

CITTA' METROPOLITANA DI TORINO
COMUNE DI LOMBARDORE E SAN BENIGNO C.SE

IMPIANTO FOTOVOLTAICO

Lombardore 1 - Lombardore 2 - San Benigno C.se 1

VALUTAZIONE D'IMPATTO AMBIENTALE

Titolo III, Parte seconda
del D.Lgs 152/2006 e s.m.i.

Num. elaborato

03_R01

Scala disegno

XXXXX

**TITOLO: RELAZIONE GEOLOGICA E DI CARATTERIZZAZIONE
GEOTECNICA**

REVISIONI, VERIFICHE E APPROVAZIONI

| DATA | DESCRIZIONE | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO |
|------------|-----------------|----------|------------|------------|
| 12/07/2021 | prima emissione | Anthemis | Kyan | Ecopedmont |
| | | | | |
| | | | | |
| | | | | |

La proprietà

**Pedrini Roberto -
Pedrini Giovanni -
Pedrini Guido - Pedrini
Paola - Turinetti Simona**

Il committente

ECOPIEDMONT 1 srl
Via Alessandro Manzoni, n°30
20121 MILANO

Ideazione e coordinamento

KYAN SRL
Via Giacomo Matteotti, n°54
10040 LEINI (TO)

Professionista architettonico

STUDIO PROGEO
Via Monte Angiolino, n°2
10074 Lanzo Torinese (TO)
+39 0123 320667
info@progeo.biz

Professionista ambientale

ANTHEMIS ENVIRONMENT SRL
 Via Lombardore, n°207
10040 Leini (TO)
+39 011 9977387
info@anthemisassociates.it

Collaboratori

DOTT. GEOL. STEFANO TUBERGA
Via E. Giordanino, n°4
100460 La Cassa (TO)
011 9842043
geo.sgt@tiscali.it

Professionista impianti

STUDIO SD PROGETTI
 Frazione Crosi, n°56
10084 Forno Canavese (TO)
+39 0124 77537
studio@sdprogetto.net



COMUNI DI
LOMBARDORE e SAN BENIGNO C.S.E
Città Metropolitana di Torino

IMPIANTI FOTOVOLTAICI
“LOMBARDORE 1”-“LOMBARDORE 2”-“SAN BENIGNO 1”
Strada Fertula

**RELAZIONE DI CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA E
GEOTECNICA E DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE**

(D.M. 17 Gennaio 2018)

| Rev. | Data | Redazione | Verifica | Autorizzazione | Modifica |
|------|-------------|------------|----------|----------------|----------|
| 0 | Luglio 2020 | Tuberga S. | | | |

Committente:

Ecopiedmont 1 s.r.l.
Via Alessandro Manzoni, 30
20121 Milano

Professionista incaricato:

Dott. Geol. Stefano TUBERGA
Via Edoardo Giordanino n. 4
10040, La Cassa (TO)
Tel/Fax 011.9842043
geo.sgt@tiscali.it



Riservato all'Ente:

Archivio file:

Relazione geologico-geotecnica_Lombardore e S. Benigno_Fotovoltaico.doc

Elaborato:

R.G.G.01

Scala:

INDICE

| | |
|--|---------------|
| 1. PREMESSA | 3 |
| 2. VINCOLI E COMPATIBILITÀ IDROGEOLOGICA DELLE OPERE IN PROGETTO..... | 5 |
| 3. MODELLAZIONE SISMICA | 11 |
| 3.1 – <i>PERIODI DI RIFERIMENTO E DI RITORNO PER L’AZIONE SISMICA.....</i> | 11 |
| 3.2 – <i>CATEGORIA DI SOTTOSUOLO E VALUTAZIONE DELL’AZIONE SISMICA</i> | 12 |
| 3.3 – <i>STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE.....</i> | 15 |
| 4. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA GENERALE E LOCALE..... | 16 |
| 4.1 – <i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO-MORFOLOGICO GENERALE.....</i> | 16 |
| 4.2 – <i>ASSETTO GEOLOGICO-MORFOLOGICO LOCALE.....</i> | 18 |
| 4.3 – <i>ASSETTO IDROGEOLOGICO</i> | 18 |
| 5. INDAGINI IN SITO E MODELLO LITOSTRATIGRAFICO..... | 21 |
| 5.1 – <i>INDAGINI IN SITO</i> | 21 |
| 5.2 – <i>MODELLO LITOTECNICO.....</i> | 29 |
| 6. MODELLO GEOTECNICO E PARAMETRI FISICO-MECCANICI | 31 |
| 7. CONCLUSIONI..... | 36 |
| ALLEGATI..... | 38 |
| - Sezione litostratigrafica e litotecnica; | |
| - Certificato prospezione sismica MASW. | |

1. PREMESSA

La presente relazione di caratterizzazione e modellazione geologica e geotecnica e della risposta sismica locale è stata redatta in riferimento al progetto di realizzazione di un nuovo campo fotovoltaico, compreso tra i territori di Lombardore e di San Benigno C.se, rispettivamente in "Area agricola normale – AN (art. n. 43 N.T.A. del Comune di Lombardore)" ed in un settore caratterizzato dalla presenza di un "Apparato produttivo agricolo – E1 ed E2 (art. 53 N.T.A. del Comune di San Benigno C.se)" (Figura 1).

La relazione, finalizzata alla verifica della compatibilità dell'intervento con l'assetto geologico ed idrogeologico delle aree, è rivolta in particolare alla caratterizzazione e modellazione geotecnica dei terreni interessati dalle opere. Gli aspetti geologici e geotecnici riportati nei capitoli successivi si riferiscono al solo progetto architettonico delle opere e pertanto sono stati redatti in ottemperanza a quanto indicato dal D.M. 17/01/2018 "Norme tecniche per le costruzioni" al § 6.2.1 "Caratterizzazione e modellazione geologica del sito" ed al § 6.2.2 "Indagini, caratterizzazione e modellazione geotecnica".

Per la stesura della relazione sono state eseguite le seguenti attività:

- ❑ analisi degli studi geologici a supporto degli elaborati tecnici relativi ai P.R.G.C. vigenti;
- ❑ ricerca bibliografica delle pubblicazioni tecnico-scientifiche riguardanti il territorio di Lombardore e di San Benigno C.se;
- ❑ consultazione ed acquisizione della documentazione pubblicata in archivi:
 - Arpa Piemonte – Banca Dati Geotecnica;
 - Arpa Piemonte – Banca Dati Geologica (1:100.000);
 - Arpa Piemonte – Dati di Sismicità in Piemonte;
 - Arpa Piemonte – Progetto IFFI (Inventario Fenomeni Franosi in Italia);
 - Piano stralcio per l'Assetto idrogeologico (PAI) – Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici alla scala 1:25.000; Foglio 135 Sez. III – Volpiano;
- ❑ attività di terreno:
 - esecuzione di n. 2 prove penetrometriche dinamiche di tipo DPSH;

- o esecuzione di n. 1 indagine sismica MASW.

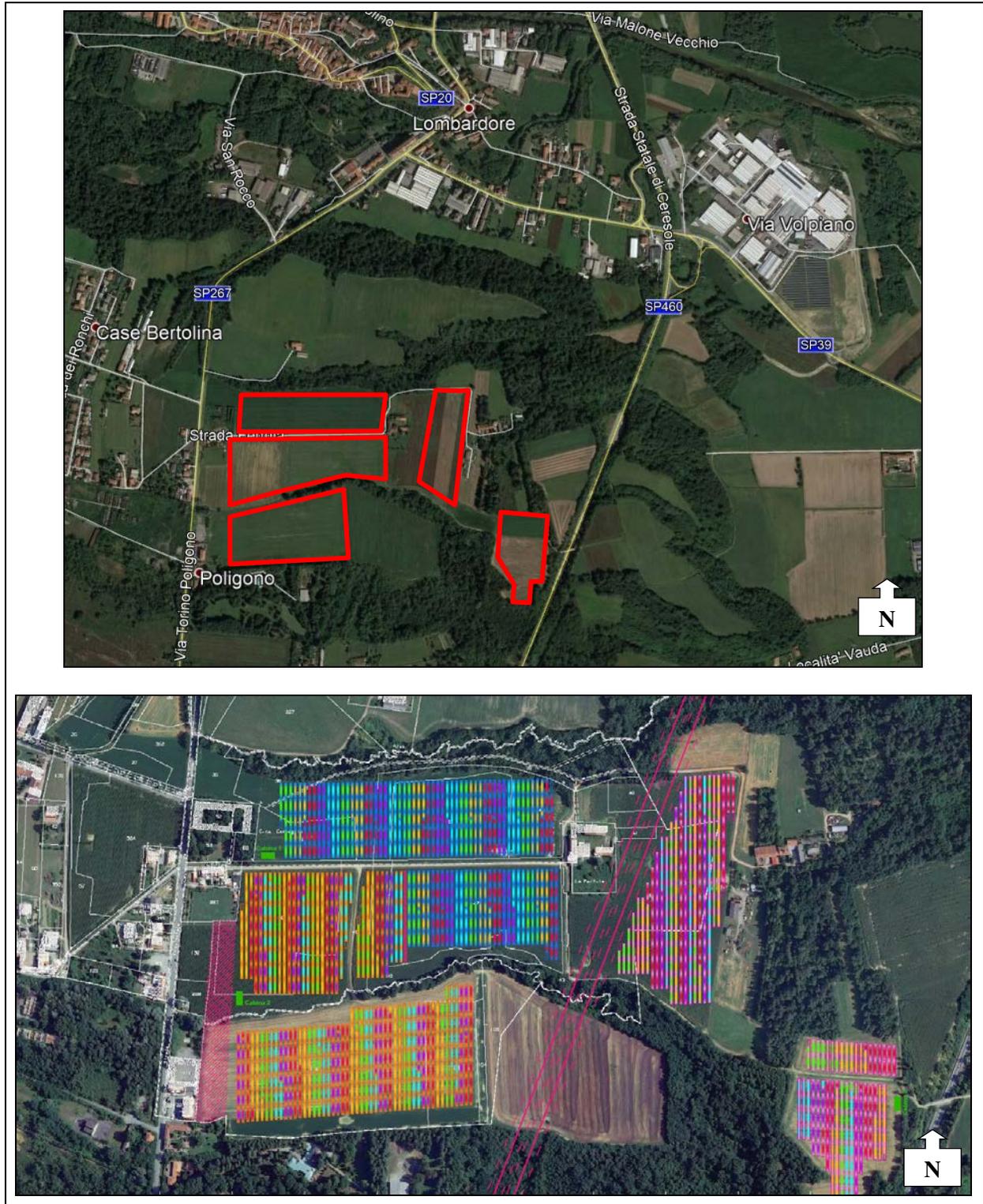


Figura 1: ubicazione delle aree di intervento (poligoni rossi ed aree colorate), su stralcio dell'elaborato di progetto che identifica le aree di intervento su base Ortofoto 2015 ed immagine satellitare tratta da Google Earth Pro (non in scala).

2. VINCOLI E COMPATIBILITÀ IDROGEOLOGICA DELLE OPERE IN PROGETTO

Il presente paragrafo descrive i vincoli insistenti nei settori comunali interessati dalle opere e la compatibilità degli interventi in riferimento alla situazione idrogeologica locale, come richiesto dalla L.R. 45/89 e dalla Circ. P.G.R. 31 agosto 2018 n. 3/AMD.

La "Banca Dati Geologica dell'Arpa Piemonte – Documentazione Iconografica dei Dissesti" non segnala, per l'area in esame, casi di dissesto di natura idraulica o idrogeologica con fenomeni di allagamento o danneggiamenti di edifici ed infrastrutture (Figura 2).

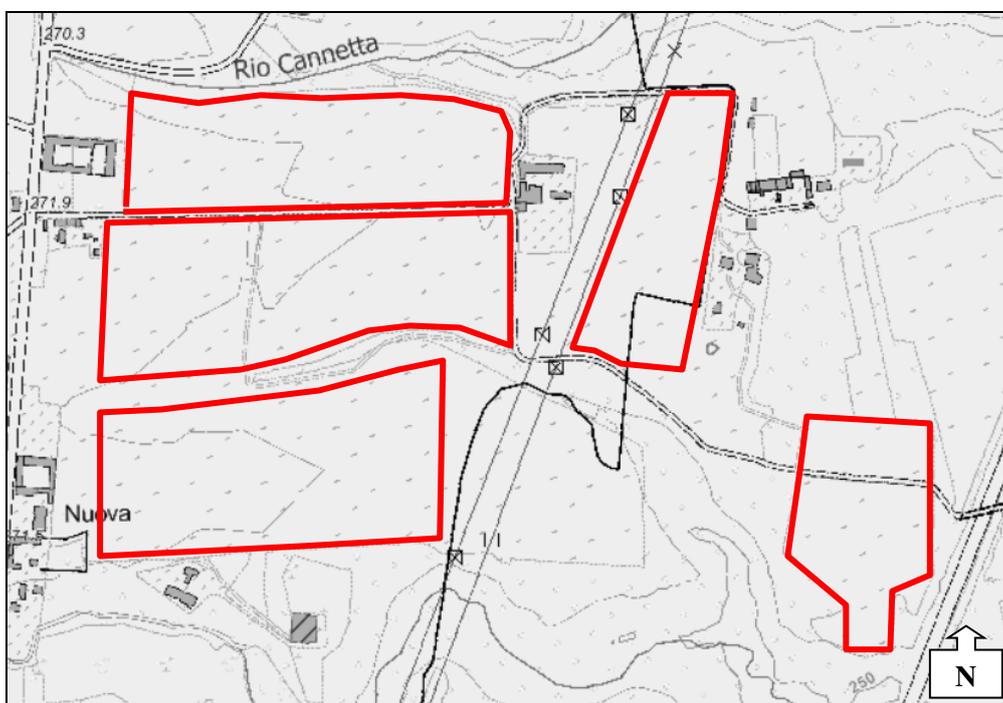


Figura 2: ubicazione delle aree di intervento (poligoni rossi), su stralcio della cartografia ottenuta mediante il servizio "Geoviewer 2D – Banca Dati Arpa Piemonte - Documentazione Iconografica dei Dissesti" (non in scala). E' possibile osservare l'assenza di segnalazioni di fenomeni di dissesto censiti.

La Banca dati della Regione Piemonte "Difesa del Suolo" non indica la presenza di potenziali condizioni di dissesto idrogeologico connesse all'instaurarsi di fenomeni alluvionali per il settore territoriale in oggetto (Figura 3).

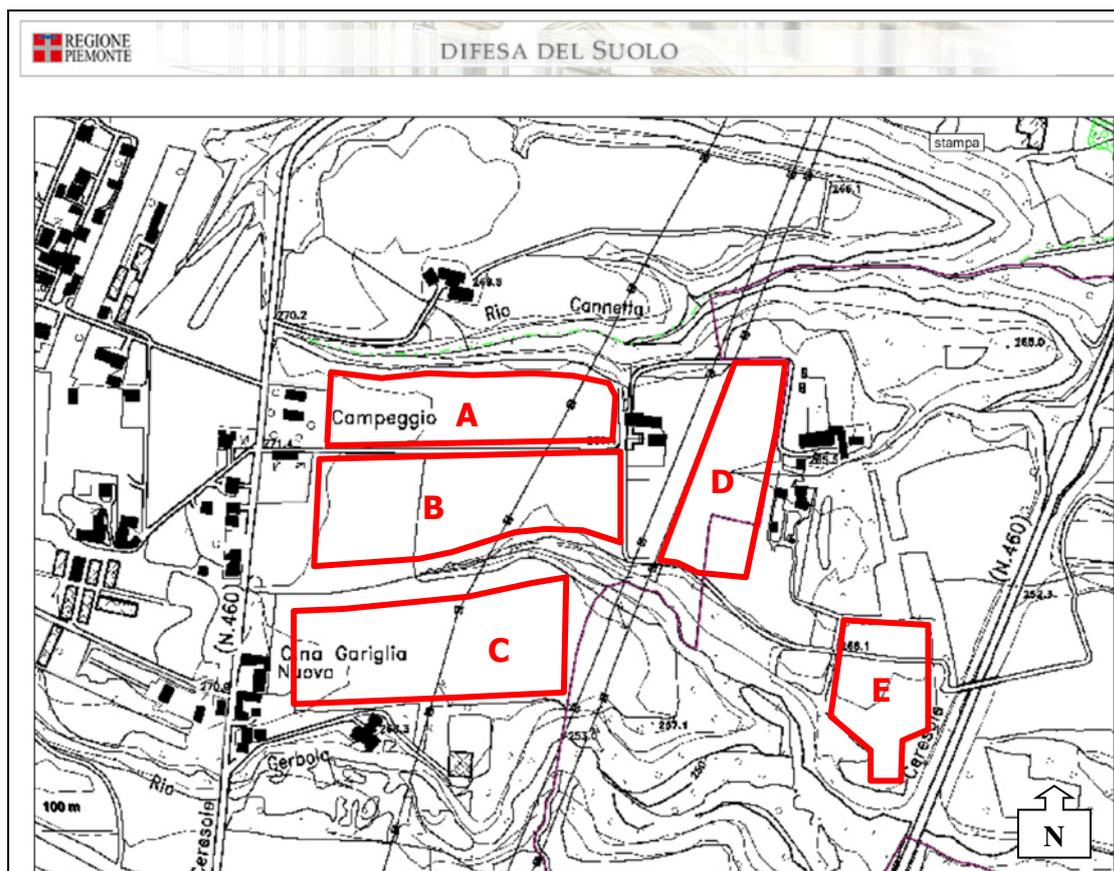


Figura 3: ubicazione delle aree di intervento (poligoni rossi), su stralcio della cartografia ottenuta mediante il servizio "Banca Dati Regione Piemonte – Difesa del Suolo (DISUW)". Non in scala. E' possibile osservare l'assenza di segnalazioni di fenomeni di dissesto censiti.

L'Atlante dei rischi idraulici e idrogeologici alla scala 1:25.000 (P.A.I.); Foglio 135 Sez. III – Volpiand' non riporta segnalazioni di dissesto per i settori in esame. Figura 4.

I settori di intervento identificati con le lettere A, B, C e D (parte) nelle figure 3 e 4 ricadono in territorio comunale di Lombardore, mentre i settori D (parte) ed E risultano situati in territorio di San Benigno C.se.

Gli elaborativi geologici¹ facenti parte della Revisione del P.R.G.C. del Comune di Lombardore, hanno esaminato in dettaglio le condizioni di pericolosità geomorfologica esistenti in corrispondenza del settore di pianura in oggetto. Gli approfondimenti geologici condotti hanno consentito di classificare tale settore in Classe II. Figura 5.

Tale classe comprende "Porzioni di territorio nelle quali le condizioni di moderata pericolosità geomorfologica possono essere superate o minimizzate a livello di norme di attuazione ispirate al D.M. 14.01.2008 e realizzabili a livello di progetto esecutivo, comprendenti:...settori di territorio

¹ Revisione del P.R.G.C. del Comune di Lombardore – Elaborati geologici, Aprile 2006 - Dott. Geol. Dellarole Carlo.

con mediocri caratteri meccanici delle coltri di copertura o dei terreni superficiali; porzioni di territorio adiacenti alla successiva classe III".

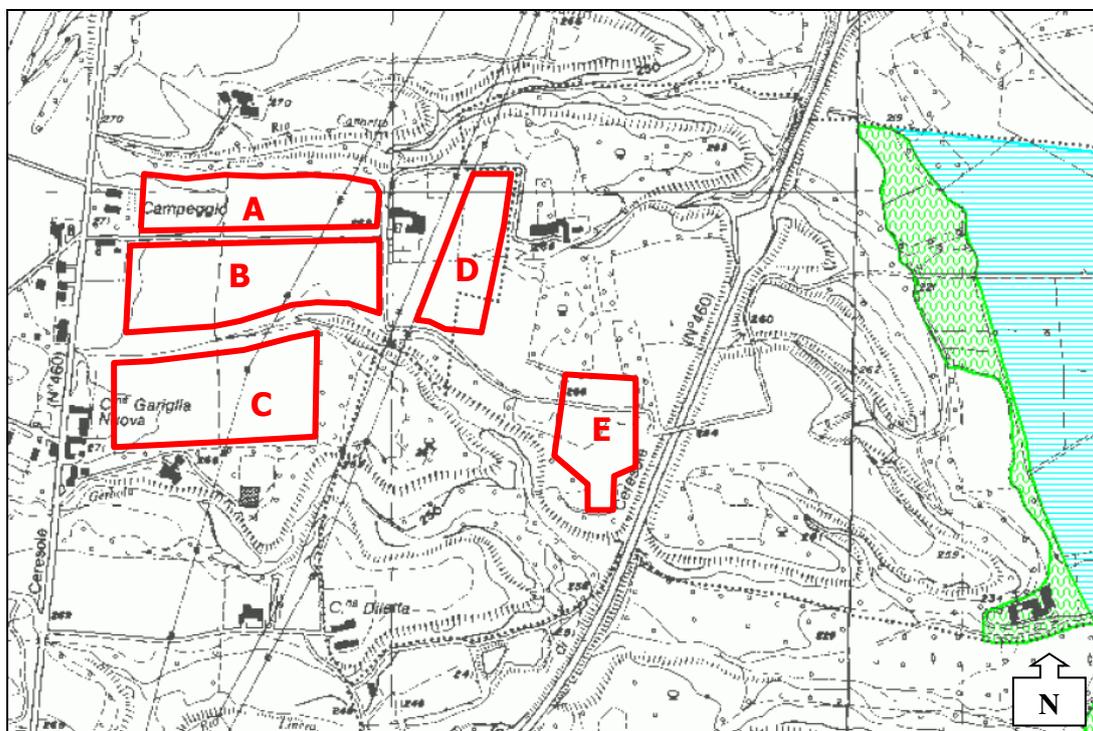


Figura 4: ubicazione delle aree di intervento (poligoni rossi), su stralcio da "Atlante dei rischi idraulici ed idrogeologici (PAI) – Delimitazione delle aree in dissesto, Foglio 135, sezione III, Volpiano (non in scala, scala originale 1:25.000). Sono visibili, sulla destra dell'immagine, le campiture che rappresentano le aree di esondazione del Torrente Malone e della rete idrografica minore ad esso affluente.

Le norme di Classe II, per il territorio di Lombardore, prescrivono pertanto le verifiche e le indagini che sono state affrontate e descritte nei capitoli che seguono.

Gli elaborati geologici² del P.R.G.C. del Comune di San Benigno C.se classificano le aree di intervento in oggetto in Classe II. *Figura 6.*

Tali aree rappresentano "Porzioni di territorio nelle quali le condizioni di moderata pericolosità geomorfologica possono essere agevolmente superate attraverso l'adozione ed il rispetto di modesti accorgimenti tecnici esplicitati a livello di norme di attuazione ispirate al D.M. 11.03.88 e realizzabili a livello di progetto esecutivo esclusivamente nell'ambito del singolo lotto edificatorio o dell'intorno significativo. Aree edificabili".

² Variante Strutturale n. 3 al P.R.G.C. del Comune di San Benigno C.se – Elaborati geologici, Settembre 2009 - Dott. Geol. Prella Elena.

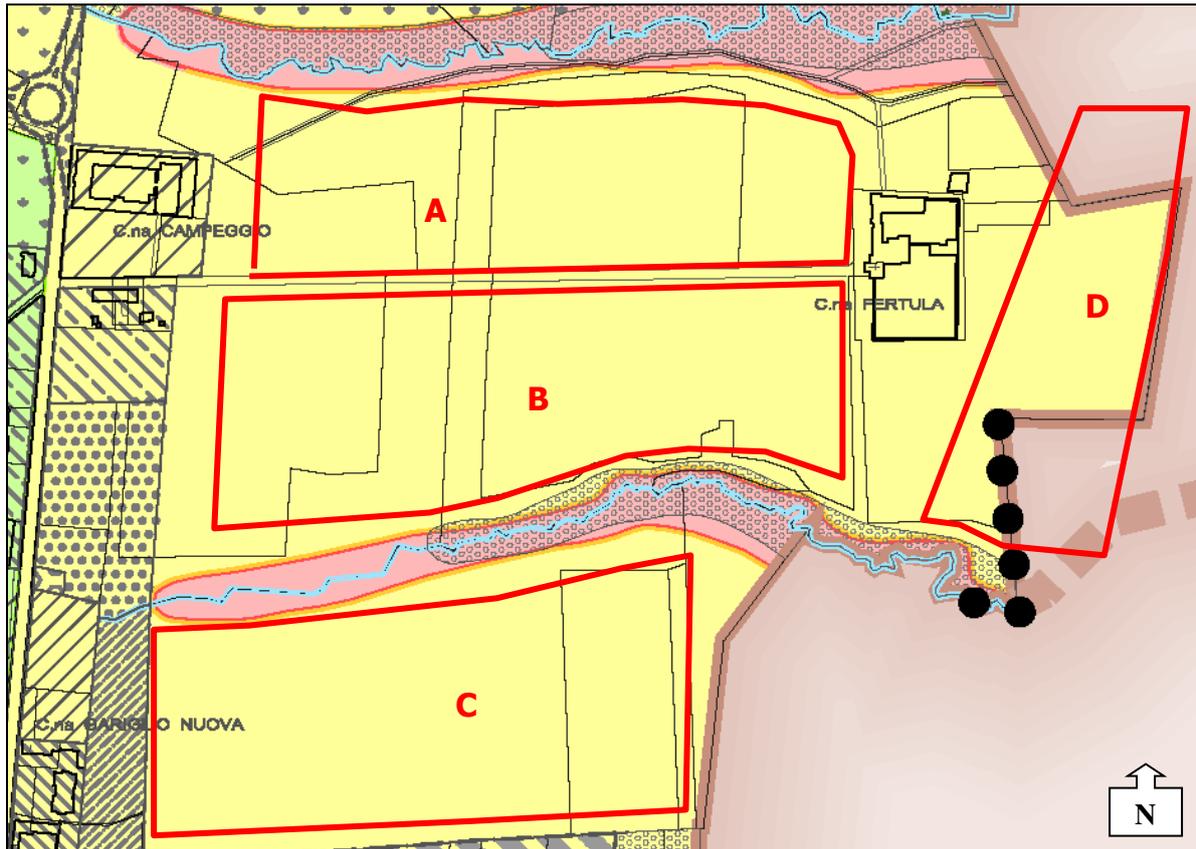


Figura 5: ubicazione delle aree di intervento (poligoni rossi), su stralcio dell'allegato tecnico di P.R.G.C. del Comune di Lombardore (Assetto generale del Piano con sovrapposizione della Carta di Sintesi, scala 1:5.000; Aprile 2006). La campitura gialla rappresenta i settori di Classe II, le campiture rosse i settori in Classe IIIa.

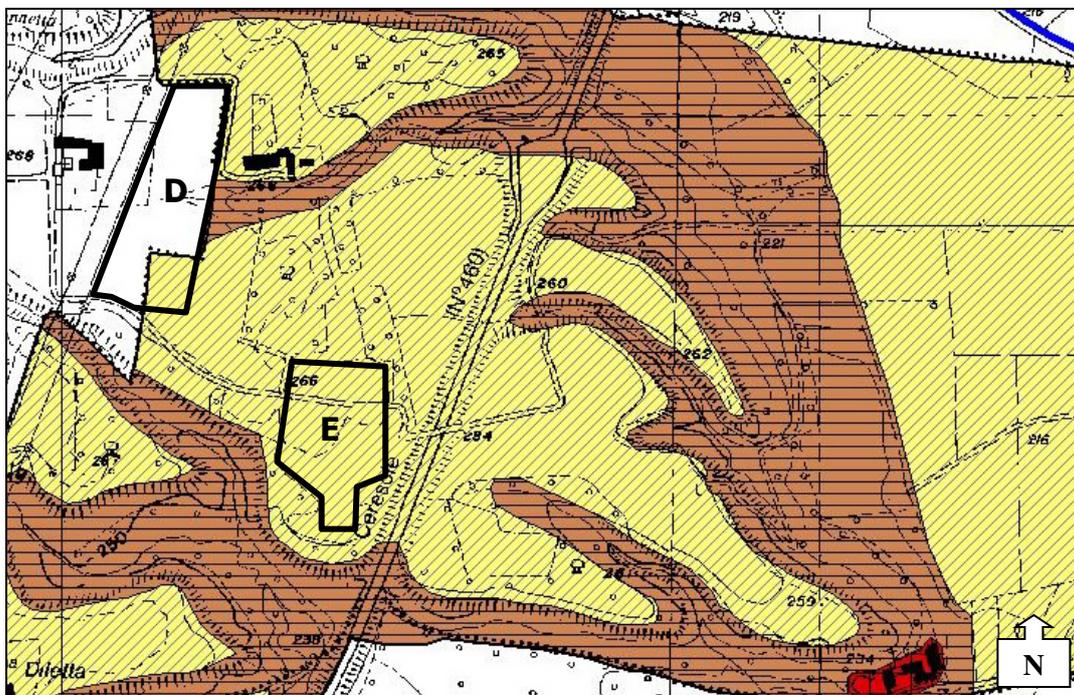


Figura 6: ubicazione delle aree di intervento (poligoni neri), su stralcio dell'allegato tecnico di P.R.G.C. del Comune di San Benigno C.se (Carta di sintesi della pericolosità geomorfologica e dell' idoneità all'utilizzazione urbanistica, scala 1:10.000; Settembre 2009). La campitura gialla rappresenta i settori di Classe II, le campiture rosse i settori in Classe IIIa.

Come nel caso delle aree ricadenti in territorio di Lombardore, anche nel caso delle aree di Classe II ricadenti in Comune di San Benigno C.se, sono richiesti approfondimenti di indagine per valutare le condizioni locali di moderata pericolosità geomorfologica ed eventualmente prevedere accorgimenti tecnici in fase di realizzazione delle opere. Tali indagini sono descritte nei capitoli che seguono.

In conclusione, anche alla luce delle indagini condotte, è possibile definire la compatibilità delle opere in progetto con le condizioni di moderata pericolosità geomorfologica locale e con i vincoli definiti per le aree in esame e con gli assetti urbanistico e territoriale vigenti, non contrastando pertanto con quanto indicato dalla normativa di settore.

Il settore E e parte del settore D, sono compresi all'interno del vincolo idrogeologico, dove gli interventi ammissibili sono disciplinati dalla L.R. 45/1989 e dalla Circolare n. 3/AMB del 31.08.2018 (Figura 7). Gli interventi in progetto non prevedono interferenze con la copertura forestale.

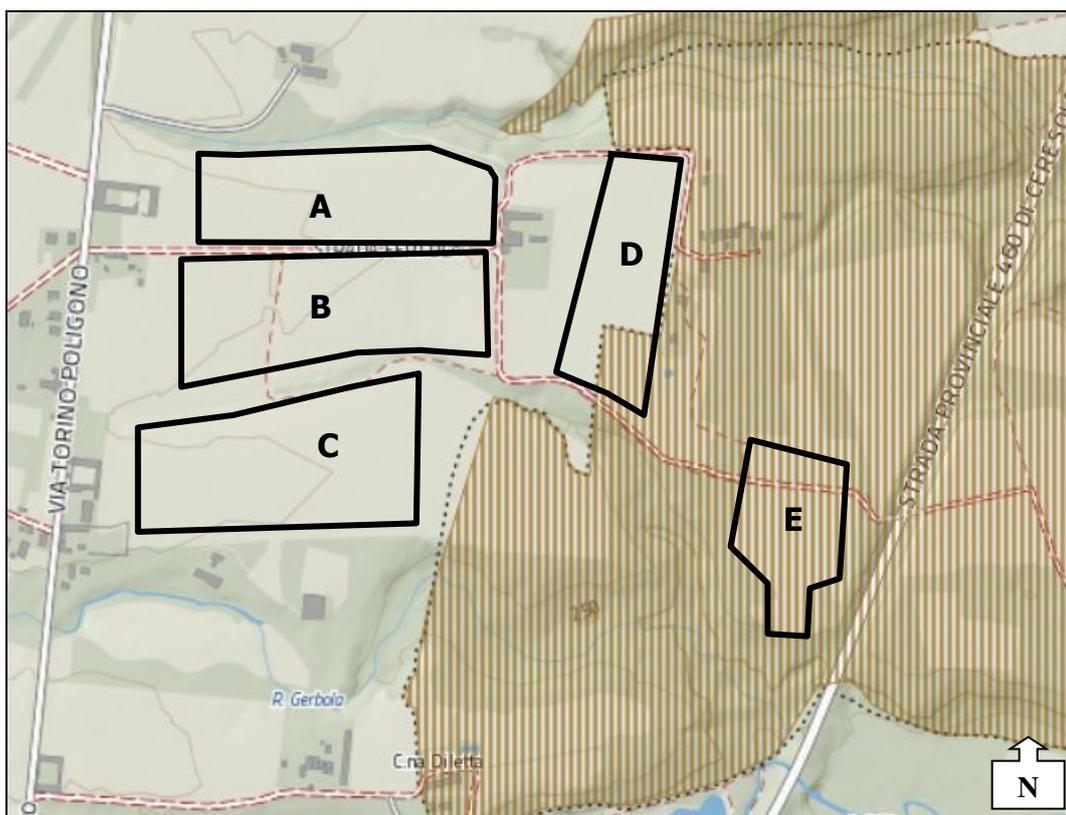


Figura 7: ubicazione delle aree di intervento (poligoni neri), su stralcio della cartografia ottenuta mediante il servizio "WebGIS Geo Piemonte". Non in scala. E' possibile osservare come parte del settore D ed il settore E ricadano all'interno di aree sottoposte a vincolo idrogeologico (campitura verticale). Non in scala.

Per quanto attiene ai potenziali fenomeni di instabilità dei fronti di scavo in trincea si ritiene sempre necessario il rispetto delle seguenti norme sulla sicurezza:

- D. Lgs. 81/2008, art. 119: nello scavo di pozzi e di trincee profondi più di 1,50 m, quanto la consistenza del terreno non dia sufficiente garanzia di stabilità, anche in relazione alla pendenza delle pareti, si deve provvedere, man mano che procede lo scavo, all'applicazione delle necessarie armature di sostegno.
- D. Lgs. 81/2008, art. 120: è vietato costituire depositi di materiali presso il ciglio degli scavi. Qualora tali depositi siano necessari per le condizioni del lavoro, si deve provvedere alle necessarie puntellature.
- D.M. 17/01/2018 "Norme tecniche sulle costruzioni", 6.8.6.2. (fronti di scavo, criteri generali di progetto e verifiche di sicurezza): Il progetto deve definire un profilo di scavo tale che risultino rispettate le prescrizioni di cui al punto 6.2.4. e la verifica di sicurezza deve essere condotta con modalità analoga a quella indicata per i manufatti di materiali sciolti. Il progetto deve tener conto dell'esistenza di opere e sovraccarichi in prossimità dello scavo, deve esaminare l'influenza dello scavo sul regime delle pressioni interstiziali e deve garantire la stabilità e la funzionalità delle costruzioni preesistenti nell'area interessata dallo scavo. Per scavi in trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2,0 m, nei quali sia prevista la permanenza di personale, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista una struttura di sostegno delle pareti di scavo. Le verifiche devono essere svolte nei confronti degli stati limite ultimi (SLU) e nei confronti degli stati limite di servizio (SLE), quando pertinenti. Le azioni dovute al terreno, all'acqua e ai sovraccarichi anche transitori devono essere calcolate in modo da prevenire, di volta in volta, alle condizioni più sfavorevoli. Le ipotesi per il calcolo delle azioni del terreno e delle sollecitazioni della struttura di sostegno devono essere giustificate portando in conto la deformabilità relativa del terreno-struttura di sostegno, le modalità esecutive dello scavo, le caratteristiche meccaniche del terreno e il tempo di permanenza dello scavo.

3. MODELLAZIONE SISMICA

La Deliberazione della Giunta Regionale 30 dicembre 2019, n. 6-887 "Aggiornamento e adeguamento dell'elenco delle zone sismiche (O.P.C.M. n. 3274/2003 e O.P.C.M. 3519/2006)" classifica i territori comunali di Lombardore e di San Benigno C.se in Zona sismica 3, a pericolosità sismica bassa con un valore di accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni compreso tra 0,05g e 0,15 g. Con l'entrata in vigore del D.M. 14/01/2008 e s.m.i., la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio di tipo "sito dipendente" e non più per mezzo di un criterio "zona dipendente". L'azione sismica di progetto, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite presi in considerazione, viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito.

3.1 – Periodi di riferimento e di ritorno per l'azione sismica

La pericolosità sismica di un sito è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo, in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato. Tale lasso di tempo, espresso in anni, è denominato "periodo di riferimento" V_R e la probabilità è denominata "probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento" P_{VR} .

Considerando, per il caso in esame, una vita nominale pari a 50 anni ed una classe d'uso II si ottiene:

$$V_R = V_N \cdot C_U = 50 \text{ anni}$$

I valori (anni) del periodo di ritorno T_R in funzione di V_R per lo Stato Limite di Esercizio (SLO, SLD) e per lo Stato Limite Ultimo (SLV, SLC) possono essere determinati con la seguente espressione:

$$T_R = \frac{-V_R}{\ln(1 - P_{VR})}$$

Adottando come probabilità di superamento P_{VR} per i vari stati limite i valori di 81%, 63%, 10% e 5% si ottengono i seguenti periodi di ritorno T_R :

| Stati Limite | | Valori in anni del periodo di ritorno T_R |
|---------------------------------|-----|---|
| Stati Limite di Esercizio (SLE) | SLO | 30 |
| | SLD | 50 |
| Stati Limite Ultimi (SLU) | SLV | 475 |
| | SLC | 975 |

Tabella 1: da tabella 3.2.I NTC

3.2 – Categoria di sottosuolo e valutazione dell’azione sismica

Si definisce “risposta sismica locale” l’azione sismica quale emerge in superficie a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite trasmettendosi dal substrato rigido.

Le modifiche sono dovute ad:

- ✓ effetti stratigrafici: legati alla successione stratigrafica, alle proprietà meccaniche dei terreni, alla geometria del contatto tra substrato rigido e i terreni sovrastanti ed alla geometria dei contatti tra gli strati di terreno;
- ✓ effetti topografici: legati alla configurazione topografica del piano campagna.

I dati ricavati dall’esame della documentazione bibliografica reperita e dalla prova di tipo MASW eseguita in sito, possono essere messi in relazione con le indicazioni contenute nel testo integrato dell’Allegato 2 all’Ordinanza n. 3274, come modificato dall’ O.P.C.M. 3519/2006, e nel § 3.2.2 delle NTC. In tal modo è possibile associare, ai siti in esame, una categoria di sottosuolo di tipo B.

| | |
|----------|---|
| B | <i>Rocce tenere e depositi a grana grossa molto addensati o terreni 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.</i> |
|----------|---|

Tabella 2: da tabella 3.2.II delle NTC

Le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di riferimento, per una fissata P_{VR} , si ritengono individuate quando se ne conosca l’accelerazione massima ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione. Ai fini della valutazione dello spettro di risposta elastico in accelerazione vengono di seguito calcolati, per ciascuno dei quattro stati limite (SLO, SLD, SLV,

SLC), i valori corrispondenti ad a_g (accelerazione orizzontale massima su sito di riferimento rigido orizzontale), S (coefficiente che comprende gli effetti di amplificazione stratigrafica e topografica), F_0 (fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima su sito di riferimento rigido orizzontale) e C_C (coefficiente dipendente dalla categoria di sottosuolo).

Viene inoltre fornito il valore di T^*_C ricavabile dalla Tabella 1 dell'Allegato B alle NTC e necessario, in associazione con C_C , per il calcolo del periodo T_C di inizio del tratto a velocità costante dello spettro elastico di risposta.

I siti in esame risultano identificabili con coordinate geografiche medie corrispondenti ai seguenti valori di latitudine e longitudine (UTM-WGS84):

□ Lombardore e San Benigno C.se – Strada Fertula.

- Latitudine: 45,226903;
- Longitudine: 7,740632.

In base ai valori del periodo di ritorno T_R precedentemente calcolati, relativi ai diversi stati limite, si sono ottenuti i parametri spettrali riportati nella tabella che segue.

| SLO $T_R = 30$ anni | | | SLD $T_R = 50$ anni | | | SLV $T_R = 475$ anni | | | SLC $T_R = 975$ anni | | |
|------------------------|--------------|----------------|------------------------|-------|---------|-------------------------|-------|---------|-------------------------|-------|---------|
| a_g [g] | F_0 [-] | T^*_C [s] | a_g [g] | F_0 | T^*_C | a_g [g] | F_0 | T^*_C | a_g [g] | F_0 | T^*_C |
| 0,021 | 2,604 | 0,165 | 0,026 | 2,559 | 0,191 | 0,049 | 2,732 | 0,272 | 0,057 | 2,775 | 0,294 |

Tabella 3: da Tabella 1 dell'Allegato B NTC (calcolati con GeoStru PS)

Il coefficiente S , che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche, è rappresentato mediante la seguente relazione:

$$S = S_S \cdot S_T$$

dove:

S_S = coefficiente che comprende gli effetti delle amplificazioni stratigrafiche;

S_T = coefficiente che comprende gli effetti delle amplificazioni topografiche.

I coefficienti S_S e C_C risultano:

| Categoria sottosuolo | S _S (SLO) | C _C (SLO) | S _S (SLD) | C _C (SLD) | S _S (SLV) | C _C (SLV) | S _S (SLC) | C _C (SLC) |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| B | 1,20 | 1,58 | 1,20 | 1,53 | 1,20 | 1,43 | 1,20 | 1,41 |

Tabella 4: valori dei coefficienti S_S e C_C

Considerando che il valore relativo ad S_T per la categoria topografica T1 è pari ad 1,0, il coefficiente finale S risulta uguale a:

| Categoria sottosuolo | S (SLO) | S (SLD) | S (SLV) | S (SLC) |
|----------------------|------------|------------|------------|------------|
| B | 1,20 | 1,20 | 1,20 | 1,20 |

Tabella 5: valori del coefficiente S

L'accelerazione massima (a_{max}) attesa sul sito in oggetto può essere determinata facendo riferimento all'accelerazione massima attesa su sito di riferimento rigido (a_g) ed al coefficiente S di amplificazione stratigrafica e topografica:

$$a_{max} = a_g \cdot S$$

| Categoria sottosuolo | a _{max} [m/s ²] (SLO) | a _{max} [m/s ²] (SLD) | a _{max} [m/s ²] (SLV) | a _{max} [m/s ²] (SLC) |
|----------------------|--|--|--|--|
| B | 0,243 | 0,302 | 0,576 | 0,676 |

Tabella 6: valori dell'accelerazione massima a_{max}

I valori relativi ai coefficienti sismici orizzontale e verticale, nel caso dell'SLD e dell'SLV, sono:

$$\text{SLD: } k_h = \beta_S \left(\frac{a_{max}}{g} \right) = 0,006 \quad \text{e} \quad k_v = \pm 0,5 \cdot k_h = 0,003$$

$$\text{SLV: } k_h = \beta_S \left(\frac{a_{max}}{g} \right) = 0,012 \quad \text{e} \quad k_v = \pm 0,5 \cdot k_h = 0,006$$

e dove:

k_h = coefficiente sismico orizzontale;

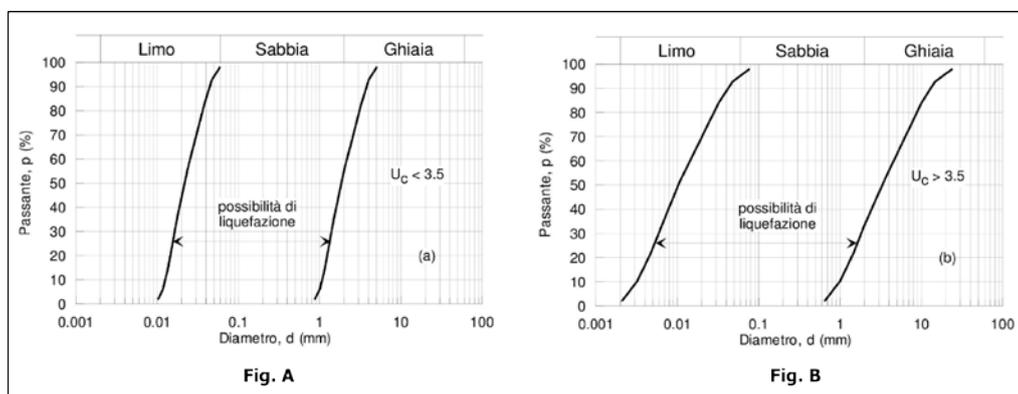
k_v = coefficiente sismico verticale;

β_S = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (0,20).

3.3 – Stabilità nei confronti della liquefazione

Secondo quanto indicato al cap. 7 (punto 7.11.3.4.2) del D.M. 17/01/18 (N.T.C.) la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti condizioni:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60} > 30$ oppure $q_{c1N} > 180$ dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate in Fig. A nel caso di terreni con coeff. di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Fig. B nel caso di terreni con coeff. di uniformità $U_c > 3,5$.



In relazione al § 7.11.3.4.2 delle NTC la verifica a liquefazione, nel caso in esame, può essere omessa in quanto viene soddisfatto il punto n. 1 precedentemente descritto.

4. CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA GENERALE E LOCALE

4.1 – Inquadramento geologico-morfologico generale

Il territorio comunale di Lombardore è posto in corrispondenza delle porzioni distali dell'ampio conoide generato dall'attività deposizionale del torrente Stura di Lanzo e dei suoi affluenti. Le successive e ripetute fasi di erosione e di risedimentazione dei depositi sciolti originatisi nel suo ampio bacino, hanno consentito alla Stura di Lanzo di trasportare e depositare, sino nei settori distali della pianura, grandi quantità di materiale detritico. La morfologia risultante si presenta da subpianeggiante a debolmente digradante verso ESE.

Il territorio comunale è pertanto costituito da depositi quaternari prevalentemente incoerenti; l'età di questi depositi risulta essere progressivamente più antica spostandosi dall'alveo attuale della Stura verso il corso dei torrenti Malone ed Orco. Si passa infatti da depositi attuali in corrispondenza dell'alveo, a depositi olocenici e pleistocenici superiori nel settore di S. Maurizio C.se, sino a depositi relativi al Pleistocene medio nella zona di Lombardore, posta su di un terrazzo rilevato di alcune decine di metri rispetto la pianura sottostante di San Benigno C.se, caratterizzato da depositi fluvioglaciali del Pleistocene superiore.

I depositi di conoide alluvionale risultano infine sovrapposti, con un contatto di natura erosionale, ai sottostanti depositi palustri e fluvio-lacustri appartenenti al complesso Villafranchiano che affiora, il limitati lembi alla base della scarpata di erosione del torrente Malone.

L'ambito territoriale in esame risulta pertanto impostato su di una sequenza di depositi quaternari e villafranchiani che va dai depositi del Pliocene superiore-Pleistocene inferiore (Villafranchiano s.l.) a quelli olocenici (*Figura 8*):

- *depositi alluvionali medio – recenti, recenti ed attuali* (Pleistocene superiore-Olocene): sono presenti in corrispondenza dell'alveo attuale dello Stura e della rete idrografica minore di pertinenza del torrente stesso. Si va dalle ghiaie e ghiaie sabbiose inalterate o poco alterate con locali intercalazioni sabbiose, coperte in modo generalizzato da una coltre di spessore decimetrico o metrico di sabbie e sabbie siltose inalterate, alle ghiaie e ghiaie sabbiose debolmente alterate;

- *depositi fluviali del Pleistocene superiore*: costituiti da ghiaie alterate e da ghiaie sabbiose debolmente alterate con clasti eterometrici, ricoperte in superficie da una coltre da decimetrica a metrica di limi sabbiosi. Dai dati di sottosuolo l'unità risulta essere costituita da un corpo sedimentario con spessore massimo di circa 20 m;
- *depositi fluviali del Pleistocene medio*: costituiscono i terrazzi superiori, sopraelevati rispetto al livello di base della pianura olocenica di 30-40 m. Questi depositi sono costituiti da ghiaia con sabbia e ricoperti in superficie da una coltre, potente fino ad alcuni metri, di loess argillificato e paleosuolo limoso – argilloso da rosso – bruno a giallo – arancio;
- *depositi Villafranchiani s.l.*: questi depositi, rilevabili, in limitati lembi, alla base della scarpata di erosione fluviale del torrente Malone, sono rappresentati da ghiaie e sabbie quarzose, frequentemente alternate con banchi di argille grigie, verdi e rossicce, e contenenti talora livelli di lignite.



Figura 8: ubicazione dell'area in esame (cerchio rosso) su stralcio della Carta geologica d'Italia 1:100.000, Foglio 56 Torino e relativa legenda dei litotipi interessati. Non in scala.

4.2 – Assetto geologico-morfologico locale

L'area in esame, posta in corrispondenza del settore centro-meridionale del territorio di Lombardore, si presenta da supianeggiante a debolmente digradante verso est. Questa superficie deposizionale è caratterizzata da deboli ondulazioni, appena percettibili, legate all'azione erosiva operata dalla rete idrografica secondaria che assume localmente un andamento circa da ovest verso est. I valloni e gli impluvi appaiono spesso sovradimensionati rispetto al corso d'acqua che ospitano attualmente ed al relativo bacino sotteso. Questo aspetto è collegato ai complessi fenomeni di rimodellamento del conoide che sono caratterizzati da migrazioni dell'alveo, erosioni rimontanti, diversioni a catture.

Il reticolo idrografico minore, costituito da canali e fossati, appare pertanto impostato in parte lungo linee di deflusso morfologicamente naturali ed in parte lungo direttrici collegate agli interventi di sistemazione agraria ed irrigua che si sono susseguiti nel corso dei secoli.

I depositi rilevati sono rappresentati da limi sabbioso-argillosi caratterizzati da una potenza di ordine plurimetrico, posti al tetto di depositi sabbiosi, sabbioso-ghiaiosi e ghiaioso-ciottolosi in matrice sabbioso-limosa in percentuali alquanto variabili.

La tessitura degli orizzonti più superficiali del terreno può causare stagionali ristagni idrici connessi al drenaggio ritardato.

4.3 – Assetto idrogeologico

La ricostruzione dell'assetto idrogeologico locale è stata effettuata analizzando i dati riportati nelle stratigrafie dei pozzi idropotabili presenti in territorio comunale di Lombardore e nei comuni limitrofi e da quanto indicato nella cartografia relativa alla "*Cartografia della base dell'acquifero superficiale – Regione Piemonte (Aggiornata con D.D. 229 del 6/07/2016)*".

L'esame di tale documentazione ha permesso di definire un assetto idrogeologico caratterizzato dalla sovrapposizione di due complessi idrogeologici:

- *Complesso superficiale*: complesso formato dai depositi fluviali olocenici e dai depositi fluviali del Pleistocene medio-superiore, sede di una falda a superficie libera e caratterizzato da elevata vulnerabilità rispetto ai fenomeni di inquinamento provenienti dalla superficie, tranne per quanto riguarda i settori caratterizzati dalla presenza, in superficie, del paleosuolo limoso-

argilloso. Tramite la consultazione della cartografia relativa alla *Cartografia della base dell'acquifero superficiale – Regione Piemonte*, è stato possibile ricostruire, a livello locale, la direzione di flusso ed il gradiente idraulico della falda superficiale (*Figura 9*). Dalla carta isopiezometrica è possibile osservare la presenza di una direzione di deflusso sotterraneo da SW verso NE, con un gradiente idraulico di circa 0,02 (m/m). L'andamento della falda superficiale risulta essere in stretta correlazione con l'andamento della superficie topografica ed è fortemente condizionata dalla presenza della scarpata di erosione fluviale del torrente Malone. La soggiacenza della falda superficiale presenta un valore medio stagionale compreso tra i 30 m dei settori di intervento posti più ad ovest, ed i 20 m delle aree poste più ad est in prossimità della S.P. n. 460. In fase di realizzazione delle prove geognostiche in sito, in data 29/05/2020, non è stata inoltre riscontrata la presenza di una possibile falda sospesa.

- *Complesso Villafranchiano*: corrisponde alla frequenza dei sedimenti del Villafranchiano dove la presenza di intercalazioni limoso-argillose determina locali confinamenti della falda idrica contenuta negli orizzonti sabbioso-ghiaiosi. Ne deriva un sistema multi falde di tipo confinato o semiconfinato nel quale i diversi orizzonti acquiferi sono in contatto tra loro formando un unico e potente acquifero. Il valore del coefficiente di permeabilità è medio-elevato in corrispondenza dei depositi grossolani, basso nei livelli fini.

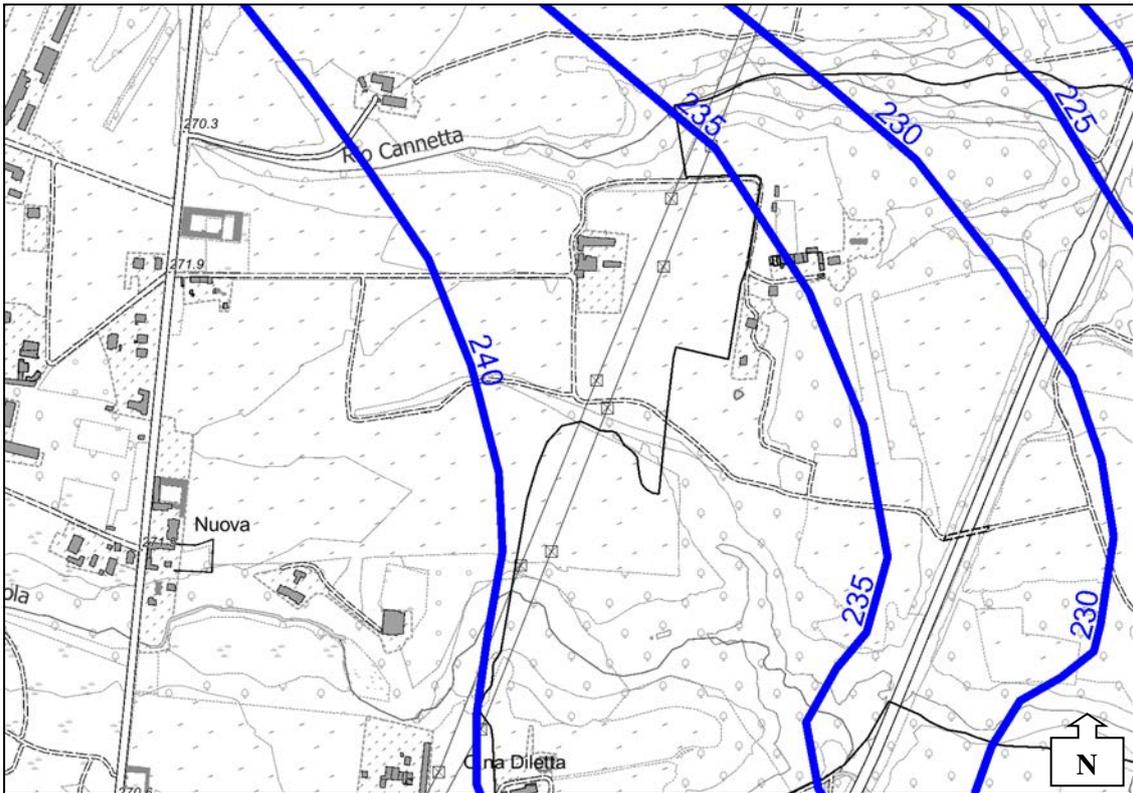


Figura 9: ubicazione del settore territoriale in esame su della cartografia BDTRE con rappresentazione delle isopieze (da Cartografia della base dell'acquifero superficiale - Regione Piemonte). Scala 1:10.000.

5. INDAGINI IN SITO E MODELLO LITOSTRATIGRAFICO

5.1 – Indagini in sito

Il modello litostratigrafico e la caratterizzazione geotecnica del volume di terreno significativo sono stati ricavati tramite:

- l’analisi dei dati ottenuti dalla consultazione degli elaborati geologici relativi ai P.R.G.C. dei comuni di Lombardore e di San Benigno C.se;
- analisi dei dati geologici presenti nella Banca Dati Geologica dell’Arpa Piemonte, in particolare nella Banca Dati Geotecnica;
- l’esame delle risultanze di n. 2 prove penetrometriche dinamiche di tipo “DPSH TG 63-100 EML.C (ISSMFE-Emilia)” e di n. 2 pozzetti geognostici eseguiti in data 29/05/2020 (*Figure da 10 a 16, Foto da 1 a 4*);
- il riferimento a dati noti nella letteratura tecnica di settore e validi per litotipi aventi caratteristiche analoghe.

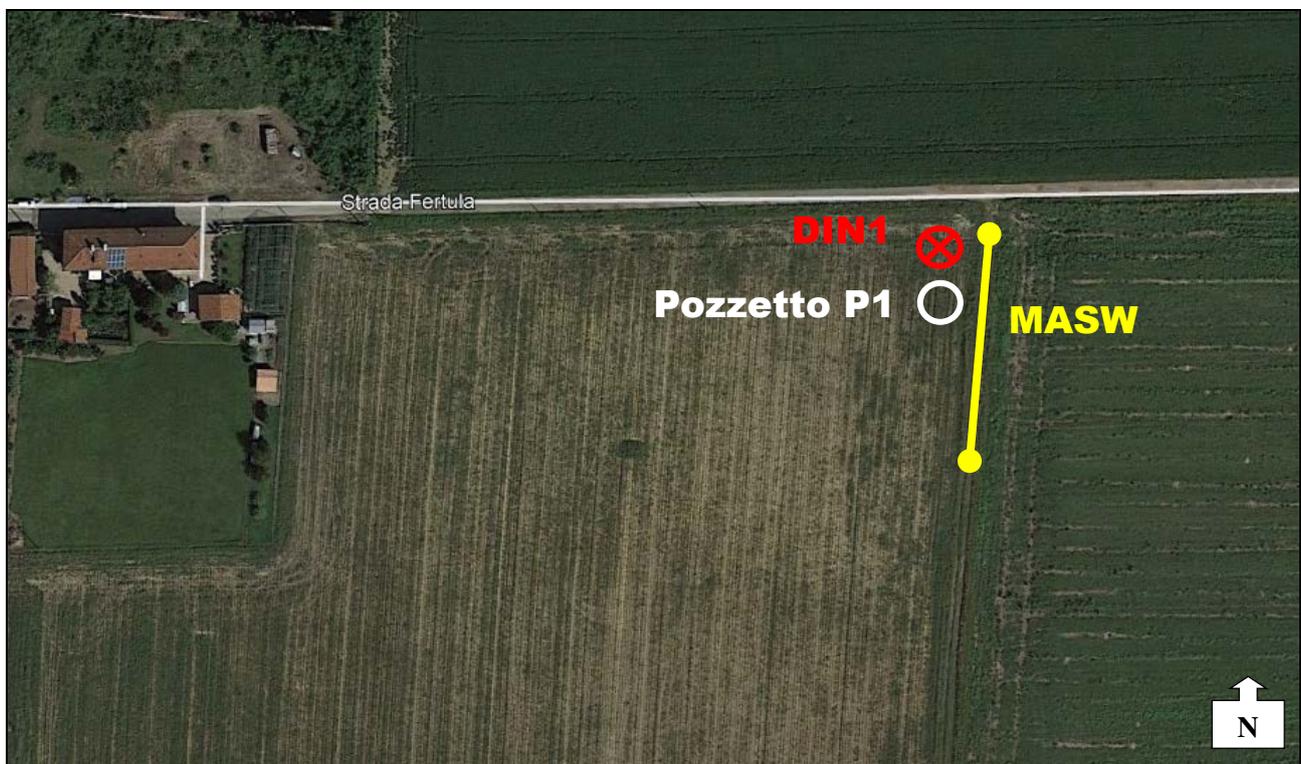


Figura 10: ubicazione della prova penetrometrica DIN1 e del pozzetto P1 e dello stendimento MASW su immagine satellitare. Non in scala.



Figura 11: ubicazione della prova penetrometrica DIN2 e del pozzetto P2 su immagine satellitare. Non in scala.



Foto 1: fase di realizzazione della prova penetrometrica DIN1.



Foto 2: fase di realizzazione del pozzetto geognostico P1 (a sinistra) e materiale estratto (a destra).



Foto 3: fase di realizzazione della prova penetrometrica DIN2.



Foto 4: fase di realizzazione del pozzetto geognostico P2 (a sinistra) e materiale estratto (a destra).

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : TG 63-100 EML.C

| Classificazione ISSMFE (1988) dei penetrometri dinamici | | |
|---|--------------------|-------------------------------|
| TIPO | Sigla Certificato | Peso Massa Battente M (kg) |
| Leggero | DPL (Light) | $M \leq 10$ |
| Medio | DPM (Medium) | $10 < M < 40$ |
| Pesante | DPH (Heavy) | $40 \leq M < 60$ |
| Super pesante | DPSH (Super Heavy) | $M \geq 60$ |

CARATTERISTICHE TECNICHE : TG 63-100 EML.C

| | |
|-------------------------------------|--|
| PESO MASSA BATTENTE | M = 63.50 kg |
| ALTEZZA CADUTA LIBERA | H = 0.75 m |
| PESO SISTEMA BATTUTA | Ms = 0.63 kg |
| DIAMETRO PUNTA CONICA | D = 51.00 mm |
| AREA BASE PUNTA CONICA | A = 20.43 cm ² |
| ANGOLO APERTURA PUNTA | $\alpha = 60^\circ$ |
| LUNGHEZZA DELLE ASTE | La = 1.00 m |
| PESO ASTE PER METRO | Ma = 6.31 kg |
| PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA | P1 = 0.40 m |
| AVANZAMENTO PUNTA | $\delta = 0.20$ m |
| NUMERO DI COLPI PUNTA | N = N(20) \Rightarrow Relativo ad un avanzamento di 20 cm |
| RIVESTIMENTO / FANGHI | NO |
| ENERGIA SPECIFICA x COLPO | Q = (MH)/(A δ) = 11.66 kg/cm ² (prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm ²) |
| COEFF.TEORICO DI ENERGIA | $\beta_t = Q/Q_{spt} = 1.489$ (teoricamente : Nspt = β_t N) |

Valutazione resistenza dinamica alla punta Rpd [funzione del numero di colpi N] (FORMULA OLANDESE) :

$$R_{pd} = M^2 H / [A e (M+P)] = M^2 H N / [A \delta (M+P)]$$

Rpd = resistenza dinamica punta [area A]
e = infissione per colpo = δ / N

M = peso massa battente (altezza caduta H)
P = peso totale aste e sistema battuta

UNITA' di MISURA (conversioni)

| |
|---|
| 1 kg/cm ² = 0.098067 MPa \approx 0,1 MPa |
| 1 MPa = 1 MN/m ² = 10.197 kg/cm ² |
| 1 bar = 1.0197 kg/cm ² = 0.1 MPa |
| 1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg |

Figura 12: caratteristiche del penetrometro utilizzato per le prove in sito.

| PROVA PENETROMETRICA DINAMICA | | | | DIN 1 | | | |
|-------------------------------|------------|----------------------------------|------|------------------|------------|--------------------------|------|
| TABELLE VALORI DI RESISTENZA | | | | | | | |
| - cantiere : | | | | - data prova : | | 29/05/2020 | |
| - lavoro : | | Dott. Geol. Stefano Tuberga | | - quota inizio : | | p.c. | |
| - località : | | Lombardore(TO) | | - prof. falda : | | Falda non rilevata | |
| | | | | - data emiss. : | | 01/06/2020 | |
| - note : | | Int. Litologica Geol. S. Tuberga | | | | | |
| Prof.(m) | N(colpi p) | Rpd(kg/cm ²) | asta | Prof.(m) | N(colpi p) | Rpd(kg/cm ²) | asta |
| 0.00 - 0.20 | 7 | 73.6 | 1 | 2.20 - 2.40 | 6 | 53.5 | 3 |
| 0.20 - 0.40 | 3 | 31.5 | 1 | 2.40 - 2.60 | 8 | 66.3 | 4 |
| 0.40 - 0.60 | 3 | 28.9 | 2 | 2.60 - 2.80 | 6 | 49.7 | 4 |
| 0.60 - 0.80 | 3 | 28.9 | 2 | 2.80 - 3.00 | 6 | 49.7 | 4 |
| 0.80 - 1.00 | 4 | 38.6 | 2 | 3.00 - 3.20 | 5 | 41.4 | 4 |
| 1.00 - 1.20 | 9 | 86.8 | 2 | 3.20 - 3.40 | 6 | 49.7 | 4 |
| 1.20 - 1.40 | 10 | 96.4 | 2 | 3.40 - 3.60 | 10 | 77.4 | 5 |
| 1.40 - 1.60 | 4 | 35.6 | 3 | 3.60 - 3.80 | 13 | 100.6 | 5 |
| 1.60 - 1.80 | 3 | 26.7 | 3 | 3.80 - 4.00 | 15 | 116.0 | 5 |
| 1.80 - 2.00 | 3 | 26.7 | 3 | 4.00 - 4.20 | 28 | 216.6 | 5 |
| 2.00 - 2.20 | 4 | 35.6 | 3 | 4.20 - 4.40 | 32 | 247.5 | 5 |

Figura 13: dati relativi alla prova penetrometrica dinamica continua DIN1.

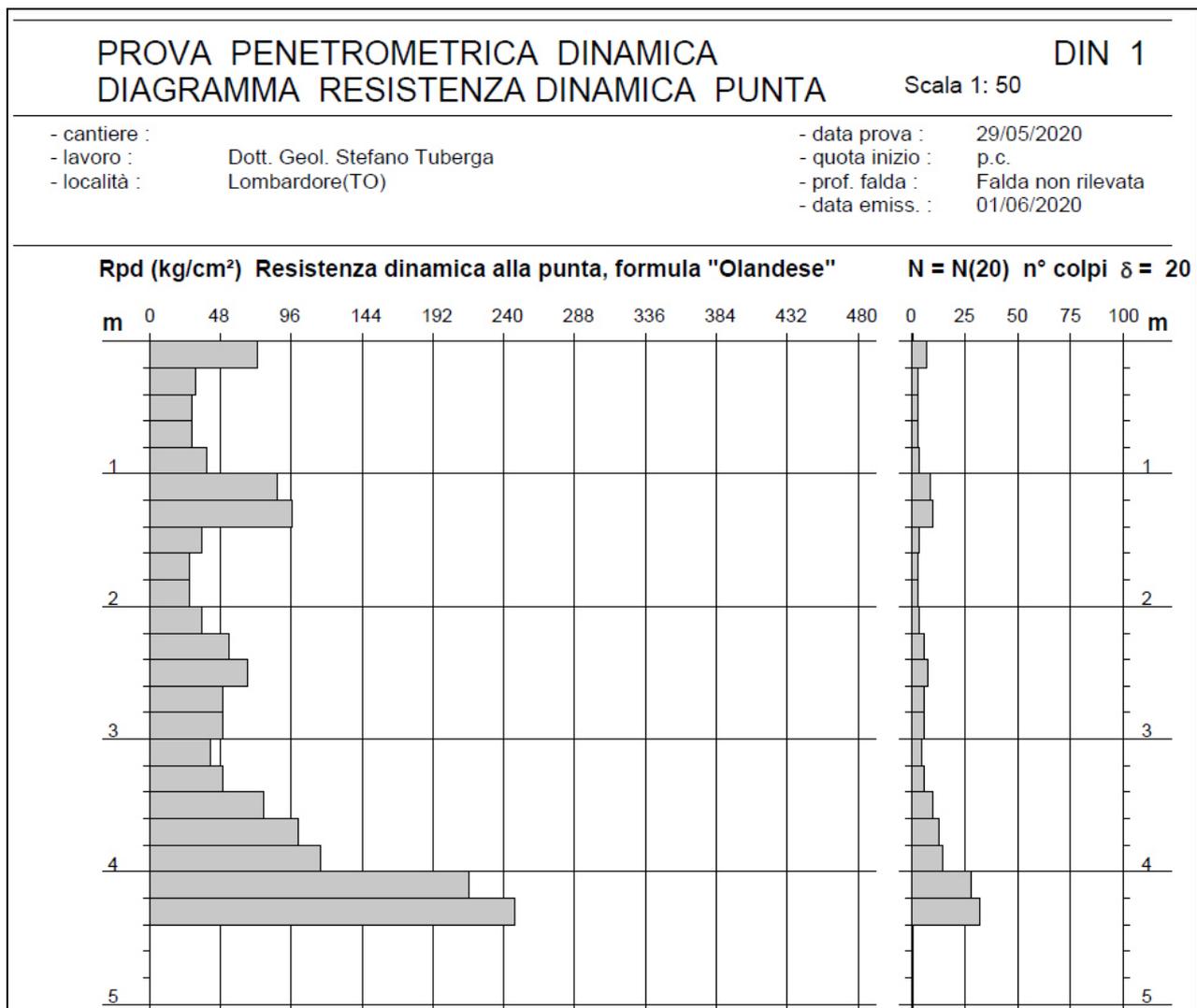


Figura 14: rappresentazione grafica delle risultanze della prova penetrometrica dinamica continua DIN1.

| PROVA PENETROMETRICA DINAMICA | | | | DIN 2 | | | |
|-------------------------------|------------|----------------------------------|------|------------------|------------|--------------------------|------|
| TABELLE VALORI DI RESISTENZA | | | | | | | |
| - cantiere : | | | | - data prova : | | 29/05/2020 | |
| - lavoro : | | Dott. Geol. Stefano Tuberga | | - quota inizio : | | p.c. | |
| - località : | | Lombardore(TO) | | - prof. falda : | | Falda non rilevata | |
| - note : | | Int. Litologica Geol. S. Tuberga | | - data emiss. : | | 01/06/2020 | |
| Prof.(m) | N(colpi p) | Rpd(kg/cm ²) | asta | Prof.(m) | N(colpi p) | Rpd(kg/cm ²) | asta |
| 0.00 - 0.20 | 6 | 63.0 | 1 | 2.40 - 2.60 | 3 | 24.8 | 4 |
| 0.20 - 0.40 | 3 | 31.5 | 1 | 2.60 - 2.80 | 3 | 24.8 | 4 |
| 0.40 - 0.60 | 3 | 28.9 | 2 | 2.80 - 3.00 | 4 | 33.1 | 4 |
| 0.60 - 0.80 | 4 | 38.6 | 2 | 3.00 - 3.20 | 4 | 33.1 | 4 |
| 0.80 - 1.00 | 5 | 48.2 | 2 | 3.20 - 3.40 | 5 | 41.4 | 4 |
| 1.00 - 1.20 | 4 | 38.6 | 2 | 3.40 - 3.60 | 5 | 38.7 | 5 |
| 1.20 - 1.40 | 3 | 28.9 | 2 | 3.60 - 3.80 | 7 | 54.1 | 5 |
| 1.40 - 1.60 | 3 | 26.7 | 3 | 3.80 - 4.00 | 8 | 61.9 | 5 |
| 1.60 - 1.80 | 5 | 44.6 | 3 | 4.00 - 4.20 | 12 | 92.8 | 5 |
| 1.80 - 2.00 | 5 | 44.6 | 3 | 4.20 - 4.40 | 20 | 154.7 | 5 |
| 2.00 - 2.20 | 3 | 26.7 | 3 | 4.40 - 4.60 | 24 | 174.2 | 6 |
| 2.20 - 2.40 | 3 | 26.7 | 3 | | | | |

Figura 15: dati relativi alla prova penetrometrica dinamica continua DIN2.

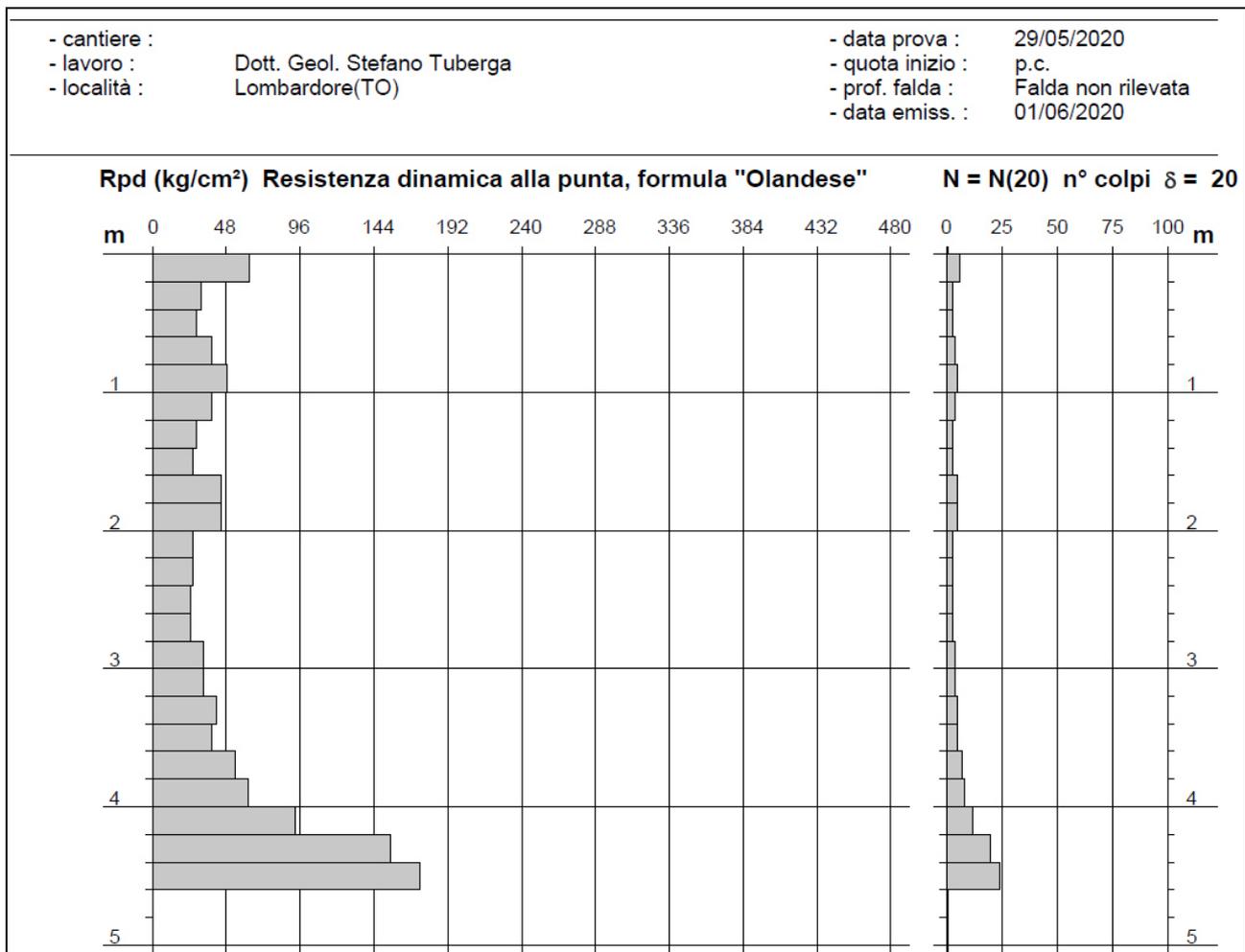


Figura 16: rappresentazione grafica delle risultanze della prova penetrometrica dinamica continua DIN2.

Le prove penetrometriche dinamiche continue sono state realizzate utilizzando un penetrometro superpesante “TG 63-100” della Pagani Geotechnical S.r.l.. Nelle prove DPSH eseguite con il penetrometro superpesante, il dato acquisito è rappresentato dall’indice N_{20} , numero di colpi inferti da una massa battente pesante 63,50 kg e con altezza di caduta di 75 cm per infiggere di 20 cm una punta conica portata all’estremità di un’asta metallica. Il valore di N_{20} è funzione delle caratteristiche e del tipo di terreno e riflette essenzialmente il suo grado di addensamento. Il valore N_{20} può essere correlato alle prove tipo SPT (Standard Penetration Test) tramite una serie di correzioni e note correlazioni proposte in letteratura. Attraverso tali correlazioni e con riferimento al parametro N_{SPT} normalizzato che ne deriva, è possibile ottenere una stima del valore dei parametri geotecnici fondamentali del terreno.

Le prove si sono potute svolgere con regolarità ed hanno raggiunto profondità tra loro confrontabili in quanto hanno fornito un rifiuto alla penetrazione a profondità dell’ordine di 4,50 m dal p.c., per la presenza dei depositi ghiaiosi con ciottoli rilevabili a partire da tali quote nei due punti di prova. In superficie è stato invece rilevato un orizzonte di alcuni decimetri costituito da terreno agrario a composizione limoso-argillosa, seguito da limi sabbioso-argillosi fino ad una profondità massima di 3,60 m da p.c., ed infine da sabbie e ghiaie e ghiaie sabbiose con ciottoli.

Tabelle da 7 a 9 e Tavole 1 e 2 in allegato.

Viene di seguito riportata la successione stratigrafica derivante dalle risultanze delle due prove penetrometriche effettuate e la successione stratigrafica di riferimento che è stata adottata per le determinazioni geotecniche:

| <i>Campo fotovoltaico → Stratigrafia in corrispondenza della prova DIN1 (Coordinate WGS/84: 45,226412; 7,734631)</i> | | |
|--|--------------|---|
| <i>Da [m]</i> | <i>A [m]</i> | <i>Descrizione litostratigrafica</i> |
| 0,00 | 0,40 | Terreno agrario e limo sabbioso-argilloso. <i>Unità litologica A.</i> |
| 0,40 | 3,40 | Limo sabbioso-argilloso con locali passate ghiaiose. <i>Unità litologica B.</i> |
| 3,40 | 4,00 | Ghiaia sabbiosa. <i>Unità litologica C.</i> |
| 4,00 | 4,40 | Ghiaia sabbiosa con ciottoli. <i>Unità litologica D.</i> |

Tabella 7: assetto litostratigrafico in corrispondenza della verticale di indagine DIN1.

| <i>Campo fotovoltaico</i> → Stratigrafia in corrispondenza della prova DIN2 (Coordinate WGS/84: 45,223883; 7,742529) | | |
|---|--------------|---|
| <i>Da [m]</i> | <i>A [m]</i> | <i>Descrizione litostratigrafica</i> |
| 0,00 | 0,40 | Terreno agrario e limo sabbioso-argilloso. <i>Unità litologica A.</i> |
| 0,40 | 3,60 | Limo sabbioso-argilloso. <i>Unità litologica B1.</i> |
| 3,60 | 4,20 | Sabbia ghiaiosa. <i>Unità litologica C1.</i> |
| 4,20 | 4,60 | Ghiaia sabbiosa con ciottoli. <i>Unità litologica D.</i> |

Tabella 8: assetto litostratigrafico in corrispondenza della verticale di indagine DIN2.

| <i>Campo fotovoltaico</i> → Stratigrafia di riferimento | | |
|---|--------------|---|
| <i>Da [m]</i> | <i>A [m]</i> | <i>Descrizione litostratigrafica</i> |
| 0,00 | 3,60 | Limo sabbioso-argilloso con locali passate ghiaiose. <i>Unità litologiche A+B+B1.</i> |
| 3,60 | 4,20 | Sabbia ghiaiosa e ghiaia sabbiosa. <i>Unità litologiche C+C1.</i> |
| 4,20 | 4,60 | Ghiaia sabbiosa con ciottoli. <i>Unità litologica D.</i> |

Tabella 9: assetto litostratigrafico locale di riferimento.

La composizione granulometrica di massima dei depositi sopra indicati risulta essere:

- *Unità litologiche A+B+B1:*

| <i>Limo sabbioso-argilloso con locali passate ghiaiose</i> | |
|--|--------|
| ciottoli (300 mm < Ø > 75 mm) | 0,0 % |
| ghiaia (75 mm < Ø > 2 mm) | 15,0 % |
| sabbia (2 mm < Ø > 0,075 mm) | 25,0 % |
| limo e argilla (Ø < 0,075 mm) | 60,0 % |

Tabella 10.

- Unità litologiche C+C1:

| <i>Sabbia ghiaiosa e ghiaia sabbiosa</i> | |
|--|--------|
| ciottoli (300 mm < Ø > 75 mm) | 0,0 % |
| ghiaia (75 mm < Ø > 2 mm) | 45,0 % |
| sabbia (2 mm < Ø > 0,075 mm) | 50,0 % |
| limo e argilla (Ø < 0,075 mm) | 5,0 % |

Tabella 11.

- Unità litologica D:

| <i>Ghiaia sabbiosa con ciottoli</i> | |
|-------------------------------------|--------|
| ciottoli (300 mm < Ø > 75 mm) | 30,0 % |
| ghiaia (75 mm < Ø > 2 mm) | 45,0 % |
| sabbia (2 mm < Ø > 0,075 mm) | 20,0 % |
| limo e argilla (Ø < 0,075 mm) | 5,0 % |

Tabella 12.

5.2 – Modello litotecnico

Sulla base dell’assetto litostratigrafico locale e delle risultanze delle prove penetrometriche dinamiche è stato possibile definire la relativa successione litotecnica.

| Profondità m | <i>Modello litotecnico</i> | <i>N₂₀ medio</i> |
|--------------|--|---------------------------------|
| 0,00÷3,60 | Limo sabbioso-argilloso con locali passate ghiaiose. | 4 |
| 3,60÷4,20 | Sabbia ghiaiosa e ghiaia sabbiosa. | 10 |
| 4,20÷4,60 | Ghiaia sabbiosa con ciottoli. | 25 |

Tabella 13: modello litotecnico di riferimento.

| Profondità (m da p.c.) | Unità litotecniche |
|-------------------------------|---|
| 0,00÷3,60 | Unità litotecnica A (Limo sabbioso-argilloso con locali passate ghiaiose) |
| 3,60÷4,20 | Unità litotecnica B (Sabbia ghiaiosa e ghiaia sabbiosa) |
| 4,20÷4,60 | Unità litotecnica C (Ghiaia sabbiosa con ciottoli) |

Tabella 14: modello litotecnico di riferimento dei siti di intervento.

Le prove penetrometriche ed i pozzetti geognostici realizzati non hanno rilevato la presenza di una falda sospesa o di infiltrazioni localizzate alle profondità raggiunte.

6. MODELLO GEOTECNICO E PARAMETRI FISICO-MECCANICI

Sulla scorta delle indagini svolte e dei dati acquisiti, è possibile definire il modello geotecnico e caratterizzare i terreni rilevati da un punto di vista geomeccanico. Gli studi effettuati da *Ghionna e Robertson (1987)* e *Lunne (1997)* hanno evidenziato che tramite prove di tipo DPSH si ha una discreta attendibilità per quanto attiene la determinazione dei parametri relativi alla densità relativa ed all'angolo di resistenza al taglio ed una limitata attendibilità nei riguardi della coesione non drenata e del modulo di deformazione. Alcuni dei parametri calcolati sono stati pertanto determinati tenendo conto delle considerazioni sopra indicate, introducendo le dovute valutazioni cautelative.

Come descritto al capitolo 5, i parametri geotecnici sono stati calcolati prendendo in considerazione le risultanze delle prove DPSH realizzate in corrispondenza delle aree di intervento. Ai fini della caratterizzazione geotecnica, sono stati analizzati i dati riguardanti l'intervallo di profondità compreso tra 0,0 m e 4,6 m dal p.c..

I valori di resistenza alla penetrazione dinamica N_{DP} sono stati correlati con il relativo valore di N_{SPT} ed infine "normalizzati" in funzione della profondità. Le relazioni adottate sono le seguenti:

- *LaCroix e Horn (1973) e Gaba et al. (2004)*:

$$N_{SPT} = \left(\frac{W \cdot H}{6,2 \cdot D^2 \cdot L} \right) \cdot N = 1,49$$

dove

N_{SPT} = numero di colpi della prova penetrometrica standard;

W = peso del maglio;

H = altezza di caduta;

D = diametro del cono;

L = penetrazione standard;

N = numero di colpi della prova DP.

- Skempton (1986):

$$N_{60} = N_{SPT} \cdot C_E \cdot C_B \cdot C_R$$

dove

C_E = rapporto energetico, in funzione delle caratteristiche dell’attrezzatura (1,22);

C_B = fattore di correzione in funzione del diametro del foro (1,0);

C_R = fattore di correzione in funzione della lunghezza delle aste (variabile).

Il valore di N_{60} così ottenuto è stato infine normalizzato tenendo conto della pressione litostatica efficace agente alla profondità indagata (*Liao & Whitman, 1986*):

$$N_{1(60)} = N_{60} \cdot C_N$$

e

$$C_N = \sqrt{\frac{98,1}{\sigma'_v}}$$

dove

C_N = fattore di correzione in funzione della profondità di prova;

σ'_v = tensione litostatica efficace.

| Unità litotecniche | N_{DP} | N_{SPT} | N_{60} | $N_{1(60)}$ |
|---------------------|----------|-----------|----------|-------------|
| Unità A (0,00÷3,60) | 4 | 6 | 5 | 7 |
| Unità B (3,60÷4,20) | 10 | 15 | 15 | 18 |
| Unità C (4,20÷4,60) | 25 | 37 | 38 | 45 |

Tabella 15: tabella relativa ai valori N_{DP} rilevati ed a quelli corretti.

Il dato di densità relativa è stato ricavato dalla relazione proposta da *Terzaghi & Peck (1967)*:

$$D_R = 100 \sqrt{\frac{N_{1(60)}}{60}}$$

L’angolo di resistenza al taglio efficace dei depositi indagati è stato valutato attraverso la relazione di *Hatanaka & Uchida (1996)*:

$$\phi' = 20 + \sqrt{15,4 \cdot N_{1(60)}} \quad (^\circ)$$

Il valore relativo al modulo di deformazione E_S è stato anch'esso ricavato dalle prove di tipo DPSH, facendo riferimento alla correlazione di *AASHTO (1996)*:

$$E_S = 1,0 \cdot N_{1(60)} \quad (\text{MPa})$$

I valori medi ed i valori caratteristici dei parametri fisico-meccanici sono riportati nelle tabelle che seguono. Per valore caratteristico X_k , secondo l'Eurocodice 7, si intende quel valore al quale è associata una prefissata probabilità di non superamento. Sempre l'Eurocodice 7 fissa, per i parametri di resistenza al taglio (ϕ' e c'), una probabilità di non superamento del 5%.

Il § C6.2.2.4 della Circolare del C.S.L.L.P.P. 21/01/2019 n. 7 suggerisce come tali valori debbano essere scelti. In particolare:

"Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, con possibile compensazione delle eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti. Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso 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 prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici può essere dettata anche solo dalle caratteristiche dei terreni; basti pensare, ad esempio, all'effetto delle discontinuità sul valore operativo della resistenza non drenata. Una migliore approssimazione nella valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune medie dei valori dei parametri geotecnici nell'ambito di piccoli volumi di terreno, quando questi assumano importanza per lo stato limite considerato. È questo il caso, ad esempio, delle verifiche SLU dei pali in condizioni non drenate, in

termini di tensioni totali, nelle quali per la determinazione del contributo di resistenza alla punta è appropriata la valutazione del valore caratteristico della resistenza non drenata mediante una media locale effettuata nel volume di terreno interessato dal meccanismo di collasso indotto dalla punta stessa...”.

I valori caratteristici dei parametri geotecnici, considerando un elevato volume di terreno (potenziale superficie di rottura grande), sono stati ricavati in base a quanto segue:

- al parametro relativo all’angolo di resistenza al taglio è stato assegnato un coefficiente di variazione ricavato dalla letteratura tecnica (COV=7%);
- è stato infine applicato il metodo statistico in presenza di un solo dato e varianza nota.

La relazione adottata è la seguente:

$$X_k = \bar{X} - 1,645 \left(\frac{\alpha}{\sqrt{n}} \right)$$

dove:

- X_k = valore caratteristico;
 \bar{X} = valore medio (ignoto) della popolazione, ipotizzato essere uguale al valore medio del campione;
 α = deviazione standard della popolazione;
 n = numerosità del campione;
 μ = media della popolazione.

| Parametri (valori medi) | Unità lit. A | Unità lit. B | Unità lit. C |
|------------------------------------|--|---------------------------------|--------------------------------------|
| Peso di volume | 17 kN/m ³ | 18 kN/m ³ | 19 kN/m ³ |
| Peso di volume saturo | 20 kN/m ³ | 21 kN/m ³ | 21 kN/m ³ |
| Densità relativa (%) | 34 (da poco a mediamente addensata) | 55 (mediamente addensata) | 82 (addensata/molto addensata) |
| Coesione | non calcolata | non calcolata | non calcolata |
| Angolo di attrito efficace | 30° | 36° | 40° |
| Modulo di deformazione | 6,0 Mpa | 18,0 Mpa | 40,0 Mpa |
| Coefficiente di Poisson | 0,33 | 0,30 | 0,25 |

Tabella 16: valori medi dei parametri geotecnici.

| Parametri (valori caratteristici) | Unità lit. A | Unità lit. B | Unità lit. C |
|--|----------------------|----------------------|----------------------|
| | (0,00÷3,60) | (3,60÷4,20) | (4,20÷4,60) |
| Peso di volume | 17 kN/m ³ | 18 kN/m ³ | 19 kN/m ³ |
| Coesione | non calcolata | non calcolata | non calcolata |
| Angolo di attrito | 26° | 32° | 35° |

Tabella 17: valori caratteristici dei parametri geotecnici.

7. CONCLUSIONI

La presente relazione tecnica fornisce le risultanze della caratterizzazione e modellazione geologica e geotecnica e della risposta sismica locale di alcuni siti tra loro limitrofi, in Comune di Lombardore ed in Comune di San Benigno C.se, interessati dal progetto di realizzazione di un nuovo campo fotovoltaico.

In relazione ai dati pregressi consultati per la stesura della relazione tecnica ed alle indagini eseguite in sito, è possibile rilevare come le nuove opere in progetto ricadano in aree di P.R.G.C. classificate in Classe II di pericolosità geomorfologica e di idoneità all'utilizzazione urbanistica. Gli interventi in progetto risultano compatibili con i vincoli di carattere geologico definiti per le aree e con gli assetti urbanistico e territoriale vigenti, non contrastando pertanto con quanto indicato dalla normativa di settore.

Per quanto riguarda la definizione del modello geologico locale, sulla base dei dati acquisiti dalle indagini condotte, è possibile porre in evidenza quanto segue:

- la categoria di sottosuolo appartiene al tipo B;
- le caratteristiche litostratigrafiche delle aree indagate evidenziano la presenza di un livello di circa 3,6 m costituito da limo sabbioso-argilloso con locali passate ghiaiose. Segue un orizzonte di alcuni decimetri di sabbia ghiaiosa e di ghiaia sabbiosa. Infine, fino ad almeno una profondità di 4,6 metri dal p.c., si rilevano ghiaie sabbiose con ciottoli, da addensate a molto addensate;
- in seguito alle indagini eseguite in situ non è stata rilevata la presenza della falda freatica o di falde sospese.

Con riferimento alla normativa in vigore (D.M. 17/01/2018) si specifica quanto segue:

- in merito all'apertura dei fronti di scavo, funzionali alla realizzazione di opere in sotterraneo, si ribadisce che, ai sensi del punto 6.8.6.2 delle NTC, per scavi in trincea a fronte verticale di altezza superiore ai 2 metri, nei quali sia prevista la permanenza di personale, e per scavi che ricadano in prossimità di manufatti esistenti, deve essere prevista una struttura di sostegno delle pareti di scavo. In prossimità del bordo di scavo

non dovranno essere posizionate attrezzature né accumulati materiali (compreso il terreno rimosso), neppure temporaneamente e si dovrà evitare la circolazione e la sosta dei mezzi d'opera e del personale addetto alla costruzione non direttamente impegnati nella realizzazione degli scavi;

- in corso d'opera dovrà essere verificata la rispondenza fra il modello geologico di riferimento, assunto in questa fase progettuale, e la situazione effettiva (desumibile dai lavori di posa delle strutture di fondazione previste).

Si conferma infine la fattibilità geologico-tecnica degli interventi in progetto, nel rispetto delle indicazioni contenute nella presente relazione.

La Cassa, 20 luglio 2020

Il geologo
dott. Stefano Tuberga

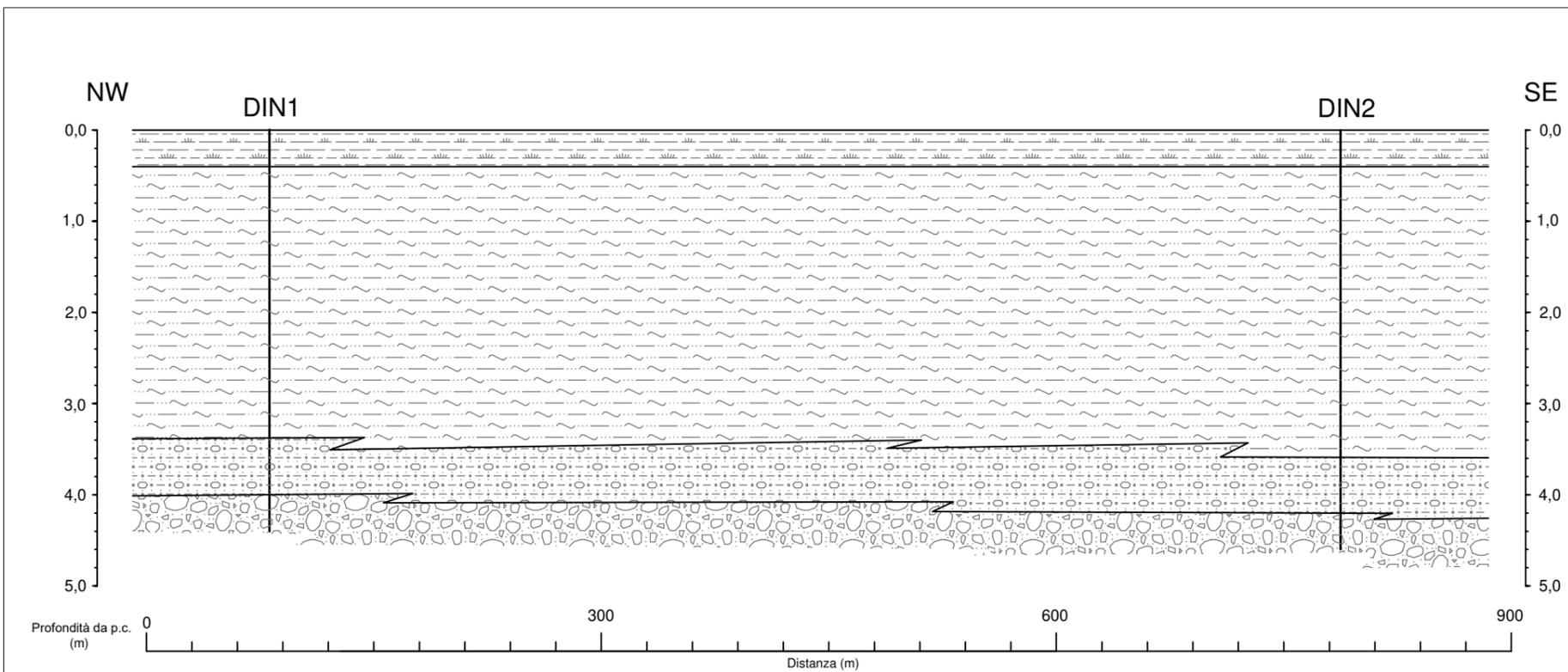


A L L E G A T I

**SEZIONE
LITOSTRATIGRAFICA E
LITOTECNICA**

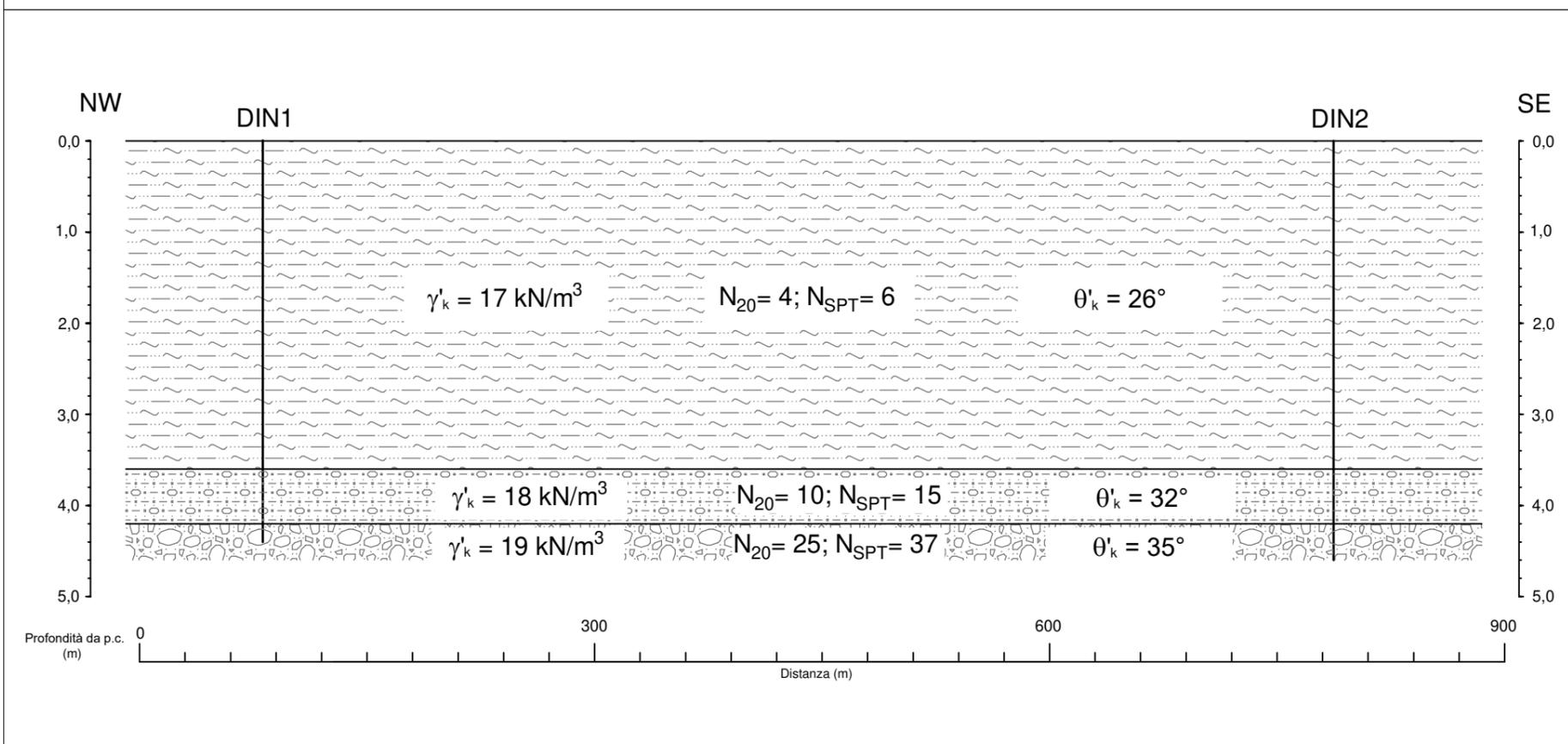


Tavola 1
UBICAZIONE PROVE
(scala grafica)



LEGENDA SEZIONE LITOLOGICA

- Terreno agrario e limo sabbioso-argilloso.
- Limo sabbioso-argilloso e locali passate ghiaiose.
- Sabbia ghiaiosa e ghiaia sabbiosa.
- Ghiaia sabbiosa con ciottoli.



LEGENDA SEZIONE LITOTECNICA

- Limo sabbioso-argilloso con locali passate ghiaiose.
- Sabbia ghiaiosa e ghiaia sabbiosa.
- Ghiaia sabbiosa con ciottoli.

Tavola 2
 SEZIONE LITOLOGICA E
 SEZIONE LITOTECNICA
 (scala grafica)

**CERTIFICATO PROSPEZIONE
SISMICA MASW**



COMUNI DI
LOMBARDORE e SAN BENIGNO C.SE
Città Metropolitana di Torino

IMPIANTI FOTOVOLTAICI
“LOMBARDORE 1”-“LOMBARDORE 2”-“SAN BENIGNO 1”
Strada Fertula

CERTIFICATO PROSPEZIONE SISMICA MASW

(D.M. 17 Gennaio 2018)

| Rev. | Data | Redazione | Verifica | Autorizzazione | Modifica |
|------|-------------|------------|----------|----------------|----------|
| 0 | Luglio 2020 | Tuberga S. | | | |

Committente:

Ecopiedmont 1 s.r.l.
Via Alessandro Manzoni, 30
20121 Milano

Professionista incaricato:

Dott. Geol. Stefano TUBERGA
Via Edoardo Giordanino n. 4
10040, La Cassa (TO)
Tel/Fax 011.9842043
geo.sgt@tiscali.it



Riservato all'Ente:

Archivio file:

Certificato prospezione sismica MASW.doc

Elaborato:

MASW.01

Scala:

INDICE

| | |
|---------------------------------------|-----------|
| 1. PREMESSA | 3 |
| 2. INDAGINE SISMISCA MASW..... | 4 |
| 3. DATI GENERALI E TRACCE..... | 6 |
| 4. ANALISI SPETTRALE | 7 |
| 5. CURVA DI DISPERSIONE..... | 8 |
| 6. INVERSIONE | 9 |
| 7. RISULTATI | 11 |

1. PREMESSA

Nell’ambito del progetto di realizzazione di un nuovo campo fotovoltaico, in territorio comunale di Lombardore e di San Benigno C.se, in data 29/05/2020 è stata eseguita un’indagine sismica MASW per determinare la tipologia di sottosuolo presente nelle aree di interesse (Figura 1).

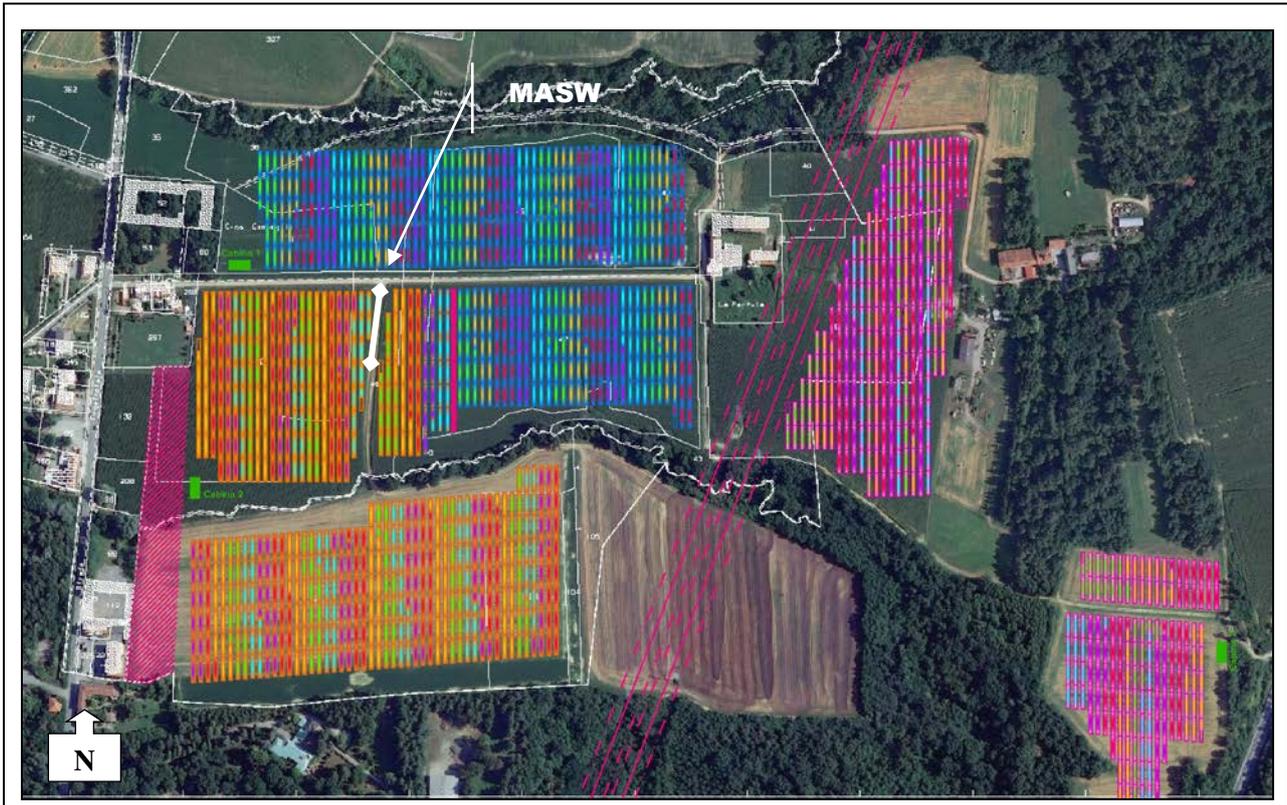


Figura 1: ubicazione dell’indagine sismica effettuata (linea bianca), su stralcio di elaborato di progetto. Non in scala.

2. INDAGINE SISMISCA MASW

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc..

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P**-Longitudinale: onda profonda di compressione;
- **S**-Trasversale: onda profonda di taglio;
- **L**-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R**-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – "R"

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità-frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

3. DATI GENERALI E TRACCE

| Dati Generali | |
|--|-----------------------------|
| Responsabile ed operatore | Dott. Geol. Stefano Tuberga |
| Data | 29/05/2020 |
| Tracce | |
| N. tracce | 12 |
| Durata acquisizione (msec) | 2042.0 |
| Interdistanza geofoni (m) | 5.0 |
| Periodo di campionamento (msec) | 1.0 |

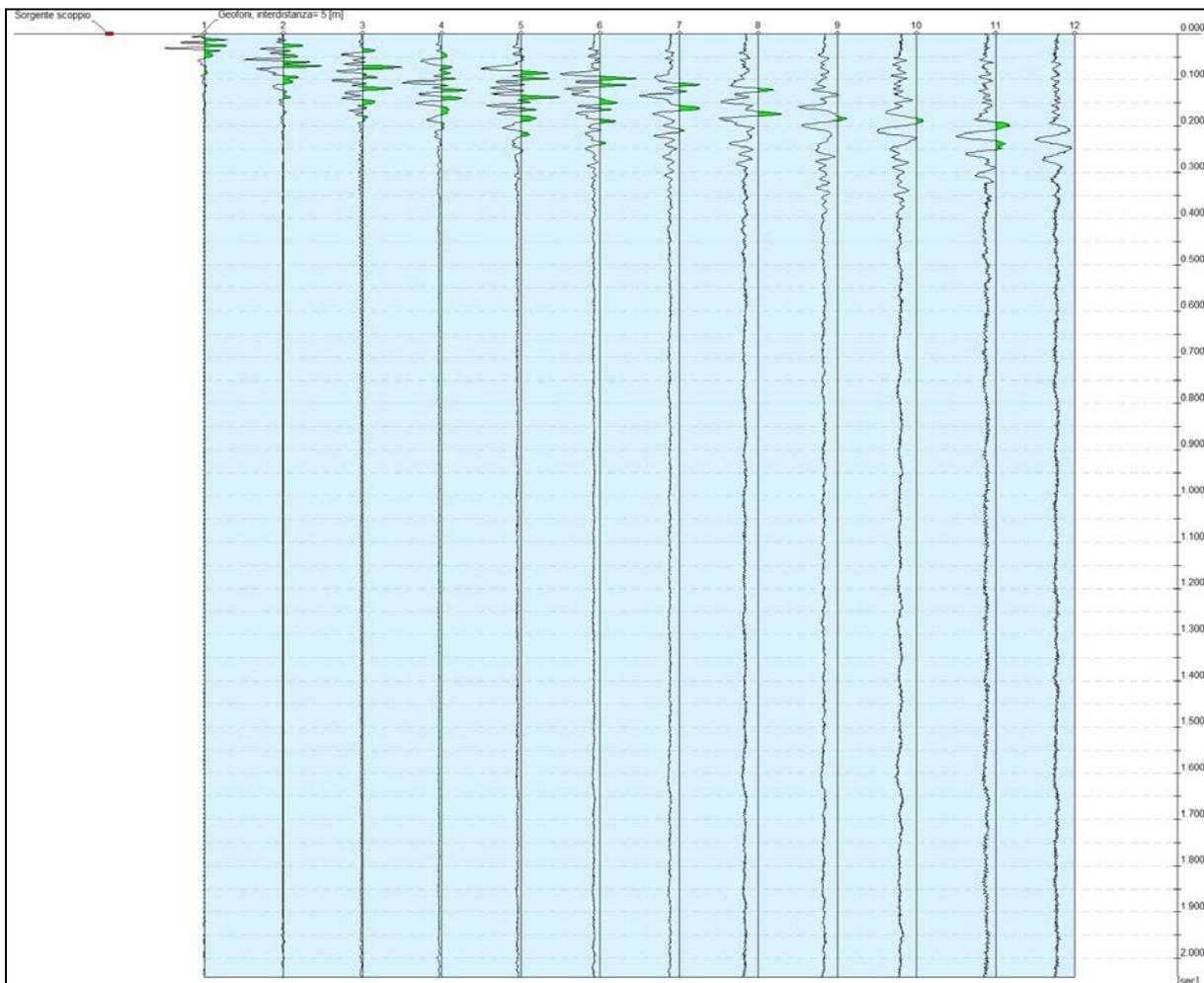


Figura 2: rappresentazione delle tracce registrate adottando lo stendimento a 12 geofoni. Sorgenti sismiche poste a -5,0, -10.0 e -15,0 m dal geofono G1.

4. ANALISI SPETTRALE

| Analisi spettrale | |
|--|-----|
| Frequenza minima di elaborazione (Hz) | 25 |
| Frequenza massima di elaborazione (Hz) | 55 |
| Velocità minima di elaborazione (m/sec) | 1 |
| Velocità massima di elaborazione (m/sec) | 800 |
| Intervallo velocità (m/sec) | 1 |

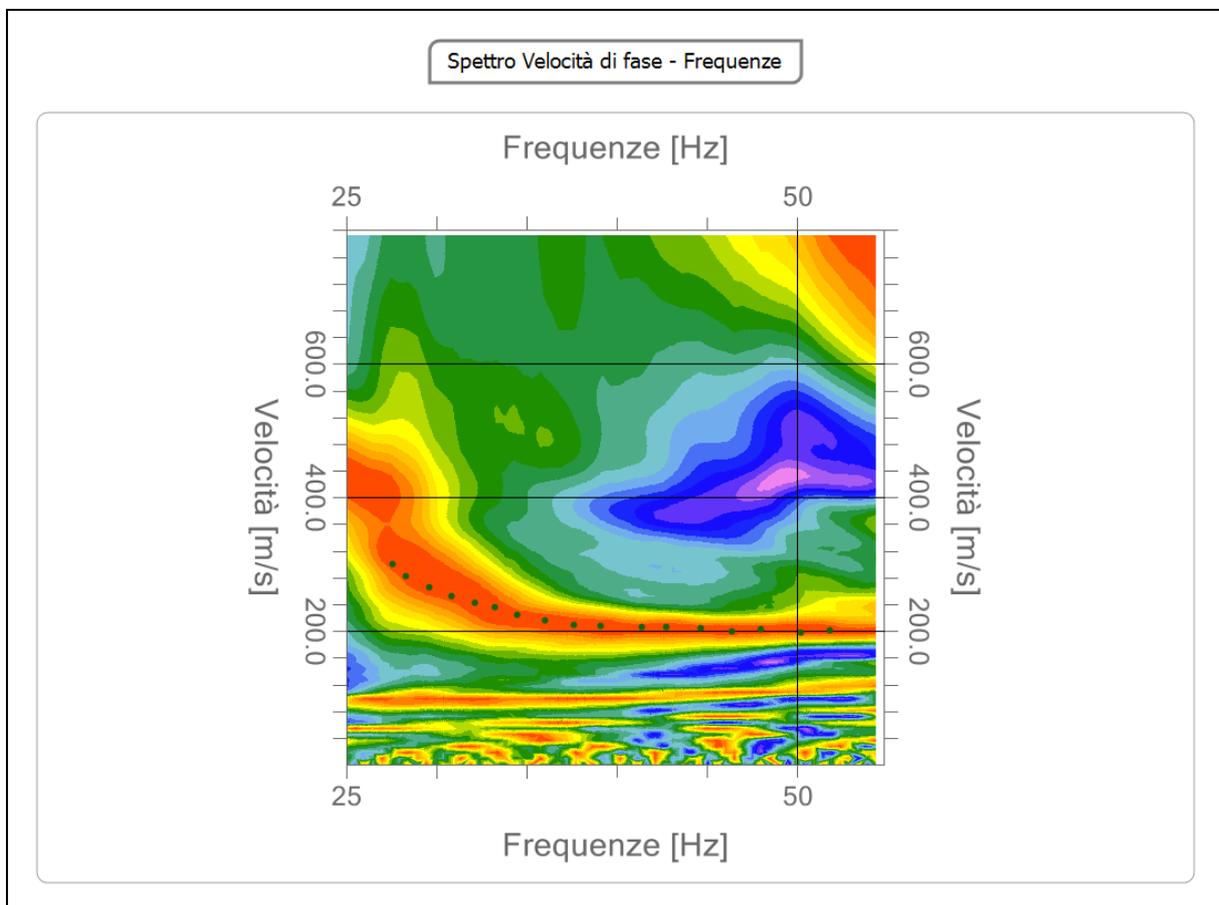


Figura 3: immagine dello spettro "Velocità di fase – Frequenze" con rappresentazione del picking effettuato.

5. CURVA DI DISPERSIONE

| N. | Frequenza (Hz) | Velocità (m/sec) |
|----|----------------|------------------|
| 1 | 27.6 | 300.4 |
| 2 | 28.3 | 282.2 |
| 3 | 29.6 | 265.7 |
| 4 | 30.8 | 252.4 |
| 5 | 32.1 | 242.5 |
| 6 | 33.2 | 235.9 |
| 7 | 34.5 | 224.3 |
| 8 | 36.0 | 216.1 |
| 9 | 37.6 | 209.4 |
| 10 | 39.1 | 207.8 |
| 11 | 41.4 | 206.1 |
| 12 | 42.7 | 206.1 |
| 13 | 44.7 | 204.5 |
| 14 | 46.4 | 199.5 |
| 15 | 48.0 | 202.8 |
| 16 | 50.2 | 197.9 |
| 17 | 51.8 | 201.2 |

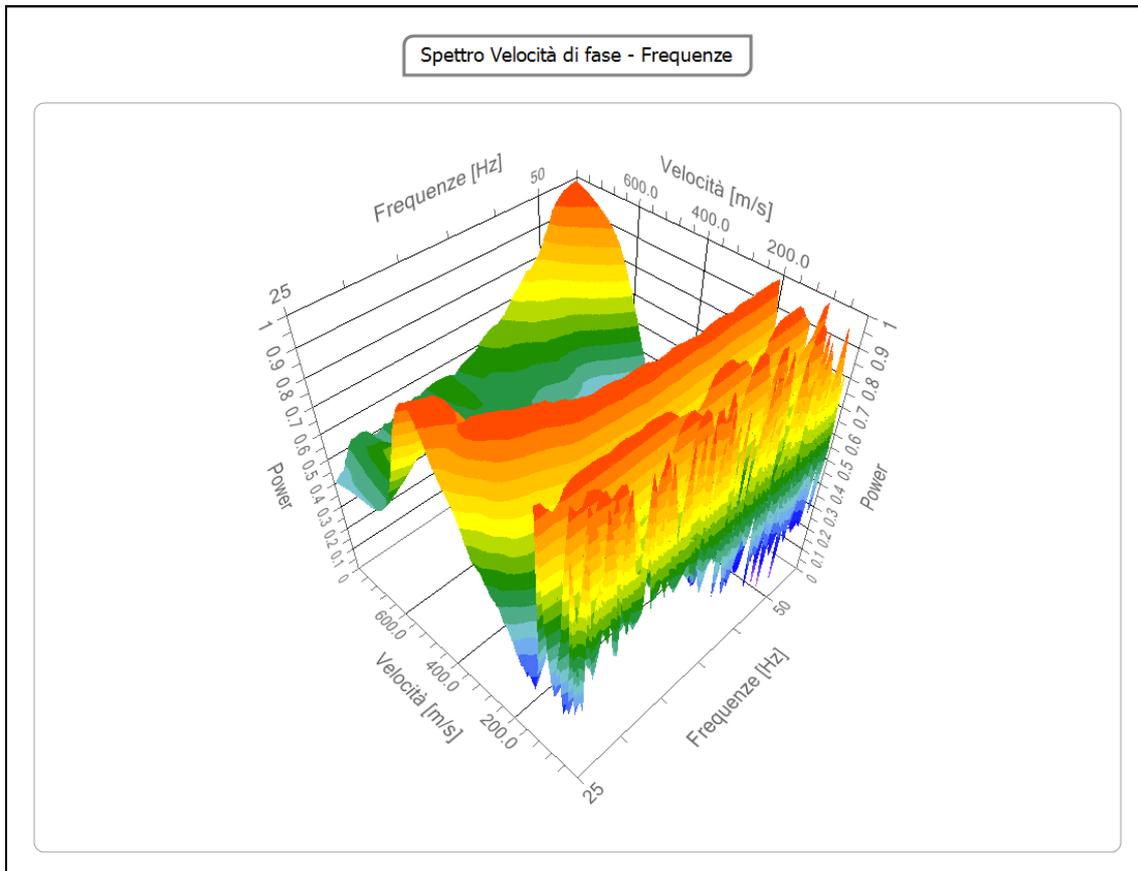


Figura 4: vista 3D dello spettro "Velocità di fase - Frequenze".

6. INVERSIONE

| n. | Profondità (m) | Spessore (m) | Peso unità volume (kg/m ³) | Coefficiente Poisson | Falda | Vp (m/sec) | Vs (m/sec) |
|----|----------------|--------------|--|----------------------|-------|------------|------------|
| 1 | 3.01 | 3.01 | 1700.0 | 0.33 | No | 385.7 | 206.2 |
| 2 | 7.06 | 4.05 | 1900.0 | 0.25 | No | 977.9 | 469.8 |
| 3 | 13.75 | 6.69 | 1900.0 | 0.25 | No | 1091.8 | 524.5 |
| 4 | 21.32 | 7.57 | 1900.0 | 0.25 | No | 1306.2 | 627.5 |
| 5 | 29.80 | 8.48 | 1900.0 | 0.25 | No | 1416.8 | 680.6 |
| 6 | ∞ | ∞ | 1900.0 | 0.25 | No | 1417.0 | 680.7 |

Percentuale di errore: 0.015 %

Fattore di disadattamento della soluzione: 0.013

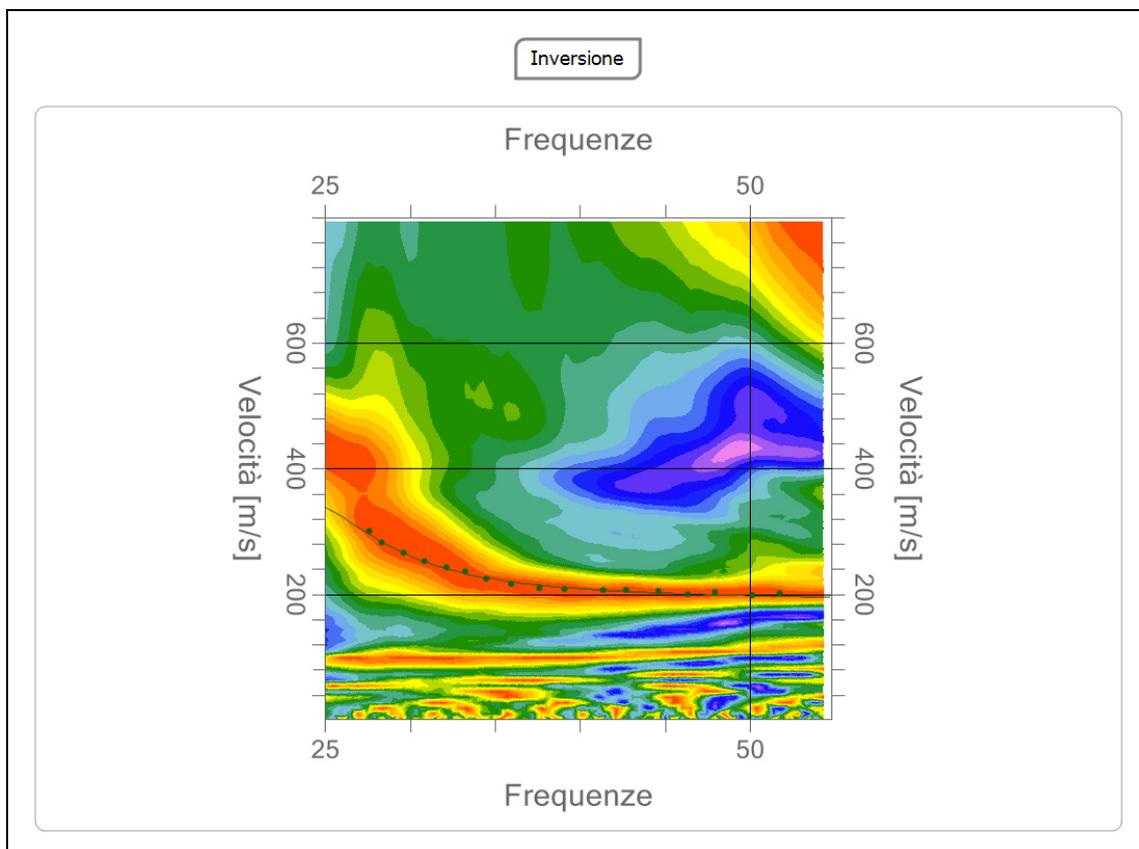


Figura 5: rappresentazione dell'inversione elaborata.

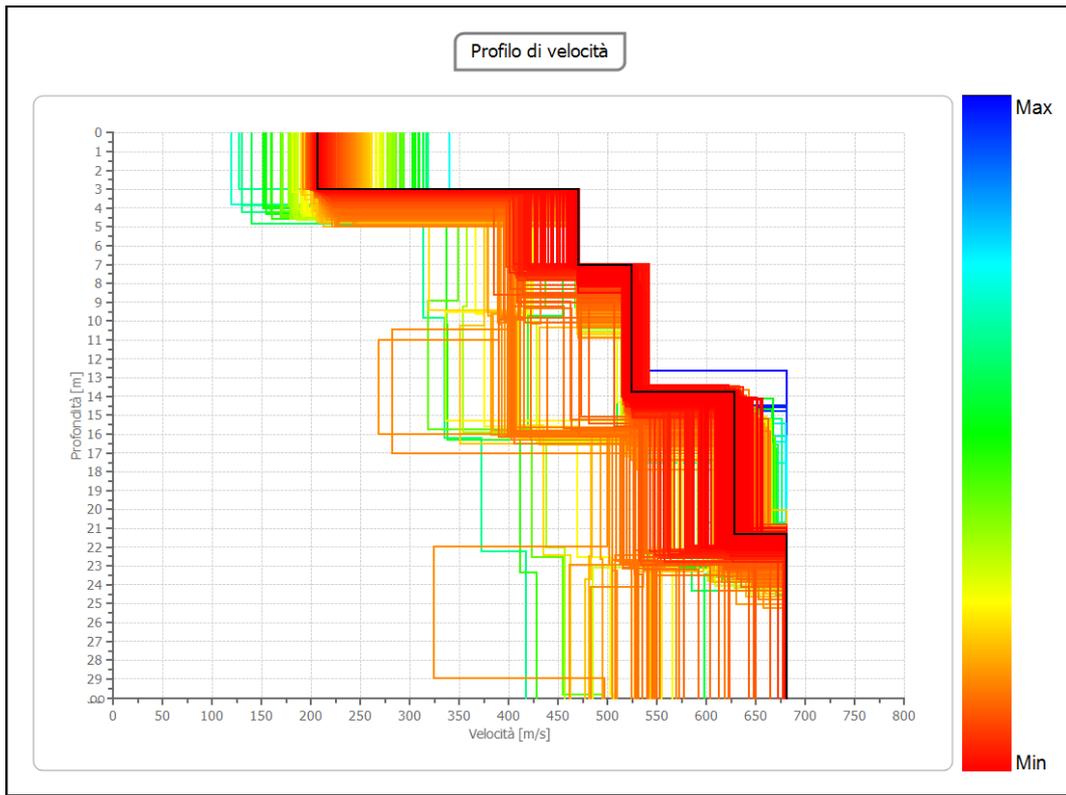


Figura 6: rappresentazione dei profili di velocità elaborati (in nero il profilo con il fattore minimo di disadattamento, si veda la figura seguente).

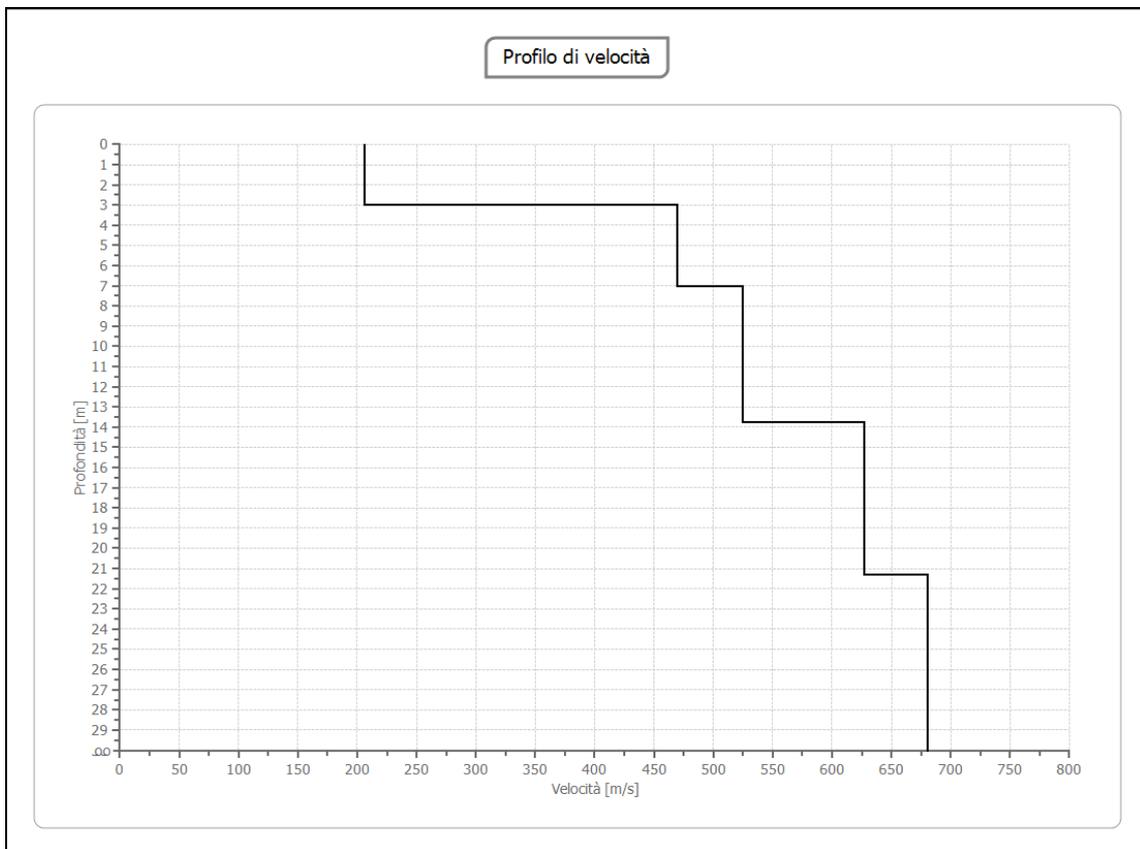


Figura 7: rappresentazione del profilo di velocità ottenuto.

7. RISULTATI

| | |
|-------------------------------------|-----|
| Profondità piano di posa (m) | 1.5 |
| V_{s30} (m/sec) | 538 |
| Categoria del suolo | B |

Sottosuolo di tipo 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.



Foto 1: stendimento sismico effettuato.