

COMMITTENTE**ATTIVITA' EDILIZIE PAVESI S.r.l.**Via dei Fontanili, n. 1
20141 - Milano**TITOLO****COMUNE DI Lodi****PROPOSTA DI PII RELATIVA ALL'AMBITO EX CONSORZIO AGRARIO DEL
COMUNE DI LODI****PROGETTAZIONE GENERALE E ARCHITETTONICA**

cat. AR

Arch. Domenico Catrambone

CN Studio - C.so Alessandria 67, 14100 - Asti
T. +39 0141 321845; F. +39 0141 531833; E. elaborati@cnstudio.net

Collaboratori:

Arch. Monica Salimbene
Giacomo Delpiano**CONSULENZA VIABILISTICA**

cat. CV

Arch. Vincenzo Curti

Via Giosuè Carducci 38 - 20123 Milano
T. +39 02.7600.5178/02.7602.4557; F.+39 02.7396.0337;
E. studio@vincenzocurti.it**CONSULENZA GEOLOGICA E AMBIENTALE**

cat. CGA

Ing. Massimo Moi

TEA consulting - via G. B. Grassi, 15, 20157 - Milano
T. +39 02 21711067; F. +39 02 21596353; E. moi@territorioambiente.com**CONSULENZA VALUTAZIONE AMBIENTALE**

cat. CVA

Arch. Luigino Pirola

Studio Architettura Paesaggio - via Piave, 1 24040 - Bonate Sopra (BG)
T. +39 035.992674;
E. info@studioarchitetturapaesaggio.it**CONSULENZA ACUSTICA**

cat. CA

Arch. Carlo Luigi Gerosa

Via Biancamano 14, 20900 - Monza
T. +39 039 2725024; F. +39 039 9116023; E. carlo.gerosa@studioarchitetturagerosa.it**Revisioni**

| N. | Data | Aggiornamento |
|----|------|---------------|
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

OGGETTORelazione geologica, geotecnica e sismica
(D.M. 17/01/2018 & D.G.R. IX/2616 del
30/11/2011)

Scala

Data

12/05/2020

Fase

U

U: urbanistico
M: municipale
D: definitivo
E: esecutivo

Cat.

AR

N°

5.1.1

Rev.

-



Attività Edilizie Pavese s.r.l.

Località LODI, adiacenza a Via Anelli

PII relativo all'ambito ex Consorzio Agrario del Comune di Lodi.

RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA (D.M. 17/01/2018 & D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011)

Maggio-Giugno 2019



| Revisione n° | Data | Redatto da | Descrizione relazione |
|--------------|-----------------------|--|---|
| o | Maggio-Giugno 2019 | Tea Consulting s.r.l. – Dott. Filippo Rizzo | <u>RELAZIONE GEOLOGICA, GEOTECNICA E SISMICA</u> (D.M. 17/01/2018 & D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011) |

Avvertenza: Il presente documento non può essere riprodotto o trasferito ad altri senza l'autorizzazione scritta dell'azienda. Il possessore dovrà restituirlo all'azienda se questa ne farà specifica richiesta.

SOMMARIO

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | PREMESSA | 2 |
| 2 | INQUADRAMENTO TERRITORIALE | 3 |
| 3 | INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO | 6 |
| 4 | INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO | 8 |
| 5 | DESCRIZIONE DELL'OPERA IN PROGETTO | 10 |
| 6 | FATTIBILITÀ GEOLOGICA: INFORMAZIONI GENERALI | 11 |
| 7 | INDIVIDUAZIONE DELLA CLASSE DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA | 12 |
| 8 | OBBLIGHI E PRESCRIZIONI CONNESSI ALLA CLASSE DI FATTIBILITÀ | 17 |
| | 8.1 <i>Approfondimenti geotecnici</i> | 17 |
| | 8.2 <i>Approfondimenti sismici</i> | 20 |
| | 8.3 <i>Sismicità del territorio comunale e classificazione sismica</i> | 20 |
| | 8.4 <i>Analisi sismica di 2° livello</i> | 27 |
| | 8.5 <i>Suscettibilità alla liquefazione</i> | 30 |
| 9 | CONCLUSIONI | 34 |

Allegati

1. Planimetria con punti d'indagine
2. Elaborati prove penetrometriche
3. Foto
4. Masw

1. PREMESSA

Su incarico della committenza Attività Edilizie Pavesi srl con sede in via dei Fontanili n°1 20141 Milano, è stata redatta la presente relazione geologica (ai sensi D.M. 17/01/2018 & D.G.R. IX/2616 del 30/11/2011) riguardante il PII relativo all'ambito ex Consorzio Agrario del Comune di Lodi.

Il presente documento è stato redatto in base a quanto previsto dalla L.R. n. 12 dell'11/03/2005 e s.m.i. "*Legge per il governo del territorio*" che, oltre a definire gli indirizzi e le linee guida fornite dalla Giunta Regionale e dal Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale, per la parte inerente la difesa del territorio impone, all'interno del Piano di Governo del Territorio (PGT) comunale, la definizione degli assetti geologici, idrogeologici e sismici del territorio comunale, regolamentati dai "*Criteri attuativi L.R. 12/05 per il governo del territorio – componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio*" riportati sul BURL n. 13 del 28 marzo 2006 nonché sulla base del recente D.G.R. n. X 5001 del 30/3/2016.

La stesura della relazione è stata preceduta da specifiche indagini condotte in ottemperanza a quanto prescritto dal D.M. 17/01/18 "*Aggiornamento delle nuove norme tecniche per le costruzioni*", che rappresenta la più recente applicazione normativa della Legge n. 64 del 1974 e dei successivi D.M. applicativi, con particolare riferimento al D.M. 11/03/88 e 14/01/08.

Si precisa, inoltre, che le attività svolte hanno risposto anche a quanto previsto dai criteri regionali di cui alla D.g.r. 30/11/2011 - n. IX/2616, in merito alla verifica della fattibilità dell'intervento in rapporto alle previsioni delle Norme geologiche del PGT comunale, con specifico riferimento alle prescrizioni richieste per la classe di fattibilità geologica e alla classe di pericolosità sismica attribuite al settore in cui ricade il sito d'intervento.

Per la predisposizione del documento sono stati utilizzati infatti le informazioni riportate nei documenti allegati al PGT Comunale di LODI ed i dati relativi alla documentazione delle indagini sismico-geotecniche condotte sull'area.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

L'area in oggetto, sita nel Comune di Lodi in adiacenza a Via Anelli ha una superficie totale pari a circa 28.000 mq ed attualmente risulta occupata dall'ex Consorzio Agrario di Lodi. Di seguito si riporta orto-foto di dettaglio dell'area (**Figura 1**).

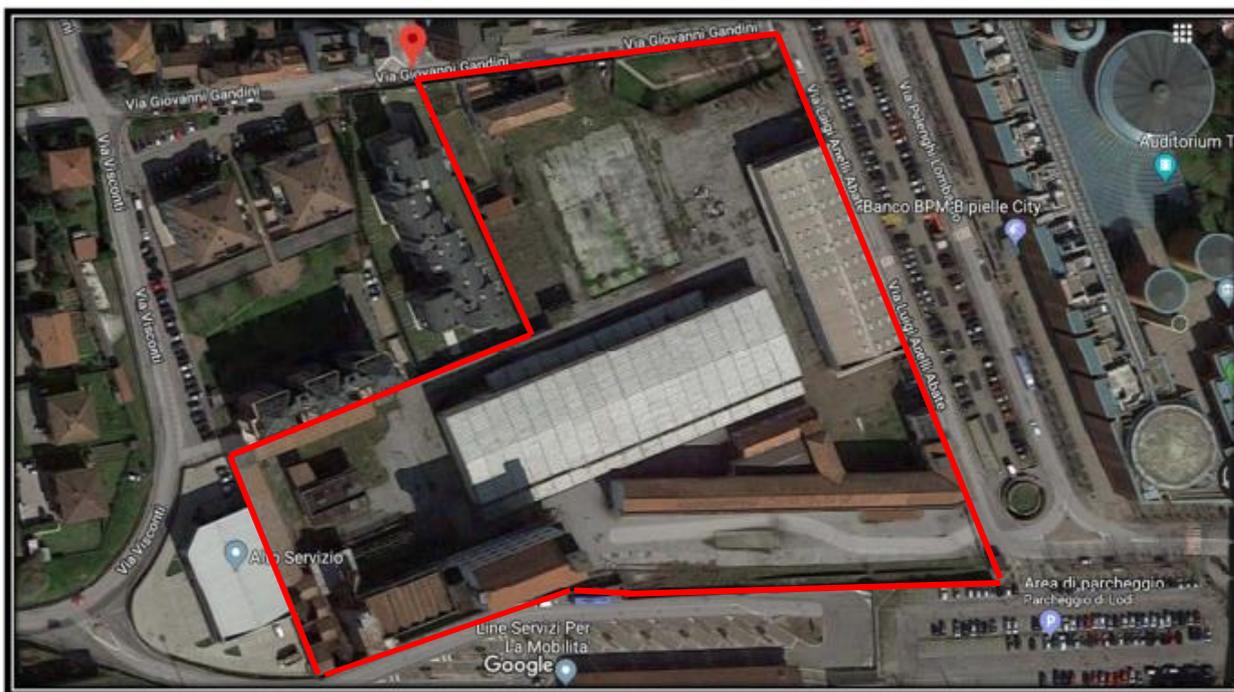


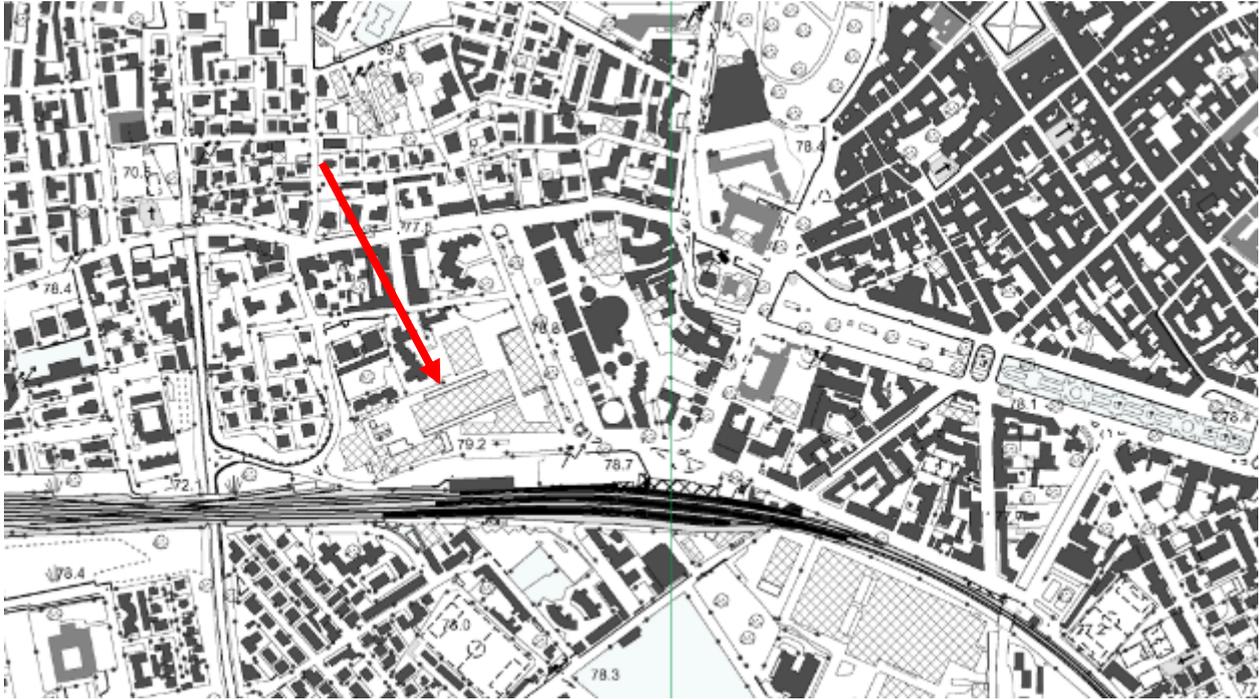
Figura 1 - Ortofoto con identificazione dell'unità immobiliare in oggetto

Come mostrato in **Figura 2**, dal punto di vista catastale l'area in oggetto ricade al Foglio 35, Mappali 101, 102, 103, 260, 425, 426 e 109 del Comune di Lodi.



Figura 2 - Estratto di mappa catastale

L'area di pertinenza in progetto si presenta interamente pianeggiante con una quota media di circa 78-79 m s.l.m., come desumibile dalla Cartografia Tecnica Regionale della Lombardia (Sezione B7e1 – Lodi) presente in **Figura 3**.



3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO

L'area in oggetto è localizzata nel comune di Lodi ad una quota altimetrica di circa 78-79 m s.l.m.. In base alla relazione geologica contenuta nel PGT del comune di Lodi emerge che la geologia del territorio comunale è caratterizzata da depositi Fluvioglaciali appartenenti al Quaternario di origine continentale, costituiti in prevalenza da sabbie con lenti limose e sottili livelli ghiaiosi e con strato di alterazione superficiale di debole spessore, generalmente brunastro.

trasf

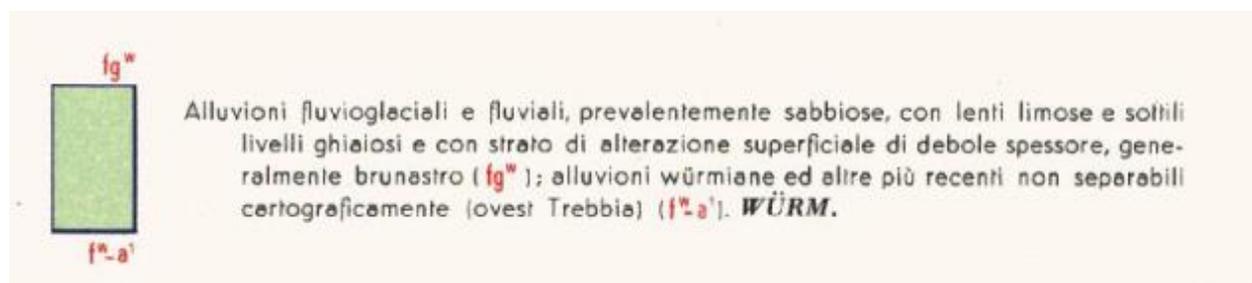
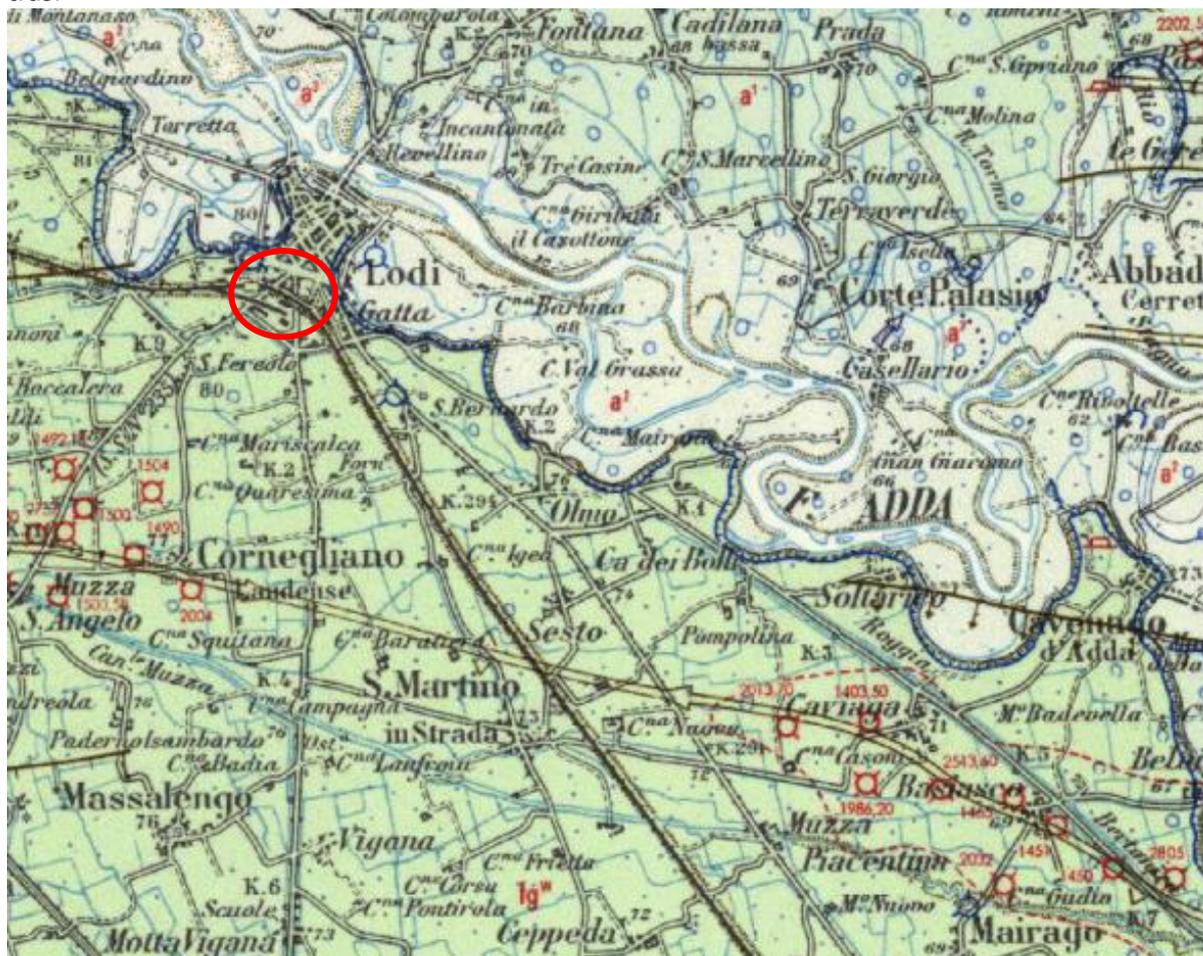
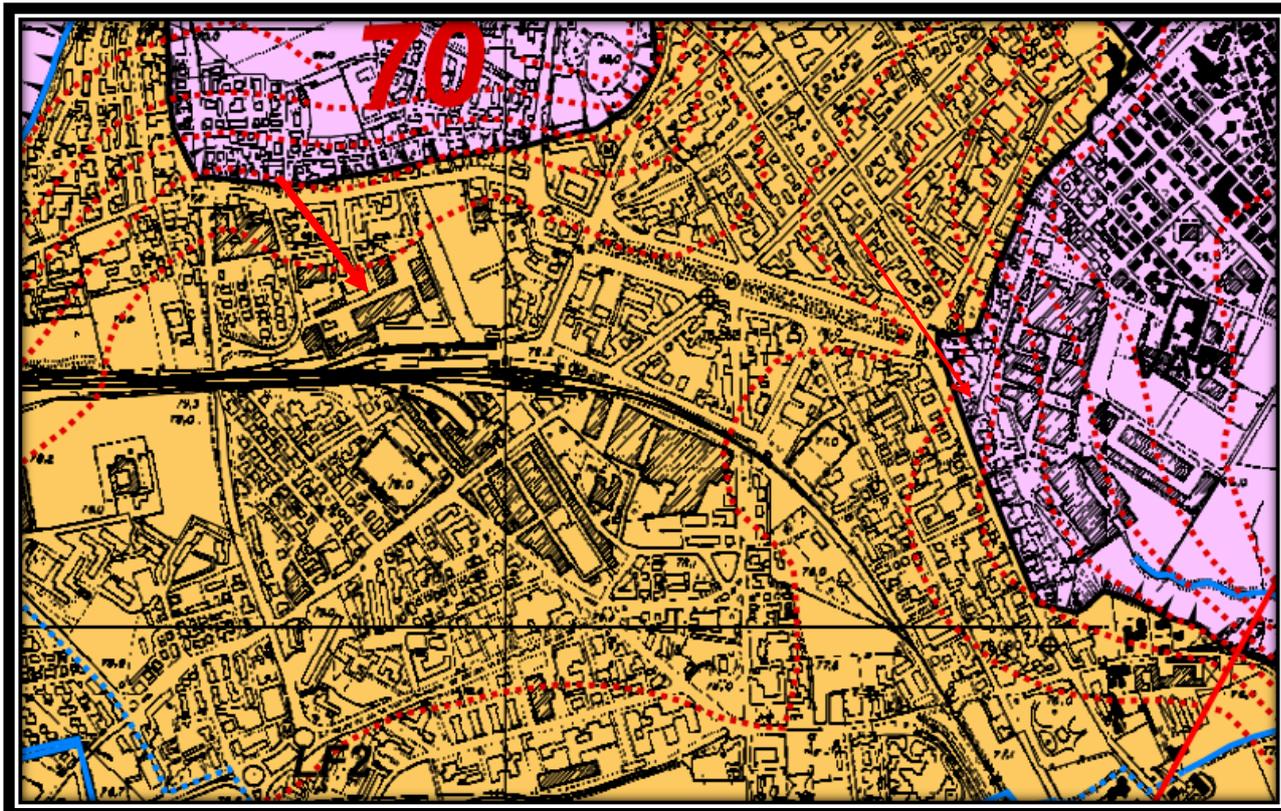


Figura 4 – Stralcio "Carta Geologica d'Italia" Foglio 60 Piacenza

Inoltre, a livello geologico-geomorfologico, sempre nel PGT:



LEGENDA

Unità geomorfologiche:

■ Livello Fondamentale della Pianura (L.F.d.P):

Porzione meridionale di pianura caratterizzata da aree sufficientemente stabili per la presenza di un'idrografia organizzata di tipo meandriforme. Nel lodigiano l'area è servita da una fitta rete di canali per l'irrigazione.

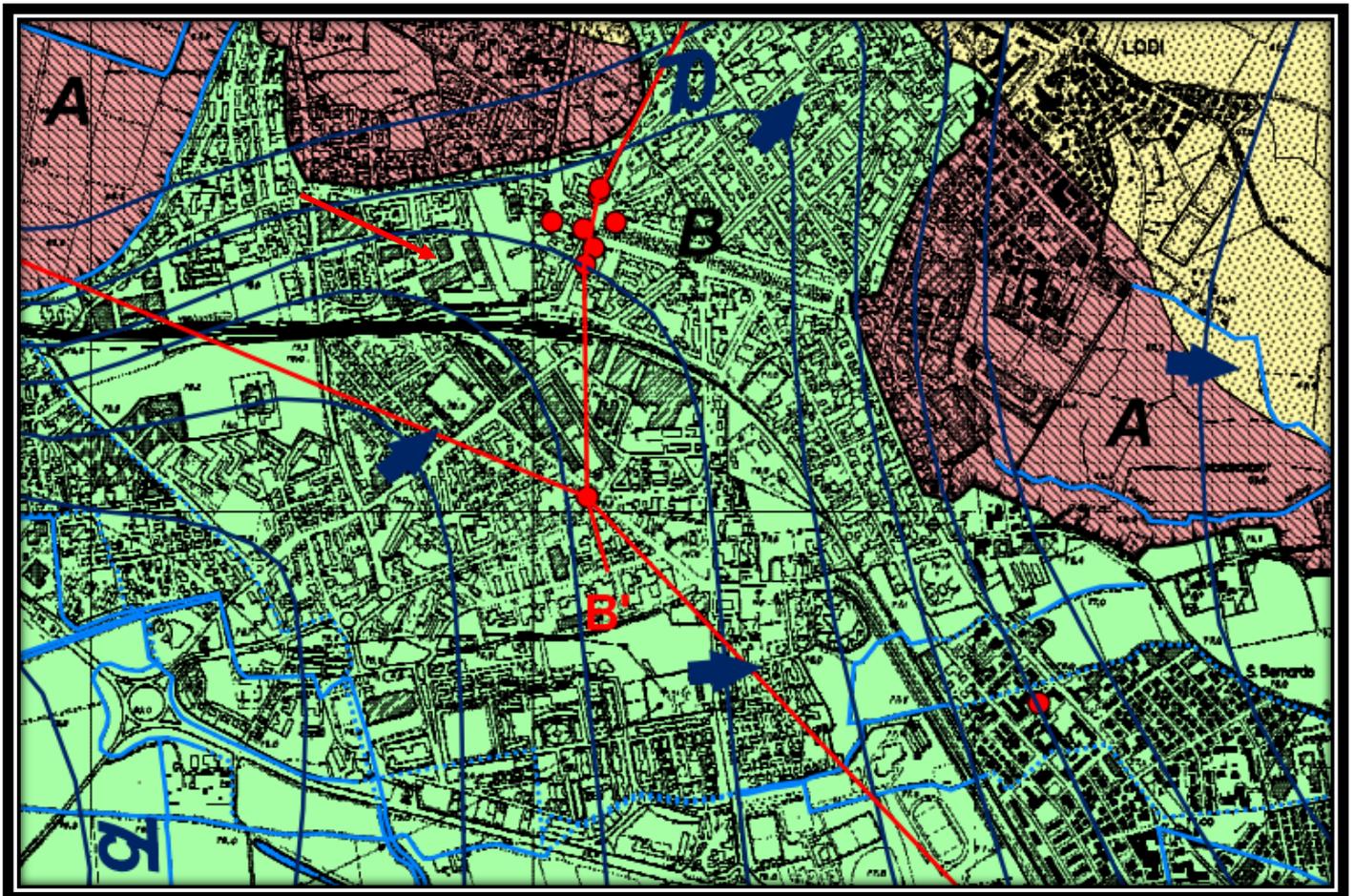
- LF3** Depressioni di forma subcircolare a drenaggio mediocre o lento, talora con evidenze di fossi scolanti e baulature dei campi.
- LF2** Superficie modale stabile, pianeggiante o leggermente ondulata, intermedia tra le aree più rilevate (dossi) e depresse (conche e paleovalvei).
-  Specchio d'acqua
-  Corso d'acqua
-  Corso d'acqua, ramo secondario
-  Corso d'acqua, tratto tombinato
-  Orlo di scarpata morfologica principale
-  Orlo di scarpata morfologica secondaria
-  Isoipsa
-  Traccia sezione geomorfologica

Figura 5 – Stralcio Tavola - "Carta geologica - geomorfologica" - PGT Lodi

4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

Da un punto di vista idrogeologico emerge che il livello piezometrico della falda acquifera nell'intorno dell'area di interesse si attesta intorno ad un valore di circa 72/73 metri s.l.m. il quale, rapportato alla quota altimetrica sul livello del mare del p.c. pari a 78-79 metri, mostra una soggiacenza media della falda pari a circa 6 metri dal p.c.

La direzione di flusso ha andamento Sudovest-Nordest.



LEGENDA

Classi di permeabilità (m/s):

- A ALTA ($10^{-4} < k < 10^{-3}$)
- MDA MEDIO-ALTA ($10^{-5} < k < 10^{-4}$)
- MDB MEDIO-BASSA ($10^{-7} < k < 10^{-6}$)
- B BASSA ($10^{-8} < k < 10^{-7}$)

Soggiacenza media della falda superficiale in m da p.c.:

- ▒ < 1.50 m
- ▒ 1.50 - 3.00 m
- ▒ > 3.00 m

-  Isofreatica con quota in m s.l.m.
-  Direzione flusso falda freatica
-  Asse drenante
-  Pozzo pubblico
-  Specchio d'acqua
-  Corso d'acqua
-  Corso d'acqua, ramo secondario
-  Corso d'acqua, tratto tombinato
-  Orlo di scarpata morfologica principale
-  Orlo di scarpata morfologica secondaria

Figura 6 – Stralcio Tavola - "Idrogeologia " - PGT Lodi

5. DESCRIZIONE DELL'OPERA IN PROGETTO

L'opera di progetto che interessa l'area dell'ex Consorzio agrario prevede una rigenerazione urbana ed una trasformazione urbanistica in attuazione del Piano di Governo del Territorio dell'area, contenuto nell'aggiornamento del "Masterplan" relativo all'ambito "ex ABB, ex Linificio ex Consorzio Agrario"; in particolare il progetto prevede il completamento del "mix funzionale" già presente, con la realizzazione di una media struttura di vendita commerciale (alimentare) modernamente attrezzata, situata nel "cuore" di un quartiere in cui già convivono positivamente, residenze, uffici di alto livello, servizi locali e sovracomunali. L'edificio in progetto, di circa 5.600 mq. di slp, sorgerà tra la via Gandini e la via Anelli. Un'ampia porzione dell'area sarà adibita a parcheggi privati di pertinenza della nuova struttura commerciale. Al piano interrato sono previsti ulteriori parcheggi privati. Complessivamente i parcheggi a servizio del nuovo edificio commerciale saranno 560. L'edificio si allineerà sulla via Anelli recuperando, sul fronte della strada, un ampio spazio pedonale di pubblica fruizione.

Inoltre il progetto prevede anche un secondo edificio di progetto a destinazione produttiva-artigianale, localizzato lungo Via Visconti, che sviluppa una SLP complessiva di 700 mq.

6 FATTIBILITÀ GEOLOGICA: INFORMAZIONI GENERALI

Per quanto attiene la compatibilità degli interventi edificatori in oggetto con le caratteristiche ambientali dell'area e, in particolare, con quelle di tipo geologico e idrogeologico, la Legge Regionale 11 marzo 2005, n. 12 e s.m.i., che ha introdotto il Piano di Governo del Territorio quale strumento urbanistico in sostituzione del P.R.G., e la sua delibera attuativa recentemente emanata recante i "Criteri attuativi L.R. 12/05 per il governo del territorio – Componente geologica, idrogeologica e sismica del Piano di Governo del Territorio" e s.m.i. propone una suddivisione nelle seguenti Classi di fattibilità:

- **CLASSE "1": Fattibilità senza particolari limitazioni** - comprende aree pianeggianti o sub-pianeggianti con buone caratteristiche geotecniche dei terreni superficiali e non interessate da fenomeni di dissesto idrogeologico.
- **CLASSE "2": Fattibilità con modeste limitazioni** - comprende le zone nelle quali sono state riscontrate modeste limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso, che possono essere superate mediante approfondimenti di indagine e accorgimenti tecnico-costruttivi e senza l'edificazione di opere di difesa, in queste aree possono sussistere modesti problemi di carattere idrogeologico.
- **CLASSE "3": Fattibilità con consistenti limitazioni** - comprende le zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica di destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa. In questa classe sono comprese aree acclivi soggette all'influenza di fenomeni di dissesto idrogeologico di maggior estensione e diffusione rispetto alla classe precedente. In aree pianeggianti le limitazioni derivano dall'esistenza di possibili effetti o eventi alluvionali, scarse qualità geotecniche dei terreni e alto rischio per vulnerabilità idrogeologica (tutela delle zone di rispetto di captazioni ad uso idropotabile ai sensi del D.lgs. 152/2006 e s.m.i.). Per l'urbanizzato di futura edificazione sono necessari supplementi di indagine con campagne geognostiche (indagini in sito e in laboratorio) e studi tematici specifici che forniscono indicazioni su destinazioni d'uso ed opere di sistemazione e bonifica.
- **CLASSE "4": Fattibilità con gravi limitazioni** - comprende aree direttamente o indirettamente coinvolte da possibili grandi movimenti franosi attivi o quiescenti, o aree interessate da fenomeni alluvionali con ingenti movimenti di massa. È esclusa qualsiasi nuova edificazione. Per le opere pubbliche è necessaria una specifica verifica geologica, geomeccanica ed idrogeologica, nonché una valutazione costi/benefici. Diventa indispensabile la creazione di una rete di monitoraggio geologico e/o idrogeologico.

7 INDIVIDUAZIONE DELLA CLASSE DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Sulla base della Tavola "Fattibilità geologica" (Figura 8 - stralcio PGT) emerge che l'area in oggetto è identificata come:

- *Aree a depositi fluvioglaciali*
- Classe di fattibilità geologica: 2 "**Fattibilità con modeste limitazioni**";
- Principali caratteristiche: *aree pianeggianti, litologicamente costituite da sabbie, anche con intercalazioni limose-ghiaiose;*
- Problematiche generali: *terreni con discrete caratteristiche geotecniche sotto i 4/5 m di profondità, possibile presenza di terreni fini superficiali entro 4 metri di profondità più scadenti.*
- Parere sull'edificabilità: *favorevole con modeste limitazioni legate alla caratteristiche geotecniche dei terreni superficiali;*
- Indagini di approfondimento necessarie, preventive alla progettazione: *indagini geognostiche con prove in sito, prove di resistenza alla penetrazione dinamica o statica, indagini geofisiche di superficie;*
- Norme antisismiche da adottare nella progettazione: *la progettazione di essere condotta adottando i criteri antisismici del D.M. 17 gennaio 2018, definendo la pericolosità sismica in accordo con l'allegato A del decreto (...).*

Pertanto, come specificatamente prescritto dallo studio geologico, sono state eseguite indagini dirette, commentate nei successivi capitoli, che hanno permesso di valutare nel dettaglio l'assetto litostratigrafico, geotecnico ed idrogeologico del sottosuolo dell'area d'intervento.



LEGENDA

CLASSI DI FATTIBILITA' GEOLOGICA:

Fattibilità con modeste limitazioni:

2a Pianura laudense occidentale

2b Quartiere di Piazza Sommariva

Fattibilità con consistenti limitazioni:

3a Quartiere Martinetta

3b Pianura laudense orientale

3c Corso d'acqua e specchio d'acqua

 Fascia di rispetto 10 m corso d'acqua

 Corso d'acqua, ramo secondario

 Fascia di rispetto 10 m corso d'acqua ramo secondario

 Corso d'acqua, tratto tombinato

3d Zona di rispetto pozzo pubblico
(raggio variabile per ogni pozzo determinato con criterio temporale)

3e C.na Sandone

3f Zona di elevato interesse geologico e geomorfologico di C.na Portadore

Rischio idraulico*:

 Aree soggette a rischio idraulico

4a.2 Classe di fattibilità geologica
aree soggette a rischio idraulico

 Opere di difesa idraulica già realizzate:

1 Argine "SICC"

2 Muretto V.le Milano

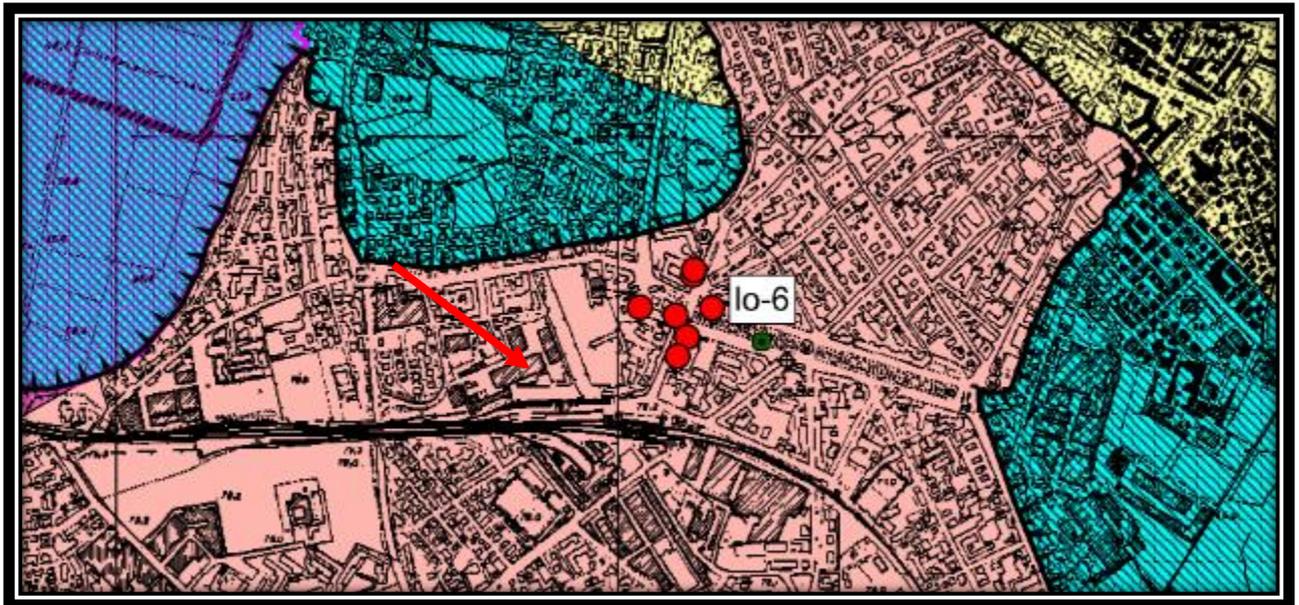
3 Chiavica su Roggia Gaetana

4 Chiavica su Roggia Gelata

5 Arginatura a valle del ponte

* Da "Studio idrogeologico-idraulico del tratto di F. Adda inaltera nel territorio comunale di Lodi - Gennaio 2018"

Figura 7 – Stralcio Tavola "Fattibilità geologica" PGT Lodi



Unità geotecniche:

- 1** Unità prevalentemente sabbioso-ghiaiosa, con diffusa copertura limoso-sabbiosa potenza tra 3 e 6 m. Colpi alla punta CPT < 5 nella copertura e > 10 in profondità. Soggiacenza falda generalmente superiore a 3.00 m, localmente variabile tra 1.50 e 3.00 m.
- 2** Unità prevalentemente ghiaioso-sabbiosa con rare zone a copertura limoso-sabbiosa. Soggiacenza falda compresa tra 1.50 e 3.00 m.
- 3** Unità a sabbie prevalenti (n. colpi alla punta CPT > 10) con frequenti zone a copertura limoso-sabbiosa soprattutto in destra orografica con spessori inferiori a 2-3 m (n. colpi alla punta CPT < 5). Soggiacenza falda variabile tra 1.50 m e 3.00 m; inferiore a 1.50 m al piede del terrazzo morfologico principale e nelle zone di paleoalveo e paleomeandro.

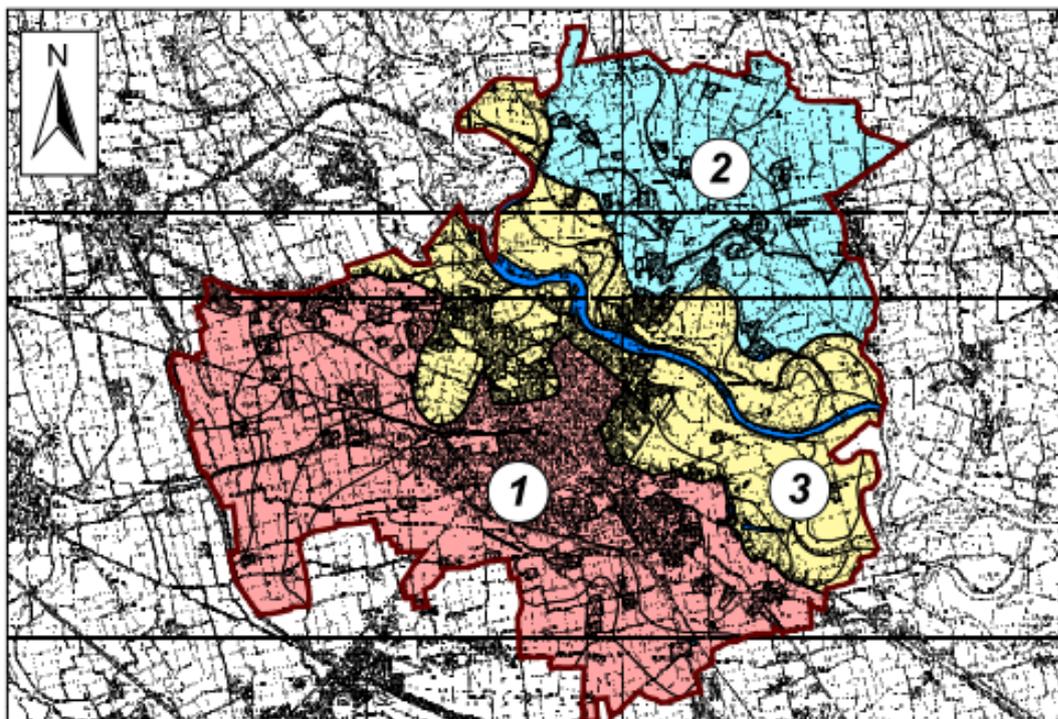
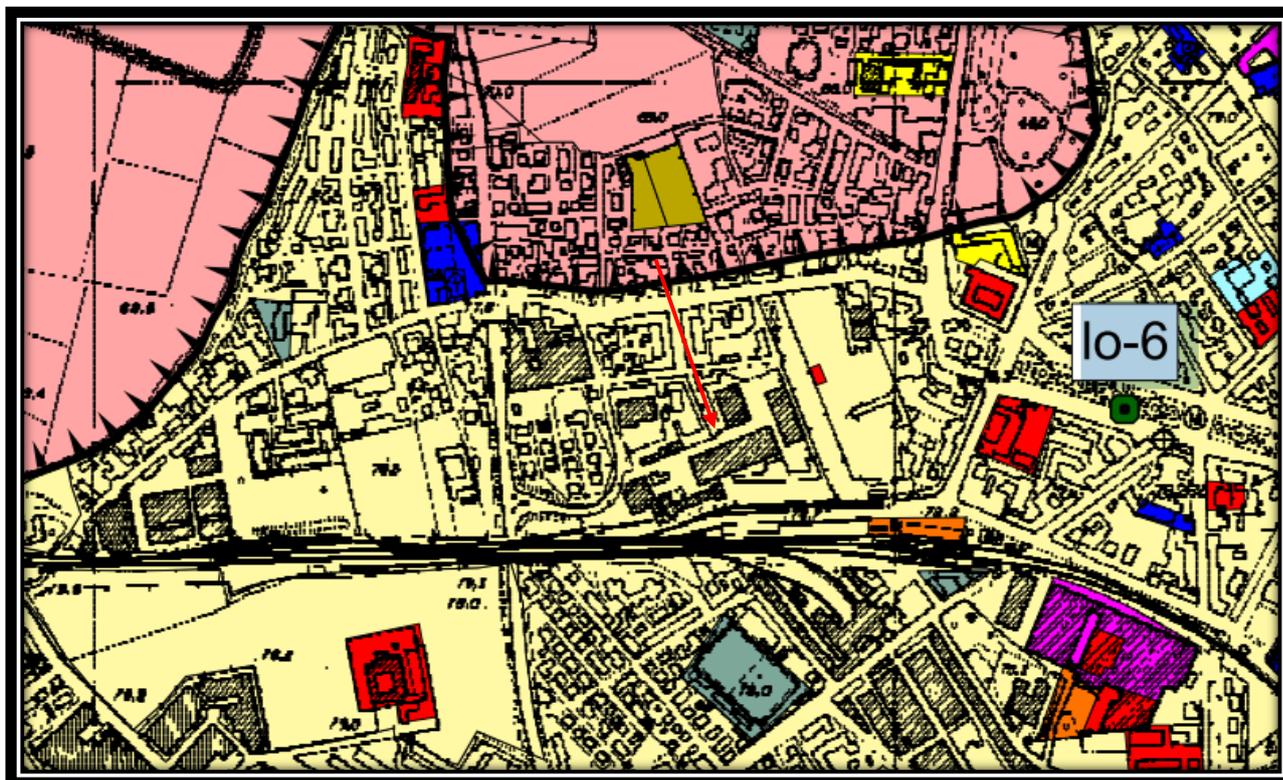


Figura 8 – Stralcio Tavola "Prima caratterizzazione geotecnica" PGT Lodi

Si segnala che sulla base della Tavola "Pericolosità sismica locale" del PGT l'area oggetto dell'intervento risulta classificata con la sigla Z4a.

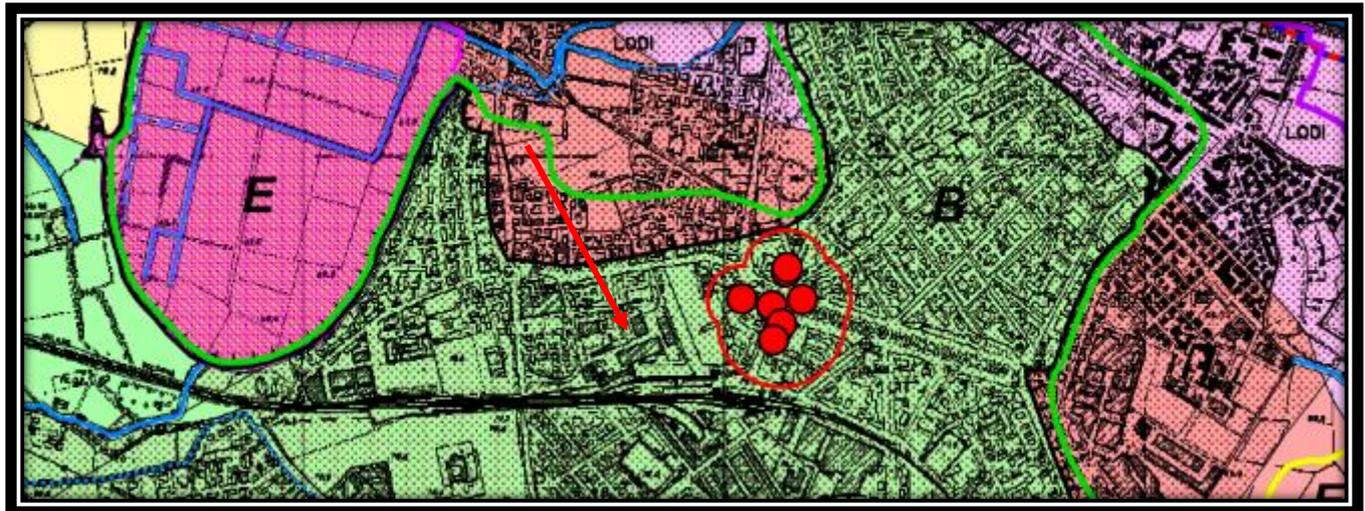


LEGENDA

Scenari di pericolosità sismica locale:

- Z2** Zona con terreni di fondazione particolarmente scadenti e zone con depositi granulari fini saturi.
Effetti: cedimenti e/o liquefazioni
- Z3a** Zona di ciglio H>10 m. Scenario di pericolosità sismica locale presente lungo alcuni tratti della scarpata morfologica principale caratterizzati da un'altezza superiore a 10 m.
Effetti: amplificazioni topografiche
- Z4a** Zona di pianura con presenza di depositi alluvionali granulari e/o coesivi.
Effetti: amplificazioni litologiche e geometriche

Figura 9 – Stralcio Tavola "Pericolosità sismica locale" PGT Lodi



LEGENDA

Classi di vulnerabilità idrogeologica:

-  **B** BASSA VULNERABILITA'
-  **M** MEDIA VULNERABILITA'
-  **A** ALTA VULNERABILITA'
-  **E** ELEVATA VULNERABILITA'

Piano stralcio per l'assetto idrogeologico:

-  Limite fascia A del PAI
-  Limite fascia B del PAI
-  Limite fascia C del PAI
-  Opera di difesa idraulica prevista dal PAI (Limite di progetto tra Fascia B e C)
-  Opere di difesa idraulica già realizzate:
 -  1 Argine "SICC"
 -  2 Muretto V.le Milano
 -  3 Chiavica su Roggia Gaetana
 -  4 Chiavica su Roggia Gelata
 -  5 Arginatura a valle del ponte

Figura 10 – Stralcio Tavola "Sintesi" PGT Lodi

8 OBBLIGHI E PRESCRIZIONI CONNESSI ALLA CLASSE DI FATTIBILITÀ

Con riferimento a quanto indicato al paragrafo precedente, in relazione alla fattibilità geologica, è stato necessario approfondire la conoscenza in merito agli aspetti geotecnici dei terreni di fondazione nonché sulla base della recente D.G.R. del 30/3/2016 anche in merito alla zonazione sismica locale.

8.1 Approfondimenti geotecnici

Per quanto attiene gli approfondimenti di natura geotecnica l'area è stata oggetto di un'indagine al fine di poter caratterizzare i terreni interessati dal progetto.

Nella giornata del 22 Maggio 2019 si sono eseguite n. 10 prove penetrometriche dinamiche con un penetrometro Pagani montato su carrello cingolato, spinte fino a profondità massima di – 10,00 m. dal piano campagna ed uno stendimento sismico impiegando l'Analisi multicanale di onde di superficie [MASW].

Per l'ubicazione dei punti di indagine si rimanda alla planimetria generale in allegato.



Postazione P1 Penetrometro Pagani all'ex Consorzio Agrario a Lodi

L'indagine è stata eseguita secondo le modalità previste dalle norme A.G.I. e più precisamente come viene descritto di seguito.

Le prove penetrometriche dinamiche consistono nell'infiggere in continuo nel terreno una punta conica collegata alla superficie da una batteria di aste.

In fase di interpretazione nelle prove dinamiche il valore N_p (numero di colpi necessario per far avanzare le aste) vengono correlati al valore N_{spt} dal quale viene calcolato l'angolo di attrito, il peso di volume e la densità relativa del terreno considerato.

Inoltre il valore N_{spt} viene utilizzato per verificare, tramite abachi di progetto, i risultati relativi alla capacità portante e ai cedimenti delle fondazioni.

L'esecuzione delle 10 SCPT ha permesso di definire in modo indiretto l'assetto litostratigrafico dell'area d'intervento.

La successione stratigrafica (modello geologico di riferimento) può essere schematizzata come segue:

- da 0.00 a -4.50 m **Materiale di riporto e sabbia in matrice limosa**
- da -4.50 a -7.00/7.50 m **Sabbia e ghiaia**
- da -7.00/7.50 a -10.00 m **Sabbia e Ghiaia in matrice limosa**

Tutte le prove sono terminate alla profondità prestabilita di -10,00 m. da p.c. .

Tale successione risulta quindi coerente con l'assetto litostratigrafico generale del sottosuolo della città di Lodi, descritto nel precedente paragrafo.

Per la valutazione dei parametri geotecnici che caratterizzano il sottosuolo dell'area d'intervento sono state elaborate le 10 prove penetrometriche dinamiche, utilizzando le correlazioni proposte da diversi autori.

Nelle tabelle seguenti sono riportati i principali parametri geomeccanici relativi agli orizzonti che costituiscono il substrato dell'area indagata, descritti nel precedente paragrafo (i tabulati completi delle prove ed i relativi grafici sono riportati negli allegati).

| | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Da 0 metri a circa – 4,5 metri UNITA' A Sabbia in matrice limoso-argillosa | <p>$N_{SPT} = 5$ $\phi = 27^\circ$ $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $D_r = 20 \%$ $c' = 2 \text{ kN/m}^2$</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Da circa – 4,5 metri a circa – 7/7,5 metri UNITA' B Sabbia e ghiaia | <p>$N_{SPT} = 15$ $\phi = 32^\circ$ $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ $D_r = 50 \%$</p> |
| <ul style="list-style-type: none"> • Da circa – 7/7,5 metri a – 10 metri UNITA' C Sabbia e ghiaia in matrice limosa | <p>$N_{SPT} = 10$ $\phi = 30^\circ$ $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ $D_r = 35 \%$</p> |

N.B.: N_{SPT} = numero colpi/30 cm;
 ϕ = angolo di attrito del materiale;
 γ = peso di volume;
 D_r = densità relativa;
 c' = coesione efficace.

Dove non è indicato il valore di coesione si può trascurare in quanto prossimo allo zero.

La falda freatica è stata rilevata ad una quota media di – 6,20 metri dal piano di inizio prove.

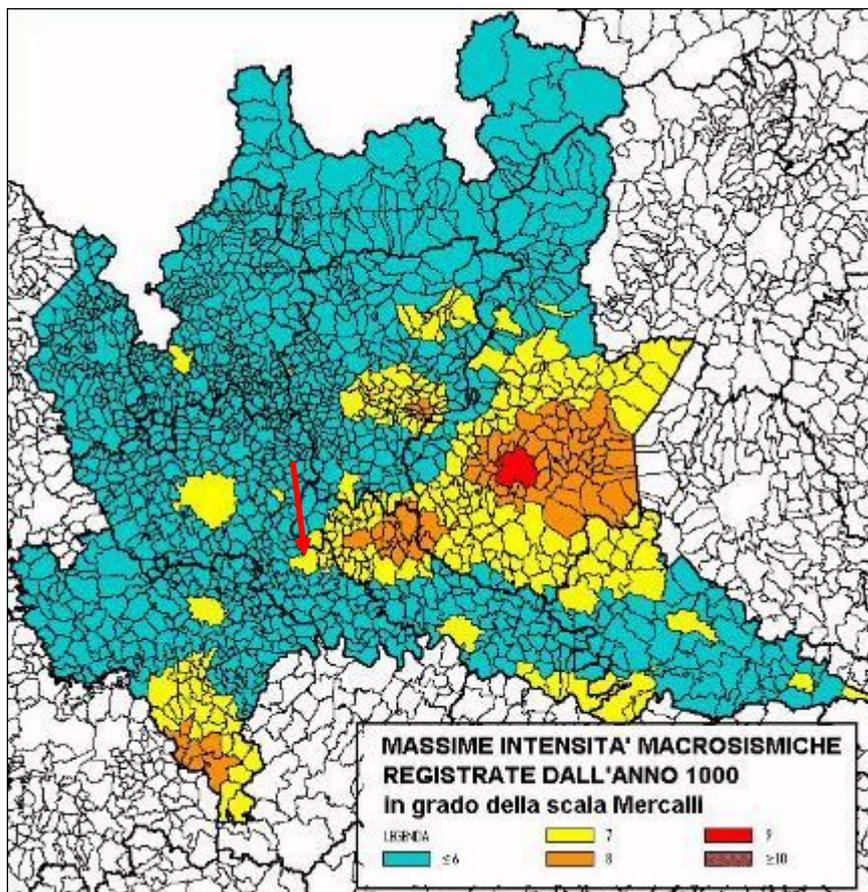
8.2 Approfondimenti sismici

In seguito alla nuova classificazione sismica regionale (D.G.R. n. X/2129 del 11/07/2014) approvata recentemente dalla Regione Lombardia (D.G.R. n. X/5001 del 30/03/2016), il Comune di Lodi è "passato" in zona sismica 3; come previsto dalla classe di fattibilità geologica dell'area si è proceduto con i necessari approfondimenti attraverso l'esecuzione di una prova sismica MASW con stendimento di 24 geofoni finalizzata alla determinazione della velocità equivalente V_{s30} .

8.3 Sismicità del territorio comunale e classificazione sismica

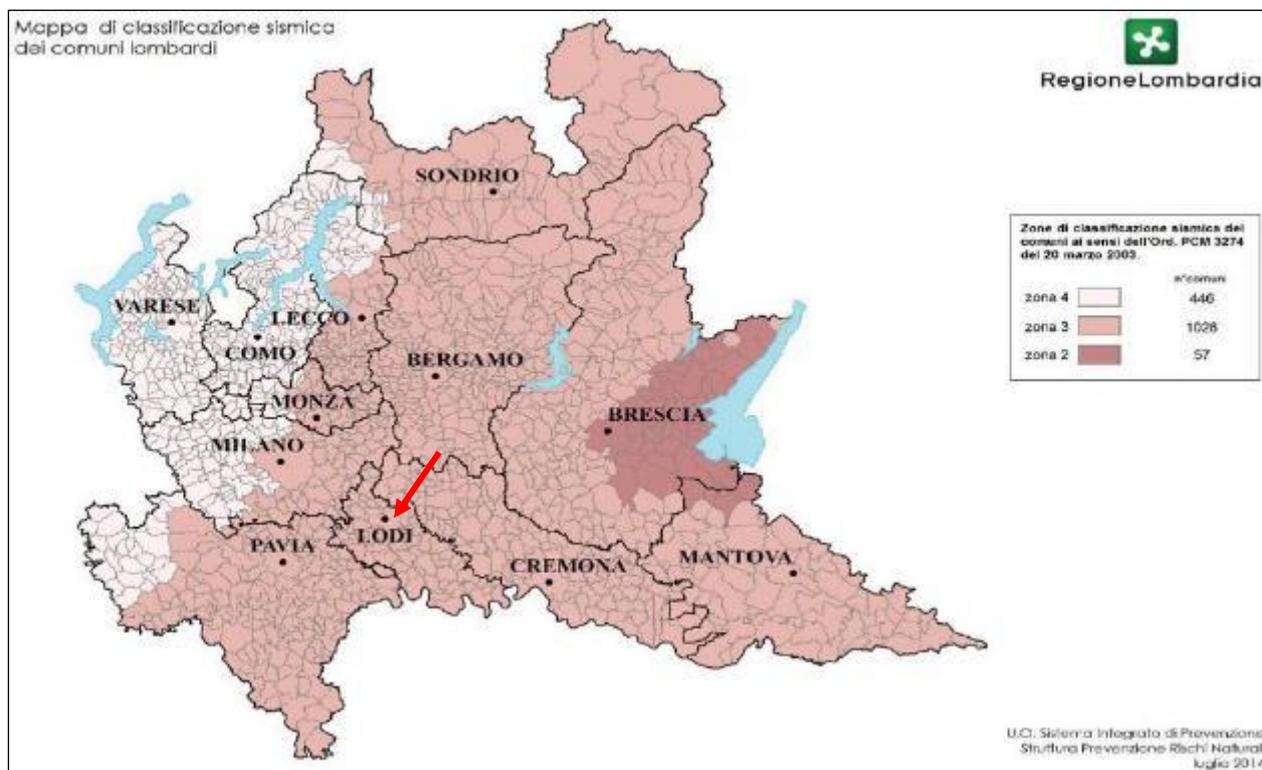
L'attività sismica storica del settore meridionale della Regione Lombardia appare come la naturale continuazione di quella pliocenica e quaternaria, interessata da deboli deformazioni, dove l'attività neotettonica profonda è determinata dalla collisione tra le unità alpine sud-vergenti e quelle appenniniche nord-vergenti.

Nella carta delle Massime intensità macrosismiche osservate nei Comuni della Regione Lombardia, predisposta sulla base dei dati contenuti nella banca dati macrosismici del GNDT e di quelli contenuti nel Catalogo dei forti terremoti in Italia di ING/SGA, per il sito in esame sono indicati terremoti di intensità minore o pari al VII grado della scala MCS (Mercalli, Cancani, Sieberg).



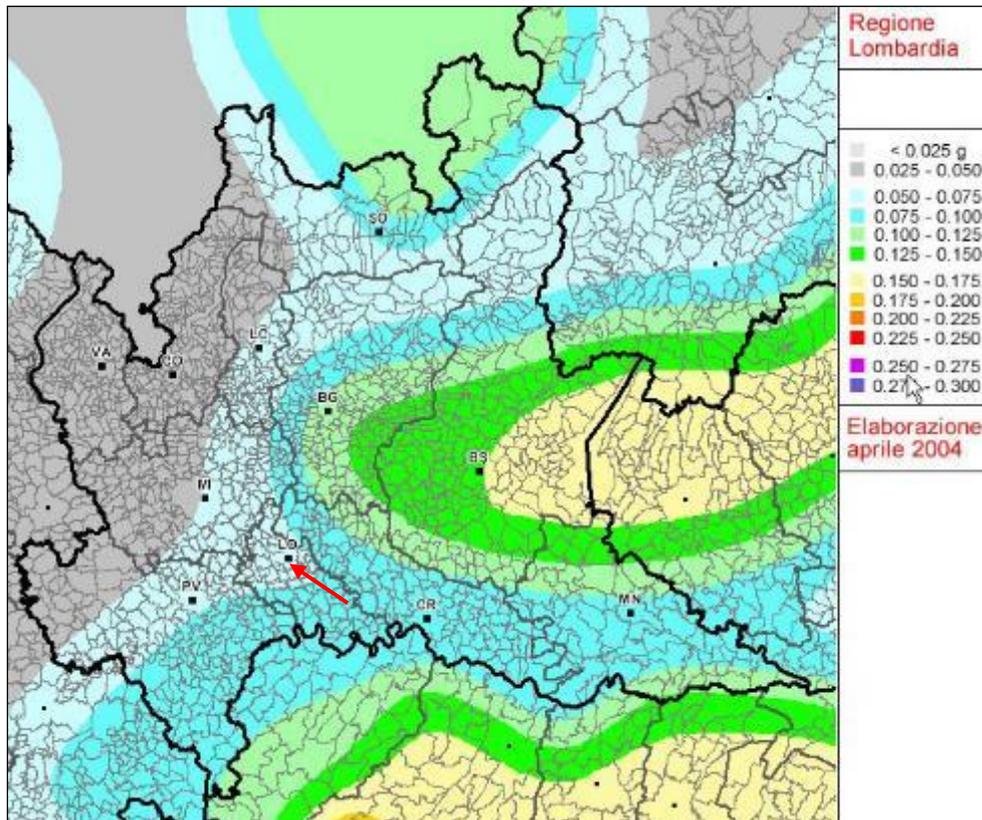
Carta delle Massime intensità macrosismiche osservate nei Comuni della Regione Lombardia. La freccia indica l'ubicazione dell'area indagata.

In base alla classificazione sismica dell'intero territorio nazionale (O.P.C.M. n. 3274 del 20/03/03 e D.M. 21/10/03, aggiornata al 2014), il Comune di Lodi, ai sensi della D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014, entrata in vigore con la D.g.r. n. X/5001 del 30/03/2016, è passato nella **zona 3**.



Riclassificazione sismica dei comuni della Regione Lombardia ai sensi della D.g.r. n. X/2129 del 11 luglio 2014. (La freccia indica l'ubicazione dell'area indagata)

In funzione di quanto riportato nella Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (tratto da: Gruppo di Lavoro MPS 2004), per il sito di intervento sono indicati valori di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi, compresi tra 0,050 g e 0,075 g



Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale. La freccia rossa indica l'ubicazione dell'area indagata.

Ai fini della caratterizzazione sismica dell'area d'intervento si è fatto riferimento, oltre che ai risultati delle indagini sismiche eseguite per la caratterizzazione geofisica del sottosuolo nell'ambito dello studio geologico del PGT di Lodi, anche ai risultati delle indagini geofisiche eseguite nell'area di interesse, la cui ubicazione è riportata nella planimetria generale, mentre successivamente è riportato il report illustrativo.

Tali indagini sono consistite in uno stendimento sismico impiegando l'Analisi multicanale di onde di superficie [MASW] per la misura dell'andamento della velocità di propagazione delle onde S del sottosuolo allo scopo di definire il valore $V_{S,eq}$ e la relativa categoria di sottosuolo (come previsto dal DM 17/01/2018).

Al fine di caratterizzare la risposta sismica è stata registrata una sezione geosismica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva), utile a definire il profilo verticale della velocità di propagazione delle onde di taglio (V_s). Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio V_s .

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

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{S,i}}} \quad [3.2.1]$$

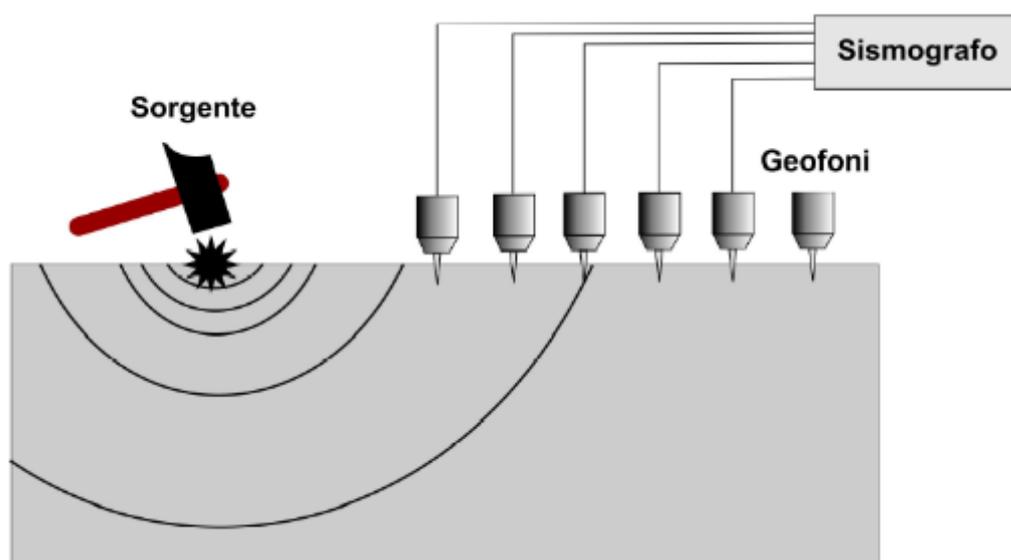
con:

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



Stendimento Masw

Di seguito viene riportata una figura che illustra la disposizione dei sensori e la trasmissione dell'impulso.



La procedura elaborativa prevede, sinteticamente, i seguenti passi:

- Trasformazione dei files in formato compatibile
- Immissione delle geometrie di acquisizione dei dati (sorgente e ricettori)
- Generazione dell'immagine di dispersione
- Analisi della curva di dispersione (picking)
- Verifica dei modi
- Modellazione e/o inversione
- Calcolo del parametro V_{sEq} dal profilo delle velocità di taglio

Dall'elaborazione dei dati ricavati dall'indagine MASW è stata stimata una velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi 30 m del sottosuolo V_{sEq} pari a **230 m/s**.

Il sottosuolo dell'area investigata appartiene, pertanto, alla seguente categoria di suolo (D.M. 17/01/2018 - O.P.C.M. n. 3274/2003):

Categoria C

| | |
|----------|---|
| C | <i>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.</i> |
|----------|---|

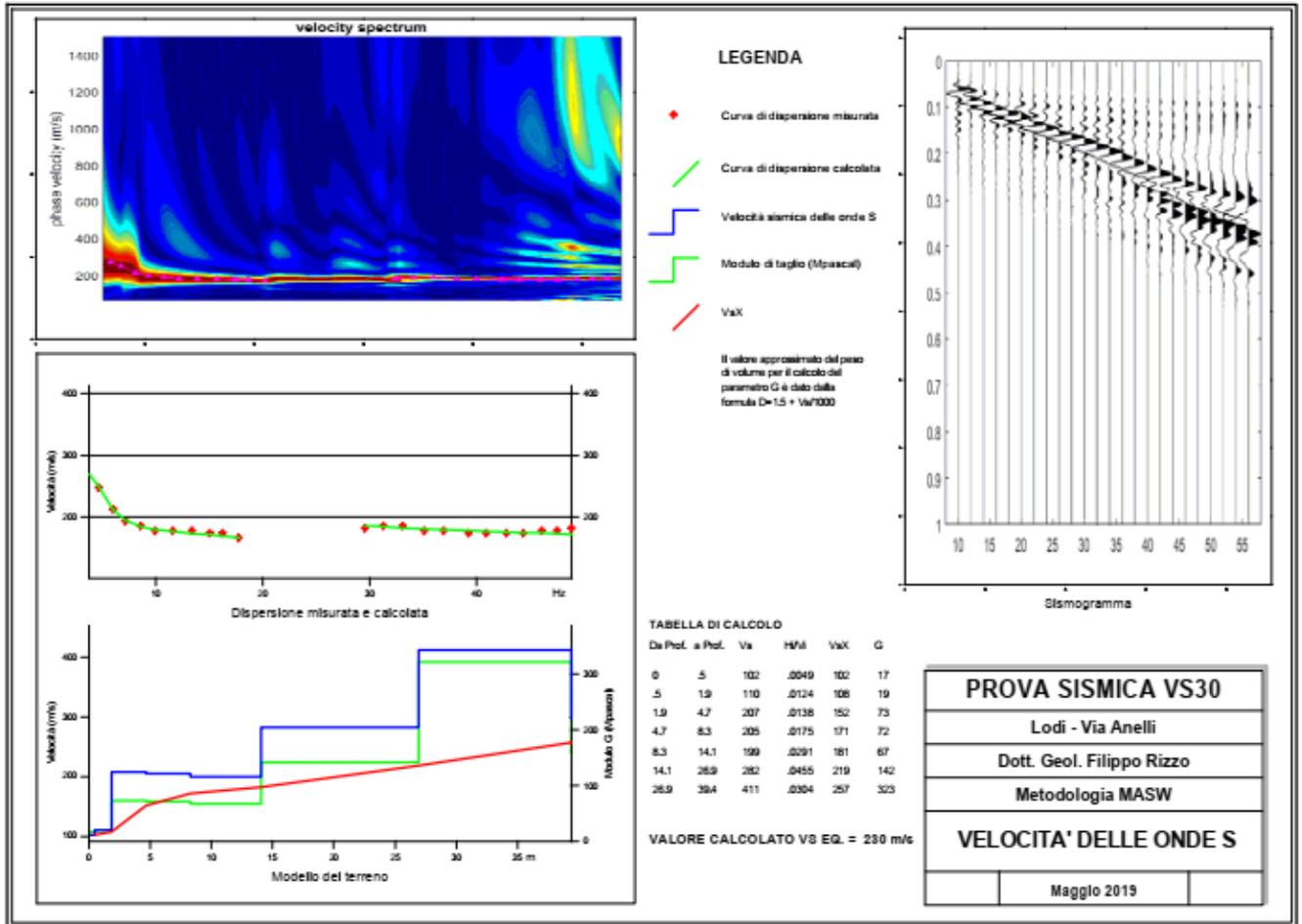


Figura 11 – Elaborazione stendimento Masw

8.4 Analisi sismica di 2° livello

Come già evidenziato nel precedente paragrafo, il Comune di Lodi, secondo la riclassificazione sismica dell'intero territorio italiano di cui all'Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003 del Presidente del Consiglio dei Ministri (pubblicata sulla G.U. n. 105, S.o.n. 72 del 08/05/2003 "*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*"), ricadeva in zona sismica 4, ovvero in quella a minor grado di sismicità (zona definita a «sismicità bassa») per cui l'assoggettamento o meno a norme antisismiche è demandato alla regione di appartenenza.

La Regione Lombardia, a tal proposito, ha emesso la D.g.r. 07/11/2003 n. 7/14964, che ha preso atto della classificazione fornita in prima applicazione dalla Ordinanza 3274/2003.

La riclassificazione operata recentemente dalla Regione Lombardia con D.g.r. 11/07/2014 n. X/2129 ha riclassificato il Comune di Lodi in zona sismica 3.

Le D.g.r. 10/10/2014 n. X/2489 e D.g.r. 08/10/2015 n. X/4144 hanno differito l'entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio al 10/04/2016.

Nello specifico, l'analisi sismica di 1° livello effettuata nello studio geologico a supporto del PGT comunale e riassunto nella Tavola "Pericolosità sismica locale", ha permesso di individuare per l'area d'intervento la situazione corrispondente allo scenario di pericolosità sismica **Z4a** "*Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi*" di cui all'Allegato 5 della D.g.r. 9/2616 del 30 novembre 2011, in grado di determinare gli effetti sismici locali per amplificazione litologica.

Per i Comuni ricadenti in zona sismica 3, la normativa regionale richiede per lo scenario **Z4** l'applicazione del 2° livello di approfondimento degli effetti sismici nelle aree urbanizzate o urbanizzabili in fase di pianificazione.

Il comune di Lodi non ha ancora provveduto all'aggiornamento dello studio geologico del PGT in recepimento della nuova classificazione sismica con l'esecuzione degli approfondimenti sismici richiesti.

Pertanto, in assenza di tali studi di aggiornamento a livello di strumento urbanistico, si è provveduto a svolgere l'analisi sismica di 2° livello nell'area d'intervento, a partire dai risultati delle indagini geofisiche commentate nel precedente paragrafo.

L'analisi sismica di 2° livello prevede una caratterizzazione semi-quantitativa degli effetti di amplificazione attesi nelle aree perimetrate in base ad uno specifico scenario di "pericolosità sismica locale", e fornisce la stima della risposta sismica dei terreni in termini di valore del Fattore di Amplificazione (Fa).

Come detto, l'area oggetto di studio è stata individuata come suscettibile di amplificazione sismica litologica.

Gli studi sono stati condotti utilizzando i metodi semi-quantitativi semplificati per la valutazione delle amplificazioni litologiche e morfologiche, in funzione del Fa, che sono stati proposti dalla Regione Lombardia con i "Criteri attuativi l.r. 12/05 per il governo del territorio" di cui all'Allegato 5 della d.g.r. VIII/7374 del 28 maggio 2008 e successive integrazioni (d.g.r. 30 novembre 2011 - n. IX/2616).

La Regione Lombardia ha fissato i valori soglia dei Fa per ogni Comune; questi valori sono stati calcolati dal Politecnico di Milano in base alle diverse categorie di suolo e in funzione di due intervalli di periodo.

I due intervalli di periodo nei quali viene calcolato il Fa sono stati scelti in funzione del periodo proprio delle tipologie edilizie più frequenti sul territorio regionale; in particolare l'intervallo tra 0,1 – 0,5 s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari, piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0,5 – 1,5 s si riferisce a strutture più alte e flessibili.

I valori di soglia dei Fa che costituiscono il riferimento per gli approfondimenti di 2° livello per il Comune di Lodi, sono riportati nelle seguenti tabelle:

| VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0,1-0,5 s | | | | | |
|--|-----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| COMUNE | Classificazione | Valori soglia | | | |
| | | Suolo tipo B | Suolo tipo C | Suolo tipo D | Suolo tipo E |
| Lodi | 3 | 1,4 | 1,8 | 2,2 | 1,9 |

| VALORI DI SOGLIA PER IL PERIODO COMPRESO TRA 0,5-1,5 s | | | | | |
|--|-----------------|---------------|--------------|--------------|--------------|
| COMUNE | Classificazione | Valori soglia | | | |
| | | Suolo tipo B | Suolo tipo C | Suolo tipo D | Suolo tipo E |
| Lodi | 3 | 1,7 | 2,4 | 4,1 | 3,0 |

Per la definizione del Fattore di Amplificazione (Fa), la normativa regionale propone una serie di schede di valutazione che correlano tale fattore con il periodo proprio del sito T, calcolato utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^n h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^n V s_i \times h_i}{\sum_{i=1}^n h_i} \right)}$$

dove h_i e $V s_i$ sono lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del profilo geofisico.

Il valore del periodo proprio del sito T è stato calcolato facendo riferimento ai risultati delle indagini geofisiche eseguite nell'ambito del sito di interesse (territorio comunale di Lodi).

È stato ottenuto un valore di periodo proprio pari a: **T = 0,477 s.**

La procedura definita dalla Regione Lombardia si basa sull'utilizzo di schede di riferimento per le seguenti litologie:

- una per litologie prevalentemente ghiaiose,
- due per litologie prevalentemente limoso-sabbiose,
- due per le litologie limoso-argillose,
- una per litologie prevalentemente sabbiose.

La scheda di riferimento utilizzata è quella per litologie sabbiose, la cui validità è stata verificata attraverso il confronto tra l'andamento delle V_s proposto dalla Regione e quello reale ricavato dal profilo geofisico analizzato.

All'interno della scheda di riferimento, in funzione della profondità e della velocità V_s dello strato superficiale, è stata scelta, la curva T-Fa più appropriata (curva 2).

Infine è stato determinato il fattore di amplificazione Fa per entrambi i periodi propri delle tipologie edilizie più frequenti.

Sulla base del profilo geofisico eseguito presso l'ex Consorzio Agrario, per il periodo tipico 0,1-0,5 s risulta un fattore di amplificazione pari a: $F_a = 1,47$. Il valore soglia di Fa per il periodo corrispondente calcolato dalla Regione per il Comune di Lodi per suoli appartenenti alla categoria C (pari a 1,8) è superiore al fattore di amplificazione Fa calcolato, per cui **risulta verificato**.

E' stato determinato il fattore di amplificazione Fa anche per il periodo tipico 0,5-1,5 s, per cui risulta un fattore di amplificazione pari a: $F_a = 1,52$; in questo caso il valore soglia di Fa per il periodo tipico 0,5-1,5 s calcolato dalla Regione per il Comune di Lodi per suoli appartenenti alla categoria C (pari a 2,4) è superiore al fattore di amplificazione Fa calcolato, per cui **risulta verificato**.

SCHEDA LITOLOGICA SABBIOSA

| | 0,1-0,5 s | 0,5-1,5 s |
|----------------------|-----------|-----------|
| Fa soglia | 1,8 | 2,4 |
| Fa suolo categoria C | 1,47 | 1,52 |

In entrambi i casi, i valori di Fa calcolati sono inferiori al valore Fa soglia, pertanto la normativa nazionale (N.T.C. di cui al D.M. 17/01/18) è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi nella progettazione esecutiva si dovrà applicare lo spettro previsto dalla normativa per i suoli di categoria C.

8.5 Suscettibilità alla liquefazione

Le NTC 2018 prevedono che il sito presso il quale è in progetto una nuova opera deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità di pendii o manufatti, occorre procedere ad interventi di consolidamento del terreno e/o trasferire il carico a strati di terreno non suscettibili di liquefazione. In assenza di interventi di miglioramento del terreno, l'impiego di fondazioni profonde richiede comunque la valutazione della riduzione della capacità portante e degli incrementi delle sollecitazioni indotti nei pali.

Le NTC 2018 prescrivono, anche, che la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti 4 circostanze:

- a. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizione di *free-field*) inferiori a $0.1g$ ($a < 1 \text{ m/sec}^2$);
- b. profondità media stagionale della falda superiore a 15 metri dal piano di campagna, quest'ultimo inteso ad andamento sub-orizzontale e con strutture a fondazioni superficiali;
- c. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $N_{1,60} > 30$;
- d. elevata presenza, nel fuso granulometrico, di terreni a componente fine (limi e argille) o di ghiaie.

Per il nostro scenario la normativa regionale richiede l'applicazione diretta del terzo livello di approfondimento degli effetti sismici in fase di progettazione, con calcolo del potenziale di liquefazione riferendosi ai risultati delle indagini svolte in sito.

Quest'ultimo si basa sul rapporto che intercorre fra le sollecitazioni di taglio che producono liquefazione e quelle indotte dal terremoto; richiedono perciò di valutare i parametri relativi sia all'evento sismico sia al deposito, determinati questi ultimi sulla base di correlazioni della resistenza alla liquefazione con parametri desunti da prove in sito.

La resistenza del deposito alla liquefazione viene valutata in termini di fattore di resistenza alla liquefazione:

$$F_s = \frac{CRR}{CSR}$$

dove CRR (Cyclic Resistance Ratio) indica la resistenza del terreno agli sforzi di taglio ciclico e CSR (Cyclic Stress Ratio) la sollecitazione di taglio massima indotta dal sisma.

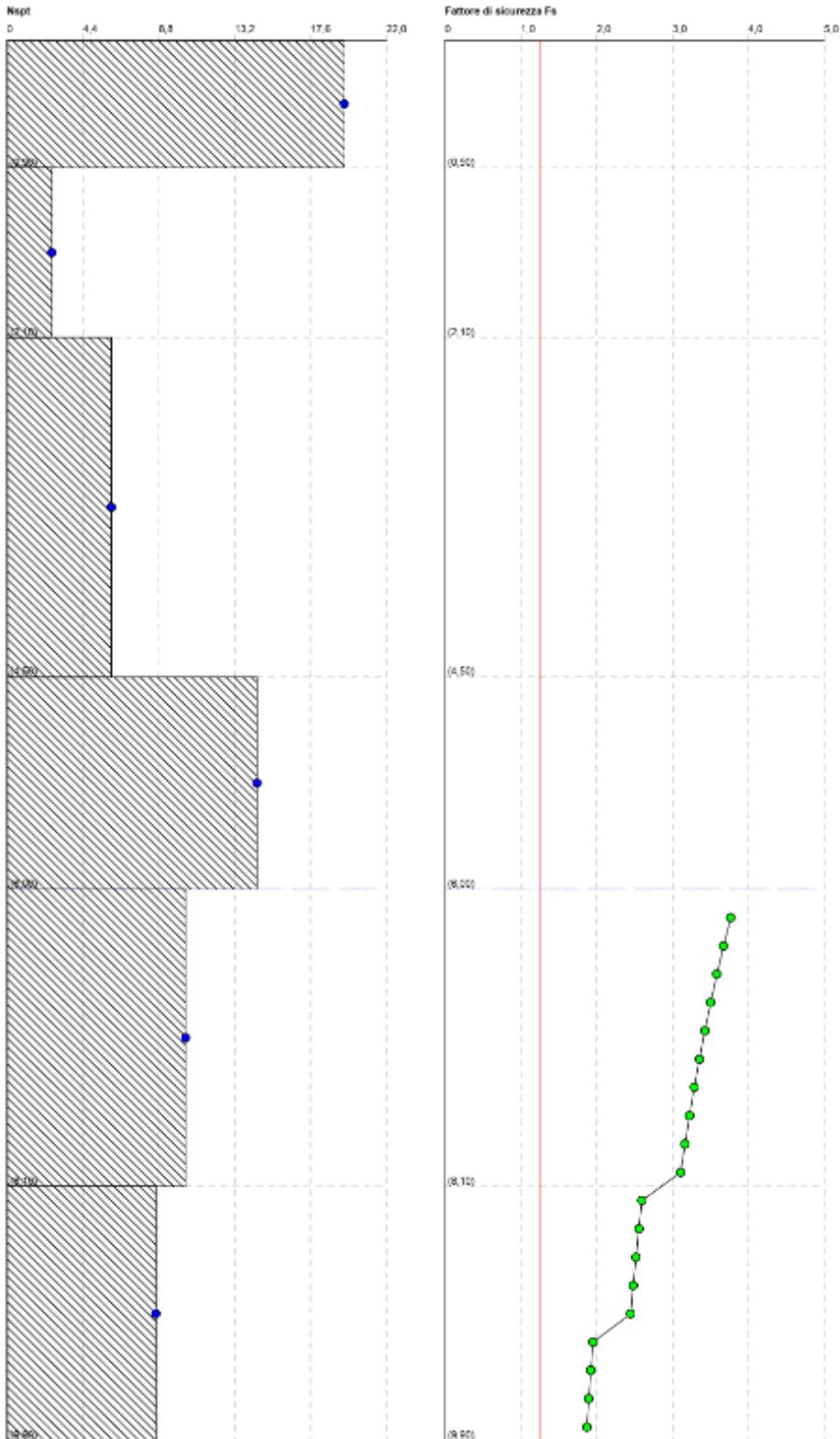
In sintesi, il suddetto metodo determina la resistenza alla liquefazione CRR sulla base dei valori di N_{SPT} determinati mediante prove penetrometriche dinamiche, attraverso un processo iterativo, ed è valido per sabbie pulite e sabbie con fini.

L'applicazione del metodo descritto ha fornito valori di FS per gli orizzonti suscettibili di liquefazione sempre superiori a 1,25 (tale limite è indicato, nel grafico, dalla linea rossa verticale) e, pertanto, si può escludere la possibilità di occorrenza di tale fenomeno (si veda il grafico riportato al termine del paragrafo).

La tabella sottostante mostra i valori di FS ottenuti applicando il metodo dell'Eurocodice 8 (ENV 1998-5) sulla verticale della prova SCPT₉, che è quella che ha fornito la minore resistenza alla penetrazione (nel tratto sotto falda).

| Profondità dal p.c. (m) | Pressione litostatica totale (KPa) | Pressione verticale effettiva (KPa) | Correzione per la pressione e litostatica efficace (CN) | Numero colpi corretto (N _{1,60}) | Coefficiente riduttivo (rd) | Resistenza alla liquefazione (CRR) | Sforzo di taglio normalizzato (CSR) | Coefficiente di sicurezza Fs | Suscettibilità di liquefazione |
|-------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|---|--|-----------------------------|------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------|--|
| 6,20 | 102,754 | 100,793 | 0,996 | 10,309 | 0,953 | 0,113 | 0,030 | 3,766 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 6,40 | 106,520 | 102,597 | 0,987 | 10,218 | 0,951 | 0,112 | 0,030 | 3,672 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 6,60 | 110,286 | 104,402 | 0,979 | 10,129 | 0,950 | 0,111 | 0,031 | 3,584 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 6,80 | 114,052 | 106,207 | 0,970 | 10,043 | 0,948 | 0,110 | 0,031 | 3,503 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 7,00 | 117,818 | 108,011 | 0,962 | 9,959 | 0,946 | 0,109 | 0,032 | 3,426 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 7,20 | 121,584 | 109,816 | 0,954 | 9,877 | 0,945 | 0,108 | 0,032 | 3,354 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 7,40 | 125,350 | 111,621 | 0,947 | 9,796 | 0,943 | 0,107 | 0,033 | 3,287 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 7,60 | 129,116 | 113,425 | 0,939 | 9,718 | 0,942 | 0,107 | 0,033 | 3,223 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 7,80 | 132,882 | 115,230 | 0,932 | 9,642 | 0,940 | 0,106 | 0,033 | 3,163 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 8,00 | 136,648 | 117,035 | 0,924 | 9,567 | 0,939 | 0,105 | 0,034 | 3,107 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 8,20 | 140,404 | 118,829 | 0,917 | 7,908 | 0,937 | 0,089 | 0,034 | 2,597 | Terreno non suscettibile di liquefazione |

| | | | | | | | | | |
|------|---------|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--|
| 8,40 | 144,150 | 120,614 | 0,911 | 7,849 | 0,936 | 0,088 | 0,035 | 2,556 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 8,60 | 147,896 | 122,399 | 0,904 | 7,791 | 0,934 | 0,088 | 0,035 | 2,518 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 8,80 | 151,642 | 124,183 | 0,897 | 7,735 | 0,933 | 0,087 | 0,035 | 2,481 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 9,00 | 155,388 | 125,968 | 0,891 | 7,680 | 0,931 | 0,087 | 0,035 | 2,446 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 9,20 | 159,134 | 127,753 | 0,885 | 7,626 | 1,149 | 0,086 | 0,044 | 1,951 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 9,40 | 162,880 | 129,537 | 0,879 | 7,574 | 1,149 | 0,086 | 0,045 | 1,923 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 9,60 | 166,626 | 131,322 | 0,873 | 7,522 | 1,148 | 0,085 | 0,045 | 1,896 | Terreno non suscettibile di liquefazione |
| 9,80 | 170,372 | 133,107 | 0,867 | 7,471 | 1,148 | 0,085 | 0,045 | 1,871 | Terreno non suscettibile di liquefazione |

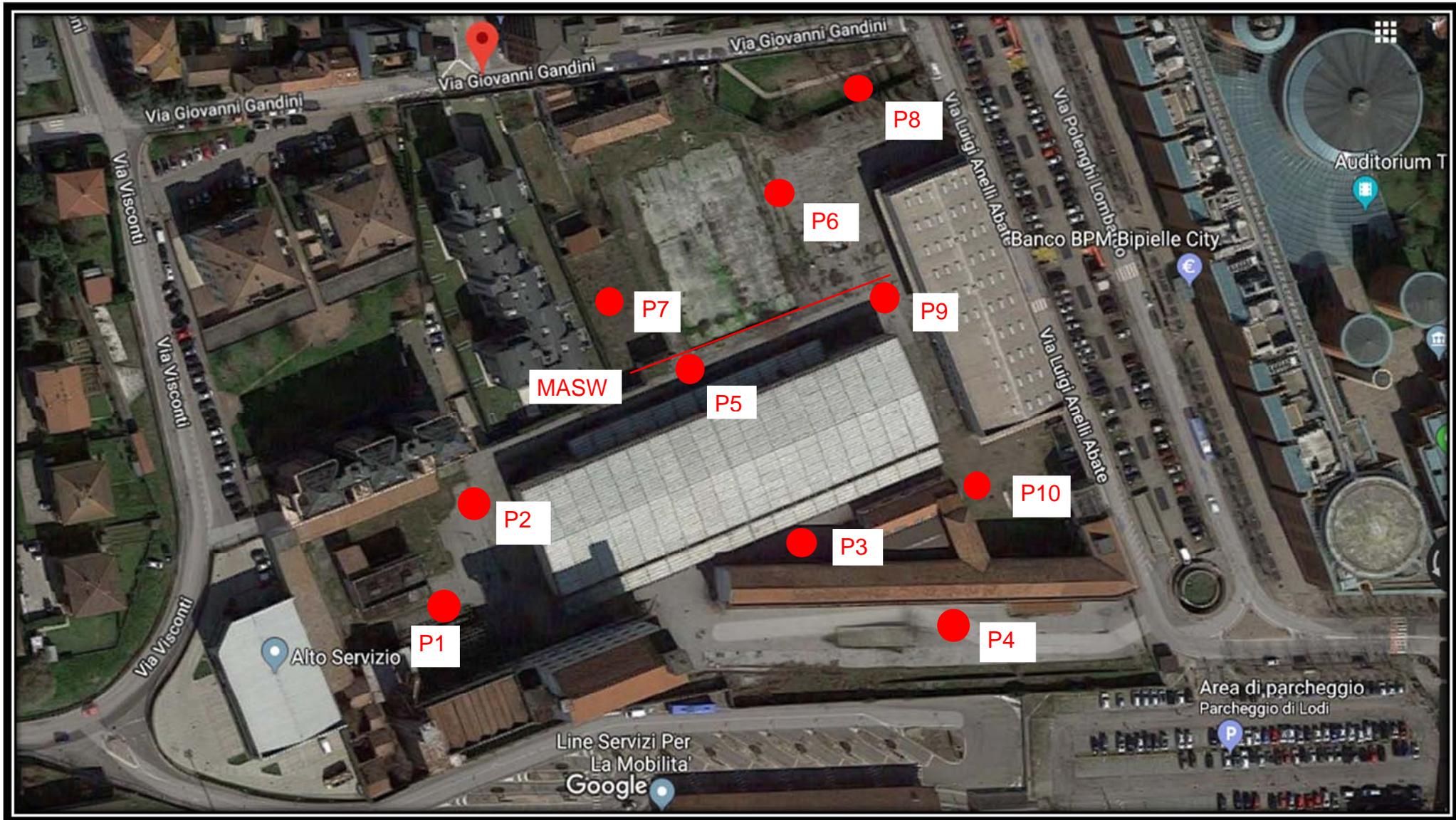


Si può escludere quindi con certezza l'area interessata da eventuali fenomeni di liquefazione.

9 CONCLUSIONI

Sulla base delle risultanze ottenute nel corso dell'indagine eseguita a supporto dell'intervento in progetto e considerato il contesto geologico, geomorfologico ed idrogeologico del sito in esame, fatte salve le indicazioni riportate nella presente relazione, si ritiene l'intervento in progetto COMPATIBILE con le condizioni presenti e, in particolare, con le risultanze dello Studio Geologico di supporto al PGT Comunale di Lodi.





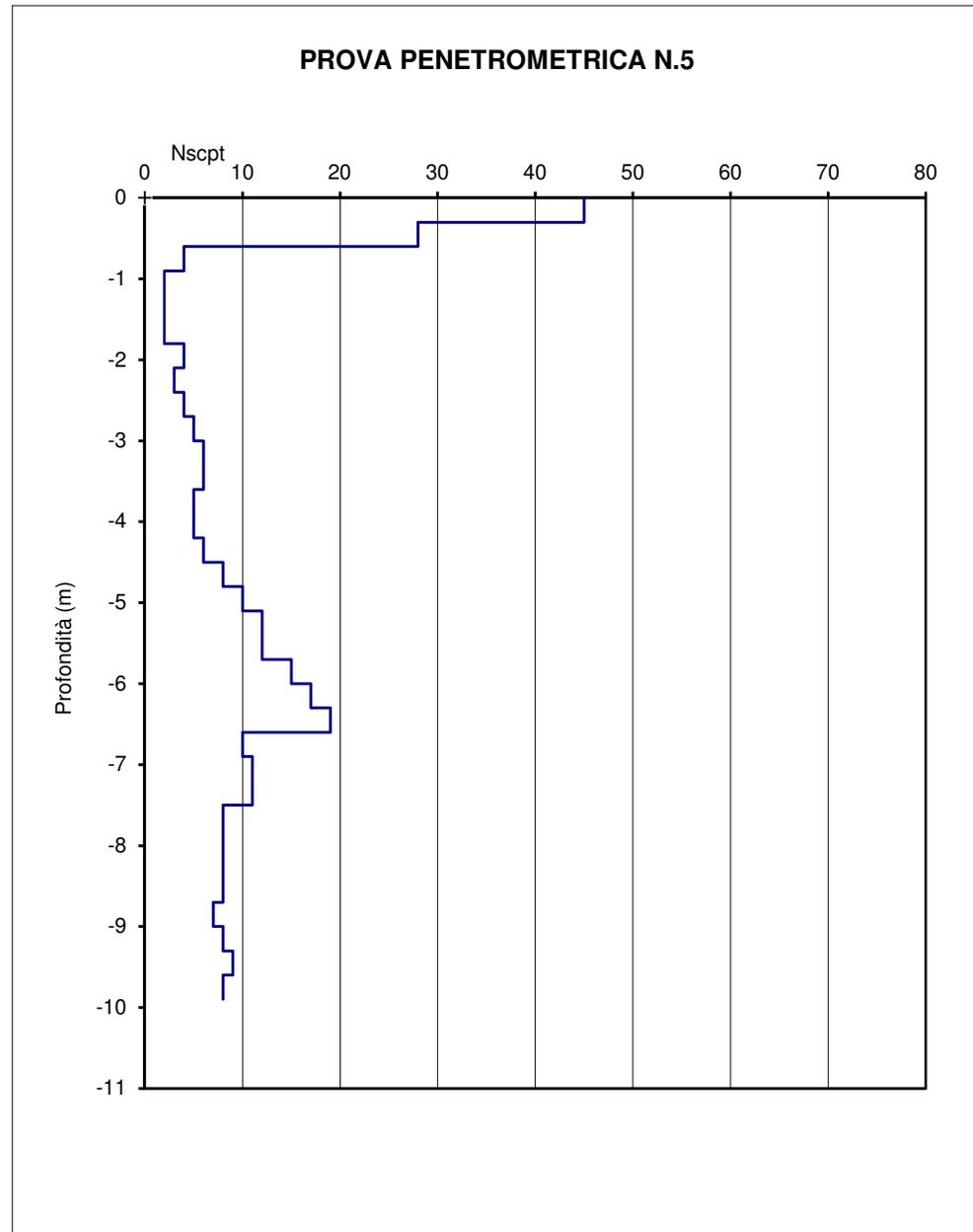
CANTIERE DI LODI - VIA LUIGI ANELLI ABATE

DATA DI ESECUZIONE DELLE PROVE: 22/05/2019

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA S.C.P.T. (STANDARD A.G.I.)

| Profondità | RP | RL |
|------------|----|----|
| 0 | 45 | |
| | 28 | |
| | 4 | |
| | 2 | |
| -1,5 | 2 | |
| | 2 | |
| | 4 | |
| | 3 | |
| | 4 | |
| -3 | 5 | |
| | 6 | |
| | 6 | |
| | 5 | |
| | 5 | |
| -4,5 | 6 | |
| | 8 | |
| | 10 | |
| | 12 | |
| | 12 | |
| -6 | 15 | |
| | 17 | |
| | 19 | |
| | 10 | |
| | 11 | |
| -7,5 | 11 | |

| Profondità | RP | RL |
|------------|----|----|
| | 8 | |
| | 8 | |
| | 8 | |
| | 8 | |
| -9 | 7 | |
| | 8 | |
| | 9 | |
| | 8 | |
| -10,5 | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| -12 | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| -13,5 | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| -15 | | |



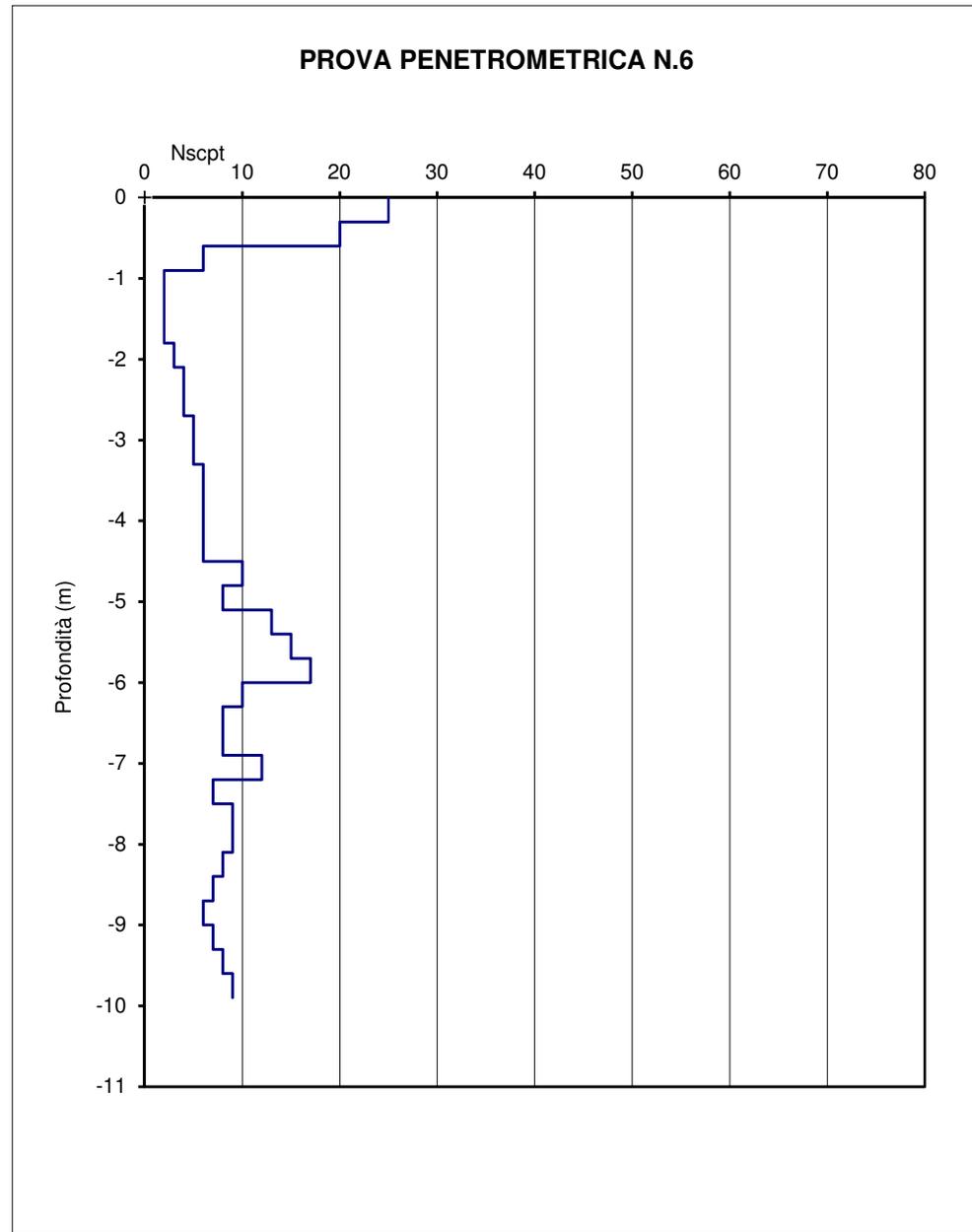
CANTIERE DI LODI - VIA LUIGI ANELLI ABATE

DATA DI ESECUZIONE DELLE PROVE: 22/05/2019

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA S.C.P.T. (STANDARD A.G.I.)

| Profondità | RP | RL |
|------------|----|----|
| 0 | 25 | |
| | 20 | |
| | 6 | |
| | 2 | |
| -1,5 | 2 | |
| | 2 | |
| | 3 | |
| | 4 | |
| | 4 | |
| -3 | 5 | |
| | 5 | |
| | 6 | |
| | 6 | |
| | 6 | |
| -4,5 | 6 | |
| | 10 | |
| | 8 | |
| | 13 | |
| | 15 | |
| -6 | 17 | |
| | 10 | |
| | 8 | |
| | 8 | |
| | 12 | |
| -7,5 | 7 | |

| Profondità | RP | RL |
|------------|----|----|
| | 9 | |
| | 9 | |
| | 8 | |
| | 7 | |
| -9 | 6 | |
| | 7 | |
| | 8 | |
| | 9 | |
| -10,5 | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| -12 | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| -13,5 | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| -15 | | |



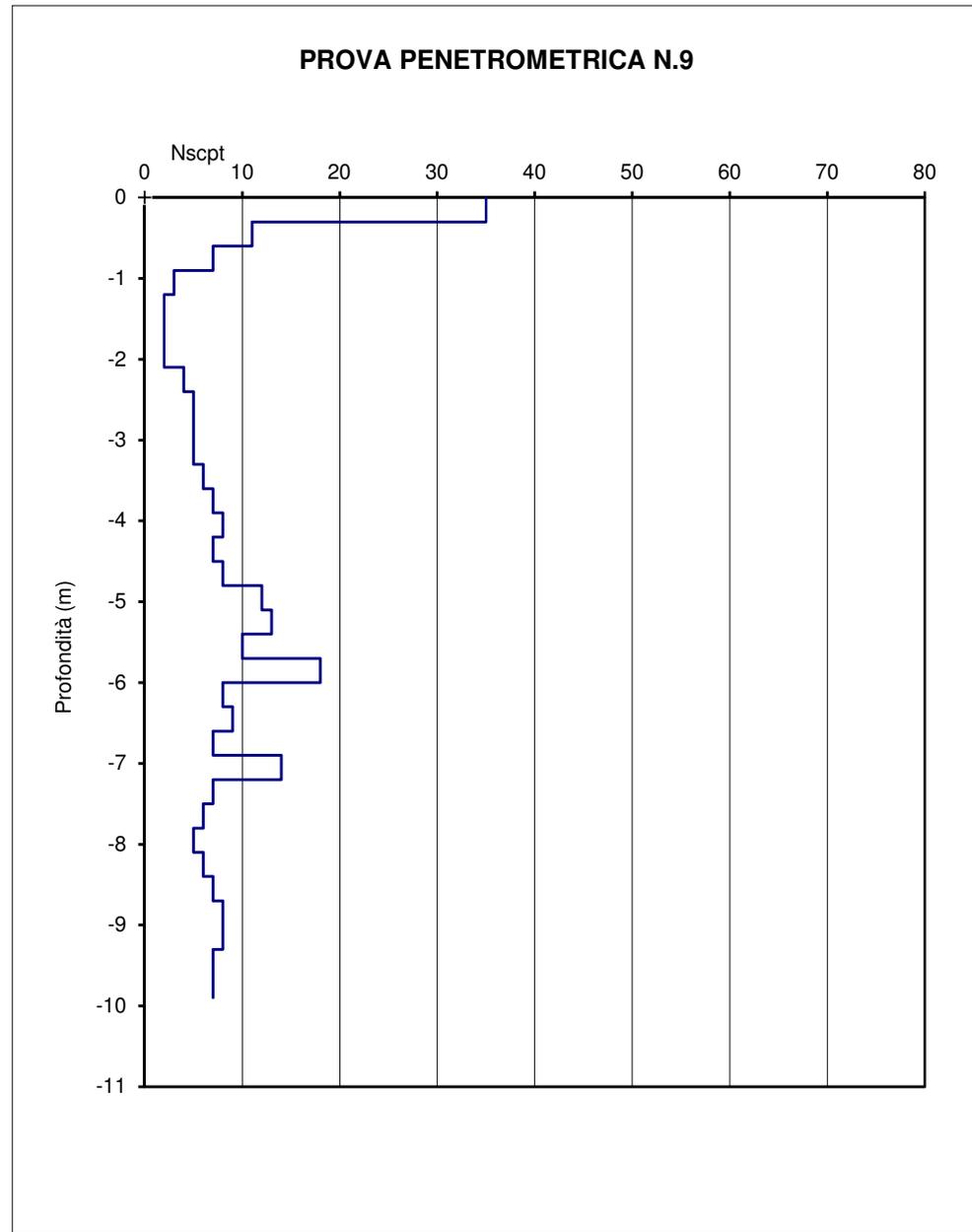
CANTIERE DI LODI - VIA LUIGI ANELLI ABATE

DATA DI ESECUZIONE DELLE PROVE: 22/05/2019

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA CONTINUA S.C.P.T. (STANDARD A.G.I.)

| Profondità | RP | RL |
|------------|----|----|
| 0 | 35 | |
| | 11 | |
| | 7 | |
| | 3 | |
| -1,5 | 2 | |
| | 2 | |
| | 2 | |
| | 4 | |
| | 5 | |
| -3 | 5 | |
| | 5 | |
| | 6 | |
| | 7 | |
| | 8 | |
| -4,5 | 7 | |
| | 8 | |
| | 12 | |
| | 13 | |
| | 10 | |
| -6 | 18 | |
| | 8 | |
| | 9 | |
| | 7 | |
| | 14 | |
| -7,5 | 7 | |

| Profondità | RP | RL |
|------------|----|----|
| | 6 | |
| | 5 | |
| | 6 | |
| | 7 | |
| -9 | 8 | |
| | 8 | |
| | 7 | |
| | 7 | |
| -10,5 | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| -12 | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| -13,5 | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| -15 | | |



- Da 0 metri a circa – 4,5 metri
UNITA' A
Sabbia in matrice limoso-argillosa

$$\begin{aligned}N_{\text{SPT}} &= 5 \\ \Phi &= 27^\circ \\ \gamma &= 18 \text{ kN/m}^3 \\ D_r &= 20 \% \\ c' &= 2 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

- Da circa – 4,5 metri a circa – 7/7,5 metri
UNITA' B
Sabbia e ghiaia

$$\begin{aligned}N_{\text{SPT}} &= 15 \\ \Phi &= 32^\circ \\ \gamma &= 19 \text{ kN/m}^3 \\ D_r &= 50 \%\end{aligned}$$

- Da circa – 7/7,5 metri a – 10 metri
UNITA' C
Sabbia e ghiaia in matrice limosa

$$\begin{aligned}N_{\text{SPT}} &= 10 \\ \Phi &= 30^\circ \\ \gamma &= 19 \text{ kN/m}^3 \\ D_r &= 35 \%\end{aligned}$$

N.B.: N_{SPT} = numero colpi/30 cm;
 Φ = angolo di attrito del materiale;
 γ = peso di volume;
 D_r = densità relativa;
 c' = coesione efficace.

Dove non è indicato il valore di coesione si può trascurare in quanto prossimo allo zero.

La falda freatica è stata rilevata ad una quota media di – 6,20 metri dal piano di inizio prove.



P1



P2



P3



P4



P5



P6



P7



P8



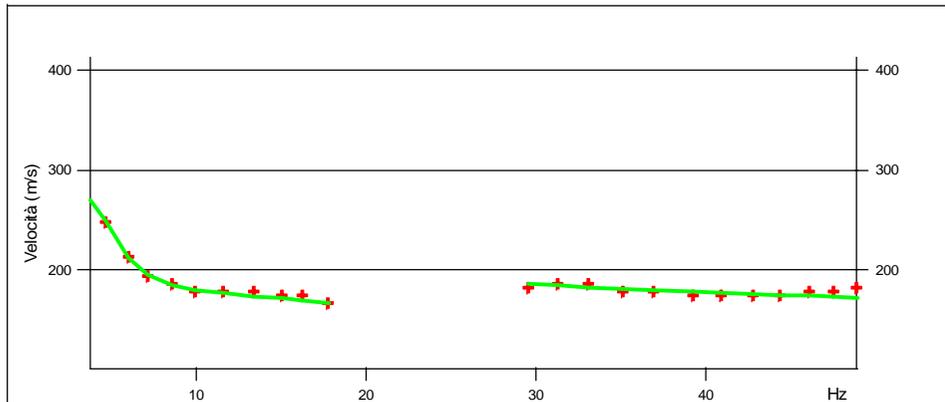
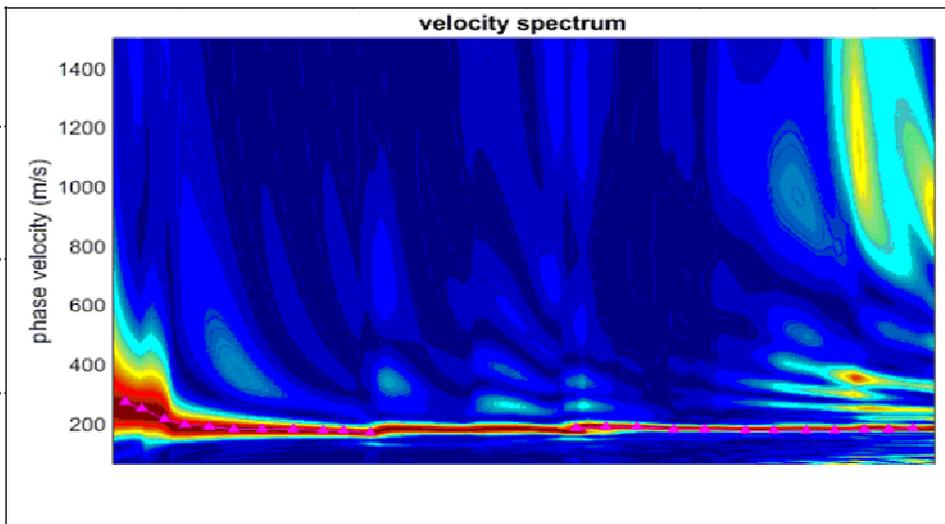
P9



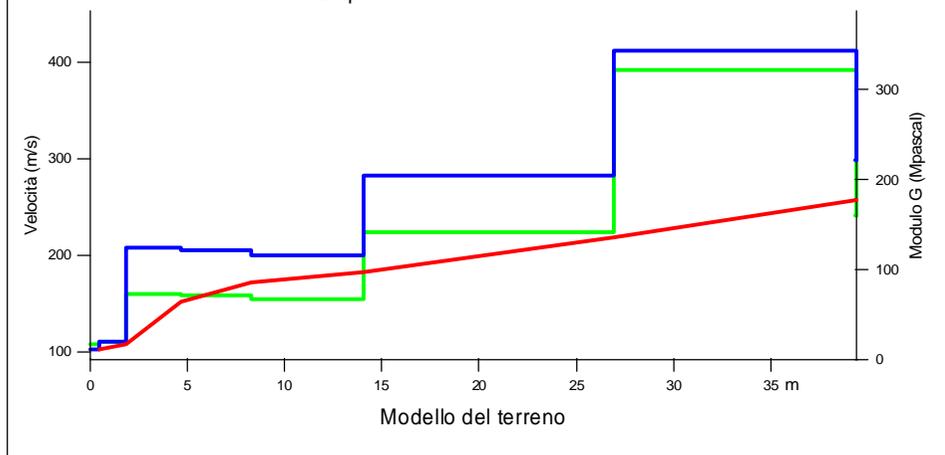
P10



MASW



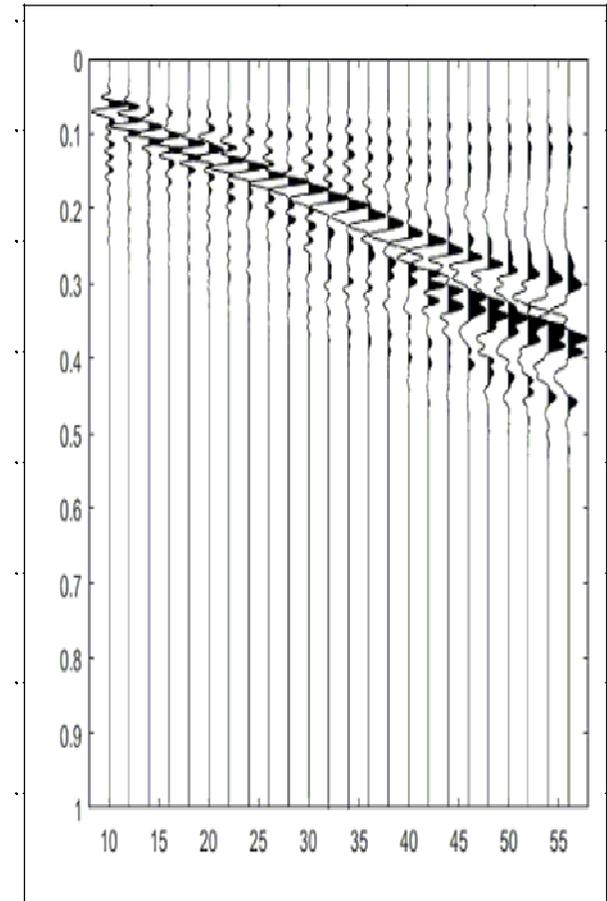
Dispersione misurata e calcolata



LEGENDA

- + Curva di dispersione misurata
- Curva di dispersione calcolata
- Velocità sismica delle onde S
- Modulo di taglio (Mpasca)
- VsX

Il valore approssimato del peso di volume per il calcolo del parametro G è dato dalla formula $D=1.5 + Vs/1000$



Sismogramma

TABELLA DI CALCOLO

| Da Prof. | a Prof. | Vs | H/Vi | VsX | G |
|----------|---------|-----|-------|-----|-----|
| 0 | .5 | 102 | .0049 | 102 | 17 |
| .5 | 1.9 | 110 | .0124 | 108 | 19 |
| 1.9 | 4.7 | 207 | .0138 | 152 | 73 |
| 4.7 | 8.3 | 205 | .0175 | 171 | 72 |
| 8.3 | 14.1 | 199 | .0291 | 181 | 67 |
| 14.1 | 26.9 | 282 | .0455 | 219 | 142 |
| 26.9 | 39.4 | 411 | .0304 | 257 | 323 |

VALORE CALCOLATO VS EQ. = 230 m/s

PROVA SISMICA VS30

Lodi - Via Anelli

Dott. Geol. Filippo Rizzo

Metodologia MASW

VELOCITA' DELLE ONDE S

Maggio 2019