



PROVINCIA DI PISA

SETTORE VIABILITA' TRASPORTI E PROTEZIONE CIVILE



**Relazione geotecnica di supporto al progetto di messa in sicurezza della S.P. 27,
tra il km 0+650 e il km 1+100, nel comune di Pomarance (PI)**

(ai sensi D.M. 17/01/2018)

20 agosto 2018

Dott. Geol. Francesco Agnelli

Dott. Geol. Francesco Agnelli – Via Pietro Nenni, Loc. Civettaio n.65, Torrita di Siena (Siena) -
P. IVA 01199830520 - cell. 3478247486 - tel. 0577687734 -
francesco.agnelli@alice.it – francesco.agnelli@epap.sicurezzapostale.it

Indice

1. Premessa

2. Aspetti geotecnici

2.1 Indagini geognostiche

Sondaggio S1

Sondaggio S2

Sondaggio S3

2.2 Prove geotecniche di laboratorio

2.3 Indagini sismiche

Indagine sismica a rifrazione con prova MASW associata (SR-MW1)

Indagine sismica a rifrazione con prova MASW associata (SR-MW2)

Indagine sismica a rifrazione con prova MASW associata (SR-MW3)

2.4 Modello geotecnico del sottosuolo

MODELLO GEOTECNICO SITO N. 1 - SEZIONE 1-1' E SEZIONE 2-2'

MODELLO GEOTECNICO SITO N. 2 - SEZIONE 1-1' E SEZIONE 3-3'

MODELLO GEOTECNICO SITO N. 3 AL KM 1+000 - SEZIONE 1-1' E SEZIONE 4-4'

MODELLO GEOTECNICO SITO N. 3 AL KM 1+100 - SEZIONE 1-1' E SEZIONE 5-5'

2.5 Condizioni della falda

3. Aspetti sismici di progetto

3.1 Determinazione della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche

3.2 Azione sismica di progetto

3.3 Verifica del potenziale di liquefazione

4. Conclusioni

Allegati

TAVOLA C – Sezioni modello geotecnico del sottosuolo

TAVOLA D –Modello geotecnico puntuale del sottosuolo nei diversi siti di intervento

ALLEGATO 1 – Parametri sismici, spettri elastici e spettri di progetto

1. Premessa

La presente relazione è stata redatta allo scopo di descrivere le risultanze delle indagini geognostiche e sismiche realizzate in sito, nonché definire il modello geotecnico del sottosuolo di riferimento per la progettazione degli interventi di messa in sicurezza della S.P. n. 27. Gli interventi riguardano le tratte dissestate per processi gravitativi di versante tra il km 0+650 e il km 1+100. L'area di intervento si trova in vicinanza della località Fattoria Bulera, a sud-est dell'abitato di Pomarance (PI) (vedi ubicazione nell'allegata Tavola A).

Gli interventi consistono nella realizzazione di opere di contenimento del rilevato stradale e ripristino dello stesso rilevato nelle tratte interessate sia da fessurazione che rottura conclamata della pavimentazione esistente (scivolamento verso valle di porzioni del rilevato). Le deformazioni del rilevato stradale interessano generalmente almeno una delle due corsie. Inoltre risultano evidenti segni sulla tendenza a progredire verso monte del dissesto gravitativo (fessurazione pervasiva del rilevato stradale anche sull'altra porzione di carreggiata).

Lo studio, condotto ai sensi delle NTC 2018, compendia le risultanze delle indagini geognostiche realizzate in sito (sondaggi a carotaggio continuo S1, S2, S3 e S4), le risultanze delle indagini sismiche di superficie (SR-MW1, SR-MW2, SR-MW3) e delle prove geotecniche di laboratorio (analisi parametri fisici e meccanici), nonché della caratterizzazione geotecnica dei diversi layers litologici discriminati in corrispondenza di ciascun sito di intervento.

2. Aspetti geotecnici

Al fine di supportare la progettazione delle opere di consolidamento sulla SP 27, è stata eseguita la modellazione geotecnica del sottosuolo a partire dal piano campagna attuale. Tale modellazione si rende necessaria al fine di discretizzare le unità litologico-tecniche all'interno del volume significativo (ipotizzato) delle opere di consolidamento, nonché assegnare i parametri geotecnici caratteristici a ciascun layer litologico individuato, in modo da poter effettuare le verifiche di sicurezza agli stati limite di supporto alla progettazione definitiva-esecutiva delle opere.

La modellazione è stata effettuata in primo luogo sulla scorta delle evidenze stratigrafiche emerse dai sondaggi geognostici realizzati nella tratta di intervento. I sondaggi attuali realizzati sono quattro, due per ogni corpo di frana cartografato per il presente studio. In

realtà, poiché i sistemi di rottura del pendio risultano articolati probabilmente in più superfici sovrapposte, i sondaggi sono stati collocati uno per ogni zona di rottura superficiale del rilevato, accorpabili successivamente all'interno di due corpi di frana attivi principali (vedi Tavola C).

Nel corso della realizzazione dei sondaggi geognostici sono stati prelevati campioni indisturbati su cui sono state effettuate prove di laboratorio, al fine di caratterizzare i materiali campionati sia dal punto di vista fisico che meccanico.

A completamento della modellazione litologico-tecnica del sottosuolo, al fine di ottenere un modello che esprimesse anche valori di velocità delle onde S (all'interno del volume significativo analizzato) e risultasse associato ad un valore di $V_{s,30}$ per ciascun sito di intervento, sono state realizzate alcune indagini sismiche di superficie lineari consistenti in profili di sismica a rifrazione in onde P, della lunghezza di 60 m, con associata una prova MASW. Le prove realizzate sono tre e i profili sismici in onde S ricostruiti per ciascuna prova hanno permesso di coadiuvare le informazioni stratigrafiche puntuali dei sondaggi geognostici. L'intersezione dei due dati ha permesso di elaborare sezioni geotecniche longitudinali in asse con il rilevato stradale. Con l'obiettivo di permettere, inoltre, l'esecuzione di verifiche preliminari del pendio, sono state estrapolate anche sezioni geotecniche trasversali lungo la linea di massima pendenza dei versanti indagati.

Perciò le fasi di elaborazione dell'analisi geotecnica svolta ai sensi delle NTC 2018 è consistita in:

- analisi delle indagini geognostiche attuali;
- analisi delle risultanze delle prove geotecniche di laboratorio;
- analisi delle indagini sismiche attuali;
- ricostruzione del modello stratigrafico del terreno indagato e discretizzazione del modello lito-stratigrafico medio per i siti di intervento;
- attribuzione dei parametri geotecnici nominali e caratteristici a ciascun orizzonte litologico individuato (definizione modello geotecnico del sottosuolo);
- associazione velocità media delle onde S a ciascun orizzonte discretizzato;
- verifica del potenziale di liquefazione del sottosuolo.

I certificati delle indagini pregresse considerate ai fini della modellazione geotecnica di sottosuolo sono riportati negli elaborati forniti dalla ditta incaricata delle indagini e perciò al di fuori del presente elaborato. Tuttavia all'interno della presente relazione si riporta una breve descrizione delle risultanze ottenute.

2.1 Indagini geognostiche

Al fine di caratterizzare dal punto di vista litostratigrafico e geotecnico il sottosuolo interessato dagli interventi di consolidamento, sono stati realizzati n. 4 sondaggi geognostici (vedi fig.1) a carotaggio continuo con diametro di perforazione pari a 101 mm, fino ad una profondità compresa tra 15 e 20 m da p.c.. In particolare i sondaggi denominati S1, S2 e S3 (vedi Tavola C) sono stati realizzati fino ad una profondità di 20 m da p.c., mentre il sondaggio S4, risultato aggiuntivo rispetto al piano delle indagini originario, è stato effettuato fino alla profondità di 15 m da p.c..

Il sondaggio n. 1 è stato realizzato in corrispondenza del sito afferente alla prima frana o comunque riconducibile alla porzione di monte del corpo di frana attivo cartografato in sito (vedi cartografia delle coltri in Tavola C), mentre il n. 2 è stato realizzato poco più a valle sull'altra porzione susseguente di rottura del rilevato stradale (porzione di valle della frana attiva discriminata).

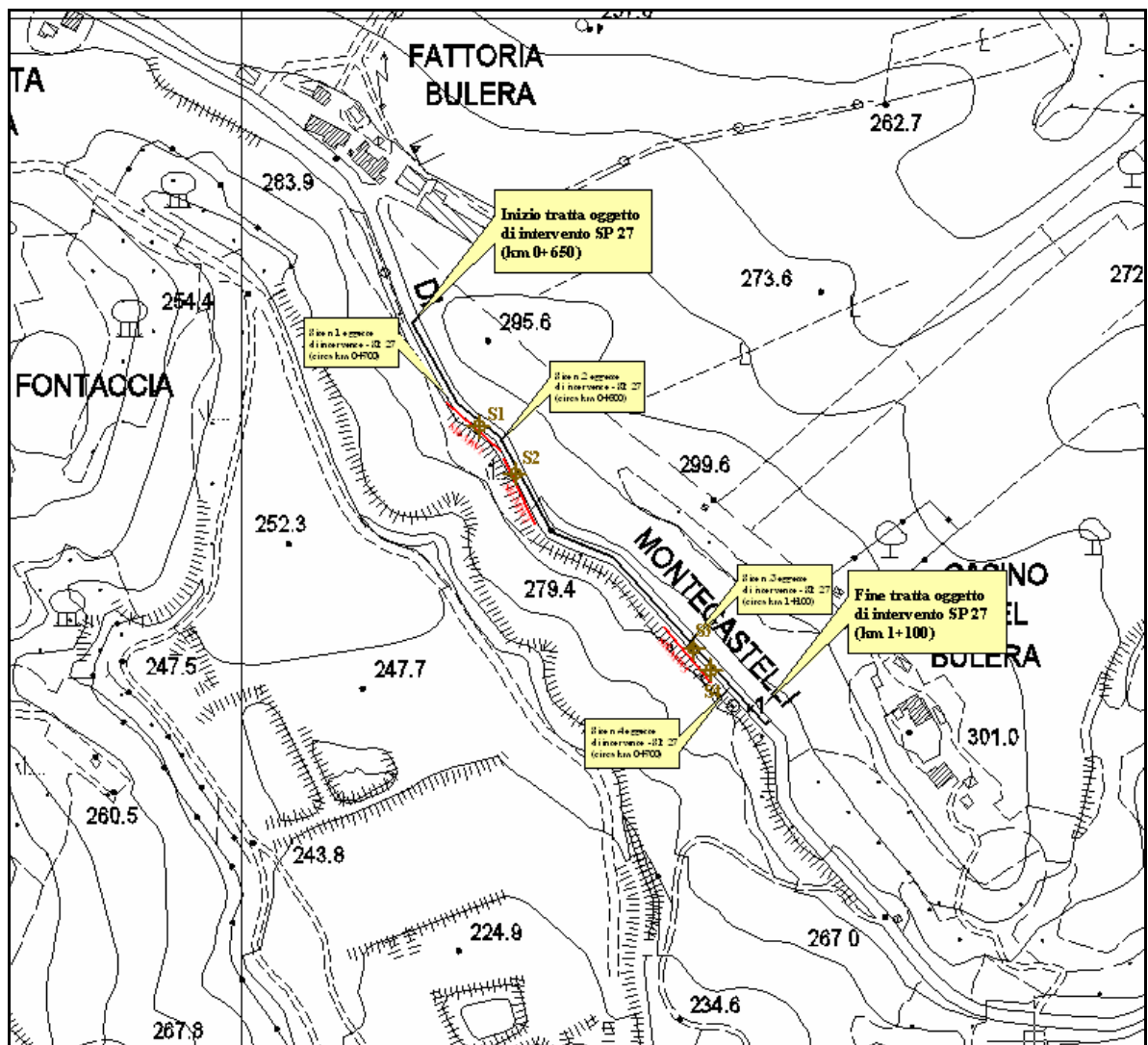


Fig.1: Ubicazione indagini geognostiche e sismiche lineari nell'area di Bulera lungo la SP 27.

I sondaggi n. 3 e n. 4, invece, sono stati realizzati in corrispondenza dei processi franosi attivi che stanno interessando il rettilineo della SP 27 presente in prossimità del kilometro 1+000.

In particolare il sondaggio n. 3 è stato realizzato al termine del margine di valle del corpo di frana distaccatosi recentemente, mentre il sondaggio n. 4 è stato realizzato circa 20 m più a valle al fine di caratterizzare l'altra porzione significativa di rilevato che progressivamente sta manifestando rottura estesa anche alla carreggiata di monte e probabilmente anche alla scarpata antropica che delimita a monte la stessa strada provinciale di Montecastelli.

Di seguito sono descritte le risultanze dei sondaggi geognostici realizzati per la SP 27 tra il km 0+650 e il km 1+100.

Sondaggio S1

Il sondaggio S1, realizzato fino alla profondità di 20 m da p.c., ha restituito i seguenti layer stratigrafici:

- da 0,00 a 0,35 m da p.c.: soletta di asfalto;
- da 0,35 a 1,60 m da p.c.: riporto. Si tratta di misto granulare per asfalto rigenerato;
- da 1,60 a 2,40 m da p.c.: riporto. Breccia da millimetrica a centimetrica in matrice limosa addensata;
- da 2,40 a 2,70 m da p.c.: limo argilloso bruno da poco a moderatamente consistente;
- da 2,70 a 3,30 m da p.c.: limo argilloso bruno consistente;
- da 3,30 a 4,50 m da p.c.: limo argilloso bruno, da molto consistente ad estremamente consistente;
- da 4,50 a 5,20 m da p.c.: limo argilloso a tratti limo con argilla, da moderatamente consistente a consistente, talora debolmente plastico al tatto, di colorazione bruna con frequenti striature grigiastre;
- da 5,20 a 6,00 m da p.c.: limo con argilla molto consistente, bruno con rare bandature grigie;
- da 6,00 a 9,60 m da p.c.: limo con argilla talora argilla con limo, grigia, da molto consistente ad estremamente consistente
- da 9,60 a 10,00 m da p.c.: limo con argilla moderatamente consistente (dubbia plasticizzazione per idratazione in fase di manovra per la perforazione);
- da 10,00 a 20,00 m da p.c.: limo con argilla, talora argilla con limo, da molto consistente ad estremamente consistente.

Nel foro non è stata rilevata alcuna falda al momento della perforazione

Nel corso della perforazione sono stati prelevati n. 3 campioni indisturbati con campionatore a parete sottile tipo Shelby. Di seguito sono mostrate le profondità di campionamento.

| Profondità (m da p.c.) | Tipo Campione | Sigla Campione |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------|
| 6,00 – 6,50 | indisturbato | CI1 |
| 10,50 – 11,00 | indisturbato | CI2 |
| 15,00 – 15,50 | indisturbato | CI3 |

In corrispondenza degli orizzonti litologici coesivi e con apparente minore consistenza (al tatto evidenziavano condizioni di possibile compressione con le dita), sono state effettuate alcune misure con penetrometro tascabile. Le risultanze sono:

| Profondità (m da p.c.) | qc (kg/cm²) | Stato consistenza |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 9.70 | 3.25 | molto consistente |
| 9.90 | 3.25 | molto consistente |
| 13.15 | 4.00 | molto consistente |
| 13.50 | 4.00 | molto consistente |
| 13.75 | 3.25 | molto consistente |
| 14.10 | 4.25 | molto consistente |

Sondaggio S2

Il sondaggio S2, realizzati fino alla profondità di 20 m, ha evidenziato la presenza dei seguenti layer stratigrafici:

- da 0,00 a 1,20 m da p.c.: *riporto. Sabbia con breccia, limosa, addensata, di colorazione bruna;*
- da 1,20 a 2,55 m da p.c.: *limo argilloso, da consistente a molto consistente, bruno;*
- da 2,55 a 3,70 m da p.c.: *limo con argilla, da molto consistente ad estremamente consistente, bruno, con bandature grigie;*
- da 3,70 a 4,30 m da p.c.: *limo con argilla da moderatamente consistente a consistente;*
- da 4,30 a 5,40 m da p.c.: *limo con argilla molto consistente;*
- da 5,40 a 6,50 m da p.c.: *limo con argilla da moderatamente consistente a consistente;*
- da 6,50 a 16,40 m da p.c.: *limo con argilla a tratti argilla con limo, da molto consistente a estremamente consistente, con rari livelli millimetrici di limo argilloso deb. sabbioso;*

- da 16,40 a 16,80 m da p.c.: limo con argilla debolmente sabbioso;
- da 16,80 a 17,20 m da p.c.: limo sabbioso-argilloso debolmente ghiaioso (< 1 cm), consistente, di colorazione grigio-scura;
- da 17,20 a 18,80 m da p.c.: limo con argilla talora debolmente sabbioso, grigio, molto consistente;
- da 18,80 a 20 m da p.c.: limo con argilla estremamente consistente, color grigio-verde.

Nel foro non è stata rilevata alcuna falda al momento della perforazione. Tuttavia è stato attrezzato con piezometro a tubo aperto (tipo Norton) avente diametro pari ad 1 pollice.

Nel corso della perforazione sono stati prelevati n. 3 campioni indisturbati con campionatore a parete sottile tipo Shelby. Di seguito sono mostrate le profondità di campionamento.

| Profondità (m da p.c.) | Tipo Campione | Sigla Campione |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------|
| 3,00 – 3,50 | indisturbato | CI1 |
| 7,00 – 7,50 | indisturbato | CI2 |
| 11,00 – 11,40 | indisturbato | CI3 |

In corrispondenza degli orizzonti litologici coesivi significativi dal punto di vista della individuazione delle superfici di frana, sono state effettuate alcune misure con penetrometro tascabile. Le risultanze sono:

| Profondità (m da p.c.) | qc (kg/cm²) | Stato consistenza |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 4.30 | 4.00 | molto consistente |
| 5.75 | 3.00 | molto consistente |

Altrove non sono state effettuate misure sia perché la carota si poteva trovare già in una condizione di essiccamento (per effetto delle elevate temperature con le quali sono state svolte le operazioni di cantiere), che per effetto della elevata consistenza naturale in altre tratte carotate.

Sondaggio S3

Il sondaggio S3, realizzato anch'esso fino alla profondità di 5 m, ha evidenziato la presenza dei seguenti layer stratigrafici:

- da 0,00 a 0,30 m da p.c.: soletta di asfalto;

- da 0,30 a 1,00 m da p.c.: riporto. Breccia da centimetrica a decimetrica in matrice limoso-sabbiosa
- da 1,00 a 1,70 m da p.c.: limo sabbioso-argilloso, bruno, talora con clasti di breccia da centimetrici a decimetrici calcarei color nocciola;
- da 1,70 a 2,70 m da p.c.: limo argilloso talora debolmente sabbioso, con frequenti granuli millimetrici biancastri di natura calcarea. Presenti anche frequenti maculature nerastre organiche;
- da 2,70 a 5,50 m da p.c.: limo argilloso talora limo con argilla, bruno-verdastro con frequenti bandature grigiastre, da moderatamente consistente a consistente
- da 5,50 a 10,30 m da p.c.: limo argilloso talora limo con argilla, grigio, da moderatamente consistente a consistente;
- da 10,30 a 14,10 m da p.c.: limo con argilla talora limo argilloso, molto consistente, di colorazione grigia, da molto consistente ad estremamente consistente (misure di P.P. fino a fondo scala);
- da 14,10 a 20 m da p.c.: limo con argilla sovraconsolidato, a tratti argilla con limo, estremamente consistente, di colorazione grigia.

Nel foro non è stata rilevata alcuna falda. Tuttavia è stato attrezzato con piezometro a tubo aperto (tipo Norton) con diametro pari ad 1 pollice.

Nel corso della perforazione sono stati prelevati n. 3 campioni indisturbati con campionatore a parete sottile tipo Shelby. Di seguito sono mostrate le profondità di campionamento.

| Profondità (m da p.c.) | Tipo Campione | Sigla Campione |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------|
| 3,00 – 3,50 | indisturbato | CI1 |
| 7,00 – 7,50 | indisturbato | CI2 |
| 13,00 – 13,40 | indisturbato | CI3 |

In corrispondenza degli orizzonti litologici coesivi ritenuti significativi per la identificazione della superficie di frana, sono state effettuate le seguenti misure con penetrometro tascabile:

| Profondità (m da p.c.) | qc (kg/cm2) | Stato consistenza |
|-------------------------------|--------------------|--------------------------|
| 2.30 | 4.00 | molto consistente |
| 2.50 | 4.00 | molto consistente |
| 2.70 | F.S. | molto consistente |
| 3.50 | 3.25 | molto consistente |

| | | |
|------|------|-------------------|
| 4.30 | 1.75 | consistente |
| 4.50 | 2.00 | consistente |
| 4.80 | 1.75 | consistente |
| 5.30 | 4.00 | molto consistente |
| 5.50 | 4.00 | molto consistente |
| 6.30 | F.S. | molto consistente |
| 6.70 | 3.00 | molto consistente |
| 7.50 | 2.50 | molto consistente |
| 8.30 | 2.50 | molto consistente |
| 8.70 | 4.50 | molto consistente |

Sondaggio S4

Il sondaggio S4, realizzato anch'esso fino alla profondità di 5 m, ha evidenziato la presenza dei seguenti layer stratigrafici:

- da 0,00 a 0,50 m da p.c.: riporto. Breccia da millimetrica a centimetrica sciolta;
- da 0,50 a 1,50 m da p.c.: riporto. Breccia da millimetrica a centimetrica in matrice sabbioso-limosa;
- da 1,50 a 2,00 m da p.c.: limo sabbioso-argilloso, bruno, talora con clasti di breccia da centimetrici a decimetrici calcarei color nocciola;
- da 2,00 a 5,50 m da p.c.: limo argilloso di color marrone, con abbondanti granuli millimetrici biancastri di natura calcarea. Presenti rare maculature nerastre organiche;
- da 5,50 a 6,505 m da p.c.: limo argilloso, bruno, mod. consistente, con frequenti maculature nerastre;
- da 6,50 a 9,50 da p.c.: limo argilloso talora limo con argilla, grigio, da consistente a molto consistente;
- da 9,50 a 15,00 m da p.c.: limo con argilla talora limo argilloso, molto consistente, di colorazione grigia, da molto consistente ad estremamente consistente;

Anche nella verticale di foro S4 non è stata individuata alcuna falda significativa.

Nel corso della perforazione sono stati prelevati n. 3 campioni indisturbati con campionatore a parete sottile tipo Shelby. Di seguito sono mostrate le profondità di campionamento.

| Profondità (m da p.c.) | Tipo Campione | Sigla Campione |
|-------------------------------|----------------------|-----------------------|
| 3,00 – 3,50 | indisturbato | CI1 |
| 7,00 – 7,50 | indisturbato | CI2 |
| 13,00 – 13,40 | indisturbato | CI3 |

In corrispondenza degli orizzonti litologici coesivi ritenuti significativi per la identificazione della superficie di frana, sono state effettuate le seguenti misure con penetrometro tascabile:

| Profondità (m da p.c.) | qc (kg/cm²) | Stato consistenza |
|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------|
| 6.25 | 2.50 | molto consistente |
| 6.50 | 2.50 | molto consistente |
| 6.75 | 3.25 | molto consistente |
| 7.30 | 4.25 | molto consistente |
| 7.70 | 4.25 | consistente |
| 8.30 | 4.25 | consistente |
| 8.65 | 4.25 | consistente |
| 9.30 | F.S. | consistente |
| 9.60 | 4.25 | molto consistente |
| 11.30 | 4.00 | molto consistente |
| 11.50 | 3.00 | molto consistente |
| 11.70 | 3.50 | molto consistente |
| 13.30 | 3.00 | molto consistente |
| 13.70 | 3.00 | molto consistente |

I sondaggi geognostici hanno messo in luce la presenza di una coltre detritica di versante più o meno spessa lungo la tratta stradale oggetto di messa in sicurezza, sviluppata all'interno dei primi 6 m circa da p.c.. Tale coltre è riconducibile a limi argillosi e limi con argilla bruni in vario grado di consistenza. Al di sotto di tale coltre, inoltre, si osserva la presenza fino a circa 10-11 m da p.c. di una ulteriore coltre localmente poco/moderatamente consistente grigia riconducibile ad un sistema più profondo di superfici di frana ipoteticamente più antiche o comunque relative ad un corpo di frana più grande di quelli distinti in loco per il presente studio. Infatti è probabile l'esistenza di un corpo di frana che va ad interessare non soltanto il rilevato stradale e la porzione di valle del versante, ma anche la porzione di monte all'interno delle superfici adibite a vigneti.

2.2 Prove geotecniche di laboratorio

Sui campioni indisturbati prelevati in fase di perforazione nei tre siti di studio, sono state realizzate prove di laboratorio tese a determinare sia parametri fisici che meccanici. Le risultanze, perciò, sono state utilizzate al fine di integrare i dati stratigrafici e geofisici tenuti dalle rispettive prove in sito.

Di seguito si riportano due tabelle descrittive rispettivamente delle prove di laboratorio realizzate su ciascun campione e dei valori ottenuti per ciascun parametro dalle rispettive prove di laboratorio.

| REPORT PROVE DI LABORATORIO REALIZZATE - SONDAGGI SP 27 | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------|-----------|-------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|
| Prova di Laboratorio | Sondaggio | S1 | | | S2 | | | S3 | | | S4 | | |
| | Campione | CI1 | CI2 | CI3 | CI1 | CI2 | CI3 | CI1 | CI2 | CI3 | CI1 | CI2 | CI3 |
| | Profondità (m) | 6.00-6.50 | 10.50-11.00 | 15.00-15.50 | 3.00-3.50 | 7.00-7.50 | 11.00-11.40 | 3.00-3.50 | 7.00-7.50 | 13.00-13.50 | 4.00-4.50 | 8.00-8.40 | 12.80-13.10 |
| Contenuto d'acqua naturale | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Peso di volume naturale | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Granulometrie per settacciatura | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Granulometrie per sedimentazione | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Limiti di Atterberg | | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x | x |
| Prova di Taglio Diretto Consolidato-Drenato con determinazione parametri residui | TD-CD | x | - | - | x | - | - | x | - | - | x | - | - |
| Prova di Compressione Triassiale Non Consolidata-Non Drenata | TX-UU | - | x | x | - | x | x | - | x | x | - | x | x |
| Prova di Compressione Triassiale Consolidata-Non Drenata | TX-CU | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

| REPORT PARAMETRI GEOTECNICI - SONDAGGI SP 27 | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-----------------------------------|-----------|-------------|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|-----------|-----------|-------------|--|
| Parametro | Sondaggio | S1 | | | S2 | | | S3 | | | S4 | | | |
| | | CI1 | CI2 | CI3 | CI1 | CI2 | CI3 | CI1 | CI2 | CI3 | CI1 | CI2 | CI3 | |
| Campione | Profondità (m) | 6.00-6.50 | 10.50-11.00 | 15.00-15.50 | 3.00-3.50 | 7.00-7.50 | 11.00-11.40 | 3.00-3.50 | 7.00-7.50 | 13.00-13.50 | 4.00-4.50 | 8.00-8.40 | 12.80-13.10 | |
| | Wn | 17.35 | 17.12 | 16.14 | 18.22 | 17.92 | 21.98 | 19.82 | 15.65 | 15.20 | 20.52 | 18.84 | 21.19 | |
| Contenuto d'acqua naturale | Peso di volume naturale | 21.53 | 22.30 | 22.04 | 21.11 | 21.75 | 21.44 | 20.64 | 22.04 | 22.49 | 19.89 | 21.78 | 22.34 | |
| | Ciotoli (%) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | |
| Granulometrie | Ghiaia (%) | - | - | - | - | - | - | 0.1 | - | - | 4.7 | - | - | |
| | Sabbia (%) | 0.4 | 3.6 | 3.0 | 0.3 | 1.3 | 1.7 | 3.0 | 4.1 | 1.5 | 11.3 | 0.9 | 0.9 | |
| | Limo (%) | 67.0 | 62.1 | 56.3 | 64.4 | 66.9 | 62.9 | 58.3 | 65.1 | 65.6 | 46.1 | 67.8 | 66.6 | |
| | Argilla (%) | 32.6 | 34.3 | 40.7 | 35.3 | 31.8 | 35.4 | 38.7 | 30.7 | 32.8 | 38.1 | 31.3 | 32.4 | |
| | WL (%) | 38.38 | 38.61 | 38.51 | 41.25 | 39.53 | 37.74 | 46.95 | 37.76 | 36.42 | 46.43 | 40.20 | 41.40 | |
| Limiti di Atterberg | WP (%) | 20.07 | 18.63 | 19.54 | 21.42 | 20.98 | 19.17 | 21.62 | 20.25 | 19.32 | 23.71 | 20.27 | 21.61 | |
| | Ip (%) | 18.31 | 19.98 | 18.97 | 19.83 | 18.55 | 18.57 | 25.33 | 17.51 | 17.10 | 22.72 | 19.93 | 19.79 | |
| Indice di Plasticità | Ic | 1.15 | 1.07 | 1.18 | 1.16 | 1.16 | 0.85 | 1.07 | 1.26 | 1.24 | 1.07 | 1.97 | 1.02 | |
| | Angolo di attrito interno (picco) | 26.3 | - | - | 21.1 | - | - | 12.4 | - | - | 22.6 | - | - | |
| Angolo di attrito interno (residuo) | φ _r (°) | 17.6 | - | - | 6.7 | - | - | 8.6 | - | - | 8.8 | - | - | |
| | Coesione (picco) | 250.05 | - | - | 106.22 | - | - | 77.30 | - | - | 60.00 | - | - | |
| Coesione (residuo) | c _r (kPa) | 39.49 | - | - | 63.35 | - | - | 27.17 | - | - | 48.83 | - | - | |
| | Coesione non drenata | - | 287.80 | 612.20 | - | 248.40 | 73.70 | - | 340.30 | 621.00 | - | 272.30 | 457.20 | |

2.3 Indagini sismiche

Come accennato precedentemente, a supporto della caratterizzazione geotecnica del sottosuolo nei quattro siti di studio, sono stati realizzati tre profili sismici, ciascuno della lunghezza di 60 m, caratterizzati da una indagine di sismica a rifrazione in onde P a cui è stata associata (su ciascun profilo) una prova MASW.

Lo stendimento di sismica a rifrazione con le sole onde P ha permesso di restituire un dato stratigrafico bidimensionale aggiuntivo a quello puntuale dei sondaggi geognostici (puntuale). In aggiunta la prova MASW ha restituito il profilo di velocità delle onde S nei primi 30 m da p.c., per mezzo del quale è stato possibile calcolare il parametro $V_{s,30}$. Come definito dalle nuove NTC, per la stima della velocità media delle onde S nel sottosuolo si è fatto riferimento ai primi 30 m in quanto risultano essere presenti (da studio geologico) depositi incoerenti per spessori presunti ≥ 30 m.

Sulla scorta delle nuove nozioni emanate dalle NTC 2018, si ritiene che in questa fase progettuale, la caratterizzazione del $V_{s,30}$ (velocità media delle onde S riferita ai primi 30 m di sottosuolo) sia adeguato a restituire un parametro medio da considerare successivamente nella progettazione definitiva delle opere di consolidamento.

Eventuali variazioni significative delle opere di progettazione e del relativo volume significativo della fondazione, potrà essere variata l'interpretazione dei valori di V_s ottenuti, comunque entro e non oltre i 30 m da p.c..

Le indagini lineari sono state realizzate (vedi fig.12) in posizione circa centrale rispetto ai sondaggi geognostici e di conseguenza anche ai corpi di frana superficiali sviluppatasi all'interno del rilevato stradale. Al fine di restituire un dato rappresentativo sullo stato deformativo delle frane attuali e perciò delle superfici di scorrimento in profondità, alcuni dei geofoni sono stati installati all'interno del corpo di frana distaccatosi, mantenendo comunque dislivelli tra ciascun geofono accettabili per le registrazioni finali. La realizzazione delle misure è stata effettuata cercando di eseguire le diverse battute in assenza di rumore antropico.

Da evidenziare che i modelli sismo-stratigrafici ottenuti lungo SP27, soprattutto quelli relativi agli stendi menti SR-MW1 w SR-MW2, risultano ben correlabili con le risultanze delle indagini geognostiche, nonché con le supposizioni fatte nel corso del rilevamento geomorfologico delle coltri di versante (buona correlazione nell'andamento laterale e nelle profondità dei rifrattori individuati).

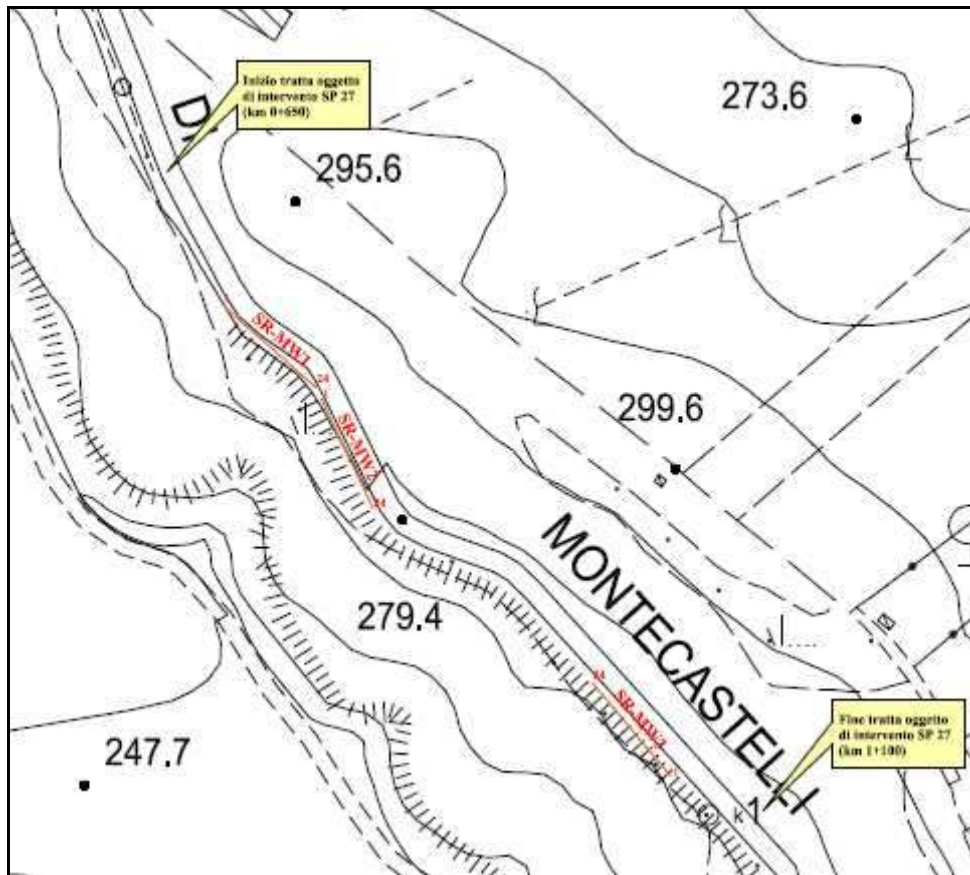


Fig.2: Ubicazione indagini geofisiche eseguite lungo la SP 27 di Montecastelli.

Nel caso del modello relativo alla misura SR2 si riscontra una coltre con velocità basse fino a circa 6-7 m da p.c., ben correlabile con i materiali osservati nel sondaggio S2 fino a tali profondità. Egualmente, per lo stendimento SR3 (confrontabile con i sondaggi S3 e S4), si riscontra una tendenza all'approfondimento in direzione della frana manifestatasi sul rilevato, caratterizzata da basse velocità delle onde P (ben correlabile con lo stato di consistenza dei materiali di frana) e rappresentativo dell'approfondimento della stessa coltre per effetto della presenza della porzione centrale della frana.

Infine si vuole evidenziare, in aggiunta ai commenti di seguito riportati sulle misure eseguite, che tutti profili MASW, soprattutto quelli delle misure MW2 e MW3, evidenziano la presenza di una bassa velocità o addirittura di una inversione evidente delle Vs tra circa 8 e 10-12 m da p.c., a rappresentare la probabile esistenza di una seconda superficie di scivolamento franosa talora già individuata nelle carote dei sondaggi geognostici.

Indagine sismica a rifrazione con prova MASW associata (SR-MW1)

Il profilo sismico SR-MW1 è stato realizzato in corrispondenza del sito in frana n. 1 ed è stato correlato alle risultanze del sondaggio geognostico S1.

Per le risultanze complete si rimanda alla relazione sulla modellazione sismica prodotta ufficialmente dall'impresa esecutrice delle indagini in sito.

Si ricorda, comunque, che l'interpretazione dei sismogrammi acquisiti con la sismica a rifrazione ha permesso di discriminare tre orizzonti stratigrafici ai quali sono stati associati tra valori medi di velocità delle onde P. Tale modello sismo-stratigrafico ha permesso di integrare i dati stratigrafici relativi al sondaggio S1 e di effettuare la modellazione geologica e geotecnica bidimensionale del sottosuolo nel sito di studio.

Il modello sismo-stratigrafico ottenuto per il sito n.1 (vedi fig. 3) è il seguente:

- 1) orizzonte superficiale con spessore massimo di circa 2 m, con velocità media delle onde P di circa 290 m/s, riconducibile ai materiali incoerenti e grossolani di riporto della massicciata stradale (unità geologica h5);
- 2) orizzonte litologico di natura incoerente e coesivo, costituito da limo argilloso e limo con argilla (unità geologica FAA), caratterizzato da velocità delle onde P prossime a circa 1'300 m/s. Presenta uno spessore variabile tra circa 7 e 13 m, aumentando da NE verso SW lungo un limite leggermente curvilineo. Il rifrattore delimitante il secondo layer dal terzo potrebbe essere correlato con una superficie di frana collocata a profondità comprese tra 8 e 12 m circa, come ricostruito anche dai profili MASW e dal livello poco consistente rinvenuto nel sondaggio S1;
- 3) orizzonte litologico, costituito da limo con argilla sovra consolidato (unità geologica FAA), a cui è possibile associare valori di velocità delle onde P prossime a circa 2'890 m/s.

Per quanto concerne la prova MASW, il valore di $V_{s,30}$ stimato per il sito interessato da frana sul quale è stata realizzata la prova MW1 è pari a circa **353 m/s** (vedi fig. 4) per il quale il terreno di sottosuolo è ascrivibile alla categoria di sottosuolo **C**.

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, alla categoria **C** appartengono *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”*.

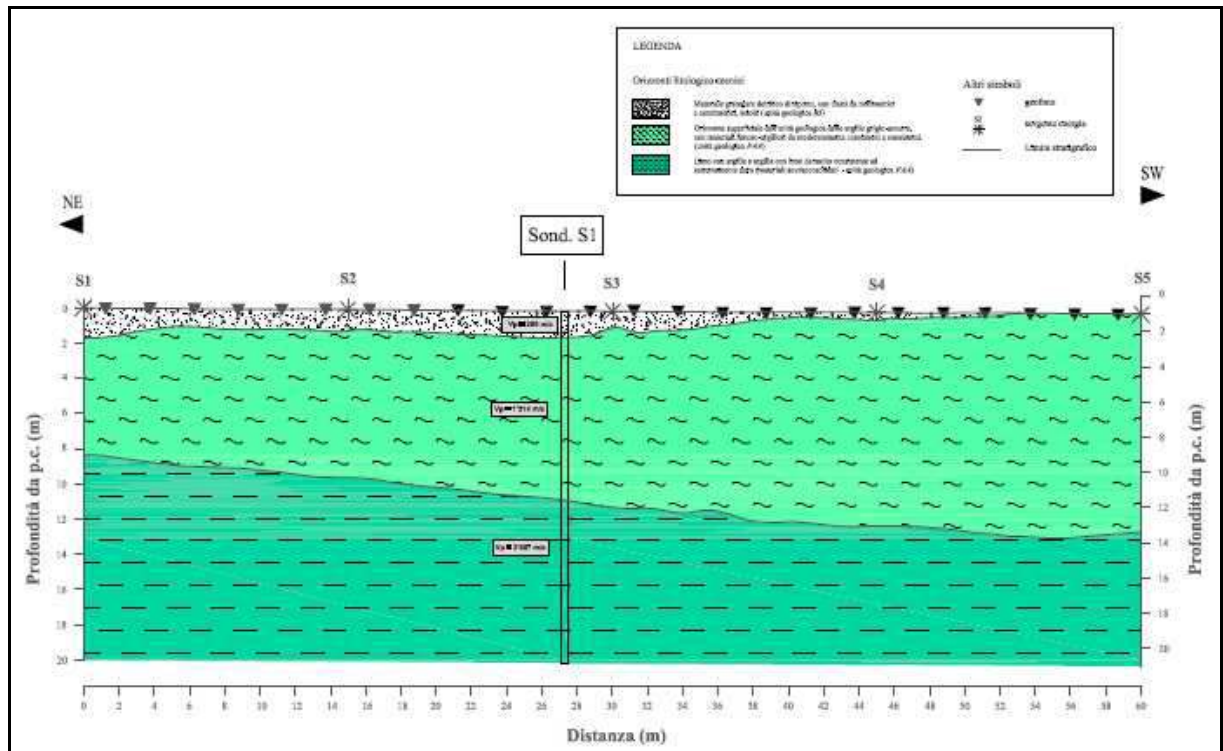


Fig. 3: Modello sismo-stratigrafico ottenuto dal profilo di sismica a rifrazione SR1, relativo al sito di studio n.1 della SP 27.

Dall'osservazione del profilo delle Vs (vedi fig. 4) si nota che la velocità delle onde sismiche risultano aumentare progressivamente nel sottosuolo. A circa 4-5 m è osservabile una leggera inversione di velocità correlabile con la superficie di frana più superficiale. Più in profondità le onde S tendono ad aumentare progressivamente. A circa 23 m la velocità potrebbe registrare aumenti significativi attestandosi a valori di 600-700 m/s. Tale condizione, comunque da confermare, potrebbe essere riconducibile alla presenza di lenti di depositi pliocenici grossolani cementato o sub-cementati, compenetrati all'interno dell'argille grigio-azzurre (a sud-est del sito a poche decine di metri sono presenti i conglomerati marini dell'unità PLIb).

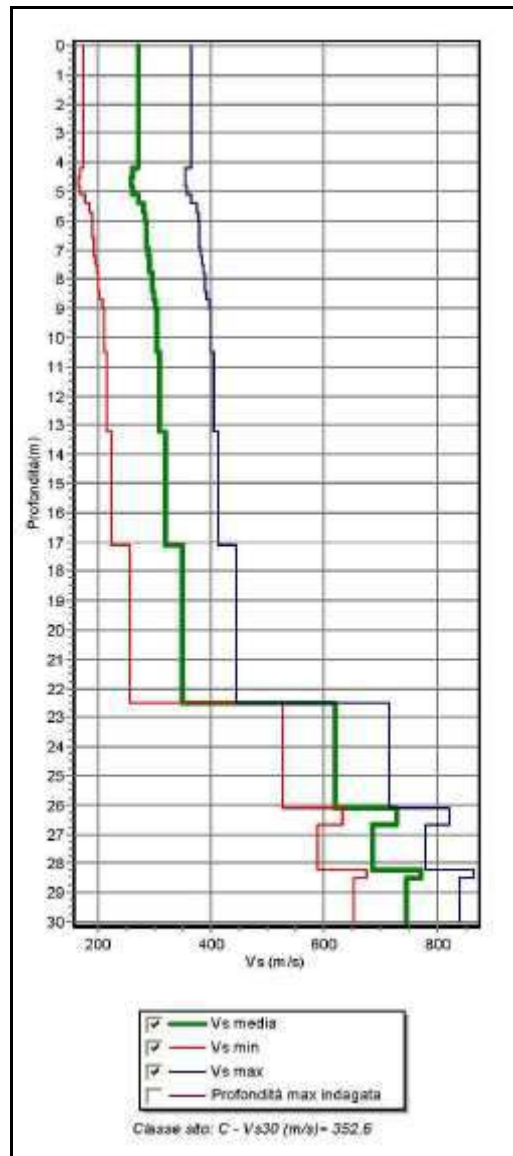


Fig. 4: Profilo Vs relativo al sito di studio n.1 della SP 27.

Le risultanze della prova MASW possono essere così schematizzate:

- 1) orizzonte superficiale riconducibile presumibilmente alla coltre di frana comprensiva di eventuali terreni di riporto, fino a circa 5 m da p.c., con valore di Vs pari a circa 270-280 m/s;
- 2) orizzonte costituito da limo con argilla, compreso tra le profondità di 5 e m 23 m circa da p.c., con velocità delle onde S compresa tra circa 280 e 350 m/s;
- 3) orizzonte riconducibile a materiali potenzialmente cementati, caratterizzato da valori di Vs > 600-700 m/s, presente a profondità > 23 m da p.c..

Indagine sismica a rifrazione con prova MASW associata (SR-MW2)

Il profilo sismico SR-MW2 è stato realizzato in corrispondenza del sito in frana n. 1 ed è stato correlato alle risultanze del sondaggio geognostico S2.

Per le risultanze complete si rimanda alla relazione sulla modellazione sismica prodotta ufficialmente dall'impresa esecutrice delle indagini in sito.

Si ricorda, comunque, che l'interpretazione dei sismogrammi acquisiti con la sismica a rifrazione ha permesso di discriminare tre orizzonti stratigrafici ai quali sono stati associati tra valori medi di velocità delle onde P. Tale modello sismo-stratigrafico ha permesso di integrare i dati stratigrafici relativi al sondaggio S2 e di effettuare la modellazione geologica e geotecnica bidimensionale del sottosuolo nel sito di studio.

Il modello sismo-stratigrafico ottenuto per il sito n.2 (vedi fig. 5) è il seguente:

- 1) orizzonte superficiale con spessore massimo di circa 1 m, con velocità media delle onde P di circa 310 m/s, riconducibile ai materiali incoerenti e grossolani di riporto della massicciata stradale (unità geologica h5);
- 2) orizzonte litologico di natura incoerente e coesivo, costituito da limo argilloso e limo con argilla (unità geologica FAA), caratterizzato da velocità delle onde P prossime a circa 520 m/s. Presenta uno spessore variabile tra circa 6 e 7 m. Il rifrattore delimitante il secondo e il terzo layer potrebbe essere correlato con una superficie di frana collocata a profondità comprese tra circa 6 e 7 m, come ricostruito anche dalla stratigrafia del sondaggio S2 e dall'inversione di velocità individuata con la prova MASW a tali profondità;
- 3) orizzonte litologico, costituito da limo con argilla sovra consolidato, (unità geologica FAA), a cui è possibile associare valori di velocità delle onde P prossime a circa 2'880 m/s.

Per quanto concerne la prova MASW, il valore di $V_{s,30}$ stimato per il sito interessato da frana sul quale è stata realizzata la prova MW1 è pari a **349,5 m/s** (vedi fig. 6) per il quale il terreno di sottosuolo è ascrivibile alla categoria di sottosuolo **C**.

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, alla categoria **C** appartengono “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s*”.

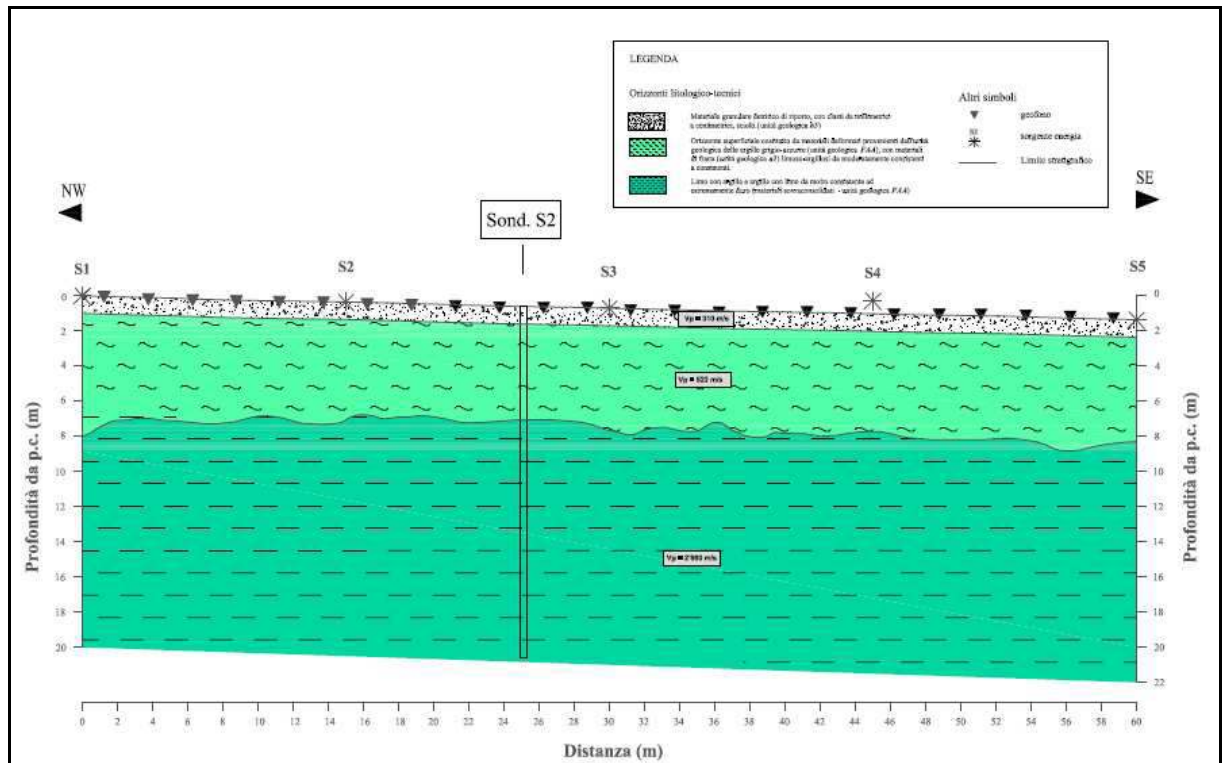


Fig. 5: Modello sismo-stratigrafico ottenuto dal profilo di sismica a rifrazione SR1, relativo al sito di studio n.1 della SP 27.

Dall'osservazione del profilo delle Vs (vedi fig. 6) si nota che la velocità delle onde sismiche risultano aumentare progressivamente nel sottosuolo. A circa 4-5 m è osservabile una leggera inversione di velocità correlabile con la superficie di frana più superficiale. Più in profondità le onde S tendono ad aumentare progressivamente, A circa 23 m la velocità potrebbe registrare aumenti significativi attestandosi a valori di 600-700 m/s.

Tale condizione, comunque da confermare, potrebbe essere riconducibile alla presenza di lenti di depositi pliocenici grossolani cementato o sub-cementati, compenetrati all'interno dell'argille grigio-azzurre (a sud-est del sito a poche decine di metri sono presenti i conglomerati marini dell'unità PLIb).

Le risultanze della prova MASW possono essere così schematizzate:

- 1) orizzonte superficiale riconducibile presumibilmente alla coltre di frana comprensiva di eventuali terreni di riporto, fino a circa 7 m da p.c., con valore di Vs pari a circa 260-290 m/s;
- 2) orizzonte costituito da limo con argilla, compreso tra le profondità di 7 e m 21 m circa da p.c., con velocità delle onde S compresa tra circa 290 e 350 m/s;
- 3) orizzonte riconducibile a materiali potenzialmente cementati, caratterizzato da valori di Vs > 600-700 m/s, presente a profondità > 21 m da p.c..

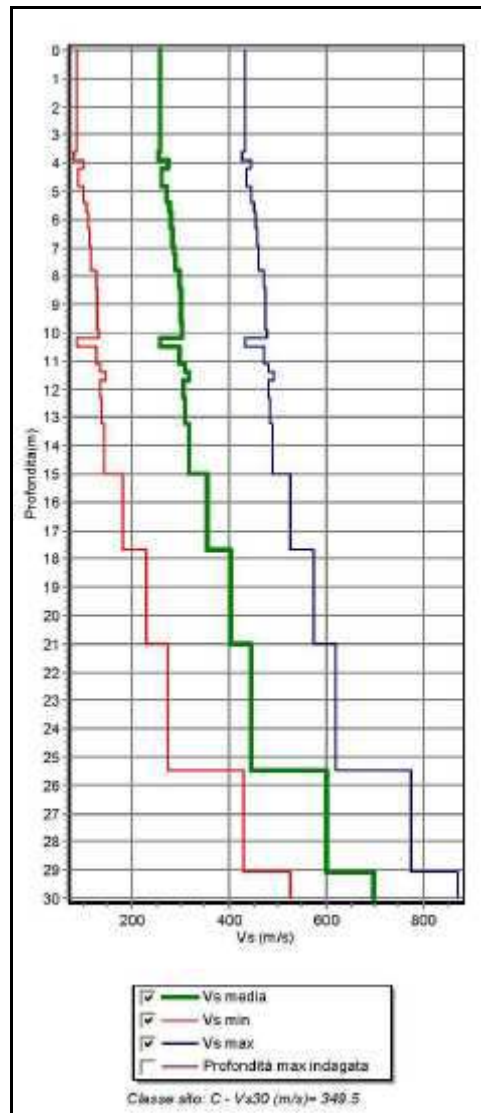


Fig. 6: Profilo Vs relativo al sito di studio n.2 della SP 27.

Indagine sismica a rifrazione con prova MASW associata (SR-MW3)

Il profilo sismico SR-MW3 è stato realizzato in corrispondenza del sito in frana n. 1 ed è stato correlato alle risultanze dei sondaggi geognostici S3 e S4.

Per le risultanze complete si rimanda alla relazione sulla modellazione sismica prodotta ufficialmente dall'impresa esecutrice delle indagini in sito.

Si ricorda, comunque, che l'interpretazione dei sismogrammi acquisiti con la sismica a rifrazione ha permesso di discriminare tre orizzonti stratigrafici ai quali sono stati associati tra valori medi di velocità delle onde P. Tale modello sismo-stratigrafico ha permesso di integrare i dati stratigrafici relativi ai sondaggio S3 e S4 e di effettuare la modellazione geologica e geotecnica bidimensionale del sottosuolo nel sito di studio.

Il modello sismo-stratigrafico ottenuto per il sito n.3 (vedi fig. 7) è il seguente:

- 1) orizzonte superficiale con spessore variabile tra 2 e 9 m circa, comprensivo degli eventuali materiali di riporto superficiali (unità geologica h5, spessore circa 1–1,5 m) e con velocità media delle onde P di circa 470-490 m/s; è riconducibile a materiali limoso-argillosi poco consistenti o moderatamente consistenti (unità geologica FAA), individuati nei primi metri anche per mezzo dei sondaggi geognostici; il rifrattore che lo separa dal 2° layer sottostante, evidenzia una possibile superficie di frana che tende ad approfondirsi in direzione NW dove lo stendi mento termina proprio sul corpo di frana già movimentatosi;
- 2) orizzonte litologico di natura incoerente e coesivo, costituito da limo argilloso e limo con argilla (unità geologica FAA), caratterizzato da velocità delle onde P prossime a circa 1040 m/s. Presenta uno spessore ipotetico compreso tra circa 2 e 12 m. Il rifrattore delimitante il secondo e il terzo layer potrebbe essere correlato con una superficie di frana collocata a profondità ≥ 10 m ma soltanto nella porzione esposta a NW;;
- 3) orizzonte litologico, costituito da limo con argilla sovraconsolidato, (unità geologica FAA), a cui è possibile associare valori di velocità delle onde P prossime a circa 2'200 m/s.

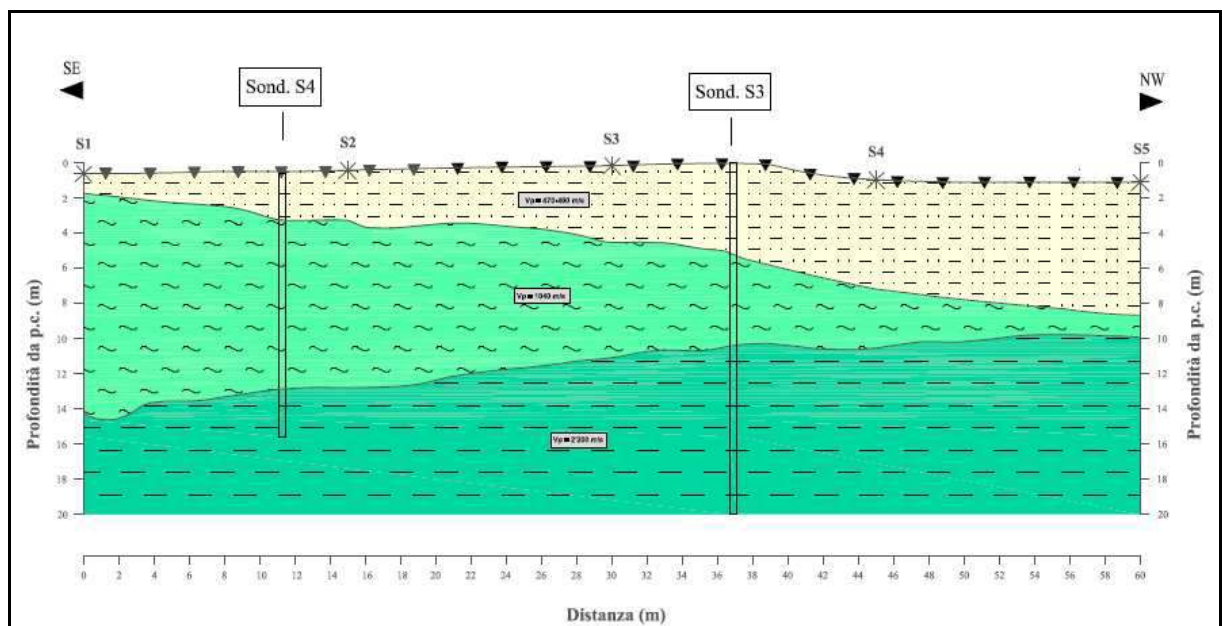


Fig. 7: Modello sismo-stratigrafico ottenuto dal profilo di sismica a rifrazione SR3, relativo al sito di studio n.3 della SP 27.

Per quanto concerne la prova MASW, il valore di $V_{s,30}$ stimato per il sito interessato da frana sul quale è stata realizzata la prova MW1 è pari a circa **285 m/s** (vedi fig. 8) per il quale il terreno di sottosuolo è ascrivibile alla categoria di sottosuolo **C**.

Dall'osservazione del profilo delle Vs (vedi fig. 8) si nota che la velocità delle onde sismiche risultano aumentare progressivamente nei primi metri per poi subire una inversione significativa tra circa 4 e 12 m da p.c. Tale inversione ben si correla con due potenziali sistemi di superfici di frana appunto a circa 5 e 10-12 m da p.c. individuate anche con i sondaggi geognostici. Successivamente la velocità delle onde S tende ad aumentare linearmente in profondità senza far registrare, per il profilo MW3, aumenti repentini come per le misure MW1 e MW2.

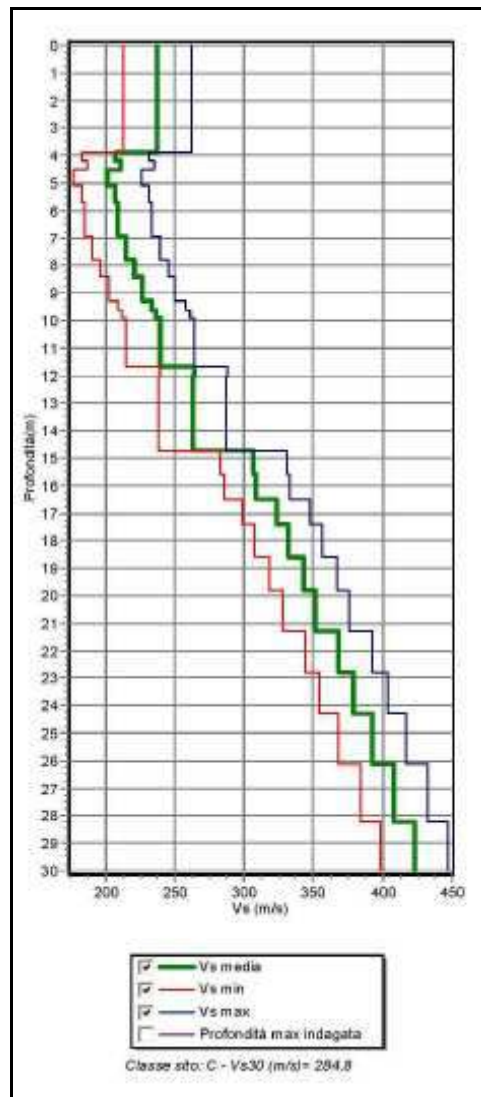


Fig. 18: Profilo Vs relativo al sito di studio n.3 della SP 27.

Le risultanze della prova MASW possono essere così schematizzate:

- 1) orizzonte superficiale riconducibile presumibilmente alla coltre di frana comprensiva di eventuali terreni di riporto, fino a circa 6 m da p.c., con valore di Vs pari a circa 210-230 m/s;
- 2) orizzonte costituito da limo con argilla, compreso tra le profondità di 7 e m 15 m circa da p.c., con velocità delle onde S compresa tra circa 210 e 260 m/s;
- 3) orizzonte riconducibile a materiali sovraconsolidati, caratterizzato da valori di Vs compresi tra circa 310 e 420 m/s.

2.4 Modello geotecnico del sottosuolo

Sulla scorta delle risultanze delle indagini geognostiche, nonché delle indagini geofisiche e delle risultanze delle prove geotecniche di laboratorio, è stata effettuata la modellazione lito-stratigrafica e geotecnica del sottosuolo sia lungo la sezione longitudinale tracciata su tutto il tratto oggetto di adeguamento (tra km 0+650 e km 1+100), nonché lungo alcune sezioni trasversali rispetto all'asse di sviluppo della tratta stradale tracciate lungo le linee di massima pendenza passanti per ciascun sito indagato (sito n.1 al km circa 0+700, sito n.2 al km circa 0+800, n.3 al km circa 1+1000 e al km 1+1100).

Nelle tavole C e D sono mostrati rispettivamente il modello geotecnico definito bidimensionalmente lungo le sezioni sopra menzionate e il modello geotecnico puntuale definito mediamente in corrispondenza di ciascun sito di studio. Si ricorda che ogni sito di studio a cui si fa riferimento è caratterizzato da almeno un sondaggio geognostico e che fa riferimento alle quattro zone di rottura superficiale del rilevato stradale. Tuttavia a scala più globale si ritiene che i primi due siti (n.1 e n.2) e l'ultimo (n.3) facciano parte di due corpi franosi con base di scorrimento più profonda rispetto a quella osservata sulle rotture attive attuali.

Di seguito sono descritte le unità geotecniche discriminate per ogni sito e rappresentate nelle diverse sezioni geotecniche. In particolare ogni unità descritta di seguito è riconducibile ai modelli geotecnici puntuali rappresentati nella Tavola D, i cui spessori fanno riferimento a profondità medie individuate circa sulla zona centrale dei siti di intervento e a cui sono associati parametri geotecnici caratteristici sulla scorta sia di correlazioni empiriche, che di esperienze personali pregresse su materiali simili e sulla scorta dei valori restituiti dalle prove di laboratorio eseguite sui campioni di terreno indisturbati.

MODELLO GEOTECNICO SITO N. 1 - SEZIONE 1-1' E SEZIONE 2-2'

- **Unità 1, da 0,0 a 2,4 m da p.c.:** terreni di riporto. Si tratta di materiali di origine antropica costituiti da brecce, di natura calcarea, da centimetriche a decimetriche, immerse in una matrice limosa debolmente sabbiosa, da addensate a molto addensate, a costituire generalmente la massicciata stradale sia sotto la pavimentazione che sulla banchina laterale. Talora si alternano nei primi centimetri con riporti di misto granulare per conglomerato bituminoso.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$$N_{spt} \text{ medio} = 65$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 19,8 \text{ kN/m}^3 = 0,00202 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace di picco } (\phi'_p) = 29^\circ$$

$$\text{coesione efficace di picco } (c'_p) = 18 \text{ kPa} = 0,183 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace residuo } (\phi'_r) = 16^\circ$$

$$\text{coesione efficace residua } (c'_r) = 8 \text{ kPa} = 0,081 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } (c_u) = 63 \text{ kPa} = 0,642 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } (E_s) = 25'600 \text{ kPa} = 261,04 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo di young } (\mu) = 0,3$$

$$V_s = 270 \text{ m/s}$$

- **Unità 2b, da 2,4 a 3,3 m da p.c.:** limo argilloso di colorazione bruna moderatamente consistente, talora localmente poco consistente, plastico al tatto. Presenti talora abbondanti maculature nerastre organiche millimetriche.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$$N_{spt} \text{ medio} = 5$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 19,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00199 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace di picco } (\phi'_p) = 21^\circ$$

$$\text{coesione efficace di picco } (c'_p) = 106,2 \text{ kPa} = 1,083 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace residuo } (\phi'_r) = 7^\circ$$

$$\text{coesione efficace residua } (c'_r) = 39,49 \text{ kPa} = 0,403 \text{ kg/cm}^2$$

resistenza al taglio non drenata (c_u) = 49 kPa = 0,5 kg/cm²

modulo elastico (E_s) = 14'700 kPa = 149,896 kg/cm²

modulo di young (μ) = 0,31

V_s = 259 m/s

- **Unità 2c, da 3,3 a 4,5 m da p.c.:** limo argilloso di colorazione marrone talora con abbondanti granuli millimetrici biancastri di natura calcarea, mediamente consistente talora si presenta molto consistente.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

N_{spt} medio = 22

peso di volume (γ) = 21 kN/m³ = 0,00214 kg/cm³

angolo d'attrito interno efficace di picco (ϕ'_p) = 25°

coesione efficace di picco (c'_p) = 106,2 kPa = 1,083 kg/cm²

angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = 17°

coesione efficace residua (c'_r) = 37 kPa = 0,377 kg/cm²

resistenza al taglio non drenata (c_u) = 150 kPa = 1,53 kg/cm²

modulo elastico (E_s) = 45'000 kPa = 458,865 kg/cm²

modulo di young (μ) = 0,31

V_s = 261 m/s

- **Unità 2d, da 4,5 a 5,2 m da p.c.:** limo argilloso di colorazione marrone talora con abbondanti granuli millimetrici biancastri di natura calcarea, mediamente consistente talora si presenta molto consistente.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

N_{spt} medio = 5

peso di volume (γ) = 20,3 kN/m³ = 0,00207 kg/cm³

angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = 17°

coesione efficace residua (c'_r) = 39,49 kPa = 0,403 kg/cm²

resistenza al taglio non drenata (c_u) = 49 kPa = 0,5 kg/cm²

modulo elastico (E_s) = 14'700 kPa = 149,896 kg/cm²

modulo di young (μ) = 0,31

$V_s = 271$ m/s

- **Unità 2c, da 5,2 a 6,0 m da p.c.:** limo argilloso di colorazione marrone talora con abbondanti granuli millimetrici biancastri di natura calcarea, mediamente consistente talora si presenta molto consistente.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

N_{spt} medio = 22

peso di volume (γ) = $21 \text{ kN/m}^3 = 0,00214 \text{ kg/cm}^3$

angolo d'attrito interno efficace di picco (ϕ'_p) = 25°

coesione efficace di picco (c'_p) = $106,2 \text{ kPa} = 1,083 \text{ kg/cm}^2$

angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = 17°

coesione efficace residua (c'_r) = $37 \text{ kPa} = 0,183 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata (c_u) = $150 \text{ kPa} = 1,53 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico (E_s) = $45'000 \text{ kPa} = 458,865 \text{ kg/cm}^2$

modulo di young (μ) = 0,3

$V_s = 280$ m/s

- **Unità 3a, da 6,0 a 9,6 m da p.c.:** limo con argilla consistente, talora molto consistente, di colorazione grigia; si riconoscono talora stratificazioni riconducibili a strutture deposizionali (varvature, alternanza livelli più fini limoso argillosi con livelli debolmente sabbiosi).

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

N_{spt} medio = 42

peso di volume (γ) = $21,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00219 \text{ kg/cm}^3$

angolo d'attrito interno efficace di picco (ϕ'_p) = 26°

coesione efficace di picco (c'_p) = $250,05 \text{ kPa} = 2,55 \text{ kg/cm}^2$

angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = $17,5^\circ$

coesione efficace residua (c'_r) = $39,49 \text{ kPa} = 0,403 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata (c_u) = $268,1 \text{ kPa} = 2,73 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico (E_s) = $80'430 \text{ kPa} = 820,145 \text{ kg/cm}^2$

modulo di young (μ) = 0,295

$V_s = 293 \text{ m/s}$

- **Unità 3b, da 9,6 a 10,0 m da p.c.:** limo argilloso moderatamente consistente, talora poco consistente, plastico al tatto, di colorazione grigia. E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$N_{spt} \text{ medio} = 7$

peso di volume (γ) = $20,3 \text{ kN/m}^3 = 0,00207 \text{ kg/cm}^3$

angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = $17,5^\circ$

coesione efficace residua (c'_r) = $39,49 \text{ kPa} = 0,183 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata (c_u) = $73,70 \text{ kPa} = 0,642 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico (E_s) = $22'110 \text{ kPa} = 293,67 \text{ kg/cm}^2$

modulo di young (μ) = $0,31$

$V_s = 285 \text{ m/s}$

- **Unità 3a, da 10,0 a 12,0 m da p.c.:** limo con argilla consistente, talora molto consistente, di colorazione grigia; si riconoscono talora stratificazioni riconducibili a strutture deposizionali (varvature, alternanza livelli più fini limoso argillosi con livelli debolmente sabbiosi).

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$N_{spt} \text{ medio} = 42$

peso di volume (γ) = $21,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00219 \text{ kg/cm}^3$

angolo d'attrito interno efficace di picco (ϕ'_p) = 26°

coesione efficace di picco (c'_p) = $250,05 \text{ kPa} = 2,55 \text{ kg/cm}^2$

angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = $17,5^\circ$

coesione efficace residua (c'_r) = $39,49 \text{ kPa} = 0,403 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata (c_u) = $268,1 \text{ kPa} = 2,73 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico (E_s) = $80'430 \text{ kPa} = 820,145 \text{ kg/cm}^2$

modulo di young (μ) = $0,295$

$V_s = 314 \text{ m/s}$

- **Unità 4, da 12,0 a 20,0 m da p.c.:** limo con argilla di colorazione grigio-verde talora tendente alla colorazione grigio-azzurra, da molto consistente ad estremamente consistente (duro - sovraconsolidato); la carota a profondità > 15 m si presenta talora sfibrata. A quote superiori si riscontrano generalmente stratificazioni riconducibili a strutture deposizionali (varvature, alternanza livelli più fini limoso argillosi con livelli debolmente sabbiosi). Sono presenti talora rari orizzonti decimetrici di sabbia grossolana asciutti.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

N_{spt} medio = 52

peso di volume (γ) = 22 kN/m³ = 0,00224 kg/cm³

angolo d'attrito interno efficace di picco (ϕ'_p) = 26°

coesione efficace di picco (c'_p) = 280 kPa = 2,855 kg/cm²

angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = 17,5°

coesione efficace residua (c'_r) = 40 kPa = 0,408 kg/cm²

resistenza al taglio non drenata (c_u) = 612,2 kPa = 6,243 kg/cm²

modulo elastico (E_s) = 244,88 MPa = 2'497,04 kg/cm²

modulo di young (μ) = 0,29

V_s = 423 m/s

MODELLO GEOTECNICO SITO N. 2 - SEZIONE 1-1' E SEZIONE 3-3'

- **Unità 1, da 0,0 a 1,2 m da p.c.:** terreni di riporto. Si tratta di materiali di origine antropica costituiti da brecce, di natura calcarea, da centimetriche a decimetriche, immerse in una matrice limosa debolmente sabbiosa, da addensate a molto addensate, a costituire generalmente la massicciata stradale sia sotto la pavimentazione che sulla banchina laterale. Talora si alternano nei primi centimetri con riporti di misto granulare per conglomerato bituminoso.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

N_{spt} medio = 65

peso di volume (γ) = 19,8 kN/m³ = 0,00202 kg/cm³

angolo d'attrito interno efficace di picco (ϕ'_p) = 29°

coesione efficace di picco (c'_p) = 18 kPa = 0,183 kg/cm²

angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = 16°

coesione efficace residua (c'_r) = 8 kPa = 0,081 kg/cm²

resistenza al taglio non drenata (c_u) = 63 kPa = 0,642 kg/cm²

modulo elastico (E_s) = 25'600 kPa = 261,04 kg/cm²

modulo di young (μ) = 0,3

V_s = 270 m/s

- **Unità 2c, da 1,2 a 3,7 m da p.c.:** limo argilloso di colorazione marrone talora con abbondanti granuli millimetrici biancastri di natura calcarea, mediamente consistente talora si presenta molto consistente.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

N_{spt} medio = 22

peso di volume (γ) = 21 kN/m³ = 0,00214 kg/cm³

angolo d'attrito interno efficace di picco (ϕ'_p) = 21°

coesione efficace di picco (c'_p) = 106,2 kPa = 1,083 kg/cm²

angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = 7°

coesione efficace residua (c'_r) = 63,3 kPa = 0,645 kg/cm²

resistenza al taglio non drenata (c_u) = 150 kPa = 1,53 kg/cm²

modulo elastico (E_s) = 45'000 kPa = 458,865 kg/cm²

modulo di young (μ) = 0,31

V_s = 268 m/s

- **Unità 2b, da 3,7 a 4,3 m da p.c.:** limo argilloso di colorazione bruna moderatamente consistente, talora localmente poco consistente, plastico al tatto. Presenti talora abbondanti maculature nerastre organiche millimetriche.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

N_{spt} medio = 5

peso di volume (γ) = 19,5 kN/m³ = 0,00199 kg/cm³

angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = 7°

coesione efficace residua (c'_r) = 39,49 kPa = 0,403 kg/cm²

resistenza al taglio non drenata (c_u) = 49 kPa = 0,5 kg/cm²

modulo elastico (E_s) = 14'700 kPa = 149,896 kg/cm²

modulo di young (μ) = 0,31

V_s = 254 m/s

- **Unità 3a, da 4,3 a 5,4 m da p.c.:** limo con argilla consistente, talora molto consistente, di colorazione grigia; si riconoscono talora stratificazioni riconducibili a strutture deposizionali (varvature, alternanza livelli più fini limoso argillosi con livelli debolmente sabbiosi).

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

N_{spt} medio = 42

peso di volume (γ) = 21,5 kN/m³ = 0,00219 kg/cm³

angolo d'attrito interno efficace di picco (ϕ'_p) = 26°

coesione efficace di picco (c'_p) = 250,05 kPa = 2,55 kg/cm²

angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = 17,5°

coesione efficace residua (c'_r) = 39,49 kPa = 0,403 kg/cm²

resistenza al taglio non drenata (c_u) = 248,4 kPa = 2,53 kg/cm²

modulo elastico (E_s) = 74'520 kPa = 820,145 kg/cm²

modulo di young (μ) = 0,295

V_s = 276 m/s

- **Unità 3b, da 5,4 a 6,5 m da p.c.:** limo argilloso moderatamente consistente, talora poco consistente, plastico al tatto, di colorazione grigia. E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

N_{spt} medio = 7

peso di volume (γ) = 20,3 kN/m³ = 0,00207 kg/cm³

angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = 17,5°

coesione efficace residua (c'_r) = 39,49 kPa = 0,183 kg/cm²

resistenza al taglio non drenata (c_u) = 73,70 kPa = 0,642 kg/cm²

modulo elastico (E_s) = 22'110 kPa = 293,67 kg/cm²

modulo di young (μ) = 0,31

V_s = 282 m/s

- **Unità 3a, da 6,5 a 9,6 m da p.c.:** limo con argilla consistente, talora molto consistente, di colorazione grigia; si riconoscono talora stratificazioni riconducibili a strutture deposizionali (varvature, alternanza livelli più fini limoso argillosi con livelli debolmente sabbiosi).

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$$N_{spt} \text{ medio} = 42$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 21,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00219 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace di picco } (\phi'_p) = 26^\circ$$

$$\text{coesione efficace di picco } (c'_p) = 250,05 \text{ kPa} = 2,55 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace residuo } (\phi'_r) = 17,5^\circ$$

$$\text{coesione efficace residua } (c'_r) = 39,49 \text{ kPa} = 0,403 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } (c_u) = 248,4 \text{ kPa} = 2,53 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } (E_s) = 74'520 \text{ kPa} = 820,145 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo di young } (\mu) = 0,295$$

$$V_s = 300 \text{ m/s}$$

- **Unità 3b, da 9,6 a 10,0 m da p.c.:** limo argilloso moderatamente consistente, talora poco consistente, plastico al tatto, di colorazione grigia. E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$$N_{spt} \text{ medio} = 7$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 20,3 \text{ kN/m}^3 = 0,00207 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace residuo } (\phi'_r) = 17,5^\circ$$

$$\text{coesione efficace residua } (c'_r) = 39,49 \text{ kPa} = 0,183 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } (c_u) = 73,70 \text{ kPa} = 0,642 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } (E_s) = 22'110 \text{ kPa} = 293,67 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo di young } (\mu) = 0,31$$

$$V_s = 259 \text{ m/s}$$

- **Unità 3a, da 10,0 a 11,4 m da p.c.:** limo con argilla consistente, talora molto consistente, di colorazione grigia; si riconoscono talora stratificazioni riconducibili a strutture deposizionali (varvature, alternanza livelli più fini limoso argillosi con livelli debolmente sabbiosi).

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$$N_{spt} \text{ medio} = 42$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 21,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00219 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace di picco } (\phi'_p) = 26^\circ$$

$$\text{coesione efficace di picco } (c'_p) = 250,05 \text{ kPa} = 2,55 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace residuo } (\phi'_r) = 17,5^\circ$$

$$\text{coesione efficace residua } (c'_r) = 39,49 \text{ kPa} = 0,403 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } (c_u) = 248,4 \text{ kPa} = 2,53 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } (E_s) = 74'520 \text{ kPa} = 820,145 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo di young } (\mu) = 0,295$$

$$V_s = 280 \text{ m/s}$$

- **Unità 4, da 11,4 a 20,0 m da p.c.:** limo con argilla di colorazione grigio-verde talora tendente alla colorazione grigio-azzurra, da molto consistente ad estremamente consistente (duro - sovraconsolidato); la carota a profondità > 15 m si presenta talora sfibrata. A quote superiori si riconoscono generalmente stratificazioni riconducibili a strutture deposizionali (varvature, alternanza livelli più fini limoso argillosi con livelli debolmente sabbiosi). Sono presenti talora rari orizzonti decimetrici di sabbia grossolana asciutti.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$$N_{spt} \text{ medio} = 52$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 22 \text{ kN/m}^3 = 0,00224 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace di picco } (\phi'_p) = 26^\circ$$

$$\text{coesione efficace di picco } (c'_p) = 280 \text{ kPa} = 2,855 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace residuo } (\phi'_r) = 17,5^\circ$$

$$\text{coesione efficace residua } (c'_r) = 40 \text{ kPa} = 0,408 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } (c_u) = 612,2 \text{ kPa} = 6,243 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } (E_s) = 244,88 \text{ MPa} = 2'497,04 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo di young } (\mu) = 0,29$$

$$V_s = 346 \text{ m/s}$$

MODELLO GEOTECNICO SITO N. 3 AL KM 1+000 - SEZIONE 1-1' E SEZIONE 4-4'

- **Unità 1, da 0,0 a 1,0 m da p.c.:** terreni di riporto. Si tratta di materiali di origine antropica costituiti da brecce, di natura calcarea, da centimetriche a decimetriche, immerse in una matrice limosa debolmente sabbiosa, da addensate a molto addensate, a costituire generalmente la massicciata stradale sia sotto la pavimentazione che sulla banchina laterale. Talora si alternano nei primi centimetri con riporti di misto granulare per conglomerato bituminoso.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$$N_{\text{spt}} \text{ medio} = 65$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 19,8 \text{ kN/m}^3 = 0,00202 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace di picco } (\phi'_p) = 29^\circ$$

$$\text{coesione efficace di picco } (c'_p) = 18 \text{ kPa} = 0,183 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace residuo } (\phi'_r) = 16^\circ$$

$$\text{coesione efficace residua } (c'_r) = 8 \text{ kPa} = 0,081 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } (c_u) = 63 \text{ kPa} = 0,642 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } (E_s) = 25'600 \text{ kPa} = 261,04 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo di young } (\mu) = 0,3$$

$$V_s = 240 \text{ m/s}$$

- **Unità 2a, da 1,0 a 1,7 m da p.c.:** limo sabbioso-argilloso di colorazione bruna, talora con abbondanti concrezioni carbonatiche biancastre millimetriche, talora con rari clasti di breccia da centimetrici a decimetrici di natura calcarea color nocciola.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$$N_{\text{spt}} \text{ medio} = 7$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 19,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00199 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace di picco } (\phi'_p) = 21^\circ$$

$$\text{coesione efficace di picco } (c'_p) = 106,2 \text{ kPa} = 1,083 \text{ kg/cm}^2$$

angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = 7°

coesione efficace residua (c'_r) = 63,3 kPa = 0,645 kg/cm²

resistenza al taglio non drenata (c_u) = 40 kPa = 0,408 kg/cm²

modulo elastico (E_s) = 12'000 kPa = 122,36 kg/cm²

modulo di young (μ) = 0,31

V_s = 237 m/s

- **Unità 2b, da 1,7 a 5,5 m da p.c.:** limo argilloso di colorazione bruna moderatamente consistente, talora localmente poco consistente, plastico al tatto. Presenti talora abbondanti maculature nerastre organiche millimetriche.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

N_{spt} medio = 5

peso di volume (γ) = 20.6 kN/m³ = 0,0021 kg/cm³

angolo d'attrito interno efficace di picco (ϕ'_p) = $12,5^\circ$

coesione efficace di picco (c'_p) = 77,3 kPa = 0,788 kg/cm²

angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = 9°

coesione efficace residua (c'_r) = 27,17 kPa = 0,277 kg/cm²

resistenza al taglio non drenata (c_u) = 49 kPa = 0,5 kg/cm²

modulo elastico (E_s) = 9'800 kPa = 99,931 kg/cm²

modulo di young (μ) = 0,31

V_s = 207 m/s

- **Unità 3a/3b, da 5,5 – 10,3 m da p.c.:** limo con argilla consistente, talora molto consistente, di colorazione grigia; si riconoscono talora stratificazioni riconducibili a strutture deposizionali (varvature, alternanza livelli più fini limoso argillosi con livelli debolmente sabbiosi); lungo la verticale si alterna limo argilloso moderatamente consistente, talora poco consistente, plastico al tatto, di colorazione grigia.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

N_{spt} medio = 18

peso di volume (γ) = 22 kN/m³ = 0,00224 kg/cm³

angolo d'attrito interno efficace di picco (ϕ'_p) = 26°
coesione efficace di picco (c'_p) = 106,2 kPa = 1,083 kg/cm²
angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = $17,5^\circ$
coesione efficace residua (c'_r) = 39,49 kPa = 0,403 kg/cm²
resistenza al taglio non drenata (c_u) = 125 kPa = 1,275 kg/cm²
modulo elastico (E_s) = 25'000 kPa = 820,145 kg/cm²
modulo di young (μ) = 0,31
 V_s = 228 m/s

- **Unità 4, da 10,3 a 20,0 m da p.c.:** limo con argilla di colorazione grigio-verde talora tendente alla colorazione grigio-azzurra, da molto consistente ad estremamente consistente (duro - sovraconsolidato); la carota a profondità > 15 m si presenta talora sfibrata. A quote superiori si riscontrano generalmente stratificazioni riconducibili a strutture deposizionali (varvature, alternanza livelli più fini limoso argillosi con livelli debolmente sabbiosi). Sono presenti talora rari orizzonti decimetrici di sabbia grossolana asciutti.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

N_{spt} medio = 52
peso di volume (γ) = 22,5 kN/m³ = 0,00229 kg/cm³
angolo d'attrito interno efficace di picco (ϕ'_p) = 26°
coesione efficace di picco (c'_p) = 280 kPa = 2,855 kg/cm²
angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = $17,5^\circ$
coesione efficace residua (c'_r) = 40 kPa = 0,408 kg/cm²
resistenza al taglio non drenata (c_u) = 621 kPa = 6,332 kg/cm²
modulo elastico (E_s) = 248,4 MPa = 2'532,93 kg/cm²
modulo di young (μ) = 0,29
 V_s = 312 m/s

MODELLO GEOTECNICO SITO N. 3 AL KM 1+100 - SEZIONE 1-1' E SEZIONE 5-5'

- **Unità 1, da 0,00 a 1,50 m da p.c.:** terreni di riporto. Si tratta di materiali di origine antropica costituiti da brecce, di natura calcarea, da centimetriche a decimetriche, immerse in

una matrice limosa debolmente sabbiosa, da addensate a molto addensate, a costituire generalmente la massicciata stradale sia sotto la pavimentazione che sulla banchina laterale. Talora si alternano nei primi centimetri con riporti di misto granulare per conglomerato bituminoso.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$$N_{spt} \text{ medio} = 65$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 19,8 \text{ kN/m}^3 = 0,00202 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace di picco } (\phi'_p) = 29^\circ$$

$$\text{coesione efficace di picco } (c'_p) = 18 \text{ kPa} = 0,183 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace residuo } (\phi'_r) = 16^\circ$$

$$\text{coesione efficace residua } (c'_r) = 8 \text{ kPa} = 0,081 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } (c_u) = 63 \text{ kPa} = 0,642 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } (E_s) = 25'600 \text{ kPa} = 261,04 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo di young } (\mu) = 0,3$$

$$V_s = 240 \text{ m/s}$$

- **Unità 2a, da 1,50 a 2,00 m da p.c.:** limo sabbioso-argilloso di colorazione bruna, talora con abbondanti concrezioni carbonatiche biancastre millimetriche, talora con rari clasti di breccia da centimetrici a decimetrici di natura calcarea color nocciola.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$$N_{spt} \text{ medio} = 7$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 19,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00199 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace di picco } (\phi'_p) = 21^\circ$$

$$\text{coesione efficace di picco } (c'_p) = 106,2 \text{ kPa} = 1,083 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace residuo } (\phi'_r) = 7^\circ$$

$$\text{coesione efficace residua } (c'_r) = 63,3 \text{ kPa} = 0,645 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } (c_u) = 40 \text{ kPa} = 0,408 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } (E_s) = 12'000 \text{ kPa} = 122,36 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo di young } (\mu) = 0,31$$

$$V_s = 237 \text{ m/s}$$

- **Unità 2b, da 2,00 a 6,50 m da p.c.:** limo argilloso di colorazione bruna moderatamente consistente, talora localmente poco consistente, plastico al tatto. Presenti talora abbondanti maculature nerastre organiche millimetriche.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$$N_{spt} \text{ medio} = 9$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 19,9 \text{ kN/m}^3 = 0,00203 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace di picco } (\phi'_p) = 22,5^\circ$$

$$\text{coesione efficace di picco } (c'_p) = 60 \text{ kPa} = 0,612 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace residuo } (\phi'_r) = 9^\circ$$

$$\text{coesione efficace residua } (c'_r) = 48,83 \text{ kPa} = 0,498 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } (c_u) = 73,70 \text{ kPa} = 0,642 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } (E_s) = 7'370 \text{ kPa} = 75,152 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo di young } (\mu) = 0,31$$

$$V_s = 207 \text{ m/s}$$

- **Unità 3b, da 6,50 – 7,75 m da p.c.:** limo argilloso moderatamente consistente, talora poco consistente, plastico al tatto, di colorazione grigia.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$$N_{spt} \text{ medio} = 9$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 20,3 \text{ kN/m}^3 = 0,00207 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace residuo } (\phi'_r) = 17,5^\circ$$

$$\text{coesione efficace residua } (c'_r) = 39,49 \text{ kPa} = 0,403 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } (c_u) = 73,70 \text{ kPa} = 0,642 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } (E_s) = 14'470 \text{ kPa} = 147,55 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo di young } (\mu) = 0,31$$

$$V_s = 218 \text{ m/s}$$

- **Unità 3a, da 7,75 a 9,50 m da p.c.:** limo con argilla consistente, talora molto consistente, di colorazione grigia; si riconoscono talora stratificazioni riconducibili a strutture deposizionali (varvature, alternanza livelli più fini limoso argillosi con livelli debolmente sabbiosi).

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

N_{spt} medio = 42

peso di volume (γ) = 21,8 kN/m³ = 0,00222 kg/cm³

angolo d'attrito interno efficace di picco (ϕ'_p) = 26°

coesione efficace di picco (c'_p) = 250,05 kPa = 2,55 kg/cm²

angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = 17,5°

coesione efficace residua (c'_r) = 39,49 kPa = 0,403 kg/cm²

resistenza al taglio non drenata (c_u) = 272,3 kPa = 2,78 kg/cm²

modulo elastico (E_s) = 81'690 kPa = 832,99 kg/cm²

modulo di young (μ) = 0,3

V_s = 221 m/s

- **Unità 4, da 9,50 a 20,0 m da p.c.:** limo con argilla di colorazione grigio-verde talora tendente alla colorazione grigio-azzurra, da molto consistente ad estremamente consistente (duro - sovraconsolidato); la carota a profondità > 15 m si presenta talora sfibrata. A quote superiori si riscontrano generalmente stratificazioni riconducibili a strutture deposizionali (varvature, alternanza livelli più fini limoso argillosi con livelli debolmente sabbiosi). Sono presenti talora rari orizzonti decimetrici di sabbia grossolana asciutti.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

N_{spt} medio = 52

peso di volume (γ) = 22,3 kN/m³ = 0,00224 kg/cm³

angolo d'attrito interno efficace di picco (ϕ'_p) = 26°

coesione efficace di picco (c'_p) = 280 kPa = 2,855 kg/cm²

angolo d'attrito interno efficace residuo (ϕ'_r) = 17,5°

coesione efficace residua (c'_r) = 40 kPa = 0,408 kg/cm²

resistenza al taglio non drenata (c_u) = 457,2 kPa = 6,332 kg/cm²

modulo elastico (E_s) = 182,88 MPa = 1'864,83 kg/cm²

modulo di young (μ) = 0,29

V_s = 312 m/s

Il modello sopra descritto è il risultato dell'interpolazione dei diversi dati pregressi e attuali raccolti nello studio del sito di interesse. In particolare:

- i valori di N_{spt} sono stati ricavati da correlazioni e da valutazioni personali, rispetto alla c_u riportata nei certificati di laboratorio per le unità litologiche interessate da campionamento; laddove risultava mancare il parametro della coesione non drenata, il valore di N_{spt} è stato assegnato sulla base di esperienze personali, nonché rapportando (sulla base della differenza di consistenza) tra le unità a cui era già stato assegnato il valore della c_u (sulla base delle prove di laboratorio) e quelle mancanti di risultanze sulla c_u o tenendo conto direttamente, sulla scorta della classificazione AGI, rispetto allo stato di consistenza rilevato anche per mezzo delle misurazioni di cantiere con penetrometro tascabile;
- i valori del peso di volume γ , dell'angolo d'attrito ϕ' e della coesione c' sono stati assegnati innanzitutto sulla base delle risultanze delle prove di laboratorio e laddove mancanti, sulla scorta dei valori di N_{spt} assegnati o comunque rapportando sulla base della differenza di consistenza rispetto agli orizzonti già dotati di parametri da prove di laboratorio (correlazioni da bibliografia, Bowles). Sono stati inoltre tenuti in considerazione le risultanze dei Limiti di Atterberg per l'assegnazione dei valori residui laddove risultavano mancanti da prove dirette di laboratorio e si è tenuto conto anche di personali esperienze pregresse su materiali simili a quelli incontrati in loco;
- la coesione non drenata (c_u) è stata discriminata innanzitutto considerando i valori ottenuti dalle prove di laboratorio su ciascuna unità litologica interessata da campionamento, nonché applicando la correlazione di Terzaghi e Peck legata ai valori di N_{spt} , nonché tenendo conto di personali esperienze pregresse su materiali simili a quelli incontrati in loco;
- i valori del modulo di elasticità E_s sono stati calcolati applicando correlazioni di Bowles, basate sui valori di N_{spt} assegnati ai vari orizzonti litologici, per materiali granulari nei primi metri (prevalentemente riporto) e coesivi rispetto alla c_u assegnata nella parte restante delle verticali del modello geotecnico ricostruite.

Per il modello afferente al sito n. 3 al km circa 1+000, è stata modellato un orizzonte come media delle unità 3° e 3b, in quanto non è conosciuto con precisione l'alternarsi delle due unità nell'intervallo caratterizzato. Si è scelto perciò cautelativamente, nonostante si conoscessero alcuni parametri relativi al campione CI2 con elevato valore della c_u , di mediare i parametri con quelli dell'unità 3b ipotizzata a tali quote per la sussistenza di una potenziale superficie di scivolamento attorno ai 10 m circa.

Nelle tabelle seguenti si riassumono i parametri geotecnici del modello di sottosuolo puntuale definito per i diversi siti di studio.

Si fa presente che nella redazione del report relativo alle risultanze dei parametri fisico-meccanici di seguito esposto nella relativa tabella, sono state apportate lievi modifiche ai valori delle diverse frazioni riportate nel certificato delle analisi granulometriche, affinché la somma totale delle diverse frazione risultasse pari a 100, ciò in quanto talora nei certificati risultava apparire la mancanza di un decimale.

Si sottolinea, inoltre, che da un rapido escursus delle risultanze dei limiti di Atterberg si nota che i materiali afferenti ai campioni indisturbati CI3 del sondaggio S2 e CI3 del sondaggio S4 presentano valori del contenuto d'acqua superiori al valore del Limite Plastico determinato per tali campioni di terreno. Perciò, pur trattandosi di materiali generalmente caratterizzati da elevata consistenza già alla profondità a cui sono stati campionati (circa > 13 m da p.c.) potrebbe essere plausibile aspettarsi deformazioni del sottosuolo (deformazione progressiva del versante con formazione di superfici di scorrimento) anche a tali profondità.

| Modello geotecnico Frana km 0+700 - sito n.1 (SEZ 1-1' e SEZ 2-2') | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|------|--------------|--------------|-----------|-----------|----------|-------------------------------|----------|-------|----------|--------------------------------------|
| Unità | Profondità (m) | Nspt | $\phi'p$ (°) | $\phi'r$ (°) | c'p (kPa) | c'r (kPa) | cu (kPa) | γ (kN/m ³) | Es (kPa) | μ | Vs (m/s) | Stato addensamento |
| 1 | 0,0 - 2,4 | 65 | 29 | 16 | 18.00 | 8.00 | 63.00 | 19.8 | 25'600 | 0.300 | 270 | molto addensato |
| 2b | 2,4 - 3,3 | 5 | 21 | 7 | 106.20 | 39.49 | 49.00 | 19.5 | 14'700 | 0.310 | 259 | poco/mod. consistente |
| 2c | 3,3 - 4,5 | 22 | 25 | 17 | 106.20 | 37.00 | 150.00 | 21.0 | 45'000 | 0.300 | 261 | consistente/ molto consistente |
| 2d | 4,5 - 5,2 | 5 | - | 17 | - | 39.49 | 49.00 | 20.3 | 14'700 | 0.310 | 271 | poco/mod. consistente |
| 2c | 5,2 - 6,0 | 22 | 25 | 17 | 106.20 | 37.00 | 150.00 | 21.0 | 45'000 | 0.300 | 280 | consistente/ molto consistente |
| 3a | 6,0 - 9,6 | 42 | 26 | 17.5 | 250.05 | 39.49 | 268.10 | 21.5 | 80'430 | 0.295 | 293 | consistente/molto consistente |
| 3b | 9,6 - 10,0 | 7 | - | 17.5 | - | 39.49 | 73.70 | 20.3 | 22'110 | 0.310 | 285 | poco/mod. consistente |
| 3a | 10,0 - 12,0 | 42 | 26 | 17.5 | 250.05 | 39.49 | 268.10 | 21.5 | 80'430 | 0.295 | 314 | consistente/ molto consistente |
| 4 | 12,0 - 20,0 | 52 | 26 | 17.5 | 280.00 | 40.00 | 612.20 | 22.0 | 244'880 | 0.290 | 423 | molto consi./ estremamente consi. |

| Modello geotecnico Frana km 0+800 - sito n.2 (SEZ 1-1' e SEZ 3-3') | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|------|--------------|--------------|-----------|-----------|----------|-------------------------------|----------|-------|----------|-----------------------------------|
| Unità | Profondità (m) | Nspt | $\phi'p$ (°) | $\phi'r$ (°) | c'p (kPa) | c'r (kPa) | cu (kPa) | γ (kN/m ³) | Es (kPa) | μ | Vs (m/s) | Stato addensamento |
| 1 | 0,00 - 1,20 | 65 | 29 | 16 | 18.00 | 8.00 | 63.00 | 19.8 | 25'600 | 0.300 | 270 | molto addensato |
| 2c | 1,20 - 3,70 | 22 | 21 | 7 | 106.20 | 63.30 | 150.00 | 19.5 | 45'000 | 0.310 | 268 | consistente/ molto consistente |
| 2b | 3,70 - 4,30 | 5 | - | 7 | - | 39.49 | 49.00 | 19.5 | 14'700 | 0.310 | 254 | poco/mod. consistente |

| | | | | | | | | | | | | |
|----|---------------|----|----|------|--------|-------|--------|------|---------|-------|-----|--------------------------------------|
| 3a | 4,30 - 5,40 | 42 | 26 | 17.5 | 250.05 | 39.49 | 248.40 | 21.5 | 74'520 | 0.295 | 276 | consistente/ molto consistente |
| 3b | 5,40 - 6,50 | 7 | - | 17.5 | - | 39.49 | 73.70 | 20.3 | 22'110 | 0.310 | 282 | poco/mod. consistente |
| 3a | 6,50 - 9,60 | 42 | 26 | 17.5 | 250.05 | 39.49 | 248.40 | 21.5 | 74'520 | 0.295 | 300 | Consistente/ molto consistente |
| 3b | 9,60 - 10,00 | 7 | - | 17.5 | - | 39.49 | 73.70 | 20.3 | 22'110 | 0.310 | 259 | poco/mod. consistente |
| 3a | 10,00 - 11,40 | 42 | 26 | 17.5 | 250.05 | 39.49 | 248.40 | 21.5 | 74'520 | 0.295 | 280 | consistente/ molto consistente |
| 4 | 11,40 - 20,00 | 52 | 26 | 17.5 | 280.00 | 40.00 | 612.20 | 22.0 | 244'880 | 0.290 | 346 | molto consi./ estremamente consi. |

| Modello geotecnico Frana km 1+000 - sito n.3 (SEZ 1-1' e SEZ 4-4') | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|------|--------------|--------------|-----------|-----------|----------|-------------------------------|----------|-------|----------|--------------------------------------|
| Unità | Profondità (m) | Nspt | $\phi'p$ (°) | $\phi'r$ (°) | c'p (kPa) | c'r (kPa) | cu (kPa) | γ (kN/m ³) | Es (kPa) | μ | Vs (m/s) | Stato addensamento |
| 1 | 0,00 - 1,00 | 65 | 29 | 16 | 18.00 | 8.00 | 63.00 | 19.8 | 25'600 | 0.300 | 240 | molto addensato |
| 2a | 1,00 - 1,70 | 7 | 21 | 7 | 106.20 | 63.30 | 40.00 | 19.5 | 12'000 | 0.310 | 237 | poco addensato |
| 2b | 1,70 - 5,50 | 5 | 12.5 | 9 | 77.3 | 27.17 | 49.00 | 20.6 | 9'800 | 0.310 | 207 | poco/mod. consistente |
| 3a/3b | 5,50 - 10,30 | 18 | 26 | 17.5 | 106.20 | 39.49 | 125.00 | 22.0 | 25'000 | 0.310 | 228 | poco/mod. consistente |
| 4 | 10,30 - 20,00 | 52 | 26 | 17.5 | 280.00 | 40.00 | 621.00 | 22.5 | 248'400 | 0.290 | 312 | molto consi./ estremamente consi. |

| Modello geotecnico Frana km 1+100 - sito n.3 (SEZ 1-1' e SEZ 5-5') | | | | | | | | | | | | |
|---|----------------|------|--------------|--------------|-----------|-----------|----------|-------------------------------|----------|-------|----------|--------------------------------------|
| Unità | Profondità (m) | Nspt | $\phi'p$ (°) | $\phi'r$ (°) | c'p (kPa) | c'r (kPa) | cu (kPa) | γ (kN/m ³) | Es (kPa) | μ | Vs (m/s) | Stato addensamento |
| 1 | 0,00 - 1,50 | 65 | 29 | 16 | 18.00 | 8.00 | 63.00 | 19.8 | 25'600 | 0.300 | 240 | poco addensato |
| 2a | 1,50 - 2,00 | 7 | 21 | 7 | 106.20 | 63.30 | 40.00 | 19.5 | 12'000 | 0.310 | 237 | moderatamente addensato |
| 2b | 2,00 - 6,50 | 9 | 22.5 | 9 | 60 | 48.83 | 73.70 | 19.9 | 7'370 | 0.310 | 207 | poco/mod. consistente |
| 3b | 6,50 - 7,75 | 9 | - | 17.5 | - | 39.49 | 73.70 | 20.3 | 14'740 | 0.310 | 218 | poco/mod. consistente |
| 3a | 7,75 - 9,50 | 42 | 26 | 17.5 | 250.05 | 39.49 | 272.30 | 21.8 | 81'690 | 0.300 | 221 | consistente/ molto consistente |
| 4 | 9,50 - 20,00 | 52 | 26 | 17.5 | 280.00 | 40.00 | 457.20 | 22.3 | 182'880 | 0.290 | 312 | molto consi./ estremamente consi. |

Il sistema di frane ipotizzato coinvolge una massa di terreno compresa mediamente entro i primi 12-13 m da p.c.. Al di sotto di tale profondità mediamente si trovano materiali con caratteristiche geotecniche buone, non interessati da locali riduzioni di consistenza per presunta esistenza di superfici di scorrimento, ma bensì caratterizzati da elevata compattezza risultando già a circa 15 m estremamente consistenti o duri. Tuttavia sussiste l'evidenza dello stato di idratazione dei materiali campionati all'interno dei sondaggi S2 e S4 rispettivamente a -15 m e a -13 m da p.c., per il quale, come evidenziato dalle risultanze dei Limiti di Atterberg i materiali si troverebbero in uno stato di consistenza di plasticità (contenuto d'acqua

superiore al limite plastico). Tale aspetto dovrà essere verificato e ne dovrà eventualmente essere tenuto conto in fase di progettazione ai fini della scelta del volume significativo delle opere di consolidamento e perciò della relativa tipologia e profondità delle stesse. Per gli altri campioni, pur essendo stati prelevati (teoricamente) all'interno del franco interessato da deformazione del versante, non si evidenzia condizioni di raggiungimento del Limite Plastico. Al più si osserva una vicinanza del contenuto d'acqua allo stesso limite plastico nel campione CI2 del sondaggio S4.

11.5 Condizioni della falda

Come già anticipato nel paragrafo relativo agli aspetti idrogeologici, dalle misure effettuate in data 20/08/2018 è stato possibile osservare le seguenti quote della superficie piezometrica all'interno dei piezometri installati nei due fori di sondaggio S2 e S3:

| Sondaggio con piezometro | Profondità sup.piezometrica (m da p.c.) |
|-------------------------------------|--|
| S2 | 1.84 |
| S3 | 19.32 |

Si ritiene che il valore misurato all'interno del foro S2 sia legato a probabile rimanenza di acqua di perforazione senza che sia avvenuta stabilizzazione del flusso idrogeologico nel sottosuolo. Il valore, invece, osservato su S3 potrebbe risultare plausibile vista la conformazione del versante (acclività $\geq 15^\circ$). Si nota, inoltre, che i due valori registrati non presentano evidenti corrispondenze con le quote a cui sono state assegnate ipoteticamente (all'interno del modello geotecnico di sottosuolo, vedi Tav. C) le superfici di frana di cui in particolare quella che recentemente è portata alla rottura del rilevato in prossimità del km 17+000 (vicino sondaggio S3). Sul modello comunque è stata tracciata una superficie presunta piuttosto veritiera a circa 19,3 m da p.c. sulla verticale di sondaggio S3, e una doppia superficie piezometrica lungo le verticali di sondaggio S1 e S2, ritenendo che la falda osservata a circa 1,8 m da p.c. risulti dubbia, mentre quella ricostruita nelle vicinanze a circa 19,3 m possa risultare veritiera.

3. Aspetti sismici di progetto

3.1 Determinazione della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche

Sulla scorta delle conoscenze geologico-stratigrafiche acquisite per i diversi siti di studio lungo la SP 27 di Montecastelli, nonché sulla base delle risultanze delle indagini geognostiche e sismiche realizzate per il presente studio, si ritiene che la categoria di sottosuolo alla quale può essere fatto riferimento su tutta la tratta oggetto di messa in sicurezza in fase di progettazione è la **C**.

Ai sensi delle NTC 2018 sono compresi all'interno della categoria **C** *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”*.

Per quanto concerne le condizioni topografiche di sito, dallo studio morfologico dell'area di interesse si evince che la superficie topografica nella parte alta del versante, presenta inclinazioni $\leq 15^\circ$. Infatti l'analisi delle sezioni trasversali considerate ai fini della modellazione geotecnica evidenzia che sia il sito n. 1, che il n. 3 in entrambe le proiezioni analizzate al km 1+000 e 1+100 presentano inclinazioni mediamente attorno a $13-14^\circ$. Soltanto il profilo del versante afferente al sito n. 2 presenta una inclinazione di 18° .

Tenendo conto però che al piede del versante le inclinazioni aumentano significativamente per effetto della presenza di un torrente e di una scarpata di erosione acclive, su tutta la tratta di intervento della SP 27 si ritiene di dover considerare quale categoria topografica rappresentativa la **T2** alla quale ai sensi delle NTC 2018 è associabile un coefficiente di amplificazione dell'azione sismica pari a 1,2. Ai sensi del D.M. 17/01/2018 nel caso di categoria T2 ci si trova appunto su pendii con inclinazione $i > 15^\circ$.

3.2 Azione sismica di progetto

L'azione sismica di progetto si determina a partire dal valore di $\mathbf{a_g/g}$ individuata per l'area di studio.

Ai sensi del D.M. 17 gennaio 2018, le verifiche in presenza di azione sismica devono essere eseguite utilizzando parametri sismici ($\mathbf{a_g/g}$, $\mathbf{F_0}$, $\mathbf{T_c^*}$) definiti per diversi valori di P_{vr} e T_r che variano a seconda dello stato limite considerato (SLV, SLC, SLO, SLD).

Tali parametri, inoltre sono riferiti ad un periodo di riferimento dell'azione sismica V_r che ai sensi delle NTC 2008 si determina secondo l'espressione $\mathbf{V_r = V_n * C_u}$, dove V_n è la vita

nominale dell'opera e C_u è il coefficiente d'uso determinato sulla base della classe d'uso a cui appartiene l'opera d'interesse.

Nel caso del presente studio si consiglia di considerare $V_n \geq 50$ anni, $C_u = 1,5$ (corrispondente ad una **classe d'uso = III**) e $V_r = 75$ anni.

Al fine di ottenere l'azione sismica di progetto, si determinano coefficienti sismici che, applicati all'azione sismica di base definita per ciascun stato limite, permettono di amplificare la stessa azione rispetto alle condizioni stratigrafiche (categoria di sottosuolo – V_{s30}) e rispetto alle condizioni topografiche del sito di studio (categoria topografica). In questo caso si è fatto riferimento alla categoria di suolo **C**, nonché alla categoria topografica **T2**.

I coefficienti di amplificazione che rappresentano rispettivamente le condizioni di sottosuolo e topografiche sono S_s (coefficiente di amplificazione sismica) e S_t (coefficiente di amplificazione topografica). I due parametri possono variare entro i valori mostrati in fig. 16 e 17.

| Categoria sottosuolo | S_s |
|-------------------------|---|
| A | 1,00 |
| B | $1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$ |
| C | $1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$ |
| D | $0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$ |
| E | $1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$ |

Fig. 16: Tabella rappresentativa dei valori assunti dal fattore S_s a seconda della categoria di sottosuolo considerata.

L'accelerazione sismica di progetto (a_g/g_{max}) si ottiene secondo la seguente relazione:

$$a_g/g_{max} = a_g/g * S_s * S_t$$

| Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento | S_T |
|-----------------------|--|-------|
| 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 |

Fig. 17: Tabella rappresentativa dei valori di riferimento dal fattore S_T per ciascuna categoria di sottosuolo.

I parametri e i coefficienti sismici sito-specifici, nonché gli spettri elastici relativi ai diversi stati limite sono mostrati nell'allegato 1.

Di seguito è mostrata la tabella dei parametri principali sito-specifici dell'area di intervento.

| Valori dei parametri a_g , F_o , T_C^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL | | | | |
|---|-----------------|--------------|--------------|----------------|
| SLATO LIMITE | T_R [anni] | a_g [g] | F_o [-] | T_C^* [s] |
| SLO | 30 | 0.045 | 2.472 | 0.227 |
| SLD | 50 | 0.058 | 2.501 | 0.244 |
| SLV | 475 | 0.140 | 2.481 | 0.273 |
| SLC | 975 | 0.175 | 2.515 | 0.280 |

3.3 Verifica del potenziale di liquefazione

Ai sensi delle NTC la verifica a liquefazione può essere esclusa se è esistente 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 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione 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 nei grafici rappresentativi del caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

Dalla'analisi delle condizioni di sito si evince che:

- il sito è potenzialmente soggetto a rischio di manifestazione di terremoti con Magnitudo ≥ 5
- è presente potenzialmente una falda entro 15 m da p.c.,
- la massima accelerazione spettrale attesa al piano campagna è pari a 0.140 g,

Perciò nonostante le condizioni litologiche e idrogeologiche (probabile presenza della reale falda a quote > 15 m da p.c.) facciano supporre l'assenza di rischio per liquefazione, è stata eseguita la verifica del potenziale di liquefazione del sottosuolo. La verifica attuale è stata condotta applicando il metodo semplificato basato sulla seguente relazione:

$$F_s = (CRR_{7,5}/CSR) * MSF * k_\sigma$$

dove:

F_s = fattore di sicurezza nei confronti della liquefazione

$CRR_{7,5}$ = tensione di taglio normalizzata che esprime la resistenza del terreno alla liquefazione riferita ad un sisma di magnitudo 7,5

CSR = sforzo di taglio ciclico normalizzato, riferito all'azione sismica di progetto a_g/g_{max}

MSF = coefficiente correttivo di CRR per terremoti attesi con magnitudo diverso da 7,5

k_σ = coefficiente correttivo funzione della pressione di confinamento

Il metodo applicato è citato all'interno delle linee guida nazionali sulla Microzonazione Sismica. Inoltre, ai sensi delle NTC 2008, per la verifica del potenziale di liquefazione del sottosuolo, possono essere utilizzati metodi semplificati. Tale metodo, inoltre è uno tra i più rigorosi previsti tra quelli trattati in letteratura.

Nel calcolo dello sforzo di taglio ciclico applicato dal sisma al terreno, si considera l'accelerazione di picco determinata per suolo rigido (massima accelerazione spettrale ottenuta per gli SLV). Si ricorda che il tetto medio della falda si trova a circa 8 m da p.c..

In fig. 18 è riportato un estratto della mappa delle zone sismogenetiche dell'INGV. Si nota che il territorio comunale di Pomarance è compreso interamente all'interno della zona 921 (colore azzurro).

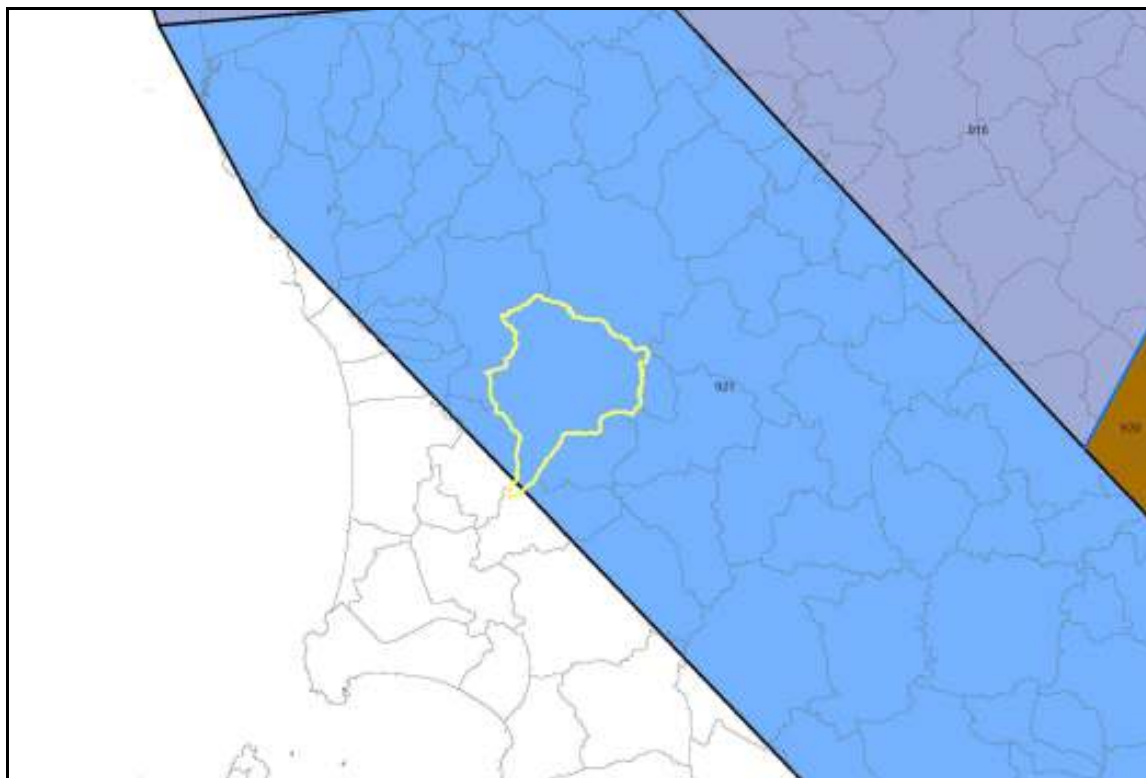


Fig. 18: mappa delle zone sismogenetiche prodotta dall'INGV con ubicazione del territorio comunale di Pomarance (limite giallo). Si nota che il comune è interamente contenuto all'interno della zona 921.

Come suggerito dagli Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, per la zona sismogenetica 921 si può considerare una Magnitudo massima attesa di terremoto pari a 6,14. Il potenziale di liquefazione, perciò in prima istanza, è stato calcolato determinando la componente di azione ciclica riferita a tale valore di magnitudo. Si riportano nelle seguenti tabelle le risultanze della verifica eseguita per i tre siti di intervento rispetto ad una Magnitudo attesa pari a 6,14.

| Verifica a liquefazione sito n.1 | | | | | | |
|----------------------------------|-------|--------------------|------|----------------|------|----------------|
| Orizzonte | Z (m) | CRR _{7,5} | CSR | K _σ | MSF | F _s |
| 1 | 1.2 | 0.45 | 0.32 | 1.00 | 1.67 | 2.37 |
| 2 | 3.7 | 0.34 | 0.32 | 1.00 | 1.67 | 1.82 |
| 3 | 4.3 | 0.28 | 0.31 | 1.00 | 1.67 | 1.50 |
| 4 | 5.4 | 0.34 | 0.30 | 1.00 | 1.67 | 1.88 |
| 5 | 6.5 | 0.28 | 0.30 | 1.00 | 1.67 | 1.53 |
| 6 | 9.6 | 0.19 | 0.29 | 1.00 | 1.67 | 1.12 |
| 7 | 10 | 0.27 | 0.28 | 1.00 | 1.67 | 1.62 |
| 8 | 11.4 | 0.19 | 0.26 | 1.00 | 1.67 | 1.23 |
| 9 | 20 | 0.33 | 0.19 | 1.00 | 1.67 | 2.88 |

| Verifica a liquefazione sito n.2 | | | | | | |
|----------------------------------|-------|--------------------|------|----------------|------|----------------|
| Orizzonte | Z (m) | CRR _{7,5} | CSR | K _σ | MSF | F _s |
| 1 | 1.2 | 0.45 | 0.32 | 1.00 | 1.67 | 2.35 |
| 2 | 3.7 | 0.28 | 0.32 | 1.00 | 1.67 | 1.46 |
| 3 | 4.3 | 0.34 | 0.31 | 1.00 | 1.67 | 1.82 |
| 4 | 5.4 | 0.19 | 0.31 | 1.00 | 1.67 | 1.05 |
| 5 | 6.5 | 0.27 | 0.30 | 1.00 | 1.67 | 1.50 |
| 6 | 9.6 | 0.19 | 0.29 | 1.00 | 1.67 | 1.11 |
| 7 | 10 | 0.27 | 0.28 | 1.00 | 1.67 | 1.61 |
| 8 | 11.4 | 0.19 | 0.27 | 1.00 | 1.67 | 1.19 |
| 9 | 20 | 0.33 | 0.19 | 1.00 | 1.67 | 2.87 |

| Verifica a liquefazione sito n.3 | | | | | | |
|----------------------------------|-------|--------------------|------|----------------|------|----------------|
| Orizzonte | Z (m) | CRR _{7,5} | CSR | K _σ | MSF | F _s |
| 1 | 1.2 | 0.45 | 0.32 | 1.00 | 1.67 | 2.36 |
| 2 | 3.7 | 0.27 | 0.32 | 1.00 | 1.67 | 1.43 |
| 3 | 4.3 | 0.24 | 0.31 | 1.00 | 1.67 | 1.31 |
| 4 | 5.4 | 0.24 | 0.30 | 1.00 | 1.67 | 1.32 |
| 5 | 6.5 | 0.19 | 0.29 | 1.00 | 1.67 | 1.10 |
| 6 | 9.6 | 0.33 | 0.25 | 1.00 | 1.67 | 2.18 |

Si nota che i valori del coefficiente di sicurezza nei confronti della liquefazione è sempre > 1 e quasi sempre $> 1,25$ (quale valore consigliato dagli Eurocodici per la individuazione del rischio di liquefazione del sottosuolo di fondazione).

Di seguito si riporta il grafico di disaggregazione dei valori di a_g attesi per l'area di studio (vedi fig. 19). Si nota che il valore di magnitudo > 6 risulta associato ad una bassa percentuale di accadimento. Perciò le risultanze della verifica di liquefazione risultano cautelative ai fini della progettazione delle opere.

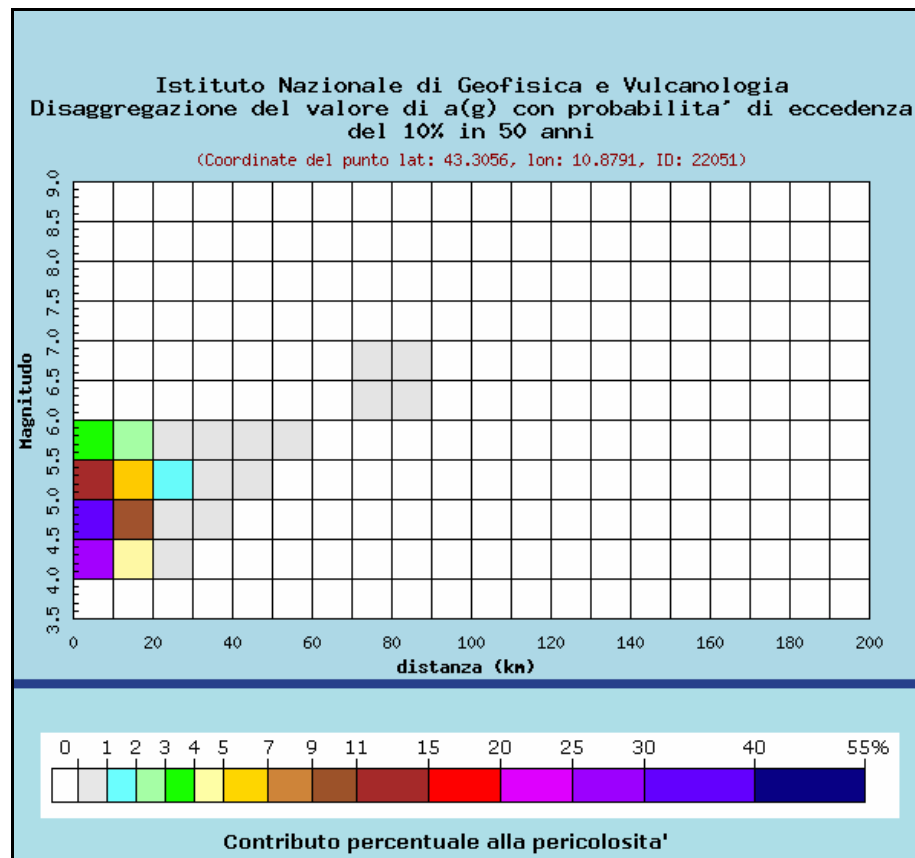


Fig. 19: grafico di disaggregazione di a_g prodotto dall'INGV per l'area di interesse nel territorio comunale di Pomarance.

Inoltre si sottolinea che il processo di liquefazione è causato da superamento delle tensioni di confinamento esistenti ad una data profondità per superamento delle pressioni neutre (a sua volta causato dall'azione ciclica del sisma) e perciò tanto maggiore è la profondità dei terreni saturi, tanto minore è la possibilità che si verifichi liquefazione in quanto il carico litostatico e la stessa tensione di confinamento aumentano progressivamente in profondità. In aggiunta

considerando i materiali presenti in loco si ritiene che sia molto bassa la probabilità che si verifichi liquefazione in concomitanza di un sisma.

Perciò, a fronte delle risultanze di verifica sopra esposte, nonché tenendo conto delle indicazioni di letteratura basate su osservazioni in campo, si ritiene che il terreno di fondazione non presenti significativo rischio di liquefazione.

Importante sarà comunque nel futuro assicurarsi la funzionalità delle opere di smaltimento delle acque di drenaggio superficiale nell'intorno della sede stradale, al fine di scongiurare il verificarsi di accumuli superficiali all'interno di falde sospese.

4. Conclusioni

Lo studio di modellazione geologica del sottosuolo ha evidenziato la presenza lungo il tracciato stradale di materiali di riporto per spessori compresi mediamente tra 1 e 2 m da p.c., sovrapposti a depositi marini limoso-argillosi riconducibili all'unità geologica delle argille e argille siltose grigio-azzurre (FAA). Mediamente, tra 5 e 10 m da p.c., tali depositi risultano localmente modificati nella consistenza per i processi di deformazione gravitativa di versante che hanno interessato sia il rilevato stradale che i materiali presenti alla base dello stesso. Perciò sussistono coltri di frana all'interno dei depositi marini individuate nel modello geologico appunto come frane (unità a1).

A supporto dell'analisi geologico-geotecnica sono state realizzati sondaggi geognostici con prelievo in foro di campioni indisturbati e profili sismici con sismica a rifrazione in onde P, a cui sono state associate prove MASW per la determinazione del parametro $V_{s,30}$. L'analisi geomorfologica coadiuvata dallo studio geologico di dettaglio del sottosuolo (analisi stratigrafica con indagini geognostiche) ha permesso di supporre l'esistenza di più superfici di scivolamento a diverse profondità. Inoltre su cartografia di dettaglio sono state discriminati corpi di frana più superficiali attualmente attivi sovrapposti a potenziali corpi quiescenti con sviluppo areale più ampio e che tenderebbero a coinvolgere anche i terreni presenti a monte della SP 27. Il sistema di frane ipotizzato coinvolge una massa di terreno compresa mediamente entro i primi 12-13 m da p.c.. Al di sotto di tale profondità mediamente si trovano materiali con caratteristiche geotecniche buone, non interessati da locali riduzioni di consistenza per presunta esistenza di superfici di scorrimento, ma bensì caratterizzati da elevata compattezza risultando già a circa 15 m estremamente consistenti o duri. Tuttavia sussiste l'evidenza dello stato di idratazione dei materiali

campionati all'interno dei sondaggi S2 e S4 rispettivamente a -15 m e a -13 m da p.c., per il quale, come evidenziato dalle risultanze dei Limiti di Atterberg i materiali si troverebbero in uno stato di consistenza di plasticità (contenuto d'acqua superiore al limite plastico). Tale aspetto dovrà essere verificato e ne dovrà eventualmente essere tenuto conto in fase di progettazione ai fini della scelta del volume significativo delle opere di consolidamento e perciò della relativa tipologia e profondità delle stesse. Per gli altri campioni, pur essendo stati prelevati (teoricamente) all'interno del franco interessato da deformazione del versante, non si evidenzia condizioni di raggiungimento del Limite Plastico. Al più si osserva una vicinanza del contenuto d'acqua allo stesso limite plastico nel campione CI2 del sondaggio S4.

L'analisi idrogeologica ha evidenziato che i materiali presenti in loco presentano grado di permeabilità variabile da medio a molto basso. Le misurazioni freatiche all'interno dei piezometri relativi ad S2 e S3 hanno messo in luce le seguenti condizioni: nel foro di monte (S2) l'acqua si trova quasi a piano campagna (circa - 2 m da p.c.); nel foro S3 la presunta falda esistente si trova a circa -19,3 m da p.c.. Come evidenziato nei paragrafi precedenti si ritiene che la misura di circa 19,3 m risulti veritiera e perciò rappresentativa delle eventuali condizioni di saturazione del versante. La misura su S2, invece, si ritiene non rappresentativa e perciò probabilmente condizionata dall'acqua di perforazione rimasta all'interno del sondaggio.

La caratterizzazione geotecnica è stata basata sostanzialmente su valutazioni oggettive della natura litologica delle unità presenti in loco, desunte dai sondaggi geognostici, nonché dalle prove di laboratorio realizzate a supporto del presente studio geotecnico..

La modellazione sismica del sottosuolo ha evidenziato in tutti i siti di misurazione che la categoria a cui riferirsi per la determinazione dell'azione sismica di progetto è la categoria C. A sensi delle NTC 2018 alla categoria C appartengono *“Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s”*.

Oltre alla caratterizzazione geotecnica, resa possibile non soltanto per la restituzione delle stratigrafie di sondaggio ma anche per le prove di laboratorio realizzate sui campioni indisturbati, è stata effettuata a scopo cautelativo, la verifica a liquefazione del sottosuolo. Le risultanze ottenute (per i tre siti di studio considerati nella tratta della SP 27 oggetto di messa in sicurezza) hanno evidenziato che comunque non sussistono valori del fattore di sicurezza inferiore all'unità e comunque tenendo conto dei materiali risulta difficile supporre che in

presenza di sismica si possa verificare liquefazione. Solo in superficie al contatto tra materiale
Dott. Geol. Francesco Agnelli – Via Pietro Nenni n. 65, Torrita di Siena (SI) - via Turati n. 7, Collesalveti (LI) 50

di riporto-coltre superficiale inconsistente e sottostanti depositi limoso-argillosi potrebbe essere ipotizzabile un eventuale maggiore suscettibilità alla liquefazione.

Sulla scorta delle risultanze sopra esposte si ritiene che la tratta oggetto di studio debba essere messa in sicurezza con opere tali da permettere contemporaneamente sia il miglioramento geotecnico del corpo rilevato, che di drenare in modo efficiente eventuali acque di ruscellamento o di falda, affinché in futuro non si abbia la formazione di nuovi movimenti progressivi lungo il versante. Inoltre, nel caso il progettista ritenga necessaria la realizzazione di fondazioni profonde (micropali/pali), si ritiene che questi debbano essere attestati ad una profondità > 15 m da p.c., presumibilmente a circa 20 m, al fine di oltrepassare almeno nel terzo sito (km 17+000) il livello apparentemente plasticizzato a circa 15-15,50 m da p.c..

Si fa presente che le sezioni del modello geologico e geotecnico con particolare rilevanza di quelle tracciate trasversalmente lungo le linee di massima pendenza del versante, sono state definite sulla scorta di profili estrapolati sulla base della CTR 1:10.000, in quanto risulta mancare nella presente fase un rilievo plano-altimetrico di dettaglio della tratta interessata da messa in sicurezza con le aree ad essa contigue. Si ritiene perciò che in fase di progettazione definitiva ed esecutiva delle opere sia necessario realizzare il suddetto rilievo sul quale produrre nuove sezioni del modello geologico e geotecnico ai fini della giusta esecuzione di calcoli di stabilità globale e del seguente deposito al genio civile di competenza. Si suggerisce inoltre di affiancare in fase di realizzazione delle opere il direttore dei lavori con un direttore operativo geologo al fine di verificare compiutamente il comportamento dei materiali in fase di eventuali scavi o perforazioni e verificare in corso d'opera la modellazione geologica e geotecnica ipotizzata negli elaborati geologici e geotecnici.

Infine si suggerisce, nel periodo di tempo che risulta compreso tra lo stato attuale e la fine della progettazione di eseguire un monitoraggio piezometrico al fine di avere un quadro il più possibile completo della variazione della quota di collocamento della superficie piezometrica nelle diverse fasi di morbida e di magra.

lì, 20 agosto 2018

Dott. Geol. Francesco Agnelli

ALLEGATI

COMMITTENTE

PROVINCIA DI PISA
SETTORE VIABILITA', TRASPORTI E PROTEZIONE CIVILE
Via Pietro Nenni, 30 - 56124 - Pisa

PROGETTO

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DELLA STRADA
PROVINCIALE 27, NEL TRATTO TRA IL KM 0+650 E IL KM
1+100, IN PROSSIMITA' DI FATTORIA BULERA, NEL
COMUNE DI POMARANCO (PI)

TITOLO ELABORATO

TAVOLA C - SEZIONI MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Scala

1:400

CONSULENTE INCARICATO

DOCT. GEOL. FRANCESCO AGNELLI
Via Pietro Nenni, loc. Chetolli n. 65 - 53049 Torrita di Siena (SI)
tel. 3478247486/057687734 - francesco.agnelli@alice.it - P.IVA 01199830520

DATA

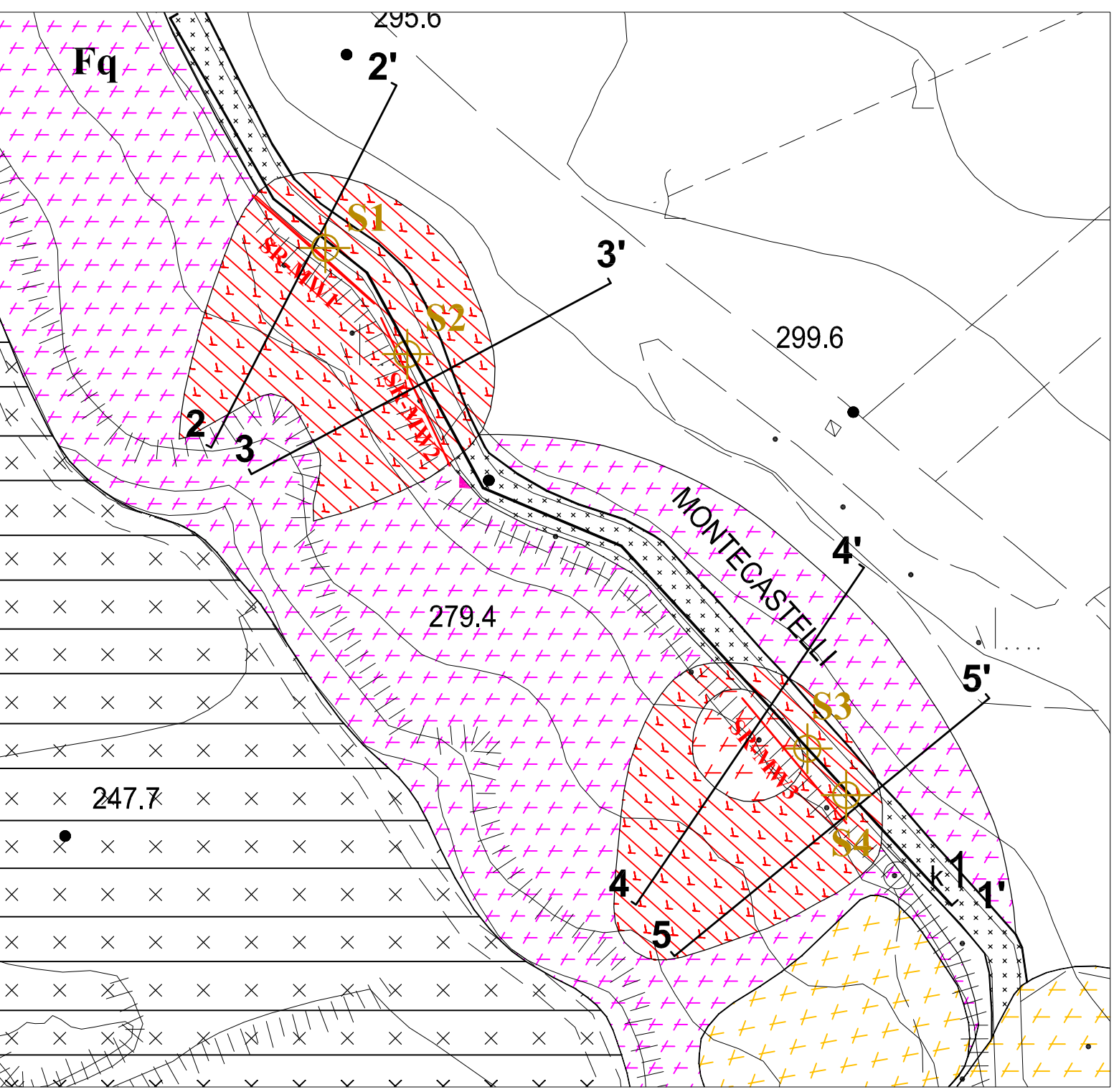
20 agosto 2018

PROFESSIONISTA

Dott. Geol. Francesco Agnelli

Ubicazione sezioni geotecniche e indagini geognostiche su coltri di frana

scala 1:2.000



LEGENDA SIMBOLI INDAGINI

Indagini geognostiche
S1 Sondaggio a carotaggio continuo (campagna 2018)

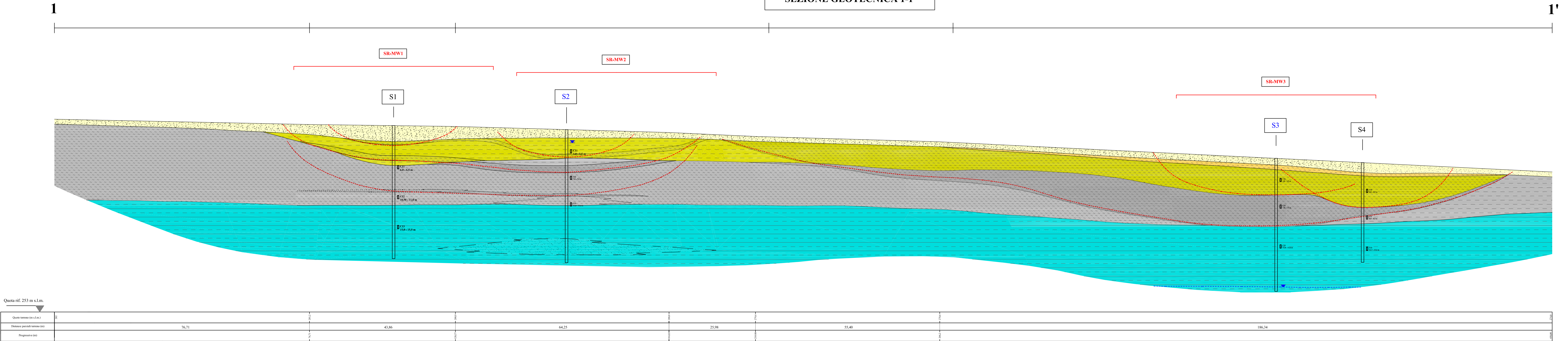
Indagini sismiche
SR-MW1 Traccia profilo sismico a rifrazione in onde P con prova MASW associata (L=60 m)

Altri simboli
Traccia sezione geotecnica

SIMBOLOGIA COLTRI

Fa Corpo di frana per scorrimento attivo
Fb Corpo di frana per scorrimento attivo lento
Fq Corpo di frana per scorrimento quiescente
Area interessata da deformazioni superficiali
Divergenza
Terreni di riparo massicciata stradale

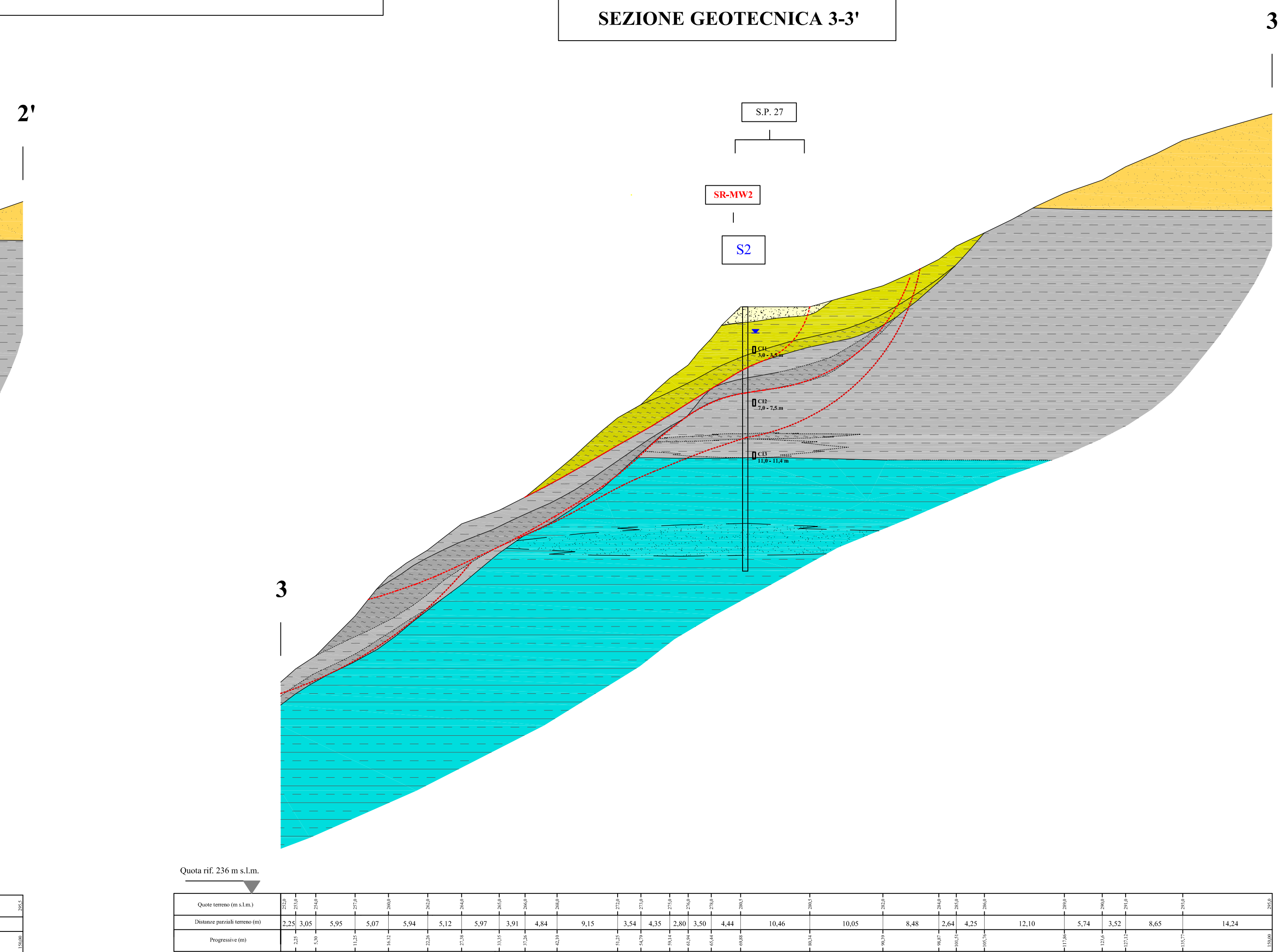
SEZIONE GEOTECNICA 1-1'



Quota (el. 233 m s.l.m.)

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|
| Quota (m s.l.m.) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | </ |
|------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|

SEZIONE GEOTECNICA 3-3'



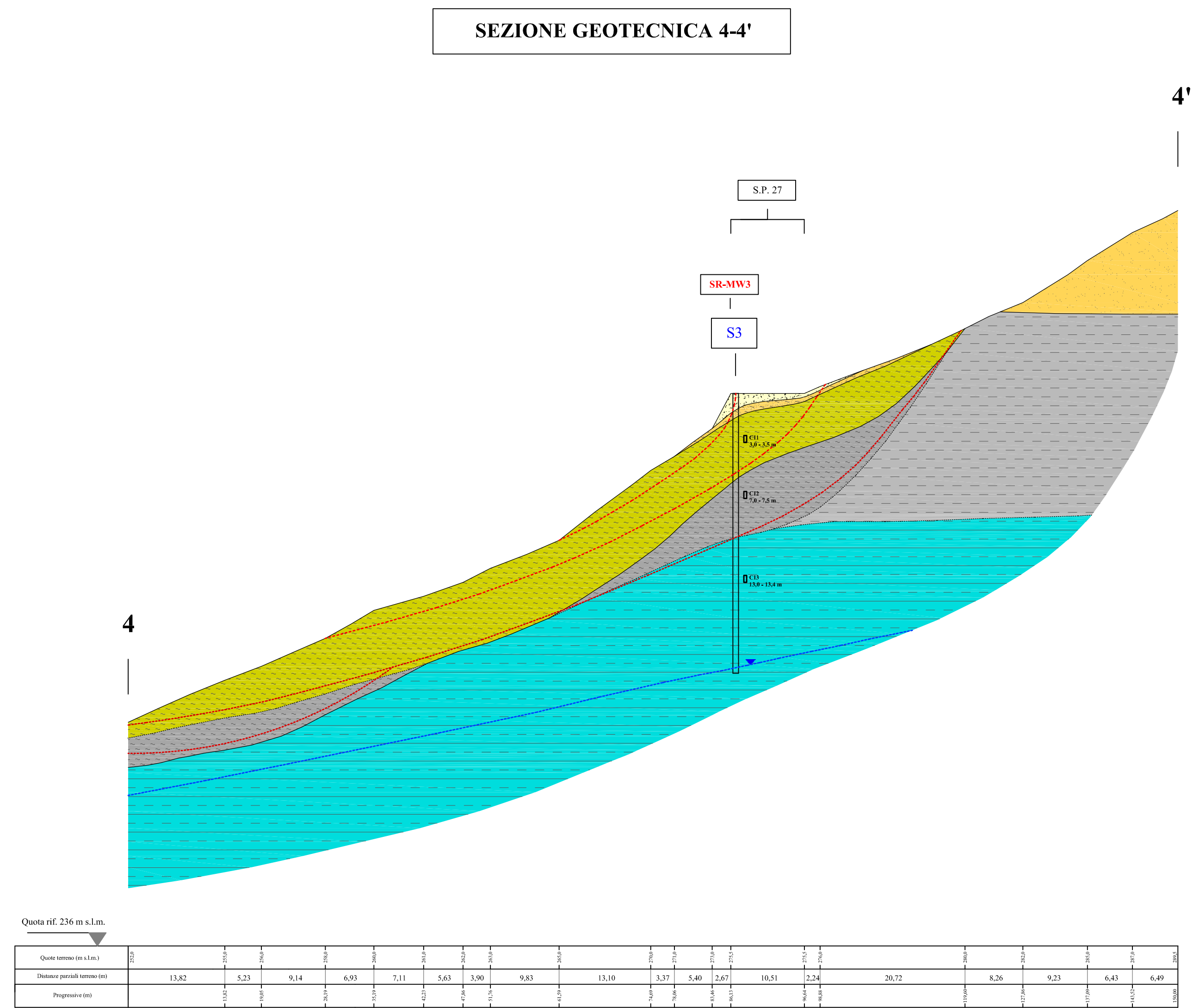
Quota (el. 233 m s.l.m.)

Diagram illustrating a geological cross-section profile, likely for a dam or embankment. The profile shows various layers and features:

- Top Layer (Yellow):** Labeled "MW2" and "S2".
- Intermediate Layer (Grey):** Labeled "S2".
- Bottom Layer (Blue):** Labeled "S2".
- Profile Line:** A dashed line representing the ground surface or a specific geological boundary.
- Internal Features:** Red dashed lines and labels "S2" and "S2" are visible within the grey layer.
- Scale:** A vertical scale on the left indicates distances in meters (m) and feet (ft).

| | 15.45 | 18.85 | 6.40 | 2.85 | 4.25 | 12.10 | 5.74 | 3.52 | 8.85 | 14.24 |
|----|-------|-------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|
| 14 | | | | | | | | | | |

SEZIONE GEOTECNICA 4-4'



Quota (el. 236 m s.l.m.)

| Quota (m s.l.m.) | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | 43 | 44 | 45 | 46 | 47 | 48 | 49 | 50 | 51 | 52 | 53 | 54 | 55 | 56 | 57 | 58 | 59 | 60 | 61 | 62 | 63 | 64 | 65 | 66 | 67 | 68 | 69 | 70 | 71 | 72 | 73 | 74 | 75 | 76 | 77 | 78 | 79 | 80 | 81 | 82 | 83 | 84 | 85 | 86 | 87 | 88 | 89 | 90 | 91 | 92 | 93 | 94 | 95 | 96 | 97 | 98 | 99 | 100 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|-------|-------|------|------|------|------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|----|
| Distanza parziale (m) | 13,82 | 5,23 | 9,14 | 6,99 | 7,11 | 5,69 | 3,90 | 9,83 | 13,10 | 3,57 | 5,40 | 2,67 | 10,31 | 12,54 | 20,72 | 8,26 | 9,23 | 6,40 | 6,49 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Progressivo (m) | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | </ |

COMMITTENTE

PROVINCIA DI PISA
SETTORE VIABILITA', TRASPORTI E PROTEZIONE CIVILE
Via Pietro Nenni, 30 - 56124 - Pisa

PROGETTO

LAVORI DI MESSA IN SICUREZZA DELLA STRADA
PROVINCIALE 27, NEL TRATTO TRA IL KM 0+650 E IL KM
1+100, IN PROSSIMITA' DI FATTORIA BULERA, NEL
COMUNE DI POMARANCE (PI)

TITOLO ELABORATO

TAVOLA D - MODELLO GEOTECNICO PUNTUALE DEL
SOTTOSUOLO NEI DIVERSI SITI DI STUDIO

Scala

1:200

CONSULENTE INCARICATO

DOTT. GEOL. FRANCESCO AGNELLI
Via Pietro Nenni, loc. Civetlato n. 65 - 53049 Torrita di Siena (SI)
tel. 3478247486/0577687734 - francesco.agnelli@alice.it - P.IVA 01199830520

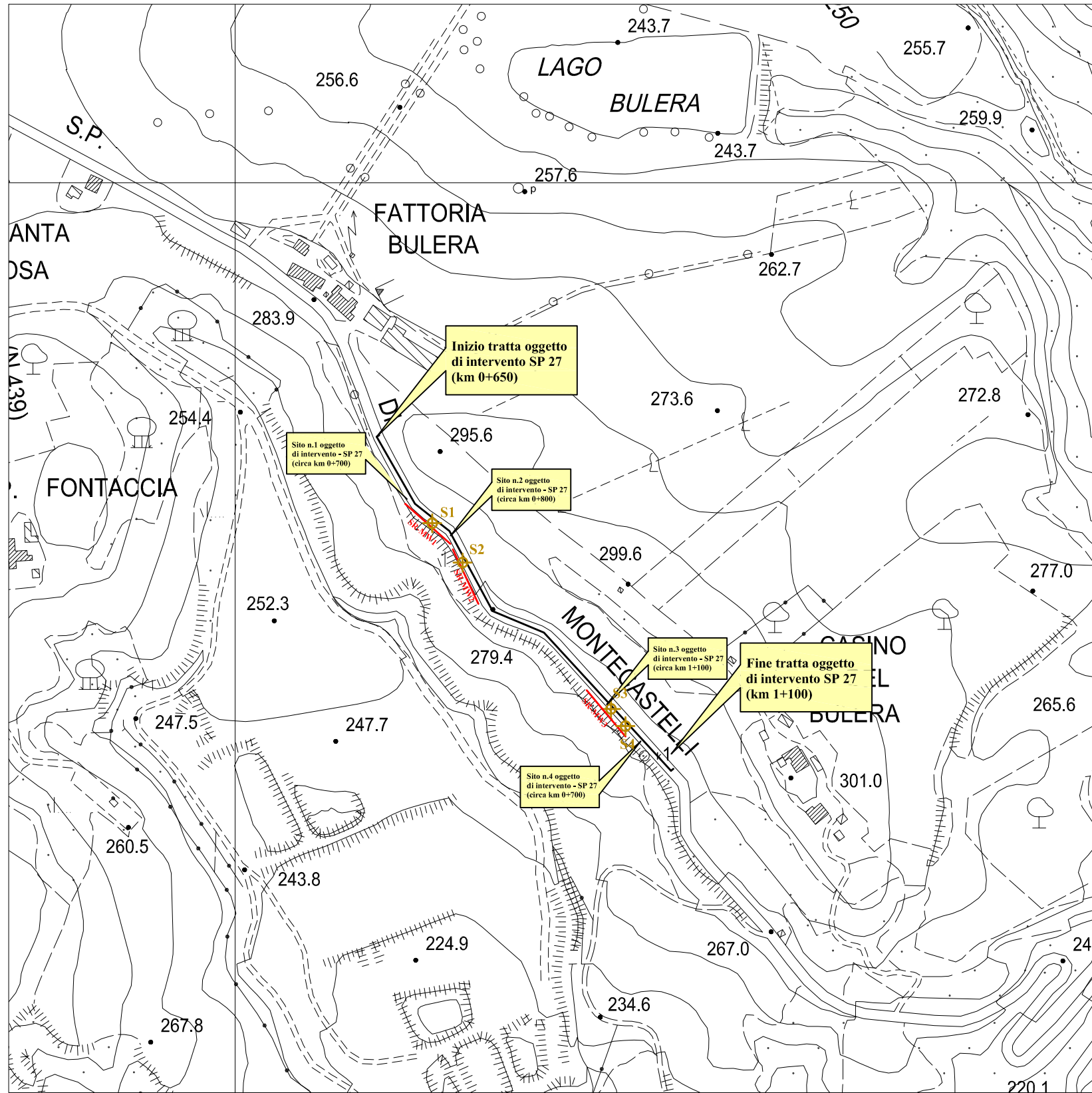
DATA

20 agosto 2018

PROFESSIONISTA

Dott. Geol. Francesco Agnelli

Ubicazione siti di studio su CTR - scala 1:5.000



LEGENDA

Indagini geognostiche



Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

Indagini sismiche

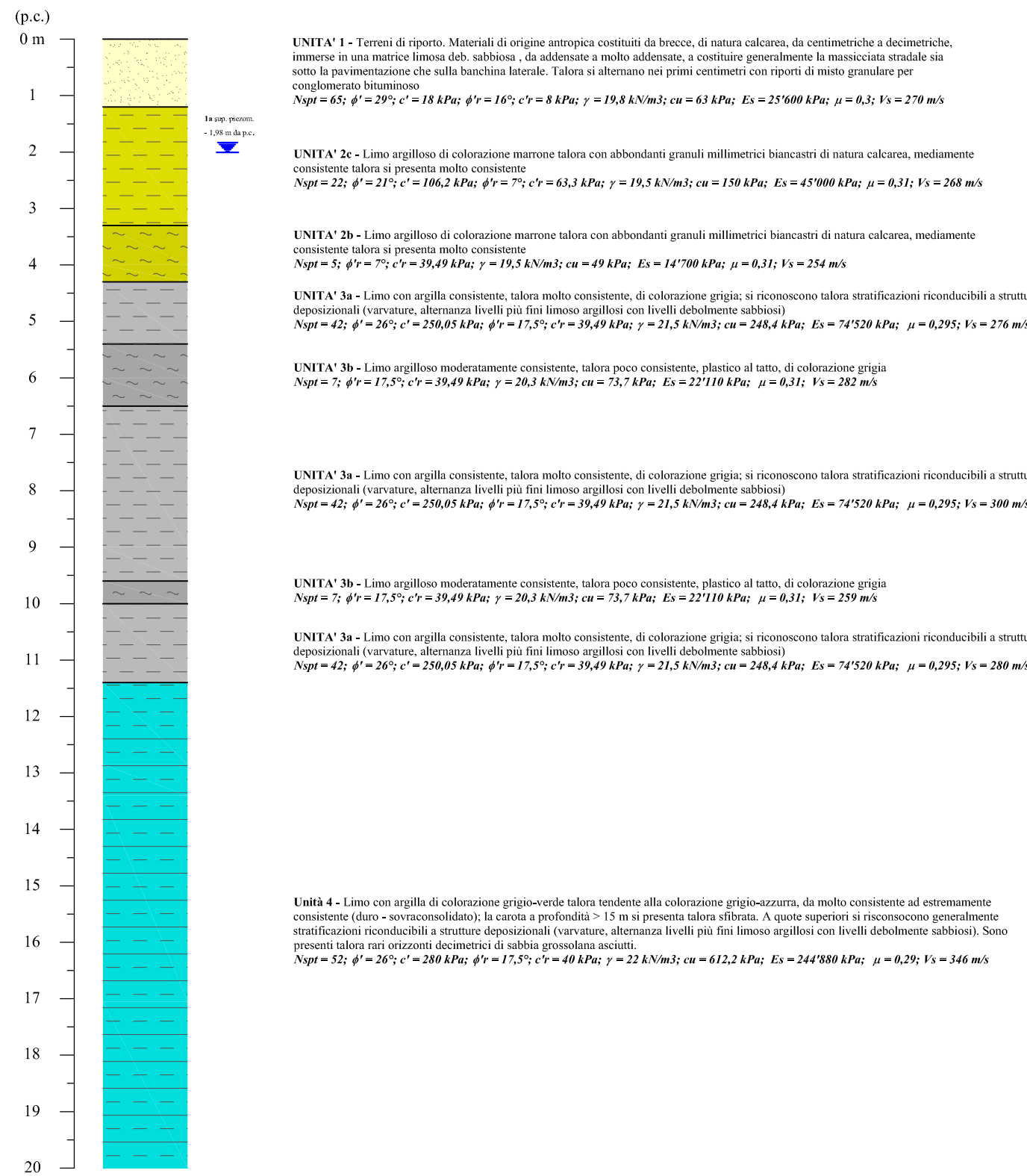


Traccia profilo sismico a rifrazione in onde P con prova MASW associata (L=60 m)

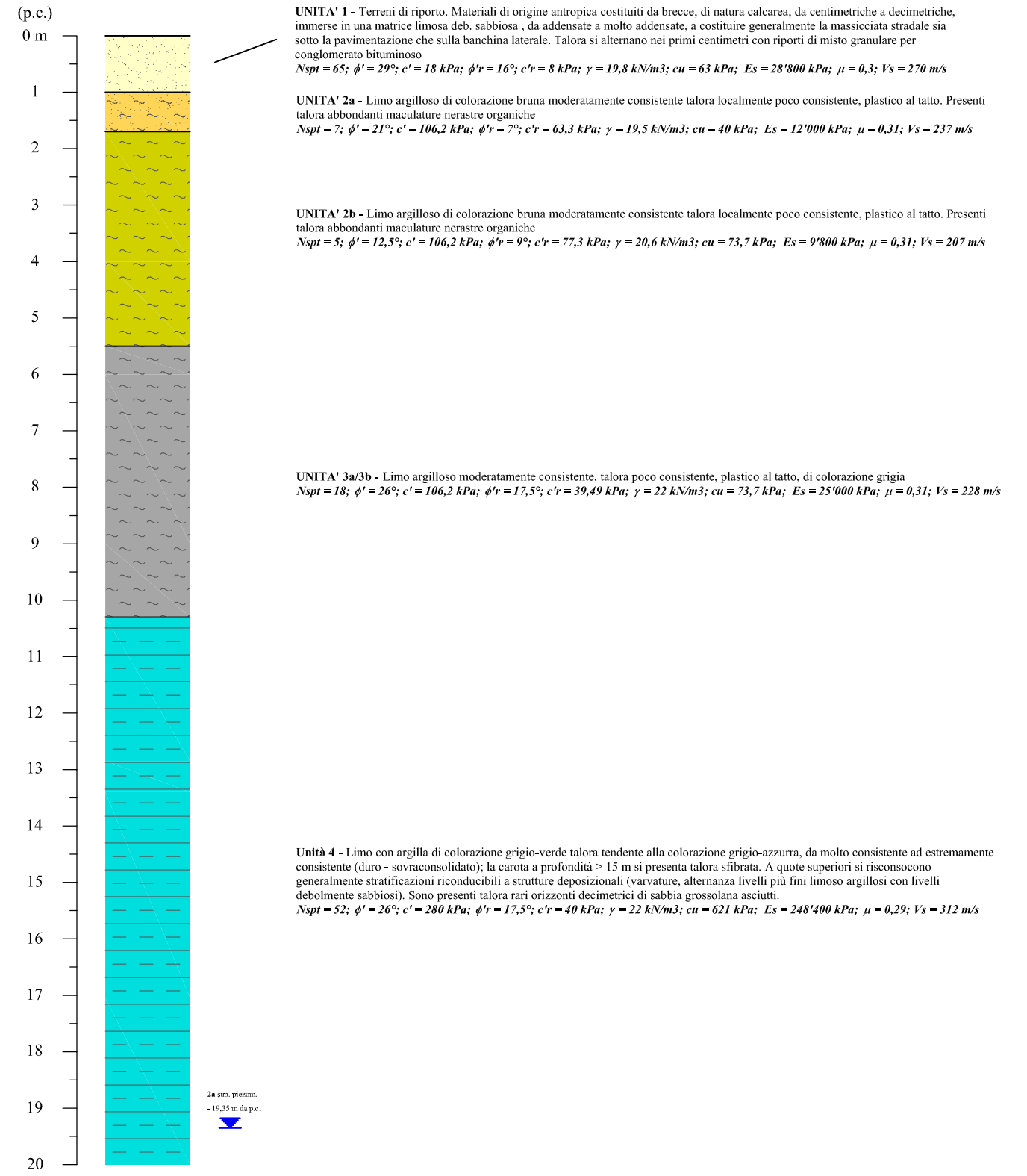
Modello geotecnico puntuale sito n.1
(verticale S1) - scala 1:100



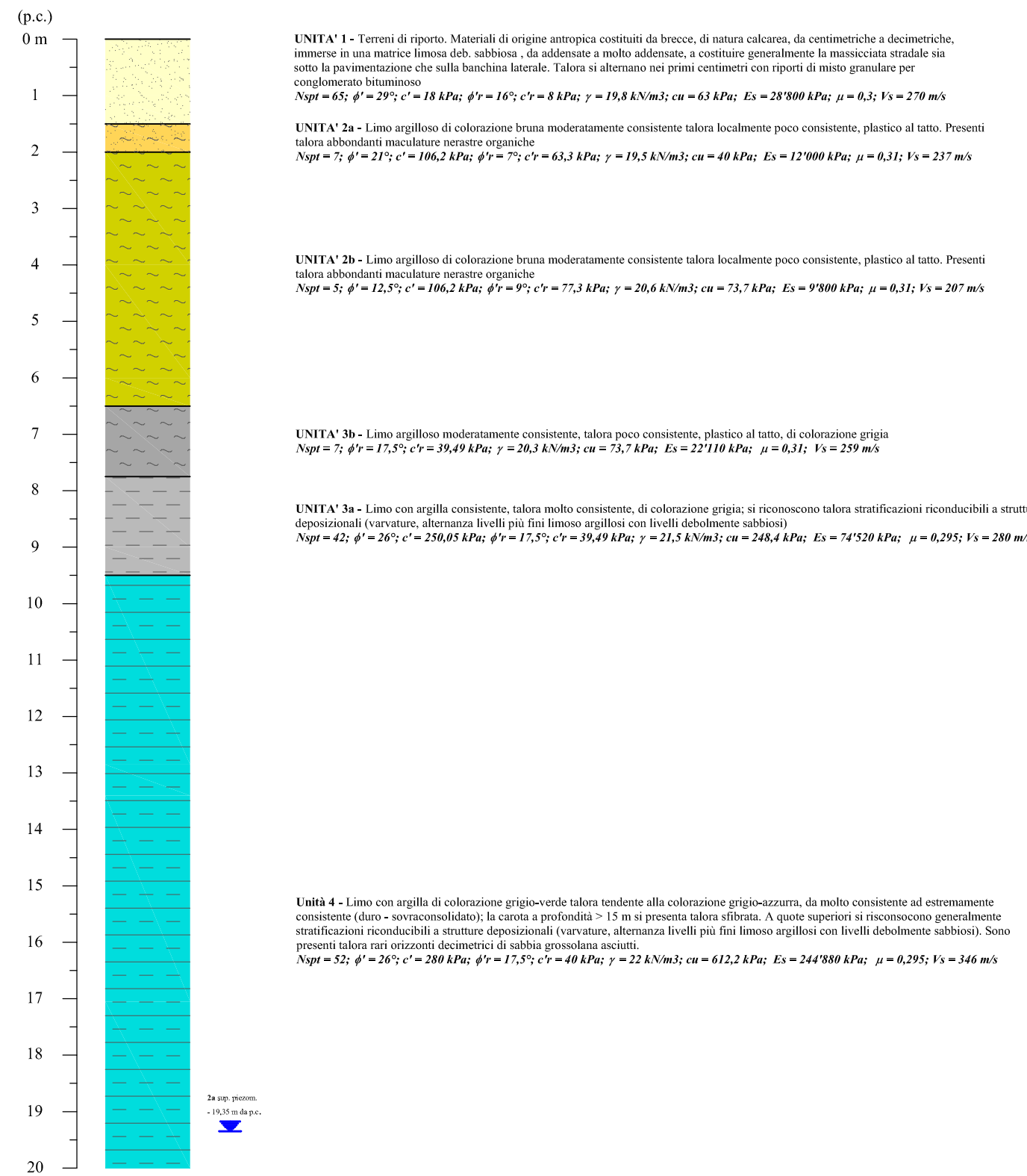
Modello geotecnico puntuale sito n.2
(verticale S2) - scala 1:100



Modello geotecnico puntuale sito n.3
(verticale S3) - scala 1:100



Modello geotecnico puntuale sito n.2
(verticale S3) - scala 1:100



LEGENDA

UNITA' LITOLOGICO-TECNICHE



UNITA' 1 - Terreni di riporto. Materiali di origine antropica costituiti da breccie, di natura calcarea, da centimetriche a decimetriche, immerse in una matrice limosa deb. sabbiosa, da addensata a molto addensata, a costituire generalmente la massicciata stradale sia sotto la pavimentazione che sulla banchina laterale. Talora si alternano nei primi centimetri con riporti di misto granulare per conglomerato bituminoso.



UNITA' 2a - Limo sabbioso-argilloso di colorazione bruna, talora con abbondanti concrezioni carbonatiche biancastre millimetriche, talora con rari clasti di breccia da centimetriche a decimetriche di natura calcarea color nocciola



UNITA' 2b - Limo argilloso di colorazione bruna moderatamente consistente talora localmente poco consistente, plastico al tatto. Presenti talora abbondanti maciature nerastre organiche



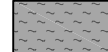
UNITA' 2c - Limo argilloso di colorazione marrone talora con abbondanti granuli millimetrici biancastri di natura calcarea, mediamente consistente talora si presenta molto consistente



UNITA' 3a - Limo con argilla consistente, talora molto consistente, di colorazione grigia; si riconoscono talora stratificazioni riconducibili a strutture deposizionali (curvature, alternanza livelli più fini limoso argillosi con livelli debolmente sabbiosi)

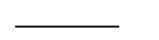


UNITA' 3b - Limo argilloso moderatamente consistente, talora poco consistente, plastico al tatto, di colorazione grigia

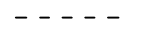


UNITA' 4 - Limo con argilla di colorazione grigio-verde talora tendente alla colorazione grigio-azzurra, da molto consistente ad estremamente consistente (duro - sovracosolidato); la carota a profondità > 15 m si presenta talora sfibrata. A quote superiori si riconoscono generalmente stratificazioni riconducibili a strutture deposizionali (curvature, alternanza livelli più fini limoso argillosi con livelli debolmente sabbiosi). Sono presenti talora nei orizzonti decimetrici di sabbia grossolana acuita.

Altri simboli



Limite tra unità litologiche certo



Limite tra unità litologiche presunto



Superficie di frana ricostruita da evidenze stratigrafiche piuttosto certe



Superficie di frana incerta



Traccia della superficie piezometrica ipotetica

Simboli indagini



Traccia indagine sismica a rifrazione in onde P con prova MASW associata



Verticale di sondaggio geognostico con indicazione delle prove SPT e dei campioni prelevati alle diverse quote



Sondaggio geognostico a carotaggio continuo



Sondaggio geognostico a carotaggio continuo con installato piezometro a tubo aperto

ALLEGATO 1

Parametri sismici, spettri elastici e spettri di progetto

- **Ubicazione sito di intervento con coordinate geografiche nel sistema WGS84 ed ED50**



• **Parametri e coefficienti sismici relativi al sito di studio**

Sito in esame.

latitudine: 43,270271
longitudine: 10,902782
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

| | | | |
|------------------|--------------|--------------|--------------------|
| Sito 1 ID: 22273 | Lat: 43,2556 | Lon: 10,8811 | Distanza: 2393,303 |
| Sito 2 ID: 22274 | Lat: 43,2571 | Lon: 10,9498 | Distanza: 4077,210 |
| Sito 3 ID: 22052 | Lat: 43,3071 | Lon: 10,9477 | Distanza: 5479,165 |
| Sito 4 ID: 22051 | Lat: 43,3056 | Lon: 10,8791 | Distanza: 4371,891 |

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T2
Periodo di riferimento: 50anni
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,045 g
Fo: 2,472
Tc*: 0,227 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,057 g
Fo: 2,501
Tc*: 0,244 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,140 g
Fo: 2,481
Tc*: 0,273 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,175 g
Fo: 2,515
Tc*: 0,280 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,710
St: 1,200
Kh: 0,016
Kv: 0,008
Amax: 0,800
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,670
St: 1,200
Kh: 0,021
Kv: 0,010
Amax: 1,014
Beta: 0,200

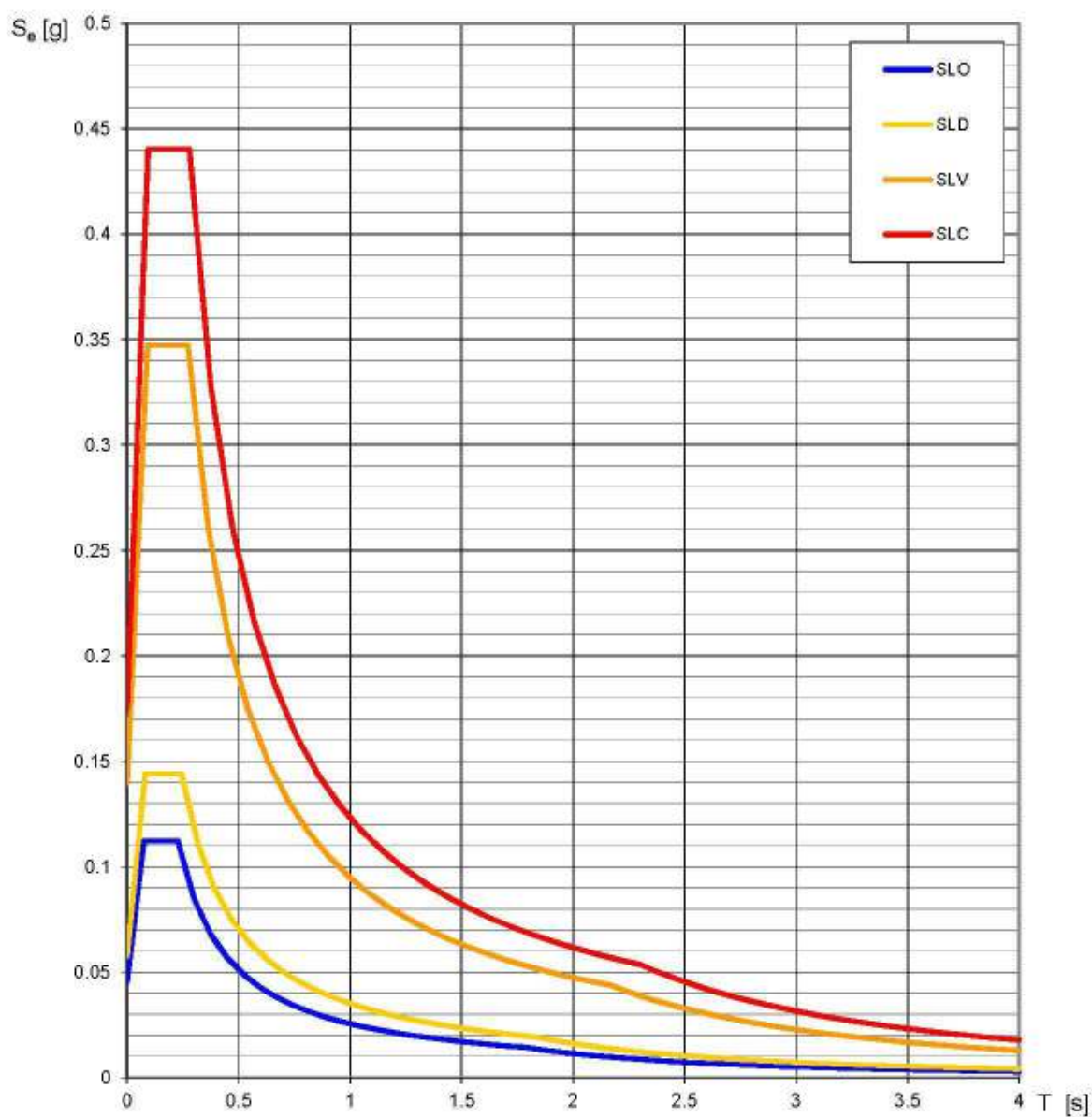
SLV:

Ss: 1,490
Cc: 1,610
St: 1,200
Kh: 0,060
Kv: 0,030
Amax: 2,454
Beta: 0,240

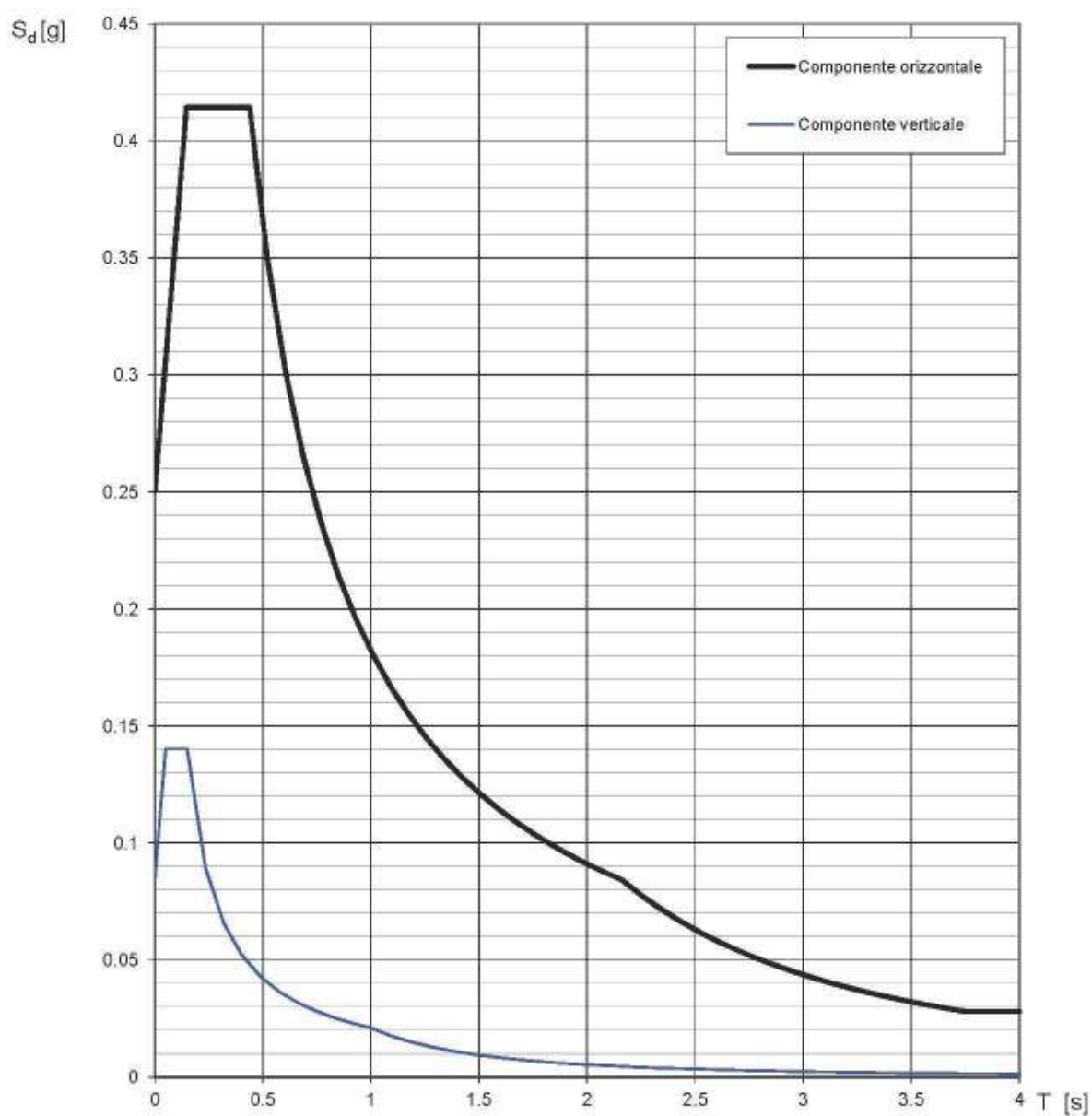
SLC:

Ss: 1,440
Cc: 1,600
St: 1,200
Kh: 0,073
Kv: 0,036
Amax: 2,967
Beta: 0,240

Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite



Spettri di risposta (componenti orizz. e vert.) per lo stato limite: SLV



Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV |
|--------------|---------|
| a_g | 0.140 g |
| F_g | 2.481 |
| T_c^* | 0.273 s |
| S_s | 1.492 |
| C_c | 1.612 |
| S_T | 1.200 |
| q | 1.500 |

Parametri dipendenti

| | |
|--------|---------|
| S | 1.790 |
| η | 0.667 |
| T_B | 0.147 s |
| T_C | 0.440 s |
| T_D | 2.160 s |

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

| | T [s] | Se [g] |
|------------------|-------|--------|
| | 0.000 | 0.250 |
| $T_B \leftarrow$ | 0.147 | 0.414 |
| $T_C \leftarrow$ | 0.440 | 0.414 |
| | 0.522 | 0.349 |
| | 0.603 | 0.302 |
| | 0.685 | 0.266 |
| | 0.767 | 0.237 |
| | 0.849 | 0.215 |
| | 0.931 | 0.196 |
| | 1.013 | 0.180 |
| | 1.095 | 0.166 |
| | 1.177 | 0.155 |
| | 1.259 | 0.145 |
| | 1.341 | 0.136 |
| | 1.423 | 0.128 |
| | 1.504 | 0.121 |
| | 1.586 | 0.115 |
| | 1.668 | 0.109 |
| | 1.750 | 0.104 |
| | 1.832 | 0.099 |
| | 1.914 | 0.095 |
| | 1.996 | 0.091 |
| | 2.078 | 0.088 |
| $T_D \leftarrow$ | 2.160 | 0.084 |
| | 2.247 | 0.078 |
| | 2.335 | 0.072 |
| | 2.423 | 0.067 |
| | 2.510 | 0.062 |
| | 2.598 | 0.058 |
| | 2.685 | 0.055 |
| | 2.773 | 0.051 |
| | 2.861 | 0.048 |
| | 2.948 | 0.045 |
| | 3.036 | 0.043 |
| | 3.124 | 0.040 |
| | 3.211 | 0.038 |
| | 3.299 | 0.036 |
| | 3.387 | 0.034 |
| | 3.474 | 0.033 |
| | 3.562 | 0.031 |
| | 3.649 | 0.030 |
| | 3.737 | 0.028 |
| | 3.825 | 0.028 |
| | 3.912 | 0.028 |
| | 4.000 | 0.028 |

Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite: SLV

Parametri indipendenti

| STATO LIMITE | SLV |
|--------------|---------|
| a_{gv} | 0.071 g |
| S_s | 1.000 |
| S_T | 1.200 |
| q | 1.500 |
| T_B | 0.050 s |
| T_C | 0.150 s |
| T_D | 1.000 s |

Parametri dipendenti

| | |
|--------|-------|
| F_v | 1.253 |
| S | 1.200 |
| η | 0.667 |

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 §. 3.2.3.5})$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5} \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.11})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.10)

$$\begin{aligned}
 0 \leq T < T_B & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\
 T_B \leq T < T_C & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \\
 T_C \leq T < T_D & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \\
 T_D \leq T & \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)
 \end{aligned}$$

Punti dello spettro di risposta

| | T [s] | S_e [g] |
|------------------|-------|-----------|
| | 0.000 | 0.085 |
| $T_B \leftarrow$ | 0.050 | 0.140 |
| $T_C \leftarrow$ | 0.150 | 0.140 |
| | 0.235 | 0.090 |
| | 0.320 | 0.066 |
| | 0.405 | 0.052 |
| | 0.490 | 0.043 |
| | 0.575 | 0.037 |
| | 0.660 | 0.032 |
| | 0.745 | 0.028 |
| | 0.830 | 0.025 |
| | 0.915 | 0.023 |
| $T_D \leftarrow$ | 1.000 | 0.021 |
| | 1.094 | 0.018 |
| | 1.188 | 0.015 |
| | 1.281 | 0.013 |
| | 1.375 | 0.011 |
| | 1.469 | 0.010 |
| | 1.563 | 0.009 |
| | 1.656 | 0.008 |
| | 1.750 | 0.007 |
| | 1.844 | 0.006 |
| | 1.938 | 0.006 |
| | 2.031 | 0.005 |
| | 2.125 | 0.005 |
| | 2.219 | 0.004 |
| | 2.313 | 0.004 |
| | 2.406 | 0.004 |
| | 2.500 | 0.003 |
| | 2.594 | 0.003 |
| | 2.688 | 0.003 |
| | 2.781 | 0.003 |
| | 2.875 | 0.003 |
| | 2.969 | 0.002 |
| | 3.063 | 0.002 |
| | 3.156 | 0.002 |
| | 3.250 | 0.002 |
| | 3.344 | 0.002 |
| | 3.438 | 0.002 |
| | 3.531 | 0.002 |
| | 3.625 | 0.002 |
| | 3.719 | 0.002 |
| | 3.813 | 0.001 |
| | 3.906 | 0.001 |
| | 4.000 | 0.001 |