

Progetto:

REGIONE PIEMONTE
PROVINCIA DI CUNEO
COMUNE DI SALUZZO



PIANO ESECUTIVO CONVENZIONATO DI LIBERA INIZIATIVA Comparto CS-6

Aree interessate:

12037 SALUZZO (CN)
Via Cuneo
Vigna Ariaudo

Destinatario:

Comune di Saluzzo
Ufficio Urbanistica
Via Macallè 9
12037 SALUZZO (CN)
tel. 0175211311

Committente:

TRACTIONGAS S.P.A.
via Discesa Bellavista 11/Bis
12100 CUNEO
Legale Rappresentante:
Renzo Zucchi

ALL.F

Numero Tavola

Relazione Geologico Tecnica

Oggetto:

Data: Luglio 2019

Scala:

Progettista:

Marco Barbero
Geolpi consulting geologi associati
10064 PINEROLO (TO)
Via Saluzzo 52
Tel/Fax: 0121 375017



INDICE

1. PREMESSA	1
2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	2
3. LINEAMENTI GEOLOGICO-MORFOLOGICI	2
4. ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO ED IDROGEOLOGICO DELL'AREA	3
5. PERICOLOSITA' GEOLOGICA LOCALE	5
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE	6
7. ANALISI SISMICA DELL'AREA OGGETTO D'INTERVENTO	8
8. FATTIBILITA' DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO	11
9. PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA	12
10. VERIFICHE GEOTECNICHE	13
11. CONCLUSIONI	15

ALLEGATI

- Allegato 1 - Localizzazione geografica dell'area oggetto d'indagine
- Allegato 2 - Inquadramento geologico
- Allegato 3 - Dati geognostici di riferimento
- Allegato 4 - Ubicazione indagini geognostiche
- Allegato 5 - Sezioni stratigrafiche pozzetti esplorativi
- Allegato 6 - Documentazione fotografica
- Allegato 7 - Indagini geofisiche: relazione illustrativa
- Allegato 8 - Verifiche geotecniche: tabulati

1. PREMESSA

In base all'incarico conferitomi, è stata redatta la presente relazione geologico-tecnica che si riferisce al Piano Esecutivo Convenzionato che la proprietà richiedente intende attuare nel Comune di Saluzzo nell'azonamento CS-6 del P.R.G.C. vigente (Via Cuneo).

Più precisamente lo studio è stato condotto allo scopo di verificare la fattibilità degli interventi edilizi previsti nel P.E.C. in esame, in funzione delle caratteristiche geologiche dell'area ove ne è prevista la realizzazione. Nella relazione sono pertanto illustrati i caratteri geologici, morfologici ed idrogeologici dell'area oggetto d'indagine che sono stati rilevati nel corso di alcune apposite ricognizioni. Nell'ambito del presente studio si è inoltre proceduto all'esecuzione di una campagna di indagini geognostiche allo scopo di ricostruire con un certo dettaglio l'assetto litostratigrafico dell'area in esame e di valutare le caratteristiche dei terreni di fondazione. In particolare sono stati realizzati due pozzetti esplorativi, nonché un'indagine geofisica finalizzata alla valutazione della risposta sismica locale (un profilo sismico di tipo MASW - Multichannel Analysis Surface Waves).

I risultati delle indagini di terreno sono stati successivamente integrati ed approfonditi mediante l'esame della documentazione bibliografica. In ultimo, facendo riferimento alle caratteristiche tecniche degli interventi edilizi in progetto, nonché al modello geotecnico definito sulla base dei risultati delle indagini di cui sopra, è stato possibile fornire una valutazione in merito alla fattibilità geotecnica degli interventi stessi. In merito a quest'ultimo aspetto si rammenta che il Comune di Saluzzo è stato riclassificato in Zona 3 ai sensi della vigente normativa sismica (D.G.R. 11/13058 del 19/1/2010).

Si precisa infine che il presente elaborato, che è stato redatto ai sensi del D.M. 11/3/1988 e del D.M. 17/1/2018, è comprensivo della Relazione geologica (§6.2.1 delle NTC18) e della Relazione geotecnica (§6.2.2 e §6.2.4 delle NTC18).

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto del presente studio è situata ad una quota di circa 367 metri s.l.m.⁽¹⁾ nella porzione meridionale del territorio comunale di Saluzzo. Più in particolare essa è ubicata in fregio al tracciato di Via Cuneo, immediatamente a Sud del sito ove sorge la Casa di Riposo Tapparelli d'Azeglio, ed insiste sulle particelle catastali nn. 176, 2283, 2284, 2270 e 2134 del Foglio 75 del Comune di Saluzzo.

Per maggiori ragguagli in merito alla localizzazione geografica dell'area in esame si rimanda all'estratto della BDTRE Base Cartografica di Riferimento della Regione Piemonte in scala 1:10.000 (sezioni nn. 191140 e 191150) riportato nell'Allegato 1.

3. LINEAMENTI GEOLOGICO-MORFOLOGICI

Dal punto di vista morfologico l'area oggetto d'indagine si presenta da sub pianeggiante a debolmente inclinata verso Nord-NordEst. In particolare l'area in esame è localizzata sulla pianura alluvionale recente geneticamente legata al Torrente Varaita, il principale corso d'acqua che caratterizza questo settore della pianura cuneese. In merito al reticolo idrografico superficiale si precisa inoltre che l'area in esame è posizionata in fregio alla sponda destra del Rio Torto, corso d'acqua che borda il margine orientale dei rilievi collinari che sorgono fra gli abitati di Saluzzo (a Nord) e Verzuolo (a Sud).

Questi rilievi rappresentano i primi contrafforti della catena alpina e sono caratterizzati dall'affioramento di litotipi riferibili al "Massiccio Cristallino pretriassico del Dora-Maira", il più meridionale fra i massicci cristallini interni di pertinenza pennidica di cui è costituito l'edificio alpino occidentale. Questo importante complesso è essenzialmente costituito da rocce metamorfiche polideformate del basamento continentale paleozoico, da paraderivati monometamorfici principalmente rappresentati da micascisti e gneiss minuti a pigmento grafiteo (la "Serie grafitea delle Alpi Cozie" Auct.), nonché da ortoderivati a chimismo acido (granitico e granodioritico) di probabile età tardo-ercinica. In particolare lungo i rilievi collinari poc'anzi richiamati affiorano micascisti e gneiss minuti del basamento polimetamorfico del Dora-Maira.

¹ Piano quotato Carta Tecnica Regionale (CTR).

Dal punto di vista geologico regionale l'area oggetto d'indagine è localizzata al margine sudoccidentale della "pianura cuneese-torinese meridionale". Questo importante settore della pianura piemontese è separato dalla "pianura torinese s.s." per mezzo della strozzatura che caratterizza la traversa Piossasco-Moncalieri, in corrispondenza della quale la distanza fra il margine della Collina di Torino e il bordo interno della catena alpina è minima. Si precisa che questo particolare assetto è verosimilmente riconducibile al prolungamento in profondità delle strutture a vergenza appenninica della Collina di Torino.

Più in dettaglio il settore di pianura in esame è caratterizzato dalla presenza di terreni alluvionali medio-recenti (si veda la tavola di inquadramento geologico riportata nell'Allegato 2). Nella Carta Geologica d'Italia (Foglio n. 80 - Cuneo) nell'area in esame sono segnalate delle "Alluvioni sabbioso-ghiaioso-ciottolose dei piani terrazzati" riferite al "Alluvium", terminologia ormai considerata desueta e poco precisa. Al riguardo si precisa che i depositi in esame, sulla base di quanto riportato nella "*Carta geologica del Piemonte*" (GeoPiemonte Map, a cura del CNR IGG, Arpa Piemonte - 2016), possono essere riferiti al Pleistocene medio-superiore.

Dal punto di vista sedimentologico l'area oggetto d'indagine è caratterizzata dalla presenza di depositi grossolani di origine alluvionale, costituiti prevalentemente da ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso-limosa. Questi depositi sono parte integrante dell'ampio conoide geneticamente legato al Torrente Varaita.

Infine, per quanto concerne gli aspetti pedologici, facendo riferimento al Foglio 191 della "Carta dei suoli" della Regione Piemonte (I.P.L.A., 2007), nell'area oggetto d'indagine si possono riconoscere degli "inceptisuoli di pianura non idromorfi e non ghiaiosi" (unità B1).

4. ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO ED IDROGEOLOGICO DELL'AREA

Allo scopo di ricostruire l'assetto litostratigrafico generale dell'area oggetto del presente studio, si è proceduto alla raccolta dei dati relativi alle indagini geognostiche condotte nel recente passato nel settore di pianura oggetto d'indagine⁽²⁾.

² Fonte: Banca Dati Geotecnica, Geoportale *Risknat* - ARPA Piemonte

In particolare sono stati presi in esame i dati relativi a due sondaggi a carotaggio continuo (S1 – S2), nonché i dati relativi ad un pozzo irriguo realizzato nelle vicinanze dell'area indagata (P1). La localizzazione dei dati di riferimento è indicata nella tavola d'inquadramento geologico riportata nell'Allegato 2.

L'assetto che emerge dai dati litostratigrafici di riferimento, che raggiungono profondità comprese fra i 15,00 m (S1 e S2) e i 35,00 m (P1), è coerente con il quadro delineato nel precedente capitolo. In sintesi, le sezioni stratigrafiche prese in esame, hanno evidenziato la presenza di un materasso alluvionale grossolano di potenza pluridecаметrica, costituito essenzialmente da ghiaie eterometriche e ciottoli in matrice sabbioso-limosa. Si segnala che i depositi riscontrati si presentano mediamente alterati.

Al fine di valutare le caratteristiche geotecniche dei terreni indagati, nel corso delle operazioni di perforazione lungo le verticali dei sondaggi di riferimento sono state eseguite delle prove penetrometriche SPT che hanno fornito i seguenti risultati⁽³⁾:

SONDAGGIO S1

- -3,00 m dal p.c. → $N_{SPT} = 32$ (ghiaie eterometriche);
- -6,00 m dal p.c. → $N_{SPT} = 39$ (ghiaie eterometriche).

SONDAGGIO S2

- -3,00 m dal p.c. → $N_{SPT} = 27$ (ghiaie eterometriche);
- -6,00 m dal p.c. → $N_{SPT} = 43$ (ghiaie eterometriche);
- -9,00 m dal p.c. → $N_{SPT} = 47$ (ghiaie eterometriche).

Per quanto concerne l'assetto idrogeologico del settore di pianura oggetto d'indagine, si precisa che il materasso alluvionale costituito dai depositi sopra descritti ospita un acquifero di tipo freatico. Al riguardo si segnala che, l'alimentazione di questo acquifero avviene per infiltrazione diretta degli apporti meteorici e per dispersione in subalveo dai corsi d'acqua. Sulla base di tali considerazioni è ragionevole ritenere che nell'area considerata questo sistema acquifero sia caratterizzato da una direzione di deflusso subparallela alla direttrice Sud-Nord. Il quadro appena illustrato è confermato da uno degli specifici elaborati cartografici delle monografie del Piano regionale di Tutela delle Acque (PTA) relative all'acquifero superficiale

³ Si precisa che i valori indicati nelle tabelle riportate nell'Allegato 3 corrispondono ad un approfondimento di 15 cm. Per ottenere N_{SPT} occorre sommare gli ultimi due valori di ciascuna terna in quanto il primo valore può ritenersi disturbato per effetto del carotaggio.

(Pianura Cuneese, Tav. 3 - Elementi di assetto idrogeologico, parte 2).

Da questo elaborato si evince inoltre che nel settore di pianura su cui insiste l'area in esame la superficie libera della falda presenta una soggiacenza nell'ordine dei 5 metri dal piano campagna. Il quadro appena tratteggiato trova sostanziale riscontro nei dati piezometrici relativi ai sondaggi di riferimento, nei quali la superficie libera della falda è stata misurata a profondità comprese fra -2,40 m (S2) e -4,50 m dal p.c. (S1).

Per maggiori ragguagli in merito alle indagini di riferimento si rimanda al fascicolo riportato nell'Allegato 3.

5. PERICOLOSITA' GEOLOGICA LOCALE

Per quanto concerne gli aspetti relativi alla pericolosità geologica locale, si segnala che, nel corso delle indagini di terreno⁽⁴⁾, a carico del lotto interessato dal P.E.C. in progetto, non è stata rilevata la presenza di evidenze morfologiche legate a processi di instabilità in atto che, alla luce del contesto territoriale considerato, possono essere unicamente riconducibili alla dinamica del reticolo idrografico superficiale.

Al riguardo si specifica che, nel settore di pianura considerato, il reticolo idrografico è individuato dal Rio Torto che, come anticipato nel capitolo 3, scorre in fregio al lotto interessato dal P.E.C. in progetto. Nel dettaglio il corso d'acqua è caratterizzato da un alveo di tipo monocursale ben inciso e definito da sponde di altezza plurimetrica modellate entro i depositi alluvionali grossolani che costituiscono il settore di pianura poc'anzi richiamato. Si segnala che nel corso delle ricognizioni effettuate è stato osservato che, in alcuni casi, le sponde sono interessate da modesti processi di erosione laterale. Tali processi, sottolineati dalla presenza di scarpate subverticali, risultano essere particolarmente evidenti in corrispondenza del lato esterno delle anse che contraddistinguono i tratti sinuosi dell'alveo.

L'analisi delle carte tematiche della Banca Dati Geologica della Regione Piemonte ("Carta delle aree inondabili" e "Carta dei tributari minori e delle conoidi potenzialmente attive"), del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) predisposto dall'Autorità di Bacino del Fiume Po ("Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici": Foglio 191, Sez. III - Saluzzo), nonché del Piano di

⁴ Sopralluoghi condotti in data 8 e 23 marzo 2018.

Gestione dei Rischi di Alluvioni (PGRA), recentemente elaborato dalla medesima Autorità di Bacino sulla base di quanto previsto dalla Direttiva 2007/60 CE (la cosiddetta "Direttiva Alluvioni"), ha confermato l'assenza di condizionamenti legati al rischio idraulico a carico dell'area considerata.

Informazioni di maggiore dettaglio sono state ricavate dalla consultazione dello studio geologico elaborato a supporto del P.R.G.C. di Saluzzo⁽⁵⁾, dal quale emerge che l'area in esame risulta essere esterna alle perimetrazioni dei dissesti riconducibili ai processi di dinamica del Rio Torto. Al riguardo si precisa che l'assenza di condizionamenti idraulici legati a tale corso d'acqua emerge dai risultati delle verifiche idrauliche condotte nell'ambito dello studio poc'anzi richiamato, con particolare riguardo ai risultati delle analisi specificatamente eseguite a cura dell'Ing. Francesco CROSETTO e dell'Ing. Fabio BERTORELLO su incarico dell'Amministrazione Comunale di Saluzzo⁽⁶⁾.

Sebbene non sia stata rilevata la presenza di processi di instabilità potenziali, nella "Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell'idoneità all'uso urbanistico"⁽⁷⁾, il settore su cui insiste l'azonamento oggetto del P.E.C. in esame è stato ascritto alla classe II - "Settori caratterizzati da condizioni di moderata pericolosità geologica". Più precisamente l'area è stata assegnata alla sottoclasse IIC - "Aree di conoide e/o adiacenti a corsi d'acqua".

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Come anticipato in premessa, nell'ambito del presente studio è stata condotta un'apposita campagna di indagini geognostiche (due pozzetti esplorativi) e geofisiche (un profilo sismico di tipo MASW - Multichannel Analysis Surface Waves), la cui ubicazione è indicata nella planimetria riportata nell'Allegato 4.

⁵ Tav. GB02a "Carta geomorfologica e del dissesto idrogeologico" a cura del Dott. Geol. Edoardo RABAJOLI e del Dott. Ing. Massimo TUBERGA (luglio 2007) e Tav. GB03a "Carta della dinamica fluviale e del reticolato idrografico minore" a cura del Dott. Geol. Edoardo RABAJOLI e del Dott. Ing. Massimo TUBERGA (luglio 2007).

⁶ Relazione Idraulica Rio Torto tra la SS 589 per Cuneo e la SS 663 per Torino" (2001).

⁷ Tav. GB10a a cura del Dott. Geol. Edoardo RABAJOLI e del Dott. Ing. Massimo TUBERGA (ottobre 2008).

In particolare, i pozzetti esplorativi, realizzati mediante un escavatore meccanico a benna rovescia⁽⁸⁾, hanno consentito di ricostruire con un certo dettaglio l'assetto litostratigrafico superficiale dell'area in esame e di valutare direttamente le caratteristiche geotecniche dei terreni di fondazione. Per quanto concerne i risultati dell'indagine geofisica, che è stata finalizzata alla valutazione della risposta sismica locale, si rimanda al capitolo 7.

I pozzetti esplorativi, che sono stati spinti ad una profondità comprese fra -3,00 m (PE1) e -3,30 m (PE2) hanno evidenziato la presenza di un orizzonte superficiale di terreno agrario di natura limoso-argillosa e di colore bruno-ocraico caratterizzato da uno spessore relativamente modesto, compreso fra 1,00 m (PE1) e 1,20 m (PE2), inferiormente al quale sono presenti i depositi grossolani del materasso alluvionale cui si è fatto riferimento nei capitoli 3 e 4.

I depositi in esame sono rappresentati da ghiaie e ciottoli "clast supported" in matrice sabbioso-limosa di colore bruno. Si segnala che nel pozzetto PE1 fra questi depositi e l'orizzonte superficiale di terreno agrario è interposto un livello di ghiaie in abbondante matrice sabbiosa-limosa.

Di norma, i clasti mostrano un grado di arrotondamento elevato e presentano dimensioni da decimetriche a pluridecimetriche ($\varnothing_{med} = 10 - cm$; $\varnothing_{max} = 40 - 60 cm$). Si segnala infine che il colore bruno della matrice è legato ai modesti processi di alterazione pedogenetica che hanno interessato i depositi in esame (si veda il capitolo 3).

In merito all'assetto litostratigrafico dell'area si precisa inoltre che l'osservazione diretta delle sezioni naturali esposte in corrispondenza delle sponde del Rio Torto, che presentano un'altezza nell'ordine dei 4,00 m, ha confermato le caratteristiche generali dei depositi appena descritti.

Per quanto concerne i processi di circolazione idrica, si sottolinea che nel corso delle operazioni di scavo dei pozzetti esplorativi non è stata intercettata la superficie libera della falda freatica. Occorre altresì segnalare che nel pozzetto PE2, ad una profondità di -2,00 m dal p.c., è stata osservata la presenza di modeste infiltrazioni idriche la cui origine è riconducibile ad un locale ristagno superficiale conseguente alle intense e prolungate precipitazioni meteoriche che hanno caratterizzato le prime settimane del marzo 2018.

⁸ 23 marzo 2018.

In relazione all'assetto idrogeologico dell'area d'intervento si precisa inoltre che, a dispetto delle precipitazioni poc'anzi richiamate, lungo le scarpate che delimitano le sponde del Rio Torto non è stata rilevata la presenza di scaturigini idriche legate allo sfioro della falda freatica propriamente detta o di locali falde superficiali di tipo sospeso eventualmente riconducibili al ritardo del drenaggio verticale delle acque meteoriche.

In conclusione, alla luce delle indagini condotte, si può confermare il quadro idrogeologico generale delineato nel capitolo 4, dal quale emerge che il materasso alluvionale entro il quale è modellato il settore di pianura considerato ospita un acquifero di tipo freatico direttamente connesso con il reticolo idrografico. In particolare, dal presente studio emerge che la superficie libera della falda si attesta a profondità maggiori rispetto a quelle raggiunte dai pozzetti esplorativi realizzati, pertanto si può ragionevolmente ritenere che l'alimentazione della stessa sia principalmente riconducibile ai processi di dispersione lungo il reticolo, il cui fondo risulta essere posizionato a profondità maggiore rispetto a quella raggiunta nel corso delle indagini.

Per ulteriori ragguagli in merito ai risultati delle indagini geognostiche si vedano l'Allegato 5 (sezioni stratigrafiche pozzetti esplorativi) e l'Allegato 6 (documentazione fotografica).

7. ANALISI SISMICA DELL'AREA OGGETTO D'INTERVENTO

Secondo quanto prevede il Decreto 17/01/2018 del Ministero delle Infrastrutture (NTC18), le azioni sismiche di progetto attese al suolo si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di intervento. Essa costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche che sono sostanzialmente controllate dall'assetto litostratigrafico locale e riconducibili al profilo di velocità delle onde di taglio V_s nel sottosuolo.

In primo luogo, si deve procedere alla classificazione dei suoli di fondazione secondo i criteri definiti al punto 3.2.2 delle NTC18 che, a tal fine, individua come parametro di riferimento la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s) e viene calcolato mediante l'espressione:

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

nella quale:

- h_i = spessore dello strato i -esimo (espresso in m);
- $V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio dell' i -esimo strato (espressa in m/s);
- 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.

Si precisa che per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 metri, come nel caso in esame, 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.

Allo scopo di definire la classificazione dei suoli presenti nell'area d'intervento, come anticipato, è stata condotta un'apposita indagine geofisica, ad opera della Techgea S.r.l. di Quart (AO)⁽⁹⁾. In particolare, è stato realizzato un profilo sismico di tipo MASW - Multichannel Analysis Surface Waves.

Alla luce dei risultati dell'indagine geofisica condotta, dalla quale è stato ricavato un valore di $V_{S,eq}$ pari a **547 m/s**, i depositi indagati sono stati assegnati alla categoria B dei suoli di fondazione di cui alla tabella 3.2.11 delle NTC18 (*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 fra 360 m/s e 800 m/s).

Per maggiori ragguagli in merito alla metodologia d'indagine e ai risultati ottenuti si rimanda alla relazione illustrativa riportata nell'Allegato 7.

Per quanto concerne le problematiche relative alla pericolosità sismica locale, alla luce dei risultati del presente studio, si possono escludere eventuali fenomeni di liquefazione dinamica di sabbie sotto falda. In particolare, facendo riferimento a quanto indicato al punto 7.11.3.4.2 del D.M. 17/01/2018, la verifica a liquefazione dei terreni di fondazione può essere

⁹ 16 marzo 2018.

omessa in ragione delle caratteristiche granulometriche degli stessi. Al riguardo, alla luce del quadro litostratigrafico delineato nel presente studio, è ragionevole ritenere che i depositi presenti nell'area siano caratterizzati da una distribuzione granulometrica esterna alle zone critiche indicate nelle Figure 7.11.1(a) e 7.11.1(b) di cui al punto 7.11.3.4.2 del succitato decreto.

A partire dalla caratterizzazione geosismica dei terreni presenti nell'area in esame, è stato possibile definire l'azione sismica di progetto in termini di accelerazione di picco al suolo (a_{max}).

In particolare, viste le caratteristiche dei fabbricati previsti nello strumento urbanistico esecutivo in esame, si è assunta una vita nominale V_N pari a **50 anni**, per una classe d'uso **II** ed un coefficiente d'uso c_u pari a **1**. Adottando lo stato limite di **salvaguardia della vita SLV**, i parametri dello spettro di risposta orizzontale utilizzato per la conduzione dei calcoli in presenza degli effetti inerziali indotti dal sisma di progetto sono⁽¹⁰⁾:

- accelerazione orizzontale massima del terreno $a_g = 0,118g$;
- valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale $F_0 = 2,484$;
- periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale $T'_c = 0,270s$ per un $T_r = 475$ anni.

Più precisamente, nel caso in esame l'accelerazione di picco al suolo risulta essere pari a:

$$a_{max} = S \cdot a_g = S_S \cdot S_T \cdot a_g = 0,142g$$

dove:

- S_S è un coefficiente di amplificazione dipendente dalla categoria di sottosuolo (B, nel caso specifico) e dal parametro F_0 che insieme ad a_g ed a T'_c definisce la pericolosità sismica sul reticolo di riferimento rigido orizzontale:

$$S_S = 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot a_g/g = 1,20$$

¹⁰ I parametri sismici ed i coefficienti sismici di riferimento sono stati determinati con il software **GeoStru PS 2018** (<http://geoapp.eu/parametrisismici2018/>).

- ST è il coefficiente di amplificazione topografica, nel caso in esame pari a 1 perché si è assunta una categoria topografica T1 (cfr. Tabella 3.2.III della normativa di riferimento, NTC18); a tal proposito si rammenta che ne è necessaria l'adozione solo in riferimento a strutture ubicate nelle vicinanze di pendii con inclinazione superiore a 15° sessagesimali e dislivello superiore a 30 m.

8. FATTIBILITA' DEGLI INTERVENTI IN PROGETTO

Alla luce del quadro illustrato nel capitolo 5, si sottolinea che l'area oggetto d'indagine non presenta dei condizionamenti legati al rischio idrogeologico tali da pregiudicare la fattibilità degli interventi edilizi previsti nello strumento urbanistico esecutivo in esame⁽¹¹⁾. Al riguardo, si può escludere che l'attuazione di quest'ultimo possa modificare il quadro relativo alla pericolosità geologica locale.

In particolare si ribadisce che l'area oggetto d'indagine non presenta problematiche legate al rischio idraulico. Peraltro, si ritiene opportuno prevedere la realizzazione di un'opera di difesa longitudinale allo scopo di contrastare i processi di erosione rilevati a carico della sponda destra del Rio Torto nel tratto che scorre in fregio all'area oggetto del P.E.C.. A tale scopo potrà risultare utile la costruzione di una scogliera in massi di cava cementati adeguatamente fondata.

In merito agli aspetti geotecnici, si sottolinea che il piano di fondazione delle strutture in progetto dovrà essere ricavato entro i depositi alluvionali grossolani descritti nei capitoli 4 e 6. Per maggiori ragguagli a tale proposito si rimanda al capitolo 10.

In riferimento all'assetto idrogeologico dell'area d'intervento, alla luce delle indagini condotte si possono escludere eventuali condizionamenti della falda freatica a carico delle strutture dei fabbricati in progetto, a maggior ragione se si considera che non sono previsti piani interrati.

Per quanto concerne gli aspetti relativi alla gestione delle acque meteoriche, si dovrà procedere alla realizzazione di una adeguata rete di raccolta delle acque meteoriche onde evitare che, in occasione di precipitazioni intense e/o prolungate, si verificino fenomeni di ristagno ed infiltrazione in prossimità dei fabbricati in progetto. A questo proposito, per

¹¹ Si vedano gli elaborati progettuali a firma dell'Arch. Attilio FORNERO (Pinerolo).

differire i tempi di accesso in rete delle portate meteoriche, potrà risultare utile l'adozione di appositi sistemi di accumulo. In particolare, si consiglia la realizzazione di serbatoi interrati dotati di troppo pieno, in direzione dei quali convogliare le acque intercettate nella rete di raccolta che potranno essere eventualmente utilizzate per l'irrigazione delle aree verdi pertinenziali. I dispositivi di stoccaggio in esame potranno essere realizzati in opera o mediante l'utilizzo di elementi prefabbricati (modulari o monoblocco). Indipendentemente dalla soluzione adottata, dovrà essere garantita la perfetta tenuta di questi manufatti al fine di evitare eventuali fenomeni di infiltrazione idrica concentrata. Si sottolinea che la rete di raccolta delle acque meteoriche dovrà essere sottoposta a periodiche operazioni di manutenzione al fine di garantirne una corretta funzionalità.

In conclusione, in merito alle prescrizioni di carattere generale si sottolinea che gli scavi necessari per la realizzazione delle strutture in progetto dovranno essere mantenuti aperti solo per il tempo strettamente necessario all'esecuzione dei lavori e dovranno essere adeguatamente protetti con parapetti e cartelli indicatori, a maggior ragione se si considera che i depositi presenti nell'area d'intervento sono essenzialmente granulari. Inoltre, lungo il ciglio superiore degli scavi dovranno essere impediti il transito di automezzi, nonché lo stoccaggio di materiali. Infine, in caso di eventi meteorici intensi e/o prolungati, le scarpate di scavo dovranno essere protette mediante la posa di teli impermeabili, adeguatamente ancorati onde evitare che possa essere accidentalmente spostati o rimossi.

9. PARAMETRIZZAZIONE GEOTECNICA

La parametrizzazione dei depositi grossolani (essenzialmente ghiaie eterometriche e ciottoli in matrice sabbioso-limosa) entro i quali dovrà essere ricavato il piano di appoggio delle fondazioni è stata effettuata a partire dai risultati delle indagini geognostiche illustrate nel capitolo 4, con particolare riferimento agli esiti delle prove SPT condotte nei sondaggi di riferimento (si veda il capitolo 4).

In particolare è stato cautelativamente adottato il valore più basso ricavato nell'ambito di tali prove ($N_{SPT} = 27$). A partire da questo valore di N_{SPT} si è proceduto alla determinazione dell'angolo di attrito interno di picco (ϕ_{picco})

mediante i seguenti metodi di correlazione: PECK-HANSON & THORNBURN, JAPANESE NATIONAL RAILWAY, OWASAKI & IWASAKY, SOWERS e ROAD BRIDGE SPECIFICATION. Secondo quanto proposto da BOLTON (1986), il valore medio dei risultati ricavati con i suddetti metodi di calcolo (pari a 36°) è stato quindi corretto in funzione del valore della densità relativa D_r (indicativamente pari a 65%), ottenendo l'angolo di attrito residuo in condizioni assialsimmetriche (ϕ'_{as}).

Si segnala infine che, visto il carattere eterogranulare incoerente dei depositi considerati, non si è tenuto conto del contributo alla resistenza al taglio fornito dalle forze di coesione, adottando un modello geotecnico controllato dalle tensioni efficaci. In sintesi i principali parametri geotecnici attribuiti ai terreni in esame, che devono essere riferiti ai depositi in condizioni indisturbate, sono i seguenti:

- γ_n (peso volumico) = 18,0 kN/m³ (\approx 1,80 t/m³);
- ϕ'_{as} (angolo di attrito interno) = 30°;
- c (coesione) = 0,0 kN/m².

10. VERIFICHE GEOTECNICHE

A partire dal modello geotecnico definito nel capitolo precedente si è quindi proceduto alla valutazione della capacità portante dei terreni esaminati mediante la formula generale di BRINCH-HANSEN (1970), determinando la $q_{lim,d}$ (R_d) secondo l'approccio 2 combinazione A1+M1+R3 previsto dal D.M. 17/1/2018 (NTC18), per il quale i coefficienti parziali γ_M per i parametri geotecnici del terreno sono pari all'unità ed il coefficiente parziale γ_R per la verifica allo SLU (stato limite ultimo) della capacità portante di fondazioni superficiali è pari a 2,3.

La formula generale di BRINCH-HANSEN (1970) costituisce un'estensione dell'equazione di BUISMAN (1935) e TERZAGHI (1943) ottenuta dalla sovrapposizione di soluzioni relative a casi particolari, corretta per tenere conto degli effetti inerziali dovuti al sisma (il Comune di Saluzzo è classificato in Zona 3 ai sensi della D.G.R. 11/13058 del 19/1/2010):

$$Q_{lim} = cN_c s_c i_c b_c g_c z_c + \gamma_n D N_q s_q i_q b_q g_q z_q + \frac{1}{2} \gamma_n B N_{\gamma} s_{\gamma} i_{\gamma} b_{\gamma} g_{\gamma} z_{\gamma}$$

nella quale:

Parametri geotecnici:

- c = coesione (t/m^2);
- γ_n = peso di volume del terreno (t/m^3);

Caratteristiche della fondazione:

- D = profondità efficace del piano di appoggio delle fondazioni (m);
- B = larghezza del lato minore della fondazione (m);

Coefficienti adimensionali:

- N_c, N_q, N_γ = fattori di capacità portante, dipendenti dall'angolo di resistenza al taglio φ ⁽¹²⁾;
- s_c, s_q, s_γ = fattori di forma della fondazione⁽¹³⁾;
- i_c, i_q, i_γ = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del carico;
- b_c, b_q, b_γ = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione della base della fondazione;
- g_c, g_q, g_γ = fattori correttivi che tengono conto dell'inclinazione del piano campagna;
- z_c, z_q, z_γ = fattori correttivi che tengono conto degli effetti inerziali dovuti al sisma, funzione, in particolare, del coefficiente sismico pseudostatico k_h .

La verifica, in assenza della progettazione strutturale, è stata condotta in riferimento a fondazioni nastriformi caratterizzate da una larghezza B pari a 0,70 m. Per quanto concerne il reinterro delle fondazioni (D), è stato adottato un valore minimo pari a 0,50 m; in sintesi si è ipotizzato che le fondazioni siano alloggiare per almeno 0,50 m entro i depositi alluvionali grossolani che caratterizzano l'area d'intervento. Si precisa inoltre che, alla luce del quadro idrogeologico delineato nei capitoli 4 e 6 (cui si rimanda), si possono escludere eventuali interferenze fra la falda freatica e le strutture di fondazione. I calcoli sono stati effettuati in condizioni statiche (assenza di sisma) ed in condizioni dinamiche, permettendo di valutare gli effetti inerziali dovuti al sisma. Nella tabella riportata nella pagine che segue sono sintetizzati i risultati ottenuti.

¹² Per il calcolo di N_q, N_c ed N_γ si è fatto riferimento alla soluzione proposta da VESIC (1970) anziché a quella di BRINCH-HANSEN.

¹³ Nella verifica non si è tenuto conto di eventuali eccentricità, trascurando la fondazione ridotta.

Fondazione	Condizioni di verifica	Q_{lim}	$Q_{lim,d}$
Nastriforme B=0,70 metri	statiche (SLU)	3,27 kg/cm²	1,42 kg/cm²
	dinamiche (SLV)	2,96 kg/cm²	1,29 kg/cm²

I tabulati relativi alle operazioni di calcolo sono riportati nell'Allegato 8. Si sottolinea che i risultati ottenuti mettono in evidenza che la fattibilità degli interventi edilizi previsti nel P.E.C. in progetto non mostra particolari condizionamenti di natura geotecnica. Si rammenta peraltro che le verifiche condotte sono di carattere preliminare, pertanto dovranno essere approfondite nell'ambito della progettazione strutturale.

In conclusione, si sottolinea che, in fase esecutiva, sarà necessario verificare la rispondenza del modello adottato per le verifiche geotecniche con la situazione reale. In particolare dovrà essere valutata con attenzione la litostratigrafia del sito evidenziando l'eventuale presenza di livelli aventi caratteristiche geotecniche scadenti.

11. CONCLUSIONI

Alla luce dei risultati dello studio eseguito e nel rispetto delle note tecnico-esecutive illustrate nella presente relazione si può escludere che la fattibilità degli interventi edilizi previsti nello strumento urbanistico esecutivo in esame sia pregiudicata da particolari condizionamenti di natura geologico-tecnica.

In particolare, per quanto riguarda il quadro relativo alla pericolosità geologica locale, si ribadisce che l'area oggetto d'indagine non mostra condizionamenti legati al rischio idraulico. Si ritiene peraltro opportuno procedere alla costruzione di un'opera di difesa longitudinale allo scopo di contrastare i processi di erosione osservati lungo la sponda destra del Rio Torto nel tratto d'alveo che scorre lungo il margine occidentale dell'area interessata dal P.E.C. (ad esempio una scogliera in massi di cava cementati adeguatamente fondata).

In merito alla classificazione sismica del settore considerato, sulla base dei risultati delle indagini geofisiche condotte, i terreni che caratterizzano il sito

d'intervento sono stati assegnati alla categoria **B** dei suoli di fondazione di cui al D.M. 17/1/2018 (NTC18).

Per quanto concerne gli aspetti geotecnici, dalle verifiche preliminari condotte nell'ambito del presente studio, risulta che le caratteristiche dei terreni di fondazione sono in grado di assicurare valori di R_d superiori alle risultanti delle azioni di progetto N_d prevedibili, pertanto, sulla base dei risultati ottenuti, risultano verificate le condizioni del sito necessarie ad orientare il Progettista nel corretto dimensionamento delle opere di fondazione atte a garantire la stabilità delle strutture in progetto.

E' altresì importante ribadire che, in fase esecutiva, sarà necessario verificare l'assetto litostratigrafico di tutta l'area durante l'esecuzione degli scavi, al fine di apportare eventuali modifiche al modello geotecnico adottato nelle verifiche.

Pinerolo, 24 aprile 2018


Dott. Geol. Marco Barbero



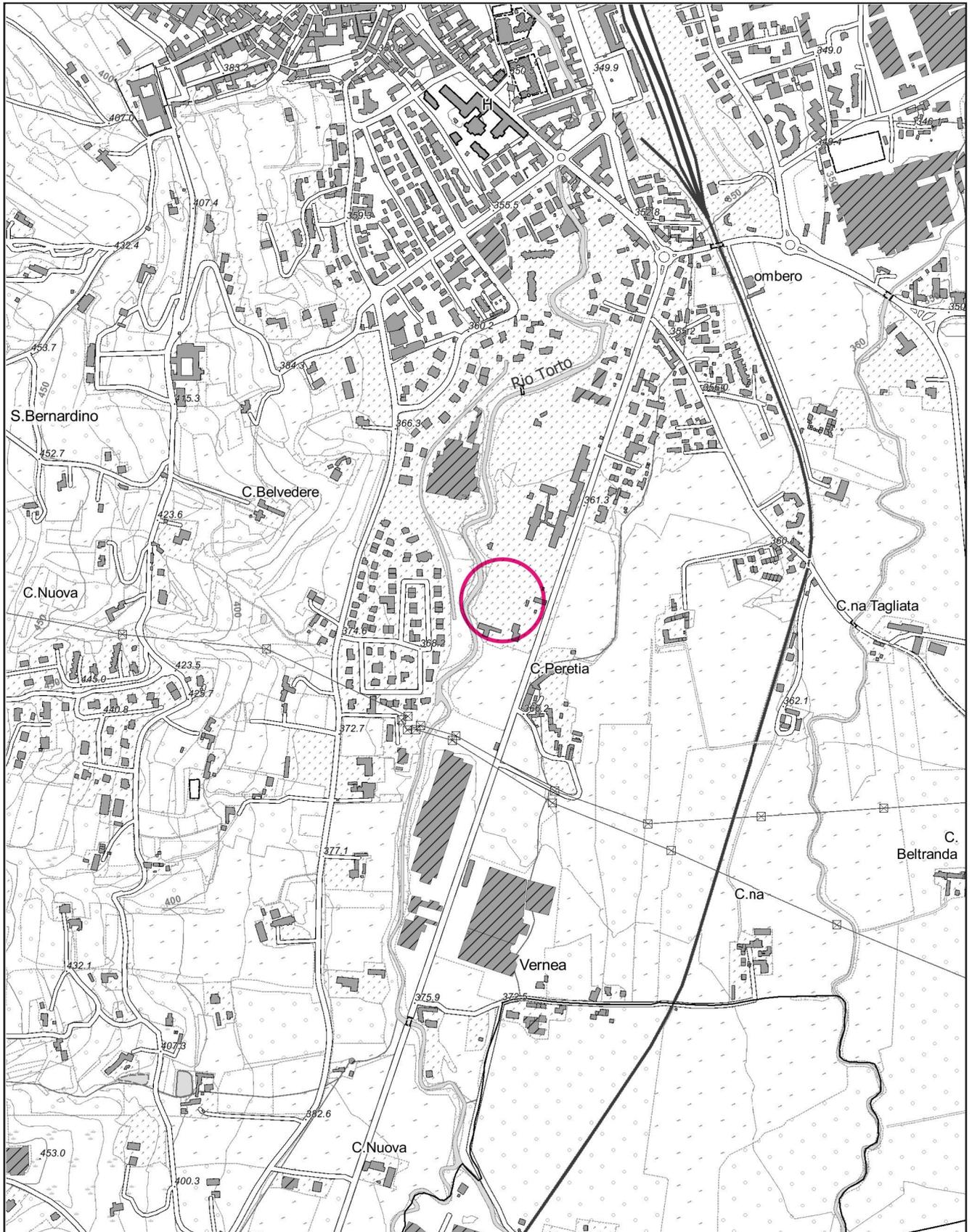
ALLEGATI

- **Allegato 1 - Localizzazione geografica dell'area oggetto d'indagine**
- **Allegato 2 - Inquadramento geologico**
- **Allegato 3 - Dati geognostici di riferimento**
- **Allegato 4 - Ubicazione indagini geognostiche**
- **Allegato 5 - Sezioni stratigrafiche pozzetti esplorativi**
- **Allegato 6 - Documentazione fotografica pozzetti esplorativi**
- **Allegato 7 - Indagini geofisiche: relazione illustrativa**
- **Allegato 8 - Verifiche geotecniche: tabulati**

Allegato 1

Localizzazione geografica
dell'area oggetto d'indagine
(evidenziata con il cerchio rosso)

Scala 1:10.000

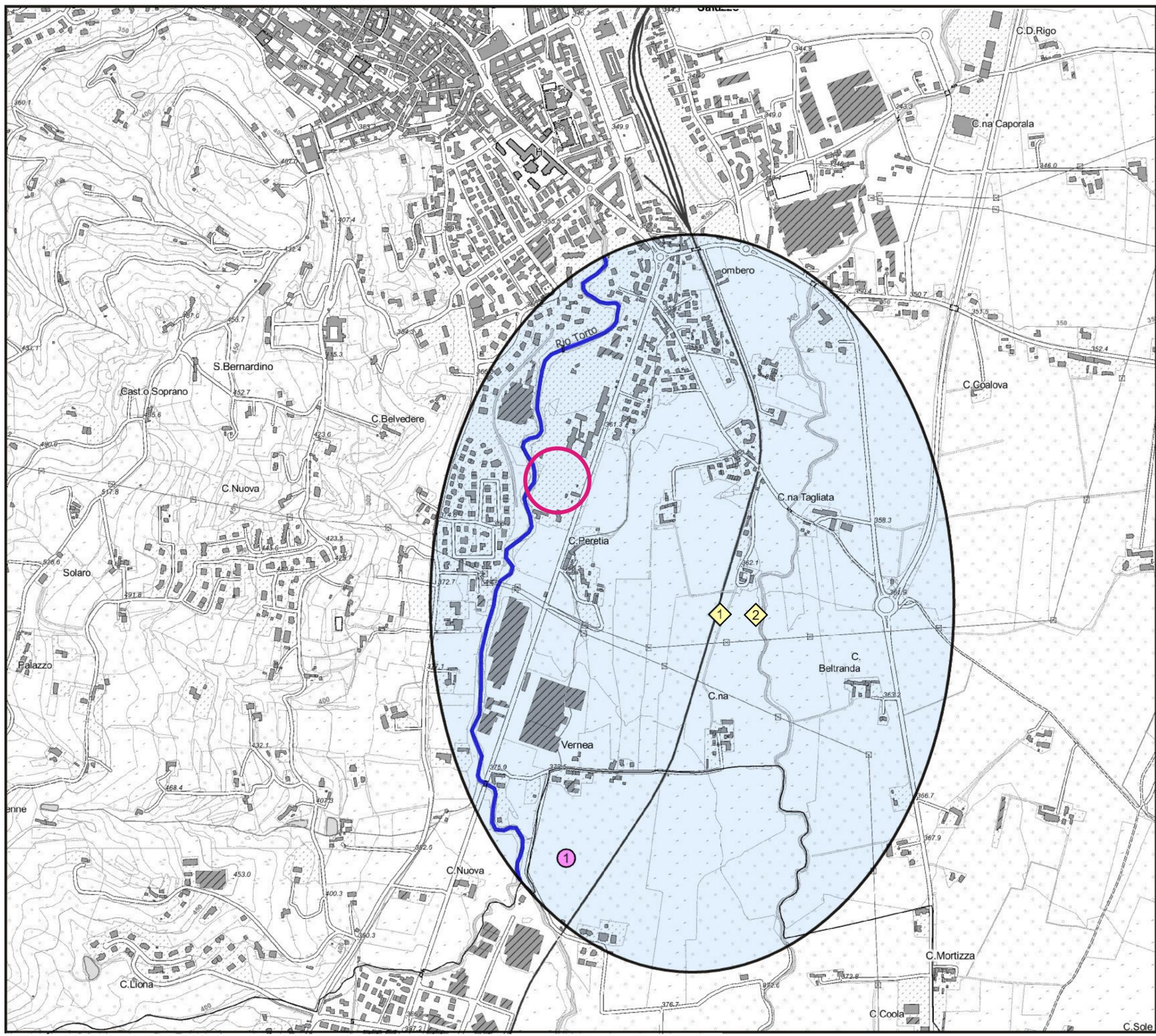


Allegato 2

Inquadramento geologico

Scala 1:10.000

-  Depositi alluvionali recenti (Pleistocene medio-superiore).
-  Reticolo idrografico superficiale.
-  Area oggetto d'indagine.
-  Sondaggi a carotaggio continuo.
-  Pozzo irriguo.



Allegato 3

Dati geognostici di riferimento

Sondaggi a carotaggio continuo (S1 – S2)

Pozzo irriguo (P1)

Sondaggio a carotaggio continuo S1

Codice Perforazione	Cantiere	Profondità (m)	Falda freatica (m)
103737	Viabilità: Collegamento fra la S.S. 589 di Pinerolo alla S.S. 589 per Cuneo	15.00	4.50

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
103737	0.30	terreno vegetale
103737	0.70	limo debolmente sabbioso con ghiaia eterometrica ossidazione moderatamente consistente
103737	3.20	ghiaia prevalentemente medio grossolana matrice limoso sabbiosa rari ciottoli discreta ossidazione e alterazione addensata
103737	4.50	ghiaia e ciottoli in matrice limoso sabbiosa fine discreta ossidazione e alterazione addensata
103737	8.70	ghiaia medio grossolana in matrice limoso sabbioso argillosa discreta ossidazione rari ciottoli parzialmente alterati addensata
103737	9.00	limo debolmente argilloso sabbioso con ghiaietto sparso moderatamente consistente
103737	13.70	ghiaia medio grossolana in matrice limoso sabbioso argillosa ossidazione e alterazione con ciottoli sfatti e/o argillificati addensata

Codice Perforazione	Profondità (m)	N1	N2	N3	NSPT
103737	3.00	13	15	17	32
103737	6.00	16	18	21	39

Sondaggio a carotaggio continuo S2

Codice Perforazione	Cantiere	Profondità (m)	Falda freatica (m)
103738	Viabilità: Collegamento fra la S.S. 589 di Pinerolo alla S.S. 589 per Cuneo	15.00	2.40

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
103738	0.40	terreno vegetale
103738	0.90	limo debolmente argilloso poco consistente
103738	4.30	ghiaia prevalentemente grossolana e ciottoli con sabbia a tratti debolmente limosa moderatamente addensata
103738	15.00	ghiaia medio grossolana in matrice limoso sabbioso argillosa ossidazione e alterazione con ciottoli sfatti e/o argillificati addensata

Codice Perforazione	Profondità (m)	N1	N2	N3	NSPT
103738	3.00	9	12	15	27
103738	6.00	16	24	19	43
103738	9.00	21	21	26	47

Pozzo irriguo P1

Nome perforazione		Comune	Provincia	Località
pz1		Manta	CN	Cascina Vernea

Data inizio perforazione	Data fine perforazione	Profondità (m)	Cantiere
23/2/2005	16/5/2005	35.00	pozzo ad uso agricolo irriguo

Codice perforazione	Profondità (m)	Descrizione
9981006	3.00	terreno vegetale
9981006	9.00	deposito sabbioso limoso con intercalazioni ghiaiose sabbiose ciottolose
9981006	18.00	ghiaia molto grossolana con grossi ciottoli
9981006	25.00	sabbie limose inglobanti corpi ghiaiosi
9981006	35.00	ghiaia grossolana ciottolosa con sabbia

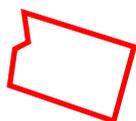
Allegato 4

Ubicazione indagini geognostiche

Scala 1:2.000



LEGENDA



Area oggetto d'intervento.



Pozzetti esplorativi (23/03/2018).



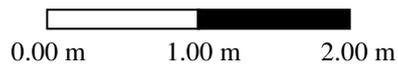
Profilo sismico MASW
(16/03/2018).

Allegato 5
Sezioni stratigrafiche
pozzetti esplorativi

SEZIONE STRATIGRAFICA POZZETTO ESPLORATIVO N. 1

Profondità Dal p.c.	Potenza del livello	Profondità della falda	Sezione stratigrafica	Descrizione litologica
0.00 m				
1.20m	1.20m			Terreno agrario limoso-argilloso di colore bruno-ocraceo.
3.00 m	1.80 m			Ghiaie eterometriche e ciottoli "clast supported" in matrice sabbioso-limosa di colore bruno-ocraceo debolmente alterata. Grado di arrotondamento: elevato. Sporadici fenomeni di alterazione a carico della frazione grossolana. \varnothing_{med} clasti = 10 - 15 cm. \varnothing_{max} clasti = 50 cm.

Scala verticale 1:50



Osservazioni:

Data: 23 marzo 2018

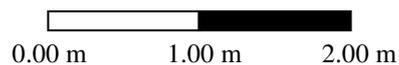
Metodo di scavo: escavatore meccanico a benna rovescia

Falda: assente

SEZIONE STRATIGRAFICA POZZETTO ESPLORATIVO N. 2

Profondità Dal p.c.	Potenza del livello	Profondità della falda	Sezione stratigrafica	Descrizione litologica
0.00 m				
1.00m	1.00m			Terreno agrario limoso-argilloso di colore bruno-ocraceo.
3.30 m	2.30 m			Ghiaie eterometriche e ciottoli "clast supported" in matrice sabbioso-limosa di colore bruno-ocraceo debolmente alterata. Grado di arrotondamento: elevato. Sporadici fenomeni di alterazione a carico della frazione grossolana. \varnothing_{med} clasti = 10 - 15 cm. \varnothing_{max} clasti = 50 cm.

Scala verticale 1:50



Osservazioni:

Data: 23 marzo 2018

Metodo di scavo: escavatore meccanico a benna rovescia

Falda: a -2,00 m modeste infiltrazioni d'acqua

Allegato 6

Documentazione fotografica pozzetti esplorativi



Fotografia n. 1

Operazioni di scavo del pozzetto esplorativo n. 1 (23 marzo 2018).



Fotografia n. 2

Il pozzetto esplorativo n. 1 (23 marzo 2018).



Fotografia n. 3

Il materiale di scavo del pozzetto esplorativo n. 1 (23 marzo 2018).



Fotografia n. 4

Operazioni di scavo del pozzetto esplorativo n. 2 (23 marzo 2018).



Fotografia n. 5

Il pozzetto esplorativo n. 2 (23 marzo 2018).



Fotografia n. 6

Il materiale di scavo del pozzetto esplorativo n. 2 (23 marzo 2018).

Allegato 7

Indagini geofisiche: relazione illustrativa

Geoalpi Consulting

Sito di indagine:
P.E.C. area CS-6 del P.R.G.C.



Indagine sismica con metodologia MASW finalizzata alla determinazione
del parametro V_{s30} per la classificazione sismica dei suoli

Relazione Tecnica

Relazione n.: 3951/18
Revisione n.: 0
Data: Marzo 2018
Redatto da: Dott. Geol. Emmanuele Duò
Controllato da: Dott. Geol. Mario Naldi

1	Introduzione	pag. 1
2	Strumentazione utilizzata	pag. 1
3	Acquisizione ed elaborazione dati	pag. 1
4	Normativa sismica vigente	pag. 2
5	Risultati della prova MASW	pag. 4

ALLEGATO A Certificato esito prova MASW

ALLEGATO B Cenni teorici sulla metodologia MASW

1 INTRODUZIONE

La presente relazione illustra e descrive le indagini geofisiche di tipo sismico (MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves) realizzate presso:

Sito: P.E.C. area CS-6 del P.R.G.C.		Regione: Piemonte			
Norm. regione: D.G.R. n. 4-3084 del 12.12.2011 e s.m.i.		Zona sismica: 3			
Progetto: Nuovi interventi edilizi residenziali					
Coordinate GPS	Datum: WGS84	Proiezione: UTM	Zona: 32T	EST: 380661	NORD: 4943434

Scopo dell'indagine è definire il parametro V_{s30} per la classificazione sismica dei suoli (in accordo al D.M. 17.01.2018 e successivi aggiornamenti). In quanto segue si illustrano ed analizzano i risultati ottenuti.

2 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

L'acquisizione dei dati sismici è stata realizzata con un sismografo a 24 canali dotato di un convertitore analogico/digitale a 24 bit (unità Daq Link IV, Seismic Source Ltd.). Lo strumento è fornito di una connessione di rete standard 10/100 (base RJ45) per la comunicazione con un computer portatile su cui è installato un apposito programma (VibraScope ® v.2.4.40) che gestisce la visualizzazione, l'analisi e la memorizzazione delle forme d'onda registrate.

I geofoni utilizzati (Weihai Sunfull) possiedono una frequenza di risonanza pari 4.5 Hz con distorsione inferiore allo 0.2%.

L'energizzazione si è ottenuta con massa battente da 10 Kg su piastra metallica. Per l'innesco (trigger) si è utilizzato uno "shock sensor" collegato alla mazza battente e connesso via cavo al sismografo.

Cenni relativi alla metodologia di indagine sono riportati in Appendice B.

3 ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Come detto nel capitolo introduttivo, l'indagine ha previsto la realizzazione di una prova MASW, la cui ubicazione viene riportata in Allegato A – pag. 1).

La prova, secondo quanto previsto dagli standard internazionali riportati nella Tabella 1 della pagina seguente, è stata eseguita con un set-up di acquisizione composto da:

Geofoni	Numero 24	Frequenza [Hz] 4.5	Interasse [m] 2	Lungh. linea [m] 46
Energizzazioni	Mazza [Kg] 10	Punti energ. [n°] 7	Max dist.da G1 [m] 18	Min dist.da G1 [m] 0

Per ogni punto di energizzazione sono stati generati almeno 3 impulsi sismici.

Tabella 1 - Disposizione geometrica ottimale su linea MASW in relazione alla profondità di indagine

Recommended Values in ()														
Depth (Z_{max}) ¹ (m)	Source (S) ² (lb)	Receiver (R) ³ (Hz)	Receiver Spread (RS) (m)				SR Move ⁶ (dx)			Recording ⁸				
			Length ⁴ (D)	Source Offset ⁵ (X_1)	Receiver Spacing (dx)		Lateral Resolution ⁷			dt ⁹ (ms)	T ¹⁰ (sec)	Vertical Stack ¹¹		
					24-ch*	48-ch	High	Medium	Low			C	N	VN
≤ 1.0	≤ 1 (1)**	4.5-100 (40)	1-3 (2.0)	0.2-3.0 (0.4)	0.05-0.1 (0.1)	0.02-0.05 (0.05)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	0.5-1.0 (0.5)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
1-5	1-5 (5)	4.5-40 (10)	1-15 (10)	0.2-15 (2)	0.05-0.6 (0.5)	0.02-0.3 (0.25)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	0.5-1.0 (0.5)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
5-10	5-10 (10)	≤ 10 (4.5)	5-30 (20)	1-30 (4)	0.2-1.2 (1.0)	0.1-0.6 (0.5)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	0.5-1.0 (1.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
10-20	≥ 10 (20)	≤ 10 (4.5)	10-60 (30)	2-60 (10)	0.4-2.5 (1.5)	0.2-1.2 (1.0)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (0.5)	1.0-2.0 (1.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
20-30	≥ 10 (20)	≤ 4.5 (4.5)	20-90 (50)	4-90 (10)	0.8-3.8 (2.0)	0.4-1.9 (1.5)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (1.0)	1.0-2.0 (1.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
30-50	≥ 10 (20) or passive	≤ 4.5 (4.5)	30-150 (70)	6-150 (15)	1.2-6.0 (3.0)	0.6-3.0 (2.0)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (1.0)	1.0-3.0 (1.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)
> 50	≥ 10 (20) or passive	≤ 4.5 (4.5)	> 50 (150)	> 10 (30)	> 2.0 (6.0)	> 1.0 (4.0)	1-2 (1)	2-4 (2)	4-12 (4)	0.5-1.0 (1.0)	≥ 1.0 (2.0)	1-3 (3)	3-5 (5)	5-10 (10)

I dati acquisiti sono stati elaborati con il software Surfseis V. 6.4.1 (Kansas University, USA), che analizza la curva di dispersione sperimentale per le onde di Rayleigh. L'inversione numerica della curva, secondo un processo iterativo ai minimi quadrati, consente di ottenere un profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo.

4 NORMATIVA SISMICA VIGENTE

La normativa vigente individua come parametro di riferimento per la classificazione sismica dei suoli la velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio $V_{S,eq}$ (in m/s) e viene calcolato mediante l'espressione:

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

h_i = spessore dello strato i-esimo (espresso in m)
 $V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio dell'i-esimo strato (espressa in m/s)
 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

Nella Tabella 2 riportata nella pagina seguente, si presenta la classificazione sismica prevista dal Decreto Ministeriale del 17.01.2018 (T.U. costruzioni).

Tabella 2 - Classificazione del tipo di suolo secondo la vigente normativa sismica italiana

TIPO DI TERRENO	PROFILO STRATIGRAFICO	$V_{S,eq}$ [m/s]
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	> 800
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.	< 800 > 360
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.	< 360 > 180
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 graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 a 180 m/s.	< 180 > 100
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.	

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 metri, 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 suddette classi di suolo consentono il calcolo semplificato delle azioni sismiche secondo le indicazioni fornite al § 3.2.3 delle NTC 2018; per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

5 RISULTATI DELLA PROVA MASW

L'analisi del profilo stratigrafico, riportato in Allegato A – pag. 2, evidenzia un assetto sismo-stratigrafico descritto nella tabella seguente.

Livello	Profondità [m da p.c.]	Descrizione	Velocità Vs [m/s]
1	0 ÷ 2	Livello superficiale costituito da depositi scarsamente addensati	230 ÷ 290
2	2 ÷ 15	Secondo sismostrato costituito da depositi da mediamente addensati ad addensati	390 ÷ 590
3	15 ÷ 30	Terzo sismostrato costituito da materiali a rigidità medio-elevata	610 ÷ 740

Il valore di $V_{s,eq}$ calcolato al piano campagna è pari a 547 m/s. Pertanto è possibile definire il contesto geotecnico esaminato come suolo di classe sismica "B".

$V_{s,eq}$ [m/s]	Classe di suolo	Profilo stratigrafico
547	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.

Techgea S.r.l.

Relazione redatta da:

Dott. Geol. Emmanuele Duò



Controllata da:

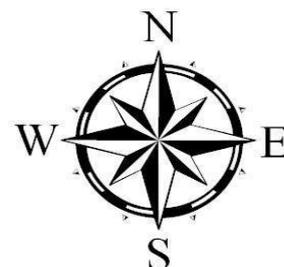
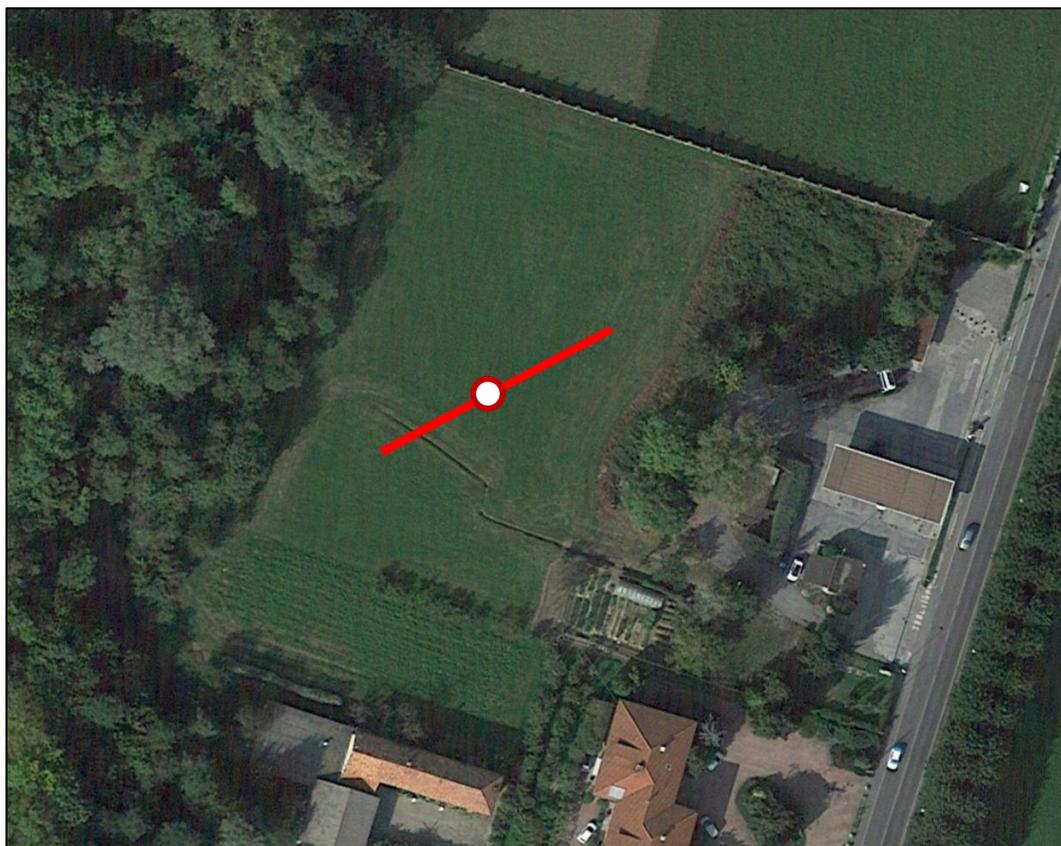
Dott. Geol. Mario Naldi



ALLEGATO A
Certificato esito prova MASW

COMMITTENTE	Geoalpi Consulting	Azienda certificata UNI EN ISO 9001:2008 Certificato n. IT246983 Bureau Veritas Italia S.p.A.	
RELAZIONE	3951/18		
LOCALITA'	P.E.C. area CS-6 del P.R.G.C.		
DATA	Marzo 2018		
			ALLEGATO A
			Pagina 1

UBICAZIONE INDAGINE MASW



LEGENDA

- Stendimento linea MASW
- Centro linea MASW
Ubicaz. profilo Vs₃₀

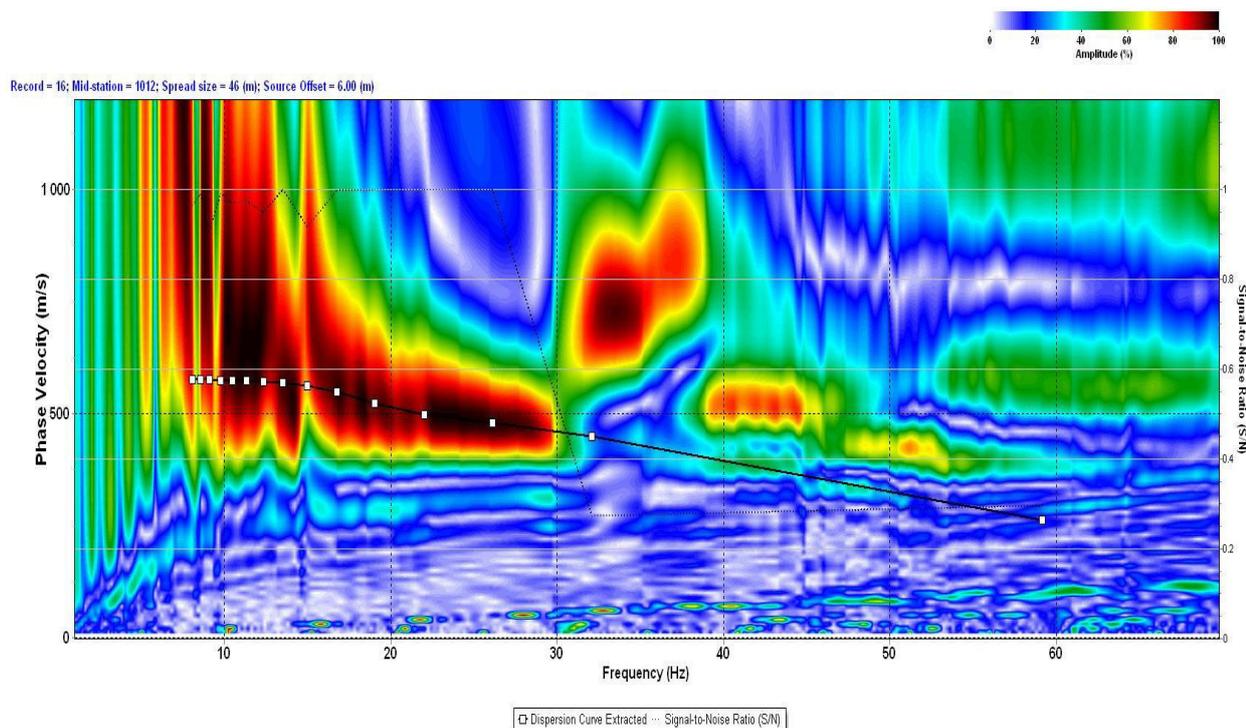
Ubicazione centro MASW	
Coordinate UTM WGS84	
Zona	32T
EST	380661
NORD	4943434

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA

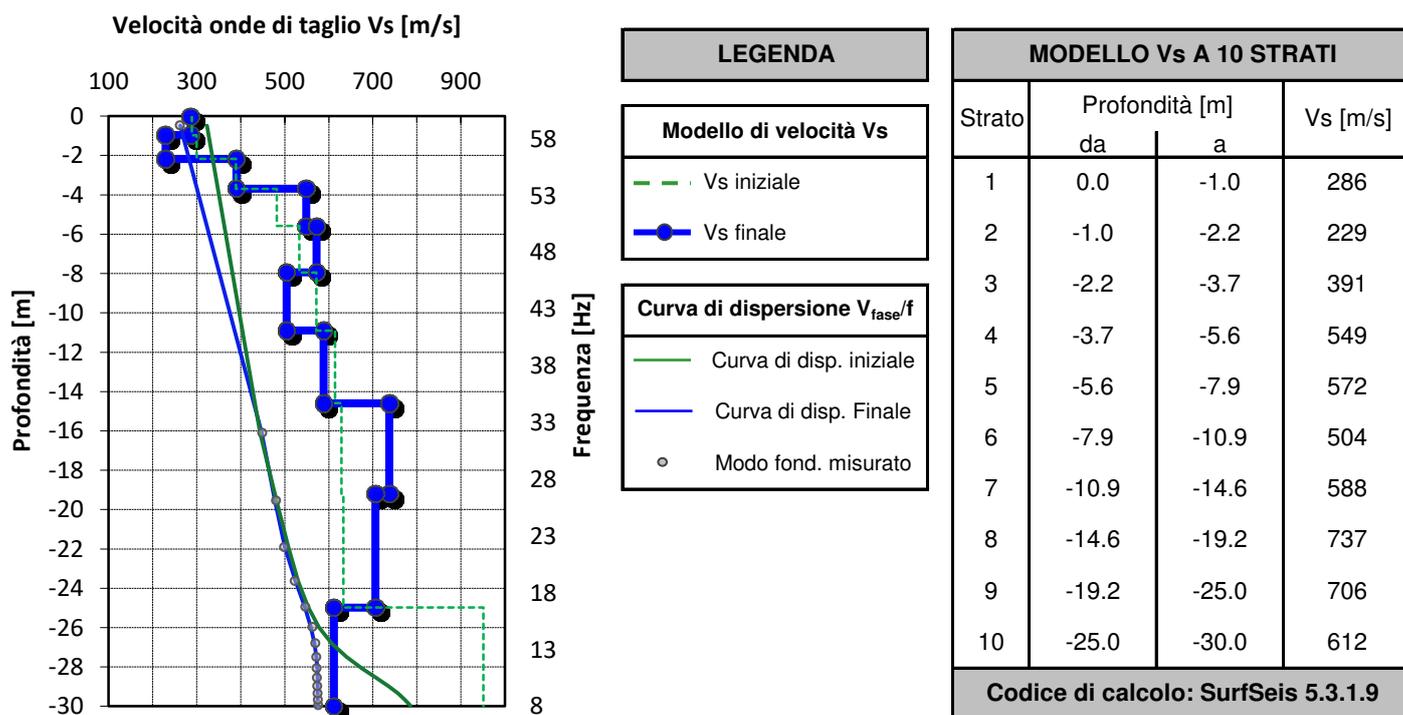


COMMITTENTE	Geoalpi Consulting	SISMOGRAFO	DAQ LINK IV	
RELAZIONE	3951/18	GEOFONI	24 (freq. 4.5 Hz)	
LOCALITA'	P.E.C. area CS-6 del P.R.G.C.	ACQUISITION TIME	1.0 s	ALLEGATO A
DATA	Marzo 2018	SAMPLE INTERVAL	0.50 ms	Pagina 2

PROVA MASW - CURVA DI DISPERSIONE DELLE ONDE DI RAYLEIGH



PROFILO DI VELOCITA' DELLE ONDE DI TAGLIO



SUOLO	DESCRIZIONE GEOTECNICA	Vs ₃₀ [m/s]
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.	547 (media pesata sugli spessori compresi tra 0 e -30 m)

ALLEGATO B

Cenni sulla metodologia MASW

CENNI TEORICI SULLA METODOLOGIA DI INDAGINE MASW

La propagazione delle onde di Rayleigh in un mezzo verticalmente eterogeneo è un fenomeno multimodale: data una determinata stratigrafia, in corrispondenza di una certa frequenza, possono esistere diverse lunghezze d'onda. Di conseguenza, ad una determinata frequenza possono corrispondere diverse velocità di fase, ad ognuna delle quali corrisponde un modo di propagazione e differenti modi di vibrazione possono esibirsi simultaneamente.

La curva di dispersione ottenuta elaborando i dati derivanti dalle indagini sismiche col metodo SWM (Surface Waves Multichannel) è una curva apparente derivante dalla sovrapposizione delle curve relative ai vari modi di vibrazione, e che, per i limiti indotti dal campionamento, non necessariamente coincide con singoli modi nei diversi intervalli di frequenza campionati.

Il processo di caratterizzazione basato sul metodo delle onde superficiali, schematizzato nelle Figure 1, 2 e 3, può essere suddiviso in tre fasi:

- 1) Acquisizione dati (Figura 1);
- 2) Elaborazione dati (Figura 2);
- 3) Inversione numerica (Figura 3).

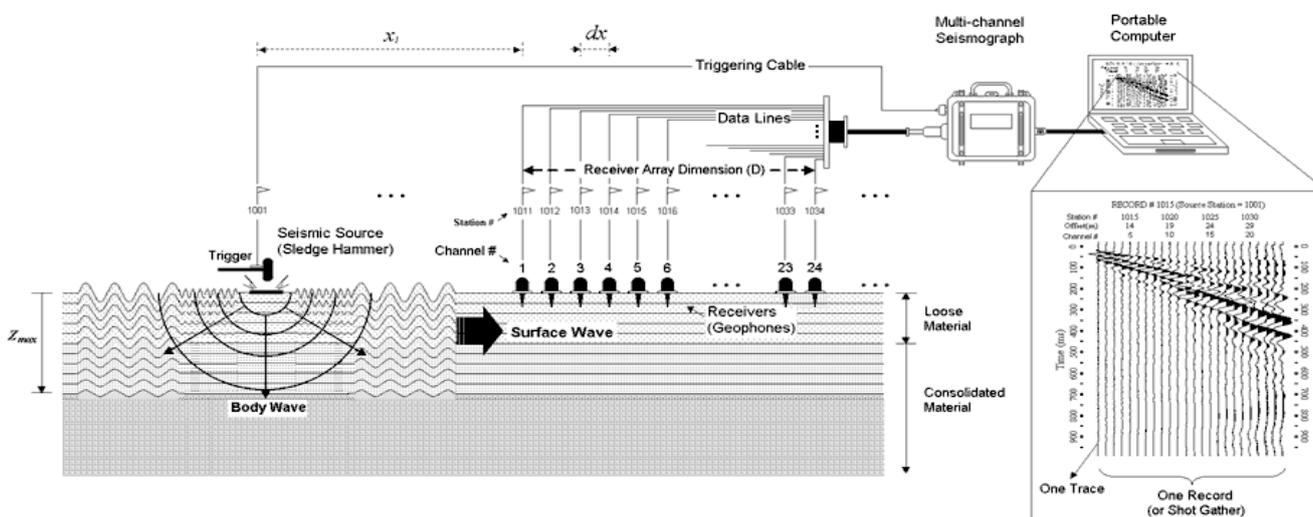


Figura 1 - Schema di acquisizione dati MASW

I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di processing che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto ovvero, la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza (il codice di calcolo utilizzato è SurfSeis® versione 4.0.2, Kansas University USA).

Esistono diverse tecniche di processing per estrarre dai sismogrammi le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale in dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti a una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere la curva di dispersione delle onde di Rayleigh, nell'ipotesi che, nell'intervallo di frequenze analizzato, le onde che si propagano con il maggiore contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh, e che le caratteristiche del sito siano tali da consentire la propagazione delle onde superficiali, nonché un comportamento dispersivo delle stesse.

Si dimostra infatti che la velocità delle onde di Rayleigh è associata ai massimi dello spettro f-k; si può ottenere facilmente una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza il picco spettrale, al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_R , determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_R(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori (V_R, f) in un grafico, si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione (Figura 2). La fase di inversione deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco-elastico a strati piano-paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati.

Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, ed eventualmente delle informazioni note a priori riguardo la stratigrafia, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza fra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Usualmente, algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati vengono utilizzati per automatizzare la procedura (Figura 3).

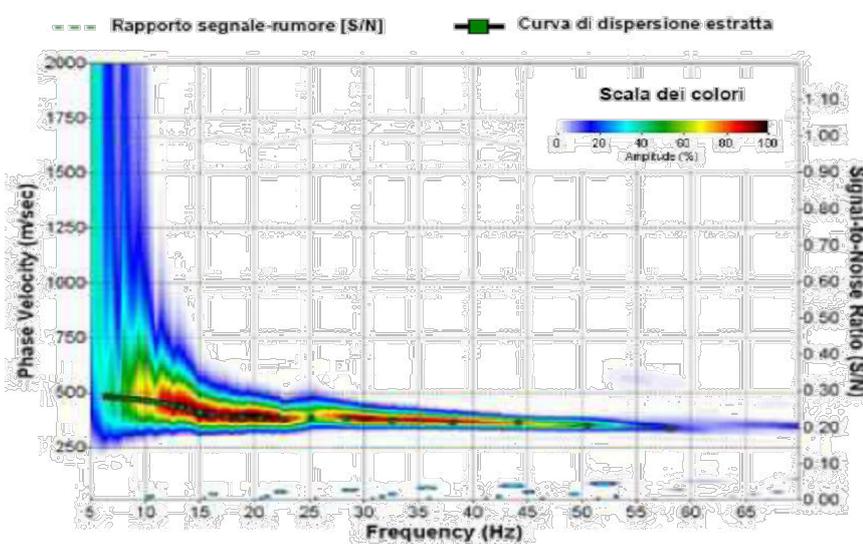


Figura 2 - Curva di dispersione della velocità Vs in funzione della frequenza e della velocità di fase

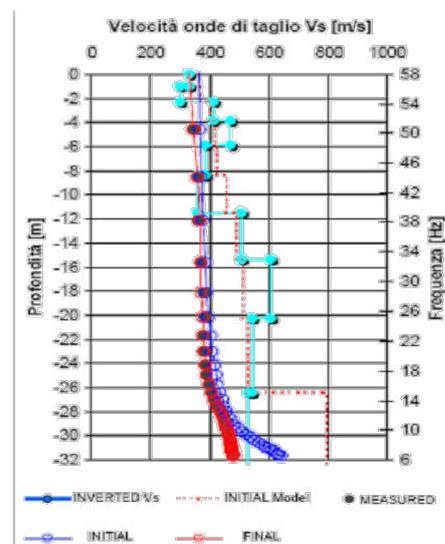


Figura 3 - Modello di propagazione delle velocità delle onde Vs

Allegato 8

Verifiche geotecniche: tabulati

Fondazione nastriforme larghezza $B = 0,70$ metri – Condizioni statiche

Formula generale di Brinch-Hansen (1970)

Verifica fondazioni dirette secondo il D.M. 17 gennaio 2018 - Approccio DA2 - CONDIZIONI STATICHE

Analisi dei carichi			
Tensione [t/m ²]	Coesione [t/m ²]	Attrito [t/m ²]	Carico limite [t/m ²]
20,038822	0	12,658644	32,697466

$$q_{lim} = 32,697 \text{ t/m}^2$$

$$q_{lim,d} = 14,216 \text{ t/m}^2$$

Parametri Geotecnici

c' [t/m ²]	γ [t/m ³]	ϕ' [°]	Fattori di capacità portante		
			N _q	N _c	N _{γ}
0	1,8	30	18,401122	30,13963	20,093085
Peso di volume saturo γ_{sat} [t/m ³]		2,4			

Dimensioni della fondazione

Tipologia: nastriforme

Eccentricità [m] : 0,00			Fattori di forma		
Br [m]	Lr [m]	B eff. [m]	S _q	S _c	S _{γ}
0,7	1E+51	0,7	1,00	1,00	1,00

q' [t/m ²]	z (rinterro) [m]	D/B [-]	Fattori di correzione		
			<1	d _q	d _c
0,9	0,5	0,71	1,21	1,21	1,22
			>1		

Effetti inerziali dovuti al sisma	3
Zona sismica	3
Accelerazione orizzontale massima	0
Accelerazione di picco al suolo	0
Fattore S _S	0
Fattore S _T	0
Coefficiente sismico pseudostatico K _s	0

Carichi		m= 2			ϕ' [r]	Funzioni trigonometriche	
Verticali [t]	Inclinati [t]	Fattori di correzione				sen	cos
0,9	0	i _q	i _c	i _{γ}	0,5235988	0,500000	0,866025
		1,00	1,00	1,00		1,00	0,577350

z _q	1
z _{γ}	1
z _c	1

Coefficiente parziale γ_R	2,3
----------------------------------	-----

Piano campagna inclinato				Fondazione con base inclinata			
ω [°]	Fattori di correzione			α [°]	Fattori di correzione		
	g _q	g _c	g _{γ}		b _q	b _c	b _{γ}
0	1,00	1,00	1,00	0	1,00	1,00	1,00

Fondazione nastriforme larghezza $B = 0,70$ metri – Condizioni dinamiche

Formula generale di Brinch-Hansen (1970)

Verifica fondazioni dirette secondo il D.M. 17 gennaio 2018 - Approccio DA2 CONDIZIONI DINAMICHE

Analisi dei carichi			
Tensione [t/m ²]	Coesione [t/m ²]	Attrito [t/m ²]	Carico limite [t/m ²]
18,159404	0	11,471404	29,630808

$$q_{lim} = 29,631 \text{ t/m}^2$$

$$q_{lim,d} = 12,883 \text{ t/m}^2$$

Parametri Geotecnici

c' [t/m ²]	γ [t/m ³]	ϕ' [°]	Fattori di capacità portante		
			N _q	N _c	N _{γ}
0	1,8	30	18,401122	30,13963	20,093085
Peso di volume saturo γ_{sat} [t/m ³]			2,4		

Dimensioni della fondazione

Tipologia: nastriforme

Eccentricità [m] : 0,00			Fattori di forma		
Br [m]	Lr [m]	B eff. [m]	S _q	S _c	S _{γ}
0,7	1E+51	0,7	1,00	1,00	1,00

q' [t/m ²]	z (rinterro) [m]	D/B [-]	Fattori di correzione		
			<1	d _q	d _c
0,9	0,5	0,71	1,21	1,21	1,22
			>1		

Effetti inerziali dovuti al sisma

Zona sismica	3
Accelerazione orizzontale massima	0,118
Accelerazione di picco al suolo	0,1416
Fattore S _s	1,2
Fattore S _T	1
Coefficiente sismico pseudostatico K _n	0,1416

Carichi		m= 2			ϕ' [r]	Funzioni trigonometriche	
Verticali [t]	Inclinati [t]	Fattori di correzione				sen	cos
0,9	0	i _q	i _c	i _{γ}	0,5235988	0,500000	0,866025
		1,00	1,00	1,00		tan	0,577350

$$z_q = 0,9062112$$

$$z_\gamma = 0,9062112$$

$$z_c = 0,954688$$

Coefficiente parziale γ_B	2,3
----------------------------------	-----

Piano campagna inclinato				Fondazione con base inclinata			
ω [°]	Fattori di correzione			α [°]	Fattori di correzione		
	g _q	g _c	g _{γ}		b _q	b _c	b _{γ}
0	1,00	1,00	1,00	0	1,00	1,00	1,00