	Classificazione A.G.I	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità di Volume (KN/m³)
Strato (1) sabbia limosa	5,54	0.00-3,80	5,54	Meyerhof ed altri	15,30
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	27,54	3,80-4,40	21,27	Meyerhof ed altri	19,81
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Peso unità di volume saturo

Descrizione	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Peso Unità Volume Saturo (KN/m³)
Strato (1) sabbia limosa	5,54	0.00-3,80	5,54	Terzaghi-Peck 1948-1967	18,53
Strato (2) sabbia limosa con trovanti	27,54	3,80-4,40	21,27	Terzaghi-Peck 1948-1967	19,52
Strato (3) substrato	Da altra caratterizzazione				

Comune di Fosdinovo

PROVINCIA DI MASSA CARRARA

Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciaso

Risultati indagini geofisiche

ELABORATO:

-

SCALA:

-

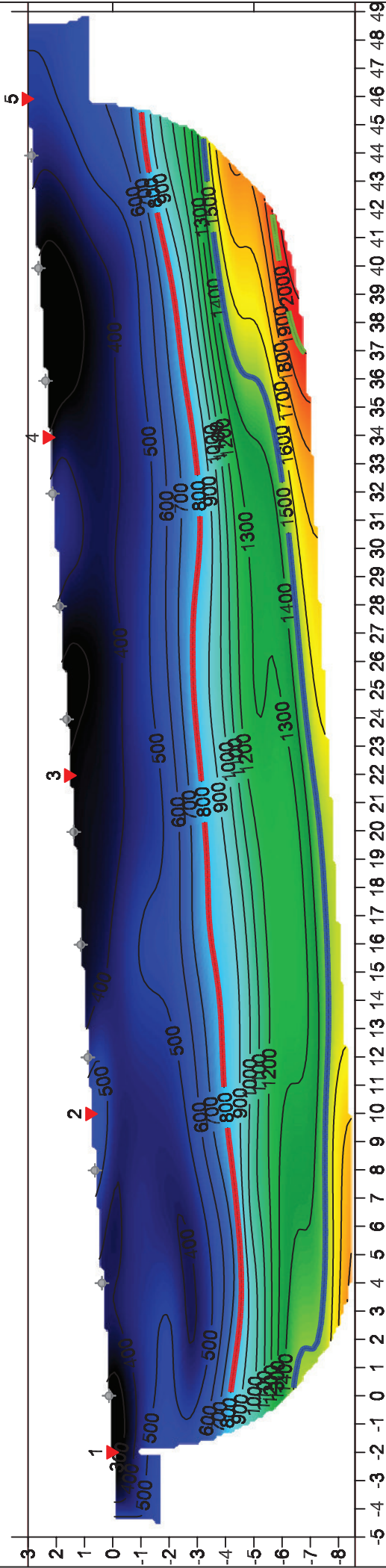
Committente:
Comune di Fosdinovo

A cura di:
Dr. Geol. Matteo Angiolini

maggio 2017

Dr. Geol. Matteo Angiolini
Via A. Corradi, 1
19020 BEVERINO (SP)
Tel. 0187.883282
Cell. 347.1280686
e-mail: matteoangiolini@yahoo.it
C.F.: NGL MTT 78 E 15 E 46 3T
P.iva: 01214470112

Sezione geofisica interpretata in onde P sito n°1 Stesa B1



Legenda

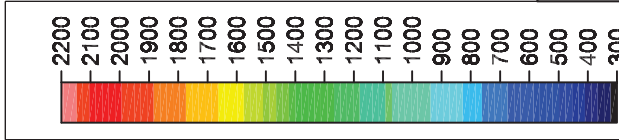
- 1

superficie topografica
- velocità assimilabili alla presenza di terreno detritico da poco a mediamente addensato/compatto
- 800m/s
- 1500m/s
- 2000m/s
- velocità assimilabili alla presenza di terreno detritico da mediamente addensato ad addensato o del substrato roccioso molto alterato e fratturato
- velocità assimilabili alla presenza del substrato roccioso mediamente alterato e fratturato
- velocità assimilabili alla presenza del substrato roccioso poco alterato e fratturato

3 shot

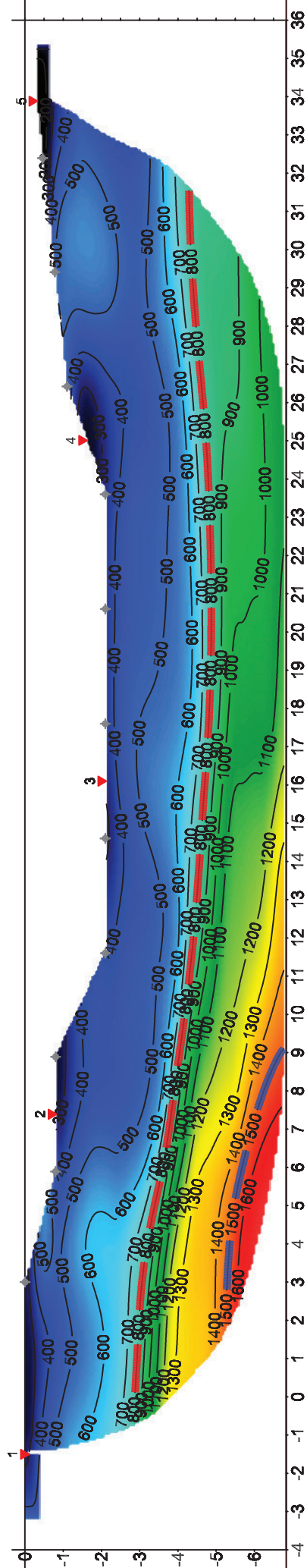
geofoni

scala 1:200



scala delle velocità
di propagazione
delle onde P in m/s

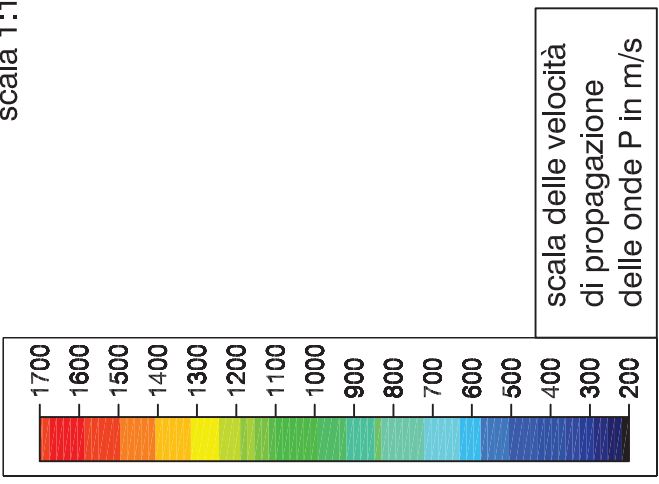
Sezione geofisica interpretata in onde P sito n°1 Stesa B2



Legenda

- 1 superficie topografica
- velocità assimilabili alla presenza di terreno detritico da poco a mediamente addensato/compatto
- 800m/s
- 1500m/s
- velocità assimilabili alla presenza del substrato roccioso mediamente alterato e fratturato
- 3 shot
- geofoni

scala 1:150



INDAGINI SISMICHE
M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves)
H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

RELAZIONE TECNICA

Committente: Comune di Fosdinovo

Località: Strada Provinciale n°10

Comune: FOSDINOVO (MS)

Indagini MASW1-HVSR2

INDICE

1.	INDAGINI SISMICHE MASW	3
2.	INDAGINI SISMICHE H. V. S. R.	3
3.	RISULTATI ANALISI CONGIUNTA MASW - H. V. S. R.....	4
	3.1 Elaborazione H.V.S.R. (singola)	4
	3.2 Elaborazione congiunta M.A.S.W. - H.V.S.R.	5
4.	CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)	6

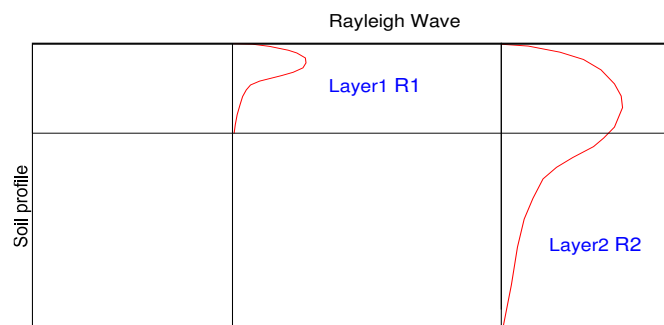
1. INDAGINI SISMICHE MASW

Le MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono una metodologia d'investigazione che permette di ricavare le velocità delle onde di taglio V_s con la profondità e permettono di conseguenza di determinare la categoria sismica di terreno (A, B, C, D, E, S1, S2) secondo quanto indicato nella nuova normativa sismica (OPCM 3274 del 20.03.2003 e s.m.i., D.M. 14.01.2008) e dagli Eurocodici 7 "Progettazione geotecnica" e 8 "Regole progettuali per le strutture antisismiche".

La misura delle velocità delle onde superficiali viene calcolata grazie all'utilizzo di stendimenti di sensori (geofoni) posti a distanze regolari sulla superficie del suolo da indagare.

La porzione che predomina nelle onde superficiali è costituita dalle onde di Rayleigh la cui velocità è correlata alla rigidezza e ai parametri elastici dei suoli attraversati.

E' importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive: le alte frequenze e quindi con lunghezze d'onda corta si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno mentre le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi così come di seguito illustrato.



La metodologia M.A.S.W. effettuata viene definita: *attiva* e prevede che le onde superficiali vengano generate in un punto noto ed in modo non casuale e registrate da stendimenti lineari di sensori.

La metodologia utilizzata permette di dettagliare il profilo delle velocità sismiche nei primi 30m da piano campagna da queste si ottiene infatti una curva dispersione per un range di frequenze normalmente comprese tra 5 e 70 Hz, la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche.

Il sistema di elaborazione con metodo MASW In generale prevede tre fasi:

- 1 calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
- 2 calcolo della velocità di fase apparente
- 3 individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s dal modello stratigrafico espresso tramite il profilo di velocità V_s .

2. INDAGINI SISMICHE H. V. S. R.

La presente tipologia d'indagine, definita "tecnica HVSR" (Horizontal to Vertical Spectral Ratio Metodo di Nakamura), prevede la registrazione dei microtremori sismici terrestri.

I microtremori terrestri, presenti ovunque sulla superficie terrestre, sono così definiti perché generati sia dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento, vulcani, movimenti nel sottosuolo, etc) che dall'attività antropica (strade, ferrovie, industrie, etc) e quindi collegati ad oscillazioni molto più piccole della superficie terrestre rispetto a quelle indotte dai terremoti.

Questa tecnica è definita quindi passiva, in quanto il "rumore" non è generato appositamente per l'indagine come ad esempio le energizzazioni per la sismica attiva.

Le sollecitazioni in oggetto si propagano a livello del bedrock attraverso onde di superficie (onde di Love, onde di Rayleigh etc) che sono caratterizzate da una legge di attenuazione poco sensibile alla distanza considerata.

In particolare queste sollecitazioni, giunte al bedrock presente sotto il sito di misura, subiscono anche diverse amplificazioni passando da un mezzo più rigido (strato molto addensato o consistente) ad un mezzo meno rigido (strato poco addensato o poco consistente).

Le frequenze che, attraversando uno specifico strato, subiscono il fenomeno della risonanza e che vengono amplificate maggiormente, forniscono informazioni sullo spessore dello strato, che guida questo fenomeno.

L'ampiezza della amplificazione dipende invece dal contrasto di rigidità tra i due strati attraversati.

Inserendo i dati registrati su un diagramma H/V (spessore/velocità) ed interpretandone l'andamento è quindi possibile avere indicazioni sullo spessore degli strati e sui contrasti di rigidità, previa una corretta "pulizia" del segnale eliminando i disturbi dovuti a limitrofe sollecitazioni antropiche.

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione tecnica	3 di 7

L'interpretazione di queste curve è tuttavia viziata dalla presenza di due incognite (spessore e velocità) per una sola equazione; per risolvere il problema è necessario procedere strato per strato e vincolare una di queste due incognite (grazie ad altri dati geologici o ad ipotesi di lavoro) per trovare l'altra; una volta risolto il primo strato, è possibile interpretare quelli sottostanti perché si conoscono, oltre alle frequenze, anche i fattori di amplificazione delle velocità.

Nell'ipotesi di investigare coperture "soffici" al di sopra di un basamento sismico rigido, è possibile stabilire una relazione tra lo spessore dello strato "soffice" h , la velocità media delle Onde S (V_s) e la frequenza di risonanza fondamentale (f_0) del sito attraverso la formula: $f_0 = V_s / 4h$.

Quindi ottenuto il valore f_0 dalle misure effettuate, avendo a disposizione dati provenienti da indagini pregresse (ad esempio valore V_s), è possibile stimare lo spessore dello strato "soffice" h , viceversa, conoscendo il dato h , si può risalire al valore di V_s medio dello strato.

Il software utilizzato WinMASW 3C 7.1 ricostruisce la curva sintetica H/V a partire dal modello sismostratigrafico proposto dall'operatore; quando la curva sintetica si accorda con quella sperimentale, significa che il modello sismico proposto è compatibile con la misura registrata.

Perché la prova sia attendibile non è necessaria una perfetta e completa sovrapposizione delle curve (quella sperimentale è viziata da interferenze di vario tipo), ma è sufficiente un buon accordo tra i picchi di amplificazione principali ed in particolare quelli più superficiali.

3. RISULTATI ANALISI CONGIUNTA MASW - H. V. S. R.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico PASI modello 16S24U e l'analisi dei dati acquisiti è stata effettuata con il software winMASW 3C 7.1.

- Per analisi MASW sono stati utilizzati N°12 geofoni verticali PASI con frequenza propria di 4.5 Hz. con interasse geofonico pari a 4,0m; sorgente: mazza battente da 8,5kg.
- Per analisi H.V.S.R. terna: geofono triassiale 2Hz fornito dalla Eliosoft, tempo di campionamento: 13minuti

3.1 Elaborazione H.V.S.R. (singola)

Sampling frequency (Hz): 62.5

Window length (sec): 18

Minimum frequency soundly determined [5 cycles]: 0.27778Hz

Length of analysed dataset (min): 8.7

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 0.9 (± 2.4)

Peak HVSR value: 9.8 (± 2.2)

Criteria for a reliable H/V curve

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: 0.916 > 0.55556 (OK)

#2. [$nc > 200$]: 577 > 200 (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

#1. [exists f_- in the range [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes, at frequency 0.3Hz (OK)

#2. [exists f_+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 1.3Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: 9.8 > 2 (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (NO)

#5. [$\sigma_A(f) < \epsilon(f_0)$]: 2.368 > 0.137 (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: 6.189 < 2 (NO)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters the results may change.

Relazione tecnica

show data reset

step#1 (optional) - deconvolute
 54Hz new frequency resample

step#2 - HV computation
 remove events both Rad & Tr clean axes
 18 window length (s) Min. freq.: 0.278Hz
 5 tapering (%) amplitude test removal
 15% spectral smoothing (triangular)
☒ show particle motion and all HVSRs
☒ full output compute

continuity

directivity analysis
 frequencies to 0.4 4.0 12.0 H compute

3D motion
☐ save video show

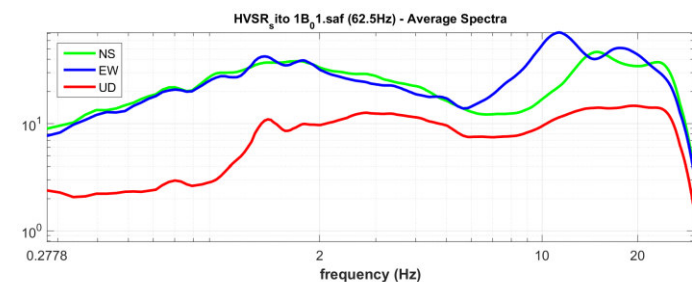
save - option#1: save HVSR as it is
 save HV from 0.278 to 60 H
 save HV curve (as it is)

save - option#2: picking HV curve
 pick HV curve save picked HV

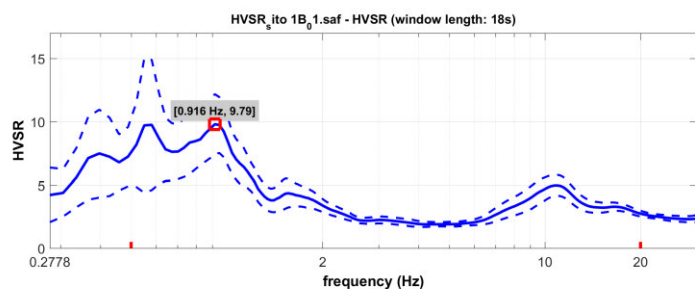
quick analysis (H/Vs/H)
 450 average Vs (m/s)
 80 depth of the bedrock
 1200 Vs of the bedrock
 clean compute

highlight a frequency
 draw highlight 10 Hz

directivity over time
 directivity in 60 s



open working folder
 show location
 field notes



Criteria for a reliable H/V curve

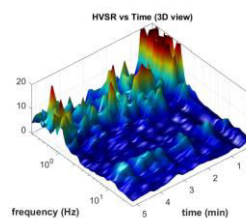
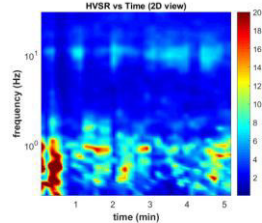
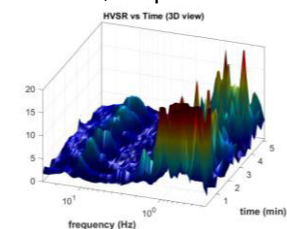
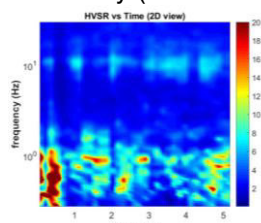
#1: OK
 #2: OK
 #3: OK

Criteria for a clear H/V peak [0.916 Hz]

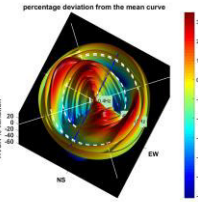
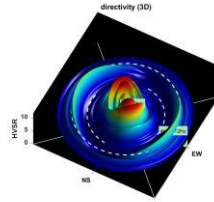
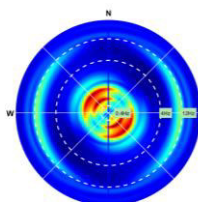
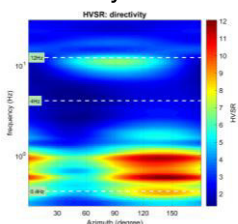
#1: OK
 #2: OK
 #3: OK
 #4: NO
 #5: NO
 #6: NO

To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and up

Continuity (Persistence) of the H/V Spectral Ratio

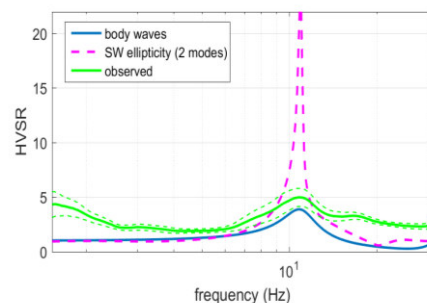
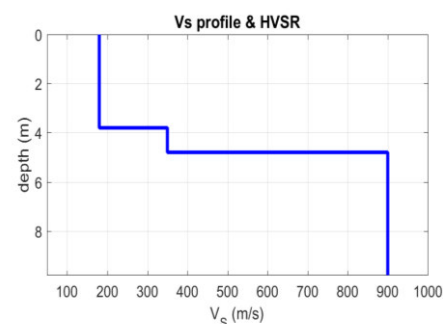
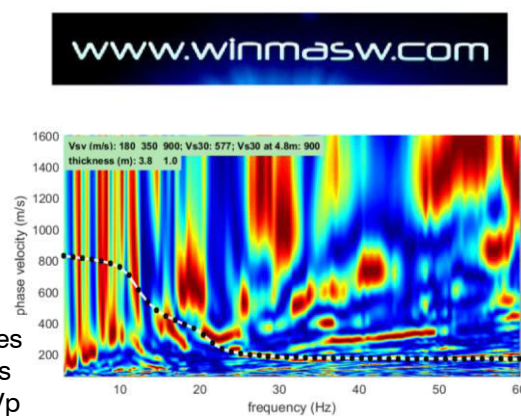


Directivity of the H/V Spectral Ratio



3.2 Elaborazione congiunta M.A.S.W. - H.V.S.R.

Dataset: 002.DAT
 Subsurface Model
 Vs (m/s): 180 350 900
 Thickness (m): 3.8, 1.0
 Density (gr/cm³)
 (approximate values):
 1.86 1.98 2.21
 Shear modulus (MPa)
 (approximate values):
 60 242 1787
 Analyzing Phase velocities
 Analysis: Rayleigh Waves
 Approximate values for Vp
 and Poisson (please,
 see manual)
 Vp (m/s): 441 729 1873
 Poisson: 0.40 0.35 0.35
 Vs30 (m/s)
 da piano campagna: 577



4. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nella nuova normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio V_{sh} all'interno delle coperture.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) più due (S1, S2) categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione a diversa rigidità sismica, caratterizzate da velocità V_{s30} (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti:

A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.

B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa e coesione non drenata $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec ($15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D) Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

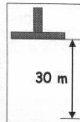
In aggiunta a queste categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 . Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

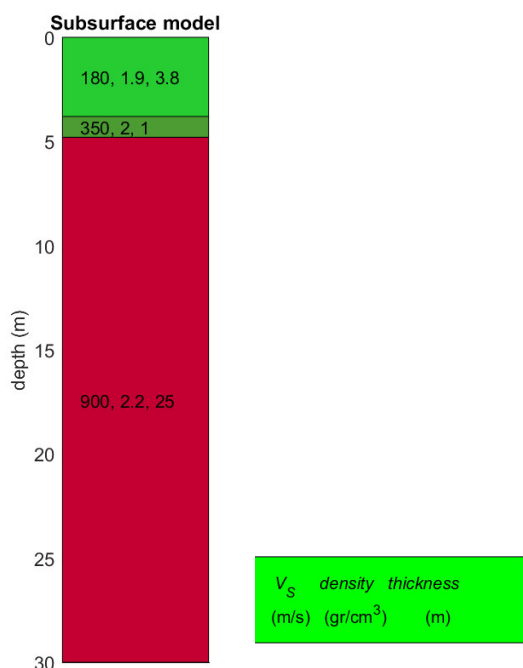
S2 . Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle classificazioni precedenti, V_{s30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$


Sulla base del sistema stratigrafico definito dalle velocità di propagazione delle onde S e di seguito riportato:



Si possono trarre le seguenti considerazioni:

- Il substrato rigido di riferimento avente $V_s > 800$ m/s si riscontra ad una profondità, da piano campagna, di circa 4,8m ($>3,0$; $<20,0$ m);
- Le V_s fino alla profondità di 4,8m da piano campagna sono pari a 200m/s (suolo C);
- le V_{s30} sono pari a 577m/s (suolo tipo B);

sulla base di quanto sopra valutato pertanto ragionevole ascrivere il terreno di fondazione, al profilo stratigrafico **E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Si può inoltre affermare che il picco di frequenza dei terreni oggetto di intervento è pari a 0.9 (± 2.4) Hz

Dr. Geol. Matteo Angiolini



**INDAGINE SISMICA
H.V.S.R.
(Horizontal to Vertical Spectral Ratio)**

RELAZIONE TECNICA

Committente: Comune di Fosdinovo

Cantiere: Fosdinovo

Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 1

Indagine HVSR1

INDICE

1. INDAGINI SISMICHE H. V. S. R.....	3
1.1 <i>Risultati delle indagini H.V.S.R.</i>	3
2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008).....	5

1. INDAGINI SISMICHE H. V. S. R.

La presente tipologia d'indagine, definita "tecnica HVSR" (Horizontal to Vertical Spectral Ratio Metodo di Nakamura), prevede la registrazione dei microtremori sismici terrestri.

I microtremori terrestri, presenti ovunque sulla superficie terrestre, sono così definiti perché generati sia dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento, vulcani, movimenti nel sottosuolo, etc) che dall'attività antropica (strade, ferrovie, industrie, etc) e quindi collegati ad oscillazioni molto più piccole della superficie terrestre rispetto a quelle indotte dai terremoti.

Questa tecnica è definita quindi passiva, in quanto il "rumore" non è generato appositamente per l'indagine come ad esempio le energizzazioni per la sismica attiva.

Le sollecitazioni in oggetto si propagano a livello del bedrock attraverso onde di superficie (onde di Love, onde di Rayleigh etc) che sono caratterizzate da una legge di attenuazione poco sensibile alla distanza considerata.

In particolare queste sollecitazioni, giunte al bedrock presente sotto il sito di misura, subiscono anche diverse amplificazioni passando da un mezzo più rigido (strato molto addensato o consistente) ad un mezzo meno rigido (strato poco addensato o poco consistente).

Le frequenze che, attraversando uno specifico strato, subiscono il fenomeno della risonanza e che vengono amplificate maggiormente, forniscono informazioni sullo spessore dello strato, che guida questo fenomeno.

L'ampiezza della amplificazione dipende invece dal contrasto di rigidità tra i due strati attraversati.

Inserendo i dati registrati su un diagramma H/V (spessore/velocità) ed interpretandone l'andamento è quindi possibile avere indicazioni sullo spessore degli strati e sui contrasti di rigidità, previa una corretta "pulizia" del segnale eliminando i disturbi dovuti a limitrofe sollecitazioni antropiche.

L'interpretazione di queste curve è tuttavia viziata dalla presenza di due incognite (spessore e velocità) per una sola equazione; per risolvere il problema è necessario procedere strato per strato e vincolare una di queste due incognite (grazie ad altri dati geologici o ad ipotesi di lavoro) per trovare l'altra; una volta risolto il primo strato, è possibile interpretare quelli sottostanti perché si conoscono, oltre alle frequenze, anche i fattori di amplificazione delle velocità.

Nell'ipotesi di investigare coperture "soffici" al di sopra di un basamento sismico rigido, è possibile stabilire una relazione tra lo spessore dello strato "soffice" h , la velocità media delle Onde S (V_s) e la frequenza di risonanza fondamentale (f_0) del sito attraverso la formula: $f_0 = V_s / 4h$.

Quindi ottenuto il valore f_0 dalle misure effettuate, avendo a disposizione dati provenienti da indagini pregresse (ad esempio valore V_s), è possibile stimare lo spessore dello strato "soffice" h , viceversa, conoscendo il dato h , si può risalire al valore di V_s medio dello strato.

Il software utilizzato WinMASW 3C 7.1 ricostruisce la curva sintetica H/V a partire dal modello sismostratigrafico proposto dall'operatore; quando la curva sintetica si accorda con quella sperimentale, significa che il modello sismico proposto è compatibile con la misura registrata.

Perché la prova sia attendibile non è necessaria una perfetta e completa sovrapposizione delle curve (quella sperimentale è viziata da interferenze di vario tipo), ma è sufficiente un buon accordo tra i picchi di amplificazione principali ed in particolare quelli più superficiali.

1.1 Risultati delle indagini H.V.S.R.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospectore sismico

PASI modello 16S24U

analisi dei dati acquisiti: software winMASW 3C 7.1

terna: geofono triassiale 2Hz fornito dalla EliaSoft

Elaborazione HVSR

Sampling frequency (Hz): 62.5

Window length (sec): 18

Minimum frequency soundly determined [5 cycles]: 0.27778Hz

Length of analysed dataset (min): 14.2

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 13.0 (± 5.1)

Peak HVSR value: 5.6 (± 0.7)

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione tecnica	3 di 6

Criteria for a reliable H/V curve

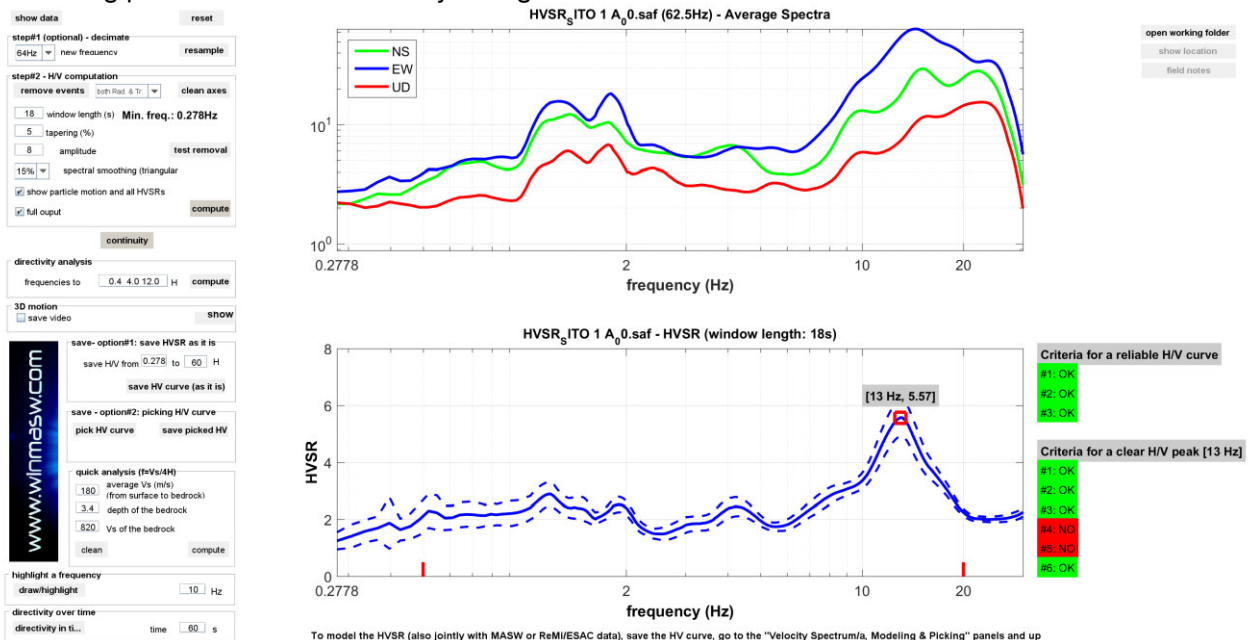
- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: $13.013 > 0.55556$ (OK)
- #2. $[nc > 200]$: $13820 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1. $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$: yes, at frequency 3.3Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$: yes, at frequency 18.5Hz (OK)
- #3. $[A_0 > 2]$: $5.6 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)
- #5. $[\sigma_A(f) < \epsilon(f_0)]$: $5.053 > 0.651$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $1.272 < 1.58$ (OK)

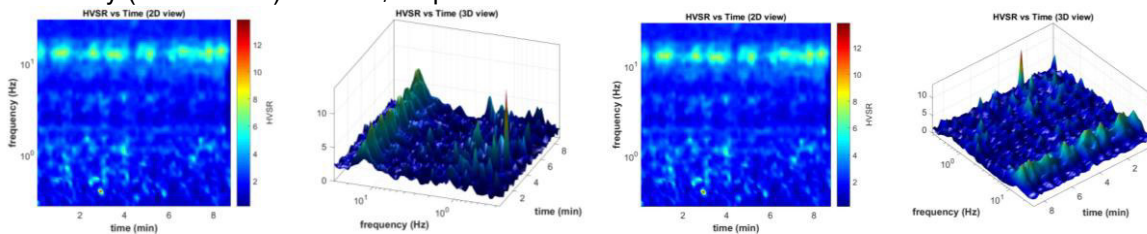
Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters the results may change.

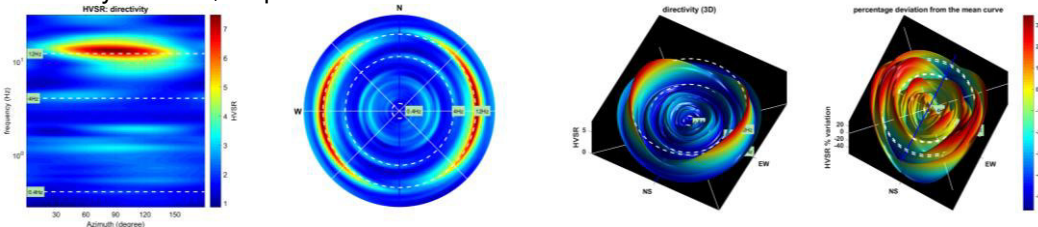


To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and up

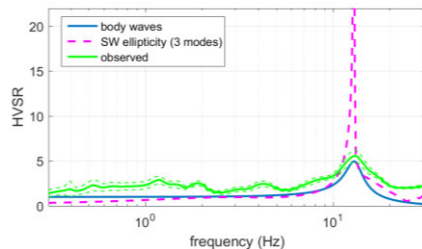
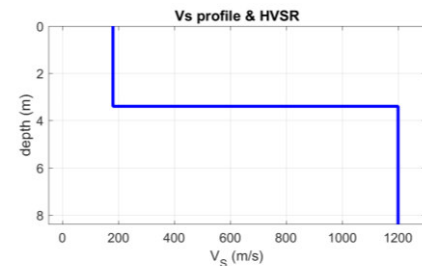
Continuity (Persistence) of the H/V Spectral Ratio



Directivity of the H/V Spectral Ratio



Dataset:
 Subsurface Model
 Vs (m/s): 180 1200
 Thickness (m): 3.4
 Density (gr/cm³) (approximate values): 1.86 2.28
 Shear modulus (MPa) (approximate values): 60 3278
 Analyzing Phase velocities
 Analysis: Rayleigh Waves
 Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)
 Vp (m/s): 441 2498
 Poisson: 0.40 0.35
Vs30 da piano campagna (m/s): 731



2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nella nuova normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio Vsh all'interno delle coperture.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) più due (S1, S2) categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione a diversa rigidità sismica, caratterizzate da velocità Vs30 (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti:

A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.

B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica Nspt > 50 nei terreni a grana grossa e coesione non drenata cu > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (15 < Nspt < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D) Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

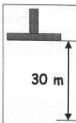
In aggiunta a queste categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 . Depositati di terreni caratterizzati da valori di Vs,30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

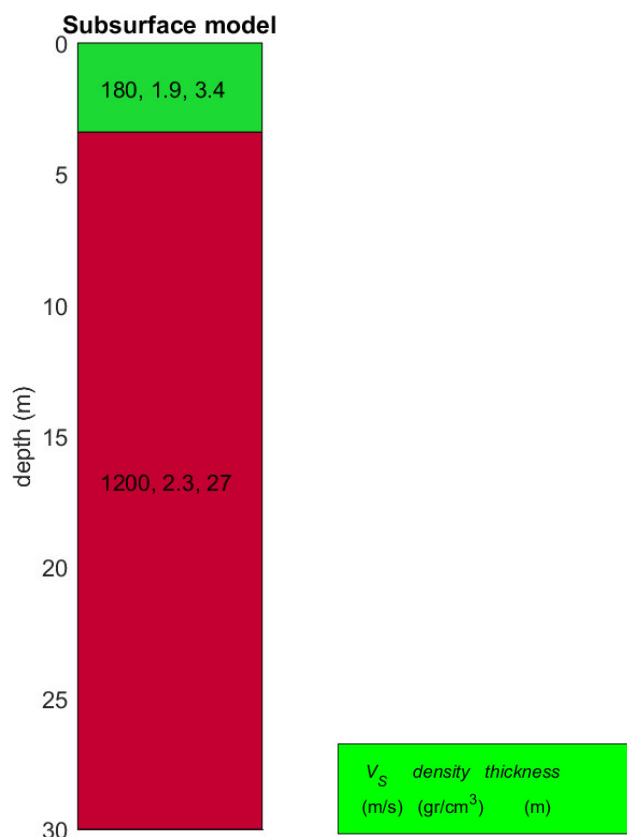
S2 . Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle classificazioni precedenti, Vs30 è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$


Sulla base del sistema stratigrafico definito sulla base delle velocità di propagazione delle onde sismiche "S" e di seguito riportato:



Si possono trarre le seguenti considerazioni:

- Il substrato rigido di riferimento avente $V_s > 800$ m/s si riscontra ad una profondità, da piano campagna, di circa 3,4m ($>3,0$; <20 m);
 - Le V_s fino alla profondità da piano campagna di circa 3,4m sono pari a 180m/s (limite inferiore suolo C);
 - le V_{s30} sono pari a 731m/s (suolo tipo B);
- sulla base di quanto sopra valuto pertanto ragionevole ascrivere, il terreno di fondazione, al profilo stratigrafico **E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Dr. Geol. Matteo Angiolini



**INDAGINE SISMICA
M.A.S.W.
(Multichannel Analysis of Surface Waves)**

RELAZIONE TECNICA

Committente: Comune di Fosdinovo

Cantiere: Fosdinovo

Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 1

Indagine MASW2

INDICE

1. INDAGINI SISMICHE M.A.S.W.	3
1.1 <i>Risultati delle indagini M.A.S.W.</i>	3
2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008).....	4

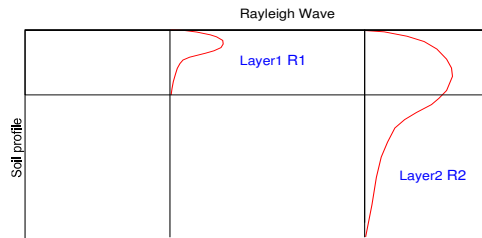
1. INDAGINI SISMICHE M.A.S.W.

Le MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono una metodologia d'investigazione che permette di ricavare le velocità delle onde di taglio V_s con la determinazione della categoria sismica di terreno (A, B, C, D, E, S1, S2) secondo quanto indicato nella nuova normativa sismica (OPCM 3274 del 20.03.2003 e s.m.i., D.M. 14.01.2008) e dagli Eurocodici 7 "Progettazione geotecnica" e 8 "Regole progettuali per le strutture antisismiche".

La misura delle velocità delle onde superficiali viene calcolata grazie all'utilizzo di stendimenti di sensori (geofoni) posti a distanze regolari sulla superficie del suolo da indagare.

La porzione che predomina nelle onde superficiali è costituita dalle onde di Rayleigh la cui velocità è correlata alla rigidità e ai parametri elastici dei suoli attraversati.

E' importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive: le alte frequenze e quindi con lunghezze d'onda corta si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno mentre le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi così come di seguito illustrato.



La metodologia M.A.S.W. effettuata viene definita: *attiva* e prevede che le onde superficiali vengano generate in un punto noto ed in modo non casuale e registrate da stendimenti lineari di sensori.

La metodologia utilizzata permette di dettagliare il profilo delle velocità sismiche nei primi 30m da piano campagna da queste si ottiene infatti una curva dispersione per un range di frequenze normalmente comprese tra 5 e 70 Hz, la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche.

Il sistema di elaborazione con metodo MASW In generale prevede tre fasi:

- 1 calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
- 2 calcolo della velocità di fase apparente
- 3 individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s dal modello stratigrafico espresso tramite il profilo di velocità V_s .

1.1 Risultati delle indagini M.A.S.W.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico PASI modello 16S24U e 12 geofoni verticali PASI con frequenza propria di 4.5 Hz.

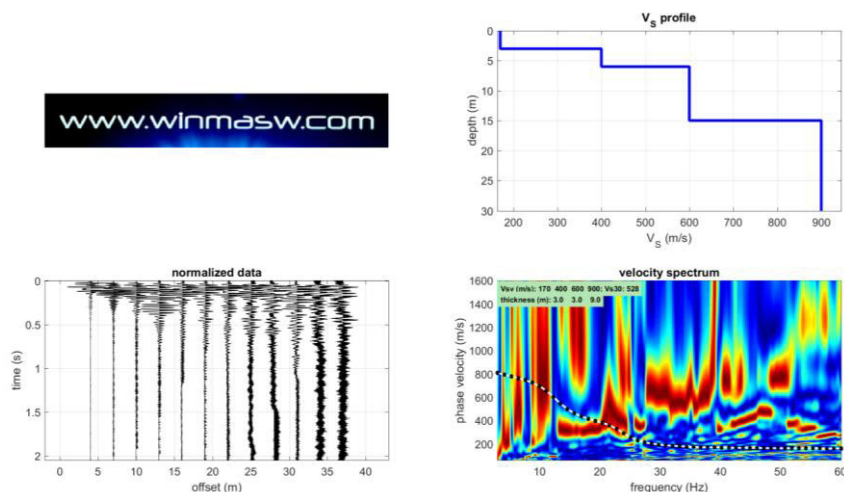
Dati di acquisizione:

N° geofoni = 12

interasse geofoni = 3,0m

sorgente: mazza battente da 8,5kg.

Elaborazione MASW 2



Subsurface Model

Vs (m/s): 170 400 600 900

Thickness (m): 3.0, 3.0, 9.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.84 2.01 2.11 2.21

Shear modulus (MPa) (approximate values): 53 322 759 1787

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 416 833 1249 1873

Poisson: 0.40 0.35 0.35 0.35

Vs30 (m/s) da piano campagna: 528

2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nella nuova normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidezza sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio Vsh all'interno delle coperture.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) più due (S1, S2) categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione a diversa rigidezza sismica, caratterizzate da velocità Vs30 (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti:

A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.

B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa e coesione non drenata $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec ($15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D) Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{spt,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

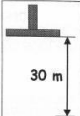
In aggiunta a queste categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 . Depositati di terreni caratterizzati da valori di Vs,30 inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

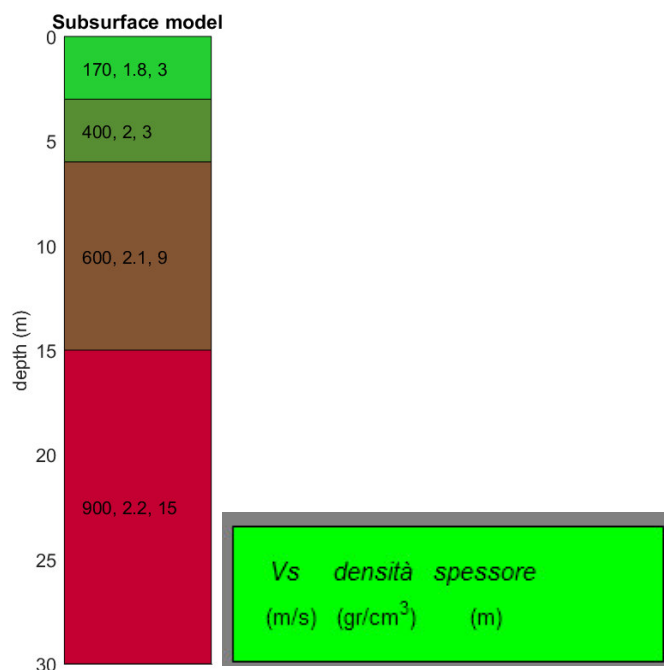
S2 . Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle classificazioni precedenti, Vs30 è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$


Sulla base del sistema stratigrafico definito dalle velocità di propagazione delle onde S e di seguito riportato:



Si possono trarre le seguenti considerazioni:

- Il substrato rigido di riferimento avente $V_s > 800\text{m/s}$ si riscontra alla profondità, da piano campagna, di circa 15,0m;
- Le onde sismiche "S" fino alla profondità, da piano campagna, di 15,0m si propagano con una velocità media pari a 375m/s (suolo B);
- Le onde sismiche "S" tra le profondità, da piano campagna comprese tra 15 e 30m si propagano con una velocità media pari a 900m/s (suolo A);
- Il rapporto tra i due valori di V_s ricavati ($900/375$) è pari a $2,40 > 2,22$ (ottenuto da $800/360$; valore di riferimento che indica una marcata differenza di risposta sismica tra suoli)
- le VS_{30} sono pari a 528m/s (suolo tipo B);

sulla base di quanto sopra valutato pertanto ragionevole ascrivere, il terreno di fondazione al profilo stratigrafico **E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800\text{ m/s}$).

Dr. Geol. Matteo Angiolini



INDAGINI SISMICHE
M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves)
H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)

RELAZIONE TECNICA

Committente: Comune di Fosdinovo

Località: Strada Provinciale n°10

Comune: FOSDINOVO (MS)

INDAGINI MASW1-HVSR Sito 2

INDICE

1.	INDAGINI SISMICHE MASW	3
2.	INDAGINI SISMICHE H. V. S. R.	3
3.	RISULTATI ANALISI CONGIUNTA MASW - H. V. S. R.....	4
	3.1 Elaborazione H.V.S.R. (singola)	4
	3.2 Elaborazione congiunta M.A.S.W. - H.V.S.R.	5
4.	CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)	6

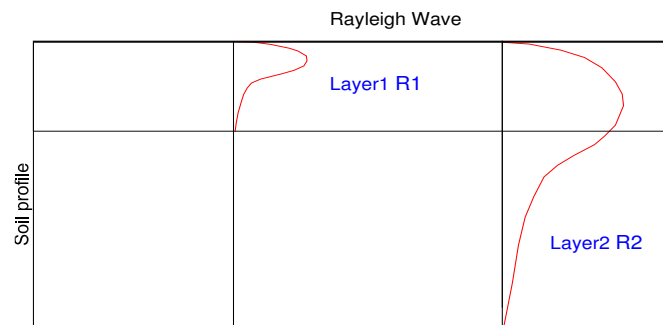
1. INDAGINI SISMICHE MASW

Le MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono una metodologia d'investigazione che permette di ricavare le velocità delle onde di taglio V_s con la profondità e permettono di conseguenza di determinare la categoria sismica di terreno (A, B, C, D, E, S1, S2) secondo quanto indicato nella nuova normativa sismica (OPCM 3274 del 20.03.2003 e s.m.i., D.M. 14.01.2008) e dagli Eurocodici 7 "Progettazione geotecnica" e 8 "Regole progettuali per le strutture antisismiche".

La misura delle velocità delle onde superficiali viene calcolata grazie all'utilizzo di stendimenti di sensori (geofoni) posti a distanze regolari sulla superficie del suolo da indagare.

La porzione che predomina nelle onde superficiali è costituita dalle onde di Rayleigh la cui velocità è correlata alla rigidità e ai parametri elastici dei suoli attraversati.

E' importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive: le alte frequenze e quindi con lunghezze d'onda corta si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno mentre le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi così come di seguito illustrato.



La metodologia M.A.S.W. effettuata viene definita: *attiva* e prevede che le onde superficiali vengano generate in un punto noto ed in modo non casuale e registrate da stendimenti lineari di sensori.

La metodologia utilizzata permette di dettagliare il profilo delle velocità sismiche nei primi 30m da piano campagna da queste si ottiene infatti una curva dispersione per un range di frequenze normalmente comprese tra 5 e 70 Hz, la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche.

Il sistema di elaborazione con metodo MASW In generale prevede tre fasi:

- 1 calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
- 2 calcolo della velocità di fase apparente
- 3 individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s dal modello stratigrafico espresso tramite il profilo di velocità V_s .

2. INDAGINI SISMICHE H. V. S. R.

La presente tipologia d'indagine, definita "tecnica HVSR" (Horizontal to Vertical Spectral Ratio Metodo di Nakamura), prevede la registrazione dei microtremori sismici terrestri.

I microtremori terrestri, presenti ovunque sulla superficie terrestre, sono così definiti perché generati sia dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento, vulcani, movimenti nel sottosuolo, etc) che dall'attività antropica (strade, ferrovie, industrie, etc) e quindi collegati ad oscillazioni molto più piccole della superficie terrestre rispetto a quelle indotte dai terremoti.

Questa tecnica è definita quindi passiva, in quanto il "rumore" non è generato appositamente per l'indagine come ad esempio le energizzazioni per la sismica attiva.

Le sollecitazioni in oggetto si propagano a livello del bedrock attraverso onde di superficie (onde di Love, onde di Rayleigh etc) che sono caratterizzate da una legge di attenuazione poco sensibile alla distanza considerata.

In particolare queste sollecitazioni, giunte al bedrock presente sotto il sito di misura, subiscono anche diverse amplificazioni passando da un mezzo più rigido (strato molto addensato o consistente) ad un mezzo meno rigido (strato poco addensato o poco consistente).

Le frequenze che, attraversando uno specifico strato, subiscono il fenomeno della risonanza e che vengono amplificate maggiormente, forniscono informazioni sullo spessore dello strato, che guida questo fenomeno.

L'ampiezza della amplificazione dipende invece dal contrasto di rigidità tra i due strati attraversati.

Inserendo i dati registrati su un diagramma H/V (spessore/velocità) ed interpretandone l'andamento è quindi possibile avere indicazioni sullo spessore degli strati e sui contrasti di rigidità, previa una corretta "pulizia" del segnale eliminando i disturbi dovuti a limitrofe sollecitazioni antropiche.

L'interpretazione di queste curve è tuttavia viziata dalla presenza di due incognite (spessore e velocità) per una sola equazione; per risolvere il problema è necessario procedere strato per strato e vincolare una di queste due incognite (grazie ad altri dati geologici o ad ipotesi di lavoro) per trovare l'altra; una volta risolto il primo strato, è possibile interpretare quelli sottostanti perché si conoscono, oltre alle frequenze, anche i fattori di amplificazione delle velocità.

Nell'ipotesi di investigare coperture "soffici" al di sopra di un basamento sismico rigido, è possibile stabilire una relazione tra lo spessore dello strato "soffice" h , la velocità media delle Onde S (V_s) e la frequenza di risonanza fondamentale (f_0) del sito attraverso la formula: $f_0 = V_s / 4h$.

Quindi ottenuto il valore f_0 dalle misure effettuate, avendo a disposizione dati provenienti da indagini pregresse (ad esempio valore V_s), è possibile stimare lo spessore dello strato "soffice" h , viceversa, conoscendo il dato h , si può risalire al valore di V_s medio dello strato.

Il software utilizzato WinMASW 3C 7.1 ricostruisce la curva sintetica H/V a partire dal modello sismostratigrafico proposto dall'operatore; quando la curva sintetica si accorda con quella sperimentale, significa che il modello sismico proposto è compatibile con la misura registrata.

Perché la prova sia attendibile non è necessaria una perfetta e completa sovrapposizione delle curve (quella sperimentale è viziata da interferenze di vario tipo), ma è sufficiente un buon accordo tra i picchi di amplificazione principali ed in particolare quelli più superficiali.

3. RISULTATI ANALISI CONGIUNTA MASW - H. V. S. R.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico PASI modello 16S24U e l'analisi dei dati acquisiti è stata effettuata con il software winMASW 3C 7.1.

- Per analisi MASW sono stati utilizzati N°12 geofoni verticali PASI con frequenza propria di 4.5 Hz. con interasse geofonico pari a 3,0m; sorgente: mazza battente da 8,5kg.
- Per analisi H.V.S.R. terna: geofono triassiale 2Hz fornito dalla Eliosoft, tempo di campionamento: 13minuti

3.1 Elaborazione H.V.S.R. (singola)

Sampling frequency (Hz): 62.5

Window length (sec): 18

Minimum frequency soundly determined [5 cycles]: 0.27778Hz

Length of analysed dataset (min): 13.9

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

SESAME criteria,

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 1.3 (± 2.6)

Peak HVSR value: 2.3 (± 0.3)

Criteria for a reliable H/V curve

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: $1.252 > 0.55556$ (OK)

#2. [$nc > 200$]: $1510 > 200$ (OK)

#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

#1. [exists f_- in the range [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f_-) < A_0/2$]: yes (considering standard deviations), at frequency 0.3Hz (OK)

#2. [exists f_+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f_+) < A_0/2$]: yes, at frequency 2.3Hz (OK)

#3. [$A_0 > 2$]: $2.3 > 2$ (OK)

#4. [$f_{\text{peak}}[A_h/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (NO)

#5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon_{\text{f}}(f_0)$]: $2.606 > 0.125$ (NO)

#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $0.947 < 1.78$ (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters the results may change.

show data reset

step1 (optional) - decimate
5412 new frequency resample

step2 - HV computation
remove events both Rad & T clean axes
15 window length (s) Min. freq.: 0.278 Hz
5 tapering (%)
8 amplitude test removal
15% spectral smoothing (triangular)
☒ show particle motion and all HVSRs
☒ full output compute

continuity

directivity analysis
frequencies to 0.4 4.0 12.0 H compute

3D motion
☐ save video show

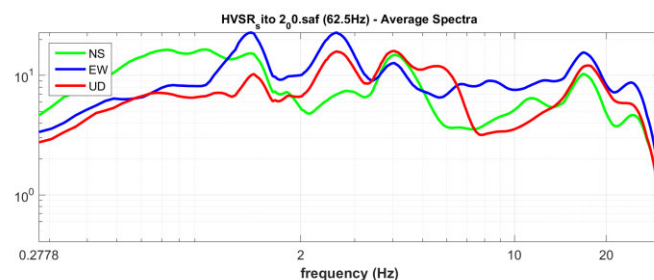
save - option1: save HVSR as it is
save HV from 0.278 to 60 H
save HV curve (as it is)

save - option2: picking HV curve
pick HV curve save picked HV

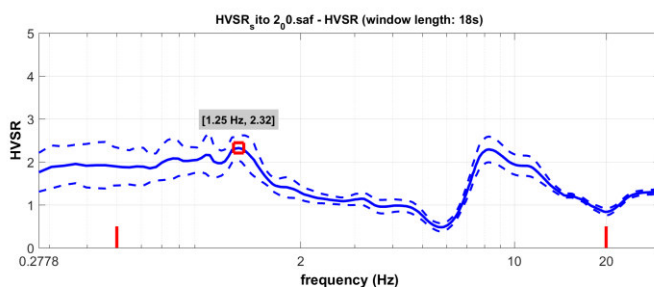
quick analysis (HVu/H)
average Vs (m/s) 200 (from surface to bedrock)
4.3 depth of the bedrock
420 Vs of the clean compute

highlight a frequency
draw highlight 10 Hz

directivity over time
directivity in 1... time 60 s



open working folder
show location
field notes

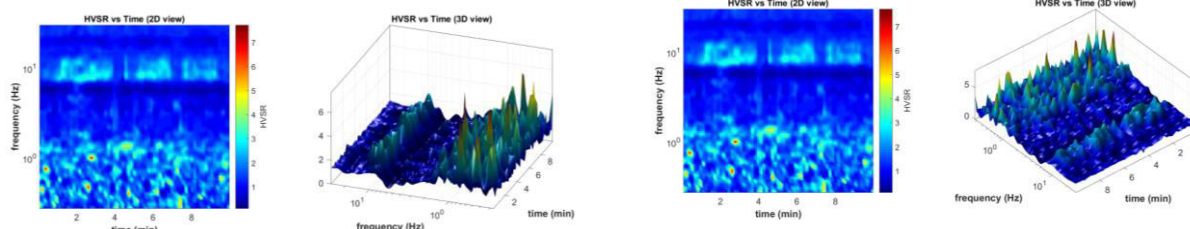


Criteria for a reliable H/V curve
#1: OK
#2: OK
#3: OK

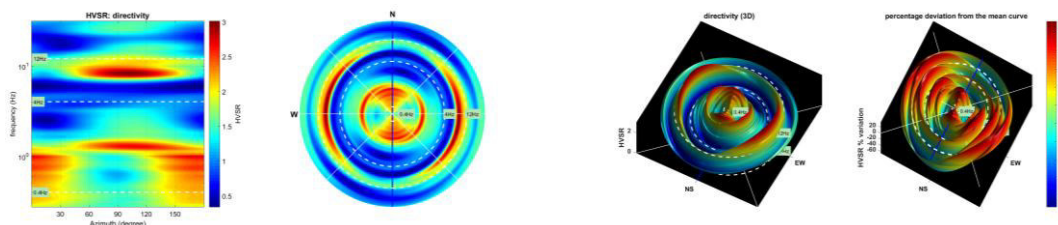
Criteria for a clear H/V peak [1.25 Hz]
#1: OK
#2: OK
#3: OK
#4: NO
#5: NO
#6: OK

To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMi/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrumia, Modeling & Picking" panels and up

Continuity (Persistence) of the H/V Spectral Ratio



Directivity of the H/V Spectral Ratio



3.2 Elaborazione congiunta M.A.S.W. - H.V.S.R.

Dataset: 001.DAT

Subsurface Model

Vs (m/s): 220 420 650 850

Thickness (m): 4.3, 4.0, 6.0

Density (gr/cm3) (approximate values): 1.90 2.02 2.13 2.19

Shear modulus (MPa) (approximate values): 92 357 899 1584

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

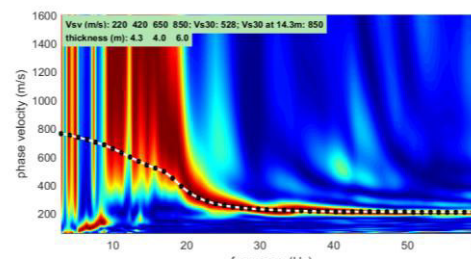
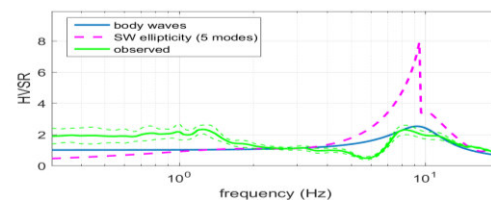
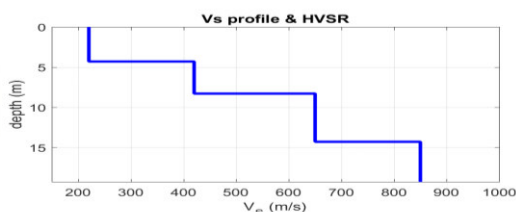
Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 539 874 1353 1769

Poisson: 0.40 0.35 0.35 0.35

Vs30 (m/s) da piano campagna: 528

www.winmasw.com



4. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nella nuova normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio V_{sh} all'interno delle coperture.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) più due (S1, S2) categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione a diversa rigidità sismica, caratterizzate da velocità V_{s30} (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti:

A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V_{s30} superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.

B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa e coesione non drenata $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec ($15 < N_{spt} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_u < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D) Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

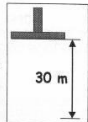
In aggiunta a queste categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 . Depositati di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

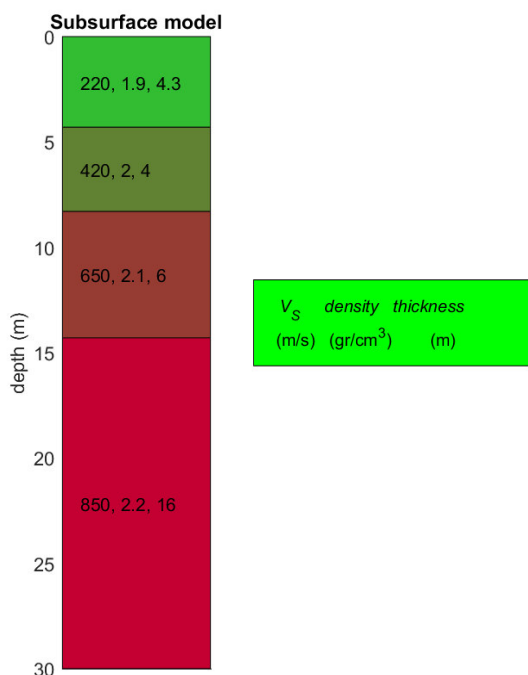
S2 . Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle classificazioni precedenti, V_{s30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$


Sulla base del sistema stratigrafico definito dalle velocità di propagazione delle onde S e di seguito riportato:



Si possono trarre le seguenti considerazioni:

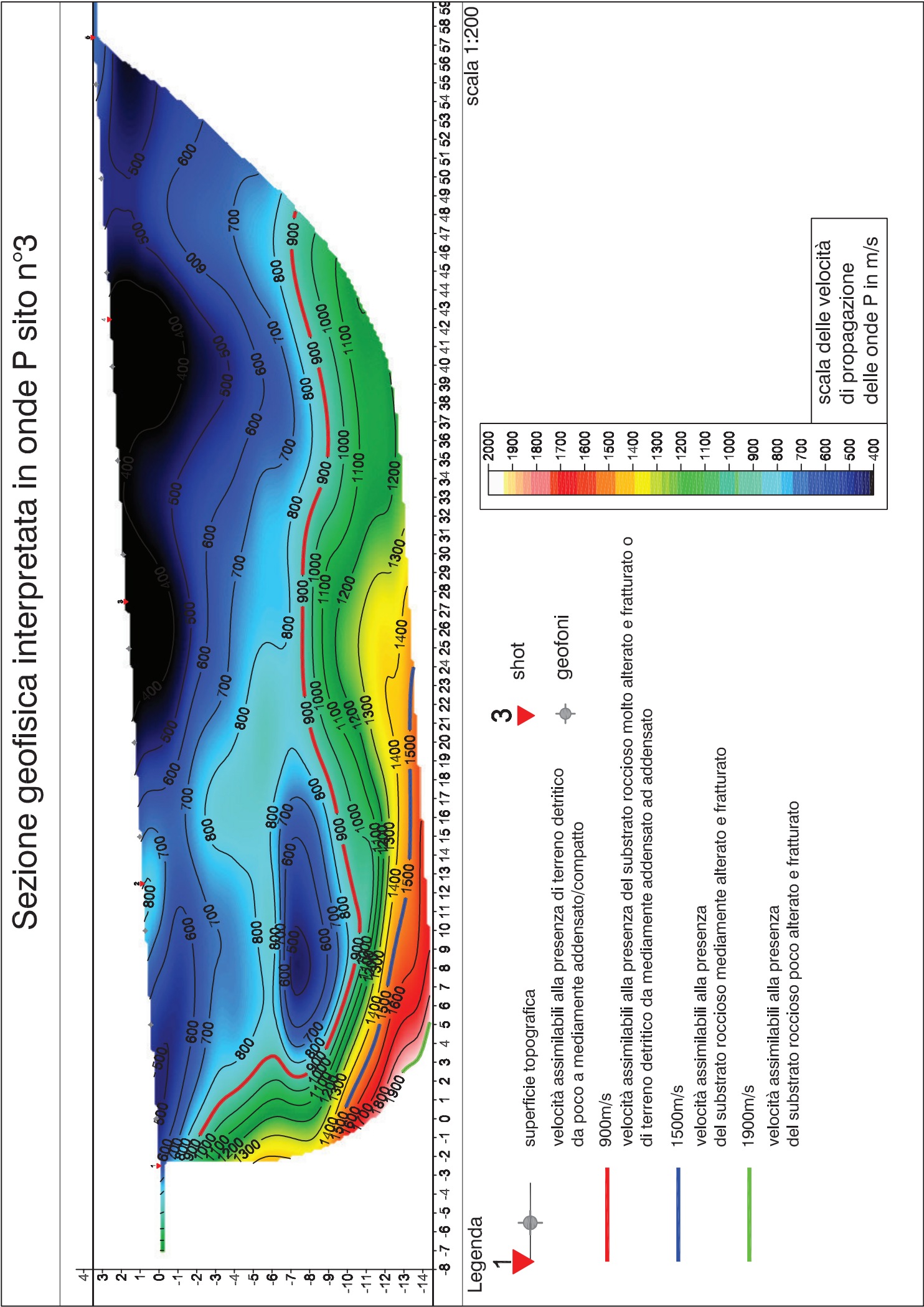
- Il substrato rigido di riferimento avente $V_s > 800$ m/s si riscontra ad una profondità, da piano campagna, di circa 14,3m ($>3,0$; $<20,0$ m);
- Le VS fino alla profondità di 14,3m da piano campagna sono pari a 376m/s (suolo B);
- Le VS tra le profondità, da piano campagna, comprese tra 14,3 e 30m sono pari a 850m/s (suolo A)
- Il rapporto tra i due valori di Vs riscontrati ($850/376$) è pari a $2,26 > 2,22$ (ottenuto da $800/360$; valore di riferimento che indica una marcata differenza di risposta sismica tra suoli)
- le VS30 sono pari a 528m/s (suolo tipo B);

sulla base di quanto sopra valuto pertanto ragionevole ascrivere il terreno di fondazione, al profilo stratigrafico **E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Si può inoltre affermare che il picco di frequenza dei terreni oggetto di intervento è pari a 1.3 (± 2.6)

Hz

Dr. Geol. Matteo Angiolini



**INDAGINE SISMICA
M.A.S.W.
(Multichannel Analysis of Surface Waves)**

RELAZIONE TECNICA

Committente: Comune di Fosdinovo

Cantiere: Fosdinovo

Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 3

MASW1

INDICE

1. INDAGINI SISMICHE M.A.S.W.	3
1.1 <i>Risultati delle indagini M.A.S.W.</i>	3
2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008).....	4

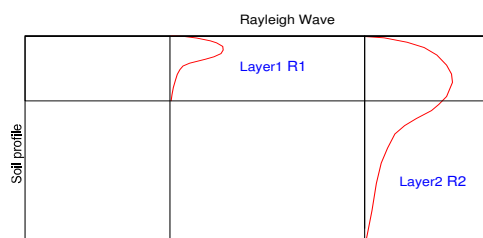
1. INDAGINI SISMICHE M.A.S.W.

Le MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono una metodologia d'investigazione che permette di ricavare le velocità delle onde di taglio V_s con la determinazione della categoria sismica di terreno (A, B, C, D, E, S1, S2) secondo quanto indicato nella nuova normativa sismica (OPCM 3274 del 20.03.2003 e s.m.i., D.M. 14.01.2008) e dagli Eurocodici 7 "Progettazione geotecnica" e 8 "Regole progettuali per le strutture antisismiche".

La misura delle velocità delle onde superficiali viene calcolata grazie all'utilizzo di stendimenti di sensori (geofoni) posti a distanze regolari sulla superficie del suolo da indagare.

La porzione che predomina nelle onde superficiali è costituita dalle onde di Rayleigh la cui velocità è correlata alla rigidità e ai parametri elastici dei suoli attraversati.

E' importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive: le alte frequenze e quindi con lunghezze d'onda corta si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno mentre le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi così come di seguito illustrato.



La metodologia M.A.S.W. effettuata viene definita: *attiva* e prevede che le onde superficiali vengano generate in un punto noto ed in modo non casuale e registrate da stendimenti lineari di sensori.

La metodologia utilizzata permette di dettagliare il profilo delle velocità sismiche nei primi 30m da piano campagna da queste si ottiene infatti una curva dispersione per un range di frequenze normalmente comprese tra 5 e 70 Hz, la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche.

Il sistema di elaborazione con metodo MASW In generale prevede tre fasi:

- 1 calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
- 2 calcolo della velocità di fase apparente
- 3 individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s dal modello stratigrafico espresso tramite il profilo di velocità V_s .

1.1 Risultati delle indagini M.A.S.W.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico PASI modello 16S24U e 12 geofoni verticali PASI con frequenza propria di 4.5 Hz.

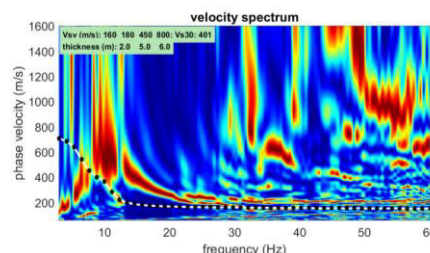
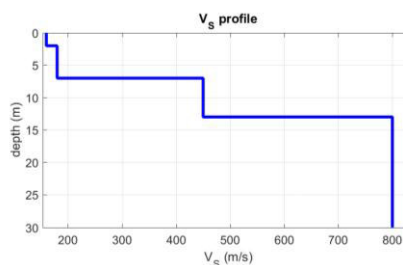
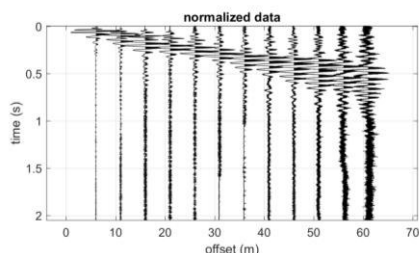
Dati di acquisizione:

N° geofoni = 12

interasse geofoni = 5,0m

sorgente: mazza battente da 8,5kg.

Elaborazione MASW 1



Subsurface Model

Vs (m/s): 160 180 450 800

Thickness (m): 2.0, 5.0, 6.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.83 1.82 2.04 2.18

Shear modulus (MPa) (approximate values): 47 59 413 1394

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 392 375 937 1665

Poisson: 0.40 0.35 0.35 0.35

Vs30 (m/s) da piano campagna: 401

2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nella nuova normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidezza sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio Vsh all'interno delle coperture.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) più due (S1, S2) categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione a diversa rigidezza sismica, caratterizzate da velocità Vs30 (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti:

A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.

B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica Nspt > 50 nei terreni a grana grossa e coesione non drenata cu > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C) Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (15 < Nspt < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D) Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

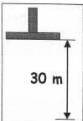
In aggiunta a queste categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 . Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs,30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

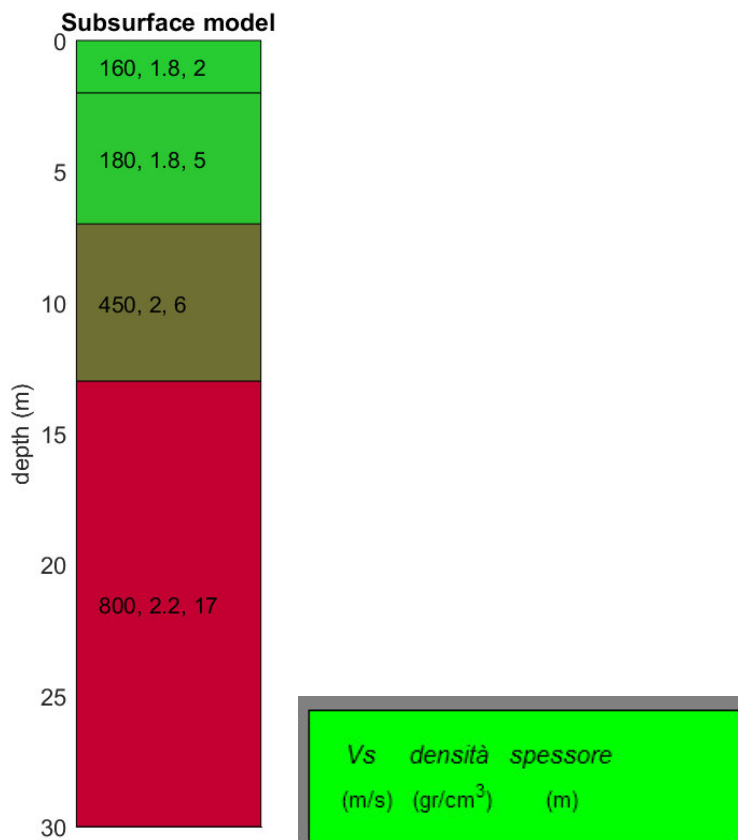
S2 . Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle classificazioni precedenti, Vs30 è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$


Sulla base del sistema stratigrafico definito dalle velocità di propagazione delle onde S e di seguito riportato:



Si possono trarre le seguenti considerazioni:

- Il substrato rigido di riferimento avente Vs > 800m/s si riscontra alla profondità, da piano campagna, di circa 13,0m;
 - Le onde sismiche "S" fino alla profondità, da piano campagna, di 13,0m si propagano con una velocità media pari a 240m/s (suolo C)
 - le VS30 sono pari a 401m/s (suolo tipo B);
- sulla base di quanto sopra valutato pertanto ragionevole ascrivere, il terreno di fondazione al profilo stratigrafico **E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

Dr. Geol. Matteo Angiolini



**INDAGINE SISMICA
H.V.S.R.
(Horizontal to Vertical Spectral Ratio)**

RELAZIONE TECNICA

Committente: Comune di Fosdinovo

Cantiere: Fosdinovo

Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 3

Indagine HVSR1

INDICE

1. INDAGINI SISMICHE H. V. S. R.....	3
1.1 <i>Risultati delle indagini H.V.S.R.</i>	3
2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008).....	5

1. INDAGINI SISMICHE H. V. S. R.

La presente tipologia d'indagine, definita "tecnica HVSR" (Horizontal to Vertical Spectral Ratio Metodo di Nakamura), prevede la registrazione dei microtremori sismici terrestri.

I microtremori terrestri, presenti ovunque sulla superficie terrestre, sono così definiti perché generati sia dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento, vulcani, movimenti nel sottosuolo, etc) che dall'attività antropica (strade, ferrovie, industrie, etc) e quindi collegati ad oscillazioni molto più piccole della superficie terrestre rispetto a quelle indotte dai terremoti.

Questa tecnica è definita quindi passiva, in quanto il "rumore" non è generato appositamente per l'indagine come ad esempio le energizzazioni per la sismica attiva.

Le sollecitazioni in oggetto si propagano a livello del bedrock attraverso onde di superficie (onde di Love, onde di Rayleigh etc) che sono caratterizzate da una legge di attenuazione poco sensibile alla distanza considerata.

In particolare queste sollecitazioni, giunte al bedrock presente sotto il sito di misura, subiscono anche diverse amplificazioni passando da un mezzo più rigido (strato molto addensato o consistente) ad un mezzo meno rigido (strato poco addensato o poco consistente).

Le frequenze che, attraversando uno specifico strato, subiscono il fenomeno della risonanza e che vengono amplificate maggiormente, forniscono informazioni sullo spessore dello strato, che guida questo fenomeno.

L'ampiezza della amplificazione dipende invece dal contrasto di rigidità tra i due strati attraversati.

Inserendo i dati registrati su un diagramma H/V (spessore/velocità) ed interpretandone l'andamento è quindi possibile avere indicazioni sullo spessore degli strati e sui contrasti di rigidità, previa una corretta "pulizia" del segnale eliminando i disturbi dovuti a limitrofe sollecitazioni antropiche.

L'interpretazione di queste curve è tuttavia viziata dalla presenza di due incognite (spessore e velocità) per una sola equazione; per risolvere il problema è necessario procedere strato per strato e vincolare una di queste due incognite (grazie ad altri dati geologici o ad ipotesi di lavoro) per trovare l'altra; una volta risolto il primo strato, è possibile interpretare quelli sottostanti perché si conoscono, oltre alle frequenze, anche i fattori di amplificazione delle velocità.

Nell'ipotesi di investigare coperture "soffici" al di sopra di un basamento sismico rigido, è possibile stabilire una relazione tra lo spessore dello strato "soffice" h , la velocità media delle Onde S (V_s) e la frequenza di risonanza fondamentale (f_0) del sito attraverso la formula: $f_0 = V_s / 4h$.

Quindi ottenuto il valore f_0 dalle misure effettuate, avendo a disposizione dati provenienti da indagini pregresse (ad esempio valore V_s), è possibile stimare lo spessore dello strato "soffice" h , viceversa, conoscendo il dato h , si può risalire al valore di V_s medio dello strato.

Il software utilizzato WinMASW 3C 7.1 ricostruisce la curva sintetica H/V a partire dal modello sismostratigrafico proposto dall'operatore; quando la curva sintetica si accorda con quella sperimentale, significa che il modello sismico proposto è compatibile con la misura registrata.

Perché la prova sia attendibile non è necessaria una perfetta e completa sovrapposizione delle curve (quella sperimentale è viziata da interferenze di vario tipo), ma è sufficiente un buon accordo tra i picchi di amplificazione principali ed in particolare quelli più superficiali.

1.1 Risultati delle indagini H.V.S.R.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospectore sismico

PASI modello 16S24U

analisi dei dati acquisiti: software winMASW 3C 7.1

terna: geofono triassiale 2Hz fornito dalla Elisoft

Elaborazione HVSR

Sampling frequency (Hz): 62.5

Window length (sec): 18

Minimum frequency soundly determined [5 cycles]: 0.27778Hz

Length of analysed dataset (min): 6.8

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 0.5-25.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 18.5 (± 7.0)

Peak HVSR value: 4.3 (± 0.3)

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione tecnica	3 di 6

Criteria for a reliable H/V curve

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: $18.512 > 0.55556$ (OK)
- #2. $[nc > 200]$: $9663 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

- #1. $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$: yes, at frequency 6.7Hz (OK)
- #2. $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$: (NO)
- #3. $[A_0 > 2]$: $4.3 > 2$ (OK)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)
- #5. $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]$: $7.027 > 0.926$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.684 < 1.58$ (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters the results may change.

show data reset

step1 (optional) - decimate
☐ new frequency
☐ resample

step2 - HV computation
☐ remove events
☐ clean axes
☐ window length (s) Min. freq.: 0.278Hz
☐ tapering (%)
☐ amplitude
☐ spectral smoothing (triangular)
☒ show particle motion and all HVSRs
☒ full output

continuity

directivity analysis
 frequencies to: 0.4 4.0 12.0 H

3D motion
☐ save video

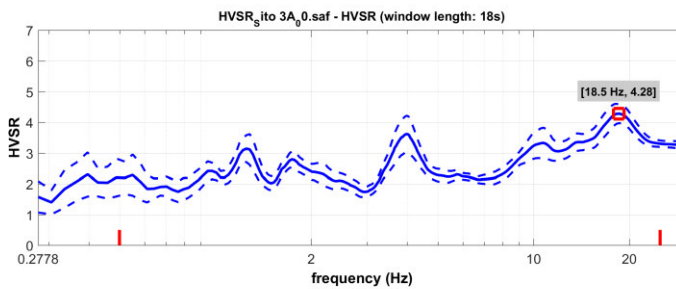
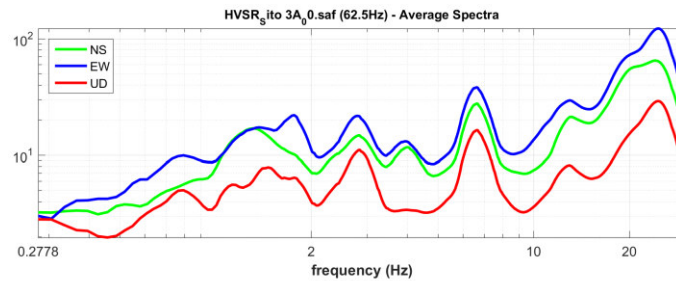
save - option1: save HVSR as it is
 save HV from 0.278 to 60 H
 save HV curve (as it is)

save - option2: picking HV curve
 pick HV curve
 save picked HV

quick analysis (H/V ratio)
 average Vs (m/s)
 700 (from surface to bedrock)
 45 depth of the bedrock
 2200 Vs of the bedrock

highlight a frequency
☐ draw highlight
☐ 10 Hz

directivity over time
 directivity in t... time 60 s



Criteria for a reliable H/V curve

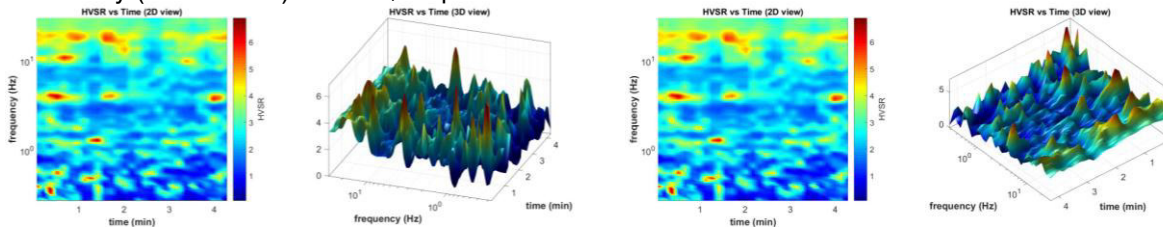
#1:	OK
#2:	OK
#3:	OK

Criteria for a clear H/V peak [18.5 Hz]

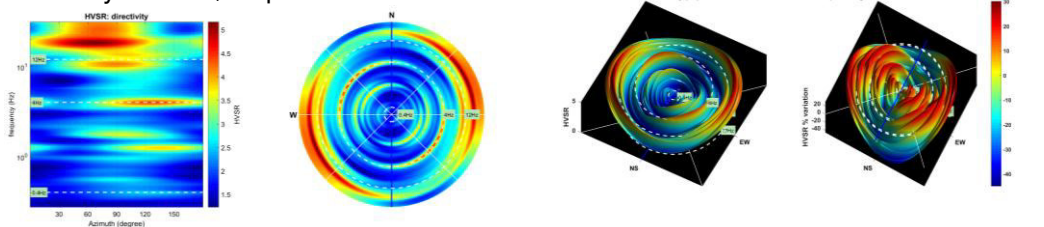
#1:	OK
#2:	NO
#3:	OK
#4:	NO
#5:	NO
#6:	OK

To model the HVSR (also jointly with MASW or ReMI/ESAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectrum/a, Modeling & Picking" panels and up

Continuity (Persistence) of the H/V Spectral Ratio



Directivity of the H/V Spectral Ratio



Dataset:

Subsurface Model

Vs (m/s): 200 1000

Thickness (m): 2.6

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.88 2.23

Shear modulus (MPa) (approximate values): 75 2232

Analyzing Phase velocities

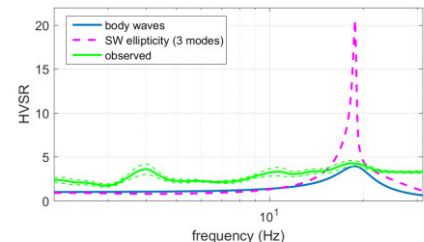
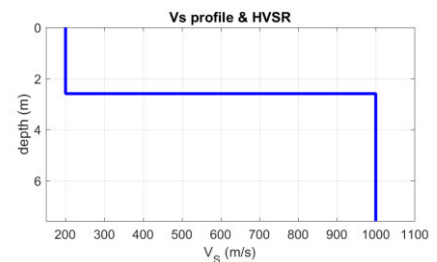
Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 490 2082

Poisson: 0.40 0.35

Vs30 (m/s) da piano campagna: 743



2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nella nuova normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio Vsh all'interno delle coperture.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) più due (S1, S2) categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione a diversa rigidità sismica, caratterizzate da velocità Vs30 (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti:

A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.

B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica Nspt > 50 nei terreni a grana grossa e coesione non drenata cu > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (15 < Nspt < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D) Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

In aggiunta a queste categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

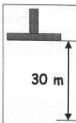
S1 . Depositati di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

S2 . Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

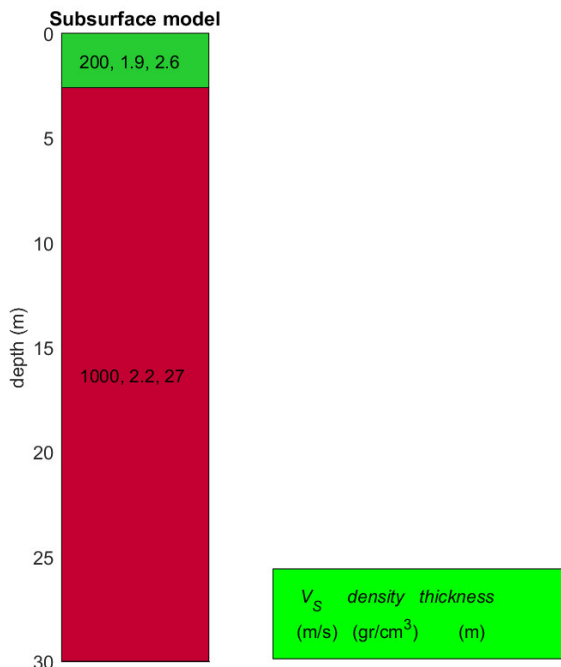
Nelle classificazioni precedenti, Vs30 è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione tecnica	5 di 6

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$


Sulla base del sistema stratigrafico definito sulla base delle velocità di propagazione delle onde sismiche “S” e di seguito riportato:



Si possono trarre le seguenti considerazioni:

- Il substrato rigido di riferimento avente $V_s > 800$ m/s si riscontra ad una profondità, da piano campagna, di circa 2,6m (<3,0);
 - le V_{s30} sono pari a 743m/s (suolo tipo B);
- sulla base di quanto sopra valutato pertanto ragionevole ascrivere, il terreno di fondazione, al profilo stratigrafico **B**: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa e coesione non drenata $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Dr. Geol. Matteo Angiolini



**INDAGINE SISMICA
H.V.S.R.
(Horizontal to Vertical Spectral Ratio)**

RELAZIONE TECNICA

Committente: Comune di Fosdinovo

Cantiere: Fosdinovo

Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 3

Indagine HVSR2

INDICE

1. INDAGINI SISMICHE H. V. S. R.....	3
1.1 <i>Risultati delle indagini H.V.S.R.</i>	3
2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008).....	5

1. INDAGINI SISMICHE H. V. S. R.

La presente tipologia d'indagine, definita "tecnica HVSR" (Horizontal to Vertical Spectral Ratio Metodo di Nakamura), prevede la registrazione dei microtremori sismici terrestri.

I microtremori terrestri, presenti ovunque sulla superficie terrestre, sono così definiti perché generati sia dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento, vulcani, movimenti nel sottosuolo, etc) che dall'attività antropica (strade, ferrovie, industrie, etc) e quindi collegati ad oscillazioni molto più piccole della superficie terrestre rispetto a quelle indotte dai terremoti.

Questa tecnica è definita quindi passiva, in quanto il "rumore" non è generato appositamente per l'indagine come ad esempio le energizzazioni per la sismica attiva.

Le sollecitazioni in oggetto si propagano a livello del bedrock attraverso onde di superficie (onde di Love, onde di Rayleigh etc) che sono caratterizzate da una legge di attenuazione poco sensibile alla distanza considerata.

In particolare queste sollecitazioni, giunte al bedrock presente sotto il sito di misura, subiscono anche diverse amplificazioni passando da un mezzo più rigido (strato molto addensato o consistente) ad un mezzo meno rigido (strato poco addensato o poco consistente).

Le frequenze che, attraversando uno specifico strato, subiscono il fenomeno della risonanza e che vengono amplificate maggiormente, forniscono informazioni sullo spessore dello strato, che guida questo fenomeno.

L'ampiezza della amplificazione dipende invece dal contrasto di rigidità tra i due strati attraversati.

Inserendo i dati registrati su un diagramma H/V (spessore/velocità) ed interpretandone l'andamento è quindi possibile avere indicazioni sullo spessore degli strati e sui contrasti di rigidità, previa una corretta "pulizia" del segnale eliminando i disturbi dovuti a limitrofe sollecitazioni antropiche.

L'interpretazione di queste curve è tuttavia viziata dalla presenza di due incognite (spessore e velocità) per una sola equazione; per risolvere il problema è necessario procedere strato per strato e vincolare una di queste due incognite (grazie ad altri dati geologici o ad ipotesi di lavoro) per trovare l'altra; una volta risolto il primo strato, è possibile interpretare quelli sottostanti perché si conoscono, oltre alle frequenze, anche i fattori di amplificazione delle velocità.

Nell'ipotesi di investigare coperture "soffici" al di sopra di un basamento sismico rigido, è possibile stabilire una relazione tra lo spessore dello strato "soffice" h , la velocità media delle Onde S (V_s) e la frequenza di risonanza fondamentale (f_0) del sito attraverso la formula: $f_0 = V_s / 4h$.

Quindi ottenuto il valore f_0 dalle misure effettuate, avendo a disposizione dati provenienti da indagini pregresse (ad esempio valore V_s), è possibile stimare lo spessore dello strato "soffice" h , viceversa, conoscendo il dato h , si può risalire al valore di V_s medio dello strato.

Il software utilizzato WinMASW 3C 7.1 ricostruisce la curva sintetica H/V a partire dal modello sismostratigrafico proposto dall'operatore; quando la curva sintetica si accorda con quella sperimentale, significa che il modello sismico proposto è compatibile con la misura registrata.

Perché la prova sia attendibile non è necessaria una perfetta e completa sovrapposizione delle curve (quella sperimentale è viziata da interferenze di vario tipo), ma è sufficiente un buon accordo tra i picchi di amplificazione principali ed in particolare quelli più superficiali.

1.1 Risultati delle indagini H.V.S.R.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospectore sismico

PASI modello 16S24U

analisi dei dati acquisiti: software winMASW 3C 7.1

terna: geofono triassiale 2Hz fornito dalla EliaSoft

Elaborazione HVSR

Sampling frequency (Hz): 62.5

Window length (sec): 18

Minimum frequency soundly determined [5 cycles]: 0.27778Hz

Length of analysed dataset (min): 10.8

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

SESAME criteria

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 2.1 (± 1.3)

Peak HVSR value: 3.6 (± 0.7)

Criteria for a reliable H/V curve

#1. [$f_0 > 10/Lw$]: 2.077 > 0.55556 (OK)

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione tecnica	3 di 6

#2. [nc > 200]: 2206 > 200 (OK)

#3. [f0>0.5Hz; sigmaA(f) < 2 for 0.5f0 < f < 2f0] (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

#1. [exists f- in the range [f0/4, f0] | AH/V(f-) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency 0.5Hz (OK)

#2. [exists f+ in the range [f0, 4f0] | AH/V(f+) < A0/2]: yes (considering standard deviations), at frequency Hz (OK)

#3. [A0 > 2]: 3.6 > 2 (OK)

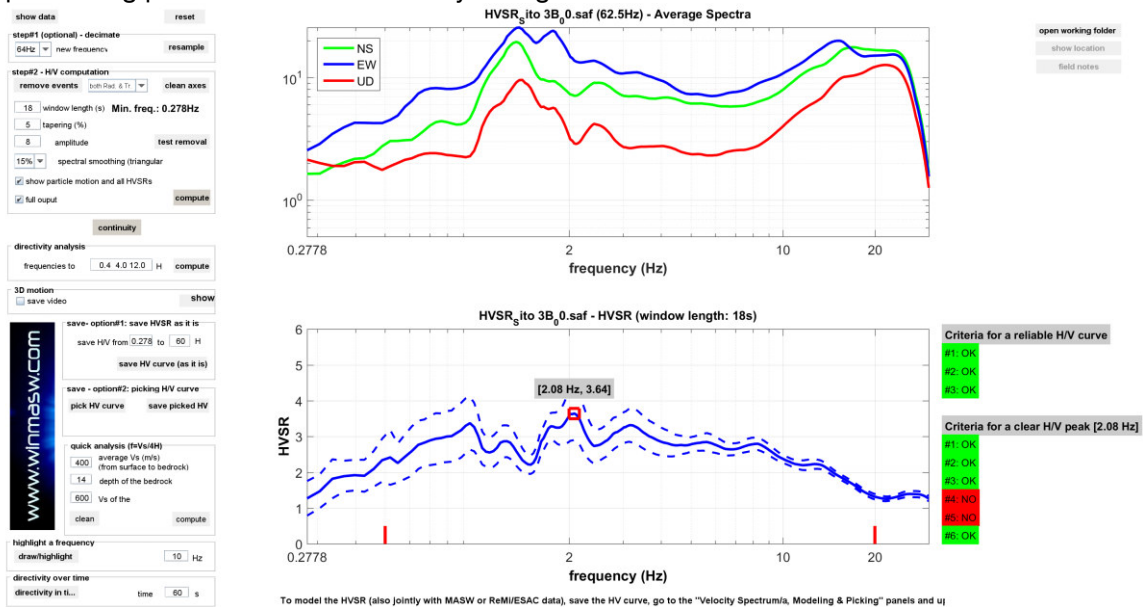
#4. [fpeak[Ah/v(f) ± sigmaA(f)] = f0 ± 5%]: (NO)

#5. [sigmaf < epsilon(f0)]: 1.276 > 0.104 (NO)

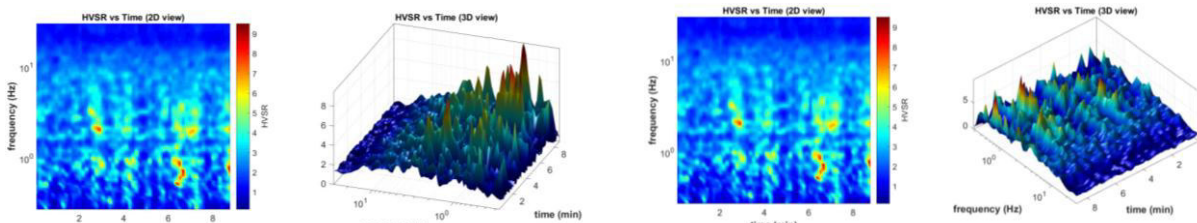
#6. [sigmaA(f0) < theta(f0)]: 0.624 < 1.58 (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

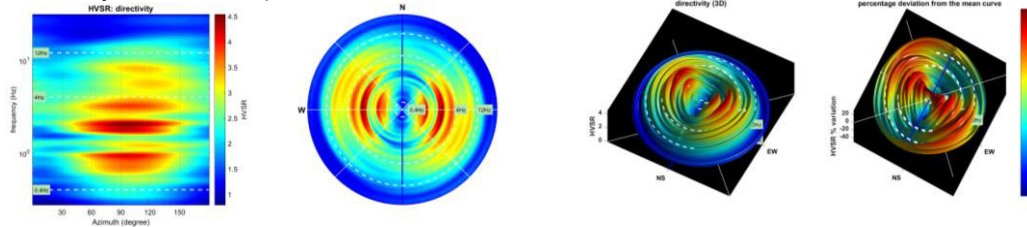
Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters the results may change.



Continuity (Persistence) of the H/V Spectral Ratio



Directivity of the H/V Spectral Ratio



Dataset:

Subsurface Model

Vs (m/s): 200 600 1200

Thickness (m): 3.9, 14.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.88 2.11 2.28

Shear modulus (MPa) (approximate values): 75 759 3278

Analyzing Phase velocities

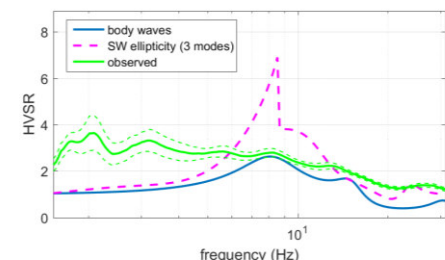
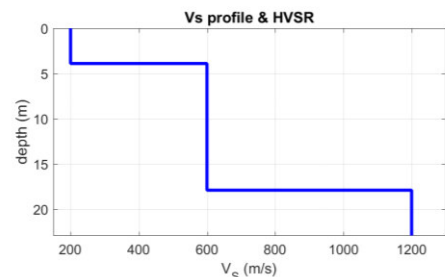
Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 490 1249 2498

Poisson: 0.40 0.35 0.35

Vs30 (m/s): 567



2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nella nuova normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio Vsh all'interno delle coperture.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) più due (S1, S2) categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione a diversa rigidità sismica, caratterizzate da velocità Vs30 (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti:

A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.

B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica Nspt > 50 nei terreni a grana grossa e coesione non drenata cu > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (15 < Nspt < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D) Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero Nspt,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

In aggiunta a queste categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

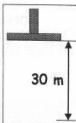
S1 . Depositati di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

S2 . Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

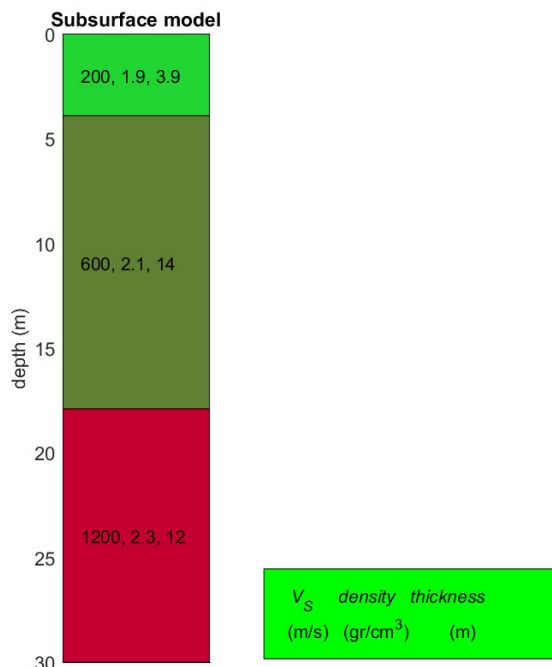
Nelle classificazioni precedenti, Vs30 è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

Dott. Geologo Matteo Angiolini	Elaborato	Pag.
	Relazione tecnica	5 di 6

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$


Sulla base del sistema stratigrafico definito sulla base delle velocità di propagazione delle onde sismiche "S" e di seguito riportato:



Si possono trarre le seguenti considerazioni:

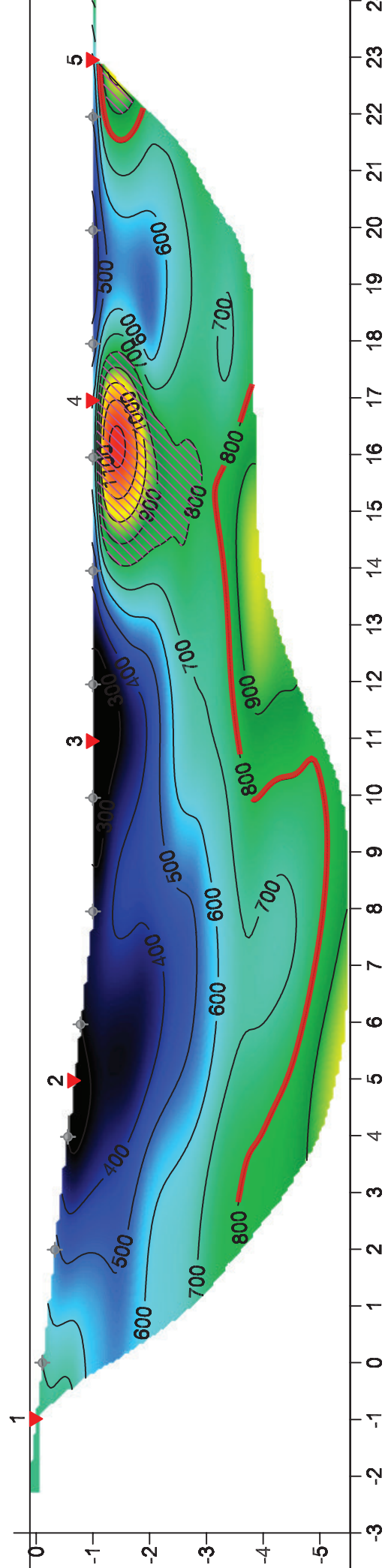
- il substrato rigido di riferimento avente $V_s > 800$ m/s si riscontra ad una profondità, da piano campagna, di circa 17,9m ($>3,0$; $<20,0$ m);
 - le VS fino alla profondità di 17,9m da piano campagna sono pari a 416m/s (suolo B);
 - le VS tra le profondità da piano campagna di 17,9 e 30m sono pari a 1200m/s (suolo A)
 - il rapporto tra i due valori di Vs ricavati (1200/416) è pari a 2,88 $>$ 2,22 (ottenuto da 800/360; valore di riferimento che indica una marcata differenza di risposta sismica tra suoli)
 - le VS30 sono pari a 567m/s (suolo tipo B);
- sulla base di quanto sopra valuto pertanto ragionevole ascrivere il terreno di fondazione, al profilo stratigrafico **E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Si può inoltre affermare che il picco di frequenza dei terreni oggetto di intervento è pari a 2.1 (± 1.3) Hz

Dr. Geol. Matteo Angiolini



Sezione geofisica interpretata in onde P Stesa B1 sito n°4

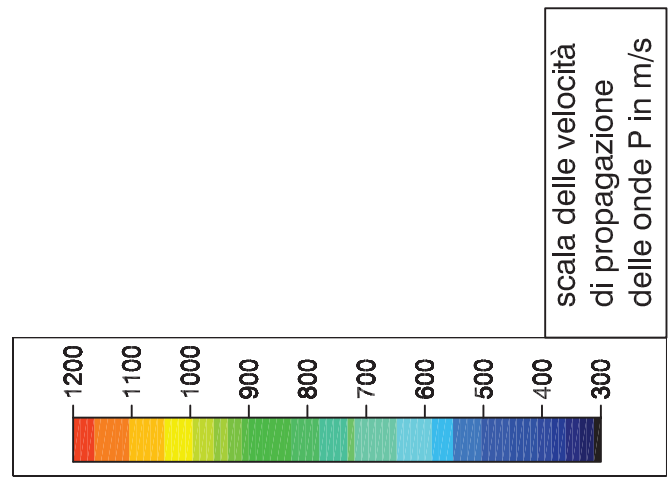


Legenda

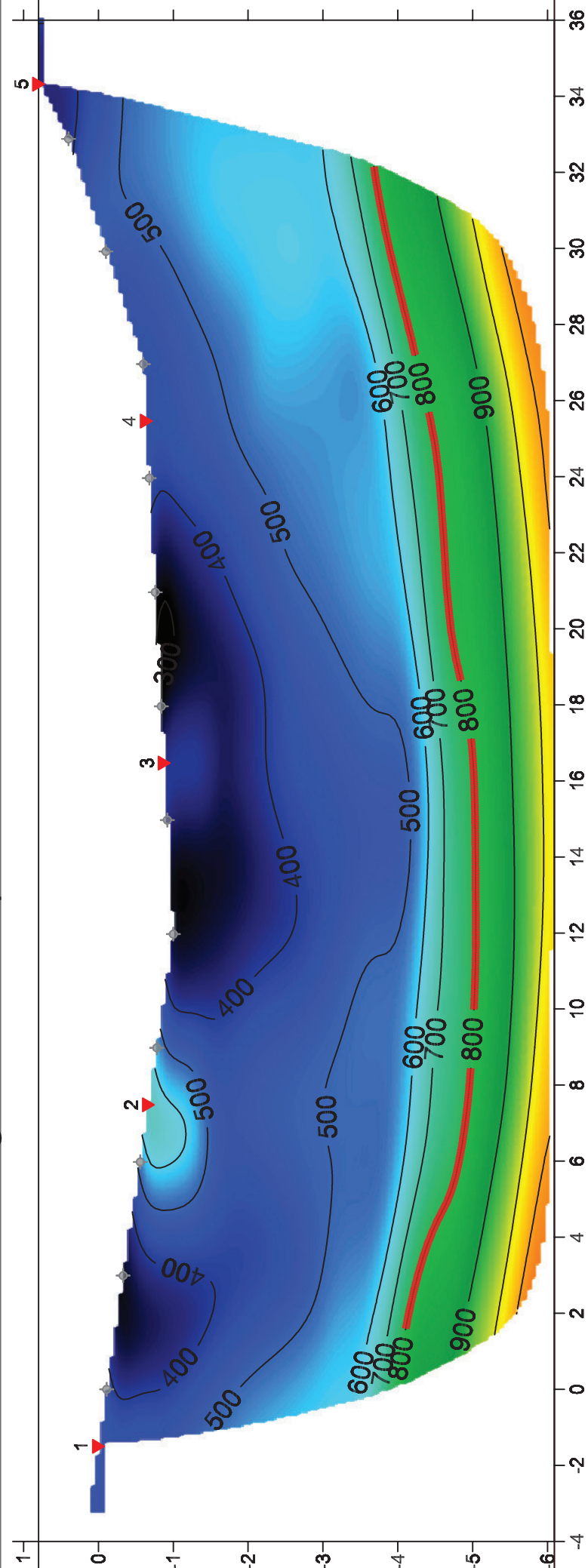
- 1 superficie topografica
- 2 velocità assimilabili alla presenza di terreno detritico da poco a mediamente addensato/compatto
- 3 800m/s
- 4 velocità assimilabili alla presenza del substrato roccioso molto alterato e fratturato
- 5 zone con anomalia di velocità di propagazione delle onde sismiche P per la presenza di asfalto nel punto di energizzazione

- 3 shot
- 4 geofoni

scala 1:100



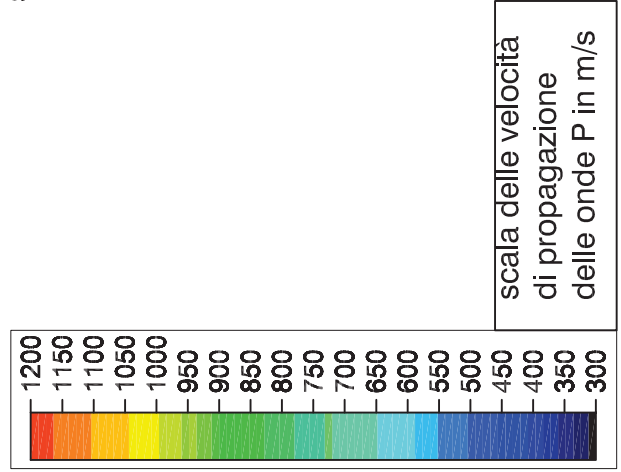
Sezione geofisica interpretata in onde P Stesa B2 sito n°4



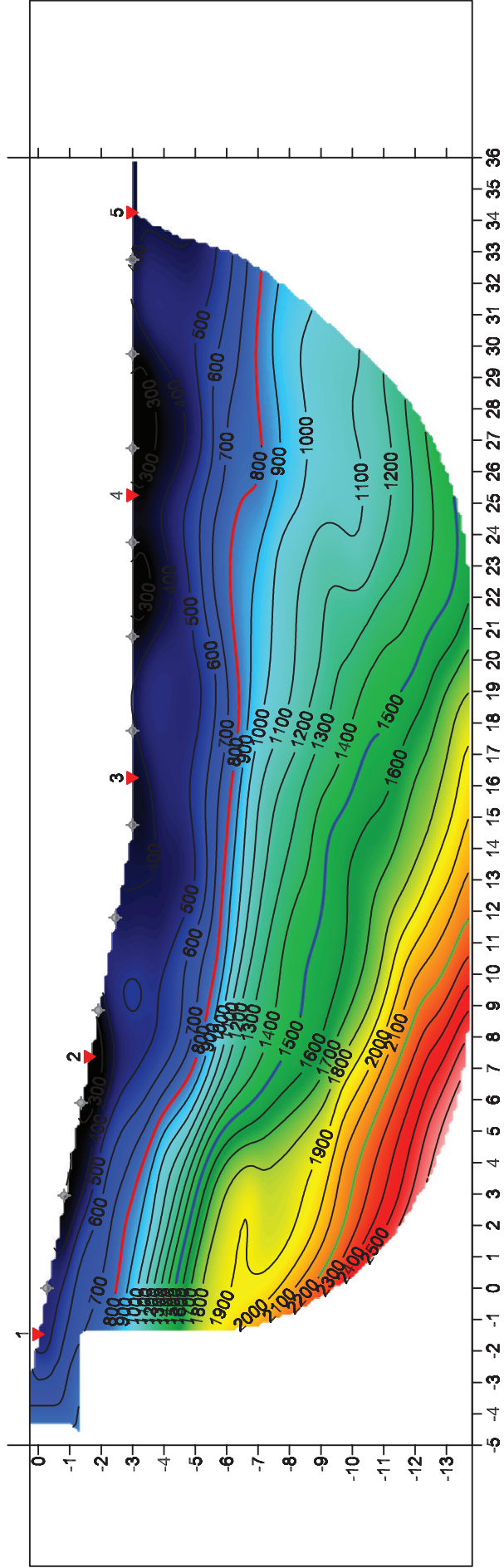
Legenda

- 1 superficie topografica
- velocità assimilabili alla presenza di terreno detritico da poco a mediamente addensato/compatto
- 800m/s
- velocità assimilabili alla presenza di terreno detritico da mediamente addensato ad addensato o del substrato roccioso molto alterato e fratturato
- 3 shot
- geofoni

scala 1:150






Sezione geofisica interpretata in onde P stesa B3 sito n°4





Legenda


- 1





superficie topografica
- 


velocità assimilabili alla presenza di terreno detritico da poco a mediamente addensato/compatto
- 

800m/s
- 

velocità assimilabili alla presenza del substrato roccioso molto alterato e fratturato
- 

1500m/s
- 

velocità assimilabili alla presenza del substrato roccioso mediamente alterato e fratturato
- 

2200m/s
- 

velocità assimilabili alla presenza del substrato roccioso poco alterato e fratturato

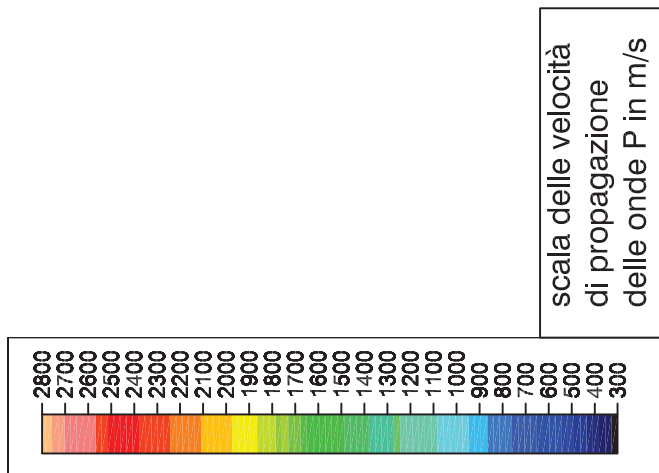
- 3



shot
- 

geofoni

scala 1:200



**INDAGINE SISMICA
M.A.S.W.
(Multichannel Analysis of Surface Waves)**

RELAZIONE TECNICA

Committente: Comune di Fosdinovo

Cantiere: Fosdinovo

Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 4

Indagine MASW 1

INDICE

1. INDAGINI SISMICHE M.A.S.W.	3
1.1 <i>Risultati delle indagini M.A.S.W.</i>	3
2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008).....	4

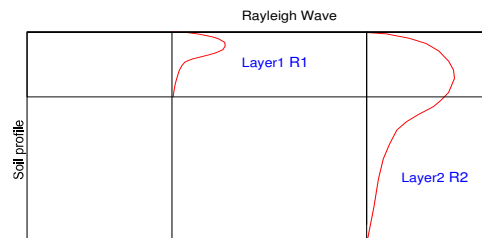
1. INDAGINI SISMICHE M.A.S.W.

Le MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono una metodologia d'investigazione che permette di ricavare le velocità delle onde di taglio V_s con la determinazione della categoria sismica di terreno (A, B, C, D, E, S1, S2) secondo quanto indicato nella nuova normativa sismica (OPCM 3274 del 20.03.2003 e s.m.i., D.M. 14.01.2008) e dagli Eurocodici 7 "Progettazione geotecnica" e 8 "Regole progettuali per le strutture antisismiche".

La misura delle velocità delle onde superficiali viene calcolata grazie all'utilizzo di stendimenti di sensori (geofoni) posti a distanze regolari sulla superficie del suolo da indagare.

La porzione che predomina nelle onde superficiali è costituita dalle onde di Rayleigh la cui velocità è correlata alla rigidità e ai parametri elastici dei suoli attraversati.

E' importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive: le alte frequenze e quindi con lunghezze d'onda corta si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno mentre le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi così come di seguito illustrato.



La metodologia M.A.S.W. effettuata viene definita: *attiva* e prevede che le onde superficiali vengano generate in un punto noto ed in modo non casuale e registrate da stendimenti lineari di sensori.

La metodologia utilizzata permette di dettagliare il profilo delle velocità sismiche nei primi 30m da piano campagna da queste si ottiene infatti una curva dispersione per un range di frequenze normalmente comprese tra 5 e 70 Hz, la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche.

Il sistema di elaborazione con metodo MASW In generale prevede tre fasi:

- 1 calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
- 2 calcolo della velocità di fase apparente
- 3 individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s dal modello stratigrafico espresso tramite il profilo di velocità V_s .

1.1 Risultati delle indagini M.A.S.W.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico PASI modello 16S24U e 12 geofoni verticali PASI con frequenza propria di 4.5 Hz.

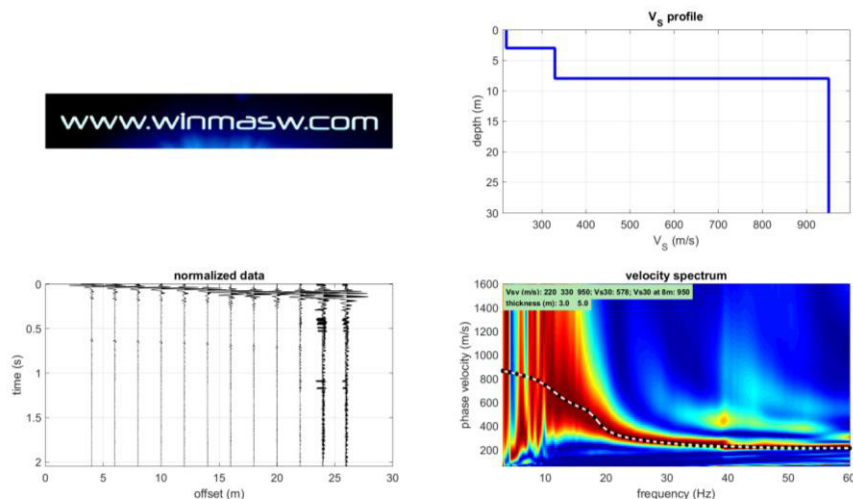
Dati di acquisizione:

N° geofoni = 12

interasse geofoni = 2,0m

sorgente: mazza battente da 8,5kg.

Elaborazione MASW 1



Subsurface Model

Vs (m/s): 220 330 950

Thickness (m): 3.0, 5.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.90 1.96 2.22

Shear modulus (MPa) (approximate values): 92 214 2003

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 539 687 1978

Poisson: 0.40 0.35 0.35

Vs30 (m/s) da piano campagna: 578

2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nella nuova normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio Vsh all'interno delle coperture.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) più due (S1, S2) categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione a diversa rigidità sismica, caratterizzate da velocità Vs30 (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti:

A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.

B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica Nspt > 50 nei terreni a grana grossa e coesione non drenata cu > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (15 < Nspt < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D) Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

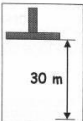
In aggiunta a queste categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 . Depositati di terreni caratterizzati da valori di Vs,30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

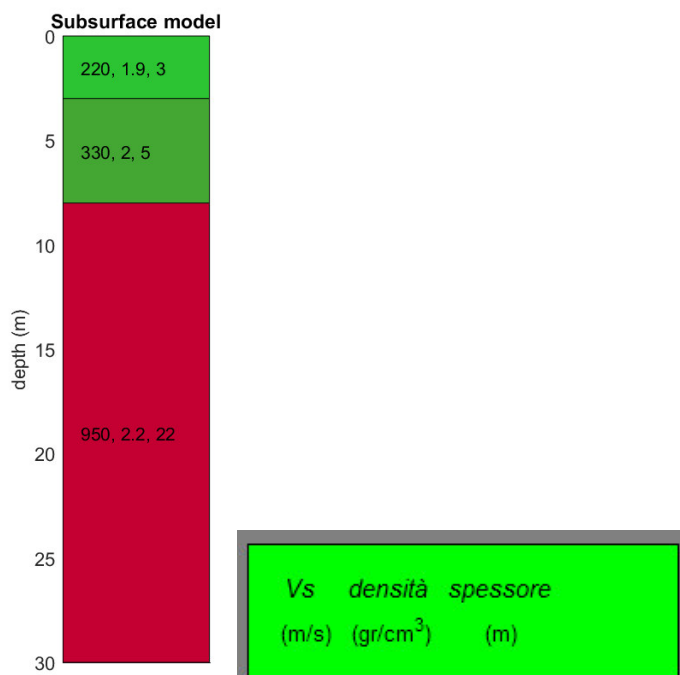
S2 . Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle classificazioni precedenti, Vs30 è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$


Sulla base del sistema stratigrafico definito dalle velocità di propagazione delle onde S e di seguito riportato:



Si possono trarre le seguenti considerazioni:

- Il substrato rigido di riferimento avente $V_s > 800$ m/s si riscontra alla profondità, da piano campagna, di circa 8,0m;
- Le onde sismiche "S" fino alla profondità, da piano campagna, di 8,0m si propagano con una velocità pari a 275m/s (suolo C)
- le VS30 sono pari a 578m/s (suolo tipo B);

sulla base di quanto sopra valutato pertanto ragionevole ascrivere, il terreno di fondazione al profilo stratigrafico **E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Dr. Geol. Matteo Angiolini



**INDAGINE SISMICA
M.A.S.W.
(Multichannel Analysis of Surface Waves)**

RELAZIONE TECNICA

Committente: Comune di Fosdinovo

Cantiere: Fosdinovo

Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 4

Indagine MASW 2

INDICE

1. INDAGINI SISMICHE M.A.S.W.	3
1.1 <i>Risultati delle indagini M.A.S.W.</i>	3
2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008).....	4

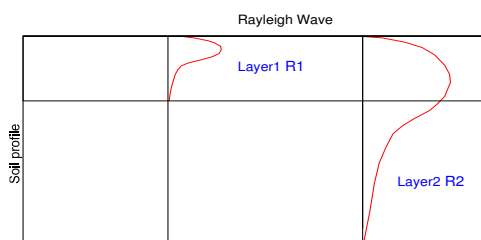
1. INDAGINI SISMICHE M.A.S.W.

Le MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono una metodologia d'investigazione che permette di ricavare le velocità delle onde di taglio V_s con la determinazione della categoria sismica di terreno (A, B, C, D, E, S1, S2) secondo quanto indicato nella nuova normativa sismica (OPCM 3274 del 20.03.2003 e s.m.i., D.M. 14.01.2008) e dagli Eurocodici 7 "Progettazione geotecnica" e 8 "Regole progettuali per le strutture antisismiche".

La misura delle velocità delle onde superficiali viene calcolata grazie all'utilizzo di stendimenti di sensori (geofoni) posti a distanze regolari sulla superficie del suolo da indagare.

La porzione che predomina nelle onde superficiali è costituita dalle onde di Rayleigh la cui velocità è correlata alla rigidità e ai parametri elastici dei suoli attraversati.

E' importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive: le alte frequenze e quindi con lunghezze d'onda corta si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno mentre le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi così come di seguito illustrato.



La metodologia M.A.S.W. effettuata viene definita: *attiva* e prevede che le onde superficiali vengano generate in un punto noto ed in modo non casuale e registrate da stendimenti lineari di sensori.

La metodologia utilizzata permette di dettagliare il profilo delle velocità sismiche nei primi 30m da piano campagna da queste si ottiene infatti una curva dispersione per un range di frequenze normalmente comprese tra 5 e 70 Hz, la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche.

Il sistema di elaborazione con metodo MASW In generale prevede tre fasi:

- 1 calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
- 2 calcolo della velocità di fase apparente
- 3 individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s dal modello stratigrafico espresso tramite il profilo di velocità V_s .

1.1 Risultati delle indagini M.A.S.W.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico PASI modello 16S24U e 12 geofoni verticali PASI con frequenza propria di 4.5 Hz.

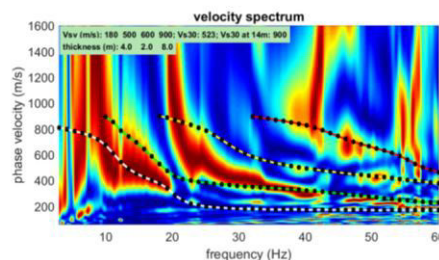
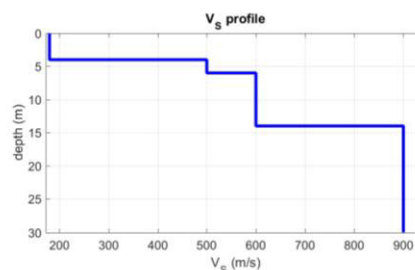
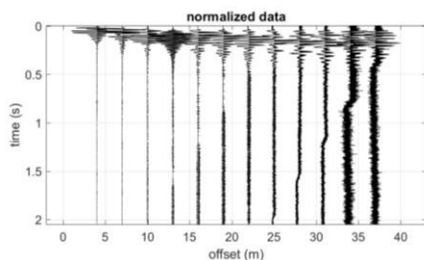
Dati di acquisizione:

N° geofoni = 12

interasse geofoni = 3,0m

sorgente: mazza battente da 8,5kg.

Elaborazione MASW 2



Subsurface Model

Vs (m/s): 180 500 600 900

Thickness (m): 4.0, 2.0, 8.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.86 2.06 2.11 2.21

Shear modulus (MPa) (approximate values): 60 516 759 1787

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 441 1041 1249 1873

Poisson: 0.40 0.35 0.35 0.35

Vs30 (m/s) da piano campagna: 523

2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nella nuova normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidezza sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio Vsh all'interno delle coperture.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) più due (S1, S2) categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione a diversa rigidezza sismica, caratterizzate da velocità Vs30 (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti:

A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.

B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica Nspt > 50 nei terreni a grana grossa e coesione non drenata cu > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C) Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (15 < Nspt < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D) Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

In aggiunta a queste categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

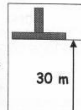
S1 . Depositi di terreni caratterizzati da valori di Vs,30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

S2 . Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

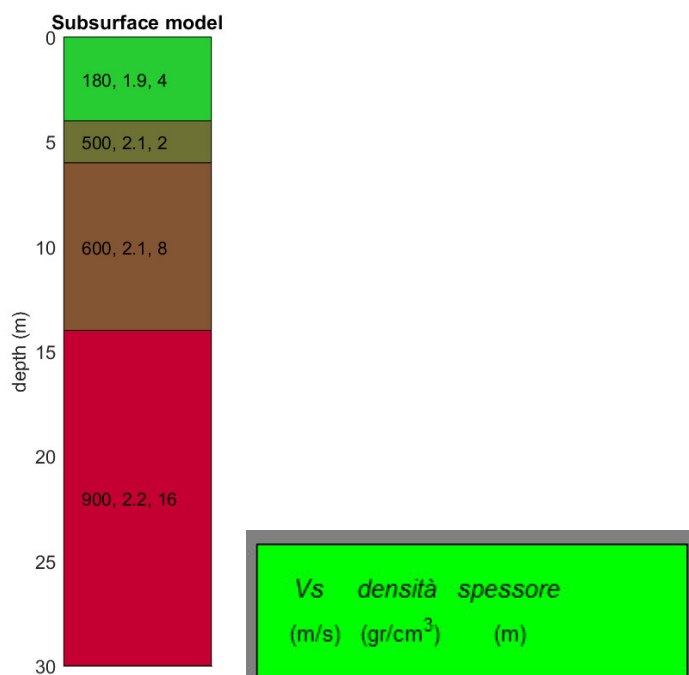
Nelle classificazioni precedenti, Vs30 è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE



Sulla base del sistema stratigrafico definito dalle velocità di propagazione delle onde S e di seguito riportato:



Si possono trarre le seguenti considerazioni:

- Il substrato rigido di riferimento avente $V_s > 800\text{m/s}$ si riscontra alla profondità, da piano campagna, di circa 14,0m;
 - Le onde sismiche "S" fino alla profondità, da piano campagna, di 14,0m si propagano con una velocità pari a 350m/s (suolo C)
 - le VS30 sono pari a 523m/s (suolo tipo B);
- sulla base di quanto sopra valuto pertanto ragionevole ascrivere, il terreno di fondazione al profilo stratigrafico **E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800\text{ m/s}$).

Dr. Geol. Matteo Angiolini



**INDAGINE SISMICA
M.A.S.W.
(Multichannel Analysis of Surface Waves)**

RELAZIONE TECNICA

Committente: Comune di Fosdinovo

Cantiere: Fosdinovo

Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 4

Indagine MASW 3

INDICE

1. INDAGINI SISMICHE M.A.S.W.	3
1.1 <i>Risultati delle indagini M.A.S.W.</i>	3
2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008).....	4

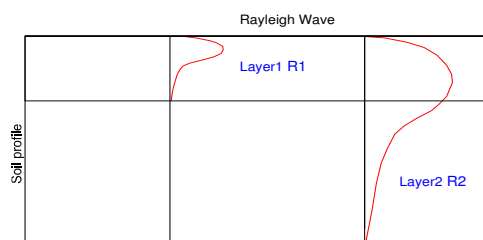
1. INDAGINI SISMICHE M.A.S.W.

Le MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono una metodologia d'investigazione che permette di ricavare le velocità delle onde di taglio V_s con la determinazione della categoria sismica di terreno (A, B, C, D, E, S1, S2) secondo quanto indicato nella nuova normativa sismica (OPCM 3274 del 20.03.2003 e s.m.i., D.M. 14.01.2008) e dagli Eurocodici 7 "Progettazione geotecnica" e 8 "Regole progettuali per le strutture antisismiche".

La misura delle velocità delle onde superficiali viene calcolata grazie all'utilizzo di stendimenti di sensori (geofoni) posti a distanze regolari sulla superficie del suolo da indagare.

La porzione che predomina nelle onde superficiali è costituita dalle onde di Rayleigh la cui velocità è correlata alla rigidità e ai parametri elastici dei suoli attraversati.

E' importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive: le alte frequenze e quindi con lunghezze d'onda corta si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno mentre le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi così come di seguito illustrato.



La metodologia M.A.S.W. effettuata viene definita: *attiva* e prevede che le onde superficiali vengano generate in un punto noto ed in modo non casuale e registrate da stendimenti lineari di sensori.

La metodologia utilizzata permette di dettagliare il profilo delle velocità sismiche nei primi 30m da piano campagna da queste si ottiene infatti una curva dispersione per un range di frequenze normalmente comprese tra 5 e 70 Hz, la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche.

Il sistema di elaborazione con metodo MASW In generale prevede tre fasi:

- 1 calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
- 2 calcolo della velocità di fase apparente
- 3 individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s dal modello stratigrafico espresso tramite il profilo di velocità V_s .

1.1 Risultati delle indagini M.A.S.W.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico PASI modello 16S24U e 12 geofoni verticali PASI con frequenza propria di 4.5 Hz.

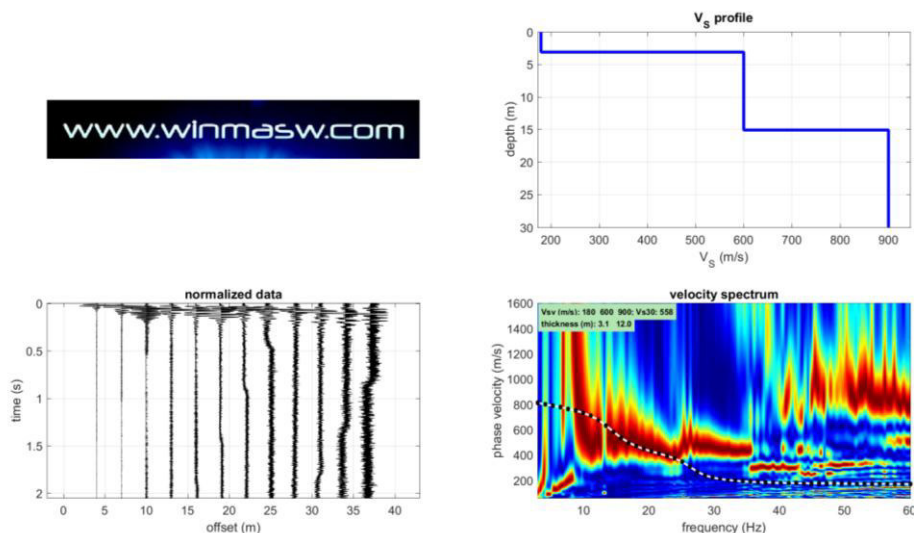
Dati di acquisizione:

N° geofoni = 12

interasse geofoni = 3,0m

sorgente: mazza battente da 8,5kg.

Elaborazione MASW 3



Subsurface Model

Vs (m/s): 180 600 900

Thickness (m): 3.1, 12.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.86 2.11 2.21

Shear modulus (MPa) (approximate values): 60 759 1787

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 441 1249 1873

Poisson: 0.40 0.35 0.35

Vs30 (m/s) da piano campagna: 558

2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nella nuova normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidezza sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio Vsh all'interno delle coperture.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) più due (S1, S2) categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione a diversa rigidezza sismica, caratterizzate da velocità Vs30 (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti:

A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.

B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica Nspt > 50 nei terreni a grana grossa e coesione non drenata cu > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (15 < Nspt < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D) Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

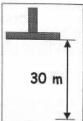
In aggiunta a queste categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 . Depositati di terreni caratterizzati da valori di Vs,30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

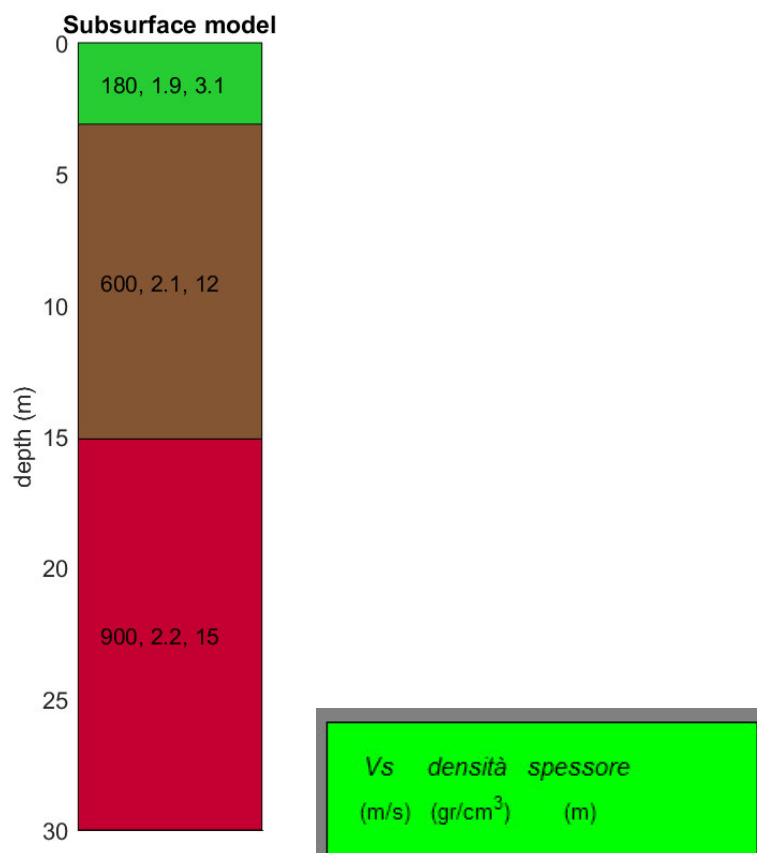
S2 . Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle classificazioni precedenti, Vs30 è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$


Sulla base del sistema stratigrafico definito dalle velocità di propagazione delle onde S e di seguito riportato:



Si possono trarre le seguenti considerazioni:

- Il substrato rigido di riferimento avente $V_s > 800 \text{ m/s}$ si riscontra alla profondità, da piano campagna, di circa 15,1m ($>3,0; <20 \text{ m}$);
- Le onde sismiche "S" fino alla profondità, da piano campagna, di 15,1m si propagano con una velocità pari a 408m/s (suolo B);
- Il rapporto tra i due valori di velocità ricavati ($900/408$) è pari a $2,2=2,2$ (ottenuto da $800/360$; valore di riferimento che indica una marcata differenza di risposta sismica tra suoli)
- le VS30 sono pari a 558m/s (suolo tipo B);

sulla base di quanto sopra valutato pertanto ragionevole ascrivere, il terreno di fondazione al profilo stratigrafico **E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800 \text{ m/s}$).

Dr. Geol. Matteo Angiolini



**INDAGINE SISMICA
H.V.S.R.
(Horizontal to Vertical Spectral Ratio)**

RELAZIONE TECNICA

Committente: Comune di Fosdinovo

Cantiere: Fosdinovo

Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 5

Indagine HVSR1

INDICE

1. INDAGINI SISMICHE H.V.S.R.....	3
1.1 <i>Risultati delle indagini HVSR.</i>	3
2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008).....	5

1. INDAGINI SISMICHE H. V. S. R.

La presente tipologia d'indagine, definita "tecnica HVSR" (Horizontal to Vertical Spectral Ratio Metodo di Nakamura), prevede la registrazione dei microtremori sismici terrestri.

I microtremori terrestri, presenti ovunque sulla superficie terrestre, sono così definiti perché generati sia dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento, vulcani, movimenti nel sottosuolo, etc) che dall'attività antropica (strade, ferrovie, industrie, etc) e quindi collegati ad oscillazioni molto più piccole della superficie terrestre rispetto a quelle indotte dai terremoti.

Questa tecnica è definita quindi passiva, in quanto il "rumore" non è generato appositamente per l'indagine come ad esempio le energizzazioni per la sismica attiva.

Le sollecitazioni in oggetto si propagano a livello del bedrock attraverso onde di superficie (onde di Love, onde di Rayleigh etc) che sono caratterizzate da una legge di attenuazione poco sensibile alla distanza considerata.

In particolare queste sollecitazioni, giunte al bedrock presente sotto il sito di misura, subiscono anche diverse amplificazioni passando da un mezzo più rigido (strato molto addensato o consistente) ad un mezzo meno rigido (strato poco addensato o poco consistente).

Le frequenze che, attraversando uno specifico strato, subiscono il fenomeno della risonanza e che vengono amplificate maggiormente, forniscono informazioni sullo spessore dello strato, che guida questo fenomeno.

L'ampiezza della amplificazione dipende invece dal contrasto di rigidità tra i due strati attraversati.

Inserendo i dati registrati su un diagramma H/V (spessore/velocità) ed interpretandone l'andamento è quindi possibile avere indicazioni sullo spessore degli strati e sui contrasti di rigidità, previa una corretta "pulizia" del segnale eliminando i disturbi dovuti a limitrofe sollecitazioni antropiche.

L'interpretazione di queste curve è tuttavia viziata dalla presenza di due incognite (spessore e velocità) per una sola equazione; per risolvere il problema è necessario procedere strato per strato e vincolare una di queste due incognite (grazie ad altri dati geologici o ad ipotesi di lavoro) per trovare l'altra; una volta risolto il primo strato, è possibile interpretare quelli sottostanti perché si conoscono, oltre alle frequenze, anche i fattori di amplificazione delle velocità.

Nell'ipotesi di investigare coperture "soffici" al di sopra di un basamento sismico rigido, è possibile stabilire una relazione tra lo spessore dello strato "soffice" h , la velocità media delle Onde S (V_s) e la frequenza di risonanza fondamentale (f_0) del sito attraverso la formula: $f_0 = V_s / 4h$.

Quindi ottenuto il valore f_0 dalle misure effettuate, avendo a disposizione dati provenienti da indagini pregresse (ad esempio valore V_s), è possibile stimare lo spessore dello strato "soffice" h , viceversa, conoscendo il dato h , si può risalire al valore di V_s medio dello strato.

Il software utilizzato WinMASW 3C 7.1 ricostruisce la curva sintetica H/V a partire dal modello sismostratigrafico proposto dall'operatore; quando la curva sintetica si accorda con quella sperimentale, significa che il modello sismico proposto è compatibile con la misura registrata.

Perché la prova sia attendibile non è necessaria una perfetta e completa sovrapposizione delle curve (quella sperimentale è viziata da interferenze di vario tipo), ma è sufficiente un buon accordo tra i picchi di amplificazione principali ed in particolare quelli più superficiali.

1.1 Risultati delle indagini H.V.S.R.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospectore sismico

PASI modello 16S24U

analisi dei dati acquisiti: software winMASW 3C 7.1

terna: geofono triassiale 2Hz fornito dalla EliaSoft

Elaborazione HVSR

Sampling frequency (Hz): 62.5

Window length (sec): 18

Minimum frequency soundly determined [5 cycles]: 0.27778Hz

Length of analysed dataset (min): 14.2

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

SESAME criteria,

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 12.2 (± 5.4)

Peak HVSR value: 2.4 (± 0.2)

Criteria for a reliable H/V curve

#1. $[f_0 > 10/Lw]$: $12.188 > 0.55556$ (OK)

#2. $[nc > 200]$: $16454 > 200$ (OK)

#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

#1. $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$: yes, at frequency 5.8Hz (OK)

#2. $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$: yes, at frequency 23.8Hz (OK)

#3. $[A_0 > 2]$: $2.4 > 2$ (OK)

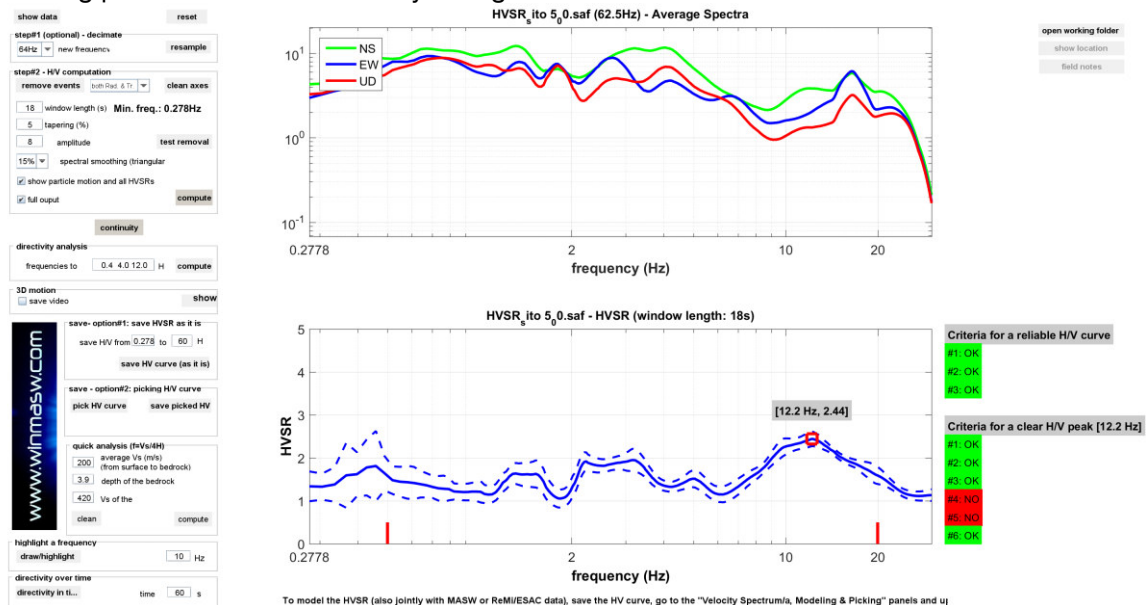
#4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)

#5. $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]$: $5.418 > 0.609$ (NO)

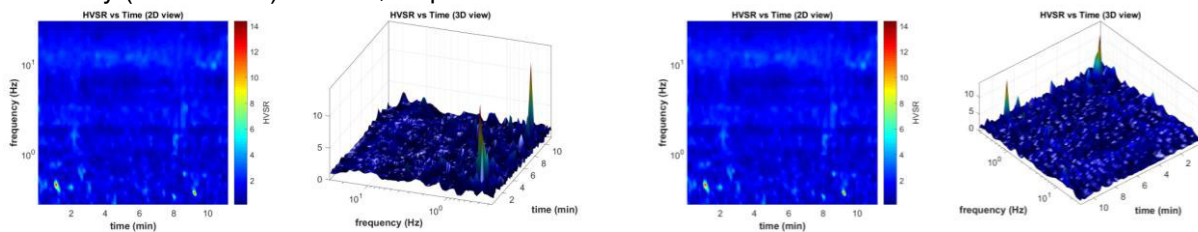
#6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.319 < 1.58$ (OK)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

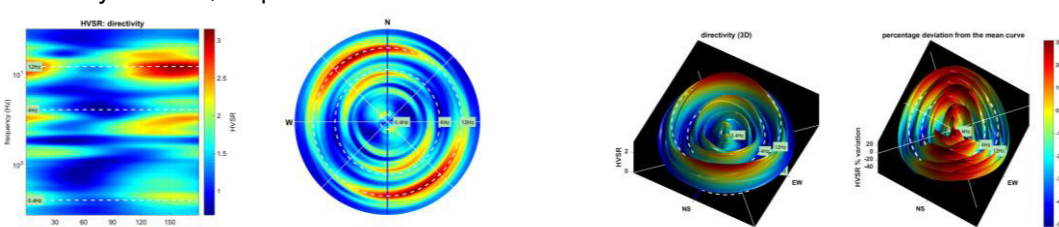
Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters the results may change.



Continuity (Persistence) of the H/V Spectral Ratio



Directivity of the H/V Spectral Ratio



Dataset:

Subsurface Model

Vs (m/s): 180 500

Thickness (m): 3.7

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.86 2.06

Shear modulus (MPa) (approximate values): 60 516

Analyzing Phase velocities

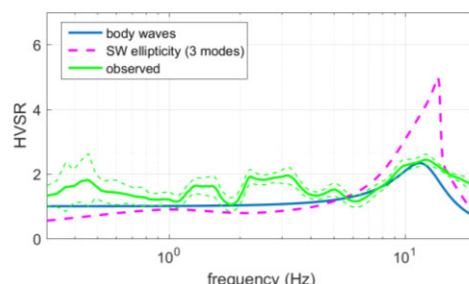
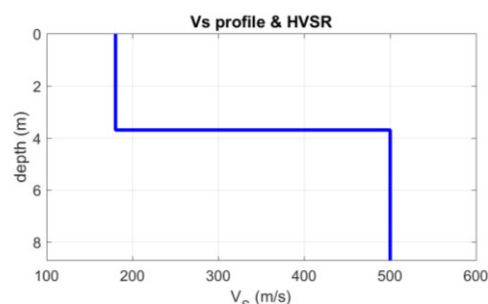
Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 441 1041

Poisson: 0.40 0.35

Vs30 (m/s) da piano campagna: 410



2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nella nuova normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio Vsh all'interno delle coperture.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) più due (S1, S2) categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione a diversa rigidità sismica, caratterizzate da velocità Vs30 (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti:

A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.

B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica Nspt > 50 nei terreni a grana grossa e coesione non drenata cu > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (15 < Nspt < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D) Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero Nspt,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

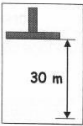
E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

In aggiunta a queste categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

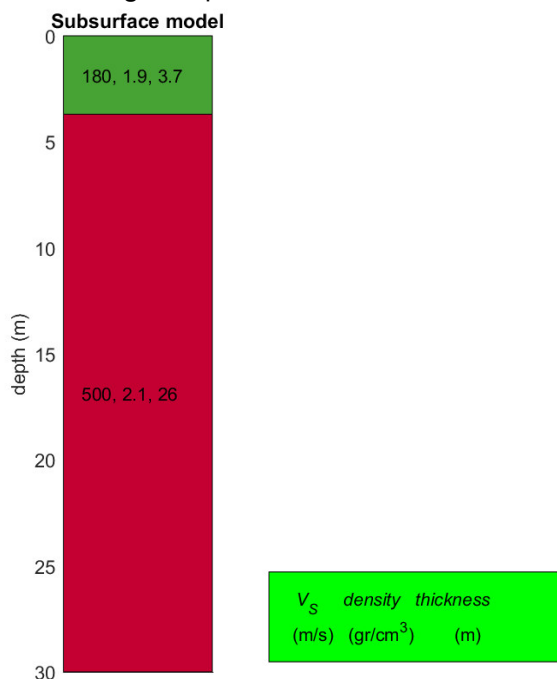
S1 . Depositati di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

S2 . Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle classificazioni precedenti, Vs30 è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE \rightarrow $V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$ \rightarrow 

Sulla base del sistema stratigrafico definito sulla base delle velocità di propagazione delle onde sismiche "S" e di seguito riportato:



Si possono trarre le seguenti considerazioni:

- Il substrato rigido di riferimento avente $V_s > 800$ m/s si riscontra ad una profondità, da piano campagna, superiore a 30m;
- le VS30 sono pari a 410m/s (suolo tipo B);

sulla base di quanto sopra valutato pertanto ragionevole ascrivere, il terreno di fondazione, al profilo stratigrafico **B**: Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica $N_{spt} > 50$ nei terreni a grana grossa e coesione non drenata $c_u > 250$ kPa nei terreni a grana fina)

Dr. Geol. Matteo Angiolini



**INDAGINE SISMICA
H.V.S.R.
(Horizontal to Vertical Spectral Ratio)**

RELAZIONE TECNICA

Committente: Comune di Fosdinovo

Cantiere: Fosdinovo

Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 6

Indagine HVSR1

INDICE

1. INDAGINI SISMICHE H.V.S.R.....	3
1.1 <i>Risultati delle indagini HVSR.</i>	3
2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008).....	5

1. INDAGINI SISMICHE H. V. S. R.

La presente tipologia d'indagine, definita "tecnica HVSR" (Horizontal to Vertical Spectral Ratio Metodo di Nakamura), prevede la registrazione dei microtremori sismici terrestri.

I microtremori terrestri, presenti ovunque sulla superficie terrestre, sono così definiti perché generati sia dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento, vulcani, movimenti nel sottosuolo, etc) che dall'attività antropica (strade, ferrovie, industrie, etc) e quindi collegati ad oscillazioni molto più piccole della superficie terrestre rispetto a quelle indotte dai terremoti.

Questa tecnica è definita quindi passiva, in quanto il "rumore" non è generato appositamente per l'indagine come ad esempio le energizzazioni per la sismica attiva.

Le sollecitazioni in oggetto si propagano a livello del bedrock attraverso onde di superficie (onde di Love, onde di Rayleigh etc) che sono caratterizzate da una legge di attenuazione poco sensibile alla distanza considerata.

In particolare queste sollecitazioni, giunte al bedrock presente sotto il sito di misura, subiscono anche diverse amplificazioni passando da un mezzo più rigido (strato molto addensato o consistente) ad un mezzo meno rigido (strato poco addensato o poco consistente).

Le frequenze che, attraversando uno specifico strato, subiscono il fenomeno della risonanza e che vengono amplificate maggiormente, forniscono informazioni sullo spessore dello strato, che guida questo fenomeno.

L'ampiezza della amplificazione dipende invece dal contrasto di rigidità tra i due strati attraversati.

Inserendo i dati registrati su un diagramma H/V (spessore/velocità) ed interpretandone l'andamento è quindi possibile avere indicazioni sullo spessore degli strati e sui contrasti di rigidità, previa una corretta "pulizia" del segnale eliminando i disturbi dovuti a limitrofe sollecitazioni antropiche.

L'interpretazione di queste curve è tuttavia viziata dalla presenza di due incognite (spessore e velocità) per una sola equazione; per risolvere il problema è necessario procedere strato per strato e vincolare una di queste due incognite (grazie ad altri dati geologici o ad ipotesi di lavoro) per trovare l'altra; una volta risolto il primo strato, è possibile interpretare quelli sottostanti perché si conoscono, oltre alle frequenze, anche i fattori di amplificazione delle velocità.

Nell'ipotesi di investigare coperture "soffici" al di sopra di un basamento sismico rigido, è possibile stabilire una relazione tra lo spessore dello strato "soffice" h , la velocità media delle Onde S (V_s) e la frequenza di risonanza fondamentale (f_0) del sito attraverso la formula: $f_0 = V_s / 4h$.

Quindi ottenuto il valore f_0 dalle misure effettuate, avendo a disposizione dati provenienti da indagini pregresse (ad esempio valore V_s), è possibile stimare lo spessore dello strato "soffice" h , viceversa, conoscendo il dato h , si può risalire al valore di V_s medio dello strato.

Il software utilizzato WinMASW 3C 7.1 ricostruisce la curva sintetica H/V a partire dal modello sismostratigrafico proposto dall'operatore; quando la curva sintetica si accorda con quella sperimentale, significa che il modello sismico proposto è compatibile con la misura registrata.

Perché la prova sia attendibile non è necessaria una perfetta e completa sovrapposizione delle curve (quella sperimentale è viziata da interferenze di vario tipo), ma è sufficiente un buon accordo tra i picchi di amplificazione principali ed in particolare quelli più superficiali.

1.1 Risultati delle indagini H.V.S.R.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospectore sismico

PASI modello 16S24U

analisi dei dati acquisiti: software winMASW 3C 7.1

terna: geofono triassiale 2Hz fornito dalla EliaSoft

Elaborazione HVSR

Sampling frequency (Hz): 62.5

Window length (sec): 18

Minimum frequency soundly determined [5 cycles]: 0.27778Hz

Length of analysed dataset (min): 14.2

Tapering (%): 5

Smoothing (%): 15

SESAME criteria,

In the following the results considering the data in the 0.5-20.0Hz frequency range

Peak frequency (Hz): 10.6 (± 3.8)

Peak HVSR value: 6.4 (± 0.9)

Criteria for a reliable H/V curve

#1. $[f_0 > 10/Lw]$: $10.569 > 0.55556$ (OK)

#2. $[nc > 200]$: $14269 > 200$ (OK)

#3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

Criteria for a clear H/V peak (at least 5 should be fulfilled)

#1. $[\text{exists } f_- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f_-) < A_0/2]$: yes, at frequency 2.7Hz (OK)

#2. $[\text{exists } f_+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f_+) < A_0/2]$: yes, at frequency 13.1Hz (OK)

#3. $[A_0 > 2]$: $6.4 > 2$ (OK)

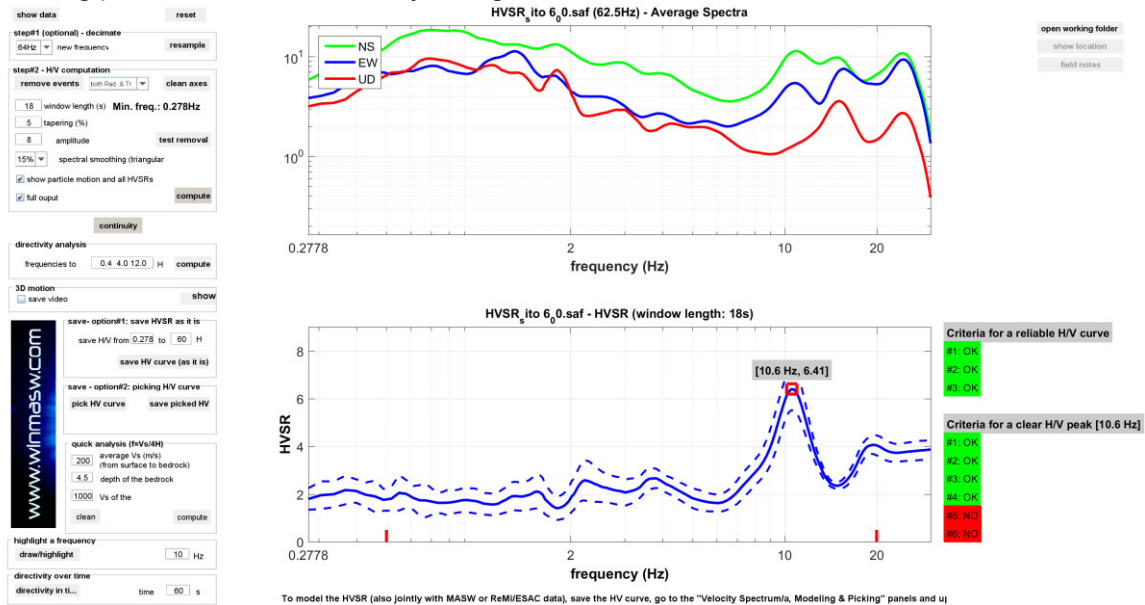
#4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (OK)

#5. $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]$: $3.824 > 0.528$ (NO)

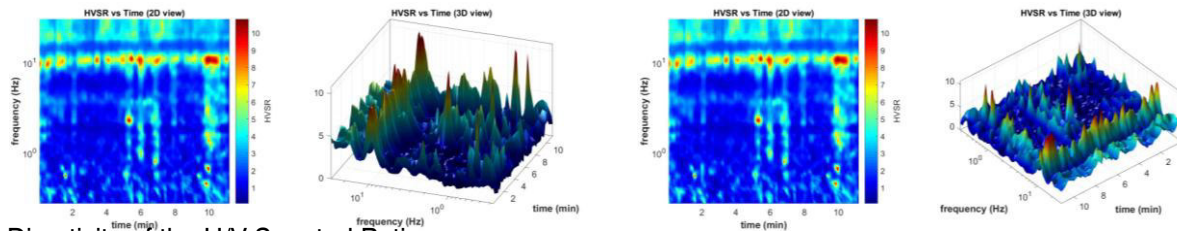
#6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $1.729 < 1.58$ (NO)

Please, be aware of possible industrial/man-induced peaks or spurious peaks due to meaningless numerical instabilities.

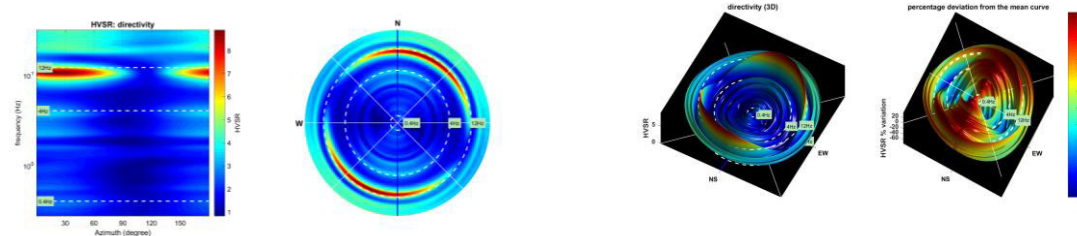
Remember that SESAME criteria should be considered in a flexible perspective and that if you modify the processing parameters the results may change.



Continuity (Persistence) of the H/V Spectral Ratio



Directivity of the H/V Spectral Ratio



Dataset:

Subsurface Model

Vs (m/s): 180 1300

Thickness (m): 4.1

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.86 2.30

Shear modulus (MPa) (approximate values): 60 3881

Analyzing Phase velocities

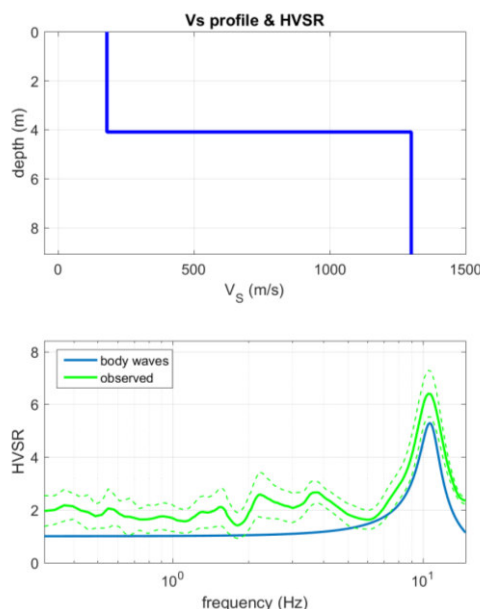
Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 441 2706

Poisson: 0.40 0.35

Vs30 (m/s) da piano campagna: 703



2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nella nuova normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidità sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio Vsh all'interno delle coperture.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) più due (S1, S2) categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione a diversa rigidità sismica, caratterizzate da velocità Vs30 (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti:

A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.

B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica Nspt > 50 nei terreni a grana grossa e coesione non drenata cu > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (15 < Nspt < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D) Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 inferiori a 180 m/s (ovvero Nspt,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

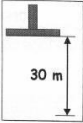
In aggiunta a queste categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 . Depositati di terreni caratterizzati da valori di Vs30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

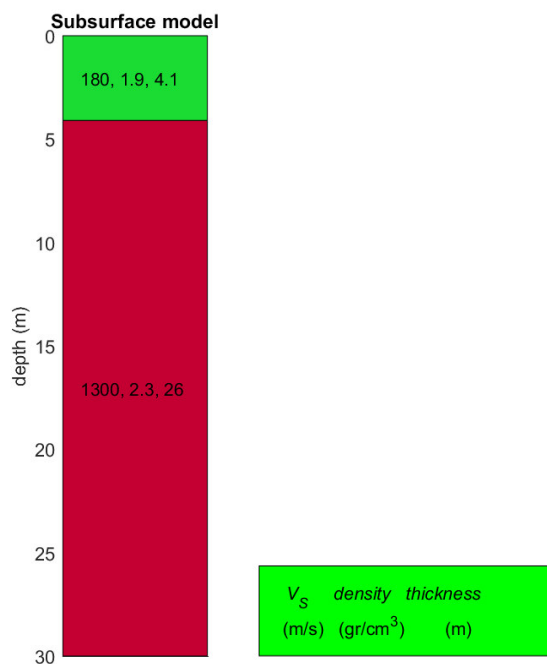
S2 . Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Relazione tecnica

Nelle classificazioni precedenti, V_{s30} è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1, N} \frac{h_i}{V_i}}$$


Sulla base del sistema stratigrafico definito sulla base delle velocità di propagazione delle onde sismiche "S" e di seguito riportato:



Si possono trarre le seguenti considerazioni:

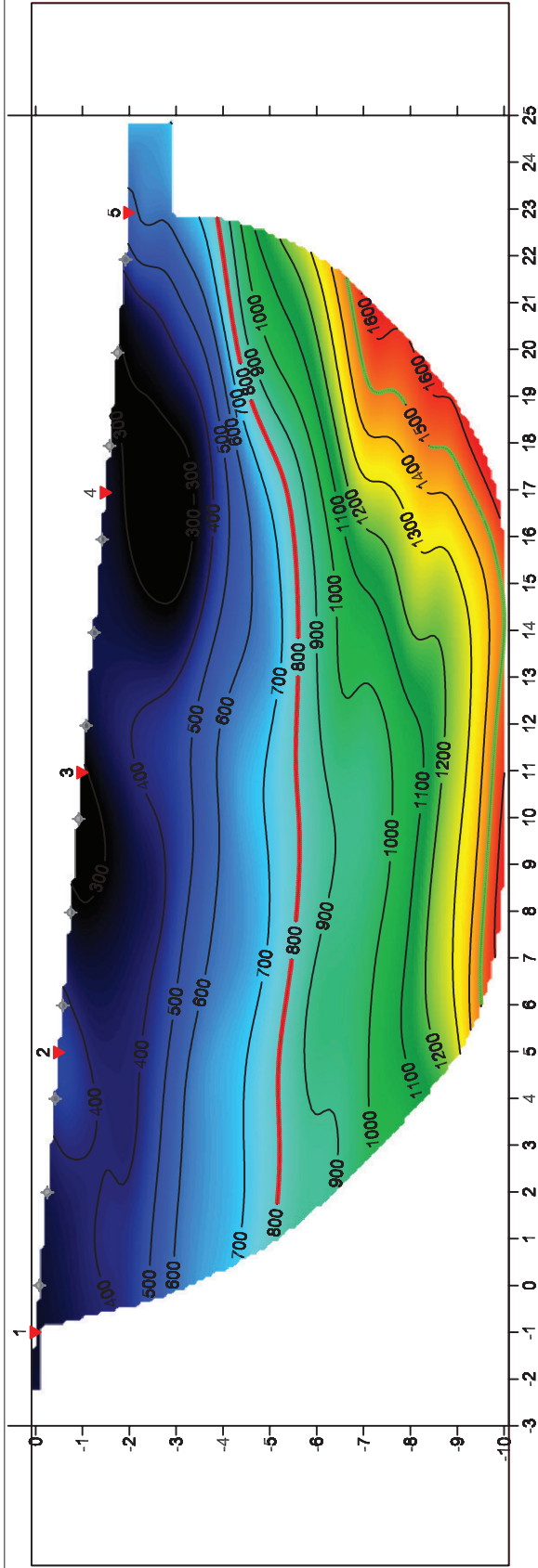
- Il substrato rigido di riferimento avente $V_s > 800$ m/s si riscontra ad una profondità, da piano campagna, di circa 4,1 m (>3 ; <20 m);
- Le V_s fino alla profondità da piano campagna di 4,1 m sono pari a 180 m/s (limite inferiore suolo C)
- le V_{s30} sono pari a 703 m/s (suolo tipo B);

sulla base di quanto sopra valutato pertanto ragionevole ascrivere, il terreno di fondazione, al profilo stratigrafico **E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Dr. Geol. Matteo Angiolini




Sezione geofisica interpretata in onde P sito n°9





scala 1:150


Legenda

- 1



superficie topografica
- 

velocità assimilabili alla presenza di terreno detritico da poco a mediamente addensato/compatto
- 

velocità assimilabili alla presenza del substrato roccioso molto alterato e fratturato
- 

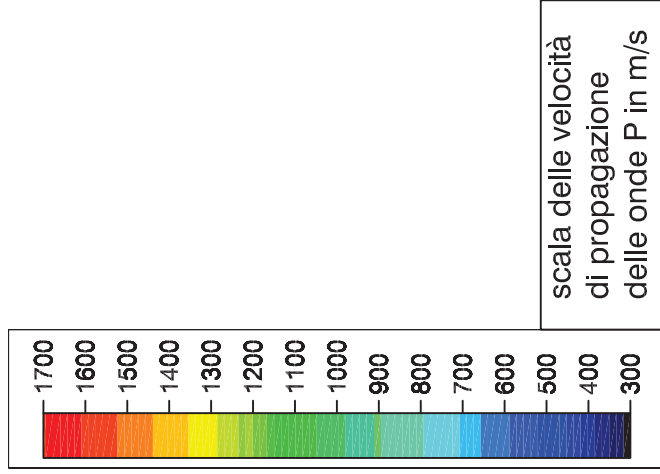
velocità assimilabili alla presenza del substrato roccioso mediamente alterato e fratturato

- 3



shot
- 

geofoni



**INDAGINE SISMICA
M.A.S.W.
(Multichannel Analysis of Surface Waves)**

RELAZIONE TECNICA

Committente: Comune di Fosdinovo

Cantiere: Fosdinovo

Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 9

Indagine MASW1

INDICE

1. INDAGINI SISMICHE M.A.S.W.	3
1.1 <i>Risultati delle indagini M.A.S.W.</i>	3
2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008).....	4

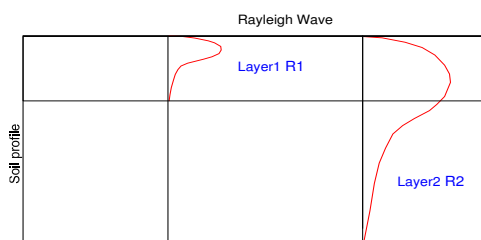
1. INDAGINI SISMICHE M.A.S.W.

Le MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono una metodologia d'investigazione che permette di ricavare le velocità delle onde di taglio V_s con la determinazione della categoria sismica di terreno (A, B, C, D, E, S1, S2) secondo quanto indicato nella nuova normativa sismica (OPCM 3274 del 20.03.2003 e s.m.i., D.M. 14.01.2008) e dagli Eurocodici 7 "Progettazione geotecnica" e 8 "Regole progettuali per le strutture antisismiche".

La misura delle velocità delle onde superficiali viene calcolata grazie all'utilizzo di stendimenti di sensori (geofoni) posti a distanze regolari sulla superficie del suolo da indagare.

La porzione che predomina nelle onde superficiali è costituita dalle onde di Rayleigh la cui velocità è correlata alla rigidità e ai parametri elastici dei suoli attraversati.

E' importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive: le alte frequenze e quindi con lunghezze d'onda corta si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno mentre le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi così come di seguito illustrato.



La metodologia M.A.S.W. effettuata viene definita: *attiva* e prevede che le onde superficiali vengano generate in un punto noto ed in modo non casuale e registrate da stendimenti lineari di sensori.

La metodologia utilizzata permette di dettagliare il profilo delle velocità sismiche nei primi 30m da piano campagna da queste si ottiene infatti una curva dispersione per un range di frequenze normalmente comprese tra 5 e 70 Hz, la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche.

Il sistema di elaborazione con metodo MASW In generale prevede tre fasi:

- 1 calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
- 2 calcolo della velocità di fase apparente
- 3 individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s dal modello stratigrafico espresso tramite il profilo di velocità V_s .

1.1 Risultati delle indagini M.A.S.W.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico PASI modello 16S24U e 12 geofoni verticali PASI con frequenza propria di 4.5 Hz.

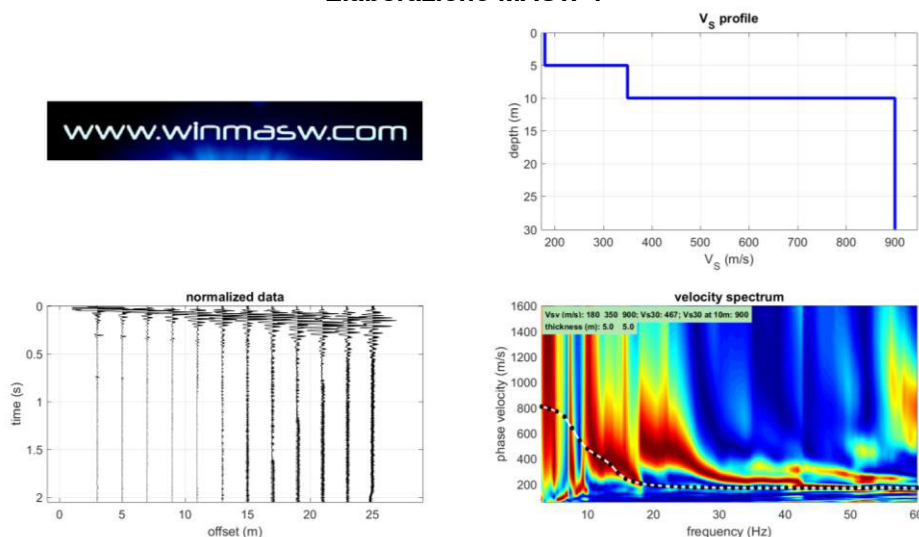
Dati di acquisizione:

N° geofoni = 12

interasse geofoni = 2,0m

sorgente: mazza battente da 8,5kg.

Elaborazione MASW 1



Subsurface Model

Vs (m/s): 180 350 900

Thickness (m): 5.0, 5.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.86 1.98 2.21

Shear modulus (MPa) (approximate values): 60 242 1787

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 441 729 1873

Poisson: 0.40 0.35 0.35

Vs30 (m/s) da piano campagna: 467

2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nella nuova normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidezza sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio Vsh all'interno delle coperture.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) più due (S1, S2) categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione a diversa rigidezza sismica, caratterizzate da velocità Vs30 (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti:

A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.

B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica Nspt > 50 nei terreni a grana grossa e coesione non drenata cu > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (15 < Nspt < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D) Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

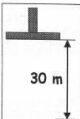
In aggiunta a queste categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 . Depositati di terreni caratterizzati da valori di Vs,30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

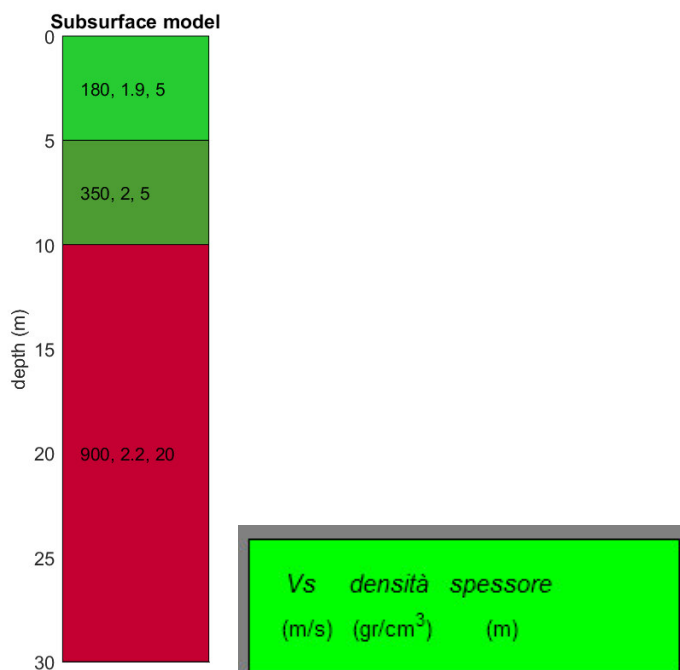
S2 . Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle classificazioni precedenti, Vs30 è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$


Sulla base del sistema stratigrafico definito dalle velocità di propagazione delle onde S e di seguito riportato:



Si possono trarre le seguenti considerazioni:

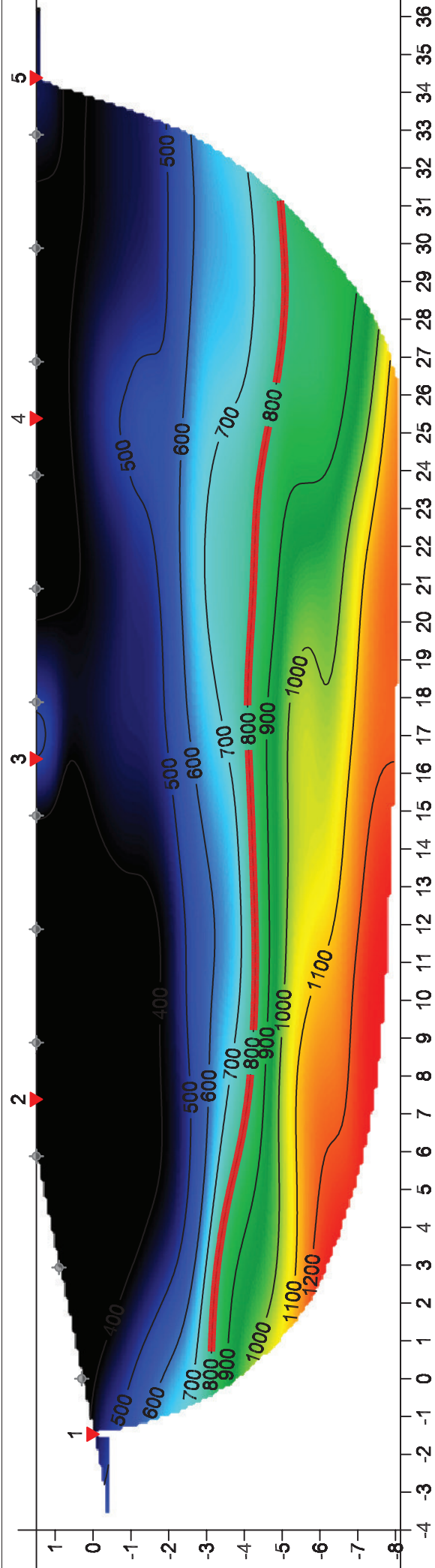
- Il substrato rigido di riferimento avente $V_s > 800$ m/s si riscontra alla profondità, da piano campagna, di circa 10,0m;
- Le onde sismiche "S" fino alla profondità, da piano campagna, di 10,0m si propagano con una velocità pari a 238m/s (suolo C)
- le VS30 sono pari a 467m/s (suolo tipo B);

sulla base di quanto sopra valutato pertanto ragionevole ascrivere, il terreno di fondazione al profilo stratigrafico **E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Dr. Geol. Matteo Angiolini



Sezione geofisica interpretata in onde P sito n°10 Stesa B1



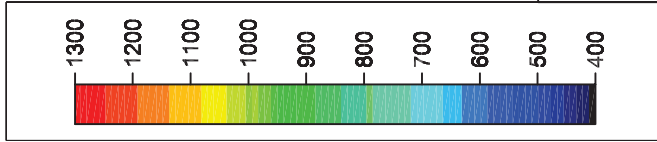
Legenda

- 1

superficie topografica
- 3

shot
- geofoni
- 800m/s
- velocità assimilabili alla presenza di terreno detritico da poco a mediamente addensato/compatto
- velocità assimilabili alla presenza di terreno detritico da mediamente addensato ad addensato o del substrato roccioso molto alterato e fratturato

scala 1:150



scala delle velocità
di propagazione
delle onde P in m/s

**INDAGINE SISMICA
M.A.S.W.
(Multichannel Analysis of Surface Waves)**

RELAZIONE TECNICA

Committente: Comune di Fosdinovo

Cantiere: Fosdinovo

Località: Strada Fosdinovo Marciaso sito 10

Indagine MASW1

INDICE

1. INDAGINI SISMICHE M.A.S.W.	3
1.1 <i>Risultati delle indagini M.A.S.W.</i>	3
2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008).....	4

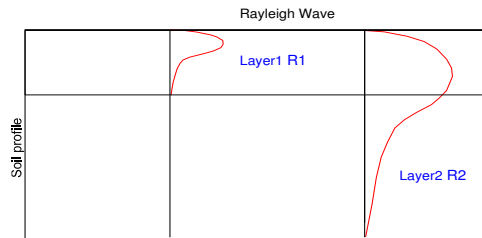
1. INDAGINI SISMICHE M.A.S.W.

Le MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) sono una metodologia d'investigazione che permette di ricavare le velocità delle onde di taglio V_s con la determinazione della categoria sismica di terreno (A, B, C, D, E, S1, S2) secondo quanto indicato nella nuova normativa sismica (OPCM 3274 del 20.03.2003 e s.m.i., D.M. 14.01.2008) e dagli Eurocodici 7 "Progettazione geotecnica" e 8 "Regole progettuali per le strutture antisismiche".

La misura delle velocità delle onde superficiali viene calcolata grazie all'utilizzo di stendimenti di sensori (geofoni) posti a distanze regolari sulla superficie del suolo da indagare.

La porzione che predomina nelle onde superficiali è costituita dalle onde di Rayleigh la cui velocità è correlata alla rigidità e ai parametri elastici dei suoli attraversati.

E' importante tenere presente che nei mezzi stratificati le onde di Rayleigh sono dispersive: le alte frequenze e quindi con lunghezze d'onda corta si propagano prevalentemente negli strati più superficiali del terreno mentre le onde con lunghezze maggiori tendono a coinvolgere gli strati più profondi così come di seguito illustrato.



La metodologia M.A.S.W. effettuata viene definita: *attiva* e prevede che le onde superficiali vengano generate in un punto noto ed in modo non casuale e registrate da stendimenti lineari di sensori.

La metodologia utilizzata permette di dettagliare il profilo delle velocità sismiche nei primi 30m da piano campagna da queste si ottiene infatti una curva dispersione per un range di frequenze normalmente comprese tra 5 e 70 Hz, la cui propagazione avviene prevalentemente nella parte più superficiale del suolo in funzione anche delle sue caratteristiche elastiche.

Il sistema di elaborazione con metodo MASW In generale prevede tre fasi:

- 1 calcolo della velocità di fase (o curva di dispersione) apparente sperimentale,
- 2 calcolo della velocità di fase apparente
- 3 individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali V_s dal modello stratigrafico espresso tramite il profilo di velocità V_s .

1.1 Risultati delle indagini M.A.S.W.

Lo strumento utilizzato per la presente indagine è un prospettore sismico PASI modello 16S24U e 12 geofoni verticali PASI con frequenza propria di 4.5 Hz.

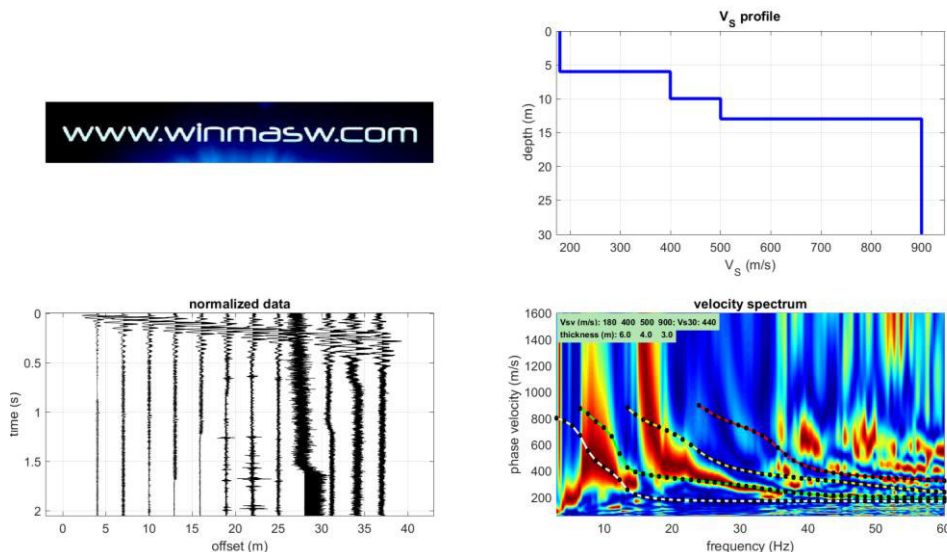
Dati di acquisizione:

N° geofoni = 12

interasse geofoni = 3,0m

sorgente: mazza battente da 8,5kg.

Elaborazione MASW 1



Subsurface Model

Vs (m/s): 180 400 500 900

Thickness (m): 6.0, 4.0, 3.0

Density (gr/cm³) (approximate values): 1.86 2.01 2.06 2.21

Shear modulus (MPa) (approximate values): 60 322 516 1787

Analyzing Phase velocities

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and Poisson (please, see manual)

Vp (m/s): 441 833 1041 1873

Poisson: 0.40 0.35 0.35 0.35

Vs30 (m/s) da piano campagna: 440

2. CATEGORIA DEL SUOLO DI FONDAZIONE (D.M. 14/01/2008)

Per il calcolo delle azioni sismiche di progetto e la valutazione dell'amplificazione del moto sismico, nella nuova normativa viene evidenziato come i diversi profili stratigrafici del sottosuolo, in base alle loro caratteristiche di spessore e di rigidezza sismica (prodotto della densità per la velocità delle onde sismiche trasversali), possono amplificare il moto sismico in superficie rispetto a quello indotto alla loro base: il fattore moltiplicativo delle azioni sismiche orizzontali di progetto dipende cioè dalla natura, dallo spessore e soprattutto dalla velocità di propagazione delle onde di taglio Vsh all'interno delle coperture.

Nelle Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica si definiscono per questo aspetto cinque (A, B, C, D, E) più due (S1, S2) categorie di profilo stratigrafico del suolo di fondazione a diversa rigidezza sismica, caratterizzate da velocità Vs30 (definito come il valore medio della velocità di propagazione delle onde sismiche trasversali o di taglio nei primi 30 metri sotto la base della fondazione) decrescenti e quindi da effetti amplificativi crescenti:

A) Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 superiori a 800 m/sec, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3m.

B) Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 360 m/sec e 800 m/sec (ovvero resistenza penetrometrica Nspt > 50 nei terreni a grana grossa e coesione non drenata cu > 250 kPa nei terreni a grana fina).

C) Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec (15 < Nspt < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu < 250 kPa nei terreni a grana fina).

D) Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).

E) Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

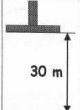
In aggiunta a queste categorie, per le quali le norme definiscono le azioni sismiche da considerare nella progettazione, se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica da considerare:

S1 . Depositati di terreni caratterizzati da valori di Vs,30 inferiori a 100 m/s (ovvero 10 < cu,30 < 20 kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

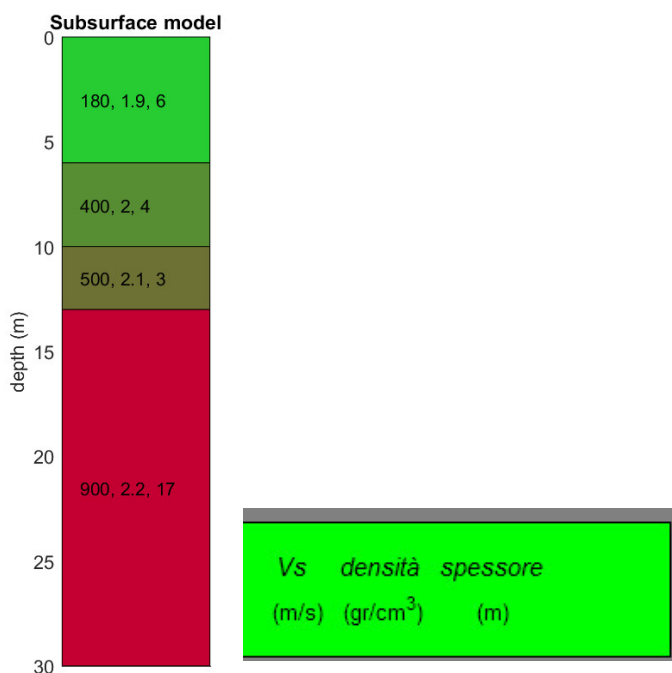
S2 . Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Nelle classificazioni precedenti, Vs30 è la velocità media di propagazione entro 30 m di profondità delle onde di taglio e viene calcolata con la seguente espressione:

CATEGORIE DI SUOLO DI FONDAZIONE

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}}$$


Sulla base del sistema stratigrafico definito dalle velocità di propagazione delle onde S e di seguito riportato:



Si possono trarre le seguenti considerazioni:

- Il substrato rigido di riferimento avente $V_s > 800 \text{ m/s}$ si riscontra alla profondità, da piano campagna, di circa 13,0m;
- Le onde sismiche "S" fino alla profondità, da piano campagna, di 13,0m si propagano con una velocità media pari a 265m/s (suolo C);
- le VS30 sono pari a 440m/s (suolo tipo B);

sulla base di quanto sopra valutato pertanto ragionevole ascrivere, il terreno di fondazione al profilo stratigrafico **E**: Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800 \text{ m/s}$).

Dr. Geol. Matteo Angiolini



Comune di Fosdinovo

PROVINCIA DI MASSA CARRARA

Lavori di consolidamento del versante in frana della SP n°10 di Tenerano, nei pressi dell'abitato di Marciaso

Documentazione fotografica

ELABORATO:

-

SCALA:

-

Committente:

Comune di Fosdinovo

A cura di:

Dr. Geol. Matteo Angiolini

maggio 2017

Dr. Geol. Matteo Angiolini

Via A. Corradi, 1
19020 BEVERINO (SP)
Tel. 0187.883282
Cell. 347.1280686
e-mail: matteoangiolini@yahoo.it
C.F.: NGL MTT 78 E 15 E 46 3T
P.iva: 01214470112

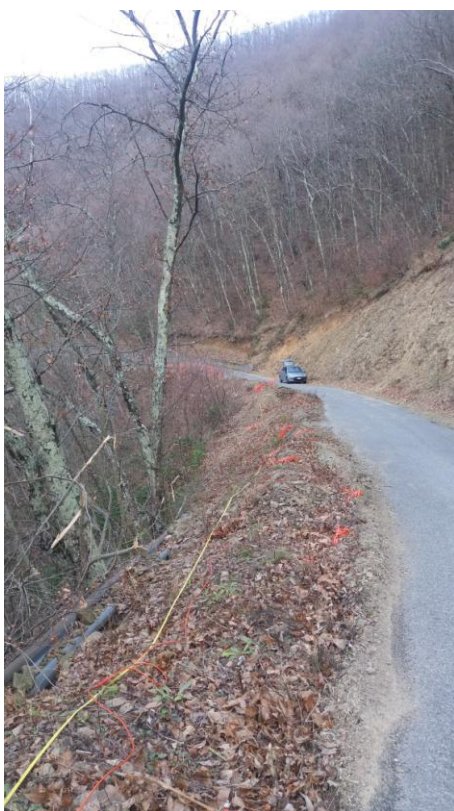
Sito 1



prova penetrometrica dinamica
super pesante DPSH01



prova penetrometrica dinamica
super pesante DPSH02



Stendimento geofonico per
indagine geofisica tipo sismica a
rifrazione in onde P (B1) e MASW
(MASW1)



Stendimento geofonico per
indagine geofisica tipo sismica a
rifrazione in onde P (B2) e MASW
(MASW2)



Stazione di misura
HVSR1

Sito 2



Stendimento geofonico per
indagine geofisica tipo sismica a
rifrazione in onde P (B1) e MASW
(MASW1) con stazione di misura
HVSRI



Prova penetrometrica dinamica
media DPM01

Sito 3



prova penetrometrica dinamica
super pesante DPSH01



prova penetrometrica dinamica
super pesante DPSH02



Stendimento geofonico per indagine geofisica
tipo sismica a rifrazione in onde P (B1) e
MASW (MASW1)



Stazione di misura HVS1



Stazione di misura HVS2

Sito 4



prova penetrometrica dinamica
super pesante DPSH01



prova penetrometrica dinamica
super pesante DPSH02



Stendimento geofonico per
indagine geofisica tipo sismica
a rifrazione in onde P (B1) e
MASW (MASW1)



Stendimento geofonico per
indagine geofisica tipo sismica
a rifrazione in onde P (B2) e
MASW (MASW2)



Stendimento geofonico per
indagine geofisica tipo sismica
a rifrazione in onde P (B3) e
MASW (MASW3)

Sito 5



Prova penetrometrica dinamica media DPM01



Stazione di misura HVSR1

Sito 6



Stazione di misura HVSR01

Sito 8



Prova penetrometrica dinamica media DPM01

Sito 9



Stendimento geofonico per indagine geofisica tipo sismica a rifrazione in onde P (B1) e MASW (MASW1)

Sito 10



Stendimento geofonico per
indagine geofisica tipo sismica
a rifrazione in onde P (B1) e
MASW (MASW1)

Sito 12



Prova penetrometrica dinamica
media DPM01