

COMUNE DI MONTERIGGIONI

**PIANO ATTUATIVO DELL'AREA DI TRASFORMAZIONE URBANISTICA
TU20 IN LOCALITÀ SAN MARTINO (ART.31 NTA VARIANTE RU
VIGENTE CON APPROVAZIONE DEL C.C. N.32 DEL 9 MAGGIO 2018)**

**A5- RELAZIONE GEOLOGICA
A6- MODELLAZIONE SISMICA
A15 -MODELLAZIONE GEOTECNICA
ALLEGATI**

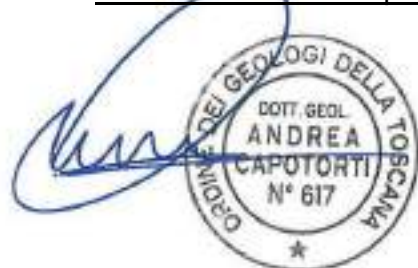
D. M. 17.01.2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni"

Richiedente:

**MASSINI & GORI SRL
VIA FRATELLI ALINARI N. 1
52025 MONTEVARCHI (AR)**

Siena, luglio 2022

GEOSOL s.r.l.
Dott. Geol. Andrea Capotorti



GEOSOL s.r.l.

Viale Europa 31
53100 Siena
Tel. 0577.44470
e-mail: studio@geosol.it
Partita IVA IT 00707530523
CCIAA Siena n. 85428
Isc. Trib. Siena n.6345 Vol.8133

numero archivio:
7330

RELAZIONE GEOLOGICA (A5)

PREMESSA

I seguenti elaborati sono redatti al fine di accertare la natura e la consistenza dei terreni su cui è prevista la realizzazione delle opere comprese nel piano di lottizzazione dell'area di trasformazione TU20, ai sensi dell'Art.31 di cui alle NTA della Variante al RU vigente con approvazione del C.C. n.32 del 9 maggio 2018: l'area oggetto dei lavori è situata in località San Martino nel territorio comunale di Monteriggioni (si veda l'ubicazione nei sottostanti estratti).



Estratto carta tecnica regionale (scala 1:5.000).



Planimetria generale - estratto DB topografico (scala 1:2.000).



Ortofoto (scala 1:2.000)

1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata effettuata secondo quanto previsto dalle seguenti normative:

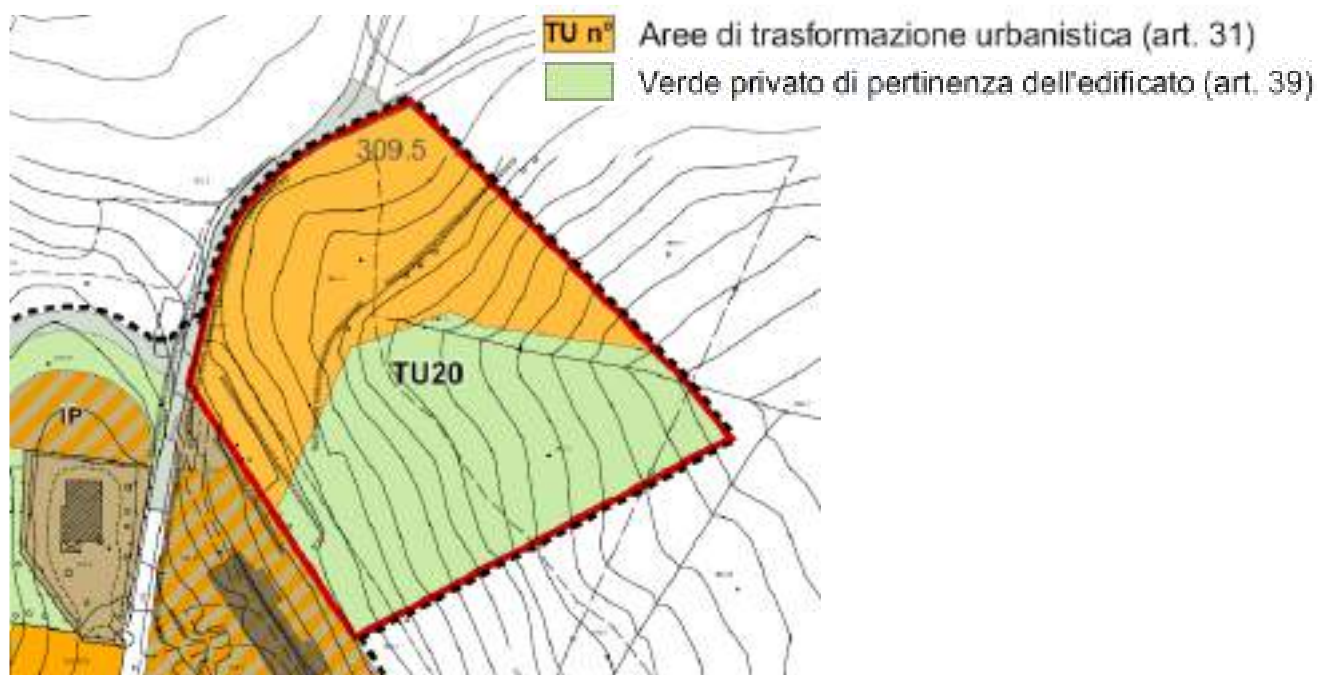
- **PS, variante al PS e RU** del Comune di Monteriggioni;
 - ✓ **Legge Regionale 10 novembre 2014, n.65 e s.m.i.** – *Norme per il governo del territorio.*
 - ✓ **L.R. 24 luglio 2018, n.41** - *Disposizioni in materia di rischio di alluvioni e di tutela dei corsi d'acqua in attuazione del decreto legislativo 23 febbraio 2010, n. 49 (Attuazione della direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione dei rischi di alluvioni). Modifiche alla l.r. 80/2015 e alla l.r. 65/2014.*
 - ✓ **D.P.G.R. 30 gennaio 2020, n.5/R** – *Regolamento di attuazione dell'articolo 104 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio) contenente disposizioni in materia di indagini geologiche, idrauliche e sismiche.*
 - ✓ **D.P.G.R. 03 aprile 2020, n.4961** – *Approvazione modulistica ai sensi del comma 2 dell'art.16 del DPGR 30.01.2020, n.5/R;*
- **Decreto Ministeriale 17.01.2018:** Aggiornamento delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” (supplemento ordinario alla Gazzetta Ufficiale n. 42 del 20 febbraio 2018);
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:** Istruzioni per l'applicazione delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008 - Circolare del 2 febbraio 2009;
- **Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici:** Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale – Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007;
- **D.P.G.R. 9 gennaio 2011, n. 1/R** “Regolamento di attuazione dell'articolo 181 della legge regionale 10 novembre 2014, n. 65 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento dell'attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico;
- **Allegato 1 – art.5 Regolamento 1R/2022** - Linee guida sulle tipologie e classi di indagini geologiche, geofisiche e geotecniche da allegare ai progetti da presentare ai sensi dell'art. 3 del Reg.1R/2022.

Per quanto riguarda gli aspetti sismici il documento si attiene al D.G.R.T. n°431 del 19 giugno 2006 in attuazione al D.M. del 14 settembre 2005 e O.P.C.M. n°3519 del 28 aprile 2006 ed alla **Del. GRT n° 878 del 8/10/2012** (pubblicata su BURT Parte Seconda n. 43 del 24.10.2012 Supplemento n.136); in base a tale normativa tutto il territorio regionale viene considerato sismico e distinto in differenti zone sulla base del differente grado di pericolosità di base.

2. VINCOLISTICA

L'area in studio **non ricade** all'interno delle aree sottoposte a vincolo idrogeologico ai sensi del R.D.L. n.3267 del 30/12/1923 e successive modifiche, come visibile dal seguente estratto della carta dei vincoli da Geoscopio della Regione Toscana.

3. INTERVENTO IN PROGETTO

Area **TU 20** Località **San Martino**

7330

INVARIANTI. Mantenimento della percettibilità degli elementi caratterizzanti la maglia agraria (filari alberati esistenti, emergenze poderali esistenti).

OBIETTIVI. In coerenza con l'art. 55 di P.S. l'obiettivo è quello di prevedere una moderata espansione dell'edificato della frazione che consenta uno sviluppo abitativo funzionale al mantenimento dei servizi essenziali per una buona qualità della vita. L'intervento, a basso impatto paesaggistico, dovrà architettonicamente riconfigurare il fronte costruito esistente che risulta in contrasto con il resto della frazione.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO ED INDICAZIONI DI INSERIMENTO PAESAGGISTICO. Edificazione periurbana: il comparto si pone in continuità con il PEEP di San Martino a cui la nuova edificazione dovrà relazionarsi. In tal senso la progettazione dovrà essere rispettosa degli allineamenti con il tessuto esistente il tracciato stradale.

STRUMENTO DI ATTUAZIONE. Intervento mediante Piano Attuativo, con le prescrizioni di cui all'elaborato di coerenza con il PTCP di Siena, secondo i contenuti richiamati dall'art. 13.14, comma 6, della disciplina del PTCP.

FUNZIONI. Quelle di cui all'art. 29 (Tessuti consolidati omogenei/eterogenei).

PARAMETRI URBANISTICI. Tipologia abitazioni in linea o a schiera; SUN 2.800 mq; SUL 3.220 mq, Vm mc 9.660, n° dei piani massimo 3 fuori terra oltre garage interrati.

PRESCRIZIONI PARTICOLARI. L'intervento, a carico dei lottizzanti, è subordinato alla progettazione di massima della strada a doppio senso di marcia di collegamento con Fornacelle e alla progettazione e realizzazione della strada a senso unico di circonvallazione delle scuole con collegamento a Via delle Nazioni Unite.

Il progetto prevede la realizzazione di nuovi fabbricati disposti secondo il piano di lottizzazione nell'appezzamento incolto a varie quote e su più livelli.

I fabbricati, destinati ciascuno a più unità abitative, avranno forma circa rettangolare in pianta, con dimensioni massime di circa 13.60 m x 23.10 m e massima altezza pari a circa 12.00 m: le nuove volumetrie saranno fuori terra e semi interrate e nei resedi dei fabbricati saranno realizzate aree a parcheggio ed aree a verde privato.

Ai fine della costruzione di quanto in progetto, sono previsti sbancamenti raggiungenti un'altezza massima di 7.00 m ed operazioni di riporto aventi altezza massima di 5.00 m.

○ CLASSE D'INDAGINE

L'intervento in progetto ricade nella seguente classe di indagine, in relazione alle tipologie e classi di indagini geologiche, geofisiche e geotecniche definite dall'Allegato 1 delle Linee guida del Regolamento 1R/2022:

→ **Classe di indagine 4**, riferita ad opere di volume totale superiore a 6000 metri cubi o, in ogni caso, sempre per opere di volume, se l'altezza in gronda è superiore a venti metri. Nell'ambito di tale classe, sono effettuate le seguenti indagini:

a) per la determinazione dell'azione sismica, una campagna d'indagine sismica di superficie, ai sensi di quanto definito al paragrafo 2, punto 2, lettera b) e la realizzazione di una prova geofisica nel foro di sondaggio o, alternativamente, una prova penetrometrica statica con cono sismico (ad esempio SCPTU), per terreni scarsamente consistenti;

b) per la parametrizzazione del volume geotecnico significativo, ai sensi di quanto definito al paragrafo 2, punto 2, lettere a) e c), almeno 3 verticali di indagine di cui una è rappresentata da un sondaggio geognostico a carotaggio continuo con prelievo di campioni indisturbati su cui realizzare idonee prove sulle terre e sulle rocce presso laboratori compresi nell'elenco di cui al servizio tecnico centrale del Consiglio superiore dei lavori pubblici. Nel caso in cui la litologia non permetta di prelevare campioni indisturbati, sono eseguite almeno prove penetrometriche in foro di tipo SPT. In presenza di problematiche di versante sono altresì

prodotte verifiche di stabilità del pendio e del complesso opera-pendio. Sono da prevedere anche misure piezometriche della falda. All'interno del foro di sondaggio, è eseguita una prova geofisica in foro per la caratterizzazione di almeno 30 metri di profondità o comunque di una profondità di indagine idonea a caratterizzare i terreni posti al di sopra del bedrock sismico se posto ad una profondità inferiore a m 30, o alternativamente, prova penetrometrica statica con cono sismico (ad esempio SCPTU), per terreni scarsamente consistenti, per la caratterizzazione di almeno 30 metri di profondità.

Per interventi ricadenti nella presente classe d'indagine, salvo che essi ricadano in comuni classificati in zona sismica 4, e per le aree classificate dallo strumento urbanistico in classe di pericolosità sismica medio-elevata (S3) per motivi connessi all'elevata amplificazione sismica, la valutazione dell'azione sismica è supportata da specifiche analisi di risposta sismica locale (ai sensi della normativa tecnica emanata in attuazione dell'articolo 83 del d.p.r.380/2001). In tali casi è necessaria una adeguata ricostruzione sismostratigrafica del sito per uno spessore compreso dal piano di posa delle fondazioni fino al substrato sismico. L'analisi di risposta sismica locale è effettuata in assetto monodimensionale o bidimensionale, a seconda dell'assetto sepolto e morfologico del sito, come meglio descritto dalla normativa tecnica di riferimento emanata in attuazione dell'articolo 83 del d.p.r.380/2001. In alternativa, tali analisi possono condurre, mediante confronto, ad una cautelativa identificazione dello spettro di categoria di sottosuolo, purché esso comprenda interamente lo spettro ricavato dall'analisi di risposta sismica locale, nell'ambito dei periodi di interesse della struttura. Modalità di realizzazione e rappresentazione delle analisi di risposta sismica locale sono consultabili nel documento "Indicazioni sulla realizzazione e rappresentazione delle analisi di risposta sismica locale per la progettazione in Regione Toscana" redatto dal Settore Sismica della Regione Toscana e reperibile sul portale WEB regionale dedicato. Per interventi che ricadono in comuni classificati in zona sismica 4 non è obbligatoria la realizzazione della prova geofisica in foro e può essere sufficiente una campagna d'indagine sismica di superficie ai sensi del punto 1.4 lett. a).

In relazione a tale classe d'indagine ed alle caratteristiche delle opere in progetto, in base a quanto definito dall'Allegato 1 delle Linee guida del Regolamento 1R/2022, in relazione all'interazione terreno-struttura e in base alla conoscenza geologica dell'area, si è ritenuto idoneo, per l'area in esame, usufruire delle indagini pregresse (sondaggi geognostici a carotaggio continuo indagine 2010, prove penetrometriche dinamiche DPSH indagine 2010, indagine sismica in foro down-hole indagine 2010) ed integrarle con ulteriori indagini geognostiche (prove penetrometriche dinamiche DPSH) e nuove indagini sismiche (indagine sisma rifrazione in onde P, MASW e tromometrie).

4. CLASSE D'USO E COEFFICIENTE D'USO

L'intervento in progetto ricade nella seguente classe d'uso definita dal Decreto Ministeriale 17.01.2018:

- Classe d'uso II: costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.

A ciascuna classe d'uso è affidato un valore del coefficiente d'uso C_u che varia in funzione della classe d'uso, in base alla tab. 2.4.II:

Tab. 2.4.II – Valori del coefficiente d'uso C_u

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_u	0,7	1,0	1,5	2,0

Pertanto all'intervento in progetto si assegna il seguente coefficiente d'uso C_u :

- Coefficiente d'uso C_u : 1,0.

5. TIPO DI COSTRUZIONE E PERIODO DI RIFERIMENTO PER L'AZIONE SISMICA

L'intervento in progetto ricade nel seguente tipo di costruzione definita dal Decreto Ministeriale 17.01.2018 Tab. 2.4.I:

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

- Tipo di costruzione 2: Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari (Valore minimo di Vita Nominale $V_N=50$ anni).

Per valutare le azioni sismiche sulle costruzioni in relazione ad un periodo di riferimento V_R , per ciascun tipo di costruzione, si moltiplica la vita nominale di progetto V_N per il coefficiente d'uso C_u :

$$\text{Periodo di riferimento per l'azione sismica } V_R = V_N \times C_u.$$

Pertanto, per l'intervento in progetto, si ottiene il seguente valore di V_R :

- Periodo di riferimento per l'azione sismica V_R : 50 anni.

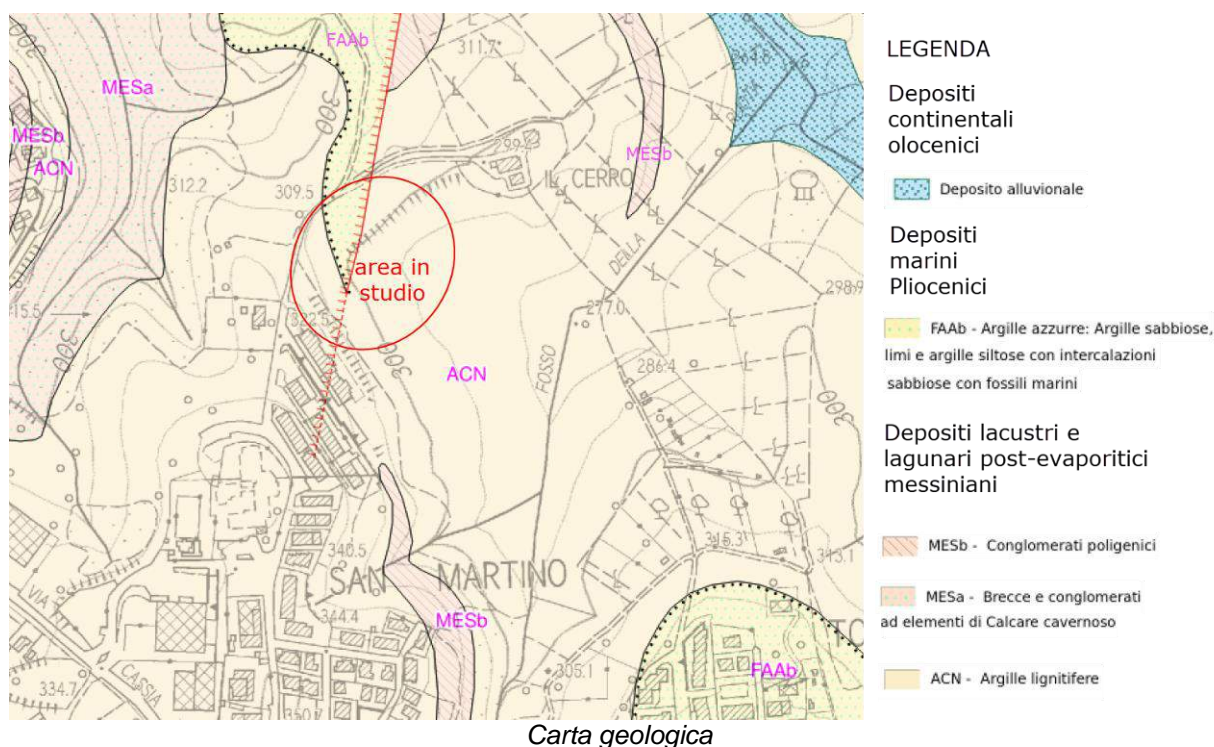
6. QUADRO SINOTTICO RIASSUNTIVO

Per l'intervento in progetto si riporta il seguente quadro sinottico riassuntivo:

Classe di uso edificio e periodo di riferimento per azione sismica	
Tipo di costruzione	2
Vita nominale V_N	50 anni
Classe d'uso dell'edificio	II
Coefficiente d'uso C_u	1,0
Periodo di riferimento per l'azione sismica V_R	50 anni

INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Allo scopo di evidenziare le caratteristiche geologiche, è stato eseguito un rilevamento di dettaglio che ha interessato il sito in studio ed una zona circostante.



Come indicato nella precedente carta geologica, l'area in studio è interessata per lo più dai sedimenti appartenenti ai depositi lacustri e lagunari post-evaporitici messiniani che rappresentano la formazione delle Argille lignifere (ACN) all'interno della quale si rinvengono lenti e livelli di altre formazioni sempre appartenenti allo stesso dominio (Conglomerati poligenici MESb e Breccie e conglomerati ad elementi di Calcare cavernoso MESa); inoltre, nella zona più a monte, si trovano i sedimenti marini pliocenici formati da argille sabbiose, limi e argille siltose (FAAb).

In successione geometrica, a partire dall'alto verso il basso, si incontrano le seguenti unità litostratigrafiche:

COMPLESSO NEOAUTOCTONO

Tale complesso è costituito da depositi marini del Pliocene inferiore che rappresentano il prodotto di una ripresa di sedimentazione dopo la fine dei movimenti traslativi che caratterizzarono l'ultima fase tettonogenetica (Fase Tortoniana) nel versante tirrenico dell'Appennino settentrionale e giacciono in discordanza sul Complesso delle formazioni di facies Toscana.

Ciclo Marino Pliocenico

Argille sabbiose, limi e argille siltose con intercalazioni sabbiose con fossili marini (FAAb)

La porzione basale dei depositi marini pliocenici è costituita da sedimenti più o meno fini in assetto stratificato o lentiforme come nel caso di facies più grossolane, che testimoniano la progressiva diminuzione della profondità marina. In tal senso si trova la Formazione delle argille sabbiose, limi e argille siltose con intercalazioni sabbiose, di colore variabile da nocciola a grigio, localmente fossilifere con malacofauna costituita da lamellibranchi, gasteropodi e ostreidi (età Pliocene inf.).

Ciclo Continentale Miocenico

I depositi appartenenti a questo ciclo stratigrafico, conosciuto come Lacustre Superiore, giacciono in netta discordanza angolare su quelli del ciclo sottostante e non sono interessati da alcun corrugamento. I sedimenti sono stati attribuiti al Messiniano superiore.

Conglomerati poligenici (MESb)

Si tratta di conglomerati e paraconglomerati fluvio-lacustri costituiti da elementi eterometrici, da subangolosi a subarrotondati, immersi in matrice argilloso-sabbiosa. La composizione litologica molto eterogenea è strettamente legata a quella delle formazioni affioranti in corrispondenza dei rilievi posti ai margini del bacino di sedimentazione (età Turoliano sup.).

Brecce e conglomerati ad elementi di Calcare cavernoso (MESa)

Nella precedente letteratura questa formazione faceva parte della “Breccia di Grotti”. Si tratta di un deposito dovuto ad un processo d'alterazione e rielaborazione della sottostante Formazione del Calcare Cavernoso. E' costituito da una breccia poco cementata formata da clasti a spigoli vivi e mal classati di calcare cavernoso e di dolomie tipo grezzone. Subordinatamente possono essere presenti ciottoli di anageniti e quarziti del Verrucano e, più raramente, elementi rocce verdi provenienti dalle Liguridi (Gabbro). La matrice, talvolta abbondante, è di natura sabbioso-limosa prevalentemente calcarea; sono presenti, intercalati alla breccia, tasche limo-argillose residuali. In essa sono comuni concrezioni calcaree, calcinelli, ecc. (età Miocene sup.).

Argille lignitifere (ACN)

Nella precedente letteratura questa formazione faceva parte delle “Argille del Casino”. Si tratta di un sedimento di origine lacustre, costituito da argille grigie a cui si intercalano lenti o livelli marnosi suddivisi in lamine millimetriche. In questo sedimento argilloso marnoso sono contenuti banchi di lignite, in forma di lenti di lenti più o meno estese, di potenza normalmente non superiore ai 2 - 3 metri (età Miocene sup.).

CARATTERISTICHE GEOMORFOLOGICHE

Dal punto di vista morfologico il sito di futura edificazione è posto a quote comprese tra 317 e 287 m s.l.m.: il profilo morfologico degrada dal crinale su cui si trova la viabilità che porta da San Martino a Podere Il Cerro, verso il Fosso della Ruota a sud est, con pendenze dell'ordine del 12-16%.

Le osservazioni di campagna effettuate nell'area in studio non hanno evidenziato tracce d'erosione anomala da parte delle acque superficiali: nell'area oggetto dei lavori non sono presenti movimenti gravitativi di versante in atto, quiescenti e/o paleofrane.

Più a sud dell'area di edificazione, nella porzione opposta del versante, la carta geomorfologica della variante al PS vigente, di cui se ne riporta un estratto qui di seguito, indica la presenza di soliflussi e di un'area in frana quiescente per scivolamento: si fa presente che le nuove volumetrie previste dal piano di lottizzazione non interesseranno tale zona.



Estratto carta geomorfologica (PS vigente).

CARATTERISTICHE IDROLOGICHE ED IDROGEOLOGICHE

L'idrologia dell'area non presenta problematiche degne di particolare rilievo: poiché la zona è situata in aperta campagna, le acque meteoriche sono raccolte ed allontanate tramite fossetti di regimazione idraulica superficiale verso valle senza generare forme d'erosione accentuate o zone di ristagno, negli impluvi minori confluenti nel Fosso della Ruota che scorre più a est.

Per quanto concerne le caratteristiche idrogeologiche i terreni presenti sono caratterizzati da permeabilità variabile da nulla a media in corrispondenza dei livelli aventi maggiore granulometria, pertanto influenzata sia dalla quantità di matrice limo-argillosa del deposito che dalla presenza di lenti conglomeratiche, ghiaiose e sabbiose.

L'assetto idrogeologico sopra descritto può favorire la circolazione idrica confinata dagli orizzonti a composizione argillosa, nei livelli più permeabili (sabbioso ghiaiosi e conglomeratici) con formazione di stillicidi sospesi e posti a quote diverse, generalmente poco produttivi e strettamente correlati alla continuità e spessore degli strati permeabili.

Durante la campagna geognostica sono stati installati nei fori delle penetrometrie, dei piezometri a tubo aperto nei quali è stata verificata l'eventuale presenza di acqua; inoltre, è presente il piezometro disposto in corrispondenza del sondaggio pregresso S3: i risultati ottenuti sono riportati nella seguente tabella.

Piezometro	Quota livello acqua (m dal piano di campagna)
	17/05/2022
DPSH1	Non rilevata
DPSH2	Non rilevata
DPSH3	-9.90m
DPSH4	Non rilevata
DPSH5	Non rilevata

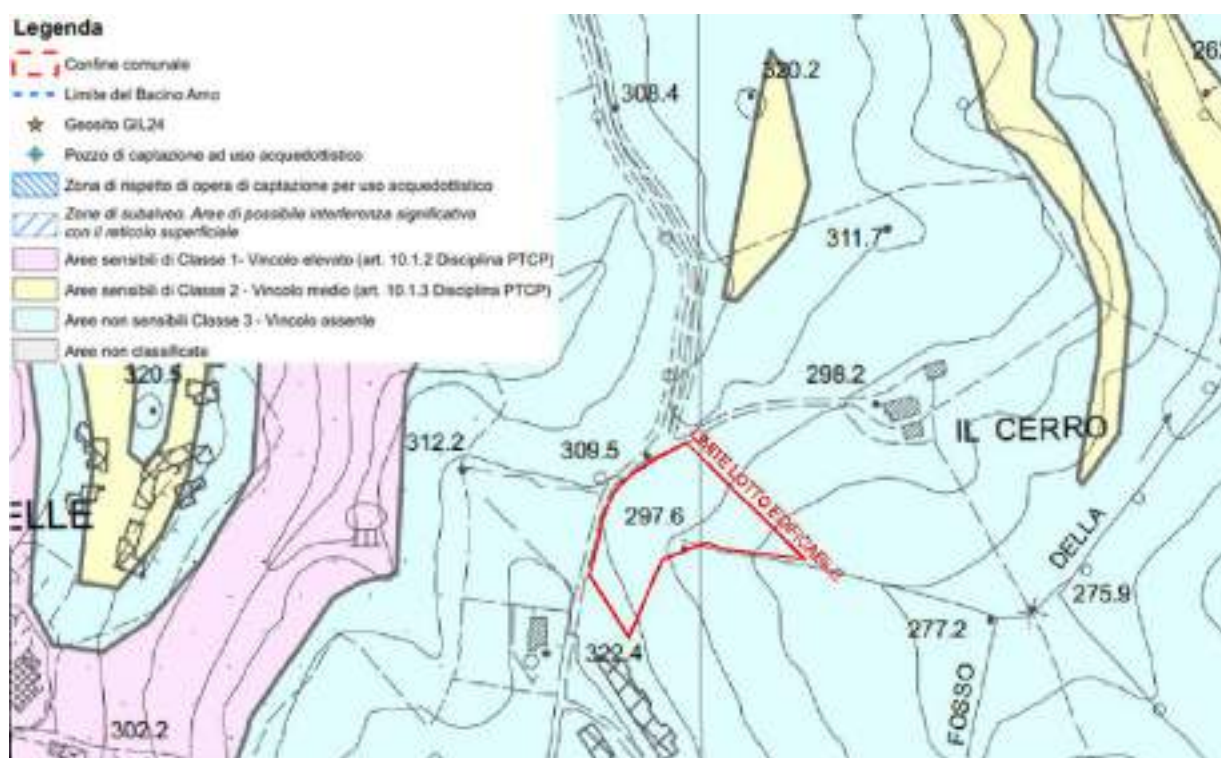
Piezometro	Quota livello acqua (m dal piano di campagna)
	17/05/2022
DPSH6	-9.20m (fondo foro)
DPSH7	Non rilevata
DPSH8	Non rilevata
S3	-9.00m

1. COMPATIBILITÀ IDROGEOLOGICA CON LE FALDE ACQUIFERE

Per quanto concerne la compatibilità idrogeologica dell'intervento previsto con le falde acquifere profonde, è stata valutata anche la compatibilità con gli strumenti urbanistici esistenti (Piano Strutturale e PTC 2010).

➤ PIANO STRUTTURALE

Si riporta qui di seguito l'estratto della carta delle aree sensibili del PS vigente, dalla quale si evince che l'area in studio **non è interessata da sensibilità di Classe 1 o 2 (nessun vincolo)**.



Estratto carta delle aree sensibili (variante PS).

➤ PTC 2010 APPROVATO CON D.C.P. N. 124 DEL 14/12/2011

Si riporta un estratto della Carta della Sensibilità degli acquiferi ST IG1, da cui si evince che l'area in studio **non rientra nelle aree a vincolo con Grado di Sensibilità 1 o 2 (nessun vincolo)**.



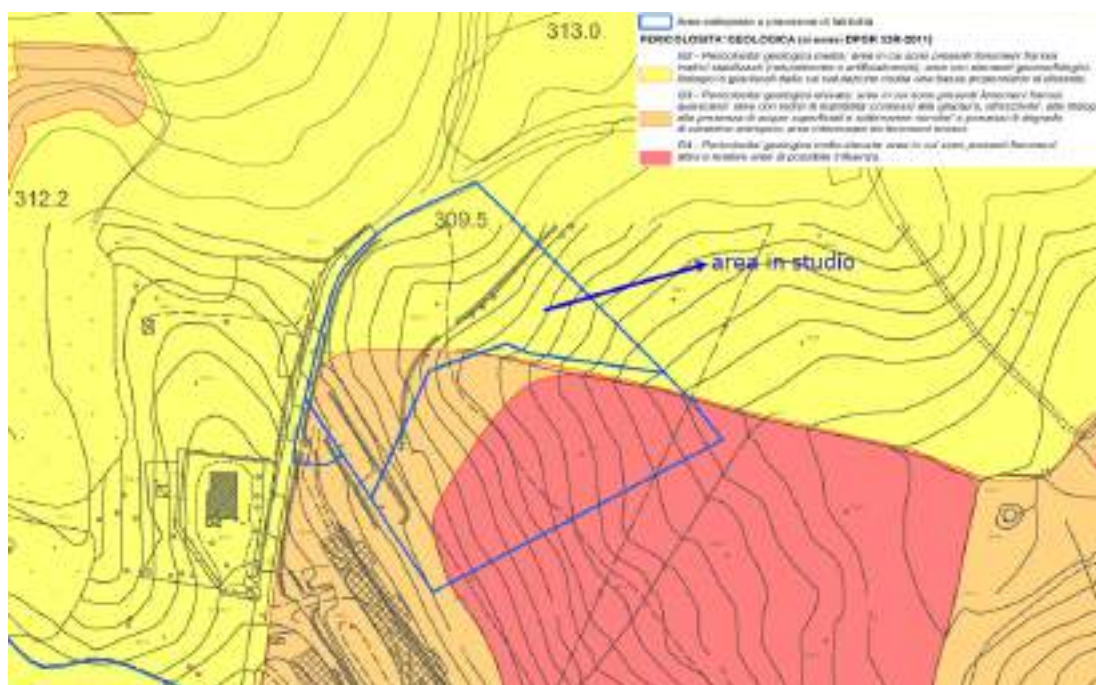
Estratto carta della sensibilità degli acquiferi del PTCP (non in scala).

Pertanto, si ritiene che la realizzazione delle opere in progetto, sia compatibile con quanto previsto dalle NTA comunali e con la disciplina del PTCP 2010.

CONSIDERAZIONI SULLA PERICOLOSITA' DELL'AREA E FATTIBILITA' DELL'INTERVENTO

○ PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

Si riporta qui di seguito l'estratto della carta della pericolosità geologica della variante al PS vigente.



Carta della pericolosità geologica (estratto variante PS vigente)

Dalla cartografia si evince che l'area in cui verranno realizzate gli edifici è interessata dalle seguenti classi di pericolosità geologica:

• CLASSE G.2 - PERICOLOSITÀ GEOLOGICA MEDIA

Aree in cui sono presenti fenomeni franosi inattivi e stabilizzati naturalmente o artificialmente; aree con elementi geomorfologici, litologici e giacaturali dalla cui valutazione risulta una bassa propensione al dissesto; corpi detritici su versanti con pendenze inferiori al 25%.

• CLASSE G.3 - PERICOLOSITÀ GEOLOGICA ELEVATA

Aree in cui sono presenti fenomeni quiescenti; aree con potenziale instabilità connessa alla giacitura, all'acclività, alla litologia, alla presenza di acque superficiali e sotterranee, nonché a processi di degrado di carattere antropico; aree interessate da intensi fenomeni erosivi e da subsidenza; aree caratterizzate da terreni con scadenti caratteristiche geotecniche; corpi detritici su versanti con pendenze superiori al 25%.

○ PERICOLOSITÀ IDRAULICA

Si riporta qui di seguito l'estratto della carta della pericolosità idraulica della variante al PS vigente, dalla quale si evince che l'area in studio è interessata dalla seguente classe di pericolosità:

• CLASSE I.1 - PERICOLOSITÀ IDRAULICA BASSA

Aree collinari prossime ai corsi d'acqua per le quali ricorrono le seguenti condizioni:

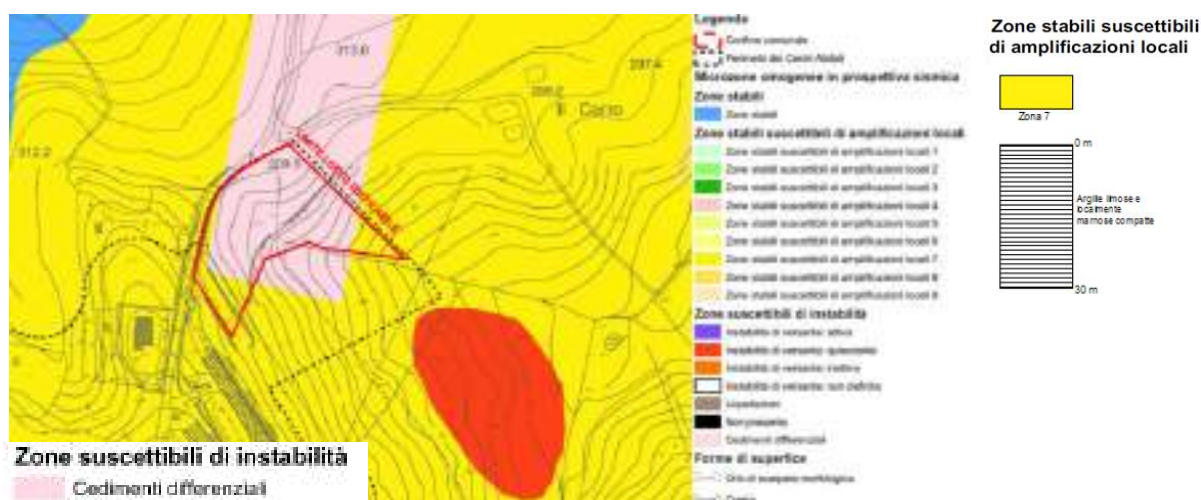
- a) non vi sono notizie storiche di precedenti inondazioni;
- b) sono in situazioni favorevole di alto morfologico, di norma a quote altimetriche superiori a 2.00 m rispetto il piede esterno dell'argine o del ciglio di sponda del corso d'acqua più vicino.



Carta della pericolosità idraulica (estratto variante PS vigente)

○ PERICOLOSITÀ SISMICA

Si riporta qui di seguito un estratto della carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica della variante al PS vigente, dalla quale si evince che nella zona oggetto dei lavori è presente una zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (zona 7) e una zona suscettibile di instabilità per cedimenti differenziali:

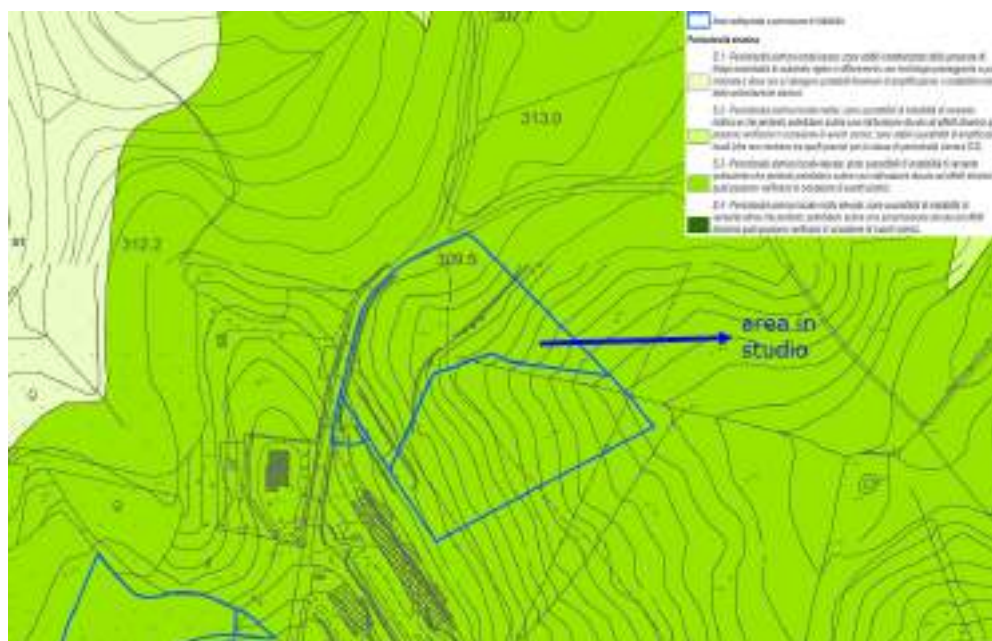


- Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali → zona 7: argille limose e localmente marnose compatte;
- Zona suscettibile di instabilità → cedimenti differenziali.

Si riporta qui di seguito l'estratto della carta della pericolosità sismica della variante al PS vigente, dalla quale si evince che l'area in studio è interessata dalla seguente classe di pericolosità:

• CLASSE S.3- PERICOLOSITÀ SISMICA ELEVATA

Zone suscettibili di instabilità di versante quiescente che pertanto potrebbero subire una riattivazione dovuta ad effetti dinamici quali possono verificarsi in occasione di eventi sismici; zone con terreni di fondazione particolarmente scadenti che possono dar luogo a cedimenti diffusi; terreni suscettibili di liquefazione dinamica; zone di contatto tra litotipi con caratteristiche fisico meccaniche significativamente diverse; aree interessate da deformazioni legate alla presenza di faglie attive e faglie capaci (faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie); zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzate da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro alcune decine di metri.



Carta della pericolosità sismica (estratto variante PS vigente)

○ PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA AI SENSI DEI PIANI DI BACINO PAI

Si riporta la valutazione sulla compatibilità di quanto in progetto con le indicazioni del Piano per l'Assetto Idrogeologico: si allega l'estratto della carta della pericolosità per dissesti geomorfologici ai sensi del PAI redatto dell'Autorità di Bacino distrettuale dell'Appennino Settentrionale – Bacino Fiume Arno, dalla quale si evince che nella zona oggetto dei lavori non sono presenti le classi di pericolosità geomorfologica P2, P3a, P3b e P4.



Estratto carta della pericolosità geomorfologica del PAI

○ PIANO DI GESTIONE DEL RISCHIO ALLUVIONI

Nella zona in studio, per l'analisi del rischio e la pericolosità idraulica, è vigente Il Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA) ai sensi della Direttiva 2007/60/CE relativa alla valutazione e alla gestione del rischio di alluvioni, recepita nell'ordinamento italiano con il Decreto Legislativo 23 febbraio 2010 n. 49.

Le aree con pericolosità da alluvione fluviale sono rappresentate su tre classi (art.6 della disciplina di piano del PGRA):

- pericolosità da alluvione elevata (P3): corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno minore/uguale a 30 anni;
- pericolosità da alluvione media (P2): corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno maggiore di 30 anni e minore/uguale a 200 anni;
- pericolosità da alluvione bassa (P1): corrispondenti ad aree inondabili da eventi con tempo di ritorno superiore a 200 anni e comunque corrispondenti al fondovalle alluvionale.

Dalla sottostante carta (da geoscopio Regione Toscana, direttiva alluvioni), si evidenzia che l'area in studio non è interessata da pericolosità da alluvione P1, P2 o P3.



Estratto della pericolosità da frana ai sensi del PAI Arno

○ FATTIBILITÀ

In relazione alle classi di pericolosità geologica, idraulica e sismica degli strumenti urbanistici, per l'area di lottizzazione TU20, è stata prodotta la carta della fattibilità in cui sono state assegnate le seguenti classi di fattibilità (si veda seguente estratto):

- *fattibilità geologica: FG3 fattibilità geologica condizionata; FG1 fattibilità geologica senza particolari limitazioni;*
- *fattibilità idraulica: FI1 fattibilità idraulica senza particolari limitazioni;*
- *fattibilità sismica: FS3 fattibilità sismica condizionata; FS1 fattibilità sismica senza particolari limitazioni.*

Area TU 20 Località San Martino

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO. Edificazione in area di frangia.

STRUMENTO DI ATTUAZIONE. Intervento diretto.

FUNZIONI. Quelle di cui all'art. 29 delle NTA.

PARAMETRI URBANISTICI. Tipologia abitazioni in linea o a schiera, SUN mq 2800 Vm mc 9660, n° dei piani massimo 3 fuori terra oltre garage interrati.

CONDIZIONI DI PERICOLOSITA'. Pericolosità geologica G.2/G.3, pericolosità idraulica I.1, pericolosità sismica S.3.

PERIMETRAZIONI PAI ARNO. Nessuna.

TUTELA ACQUIFERI. Non sensibile.

FATTIBILITA'. Fattibilità geologica FG3, fattibilità idraulica FI1, fattibilità sismica FS3.

PRESCRIZIONI: Nell'area è presente una scarpata di origine antropica, e poco a valle, fuori dall'area edificatoria, sono individuati fenomeni di soliflusso; sono prescritte indagini geognostiche dirette a livello di area complessiva, si dovrà valutare la stabilità del versante, sulla scorta di dati provenienti da indagini geotecniche di laboratorio. Le indagini geofisiche dovranno definire spessori, geometrie e velocità sismiche dei litotipi sepolti al fine di valutare l'entità del contrasto di rigidità sismica dei terreni tra coperture e bedrock sismico.

DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO. VPR destinazione a Verde privato.

CONDIZIONI DI PERICOLOSITA'. Pericolosità geologica G.4, pericolosità idraulica I.1, pericolosità sismica S.3.

PERIMETRAZIONI PAI ARNO. PF3.

TUTELA ACQUIFERI. Non sensibile.

FATTIBILITA': Fattibilità geologica FG1, fattibilità idraulica FI1, fattibilità sismica FS1.

PRESCRIZIONI: Gli interventi sono ammessi senza particolari limitazioni, ma le acque superficiali dovranno essere regimate e canalizzate entro il reticolo naturale presente nel versante.



Carta della fattibilità RU vigente

INDAGINE GEOGNOSTICA

L'area di lottizzazione è stata oggetto di una campagna geognostica nel 2010, durante la quale furono realizzati n. 4 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, durante i quali furono realizzate prove SPT in foro e prelevati campioni di terreno successivamente interessati da analisi di laboratorio; nello stesso anno furono realizzate anche n. 8 prove penetrometriche dinamiche DPSH.

In maggio 2022, in relazione al nuovo posizionamento delle volumetrie edificatorie, la campagna geognostica esistente è stata implementata attraverso l'esecuzione di ulteriori n. 8 prove penetrometriche dinamiche DPSH.

1. SONDAGGI GEOGNOSTICI

Si riportano qui di seguito le stratigrafie dei sondaggi geognostici a carotaggio continuo.

Sondaggio N°1 (306.85 m s.l.m.)

Profondità in metri		Descrizione litologia
0.00	0.20	Terreno vegetale
0.20	0.40	Sabbie cementate

0.40	7.50	<i>Limi argillosi con livelli cementati</i>
7.50	11.50	<i>Limi sabbiosi argillosi</i>
11.50	13.40	<i>Limi argillosi</i>
13.40	14.10	<i>Ghiaia eterometrica in matrice limosa</i>
14.10	15.00	<i>Limi argillosi sabbiosi</i>
<i>Attrezzato sondaggio con piezometro</i>		

Sondaggio N°2 (306.85 m s.l.m.)

Profondità in metri		Descrizione litologia
0.00	0.20	<i>Terreno vegetale</i>
0.20	1.85	<i>Argilla limosa</i>
1.85	5.00	<i>Limi argillosi consistenti</i>
5.00	5.90	<i>Argilla limosa</i>
5.90	7.10	<i>Sabbia con livelli argillosi</i>
7.10	8.45	<i>Ghiaia eterometrica in matrice limosa</i>
8.45	12.20	<i>Argilla limosa consistente</i>
12.20	13.75	<i>Limi sabbiosi</i>
13.75	15.00	<i>Ghiaia eterometrica in matrice limosa</i>
<i>Attrezzato sondaggio con piezometro</i>		

Sondaggio N°3 (304.00 m s.l.m.)

Profondità in metri		Descrizione litologia
0.00	0.45	<i>Terreno vegetale</i>
0.45	4.00	<i>Limo sabbioso argilloso cementato</i>
4.00	6.15	<i>Limo argilloso compatto</i>
6.15	7.90	<i>Limo sabbioso cementato</i>
7.90	8.00	<i>Marna calcarea</i>
8.00	9.30	<i>Ghiaia eterometrica in matrice limosa</i>
9.30	10.90	<i>Limo sabbioso argilloso cementato</i>
10.90	15.00	<i>Limo argilloso</i>
<i>Attrezzato sondaggio con piezometro</i>		

Sondaggio N°4 (299.80 m s.l.m.)

Profondità in metri		Descrizione litologia
0.00	0.30	<i>Terreno vegetale</i>
0.30	2.10	<i>Limo sabbioso argilloso litificato</i>
2.10	4.00	<i>Limo argilloso marnoso compatto</i>
4.00	6.35	<i>Ghiaia eterometrica in matrice limosa</i>
6.35	12.00	<i>Limo argilloso marnoso compatto</i>
12.00	13.75	<i>Marna argillosa variegata</i>
13.75	14.90	<i>Limo argilloso</i>
14.90	17.50	<i>Ghiaia e breccia eterometrica</i>
17.50	22.60	<i>Alternanze di ghiaia, breccia e sabbia limosa addensata</i>
22.60	24.50	<i>Argilla litificata</i>
24.50	27.00	<i>Sabbia cementata</i>
27.00	28.40	<i>Argilla litificata con inclusioni sabbiose</i>
28.40	29.40	<i>Sabbia con elementi calcarei</i>
29.40	30.00	<i>Breccia e ghiaia eterometrica</i>
<i>Attrezzato sondaggio con tubazione per Down-Hole</i>		

I sondaggi geognostici effettuati hanno evidenziato la presenza di limi argillosi e limi sabbiosi aventi spessori metrici, alternati a livelli di sabbia, ghiaia e breccia aventi spessori decimetrici: in particolare, il sondaggio S1 ha individuato un livello di ghiaia eterometrica a 13.40/14.10 m, il sondaggio S2 n.2 livelli di ghiaia eterometrica a 7.10/8.45 m e 13.75/15.00 m, il sondaggio S3 un livello di ghiaia eterometrica a 8.00/9.30 m ed il sondaggio S4 n.3 livelli di ghiaia e breccia a 4.00/6.35 m, 14.90/22.60 m e 29.40/30.00 m.

2. STANDARD PENETRATION TEST

Nel corso della campagna geognostica, sono state eseguite n°4 Standard Penetration Test nella tabella sottostante è riportato il risultato delle suddette prove e la validazione delle stesse:

Validazione $0 < (N1/N3) < (N2/N3) < 1$

Sondaggio	Profondità m	N1	N2	N3	N _{SPT}	N1/N3	N2/N3	Validità
<u>S1</u>	4,00	11	18	20	38	0,55	0,90	valido
	8,00	16	20	23	43	0,70	0,87	valido
	13,00	14	17	21	38	0,67	0,81	valido
<u>S2</u>	5,50	14	19	30	49	0,47	0,63	valido
	10,50	12	16	24	40	0,50	0,67	valido
	15,00	9	15	28	43	0,32	0,54	valido
<u>S3</u>	5,50	12	15	22	37	0,55	0,68	valido
	10,50	15	21	24	45	0,63	0,88	valido
	14,50	13	19	25	44	0,52	0,76	valido
<u>S4</u>	10,30	14	19	27	46	0,52	0,70	valido
	18,00	19	25	34	59	0,56	0,74	valido
	25,40	23	28	34	62	0,68	0,82	valido

○ CORREZIONE VALORE DI NSPT

I valori di resistenza alla penetrazione ricavati dalla prova SPT in situ verranno normalizzati in funzione della profondità, del tipo di attrezzatura utilizzata e delle caratteristiche granulometriche generali dei terreni secondo la seguente correlazione:

$$N'(60) = N_{SPT} \times (Err/60) \times Cr \times Cd \times Cn$$

- Err/60 = rendimento energetico di riferimento = 60% = 1.08
- Cr = coefficiente dipendente dalla lunghezza della batteria delle aste

n (m)	Cr
3-4	0.75
4-6	0.85
6-10	0.95
>10	1

- Cd = coefficiente dipendente dal diametro del foro di sondaggio

Fi (m)	Cd
65-115	1
150	1.05
200	1.15

- Cn = coefficiente dipendente dalla pressione litostatica (Jamiolkowski 1985)

$$Cn = [P_{ef} \text{ (kg/cmq)}]^{-0.56}$$

La pressione efficace è data dalla seguente formula:

$$P_{ef} \text{ (kg/cmq)} = [\gamma \text{ (t/mc)} h \text{ (m)}] \times 0.1$$

γ = peso di volume e h = profondità dal p.c.

Per i valori ottenuti nel corso dei sondaggi geognostici, considerando che il diametro della perforazione dei sondaggio è pari a 115 mm, si ottengono i seguenti valori N60:

		N _{SPT}	Profondità	peso volume γ t/m ³	pressione Kg/cm ²	cn	Err/60	cr	cd	N ₆₀
S1	A	38	4,00	2,10	0,8	1,10	1,08	0,75	1	34
	A	43	8,00	2,10	1,7	0,75	1,08	0,95	1	33
	B	38	13,00	2,10	2,7	0,57	1,08	1	1	23
S2	A	49	5,50	2,10	1,2	0,92	1,08	0,85	1	41
	A	40	10,50	2,10	2,2	0,64	1,08	1	1	28
	ghiaia	43	15,00	2,10	3,2	0,53	1,08	1	1	24
S3	A	37	5,50	2,10	1,2	0,92	1,08	0,85	1	31
	B	45	10,50	2,10	2,2	0,64	1,08	1	1	31
	B	44	14,50	2,10	3,0	0,54	1,08	1	1	25
S4	B	46	10,30	2,10	2,2	0,65	1,08	1	1	32
	C	59	18,00	2,10	3,8	0,47	1,08	1	1	30
	C	62	25,40	2,10	5,3	0,39	1,08	1	1	26

3. ANALISI DI LABORATORIO

Nel corso della realizzazione dei sondaggi geognostici sono stati prelevati n.11 campioni di terreno, sottoposti ad analisi di laboratorio per la determinazione dei seguenti parametri fisico-meccanici: granulometria, peso di volume, contenuto di umidità naturale, coesione, angolo di attrito efficace e modulo edometrico.

I campioni sottoposti ad analisi di laboratorio sono stati prelevati in corrispondenza delle frazioni terrigene individuate nelle stratigrafie, dai seguenti litotipi:

Campione	Profondità (m)	Litotipo
CAMPIONE S1/C1	3.50-4.00 m	Limo argilloso plastico
CAMPIONE S1/C2	7.50-8.00 m	Limo sabbioso argilloso consistente
CAMPIONE S1/C3	12.50-13.00 m	Limo argilloso
CAMPIONE S2/C1	5.00-5.50 m	Argilla limosa
CAMPIONE S2/C2	10.00-10.50 m	Argilla limosa molto consistente
CAMPIONE S3/C1	5.00-5.50 m	Limo argilloso compatto
CAMPIONE S3/C2	10.00-10.50 m	Limo sabbioso argilloso cementato
CAMPIONE S3/C3	14.00-14.50 m	Limo argilloso plastico
CAMPIONE S4/C1	10.00-10.30 m	Limo argilloso marnoso consistente
CAMPIONE S4/C2	17.50-18.00 m	Limo argilloso sabbioso litificato
CAMPIONE S4/C3	25.00-25.40 m	Argilla litificata

Si riportano nelle seguenti tabelle i risultati delle analisi di laboratorio ottenuti sui campioni di laboratorio prelevati.

Campione S1/C1 (profondità 3.50 m / 4.00 m)

DESCRIZIONE VISIVA: Limo con argilla grigio-marrone debolmente fissile			
Peso specifico	γ	2.08 t/m ³	
Contenuto naturale di acqua	W _n	17.16%	
Angolo di attrito	ϕ'	26.90°	
Coesione efficace	C'	2.27 Kg/cm ²	222.331 kPa

ANALISI GRANULOMETRICA DEL CAMPIONE IN ESAME		
Ghiaia grossa	0.0%	
Ghiaia media	0.0%	
Ghiaia fine	0.0%	
Sabbia grossa	0.0%	
Sabbia media	0.0%	
Sabbia fine	0.1%	
Limo	62.8%	
Argilla	37.2%	

Campione S1/C2 (profondità 7.50 m / 8.00 m)

DESCRIZIONE VISIVA: <i>Limo con argilla grigio debolmente sabbioso grigio scuro</i>			
Peso specifico	γ	2.12 t/m ³	
Contenuto naturale di acqua	Wn	14.71%	
Angolo di attrito	ϕ'	28.30°	
Coesione efficace	C'	1.20 Kg/cm ²	117.595 kPa
ANALISI GRANULOMETRICA DEL CAMPIONE IN ESAME			
Ghiaia grossa	0.0%		
Ghiaia media	0.0%		
Ghiaia fine	3.0%		
Sabbia grossa	3.1%		
Sabbia media	4.3%		
Sabbia fine	6.4%		
Limo	57.1%		
Argilla	26.0%		

Campione S1/C3 (profondità 12.50 m / 13.00 m)

DESCRIZIONE VISIVA: <i>Limo sabbioso argilloso debolmente ghiaioso marrone</i>			
Peso specifico	γ	2.11 t/m ³	
Contenuto naturale di acqua	Wn	15.19%	
Angolo di attrito	ϕ'	29.30°	
Coesione efficace	C'	1.04 Kg/cm ²	101.919 kPa
ANALISI GRANULOMETRICA DEL CAMPIONE IN ESAME			
Ghiaia grossa	0.0%		
Ghiaia media	7.5%		
Ghiaia fine	4.7%		
Sabbia grossa	2.9%		
Sabbia media	7.6%		
Sabbia fine	11.2%		
Limo	49.2%		
Argilla	17.0%		

Campione S2/C1 (profondità 5.00 m / 5.50 m)**DESCRIZIONE VISIVA: Argilla limosa grigio verdastro**

Peso specifico	γ	2.14 t/m ³	
Contenuto naturale di acqua	Wn	13.65%	
Angolo di attrito	ϕ'	16.80°	
Coesione efficace	C'	2.87 Kg/cm ²	281.762 kPa

Campione S2/C2 (profondità 10.00 m / 10.50 m)**DESCRIZIONE VISIVA: Argilla con limo grigio verdastro**

Peso specifico	γ	2.08 t/m ³	
Contenuto naturale di acqua	Wn	16.65%	
Angolo di attrito	ϕ'	28.10°	
Coesione efficace	C'	1.80 Kg/cm ²	176.547 kPa

Campione S3/C1 (profondità 5.00 m / 5.50 m)**DESCRIZIONE VISIVA: Argilla nerastra**

Peso specifico	γ	2.09 t/m ³	
Contenuto naturale di acqua	Wn	16.81%	
Angolo di attrito	ϕ'	23.90°	
Coesione efficace	C'	1.54 Kg/cm ²	150.956 kPa

Campione S3/C2 (profondità 10.00 m / 10.50 m)**DESCRIZIONE VISIVA: Argilla con limo marrone**

Peso specifico	γ	2.14 t/m ³	
Contenuto naturale di acqua	Wn	15.26%	
Angolo di attrito	ϕ'	22.90°	
Coesione efficace	C'	1.80 Kg/cm ²	176.425 kPa

Campione S3/C3 (profondità 14.00 m / 14.50 m)**DESCRIZIONE VISIVA: Argilla limosa marrone rossastro**

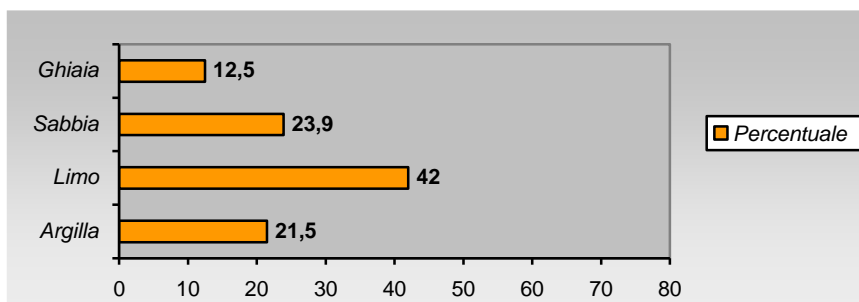
Peso specifico	γ	2.11 t/m ³	
Contenuto naturale di acqua	Wn	16.63%	
Angolo di attrito	ϕ'	17.80°	
Coesione efficace	C'	2.45 Kg/cm ²	240.266 kPa

Campione S4/C1 (profondità 10.00 m / 10.30 m)**DESCRIZIONE VISIVA: Limo sabbioso argilloso debolmente ghiaioso marrone verdastro**

Peso specifico	γ	2.13 t/m ³	
Contenuto naturale di acqua	Wn	13.29%	
Angolo di attrito	ϕ'	28.60°	
Coesione efficace	C'	2.13 Kg/cm ²	208.635 kPa

ANALISI GRANULOMETRICA DEL CAMPIONE IN ESAME

Ghiaia grossa	0.0%
Ghiaia media	2.9%
Ghiaia fine	9.6%
Sabbia grossa	9.5%
Sabbia media	6.8%
Sabbia fine	7.6%
Limo	42.0%
Argilla	21.5%

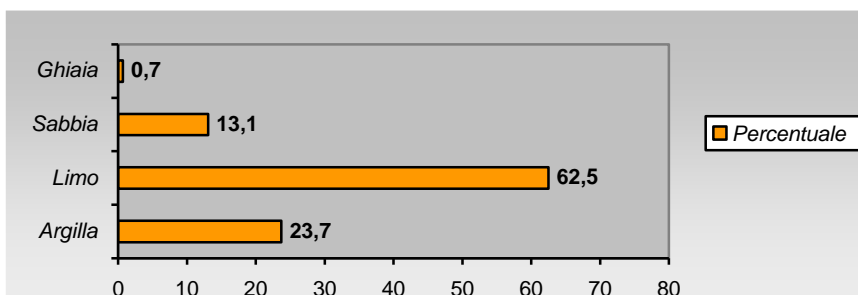


Campione S4/C2 (profondità 17.50 m / 18.00 m)DESCRIZIONE VISIVA: *Limo argilloso debolmente sabbioso marrone*

Peso specifico	γ	2.14 t/m ³
Contenuto naturale di acqua	Wn	13.11%
Angolo di attrito	ϕ'	27.70°
Coesione efficace	C'	2.67 Kg/cm ² 262.016 kPa

ANALISI GRANULOMETRICA DEL CAMPIONE IN ESAME

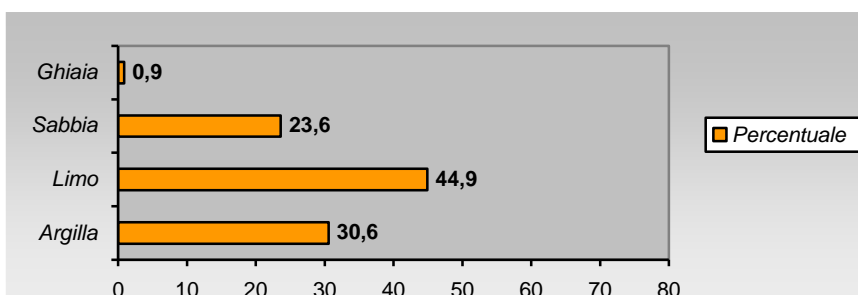
Ghiaia grossa	0.0%
Ghiaia media	0.0%
Ghiaia fine	0.7%
Sabbia grossa	2.9%
Sabbia media	3.5%
Sabbia fine	6.7%
Limo	62.5%
Argilla	23.7%

**Campione S4/C3 (profondità 25.00 m / 25.40 m)**DESCRIZIONE VISIVA: *Limo con argilla sabbioso marrone*

Peso specifico	γ	2.19 t/m ³
Contenuto naturale di acqua	Wn	13.12%
Angolo di attrito	ϕ'	26.70°
Coesione efficace	C'	3.10 Kg/cm ² 303.832 kPa

ANALISI GRANULOMETRICA DEL CAMPIONE IN ESAME

Ghiaia grossa	0.0%
Ghiaia media	0.0%
Ghiaia fine	0.9%
Sabbia grossa	1.4%
Sabbia media	7.3%
Sabbia fine	14.9%
Limo	44.9%
Argilla	30.6%



Nella seguente tabella si riassumono i dati ottenuti dalle analisi di laboratorio:

ANALISI DI LABORATORIO - RIASSUNTO DATI

Campione	quota	Peso	Umidità	Angolo attrito	Coesione efficace		Granulometria			
	m s.l.m.	γ t/m ³	%	ϕ	C' Kg/cm ²	C' kPa	ghiaia	sabbia	limo	argilla
S1/C1	303,35	2,08	17,16%	26,90°	2,267	222,331	0,00%	0,00%	62,80%	37,20%
S1/C2	299,35	2,12	14,71%	28,30°	1,199	117,595	3,00%	13,90%	57,10%	26,00%
S1/C3	294,35	2,11	15,19%	29,30°	1,039	101,919	12,20%	21,70%	49,20%	17,00%
S2/C1	301,98	2,14	13,65%	16,80°	2,873	281,762	-	-	-	-
S2/C2	296,98	2,08	16,65%	28,10°	1,800	176,547	-	-	-	-
S3/C1	299,00	2,09	16,81%	23,90°	1,539	150,956	-	-	-	-
S3/C2	294,00	2,14	15,26%	22,90°	1,799	176,425	-	-	-	-
S3/C3	290,00	2,11	16,63%	17,80°	2,450	240,266	-	-	-	-
S4/C1	289,80	2,13	13,29%	28,60°	2,127	208,635	12,50%	23,90%	42,00%	21,50%
S4/C2	282,30	2,14	13,11%	27,70°	2,672	262,016	0,70%	13,10%	62,50%	23,70%
S4/C3	274,80	2,19	13,12%	26,70°	3,098	303,832	0,90%	23,60%	44,90%	30,60%

4. PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH

E' stato impiegato un penetrometro statico-dinamico della ditta PAGANI TG 63-200 montato su cingoli in gomma. La prova penetrometrica dinamica pesante ha le seguenti caratteristiche:

Peso massa battente	63.50 kg
Altezza di caduta	0.75 m
Diametro punta conica	51.00 mm
Area di base punta conica	20.43 cm ²
Angolo apertura punta	60°
Avanzamento punta	0.20 m

La prova dinamica consiste nel misurare il numero dei colpi necessari per far avanzare di 20 cm nel terreno la punta conica e misurare così la resistenza del terreno.

○ INDAGINE MAGGIO 2022: INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Dall'osservazione globale dei grafici riportanti i risultati delle penetrometrie è stato possibile individuare i litotipi qui di seguito indicati.

PROVA PENETROMETRICA DPSH1					
Profondità in metri		Litologia	Valore di N ₂₀		
			N ₂₀ min	N ₂₀ max	N ₂₀ med
0.00	1.20	<i>Terreno pedogenetico, limo sabbioso alterato</i>	2	5	2.5
1.20	8.80	<i>Limo sabbioso mediamente addensato</i>	7	24	10.7
8.80	10.00	<i>Limo argilloso molto consistente</i>	14	20	16.0

PROVA PENETROMETRICA DPSH2					
Profondità in metri		Litologia	Valore di N ₂₀		
			N ₂₀ min	N ₂₀ max	N ₂₀ med
0.00	1.20	<i>Terreno pedogenetico, limo sabbioso alterato</i>	2	2	2.0
1.20	9.40	<i>Limo sabbioso mediamente addensato</i>	5	14	9.4
9.40	10.00	<i>Limo argilloso molto consistente</i>	15	16	15.7

PROVA PENETROMETRICA DPSH3					
Profondità in metri		Litologia	Valore di N ₂₀		
			N ₂₀ min	N ₂₀ max	N ₂₀ med
0.00	2.40	<i>Terreno pedogenetico, limo sabbioso alterato</i>	2	7	4.8
2.40	9.60	<i>Limo sabbioso mediamente addensato</i>	7	16	10.4
9.60	10.00	<i>Limo argilloso molto consistente</i>	11	14	12.5

PROVA PENETROMETRICA DPSH4					
Profondità in metri		Litologia	Valore di N ₂₀		
			N ₂₀ min	N ₂₀ max	N ₂₀ med
0.00	2.00	<i>Terreno pedogenetico, limo sabbioso alterato</i>	2	3	2.1
2.00	5.00	<i>Limo sabbioso mediamente addensato</i>	6	15	8.4
5.00	5.80	<i>Sabbia limosa con ciottoli, conglomerato</i>	16	70	25.7

PROVA PENETROMETRICA DPSH5					
Profondità in metri		Litologia	Valore di N_{20}		
			N_{20} min	N_{20} max	N_{20} med
0.00	3.20	<i>Terreno pedogenetico, limo sabbioso alterato</i>	1	8	4.4
3.20	9.40	<i>Limo sabbioso mediamente addensato</i>	7	18	12.4
9.40	10.00	<i>Limo argilloso molto consistente</i>	18	24	21.3

PROVA PENETROMETRICA DPSH6					
Profondità in metri		Litologia	Valore di N_{20}		
			N_{20} min	N_{20} max	N_{20} med
0.00	4.20	<i>Terreno pedogenetico, limo sabbioso alterato</i>	1	7	3.5
4.20	8.40	<i>Limo sabbioso mediamente addensato</i>	7	12	9.0
8.40	9.20	<i>Sabbia limosa con ciottoli, conglomerato</i>	13	70	16.3

PROVA PENETROMETRICA DPSH7					
Profondità in metri		Litologia	Valore di N_{20}		
			N_{20} min	N_{20} max	N_{20} med
0.00	1.80	<i>Terreno pedogenetico, limo sabbioso alterato</i>	2	6	3.0
1.80	6.80	<i>Limo sabbioso mediamente addensato</i>	8	18	10.9
6.80	7.60	<i>Sabbia limosa con ciottoli, conglomerato</i>	16	70	17.7

PROVA PENETROMETRICA DPSH8					
Profondità in metri		Litologia	Valore di N_{20}		
			N_{20} min	N_{20} max	N_{20} med
0.00	1.40	<i>Terreno pedogenetico, limo sabbioso alterato</i>	2	5	2.9
1.40	1.80	<i>Limo sabbioso mediamente addensato</i>	8	11	9.5
1.80	3.40	<i>Sabbia limosa con ciottoli, conglomerato</i>	20	70	28.4

I risultati delle prove eseguite hanno evidenziato la presenza di un primo livello di terreno pedogenetico e di limo sabbioso alterato e caratterizzato da scadenti parametri geotecnici, avente uno spessore variabile da un minimo di 1.20 m ad un massimo di 4.20 m dal p.c., caratterizzato da bassi valori geotecnici (N_{20} medi = 2.0/4.4).

Al di sotto è presente un secondo livello costituito da limo sabbioso mediamente addensato avente migliori caratteristiche geotecniche (N_{20} medi = 8.40-12.4) e individuato fino alla profondità di 8.80/9.60 m dal p.c., seguito da limo argilloso molto consistente individuato fino alla massima profondità raggiunta con le prove di 10.00 m dal p.c. e caratterizzato da parametri geotecnici elevati (N_{20} medi = 12.5/21.3).

A diverse profondità e secondo una distribuzione non uniforme e non correlabile, si evince la presenza di livelli o lenti conglomeratiche o ghiaiose caratterizzate da elevati parametri geotecnici, all'interno dei quali le prove penetrometriche si sono interrotte in relazione alla loro elevata compattezza (N_{20} medi = 16.3-28.4).

Tutte le prove penetrometriche dinamiche sono state attrezzate con piezometro.

○ INDAGINE MAGGIO 2010: INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI

Dall'osservazione globale dei grafici riportanti i risultati delle penetrometrie realizzate durante l'indagine del 2010 è stato possibile individuare i litotipi qui di seguito indicati.

Prova penetrometrica Dpsh 1					
Profondità in metri		Litologia	Valore N ₂₀		
			min	max	med
0,00	2,60	<i>Terreno alterato</i>	2	7	3.5
2,60	9,20	<i>Limi sabbiosi mediamente addensati</i>	5	17	9.3
9,20	11,60	<i>Livello conglomeratico-ghiaioso</i>	22	70	28.8

Prova penetrometrica Dpsh 2					
Profondità in metri		Litologia	Valore N ₂₀		
			min	max	med
0,00	4,80	<i>Terreno alterato</i>	2	6	3.8
4,80	8,80	<i>Limi sabbiosi mediamente addensati</i>	8	13	10.2
8,80	10,60	<i>Limi argillosi consistenti</i>	13	31	21.0

Prova penetrometrica Dpsh 3					
Profondità in metri		Litologia	Valore N ₂₀		
			min	max	med
0,00	0,80	<i>Terreno alterato</i>	2	4	2.8
0,80	8,60	<i>Limi sabbiosi mediamente addensati</i>	7	14	9.1
8,60	9,60	<i>Livello conglomeratici-ghiaioso</i>	19	25	22.6
9,60	10,00	<i>Limi sabbiosi mediamente addensati</i>	17	19	18.0
10,00	11,60	<i>Livello conglomeratici-ghiaioso</i>	22	70	32.3

Prova penetrometrica Dpsh 4					
Profondità in metri		Litologia	Valore N ₂₀		
			min	max	med
0,00	2,20	<i>Terreno alterato</i>	3	11	5.7
2,20	6,00	<i>Limi sabbiosi mediamente addensati</i>	7	12	8.5
6,00	7,20	<i>Livello conglomeratico-ghiaioso</i>	13	16	14.8
7,20	10,40	<i>Limi sabbiosi mediamente addensati</i>	4	13	9.6
10,40	11,60	<i>Livello conglomeratico-ghiaioso</i>	14	33	24.3

Prova penetrometrica Dpsh 5					
Profondità in metri		Litologia	Valore N ₂₀		
			min	max	med
0,00	2,00	<i>Terreno alterato</i>	2	4	2.6
2,00	5,80	<i>Limi sabbiosi mediamente addensati</i>	3	9	6.4
5,80	6,60	<i>Livello conglomeratici-ghiaioso</i>	18	70	27.0

Prova penetrometrica Dpsh 6					
Profondità in metri		Litologia	Valore N ₂₀		
			min	max	med
0,00	1,80	<i>Terreno alterato</i>	2	5	3.3
1,80	8,60	<i>Limi sabbiosi mediamente addensati</i>	7	17	11.3
8,60	9,80	<i>Livello conglomeratico-ghiaioso</i>	21	70	28.8

Prova penetrometrica Dpsh 7					
Profondità in metri		Litologia	Valore N ₂₀		
			min	max	med
0,00	1,00	<i>Terreno alterato</i>	2	7	3.8
1,00	2,20	<i>Livello conglomeratici-ghiaioso</i>	13	28	18.3
2,20	5,00	<i>Limi sabbiosi mediamente addensati</i>	6	11	8.0
5,00	5,60	<i>Livello conglomeratici-ghiaioso</i>	13	18	15.3
5,60	6,60	<i>Limi sabbiosi mediamente addensati</i>	10	19	13.6
6,60	7,60	<i>Livello conglomeratico-ghiaioso</i>	20	70	28.0

Prova penetrometrica Dpsh 8					
Profondità in metri		Litologia	Valore N ₂₀		
			min	max	med
0,00	4,40	<i>Terreno alterato</i>	2	9	5.4
4,40	11,80	<i>Limi sabbiosi mediamente addensati</i>	8	17	12.1
11,80	13,20	<i>Livello conglomeratico-ghiaioso</i>	18	70	24.3

I risultati delle prove pregresse evidenziano la presenza di un primo livello di terreno pedogenetico e di limo sabbioso alterato e caratterizzato da scadenti parametri geotecnici, avente uno spessore variabile da un minimo di 1.00 m ad un massimo di 4.80 m dal p.c., caratterizzato da bassi valori geotecnici (N₂₀ medi = 2.6/5.7).

Al di sotto è presente un secondo livello costituito da limo sabbioso mediamente addensato avente migliori caratteristiche geotecniche (N₂₀ medi = 6.40-18.0), seguito da limo argilloso molto consistente individuato a partire dalla profondità di 8.80 m dal p.c., caratterizzato da parametri geotecnici elevati (N₂₀ medi = 13.0/29.0).

Si rinvenivano inoltre, a diverse profondità dal p.c., lenti conglomeratiche o ghiaiose aventi parametri geotecnici elevati (N₂₀ medi = 14.8/32.3), all'interno dei quali le prove penetrometriche si sono interrotte in relazione alla loro elevata compattezza.

Le prove penetrometriche dinamiche DPSH1, DPSH2, DPSH7 e DPSH8 sono state attrezzate con piezometro.

INDAGINE SISMICA (ANNO 2010)

Al fine di individuare la categoria sismica del sito si fa riferimento all'indagine sismica pregressa realizzata nell'area di lottizzazione nel 2010, espletata mediante l'esecuzione di n.1 indagine sismica in foro Down-Hole in corrispondenza del sondaggio S4 (si veda l'ubicazione nella planimetria della tavola unica allegata).

○ METODOLOGIA UTILIZZATA PER L'ANALISI DEI DATI

La prova Down-Hole consiste nel produrre, sulla superficie del terreno, una sollecitazione orizzontale mediante una sorgente meccanica, e nello studiare il treno d'onde, P e S, che si propagano all'interno del terreno alle varie profondità in direzione verticale, con vibrazioni polarizzate nella direzione di propagazione (onde P), e dirette perpendicolarmente alla direzione di propagazione, polarizzate su un piano orizzontale (onde SH). Mediante due ricevitori (geofoni) disposti nel terreno, a profondità note, viene valutato l'istante di arrivo del treno di onde P e S, rispetto all'istante in cui vengono indotte le sollecitazioni alla sorgente; dividendo quindi per tali valori la distanza (nota) tra sorgente e ricevitori, si può ricavare la velocità delle onde P e S.

○ SORGENTI E STRUMENTAZIONI

Come sorgenti energizzanti sono stati utilizzati: per le onde P una mazza da 10 kg con piattello di battuta; per le onde SH un parallelepipedo (traversina) di legno percosso sulle estremità opposte da una mazza da 10 kg, in grado di generare onde SH di notevole contenuto energetico, uniformi sia nella direzione di propagazione sia nella polarizzazione (+ e -) e, di contro, con una generazione di onde P trascurabile.

È stato curato in modo particolare l'accoppiamento della traversina con il terreno: in particolare è stato riportato sopra la massicciata costituita da ghiaietto, uno strato di terreno limoso-sabbioso di circa 20 cm, dove è stata posta la trave.

Le sorgenti (onde P ed onde SH) sono state disposte perpendicolarmente ad un raggio uscente dai fori di sondaggio, ad una distanza di circa 3 m (per la misura precisa veder lo schema di acquisizione di ciascun sondaggio).

Il sistema di ricezione è costituito da una coppia di geofoni tridimensionali rigidamente collegati tra loro da una barra in p.v.c. (distanza intergeofonica = 1.00 m) dotata di uno smorzatore intermedio in gomma in modo da evitare qualsiasi interazione sismica tra i due sensori. L'accoppiamento del sistema con le pareti del foro è garantito da 4 stantuffi pneumatici comandati dall'esterno, con pressione regolabile fino a 10 atm.

Il sistema di acquisizione è costituito da un sismografo digitale a 24 canali modello PASI 16 GS acquisizione dati a 24 bit, cumulabilità degli impulsi a 32 bit, filtri in acquisizione ed in uscita, filtri per eliminare linee di tensione, intervallo di campionamento selezionabile, durata di registrazione selezionabile da 50 a 65000 m/sec, funzione inversione di polarità. Tutte le registrazioni sono state effettuate con metodo cross-over, ovvero facendo la differenza tra un ugual numero di battute a destra ed a sinistra (bilanciamento energetico): in tal modo viene esaltato l'istante di primo arrivo delle onde SH, mentre vengono abbattute le eventuali onde P spurie.

In particolare le tracce di ciascuna registrazione si riferiscono (dall'alto verso il basso):

canale n° 1: primo geofono – trasduttore verticale (z)
canale n° 2: primo geofono – trasduttore orizzontale (x)
canale n° 3: primo geofono – trasduttore orizzontale (y)
canale n° 4: secondo geofono – trasduttore verticale (z)
canale n° 5: secondo geofono – trasduttore orizzontale (x)
canale n° 6: secondo geofono – trasduttore orizzontale (y)
canale n° 7: nullo
canale n° 8: geofono spia
canale n° 9-10-11-12: nullo

dove per primo si intende quello più vicino alla superficie del terreno e per secondo quello posto 1.00 m più in basso.

○ INTERPRETAZIONE SISMOGRAMMI ED ESTRAPOLAZIONE DELLA DROMOCRONA

I sismogrammi di campagna sono stati visualizzati direttamente in campagna i files così ottenuti sono stati trattati tramite Winsim 10.1 e Visual Sunt della Wgeosoft, dove direttamente si è svolta la sommatoria delle tracce per avere un miglior controllo energetico

Le tracce sono state riallineate metro per metro, così, per ogni profondità si è potuto visualizzare direttamente le 4 tracce registrate (S) in due battute o le due tracce in p.

Quindi, tramite un'analisi visuale delle tracce si è proceduto a scegliere quella con le migliori doti di leggibilità e le altre sono state eliminate.

Si è ricavato quindi un sismogramma con una traccia per metro, e partendo da questo si è effettuato il picking scegliendo la finestra temporale più adeguata per ciascuna registrazione (100ms per le p, 400 ms per le S).

profondità	tempo orizzontale		tempo verticale	
	s	p	s	p
-1	21.3	5	9.5	2.2
-2	21.3	6.5	15.1	4.6
-3	21.3	7	17.7	5.8
-4	22	7.5	19.7	6.7
-5	24	8	22.3	7.4
-6	24.7	9.1	23.4	8.6
-7	29.5	9.5	28.4	9.1
-8	23.4	9.5	22.7	9.2
-9	28.1	10.6	27.4	10.3
-10	30.2	11.1	29.6	10.9
-11	41.1	12.1	40.4	11.9
-12	37.7	14.1	37.2	13.9
-13	41.8	14.4	41.3	14.2
-14	41.8	15.7	41.4	15.5
-15	43.2	15.8	42.8	15.7
-16	41.1	16.5	40.8	16.4
-17	45.2	16	44.9	15.9
-18	46.6	15.9	46.3	15.8
-19	52.7	16.3	52.4	16.2
-20	50	18	49.8	17.9
-21	55.5	17.5	55.2	17.4
-22	54.8	18	54.6	17.9
-23	56.8	18.4	56.6	18.3
-24	54.6	19	54.6	18.9
-25	59.6	19	59.4	18.9
-26	60	19.5	59.8	19.4
-27	61.6	19.7	61.4	19.6
-28	60.3	19	60.1	19.0
-29	63	20	62.9	20.0
-30	63.7	20.5	63.6	20.5

○ ORIENTAZIONE DEI GEOFONI

Per orientare i geofoni si è cercato, tramite una battuta di prova, di orientare le terne (tramite una serie di aste calate in foro e solidali con il geofono) in modo tale che una coppia di geofoni S si presentasse il più possibile perpendicolare al fronte d'onda. L'orientazione delle terne non rimaneva costante ma variava da battuta a battuta.

Le registrazioni con orientazione del geofono perpendicolare al fronte d'onda sono poi quelle che si sono scelte per la ricostruzione della dromocrona.

○ CORREZIONE

Mediante un'applicazione su foglio elettronico Excel (vedi tabulati allegati), i tempi letti sono stati quindi corretti in funzione dello scarto di trigger (in più o in meno rispetto al tempo di trigger medio) ed infine corretti in funzione della geometria del sistema (posizione della sorgente rispetto al foro ed alla profondità di acquisizione) attraverso la formula:

$$t^* = \frac{z}{d} \cdot t = \frac{z}{\sqrt{z^2 + R^2}} \cdot t$$

dove z è la profondità del ricevitore, d è la distanza effettiva tra sorgente e ricevitore, R la distanza superficiale tra sorgente e dentro del foro t il tempo determinato dalle tracce di registrazione e t* il tempo corretto.

○ RISULTATI DEL DOWN-HOLE - DETERMINAZIONE DELLE VELOCITÀ E RISULTATI

L'indagine è stata condotta a partire dal piano campagna, fino ad una profondità di 30 m.. I dati misurati sono di buona qualità, e da questi è stato possibile ricavare le velocità intervallari che caratterizzano i primi 30 metri di sottosuolo.

Le velocità dei vari strati sono state quindi determinate con la funzione di regressione lineare relativa a ciascuno degli intervalli rettilinei del diagramma tempi di arrivo-profondità; per ogni tratto individuato è stata tracciata una retta di correlazione tramite foglio di lavoro open office.

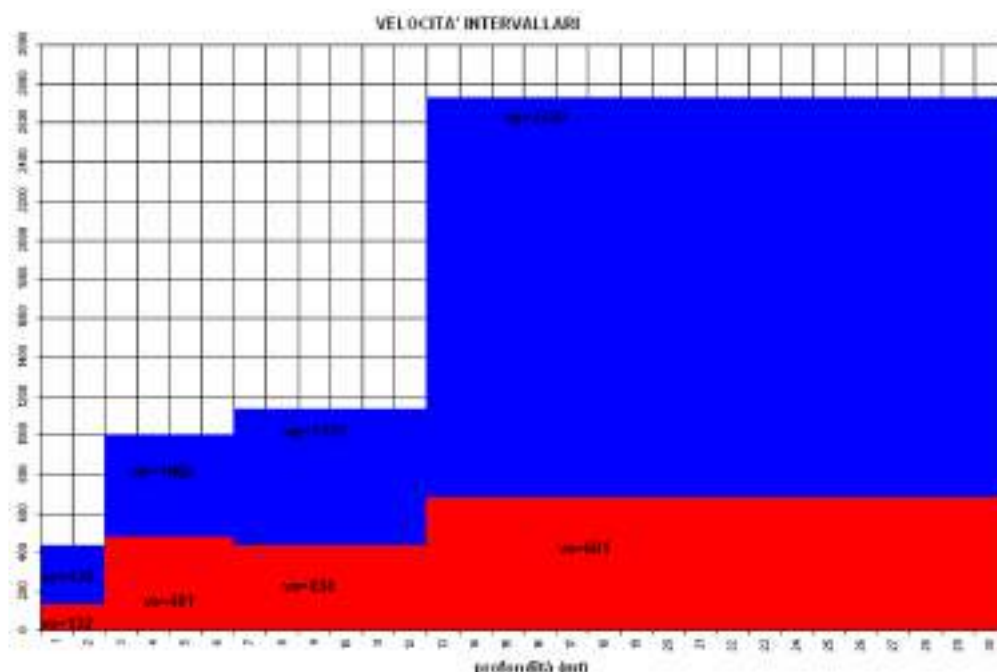


Le profondità dei punti interpolati (compresi gli estremi) sono indicati nella sottostante tabella; la distanza del foro dalla sorgente di energizzazione è di 2 metri.

P	Sh
0-2	0-2
2-6	2-6
6-12	6-12
12-30	12-30

Sono stati individuati i sismostrati qui di seguito riportati.

Profondità (m)	Vs (m/s)	Profondità (m)	Vp (m/s)
0-2	132	0-2	434
2-6	481	2-6	1000
6-12	434	6-12	1132
12-30	681	12-30	2727



L'indagine sismica DH non ha indicato la presenza del substrato sismico caratterizzato da valori di $VS > 800$ m/sec, nei primi 30 m di profondità: il valore di V_{Seq} , coincidente con VS_{30} è pari a 472 m/sec.

INDAGINE SISMICA (ANNO 2022)

Allo scopo di avere ulteriori informazioni sulla stratigrafia e sulle caratteristiche sismiche dei terreni presenti nell'area oggetto dei lavori, si è proceduto ad approfondire l'indagine sismica pregressa con un'ulteriore indagine costituita da n. 2 nuovi stendimenti sismici della lunghezza di 120 m ciascuno, su cui sono state realizzate n. 2 indagini sismiche a rifrazione in onde P e n. 2 MASW; in più sono state effettuate n. 2 indagini tromometriche H/V (si veda l'ubicazione delle tracce sismiche nella seguente immagine aerea e nella planimetria della tavola unica allegata).



Ubicazione indagini sismica (anno 2022)

○ METODOLOGIA UTILIZZATA PER L'ANALISI DEI DATI

Per analizzare la risposta di sito e determinare la pericolosità sismica in base alla normativa vigente si sono utilizzati i seguenti metodi geofisici:

- SISMICA A RIFRAZIONE - Si studia l'andamento del sottosuolo tramite la propagazione dell'onda rifratta; in questo modo è possibile individuare spessori, velocità e geometrie dei vari sismostrati;
- MASW - Tramite lo studio della dispersione delle onde superficiali si è determinato un primo modello monodimensionale del suolo tramite spessori e velocità;
- H/V - Si ricava lo spettro di risposta di sito.

Se la sismica a rifrazione o il MASW riesce ad individuare il bedrock sismico, i dati dell'H/V (che rispetto alla sismica a rifrazione è una metodologia meno precisa) serviranno per confermare i dati acquisiti e per aggiungere alcune interessanti informazioni (spettro di risposta di sito).

In questo caso, con la rifrazione in onde P, la velocità dei primi livelli è indicata dal MASW e le geometrie (e gli spessori) dalla rifrazione.

Il modello sismostratigrafico ottenuto con il MASW viene applicato ai dati ottenuti dall'H/V, modellando quindi uno spettro sintetico e fittandolo con i dati dello spettro dell'H/V si potrà ricostruire una sismostratigrafia che soddisfi al meglio i risultati sperimentali ottenuti.

Il MASW, infatti, valido entro i primi 10 metri, al disotto di tale profondità sovente risulta non molto accurato nella ricostruzione sismostratigrafica.

Di contro, i dati del tomografo risultano avere un maggior dettaglio anche in profondità, ma, ragionando in frequenze ($T^0=4H/VS$) necessitano di informazioni aggiuntive sulle velocità o gli spessori, altrimenti si potrebbero evincere un numero infinito di modelli validi che generano sempre la stessa risposta.

Vincolando i dati ottenuti dall'H/V al MASW si ottiene così un modello valido sia nei primi metri che in profondità, e che riuscirà ad intercettare variazioni di compattezza del terreno attraversato ben oltre i 30 metri previsti dalla normativa.

Si potranno inoltre avere informazioni aggiuntive (rispetto ad un classico MASW) sulla reale pericolosità del sito in esame, come spettro di risposta e periodo fondamentale di risonanza.



○ STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

- Sismografo Ambrogeo Echo 24-2010
- Geofoni verticali da 14 hz
- Generazione di onde P: massa battente (mazza da 8 kg)
- Geometria dei rilievi: distanza intergeofonica di 5 m in 24 geofoni per un totale di 120.00 m, 9 energizzazioni

Number of channels	24+1 with differential input
AD conversion	24 bits
Dynamic range	130dB@1ms PG=0dB 120dB@1ms PG=-18dB
Cross talk	>90dB
Preamplify gain	0,6,12,18,24,30,36,42,48,54,60,66,72dB
Frequency response	0 to 6kHz (30KSPS) 0 to 4,8kHz (15KSPS) 0 to 3kHz (7,5KSPS) 0 to 1,5kHz (3,5KSPS) 0 to 800Hz (2KSPS) 0 to 400Hz (1KSPS)
Acquisition and display filter	Low Cut Out 10-15-25-35-50-70-100-140-200-280-400 Hz High Cut Out 32-64-125-250 Hz Notch 50-60-150-180 Hz
Sampling Interval	32,64,128,256,478,956us
Record Length	16000 samples
Stacking trigger accuracy	1/32 of sample interval
Distorsion (THD)	0,0004%
Max Input signal	5Vpp, 0dB
CMR	110dB (fCM = 60Hz fDATA = 30kSPS)
Noise	0,25uV, 2ms 36dB
Pre-trigger data	524ms@32us sample interval
Delay	0 to 15 sec @1kSPS (max 16000 samples)
Temperature range	-30°C +70°C
Power	12 Volt
Continuous recording	
Output format:	SEGY / SAF (SESAME ASCII FORMAT)

- Tromino Micromed:



Number of channels	3+1 analog
Amplifiers	all channels with differential inputs
Noise	< 0.5 μ V r.m.s. @128 Hz sampling
Input impedance	10^6 Ohm
Frequency range	DC - 360 Hz
Sampling frequency	16384 Hz per channel
Oversampling frequency	32x, 64x, 128x
A/D conversion	≥ 24 bit equivalent
Max analog input	51.2 mV (781 nV/digit)

SOFTWARE UTILIZZATO PER LA VISUALIZZAZIONE, L'ACQUISIZIONE, IL FILTRAGGIO E L'ELABORAZIONE DATI

Acquisizione dei dati

AMBROGEO

Elaborazione e filtraggio

Visual Sunt 20	Wgeosoft -filtraggio dati (sismica a riflessione)
WinMasw Accademy	Eliosoft-elaborazione Masw-Remi-ESAC-H/V-Attenuazione
Grilla	Tromino-H/V-Masw -Remi
Winsism 11.2	Wgeosoft-sismica a rifrazione
Rayfract	Intelligent re source-sismica a rifrazione
Geogiga	Front-End -Filtraggio dati
Geogiga	Reflector-Sismica a riflessione-Filtraggio dati
Geogiga	Refractor-sismica a rifrazione
Geogiga	DWTOMO 2D e 3D Tomografia sismica 2d e 3d
Golden Software	Surfer-Voxler-rappresentazione 2d e 3d dei dati

○ RISULTATI OTTENUTI MASW A-A'

Si riporta qui di seguito il modello sismostratigrafico individuato con il MASW A-A':

Mean model

Vs (m/s):

200, 600, 600, 600, 600, 600, 600, 600, 600, 700

Thickness (m):

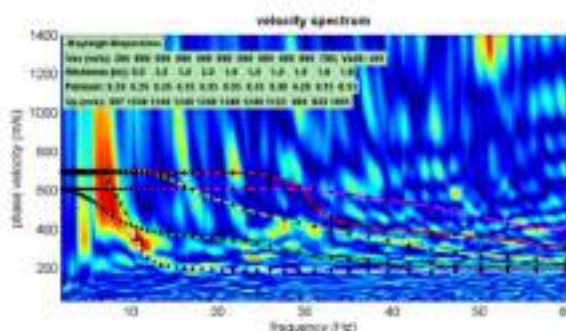
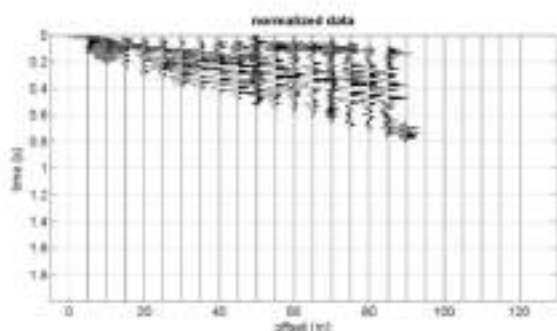
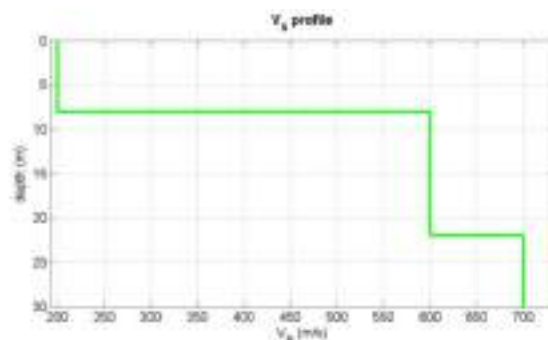
8.0, 5.0, 1.0, 2.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0

Density (gr/cm³) (approximate values):

1.83 2.11 2.11 2.11 2.11 2.11 2.11 2.08 2.05 2.04 2.08

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values):

73 759 759 759 759 759 759 750 738 734 1017



MASW: segnale nel dominio dei tempi e delle frequenze

Dall'analisi dei dati sismici ottenuti, con il MASW A-A' non è stato individuato il bedrock sismico entro i primi 30 m di profondità, caratterizzato da valori di VS > 800 m/sec; il valore di VS30 ottenuto, coincidente con VSeq, è pari a:

$$V_{Seq} = VS_{30} = 401 \text{ m/s (MASW A)}$$

○ RISULTATI OTTENUTI MASW B-B'

Si riporta qui di seguito il modello sismostratigrafico individuato con il MASW B-B':

Mean model

Vs (m/s):

230, 600, 600, 600, 600, 600, 600, 600, 600, 600, 600, 700

Thickness (m):

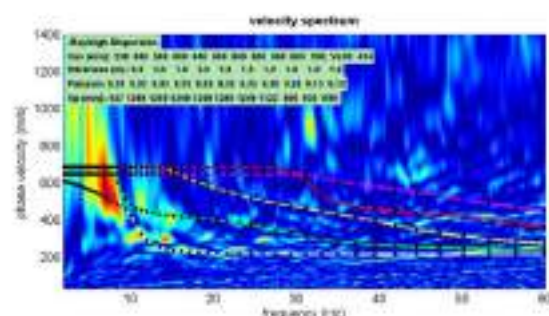
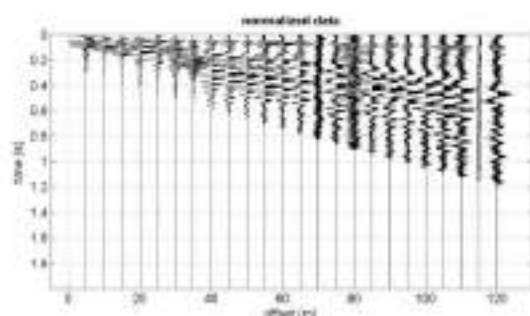
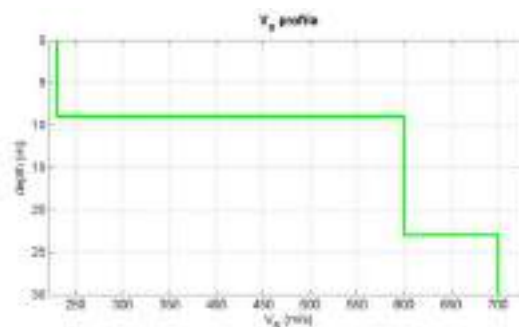
9.0, 5.0, 1.0, 2.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0, 1.0

Density (gr/cm³) (approximate values):

1.86 2.11 2.11 2.11 2.11 2.11 2.11 2.08 2.05 2.04 2.08

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values):

99 759 759 759 759 759 759 750 738 734 1017



Dall'analisi dei dati sismici ottenuti, con il MASW B-B' non è stato individuato il bedrock sismico entro i primi 30 m di profondità, caratterizzato da valori di VS > 800 m/sec; il valore di VS30 ottenuto, coincidente con VSeq, è pari a:

VSeq = VS30 = 414 m/s (MASW B)

○ RISULTATI OTTENUTI H/V 1

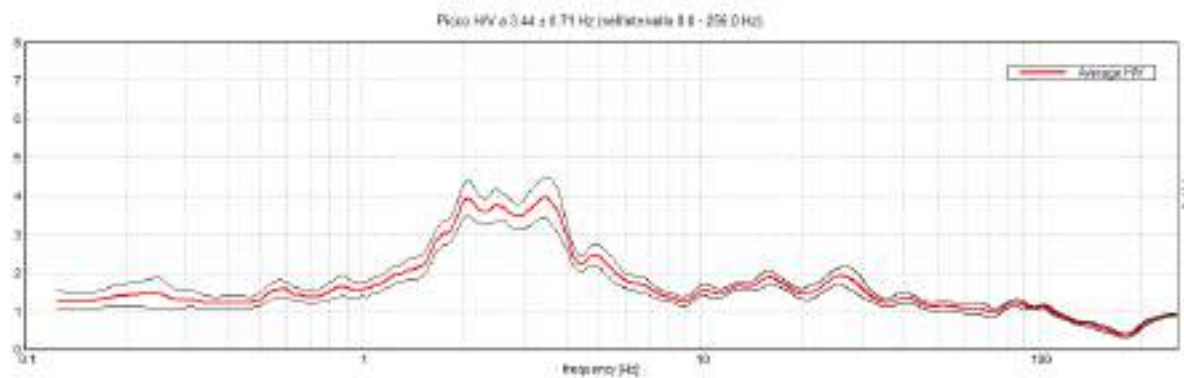
Il tromino è stato disposto mettendolo in bolla ed allineandolo con il nord geografico, quindi è stata effettuata una registrazione del rumore di fondo per 20 minuti.

Si ottiene quindi il rapporto spettrale dei dati registrati:

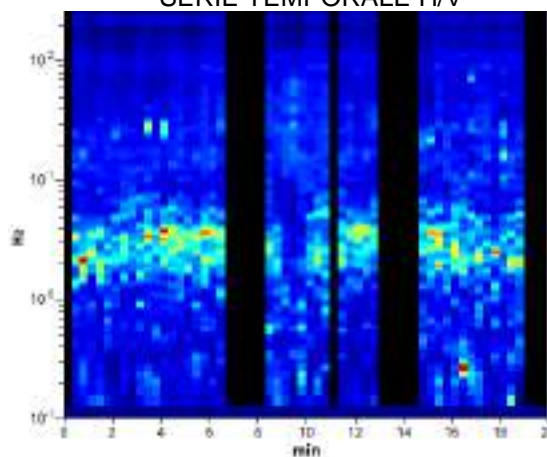
- strumento: TRZ-0135/01-11
- formato dati: 16 byte
- inizio registrazione: 22/06/22 09:48:34
- fine registrazione: 22/06/22 10:08:34
- durata registrazione: 0h20'00"
- analizzato 75% tracciato
- freq. campionamento: 512 Hz
- lunghezza finestre: 20 s
- tipo di lisciamento: Triangular window
- lisciamento: 10%.

La curva di dispersione e gli spettri delle singole componenti ottenute sono qui di seguito riportati.

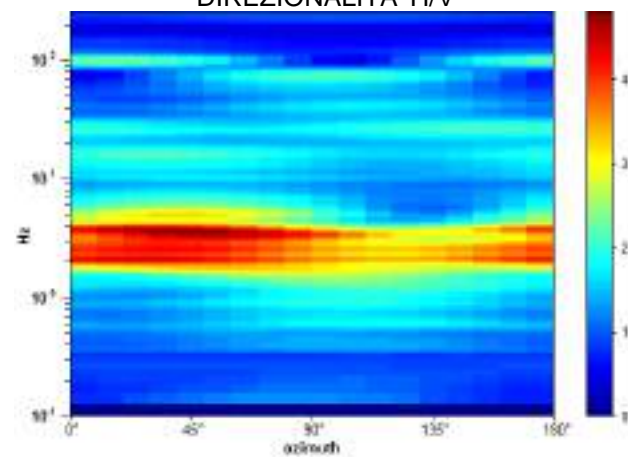
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



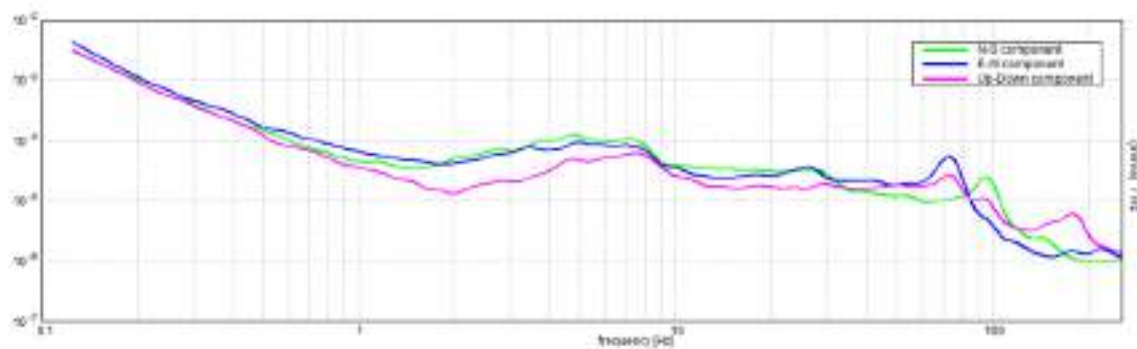
SERIE TEMPORALE H/V



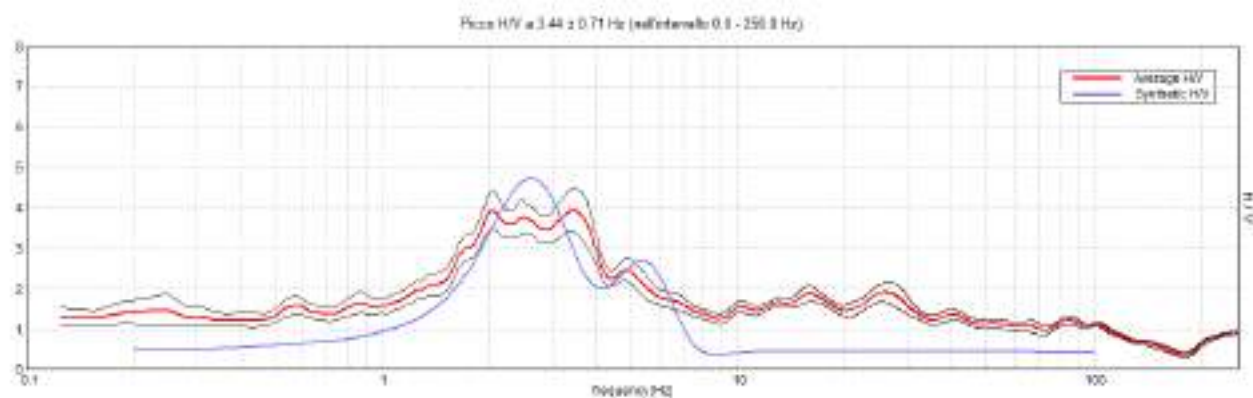
DIREZIONALITA' H/V



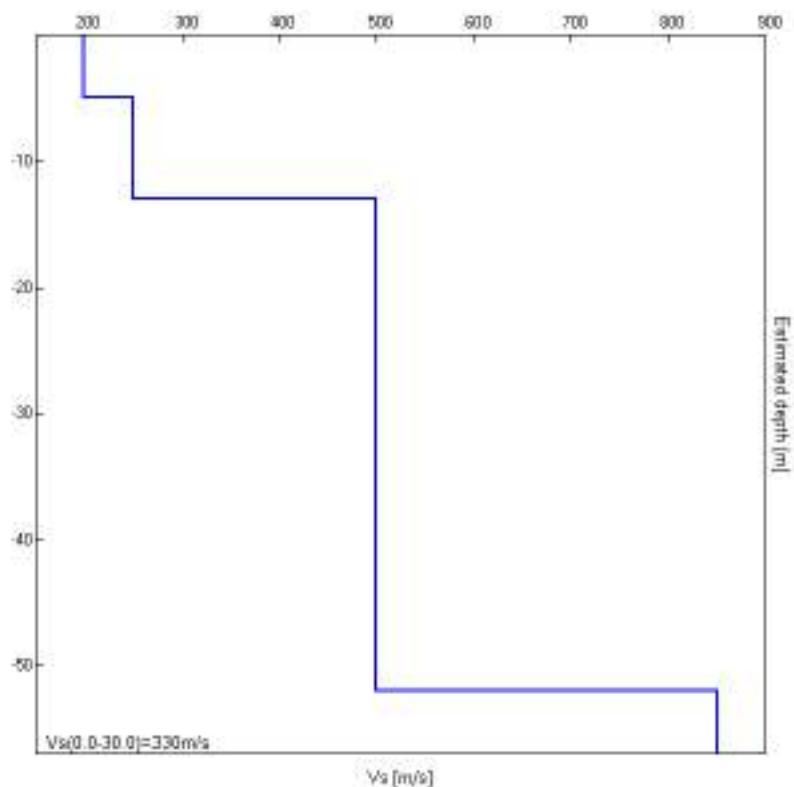
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
5.00	5.00	200	0.42
13.00	8.00	250	0.42
52.00	39.00	500	0.42
inf.	inf.	850	0.42



L'indagine tromometrica ha individuato il bedrock sismico caratterizzato da valori di VS > 800 m/sec a 52 m di profondità; il valore di VS30 ottenuto, coincidente con VSeq, è pari a:

$$\mathbf{VSeq = VS30 = 330 \text{ m/s (H/V1)}}$$

○ RISULTATI OTTENUTI H/V 2

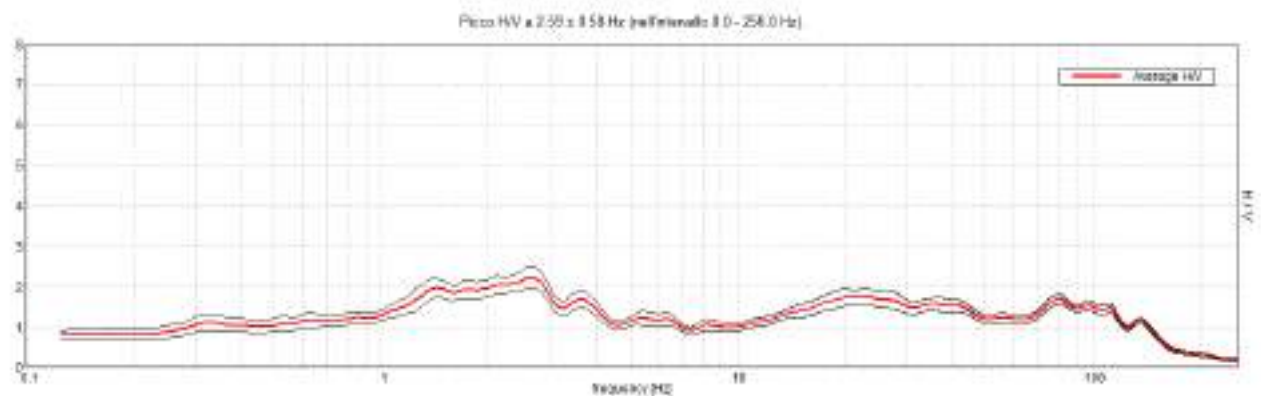
Il tromino è stato disposto mettendolo in bolla ed allineandolo con il nord geografico, quindi è stata effettuata una registrazione del rumore di fondo per 20 minuti.

Si ottiene quindi il rapporto spettrale dei dati registrati:

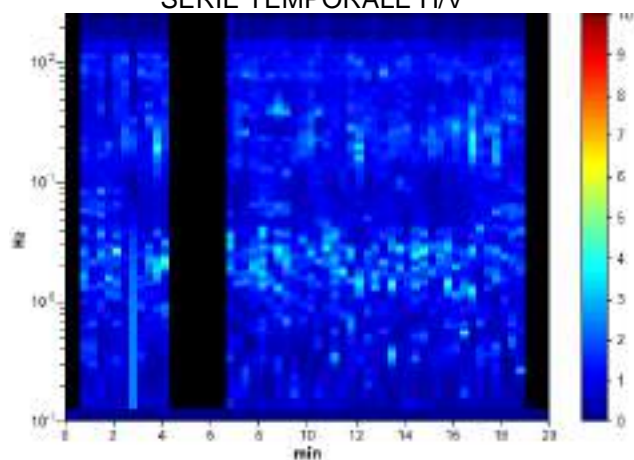
- strumento: TRZ-0135/01-11
- formato dati: 16 byte
- inizio registrazione: 22/06/22 11:23:53
- fine registrazione: 22/06/22 11:43:53
- durata registrazione: 0h20'00"
- analizzato 80% tracciato
- freq. campionamento: 512 Hz
- lunghezza finestre: 20 s
- tipo di lisciamento: Triangular window
- lisciamento: 10%.

La curva di dispersione e gli spettri delle singole componenti ottenute sono qui di seguito riportati.

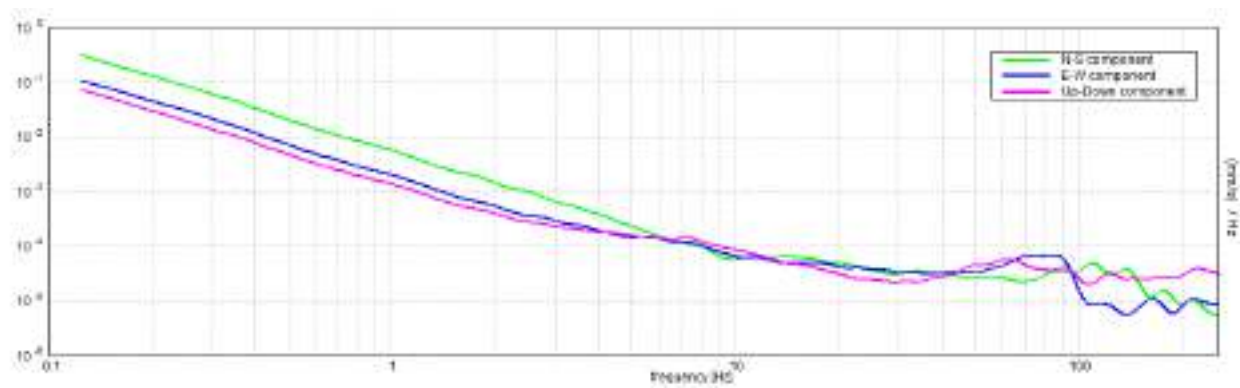
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



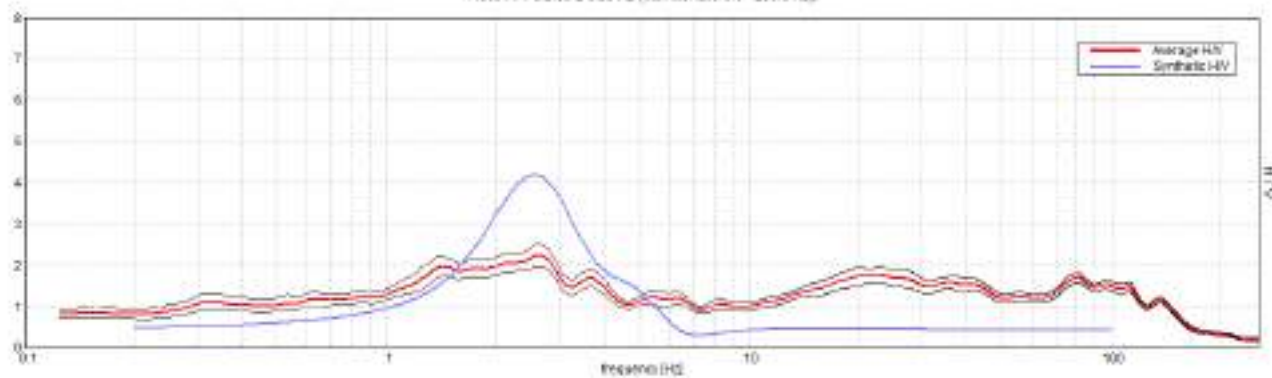
SERIE TEMPORALE H/V



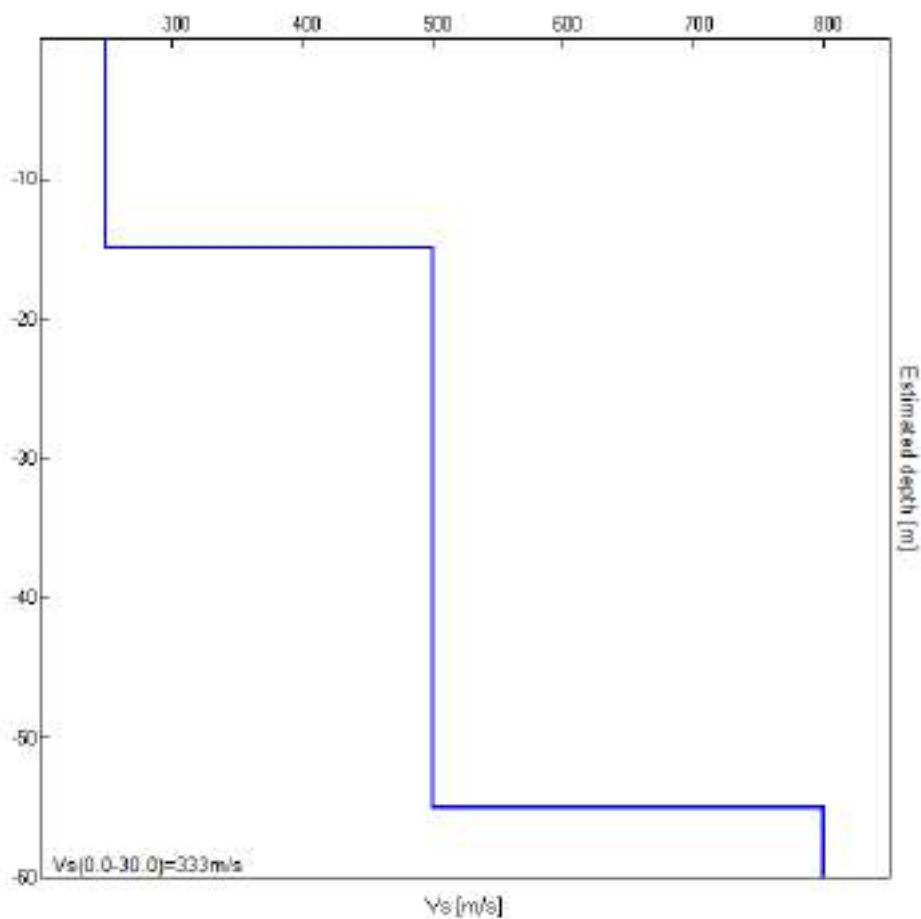
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Picos H/V a 2.69 ± 0.58 Hz (intervallo 0 - 256 Hz)

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
15.00	15.00	250	0.42
55.00	40.00	500	0.42
inf.	inf.	800	0.42



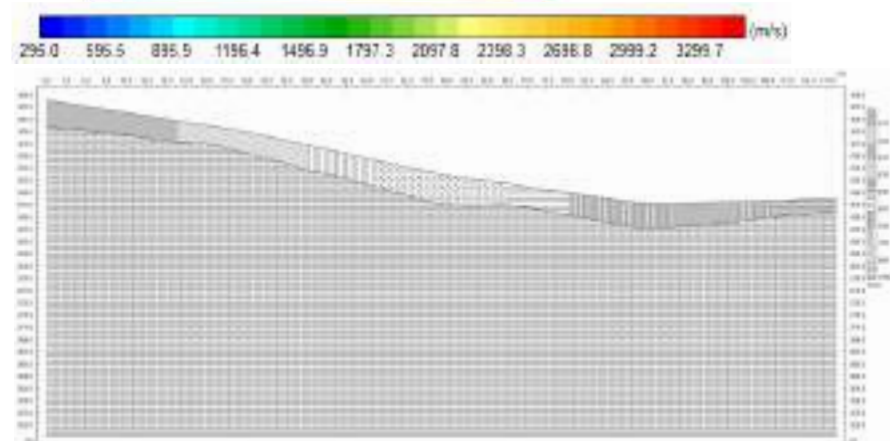
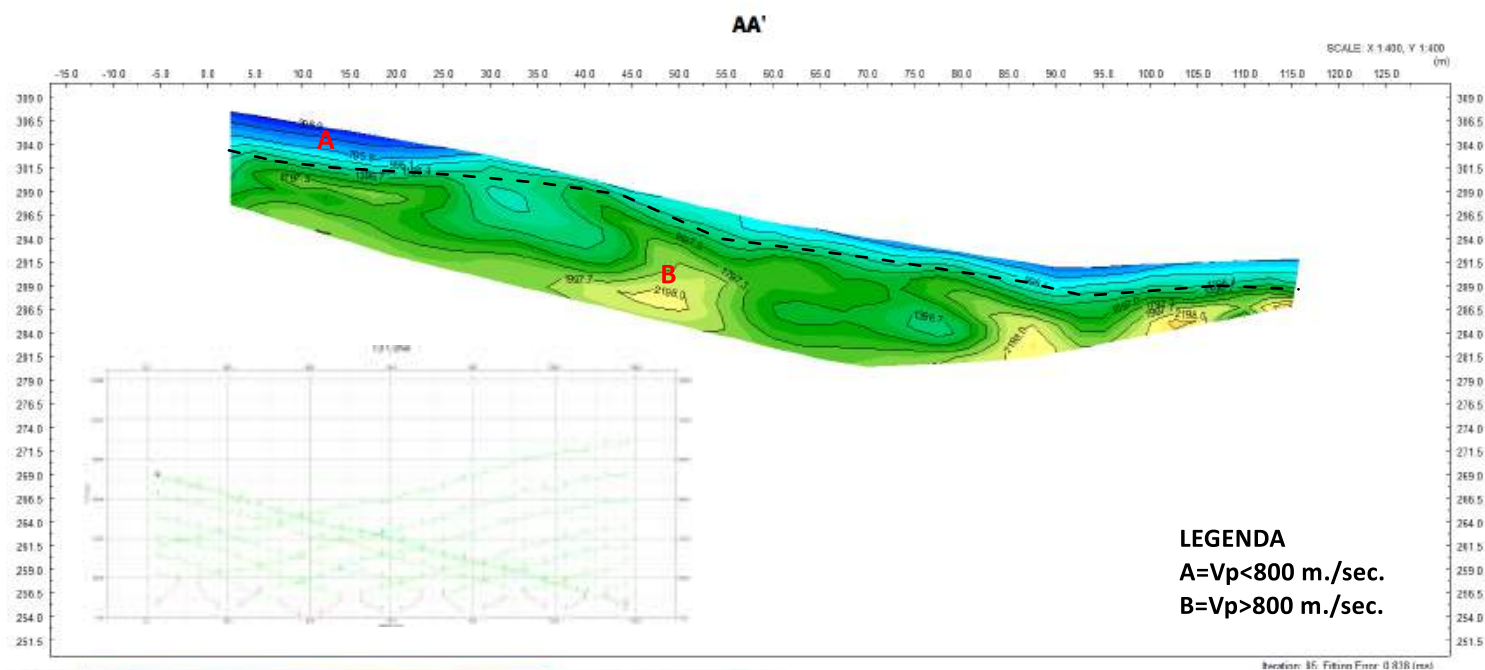
L'indagine tromometrica ha individuato il bedrock sismico caratterizzato da valori di VS > 800 m/sec a 55 m di profondità; il valore di VS30 ottenuto, coincidente con VSeq, è pari a:

$$\mathbf{VSeq = VS30 = 333 \text{ m/s (H/V2)}}$$

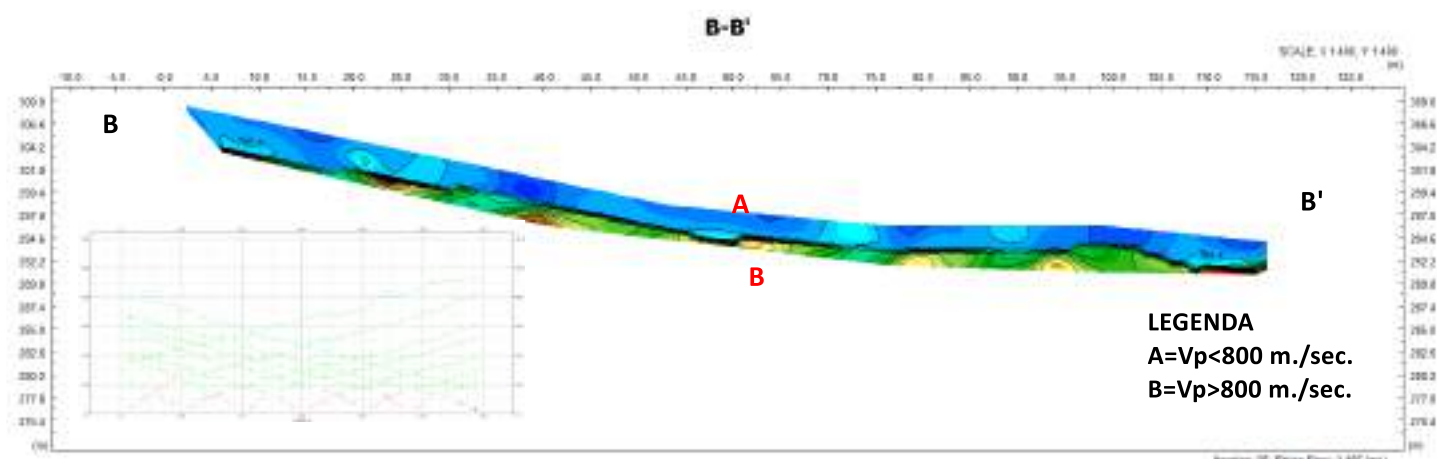
○ RISULTATI OTTENUTI SISMICA A RIFRAZIONE

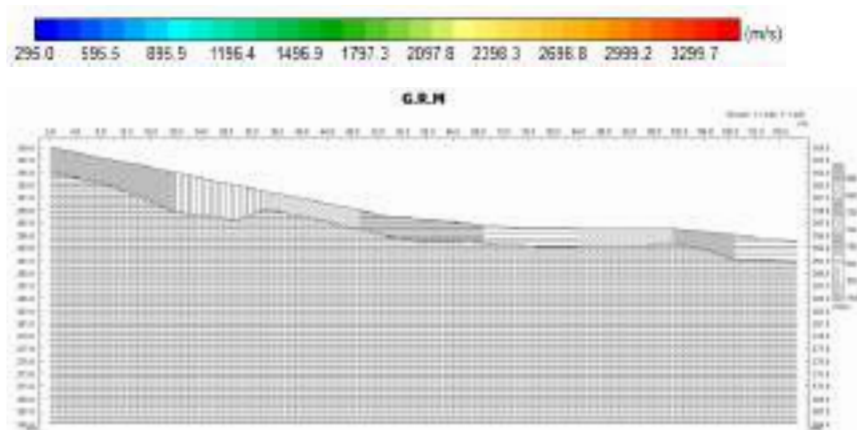
Si riportano qui di seguito le sezioni sismostratigrafiche ottenute nei due stendimenti effettuati.

STENDIMENTO A-A'



STENDIMENTO B-B'



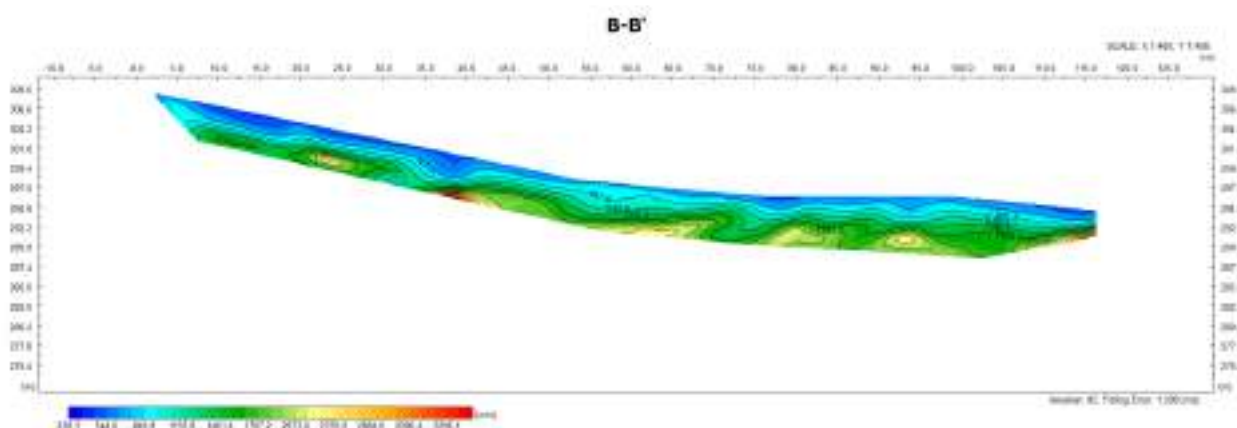


○ CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La zona da noi analizzata risulta avere un andamento sismostratigrafico complesso, che risulta comunque evidente confrontando le varie tecniche utilizzate.

L'evidenza maggiore, segnalata nettamente dalla rifrazione, è la presenza di livelli di materiali di copertura spessi mediamente sui 5 metri, poggianti su sedimenti marini integri; alle profondità di 10-15 metri dal p.c. si rinviene un aumento delle velocità sismiche e, mediante inversione del raggio sismico, si chiudono i profili a rifrazione.

Si riporta la seguente sezione tomografica BB' con a base un modello 1d ottenuto con gradiente delle velocità: la sezione appare schiacciata.

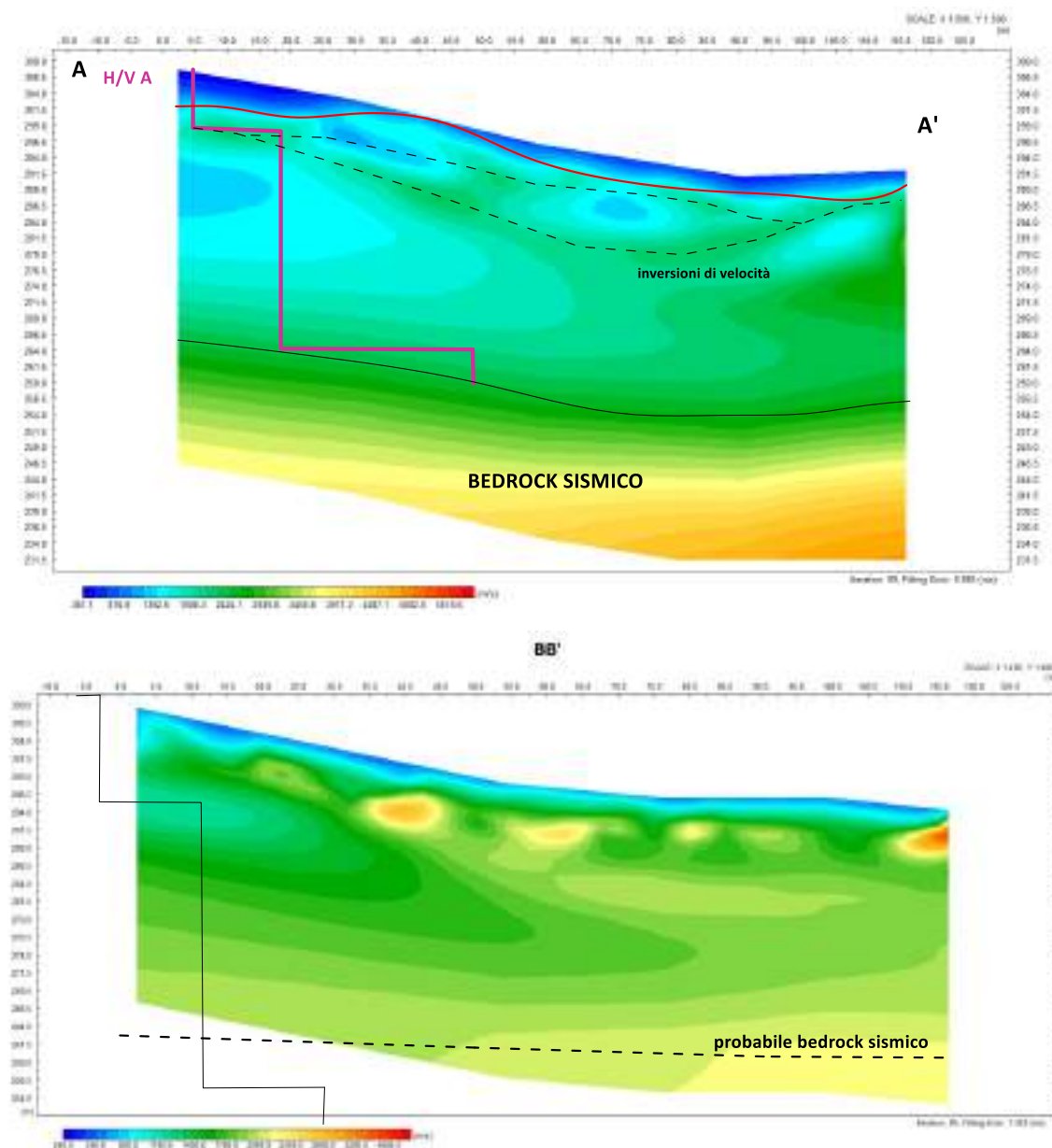


Le indagini MASW effettuate, allo stesso modo, presentano un incremento delle velocità sui 10 -15 m in corrispondenza, non tanto del contatto sui 5 metri fra materiali superficiali e sedimenti di origine lacustre intatti, ma in prossimità dell'estensione massima della sezione tomografica (in entrambe le sezioni): questo è possibile solo in presenza di un'inversione di velocità dovuta ad un livello compatto.

Tale ipotesi è confermata inoltre da un valore troppo alto della velocità in sh registrata sul MASW (circa 600 m/s) compatibile ad esempio con dei livelli di ghiaia o dei livelli arenacei, o livelli sovraconsolidati, ecc....

Inoltre, i risultati dell'H/V mostrano picchi di valori fra 2 e 3 hz e non mostrano picchi sui 10 hz, come ci si sarebbe potuto aspettare visti i risultati delle indagini MASW: essi risulterebbero quindi dovuti alla somma dei fenomeni di risonanza del contatto registrato sui 10 metri e quello di un litoide a profondità di circa 50 metri.

Usando velocità pari a 500 m/s si riesce, mediante inversione, a creare dei modelli sismostratigrafici verosimili per la risposta delle indagini tomometriche H/V, ottenendo la conferma del modello sismostratigrafico ipotizzato (si vedano seguenti immagini).



○ MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO PER L'ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

In base al confronto dei dati ottenuti ed alle elaborazioni fin qui effettuate, si potrà utilizzare il modello sismostratigrafico desunto dall'H/V1 per l'esecuzione di modelli 1d di risposta sismica locale.

In tale modello, il bedrock sismico è presente a partire da 52.00 m dal p.c. attuale, con velocità V_s di 850 m/s. In particolare, si individua la seguente sismostratigrafia per il sito in esame:

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Profondità in m dal p.c.	V_s [m/s]	Rapporto di Poisson
5.00	5.00	0.00-5.00	200	0.42
13.00	8.00	5.00-13.00	250	0.42
52.00	39.00	13.00-52.00	500	0.42
inf.	inf.	>52.00	850	0.42
$V_s(0.0-30.0)=330\text{m/s}$				

RIEPILOGO MODELLO GEOLOGICO, GEOGNOSTICO E SISMICO

In relazione alle classi di pericolosità geologica, idraulica e sismica degli strumenti urbanistici, per l'area di lottizzazione TU20, è stata prodotta la carta della fattibilità in cui sono state assegnate le seguenti classi di fattibilità:

- *fattibilità geologica: FG3 fattibilità geologica condizionata; FG1 fattibilità geologica senza particolari limitazioni;*
- *fattibilità idraulica: FI1 fattibilità idraulica senza particolari limitazioni;*
- *fattibilità sismica: FS3 fattibilità sismica condizionata; FS1 fattibilità sismica senza particolari limitazioni.*

In base alle indagini effettuate e pregresse è stato possibile individuare le seguenti caratteristiche geologiche, geotecniche e sismiche dell'area in studio:

- *sondaggi geognostici:*

- i sondaggi geognostici effettuati hanno evidenziato la presenza di limi argillosi e limi sabbiosi aventi spessori metrici, alternati a livelli di sabbia, ghiaia e breccia aventi spessori decimetrici: in particolare, il sondaggio S1 ha individuato un livello di ghiaia eterometrica a 13.40/14.10 m, il sondaggio S2 n.2 livelli di ghiaia eterometrica a 7.10/8.45 m e 13.75/15.00 m, il sondaggio S3 un livello di ghiaia eterometrica a 8.00/9.30 m ed il sondaggio S4 n.3 livelli di ghiaia e breccia a 4.00/6.35 m, 14.90/22.60 m e 29.40/30.00 m;

- *prove penetrometriche DPSH:*

- le prove penetrometriche delle indagini 2010 e 2022, hanno fornito risultati concordi tra loro;
- le prove eseguite hanno evidenziato la presenza di un primo livello di terreno pedogenetico e di limo sabbioso alterato e caratterizzato da scadenti parametri geotecnici, avente uno spessore variabile da un minimo di 1.00 m ad un massimo di 4.80 m dal p.c., caratterizzato da bassi valori geotecnici ($N_{20} \text{ medi} = 2.0/5.7$);
- al di sotto è presente un secondo livello costituito da limo sabbioso mediamente addensato avente migliori caratteristiche geotecniche ($N_{20} \text{ medi} = 6.40-18.0$) e individuato fino alla profondità di 8.80/9.60 m dal p.c., seguito da limo argilloso molto consistente individuato fino alla massima profondità raggiunta con le prove di 10.00 m dal p.c. e caratterizzato da parametri geotecnici elevati ($N_{20} \text{ medi} = 12.5/29.0$);
- a diverse profondità e secondo una distribuzione non uniforme e non correlabile, si evince la presenza di livelli o lenti conglomeratiche o ghiaiose caratterizzate da elevati parametri geotecnici, all'interno dei quali le prove penetrometriche si sono interrotte in relazione alla loro elevata compattezza ($N_{20} \text{ medi} = 14.8-32.3$);

- *indagine sismica 2010:*

- l'indagine sismica DH non ha indicato la presenza del substrato sismico caratterizzato da valori di $VS > 800 \text{ m/sec}$, nei primi 30 m di profondità;
- il valore di V_{Seq} coincidente con VS_{30} del DH, è pari a:

$$V_{Seq} = VS_{30} = 472 \text{ m/s (DH)}$$

- *indagine sismica 2022:*

- il bedrock sismico caratterizzato da valori di $VS > 800 \text{ m/sec}$, è stato individuato a partire da una profondità di 52-55 m dal p.c. attuale per l'area in studio;
- i valori di V_{Seq} coincidente con VS_{30} , ottenuti nelle indagini MASW sono pari a:

$$V_{Seq} = VS_{30} = 401 \text{ m/s (MASW A)}$$

$$V_{Seq} = VS_{30} = 414 \text{ m/s (MASW B)}$$

- i valori di VSeq coincidente con VS30, ottenuti nelle indagini H/V sono pari a:

$$\mathbf{VSeq = VS30 = 330 \text{ m/s (H/V1)}}$$

$$\mathbf{VSeq = VS30 = 333 \text{ m/s (H/V2)}}$$

- in base al confronto dei dati ottenuti ed alle elaborazioni fin qui effettuate, si conferma il modello sismostratigrafico desunto

- in base al confronto dei dati ottenuti ed alle elaborazioni effettuate, si potrà utilizzare il modello sismostratigrafico desunto dall'H/V1 per l'esecuzione di modelli 1d di risposta sismica locale (si veda tabella riportata nel precedente paragrafo), in cui il bedrock sismico è presente a partire da 52.00 m dal p.c. attuale, con velocità Vs di 850 m/s.

CONSIDERAZIONI GENERALI IN CONDIZIONI SISMICHE

Per quanto riguarda gli aspetti sismici il documento si attiene al D.G.R.T. n°431 del 19 giugno 2006 in attuazione al D.M. del 14 settembre 2005 e O.P.C.M. n°3519 del 28 aprile 2006 ed alla Del. GRT n° 878 del 8/10/2012 (pubblicata su BURT Parte Seconda n. 43 del 24.10.2012 Supplemento n.136): il Comune di Monteriggioni, in base a tale classificazione sismica, è stato inserito in Zona 3.

In relazione al D.M. 17/01/2018 “Norme Tecniche per le costruzioni”, sono individuate quattro zone (di cui le prime tre vengono suddivise in quattro intervalli caratterizzati da differenze di accelerazione pari a 0.025g, mentre la quarta, visti i bassi valori di accelerazione, non prevede ulteriori suddivisioni), sulla base di differenti valori dell’accelerazione a_g orizzontale massima convenzionale su terreno a comportamento litoide (espressa come frazione dell’accelerazione di gravità) ai quali ancorare lo spettro di risposta elastico; ciascuna zona è individuata mediante valori di accelerazione massima del suolo a_g con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/sec, secondo lo schema seguente:

Zona	Accelerazione con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni (a_g)	Accelerazione orizzontale massima convenzionale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (a_g/g)
1	$0.25 < a_g \leq 0.35$	0.35g
2	$0.15 < a_g \leq 0.25$	0.25g
3	$0.05 < a_g \leq 0.15$	0.15g
4	$a_g \leq 0.05$	0.05g

1. CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

Le Norme Tecniche (D.M. 17/01/2018 “Norme Tecniche per le costruzioni”), nel paragrafo 3.2.2, indicano delle categorie di sottosuolo di riferimento per la definizione dell’azione sismica di progetto.

L’effetto della risposta sismica locale in situazioni complesse si valuta mediante specifiche analisi da eseguire con le modalità indicate al paragrafo 7.11.3 delle NTC 2018.

In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s .

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all’approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall’espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

in cui:

- h_i : spessore dello strato "i-esimo";
- $V_{s,i}$: velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
- N : numero di strati;
- H : profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s_{eq}}$ è definita dal parametro $V_{s_{30}}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono le seguenti (Tab. 3.2.II delle NTC 2018):

CATEGORIA A: *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

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.

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.

CATEGORIA D: *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.

CATEGORIA E: *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D*, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

2. CONDIZIONI TOPOGRAFICHE ED AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Le categorie topografiche vengono disciplinate nel paragrafo 3.2.2 delle NTC 2018.

Per situazioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale, mentre per configurazioni superficiali semplici si potrà adottare la seguente classificazione:

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T1	<i>Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ($i \leq 26.7\%$)</i>
T2	<i>Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ($i > 26.7\%$)</i>
T3	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ ($26.7\% \leq i \leq 57.7\%$)</i>
T4	<i>Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base ed inclinazione media $i > 30^\circ$ ($i > 57.7\%$)</i>

Tab. 3.2.III - Categorie topografiche

Per tenere conto delle condizioni topografiche ed in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportato nella seguente tabella in funzione dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento (tabella 3.2.V delle NTC 2018):

CATEGORIA	UBICAZIONE DELL'OPERA O DELL'INTERVENTO	St
T1	-----	1.0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1.2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1.4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o del rilievo, dalla sommità o cresta, dove St assume il valore massimo riportato nella tab. 3.2.V, fino alla base, dove St assume valore unitario.

PARAMETRI SISMICI DI BASE PER L'AREA IN STUDIO

1. STIMA DELLA CATEGORIA TOPOGRAFICA E DEL COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Essendo l'area in studio caratterizzata da un profilo morfologico caratterizzato da pendenze dell'ordine del 12-16%, in base alla precedente tabella 3.2.V appartiene alla categoria topografica **T1** (*Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ e $i \leq 26.7\%$*).

Pertanto, si affida al terreno in studio, il seguente coefficiente topografico **St** di amplificazione sismica:

$$St = 1.00$$

2. INDICAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Dall'analisi sismica effettuata non è stato individuato un substrato sismico (formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/sec) nei primi 30 m; il valore di VSeq, coincidente con VS30 è risultato il seguente:

$$VSeq = VS30 = 472 \text{ m/s.}$$

→ INDIVIDUAZIONE DELLA CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Dai risultati delle indagini sismiche pregressa e nuova, i valori di vs ottenuti sono i seguenti:

- VSeq = VS30 = 472 m/s (DH)
- VSeq = VS30 = 401 m/s (MASW A)
- VSeq = VS30 = 414 m/s (MASW B)
- VSeq = VS30 = 330 m/s (H/V1)
- VSeq = VS30 = 333 m/s (H/V2)

Pertanto, considerando il valore mediano di VSeq, ed in relazione alle caratteristiche geotecniche ottenuti dall'indagine geognostica, è possibile classificare i terreni di fondazione nella seguente categoria di sottosuolo:

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.

3. DATI SISMICI DI BASE E PARAMETRI DI PROGETTO

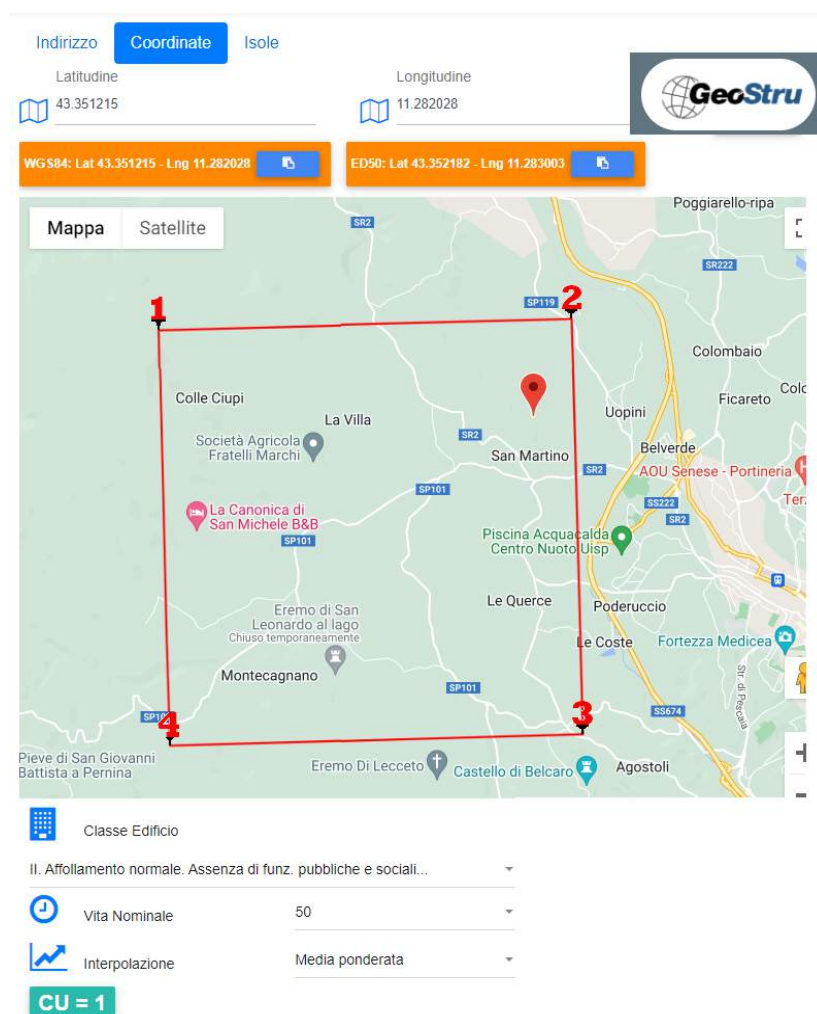
Per valutare la sismicità dell'area mediante il metodo sito-dipendente, è necessario localizzare geograficamente il terreno in oggetto e inserire i dati di progetto per le opere da costruire: in questo caso si utilizza il software free online da Geostru per i parametri sismici (<https://geoapp.eu/parametrisismici2018/>).

Localizzazione geografica sito in esame:

latitudine WGS84: 43.351215
 longitudine WGS84: 11.282028
 latitudine ED50: 43,352182
 longitudine ED50: 11,283003

Parametri di progetto:

Classe: 2
 Vita nominale: 50
 Periodo di riferimento: 50anni
 Coefficiente cu: 1



Come visibile dalla precedente immagine, per l'area in studio si hanno i seguenti nodi della maglia di riferimento, derivanti della mappa di pericolosità sismica per il territorio nazionale relativamente all'Ordinanza PCM 3519/2006 riferita al DM 14 settembre 2005:

Siti di riferimento mappa di pericolosità sismica nazionale

Sito	ID	Lat	Lon	Distanza
Sito 1	ID: 21834	Lat: 43,3628	Lon: 11,2206	Distanza: 5181,248
Sito 2	ID: 21835	Lat: 43,3641	Lon: 11,2893	Distanza: 1418,606
Sito 3	ID: 22057	Lat: 43,3141	Lon: 11,2911	Distanza: 4283,521
Sito 4	ID: 22056	Lat: 43,3128	Lon: 11,2224	Distanza: 6573,605

4. STIMA DEI COEFFICIENTI SISMICI DI BASE

Il valore dell'accelerazione massima a_{max} attesa al sito può essere valutata con la seguente relazione:

$$a_{max} = S_s S_T a_g \quad [\text{formula 7.11.5 - NTC 2018}]$$

in cui: - a_g = accelerazione orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido;
 - S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica (par.3.2.3.2 NTC 2018);
 - S_T = coefficiente di amplificazione topografica (par.3.2.3.2 NTC 2018).

I coefficienti sismici orizzontale e verticale che rappresentano l'azione sismica si ottengono dalle seguenti formule:

$$K_h = \beta_s (a_{max}/g) \quad [\text{formula 7.11.3 - NTC 2018}]$$

$$K_v = \pm 0.5 k_h \quad [\text{formula 7.11.4 - NTC 2018}]$$

in cui g è l'accelerazione di gravità e β_s =coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa del sito riportato nella seguente tabella:

	Categoria di sottosuolo	
	A	B, C, D, E
	β_s	β_s
$0.2 < a_g(g) \leq 0.4$	0.30	0.28
$0.1 < a_g(g) \leq 0.2$	0.27	0.24
$a_g(g) \leq 0.1$	0.20	0.20

Tab. 7.11.1 – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito

Quindi, si hanno i seguenti parametri sismici (Geostru software - <https://geoapp.eu/parametrisismici2018/>):

Categoria sottosuolo: B

Categoria topografica: T1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 30 [anni]
 ag: 0,047 g
 Fo: 2,510
 Tc*: 0,246 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 50 [anni]
 ag: 0,058 g
 Fo: 2,531
 Tc*: 0,255 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
 Tr: 475 [anni]
 ag: 0,140 g
 Fo: 2,477
 Tc*: 0,277 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
 Tr: 975 [anni]
 ag: 0,175 g
 Fo: 2,512
 Tc*: 0,283 [s]

Coefficienti Sismici di base (verifiche di stabilità dei pendii)

SLO:	SLD:	SLV:	SLC:
Ss: 1,200	Ss: 1,200	Ss: 1,200	Ss: 1,200
Cc: 1,460	Cc: 1,450	Cc: 1,420	Cc: 1,420
St: 1,000	St: 1,000	St: 1,000	St: 1,000
Kh: 0,011	Kh: 0,014	Kh: 0,040	Kh: 0,050
Kv: 0,006	Kv: 0,007	Kv: 0,020	Kv: 0,025
Amax: 0,550	Amax: 0,683	Amax: 1,650	Amax: 2,063
Beta: 0,200	Beta: 0,200	Beta: 0,240	Beta: 0,240

ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE DELL'AREA IN STUDIO

In riferimento alla classe d'indagine 4 individuata per le opere in progetto (Allegato 1 delle Linee guida del Regolamento 1R/2022), poiché l'area è inserita negli strumenti urbanistici in classe di pericolosità sismica S3, in base alla presenza di cause predisponenti ai fenomeni di amplificazione locale in occasione di un sisma (vedere carta delle MOPS), si procede a valutare l'azione sismica attesa in base a specifiche analisi di risposta sismica locale (RSL) (ai sensi delle NTC2018 e della normativa tecnica emanata in attuazione dell'articolo 83 del d.p.r. 380/2001).

L'analisi RSL è stata effettuata in corrispondenza dell'area di lottizzazione, facendo riferimento, in primis, ai seguenti parametri sismici di progetto (si veda precedente paragrafo):

1. sismo-stratigrafia e categoria di sottosuolo individuati dall'elaborazione delle indagini sismiche acquisite;
2. spettri di risposta elastici per gli stati limite SLV e SLD definiti in base alla vita nominale (V_N) di progetto.

Essi sono utili, infatti, alla scelta degli accelerogrammi sismo-spettro-compatibili che subiscono variazioni di ampiezza e frequenza nella propagazione dal substrato sismico ($V_s > 800$ m/s) fino alla superficie e/o al piano d'imposta delle fondazioni; queste variazioni vengono rappresentate solitamente tramite spettri di frequenza (Spettri di Fourier) e sono fortemente legati alle caratteristiche fisico-meccaniche dei sismo-strati presenti nel sito.

In base alle indicazioni delle NTC2018, l'input sismico è costituito da almeno n. 7 accelerogrammi naturali che provengono da registrazioni reali di eventi sismici e che devono essere necessariamente sismo-spettro-compatibili:

- sismo-compatibilità: le storie temporali (accelerogrammi) devono possedere caratteristiche sismogenetiche, magnitudo, distanza epicentrale, scuotimento atteso, tali da poter ipotizzare una compatibilità con il sito in esame e definito dalla Mappa di pericolosità Sismica d'Italia (si veda paragrafo seguente);
- spettro-compatibilità: le storie temporali devono essere scalate cosicché gli spettri di frequenza approssimino gli spettri di risposta elastica di base definiti per gli stati limite di progetto (SLV, SLD).

Una volta valutata la compatibilità sismologica dei n.7 accelerogrammi per mezzo dei coefficienti sismici di base definiti nella stima della pericolosità di sito (vedere paragrafi seguenti), tra le N frequenze contenute nello spettro di ogni sisma, vengono prese in considerazione quelle che rappresentano al meglio il range di frequenza in cui si verificano fenomeni di amplificazione locale all'interno del mezzo di propagazione in sito.

ANALISI MONODIMENSIONALE (RSL-1D)

In breve, si riportano le fasi procedurali che hanno portato ai risultati RSL-1D presentati rimandando all' "ALLEGATO 6 Relazione di Calcolo" per ogni dettaglio riguardo le funzioni di trasformazione implementate nei codici procedurali del software LSR-1D di Stacec®.

L'analisi di risposta sismica locale 1D è effettuata mediante i seguenti step:

- scelta dell'input sismico spettro-compatibile con quello del sito in esame riferito ad un suolo rigido attraverso un'analisi di disaggregazione per ciascun stato limite in esame;
- inserimento della sismo-stratigrafia ottenuta dall'indagine sismica effettuata;
- calcolo dell'output sismico tenendo conto delle modifiche del segnale di input derivanti dalle diverse caratteristiche elastiche e meccaniche degli strati attraversati;
- estrapolazione finale dei parametri ottenuti per ogni stato limite esaminato.

1. SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI DI SITO

Per il sito in esame, nella modellazione si inseriscono i dati di base e di progetto, riportati nel precedente paragrafo, nel foglio di calcolo ministeriale **Spettri di risposta ver. 1.0.3.**:

- coordinate del sito;
- classe d'uso dell'opera;
- vita nominale dell'opera;
- stati limite di riferimento.

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

☒ Ricerca per coordinate
 LONGITUDINE: 11.28203
 LATITUDINE: 43.35122

☐ Ricerca per comune
 REGIONE: Toscana
 PROVINCIA: Siena
 COMUNE:

Elaborazioni grafiche
 Grafico spettri di risposta
 Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche
 Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
☐ Dato esistente al reticolo
☐ Interpolazione su 2 nodi
☒ Interpolazione a reticolo

Interpolazione
 superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia quindi la "Ricerca per coordinate".

INTRO **FASE 1** FASE 2 FASE 3

Definizione dei parametri sismici.

FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita normale della costruzione (in anni) - V_n info

Coefficiente d'uso della costruzione - U_d info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) - V_R info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) - T_R info

Stati limite di esercizio - SLE

- SLD - P_{10} = 81%
- SLD - P_{10} = 63%

Stati limite ultimi - SLU

- SLV - P_{10} = 10%
- SLC - P_{10} = 5%

Elaborazioni

- Grafici parametrizzazioni
- Grafici spettri di risposta
- Tabella parametrizzazioni

Strategia di progettazione

LEGENDA GRAFICO

---●--- Strategia per costruzioni ordinarie

---●--- Strategia scelta

INTRO
FASE 1
FASE 2
FASE 3

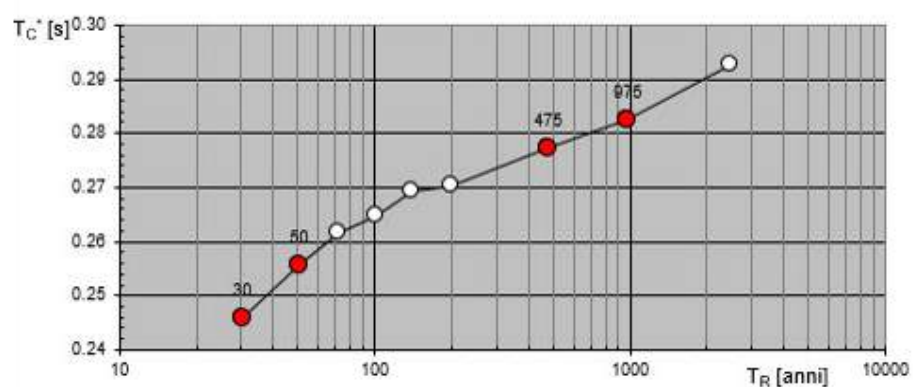
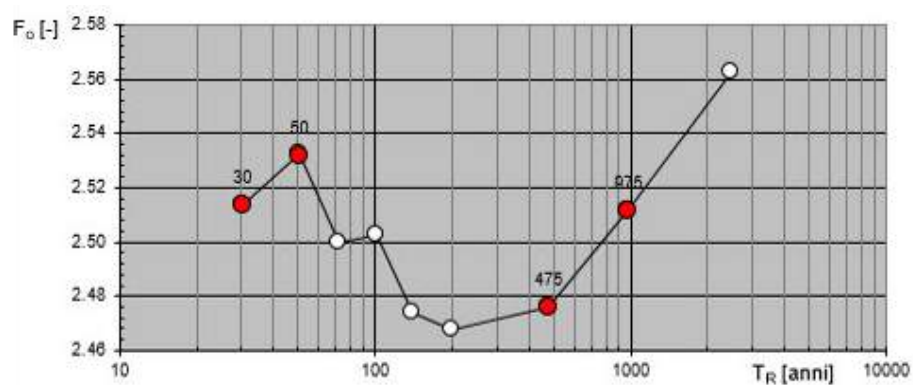
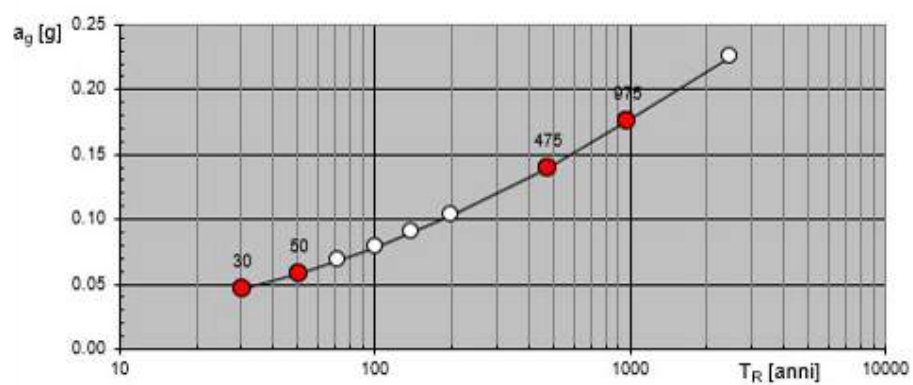
Scelta dei valori di progetto.

Dal foglio di calcolo si ottengono i seguenti valori dei parametri T_R - a_g - F_o - T_c per ciascuno stato limite: nei grafici seguenti sono estrapolati tutti i periodi di ritorno previsti dalla normativa con in rosso i periodi di ritorno considerati nel presente studio e i rispettivi spettri di risposta elastici per ciascun stato limite.

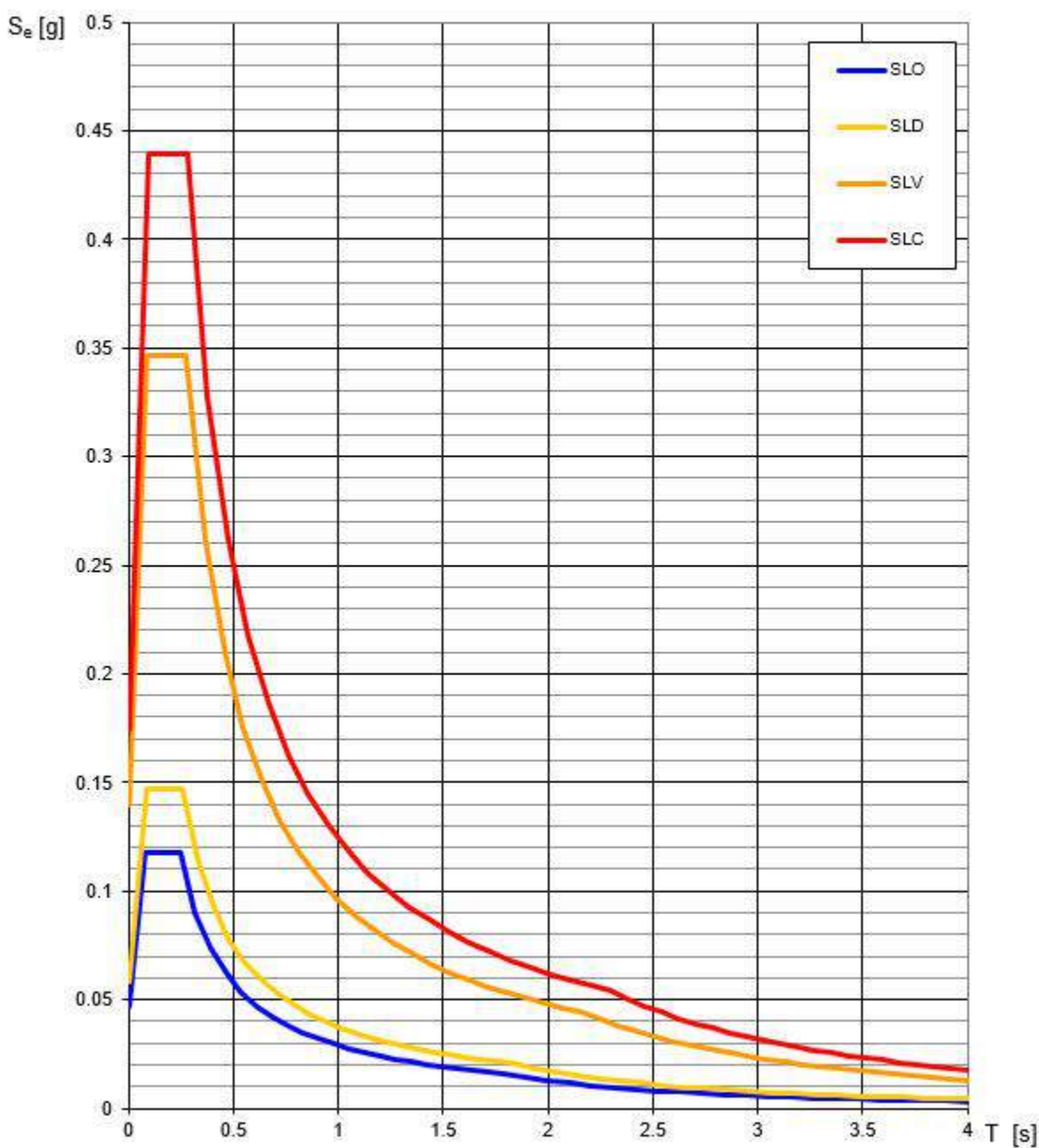
Valori dei parametri a_g , F_o , T_c per i periodi di ritorno T_R associati

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c [s]
SLO	30	0.047	2.513	0.246
SLD	50	0.058	2.532	0.256
SLV	475	0.140	2.476	0.277
SLC	975	0.175	2.511	0.283

Valori di progetto dei parametri a_g , F_o , T_C^* in funzione del periodo di ritorno



Spettri di risposta elastici per i diversi Stati Limite

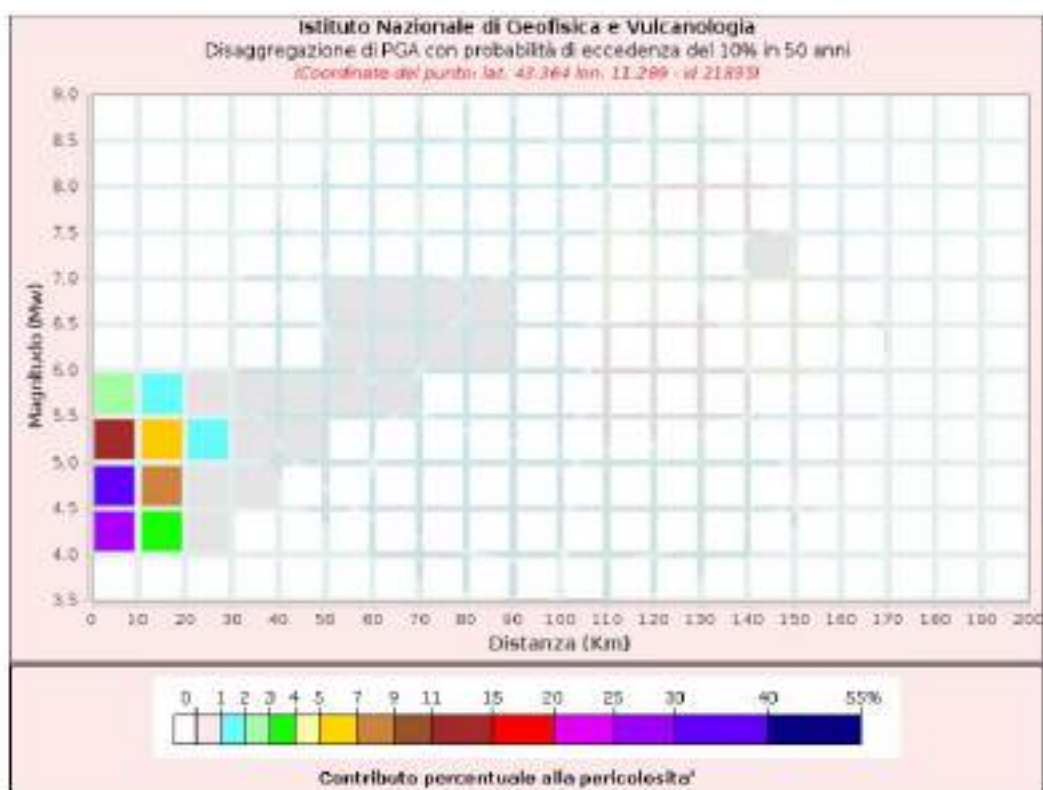
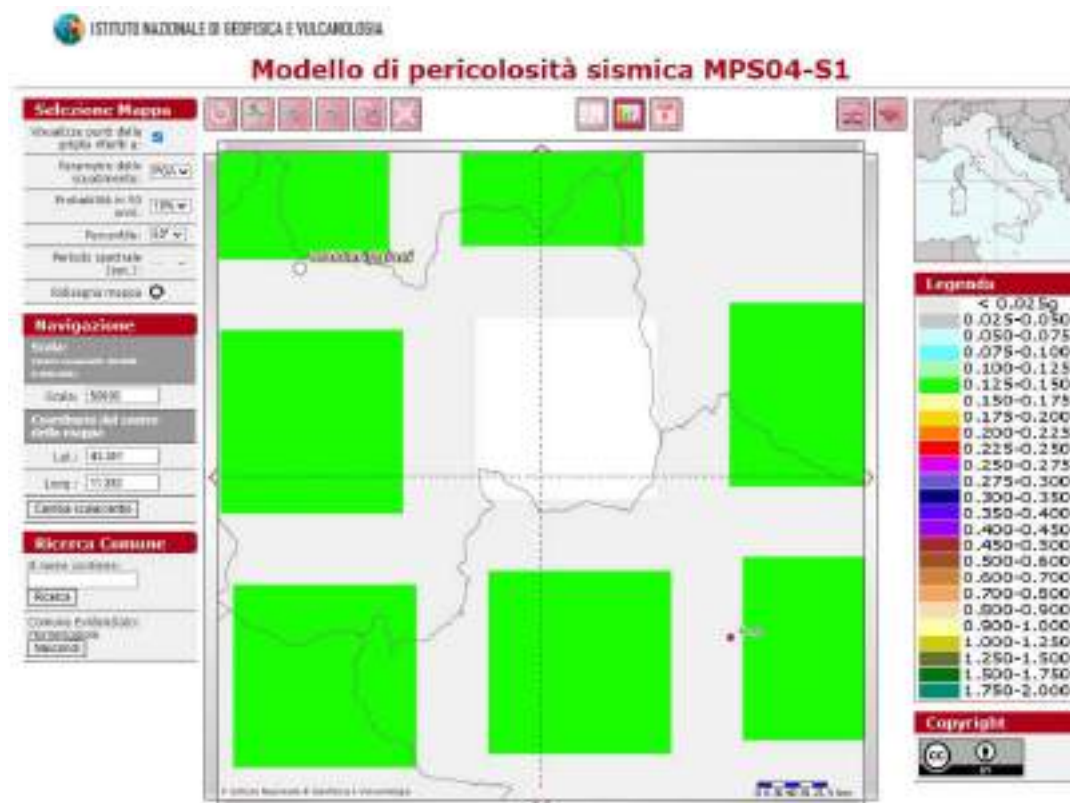


2. ANALISI DI DISAGGREGAZIONE

L'estrazione degli accelerogrammi di input sismo-compatibili prevede la determinazione di altri parametri sismologici, oltre a quelli precedentemente definiti.

In particolare devono essere definiti i dati di disaggregazione sismica (variabilità in termini di magnitudo e distanza) ottenuti consultando il database dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano al link <http://esse1-gis.mi.ingv.it>.

○ MODELLO DI PERICOLOSITÀ SISMICA PER SLV



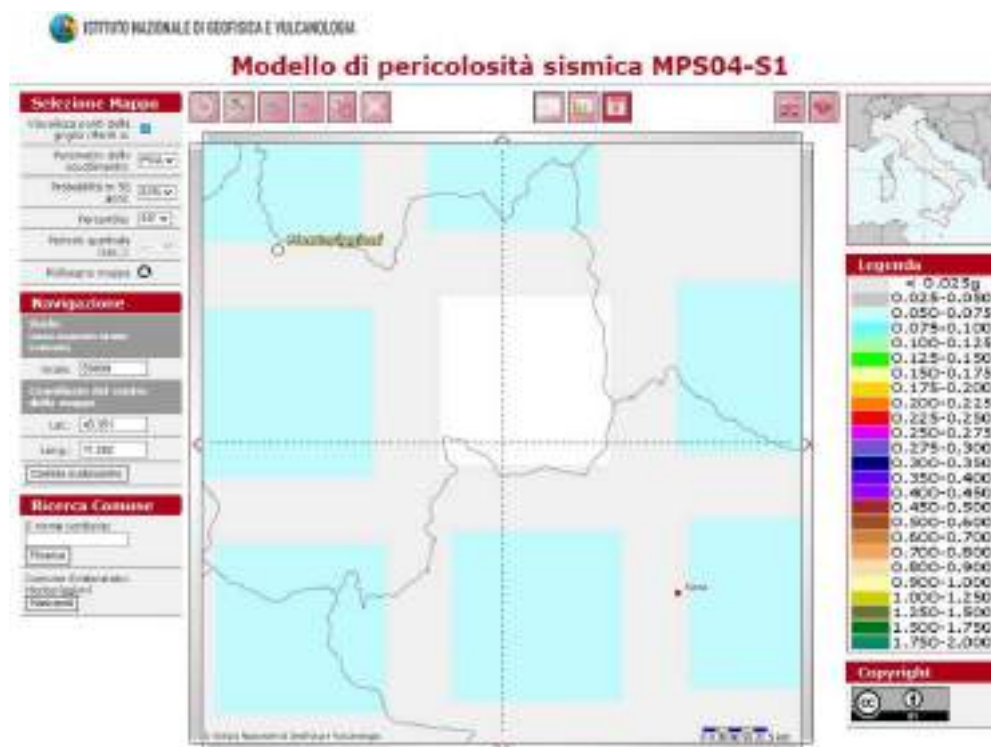
Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni (Coordinate del punto SLV: 43.364 lon, 11.289 lat 21835)											
Distanza (Km)	Magnetudo (Mw)										
	3.5- 4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0-5.5	5.5- 6.0	6.0- 6.5	6.5- 7.0	7.0- 7.5	7.5- 8.0	8.0- 8.5	8.5- 9.0
0-10	0.0000	26.6000	35.8000	12.3000	2.0700	0.4000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	3.9700	8.4400	5.1500	1.8900	0.4000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	0.8447	0.7530	1.1700	0.5460	0.4000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	0.0000	0.0032	0.1854	0.1720	0.4000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.0000	0.0000	0.0048	0.0384	0.4000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	0.0255	0.0071	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0068	0.0111	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0111	0.0056	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

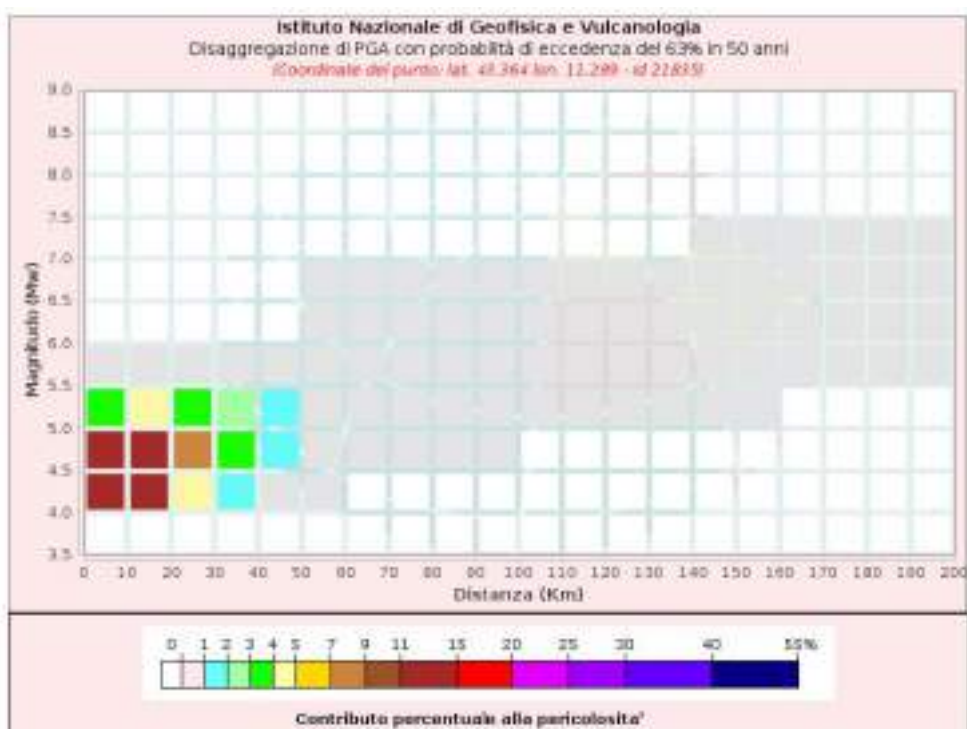
Valori RSLV		
Magnetudo	Distanza	Ezido
4.70	7.17	0.827

Con riferimento alle figure precedenti sono stati determinati i seguenti parametri M – R di disaggregazione per lo stato SLV:

- M (magnetudo) compresa fra $M_{\min} = 4.0$ e $M_{\max} = 6.0$;
- R (distanza) compresa fra $R_{\min} = 0$ km e $R_{\max} = 30$ km.

○ MODELLO DI PERICOLOSITÀ SISMICA PER SLD





Disaggregazione di PGA con probabilità di eccedenza del 63% in 50 anni (Coordinate del punto: lat. 43.364 lon. 12.289 - id 21835)											
Distanza (Km)	Magnitudo (Mw)										
	3.5- 4.0	4.0-4.5	4.5-5.0	5.0- 5.5	5.5- 6.0	6.0- 6.5	6.5- 7.0	7.0- 7.5	7.5- 8.0	8.0- 8.5	8.5- 9.0
0-10	0.0000	14.3000	14.8000	3.4100	0.5870	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
10-20	0.0000	11.2000	14.8000	4.7400	0.9210	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
20-30	0.0000	4.4000	7.3500	3.2700	0.7830	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
30-40	0.0000	1.8300	3.6600	2.0900	0.5300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
40-50	0.0000	0.6110	1.6200	1.1700	0.3450	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
50-60	0.0000	0.0870	0.6120	0.6610	0.3060	0.1220	0.0183	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
60-70	0.0000	0.0001	0.2370	0.5460	0.4480	0.3320	0.0403	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
70-80	0.0000	0.0000	0.0646	0.3900	0.4780	0.3770	0.0337	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
80-90	0.0000	0.0000	0.0236	0.2730	0.3840	0.2530	0.0145	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
90-100	0.0000	0.0000	0.0024	0.1380	0.2600	0.1800	0.0079	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
100-110	0.0000	0.0000	0.0000	0.0594	0.1770	0.1390	0.0048	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
110-120	0.0000	0.0000	0.0000	0.0228	0.1200	0.1050	0.0032	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
120-130	0.0000	0.0000	0.0000	0.0124	0.0886	0.0758	0.0023	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
130-140	0.0000	0.0000	0.0000	0.0062	0.0672	0.0574	0.0018	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
140-150	0.0000	0.0000	0.0000	0.0019	0.0409	0.0400	0.0018	0.0150	0.0000	0.0000	0.0000
150-160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0220	0.0370	0.0404	0.0367	0.0000	0.0000	0.0000
160-170	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0105	0.0243	0.0332	0.0320	0.0000	0.0000	0.0000
170-180	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0036	0.0143	0.0252	0.0257	0.0000	0.0000	0.0000
180-190	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0011	0.0081	0.0187	0.0203	0.0000	0.0000	0.0000
190-200	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	0.0044	0.0139	0.0162	0.0000	0.0000	0.0000

Valori Medi		
Magnitudo	Distanza	Epsilon
4.78	21.2	0.497

Con riferimento alle figure precedenti sono stati determinati i seguenti parametri M – R di disaggregazione per lo stato SLD:

- M (magnitudo) compresa fra $M_{\min} = 4.0$ e $M_{\max} = 5.5$;
- R (distanza) compresa fra $R_{\min} = 0$ km e $R_{\max} = 50$ km.

○ ESTRAPOLAZIONE DEGLI ACCELEROGRAMMI

Si è proceduto all'estrapolazione degli accelerogrammi spettro compatibili, facendo riferimento al database ESM (Engineering Strong Motion) mediante l'utilizzo del programma REXELweb* disponibile on line (<https://esm-db.eu/#/rexel>).

Il programma REXELweb seleziona automaticamente gli accelerogrammi dal database tramite un'interfaccia utente grafica online: fornisce combinazioni compatibili con lo spettro di registrazioni del movimento del suolo a 1, 2 o 3 componenti, compatibili in media con uno spettro target.

Nel programma, inserendo il target "Italian building code DM 2018", si ottengono per il sito in studio 7 accelerogrammi finali per ciascun stato limite, riferiti a suoli di tipo rigido A e pianeggianti T1.

File *.ASC contenenti gli accelerogrammi estrapolati per SLV:

4A.M03.HNE.D.IT-2009-0102.ACC.MP.ASC	File ASC
EU.TVA.00.HNE.D.ME-1979-0012.ACC.MP.ASC	File ASC
IT.CRP.00.HNN.D.IT-2012-0010.ACC.MP.ASC	File ASC
IT.CRP.00.HNN.D.IT-2012-0011.ACC.MP.ASC	File ASC
IT.NOR.00.HGN.D.EMSC-20100208_0000077.ACC.MP.ASC	File ASC
IT.NVL.00.HNN.D.IT-1906-0003.ACC.MP.ASC	File ASC
IT.T0814.HNN.D.IT-2012-0010.ACC.MP.ASC	File ASC

File *.ASC contenenti gli accelerogrammi estrapolati per SLD:

E.CSNO.00.HNN.D.IT-1984-0005.ACC.MP.ASC	File ASC
IT.AQK.00.HNN.D.IT-2009-0121.ACC.MP.ASC	File ASC
IT.BZZ.00.HNE.D.IT-2009-0102.ACC.MP.ASC	File ASC
IT.NRC.00.HGE.D.EMSC-20100824_0000172.ACC.MP.ASC	File ASC
IT.NRC.00.HGN.D.EMSC-20100903_0000009.ACC.MP.ASC	File ASC
IT.T0824.HNN.D.IT-2012-0012.ACC.MP.ASC	File ASC
IT.T0824.HNN.D.IT-2012-0032.ACC.MP.ASC	File ASC

* Credits REXELweb:

Sgobba, S., Puglia, R., Pacor F., Luzi, L., Russo, E., Felicetta, C., Lanzano, G., D'Amico, M., Baraschino, R., Baltzopoulos, G., Iervolino, I.

REXELweb: a tool for selection of ground-motion records from the Engineering Strong Motion database (ESM) 7th International Conference on Earthquake Geotechnical Engineering (ICEGE) 17 - 20 June 2019, Roma, Italy

Luzi L, Puglia R, Russo E & ORFEUS WG5 (2016), Engineering Strong Motion Database, version 1.0, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Observatories & Research Facilities for European Seismology, doi: 10.13127/ESM

The core engine is composed by: some Python scripts developed by Rodolfo Puglia [1] and Sara Sgobba [1] and some fortran routines developed by Iunio Iervolino [2]

Ringraziamenti: Sara Sgobba [1], Rodolfo Puglia [1], Francesca Pacor [1], Lucia Luzi [1], Emiliano Russo [3], Chiara Felicetta [1], Giovanni Lanzano [1], Maria D'Amico [1], Roberto Baraschino [2], Georgios Baltzopoulos [2], Iunio Iervolino [2] ([1] Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Milan, Italy; [2] Università degli Studi di Napoli Federico II, Dipartimento di Strutture per l'Ingegneria e l'Architettura, Napoli, Italy; [3] Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Rome, Italy).

3. ANALISI DI RISPOSTA SISMICA

Una volta acquisiti gli accelerogrammi di input riferiti al bed-rock, si procede all'analisi di risposta sismica locale, applicando le variazioni di frequenza ed ampiezza date dal mezzo durante la propagazione dell'onda dall'interfaccia substrato/copertura sino alla superficie. Nel nostro caso, tale operazione viene adoperata dal software **LSR-1D Risposta Sismica Locale 1D della STACEC srl**, che, utilizzando le serie temporali estratte da Rexel Web, esegue le

analisi di risposta nel dominio della frequenza, calcolando la risposta dinamica di sito di una col

onna monodimensionale di terreno, in base alle proprietà dinamiche del suolo dovute alla deformazione (smorzamento D e modulo di taglio G).

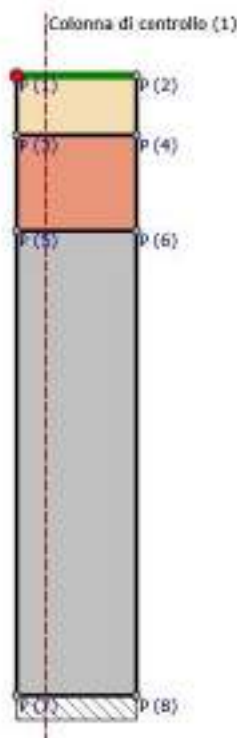
○ MODELLO DI TERRENO UTILIZZATO NELLE ANALISI

Il modello sismostratigrafico del terreno utilizzato per la modellazione dell'analisi sismica, è quello ottenuto dalle indagini geognostiche e simiche effettuate nell'area in studio e precedentemente descritte.

Pertanto, si potrà utilizzare il modello geologico dell'area in studio e quello sismostratigrafico desunto dall'H/V1, qui di seguito riassunto:

In tale modello, il bedrock sismico è presente a partire da 52.00 m dal p.c. attuale, con velocità Vs di 850 m/s e Vp di; si individua la seguente sismostratigrafia per il sito in esame:

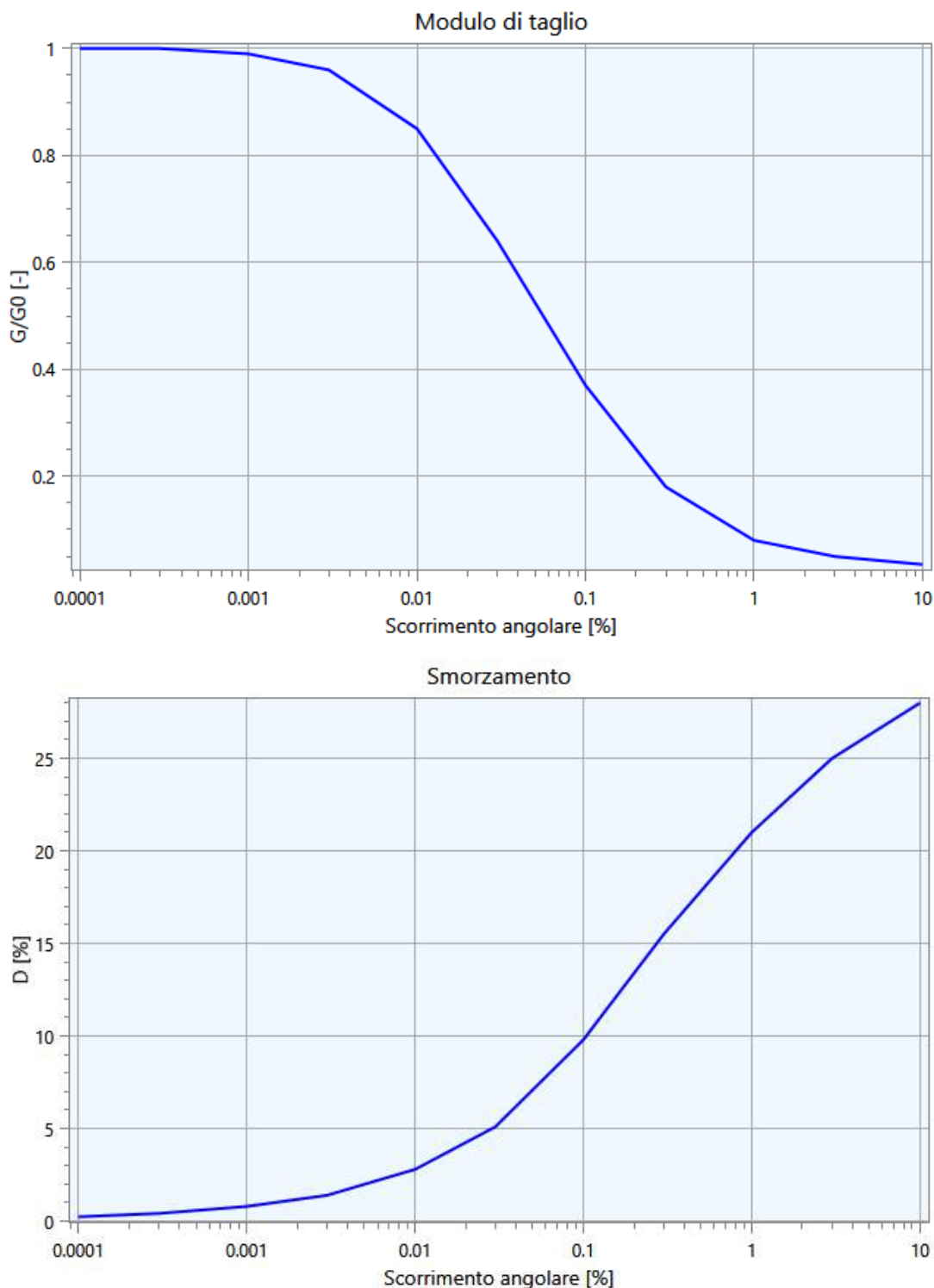
Bedrock sismico					
Profondità del bedrock sismico		52.00 m dal p.c.			
Velocità Vs del bedrock sismico		850 m/s			
Velocità Vp del bedrock sismico		2200 m/s			
Densità del bedrock sismico		2300 kg/mc			
Modello litologico e sismostratigrafico					
Profondità dal p.c. [m]	Profondità alla base dello strato [m]	Spesore [m]	Litologia	Vs [m/s]	Densità [kg/mc]
0.00-5.00	5.00	5.00	Strato 1: terreno pedogenetico, limo sabbioso	200	1600
5.00-13.00	13.00	8.00	Strato 2: limi argillosi e sabbiosi con livelli di ghiaia e conglomerati	250	2100
13.00-52.00	52.00	39.00	Strato 3: Limi argillosi e argille litificate	500	2150
>52.00	inf.	inf.	Bebrook: argille litificate e sovraconsolidate	850	2300

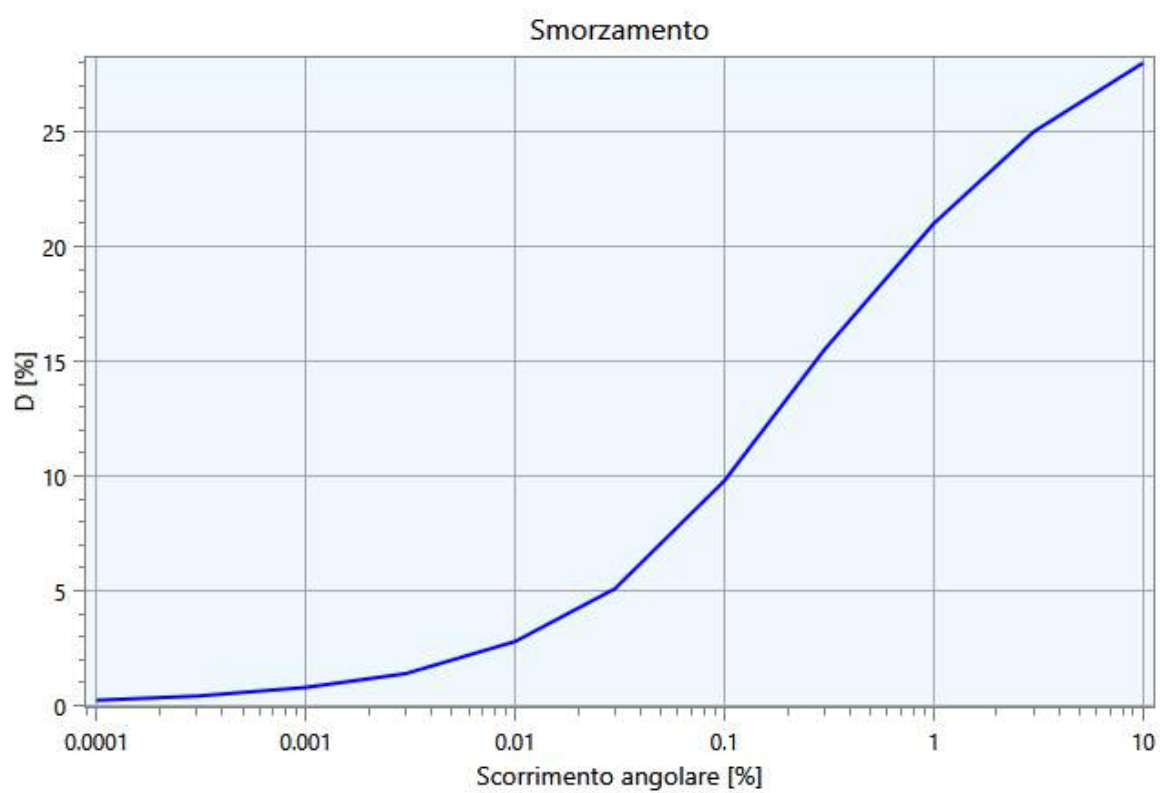
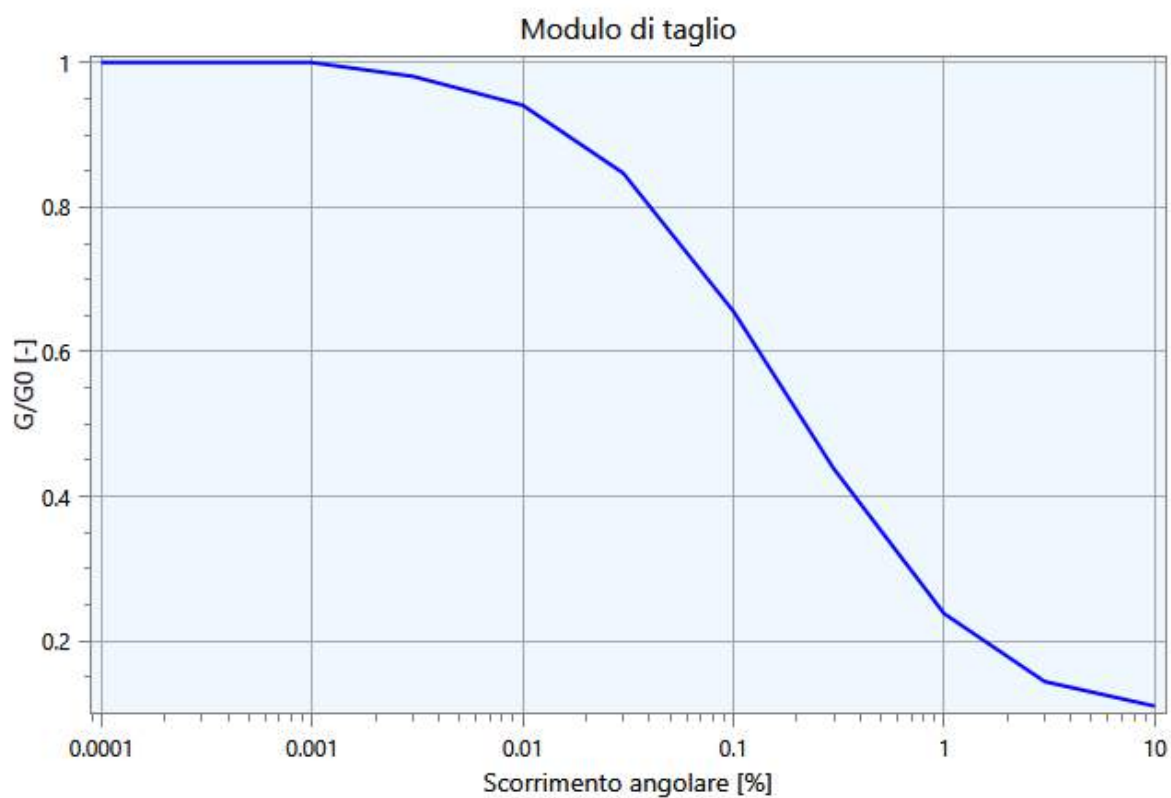


All'aumentare del livello di deformazione angolare raggiunta dal terreno si ha una diminuzione del modulo di taglio G ed un aumento del rapporto di smorzamento D . Tale comportamento può essere descritto, per ogni tipo di materiale presente nella stratigrafia, da due curve di decadimento una relativa a G ed una D .

Per i terreni individuati, si riportano qui di seguito i parametri dinamici (smorzamento D e modulo di taglio G in funzione della deformazione) delle curve di decadimento ottenute da correlazioni bibliografiche.

Strato 1: Curva n. 1 Sand Seed & Idriss (1970)

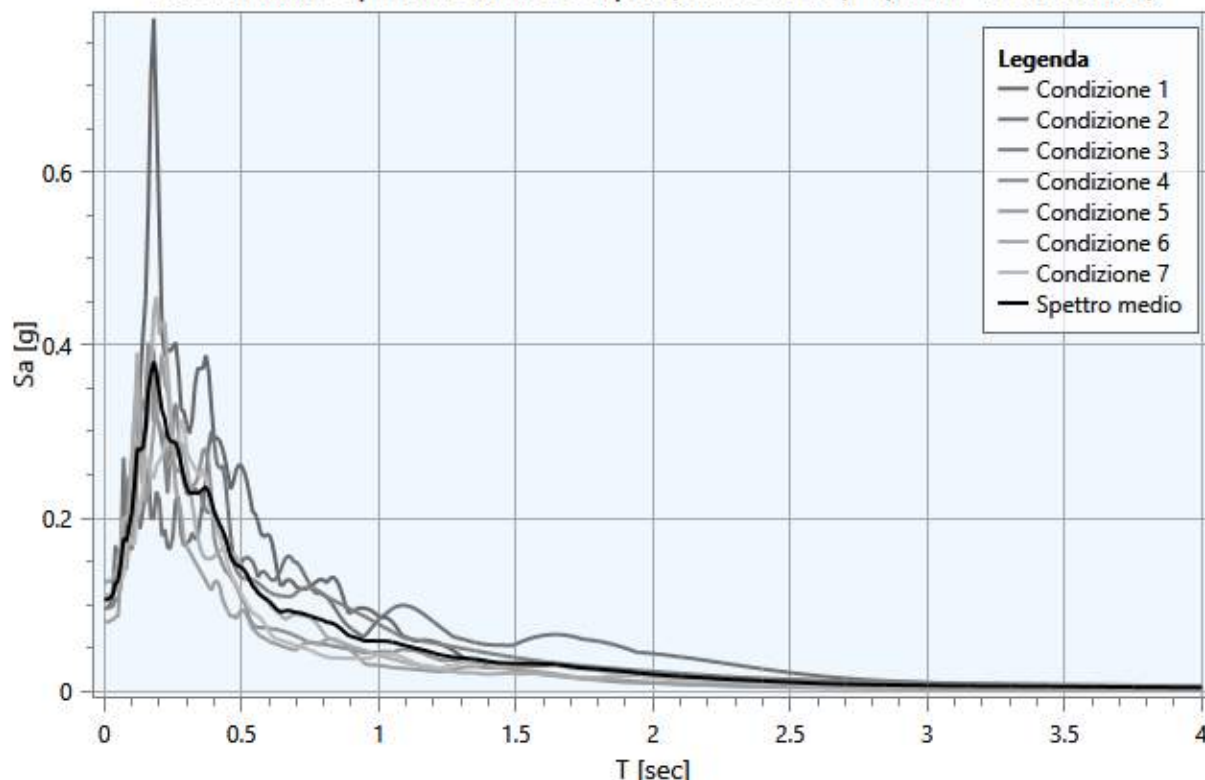


Strati 2 e 3: Curva n. 2: Clay Seed & Sun (1989)

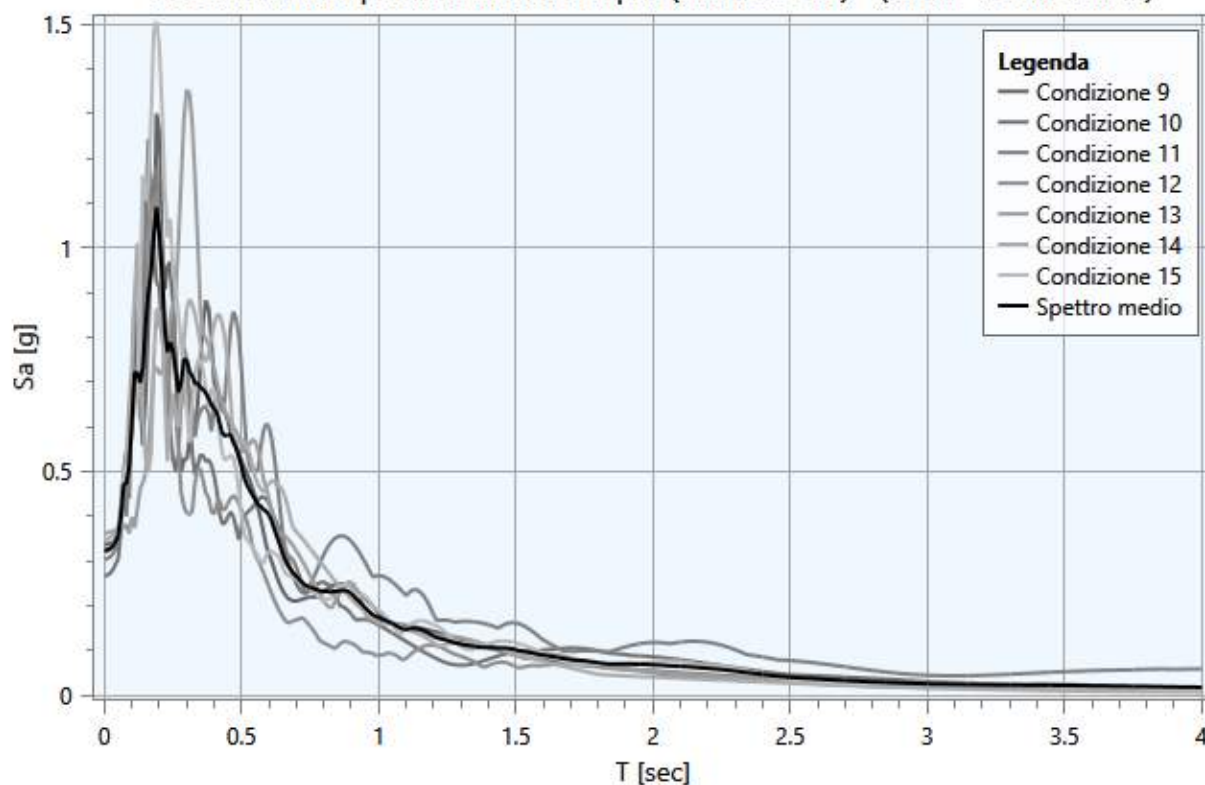
○ INTERPRETAZIONE DEI RISULTATI DELL'ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE

Di seguito vengono riportati gli spettri relativi alle varie analisi effettuate ed alle rispettive condizioni di carico per i cinematismi di controllo:

Accelerazione spettrale media Output (Analisi1 SLD) - (Nodo 1 DirezioneX)



Accelerazione spettrale media Output (Analisi2 SLV) - (Nodo 1 DirezioneX)



Di seguito vengono riportati, per ogni analisi, i parametri degli spettri parametrizzati per i vari punti di controllo presenti nella sezione oggetto di studio.

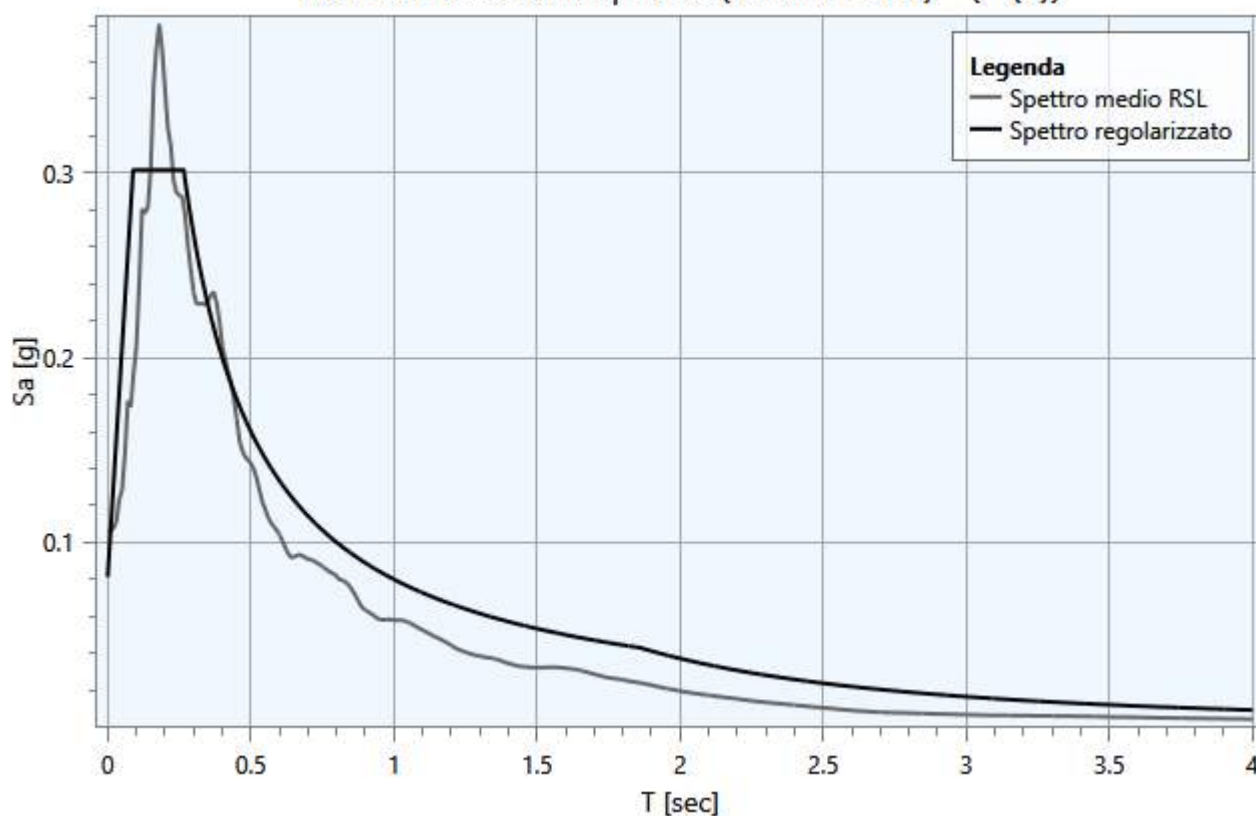
Analisi1 SLD

Punto di controllo	A_g [g]	$F0$	S	A_{max} [g]	T_b [sec]	T_c [sec]	T_d [sec]
P (1)	0.065	3.708	1.252	0.081	0.088	0.265	1.860

dove:

- A_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F0$: valore massimo dello spettro in accelerazione orizzontale;
- S : coefficiente che tiene conto degli effetti di amplificazione (stratigrafici e/o topografici);
- A_{max} : punto di ancoraggio a $T=0$ dello spettro di output;
- T_b : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
- T_c : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante;
- T_d : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.

Parametrizzazione spettro (Analisi1 SLD) - (P (1))



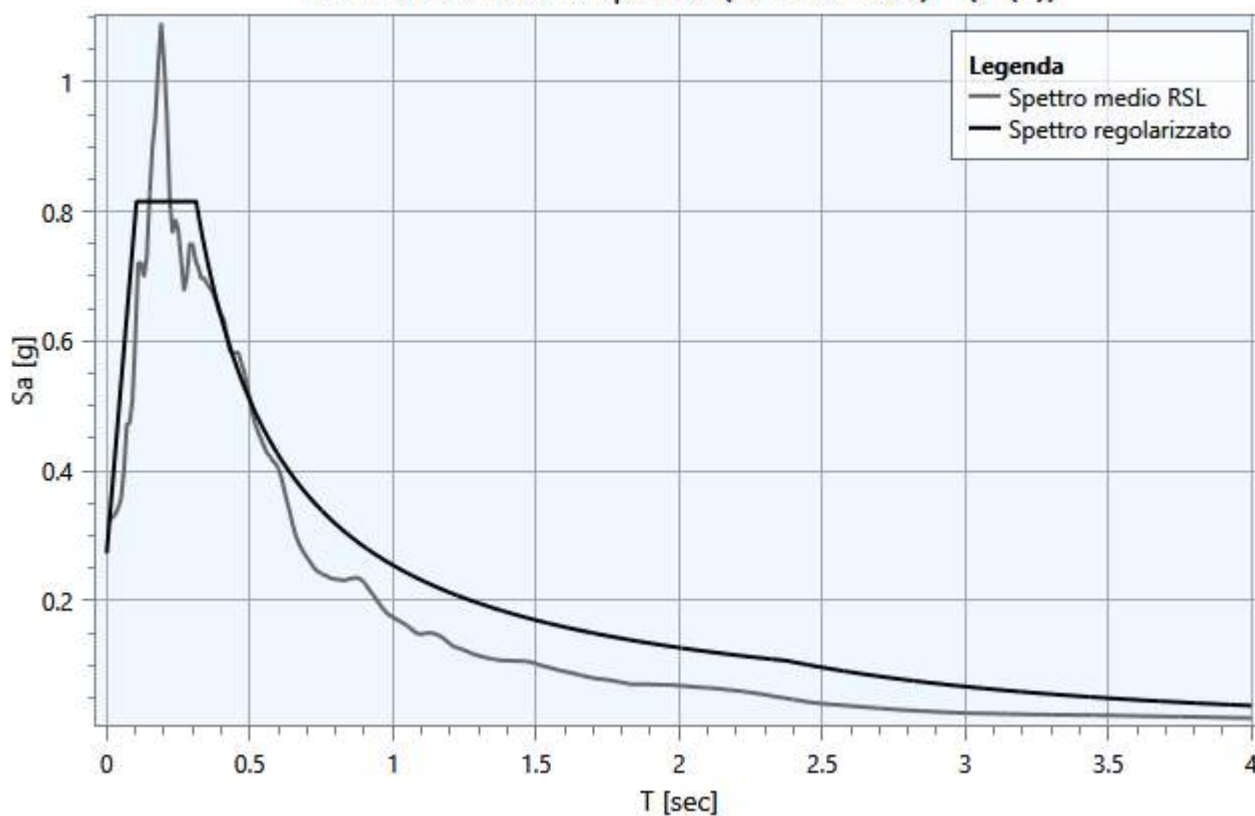
Analisi2 SLV

Punto di controllo	A_g [g]	$F0$	S	A_{max} [g]	T_b [sec]	T_c [sec]	T_d [sec]
P (1)	0.194	2.987	1.407	0.273	0.104	0.312	2.376

dove:

- A_g : accelerazione orizzontale massima al sito;
- $F0$: valore massimo dello spettro in accelerazione orizzontale;
- S : coefficiente che tiene conto degli effetti di amplificazione (stratigrafici e/o topografici);
- A_{max} : punto di ancoraggio a $T=0$ dello spettro di output;
- T_b : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;
- T_c : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a velocità costante;
- T_d : periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro a spostamento costante.

Parametrizzazione spettro (Analisi2 SLV) - (P (1))



CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

La scelta dei parametri caratteristici da affidare alle unità geotecniche si basa sulle istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici e dell'Eurocodice 7:

→ Istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Circolare n.7/19 sulle NTC2018 (C.6.2.2.4):

- valori caratteristici ragionevolmente prossimi ai valori medi, nei casi di fondazioni superficiali di grande estensione (platee), fronti di scavo e opere di contenimento di notevole altezza, per le frane, per portata laterale dei pali, nel caso in cui sia comunque coinvolto un elevato volume di terreno o nei casi in cui la struttura a contatto con il terreno sia dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelli più resistenti; il modello proposto ha lo scopo di riassumere l'assetto litostratigrafico e geotecnico di tutta l'area nel suo insieme, con possibile compensazione delle eterogeneità, e potrà essere utilizzato per esempio per il calcolo di stabilità del complesso opera-pendio;

- valori caratteristici ragionevolmente prossimi ai valori minimi, nei casi in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura a contatto con il terreno non sia in grado di trasferire forze dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti a causa della sua insufficiente rigidità; la scelta di valori caratteristici dei parametri geotecnici prossimi ai valori minimi può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni quando, ad esempio, sono presenti discontinuità.

→ Eurocodice 7: valori caratteristici ottenuti da analisi statistica a partire dai valori nominali, per lavori rilevanti e di grande impatto sul terreno; si ricorre alle relazioni indicate dall'Eurocodice 7 che fissa, per i parametri della resistenza al taglio, una probabilità di non superamento del 5%, alla quale corrisponde, per una distribuzione di tipo gaussiano, un valore di X (frattile 5%) uguale a $-1,645$. Vengono applicate le seguenti relazioni ai parametri medi (m) per ottenere quelli caratteristici (k):

$$(1) \phi'k = \phi'm (1 + X V_\phi)$$

$$(2) c'k = c'm (1 + X V_c)$$

diventeranno:

$$(3) \phi'k = \phi'm (1 - 1,645 V_\phi)$$

$$(4) c'k = c'm (1 - 1,645 V_c)$$

V coefficiente di variazione = rapporto fra lo scarto quadratico medio e la media dei valori.

I valori caratteristici ottenuti da analisi statistica dell'angolo di attrito e della coesione, qualora si abbia a disposizione esclusivamente un campione di laboratorio per ogni unità geotecnica, sono stimati per mezzo della formula semplificata di Schneider (Schneider, H. R., Definition and determination of characteristic soil properties, Proceedings of the 14th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Hamburg 1997, Balkema, Rotterdam):

$$X_k = X_m \times [1 - (COV/2)]$$

X_k = valore caratteristico

X_m = valore medio

COV coefficiente di variazione => per angolo di attrito $\phi' = 10\%$ (0.10)

=> per coesione efficace $C' = 40\%$ (0.40).

Ai sensi delle istruzioni del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ai valori caratteristici si applicheranno i coefficienti di sicurezza parziali (CP) in funzione dello stato limite considerato secondo l'approccio di calcolo scelto in base alla Normativa vigente, e per la valutazione dei cedimenti in relazione agli stati limite di esercizio, verrà utilizzato il modulo edometrico.

1. STIMA DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Nell'area in studio, per la caratterizzazione geotecnica dei livelli presenti mediante i valori ottenuti dalle prove penetrometriche dinamiche DPSH e delle prove SPT, si utilizzano le seguenti correlazioni empiriche.

- Trasformazione del valore N_{20} in N_{SPT}

Il valore N_{20} fornito dalla prova DPSH viene trasformato attraverso un coefficiente teorico di energia $\beta_t = 1.52$ tramite la seguente formula:

$$N_{SPT} = \beta_t N_{20}$$

- Stima del valore dell'angolo di attrito

Tramite l'applicazione della seguente formula, viene ricavato il valore dell'angolo di attrito (Road Bridge Specification):

$$\phi = \sqrt{15 N_{SPT} + 15}$$

- Stima della coesione non drenata

Tramite l'applicazione della seguente formula, viene ricavato il valore della coesione non drenata (SANGLERAT):

$$C_u = 0.5 \alpha N_{SPT}$$

in cui:

- $\alpha = 2.50$ per argille
- $\alpha = 2.00$ per argille limose
- $\alpha = 1.33$ per argille limoso sabbiose.

- Modulo di compressibilità del terreno

Mentre per la determinazione del modulo di compressibilità si è utilizzata la seguente formula (BUISMAN e SANGLERAT):

$$E_d = 6 N_{SPT}$$

2. UNITÀ LITOTECNICHE INDIVIDUATE

In base ai dati ottenuti dalla campagna geognostica realizzata e pregressa, è stato possibile evidenziare il più probabile assetto stratigrafico del terreno di fondazione, indicato nelle sezioni geotecniche della tavola n.2 allegata, che è costituito dalla seguente successione geotecnica:

- *Unità Ta: Terreno pedogenetico, limi sabbiosi alterati;*
- *Unità A: Limi argillosi e sabbiosi mediamente addensati;*
- *Unità B: Limi argillosi consistenti;*
- *Unità C: Limi argillosi molto consistenti con livelli litificati.*

- **Unità Ta: Terreno pedogenetico, limi sabbiosi alterati**

Questa unità è costituita dallo strato pedogenetico, dal terreno rimaneggiato e dal primo livello di terreno limoso sabbioso alterato presente nell'area in studio, dotato di scarse caratteristiche geotecniche ($N_{20} = 2.0/5.7$) e presenta uno spessore variabile da un minimo di 1.00 m ad un massimo di 4.80 m.

All'interno di tale unità si rinvenivano localmente e a profondità variabili e non correlabili tra loro, livelli caratterizzati da aumenti repentini dei valori di N20 (compresi tra 14.8 e 32.3), riconducibili alla presenza di lenti sabbioso ghiaiose aventi elevata compattezza e di conglomerati, all'interno dei quali le prove penetrometriche si sono generalmente interrotte.

Per tale unità Ta si dispone dei dati geotecnici derivanti dalle prove penetrometriche DPSH e pertanto verrà parametrizzata per mezzo delle correlazioni empiriche riportate in precedenza, considerando un comportamento incoerente del materiale ($C_u = 0$) in relazione alle caratteristiche di eterogeneità riscontrate.

Inoltre, per la caratterizzazione geotecnica dell'unità Ta si fa riferimento esclusivamente alla porzione limo-sabbiosa argillosa del deposito, omettendo le lenti ghiaioso-conglomeratiche presenti a diverse profondità dal p.c. generalmente non correlabili tra loro e aventi un grado di addensamento molto elevato.

Si riportano qui di seguito le elaborazioni effettuate ed i valori ottenuti.

Unità Ta: valori medi di N20 - indagine 2022							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
2,5	2,0	4,8	2,1	4,4	3,5	3,0	2,9
Unità Ta: valori medi di N20 - indagine 2010							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
3,5	3,8	2,8	5,7	2,6	3,3	3,8	5,4
N20 medio = 3.5							

Unità Ta: valori di NSPT ottenuti da N20 - indagine 2022							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
3,7	3,0	7,1	3,1	6,6	5,2	4,5	4,3
Unità Ta: valori i NSPT ottenuti da N20 - indagine 2010							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
5,3	5,7	4,1	8,5	3,9	5,0	5,7	8,0
NSPT medio = 5.2							

Unità Ta: valori angolo d'attrito ϕ ottenuti da Nspt (°) - indagine 2022							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
22,47°	21,68°	25,30°	21,85°	24,96°	23,81°	23,19°	22,99°
Unità Ta: valori angolo d'attrito ϕ ottenuti da Nspt (°) - indagine 2010							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
23,89°	24,25°	22,84°	26,31°	22,62°	23,63°	24,21°	25,95°
ϕ medio = 23.75°							
ϕ minimo = 21.68°							
ϕ statistico = 21.56°							

Unità Ta: valori modulo edometrico Eed ottenuti da Nspt (kg/cm ²) - indagine 2022							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
22,34	17,87	42,44	18,76	39,64	31,06	26,80	25,53
Unità Ta: valori modulo edometrico Eed ottenuti da Nspt (kg/cm ²) - indagine 2022							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
31,61	34,25	24,57	51,17	23,23	29,78	33,95	47,92
Eed medio = 31 kg/cm ²							

Tale unità possiede caratteristiche di resistenza, consistenza e parametri geotecnici bassi; pertanto, in base alle elaborazioni effettuate, possono essere affidati i seguenti valori geotecnici caratteristici:

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI PROSSIMI AI VALORI MEDI

- $N_{20} \text{ medio} = 3.5 \rightarrow N_{spt} = 5.2$
- $\text{peso di volume } \gamma = 1.60 \text{ t/m}^3$
- $\text{angolo di attrito } \phi = 23.75^\circ$
- $\text{coesione non drenata } C_u = 0.00 \text{ kg/cm}^2$

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI PROSSIMI AI VALORI MINIMI

- $\text{peso di volume } \gamma = 1.60 \text{ t/m}^3$
- $\text{angolo di attrito } \phi = 21.68^\circ$
- $\text{coesione non drenata } C_u = 0.00 \text{ kg/cm}^2$

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI CON PROBABILITÀ DI NON SUPERAMENTO DEL 5%

- $\text{peso di volume } \gamma = 1.60 \text{ t/m}^3$
- $\text{angolo di attrito } \phi = 21.56^\circ$
- $\text{coesione non drenata } C_u = 0.00 \text{ kg/cm}^2$

Per il calcolo dei cedimenti, in base alle formule precedentemente riportate ed alle elaborazioni effettuate, si affida il seguente valore del modulo edometrico:

PARAMETRI GEOTECNICI PER IL CALCOLO DEI CEDIMENTI (SLE)

- $\text{modulo edometrico } E_{ed} = 31 \text{ kg/cm}^2$

○ **Unità A: Limi argillosi e sabbiosi mediamente addensati**

Questa unità è presente al di sotto del primo livello Ta individuato, ed è costituita da alternanze di limi argillosi e limi sabbiosi mediamente addensati: i valori di N_{20} provenienti dalle prove DPSH realizzate, all'interno di tale unità A, variano da 6.40 a 18.0, mentre la profondità raggiunta dal p.c. attuale, dedotta dai grafici delle prove penetrometriche, dalle stratigrafie dei sondaggi geognostici e dalle sezioni geotecniche derivanti dalle correlazioni effettuate, è variabile da un minimo di 8.20 m ad un massimo di 17.70 m dal p.c..

All'interno di tale unità, come per la precedente, si rinvencono localmente e a profondità variabili e non correlabili tra loro, livelli caratterizzati da aumenti repentini dei valori di N_{20} (compresi tra 14.8 e 32.3), riconducibili alla presenza di lenti sabbioso ghiaiose aventi elevata compattezza e di conglomerati, all'interno dei quali le prove penetrometriche si sono generalmente interrotte.

Per tale unità A si hanno i dati geotecnici derivanti dall'esecuzione di n.5 prove SPT su sondaggio, dalle prove penetrometriche dinamiche e dai n.6 campioni sottoposti ad analisi di laboratorio (si veda seguente tabella).

UNITA' A						
campione	S1C1	S1C2	S1C3	S2C1	S2C2	S3C1
profondità (in m dal p.c.)	3.50/4.00	7.50-8.00	12.50-13.00	5.00-5.50	10.00-10.50	5.00-5.50
descrizione visiva	limo con argilla grigio- marrone debolmente fissile	limo con argilla grigio debolmente sabbioso grigio scuro	limo sabbioso argilloso debolmente ghiaioso marrone	argilla limosa grigio verdastro	argilla con limo grigio verdastro	argilla nerastra

Per la caratterizzazione geotecnica dell'unità A si fa riferimento esclusivamente alla porzione limo-sabbiosa argillosa del deposito, omettendo le lenti ghiaioso-conglomeratiche presenti a diverse profondità dal p.c. generalmente non correlabili tra loro e aventi un grado di addensamento molto elevato.

Dai risultati delle prove SPT effettuate, è possibile estrapolare i parametri caratteristici riportati nella seguente tabella.

UNITA' A				
Profondità m	N ₆₀	ϕ (°)	Cu(kg/cmq)	Ed(kg/cmq)
4,00	34	37,56	2,26	203,62
8,00	33	37,25	2,19	197,97
5,50	41	39,95	3,11	248,97
10,50	28	35,40	1,85	166,47
5,50	31	36,68	2,08	188,00
Valore medio		37,37	2,30	201
Valore minimo		35,40	1,85	
Valore statistico		34,92	1,59	

Le analisi sui campioni prelevati come visibile dalla tabella sotto riportata, hanno messo in evidenza le seguenti caratteristiche geotecniche:

UNITA' A			
Sondaggio	Peso specifico	Angolo attrito efficace	Coesione efficace
Campione	γ (t/m ³)	ϕ'	c' (Kg/cm ²)
S1/C1	2,08	26,90°	2,267
S1/C2	2,12	28,30°	1,199
S1/C3	2,11	29,30°	1,039
S2/C1	2,14	16,80°	2,873
S2/C2	2,08	28,10°	1,800
S3/C1	2,09	23,90°	1,539
VALORE MEDIO	2,10	25,55°	1,79
VALORE MINIMO	2,08	16,80°	1,04
VALORE STATISTICO		18,53°	0,75

Si riportano qui di seguito le elaborazioni effettuate in base alle correlazioni riportate in precedenza per le prove penetrometriche dinamiche, ed i valori ottenuti.

Unità A: valori medi di N20 - indagine 2022							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
10,7	9,4	10,4	8,4	12,4	9,0	10,9	9,5
Unità A: valori medi di N20 - indagine 2010							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
9,3	10,2	9,5	9,0	6,4	11,3	9,5	12,1
N20 medio = 9.9							

Unità A: valori di NSPT ottenuti da N20 - indagine 2022							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
15,9	14,0	15,5	12,5	18,5	13,3	16,2	14,1
Unità A: valori di NSPT ottenuti da N20 - indagine 2010							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
13,9	15,2	14,1	13,4	9,5	16,8	14,1	18,0
NSPT medio = 14.7							

Unità A: valori angolo d'attrito ϕ ottenuti da N_{spt} (°) - indagine 2022							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
30,47°	29,48°	30,25°	28,70°	31,65°	29,14°	30,59°	29,57°
Unità A: valori angolo d'attrito ϕ ottenuti da N_{spt} (°) - indagine 2010							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
29,41°	30,09°	29,56°	29,20°	26,93°	30,86°	29,55°	31,43°
ϕ medio = 29.80°							
ϕ minimo = 26.93°							
ϕ statistico = 28.00°							

Unità A: valori coesione non drenata C_u ottenuti da N_{spt} (kg/cm ²) - indagine 2022							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
1,06	0,93	1,03	0,83	1,23	0,89	1,08	0,94
Unità A: valori coesione non drenata C_u ottenuti da N_{spt} (kg/cm ²) - indagine 2010							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
0,92	1,01	0,94	0,89	0,63	1,12	0,94	1,20
C_u medio = 0.98 kg/cm ²							
C_u minimo = 0.63 kg/cm ²							
C_u statistico = 0.75 kg/cm ²							

Unità A: valori modulo edometrico E_{ed} ottenuti da N_{spt} (kg/cm ²) - indagine 2022							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
95,69	83,89	93,06	75,05	110,95	79,98	97,20	84,87
Unità A: valori modulo edometrico E_{ed} ottenuti da N_{spt} (kg/cm ²) - indagine 2022							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
83,11	91,13	84,76	80,66	56,90	100,64	84,64	107,93
E_{ed} medio = 88 kg/cm ²							

Dall'analisi globale delle caratteristiche geotecniche rilevate nelle diverse tipologie di indagini effettuate, si conclude quanto segue:

- le prove SPT realizzate hanno evidenziato caratteristiche di resistenza elevate relativamente ai valori dell'angolo di attrito, evidenziando un trend di valori derivanti dalle SPT non in linea rispetto a quanto riscontrato nelle prove penetrometriche e nelle analisi di laboratorio;
- le prove penetrometriche dinamiche DPSH, interpretate per mezzo delle correlazioni empiriche e depurate dai picchi di resistenza all'infissione dovuti alle lenti ghiaiose-conglomeratiche, hanno evidenziato caratteristiche geotecniche medie dei terreni analizzati appartenenti all'unità A ed in linea con i parametri geotecnici provenienti dalle analisi di laboratorio.

Pertanto, in base a quanto fin qui elaborato, possono essere affidati i seguenti valori geotecnici caratteristici all'Unità A:

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI PROSSIMI AI VALORI MEDI

- N_{20} medio = 9.9 $\rightarrow N_{spt}$ = 14.7
- peso di volume γ = 2.10 t/m³
- angolo di attrito efficace $\phi' = 25.55^\circ$
- angolo di attrito $\phi = 29.80^\circ$
- coesione efficace $c' = 1.79$ kg/cm²
- coesione non drenata $C_u = 0.98$ kg/cm²

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI PROSSIMI AI VALORI MINIMI

- *peso di volume* $\gamma = 2.08 \text{ t/m}^3$
- *angolo di attrito efficace* $\phi' = 16.80^\circ$
- *angolo di attrito* $\phi = 26.93^\circ$
- *coesione efficace* $c' = 1.04 \text{ kg/cm}^2$
- *coesione non drenata* $C_u = 0.63 \text{ kg/cm}^2$

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI CON PROBABILITÀ DI NON SUPERAMENTO DEL 5%

- *peso di volume* $\gamma = 2.10 \text{ t/m}^3$
- *angolo di attrito efficace* $\phi' = 18.53^\circ$
- *angolo di attrito* $\phi = 28.00^\circ$
- *coesione efficace* $c' = 0.75 \text{ kg/cm}^2$
- *coesione non drenata* $C_u = 0.75 \text{ kg/cm}^2$

Per il calcolo dei cedimenti, in base alle formule precedentemente riportate ed alle elaborazioni effettuate, si affida il seguente valore del modulo edometrico:

PARAMETRI GEOTECNICI PER IL CALCOLO DEI CEDIMENTI (SLE)

- *modulo edometrico* $E_{ed} = 88 \text{ kg/cm}^2$

○ **Unità B: Limi argillosi consistenti**

Questa unità è costituita in prevalenza da limi argillosi alternati a livelli argillosi e limoso sabbiosi; essa è contraddistinta da una composizione argillosa maggiore rispetto ai litotipi della sovrastante unità A.

I litotipi sono caratterizzati da parametri geotecnici alti, con valori di N20 provenienti dalle prove DPSH che variano da 12.50 a 29.0; tale unità è presente al di sotto della precedente unità A fino ad una profondità dal p.c. attuale, dedotta dai grafici delle prove penetrometriche, dalle stratigrafie dei sondaggi geognostici e dalle sezioni geotecniche derivanti dalle correlazioni effettuate, variabile da un minimo di 16.50 m ad un massimo di 21.60 m dal p.c.

All'interno di tale unità, come per le precedenti, si rinvencono localmente e a profondità variabili e non correlabili tra loro, livelli caratterizzati da aumenti repentini dei valori di N20 (compresi tra 14.8 e 32.3), riconducibili alla presenza di lenti sabbioso ghiaiose aventi elevata compattezza e di conglomerati, all'interno dei quali le prove penetrometriche si sono generalmente interrotte.

Per tale unità B si hanno i dati geotecnici derivanti dall'esecuzione di n.4 prove SPT su sondaggio, dalle prove penetrometriche dinamiche e dai n.3 campioni sottoposti ad analisi di laboratorio (si veda seguente tabella).

UNITA' B			
campione	S3C2	S3C3	S4C1
profondità (in m dal p.c.)	10.00/10.50	14.00-14.50	10.00-10.30
descrizione visiva	<i>argilla con limo marrone</i>	<i>argilla limosa marrone rossastro</i>	<i>limo sabbioso argilloso debolmente ghiaioso marrone verdastro</i>

Per la caratterizzazione geotecnica dell'unità B si fa riferimento esclusivamente alla porzione limoso argillosa del deposito, omettendo le lenti ghiaioso-conglomeratiche presenti a diverse profondità dal p.c. generalmente non correlabili tra loro e aventi un grado di addensamento molto elevato.

Dai risultati delle prove SPT effettuate, è possibile estrapolare i parametri caratteristici riportati nella seguente tabella.

UNITA' B				
Profondità m	N ₆₀	ϕ (°)	Cu(kg/cm ^q)	Ed(kg/cm ^q)
13,00	23	33,73	1,56	140,32
10,50	31	36,64	2,08	187,27
14,50	25	34,55	1,91	152,83
10,30	32	36,99	2,14	193,51
Valore medio		35,48	1,92	178
Valore minimo		33,73	1,56	
Valore statistico		33,21	1,55	

Le analisi sui campioni prelevati come visibile dalla tabella sotto riportata, hanno messo in evidenza le seguenti caratteristiche geotecniche:

UNITA' B			
Sondaggio	Peso specifico	Angolo attrito efficace	Coesione efficace
Campione	γ (t/m ³)	ϕ'	c' (Kg/cm ²)
S3/C2	2,14	22,90°	1,799
S3/C3	2,11	17,80°	2,450
S4/C1	2,13	28,60°	2,127
VALORE MEDIO	2,13	23,10°	2,13
VALORE MINIMO	2,11	17,80°	1,80
VALORE STATISTICO		15,84°	1,69

Si riportano qui di seguito le elaborazioni effettuate in base alle correlazioni riportate in precedenza per le prove penetrometriche dinamiche, ed i valori ottenuti.

Unità B: valori medi di N20 - indagine 2022							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
16,0	15,7	12,5	-	21,3	-	-	-
Unità B: valori medi di N20 - indagine 2010							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
-	21,0	-	-	-	-	-	-
N20 medio = 17.3							

Unità B: valori di NSPT ottenuti da N20 - indagine 2022							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
23,8	23,3	18,6	-	31,8	-	-	-
Unità B: valori di NSPT ottenuti da N20 - indagine 2010							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
-	31,3	-	-	-	-	-	-
NSPT medio = 25.8							

Unità B: valori angolo d'attrito ϕ ottenuti da N_{spt} (°) - indagine 2022							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
33,90°	33,71°	31,71°	-	36,83°	-	-	-
Unità B: valori angolo d'attrito ϕ ottenuti da N_{spt} (°) - indagine 2010							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
-	36,66°	-	-	-	-	-	-
ϕ medio = 34,56°							
ϕ minimo = 31,71°							
ϕ statistico = 31,37°							

Unità B: valori coesione non drenata C_u ottenuti da N_{spt} (kg/cm ²) - indagine 2022							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
1,58	1,55	1,24	-	2,11	-	-	-
Unità B: valori coesione non drenata C_u ottenuti da N_{spt} (kg/cm ²) - indagine 2010							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
-	2,08	-	-	-	-	-	-
C_u medio = 1,71 kg/cm ²							
C_u minimo = 1,24 kg/cm ²							
C_u statistico = 1,16 kg/cm ²							

Unità B: valori modulo edometrico E_{ed} ottenuti da N_{spt} (kg/cm ²) - indagine 2022							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
142,94	139,97	111,68	-	190,59	-	-	-
Unità B: valori modulo edometrico E_{ed} ottenuti da N_{spt} (kg/cm ²) - indagine 2010							
Dpsh1	Dpsh2	Dpsh3	Dpsh4	Dpsh5	Dpsh6	Dpsh7	Dpsh8
-	187,61	-	-	-	-	-	-
E_{ed} medio = 155 kg/cm ²							

Dall'analisi globale delle caratteristiche geotecniche rilevate nelle diverse tipologie di indagini effettuate, si conclude quanto segue:

- le prove SPT realizzate hanno evidenziato caratteristiche di resistenza elevate relativamente ai valori dell'angolo di attrito e della coesione, evidenziando un trend di valori derivanti dalle SPT non in linea rispetto a quanto riscontrato nelle prove penetrometriche e nelle analisi di laboratorio;
- le prove penetrometriche dinamiche DPSH, interpretate per mezzo delle correlazioni empiriche e depurate dai picchi di resistenza all'infissione dovuti alle lenti ghiaiose-conglomeratiche, hanno evidenziato caratteristiche geotecniche medie dei terreni analizzati appartenenti all'unità B ed in linea con i parametri geotecnici provenienti dalle analisi di laboratorio.

Pertanto, in base a quanto fin qui elaborato, possono essere affidati i seguenti valori geotecnici caratteristici all'Unità B:

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI PROSSIMI AI VALORI MEDI

- N_{20} medio = 17,3 $\rightarrow N_{spt}$ = 25,8
- peso di volume $\gamma = 2,13 \text{ t/m}^3$
- angolo di attrito efficace $\phi' = 23,10^\circ$
- angolo di attrito $\phi = 34,56^\circ$
- coesione efficace $c' = 2,13 \text{ kg/cm}^2$
- coesione non drenata $C_u = 1,71 \text{ kg/cm}^2$

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI PROSSIMI AI VALORI MINIMI

- peso di volume $\gamma = 2.11 \text{ t/m}^3$
- angolo di attrito efficace $\phi' = 17.80^\circ$
- angolo di attrito $\phi = 31.71^\circ$
- coesione efficace $c' = 1.80 \text{ kg/cm}^2$
- coesione non drenata $C_u = 1.24 \text{ kg/cm}^2$

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI CON PROBABILITÀ DI NON SUPERAMENTO DEL 5%

- peso di volume $\gamma = 2.13 \text{ t/m}^3$
- angolo di attrito efficace $\phi' = 15.84^\circ$
- angolo di attrito $\phi = 31.37^\circ$
- coesione efficace $c' = 1.69 \text{ kg/cm}^2$
- coesione non drenata $C_u = 1.16 \text{ kg/cm}^2$

Per il calcolo dei cedimenti, in base alle formule precedentemente riportate ed alle elaborazioni effettuate, si affida il seguente valore del modulo edometrico:

PARAMETRI GEOTECNICI PER IL CALCOLO DEI CEDIMENTI (SLE)

- modulo edometrico $E_{ed} = 155 \text{ kg/cm}^2$

○ **Unità C: Limi argillosi molto consistenti con livelli litificati**

Questa unità rappresenta il livello più profondo delle formazioni mioceniche rilevate in posto durante l'esecuzione dei sondaggi. Essa è costituita dai litotipi precedentemente menzionati (alternanze di argille e limi con livelli di conglomerati e ghiaie) con livelli litificati e avente elevati parametri geotecnici; tale unità è stata rinvenuta esclusivamente nel sondaggio S4 in profondità al di sotto della precedente Unità B (a partire da una profondità di 16.50/21.60 m dal p.c.).

Per tale unità C si hanno i dati geotecnici derivanti dall'esecuzione di n.2 prove SPT su sondaggio e dai n.2 campioni sottoposti ad analisi di laboratorio (si veda seguente tabella).

UNITÀ C		
campione	S4C2	S4C3
profondità (in m dal p.c.)	17.50/18.00	25.00-25.40
descrizione visiva	limo argilloso debolmente sabbioso marrone	limo con argilla sabbioso marrone

Dai risultati delle prove SPT effettuate, è possibile estrapolare i parametri caratteristici riportati nella seguente tabella.

UNITÀ C				
Profondità m	N ₆₀	ϕ (°)	Cu(kg/cmq)	Ed(kg/cmq)
18,00	30	36,31	2,27	181,56
25,40	26	34,83	1,74	157,33
Valore medio		35,57	2,01	169
Valore minimo		34,83	1,74	
Valore statistico		34,36	1,57	

Le analisi sui campioni prelevati come visibile dalla tabella sotto riportata, hanno messo in evidenza le seguenti caratteristiche geotecniche:

UNITÀ C			
Sondaggio	Peso specifico	Angolo attrito efficace	Coesione efficace
Campione	γ (t/m ³)	ϕ'	c' (Kg/cm ²)
S4/C2	2,14	27,70°	2,67
S4/C3	2,19	26,70°	3,10
VALORE MEDIO	2,17	27,20°	2,89

UNITÀ C			
Sondaggio	Peso specifico	Angolo attrito efficace	Coesione efficace
Campione	γ (t/m ³)	ϕ'	c' (Kg/cm ²)
VALORE MINIMO	2,14	26,70°	2,67
VALORE STATISTICO		26,38°	2,53

Dall'analisi globale delle caratteristiche geotecniche rilevate nelle diverse tipologie di indagini effettuate, emergono caratteristiche di resistenza in linea per i valori ottenuti dalle prove SPT rispetto ai valori dell'angolo di attrito e della coesione non drenata rispetto alle caratteristiche geotecniche individuate nelle sovrastanti unità: si individua un trend generale di aumento di tutti i parametri geotecnici con l'aumentare della profondità.

In base a quanto fin qui elaborato, possono essere affidati i seguenti valori geotecnici caratteristici all'Unità C:

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI PROSSIMI AI VALORI MEDI

- *peso di volume* $\gamma = 2.17 \text{ t/m}^3$
- *angolo di attrito efficace* $\phi' = 27.20^\circ$
- *angolo di attrito* $\phi = 35.57^\circ$
- *coesione efficace* $c' = 2.89 \text{ kg/cm}^2$
- *coesione non drenata* $C_u = 2.01 \text{ kg/cm}^2$

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI PROSSIMI AI VALORI MINIMI

- *peso di volume* $\gamma = 2.14 \text{ t/m}^3$
- *angolo di attrito efficace* $\phi' = 26.70^\circ$
- *angolo di attrito* $\phi = 34.83^\circ$
- *coesione efficace* $c' = 2.67 \text{ kg/cm}^2$
- *coesione non drenata* $C_u = 1.74 \text{ kg/cm}^2$

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI CON PROBABILITÀ DI NON SUPERAMENTO DEL 5%

- *peso di volume* $\gamma = 2.17 \text{ t/m}^3$
- *angolo di attrito efficace* $\phi' = 26.38^\circ$
- *angolo di attrito* $\phi = 34.36^\circ$
- *coesione efficace* $c' = 2.53 \text{ kg/cm}^2$
- *coesione non drenata* $C_u = 1.57 \text{ kg/cm}^2$

Per il calcolo dei cedimenti, in base alle elaborazioni effettuate, si affida il seguente valore del modulo edometrico:

PARAMETRI GEOTECNICI PER IL CALCOLO DEI CEDIMENTI (SLE)

- *modulo edometrico* $E_{ed} = 169 \text{ kg/cm}^2$

MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO E DISPOSIZIONI TECNICHE

In base a quanto fin qui elaborato, è possibile effettuare le seguenti considerazioni:

- la campagna geognostica e sismica effettuata, corredata dai dati geognostici pregressi, ha permesso di individuare la stratigrafia presente nell'area oggetto dei lavori, sostanzialmente costituita da una prevalenza di litotipi limoso argillosi con un contenuto basso di sabbia, all'interno dei quali sono presenti lenti o livelli conglomeratici ghiaiosi;
- il primo livello individuato nell'area in studio (unità Ta) è formato dallo strato pedogenetico, dal terreno rimaneggiato e dal primo livello di terreno limoso sabbioso presente nell'area in studio, dotato di scarse caratteristiche geotecniche ($N_{20} = 2.0/5.7$), con spessore variabile da un minimo di 1.00 m ad un massimo di 4.80 m;
- la seconda unità A è presente al di sotto della precedente unità Ta, ed è costituita da alternanze di limi argillosi e limi sabbiosi mediamente addensati con profondità raggiunta dal

p.c. attuale, dedotta dai grafici delle prove penetrometriche, dalle stratigrafie dei sondaggi geognostici e dalle sezioni geotecniche derivanti dalle correlazioni effettuate, variabile da un minimo di 8.20 m ad un massimo di 17.70 m dal p.c.;

- segue l'unità B costituita in prevalenza da limi argillosi alternati a livelli argillosi e limoso sabbiosi, contraddistinta da una composizione argillosa maggiore rispetto ai litotipi della sovrastante unità A, avente alti parametri geotecnici e al di sotto della precedente unità A fino ad una profondità dal p.c. attuale, dedotta dai grafici delle prove penetrometriche, dalle stratigrafie dei sondaggi geognostici e dalle sezioni geotecniche derivanti dalle correlazioni effettuate, variabile da un minimo di 16.50 m ad un massimo di 21.60 m dal p.c.;

- l'ultima unità individuata con i sondaggi rappresenta il livello più profondo delle formazioni mioceniche rilevate in posto ed è costituita dai litotipi precedentemente menzionati (alternanze di argille e limi con livelli di conglomerati e ghiaie) con livelli litificati e avente elevati parametri geotecnici: tale unità è stata rinvenuta esclusivamente nel sondaggio S4 in profondità al di sotto della precedente Unità B, fino alla massima profondità indagata di 30.00 m dal p.c..

Pertanto, in base a quanto fin qui elaborato, per la scelta ed il dimensionamento delle strutture fondali, può essere utilizzato il seguente modello geotecnico di riferimento, a partire dal p.c. attuale:

MODELLO GEOTECNICO DI RIFERIMENTO A PARTIRE DAL P.C.								
Profondità		Unità	γ (t/m ³)	c' (kg/cm ²)	ϕ' (°)	C_u (kg/cm ²)	ϕ (°)	Eed (Kg/cm ²)
PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI PROSSIMI AI VALORI MEDI								
0.00	1.00/4.80	Ta	1.60	-	-	-	23.75	31
1.00/4.80	8.20/17.70	A	2.10	1.79	25.55	0.98	29.80	88
8.20/17.70	16.50/21.60	B	2.13	2.13	23.10	1.71	34.56	155
> 16.50/21.60		C	2.17	2.89	27.20	2.01	35.57	169
PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI PROSSIMI AI VALORI MINIMI								
0.00	1.00/4.80	Ta	1.60	-	-	-	21.68	31
1.00/4.80	8.20/17.70	A	2.08	1.04	16.80	0.63	26.93	88
8.20/17.70	16.50/21.60	B	2.11	1.80	17.80	1.24	31.71	155
> 16.50/21.60		C	2.14	2.67	26.70	1.74	34.83	169
PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI CON PROBABILITA' DI NON SUPERAMENTO DEL 5%								
0.00	1.00/4.80	Ta	1.60	-	-	-	21.56	31
1.00/4.80	8.20/17.70	A	2.10	0.75	18.53	0.75	28.00	88
8.20/17.70	16.50/21.60	B	2.13	1.69	15.84	1.16	31.37	155
> 16.50/21.60		C	2.17	2.53	26.38	1.57	34.36	169
• γ = peso di volume			• ϕ' = angolo di attrito efficace			• ϕ = angolo di attrito		
• c' = coesione efficace			• C_u = coesione non drenata			• Eed = modulo edometrico		

→ Indicazioni sulla scelta della tipologia fondale

La realizzazione delle nuove volumetrie in progetto prevede di effettuare delle operazioni di sbancamento di altezza ed entità variabile in relazione alle tipologie progettuali previste: tali operazioni di scavo, la cui altezza potrà raggiungere un'altezza di 7.00 m, permetteranno generalmente di oltrepassare un primo livello alterato superficiale appartenente all'unità Ta e di raggiungere, in alcune zone, anche l'unità A maggiormente consistente e dotata di parametri geotecnici più alti.

Pertanto, in relazione a quanto sopra riportato, per la scelta della tipologia fondale, è possibile effettuare le seguenti considerazioni:

- in corrispondenza dei fabbricati posti a quote maggiori e caratterizzati da una maggiore altezza di scavo per raggiungere il piano fondale, potranno essere adottate fondazioni di tipo superficiale (platea in c.a.);
- in corrispondenza dei fabbricati posti a quote minori verso valle e caratterizzati da una minore altezza di scavo per raggiungere il piano fondale, potranno essere adottate fondazioni di tipo profondo su pali trivellati in c.a.;
- per le opere di contenimento della spinta dei terreni verso monte (muri a retta che delimiteranno le zone di accesso ai locali seminterrati), in relazione alla loro altezza ed alla presenza della viabilità a monte, saranno adottate fondazioni di tipo profondo su pali trivellati in c.a.;
- in base alle indagini geognostiche effettuate ed al modello geotecnico precedentemente riportato, i pali dovranno avere una lunghezza non minore di 12.00 m, al fine di raggiungere i livelli più profondi in posto e maggiormente consistenti.

VALUTAZIONI DELLE AMPLIFICAZIONI SISMICHE LOCALI

Tra gli effetti di amplificazione sismica locale, le tipologie di pericolo sismico da tenere in considerazione sono le seguenti:

- instabilità dei pendii;
- addensamento di terreni a grana grossa;
- subsidenza di terreni molli a grana fine;
- scorrimento di faglia;
- liquefazione di sabbie sature.

1. INSTABILITÀ DEI PENDII

L'area è caratterizzata da un profilo morfologico con pendenze dell'ordine del 15-17% verso valle: in relazione alla morfologia dell'area ed alla tipologia progettuale in cui sono previsti sbancamenti e posa in opera di terreni di riporto per la realizzazione di sistemazioni esterne, si procede ad effettuare la verifica di stabilità del pendio anche nei confronti dell'azione sismica, nel seguente paragrafo.

2. ADDENSAMENTO DI TERRENI A GRANA GROSSA

L'indagine geognostica dell'area in esame ha evidenziato la presenza, dopo un primo strato pedogenetico, di terreno rimaneggiato e limo sabbioso alterato (spessore 1.00/4.80 m), di alternanze di limi argillosi e limi sabbiosi, il cui grado di addensamento aumenta con l'aumentare della profondità da medio ad elevato.

All'interno, si rinvencono localmente e a profondità variabili e non correlabili tra loro, livelli caratterizzati da aumenti repentini dei valori di N₂₀ (compresi tra 14.8 e 32.3), riconducibili alla presenza di lenti sabbioso ghiaiose e conglomeratiche aventi elevata compattezza.

Pertanto, in relazione alla presenza dei litotipi limoso argillosi e sabbiosi con lenti di conglomerati il cui grado di addensamento tende ad aumentare con la profondità, si ritiene che non si possano generare cedimenti per improvvisa compattazione del terreno.

3. SUBSIDENZA DI TERRENI MOLLI A GRANA FINE

Per quanto riguarda l'effetto di amplificazione per subsidenza di terreni molli si ritiene che, vista la natura dei terreni costituiti da un primo livello di terreno pedogenetico e limo sabbioso alterato (spessore 1.00/4.80 m), seguito da alternanze di limi argillosi e limi sabbiosi il cui grado di addensamento aumenta con l'aumentare della profondità da medio ad elevato e all'interno dei quali si rinvencono a profondità variabili e non correlabili tra loro, lenti sabbioso

ghiaiose e conglomeratiche aventi elevata compattezza, non sussista il pericolo di subsidenza dei terreni di fondazione.

4. SCORRIMENTO DI FAGLIA

Allo stato attuale delle conoscenze si esclude che l'area sia interessata, in superficie, da dislocazioni tettoniche attive o capaci.

5. LIQUEFAZIONE DI SABBIE SATURE

La liquefazione delle sabbie sature è un fenomeno per il quale avviene una diminuzione di resistenza al taglio o rigidità in seguito all'aumento di pressione interstiziale, in un terreno saturo non coesivo, durante lo scuotimento sismico: tale effetto genera deformazioni permanenti significative o persino l'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

Il rischio di liquefazione si presenta nel caso di falda freatica superficiale in presenza di terreni sabbiosi sciolti anche se contenenti una frazione fine limo argillosa; la verifica alla liquefazione può essere omessa (par. 7.11.3.4.1 - NTC 2018 - Esclusione della verifica a liquefazione) quando si manifesti almeno una delle seguenti quattro circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano di campagna in assenza di manufatti minori di 0.1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c. (con p.c. sub-orizzontale) e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure con $qc_{1N} > 180$ dove:

- $(N_1)_{60}$ = valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche SPT normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

- qc_{1N} = valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche CPT normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;

4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nelle seguenti figure:

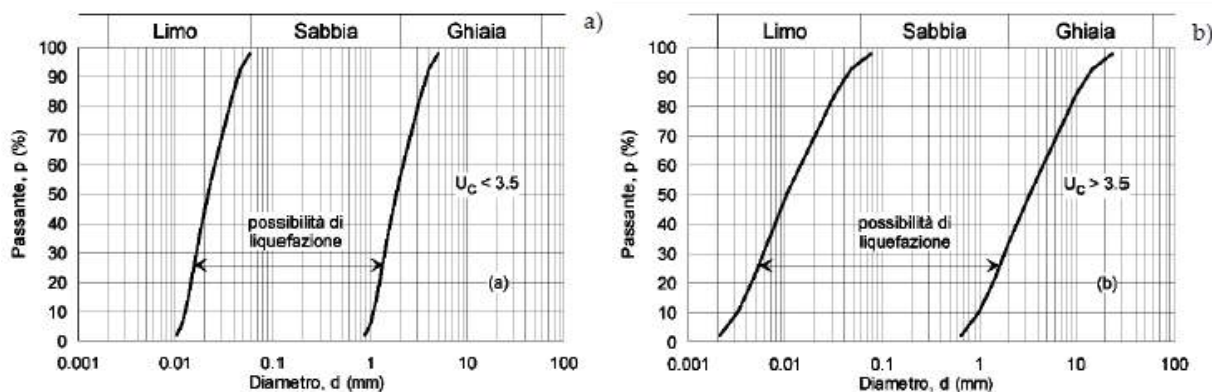


Fig. 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione

○ VERIFICA DELLE CIRCOSTANZE INDICATE

Si procede alla verifica delle circostanze per cui può essere o meno omessa la verifica a liquefazione dei terreni.

1) Accelerazioni massime attese al piano di campagna in assenza di manufatti minori di 0.1 g

In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima attesa al sito può essere valutata con la seguente relazione

$$a_{\max} = S \cdot a_g = (S_s \cdot S_T) \cdot a_g \quad [7.11.5 \text{ NTC2018}]$$

in cui S è il fattore moltiplicativo dovuto agli effetti locali dei terreni, che comprende l'effetto dell'amplificazione stratigrafica (S_s) e dell'amplificazione topografica (S_T), di cui al 3.2.3.2

delle NTC2018, e a_g è l'accelerazione orizzontale massima per lo Stato Limite di Salvaguardia della Vita SLV.

Per l'area in esame e relativamente allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita SLV, si hanno i parametri sismici qui riassunti.



VERTICI MAGLIA DEI NODI DI APPARTENENZA

Salvaguardia della vita (SLV)

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,140	g
Fo:	2,477	
Tc:	0,277	[s]
Ss:	1,200	
Cc:	1,420	
St:	1,000	

In base ai parametri sismici riportati nel precedente paragrafo (da Geostru software - www.geostru.com), nel caso in esame, si ottiene il seguente valore di a_{max} :

$$a_{max} = 1.200 \cdot 1.00 \cdot 0.140 \text{ g} = 0.168 \text{ g}$$

Poiché il valore di a_{max} ottenuto è pari a 0.168 g, esso non è minore di 0.10 g, condizione posta per l'esclusione alla verifica della liquefazione.

Verifica della circostanza: LA CONDIZIONE DI ESCLUSIONE DELLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE NON E' SODDISFATTA.

2) Profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c. (con p.c. sub-orizzontale) e strutture con fondazioni superficiali

Nel caso in esame, il p.c. non è sub-orizzontale e, dalle misure piezometriche effettuate, è emersa la presenza di acqua nei piezometri alle profondità di 9.00/9.90 m dal p.c..

Verifica della circostanza: LA CONDIZIONE DI ESCLUSIONE DELLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE NON E' SODDISFATTA.

3) Depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure con $qc1N > 180$

Si tratta di depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa.

Nell'area in esame i valori di N₆₀ ottenuti sono riassunti nella seguente tabella:

Unità A			
	Profondità	N _{SPT}	N ₆₀
S1	4,00	38	34
S1	8,00	43	33
S2	5,50	49	41
S2	10,50	40	28
S3	5,50	37	31
Unità A: N ₆₀ compreso tra 28 e 40			
Unità B			
	Profondità	N _{SPT}	N ₆₀
S1	13,00	38	23
S3	10,50	45	31
S3	14,50	44	25
S4	10,30	46	32
Unità B: N ₆₀ compreso tra 23 e 32			
Unità C			
	Profondità	N _{SPT}	N ₆₀
S4	18,00	59	30
S4	25,40	62	26
Unità C: N ₆₀ compreso tra 26 e 30			

I valori di N₆₀ ottenuti, generalmente maggiori di 30 e comunque variabili da un minimo di 23 ad un massimo di 40, indicano un elevato grado di addensamento dei terreni.

Inoltre, i litotipi presenti sono costituiti da limi argillosi e sabbiosi con lenti di conglomerati e non da sabbie pulite, come visibile anche dalle analisi granulometriche dei campioni di laboratorio qui di seguito riassunte: i campioni di terreno esaminati, oltre ad avere un contenuto di sabbia variabile da 13.10% a 23.90%, possiedono un quantitativo generalmente basso di ghiaia (0.70-12.50%) ed un quantitativo elevato di limo (44.90-62.80%) ed argilla (17.00-37.20%).

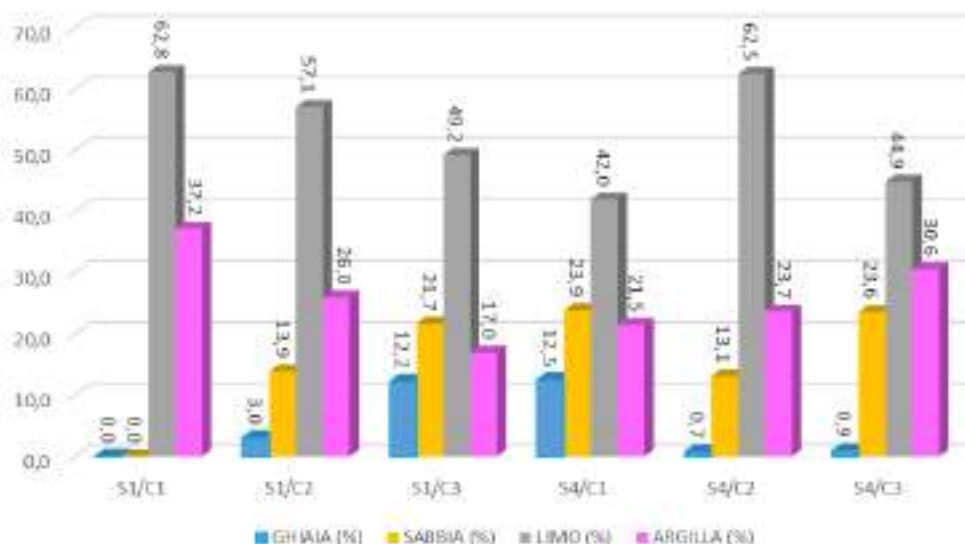
Campione	Risultato analisi granulometrica			
	ghiaia	sabbia	limo	argilla
S1/C1	0,00%	0,00%	62,80%	37,20%
S1/C2	3,00%	13,90%	57,10%	26,00%
S1/C3	12,20%	21,70%	49,20%	17,00%
S4/C1	12,50%	23,90%	42,00%	21,50%
S4/C2	0,70%	13,10%	62,50%	23,70%
S4/C3	0,90%	23,60%	44,90%	30,60%

Verifica della circostanza: LA CONDIZIONE DI ESCLUSIONE DELLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE E' SODDISFATTA.

4) Distribuzione granulometrica

Nell'area in esame, in base ai risultati delle analisi granulometriche effettuate sui campioni di laboratorio i cui valori sono riassunti nella precedente tabella ed indicati nel seguente grafico, i litotipi presenti sono costituiti da limi argillosi e sabbiosi con lenti di conglomerati, che possiedono un contenuto di sabbia variabile da 13.10% a 23.90%, un quantitativo generalmente basso di ghiaia (0.70-12.50%) ed un quantitativo elevato di limo (44.90-62.80%) ed argilla (17.00-37.20%).

ANALISI GRANULOMETRICA



Si riportano qui di seguito le curve granulometriche individuate nei grafici delle analisi di laboratorio per i campioni analizzati.

Campione S1/C1

San Martino - Tognazzi

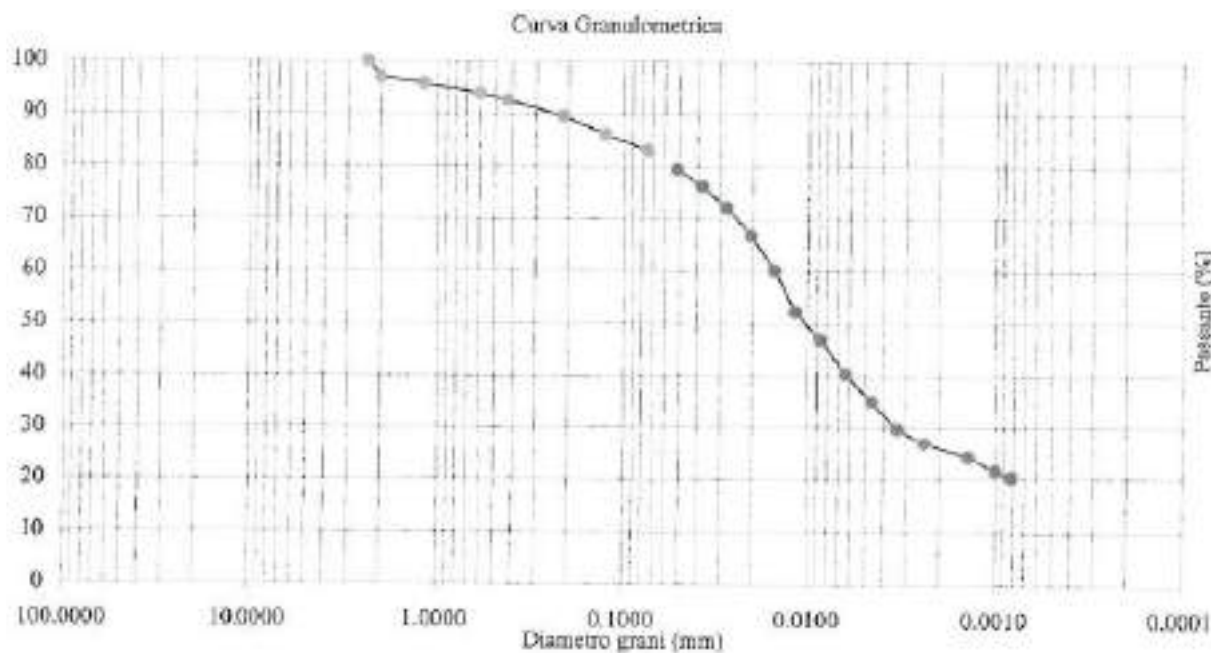
Sigla S1C1
Profondità (m) 3.50-4.00

Data consegna Campione: 07/09/2010
Data apertura Campione: 17/09/2010

Setaccio ASTM	Diametro Grani mm.	Tritenuto %	Passante %	Setaccio ASTM	Diametro Grani mm.	Tritenuto %	Passante %	Setaccio ASTM	Diametro Grani mm.	Tritenuto %	Passante %
3	75	0.00	100.00	1/4	6.3	0.00	100.00	50	0.3	0.00	100.00
2.5	63	0.00	100.00	4	4.75	0.00	100.00	60	0.25	0.00	100.00
2	50	0.00	100.00	6	3.35	0.00	100.00	70	0.212	0.00	100.00
1 1/2	37.5	0.00	100.00	8	2.36	0.00	100.00	80	0.18	0.00	100.00
1 1/4	31.5	0.00	100.00	10	2	0.00	100.00	100	0.15	0.00	100.00
1	25	0.00	100.00	12	1.7	0.00	100.00	120	0.125	0.00	100.00
7/8	22.4	0.00	100.00	16	1.18	0.00	100.00	140	0.106	0.00	100.00
3/4	19	0.00	100.00	20	0.85	0.00	100.00	200	0.074	0.05	99.95
5/8	16	0.00	100.00	30	0.6	0.00	100.00				
1/2	12.5	0.00	100.00	35	0.5	0.00	100.00				
3/8	9.5	0.00	100.00	40	0.425	0.00	100.00				

N.B. In grassetto i setacci utilizzati

Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %	Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %	Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %	Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %
0.05022	98.79	98.74	0.00320	43.63	43.61	-	-	-	-	-	-
0.03599	97.19	97.14	0.00230	39.46	39.44	-	-	-	-	-	-
0.02579	95.58	95.53	0.00137	31.44	31.43	-	-	-	-	-	-
0.01847	93.98	93.93	0.00098	28.24	28.22	-	-	-	-	-	-
0.01355	89.17	89.12	0.00081	26.63	26.62	-	-	-	-	-	-
0.01046	81.15	81.11	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00778	73.13	73.10	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00581	63.51	63.48	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00435	52.29	52.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Campione S1/C3

San Martino - Tognazzo

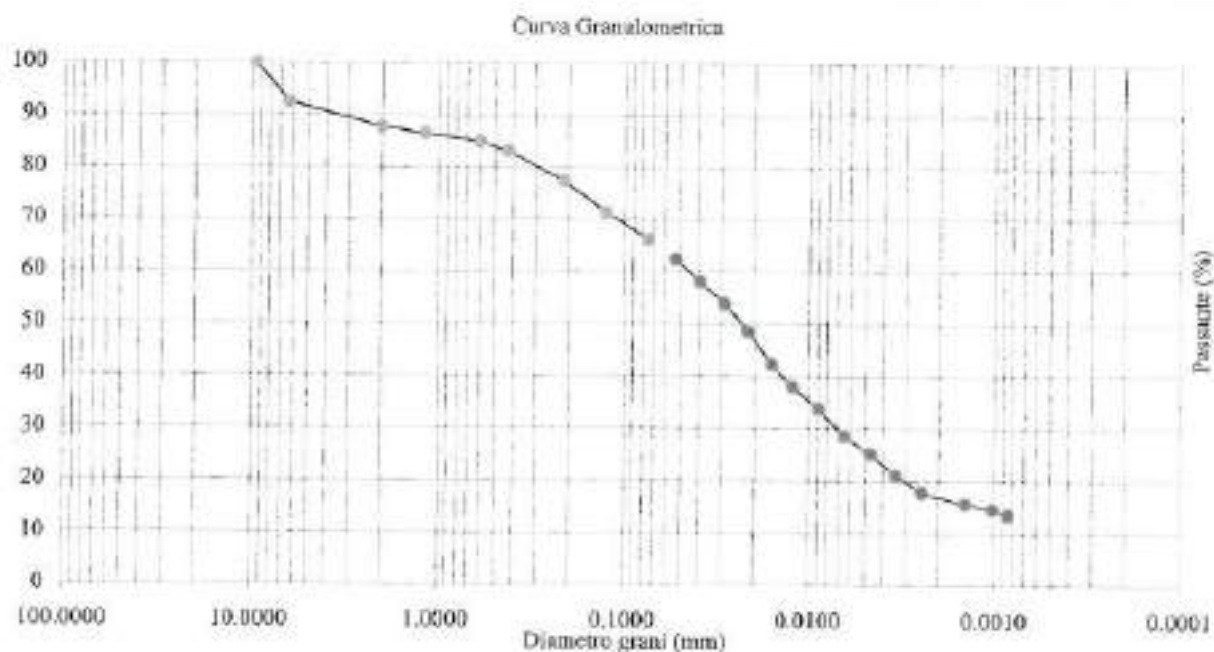
Stipo S1C3
Profondità (m) 12.50-13.00

Data consegna Campione: 07/09/2010
Data apertura Campione: 22/09/2010

Setaccio ASTM	Diametro Grani mm.	Trattenuto %	Passante %	Setaccio ASTM	Diametro Grani mm.	Trattenuto %	Passante %	Setaccio ASTM	Diametro Grani mm.	Trattenuto %	Passante %
3	75	0.00	100.00	1/4	6.3	7.54	92.47	50	0.3	-	-
2.5	63	0.00	100.00	4	4.75	-	-	60	0.25	-	-
2	50	0.00	100.00	6	3.35	-	-	70	0.212	22.65	77.35
1 1/2	37.5	0.00	100.00	8	2.36	-	-	80	0.18	-	-
1 1/4	31.5	0.00	100.00	10	2	12.24	87.76	100	0.15	-	-
1	25	0.00	100.00	12	1.7	-	-	120	0.125	28.71	71.30
7/8	22.4	0.00	100.00	16	1.18	13.50	86.50	140	0.106	-	-
3/4	19	0.00	100.00	20	0.85	-	-	200	0.074	33.89	66.11
5/8	16	0.00	100.00	30	0.6	15.10	84.90				
1/2	12.5	0.00	100.00	35	0.5	-	-				
3/8	9.5	0.00	100.00	40	0.425	16.89	83.11				

N.B. In grassetto i valori utilizzati

Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %	Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %	Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %	Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %
0.05283	94.24	62.30	0.00342	31.69	20.93	-	-	-	-	-	-
0.03925	87.83	58.06	0.00247	26.88	17.77	-	-	-	-	-	-
0.02903	81.41	53.82	0.00144	23.67	15.65	-	-	-	-	-	-
0.02161	73.39	48.52	0.00103	22.07	14.59	-	-	-	-	-	-
0.01615	63.77	42.16	0.00084	20.46	13.53	-	-	-	-	-	-
0.01220	57.35	37.92	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00890	50.94	33.67	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00652	42.92	28.37	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00471	38.11	25.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Campione S4/C1

San Martino - Tognazzo

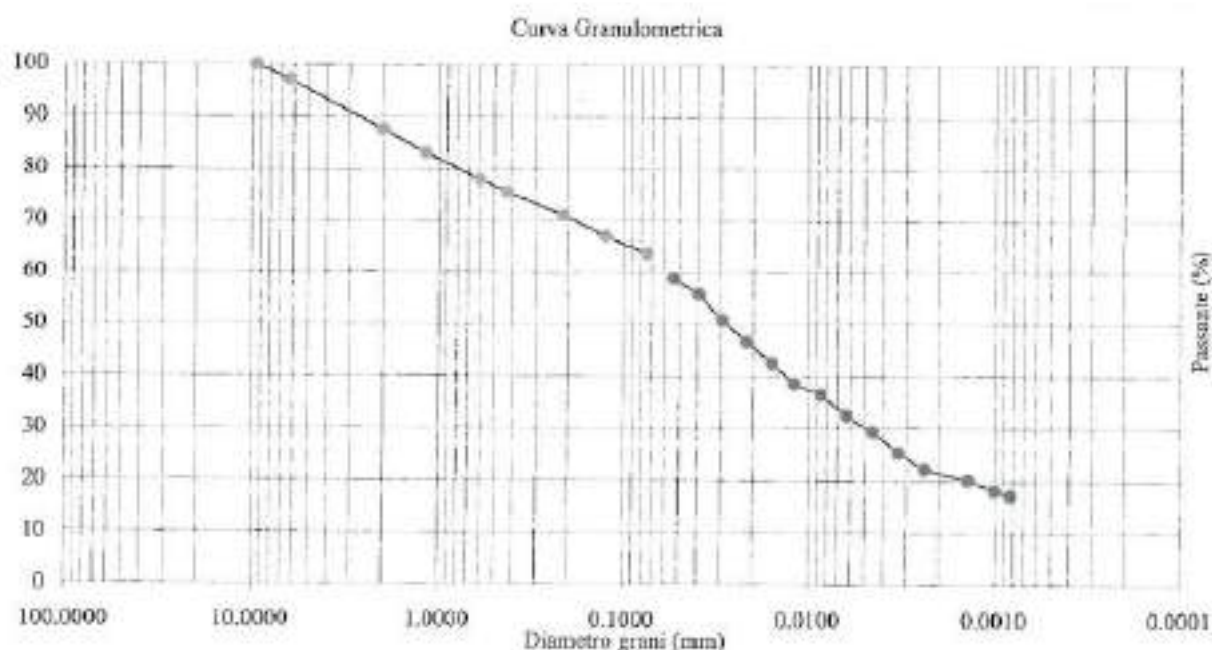
Sigla S4C1
Profondità (m) 10.0-10.30

Data consegna Campione: 01/09/2010
Data apertura Campione: 22/09/2010

Setaccio ASTM	Diametro Grani mm.	Trattenuto %	Passante %	Setaccio ASTM	Diametro Grani mm.	Trattenuto %	Passante %	Setaccio ASTM	Diametro Grani mm.	Trattenuto %	Passante %
3	75	0.00	100.00	1/4	6.3	2.94	97.06	50	0.3	-	-
2.5	43	0.00	100.00	4	4.75	-	-	60	0.25	-	-
2	50	0.00	100.00	6	3.35	-	-	70	0.212	28.92	71.08
1 1/2	37.5	0.00	100.00	8	2.36	-	-	80	0.18	-	-
1 1/4	31.5	0.00	100.00	10	2	12.56	87.45	100	0.15	-	-
1	25	0.00	100.00	12	1.7	-	-	120	0.125	33.04	66.97
7/8	22.4	0.00	100.00	16	1.18	16.91	83.09	140	0.106	-	-
3/4	19	0.00	100.00	20	0.85	-	-	200	0.074	36.55	63.46
5/8	16	0.00	100.00	30	0.6	22.10	77.91				
1/2	12.5	0.00	100.00	35	0.5	-	-				
3/8	9.5	0.00	100.00	40	0.425	24.52	75.49				

N.B. In grassetto i setacci utilizzati

Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %	Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %	Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %	Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %
0.05351	92.64	51.78	0.00331	39.71	25.20	-	-	-	-	-	-
0.03925	87.83	55.73	0.00229	34.90	22.14	-	-	-	-	-	-
0.02935	78.81	50.64	0.00140	31.69	20.11	-	-	-	-	-	-
0.02161	73.39	46.57	0.00100	28.48	18.07	-	-	-	-	-	-
0.01586	66.98	42.50	0.00082	26.88	17.06	-	-	-	-	-	-
0.01200	60.56	38.43	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00862	57.35	36.39	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00629	50.94	32.32	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00455	46.13	29.27	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Campione S4/C2

San Martino - Tognazzo

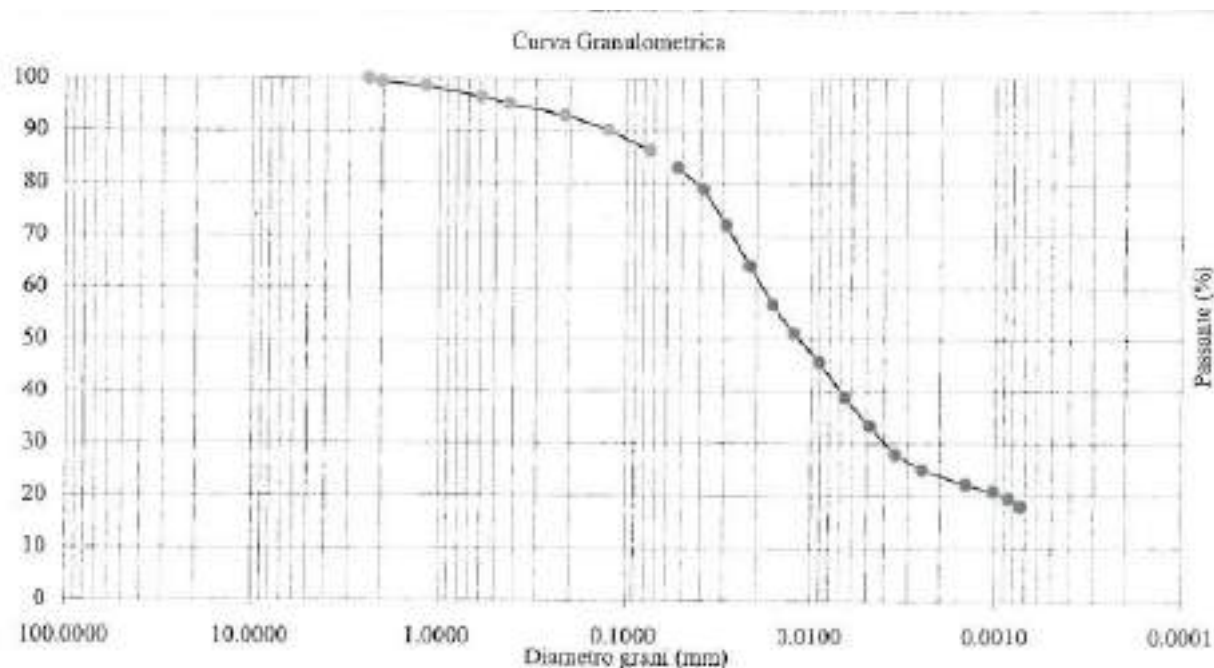
Sigla S4C2
Profondità (m) 17.5-18.0

Data consegna Campione: 01/04/2010
Data apertura Campione: 21/04/2010

Setaccio ASTM	Diametro Grani mm.	Trattenuto %	Passante %	Setaccio ASTM	Diametro Grani mm.	Trattenuto %	Passante %	Setaccio ASTM	Diametro Grani mm.	Trattenuto %	Passante %
3	75	0.00	100.00	1/4	6.3	0.00	100.00	50	0.1	-	-
2.5	63	0.00	100.00	4	4.75	0.00	100.00	60	0.25	-	-
2	50	0.00	100.00	6	3.35	0.00	100.00	70	0.212	7.11	92.89
1 1/2	37.5	0.00	100.00	8	2.36	0.00	100.00	80	0.18	-	-
1 1/4	31.5	0.00	100.00	10	2	0.67	99.33	100	0.15	-	-
1	25	0.00	100.00	12	1.7	-	-	120	0.125	9.83	90.17
7/8	22.4	0.00	100.00	16	1.18	1.50	98.50	140	0.106	-	-
3/4	19	0.00	100.00	20	0.85	-	-	200	0.074	13.79	86.21
5/8	16	0.00	100.00	30	0.6	3.60	96.40				
1/2	12.5	0.00	100.00	35	0.5	-	-				
3/8	9.5	0.00	100.00	40	0.425	4.86	95.14				

N.B. In grassetto i setacci utilizzati

Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %	Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %	Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %	Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %
0.05262	96.26	82.98	0.00348	32.09	27.66	-	-	-	-	-	-
0.03871	91.45	78.83	0.00249	28.88	24.89	-	-	-	-	-	-
0.02906	83.43	71.92	0.00146	25.67	22.13	-	-	-	-	-	-
0.02180	74.44	64.17	0.00104	24.97	20.75	-	-	-	-	-	-
0.01623	65.78	56.70	0.00085	22.46	19.36	-	-	-	-	-	-
0.01227	59.36	51.17	0.00074	20.86	17.98	-	-	-	-	-	-
0.00897	52.94	45.64	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00651	44.92	38.73	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00475	38.50	33.19	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Campione S4/C3

(San Martino - Tognazza)

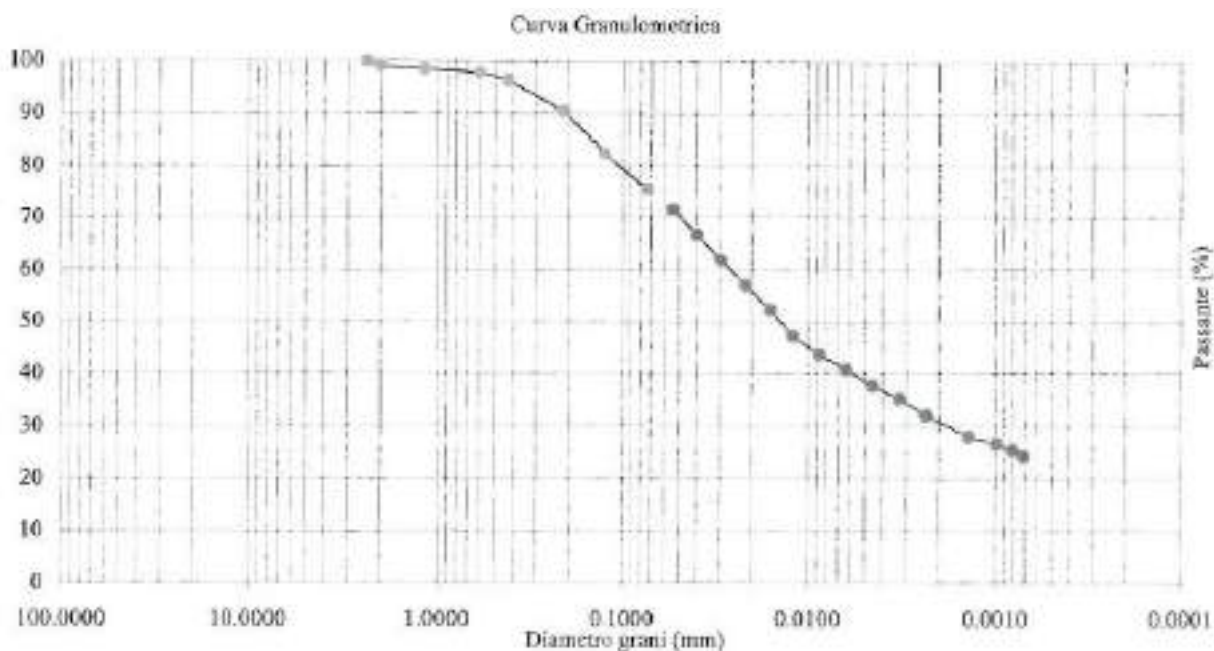
Sigla S4C3
Profondità (m) 25.0-25.40

Data consegna Campione: 01/06/2010
Data apertura Campione: 21/01/2010

Setaccio ASTM	Diametro Grani mm.	Trattenuto %	Passante %	Setaccio ASTM	Diametro Grani mm.	Trattenuto %	Passante %	Setaccio ASTM	Diametro Grani mm.	Trattenuto %	Passante %
3	75	0.00	100.00	1/4	6.3	0.00	100.00	50	0.3	-	-
2.5	63	0.00	100.00	4	4.75	0.00	100.00	60	0.25	-	-
2	50	0.00	100.00	6	3.35	0.00	100.00	70	0.212	9.60	90.40
1 1/2	37.5	0.00	100.00	8	2.36	0.00	100.00	80	0.18	-	-
1 1/4	31.5	0.00	100.00	10	2	0.90	99.10	100	0.15	-	-
1	25	0.00	100.00	12	1.7	-	-	120	0.125	17.72	82.28
7/8	22.4	0.00	100.00	16	1.18	1.46	98.54	140	0.106	-	-
3/4	19	0.00	100.00	20	0.85	-	-	200	0.074	24.54	75.46
5/8	16	0.00	100.00	30	0.6	2.29	97.71				
1/2	12.5	0.00	100.00	35	0.5	-	-				
3/8	9.5	0.00	100.00	40	0.425	3.66	96.34				

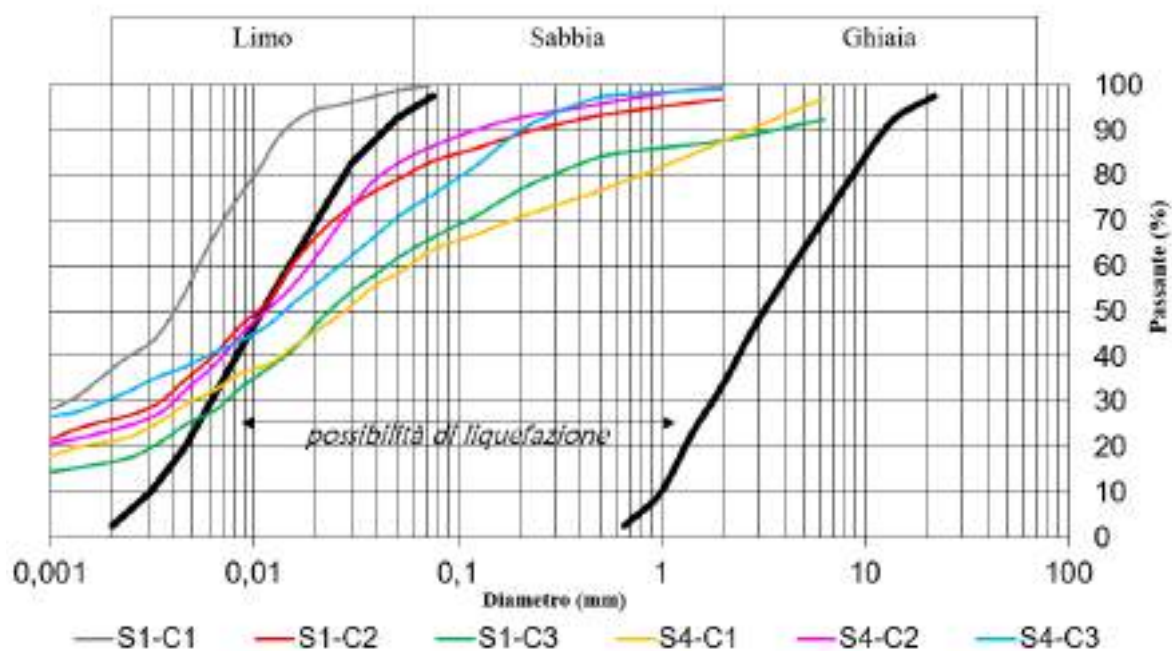
N.B. Ingrandimento i setacci utilizzati

Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %	Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %	Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %	Diametro grani mm.	Passante Parziale %	Passante Totale %
0.05333	94.66	71.43	0.00327	46.53	35.11	-	-	-	-	-	-
0.03968	88.24	66.59	0.00236	42.35	31.96	-	-	-	-	-	-
0.02938	81.82	61.75	0.00139	36.90	27.85	-	-	-	-	-	-
0.02167	75.40	56.90	0.00099	35.30	26.64	-	-	-	-	-	-
0.01593	68.99	52.06	0.00081	33.69	25.42	-	-	-	-	-	-
0.01206	62.57	47.22	0.00071	32.09	24.21	-	-	-	-	-	-
0.00875	57.76	43.58	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00631	53.91	40.68	-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.00455	49.73	37.53	-	-	-	-	-	-	-	-	-



Si è sovrapposto la curva granulometrica ottenuta dall'analisi di laboratorio, con la curva granulometrica indicata negli abachi delle NTC 18 ottenendo quanto di seguito riportato:

Fuso per terreni con $U_c > 3.5$ (rif. fig. 7.11.1 NTC 17.01.2018)



Come visibile dal precedente grafico i terreni indagati non rientrano interamente all'interno dei fusi granulometrici indicati dalle NTC2018 dove l'analisi granulometrica del campione indica la possibilità di liquefazione.

Verifica della circostanza: LA CONDIZIONE DI ESCLUSIONE DELLA VERIFICA A LIQUEFAZIONE E' SODDISFATTA.

○ **CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE SULLA LIQUEFAZIONE**

In base alle elaborazioni effettuate, si riportano nel seguente schema riepilogativo, i risultati ottenuti relativamente alla possibilità di liquefazione dei terreni ed alla verifica delle circostanze di esclusione della verifica.

	Circostanza	Valori di esclusione	Valori sito	Circostanza soddisfatta
1	a_{max}	$a_{max} < 0.1 g$	0.168 g	NO
2	Profondità falda	Profondità > 15 m da p.c.	presenza di acqua nei piezometri a profondità di 9.00/9.90 m dal p.c.	NO
3	Resistenza penetrometrica	$(N_1)_{60} > 30$ o $qc_{1N} > 180$ in sabbie pulite	N60 compreso tra 23 e 40 in terreni con elevato contenuto di limo e argilla	SI
4	Granulometria	esterna ai diagrammi	esterna ai diagrammi	SI

Pertanto, si omette la verifica a liquefazione ai sensi dei punti 3 e 4.

VERIFICHE DI STABILITÀ DEL VERSANTE

L'analisi di stabilità del versante è stata eseguita allo stato attuale e finale considerando le sezioni 2 e 3 (si vedano tavole allegate), ritenute le più significative e rappresentative di quanto in progetto in relazione alla massima pendenza del versante.

Le verifiche di stabilità sono state effettuate utilizzando un programma di calcolo automatico denominato "SLOPE 2022", adottando il metodo di Bishop con simulazione di sisma (i calcoli relativi ottenuti sono riportati in allegato alla presente relazione).

Le verifiche hanno tenuto conto delle seguenti ipotesi:

- 1) per semplificazione il problema è considerato bidimensionale;
- 2) si esaminano le condizioni d'equilibrio limite confrontando la forza "franante", costituita dal peso della massa di terreno delimitato da una potenziale superficie di scorrimento, con la forza "resistente" costituita dalla resistenza al taglio dovuta alle caratteristiche geotecniche del terreno lungo la superficie di scorrimento;
- 3) si ipotizzano superfici di scorrimento regolari il cui andamento risulta essere dato da un cerchio formato da una linea spezzata formata da segmenti;
- 4) il terreno considerato viene suddiviso in conci con superficie di base piana;
- 5) si tiene conto delle azioni sismiche corrispondenti alla Classificazione sismica della Regione Toscana secondo l'Ordinanza PCM n. 3519 del 28/04/2006. Le NTC 2018 calcolano i coefficienti K_0 e K_v in dipendenza di vari fattori:

$$K_0 = \beta_s \times (a_{max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_0$$

con:

β_s coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{max} = S_S S_T a_g$$

Tali componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica da adottare nelle verifiche di stabilità sono riportate nel precedente paragrafo della modellazione sismica.

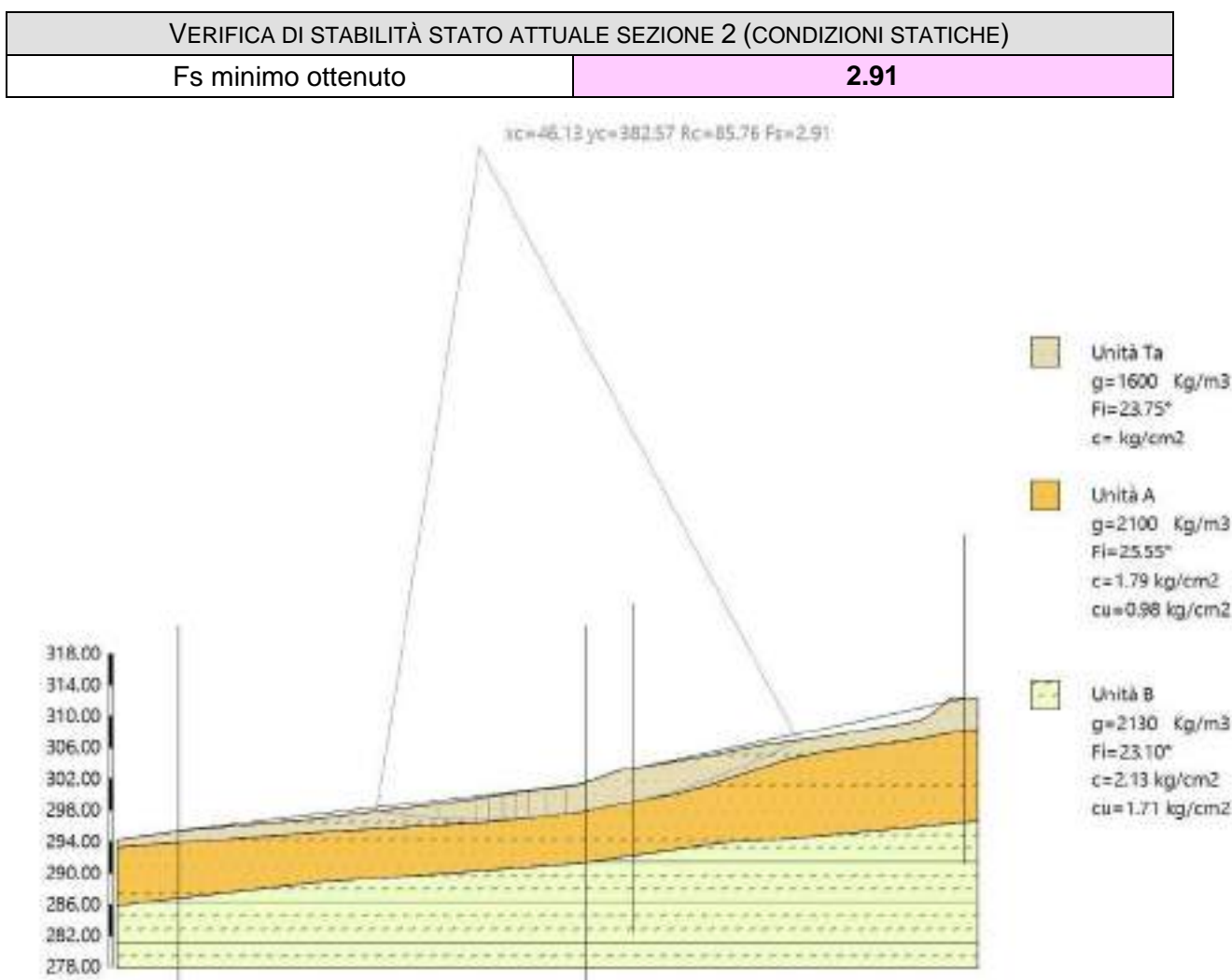
1. VERIFICHE DI STABILITÀ ALLO STATO ATTUALE

Le verifiche di stabilità del pendio naturale allo stato attuale, con parametri caratteristici prossimi ai valori medi, sono state effettuate ai sensi delle vigenti NTC2018, alle seguenti condizioni:

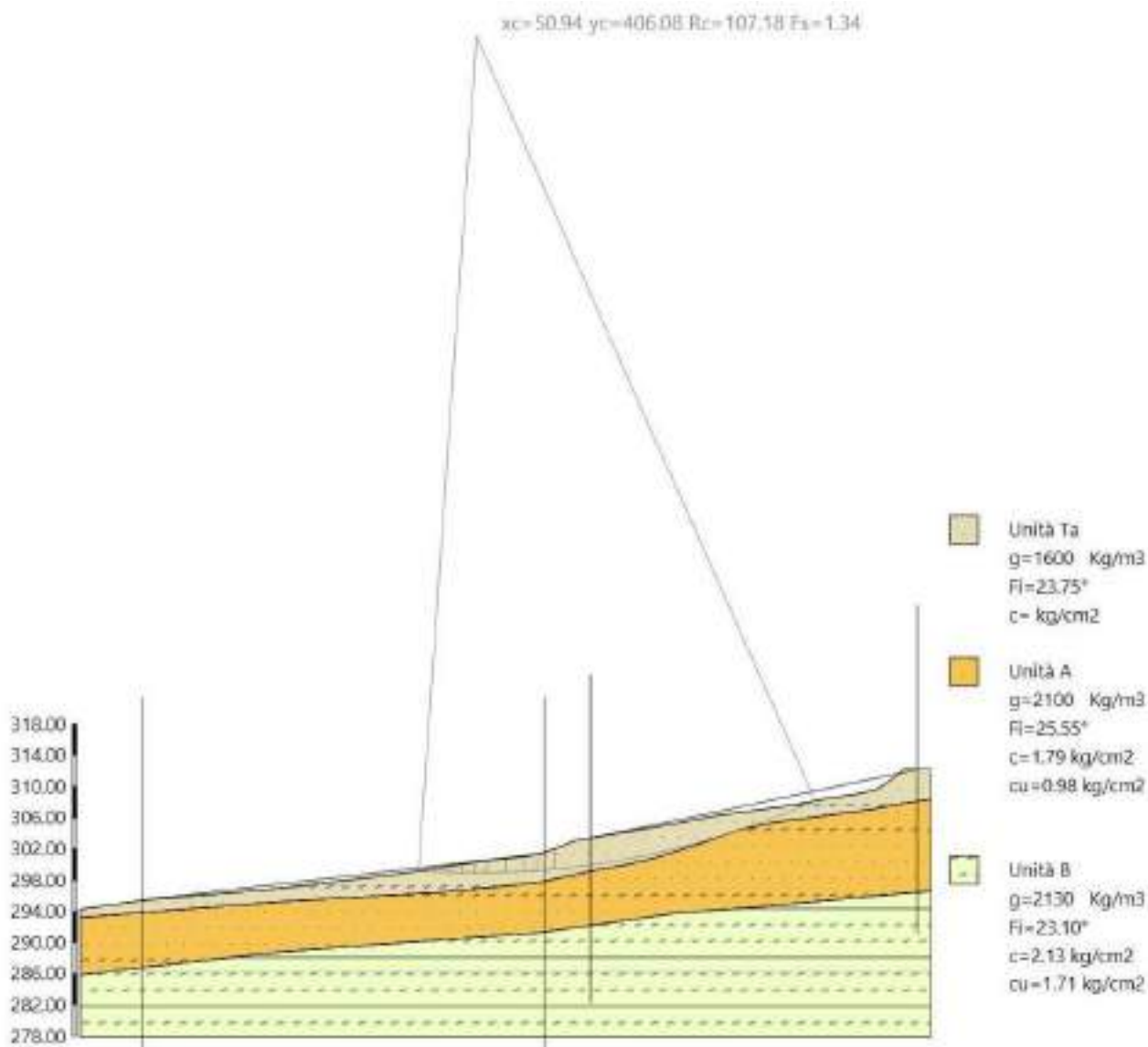
- condizioni sismiche → parametri geotecnici caratteristici, coefficienti sismici k_h e k_v allo SLV, coefficiente $\gamma R_2=1.0$;
- condizioni statiche → parametri geotecnici caratteristici, coefficiente $\gamma R_2=1.0$.

○ SEZIONE 2 STATO ATTUALE

Le verifiche allo stato attuale sulla sezione 2 hanno fornito dei valori del coefficiente di sicurezza minimo pari a 2.91 (condizioni statiche) e 1.34 (condizioni sismiche), che indicano lo stato di stabilità del versante (si vedano i cerchi minimi ottenuti nelle seguenti immagini).



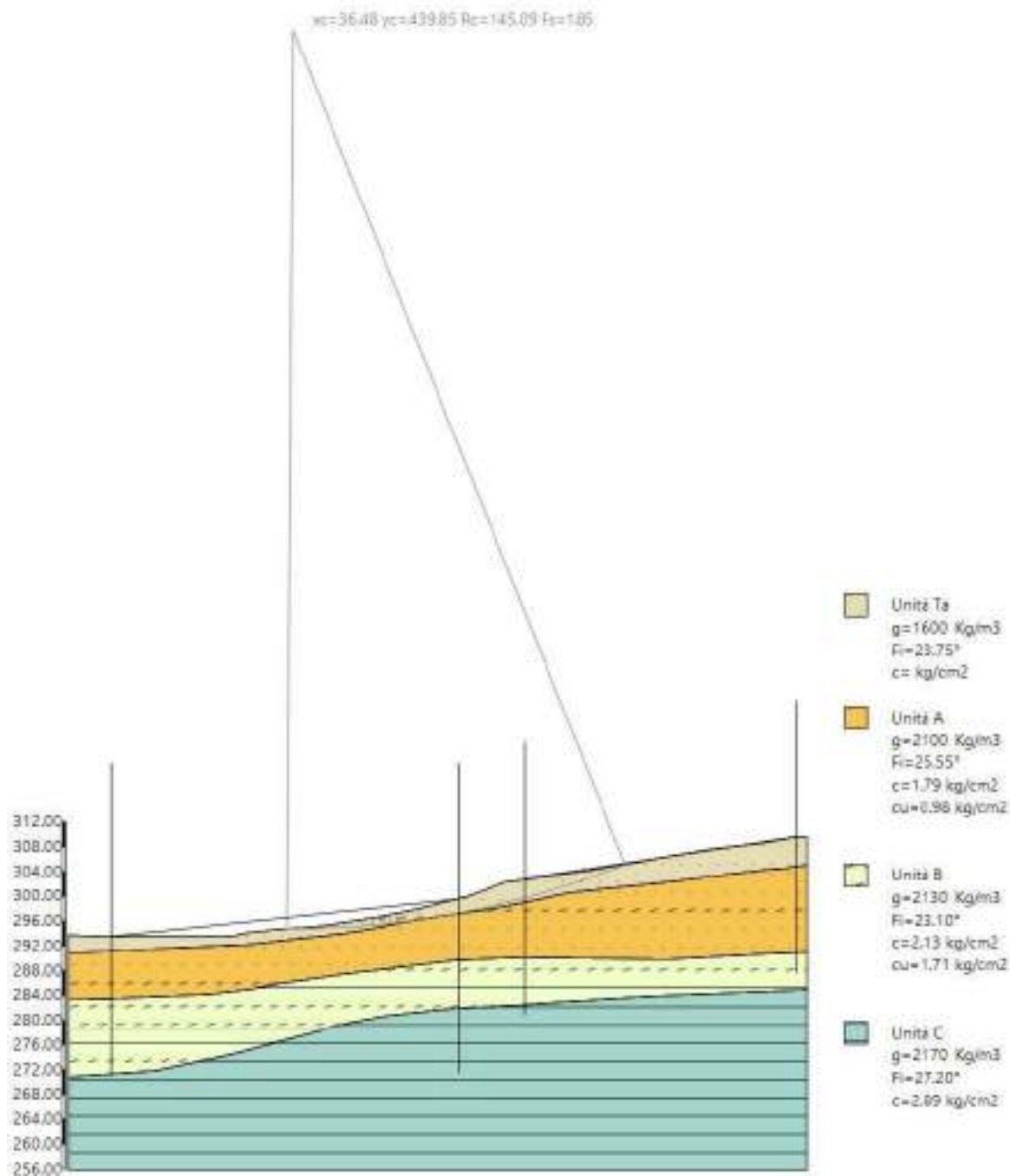
VERIFICA DI STABILITÀ STATO ATTUALE SEZIONE 2 (CONDIZIONI SISMICHE)	
Fs minimo ottenuto	1.34



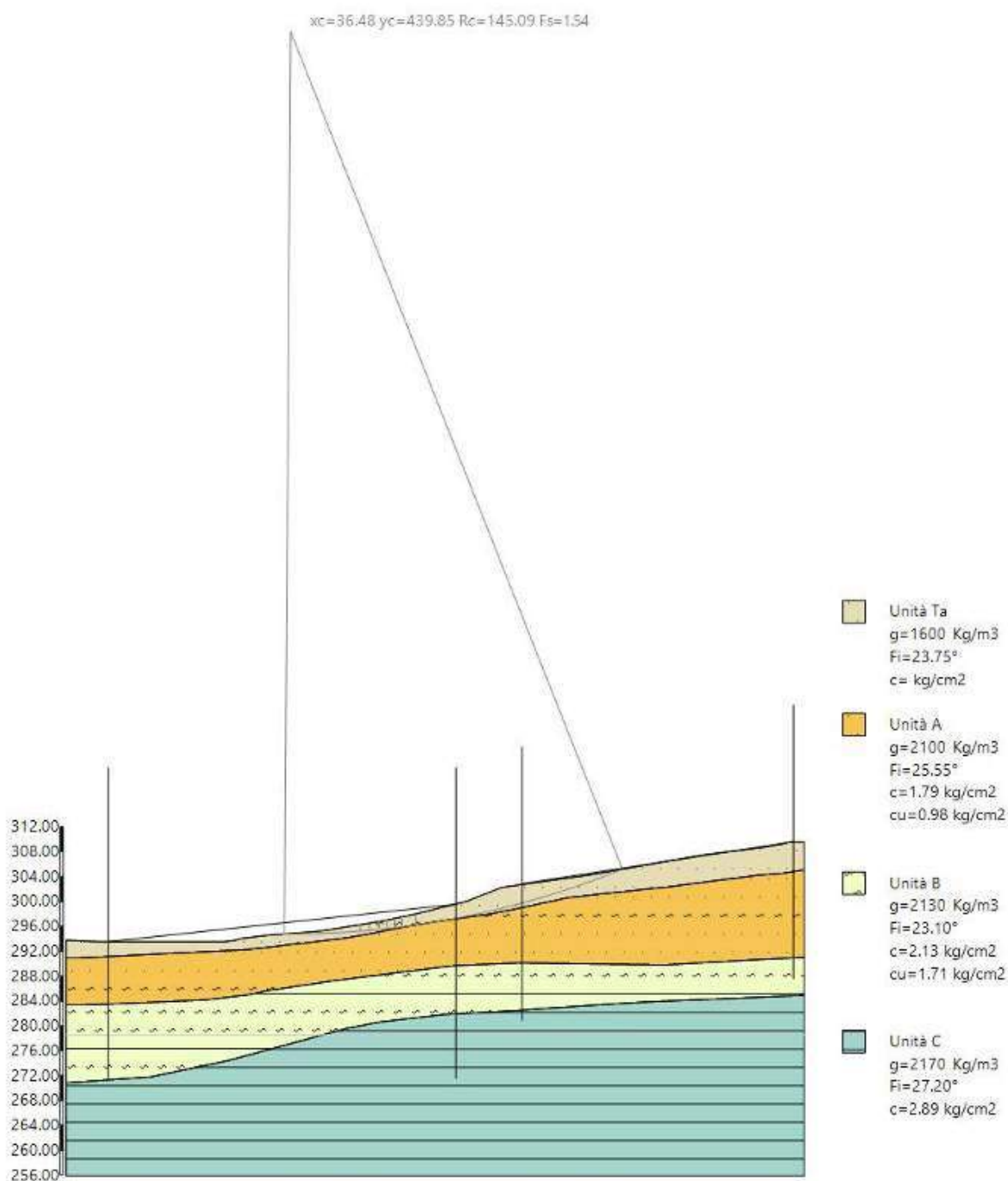
○ SEZIONE 3 STATO ATTUALE

Le verifiche allo stato attuale sulla sezione 3 hanno fornito dei valori del coefficiente di sicurezza minimo pari a 1.85 (condizioni statiche) e 1.54 (condizioni sismiche), che indicano lo stato di stabilità del versante (si vedano i cerchi minimi ottenuti nelle seguenti immagini).

VERIFICA DI STABILITÀ STATO ATTUALE SEZIONE 3 (CONDIZIONI STATICHE)	
Fs minimo ottenuto	1.85



VERIFICA DI STABILITÀ STATO ATTUALE SEZIONE 3 (CONDIZIONI SISMICHE)	
Fs minimo ottenuto	1.54



2. VERIFICHE DI STABILITÀ ALLO STATO FINALE

Le verifiche allo stato finale sono state eseguite tenendo in considerazione la presenza degli sbancamenti e dei riporti, la posa delle opere di sostegno verso monte (muri su pali trivellati in c.a. o paratia di pali a tergo), di fondazioni profonde per i fabbricati di valle o per i fabbricati in cui non sia garantito uno sbancamento tale da raggiungere livelli più profondi e consistenti (pali trivellati in c.a.), dei carichi dei nuovi edifici, dei parcheggi e della viabilità: i pali degli edifici dovranno avere un diametro di almeno $D=0.60/0.80$ m e lunghezza di 14/16 m; le fondazioni profonde delle opere di sostegno (pali con diametro $D = 0.60/0.80$) dovranno garantire il raggiungimento delle unità B o C (lunghezza stimata 14/16 m a partire dalla base del muro di sostegno).

Nel calcolo di stabilità sono stati inseriti i seguenti parametri geotecnici caratteristici per il terreno di riporto presente ad opere ultimate (unità R):

PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI PROSSIMI AI VALORI MEDI

- *peso di volume* $\gamma = 1.60 \text{ t/m}^3$
- *angolo di attrito* $\phi = 28.00^\circ$
- *coesione* $C = 0.05 \text{ kg/cm}^2$

Le verifiche di stabilità del pendio allo stato finale, sono state effettuate ai sensi delle vigenti NTC2018, alle seguenti condizioni:

- condizioni sismiche → approccio A2+M2+R2, coefficienti sismici k_h e k_v allo SLV, parametri geotecnici caratteristici, coefficiente $\gamma_{R2}=1.1$ per pendii artificiali e opere su pendii e $\gamma_{R2}=1.2$ per i rilevati;

- condizioni statiche → approccio A2+M2+R2, parametri geotecnici di progetto, coefficiente $\gamma_{R2}=1.1$ per pendii artificiali e opere su pendii e $\gamma_{R2}=1.2$ per i rilevati.

In base alle istruzioni indicate sulle NTC 2018 del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici in condizioni statiche ai valori caratteristici (f_k) si applicano i coefficienti di sicurezza parziali (CP) in funzione dello stato limite considerato secondo l'approccio di calcolo scelto (APPROCCIO1-COMBINAZIONE2 A2+M2+R2), così come definito dalle NTC 2018.

Si ottengono i valori di progetto (f_d) come qui di seguito riportato:

- valore della tangente dell'angolo d'attrito di progetto: $\tan(\Phi'd) = [\tan(\Phi'k)] / 1,25$;
- valore del peso di volume di progetto: $\gamma_d = \gamma_k / 1$;
- valore della coesione efficace di progetto: $c'd = c'k / 1,25$;
- valore della coesione non drenata di progetto: $c_{ud} = c_{uk} / 1,40$.

Pertanto, in condizioni statiche, in base alla caratterizzazione geotecnica effettuata, i valori di progetto relativamente alle unità indicate nel modello geotecnico, sono i seguenti:

Unità R: Terreno di riporto

PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

- *peso di volume* $\gamma = 1.60 \text{ t/m}^3$
- *angolo di attrito* $\phi = 23.04^\circ$
- *coesione* $C = 0.04 \text{ kg/cm}^2$

Unità Ta: Terreno pedogenetico, limi sabbiosi alterati

PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

- *peso di volume* $\gamma = 1.60 \text{ t/m}^3$
- *angolo di attrito* $\phi = 19.39^\circ$
- *coesione* $C = 0.00 \text{ kg/cm}^2$

Unità A: Limi argillosi e sabbiosi mediamente addensati

PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

- *peso di volume* $\gamma = 2.10 \text{ t/m}^3$
- *angolo di attrito* $\phi = 20.93^\circ$
- *coesione* $C = 1.43 \text{ kg/cm}^2$

Unità B: Limi argillosi consistenti

PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

- *peso di volume* $\gamma = 2.13 \text{ t/m}^3$
- *angolo di attrito* $\phi = 18.84^\circ$
- *coesione* $C = 1.70 \text{ kg/cm}^2$

Unità C: Limi argillosi molto consistenti con livelli litificati

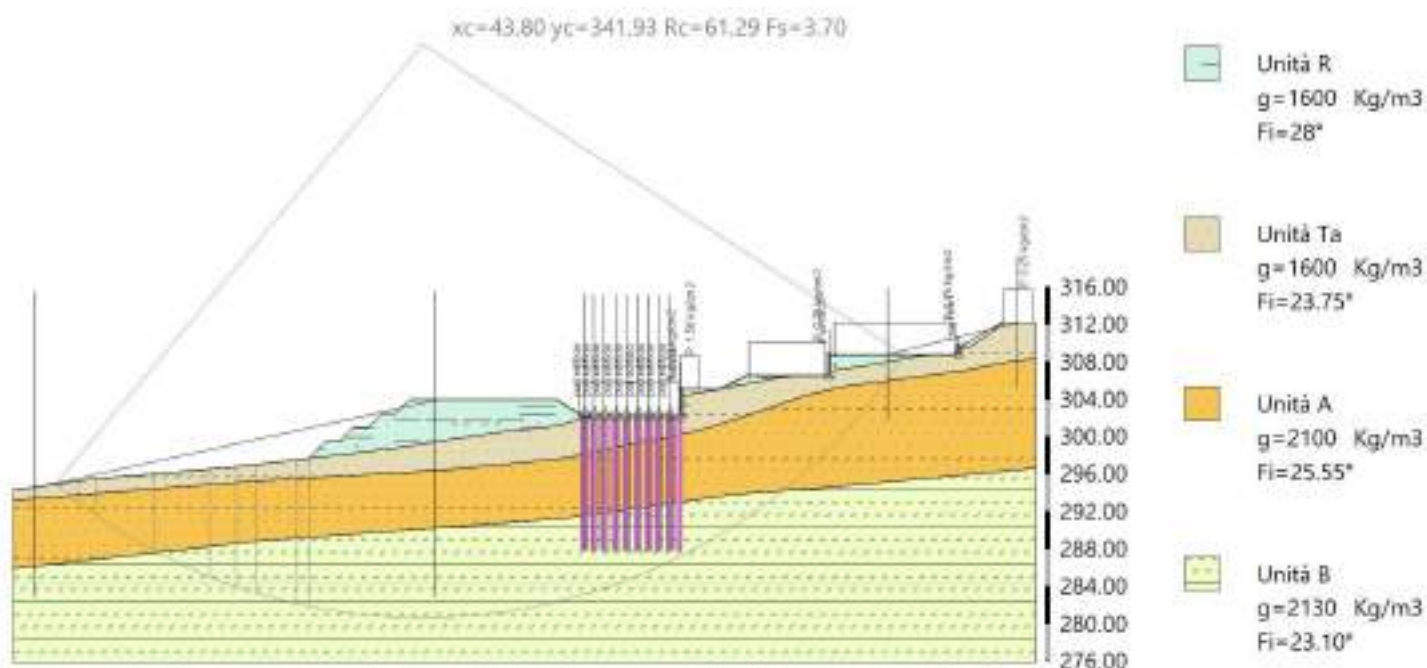
PARAMETRI GEOTECNICI DI PROGETTO

- peso di volume $\gamma = 2.17 \text{ t/m}^3$
- angolo di attrito $\phi = 22.35^\circ$
- coesione $C = 2.32 \text{ kg/cm}^2$

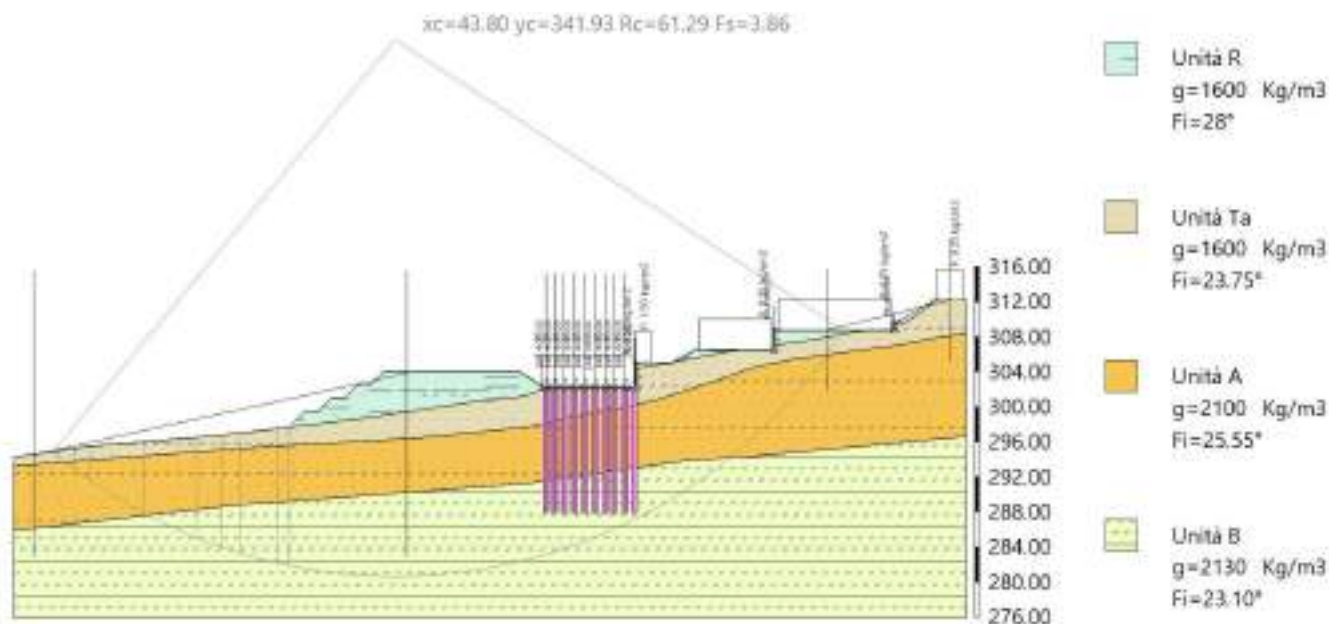
○ SEZIONE 2 STATO FINALE

Le verifiche allo stato finale hanno fornito dei valori del coefficiente di sicurezza minimo pari a 3.70 (condizioni statiche) e 3.86 (condizioni sismiche), ritenuti indicativi dello stato di stabilità del versante in seguito alla realizzazione delle opere in progetto (si vedano i cerchi minimi ottenuti nelle seguenti immagini).

VERIFICA DI STABILITÀ STATO FINALE SEZIONE 2 (CONDIZIONI STATICHE)	
Fs minimo ottenuto	3.70



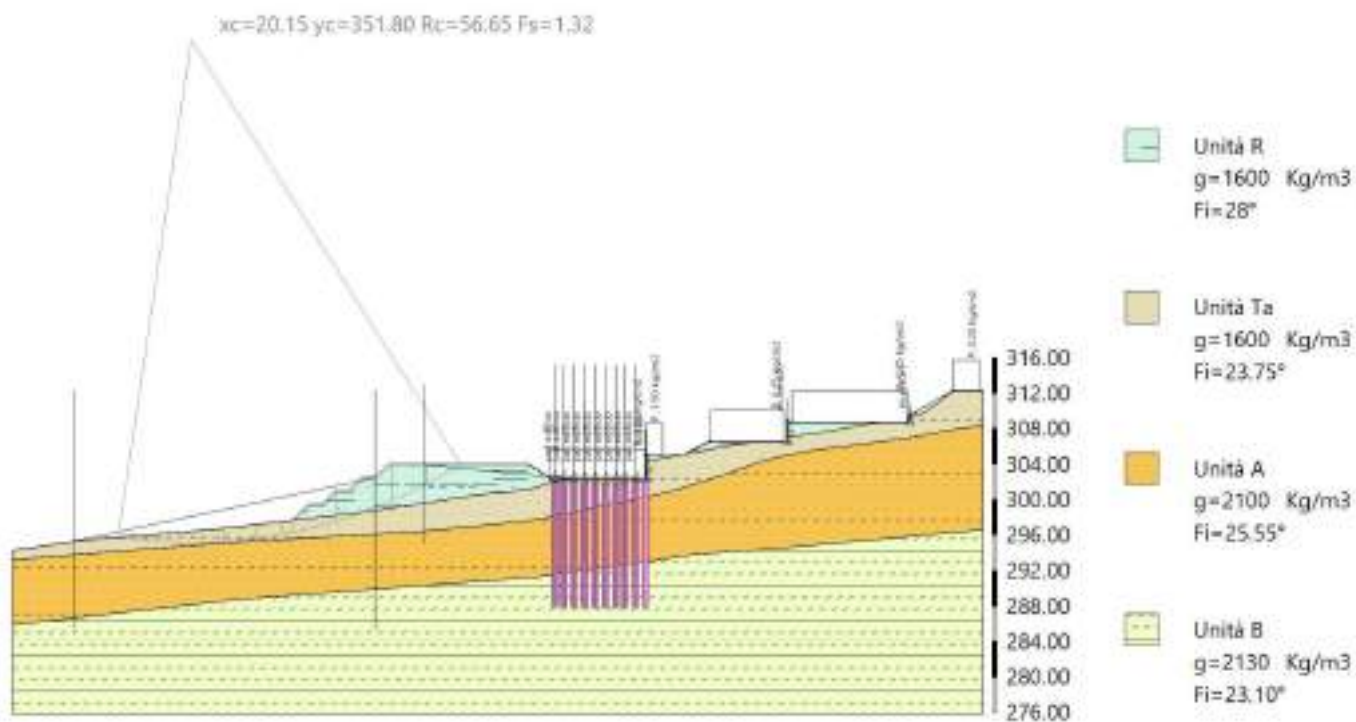
VERIFICA DI STABILITÀ STATO FINALE SEZIONE 2 (CONDIZIONI SISMICHE)	
Fs minimo ottenuto	3.86



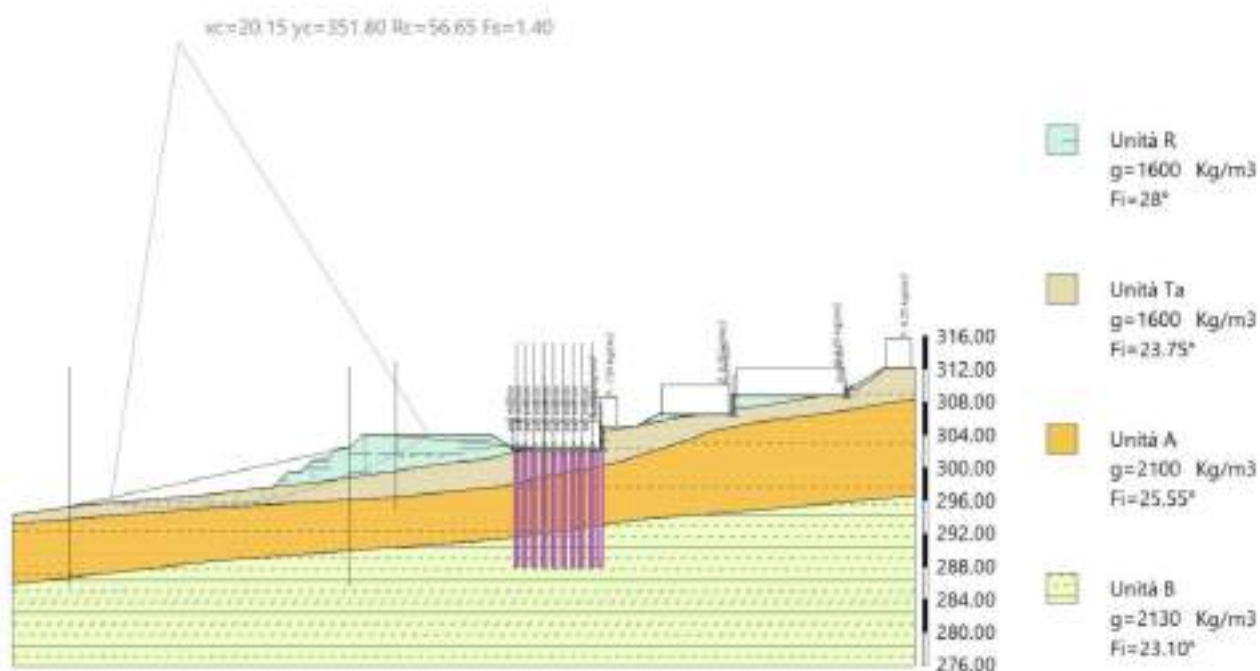
○ **SEZIONE 2 STATO FINALE - RILEVATO**

Le verifiche allo stato finale hanno fornito dei valori del coefficiente di sicurezza minimo pari a 1.32 (condizioni statiche) e 1.40 (condizioni sismiche), ritenuti indicativi dello stato di stabilità del rilevato (si vedano i cerchi minimi ottenuti nelle seguenti immagini).

VERIFICA DI STABILITÀ STATO FINALE SEZIONE 2 RILEVATO (CONDIZIONI STATICHE)	
Fs minimo ottenuto	1.32



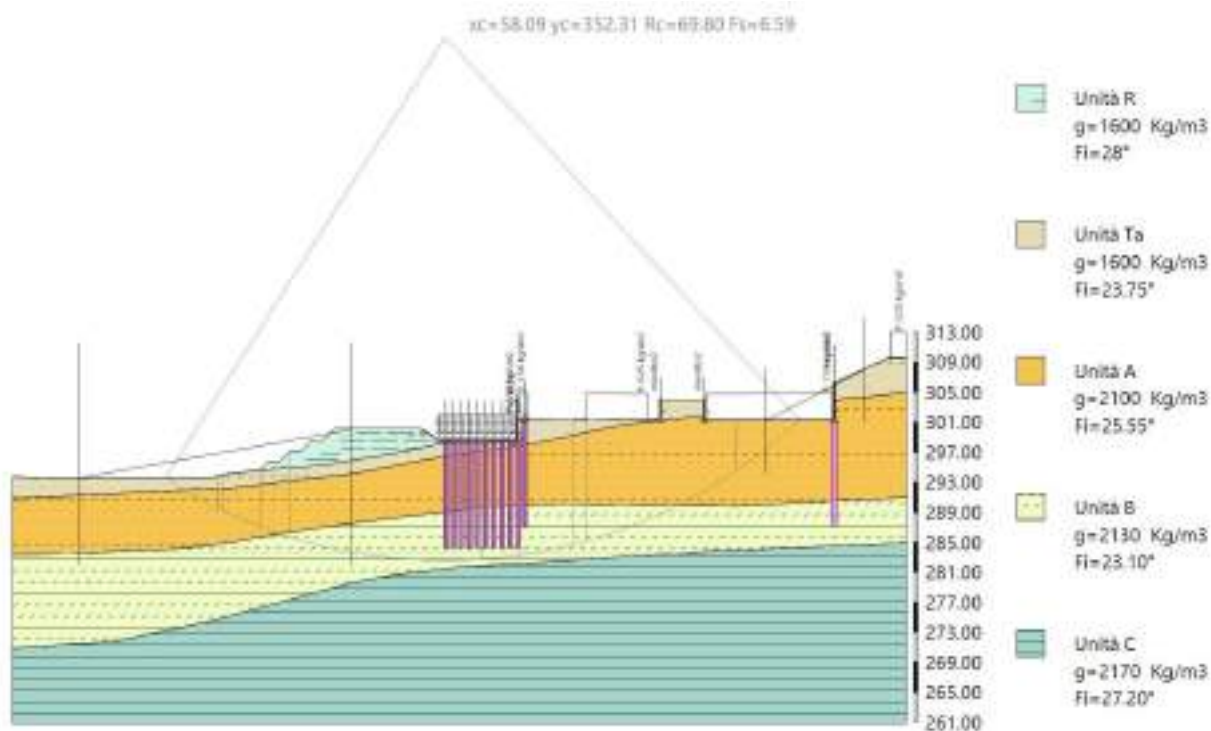
VERIFICA DI STABILITÀ STATO FINALE SEZIONE 2 RILEVATO (CONDIZIONI SISMICHE)	
Fs minimo ottenuto	1.40



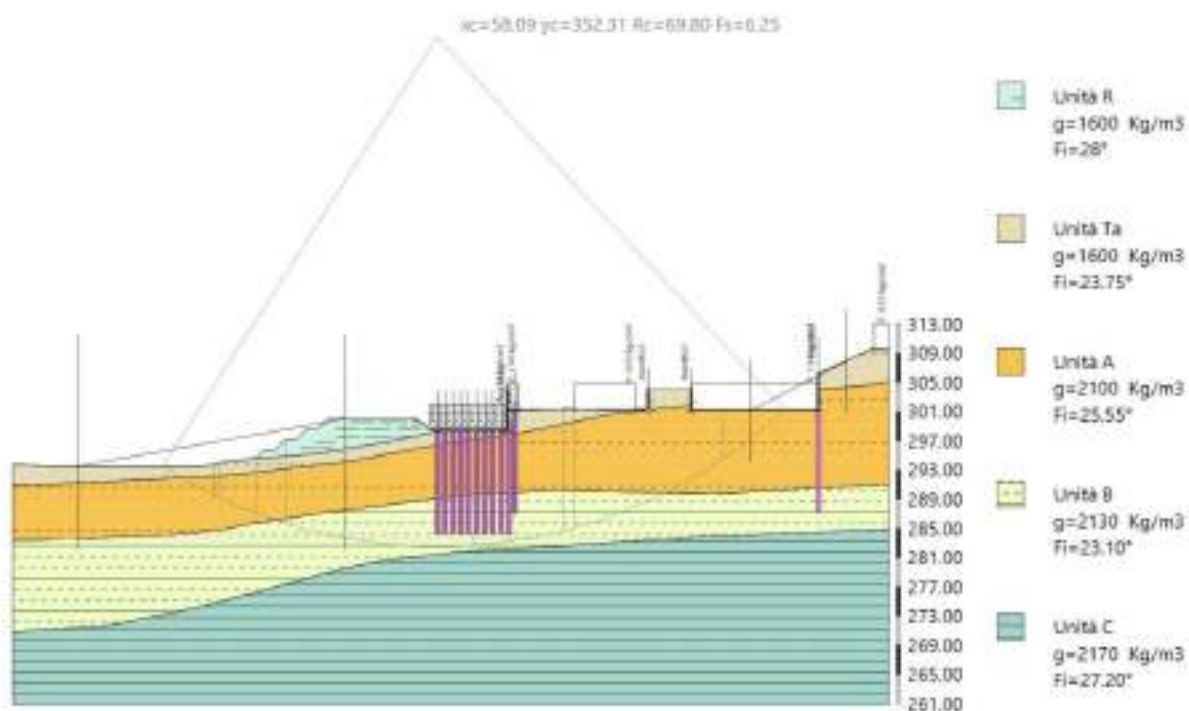
○ **SEZIONE 3 STATO FINALE**

Le verifiche allo stato finale hanno fornito dei valori del coefficiente di sicurezza minimo pari a 6.59 (condizioni statiche) e 6.25 (condizioni sismiche), ritenuti indicativi dello stato di stabilità del versante in seguito alla realizzazione delle opere in progetto (si vedano i cerchi minimi ottenuti nelle seguenti immagini).

VERIFICA DI STABILITÀ STATO FINALE SEZIONE 3 (CONDIZIONI STATICHE)	
Fs minimo ottenuto	6.59



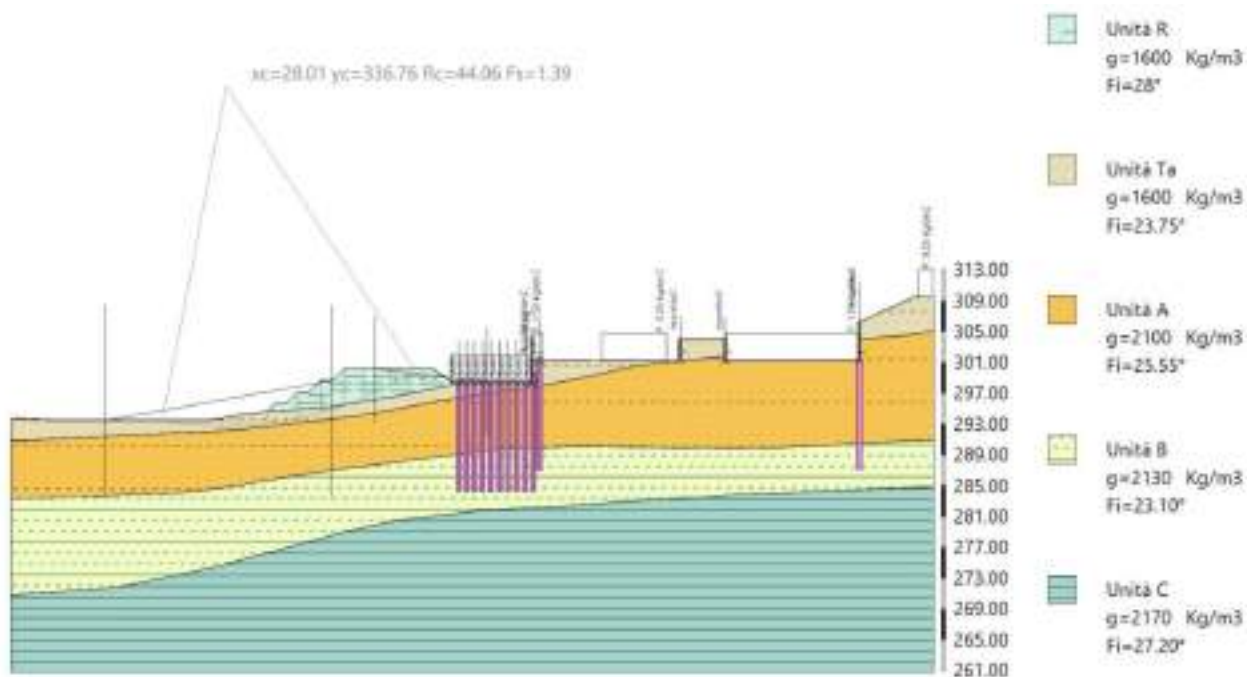
VERIFICA DI STABILITÀ STATO FINALE SEZIONE 3 (CONDIZIONI SISMICHE)	
Fs minimo ottenuto	6.25



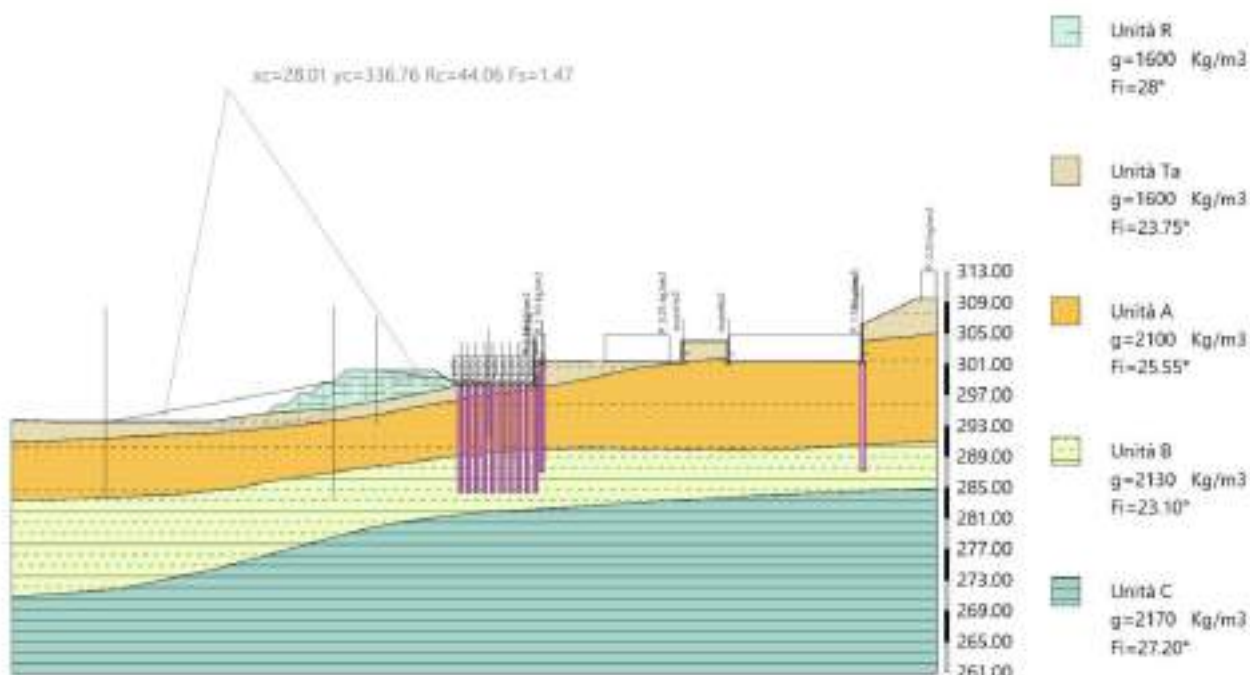
○ **SEZIONE 3 STATO FINALE - RILEVATO**

Le verifiche allo stato finale hanno fornito dei valori del coefficiente di sicurezza minimo pari a 1.39 (condizioni statiche) e 1.47 (condizioni sismiche), ritenuti indicativi dello stato di stabilità del rilevato (si vedano i cerchi minimi ottenuti nelle seguenti immagini).

VERIFICA DI STABILITÀ STATO FINALE SEZIONE 3 RILEVATO (CONDIZIONI STATICHE)	
Fs minimo ottenuto	1.39



VERIFICA DI STABILITÀ STATO FINALE SEZIONE 3 RILEVATO (CONDIZIONI SISMICHE)	
Fs minimo ottenuto	1.47



✓ Considerazioni sui risultati dei calcoli di stabilità

In base ai risultati delle verifiche di stabilità ottenuti, è possibile fare le seguenti considerazioni:

- **stato attuale:** le verifiche di stabilità effettuate allo stato attuale in condizioni statiche e dinamiche evidenziano dei valori dei coefficienti di sicurezza che indicano lo stato di stabilità del versante;
- **stato finale:** le verifiche di stabilità allo stato finale in condizioni statiche e dinamiche, effettuate considerando la realizzazione degli sbancamenti e dei riporti, la posa delle opere di sostegno verso monte e di fondazioni profonde, dei carichi dei nuovi edifici, dei parcheggi e della viabilità, evidenziano dei valori dei coefficienti di sicurezza che indicano un buon grado di stabilità del pendio, delle opere in progetto e dei rilevati: il versante rimane stabile anche in seguito alla costruzione di quanto previsto.

CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

L'insieme delle indagini geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche, geognostiche e sismiche, non hanno messo in evidenza elementi contrari alla realizzazione di quanto in progetto.

In base alla caratterizzazione geotecnica sopra esposta è stato possibile individuare il modello geotecnico di riferimento riportato nei precedenti paragrafi: nell'area oggetto dei lavori di costruzione, la stratigrafia è sostanzialmente costituita da una prevalenza di litotipi limoso argillosi con un contenuto basso di sabbia, all'interno dei quali sono presenti lenti o livelli conglomeratico-ghiaiose.

Poiché per la realizzazione delle nuove volumetrie in progetto sono previsti sbancamenti di altezza ed entità variabile (altezza massima pari a 7.00 m) che permetteranno generalmente di oltrepassare un primo livello alterato superficiale appartenente all'unità Ta e localmente di raggiungere anche l'unità A maggiormente consistente e dotata di parametri

geotecnici più alti, per la scelta della tipologia fondale, è possibile effettuare le seguenti considerazioni:

- in corrispondenza dei fabbricati posti a quote maggiori e caratterizzati da una maggiore altezza di scavo per raggiungere il piano fondale, potranno essere adottate fondazioni di tipo superficiale (platea in c.a.);
- in corrispondenza dei fabbricati posti a quote minori verso valle e caratterizzati da una minore altezza di scavo per raggiungere il piano fondale, si consiglia l'adozione di fondazioni di tipo profondo su pali trivellati in c.a.;
- per le opere di contenimento della spinta dei terreni verso monte (muri a retta che delimiteranno le zone di accesso ai locali seminterrati), in relazione alla loro altezza ed alla presenza della viabilità a monte, dovranno essere previste adeguate opere precauzionali di contenimento: in particolare, si consiglia l'esecuzione di paratie di pali trivellati o muri su pali (diametro di 0.60/0.80 m), che dovranno garantire una profondità di imposta nel substrato argilloso compatto (Unità C o D);
- in base alle indagini geognostiche effettuate ed al modello geotecnico precedentemente riportato, i pali dovranno avere un diametro pari a 0.60/0.80 m e lunghezza non minore di 12.00/15.00 m, al fine di raggiungere i livelli più profondi in posto e maggiormente consistenti.

Il dimensionamento delle opere di fondazioni e le verifiche, in base al D.M. 17.01.2018, dovranno essere fatte allo stato limite ultimo ed allo stato limite d'esercizio in condizioni statiche e sotto sisma, e saranno effettuate in fase esecutiva nella specifica relazione geotecnica che potrà ricorrere a tutti i parametri stratigrafici, idrogeologici, sismici e geotecnici indicati nella presente relazione geologica.

1. DISPOSIZIONI TECNICHE

Nell'area in studio dovranno essere tenute in debita considerazione tutte le problematiche relative alle caratteristiche idrologiche del sito: a tale scopo si ritiene indispensabile prevedere la realizzazione degli accorgimenti necessari per la regimazione delle acque superficiali e meteoriche mediante opportune canalette o fossetti perenni.

Inoltre, per quanto concerne la realizzazione degli sbancamenti, si dovranno adottare opportuni interventi precauzionali: si raccomanda di eseguire lo scavo per tratte successive di lunghezza ridotta e di realizzare tempestivamente le opere di sostegno verso monte.

Tutte le terre di scavo dovranno essere accumulate a debita distanza dal ciglio delle trincee onde evitare pericolosi sovraccarichi immediatamente a monte delle pareti di scavo.

Inoltre, per la messa in opera dei terreni di riporto, si dovrà procedere come segue:

- ⇒ la posa in opera di materiali di riporto dovrà avvenire in strati aventi pendenze non inferiori al 4% e tali da garantire lo scolo delle acque ed il deflusso rapido delle portate meteoriche;
- ⇒ il costipamento degli strati dovrà avvenire per ogni strato di materiale disteso dello spessore massimo di 30 cm effettuando ripetuti passaggi con rullo compressore liscio;
- ⇒ le caratteristiche geotecniche minime dei terreni costituenti i rilevati sono quelle indicate nel precedente paragrafo di stabilità per l'unità R;
- ⇒ il grado di costipamento ottimale potrà essere valutato in situ mediante misure di densità.

In ottemperanza a quanto previsto dal **Regolamento n.48/r del 08 agosto 2003** e successivo **DPGR 53/R del 05.05.2015**, l'esecuzione dei lavori dovrà essere eseguita nel rispetto delle seguenti disposizioni tecniche:

- i movimenti di terreno dovranno essere contenuti al minimo indispensabile ed interessare unicamente lo scavo delle fondazioni nell'area di pertinenza dei lavori;
- i materiali di risulta derivanti dalle operazioni di scavo atte alla realizzazione di quanto in progetto dovranno essere riutilizzati in loco per le sistemazioni esterne dell'area oggetto dei lavori; i materiali terrosi o lapidei eccedenti le sistemazioni dovranno essere riutilizzati in terreni ove il riporto degli stessi sia autorizzato o consentito ai fini del vincolo idrogeologico;
- il riutilizzo dei materiali sopra indicati dovrà essere effettuato secondo le modalità previste dalle vigenti normative ed in particolare in ottemperanza a quanto previsto dalla Legge n. 152/2006 e successive modifiche ed integrazioni;
- durante le fasi di cantiere eventuali depositi temporanei di materiali terrosi lapidei devono essere effettuati in modo da evitare fenomeni erosivi o di ristagno delle acque;
- dovrà essere posta particolare attenzione alla regimazione idrica delle acque al fine evitare fenomeni di ristagno o di erosione nell'area oggetto dei lavori e nei terreni limitrofi.

2. TERRE E ROCCE DA SCAVO - RIUTILIZZO IN LOCO

In base alle disposizioni del D.P.R. 13 giugno 2017, n° 120 "Regolamento recante la disciplina semplificata della gestione delle terre e rocce da scavo, ai sensi dell'articolo 8 del decreto-legge 12 settembre 2014, n. 133, convertito, con modificazioni, dalla legge 11 novembre 2014, n. 164", per il cantiere in oggetto, qualora le terre da scavo prodotte siano completamente riutilizzate all'interno dello stesso ai sensi dell'art.24 del D.P.R. 120/2017 "utilizzo nel sito di produzione delle terre e rocce escluse dalla disciplina rifiuti", al fine di individuare le condizioni per la corretta gestione delle terre da scavo, dovranno essere seguite le procedure di caratterizzazione chimico fisiche e accertamento delle qualità ambientali, secondo le disposizioni indicate nell'allegato n. 4 del D.P.R. 120/2017.

Qualora non sia possibile il completo riutilizzo del materiale di risulta nello stesso sito di produzione si dispone che il sottoprodotto restante sia destinato a discarica autorizzata previa compilazione di apposito formulario da parte del produttore (ditta esecutrice dei lavori).

Siena, luglio 2022

GEOSOL s.r.l.
Dott. Geol. Andrea Capotorti



PROGETTO DI : Piano Attuativo dell'area di trasformazione urbanistica TU20A in località San Martino (Art.31 NTA Variante RU vigente con approvazione del C.C. n.32 del 9 maggio 2018)

COMUNE, LOCALITA', VIA :Monteriggioni, San Martino

DATA RELAZIONE GEOLOGICA : ..luglio 2022.....

<u>SCHEDA DI SINTESI PER LA VALUTAZIONE DEL PROGETTO IN RELAZIONE AGLI ASPETTI GEOLOGICI, GEOFISICI E GEOTECNICI</u> (da non compilarsi nel caso di applicazione del comma 3 e 6 art. 7 del DPGR 1/R/22)	
Classe di indagine 1/R/22 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input checked="" type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> non applicabile	Opera rilevante o strategica (All. A 1/R/22) <input type="checkbox"/> si <input checked="" type="checkbox"/> no
Categoria di sottosuolo <input type="checkbox"/> A <input checked="" type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> E <input checked="" type="checkbox"/> Risposta Sismica Locale	
Categoria Topografica <input checked="" type="checkbox"/> T1 <input type="checkbox"/> T2 <input type="checkbox"/> T3 <input type="checkbox"/> T4	Opere di sostegno / interventi su pendio <input checked="" type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no
Consolidamento fondazioni di edifici esistenti <input type="checkbox"/> si <input checked="" type="checkbox"/> no	Opere in sotterraneo / volumi interrati o seminterrati <input checked="" type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no
Pericolosità geologica/geomorfológica SU <input type="checkbox"/> 1 <input checked="" type="checkbox"/> 2 <input checked="" type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	Pericolosità geomorfologica PAI <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input checked="" type="checkbox"/> non presente
Pericolosità sismica da 53R - 5R <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input checked="" type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> non presente	Fattibilità sismica SU <input checked="" type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input checked="" type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> non presente
Pericolosità idraulica SU <input checked="" type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4	Fattibilità idraulica SU <input checked="" type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> non presente
Fattibilità geologica SU <input checked="" type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input checked="" type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4 <input type="checkbox"/> non presente	Presenza prescrizioni (SU, A.d.B o altro) <input checked="" type="checkbox"/> si <input type="checkbox"/> no
Note relative al Progetto e/o alle Prescrizioni

INDAGINI GEOGNOSTICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE ESEGUITE

<input type="checkbox"/> Sondaggi a carotaggio continuo	<input checked="" type="checkbox"/> Prove geotecniche di laboratorio (eseguite da laboratori autorizzati ai sensi dell'art.59 DPR 380/2001)	<input type="checkbox"/> SPT <input type="checkbox"/> CPT <input type="checkbox"/> CPTE <input type="checkbox"/> CPTU <input checked="" type="checkbox"/> DPSH
<input type="checkbox"/> Misure inclinometriche/estensimetriche	<input type="checkbox"/> Saggio geognostico	<input type="checkbox"/> Rilevamento e rilievi su affioramenti geologici
<input type="checkbox"/> Rilievo geomeccanico	<input checked="" type="checkbox"/> Sismica a rifrazione <input checked="" type="checkbox"/> MASW/ESAC <input checked="" type="checkbox"/> HVSR	<input type="checkbox"/> Indagini geofisiche in foro (DH/SCPT)
Altre tipologie di indagini eseguite	
Indagini di archivioDPSH, SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUATO, SPT, INDAGINE GEOFISICA IN FORO DH.....	
Eventuali note in merito alle indagini	

Il sottoscritto in qualità di **geologo**, dichiara che sono state rispettate le prescrizioni contenute negli strumenti della pianificazione territoriale e negli atti del governo del territorio con riferimento alla fattibilità degli interventi a seguito delle indagini geologico-tecniche e che le indagini geologiche, geofisiche e geotecniche relative all'intervento sono state eseguite in ottemperanza alle disposizioni di cui all'art. 5 del regolamento di attuazione dell'art.181 della L.R. 65/2014.

IL GEOLOGO



Manola Bardelli
GEOSOL s.r.l.
 Via Europa, 31 - SIENA
 Tel. 0577 44470 - Fax 0577 222011
 Partita IVA 00707630523

.....
(timbro e firma)