



PROVINCIA DI PISA

SETTORE VIABILITA' TRASPORTI E PROTEZIONE CIVILE



**Relazione geotecnica sulla modellazione del sottosuolo di supporto al progetto
di messa in sicurezza della S.P. 329, tra il km 16+800 e il km 17+100,
nel comune di Monteverdi Marittimo (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

2.2 Indagini sismiche

INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE CON PROVA MASW ASSOCIATA (SR-MW1)

INDAGINE DI SISMICA A RIFRAZIONE CON PROVA MASW ASSOCIATA (SR-MW2)

2.3 Normalizzazione delle prove SPT

2.4 Modello geotecnico del sottosuolo

MODELLO GEOLOGICO SITO N.1 – SEZIONE 1-1' E SEZIONE 3-3''

MODELLO GEOLOGICO SITO N.2 – SEZIONE 2-2' E SEZIONE 4-4'

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 – Modello geotecnico del sottosuolo

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 gli interventi di messa in sicurezza della S.P. n. 329. Gli interventi sono tesi al consolidamento di due dissesti gravitativi presenti tra il km 16+800 e il km 17+100 circa. I siti di intervento si trovano in corrispondenza del Podere La Matronata, nel comune di Monteverdi Marittimo (PI), a sud-ovest dello stesso abitato di Monteverdi (vedi inquadramento nell'allegata Tavola C).

Gli interventi consistono nella realizzazione di opere di contenimento e ripristino del rilevato stradale nelle tratte interessate da rottura conclamata ed eventualmente da fessurazione a margine delle medesime tratte già franate.

Lo studio, condotto ai sensi delle NTC 2018, compendia le risultanze delle indagini geognostiche realizzate in sito (sondaggi a carotaggio continuo S1 e S2), le risultanze delle indagini sismiche di superficie (SR-MW1 e SR-MW2) e delle prove SPT realizzate in foro, nonché della caratterizzazione geotecnica dei diversi layer litologici discriminati in corrispondenza di ciascun sito di intervento.

2. Aspetti geotecnici

Al fine di supportare la progettazione delle opere di consolidamento sulla SP 329, è stata eseguita la modellazione geotecnica del sottosuolo a partire dal piano campagna attuale. Tale modellazione si è resa 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 individuato, in modo da poter effettuare le verifiche di sicurezza agli stati limite.

La modellazione è stata effettuata in primo luogo sulla scorta delle evidenze stratigrafiche emerse dai sondaggi geognostici realizzati a supporto dello studio geologico-geotecnico sulla SP 329. I sondaggi attuali realizzati sono due, uno per ogni corpo di frana analizzato con il presente studio sulla strada provinciale di Monteverdi Marittimo.

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.

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

- analisi delle indagini geognostiche attuali;
- 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 i corpi di frana presenti lungo la SP 329 tra il km 16+800 e il km 17+100, sono stati realizzati due sondaggi geognostici a carotaggio continuo con diametro di perforazione pari a 101 mm, fino alla profondità di 15 m da p.c.. Il sondaggio S1 è stato realizzato in corrispondenza della frana più prossimale al km 17+100, il sondaggio S2 invece è stato effettuato sul coronamento della frana più prossimale al km 16+800 (vedi fig. 1). In entrambi i sondaggi, non essendo stato possibile prelevare campioni indisturbati sui materiali meno consistenti, in sostituzione degli stessi campionamenti sono state eseguite n. 4 prove SPT per ciascuna verticale di perforazione.

Di seguito sono descritte le risultanze stratigrafiche e delle prove realizzate in foro.

Sondaggio S1

Il sondaggio S1, realizzato fino alla profondità di 15 m da p.c., ha restituito i seguenti layer stratigrafici:

- da 0,0 a 0,2 m da p.c.: soletta di asfalto;
- da 0,2 a 1,9 m da p.c.: riporto. Si tratta di ghiaia e breccia centimetrica in matrice sabbioso-limosa bruna (clasto-sostenuti);

- da 1,9 a 2,5 m da p.c.: limo argilloso consistente, di colorazione bruna;
- da 2,5 a 4,3 m da p.c.: breccia in matrice limoso-argillosa, bruna;
- da 4,3 a 8,0 m da p.c.: argilliti bruno-verdastre, a tratti alterate;
- da 8,0 a 15,0 m da p.c.: alternanza di livelli da decimetrici a metrici di argilliti grigio-verdastre fortemente fratturate con rari livelli da centimetrici a decimetrici (max circa 10 cm) di argilliti e siltiti marnose grigie fratturate;

Nel foro S1 sono state realizzate n. 4 SPT con le seguenti risultanze:

- 1) SPT1 a quota 2,50 m da p.c. (8 +11+13)
- 2) SPT2 a quota 5,50 m da p.c. (19+38+47)
- 3) SPT3 a quota 8,50 m da p.c. (26+R) avanzamento 12 cm
- 4) SPT4 a quota 12,00 m da p.c. (36+R) avanzamento 11 cm

Nel foro non è stata rilevata alcuna falda in fase di perforazione.

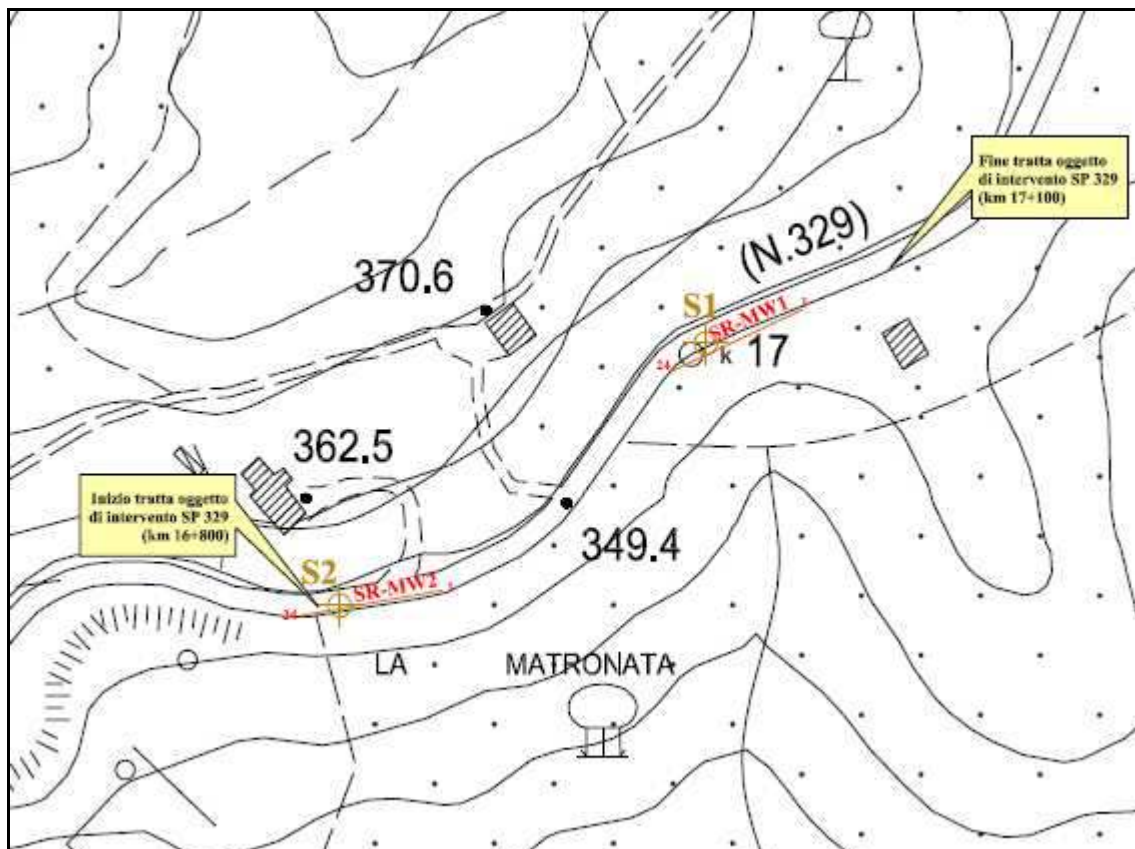


Fig.1: Ubicazione indagini geofisiche eseguite lungo la SP 329 di Monteverdi tra il km 17+100 e il km 16+800.

Sondaggio S2

Il sondaggio S2, realizzati anch'esso fino alla profondità di 1 m, ha evidenziato la presenza dei seguenti layer stratigrafici:

- da 0,00 a 0,2 m da p.c.: soletta di asfalto;
- da 0,20 a 0,80 m da p.c.: riporto. Ciottoli e ghiaia in matrice sabbiosa grossolana;
- da 0,80 a 3,45 m da p.c.: breccia da centimetrica a decimetrica in matrice limoso-sabbiosa bruna, addensata, asciutta (potrebbe rappresentare la coltre superficiale di alterazione del versante, di origine eluvio-colluviale);
- da 3,45 – 6,90 m da p.c.: substrato alterato: alternanza di livelli da centimetrici a decimetrici (max 15 cm) di calcareniti grigiastre-brunastre (per alterazione), fratturate ($RQD < 10$), con livelli decimetrici (max 30 cm) di siltiti e argilliti marnose di colorazione bruna, alterate;
- da 6,90 a 7,60 m da p.c.: livelli di argilliti e siltiti molto alterate (matrice da poco consistente a mod. consistente), di color marrone;
- da 7,60 a 15 m da p.c.: ammasso roccioso costituito da alternanze prevalentemente centimetriche di livelli di calcareniti grigie fratturate, con livelli di argilliti e siltiti grigie talora alterate (probabile plasticizzazione temporanea per idratazione con acqua di perforazione). Tra 10,5 e 11,70 m da p.c. prevalenza di calcareniti fratturate.

In foro sono state realizzate le seguenti prove SPT:

- SPT1 a -3 m da p.c. (44 + R), avanzamento 8 cm
- SPT2 a -6 m da p.c. (39 + R), avanzamento 12 cm
- SPT3 a -9 m da p.c. (30 + 41 + 49),
- SPT4 a -12 m da p.c. (25 + 40 + 47)

Sono state effettuate, inoltre, le seguenti misure con Pocket Penetrometer:

- a 7,30 m da p.c. \Rightarrow 1,00 kg/cm²
- a 7,50 m da p.c. \Rightarrow 1,25 kg/cm²
- a 8,10 m da p.c. \Rightarrow 1,00 kg/cm²

Infine, all'interno del perforo, è stato materializzato un piezometro a tubo aperto con $\phi = 1$ pollice, fino alla profondità di 20 m da p.c..

I sondaggi geognostici hanno messo in luce la presenza di una coltre detritica di diversa natura nei primi 8 m circa da p.c., sovrapposta all'ammasso roccioso più o meno integro. Il sondaggio n. 1 è stato realizzato in corrispondenza di una litofacies del substrato pressoché totalmente pelitica (prevalenza di siltiti e argilliti). Il sondaggio S2, invece, ha evidenziato una litofacies più equilibrata tra orizzonti lapidei e orizzonti pelitici.

2.2 Indagini sismiche

Come accennato precedentemente, a supporto della caratterizzazione geotecnica del sottosuolo nei due siti di intervento, sono stati realizzati due profili sismici, ciascuno della lunghezza rispettivamente di 60 m, con 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. 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 restituire il parametro $V_{s,30}$.

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.2) centrando ciascuno dei due stendimenti sull'asse di ogni corpo di frana, cercando di approssimare il più possibile la traccia di una linea retta.

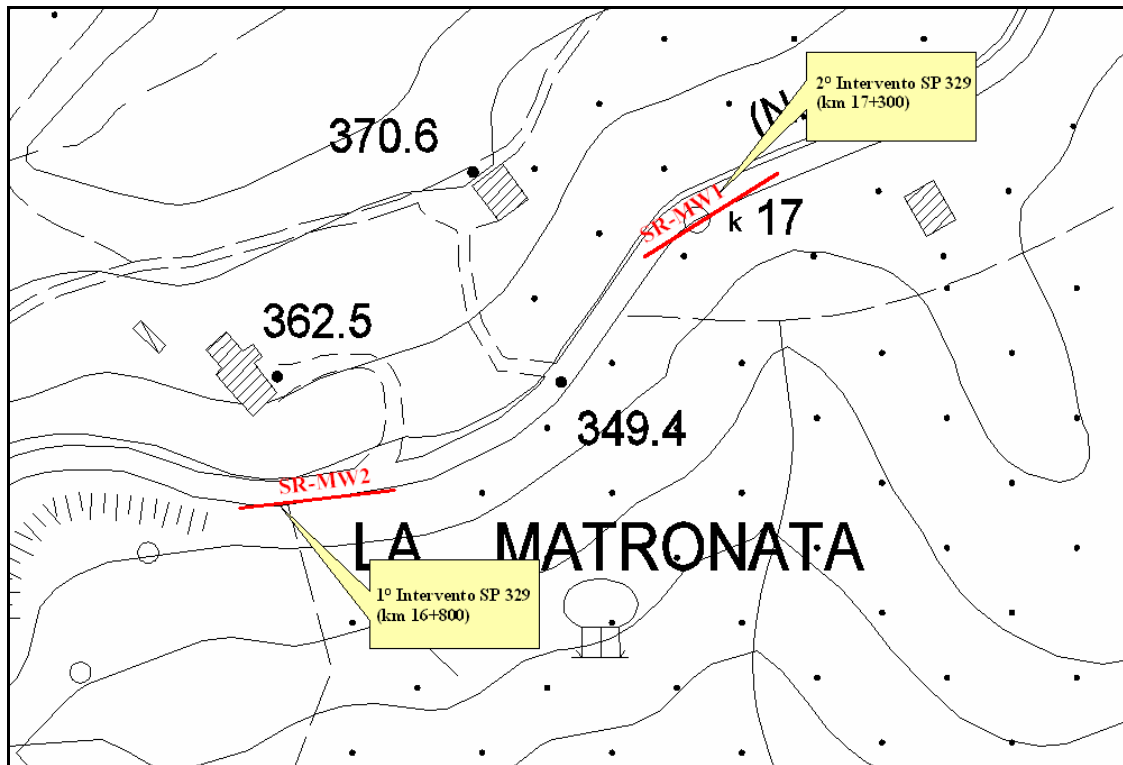


Fig.2: Ubicazione indagini geofisiche eseguite lungo la SP 329 di Monteverdi.

A tale scopo 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 entrambi i modelli sismo-stratigrafici ottenuti lungo SR1 e SR2, hanno restituito dei rifrattori ben correlabili nelle profondità e anche nella forma assunta per i livelli più superficiali (es. nitida concavità ricostruita dal 1° e 2° rifrattore lungo SR2, correlabile con la superficie di frana) rispetto ai layer stratigrafici osservati nei carotaggi di S1 e S2.

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 variabile da 5 ad 11 m, con velocità media delle onde P di circa 930 m/s, riconducibile a materiali incoerenti o poco coerenti comprensivi della coltre superficiale di alterazione del substrato roccioso (unità di Ottone – Membro α), nonché di eventuali depositi eluvio-colluviali e/o riporto del rilevato stradale (generalmente con spessore < 1 m);

2) orizzonte litologico di natura lapidea, costituito da alternanze di livelli argillitico siltitico-marnosi (prevalenti) con livelli fratturati calcareo-marnosi (unità di Ottone – Membro α), caratterizzato da velocità delle onde P prossime a circa 2'260 m/s. Presenta uno spessore variabile tra circa 5 e 15 m, riducendosi da NE verso SW. La superficie di frana è ipotizzata alla base del primo orizzonte, nel quale è stato possibile ricostruire un rifrattore tra primo e secondo layer concavo verso l'alto, a far ipotizzare che si tratti della zona di deformazione della base del corpo di frana;

3) orizzonte litologico, costituito da alternanze di livelli pelitici e livelli lapidei con maggiore equilibrio tra le due tipologie, presumibilmente riconducibile all'unità di Ottone. Questi materiali risultano caratterizzati da velocità delle onde P prossime a circa 3'440 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 **628 m/s** (vedi fig. 4) per il quale il terreno di sottosuolo è ascrivibile alla categoria di sottosuolo **B**.

Ai sensi del D.M. 17/01/2018, alla categoria **B** appartengono *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

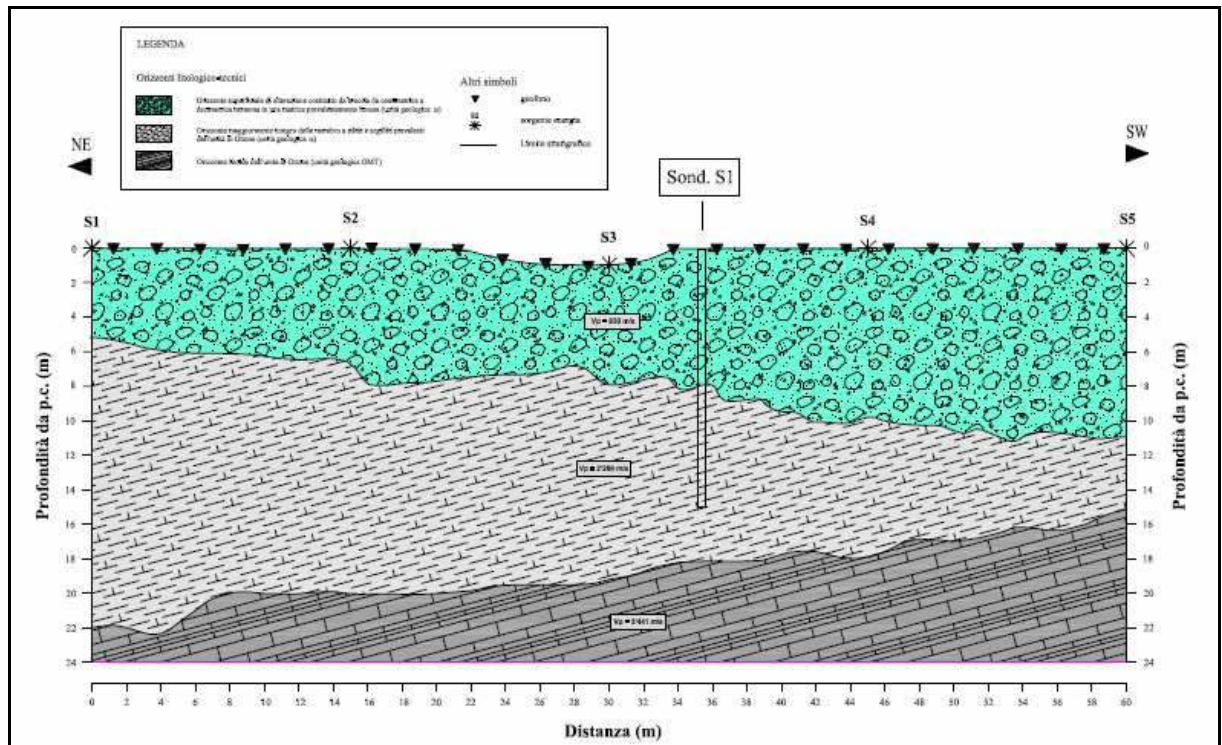


Fig. 3: Modello sismo-stratigrafico ottenuto dal profilo di sismica a rifrazione SR1, relativo al sito di studio n.1 della SP 329.

Dall'osservazione del profilo delle Vs (vedi fig. 4) si nota che la velocità delle onde sismiche risultano aumentare progressivamente nel sottosuolo. A circa 8 m e tra circa 11 e 15 m da p.c. sussiste una leggera inversione di velocità, che segue ad un aumento più repentino delle Vs che in altri tratti del profilo ottenuto. A circa 23 m la velocità potrebbe raggiungere valori > 800 m/s, assumendo solo a tale profondità condizioni di substrato sismico.

Le inversioni, soprattutto quella presente a circa 8 m, potrebbero essere correlabili con i livelli meno consistenti riscontrati sul sondaggio S1, riconducibili ipoteticamente ad una superficie di frana più profonda.

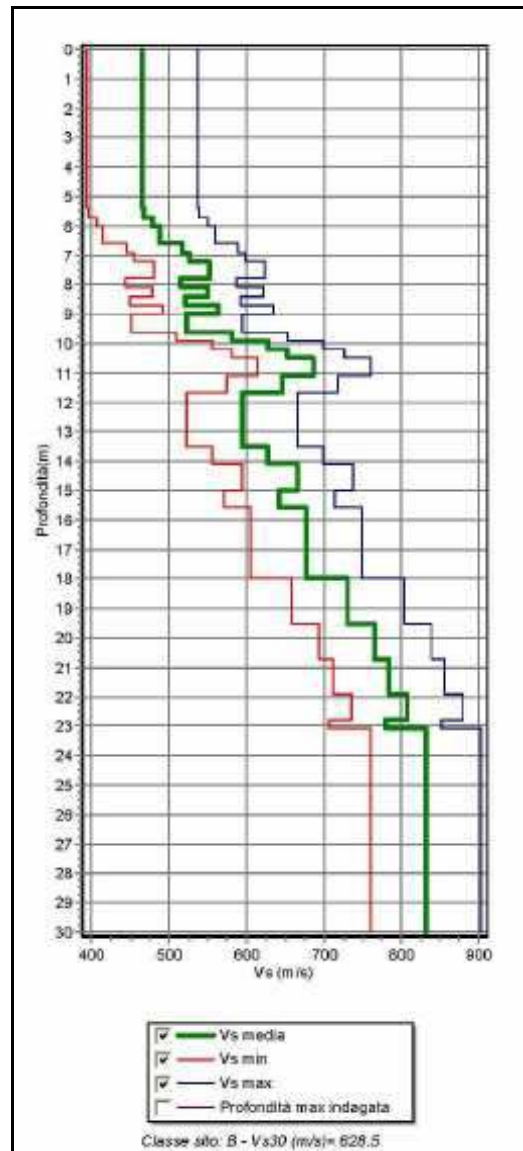


Fig. 4: Profilo Vs relativo al sito di studio n.1 della SP 329.

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 7-8 m da p.c., con valore di Vs pari a circa 466-550 m/s; si registrano inversioni di velocità a circa 7 m ed oltre 8 m da p.c.;
- 2) orizzonte riconducibile al membro dell'unità di Ottone con facies a prevalenti marne e argilliti, caratterizzato da uno spessore di circa 12-13 m e perciò presente fino a circa 20-21 m da p.c., con velocità delle onde S compresa tra circa 520 e 730 m/s. Si registra una importante inversione tra circa 11 e 14 m da p.c.;
- 3) orizzonte riconducibile all'unità di Ottone, caratterizzata da valori di Vs > 750-800 m/s, presente in profondità a partire da circa 20 m da p.c..

Indagine di sismica attiva con tecnica MASW (MW2)

Il profilo sismico SR-MW2 è stato realizzato, come il precedente, centrato rispetto al secondo corpo di frana e correlato con le risultanze del sondaggio S2.

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

1) orizzonte superficiale con spessore piuttosto regolare comunque variabile tra circa 5 e 8 m e con velocità media delle onde P variabile tra circa 550 e 650 m/s. E' riconducibile in primo luogo all'orizzonte oggetto di deformazione progressiva del versante sfociata in rottura locale. Comprende anche eventuali materiali detritici eluvio-colluviali e il riporto alla base della sede stradale (spessore < 1 m). Il rifrattore ricostruito ipoteticamente ripercorre la forma concava della superficie di scivolamento;

2) orizzonte litologico di natura lapidea, costituito da alternanze di livelli argillitico-siltitico-marnosi (prevalenti) con livelli fratturati calcareo-marnosi (unità di Ottone – Membro α), caratterizzato da velocità delle onde P prossime a circa 1'500 m/s. Presenta uno spessore variabile tra circa 3 e 5 m, riducendosi da NE verso SW. La superficie di frana è ipotizzata alla base del primo orizzonte, ma anche il rifrattore tra secondo e terzo layer presenta leggera concavità verso l'alto, a far ipotizzare che la deformazione del materiale lapideo fratturato possa interessare una maggiore profondità. Sussiste comunque analogia tra la profondità del primo rifrattore e le risultanze del sondaggio geognostico, dal quale si evince che fino a circa 8-9 m è presente del materiale limoso-argilloso poco/moderatamente consistente, di colorazione bruna, con parziali rimanenze delle argilliti scagliose e dei blocchetti marnoso-calcarei;

3) orizzonte litologico, costituito da alternanze di livelli pelitici e livelli lapidei con maggiore equilibrio tra le due tipologie, presumibilmente riconducibile all'unità di Ottone. Questi materiali risultano caratterizzati da velocità delle onde P prossime a circa 2'000 – 2'100 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 **624 m/s** (vedi fig. 6) per il quale il terreno di sottosuolo è ascrivibile alla categoria di sottosuolo **B**. Come per il precedente profilo sismico, dal grafico delle Vs si nota che la velocità delle onde sismiche inizialmente risulta aumentare progressivamente. Tra circa 11 e 15 m da p.c. sussiste una leggera inversione. A 21 m circa è ipotizzabile l'esistenza di un aumento repentino delle Vs. A circa 23 m la velocità potrebbe raggiungere valori > 800 m/s, assumendo solo a tale profondità condizioni di substrato sismico.

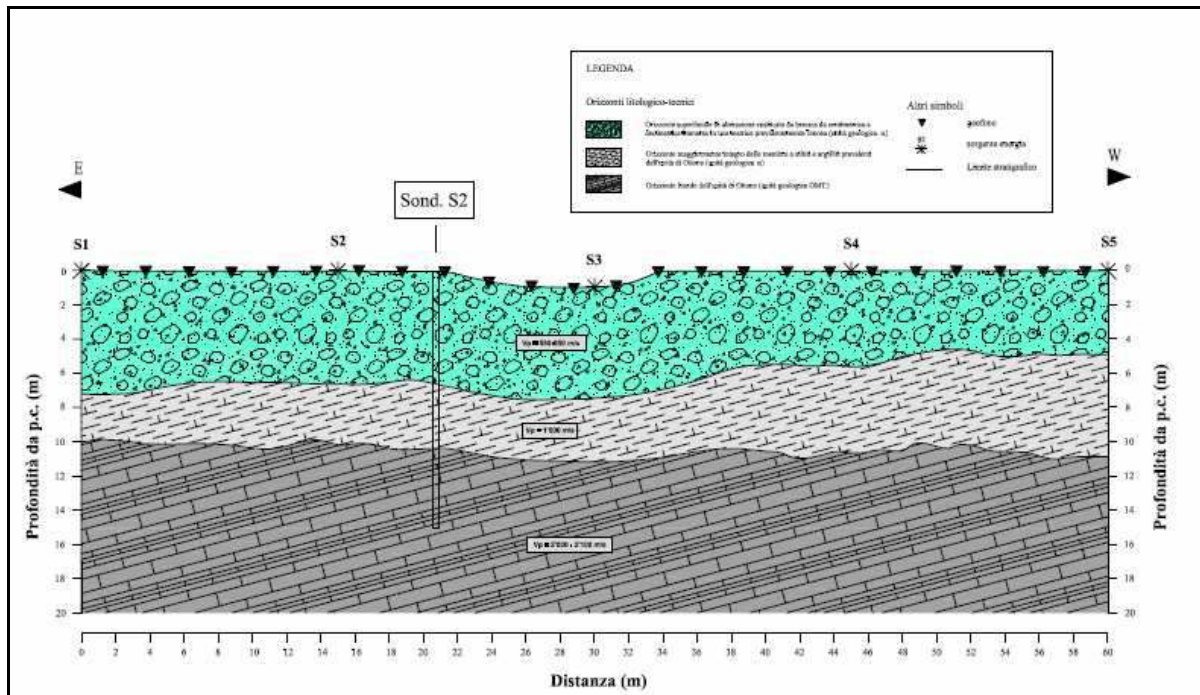


Fig. 5: Profilo Vs relativo al sito di studio n.1 della SP 329.

Le risultanze della prova MASW ottenute possono essere così schematizzate:

- 4) orizzonte superficiale riconducibile presumibilmente alla coltre di frana comprensiva di eventuali terreni di riporto, fino a circa 8 m da p.c., con valore di Vs pari a circa 520-590 m/s; si registrano due inversioni di velocità a 5 e a 8 m;
- 5) orizzonte riconducibile al membro dell'unità di Ottone con facies a prevalenti marne e argilliti, caratterizzato da uno spessore di circa 12-13 m e perciò presente fino a circa 20-21 m da p.c., con velocità delle onde S compresa tra circa 530 e 650 m/s. Si registra una importante inversione tra circa 11 e 15 m da p.c.;
- 6) orizzonte riconducibile all'unità di Ottone, caratterizzata da valori di Vs > 700-800 m/s, presente in profondità a partire da circa 21 m da p.c..

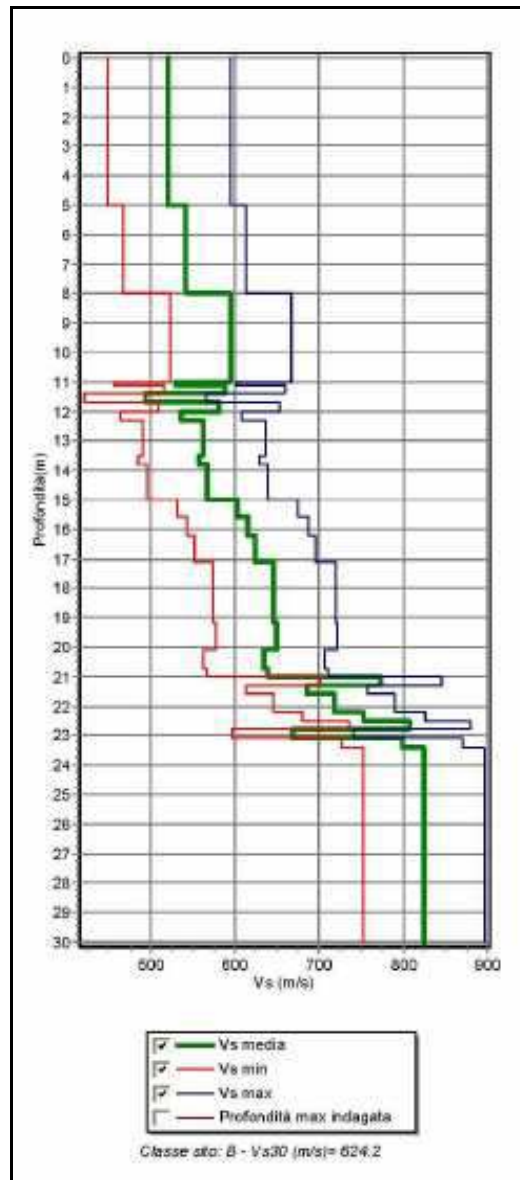


Fig. 6: Profilo Vs relativo al sito di studio n.2 della SP 329.

2.3 Normalizzazione delle prove SPT

Al fine di correlare i valori di N_{spt} ottenuti dalle medesime prove eseguite nei fori di sondaggio, è stata eseguita la normalizzazione degli stessi valori di N_{spt} , al fine di apportare le correzioni in funzione dei principali fattori che possono concorrere ad ampliare erroneamente i valori finali di misurazione.

Di seguito si riportano le tabelle contenenti i parametri di normalizzazione delle otto prove realizzate nei sondaggi S1 e S2.

PROVE SPT SONDAGGIO S1 – SP 329

Z (m)	σ_{vo}	$\sigma_{v'}$	Nspt	CN	N1	CE	(N1)60	CR	(N1)60 defi
2.5	48.75	24.25	24	2.03	49	0.92	45	0.75	34

Z (m)	σ_{vo}	$\sigma_{v'}$	Nspt	CN	N1	CE	(N1)60	CR	(N1)60 defi
5.5	106.15	52.25	85	1.3834	118	0.92	108	0.85	92

Z (m)	σ_{vo}	$\sigma_{v'}$	Nspt	CN	N1	CE	(N1)60	CR	(N1)60 defi
8.5	171.7	88.4	100	1.0636	106	0.92	98	0.95	93

Z (m)	σ_{vo}	$\sigma_{v'}$	Nspt	CN	N1	CE	(N1)60	CR	(N1)60 defi
12	249.6	132	100	0.87	87	0.92	80	1.00	80

PROVE SPT SONDAGGIO S2 – SP 329

Z (m)	σ_{vo}	$\sigma_{v'}$	Nspt	CN	N1	CE	(N1)60	CR	(N1)60 defi
3	57	27.6	100	1.90	190	0.92	175	0.75	131

Z (m)	σ_{vo}	$\sigma_{v'}$	Nspt	CN	N1	CE	(N1)60	CR	(N1)60 defi
6	118.8	60	100	1.29	129	0.92	119	0.95	113

Z (m)	σ_{vo}	$\sigma_{v'}$	Nspt	CN	N1	CE	(N1)60	CR	(N1)60 defi
9	189	100.8	90	1.00	90	0.92	82	0.95	78

Z (m)	σ_{vo}	$\sigma_{v'}$	Nspt	CN	N1	CE	(N1)60	CR	(N1)60 defi
12	258	140.4	87	0.84	73	0.92	68	1.00	68

2.4 Modellazione geotecnica del sottosuolo

Sulla scorta delle risultanze delle indagini geognostiche, nonché dei rilievi eseguiti in loco e delle modellazioni ottenute dalle indagini sismiche precedentemente descritte, è stata effettuata la modellazione lito-stratigrafica e geotecnica del sottosuolo, a partire da p.c., lungo le due tratte interessate dai movimenti franosi. Il modello è stato discriminato, come nel caso degli aspetti geologici, fino ad una profondità congrua per il volume significativo della fondazione (ipotizzato allo stato attuale) e lungo le stesse tracce di sezione utilizzate per il modello geologico.

Nell'allegata Tavola C, in scala 1:400, sono riportate le sezioni geotecniche definite appunto lungo le stesse tracce utilizzate per la modellazione geologica del sottosuolo. E' mostrato inoltre all'interno dell'elaborato il modello geotecnico in formato tabellare ciascuna tratta in frana oggetto di messa in sicurezza. Di seguito sono descritte le unità geotecniche discriminate per i due siti della SP 329 analizzati. Le profondità da p.c. delle unità geotecniche risulta media tra eventuali variazioni laterali e comunque riferita alla porzione centrale dove è stata osservata realmente per mezzo dei sondaggi geognostici. Le eventuali variazioni laterali possono essere verificate sulle sezioni riportate nella tavola C.

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

- **Unità 1, da 0,0 a 1,9 m da p.c.:** terreni di riporto. Si tratta di terreni di origine antropica costituiti da ghiaie e ciottoli con subordinate brecce, di natura calcarea, immersi in una matrice sabbiosa deb. limosa, da addensate a molto addensate, a costituire generalmente la massicciata stradale sia sotto la pavimentazione che sulla banchina laterale

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

N_{spt} medio = 75

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

Dr (%) = 100

angolo d'attrito interno efficace (ϕ') = 33°

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

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

modulo elastico $E_s = 28'800 \text{ kPa} = 293,67 \text{ kg/cm}^2$

$\mu = 0,3$

$V_s = 480 \text{ m/s}$

- **Unità 2, da 1,9 a 4,3 m:** brecce da centimetriche a decimetriche in matrice limoso-sabbiosa bruna, addensate, a costituire la coltre superficiale di alterazione dell'ammasso roccioso lungo il versante, con talora afflussi di natura eluvio-colluviale. Le brecce variano da strutture matrice-sostenute laddove la facies è prevalentemente pelitica, a strutture clasto-sostenute laddove la facies è caratterizzata da una prevalenza della componente lapidea o comunque da un equilibrio (50-50) tra le due componenti lapidea e pelitica. Talora sono presenti livelli decimetrici di limi argillosi bruni legati all'alterazione di siltiti e argilliti.. Alla presente unità litologico-tecnica sono associabili i seguenti parametri geotecnici:

$N_{spt} \text{ medio} = 24$

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

$Dr (\%) = 63$

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

coesione efficace $c' = 56 \text{ kPa} = 0,571 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata $c_u = 157,1 \text{ kPa} = 1,6 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico $E_s = 20'000 \text{ kPa} = 203,94 \text{ kg/cm}^2$

$\mu = 0,3$

$V_s = 430 \text{ m/s}$

- **Unità 3, da 4,3 a 8,0 m da p.c.:** ammasso roccioso fratturato e/o alterato, costituito da alternanze di livelli da centim. a decim. (max 15 cm) di brecce calcaree (calcareniti e calcare marnoso), da brunastre a grigie e livelli decimetrici di siltiti e argilliti marnose brecciate e/o alterate di colorazione bruna. Talora i livelli siltitici e argillitici risultano molto alterati a costituire dei livelli o sacche limitate all'interno dell'orizzonte. Alla presente unità sono associati i seguenti parametri geotecnici:

$N_{spt} \text{ medio} = 85$

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

$Dr (\%) = 100$

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

coesione efficace $c' = 90 \text{ kPa} = 0,92 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata $c_u = 190 \text{ kPa} = 1,94 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico $E_s = 95 \text{ MPa} = 968,71 \text{ kg/cm}^2$

$\mu = 0,295$

$V_s = 506 \text{ m/s}$

- **unità 4a, da 8,0 a 11,50 m da p.c.:** substrato poco fratturato e/o alterato, costituito da alternanze di livelli da centim. a decim. (max 15 cm) di brecce calcaree (calcareniti e calcare marnoso), grigie e livelli da centim. a decim. di siltiti e argilliti marnose brecciate e/o alterate di colorazione brunastra-grigiastra.. Alla presente unità litologico-tecnica sono riconducibili i seguenti parametri geotecnici:

$RQD < 10$

$N_{spt} \text{ medio} = 90$

peso di volume (γ) = $20,5 \text{ kN/m}^3 = 0,0021 \text{ kg/cm}^3$

angolo d'attrito interno efficace (ϕ') = 27°

coesione efficace $c' = 150 \text{ kPa} = 1,53 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata $c_u = 250 \text{ kPa} = 2,55 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico $E_s = 115,2 \text{ MPa} = 1'174,69 \text{ kg/cm}^2$

$\mu = 0,29$

$V_s = 620 \text{ m/s}$

- **unità 4b, da 11,50 a 13,50 m da p.c.:** substrato fratturato e/o alterato, costituito da alternanze di livelli da centim. a decim. (max 15 cm) di brecce calcaree (calcareniti e calcare marnoso), grigie e livelli da centim. a decim. di siltiti e argilliti marnose brecciate e/o alterate di colorazione bruna. I livelli siltitici e argillitici risultano prevalenti su quelli calcarei. Alla presente unità litologico-tecnica sono riconducibili i seguenti parametri geotecnici:

$RQD < 10$

$N_{spt} \text{ medio} = 85$

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

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

coesione efficace $c' = 105 \text{ kPa} = 1,07 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata $c_u = 175 \text{ kPa} = 1,78 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico $E_s = 87,5 \text{ MPa} = 892,24 \text{ kg/cm}^2$

$\mu = 0,295$

$V_s = 600 \text{ m/s}$

- **unità 4c, da 13,50 a 19,50 m da p.c.:** substrato poco fratturato e/o alterato, costituito da alternanze di livelli da centim. a decim. (max 15 cm) di brecce calcaree (calcareniti e calcare marnoso), grigie e livelli da centim. a decim. di siltiti e argilliti marnose brecciate e/o alterate di colorazione brunastra-grigiastra.. Alla presente unità litologico-tecnica sono riconducibili i seguenti parametri geotecnici:

$RQD < 10$

$N_{spt} \text{ medio} = 90$

peso di volume (γ) = $20,5 \text{ kN/m}^3 = 0,0021 \text{ kg/cm}^3$

angolo d'attrito interno efficace (ϕ') = 27°

coesione efficace $c' = 150 \text{ kPa} = 1,53 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata $c_u = 250 \text{ kPa} = 2,55 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico $E_s = 115,2 \text{ MPa} = 1'174,69 \text{ kg/cm}^2$

$\mu = 0,28$

$V_s = 670 \text{ m/s}$

- **unità 5, da 19,50 a 20,00 m da p.c.:** substrato integro o comunque poco fratturato, costituito da alternanze di livelli da centim. a decim. (max 15 cm) di brecce calcaree (calcareniti e calcare marnoso), grigie e livelli da centim. a decim. di siltiti e argilliti marnose brecciate e/o alterate di colorazione bruna. Alla presente unità litologico-tecnica sono riconducibili i seguenti parametri geotecnici:

$RQD \leq 75$

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

angolo d'attrito interno efficace (ϕ') = 32°

coesione efficace $c' = 150 \text{ kPa} = 1,53 \text{ kg/cm}^2$

resistenza al taglio non drenata $c_u = 400 \text{ kPa} = 4,08 \text{ kg/cm}^2$

modulo elastico $E_s = 1'900 \text{ MPa} = 19'374,3 \text{ kg/cm}^2$

$\mu = 0,27$

$V_s = 800 \text{ m/s}$

MODELLO GEOTECNICO SITO N. 2 - SEZIONE 2-2' E SEZIONE 4-4'

- **Unità 1, da 0,0 a 0,8 m da p.c.:** terreni di riporto. Si tratta di terreni di origine antropica costituiti da ghiaie e ciottoli con subordinate brecce, di natura calcarea, immersi in una matrice sabbiosa deb. limosa, da addensate a molto addensate, a costituire generalmente la massicciata stradale sia sotto la pavimentazione che sulla banchina laterale.

E' caratterizzata dai seguenti parametri geotecnici:

$N_{spt} \text{ medio} = 75$

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

$Dr (\%) = 100$

angolo d'attrito interno efficace (ϕ') = 33°

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

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

modulo elastico $E_s = 28'800 \text{ kPa} = 293,67 \text{ kg/cm}^2$

$\mu = 0,3$

$V_s = 480 \text{ m/s}$

- **Unità 2, da 1,9 a 3,45 m:** brecce da centimetriche a decimetriche in matrice limoso-sabbiosa bruna, addensate, a costituire la coltre superficiale di alterazione dell'ammasso roccioso lungo il versante, con talora afflussi di natura eluvio-colluviale. Le brecce variano da strutture matrice-sostenute laddove la facies è prevalentemente pelitica, a strutture clasto-sostenute laddove la facies è caratterizzata da una prevalenza della componente lapidea o comunque da un equilibrio (50-50) tra le due componenti lapidea e pelitica. Talora sono presenti livelli

decimetrici di limi argillosi bruni legati all'alterazione di siltiti e argilliti. Alla presente unità litologico-tecnica sono associabili i seguenti parametri geotecnici:

$$N_{\text{spt medio}} = 100$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 20,4 \text{ kN/m}^3 = 0,00208 \text{ kg/cm}^3$$

$$Dr (\%) = 100$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace } (\phi') = 32^\circ$$

$$\text{coesione efficace } c' = 45 \text{ kPa} = 0,46 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } c_u = 157,1 \text{ kPa} = 1,6 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } E_s = 65,6 \text{ MPa} = 668,92 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = 0,3$$

$$V_s = 520 \text{ m/s}$$

- **Unità 3, da 3,45 a 7,60 m da p.c.:** ammasso roccioso fratturato e/o alterato, costituito da alternanze di livelli da centim. a decim. (max 15 cm) di brecce calcaree (calcareniti e calcare marnoso), da brunastre a grigie e livelli decimetrici di siltiti e argilliti marnose brecciate e/o alterate di colorazione bruna. Talora i livelli siltitici e argillitici risultano molto alterati a costituire dei livelli o sacche limitate all'interno dell'orizzonte. Alla presente unità sono associati i seguenti parametri geotecnici:

$$N_{\text{spt medio}} = 55$$

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

$$Dr (\%) = 100$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace } (\phi') = 25^\circ$$

$$\text{coesione efficace } c' = 90 \text{ kPa} = 0,92 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } c_u = 210 \text{ kPa} = 2,14 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } E_s = 73,2 \text{ MPa} = 746,42 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = 0,295$$

$$V_s = 540 \text{ m/s}$$

- **unità 4a, da 7,60 a 11,50 m da p.c.:** substrato poco fratturato e/o alterato, costituito da alternanze di livelli da centim. a decim. (max 15 cm) di brecce calcaree (calcareniti e calcare marnoso), grigie e livelli da centim. a decim. di siltiti e argilliti marnose brecciate e/o alterate

di colorazione brunastra-grigiastra.. Alla presente unità litologico-tecnica sono riconducibili i seguenti parametri geotecnici:

$$RQD < 10$$

$$N_{spt} \text{ medio} = 90$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 21 \text{ kN/m}^3 = 0,0021 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace } (\phi') = 30^\circ$$

$$\text{coesione efficace } c' = 140 \text{ kPa} = 1,43 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } c_u = 250 \text{ kPa} = 2,55 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } E_s = 115,2 \text{ MPa} = 1'174,69 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = 0,29$$

$$V_s = 570 \text{ m/s}$$

- **unità 4b, da 11,50 a 15,00 m da p.c.:** substrato fratturato e/o alterato, costituito da alternanze di livelli da centim. a decim. (max 15 cm) di brecce calcaree (calcareniti e calcare marnoso), grigie e livelli da centim. a decim. di siltiti e argilliti marnose brecciate e/o alterate di colorazione bruna. I livelli siltitici e argillitici risultano prevalenti su quelli calcarei. Alla presente unità litologico-tecnica sono riconducibili i seguenti parametri geotecnici:

$$RQD < 10$$

$$N_{spt} \text{ medio} = 85$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 20,5 \text{ kN/m}^3 = 0,00209 \text{ kg/cm}^3$$

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

$$\text{coesione efficace } c' = 120 \text{ kPa} = 1,07 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } c_u = 175 \text{ kPa} = 3,57 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } E_s = 104,4 \text{ MPa} = 1'064,56 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = 0,295$$

$$V_s = 550 \text{ m/s}$$

- **unità 4c, da 15,00 a 22,00 m da p.c.:** substrato poco fratturato e/o alterato, costituito da alternanze di livelli da centim. a decim. (max 15 cm) di brecce calcaree (calcareniti e calcare marnoso), grigie e livelli da centim. a decim. di siltiti e argilliti marnose brecciate e/o alterate

di colorazione brunastra-grigiastra. Alla presente unità litologico-tecnica sono riconducibili i seguenti parametri geotecnici:

$$RQD < 10$$

$$N_{spt} \text{ medio} = 90$$

$$\text{peso di volume } (\gamma) = 21,2 \text{ kN/m}^3 = 0,00216 \text{ kg/cm}^3$$

$$\text{angolo d'attrito interno efficace } (\phi') = 30^\circ$$

$$\text{coesione efficace } c' = 140 \text{ kPa} = 1,43 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } c_u = 250 \text{ kPa} = 2,55 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } E_s = 115,2 \text{ MPa} = 1'174,69 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = 0,28$$

$$V_s = 622 \text{ m/s}$$

- **unità 5, da 22,00 a 22,50 m da p.c.:** substrato integro o comunque poco fratturato, costituito da alternanze di livelli da centim. a decim. (max 15 cm) di brecce calcaree (calcareniti e calcare marnoso), grigie e livelli da centim. a decim. di siltiti e argilliti marnose brecciate e/o alterate di colorazione bruna. Alla presente unità litologico-tecnica sono riconducibili i seguenti parametri geotecnici:

$$RQD \leq 75$$

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

$$\text{angolo d'attrito interno efficace } (\phi') = 32^\circ$$

$$\text{coesione efficace } c' = 160 \text{ kPa} = 1,63 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{resistenza al taglio non drenata } c_u = 400 \text{ kPa} = 4,08 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{modulo elastico } E_s = 1'900 \text{ MPa} = 19'374,3 \text{ kg/cm}^2$$

$$\mu = 0,27$$

$$V_s = 800 \text{ m/s}$$

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 del peso di volume γ , dell'angolo d'attrito ϕ' e della coesione c' sono stati stimati sulla scorta dei valori di N_{spt} (correlazioni da bibliografia, Bowles), nonché

sulla scorta di esperienze pregresse (espletate nell'areale di studio) dalle quali si è potuto ricondurre a dati geotecnici ottenuti da prove di laboratorio;

- la coesione non drenata (c_u) è stata discriminata su ciascun layer applicando la correlazione di Terzaghi e Peck legata ai valori di N_{spt} , nonché confrontando i valori assegnati con le risultanze di prove CPT a disposizione in contesti vicini a quello di intervento;
- 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 prevalentemente granulari con diversificazione della correlazione a seconda della dimensione prevalente, nonché sulla scorta di dati di laboratorio estrapolati su campioni di materiali simili a quelli presenti nel sottosuolo di studio.

Per quanto concerne la presenza del substrato più integro del flysch di Ottone a circa 20 m si ritiene che la quota di inizio della formazione in corrispondenza della verticale stratigrafica riconducibile al sito di frana n.2 risulti più aleatorio e potenzialmente più profondo (a circa 21,5-22 m da p.c.). Tale dato è da ricercare sia nelle risultanze della prova MASW (MW2), per la quale materiali con $V_s > 700/800$ m/s sono presenti solo a partire da circa 22 m da p.c., che nella interpretazione della prova di sismica a rifrazione (SR2) per la quale l'ultimo rifrattore ha dato valori di V_p pari a 2000-2200 m/s a fronte dei valori > 3000 m/s registrati alle stesse profondità per la prova SR1.

Nelle tabelle seguenti si riassumono i parametri geotecnici del modello di sottosuolo definiti per il sito di studio.

Modello geotecnico Frana km 17+000 (SEZ 1-1' e SEZ 2-2')										
Unità	Profondità (m)	Nspt	ϕ' (°)	c' (kPa)	c_u (kPa)	γ (kN/m ³)	E_s (kPa)	μ	V_s (m/s)	Stato addensamento
1	0,0 - 1,9	75	33	18	63.00	19.5	28'800	0.300	480	poco addensato
2	1,9 - 4,3	24	29	56	157.10	19.8	20'000	0.300	430	moderatamente addensato
3	4,3 - 8,0	85	25	90	190.00	20.3	95'000	0.295	506	substrato fratturato/alterato
4a	8,0 - 11,5	90	27	150	250.00	20.5	115'200	0.290	620	substrato poco fratturato/integro
4b	11,5 - 13,5	85	26	105	175.00	20.3	87'500	0.295	600	substrato fratturato/alterato
4c	13,5 - 19,5	90	27	150	250.00	20.5	115'200	0.280	670	substrato poco fratturato/integro
5	19,5 - 20,0	-	32	160	400.00	22	1.9E+06	0.270	780	substrato integro

Modello geotecnico Frana km 17+000 (SEZ 3-3' e SEZ 4-4')										
Unità	Profondità (m)	Nspt	ϕ' (°)	c' (kPa)	cu (kPa)	γ (kN/m ³)	Es (kPa)	μ	Vs (m/s)	Stato addensamento
1	0,00 - 0,80	75	33	18	63.00	19.5	28'800	0.300	480	poco addensato
2	0,80 - 3,45	100	32	45	157.10	20.4	65'600	0.300	520	moderatamente addensato
3	3,45 - 7,60	55	28	75	210.00	20.3	73'200	0.295	540	molto add./substrato fratturato
4a	7,60 - 11,50	90	30	140	250.00	21	115'200	0.290	570	substrato poco fratturato/integro
4b	11,50 - 15,00	85	29	120	175.00	20.5	104'400	0.295	550	substrato fratturato/alterato
4c	15,00 - 22,00	90	30	140	250.00	21.2	115'200	0.280	700	substrato poco fratturato/integro
5	22,00 - 22,50	-	34	180	400.00	22	1.9E+06	0.270	750	substrato integro

2.5 Condizioni della falda

Per quanto concerne la quota della superficie piezometrica all'interno del versante, si evidenzia che dalla lettura effettuata in data 20 agosto 2018 sul piezometro a tubo aperto installato in loco all'interno del foro di sondaggio S2, si è potuto osservare che la superficie piezometrica alla data del rilievo si attesta ad una profondità di circa **7,82 m da p.c.**

Tale valore è ritenuto dal sottoscritto congruo con l'assetto lito-stratigrafico ricostruito per la frana n.2 in corrispondenza della quale è stato realizzato il sondaggio S2. Infatti dal carotaggio dei materiali presenti nei primi 15 m si nota che tra circa 6,90 e 7,60 (ma probabilmente anche fino a circa 8 m da p.c.) è presente un orizzonte di materiale prevalentemente limoso-argilloso, bruno, plasticizzato, con basso grado di consistenza e facilmente lavorabile con le dita, il quale è stato associato dal sottoscritto in prima istanza ad un probabile orizzonte deformativo e quindi ad una eventuale superficie di scorrimento. La corrispondenza tra quota della falda rilevata e litologia potrebbe suffragare l'ipotesi dell'esistenza di una zona deformativi a circa 8 m sulla verticale del sondaggio S2.

3. Aspetti sismici di progetto

3.1 Determinazione della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche

Sulla scorta delle conoscenze geologico-stratigrafiche acquisite per l'area di studio, 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 in fase di progettazione per entrambi i siti di intervento è la **B**.

Ai sensi delle NTC 2018 sono compresi all'interno della categoria **B** “*Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s*”.

Per quanto riguarda le condizioni topografiche di sito, dallo studio morfologico dell'area di interesse si evince che la superficie topografica presenta una inclinazione media $\leq 30^\circ$ e solo localmente $\leq 15^\circ$. Considerando il profilo ricostruito da CTR in scala al 10.000 per ciascun sito, riferito ad un dislivello di almeno 30 m, si conclude che l'inclinazione dei versanti variano mediamente tra 16° e 20° .

Ne consegue che la categoria topografica più rappresentativa per i siti di intervento è la categoria **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 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 $\mathbf{P_{vr}}$ e $\mathbf{T_r}$ 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 $\mathbf{V_r}$ che ai sensi delle NTC 2008 si determina secondo l'espressione $\mathbf{V_r = V_n * C_u}$, dove $\mathbf{V_n}$ è la vita nominale dell'opera e $\mathbf{C_u}$ 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 $\mathbf{V_n \geq 50 \text{ anni}}$, $\mathbf{C_u = 1,5}$ (corrispondente ad una **classe d'uso = III**) e $\mathbf{V_r = 75 \text{ anni}}$.

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 – $\mathbf{V_{s30}}$) e rispetto alle condizioni topografiche del sito di studio (categoria topografica). In questo caso si è fatto riferimento alla categoria di suolo **B**, nonché alla categoria topografica **T2**.

I coefficienti di amplificazione che rappresentano rispettivamente le condizioni di sottosuolo e topografiche sono $\mathbf{S_s}$ (coefficiente di amplificazione sismica) e $\mathbf{S_t}$ (coefficiente di

amplificazione topografica). Ai sensi delle NTC i due parametri possono variare entro i valori mostrati in fig. 7 e 8.

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

Fig. 7: 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. 8: 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 3.

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	0.034	2.557	0.206
SLD	50	0.042	2.566	0.225
SLV	475	0.085	2.584	0.275
SLC	975	0.119	2.594	0.282

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 $U_c > 3,5$.

Considerando 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 0.226 g,

Perciò nonostante le condizioni litologiche e idrogeologiche 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. 9 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).

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 6,4.

Il potenziale di liquefazione, perciò in prima istanza, è stato calcolato determinando la componente di azione ciclica riferita a tale valore di magnitudo.

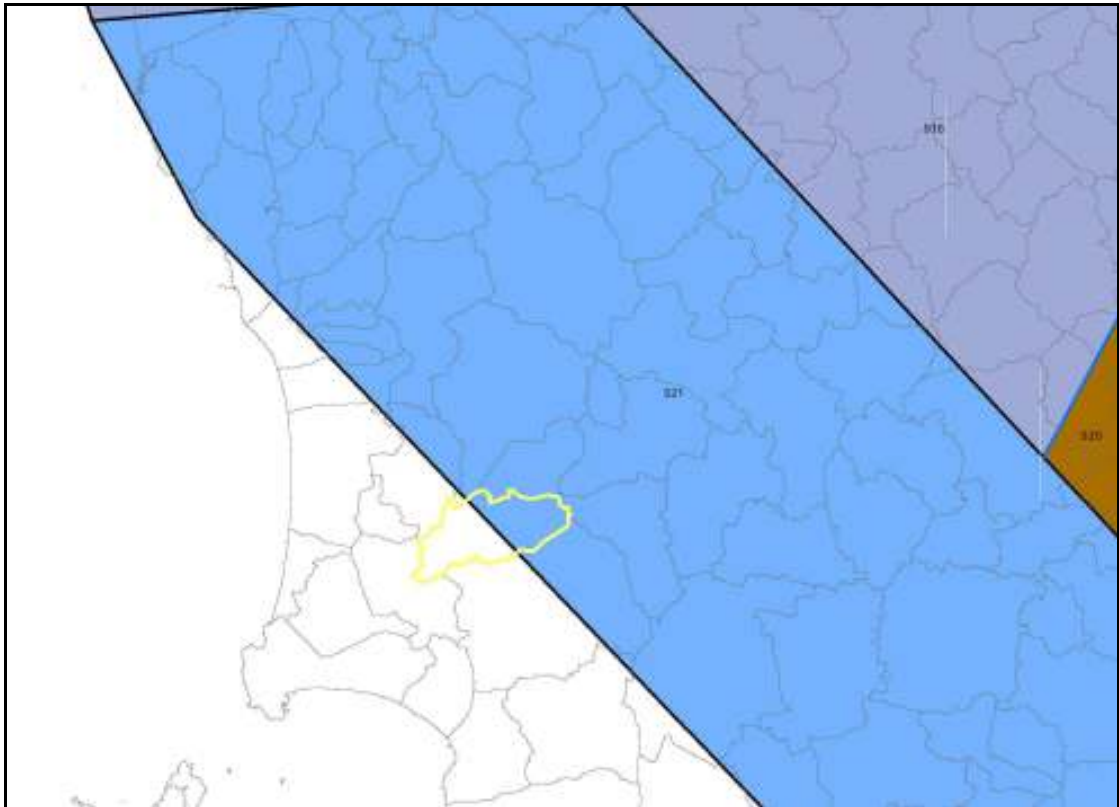


Fig. 9: mappa delle zone sismogenetiche prodotta dall'INGV con ubicazione del territorio comunale di Monteverdi Marittimo (limite giallo). Si nota che il comune è in parte contenuto all'interno della zona 921.

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.

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. 10). 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. Inoltre si sottolinea che il processo di liquefazione è causato da superamento delle tensione di confinamento esistente 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.

Verifica a liquefazione sito n.1						
Orizzonte	Z (m)	CRR _{7,5}	CSR	K _σ	MSF	F _s
1	1.2	0.45	0.18	1.00	1.67	4.27
2	3.7	0.34	0.17	1.00	1.67	3.30
3	4.3	0.28	0.17	1.00	1.67	2.71
4	5.4	0.34	0.17	1.00	1.67	3.40
5	6.5	0.28	0.17	1.00	1.67	2.77
6	9.6	0.19	0.16	1.00	1.67	2.00

Verifica a liquefazione sito n.2						
Orizzonte	Z (m)	CRR _{7,5}	CSR	K _σ	MSF	F _s
1	1.2	0.53	0.18	1.00	1.67	5.00
2	3.7	0.72	0.17	1.00	1.67	7.16
3	4.3	0.36	0.17	1.00	1.67	3.60
4	5.4	0.65	0.16	1.00	1.67	6.55
5	6.5	0.61	0.16	1.00	1.67	6.23
6	9.6	0.65	0.16	1.00	1.67	6.87

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.

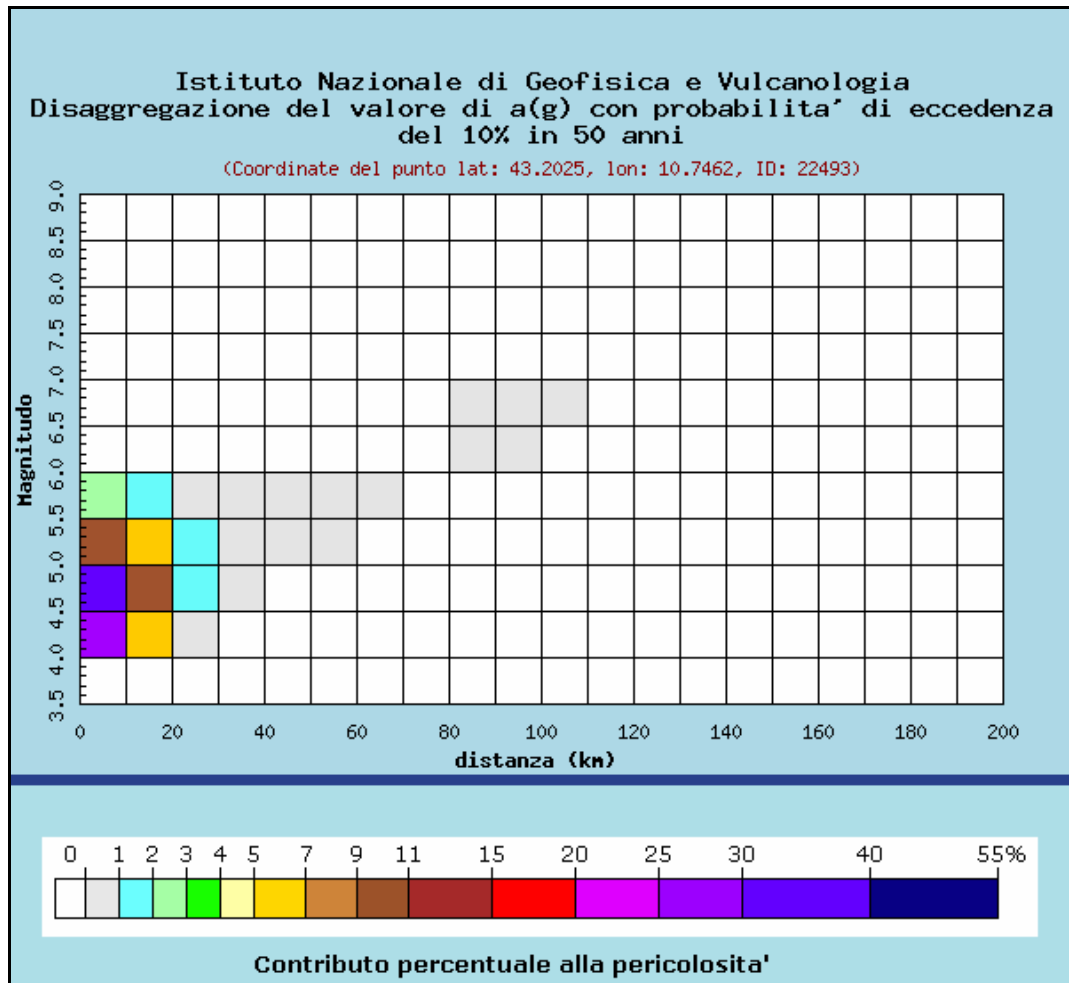


Fig. 10: grafico di disaggregazione di $a(g)$ prodotto dall'INGV per l'area di interesse nel territorio comunale di Monteverdi Marittimo.

4. Conclusioni

Lo studio di modellazione geologica del sottosuolo gi  descritto nella relazione geologica ha evidenziato la presenza lungo il tracciato stradale di materiali di riporto per spessori mediamente pari ad 1 m, i quali si trovano sovrapposti a materiali detritici incoerenti rappresentativi talora sia di presunte coltri eluvio-colluviali di versante che di alterazione del substrato roccioso (substrato con prevalenza della componente pelitica riconducibile al Membro α dell'unit  di ottone Monteverdi - OTM). Tali coltri risultano costituiti da materiali brecciati nei quali clasti di breccia da centimetrica a decimetrica di natura calcarea e calcareo-marnosa risulta immersa in una matrice limoso-argillosa legata all'alterazione delle siltiti e argilliti presenti nel medesimo substrato. Laddove sono stati tracciate le coltri di frana sono state riportate all'interno del modello geologico egualmente coltri di frana con spessori di qualche metro (unit  a1).

Per la SP 329 sono stati analizzati due siti interessati da due distinte frane sul rilevato, collocate a poche decine di metri l'una dall'altra. Il primo sito è inquadrabile approssimativamente al km 17+000, il secondo in vicinanza del km 16+800.

Il primo sito afferente al km 17+000, pur correlabile con il modello geologico-stratigrafico ricostruito per il secondo sito, risulta caratterizzato da una geologia del sottosuolo tale da considerare le condizioni geotecniche sulla verticale del km 17+000 più scadenti rispetto a quelle del km 16+800. Infatti la stratigrafia del sondaggio S1 ha evidenziato che l'unità geologica caratteristica del 1° sito di studio (membro a peliti dell'unità di Ottone-Monteverdi, unità α) è caratterizzata da una quantità elevata di peliti ($\geq 75\%$ della carota) rispetto ai livelli calcarei e calcareo-marnosi. Di tale aspetto ne dovrà essere tenuto conto in fase di progettazione per il consolidamento della 1° frana.

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. In particolare si presume per entrambi i siti l'esistenza di una superficie di scivolamento attuale collocata all'interno delle coltri di versante o di alterazione del substrato (entro i primi 4 m circa da piano stradale) e una ulteriore superficie più profonda collocata a circa 8-9 m correlabile con un ulteriore livello più scadente riscontrato a circa 8-9 m da p.c.. Quest'ultima condizione è risultata più evidente nel sondaggio S2, ma le prove MASW evidenziano inversioni di velocità alla quota suddetta in entrambi i siti di studio.

L'analisi idrogeologica del versante, ha evidenziato che (come si evince dalla lettura effettuata in data 20 agosto 2018 sul piezometro S2) la superficie piezometrica alla data del rilievo si attesta ad una profondità di circa **7,82 m da p.c.** Non si hanno notizie di falde nel sito afferente al sondaggio S1.

Il valore di profondità della superficie piezometrica misurato sul piezometro S2, è ritenuto dal sottoscritto congruo con l'assetto lito-stratigrafico ricostruito per la frana n.2 in corrispondenza della quale è stato realizzato lo stesso foro di sondaggio. Dal carotaggio dei materiali presenti nei primi 15 m, infatti, si nota che tra circa 6,90 e 7,60 (ma probabilmente anche fino a circa 8 m da p.c.) è presente un orizzonte di materiale prevalentemente limoso-argilloso, bruno, plasticizzato, con basso grado di consistenza e facilmente lavorabile con le

data, il quale è stato associato dal sottoscritto in prima istanza ad un probabile orizzonte deformativo e quindi ad una eventuale superficie di scorrimento. La corrispondenza tra quota della falda rilevata e litologia potrebbe suffragare l'ipotesi dell'esistenza di una zona deformativa a circa 8 m sulla verticale del sondaggio S2.

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 **B**. Ai sensi del D.M. 17/01/2018, alla categoria **B** appartengono *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.*

Oltre alla caratterizzazione geotecnica, resa possibile non soltanto per la restituzione delle stratigrafie di sondaggio ma anche per le prove SPT realizzate in foro, è stata effettuata a scopo cautelativo, la verifica a liquefazione del sottosuolo. Le risultanze ottenute per entrambi i siti di studio hanno evidenziato che non sussistono condizioni di potenziale suscettibilità alla liquefazione lungo la verticale indagata su ciascuna delle due frane.

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 efficace eventuali acque di ruscellamento o di falda, affinché in futuro non si abbia la formazione di nuovi movimenti deformativi e progressivi lungo il versante. Nel caso il progettista ritenga necessaria la realizzazione di fondazioni profonde (micropali/pali), si ritiene che questi debbano essere attestati ad una profondità > 10 m da p.c. Tuttavia si sottolinea come nella modellazione geotecnica sia stato individuato, sulla scorta delle risultanze dei profili geofisici, un potenziale ulteriore livello con caratteristiche meccaniche più scadenti tra circa 11 e 15 m da p.c.. Il suo spessore risulta più ridotto lungo la verticale indagata del sito collocato al km 16+800. Perciò per la frana al km 17+000 incombe l'eventuale presenza di ulteriore orizzonte “scadente tra 11 e 15 m da p.c.”. Tale aspetto è comunque da verificare in fase esecutiva e il progettista potrà tenere conto di questa eventuale osservazione nella progettazione delle opere di consolidamento.

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
Dott. Geol. Francesco Agnelli – Via Pietro Nenni n. 65, Torrita di Siena (SI) - via Turati n. 7, Collesalveti (LI) 32

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 329, NEL TRATTO TRA IL KM 16+800 E IL KM
17+100, IN PROSSIMITA' DI LOC. LA MATRONATA, NEL
COMUNE DI MONTEVERDI MARITTIMO (PI)

TITOLO ELABORATO

TAVOLA B - SEZIONI MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO

Scala

1:400

CONSULENTE INCARICATO

DOTT. GEOL. FRANCESCO AGNELLI
Via Pietro Nenni, loc. Civettaio 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

LEGENDA

UNITA' LITOLOGICO-TECNICHE

UNITA' 1 - Terreni di riporto. Materiali di origine antropica costituiti da ghiaie e ciottoli con subordinate breccie, di natura calcarea, immersi in una matrice sabbiosa deb. limosa, da addensata a molto addensata, a costituire generalmente la massicciata stradale su sotto la pavimentazione che sulla banchina laterale

UNITA' 2 - Breccie da centimetriche a decimetriche in matrice limoso-sabbiosa, bruna, addensata, a costituire la corte superficiale di alterazione dell'ammasso roccioso lungo il versante, con altera affluisce di natura elio-solfidale. Le breccie variano da strutture matricio-sostentate laddove la faccia è prevalentemente pelitica, a strutture clasto-sostentate laddove la faccia è caratterizzata da una prevalenza della componente lapidea o comunque da un equilibrio (50-50) tra le due componenti lapidee e pelitica. Talora sono presenti livelli decimetrici di limi argillosi bruni legati all'alterazione di siltiti e argilliti.

UNITA' 3 - Ammasso roccioso fratturato e/o alterato, costituito da alternanze di livelli da centim. a decim. (max 15 cm) di breccie calcaree (calcarei e calcare marnoso), da brunastre a grigie e livelli decimetrici di siltiti e argilliti marnose brecciate e/o alterate di colorazione bruna. siltiti e livelli siltitici e argillitici risultano molto alterati a costituire dei livelli o sacche limitate all'interno dell'orizzonte

UNITA' 4a/4c - Substrato poco fratturato e/o alterato, costituito da alternanze di livelli da centimetrici a decimetrici (max 15 cm) di calcareniti e calcari marnosi fratturati (RQD < 10), grigi e livelli da centimetrici a decimetrici di siltiti e argilliti marnose brecciate e/o alterate di colorazione brunastra-grigiastria.

UNITA' 4b - Substrato fratturato e/o alterato, costituito da alternanze di livelli da centim. a decim. (max 15 cm) di calcareniti e calcari marnosi fratturati (RQD < 10), grigi e livelli da centim. a decim. di siltiti e argilliti marnose brecciate e/o alterate di colorazione bruna. I livelli pelitici risultano prevalenti sui livelli lapidei

Unità 5 - Substrato integro o comunque poco fratturato, costituito da alternanze di livelli da centim. a decim. (max 15 cm) di breccie calcaree (calcarei e calcare marnoso), grigie e livelli da centim. a decim. di siltiti e argilliti marnose brecciate e/o alterate di colorazione bruna, con caratteristiche di substrato sismico

Altri simboli

Limite tra unità litologiche certo

Limite tra unità litologiche presunto

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

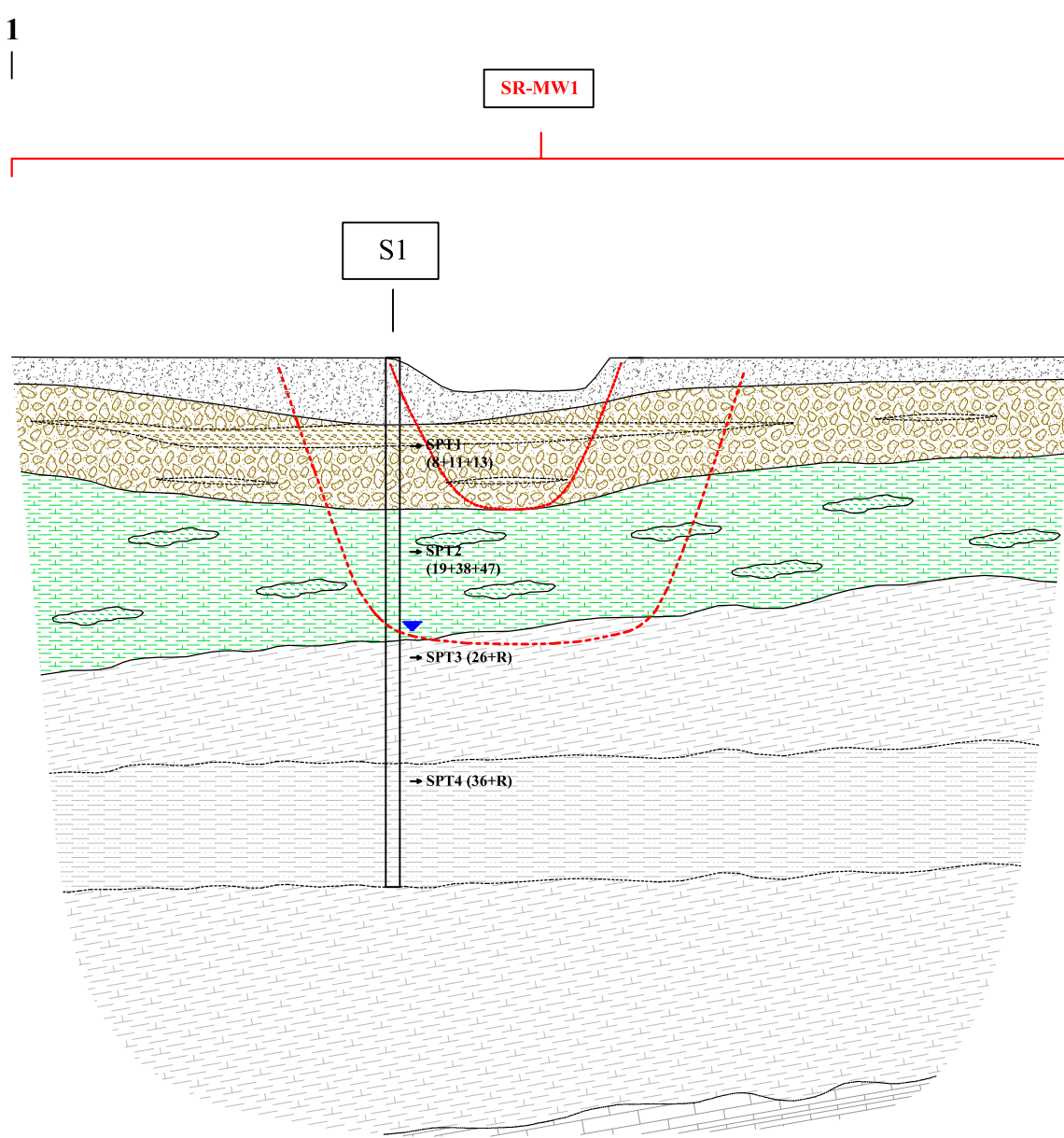
S1

Sondaggio geognostico a carotaggio continuo

S2

Sondaggio geognostico a carotaggio continuo con installato piezometro a tubo aperto

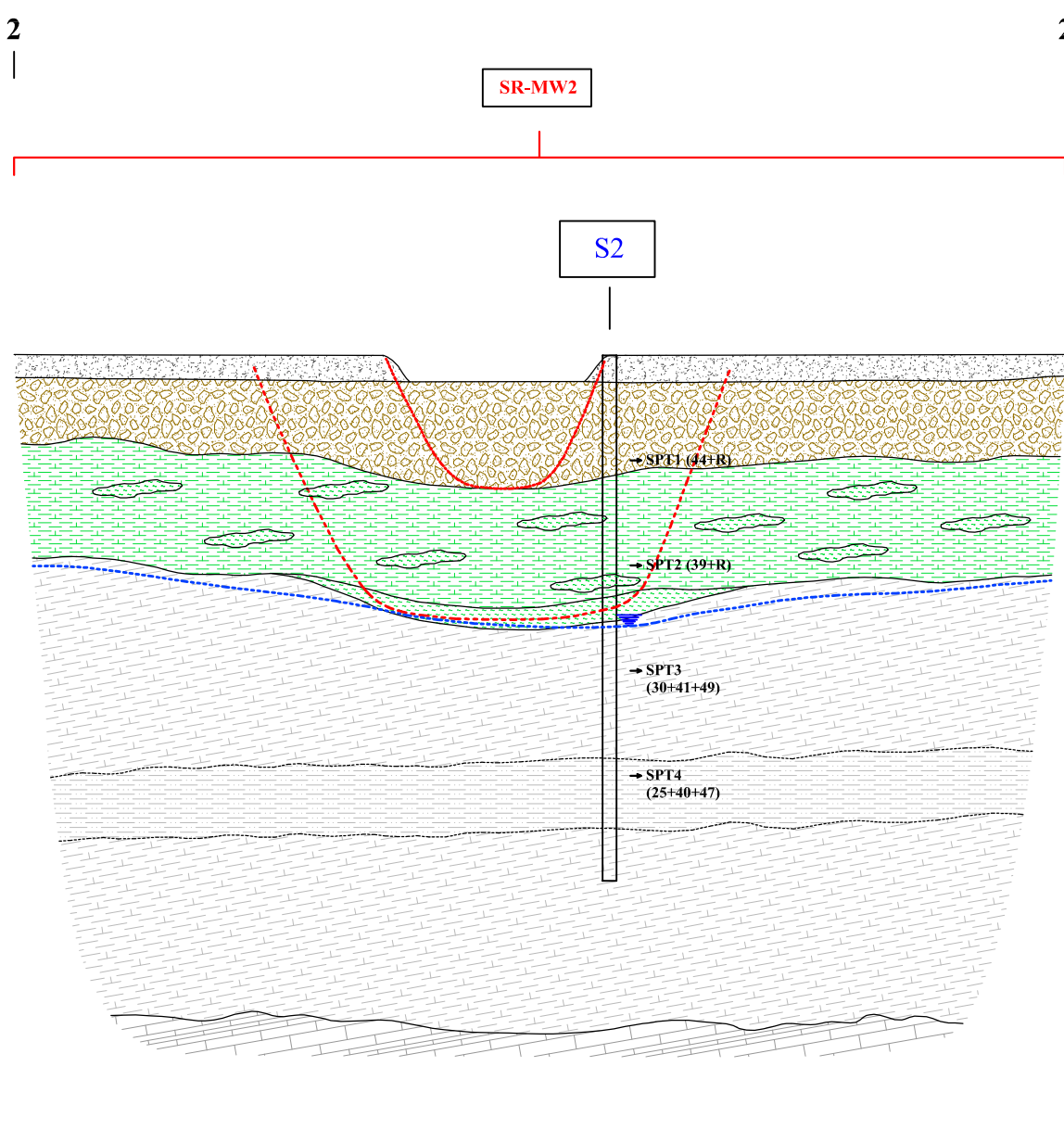
SEZIONE GEOTECNICA 1-1'



Quota rif. 324 m s.l.m.

Quota terreno (m s.l.m.)	330.00	328.00	326.00	324.00	322.00	320.00
Distanze parziali terreno (m)	21.40	25.65	31.96	33.76	26.25	
Progressive (m)		21.40	47.05	81.01	114.76	141.01

SEZIONE GEOTECNICA 2-2'



Quota rif. 324 m s.l.m.

Quota terreno (m s.l.m.)	330.00	328.00	326.00	324.00	322.00	320.00
Distanze parziali terreno (m)	21.40	25.65	31.96	33.76	26.25	
Progressive (m)		21.40	47.05	81.01	114.76	141.01

SEZIONE GEOTECNICA 3-3'

Modello geotecnico Frana km 17+000 (SEZ 1-1' e SEZ 2-2')									
Unità	Profondità (m)	Napt	e' (%)	c' (kPa)	cu (kPa)	γ (kN/m³)	Es (kPa)	μ	Vs (m/s)
1	0.0 - 1.9	75	33	18	63.00	18.5	20500	0.300	480
2	1.9 - 4.3	24	29	56	157.10	19.9	20200	0.300	430
3	4.3 - 8.0	85	25	90	190.00	20.3	95000	0.295	506
4a	8.0 - 11.5	90	27	150	250.00	20.5	115200	0.290	620
4b	11.5 - 13.5	85	26	105	175.00	20.3	87500	0.295	600
4c	13.5 - 19.5	90	27	150	250.00	20.5	115200	0.280	670
5	19.5 - 20.6	-	32	180	400.00	22	1.9E+05	0.270	780
substrato integro									

Quota rif. 320 m s.l.m.

Quota terreno (m s.l.m.)	320.00	318.00	316.00	314.00	312.00	310.00	308.00	306.00	304.00	302.00	300.00
Distanze parziali terreno (m)	5.30	5.47	8.35	7.69	9.60	11.16	3.27	5.36	4.23	5.28	6.75
Progressive (m)		5.30	10.77	19.12	26.81	36.41	47.57	52.93	57.16	62.44	69.19

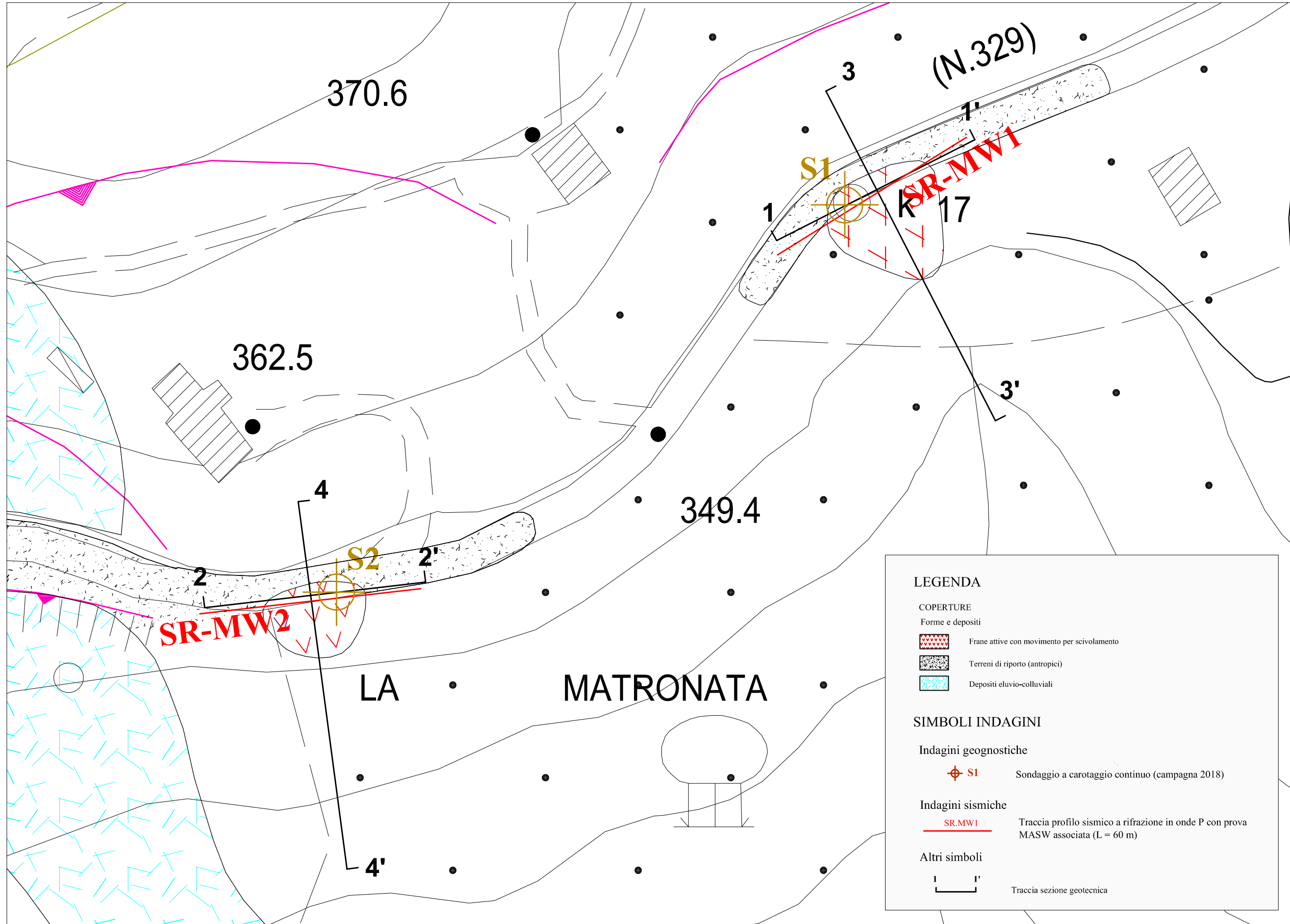
SEZIONE GEOTECNICA 4-4'

Modello geotecnico Frana km 16+800 (SEZ 3-3' e SEZ 4-4')									
Unità	Profondità (m)	Napt	e' (%)	c' (kPa)	cu (kPa)	γ (kN/m³)	Es (kPa)	μ	Vs (m/s)
1	0.00 - 0.80	75	33	18	63.00	18.5	20500	0.300	480
2	0.80 - 3.45	100	32	45	157.10	20.4	65000	0.300	520
3	3.45 - 7.60	55	28	75	210.00	20.3	77200	0.295	540
4a	7.60 - 11.50	90	30	140	250.00	21	115200	0.290	570
4b	11.50 - 15.00	85	29	120	175.00	20.5	104400	0.295	550
4c	15.00 - 22.00	90	30	140	250.00	21.2	115200	0.280	700
5	22.00 - 22.50	-	34	180	400.00	22	1.9E+05	0.270	750
substrato integro									

Quota rif. 315 m s.l.m.

Quota terreno (m s.l.m.)	315.00	313.00	311.00	309.00	307.00	305.00	303.00	301.00	299.00	297.00	295.00
Distanze parziali terreno (m)	6.07	6.82	7.42	10.07	11.66	5.28	7.15	2.11	4.66	2.28	4.06
Progressive (m)		6.07	12.89	20.31	30.38	42.04	47.25	49.36	54.02	56.30	60.36

Carta ubicazione sezioni e indagini attuali con le principali coperture detritiche- scala 1:1.000



LEGENDA

COBERTURE

Fiume e depositi

Frane attive con movimento per scivolamento

Terreni di riporto (antropici)

Depositi elio-solfidali

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)

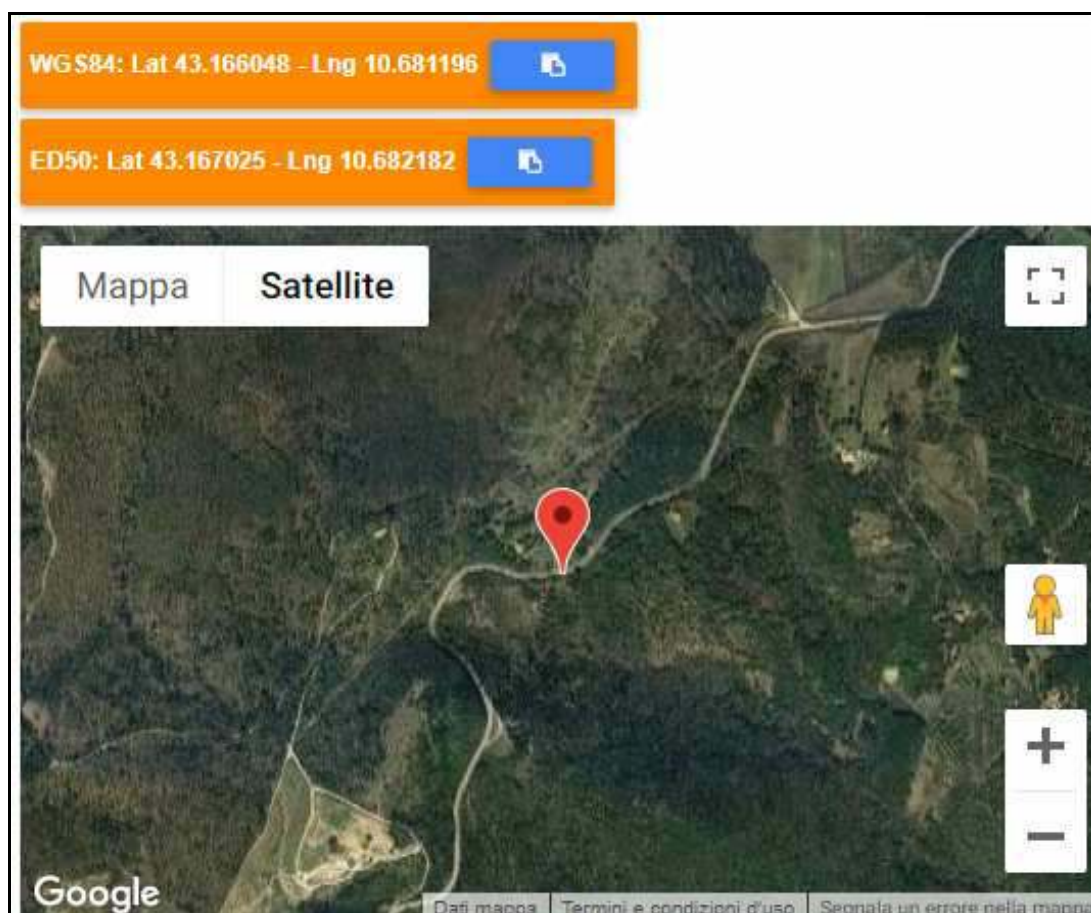
Altri simboli

Traccia sezione geotecnica

ALLEGATO 1

Parametri sismici, spettri elastici e spettri elastici 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: 43,167008
longitudine: 10,682163
Classe: 2
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 22714	Lat: 43,1509	Lon: 10,6800	Distanza: 1803,258
Sito 2 ID: 22715	Lat: 43,1525	Lon: 10,7484	Distanza: 5611,858
Sito 3 ID: 22493	Lat: 43,2025	Lon: 10,7462	Distanza: 6520,295
Sito 4 ID: 22492	Lat: 43,2009	Lon: 10,6776	Distanza: 3780,885

Parametri sismici

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

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 30 [anni]
ag: 0,034 g
Fo: 2,557
Tc*: 0,206 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,042 g
Fo: 2,566
Tc*: 0,224 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,095 g
Fo: 2,584
Tc*: 0,275 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,119 g
Fo: 2,594
Tc*: 0,282 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,200
Cc: 1,510
St: 1,200
Kh: 0,010
Kv: 0,005
Amax: 0,480
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,200
Cc: 1,480
St: 1,200
Kh: 0,012
Kv: 0,006
Amax: 0,588
Beta: 0,200

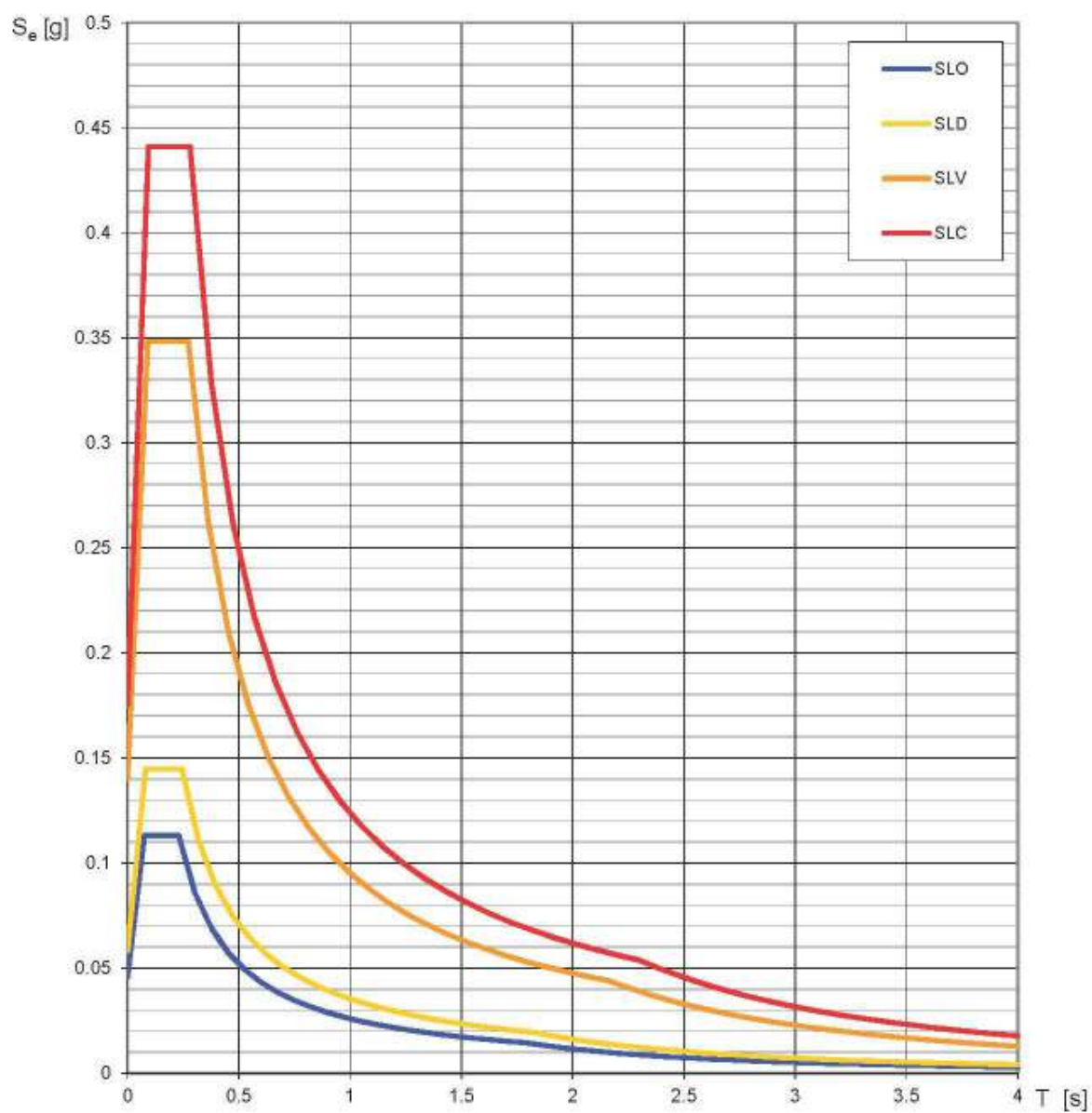
SLV:

Ss: 1,200
Cc: 1,420
St: 1,200
Kh: 0,027
Kv: 0,014
Amax: 1,338
Beta: 0,200

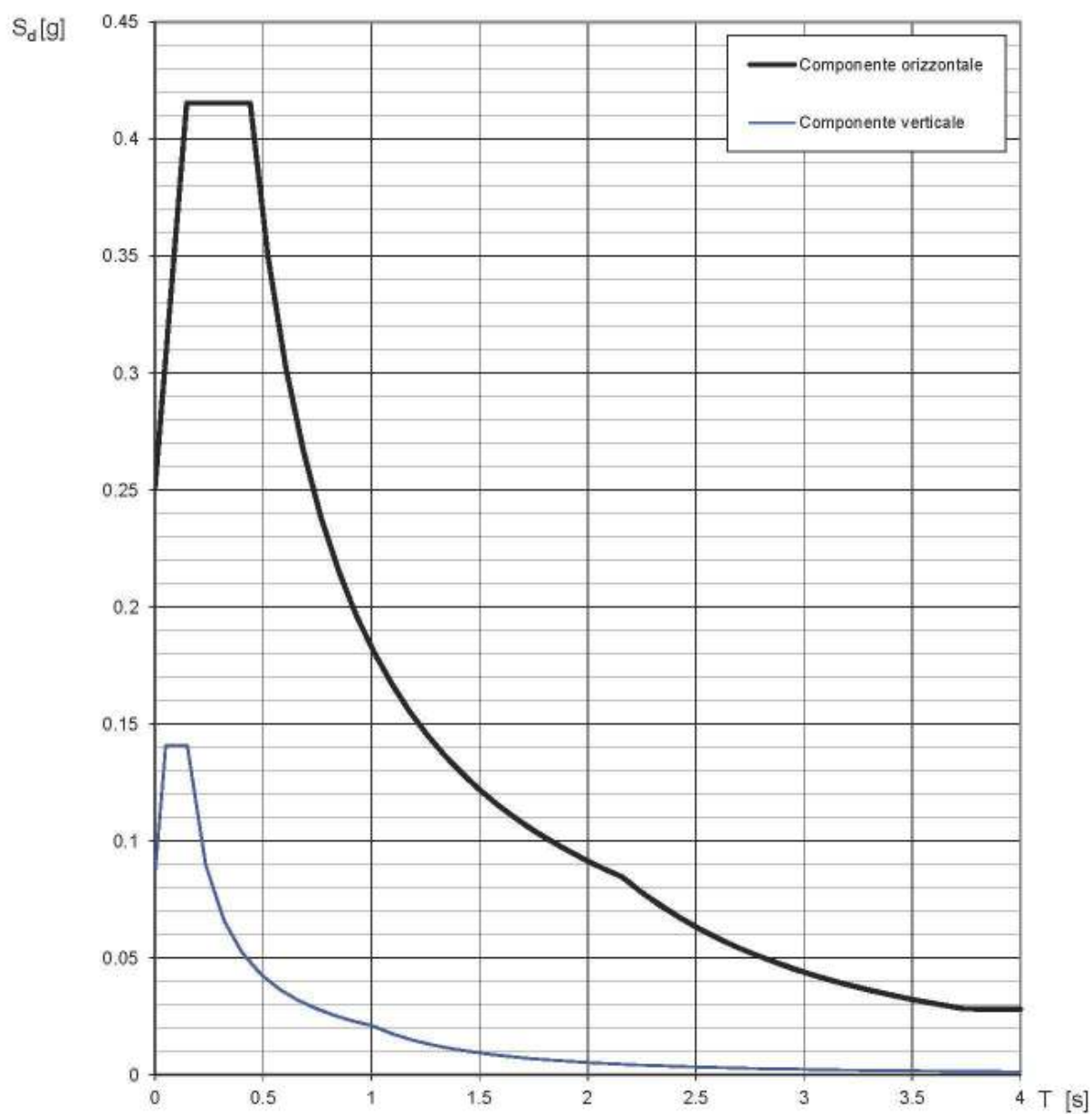
SLC:

Ss: 1,200
Cc: 1,420
St: 1,200
Kh: 0,041
Kv: 0,021
Amax: 1,677
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	0.095 g
F_0	2.584
T_c^*	0.275 s
S_s	1.200
C_c	1.425
S_T	1.200
q	1.500

Parametri dipendenti

S	1.440
η	0.667
T_B	0.130 s
T_C	0.391 s
T_D	1.979 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)

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

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	0.136
$T_B \leftarrow$	0.130	0.235
$T_C \leftarrow$	0.391	0.235
	0.467	0.197
	0.542	0.169
	0.618	0.149
	0.694	0.133
	0.769	0.120
	0.845	0.109
	0.920	0.100
	0.996	0.092
	1.072	0.086
	1.147	0.080
	1.223	0.075
	1.298	0.071
	1.374	0.067
	1.450	0.063
	1.525	0.060
	1.601	0.057
	1.676	0.055
	1.752	0.052
	1.828	0.050
	1.903	0.048
$T_D \leftarrow$	1.979	0.046
	2.075	0.042
	2.171	0.039
	2.268	0.035
	2.364	0.033
	2.460	0.030
	2.556	0.028
	2.653	0.026
	2.749	0.024
	2.845	0.022
	2.941	0.021
	3.038	0.020
	3.134	0.019
	3.230	0.019
	3.326	0.019
	3.423	0.019
	3.519	0.019
	3.615	0.019
	3.711	0.019
	3.808	0.019
	3.904	0.019
	4.000	0.019

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

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0.039 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	1.074
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]	Se [g]
	0.000	0.047
$T_B \leftarrow$	0.050	0.081
$T_C \leftarrow$	0.150	0.081
	0.235	0.052
	0.320	0.038
	0.405	0.030
	0.490	0.025
	0.575	0.021
	0.660	0.018
	0.745	0.016
	0.830	0.015
	0.915	0.013
$T_D \leftarrow$	1.000	0.012
	1.094	0.010
	1.188	0.009
	1.281	0.007
	1.375	0.006
	1.469	0.006
	1.563	0.005
	1.656	0.004
	1.750	0.004
	1.844	0.004
	1.938	0.003
	2.031	0.003
	2.125	0.003
	2.219	0.002
	2.313	0.002
	2.406	0.002
	2.500	0.002
	2.594	0.002
	2.688	0.002
	2.781	0.002
	2.875	0.001
	2.969	0.001
	3.063	0.001
	3.156	0.001
	3.250	0.001
	3.344	0.001
	3.438	0.001
	3.531	0.001
	3.625	0.001
	3.719	0.001
	3.813	0.001
	3.906	0.001
	4.000	0.001