

COMUNE di LODI



PROGETTO di FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICO

Riqualificazione e Recupero Ex Linificio Nazionale Piazzale Forni

PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA (PNRR)_MISSIONE 5_COMPONENTE
2 INVESTIMENTO / SUBINVESTIMENTO 2.1 "RIGENERAZIONE URBANA"
CUP E13D21001000001

GRUPPO PROGETTAZIONE

CS A Corrado Serafini **architetti**
Via Paolo Diacono 6, 20133 Milano
Arch. Corrado Serafini, Arch. Greta Magnani, Arch. Roberta Santambrogio

MATTEO VERCELLONI STUDIO DI ARCHITETTURA
VIA VOLTURNO 31 20124 MILANO
Arch. Matteo Vercelloni, Arch. Stefano De Feudis

CONSULENTI



S. P. S.S.r.l. Studio Progetti Strutturali - Ing. Andrea Sala
Via Melchiorre Gioia 64, 20125 Milano

Impianti Elettrici e Meccanici - P.I. Gianluca Terreni
via Circonvallazione 73, Trezzano S/N (MI)

Tecnico Acustico Dott. Gianluca Midali
via R. Sanzio 3 Almenno S.Salvatore (BG)

STR-ALL-02

Data

12.2022

Relazione geologica

COMUNE DI LODI (LO)

RELAZIONE GEOLOGICA (R1-R3)

AI SENSI DELLA D.G.R. N. IX/2616 DEL 30.11.2011 E DEL D.M. 17.01.2018

**Intervento di ristrutturazione, recupero e rigenerazione urbana del
complesso dell'ex Linificio sito in Piazzale Forni**

IL COMMITTENTE:

CITTA' DI LODI
Direzione Organizzativa 3-Servizi Tecnici
Gestione tecnica e manutentiva del demanio e del patrimonio comunale
Piazza Broletto, 1
26900 LODI

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Viganò Giovanni



A handwritten signature in blue ink, appearing to read "G. Viganò".

INDICE

1. PREMESSA E NORMATIVE DI RIFERIMENTO.....	1
2. VINCOLI GEOLOGICI, IDROGEOLOGICI E IDRAULICI.....	7
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DEL SITO	9
3.1 Geologia e geomorfologia	
3.2. Idrogeologia	
4. INDAGINE GEOFISICA IN SITO.....	12
4.1 Generalità	
4.2 Prove per la definizione della $V_{s_{eq}}$ (RE.MI e MASW)	
4.3 Strumentazione utilizzata	
4.4 "Masw" (Multichannel Analysis of Surface Waves)	
4.5 "Re.mi." (Refraction microtremor)	
4.6 Misura dei rapporti spettrali HVSR-Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Ipotesi di Nakamura)	
4.6.1 Strumentazione utilizzata e modalità di acquisizione	
4.6.2 Elaborazione ed analisi dei dati	
5. MODELLO SISMICO E PARAMETRI DINAMICI DEL SOTOSUOLO.....	24
6. PERICOLOSITA' SISMICA.....	27
6.1. Premessa	
6.2. Zone sismogenetiche	
6.3. Sorgenti sismogenetiche individuali/composite	
6.4. Sismicità storica	
6.5. Quadro normativo e classificazione sismica dell'area	
6.6. Pericolosità sismica locale	
7. VALUTAZIONE DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE SISMICA LOCALE AI SENSI DELLA D.G.R. N. IX/2616 DEL 30.11.2011 (APPROFONDIMENTO SISMICO DI II° LIVELLO)	37
8. VALUTAZIONE DELL'ACCELERAZIONE SISMICA MASSIMA DEL SITO	42
9. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO	45
9.1 Premessa	
9.2 Prove penetrometriche statiche CPT	
9.2 Sondaggi a carotaggio continuo	
9.3 Prove penetrometriche dinamiche SPT (Standard Penetration Test)	
9.4 Prove di laboratorio sui campioni prelevati	
10. ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO E MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO.....	59
11. VERIFICA DI STABILITA' DEL SITO NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE	60
11.1 Premessa	
11.2 Metodologia di verifica	
12. CONCLUSIONI ED INDICAZIONI PROGETTUALI.....	65

ALLEGATI

- Allegato 1 PROVE SISMICHE SUPERFICIALI MASW/RE.MI.
Allegato 2 RISULTATI PROVE HVSR
Allegato 3 RISULTATI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

CITTA' DI LODI-Piazza Broletto 1-26900 LODI

Direzione Organizzativa 3-Servizi tecnici-Gestione tecnica e manutentiva del demanio e del patrimonio comunale

Intervento di ristrutturazione, recupero e rigenerazione urbana del complesso dell'ex Linificio sito in Piazzale Forni

Relazione geologica (R1-R3) - D.G.R. n.IX/2616 30.11.2011 e D.M. 17.01.2018

Allegato 4 STRATIGRAFIE SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO

Allegato 5 MODULO 9-DICHIARAZIONE/ASSEVERAZIONE DEL GEOLOGO DI CONGRUITA' DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI REQUISITI RICHIESTI DAL PARAGRAFO 6.2.1 NTC/2018 E/O DALLA D.G.R. 2616/2011

1. PREMESSA E NORMATIVE DI RIFERIMENTO

La presente relazione è finalizzata a definire gli elementi geologici, geomorfologici, litostratigrafici e sismici ai sensi della D.G.R. n.IX/2616 del 30.11.2011 e del D.M. 17.01.2018 a supporto dell'intervento di ristrutturazione, recupero e rigenerazione urbana del complesso dell'ex Linificio ubicato nella città di Lodi in Piazzale Forni (cfr. Fig.1÷5). Per la descrizione dettagliata degli interventi e delle opere previste, visualizzati nelle planimetrie e piante riportate nelle figure 6÷8 si rimanda agli elaborati progettuali. Il rapporto è stato redatto con riferimento alle seguenti normative:

- D.M. 14 gennaio 2008-*Nuove norme tecniche per le costruzioni*
- D.M. 17 gennaio 2018-*Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni*
- Circolare 2 febbraio 2009 n.617 C.S.LL.PP.-*Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008*
- Circolare 21 gennaio 2019 n.7 C.S.LL.PP.-*Istruzioni per l'applicazione dell'“Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni” di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018*
- OPCM n.3274 del 20 marzo 2003-*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zone sismiche* OPCM n.3519 del 28 aprile 2006-*Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle stesse zone*
- L.R. n.33 del 12 ottobre 2015-*Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche*

Fig.1-Foto aerea



Fig.2-Corografia: stralcio CTR sezione B7e1



Fig.3-Planimetria aereofotogrammetrica

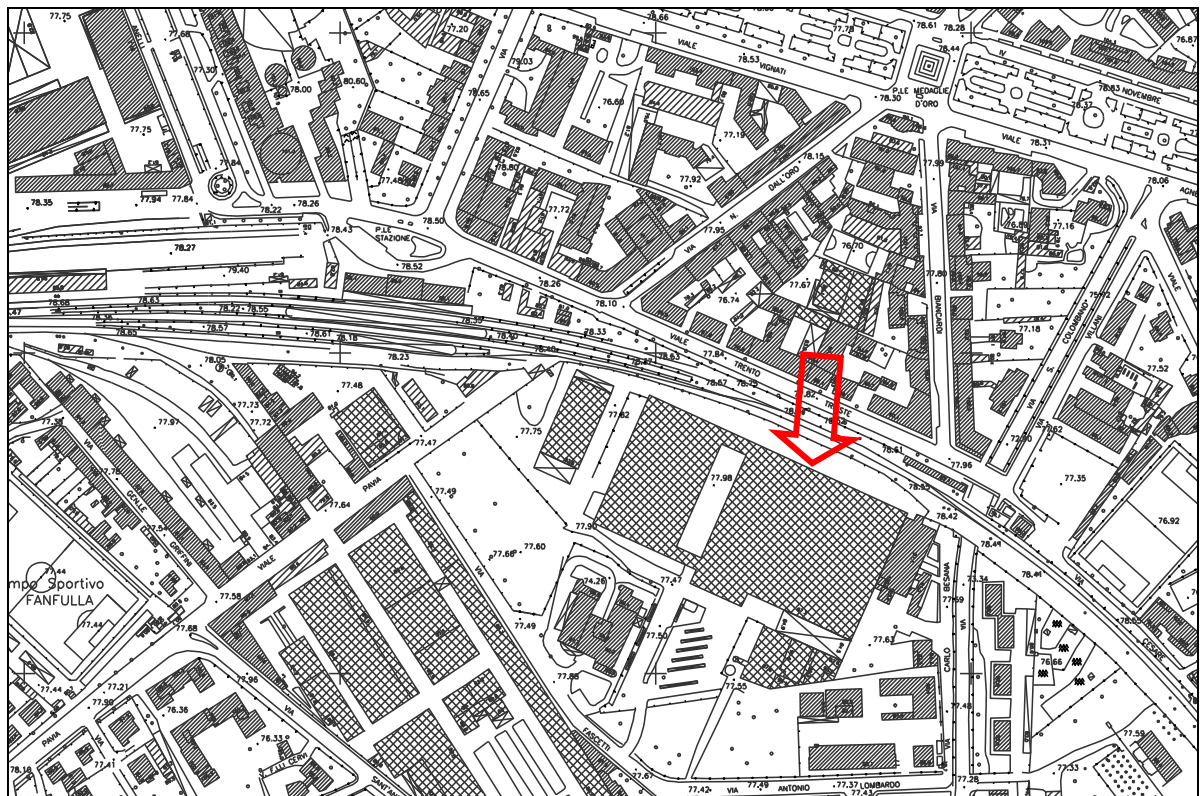


Fig.4-*Planimetria catastale*

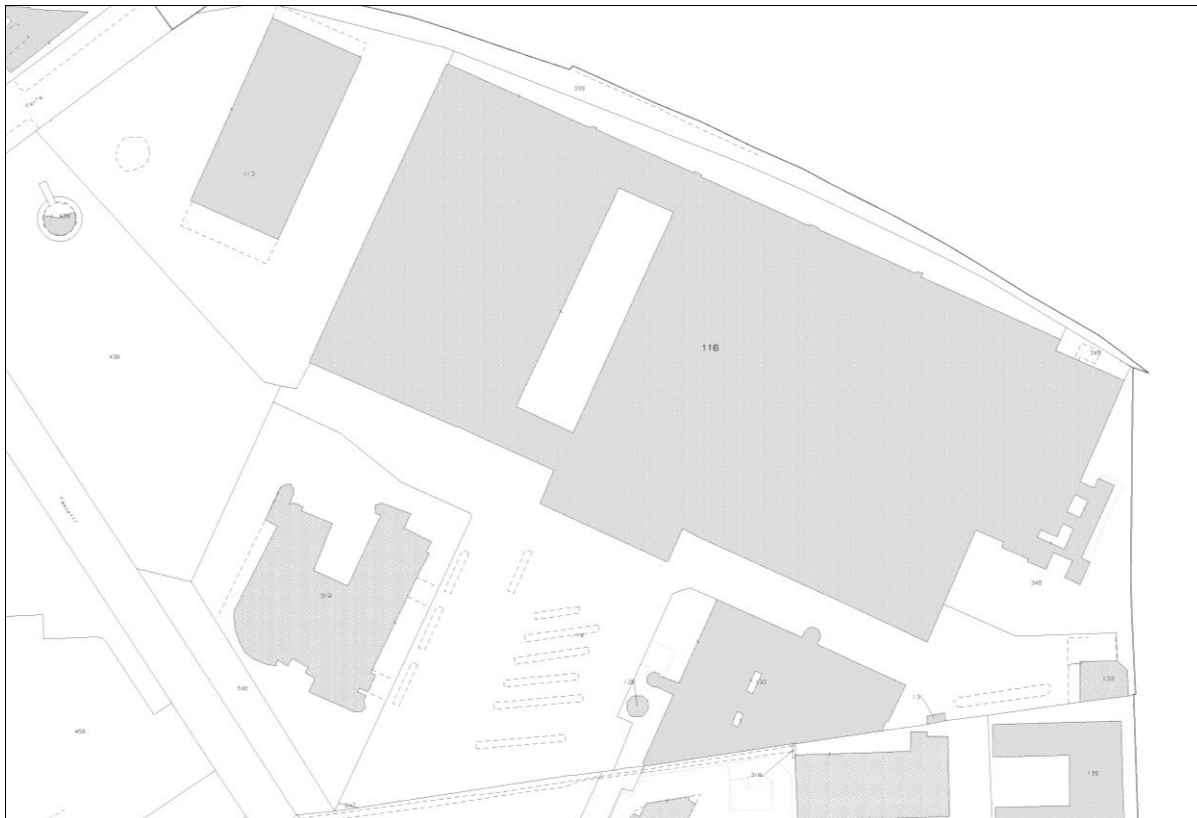
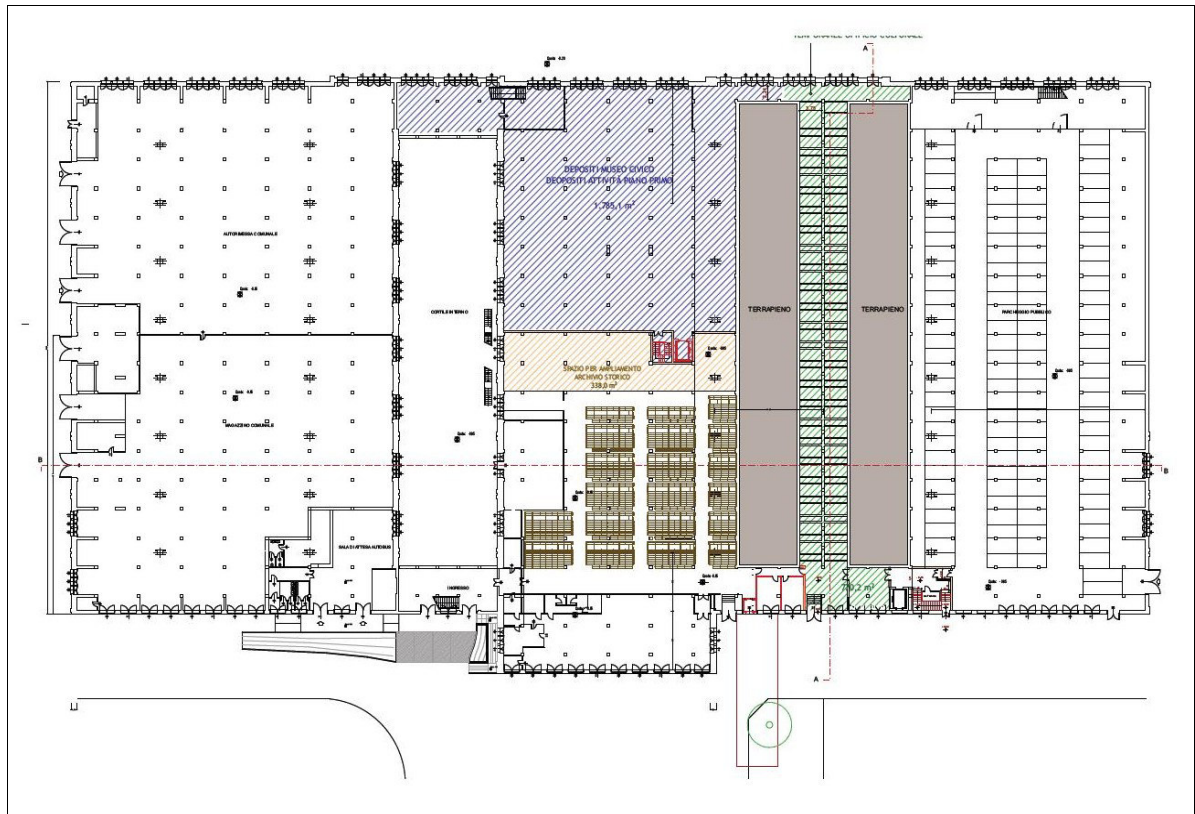


Fig.5-*Particolare foto aerea*



Fig.6-Planimetria di progetto piano seminterrato



- D.g.r. n. X/2129 dell'11 Luglio 2014-Aggiornamento delle Zone sismiche in regione Lombardia (L.r. 1/2000, art.3, c.108, lett. d)
- D.G.R. n.X/5001 del 30 marzo 2016-Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica (artt. 3, comma 1, e 13, comma 1, della l.r. 33/2015)
- D.P.R. n.380 del 6 giugno 2001-Testo unico delle disposizioni legislative e regolamentari in materia edilizia
- D.G.R. n.IX/2616 del 30 novembre 2011-Aggiornamento dei "Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio, in attuazione dell'art. 57, comma 1, della l.r. 11 marzo 2005, n.12", approvati con d.g.r. 22 dicembre 2005, n.8/1566 e successivamente modificati con d.g.r. 28 maggio 2008, n.8/7374.
- D.G.R. n.X/6738 del 19 giugno 2017-"Disposizioni regionali concernenti l'attuazione del Piano di Gestione dei Rischi di Alluvione (PGRA) nel settore urbanistico e di pianificazione dell'emergenza, ai sensi dell'art.58 delle norme di attuazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) del bacino del fiume Po così come integrate dalla variante adottata in data 7 dicembre 2016 con deliberazione n.5 dal comitato istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po

Fig.7-Pianta quota 3.06



- Norme Tecniche di Attuazione *Componente geologica, idrogeologica e sismica* del PGT

Fig.8-Pianta quota 6.69



Per la definizione dell'assetto litostratigrafico e del modello geologico e geotecnico del sottosuolo sono state eseguite secondo un piano d'indagine condiviso con l'Ing. Sala (S.P.S. Srl), cinque prove penetrometriche statiche CPT (*Cone Penetration Test*) in data 22/26.11.2022 e due sondaggi a carotaggio continuo in data 20/27.12.2022 con prove SPT (*Standard Penetration Test*) in foro in fase di avanzamento della perforazione e prelievo di campioni disturbati ed indisturbati a varie profondità sottoposti a prove di laboratorio. I risultati delle prove di laboratorio, attualmente non ancora disponibili, verranno illustrati nella relazione Geotecnica R2.

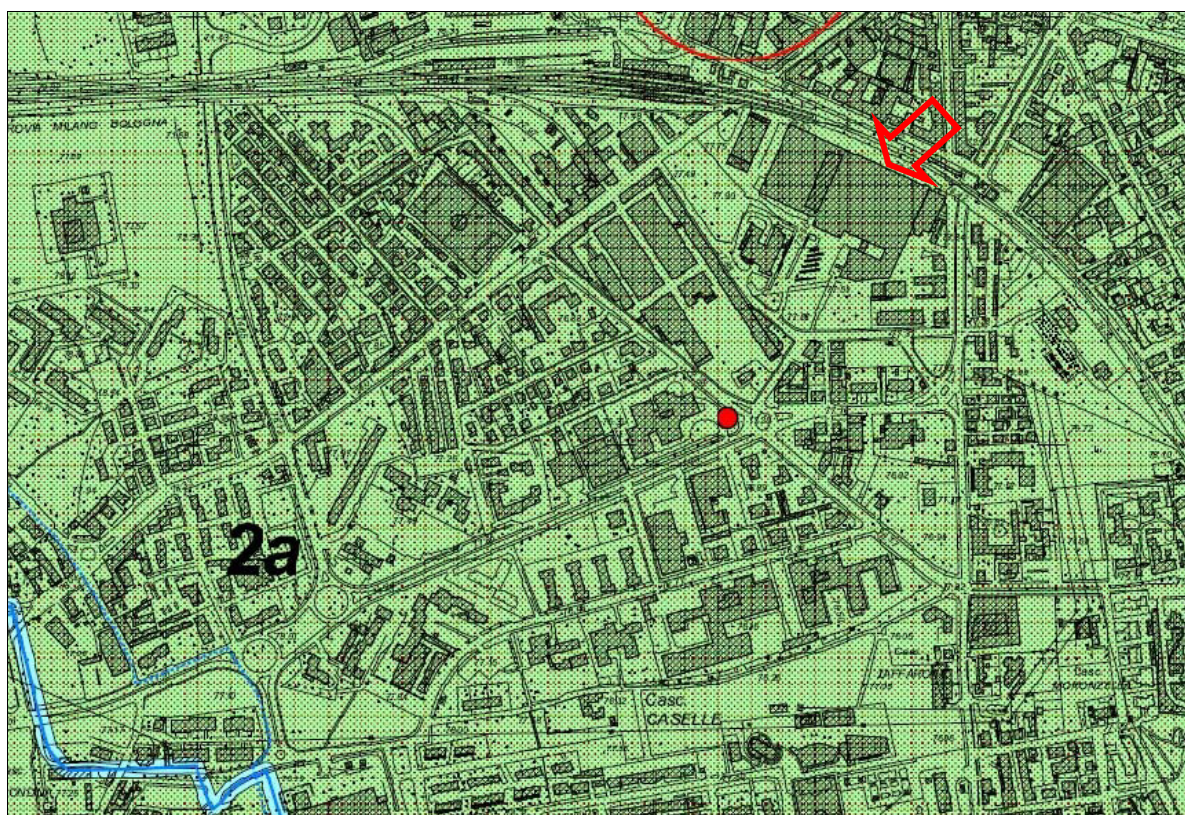
Il modello sismo-stratigrafico del sottosuolo è stato valutato mediante l'esecuzione di due prove geofisiche tipo Re.mi./Masw in data 25.11.2022, mentre la frequenza di vibrazione fondamentale del terreno propria del sito attraverso la misura dei rapporti spettrali HVSR o metodo di Nakamura. Le suddette indagini sono state integrate con i risultati di indagini geotecniche e simiche analoghe realizzate nella città di Lodi in prossimità dell'area in esame e con i dati riportati in bibliografia:

- *Componente geologica, geotecnica e sismica comunale di Lodi*
- *Piano Cave della Provincia di Lodi*
- *Carta geologica d'Italia scala 1:100.000, Fg.60 Piacenza*
- *Geoportale Regione Lombardia.*

2. VINCOLI GEOLOGICI, IDROGEOLOGICI E IDRAULICI

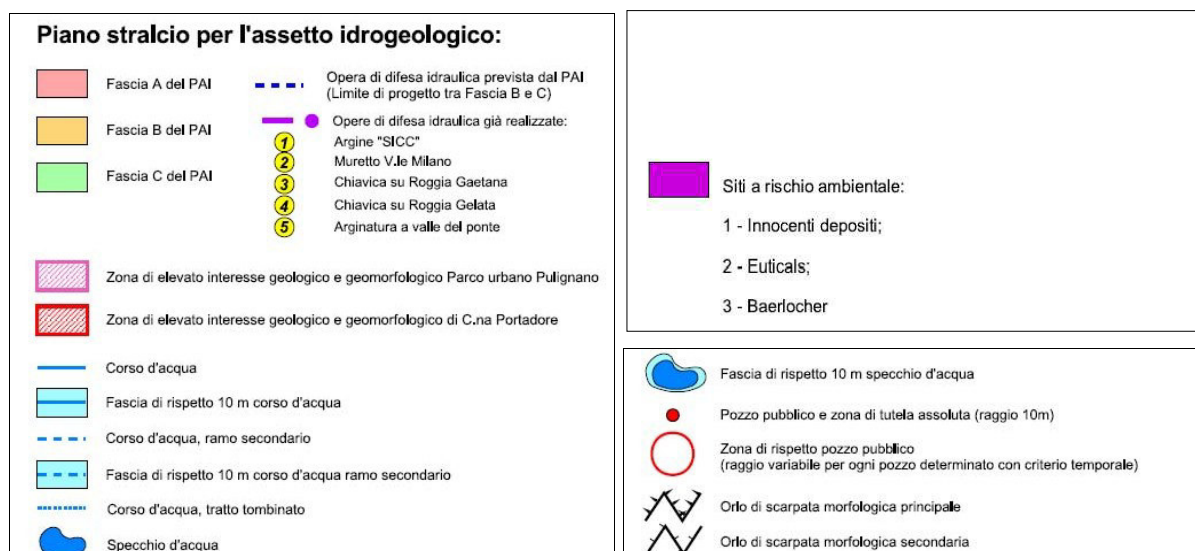
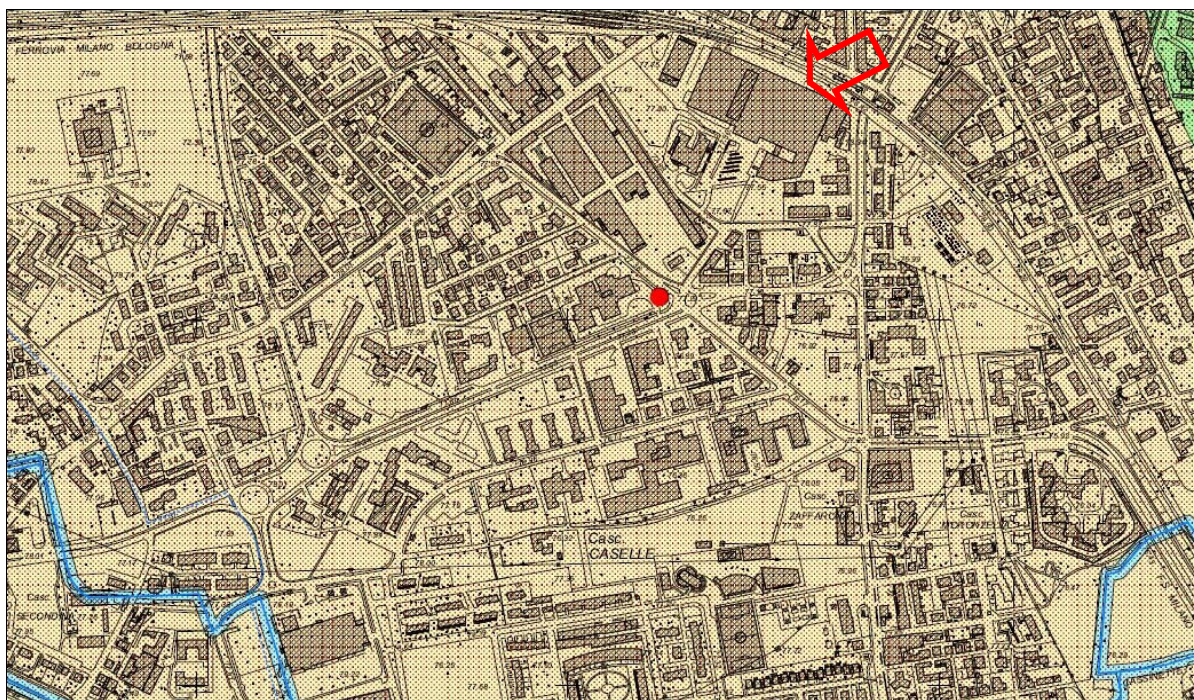
Nella "Componente geologica, idrogeologica e sismica" del territorio comunale redatta a supporto del PGT, come indicato nell'All.9b-3-*Carta della fattibilità geologica e delle azioni di piano* (cfr. Fig.9) l'area in esame ricade nelle "Classe 2a-Fattibilità con modeste limitazioni", dove non sussistono particolari controindicazioni di carattere geologico-geotecnico all'urbanizzazione, salvo il rispetto delle disposizioni di cui al D.M.17.01.2018.

Fig.9-Componente geologica, idrogeologica e sismica PGT: stralcio Carta di fattibilità geologica



Con riferimento all.5B-3-*Carta dei vincoli* (cfr. Fig.10) l'area non è soggetta a rischio idraulico, non interferisce con le zone di rispetto dei pozzi ad uso idropotabile e con le zone di pertinenza idraulica dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico minore.

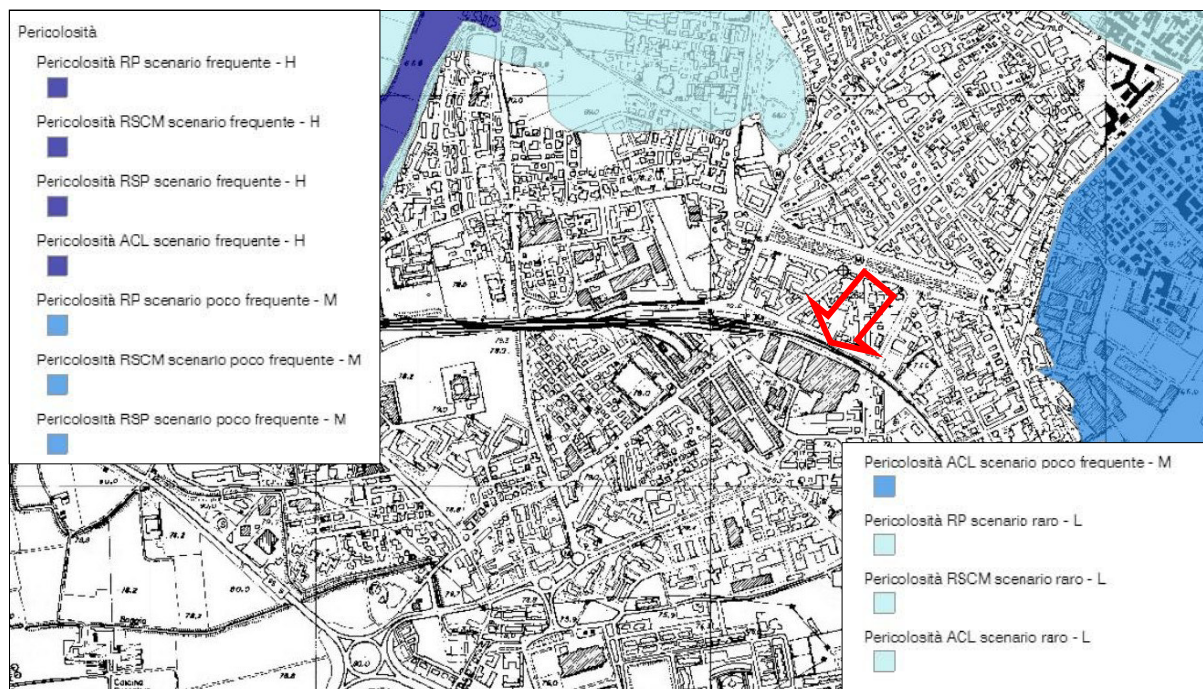
Fig.10-Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT-Stralcio Carta dei vincoli



Anche le mappe delle *aree allagabili* definite nel *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni* (PGRA), predisposto in attuazione del D.lgs. 49/2010 di recepimento della Direttiva 2007/60/CE (cosiddetta "*Direttiva Alluvioni*"), indicano che la zona interessata dall'intervento edilizio non è soggetta a rischio idraulico (cfr.Fig.11).

Le mappe di pericolosità e rischio contenute nel PGRA rappresentano un aggiornamento e integrazione del quadro conoscitivo rappresentato negli elaborati del PAI in quanto aggiornano la delimitazione delle aree allagabili dei corsi d'acqua già interessati dalle delimitazioni delle fasce fluviali nel PAI e classificano gli elementi esposti ricadenti entro le aree allagabili in quattro gradi di rischio crescente (da R1, rischio moderato a R4, rischio molto elevato).

Fig.11-Stralcio Mappa delle aree allagabili PGRA



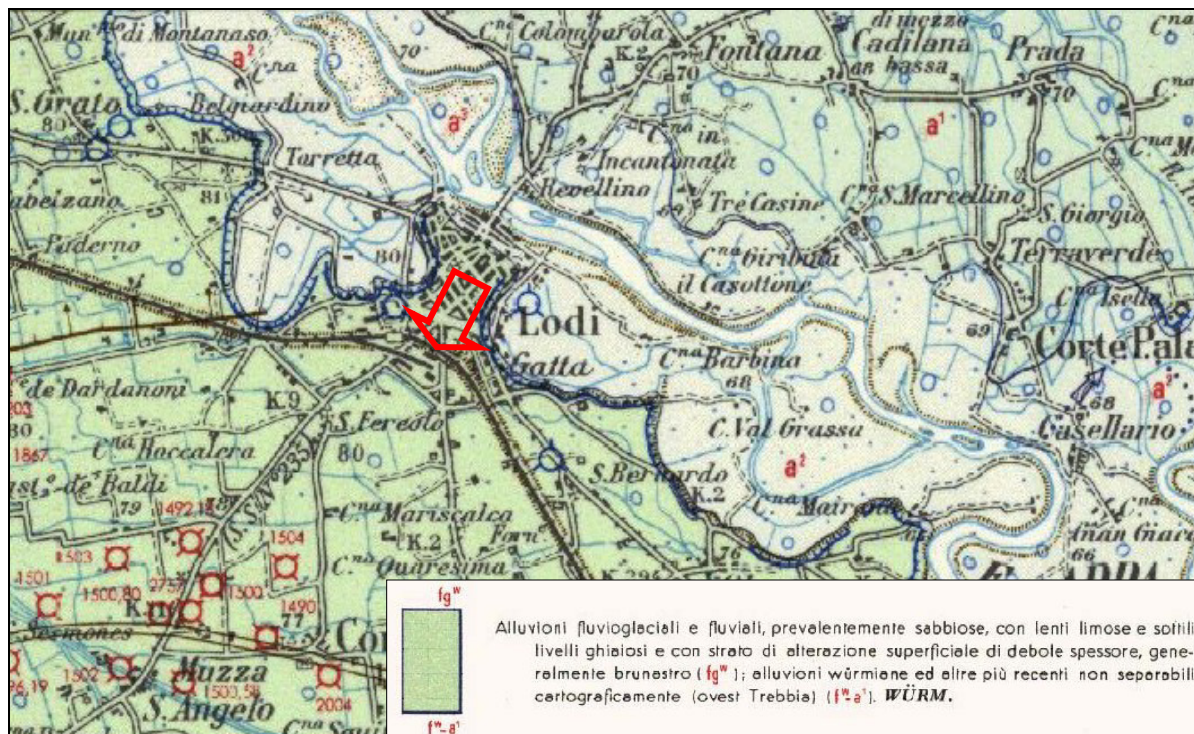
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E IDROGEOLOGICO DEL SITO

3.1 Geologia e geomorfologia

Il contesto geologico generale in cui si inserisce l'area in oggetto è stato desunto dall'esame del Foglio 60 Piacenza della Carta Geologica D'Italia, alla scala 1:100.000 (cfr. Fig.12). La zona in esame è modellata nel *Ripiano Fondamentale della Pianura Padana* costituito da depositi quaternari antichi di origine fluvio-glaciale ed alluvionale indicati come "*Fluviale o Diluvium recente*"-Fg^w. Si tratta complessivamente di depositi alluvionali variamente alternati sia in senso verticale che orizzontale costituiti prevalentemente da sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose con discontinue intercalazioni di orizzonti, spesso lenticolari, granulometricamente più fini. In superficie essi sono generalmente ricoperti da una coltre limoso sabbiosa argillosa con spessore variabile.

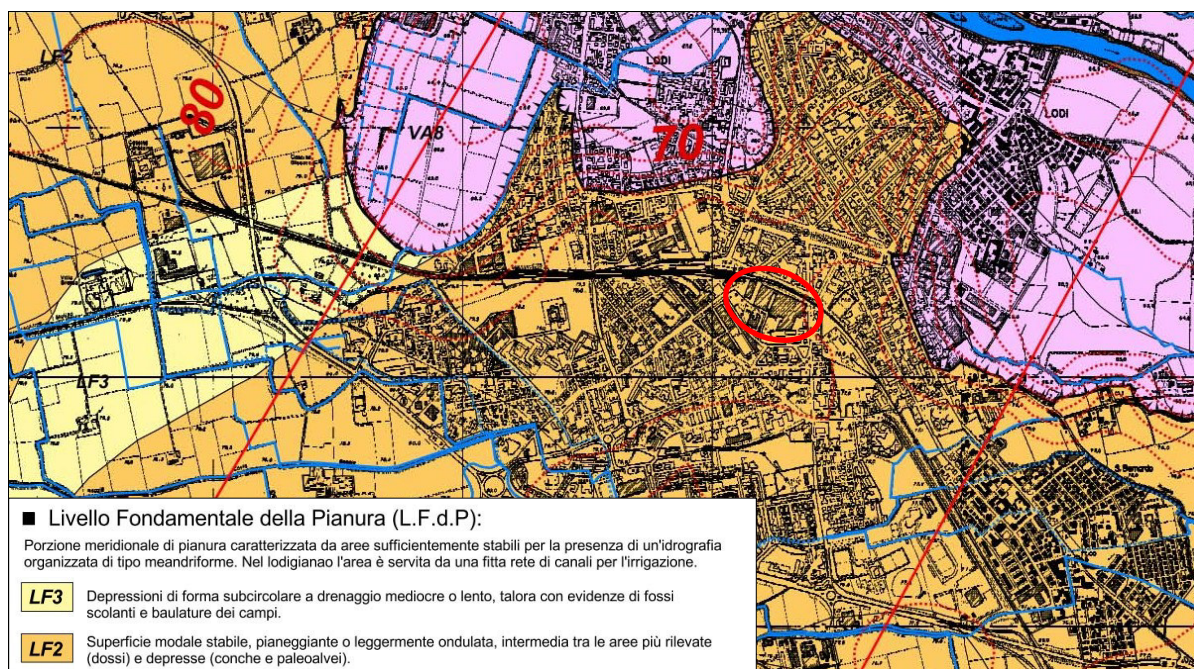
Nell'*All.1A-Carta geologica e geomorfologica della Componente geologica, idrogeologica e sismica del PGT* (cfr. Fig.13) geomorfologicamente l'area appartiene al Livello Fondamentale della Pianura ossia alla porzione meridionale della pianura caratterizzata da aree sufficientemente stabili per la presenza di un'idrografia organizzata di tipo meandriforme.

Fig.12-Carta geologica d'Italia, Fg.60 Piacenza



Più precisamente interessa la zona indicata con la sigla LF2: superfici modali stabili, pianeggiante o leggermente ondulata, intermedia tra le aree più rilevate (dossi) e quelle depresse (conche e paleovalvei).

Fig.13-Studio geologico allegato al PGT: stralcio Carta geologica e geomorfologica



3.2. Idrogeologia

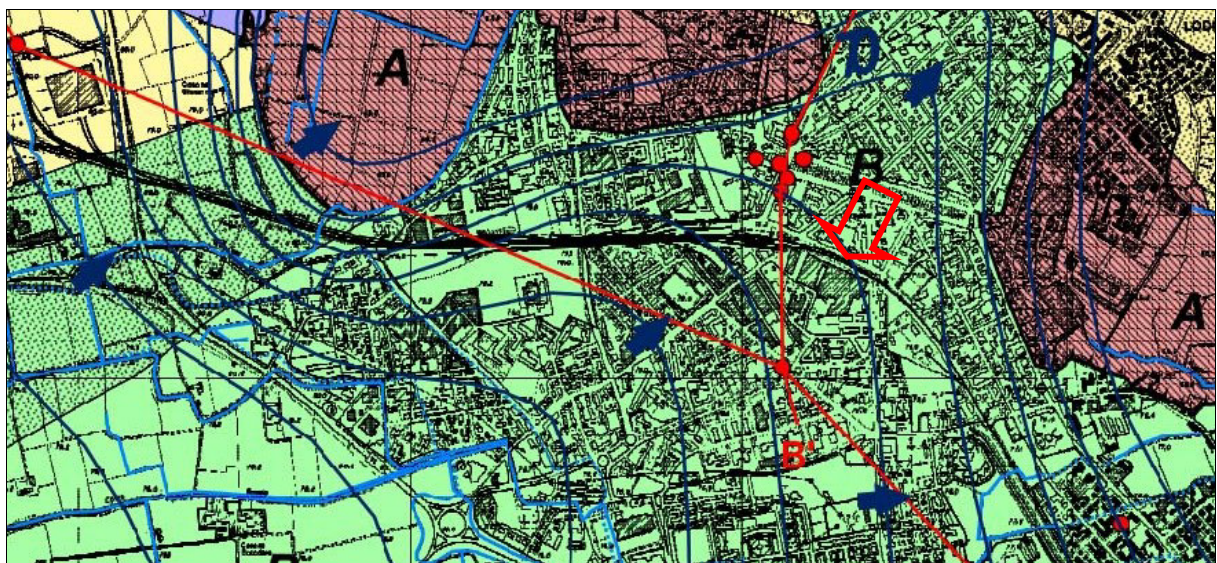
Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico con riferimento ai dati in possesso ed in particolare alle stratigrafie dei pozzi idrici, il sottosuolo della città di Lodi può essere suddiviso in due litozone principali:

Litozona sabbioso-ghiaiosa superficiale: si estende dalla superficie fino a profondità variabili da 40÷50 a 60 m; è costituita da ghiaie e sabbie prevalenti con locali e discontinue intercalazioni di terreni più fini (limi e argille) ed è sede di un acquifero omogeneo di tipo freatico. I depositi fini si trovano prevalentemente entro i primi 5÷8 m di profondità dal piano campagna.

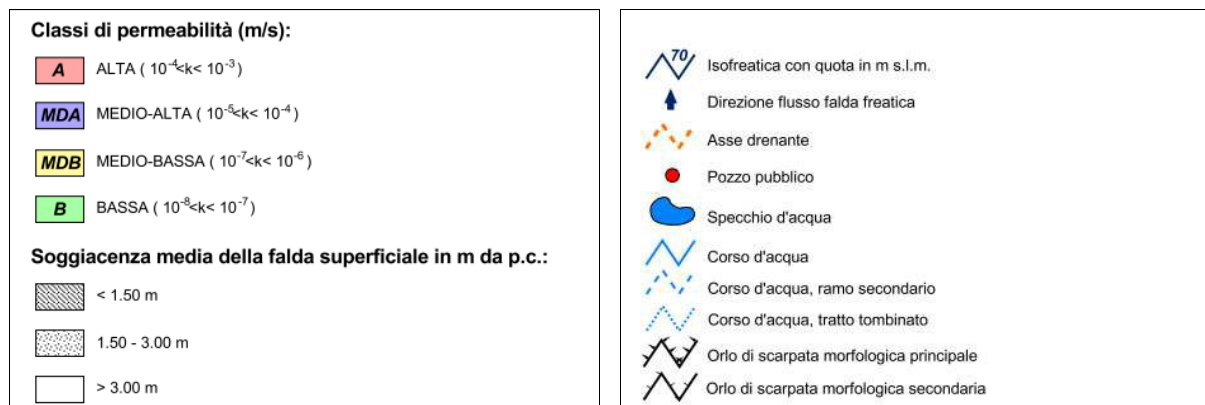
Litozona limoso sabbioso argillosa profonda: è caratterizzata da depositi a dominante argilloso-limosa, impermeabili o semipermeabili, con intercalazioni irregolari e discontinue di orizzonti sabbiosi e ghiaiosi. All'interno dei livelli poroso permeabili sono presenti falde di tipo confinato con potenzialità idrica variabile in funzione dell'estensione areale e dello spessore degli stessi. In questi ultimi decenni la suddetta litozona è sfruttata ad uso idropotabile.

Trascurando la litozona profonda, nella città di Lodi l'andamento e la soggiacenza della superficie freatica nella litozona superficiale sono direttamente influenzati dall'azione drenante del F. Adda e dalla morfologia. I due elementi dominanti che determinano l'assetto della superficie freatica sono infatti la convergenza verso l'asta fluviale e la direttrice regionale di flusso sotterraneo (in questo settore di pianura allineata da NNO a SSE), nonché la presenza di terrazzi fluviali. La soggiacenza varia infatti notevolmente da un settore morfologico all'altro a causa della differente quota delle zone e della distanza dalla scarpata. Nel caso specifico la falda presenta una direzione da SW verso NE, ossia verso l'asse drenante del F.Adda e, sulla base di quanto indicato nello *Studio geologico* a supporto del PGT e nel *Piano Cave della Provincia di Lodi*, è caratterizzata da una soggiacenza maggiore di 3÷5 m dal piano campagna (*cfr.* Fig.14). Nei piezometri dei sondaggi S1 ed S2 la falda è stata misurata (28.12.2022) alla profondità rispettivamente di 10.95 e 10.50 m dal piano campagna.

Fig.14-Studio geologico allegato al PGT: stralcio Carta idrogeologica

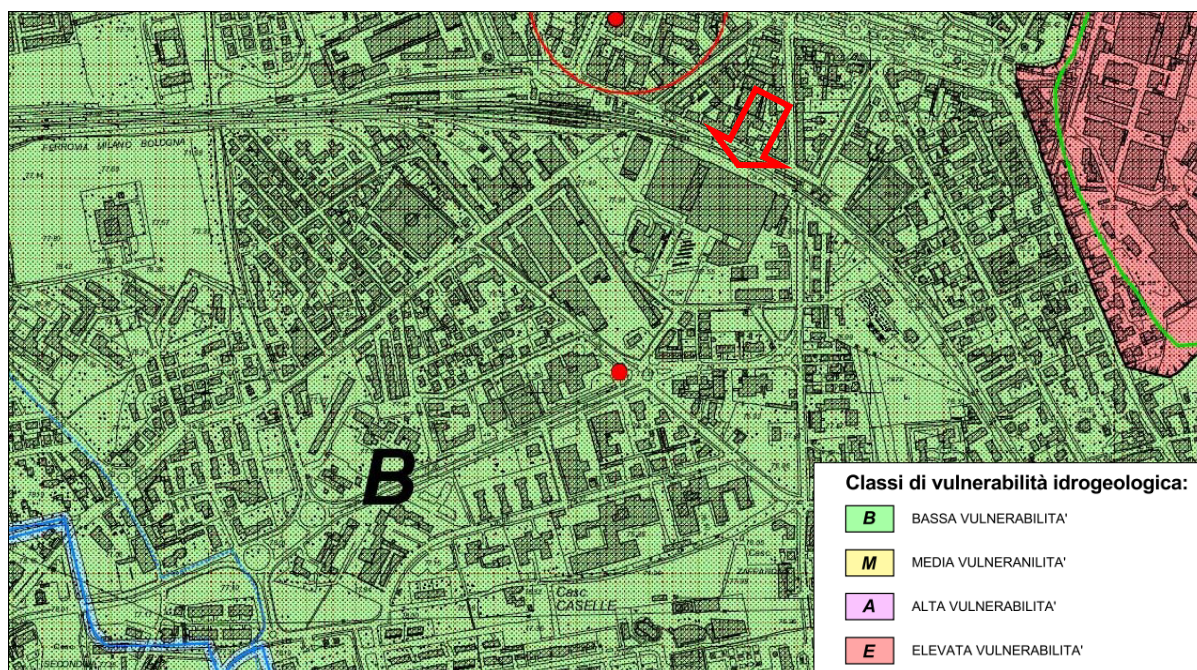


Direzione Organizzativa 3-Servizi tecnici-Gestione tecnica e manutentiva del demanio e del patrimonio comunale
Intervento di ristrutturazione, recupero e rigenerazione urbana del complesso dell'ex Linificio sito in Piazzale Forni
Relazione geologica (R1-R3) - D.G.R. n.IX/2616 30.11.2011 e D.M. 17.01.2018



Con riferimento all'All.8B-3 *Carta di sintesi* della Componente geologica del PGT (cfr. Fig.15) nel settore interessato dall'intervento edilizio l'acquifero è caratterizzato da una bassa vulnerabilità agli inquinamenti di origine superficiale sia per la non superficialità della falda che per la presenza al suo tetto di terreni limoso sabbioso argillosi, limoso argillosi ed argilloso limosi poco permeabili.

Fig.15-Studio geologico allegato al PGT: stralcio *Carta di sintesi*



4. INDAGINE GEOFISICA IN SITO

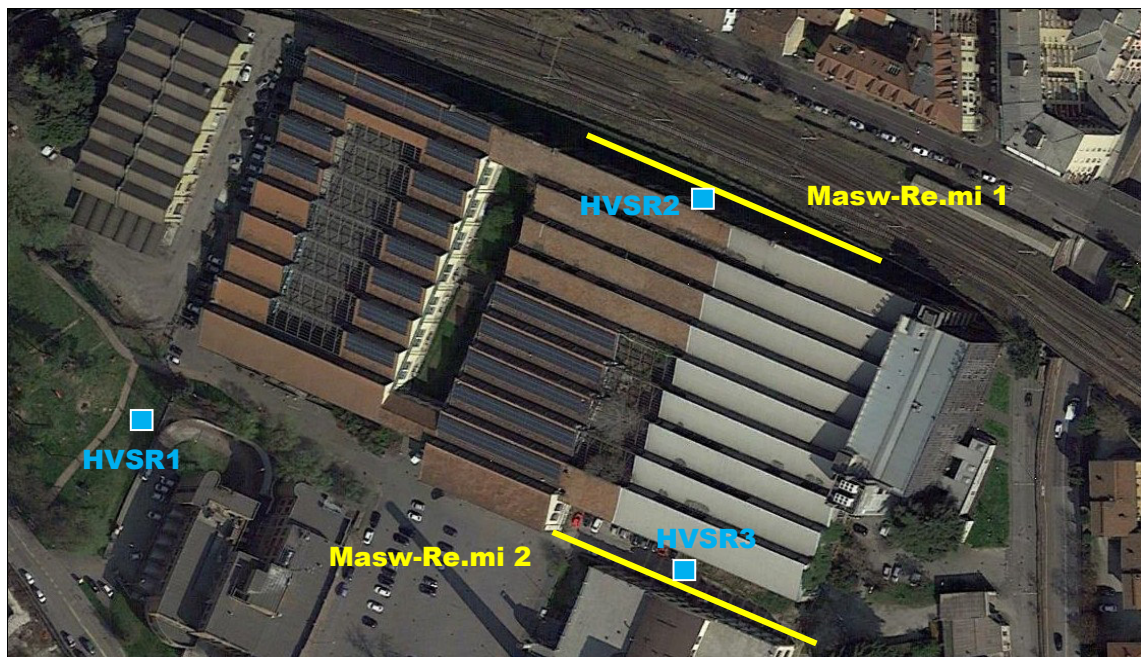
4.1 Generalità

Per la definizione delle caratteristiche sismiche del terreno di fondazione ossia del profilo stratigrafico secondo le categorie previste dalle NTC/18 attraverso la valutazione della V_{seq} sono state eseguite in data 25.12.2022 due prove sismiche condotte con due metodologie che possono essere considerate complementari:

- RE.MI - Refraction Microtremor
- MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves

La valutazione della frequenza di vibrazione fondamentale del terreno è stata effettuata utilizzando il metodo dei rapporti spettrali HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) o metodo di Nakamura eseguendo sempre in data 25.12.2022 tre prove HVSR. L'ubicazione delle indagini geofisiche è visualizzata in Fig.16.

Fig.16-Ubicazione indagini geofisiche



4.2 Prove per la definizione della V_{seq} (RE.MI e MASW)

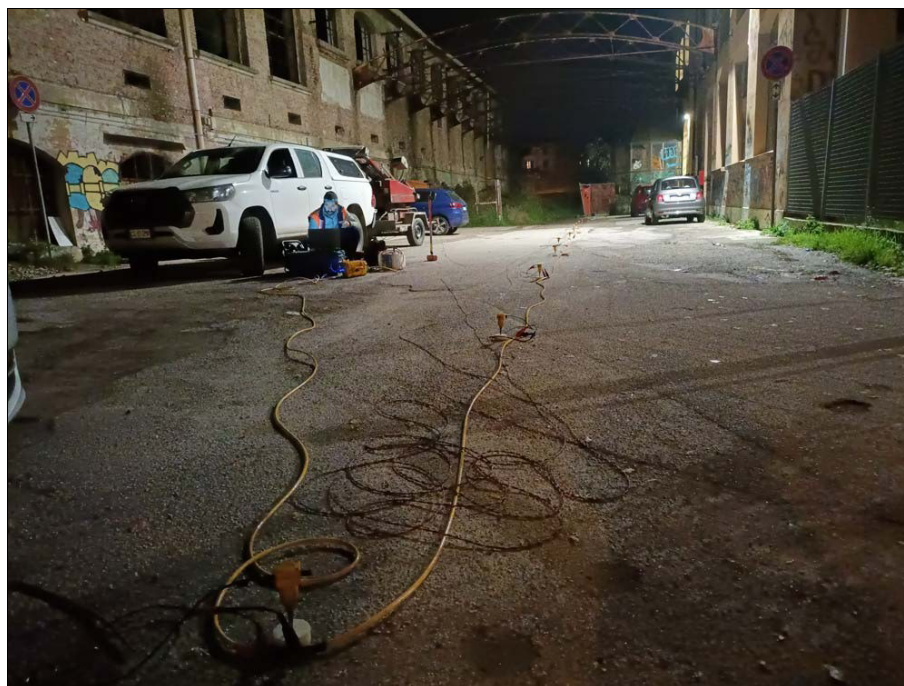
La metodologia Re.mi. è una tecnica "passiva" in quanto si basa sulla registrazione del rumore sismico indotto dalle attività antropiche (traffico, fabbriche ecc.). E' adatta in ambienti fortemente antropizzati e consente elevate profondità di indagine, anche in presenza di terreni con bassa velocità delle onde di taglio (v_s), per la capacità di campionare basse frequenze. Al contrario non è adatta in ambienti poco "rumorosi" e vi è la possibilità di sovrastimare i valori di v_s in presenza di rumore fortemente direzionale non ortogonale allo stendimento sismico. Viceversa la metodologia MASW è una tecnica "attiva" in quanto si basa sulla registrazione del segnale sismico indotto da una massa battente. E' adatta in ambienti "non rumorosi" ed è caratterizzata da una buona capacità di definizione dei valori di v_s , soprattutto per quanto riguarda gli orizzonti più superficiali (primi 20÷30m). E' invece poco adatta in ambienti fortemente antropizzati e rumorosi, consente limitate profondità di indagine in presenza di terreni con bassa velocità delle onde di taglio (v_s). Difficilmente, prima di realizzare l'indagine, è possibile valutare qual è la tecnica che può fornire i risultati migliori, quindi in campagna si procede con la realizzazione di entrambe le tecniche, e solo dopo, in fase di elaborazione, saranno confrontati ed eventualmente combinati, gli spettri di velocità di fase ottenuti con le due tecniche.

In generale, utilizzando le due metodologie in modo "combinato", sarà dunque possibile ottenere un buon dettaglio superficiale e una maggior profondità d'indagine. L'ubicazione degli stendimenti è visualizzata nelle foto 1÷3.

Foto 1 e 2-Ubicazione stendimento sismico Masw-Re.mi 1



Foto 3-Ubicazione stendimento sismico Masw-Re.mi 2



4.3 Strumentazione utilizzata

Il "Geode" è un sismografo modulare a 24 bit (*cfr.* Fig.17) che rappresenta l'ultima frontiera dei sistemi di registrazione sismica combinando il meglio dei tradizionali sismografi Geometrics con la flessibilità di un sistema distribuito. Geode è un sismografo ad elevata dinamica (144 dB di range dinamico totale-105 dB istantanei a 2 msec di campionamento). Grazie all'ampia banda d'ingresso (1.75÷20 kHz, con velocità di campionamento da 0.02 msec a 16 msec), esso è perfettamente idoneo per un'ampia gamma di applicazioni: sismica a rifrazione, sismica a riflessione (anche ad altissima risoluzione), monitoraggio di vibrazioni, applicazioni sismologiche, downhole e VSP. In acquisizione sono disponibili tutte le funzioni di filtri, pre-amplificazione, line-test e instrument-test, tipiche dei sistemi di registrazioni evoluti. Più precisamente l'attrezzatura utilizzata è composta da:

- Sismografo modulare Geode 3-1000+ canali
- Massa battente da 10 Kg
- Piastra di battuta in alluminio 15x15x2,5cm
- Batteria ricaricabile 12 V
- Cavo per sismica a rifrazione stranded, 130 m con 24 takeouts SPT-21 a 5 metri di intervallo e due code da 7.5 m l'una terminate con connettore Bendix 61S
- Geofoni GS20DX, 4.5 Hz verticali, 395 Ohm con puntale da 3" ed 1,5 m di cavo terminato con mueller clip singola MC-20-SP
- Computer portatile ACER

Fig.17-Sismografo geode collegato al pc



4.4 "Masw" (Multichannel Analysis of Surface Waves)

Il metodo Masw è una tecnica di indagine non invasiva (non è necessario eseguire perforazioni o scavi e ciò limita i costi), che individua il profilo di velocità delle onde di taglio verticali v_s , basandosi sulla misura delle onde superficiali fatta in corrispondenza di diversi sensori (accelerometri o geofoni) posti sulla superficie del suolo. Il contributo predominante alle onde superficiali è dato dalle onde di Rayleigh, che viaggiano con una velocità correlata alla rigidità della porzione di terreno interessata dalla propagazione delle onde. In un mezzo stratificato le onde di Rayleigh sono dispersive, cioè onde con diverse lunghezze d'onda si propagano con diverse velocità di fase e velocità di gruppo (Achenbach, J.D., 1999, Aki, K. and Richards, P.G., 1980) o detto in maniera equivalente la velocità di fase (o di gruppo) apparente delle onde di Rayleigh dipende dalla frequenza di propagazione.

La natura dispersiva delle onde superficiali è correlabile al fatto che onde ad alta frequenza con lunghezza d'onda corta si propagano negli strati più superficiali e quindi danno informazioni sulla parte più superficiale del suolo, invece onde a bassa frequenza si propagano negli strati più profondi e quindi interessano gli strati più profondi. Le onde superficiali generate in un punto sulla superficie del suolo sono misurate lungo uno stendimento lineare di sensori. Il metodo consente generalmente di ottenere una velocità di fase (o curva di dispersione) sperimentale apparente, nel range di frequenze compreso tra 5Hz e 70Hz, quindi dà informazioni sulla parte più superficiale del suolo, sui primi 20÷30 m, in funzione della rigidità del suolo. L'elaborazione dei dati con il metodo MASW prevede tre fasi di lavoro:

1. *la prima fase prevede il calcolo dello spettro di velocità di fase apparente relativo ai sismogrammi registrati*
2. *la seconda fase consiste nell'estrapolare dallo spettro di velocità la curva di dispersione sperimentale*
3. *la terza ed ultima fase consiste nell'individuazione del profilo di velocità delle onde di taglio verticali v_s , modificando opportunamente lo spessore h , le velocità delle onde di taglio V_s e di compressione v_p (o in maniera alternativa alle velocità v_p è possibile assegnare il coefficiente di Poisson), la densità di massa degli strati che costituiscono il modello del suolo, fino a raggiungere una sovrapposizione ottimale tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione teorica corrispondente al modello di suolo assegnato.*

Il modello di suolo e quindi il profilo di velocità delle onde di taglio verticali possono essere individuati con procedura manuale o con procedura automatica o con una combinazione delle due. Generalmente si assegnano il numero di strati del modello, il coefficiente di Poisson, la densità di massa e si variano lo spessore h e la velocità v_s degli strati. Nella procedura manuale l'utente assegna per tentativi diversi valori delle velocità v_s e degli spessori h , cercando di avvicinare la curva di dispersione numerica alla curva di dispersione sperimentale. Nella procedura automatica la ricerca del profilo di velocità ottimale è affidata ad un algoritmo di ricerca globale o locale che cerca di minimizzare l'errore tra la curva sperimentale e la curva numerica. In genere quando l'errore relativo, tra curva sperimentale e curva numerica è compreso tra il 5% e il 10% si ha un soddisfacente accordo tra le due curve e il profilo di velocità delle onde di taglio v_s e quindi il tipo di suolo sismico conseguente rappresentano una soluzione valida da un punto di vista ingegneristico.

Sono stati realizzati due stendimenti sismici costituiti da allineamenti di 24 geofoni spazati di 3 m. La lunghezza delle registrazioni è stata di 1 sec, con un passo di campionamento di 0.250 ms. L'energizzazione, realizzata a distanza di 5 m dal primo e dall'ultimo geofono è stata ottenuta con una massa battente di 8 Kg. Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è il "winMASW" Academy della Eliosoft. In una prima fase è stato calcolato lo spettro velocità di fase-frequenza del sito. In una seconda fase, dopo aver ricostruito il modello di velocità che meglio corrisponde allo spettro sperimentale, si è proceduto all' "inversione" dell'intero spettro (*approccio full velocity spectrum*), che ha consentito di determinare il profilo v_s del sito. L'approccio *full velocity spectrum* ha il vantaggio di non dover prima individuare sullo spettro di velocità le curve di dispersione modali (scelta soggettiva).

Fig.18-Spettro velocità di fase (approccio full velocity spectrum) prova Masw 1

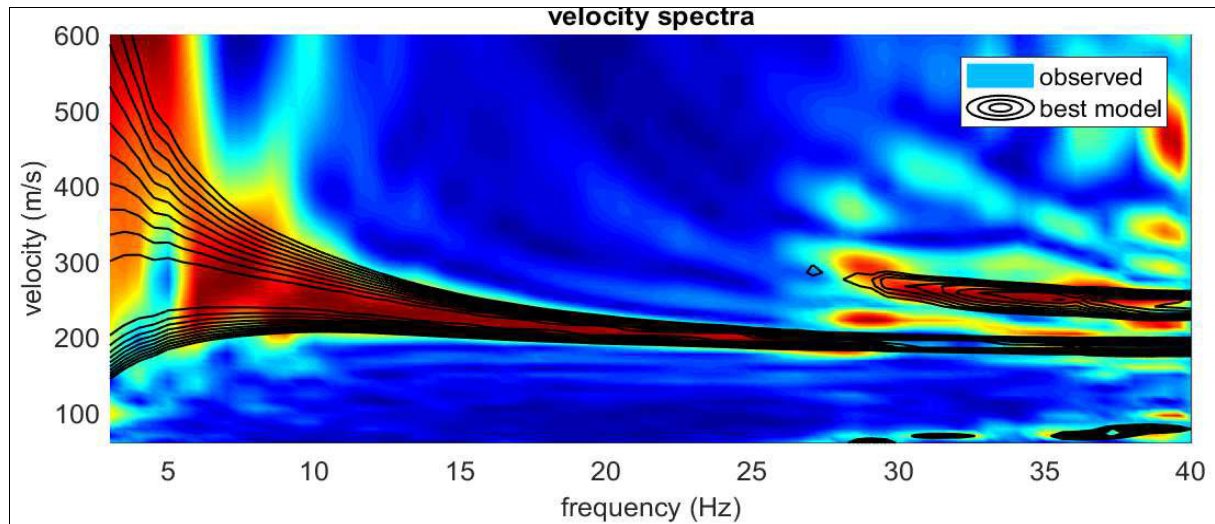
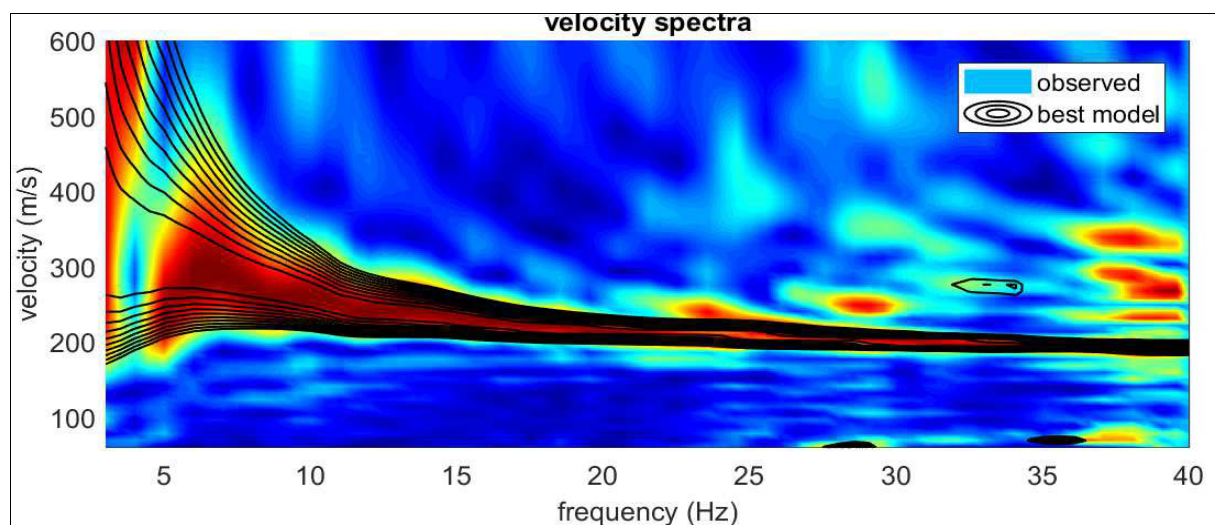


Fig.19-Spettro velocità di fase (approccio full velocity spectrum) prova Masw 2



4.5 "Re.mi." (Refraction microtremor)

Le tecniche correntemente utilizzate (Down-Hole, Cross-Hole) per la stima delle velocità delle onde di taglio per caratterizzare un sito sotto il profilo della risposta sismica, dovendo necessitare di almeno un foro di 30 m nel quale eseguire la prova, sono normalmente troppo onerose per essere impiegate come indagine di routine negli studi di microzonazione e di classificazione dei profili stratigrafici dei suoli di fondazione per progettazioni di opere non concentrate in areali ristretti. Altre metodologie d'indagine indiretta per la determinazione delle velocità delle onde di taglio v_s , quale la sismica a rifrazione in SH, sono limitate dalla incapacità di rilevare livelli a bassa velocità sismica sottostanti a livelli a velocità sismica più elevata, che rappresentano i casi invece più significativi per la determinazione del profilo di velocità v_s .

Presentano altresì lo svantaggio di una tecnica di acquisizione non semplice, avendo la necessità di generare in superficie onde direzionali con apposite attrezzature, e di richiedere dispositivi di acquisizione relativamente lunghi per garantire la profondità d'indagine dei 30 m. Inoltre richiedono di dover operare in ambienti con poco rumore di fondo, di fatto praticamente impossibile da riscontrare in ambiti urbanizzati, industriali, o in adiacenza a strade o a linee ferroviarie, come il caso in esame. Altre metodologie di prospezione, quali le prove di misura di onde di superficie SASW (Spectral Analysis of Surface Waves), o le prove MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves), pur avendo capacità di discriminare livelli lenti all'interno di unità sismiche più veloci, hanno anch'esse la necessità di ambienti relativamente tranquilli per l'acquisizione e, comunque presentano metodologie di rilievo sicuramente laboriose e complesse.

La tecnica di prospezione "Refraction Microtremor" (Re.Mi) utilizzata capovolge il concetto comune del parametro "segnale-disturbo", per il quale tradizionalmente il primo (segnale) ha necessità di essere rilevato in condizioni favorevoli quindi in assenza o scarsità di rumore. Viceversa, in presenza di forte rumore di fondo (es. ambiente urbano), le tradizionali rilevazioni sismiche hanno sempre trovato una condizione di difficile applicazione a causa della difficoltà di discriminare il segnale dal rumore. Con questa tecnica, il disturbo, il "noise" ambientale diventa il segnale utilizzato per la caratterizzazione sismica. Sono i microtremori (rumore di fondo generato dal traffico stradale, ferroviario e comunque il rumore presente costantemente in ambito urbanizzato) a costituire la sorgente di energia utile allo scopo. Numerose sperimentazioni hanno consentito di appurare che le registrazioni del rumore di fondo ambientale, effettuate con uno stendimento sismico normalmente utilizzato per la sismica a rifrazione, possono essere utilizzate, con opportune procedure di acquisizione e elaborazione, per stimare la velocità delle onde di taglio (v_s) fino a profondità che possono essere superiori a 100 m.

La metodologia d'indagine più applicata per la determinazione del profilo verticale di velocità delle onde di taglio v_s , è stata proposta e sperimentata da J.N.Louie del Seismological Laboratory and Dept. of Geological Sciences dell'Università del Nevada, ed è basata su due aspetti fondamentali:

- uno pratico, rappresentato dal fatto che alcuni sistemi di acquisizione di sismica a rifrazione (con dinamica a 24 bit) sono in grado di registrare onde di superficie con frequenze fino a 2 Hz per intervalli di tempo sufficientemente lunghi (30 sec);
- uno teorico, sulla base del quale una semplice trasformata bidimensionale (p-f) slowness-frequency della registrazione di un rumore di fondo (microtremor) è in grado di separare le onde di Rayleigh (onde di superficie) da altri tipi di onde che compongono il sismogramma, rendendo possibile il riconoscimento delle vere velocità di fase dalle velocità apparenti.

Sono stati acquisiti gli stessi profili della prova "Masw", costituiti da stendimenti di 24 geofoni equispaziati di 3 m. Sono stati raccolti oltre 30 records di lunghezza di 30 s con campionamento ogni 2ms.

Il software di elaborazione utilizzato è il winMASW Academy prodotto dalla EliaSoft. Anche in questo caso è stato calcolato lo spettro velocità di fase-frequenza relativo alle acquisizioni passive, che ha consentito di definire con maggior dettaglio le basse frequenze.

Fig.20-Analisi spettrale della prova Re.mi 1

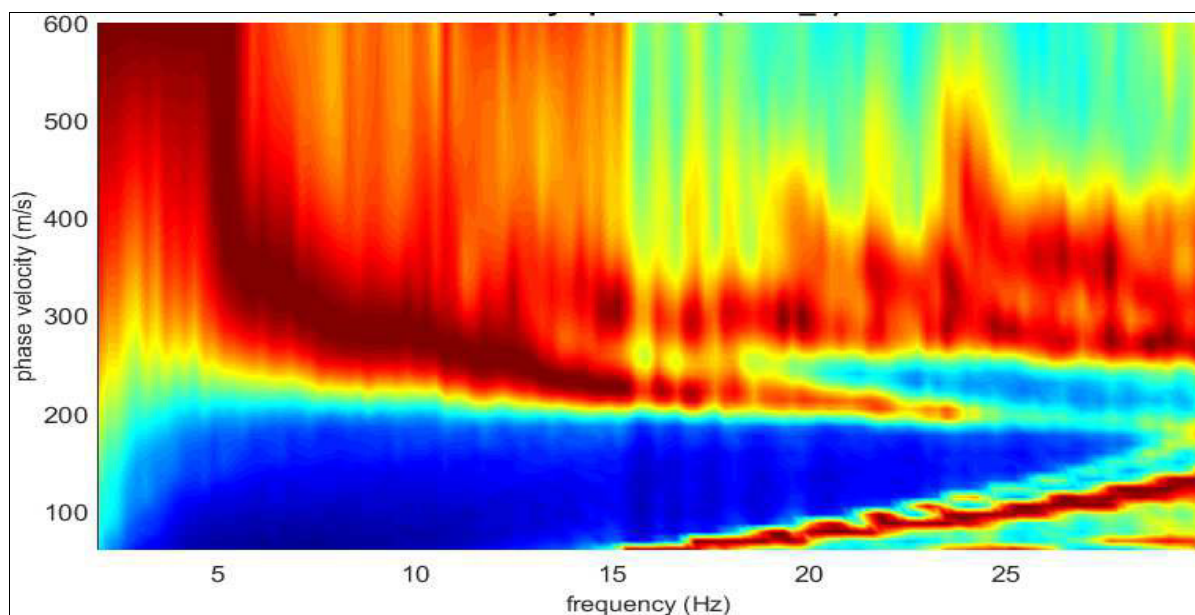
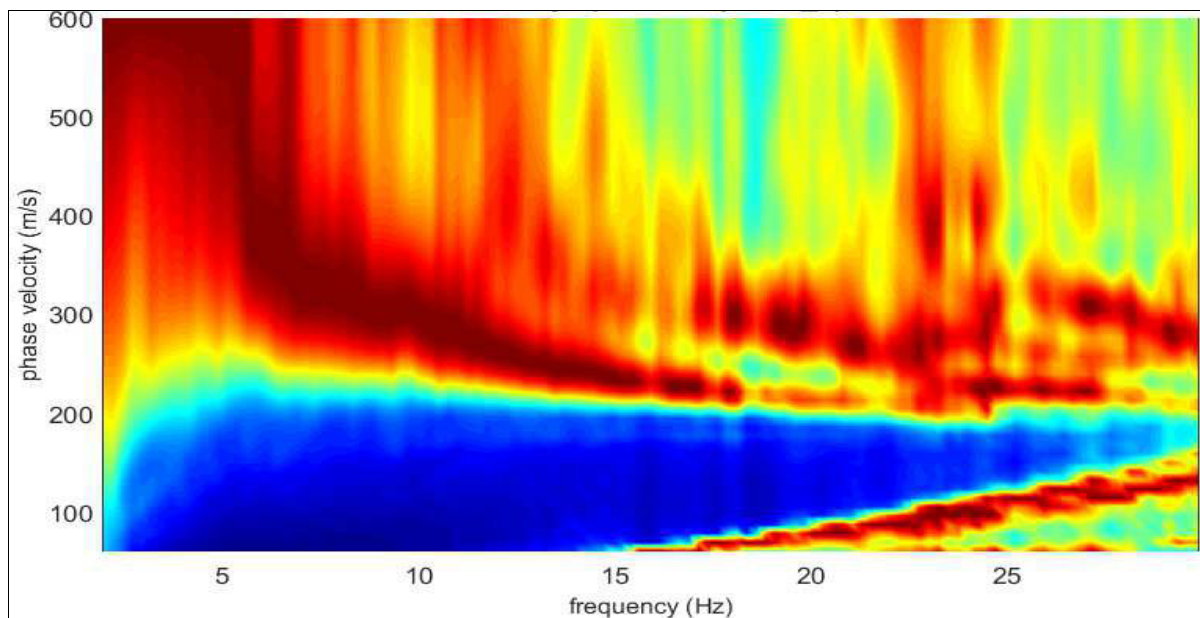


Fig.21-Analisi spettrale della prova Re.mi 2



In seguito sono stati "combinati" gli spettri derivati dalle prove "Masw" e da quelle "Re.Mi" in modo da ottenere gli spettri di velocità "congiunti" (cfr. Fig.22÷23).

Fig.22-Combinazione degli spettri di velocità derivati dalle prove attive e passive-Prova 1

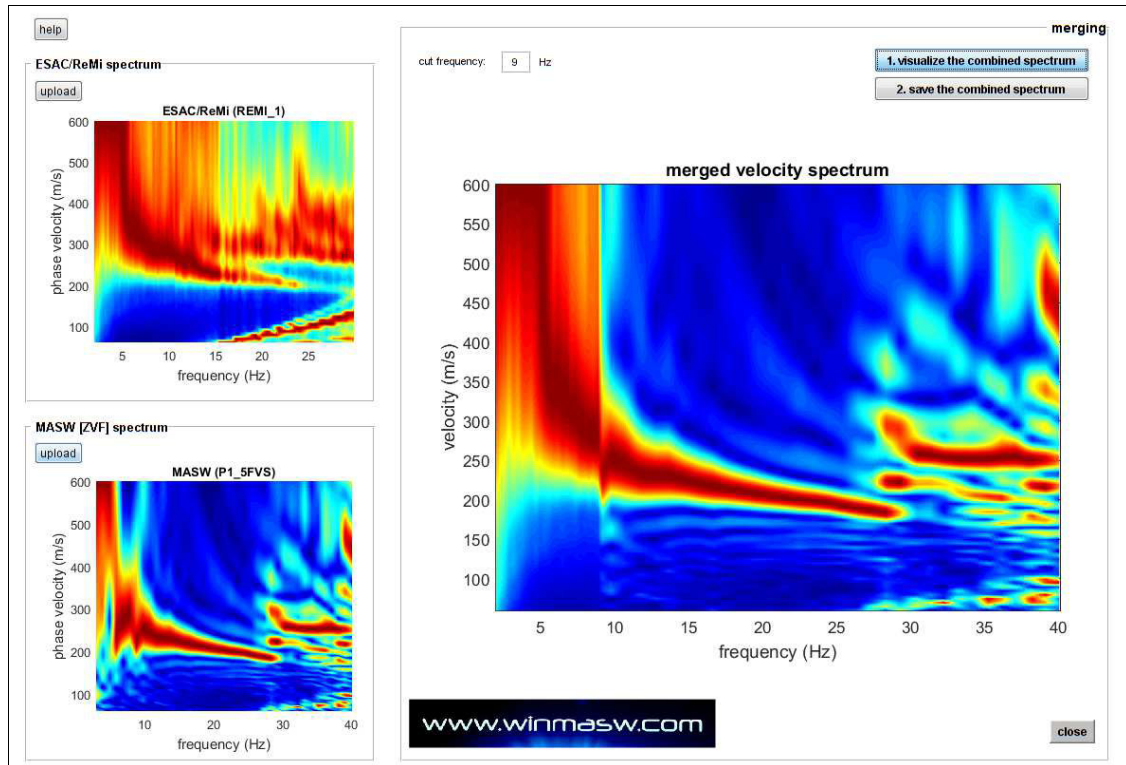
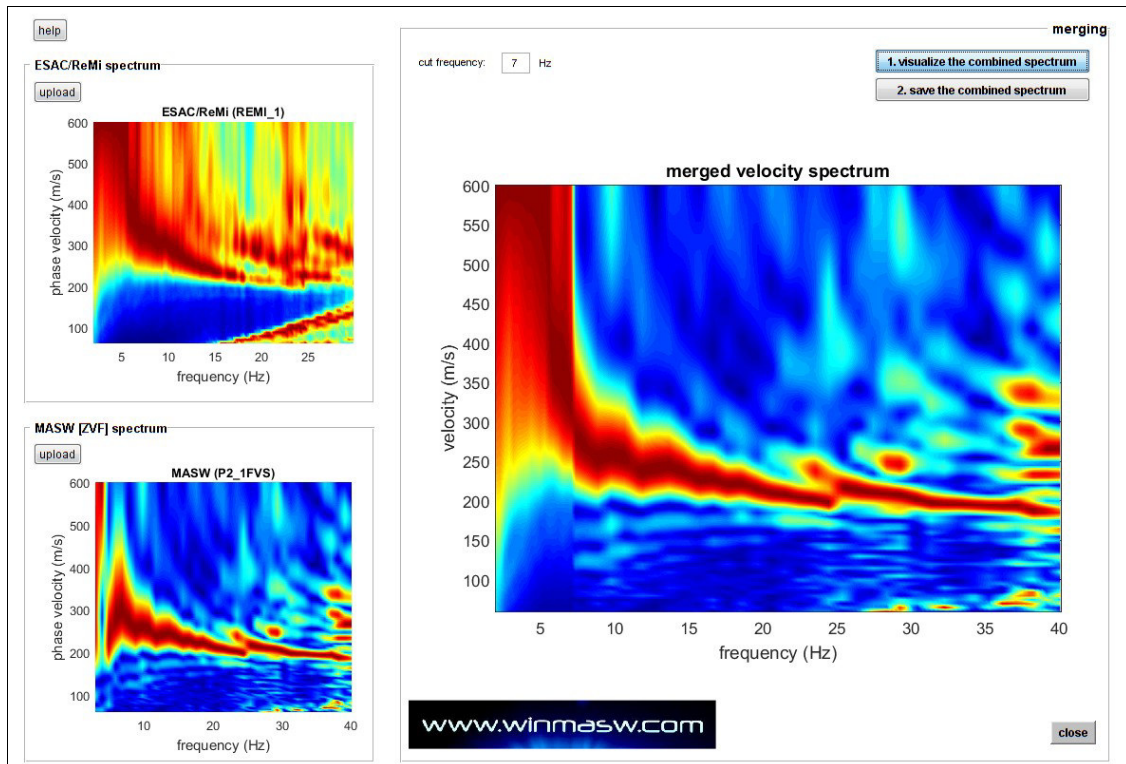


Fig.23-Combinazione degli spettri di velocità derivati dalle prove attive e passive-Prova 2



Infine sono state estrapolate le curve di dispersione (effettive) congiunte Masw-Remi che hanno consentito di ricavare i profili di velocità v_s del sito (cfr. Fig.24÷25).

Fig.24-Curva di dispersione derivata dallo spettro di velocità combinato-Prova 1

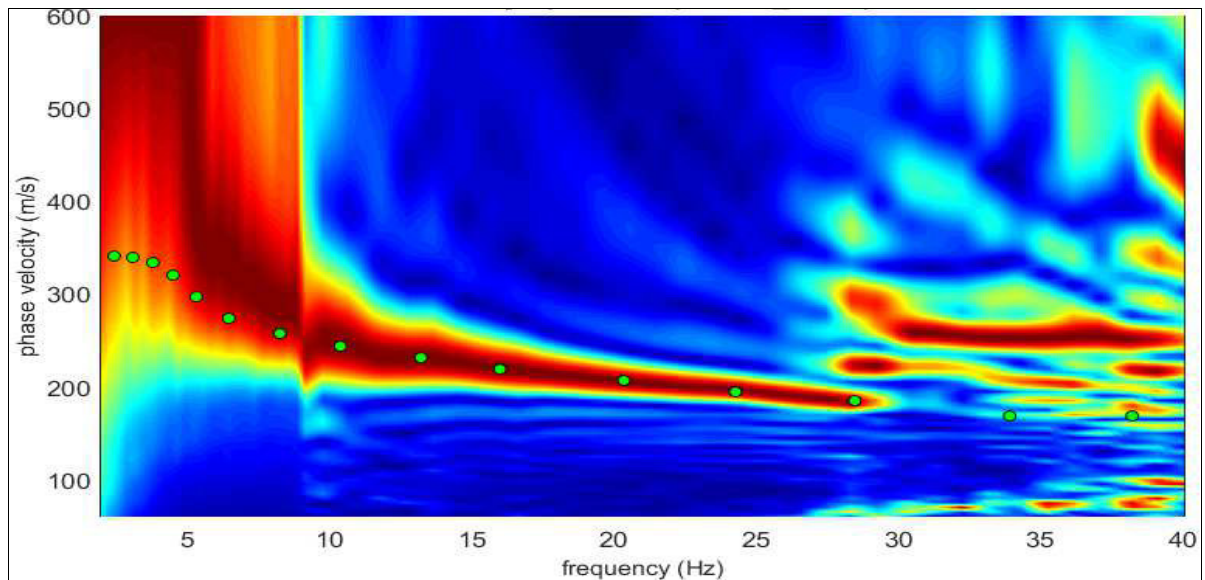
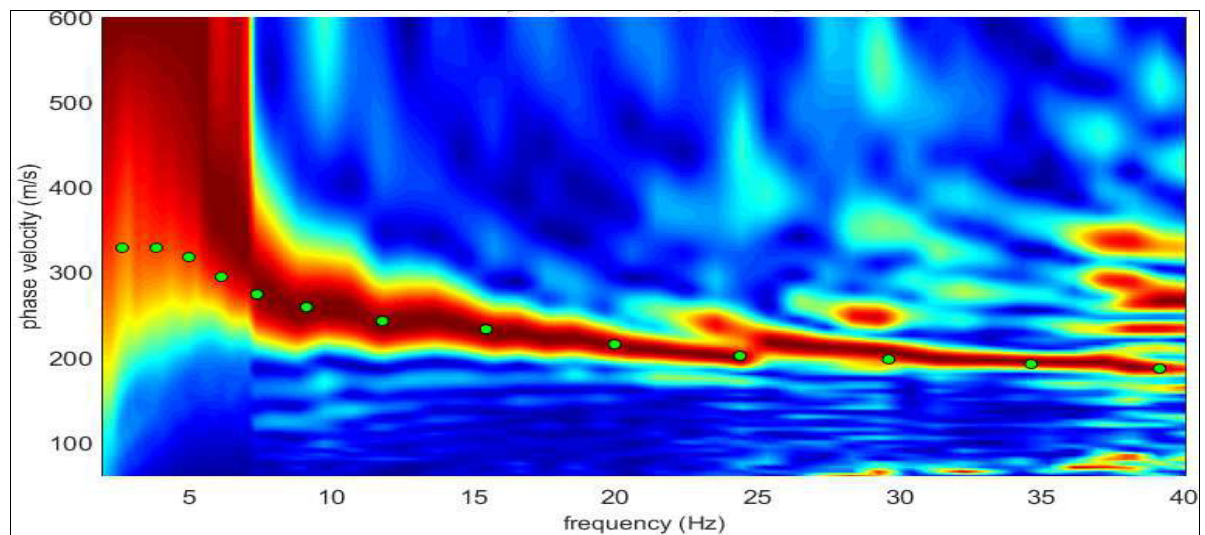


Fig.25-Curva di dispersione derivata dallo spettro di velocità combinato-Prova 2



4.6 Misura dei rapporti spettrali HVSR-Horizontal to Vertical Spectral Ratio (Ipotesi di Nakamura)

Il metodo dei rapporti spettrali di singola stazione (HVSR) è largamente utilizzato in paesi con elevato rischio sismico quali il Giappone per la stima degli effetti di amplificazione di sito. Il microtremore, un'impercettibile oscillazione naturale del suolo, è presente in qualsiasi punto della superficie terrestre e consiste per lo più nelle onde sismiche prodotte dal vento e dal moto ondoso marino negli strati superficiali della Terra.

Anche le attività umane (industrie, traffico stradale ecc.) possono produrre localmente microtremore, ma in genere tale segnale viene attenuato piuttosto rapidamente a causa delle sue caratteristiche di alta frequenza. E' interessante evidenziare come il microtremore agisca da oscillatore naturale e quindi permetta, tramite adeguata strumentazione, la misura diretta delle frequenze di vibrazione dei terreni e dei manufatti. La tecnica utilizzata, proposta da Nakamura (Nakamura, Y., 1989, A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR of RTRI, Vol. 30, No.1, 25-33) per lo studio delle amplificazioni di sito assume che i microtremori consistano principalmente di onde di Rayleigh che si propagano in un singolo strato sofficie su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito. Tale tecnica permette di separare i termini di sorgente-percorso e di sito tramite i rapporti tra le componenti del moto, senza utilizzare alcun sito di riferimento. Le ipotesi su cui si basa la tecnica di Nakamura sono le seguenti:

- *i microtremori sono generati da sorgenti locali, e non da sorgenti profonde i cui contributi sono trascurabili;*
- *le sorgenti dei microtremori in superficie non influenzano i microtremori alla base dello strato considerato;*
- *la componente verticale del moto non risente di effetti di amplificazione locale;*
- *il picco visibile nei rapporti H/V (rapporto tra l'ampiezza spettrale della componente orizzontale e l'ampiezza spettrale della componente verticale) è indipendente dalle caratteristiche della sorgente del rumore ed è invece fortemente dipendente dalle condizioni stratigrafico-litologiche del terreno. Tale picco è inoltre ben correlato con la frequenza fondamentale di vibrazione del terreno soggetto alla propagazione di onde S verticali e con il picco fondamentale delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh.*

Le principali applicazioni delle prove H/V si possono così sintetizzare:

- misura delle frequenze di risonanza dei suoli;
- effetti di sito e microzonazione sismica (curve H/V, metodo di Nakamura);
- stratigrafia sismica passiva;
- v_{s30} da fit vincolato della curva H/V;
- segnalazione dei possibili fenomeni di doppia risonanza suolo-struttura.

Di particolare importanza è la frequenza di vibrazione del sito, caratterizzata dal maggiore rapporto di ampiezze H/V nell'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico (frequenze generalmente inferiori a 15 Hz), denominata frequenza fondamentale di vibrazione f_0 . Particolarmente pericolosi sono i fenomeni di doppia risonanza, cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati. Infatti la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura dà luogo alla massima amplificazione con conseguenze a dir poco gravose. E' possibile poi determinare la profondità degli strati sismici mediante la misura diretta delle frequenze di vibrazione, associata alla misura delle velocità delle onde s tramite la relazione:

$$f_0 = v_s / 4H$$

dove v_s è la velocità media delle onde s e H è la profondità della discontinuità sismo-stratigrafica. A causa della pesante non univocità della soluzione, una modellazione del solo HVSR, in mancanza di un solido ancoraggio stratigrafico e senza quantitative informazioni sulle Vs ottenute da misure Masw-Esac-ReMi. o da altri metodi da prove in foro (Cross-Hole, Down-Hole), non risulta affidabile per la determinazione del profilo di velocità delle onde S e quindi della valutazione della V_{seq} .

4.6.1 Strumentazione utilizzata e modalità di acquisizione

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromografo digitale della ditta Micromed S.r.l., modello "*Tromino ENGY*", che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra leggeri e ultra compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno 3 terne (2 di velocimetri e l'altra di accelerometri) di sensori ortogonali tra loro e con possibilità di campionamento nell'intervallo di frequenze compreso tra 0.1 e 256 Hz. Sono state eseguite tre prove HVSR (cfr. Foto 4÷6), le cui registrazioni hanno avuto una lunghezza di 20 minuti con un campionamento a 128 Hz.

Foto 4 e 5-HVSR1



4.6.2 Elaborazione ed analisi dei dati

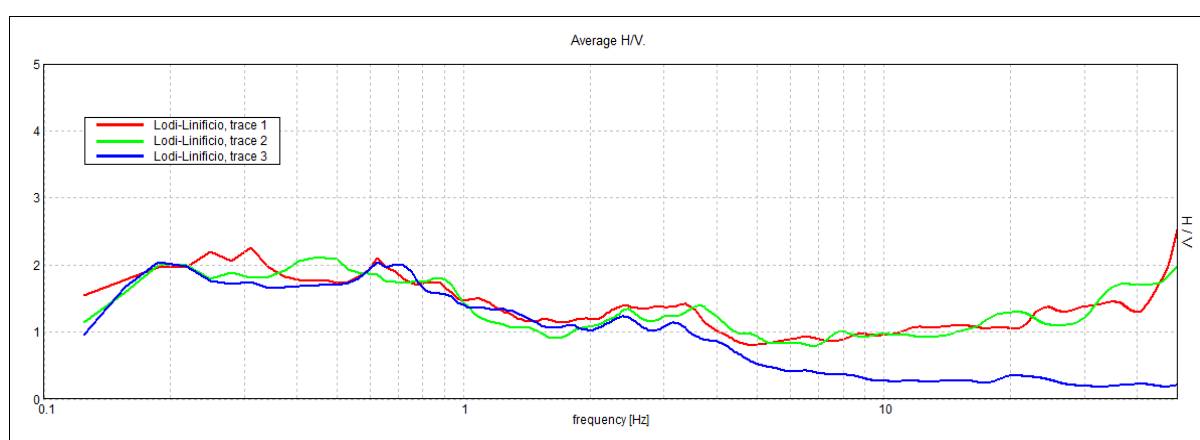
Per l'elaborazione dei dati sismici è stato utilizzato il software "Grilla". Il programma consente di effettuare:

- Analisi spettrale completa delle tracce, calcolo delle curve H/V per la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo;
- Procedure di pulizia delle tracce nel dominio del tempo e delle frequenze;
- Test sulla significatività dei picchi secondo le linee guida europee (*Criteri Sesame*);
- Determinazione delle frequenze dei modi di vibrare delle strutture con rimozione dell'effetto di sottosuolo;
- Creazione di un report automatico con tabelle e illustrazioni (cfr. All.2).

Le prime due prove hanno un andamento simile testimoniando la sostanziale uniformità sismostratigrafica del sito. L'andamento "anomalo" della prova 3 alle medio-alte frequenze è probabilmente legato alla presenza di riporto a comportamento rigido.

Con riferimento al grafico del rapporto H/V riportato in Fig.26, nel campo delle frequenze di interesse ingegneristico (normalmente $1 \div 10/15$ Hz), non sono state rilevate frequenze di risonanza significative. Trascurando le frequenze nell'intervallo $0.2 \div 0.3$ Hz, le frequenze di risonanza del sito sono state individuate nell'intervallo $0.50 \div 0.65$ Hz. Un'altra frequenza di risonanza, appena accennata, è stata rilevata nell'intervallo $2.5 \div 3.5$ Hz. I valori del rapporto H/V delle frequenze di risonanza, al massimo pari a 2, indicano contrasti d'impedenza sismica non particolarmente elevati nella successione litostratigrafica del sito.

Fig.26-Grafico del rapporto H/V-prove HVSR



5. MODELLO SISMICO E PARAMETRI DINAMICI DEL SOTOSUOLO

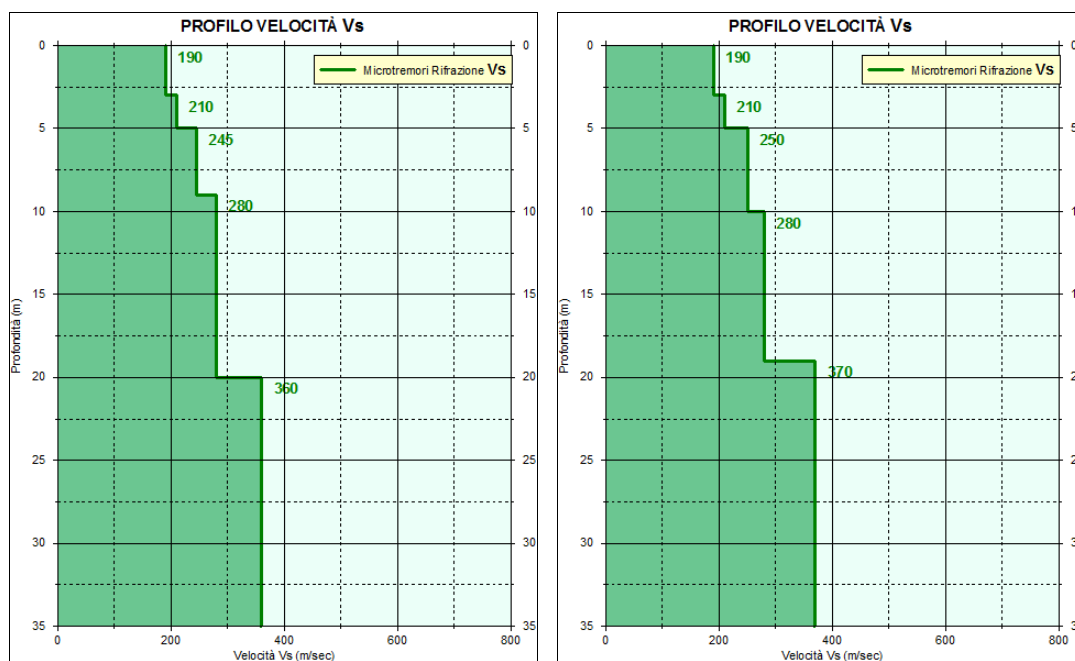
Il modello sismico del sottosuolo è stato definito sulla base della variazione con la profondità della velocità delle onde di taglio v_s ricavata con le prove sismiche Masw/Re.mi. Si riportano qui di seguito le stratigrafie sismiche del sottosuolo indagato e nei grafici di figura 27÷28, meglio visualizzati in All.1, i relativi profili di velocità delle onde di taglio v_s .

Prova Masw-Re.mi 1

STRATO 1: prof. da 0.00 a 3.00 m	$v_s=190$ m/s
STRATO 2: prof. da 3.00 a 5.00 m	$v_s=210$ m/s
STRATO 3: prof. da 5.00 a 9.00 m	$v_s=245$ m/s
STRATO 4: prof. da 9.00 a 20.00 m	$v_s=280$ m/s
STRATO 5: prof. da 20.00 a 35.00 m	$v_s=360$ m/s

Prova Masw-Re.mi 1

STRATO 1: prof. da 0.00 a 3.00 m	$v_s=190$ m/s
STRATO 2: prof. da 3.00 a 5.00 m	$v_s=210$ m/s
STRATO 3: prof. da 5.00 a 10.00 m	$v_s=250$ m/s
STRATO 4: prof. da 10.00 a 19.00 m	$v_s=280$ m/s
STRATO 5: prof. da 19.00 a 35.00 m	$v_s=370$ m/s

Fig.27 e 28-Grafici profili v_s relativi alle due prove

La determinazione della categoria di profilo stratigrafico del suolo di fondazione in accordo con quanto indicato nelle NTC/2018 è stata eseguita con il valore V_{Seq} ricavato con le prove sismiche Masw/Re.mi. calcolato con la seguente relazione:

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore (in m) e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo, N il numero di strati ed H la profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da v_s non inferiore a 800 m/s. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, come nel caso in esame, la velocità equivalente delle onde di taglio $v_{S,eq}$ è definita dal parametro $v_{S,30r}$ ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità. I valori di V_{S30} fino a 5 m di profondità e il corrispondente tipo di suolo nelle due prove sono riportati nelle seguenti tabelle.

$V_{Seq}=V_{S30}$ e Categoria di suolo-Prova Masw-Re.mi 1			
Profondità da piazzale [m]	Intervallo da piazzale [m]	$V_{Seq}=V_{S30}$ [m/s]	Categoria suolo [-]
0	0 ÷ -30	276	C
1	-1 ÷ -31	282	C
2	-2 ÷ -32	289	C
3	-3 ÷ -33	296	C
4	-4 ÷ -34	302	C
5	-5 ÷ -35	308	C

V_{s eq}=V_{s 30} e Categoria di suolo-Prova Masw-Re.mi 2			
Profondità da piazzale [m]	Intervallo da piazzale [m]	V _{s eq} =V _{s 30} [m/s]	Categoria suolo [-]
0	0÷-30	281	C
1	-1÷-31	288	C
2	-2÷-32	295	C
3	-3÷-33	303	C
4	-4÷-34	310	C
5	-5÷-35	316	C

Dai risultati si evince che ai terreni dell'area in esame corrisponde la categoria di suolo di fondazione di Tipo C ovvero *"depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiore a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s eq} compresi tra 180 m/s e 360 m/s"*.

Sulla base della variazione con la profondità della v_s sono stati determinati con le relazioni sotto indicate il modulo dinamico di taglio G₀ ed il modulo elastico dinamico E₀ a piccole deformazioni dove γ è il peso di volume naturale, g è l'accelerazione di gravità (9.81 m/s²). Per il calcolo di E₀ il coefficiente di Poisson ν è stato assunto pari 0.3.

$$G_0 = \frac{\gamma}{g} \cdot v_s^2$$

$$E_0 = 2 \cdot G_0 \cdot (1 + \nu)$$

Go ed Eo-Prova Masw-Re.mi 1				
Strato sismico [-]	Profondità [m]	V _s [m/s]	G ₀ [MPa]	E ₀ [MPa]
STRATO 1	0.00÷3.00	190	66	172
STRATO 2	3.00÷5.00	210	81	211
STRATO 3	5.00÷9.00	245	110	286
STRATO 4	9.00÷20.00	280	144	374
STRATO 5	20.00÷35.00	360	238	619

Go ed Eo-Prova Masw-Re.mi 2				
Strato sismico [-]	Profondità [m]	V _s [m/s]	G ₀ [MPa]	E ₀ [MPa]
STRATO 1	0.00÷3.00	190	66	172
STRATO 2	3.00÷5.00	210	81	211
STRATO 3	5.00÷10.00	250	115	299
STRATO 4	10.00÷19.00	280	144	374
STRATO 5	19.00÷35.00	370	251	653

6. PERICOLOSITA' SISMICA

6.1. Premessa

La sismicità indica la frequenza e la forza con cui si manifestano i terremoti ed è una caratteristica fisica del territorio. Se si conosce la frequenza e l'energia associate ai terremoti che caratterizzano un territorio e si attribuisce un valore di probabilità al verificarsi di un evento sismico di una data magnitudo in un certo intervallo di tempo, si può definirne la pericolosità sismica. La pericolosità sismica sarà tanto più elevata quanto più probabile sarà il verificarsi di un terremoto di elevata magnitudo, a parità di intervallo di tempo considerato. Più precisamente la pericolosità sismica viene definita come la probabilità che in una data area ed in un certo intervallo di tempo si verifichi un terremoto che superi una soglia di intensità, magnitudo o accelerazione di picco (Pga) di nostro interesse.

È importante fare una distinzione tra pericolosità sismica di base e pericolosità sismica locale. La prima è intesa come la misura dello scuotimento al suolo atteso in un dato sito. Definisce l'entità massima dei terremoti ipotizzabili per una determinata area in un determinato intervallo di tempo, è legata alle caratteristiche sismo-genetiche del sito ed è indipendente dalla presenza di manufatti e persone. La pericolosità sismica locale è la variazione indotta da particolari condizioni geologiche e/o morfologiche all'intensità con cui le onde sismiche si manifestano in superficie. L'analisi della sismicità, intesa come distribuzione spazio-temporale dei terremoti in una determinata area, costituisce il primo step per gli studi di valutazione della pericolosità sismica di base di un sito. Infatti le caratteristiche sismo-tettoniche e le modalità di rilascio dell'energia sismica pregressa consentono la messa a punto di modelli previsionali (modelli probabilistici) dell'attività sismica attraverso una quantificazione dei livelli di accelerazione attesi.

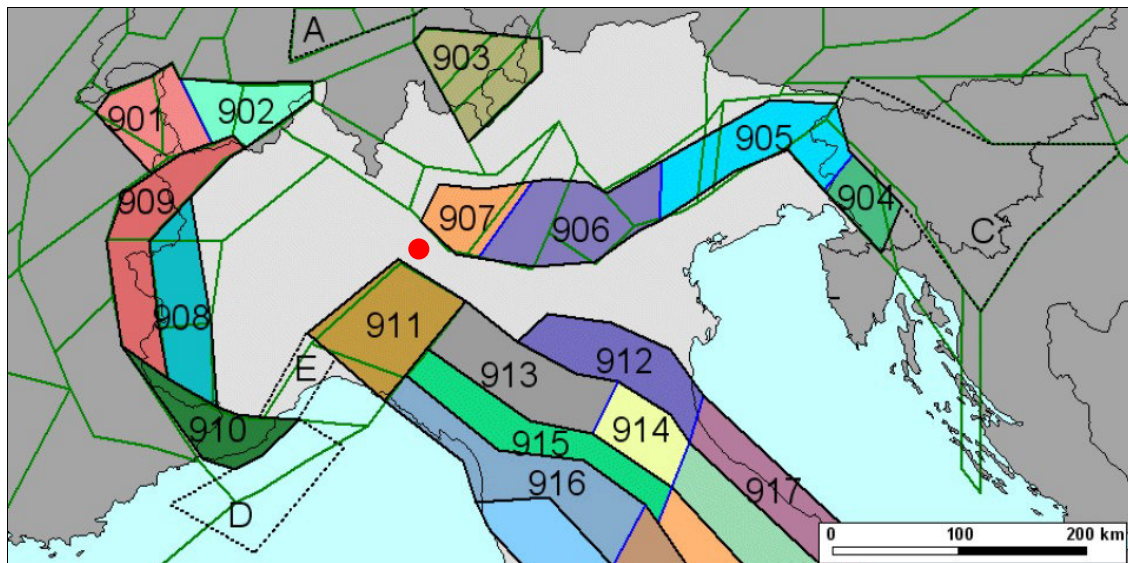
6.2. Zone sismogenetiche

La sismicità del territorio è legata alla presenza di attività neotettonica intendendo con questo termine i movimenti tettonogenetici relativi al periodo compreso tra il Pliocene e l'attuale (cioè negli ultimi 5.2 milioni di anni). Si possono distinguere movimenti neotettonici lineari che si sviluppano lungo superfici di discontinuità preesistenti (faglie o superfici di sovrascorrimento) e movimenti neotettonici areali che determinano sollevamenti e/o abbassamenti differenziali. Gli studi sulla pericolosità sismica promossi dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV) hanno portato alla definizione di una nuova zonazione sismogenetica del territorio nazionale denominata ZS9 (*cfr.* Fig.29), che prevede l'individuazione di 36 "zone-sorgente", i cui limiti sono stati tracciati sulla base di informazioni tettoniche o geologico-strutturali e di differenti caratteristiche della sismicità, quali distribuzione spaziale e frequenza degli eventi, massima magnitudo rilasciata, ecc. Per ogni zona sismogenetica, caratterizzata da una propria sismicità, è stata effettuata una stima della profondità media dei terremoti e del meccanismo di fagliazione prevalente.

Il territorio di Lodi non rientra in alcuna delle zone sismogenetiche appartenenti alla zonazione sismogenetica nazionale ZS9, sottolineando l'assenza di strutture geologiche in grado di generare terremoti (le cosiddette "faglie capaci").

In particolare si trova tra la zona sismogenetica 911 (Tortona-Bobbio) posta a sud ad una distanza di circa 10 km e quella 907 (Bergamasco) che si sviluppa verso nord-est ad una distanza di circa 21 km. Alla zona sismogenetica 911 (Tortona-Bobbio) è associato un valore di massima magnitudo $Mw_{max}=6.14$.

Fig.29-Zonazione sismogenetica del territorio italiano ZS9-INGV, 2004



6.3. Sorgenti sismogenetiche individuali/composite

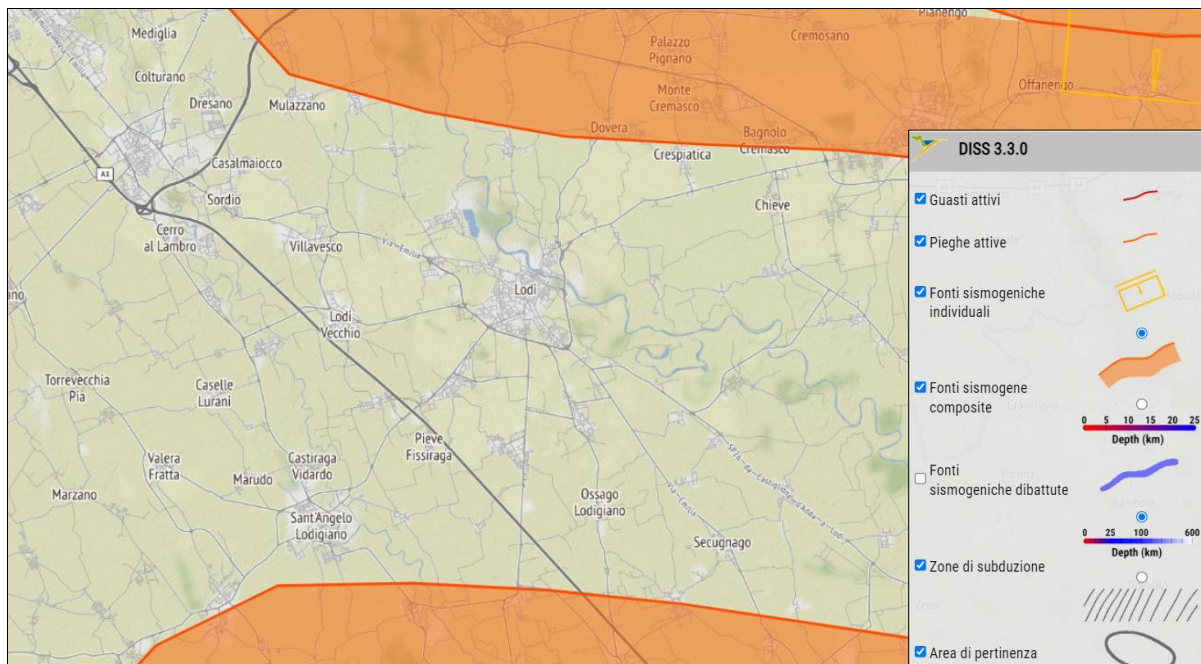
A partire dal 2000 l'INGV mediante il Progetto DISS (*Database of Individual Seismogenic Sources*) ha realizzato un database che contiene dati relativi alle "sorgenti sismogenetiche individuali/composite" ritenute responsabili di eventi sismici di magnitudo ≥ 5.5 . Si tratta di faglie ritenute capaci di dislocarsi significativamente durante i grandi eventi sismici; esse vengono analizzate nel loro andamento tridimensionale e ne viene definito il comportamento caratteristico (entità della fratturazione) e la magnitudo attesa del sisma associato a tale fratturazione. Il Progetto Diss integra il quadro conoscitivo fornito dalla Zonazione sismogenetica ZS9.

Il territorio di Lodi ed in particolare l'area in esame si trova tra la sorgente sismogenetica composita/individuale denominata ITCS115 (Spinta esterna delle Alpi sud-occidentali poco profonde ovest) a nord e quella denominata ITCS044 (Portalbera-Cremona) a sud (cfr. Fig.30). La prima è posta ad una distanza di circa 6 km, mentre la seconda a 10 km. Ad esse è attribuita la capacità di generare terremoti di magnitudo Mw rispettivamente pari a 6.2 e 6.7.

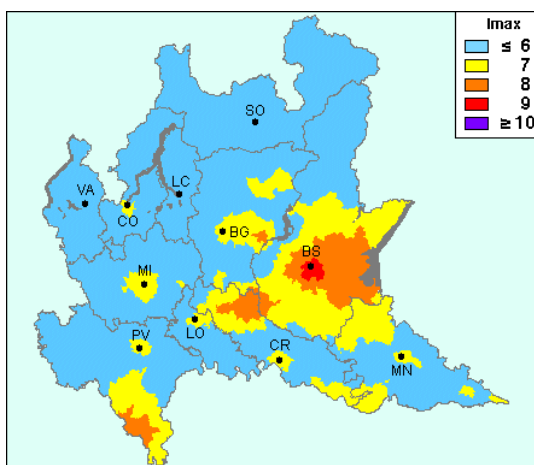
6.4. Sismicità storica

Dalla consultazione dei cataloghi sismici redatti dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia per gli studi di pericolosità risulta che l'area comunale e tutto il lodigiano, nel loro complesso, sono caratterizzate da eventi sismici piuttosto sporadici e di intensità macrosismica massima I_{max} rilevata dell'ordine del VI-VII grado della scala Mercalli (cfr. Fig.31).

Fig.30-Mappa delle sorgenti sismogenetiche individuali-composite (DISS vers. 3.3.0)



L'intensità macrosismica rappresenta una misura degli effetti che il terremoto ha prodotto sull'uomo, sugli edifici e sull'ambiente. Le località epicentrali per gli eventi che hanno prodotto i maggiori risentimenti/danni (osservazioni macrosismiche) provengono da zone appartenenti alle province vicine, corrispondenti al Veronese, al Bresciano, al Bergamasco, al Cremasco e, soprattutto, all'Appennino Emiliano-Romagnolo.

Fig.31-Carta della massima intensità macrosismica I_{max} attesa in Lombardia

La storia sismica locale è stata tratta dal catalogo DBMI15, il database utilizzato per la compilazione del Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15), nel quale sono riportate le osservazioni macrosismiche relative al comune di Lodi (cfr. Fig.32) dove sono state rilevati n. 37 eventi sismici.

Fig.32-Osservazioni sismiche disponibili (37) per il comune di Lodi

Lodi									
PlaceID	IT_13310								
Coordinate (lat, lon)	45.314, 9.505								
Comune (ISTAT 2015)	Lodi								
Provincia	Lodi								
Regione	Lombardia								
Numero di eventi riportati	37								
Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io Mw
F	1276	07	29	18	30		Monferrato	9	5 4.81
D	1348	01	25				Alpi Giulie	89	9 6.63
F	1383	07	24	20			Parma	2	4-5 3.93
5	1511	03	26	13	30		Friuli-Slovenia	120	9 6.32
4	1515	10	25	12	35		Pianura Padana	5	
5	1642	06	13				Pianura lombarda	8	6 4.92
5-6	1695	02	25	05	30		Asolano	107	10 6.40
4-5	1741	04	24	09	20		Fabrianese	135	9 6.17
5-6	1781	09	10	11	30		Pianura lombarda	11	6-7 4.93
5-6	1802	05	12	09	30		Valle dell'Oglio	94	8 5.60
4	1873	03	12	20	04		Appennino marchigiano	196	8 5.85
4	1873	06	29	03	58		Alpago Cansiglio	197	9-10 6.29
4-5	1884	09	12	07	23		Pianura lombarda	34	6 4.70
4-5	1887	02	23	05	21	5	Liguria occidentale	1511	9 6.27
4-5	1891	06	07	01	06	1	Valle d'Illasi	403	8-9 5.87
5-6	1894	11	27	05	07		Bresciano	183	6 4.89
5	1901	10	30	14	49	5	Garda occidentale	289	7-8 5.44
NF	1906	08	25	03	11		Parmense	31	5 4.25
NF	1907	04	25	04	52		Veronese	122	6 4.79
3	1909	01	13	00	45		Emilia Romagna orientale	867	6-7 5.36

Is = intensità macrosismica in scala MCS:

D= danneggiamento, comunemente > 6.

Io = intensità epicentrale in scala MCS

F = risentito (felt) 3< Is < 5

NF = non avvertito, in presenza di segnalazione
Is = 1.

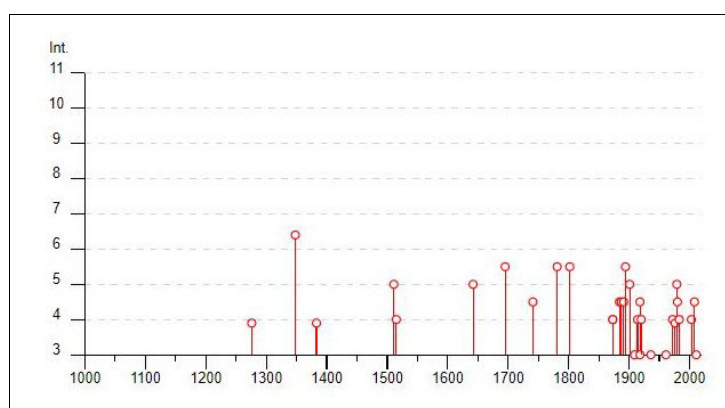
NC = non classificato

Mw = magnitudine momento nell'area epicentrale

NF	1913	11	25	20	55		Appennino parmense	73	4-5 4.65
NF	1913	12	07	01	28		Valle Scrivia	56	5 4.57
4	1914	10	27	09	22		Lucchesia	660	7 5.63
4-5	1918	01	13	12			Pianura lombarda	24	4 4.62
3	1918	04	24	14	21		Lecchese	34	6 4.95
4	1920	09	07	05	55	4	Garfagnana	750	10 6.53
3	1936	10	18	03	10		Alpago Cansiglio	269	9 6.06
2	1960	03	23	23	10		Vallese	178	7 5.00
3	1961	11	23	01	12	0	Prealpi bergamasche	119	6-7 4.86
4	1972	10	25	21	56	1	Appennino settentrionale	198	5 4.87
F	1976	05	06	20			Friuli	770	9-10 6.45
5	1979	02	09	14	44		Bergamasco	73	6 4.78
4-5	1980	12	23	12	01	0	Piacentino	69	6-7 4.57
4	1983	11	09	16	29	5	Parmense	850	6-7 5.04
4	2003	04	11	09	26	5	Valle Scrivia	78	6-7 4.81
4-5	2008	12	23	15	24	2	Parmense	291	6-7 5.36
3	2011	07	17	18	30	2	Pianura lombardo-veneta	73	5 4.79

Il diagramma di Fig.33 evidenzia le intensità macrosismiche risentite in occasione degli eventi sismici più significativi riportati in tabella. Il terremoto conosciuto di maggiore intensità con epicentro nel lodigiano, denominato LODIGIANO, è avvenuto il 15 maggio 1951 con epicentro circa 1.2 km a NE di Ossago (Latitudine 45.254° Longitudine 9.550° $I_o=6-7$, $M_w=5.24$) e 11 Km a SE di Lodi Vecchio. Si sottolinea che questo terremoto non fa parte della storia sismica di Lodi, mentre sono segnalati risentimenti con intensità macrosismica $I_s=6$ nelle provincie confinanti, e con intensità 5 per un vasto intorno, nel quadrilatero compreso tra Salò, Varese, Alessandria e Modena.

Fig.33-Diagramma delle intensità macrosismiche risentite



Nella figura 34 sono visualizzate le localizzazioni epicentrali degli eventi sismici significativi ($M_w>5$) nell'intervallo di tempo compreso tra il 1000 ed il 2006 (Catalogo CPTI11), mentre nella Fig.35 quelle dei terremoti con $M_w>3.5$ nel periodo 2005-2015 (INGV).

Fig.34-Mappa Forti terremoti dall'anno 1000 al 2006 (da CPTI11)

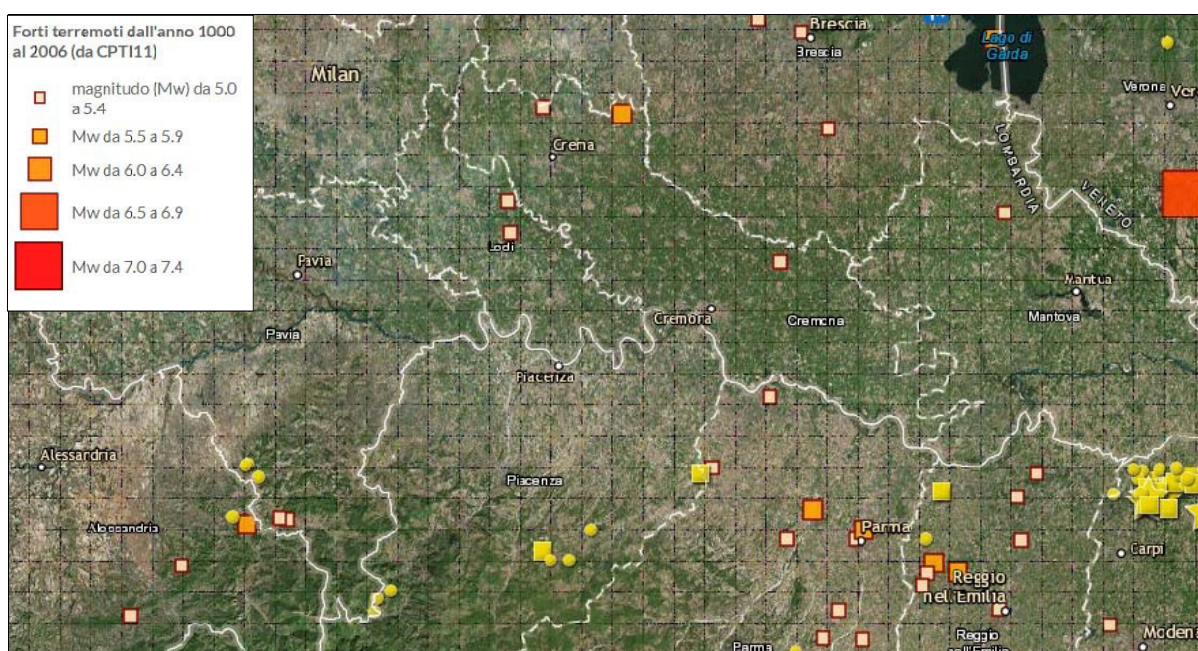
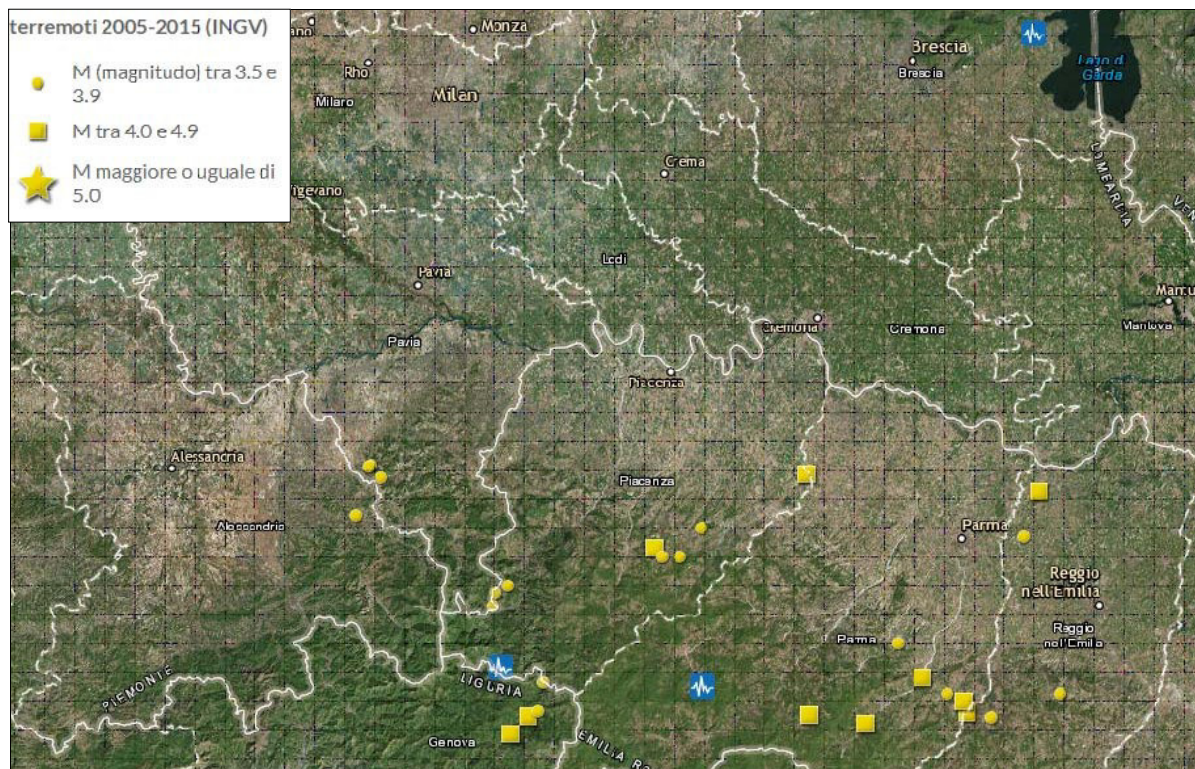


Fig.35-Mappa terremoti 2005-2015 (INGV)



6.5. Quadro normativo e classificazione sismica dell'area

Il panorama legislativo in materia sismica è stato profondamente trasformato dall'OPCM n°3274/2003 che è entrata in vigore dal 25 ottobre 2005, data coincidente con la pubblicazione della prima stesura delle norme tecniche per le costruzioni (D.M. 14 settembre 2005) e dalla successiva OPCM n°3519/2006. La riclassificazione sismica del territorio nazionale prevede che tutto il territorio sia classificato sismico sulla base della *Mappa di Pericolosità Sismica del Territorio Nazionale* riportata in Fig.36 espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni riferita a suoli rigidi.

In particolare la mappa riporta il valore dell'accelerazione orizzontale massima a_g che ha la probabilità di essere superato almeno una volta nei prossimi 50 anni; tale valore di probabilità, che corrisponde ad un periodo di ritorno di 475 anni, è assunto come riferimento dalla normativa sismica vigente.

Nella Fig.37 si riporta l'estratto della mappa di pericolosità sismica del comune di Lodi da cui si ricava che il valore di a_g atteso per l'area in esame risulta compreso tra 0.050 e 0.075g. In relazione alla pericolosità sismica di Fig.37 il territorio nazionale è stato suddiviso in quattro zone con livelli decrescenti di pericolosità (*cf.* tabella sottostante) in funzione a quattro differenti valori di accelerazione orizzontale massima al suolo a_{g475} , ossia quella riferita al 50esimo percentile, ad una vita di riferimento di 50 anni e ad una probabilità di superamento del 10% riferiti a suoli rigidi caratterizzati da $V_{s30} > 800$ m/s.

Direzione Organizzativa 3-Servizi tecnici-Gestione tecnica e manutentiva del demanio e del patrimonio comunale
Intervento di ristrutturazione, recupero e rigenerazione urbana del complesso dell'ex Linificio sito in Piazzale Forni
Relazione geologica (R1-R3) - D.G.R. n.IX/2616 30.11.2011 e D.M. 17.01.2018

Zona 1	$a_{g475} \geq 0.25g$
Zona 2	$0.25 < a_{g475} \leq 0.15g$
Zona 3	$0.15 < a_{g475} \leq 0.05g$
Zona 4	$a_{g475} < 0.05g$

Fig.36-Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale

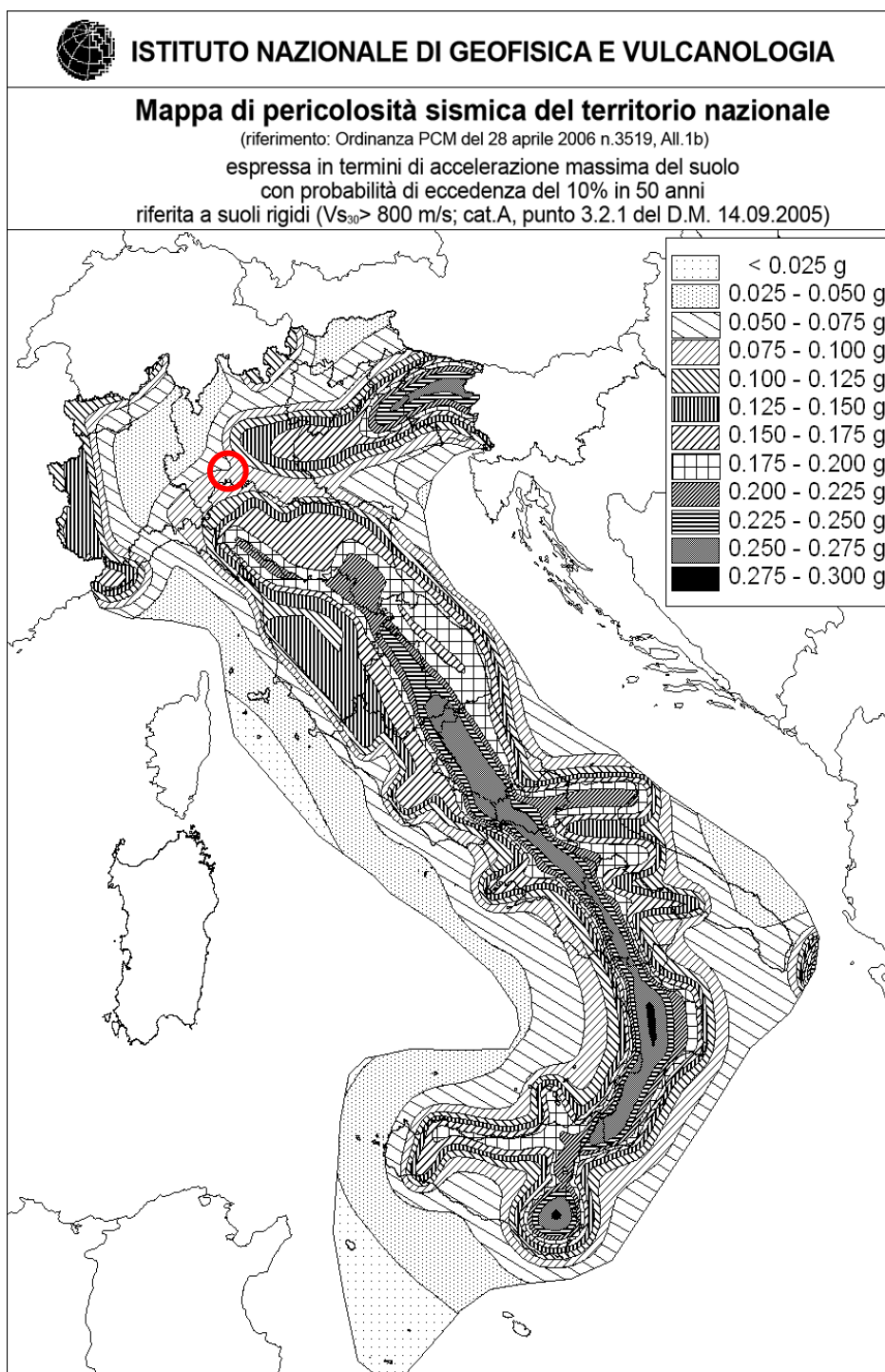
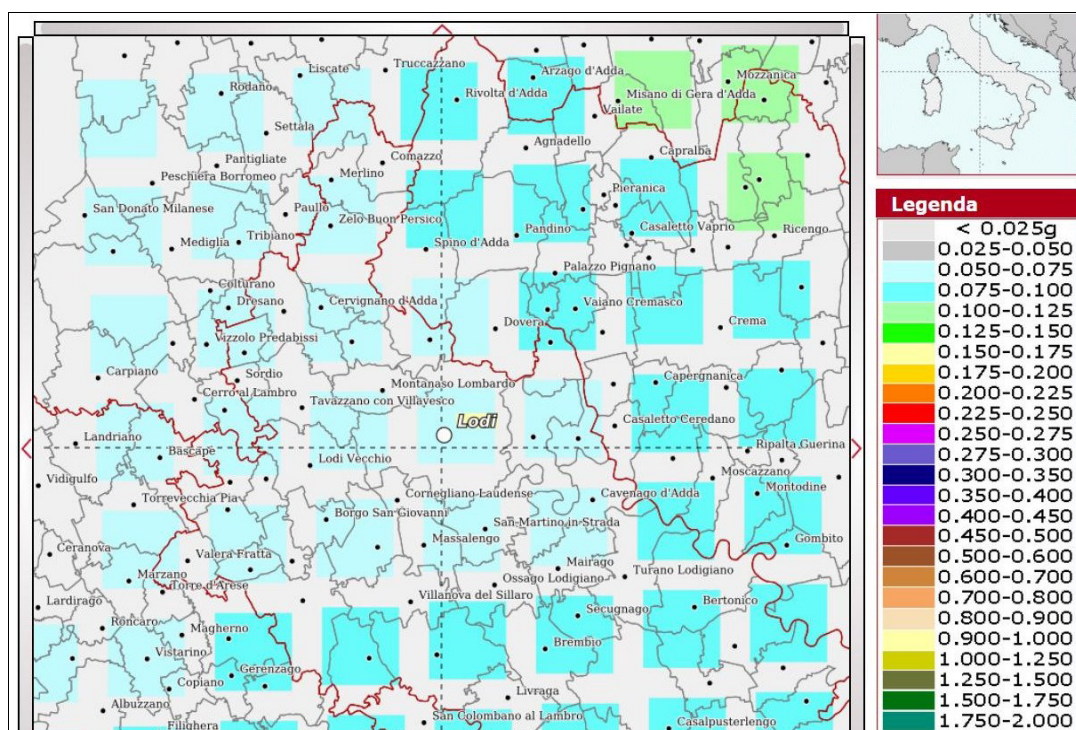
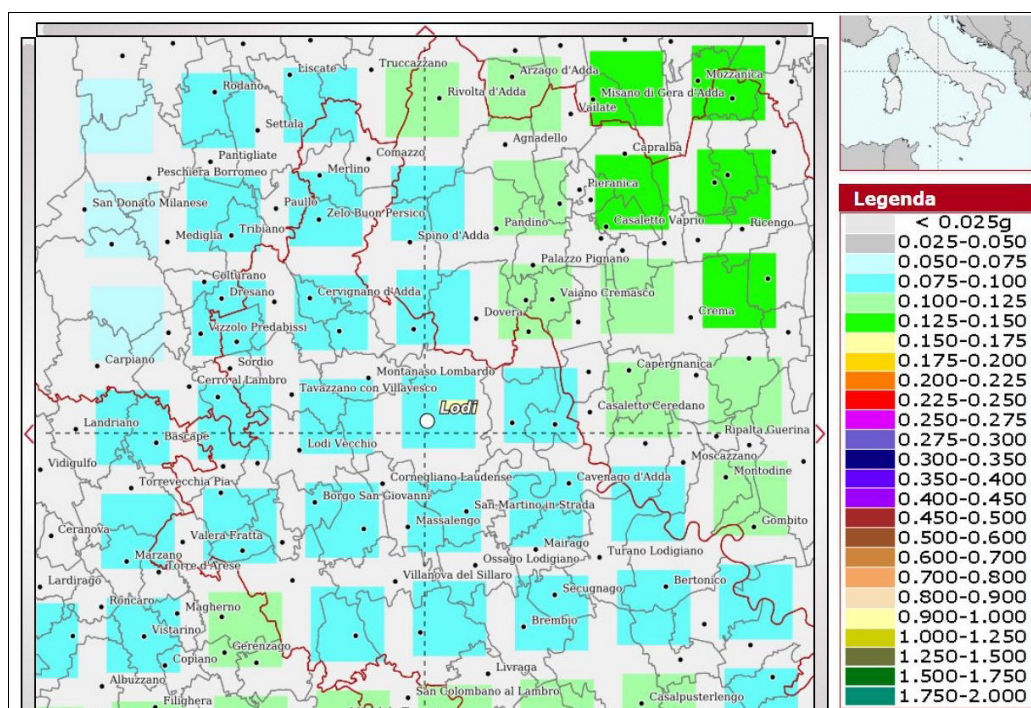


Fig.37-Stralcio Mappa di pericolosità sismica comune di Lodi (a_{g475})

L'appartenenza ad una delle quattro zone viene stabilita rispetto alla distribuzione sul territorio dei valori di a_{g475} con una tolleranza 0.025g. Come si evince dalla tabella a ciascuna zona o sottozona è attribuito un valore di pericolosità di base, espressa in termini di accelerazione massima su suolo rigido (a_g). Con la D.g.r. n.X/2129 dell'11 Luglio 2014, entrata in vigore il 10 aprile 2016, la Regione Lombardia ha approvato la nuova classificazione sismica dei comuni lombardi. Nel caso specifico al comune di Lodi è stata attribuita la zona sismica 3 con un'accelerazione orizzontale massima al suolo a_{g475} pari a 0.073095g. Tale valore di pericolosità di base non ha però influenza sulla progettazione. Infatti le Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14.01.2008 in vigore dal 1° luglio 2009 e il successivo aggiornamento del 17.01.2018 hanno modificato il ruolo che la classificazione sismica aveva ai fini progettuali: per ciascuna zona, e quindi territorio comunale, precedentemente veniva fornito un valore di accelerazione di picco e quindi di spettro di risposta elastico da utilizzare per il calcolo delle azioni sismiche. Dal 1 luglio 2009 con l'entrata in vigore delle N.T.C./2008, per ogni costruzione ci si deve riferire ad una accelerazione di riferimento "propria" individuata sulla base delle coordinate geografiche dell'area di progetto e in funzione della vita nominale dell'opera.

L'accelerazione orizzontale massima a_g sopra riportata si riferisce ad un tempo di ritorno $T_R=475$ anni. Poiché allo stato limite SLV della categoria dell'opera in progetto è associato un tempo di ritorno $T_R=712$ anni si riporta l'estratto della mappa di pericolosità sismica del comune di Lodi espressa in termini di accelerazione orizzontale massima del suolo con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni (cfr. Fig. 38) a cui corrisponde un tempo di ritorno $T_R=975$ anni. Per il suddetto tempo di ritorno T il valore di a_{g975} atteso per l'area in esame risulta compreso tra 0.075 e 0.100 g.

Fig.38-Stralcio Mappa di pericolosità sismica comune di Lodi (a_{g975})

Dai grafici di disaggregazione dei valori di a_g con probabilità di eccedenza del 10% e del 5% in 50 anni (cfr. Fig.39 e 40) estrapolati dalle mappe interattive di pericolosità sismica, è possibile ricavare il contributo percentuale delle diverse coppie di dati magnitudo-distanza epicentrale alla pericolosità sismica di base. Per l'area in esame la magnitudo media prevista con probabilità di superamento del 10% in 50 anni è di 4.93 con distanza dall'epicentro di 35.5 km, mentre quella con probabilità di superamento del 5% in 50 anni è di 4.96 con distanza dall'epicentro 31.7 km.

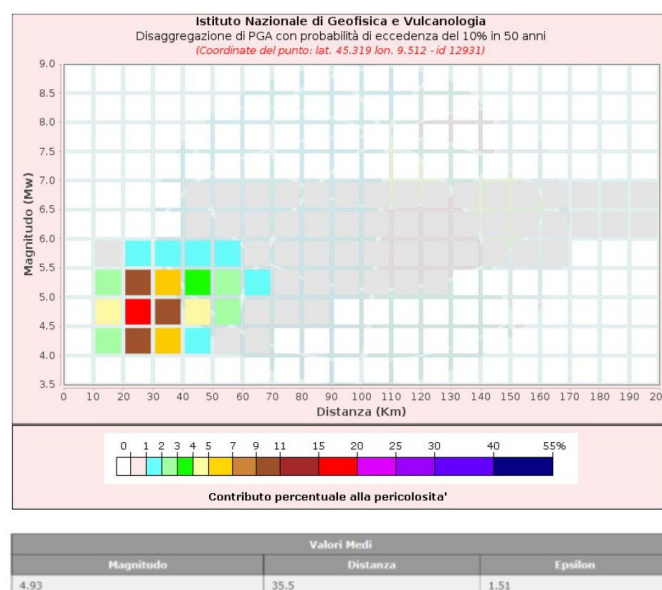
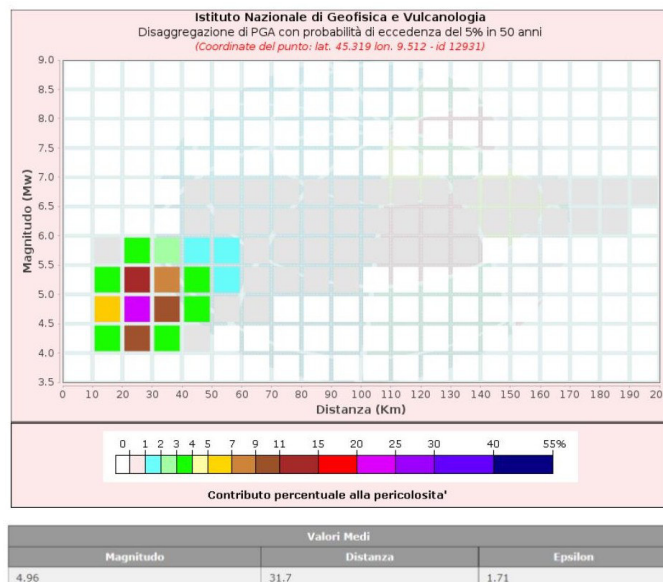
Fig.39-Grafico di disaggregazione del valore di a_g con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni

Fig.40-Grafico di disaggregazione del valore di a_g con probabilità di eccedenza del 5% in 50 anni

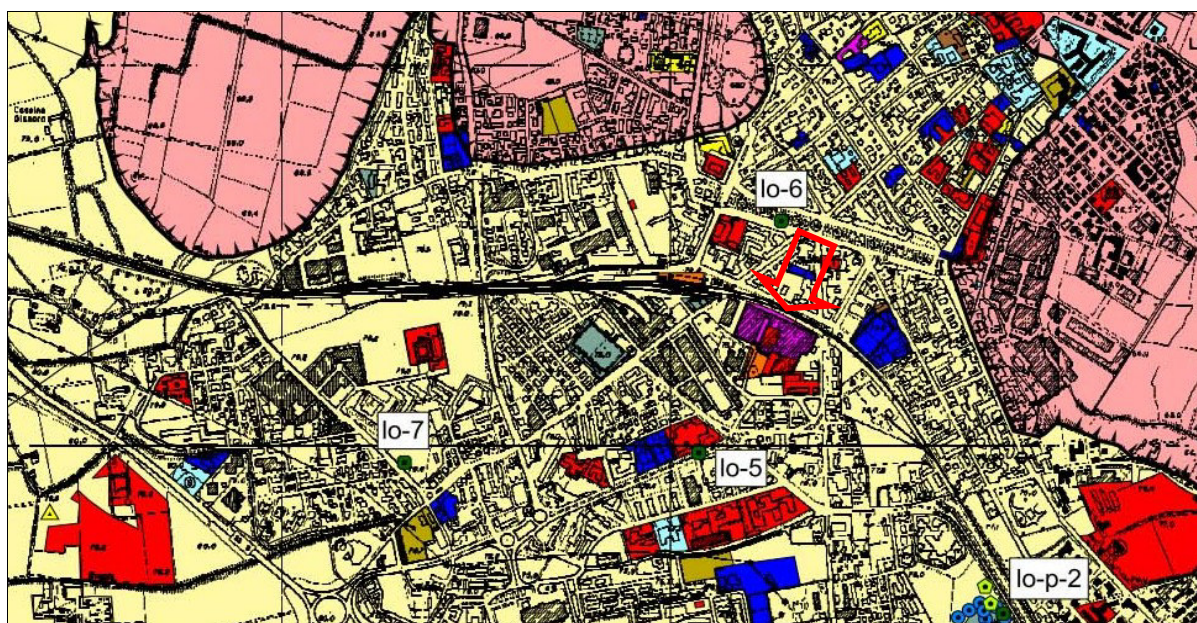
6.6. Pericolosità sismica locale

Le locali condizioni geologiche e geomorfologiche possono influenzare, in occasione di eventi sismici, la pericolosità sismica di base producendo effetti diversi da considerare nella valutazione generale della pericolosità sismica dell'area. Tali effetti vengono distinti in funzione del comportamento dinamico dei terreni e dei materiali coinvolti. Gli studi finalizzati al riconoscimento delle aree potenzialmente pericolose dal punto di vista sismico sono basati sull'identificazione dei possibili effetti locali, distinguibili in due grandi gruppi: quelli di sito o di amplificazione sismica locale e quelli dovuti ad instabilità. Gli effetti di instabilità interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento instabile o potenzialmente tale nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese. In versanti in equilibrio precario si possono avere fenomeni di riattivazione o neoformazione di movimenti franosi, nel caso di aree interessate da particolari strutture geologiche sepolte e/o affioranti in superficie (contatti stratigrafici o tettonici quali faglie sismogenetiche) si possono verificare movimenti relativi verticali ed orizzontali tra diversi settori areali che conducono a scorrimenti e cedimenti differenziali interessanti le sovrastrutture. Inoltre in terreni particolarmente scadenti dal punto di vista delle proprietà fisico-meccaniche si possono verificare fenomeni di scivolamento e rottura connessi a deformazioni permanenti del suolo; per terreni granulari sopra falda sono possibili cedimenti a causa di fenomeni di densificazione ed addensamento del materiale, mentre per terreni granulari fini (sabbiosi) saturi di acqua sono possibili fluimenti e colamenti parziali o generalizzati a causa dei fenomeni di liquefazione. Gli effetti di sito o di amplificazione sismica locale interessano tutti i terreni che mostrano un comportamento stabile nei confronti delle sollecitazioni sismiche attese. Questi ultimi sono rappresentati dall'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico (terremoto di riferimento), relativo ad una formazione rocciosa di base (bedrock), può subire, durante l'attraversamento degli strati di terreno sovrastanti il bedrock, a causa dell'interazione delle onde sismiche con le particolari condizioni locali.

Gli effetti di sito si distinguono in due gruppi che possono essere contemporaneamente presenti nella stessa area: *effetti di amplificazione topografica ed effetti di amplificazione litologica*.

Nella *Carta di pericolosità sismica locale* della Componente geologica del PGT l'area appartiene allo scenario di Pericolosità Sismica Locale PSL Z4a-Zona di pianura e/o fondovalle con presenza di depositi alluvionali granulari e/o coesivi (cfr. Fig.41) soggetta a possibili amplificazioni litologiche e geometriche. Sulla base di quanto indicato nel paragrafo 1.4.3 della delibera della giunta regionale n.IX/2616 del 30 novembre 2011 per gli scenari PSL Z4 ricadenti in zone sismiche 3 è obbligatorio per i progetti di tutti gli edifici e/o opere eseguire una verifica di secondo livello finalizzata a valutare l'amplificazione sismica locale del sito.

Fig.41-Componente geologica PGT: stralcio Carta della pericolosità sismica locale



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 |

7. VALUTAZIONE DEL FATTORE DI AMPLIFICAZIONE SISMICA LOCALE AI SENSI DELLA D.G.R. N. IX/2616 DEL 30.11.2011 (APPROFONDIMENTO SISMICO DI II° LIVELLO)

La valutazione dell'amplificazione sismica locale è stata definita con la metodologia prevista dalla Regione Lombardia nella delibera della giunta regionale n.IX/2616 del 30 novembre 2011. Tale procedura permette, in relazione alle caratteristiche litologiche, geotecniche e sismiche una valutazione semiquantitativa degli effetti di amplificazione sismica attesi.

In particolare attraverso la definizione del fattore di amplificazione viene valutato il grado di protezione raggiunto dalla normativa vigente nel tenere in considerazione gli effetti sismici. Più precisamente essendo il sito in esame collocato in pianura si è proceduto a definire il fattore di amplificazione relativo agli effetti litologici mediante le Schede-Litologia opportunamente predisposte dal Politecnico di Milano per conto della Regione Lombardia. La valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici, confrontando il valore di F_a ottenuto dalle schede di valutazione con un parametro di analogo significato definito come "Valore di Soglia" calcolato per ciascun comune della Lombardia dal Politecnico di Milano.

Tale valore soglia è stato calcolato per le diverse categorie di suolo relativamente ai due intervalli del periodo proprio di oscillazione delle tipologie edilizie presenti con maggior frequenza in Lombardia, ossia per $0.1s < T < 0.5s$ (intervallo riferito a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide) e per $0.5s < T < 1.5s$ (intervallo riferito a strutture più alte e più flessibili). Tali parametri sono contenuti nel file "soglie_lomb.xls" della banca dati regionale e rappresentano i valori di soglia oltre i quali lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

La procedura prevede pertanto di valutare il valore di F_a con le schede di valutazione e di confrontarlo con il corrispondente valore di soglia. Si possono presentare quindi due situazioni:

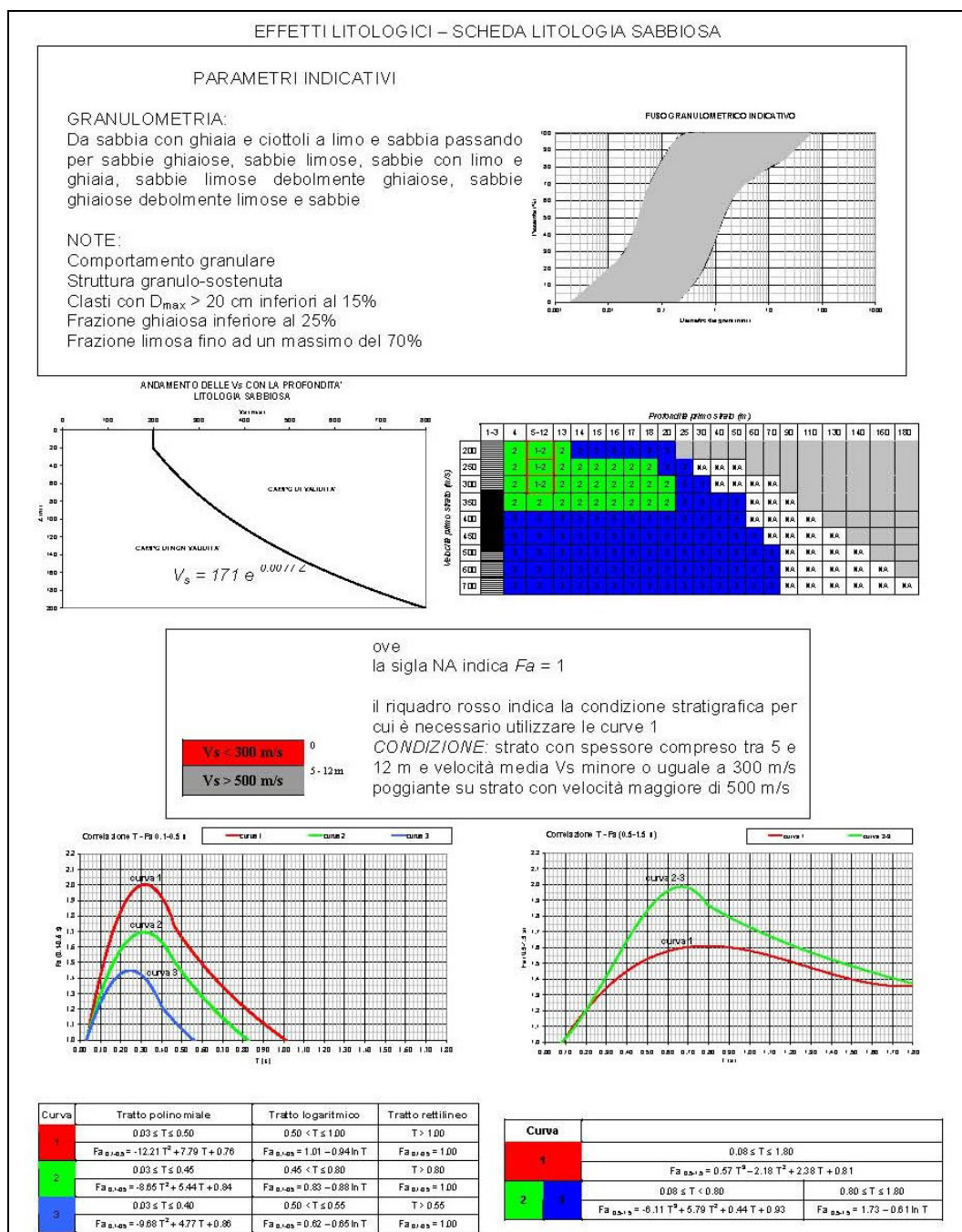
1. il valore di F_a determinato tramite scheda è inferiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto dalla normativa;
2. il valore di F_a è superiore al valore di soglia corrispondente: la normativa è insufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica e quindi è necessario in fase di progettazione edilizia, o effettuare analisi più approfondite oppure utilizzare lo spettro di norma caratteristico della categoria di suolo superiore.

Nella tabella sottostante sono riportati i valori soglia relativi ai due intervalli sopra menzionati per il comune di Lodi.

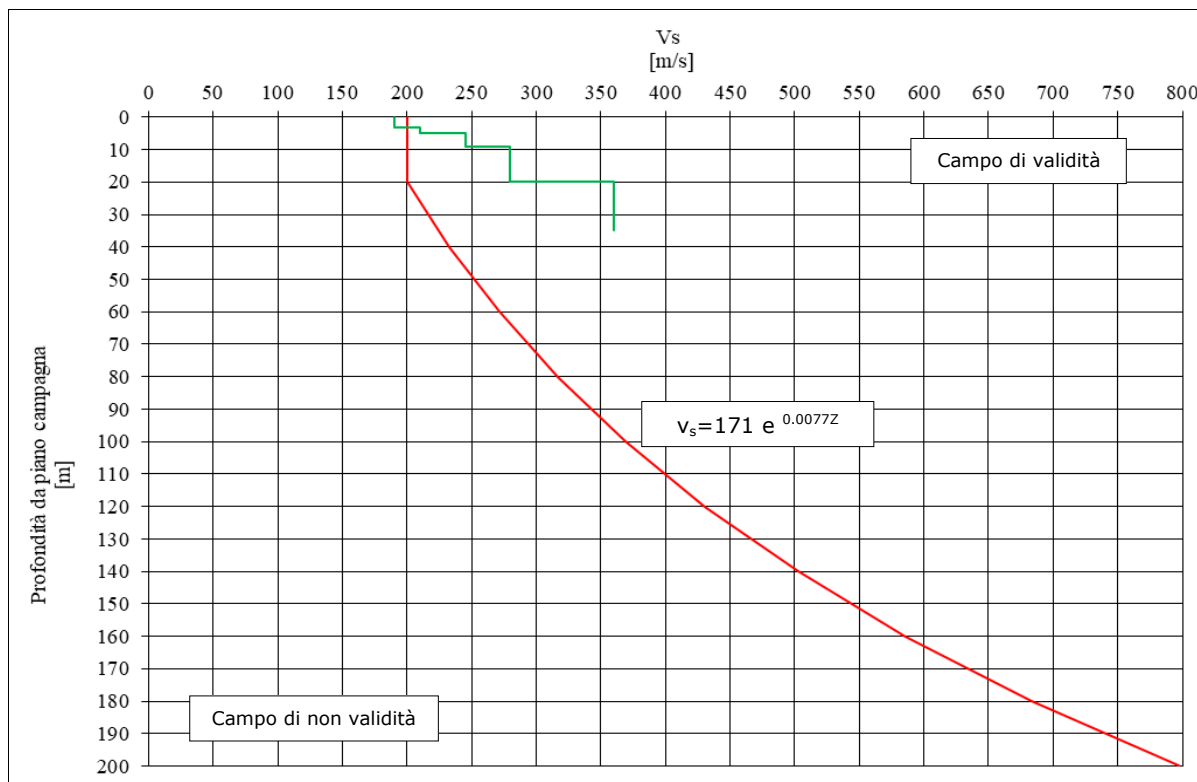
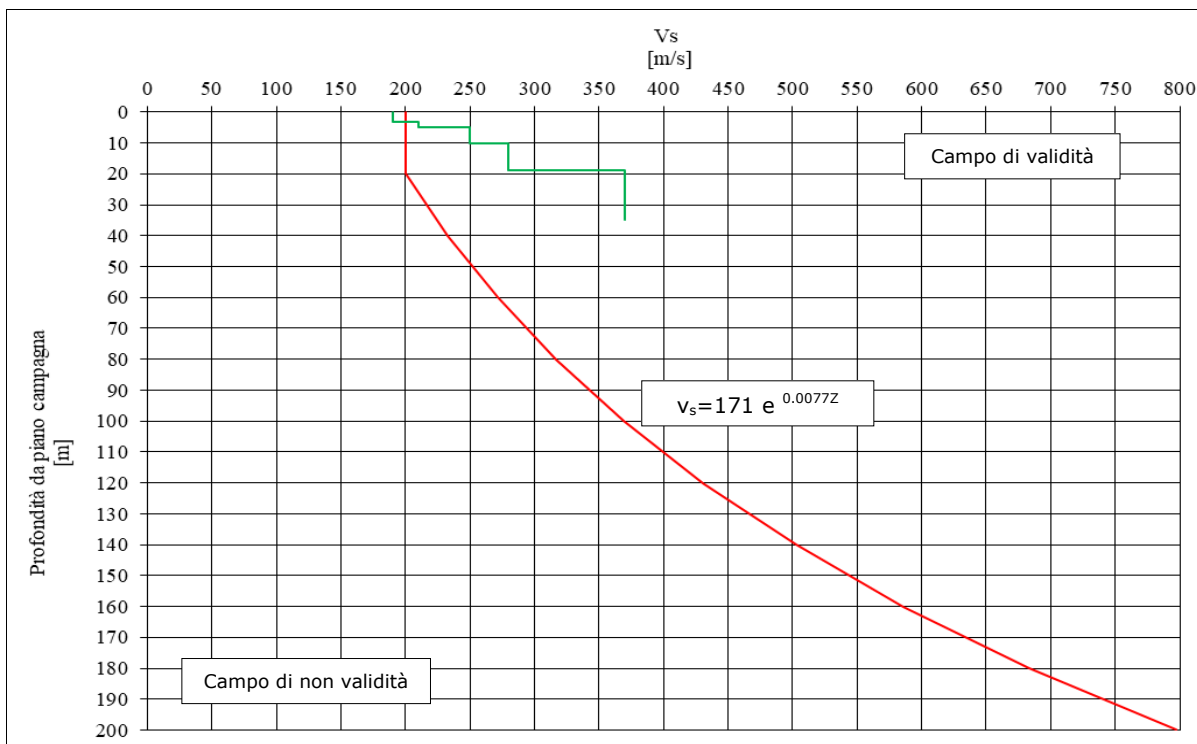
Comune di Lodi Zona sismica 3			
Valori di Soglia di F_a nell'intervallo $0.1s < T < 0.5s$			
Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
1.4	1.8	2.2	1.9
Valori di Soglia di F_a nell'intervallo $0.5s < T < 1.5s$			
Suolo B	Suolo C	Suolo D	Suolo E
1.7	2.4	4.1	3.0

Per il sito in esame sulla base delle caratteristiche litologiche del sottosuolo e confrontando l'andamento con la profondità della velocità delle onde di taglio v_s (determinata con le prove sismiche) con quello riportato nelle schede litologiche fornite dalla Regione Lombardia, è stata individuata come scheda di riferimento quella a litologia sabbiosa (cfr. Fig.42).

Fig.42-Scheda litologia sabbiosa-All.5 alla D.g.r. n.IX/2616 del 30 novembre 2011



In particolare come visualizzato nelle Fig.43 e 44 si è provveduto a riportare i valori delle v_s relativi all'area indagata nell'apposito diagramma per verificarne la congruità con il campo di validità della scheda di riferimento. I grafici mostrano un andamento analogo del profilo v_s con la profondità; in particolare emerge che tutti i valori delle v_s calcolate, ad esclusione dei primi 2.5÷3.00 m stanno al di sopra della linea rossa che divide il campo di validità (sopra la linea) dal campo di non validità (sotto la linea).

Fig.43-Andamento della velocità delle onde di taglio v_s con la profondità: Masw-Re.mi 1Fig.44-Andamento della velocità delle onde di taglio v_s con la profondità: Masw-Re.mi 2

Successivamente in funzione della velocità delle onde di taglio v_s dello strato superficiale e del suo spessore è stata selezionata la curva più appropriata per la valutazione del fattore di amplificazione F_a negli intervalli $0.1s \div 0.5s$ e $0.5s \div 1.5s$ utilizzando la matrice di Fig.45. Nel caso specifico lo strato superficiale è rappresentato dallo STRATO 1. Lo strato superficiale ha uno spessore inferiore a 4 m pertanto nella scelta della curva è stato assunto lo strato superficiale equivalente al quale è stata assegnata una velocità v_s calcolata come media pesata dei valori di v_s degli strati superficiali la cui somma supera i 4 m. Lo spessore e la velocità v_s degli strati superficiali equivalenti così determinati è pari a 5 m e 198 m/s, pertanto è stata scelta la curva 2 (verde).

Fig.45-Matrice

		Profondità primo strato (m)																	
		1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110
Velocità primo strato (m/s)	200	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	250	2	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	300	2	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	350	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	400	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	450	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	500	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	600	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	700	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	800	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2

Il passo successivo prevede di valutare il periodo proprio di vibrazione del sito T calcolato fino alla profondità in cui il valore della velocità v_s è uguale o superiore a 800 m/s. Il periodo proprio di vibrazione del sito T è stato calcolato con la relazione sotto riportata

$$T = \frac{4 \cdot \sum_{i=1, N} h_i}{\sum_{i=1, N} v_{si} \cdot h_i} - \frac{\sum_{i=1, N} h_i}{\sum_{i=1, N} h_i}$$

dove h_i e v_{si} sono rispettivamente lo spessore e la velocità dello strato i -esimo del modello. Il valore di T calcolato per le due prove è risultato pari a 0.777s (Prova 1) e 0.657s (Prova 2). I valori di F_a relativi agli intervalli $0.1s < T < 0.5s$ e $0.5s < T < 1.5s$ sono stati calcolati utilizzando gli abachi visualizzati nelle Fig.46 e 47 e le formule sottostanti:

Masw-Re.mi 1

$$Fa_{0.1s-0.5s} = 0.83 - 0.88 \ln T = 1.052$$

$$Fa_{0.1s-0.5s} = 1.05 + 0.1$$

$$Fa_{0.5s-1.5s} = -6.11T^3 + 5.79T^2 + 0.44T + 0.93 = 1.900$$

$$Fa_{0.5s-1.5s} = 1.90 + 0.1$$

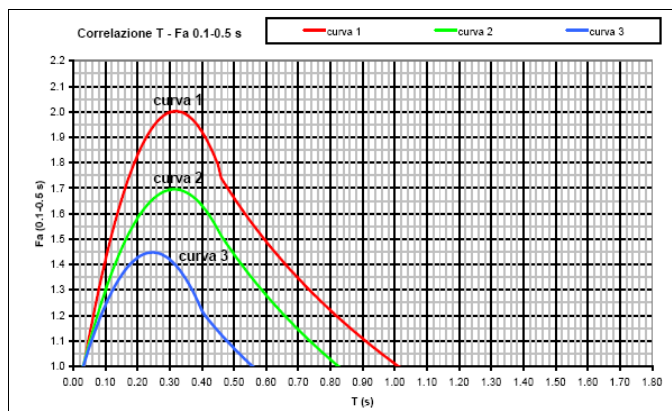
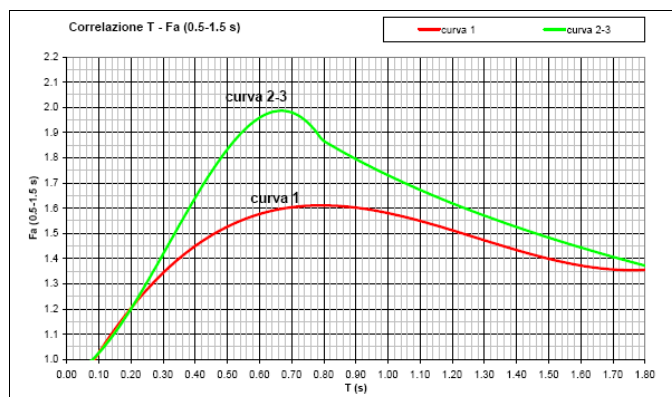
Masw-Re.mi 2

$$Fa_{0.1s-0.5s} = 0.83 - 0.88 \ln T = 1.199$$

$$Fa_{0.1s-0.5s} = 1.20 + 0.1$$

$$Fa_{0.5s-1.5s} = -6.11T^3 + 5.79T^2 + 0.44T + 0.93 = 1.985$$

$$Fa_{0.5s-1.5s} = 1.99 + 0.1$$

Fig.46-Grafico correlazione T - F_a -Intervallo $0.1s < T < 0.5s$ Fig.47-Grafico correlazione T - F_a -Intervallo $0.5s < T < 1.5s$ 

I valori di F_a ottenuti per il sito in esame risultano per entrambi i periodi di oscillazione inferiori al valore di soglia fornito da Regione Lombardia per un suolo di tipo C, pertanto la normativa nazionale risulta sufficientemente cautelativa nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale. Questo fa sì che in fase progettuale si potranno adottare gli spettri di norma relativi al suolo sismico di tipo C misurato.

8. VALUTAZIONE DELL'ACCELERAZIONE SISMICA MASSIMA DEL SITO

Le NTC/08 e s.m.e i. ai fini della definizione delle azioni sismiche sulle strutture superano il concetto della classificazione sismica del territorio in zone e prevedono che l'azione sismica di riferimento sia definita per ogni sito sulla base delle sue coordinate. Le zone sismiche 1, 2, 3, 4 hanno quindi significato solo da un punto di vista amministrativo. Le NTC/08 e le successive NTC/18 stabiliscono il principio per cui le azioni sismiche sulle costruzioni si valutano in relazione alla pericolosità del sito definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa su suolo di categoria A (a_g) e del corrispondente spettro di risposta elastico. Per accelerazione massima attesa si intende il picco del segnale che ha una certa probabilità P_{VR} di essere superato in un periodo di riferimento V_R .

Il periodo di riferimento V_R viene determinato come prodotto della vita nominale della costruzione V_N e del coefficiente d'uso C_U . La vita nominale è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata. Il valore del coefficiente d'uso dipende dalla gravità delle perdite dovute al raggiungimento di un determinato stato limite e quindi riguarda "l'importanza" della struttura.

La coppia P_{VR} , V_R che identifica l'accelerazione massima di riferimento per le azioni si può sintetizzare nel periodo di ritorno T_R . Per definire lo spettro elastico in accelerazione oltre ad a_g sono necessari altri due parametri: F_0 cioè il valore del rapporto tra il massimo dello spettro e a_g per quel sito, (amplificazione spettrale) e T_c^* , che rappresenta il periodo finale del ramo piatto dello spettro.

Le NTC/08 forniscono nell'Allegato B le tabelle dei parametri che definiscono l'azione sismica, con i valori dei tre parametri a_g , F_0 , T_c^* , per 10751 nodi di un reticolo di riferimento, riferiti a 9 valori del tempo di ritorno T_R (30 anni, 50 anni, 72 anni, 101 anni, 140 anni, 201 anni, 475 anni, 975 anni, 2475 anni). I punti di riferimento sono definiti in termini di Latitudine e Longitudine. Per un qualunque punto del territorio nazionale non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri a_g , F_0 , T_c^* di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, utilizzando come pesi gli inversi delle distanze tra il punto in questione ed i quattro vertici, attraverso la seguente espressione

$$p = \frac{\sum_{i=1}^4 p_i}{\sum_{i=1}^4 d_i}$$

p valore del parametro di interesse nel punto in esame

p_i valore del parametro di interesse nell' i -esimo punto della maglia elementare contenente il punto in esame

d_i distanza del punto in esame dall' i -esimo punto della maglia suddetta

Considerando i seguenti valori: Vita nominale $V_N \geq 50$ anni (Rif. Tab. 2.4.I NTC/18), Classe d'uso III (Rif. Paragrafo 2.4.2 NTC/18) e Coefficiente d'uso C_U pari a 1.5 (Rif. Tab. 2.4.II NTC/18) il periodo di riferimento V_R è pari a 75 anni. Utilizzando le relazioni di Tab. C.3.2.1. CIRC/09, per $V_R=75$ anni si ottengono i seguenti periodi di ritorno T_R associati allo Stato Limite di Operatività SLO, Stato Limite del Danno SLD, Stato Limite di Salvaguardia della Vita SLV e Stato Limite di prevenzione del Collasso SLC:

81% Operatività (SLO)	$T_R=45$ anni
63% Danno (SLD)	$T_R=75$ anni
10% Salvaguardia della vita (SLV)	$T_R=712$ anni
5% Collasso (SLC)	$T_R=1462$ anni

Per l'area in esame con Latitudine 45.308852N e Longitudine 9.501579E le forme spettrali previste dalle NTC/2018 definite dai parametri a_g , F_0 , e T_c^* calcolati con il programma "Spettri-NTC.ver.1.03" realizzato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, sono riportate nella tabella sottostante.

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [g]	T_c^* [s]
SLO	45	0.031	2.543	0.209
SLD	75	0.037	2.572	0.226
SLV	712	0.080	2.594	0.293
SLC	1462	0.100	2.601	0.303

L'accelerazione massima attesa al sito a_{max} si ricava dal valore dell'accelerazione orizzontale massima del sito a_g su suolo rigido con la seguente relazione

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

S_S coefficiente di amplificazione stratigrafica indicato nella Tab. 3.2.IV delle NTC/2018 relativo a ciascuna classe di sottosuolo

S_T coefficiente di amplificazione topografica riportato nella Tab. 3.2.V delle NTC/2018

Utilizzando per i terreni in esame un sottosuolo di categoria C, quindi caratterizzati da un coefficiente $S_S=1.5$ ed essendo la morfologia dell'area pianeggiante con una configurazione topografica di categoria T1, da cui $S_T=1$, le accelerazioni orizzontali massime del sito riferite ai vari stati limite sono le seguenti:

STATO LIMITE		a_{max}
Stati limite di esercizio	SLO	0.0465
	SLD	0.0555
Stati limite ultimi	SLV	0.1200
	SLC	0.1500

I coefficienti sismici orizzontale k_h e verticale k_v dipendono dal valore dell'accelerazione massima del sito a_{max} e sono calcolati con le seguenti relazioni:

$$k_h = \beta_{m, h} \cdot a_{max} \quad k_v = \pm 0.5 \cdot k_h$$

β_m è un coefficiente di riduzione che dipende dalla categoria di sottosuolo e dell'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido come indicato nella tabella 7.11.I delle NTC/2018 di seguito riportata valida per le verifiche di stabilità di pendii e fondazioni superficiali (verifiche di stabilità globale).

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

Tab. 7.11.I NTC 2018

Per i muri di sostegno nelle NTC/2018 il coefficiente di riduzione β_m è dato dai seguenti valori:

$\beta_m=0.38$ per le verifiche allo stato limite ultimo (SLV)

$\beta_m=0.47$ per le verifiche allo stato limite di esercizio (SLD)

Utilizzando il valore dell'accelerazione massima del sito a_{max} e gli opportuni coefficienti di riduzione β_m si ottengono i seguenti coefficienti sismici di accelerazione orizzontale k_h e verticale k_v per il sito in esame.

K_h e K_v stabilità di pendii e fondazioni			
STATO LIMITE		k_h	k_v
Stati limite di esercizio	SLO	0.0093	0.0039
	SLD	0.0111	0.00465
	SLV	0.024	0.012
Stati limite ultimi	SLC	0.030	0.015

9. INDAGINI GEOGNOSTICHE IN SITO

9.1 Premessa

Al fine di ricostruire l'assetto litostratigrafico e il modello geologico-geotecnico del sottosuolo sono state eseguite le seguenti indagini in sito la cui ubicazione è riportata in Fig.48:

- n.5 prove penetrometriche statiche CPT (*Cone Penetration Test*) in data 22/26.11.2022 con profondità massima di 15.80 m da piano campagna
- n.2 sondaggi a carotaggio continuo con profondità di 25 m dal piano campagna in data 20/27.12.2022 attrezzati con piezometro per il monitoraggio della falda
- n.14 prove penetrometriche dinamiche discontinue SPT (*Standard Penetration Test*) nei fori dei sondaggi
- prelievo di n.11 campioni disturbati sui quali sono in corso d'esecuzione prove di laboratorio
- prelievo di n.3 campioni indisturbati sui quali sono in corso d'esecuzione prove di laboratorio.

9.2 Prove penetrometriche statiche CPT

Le prove penetrometriche sono state realizzate utilizzando un penetrometro statico/dinamico DPSH "Pagani" tipo Emilia TG 63-100 con sistema d'ancoraggio ad eliche e capacità di spinta 10 t. La prova CPT consiste nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta conica di dimensioni e caratteristiche standard, infissa a velocità costante nel terreno (2 cm/sec) tramite un dispositivo di spinta che agisce alternativamente su una batteria di aste esterne e su un'interna, alla cui estremità inferiore è posta la punta conica tipo Begeman, a manicotto mobile, con le seguenti dimensioni: area trasversale 10 cm²; angolo di apertura del cono 60°; area del manicotto laterale 150 cm². La prova è stata condotta secondo le norme ISSMFE, 1989 *International Reference Test Procedure for Cone Penetration Test*. Nella prova CPT la misura della resistenza alla punta q_c è eseguita durante tutta l'infissione della batteria di aste per tratti successivi di 20 cm, pertanto tali indagini hanno permesso di valutare in modo continuo l'addensamento/consistenza dei terreni attraversati. I dati emersi sono visualizzati sui tabulati e sui grafici riportati nell'allegato specifico (All.3).

Fig.48-Planimetria con ubicazione indagini geognostiche in sito



Nelle foto 6÷10 è visualizzato il penetrometro sul punto d'indagine, mentre nel grafico di Fig.49 è riportato l'andamento con la profondità della resistenza alla punta q_c nelle cinque prove CPT.

Foto 6-Prova penetrometrica statica CPT1



Foto 7-Prova penetrometrica statica CPT2



Foto 8-Prova penetrometrica statica CPT3

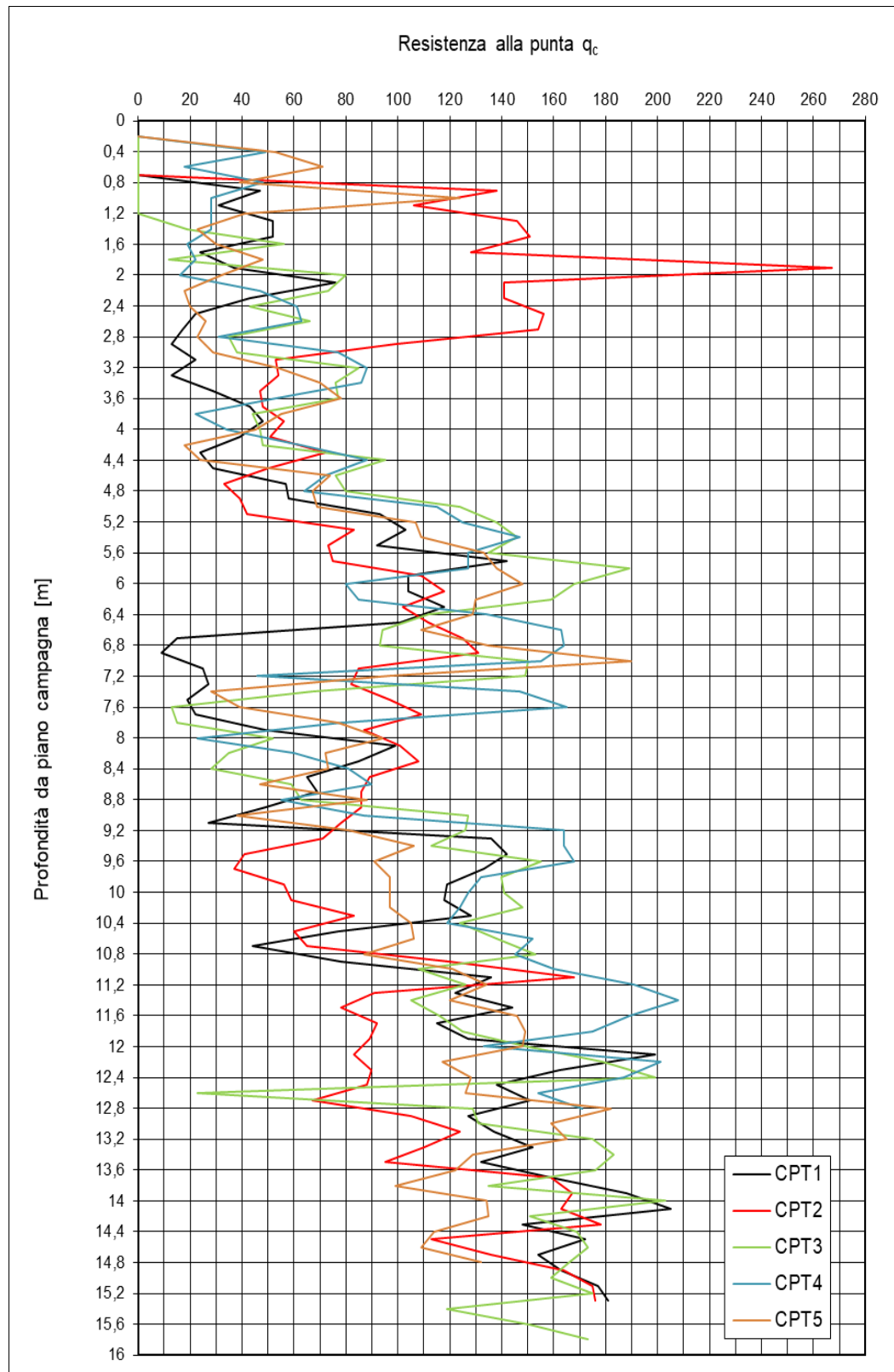


Foto 9-Prova penetrometrica statica CPT4



Foto 10-Prova penetrometrica statica CPT5



Fig.49- q_c nelle cinque prove CPT

9.2 Sondaggi a carotaggio continuo

La perforazione dei sondaggi indicati con le sigle S1 ed S2, è stata eseguita con sistema d'avanzamento a rotazione ed impiego di sonda idraulica cingolata modello Beretta T44, utilizzando un tubo carotiere semplice da 101 mm ed una batteria di tubazioni di rivestimento da 127 mm per prevenire franamenti durante l'attraversamento di terreni incoerenti. Le perforazioni nei materiali sciolti sono state eseguite completamente a secco, il fluido di circolazione, costituito da acqua additivata con polimero biodegradabile, è stato utilizzato unicamente per le fasi di posa delle tubazioni di rivestimento provvisorio.

Tutti i campioni ottenuti dalle operazioni di carotaggio per successiva estrazione dal carotiere sono stati opportunamente riposti in cassette catalogatrici munite di setti separatori e coperchio di protezione rappresentative ciascuna di 5 m di sondaggio. Per la descrizione dettagliata delle caratteristiche stratigrafiche dei terreni attraversati, effettuata secondo criteri granulometrici, sedimentologici, litologici e cromatici, si rimanda all'All.4, mentre la documentazione fotografica degli stessi è visualizzata nelle foto di seguito riportate.

Foto 11-Ubicazione sondaggio S1



Foto 12-Sondaggio S1: cassetta n°1: da 0 a 5 m



Foto 13-Sondaggio S1: cassetta n°2: da 5 a 10 m



Foto 14-Sondaggio S1: cassetta n°3: da 10 a 15 m



Foto 15-Sondaggio S1: cassetta n°4: da 15 a 20 m



Foto 16-Sondaggio S1: cassetta n°5: da 20 a 25 m



Foto 17-Piezometro sondaggio S1



Foto 18-Ubicazione sondaggio S2



Foto 19-Sondaggio S2: cassetta n°1 da 0.00 a 5.00 m



Foto 20-Sondaggio S2: cassetta n°2 da 5.00 a 10.00 m



Foto 21-Sondaggio S2: cassetta n°3 da 10.00 a 15.00 m



Foto 22-Sondaggio S2: cassetta n°4 da 15.00 a 20.00 m



Foto 23-Sondaggio S2: cassetta n°5 da 20.00 a 25.00 m



Foto 24-Piezometro sondaggio S2



9.3 Prove penetrometriche dinamiche SPT (Standard Penetration Test)

La prova consiste nell'infissione a percussione nel terreno, secondo una procedura standard, di un campionatore a fondo foro per tre tratti di lunghezza pari a 150 mm; durante la prova viene registrato il numero di colpi necessario all'attraversamento dei tre tratti di lunghezza pari a 150 mm (N1, N2 e N3). Il numero di colpi N_{SPT} è la somma dei valori relativi agli ultimi due tratti di prova (30 cm) e consente la definizione, con buon grado di precisione, dei principali parametri meccanici del terreno; i valori riferiti ai primi 15 cm, generalmente non vengono considerati in quanto rappresentativi di un terreno disturbato dalla perforazione. Quando il numero di colpi necessari al superamento del primo tratto da 15 cm supera 50 o nel caso che il numero di colpi necessario al superamento del secondo e del terzo tratto da 15 cm superi 100, la prova è considerata a rifiuto, e si annota la profondità di infissione del campionatore relativo a 50 colpi (nei primi 15 cm) o a 100 colpi (nel secondo e terzo livello). Per i terreni nel quale si è registrato il rifiuto della prova non esistono in letteratura correlazioni con l'angolo di attrito e/o con la coesione. Indicativamente è possibile individuare un valore di massima ponendo $N_{SPT}=50$. Le prove SPT sono state effettuate con campionatore Raymond a punta chiusa a causa delle caratteristiche granulometriche dei materiali incontrati durante le perforazioni. Sono state eseguite n.14 prove SPT, sette per ogni sondaggio, i cui valori sono riportati nella tabella sottostante.

Sigla sondaggio	PROVA SPT	Prof. di prova [m da p.c.]	Num. di colpi N1, N2, N3 [-]	N _{SPT} [-]
S1	SPT1	6.00÷6.45	23-25-25	50
	SPT2	9.00÷9.45	10-16-18	34
	SPT3	12.00÷12.45	19-21-24	45
	SPT4	15.00÷15.45	24-26-24	50
	SPT5	18.00÷18.45	17-20-21	41
	SPT6	21.00÷21.45	16-19-21	40
	SPT7	24.00÷24.45	51-53-R	Rifiuto
Sigla sondaggio	PROVA SPT	Prof. di prova [m da p.c.]	Num. di colpi N1, N2, N3 [-]	N _{SPT} [-]
S2	SPT1	6.00÷6.45	18-15-18	32
	SPT2	9.00÷9.45	17-18-21	39
	SPT3	12.00÷12.45	18-30-32	62
	SPT4	15.00÷15.45	28-31-37	68
	SPT5	18.00÷18.45	8-8-8	16
	SPT6	21.00÷21.45	7-9-13	22
	SPT7	24.00÷24.45	>50	Rifiuto

9.4 Prove di laboratorio sui campioni prelevati

Nel corso della perforazione sono stati prelevati n.11 campioni disturbati e n.3 campioni indisturbati sui quali sono in corso le prove di laboratorio indicate nella tabella sottostante, i cui risultati verranno illustrati nella Relazione Geotecnica R2, elaborato che sarà redatto a prove ultimate.

Sigla sondaggio	CAMPIONE DISTURBATO	Prof. di prelievo [m da p.c.]	PROVE DI LABORATORIO
S1	CR1-1	1.80÷2.00	L. Att.-#200 AR
	CR2-1	4.10÷4.30	GR/AR
	CR3-1	5.70÷6.00	GR/AR
	CR4-1	11.70÷12.00	GR/AR
	CR5-1	20.10÷20.30	#200 AR
	CR6-1	23.50÷23.70	GR/AR
S2	CR1-2	8.10÷8.30	L. Att.-GR/AR
	CR2-2	12.20÷12.50	GR/AR
	CR3-2	18.50÷18.80	L. Att.-#200 AR
	CR4-2	20.30÷20.60	#200 AR
	CR5-2	21.60÷21.80	#200 AR
Sigla sondaggio	CAMPIONE INDISTURBATO	Prof. di prelievo [m da p.c.]	PROVE DI LABORATORIO
S1	S1-1	3.00÷3.60	TD, E _d , W _u , P _v , G _s , GR/AR
S2	S2-1	2.00÷2.60	TD, E _d , T _x (UU), W _u , P _v , G _s , L.Att., GR/AR
	S2-2	3.00÷3.60	TD, E _d , W _u , P _v , G _s , GR/AR

TD=taglio diretto; Ed=edometria; Wu=contenuto d'acqua; Pv=peso di volume; Gs= peso specifico grani; L.Att.= limiti di Atterberg; GR=granulometria per via umida; Ar= aerometria; #200 AR= aerometria +passante o trattenuto a un solo vaglio

10.ASSETTO LITOSTRATIGRAFICO E MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

L'assetto litostratigrafico e il modello geologico-geotecnico del sottosuolo, di seguito riportato, è stato definito sulla base dei risultati delle prove penetrometriche statiche CPT, di quelle dinamiche SPT in foro e della litologia riscontrata con i sondaggi a carotaggio continuo, considerando la situazione geotecnica più cautelativa. In relazione alla variazione con la profondità della resistenza penetrometrica statica q_c alla punta e del n. di colpi N_{SPT} si possono distinguere i seguenti strati litologici ai quali sono stati attribuiti i parametri geotecnici visualizzati nella tabella sotto riportata:

Strato 0: prof. da 0.00 m a 0.40÷1.60 m

Terreno di riporto sabbioso ghiaioso con frammenti di calcestruzzo e/o limoso argilloso con subordinata ghiaia e frammenti di laterizio

Strato 1: prof. da 0.40÷1.60 m a 2.00 m

Limi argillosi ed in subordine argille limose di consistenza medio-bassa

$q_c=12\div28 \text{ kg/cm}^2$

Strato 2: prof. da 2.00 m a 5.00 m

Alternanze di limi sabbiosi, limi sabbiosi argillosi e limi argillosi di consistenza da medio-bassa a media con intercalazioni di sabbie limose

$q_c=13\div50 \text{ kg/cm}^2$

Strato 3: prof. da 5.00 m a 6.50 m

Sabbie e sabbie limose addensate

$q_c=75\div160 \text{ kg/cm}^2$

Strato 4: prof. da 6.50 m a 7.80 m

Limi sabbiosi e limi sabbiosi argillosi di consistenza medio-bassa

$q_c=13\div25 \text{ kg/cm}^2$

Strato 5: prof. da 7.80 m a 10.70 m

Sabbie limose e limi sabbiosi con addensamento/consistenza media

$q_c=27\div80 \text{ kg/cm}^2$

Strato 6: prof. da 10.70 m a 15.10 m

Sabbie fini e medie e sabbie limose addensate

$q_c=83\div175 \text{ kg/cm}^2$

Strato 7: prof. da 15.10 m a 17.80 m

Sabbie medie e grosse con ghiaia addensate

$N_{SPT}=50\div68$

Strato 8: prof. da 17.80 m a 22.40 m

Limi e limi argillosi prevalenti consistenti

$N_{SPT}=16\div22$

Strato 9: prof. da 22.40 m a 25.00 m

Sabbie fini limose debolmente ghiaiose, sabbie medie e sabbie con ghiaia addensate

$N_{SPT}>50$

Parametri geotecnici del sottosuolo								
Strato geotecnico [-]	q_c [Kg/cm ²]	N_{SPT} [-]	D_r [%]	C_{uk} [KPa]	ϕ_k [°]	C'_k [kPa]	E' [kg/cm ²]	M [kg/cm ²]
STRATO 0	Terreno di riporto							
STRATO 1	12÷28	-	-	50÷70	24÷25	0	-	40÷50
STRATO 2	13÷50	-	-	80÷100	25÷26	0	-	50÷80
STRATO 3	75÷160	-	60÷70	-	30÷32	0	230÷290	-
STRATO 4	13÷25	-	60	50÷70	24÷25	0	-	40÷50
STRATO 5	27÷80	-	45÷55	-	27÷28	0	100÷150	-
STRATO 6	83÷175	45÷62	60÷70	-	30÷32	0	230÷290	-
STRATO 7	-	50÷68	70÷75	-	32÷33	0	250÷300	-
STRATO 8	-	16÷22	-	80÷100	25÷26	0	-	50÷80
STRATO 9	-	>50	70÷75	-	32÷33	0	250÷300	-

 q_c =resistenza penetrometrica statica alla punta CPT N_{SPT} =n. di colpi prova SPT D_r =densità relativa (valore medio) C_{uk} =coesione non drenata (valore caratteristico) C'_k =coesione effettiva ϕ_k =angolo d'attrito (valore caratteristico) E' =modulo di deformazione elastico (valore medio) M =modulo di deformazione edometrico (valore medio)

I parametri geotecnici riportati in tabella saranno definiti con maggior dettaglio nella relazione Geotecnica R2 che verrà redatta ad ultimazione delle prove di laboratorio sui campioni prelevati nei sondaggi.

11. VERIFICA DI STABILITA' DEL SITO NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

11.1 Premessa

La liquefazione è la riduzione di resistenza al taglio e/o di rigidità causata durante il moto sismico dall'aumento delle pressioni interstiziali in terreni saturi non coesivi tale da provocare deformazioni permanenti significative o persino da indurre nel terreno una condizione di sforzi efficaci quasi nulla. Sulla base di quanto indicato nelle NTC 2018, paragrafo 7.11.3.4.2 la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0.1g
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale 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 (SPT) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e q_{c1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche CPT normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) delle NTC/2018 nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3.5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3.5$.

Quando nessuna delle condizioni sopra indicate (§ 7.11.3.4.2 delle NTC 2018) risulti soddisfatta e il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, occorre valutare il coefficiente di sicurezza alla liquefazione alle profondità in cui sono presenti i terreni potenzialmente liquefacibili. Salvo utilizzare procedure di analisi avanzate, la verifica può essere effettuata con metodologie di tipo storico-empirico in cui il coefficiente di sicurezza viene definito dal rapporto tra la resistenza disponibile alla liquefazione e la sollecitazione indotta dal terremoto di progetto. La resistenza alla liquefazione può essere valutata sulla base dei risultati di prove in sito o di prove cicliche di laboratorio. La sollecitazione indotta dall'azione sismica è stimata attraverso la conoscenza dell'accelerazione massima attesa alla profondità di interesse. Nel caso in esame non sussistendo nessuna delle condizioni previste dalle NTC 2018 per l'esclusione della verifica è stata eseguita la verifica a liquefazione dei terreni in corrispondenza delle prove penetrometriche statiche CPT. Nella verifica si è considerato cautelativamente la falda posta ad una profondità di 9 m dal piano prova.

11.2 Metodologia di verifica

La suscettibilità alla liquefazione dei terreni di fondazione è stata inizialmente verificata utilizzando il "metodo semplificato" originariamente sviluppato da Seed e Idriss (1971) basato sul numero di colpi della prova SPT, correlati con un parametro chiamato *domanda di resistenza ciclica indotta dal sisma CSR*. Successivamente sono state introdotte nuove procedure che utilizzano i risultati delle prove penetrometriche statiche CPT e le misure della velocità delle onde di taglio v_s . La procedura di calcolo è suddivisa nelle seguenti fasi:

1. calcolo della domanda di resistenza ciclica alla liquefazione CSR
2. determinazione della capacità di resistenza del terreno alla liquefazione CRR utilizzando i dati forniti dalle prove SPT, CPT e sismiche (v_s)
3. valutazione del potenziale di liquefazione mediante il calcolo del fattore di sicurezza $FS_L = CRR/CSR$

La relazione utilizzata per il calcolo del parametro CSR è la seguente:

$$CSR = \frac{\tau_v}{\sigma_{vo}} = 0.65 \cdot \left(\frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left(\frac{\sigma_v}{\sigma_{vo}} \right) \cdot r_d$$

a_{max} =accelerazione massima g =accelerazione di gravità σ'_v, σ_{vo} =pressione verticale efficace e totale

r_d =fattore di riduzione dello sforzo di taglio ciclico variabile con la profondità

Il parametro CRR è stato determinato con il metodo di Idriss e Boulanger 2004 che utilizza la resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60}$ mediante la seguente formula:

$$CRR_{7.5 \text{ Idriss, Boulanger, 2004}} = \exp\left[\left(\frac{(N1)_{60 \text{ cs}}}{14.1}\right) + \left(\frac{(N1)_{60 \text{ cs}}}{126}\right)^2 - \left(\frac{(N1)_{60 \text{ cs}}}{23.6}\right)^3 + \left(\frac{(N1)_{60 \text{ cs}}}{25.4}\right)^4 - 2.8\right]$$

$$(N1)_{60 \text{ cs}} = (N1)_{60} + \exp[1.63 + 9.7/FC - (15.7/FC)^2]$$

Alla domanda di resistenza ciclica alla liquefazione CSR può essere applicato un fattore di sicurezza fs_l , il cui valore tipico è pari a 1.2, per tener conto della variazione delle pressioni interstiziali e delle deformazioni che si sviluppano durante lo scuotimento sismico secondo la relazione $CSR_{fs} = CSR \cdot fs_l$.

Più elevato è il valore di $fs/$ e più conservativa è l'analisi della suscettività alla liquefazione. Il valore di $CRR_{7.5}$ determinato con la relazione sopra riportata è valido per terremoti di magnitudo pari a 7.5. Per terremoti di magnitudo minore o maggiore di 7.5 $CRR_{7.5}$ dovrà essere corretto utilizzando la seguente relazione

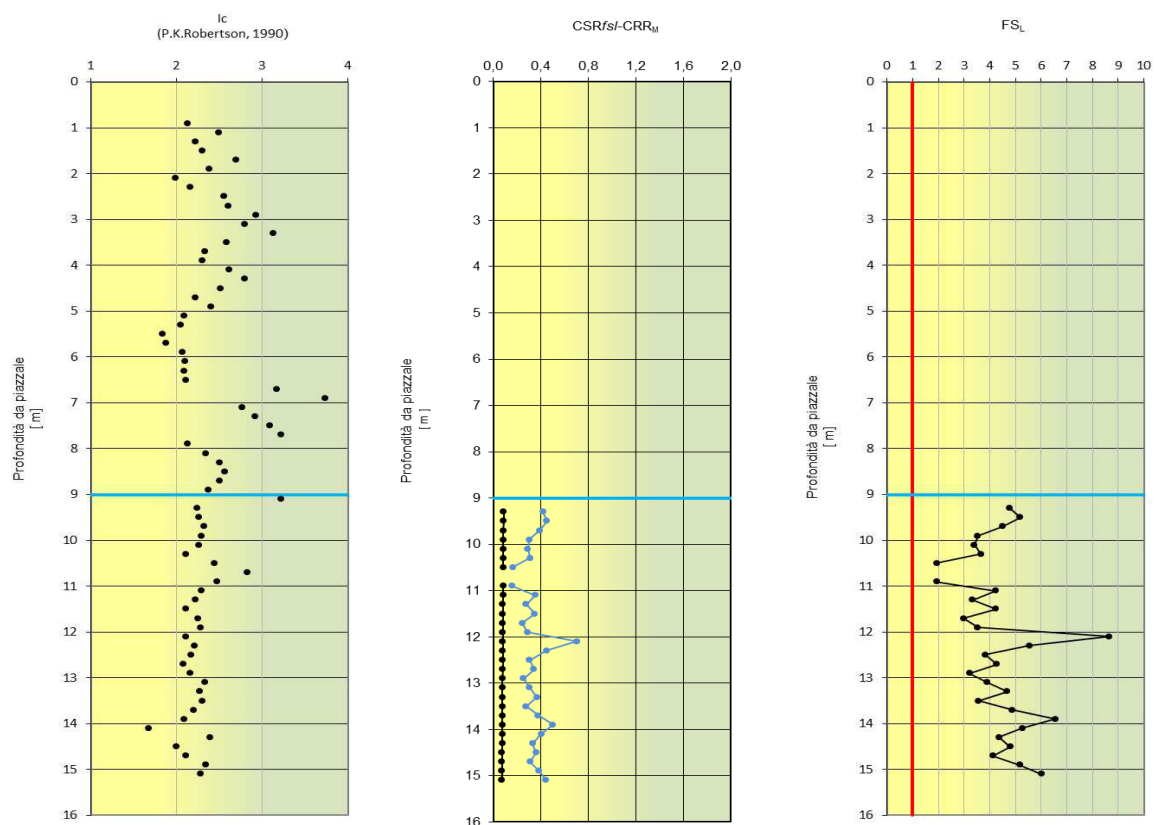
$$CRR_M = CRR_{7.5} \cdot MSF$$

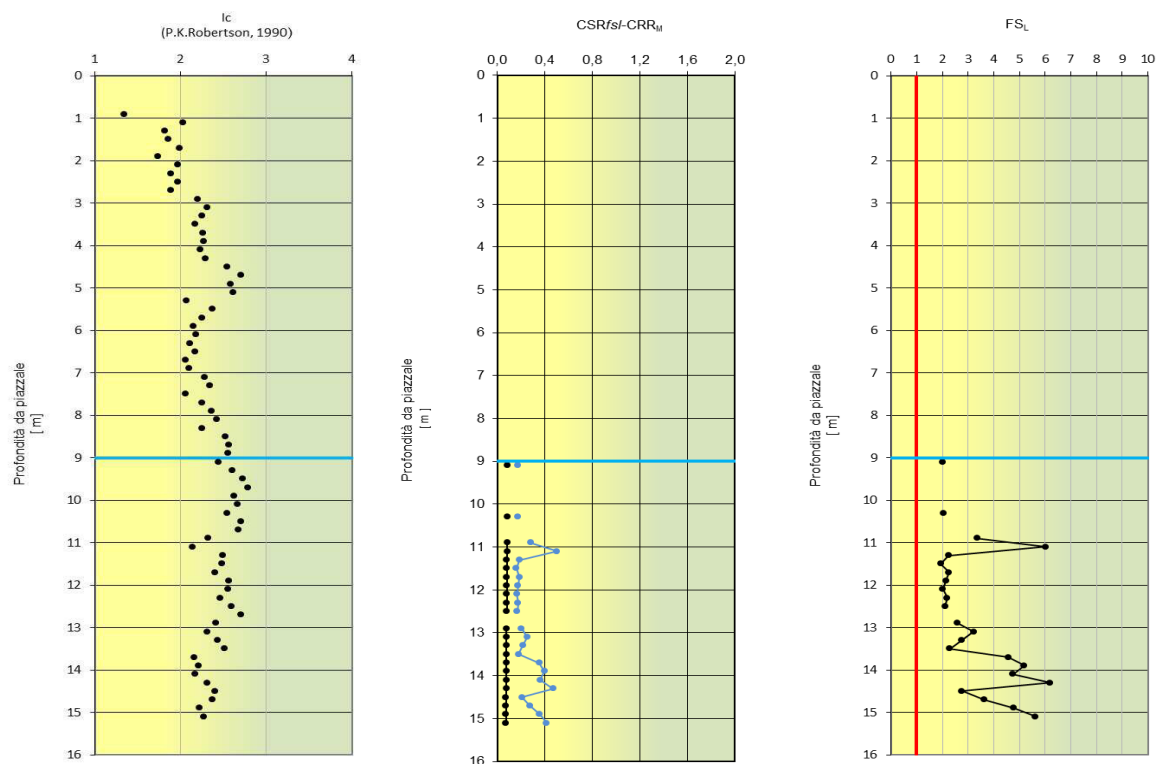
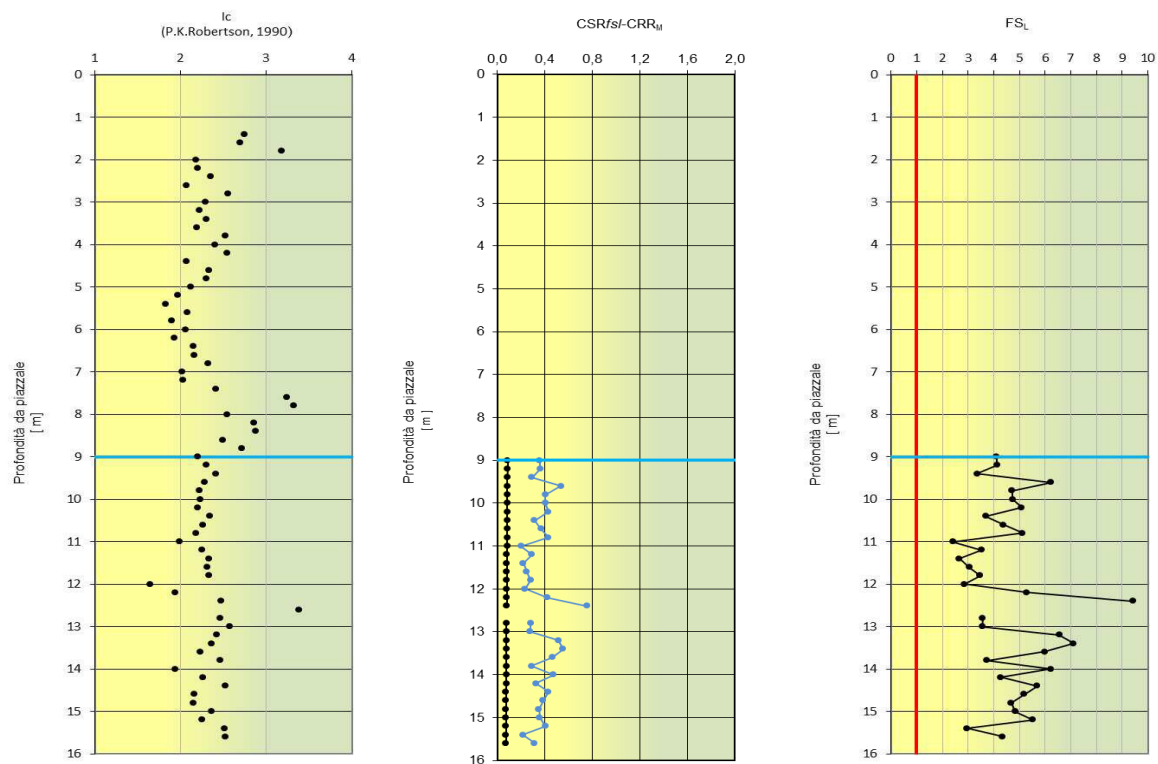
$$MSF = 10^{2.84/M^{3.24}} \quad [\text{Youth e al., 2001}] \quad \text{valida per terremoti con magnitudo inferiore a 7.5}$$

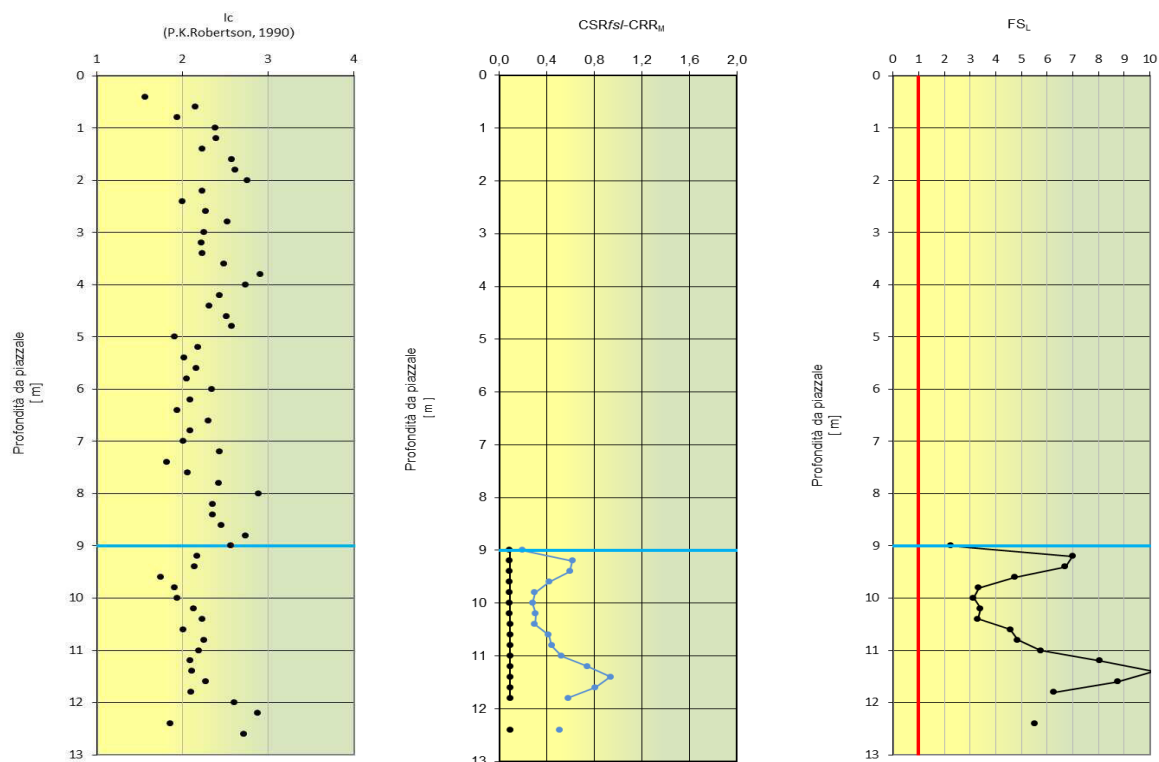
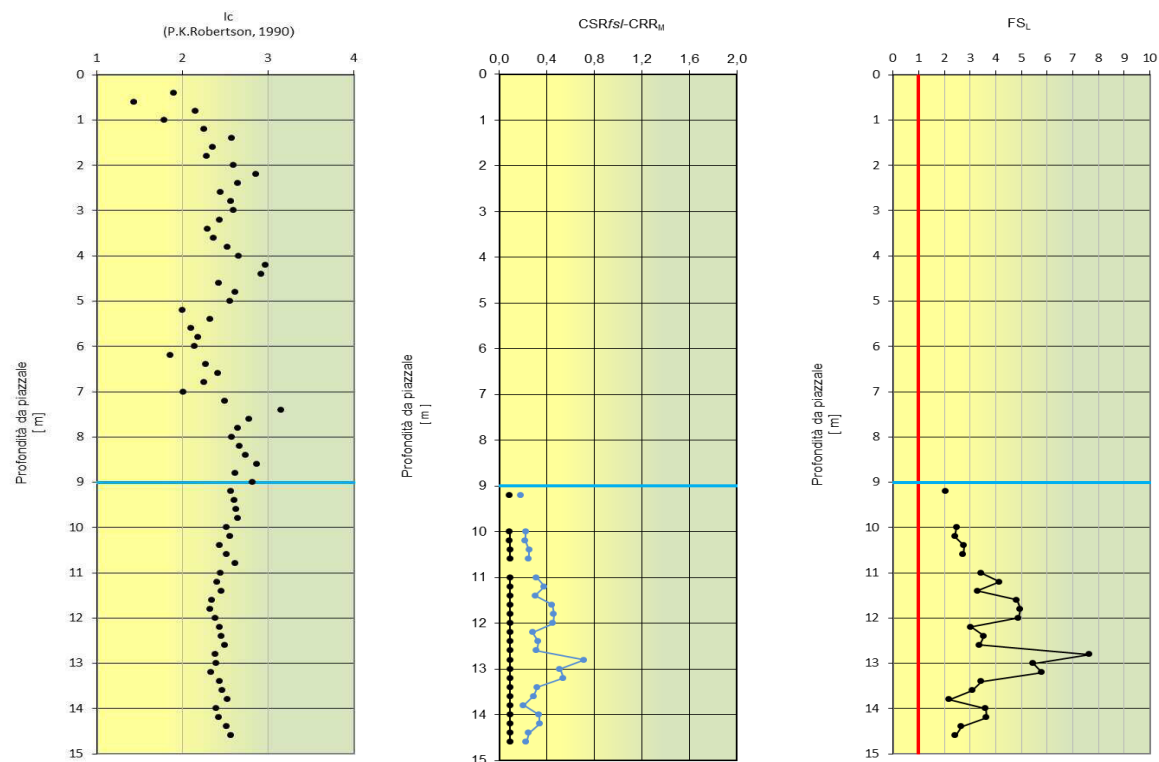
E' stato assunto un terremoto di magnitudo momento M_w pari a 6.7 (valore massimo previsto per la sorgente individuale/composita denominate ITCS044-Portalbera-Cremona ed un'accelerazione orizzontale di picco attesa in superficie a_{max} pari a 0.12.

I risultati della verifica alla liquefazione effettuata in corrispondenza delle verticali CPT sono visualizzati nei seguenti diagrammi, dove viene riportato il grafico della variazione con la profondità dei parametri I_c , $CSR_{fs/}$, CRR_M e FS_L . Sulla base di quanto indicato nella D.g.r. n.X/5001 del 30.03.2016 ed in particolare alla scheda del Modulo 9 relativa all'approfondimento sismico per gli effetti dovuti a liquefazione, un sito è ritenuto stabile nei confronti dei fenomeni di liquefazione quando il fattore di sicurezza $FS_L \geq 1$. **Il valore del fattore di sicurezza a liquefazione FS_L calcolato con la metodologia sopra illustrata è risultato sempre >1 nell'ambito della profondità indagata pertanto i terreni in esame si possono ritenere non liquefacibili.**

CPT1



CPT2**CPT3**

CPT4**CPT5**

12. CONCLUSIONI ED INDICAZIONI PROGETTUALI

I risultati dell'indagine non hanno evidenziato particolari controindicazioni di carattere geologico, idrogeologico e sismico per la realizzazione dell'intervento in progetto. Le condizioni geologiche-idrogeologiche-sismiche e i dati per la progettazione dell'intervento sono sintetizzati nei punti successivi:

1. la zona in esame è modellata nel *Ripiano Fondamentale della Pianura Padana* costituito da depositi quaternari antichi di origine fluvioglaciale ed alluvionale indicati come "*Fluviale o Diluvium recente*"-Fg^w. Si tratta complessivamente di depositi alluvionali variamente alternati sia in senso verticale che orizzontale costituiti prevalentemente da sabbie, sabbie limose e sabbie ghiaiose con discontinue intercalazioni di orizzonti, spesso lenticolari, granulometricamente più fini. In superficie essi sono generalmente ricoperti da una coltre limoso sabbiosa argillosa con spessore variabile;
2. nella *Carta della fattibilità geologica e delle azioni di piano* della *Componente geologica, idrogeologica e sismica* del territorio comunale redatta a supporto del PGT, l'area in esame ricade nelle "*Classe 2a-Fattibilità con modeste limitazioni*", dove non sussistono particolari controindicazioni di carattere geologico-geotecnico all'urbanizzazione, salvo il rispetto delle disposizioni di cui al D.M.17.01.2018;
3. con riferimento alla *Carta dei vincoli* l'area non è soggetta a rischio idraulico, non interferisce con le zone di rispetto dei pozzi ad uso idropotabile e con le zone di pertinenza idraulica dei corsi d'acqua appartenenti al reticolo idrografico minore. Anche le mappe delle *aree allagabili* definite nel *Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni* (PGR), predisposto in attuazione del D.lgs. 49/2010 di recepimento della Direttiva 2007/60/CE (cosiddetta "*Direttiva Alluvioni*"), indicano che la zona interessata dall'intervento edilizio non è soggetta a rischio idraulico;
4. l'assetto litostratigrafico e il modello geologico-geotecnico dell'area interessata dall'intervento sono riportati al capitolo 10;
5. sulla base di quanto indicato nello *Studio geologico* a supporto del PGT e nel *Piano Cave della Provincia di Lodi*, nell'area in esame la falda è caratterizzata da una soggiacenza maggiore di 3÷5 m dal piano campagna. Nei piezometri dei sondaggi S1 ed S2 la falda è stata misurata (28.12.2022) alla profondità rispettivamente di 10.95 e 10.50 m dal piano campagna;
6. con riferimento all'*All.8B-3 Carta di sintesi* della *Componente geologica* del PGT nel settore interessato dall'intervento edilizio l'acquifero è caratterizzato da una bassa vulnerabilità agli inquinamenti di origine superficiale sia per la non superficialità della falda che per la presenza al suo tetto di terreni limoso sabbiosi argillosi poco permeabili;
7. in rapporto alla natura litologica e ai valori di v_{seq} calcolati con le prove sismiche congiunte Masw/Re.mi il terreno caratterizzato da una v_{seq} calcolata da piano campagna pari a 276÷281 m/s può essere classificato secondo le NTC/2018 come SUOLO C;

8. in relazione a quanto indicato nella *Carta della pericolosità sismica locale* dello *Studio geologico* del PGT l'area in esame appartiene allo scenario Z4a "zona di fondovalle e di pianura con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi" suscettibile di possibili amplificazioni litologiche e geometriche. I fattori di amplificazione sismica locale del sito F_a , calcolati secondo quanto indicato nell'All.5 alla D.g.r. n.IX/2616 del 30.11.2011, sono i seguenti:

Masw-Re.mi 1

$$F_{a_{0.1s-0.5s}} = 0.83 - 0.88 \ln T = 1.052$$

$$F_{a_{0.1s-0.5s}} = 1.05 + 0.1$$

$$F_{a_{0.5s-1.5s}} = -6.11T^3 + 5.79T^2 + 0.44T + 0.93 = 1.900$$

$$F_{a_{0.5s-1.5s}} = 1.90 + 0.1$$

Masw-Re.mi 2

$$F_{a_{0.1s-0.5s}} = 0.83 - 0.88 \ln T = 1.199$$

$$F_{a_{0.1s-0.5s}} = 1.20 + 0.1$$

$$F_{a_{0.5s-1.5s}} = -6.11T^3 + 5.79T^2 + 0.44T + 0.93 = 1.985$$

$$F_{a_{0.5s-1.5s}} = 1.99 + 0.1$$

I valori di F_a ottenuti per il sito in esame risultano per entrambi i periodi di oscillazione inferiori al valore di soglia fornito da Regione Lombardia per un suolo di tipo C, pertanto la normativa nazionale risulta sufficientemente cautelativa nei confronti dei fenomeni di amplificazione sismica locale. Questo fa sì che in fase progettuale si potranno adottare gli spettri di norma relativi al suolo sismico di tipo C misurato;

9. la determinazione della frequenza di vibrazione fondamentale del sito è stata effettuata con il metodo dei rapporti spettrali HVSr (Horizontal to vertical spectral ratio) o metodo di Nakamura. Nel campo delle frequenze di interesse ingegneristico (normalmente 1÷10/15 Hz), non sono state rilevate frequenze di risonanza significative. Trascurando le frequenze nell'intervallo 0.2÷0.3 Hz, le frequenze di risonanza del sito sono state individuate nell'intervallo 0.50÷0.65 Hz. Un'altra frequenza di risonanza, appena accennata, è stata rilevata nell'intervallo 2.5÷3.5 Hz. I valori del rapporto H/V delle frequenze di risonanza, al massimo pari a 2, indicano contrasti d'impedenza sismica non particolarmente elevati nella successione litostratigrafica del sito;
10. la suscettibilità a liquefazione dei terreni è stata eseguita con il metodo semplificato, mediante il calcolo del fattore di sicurezza $FS_L = CRR/CSR$ in corrispondenza delle verticali delle prove penetrometriche statiche CPT i cui risultati sono riportati al capitolo 13.2;
11. il presente rapporto dovrà essere validato dall'estensore del progetto strutturale esecutivo ovvero lo Strutturista dovrà verificare se i dati e gli elementi geologici/geotecnici/sismici in esso contenuti sono sufficienti e quindi sarà lo stesso Progettista che valuterà la completezza/conformità oppure la necessità di un'estensione/integrazione dello stesso;

Lodi, 29 dicembre 2022

Dott. Geol. Giovanni Viganò
(Ordine dei Geologi della Lombardia n. 1051)



CITTA' DI LODI-Piazza Broletto 1-26900 LODI

Direzione Organizzativa 3-Servizi tecnici-Gestione tecnica e manutentiva del demanio e del patrimonio comunale

Intervento di ristrutturazione, recupero e rigenerazione urbana del complesso dell'ex Linificio sito in Piazzale Forni

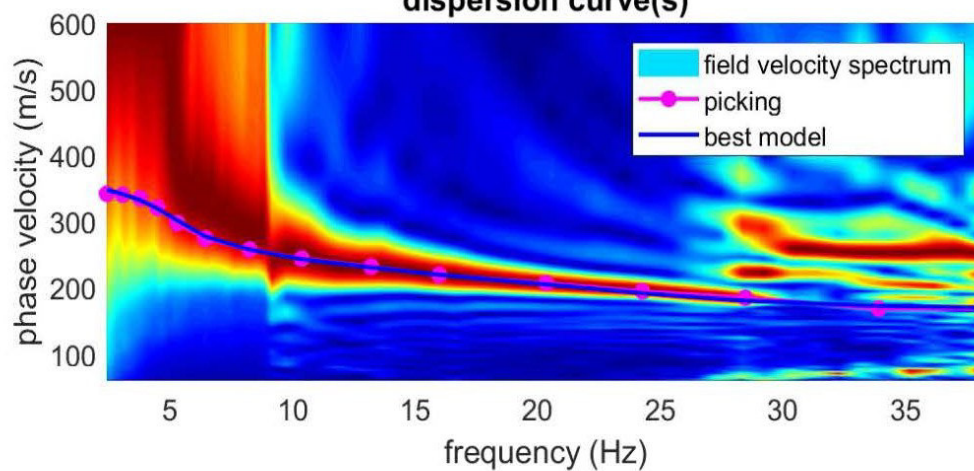
Relazione geologica (R1-R3) - D.G.R. n.IX/2616 30.11.2011 e D.M. 17.01.2018

Allegato 1

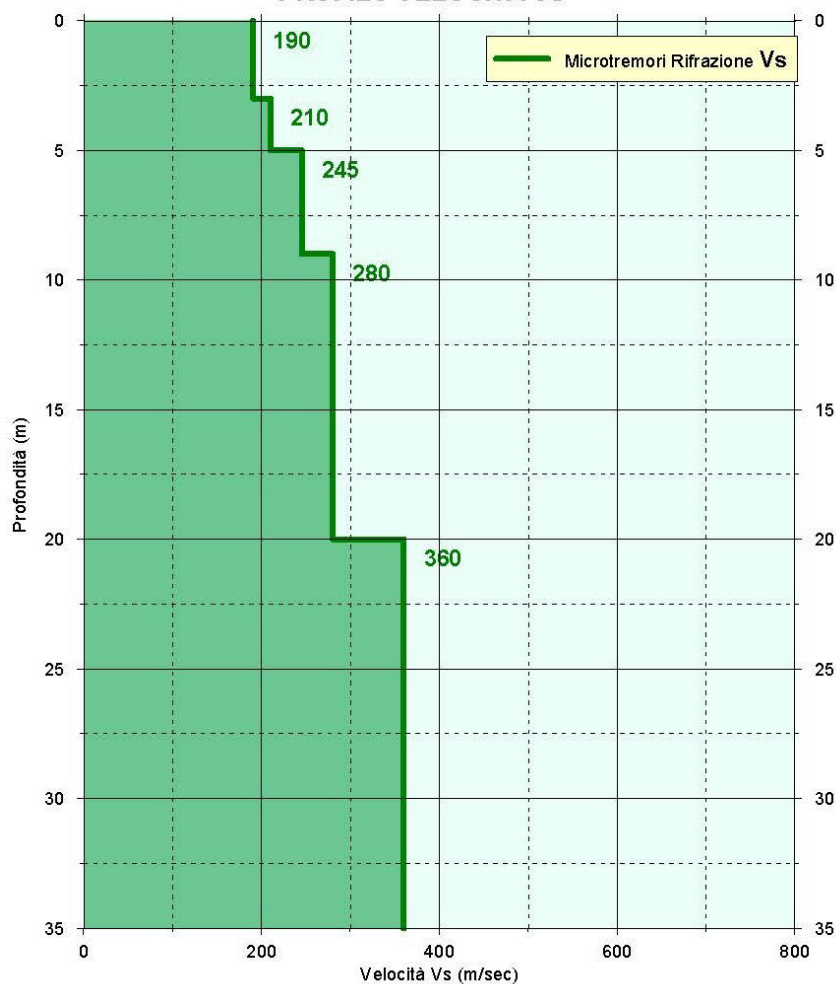
PROVE SISMICHE SUPERFICIALI RE.MI./MASW

Spettro velocità di fase - curva dispersione

dispersion curve(s)



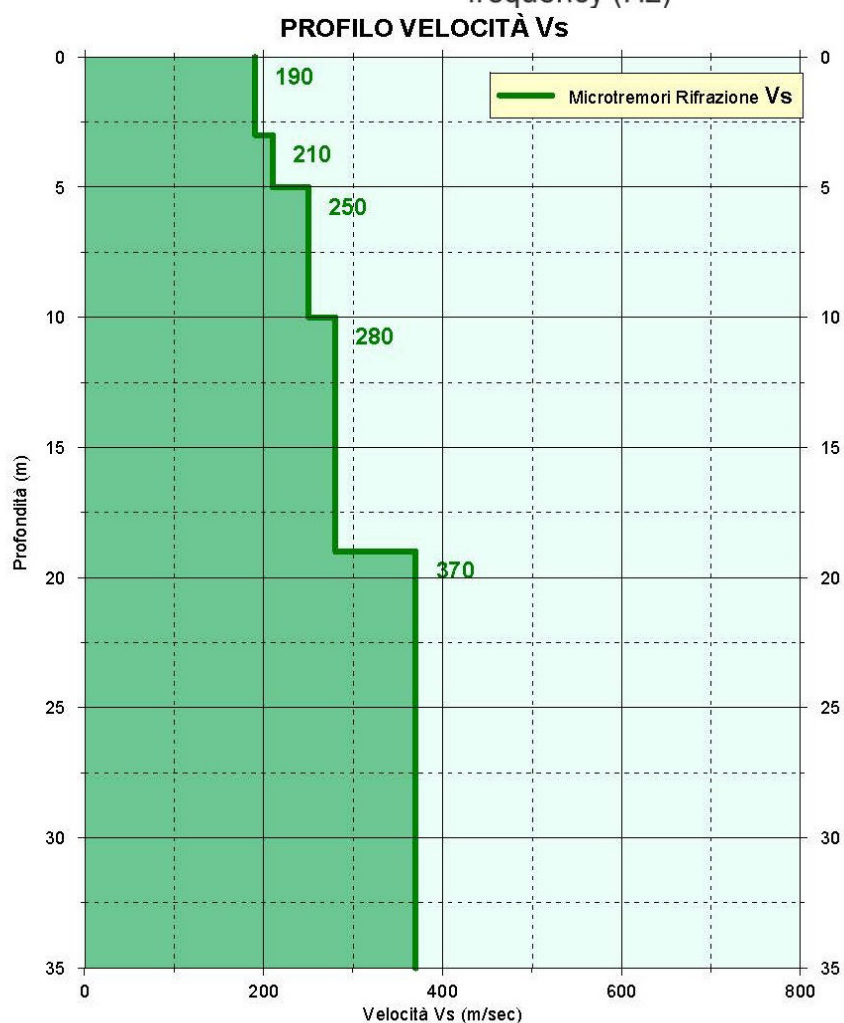
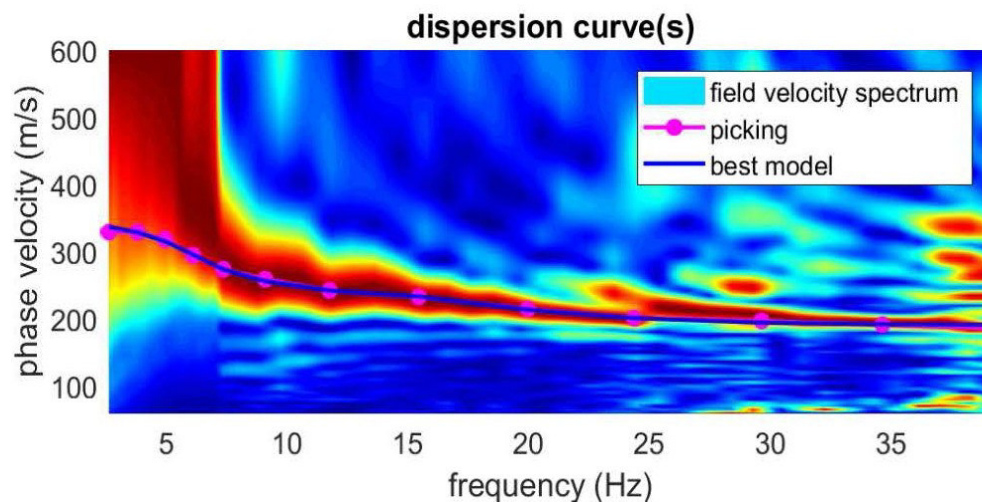
PROFILO VELOCITÀ Vs



$Vs_{eq} (0-30 \text{ m}) = 276 \text{ m/s}$

Sottosuolo di fondazione tipo "C"

Spettro velocità di fase - curva dispersione



$Vs_{eq} (0-30 \text{ m}) = 281 \text{ m/s}$

Sottosuolo di fondazione tipo "C"

CITTA' DI LODI-Piazza Broletto 1-26900 LODI

Direzione Organizzativa 3-Servizi tecnici-Gestione tecnica e manutentiva del demanio e del patrimonio comunale

Intervento di ristrutturazione, recupero e rigenerazione urbana del complesso dell'ex Linificio sito in Piazzale Forni

Relazione geologica (R1-R3) - D.G.R. n.IX/2616 30.11.2011 e D.M. 17.01.2018

Allegato 2

REPORT PROVE HVSR

LODI-Piazzale Forni – HVSr 1

Strumento: TE3-0297/01-17

Formato dati: 16 byte

Inizio registrazione: 25/11/22 16:06:06 Fine registrazione: 25/11/22 16:26:06

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 80% tracciato (selezione manuale)

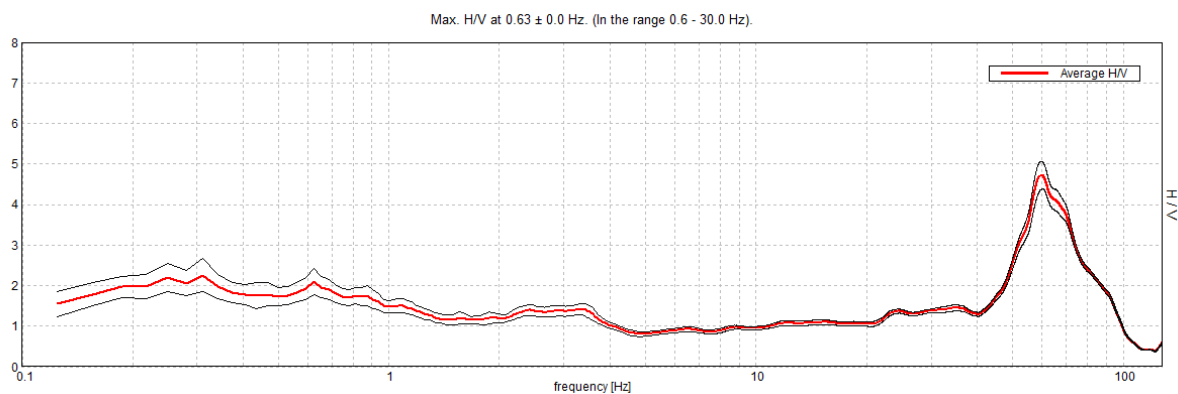
Freq. campionamento: 256 Hz

Lunghezza finestre: 18 s

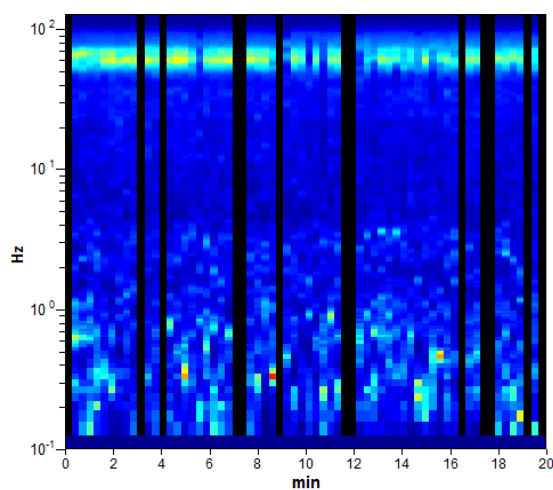
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

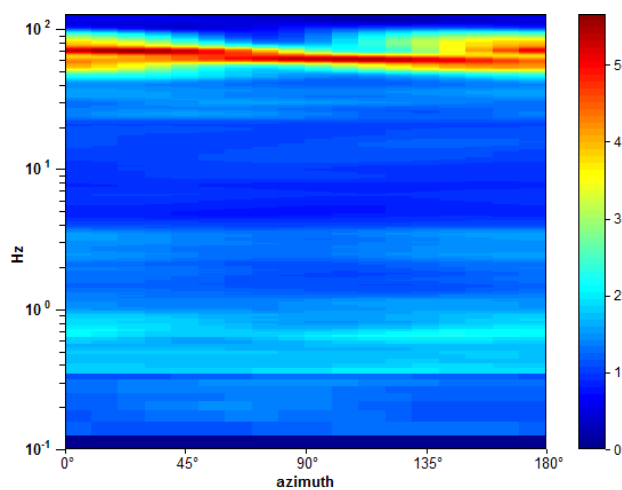
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



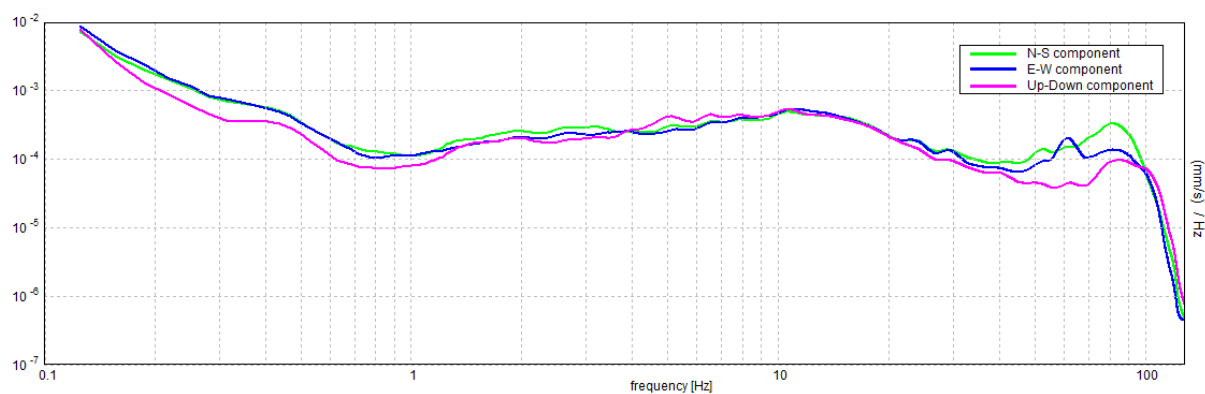
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 0.63 ± 0.0 Hz (nell'intervallo 0.6 - 30.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.63 > 0.56$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$596.3 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 31	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.11 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.0 < 0.09375$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.3255 < 2.0$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

LODI-Piazzale Forni – HVSr 2

Strumento: TE3-0297/01-17

Formato dati: 16 byte

Inizio registrazione: 25/11/22 16:53:15 Fine registrazione: 25/11/22 17:13:15

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.

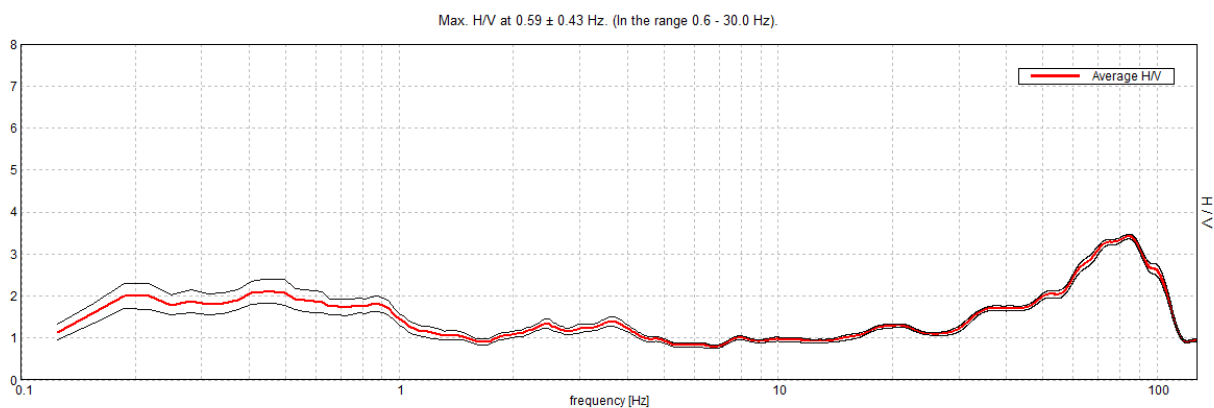
Freq. campionamento: 256 Hz

Lunghezza finestre: 18 s

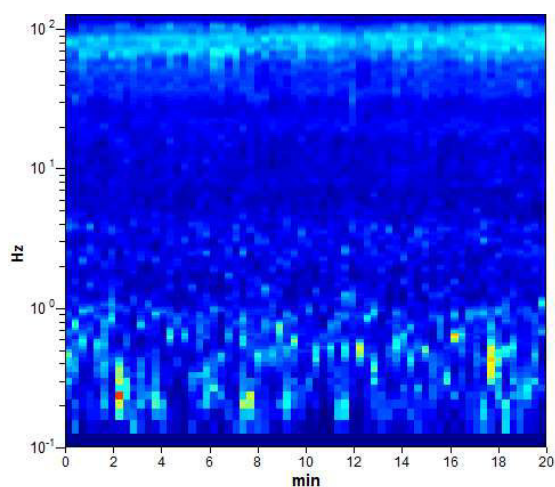
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

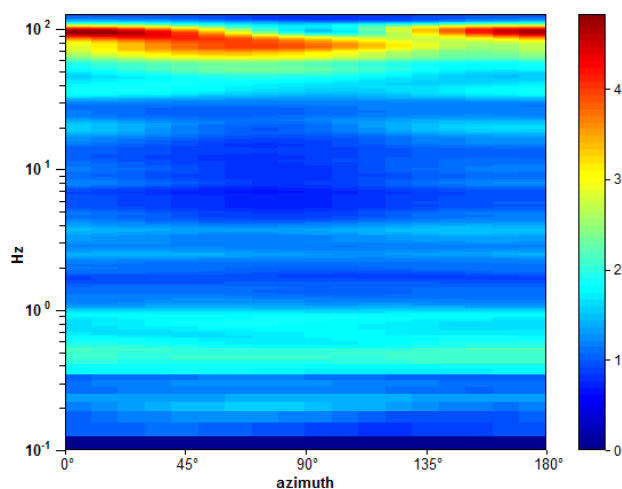
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



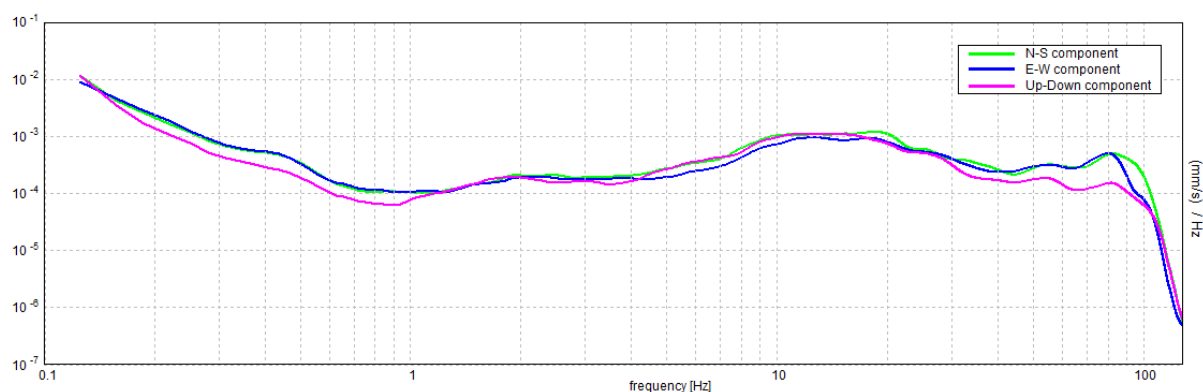
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 0.59 ± 0.43 Hz (nell'intervallo 0.6 - 30.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.59 > 0.56$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$705.4 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 30	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.594 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.87 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.72831 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.43243 < 0.08906$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2536 < 2.0$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

LODI-Piazzale Forni- HVSr 3

Strumento: TE3-0297/01-17

Formato dati: 16 byte

Inizio registrazione: 25/11/22 18:13:28 Fine registrazione: 25/11/22 18:33:28

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 94% tracciato (selezione manuale)

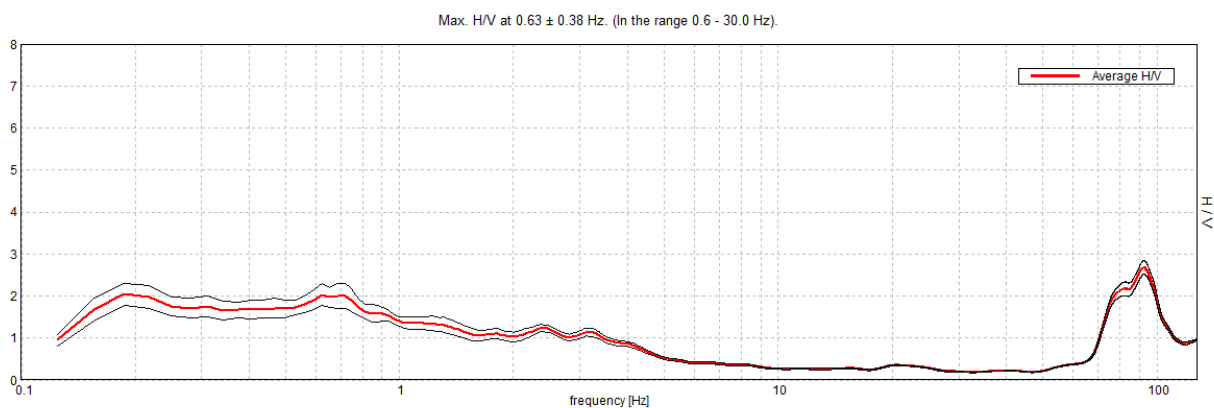
Freq. campionamento: 256 Hz

Lunghezza finestre: 18 s

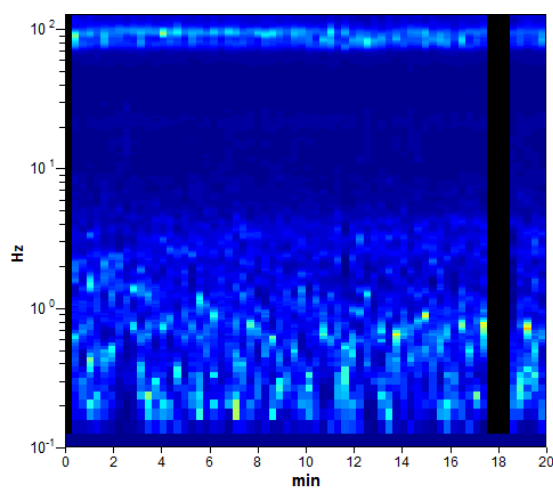
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

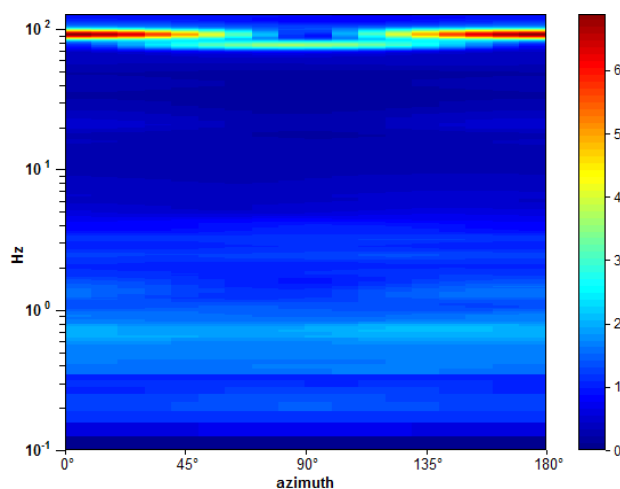
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



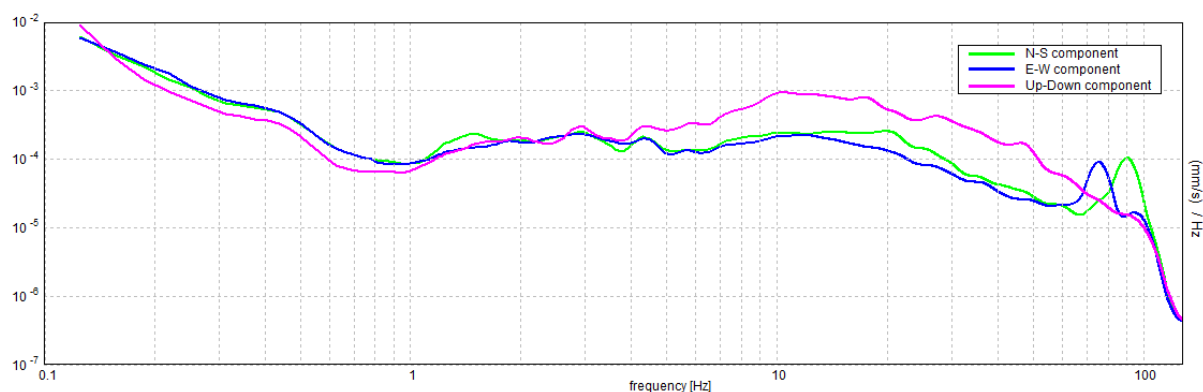
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di Grilla prima di interpretare la tabella seguente].

Picco H/V a 0.63 ± 0.38 Hz (nell'intervallo 0.6 - 30.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.63 > 0.56$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$697.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 31	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.04 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.61059 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.38162 < 0.09375$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2628 < 2.0$	OK	

L_w	lunghezza della finestra
n_w	numero di finestre usate nell'analisi
$n_c = L_w n_w f_0$	numero di cicli significativi
f	frequenza attuale
f_0	frequenza del picco H/V
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\varepsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
$A_{H/V}(f)$	ampiezza della curva H/V alla frequenza f
f^-	frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
$\sigma_{\log H/V}(f)$	deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
$\theta(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

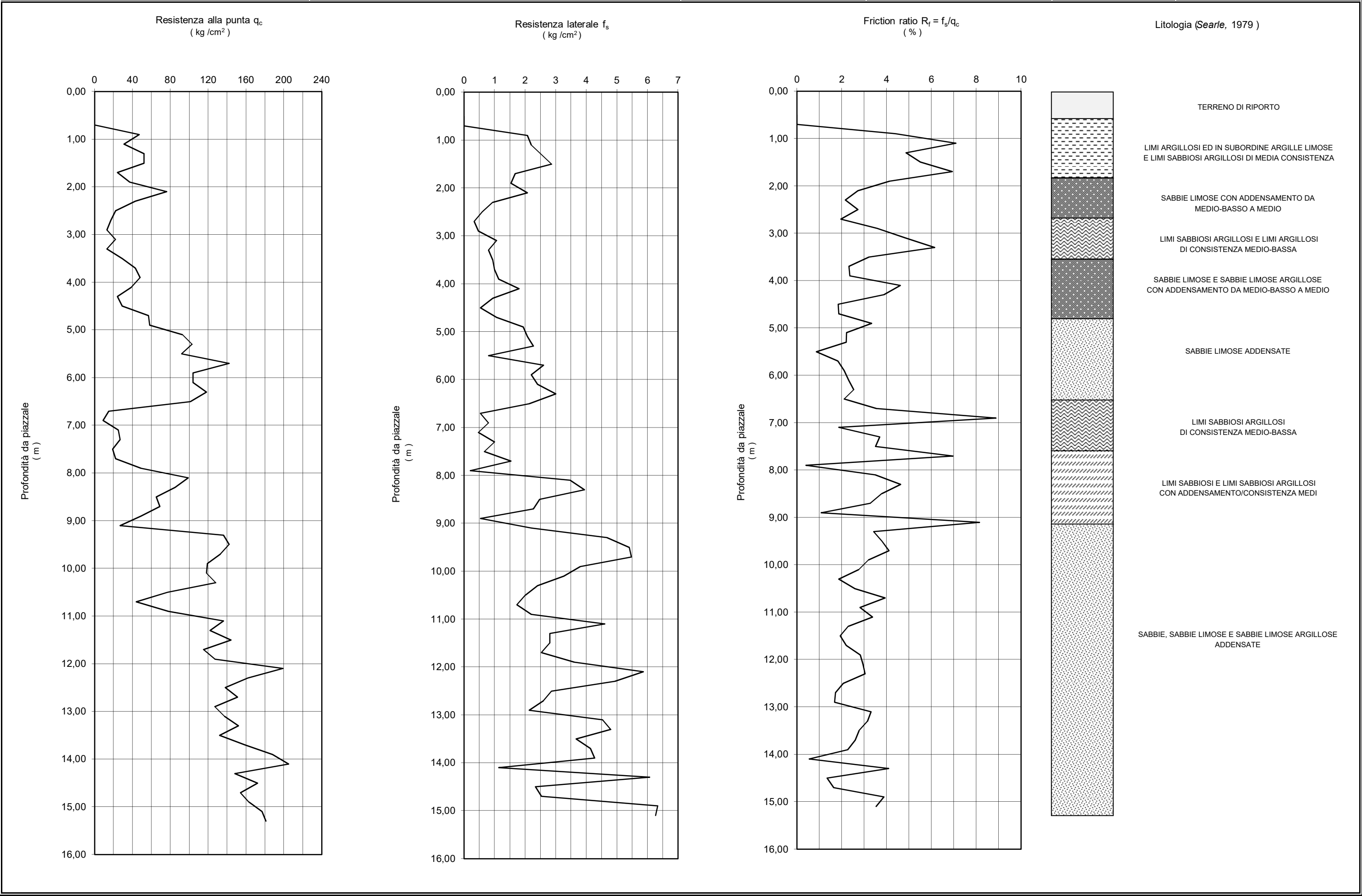
Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Allegato 3

RISULTATI PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

GIOVANNI VIGANO' Via Gandini, 26/c- 26900 LODI e-mail: gio.vig@alice.it		CONE PENETRATION TEST		CPTI
Località: LODI-Piazzale Forni		Prof. da piazz.le: 15.30 m		
Commitente: CITTA' DI LODI Direzione Organizzativa 3-Servizi Tecnici Piazza Broletto, 1 - 26900 LODI		INTERVENTO DI RISTRUTTURAZIONE, RECUPERO E RIGENERAZIONE URBANA DEL COMPLESSO DELL'EX LINIFICIO		
Profondità m	q _c Kg/cm ²	R _i Kg/cm ²	f _s Kg/cm ²	R _f %
0,50	0	0	0,00	0,00
0,70	0	0	0,00	0,00
0,90	47	70	2,07	4,40
1,10	31	62	2,20	7,10
1,30	52	85	2,53	4,87
1,50	52	90	2,87	5,51
1,70	24	67	1,67	6,94
1,90	37	62	1,53	4,14
2,10	76	99	2,07	2,72
2,30	43	74	0,93	2,17
2,50	22	36	0,60	2,73
2,70	17	26	0,33	1,96
2,90	13	18	0,47	3,59
3,10	22	29	1,07	4,85
3,30	13	29	0,80	6,15
3,50	29	41	0,93	3,22
3,70	43	57	1,00	2,33
3,90	48	63	1,13	2,36
4,10	39	56	1,80	4,62
4,30	24	51	0,93	3,89
4,50	29	43	0,53	1,84
4,70	57	65	1,07	1,87
4,90	58	74	1,93	3,33
5,10	93	122	2,07	2,22
5,30	103	134	2,27	2,20
5,50	92	126	0,80	0,87
5,70	142	154	2,60	1,83
5,90	104	143	2,20	2,12
6,10	104	137	2,40	2,31
6,30	118	154	3,00	2,54
6,50	101	146	2,13	2,11
6,70	15	47	0,53	3,56
6,90	9	17	0,80	8,89
7,10	25	37	0,47	1,87
7,30	27	34	1,00	3,70
7,50	19	34	0,67	3,51
7,70	22	32	1,53	6,97
7,90	49	72	0,20	0,41
8,10	99	102	3,47	3,50
8,30	85	137	3,93	4,63
8,50	65	124	2,47	3,79
8,70	69	106	2,27	3,29
8,90	49	83	0,53	1,09
9,10	27	35	2,20	8,15
9,30	136	169	4,67	3,43
9,50	142	212	5,40	3,80
9,70	133	214	5,47	4,11
9,90	119	201	3,80	3,19
10,10	118	175	3,27	2,77
10,30	128	177	2,40	1,88
10,50	77	113	2,00	2,60
10,70	44	74	1,73	3,94
10,90	78	104	2,20	2,82
11,10	136	169	4,60	3,38
11,30	122	191	2,80	2,30
11,50	144	186	2,80	1,94
11,70	115	157	2,53	2,20
11,90	127	165	3,60	2,83
12,10	199	253	5,87	2,95
12,30	162	250	4,93	3,05
12,50	138	212	2,87	2,08
12,70	151	194	2,60	1,72
12,90	127	166	2,13	1,68
13,10	137	169	4,53	3,31
13,30	152	220	4,80	3,16
13,50	132	204	3,67	2,78
13,70	159	214	4,13	2,60
13,90	188	250	4,27	2,27
14,10	205	269	1,13	0,55
14,30	148	165	6,07	4,10
14,50	172	263	2,33	1,36
14,70	154	189	2,53	1,65
14,90	163	201	6,33	3,89
15,10	177	272	6,27	3,54
15,30	181	275		
15,50				
15,70				
15,90				
16,10				
16,30				
16,50				
Tipo di penetrometro: DPSH PAGANI		Assistente alla prova: Geol. Giovanni Viganò		Data: 22 Novembre 2022

GIOVANNI VIGANO' Via Gandini, 26/c- 26900 LODI e-mail: gio.vig@alice.it	Committente CITTA' DI LODI DIREZIONE ORGANIZZATIVA 3-SERVIZI TECNICI Piazza Broletto 1- 26900 LODI	PROVA PENETROMETRICA STATICA		CPT1	Tipo di penetrometro DPSH Pagani
	Progetto INTERVENTO DI RISTRUTTURAZIONE, RECUPERO E RIGENERAZIONE URBANA DEL COMPLESSO DELL'EX LINIFICIO	Località LODI-Piazzale Forni	Profondità da piazzale 15.30 m	Data 22 Novembre 2022	Assistente alla prova Geol. Giovanni Viganò

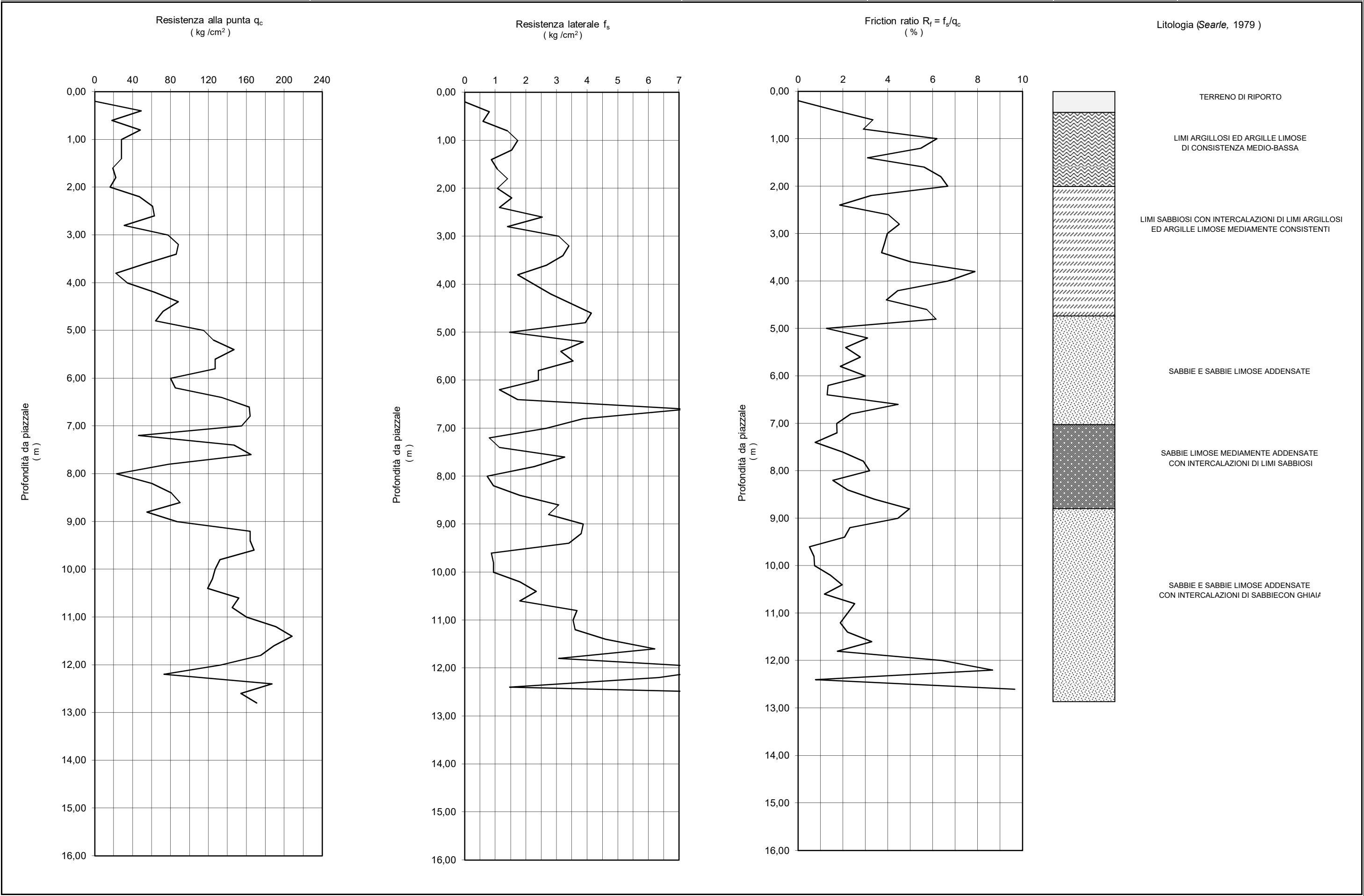


GIOVANNI VIGANO' Via Gandini, 26/c- 26900 LODI e-mail: gio.vig@alice.it		CONE PENETRATION TEST		CPT2
Località: LODI - Piazzale Forni		Prof. da piazz.le: 15.30 m		
Commitente: CITTA' DI LODI Direzione Organizzative 3-Servizi Tecnici Piazza Broletto, 1 - 26900 LODI		INTERVENTO DI RISTRUTTURAZIONE, RECUPERO E RIGENERAZIONE URBANA DEL COMPLESSO DELL'EX LINIFICIO		
Profondità m	q _c Kg/cm ²	R _i Kg/cm ²	f _s Kg/cm ²	R _f %
0,50	0	0	0,00	0,00
0,70	0	0	0,00	0,00
0,90	138	143	1,40	1,01
1,10	106	127	4,93	4,65
1,30	146	220	4,27	2,92
1,50	151	215	4,67	3,09
1,70	128	198	4,87	3,80
1,90	267	340	7,00	2,62
2,10	141	246	4,80	3,40
2,30	141	213	3,67	2,60
2,50	156	211	5,13	3,29
2,70	154	231	3,80	2,47
2,90	99	156	4,20	4,24
3,10	53	116	1,80	3,40
3,30	54	81	1,47	2,72
3,50	47	69	0,80	1,70
3,70	48	60	1,07	2,22
3,90	56	72	1,47	2,62
4,10	51	73	1,00	1,96
4,30	72	87	2,27	3,15
4,50	50	84	2,40	4,80
4,70	33	69	1,67	5,05
4,90	39	64	1,53	3,93
5,10	42	65	1,87	4,44
5,30	83	111	1,20	1,45
5,50	73	91	2,40	3,29
5,70	75	111	1,67	2,22
5,90	109	134	2,47	2,26
6,10	118	155	3,07	2,60
6,30	102	148	1,73	1,70
6,50	112	138	2,53	2,26
6,70	125	163	2,13	1,71
6,90	131	163	2,60	1,98
7,10	85	124	1,87	2,20
7,30	82	110	2,07	2,52
7,50	97	128	1,07	1,10
7,70	109	125	2,60	2,39
7,90	87	126	2,27	2,61
8,10	101	135	3,73	3,70
8,30	108	164	2,33	2,16
8,50	89	124	3,80	4,27
8,70	86	143	3,87	4,50
8,90	86	144	3,67	4,26
9,10	78	133	2,07	2,65
9,30	71	102	2,87	4,04
9,50	41	84	1,27	3,09
9,70	37	56	1,20	3,24
9,90	56	74	1,73	3,10
10,10	59	85	2,20	3,73
10,30	83	116	2,93	3,53
10,50	60	104	2,47	4,11
10,70	65	102	2,60	4,00
10,90	120	159	2,80	2,33
11,10	168	210	3,07	1,83
11,30	91	137	2,67	2,93
11,50	78	118	1,80	2,31
11,70	92	119	1,93	2,10
11,90	89	118	3,13	3,52
12,10	83	130	2,53	3,05
12,30	90	128	2,20	2,44
12,50	88	121	3,13	3,56
12,70	67	114	2,53	3,78
12,90	105	143	2,40	2,29
13,10	124	160	2,40	1,94
13,30	110	146	2,80	2,55
13,50	95	137	2,60	2,74
13,70	159	198	2,33	1,47
13,90	167	202	3,00	1,80
14,10	163	208	2,47	1,51
14,30	178	215	4,60	2,58
14,50	113	182	2,40	2,12
14,70	136	172	3,13	2,30
14,90	164	211	2,73	1,67
15,10	175	216	3,67	2,10
15,30	176	231		
15,50				
15,70				
15,90				
16,10				
16,30				
16,50				
Tipo di penetrometro: DPSH PAGANI		Assistente alla prova: Geol. Giovanni Viganò		Data: 22 Novembre 2022

GIOVANNI VIGANO' Via Gandini, 26/c- 26900 LODI e-mail: gio.vig@alice.it		CONE PENETRATION TEST		CPT3
Località: LODI -Piazzale Forni		Prof. da piazz.le: 15.80 m		
Commitente: CITTA' DI LODI Direzione Organizzativa 3-Servizi tecnici Piazza Broletto, 1 - 26900 LODI		INTERVENTO DI RISTRUTTURAZIONE, RECUPERO E RIGENERAZIONE URBANA DEL COMPLESSO DELL'EX LINIFICIO		
Profondità m	q _c Kg/cm ²	R _i Kg/cm ²	f _s Kg/cm ²	R _f %
0,00	0	0	0,00	0,00
0,20	0	0	0,00	0,00
0,40	0	0	0,00	0,00
0,60	0	0	0,00	0,00
0,80	0	0	0,00	0,00
1,00	0	0	0,00	0,00
1,20	0	0	0,00	0,00
1,40	19	36	1,93	10,18
1,60	56	85	8,87	15,83
1,80	12	145	2,47	20,56
2,00	80	117	3,53	4,42
2,20	73	126	3,00	4,11
2,40	43	88	1,73	4,03
2,60	66	92	1,53	2,32
2,80	35	58	1,93	5,52
3,00	38	67	0,93	2,46
3,20	85	99	3,20	3,76
3,40	76	124	3,20	4,21
3,60	77	125	2,20	2,86
3,80	44	77	2,07	4,70
4,00	47	78	1,53	3,26
4,20	48	71	2,33	4,86
4,40	95	130	1,93	2,04
4,60	76	105	2,67	3,51
4,80	80	120	2,60	3,25
5,00	124	163	3,33	2,69
5,20	138	188	2,47	1,79
5,40	146	183	1,67	1,14
5,60	135	160	3,13	2,32
5,80	189	236	3,27	1,73
6,00	168	217	4,13	2,46
6,20	159	221	2,40	1,51
6,40	112	148	2,40	2,14
6,60	94	130	1,67	1,77
6,80	93	118	2,67	2,87
7,00	150	190	2,60	1,73
7,20	149	188	2,53	1,70
7,40	67	105	1,67	2,49
7,60	13	38	0,73	5,64
7,80	15	26	1,33	8,89
8,00	52	72	1,40	2,69
8,20	35	56	1,67	4,76
8,40	28	53	1,07	3,81
8,60	59	75	1,40	2,37
8,80	63	84	3,33	5,29
9,00	127	177	2,60	2,05
9,20	126	165	3,47	2,75
9,40	113	165	3,87	3,42
9,60	155	213	4,67	3,01
9,80	140	210	3,07	2,19
10,00	141	187	3,13	2,22
10,20	148	195	3,13	2,12
10,40	124	171	3,33	2,69
10,60	138	188	3,13	2,27
10,80	153	200	2,93	1,92
11,00	108	152	0,60	0,56
11,20	126	135	2,40	1,90
11,40	105	141	2,07	1,97
11,60	116	147	2,33	2,01
11,80	125	160	2,93	2,35
12,00	149	193	0,13	0,09
12,20	179	181	1,53	0,86
12,40	199	222	10,53	5,29
12,60	23	181	2,33	10,14
12,80	129	164	4,40	3,41
13,00	131	197	6,40	4,89
13,20	175	271	6,80	3,89
13,40	183	285	6,13	3,35
13,60	176	268	3,60	2,05
13,80	135	189	4,53	3,36
14,00	203	271	1,73	0,85
14,20	151	177	2,80	1,85
14,40	169	211	8,07	4,77
14,60	173	294	2,53	1,46
14,80	166	204	2,20	1,33
15,00	159	192	4,20	2,64
15,20	175	238	3,40	1,94
15,40	119	170	3,67	3,08
15,60	151	206	6,13	4,06
15,80	173	265		
16,00				
Tipo di penetrometro: DPSH PAGANI		Assistente alla prova: Geol. Giovanni Viganò		Data: 22 Novembre 2022

GIOVANNI VIGANO' Via Gandini, 26/c- 26900 LODI e-mail: gio.vig@alice.it		CONE PENETRATION TEST		CPT4
Località: LODI -Piazzale Forni		Prof. da piazz.le: 12.80 m		
Commitente: CITTA' DI LODI Direzione Organizzativa 3-Servizi Tecnici Piazza Broletto, 1 - 26900 LODI		INTERVENTO DI RISTRUTTURAZIONE, RECUPERO E RIGENERAZIONE URBANA DEL COMPLESSO DELL'EX LINIFICIO		
Profondità m	q _c Kg/cm ²	R _i Kg/cm ²	f _s Kg/cm ²	R _f %
0,00	0	0	0,00	0,00
0,20	0	0	0,00	0,00
0,40	49	59	0,80	1,63
0,60	18	30	0,60	3,33
0,80	48	57	1,40	2,92
1,00	28	49	1,73	6,19
1,20	28	54	1,53	5,48
1,40	28	51	0,87	3,10
1,60	19	32	1,07	5,61
1,80	22	38	1,40	6,36
2,00	16	37	1,07	6,67
2,20	47	63	1,53	3,26
2,40	61	84	1,13	1,86
2,60	63	80	2,53	4,02
2,80	31	69	1,40	4,52
3,00	77	98	3,07	3,98
3,20	88	134	3,40	3,86
3,40	86	137	3,20	3,72
3,60	53	101	2,67	5,03
3,80	22	62	1,73	7,88
4,00	34	60	2,27	6,67
4,20	63	97	2,80	4,44
4,40	88	130	3,47	3,94
4,60	72	124	4,13	5,74
4,80	64	126	3,93	6,15
5,00	115	174	1,47	1,28
5,20	125	147	3,87	3,09
5,40	147	205	3,13	2,13
5,60	127	174	3,53	2,78
5,80	127	180	2,40	1,89
6,00	80	116	2,40	3,00
6,20	85	121	1,13	1,33
6,40	134	151	1,73	1,29
6,60	163	189	7,27	4,46
6,80	164	273	3,87	2,36
7,00	155	213	2,67	1,72
7,20	46	86	0,80	1,74
7,40	147	159	1,13	0,77
7,60	165	182	3,27	1,98
7,80	78	127	2,27	2,91
8,00	23	57	0,73	3,19
8,20	60	71	0,93	1,56
8,40	81	95	1,80	2,22
8,60	90	117	3,07	3,41
8,80	55	101	2,73	4,97
9,00	87	128	3,87	4,44
9,20	164	222	3,80	2,32
9,40	164	221	3,40	2,07
9,60	168	219	0,87	0,52
9,80	132	145	0,93	0,71
10,00	127	141	0,93	0,73
10,20	124	138	1,80	1,45
10,40	119	146	2,33	1,96
10,60	152	187	1,80	1,18
10,80	145	172	3,67	2,53
11,00	160	215	3,53	2,21
11,20	191	244	3,60	1,88
11,40	208	262	4,60	2,21
11,60	189	258	6,20	3,28
11,80	175	268	3,07	1,75
12,00	133	179	8,53	6,42
12,20	73	201	6,33	8,68
12,40	187	282	1,47	0,78
12,60	154	176	14,87	9,65
12,80	171	394		
13,00				
13,20				
13,40				
13,60				
13,80				
14,00				
14,20				
14,40				
14,60				
14,80				
15,00				
15,20				
15,40				
15,60				
15,80				
16,00				
Tipo di penetrometro: DPSH PAGANI		Assistente alla prova: Geol. Giovanni Viganò		Data: 23 Novembre 2022

GIOVANNI VIGANO' Via Gandini, 26/c- 26900 LODI e-mail: gio.vig@alice.it	Committente CITTA' DI LODI DIREZIONE ORGANIZZATIVA 3-SERVIZI TECNICI Piazza Broletto 1 - 26900 LODI	PROVA PENETROMETRICA STATICA		CPT4	Tipo di penetrometro DPSH Pagani
	Progetto INTERVENTO DI RISTRUTTURAZIONE, RECUPERO E RIGENERAZIONE URBANA DEL COMPLESSO DELL'EX LINIFICIO	Località LODI-Piazzale Forni	Profondità da piazzale 12.80 m	Data 23 Novembre 2022	Assistente alla prova Geol. Giovanni Viganò



GIOVANNI VIGANO' Via Gandini, 26/c- 26900 LODI e-mail: gio.vig@alice.it		CONE PENETRATION TEST		CPT5
Commitente: CITTA' DI LODI Direzione Organizzativa 3-Servizi Tecnici Piazza Broletto, 1 - 26900 LODI		Località: LODI -Piazzale Forni		Prof. da piazz.le: 14.80 m
		INTERVENTO DI RISTRUTTURAZIONE, RECUPERO E RIGENERAZIONE URBANA DEL COMPLESSO DELL'EX LINIFICIO		
Profondità	q _c	R _l	f _s	R _f
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	%
0,00	0	0	0,00	0,00
0,20	0	0	0,00	0,00
0,40	53	68	2,00	3,77
0,60	71	101	0,80	1,13
0,80	39	51	1,80	4,62
1,00	124	151	3,53	2,85
1,20	41	94	2,00	4,88
1,40	23	53	1,67	7,25
1,60	30	55	1,27	4,22
1,80	48	67	2,13	4,44
2,00	32	64	2,40	7,50
2,20	18	54	1,67	9,26
2,40	20	45	1,00	5,00
2,60	26	41	0,80	3,08
2,80	23	35	0,87	3,77
3,00	29	42	1,40	4,83
3,20	54	75	2,60	4,81
3,40	70	109	2,67	3,81
3,60	78	118	3,80	4,87
3,80	55	112	3,07	5,58
4,00	45	91	3,00	6,67
4,20	18	63	1,27	7,04
4,40	24	43	1,87	7,78
4,60	74	102	3,33	4,50
4,80	67	117	4,80	7,16
5,00	69	141	4,13	5,99
5,20	107	169	1,67	1,56
5,40	109	134	4,47	4,10
5,60	133	200	3,20	2,41
5,80	138	186	4,20	3,04
6,00	148	211	4,20	2,84
6,20	130	193	1,27	0,97
6,40	129	148	4,53	3,51
6,60	109	177	4,93	4,53
6,80	135	209	4,40	3,26
7,00	190	256	3,93	2,07
7,20	97	156	4,73	4,88
7,40	28	99	3,07	10,95
7,60	39	85	1,80	4,62
7,80	77	104	4,47	5,80
8,00	94	161	5,20	5,53
8,20	72	150	4,00	5,56
8,40	73	133	5,00	6,85
8,60	47	122	3,13	6,67
8,80	88	135	4,67	5,30
9,00	38	108	1,60	4,21
9,20	81	105	3,33	4,12
9,40	106	156	6,20	5,85
9,60	91	184	5,00	5,49
9,80	97	172	5,93	6,12
10,00	97	186	3,87	3,99
10,20	97	155	4,33	4,47
10,40	105	170	3,47	3,30
10,60	106	158	4,53	4,28
10,80	87	155	4,20	4,83
11,00	121	184	4,53	3,75
11,20	134	202	4,87	3,63
11,40	120	193	4,53	3,78
11,60	146	214	4,67	3,20
11,80	149	219	4,53	3,04
12,00	148	216	5,40	3,65
12,20	117	198	3,93	3,36
12,40	128	187	5,00	3,91
12,60	126	201	5,47	4,34
12,80	182	264	7,73	4,25
13,00	159	275	6,07	3,82
13,20	165	256	5,33	3,23
13,40	129	209	4,53	3,51
13,60	122	190	4,40	3,61
13,80	99	165	3,47	3,50
14,00	134	186	4,20	3,13
14,20	135	198	4,67	3,46
14,40	114	184	4,40	3,86
14,60	109	175	4,67	4,28
14,80	132	202		
15,00				
15,20				
15,40				
15,60				
15,80				
16,00				
Tipo di penetrometro: DPSH PAGANI		Assistente alla prova: Geol. Giovanni Viganò		Data: 26 Novembre 2022

Geol. Giovanni VIGANO' Via Gandini, 26/c - 26900 LODI e-mail: gio.vig@alice.it C.F. VGNGNN64R30F205Z P.IVA 04675670964					Committente CITTA' DI LODI DIREZIONE ORGANIZZATIVA 3-SERVIZI TECNICI Gestione tecnica e manutentiva del demanio e del patrimonio comunale Piazza Broletto 1 - 26900 LODI					Localita' LODI-Piazzale Forni			Allegato 4 S1																				
					Data 16/20 Dicembre 2022			Quota p.c. 77.80 m s.l.m.																									
Campione Disturbato Semidisturbato Indisturbato					Prove di permeabilita' Lefranc Lugeon					LIVELLO FALDA <table><tr><td colspan="2">Profondità</td><td colspan="2">Mattino</td><td colspan="2">Sera</td></tr><tr><td>Rivestimento</td><td>Foro</td><td>Data</td><td>H</td><td>Data</td><td>H</td></tr><tr><td></td><td></td><td>28.12.2022</td><td>-10.95 m</td><td></td><td></td></tr></table>						Profondità		Mattino		Sera		Rivestimento	Foro	Data	H	Data	H			28.12.2022	-10.95 m		
Profondità		Mattino		Sera																													
Rivestimento	Foro	Data	H	Data	H																												
		28.12.2022	-10.95 m																														
Profondità	Spessore strati	Stratigrafia	Campioni	Falda	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Carotiere	Rivestimento	Prove di permeabilità	Vane test	Profondità	S.P.T.	NOTE																					
m	m								kg/cm²																								
1.60	1.60		CR1-1 1.80-2.00 CR2-1 4.10-4.40 CR3-1 5.70-6.00 CR4-1 11.70-12.00																														
2.80	1.20																																
3.00	0.20																																
3.60	0.60																																
4.00	0.40																																
4.60	0.60																																
	2.80																																
7.40																																	
	3.80																																
11.20																																	
	3.90																																

ARGILLA

LIMO

SABBIA

GHIAIA

TORBA

TERRENO VEGETALE

ARGILLITE

MARNA

CALCARE

ARENARIA

CONGLOMERATO

ROCCE IGNEE

Cassette catalogatrici

N° 5

Assistente al sondaggio

Geol. Giovanni VIGANO'

Geol. Giovanni VIGANO'

Via Gandini, 26/c - 26900 LODI

e-mail: gio.vig@alice.it

C.F. VGNGNN64R30F205Z

P.IVA 04675670964

Committente

CITTA' DI LODI

DIREZIONE ORGANIZZATIVA 3-SERVIZI TECNICI

Gestione tecnica e manutentiva del demanio e del patrimonio comunale

Piazza Broletto 1 - 26900 LODI

Localita'

LODI-Piazzale Forni

Data

21/23/27 Dicembre 2022

Allegato 4

S2

Quota p.c.

77.60 m s.l.m.

Campione

Disturbato

Semidisturbato

Indisturbato

Prove di permeabilita'

Lefranc

Lugeon

LIVELLO FALDA

Profondità

Mattino

Sera

Rivestimento

Foro

Data

H

Data

H

28.12.2022

-10.50 m

Profondità	Spessore strati	Stratigrafia	Campioni	Falda	DESCRIZIONE LITOLOGICA	Carotiere	Rivestimento	Prove di permeabilità	Vane test kg/cm²	Profondità	S.P.T.	NOTE
m	m											
0.50	0.50				Terreno di riporto sabbioso-ghiaioso con frammenti di calcestruzzo							
0.90	0.40				Terreno di riporto limoso-argilloso color ocra con frammenti di laterizio e subordinata ghiaia							
1.50	0.60				Argilla limosa consistente di color ocra							
2.00	0.50				Limo marrone chiaro ocraceo							
2.60	0.60				S2-1: 2.00 - 2.60							
2.90	0.30				Limo debolmente argilloso grigio-marrone							
3.00	0.10				Sabbia fine limosa beige							
3.60	0.60				S2-2: 3.00 - 3.60							
4.30	0.70				Limo argilloso e limo grigio-beige							
4.60	0.30				Sabbia fine e media beige							
5.20	0.60				Limo e limo con sabbia grigio-marrone							
7.80	2.60				Sabbia fine e media e sabbia limosa grigio-marrone	101 mm	127 mm			6.00	Punta chiusa 18 15 18	
8.10	0.30		CR1-2 8.10-8.30		Argilla limosa grigia							
9.20	1.10				Limo sabbioso e sabbia fine limosa di colore grigio-marrone					9.00	Punta chiusa 17 18 21	
12.00	2.80			- 10.50 m	Sabbie limose e sabbie da fini a medie di colore grigio					12.00	Punta chiusa 18 30 32	
	5.60		CR2-2 12.20-12.50		Sabbie medie e grosse con ghiaia (Ø=1-7 cm) di colore grigio							

ARGILLA

LIMO

SABBIA

GHIAIA

TORBA

TERRENO VEGETALE

ARGILLITE

MARNA

CALCARE

ARENARIA

CONGLOMERATO

ROCCE IGNEE

Cassette catalogatrici

N° 5

Assistente al sondaggio

Geol. Giovanni VIGANO'

Allegato 5

MODULO 9

DICHIARAZIONE/ASSEVERAZIONE DEL GEOLOGO DI
CONGRUITA' DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA
AI REQUISITI RICHIESTI DAL PARAGRAFO 6.2.1 NTC 2018 E/O
DALLA D.G.R. 2616/2011



**Regione
Lombardia**

MODULO 9

DICHIARAZIONE/ASSEVERAZIONE DEL GEOLOGO DI CONGRUITA' DEI CONTENUTI DELLA RELAZIONE GEOLOGICA AI REQUISITI RICHIESTI DAL PARAGRAFO 6.2.1 NTC 2018 e/o DALLA D.G.R. 2616/2011

Il sottoscritto GEOL. GIOVANNI VIGANO' iscritto all'Ordine dei Geologi della Regione LOMBARDIA al n. AP1051 incaricato in data NOVEMBRE 2022 da CITTA' DI LODI-Direzione Organizzativa 3-Servizi tecnici-Piazza broletto 1-26900 LODI

di redigere la relazione geologica relativa al seguente intervento: INTERVENTO DI RISTRUTTURAZIONE, RECUPERO E RIGENERAZIONE URBANA DEL COMPLESSO DELL'EX LINIFICIO SITO IN PIAZZALE FORNI

da eseguire in Comune di LODI (LO)

PIAZZALE FORNI CAP 26900

Comune Catastale LODI, Foglio n.57 Mappale 116

consapevole che in caso di dichiarazione mendace sarà punito ai sensi del Codice Penale secondo quanto prescritto dall'art. 76 del succitato D.P.R. 445/2000 e che, inoltre, qualora dal controllo effettuato emerga la non veridicità del contenuto di taluna delle dichiarazioni rese, decadranno i benefici conseguenti al provvedimento eventualmente emanato sulla base della dichiarazione non veritiera (art. 75 D.P.R. 445/2000),

DICHIARA

A. che la relazione geologica in oggetto è stata redatta ai sensi di:

- ☐ D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018)
- ☒ D.G.R. 2616/2011 e D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018)
- ☐ D.M. 17 gennaio 2018 (paragrafo 6.2.1 NTC 2018), recependo quanto contenuto in una relazione geologica già depositata, redatta ai sensi della D.G.R. 2616/2011 per il rilascio del titolo abilitativo relativo all'intervento in questione

B. che, nello studio geologico comunale (PGT vigente) redatto in attuazione dell'art. 57 comma 1 della L.R. 12/2005, al sito d'intervento sono state attribuite le seguenti caratteristiche geologiche:

1. SCENARIO DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE PSL 1 LIV – DGR 2616/2011 all. 5 p.to 2.1

- | | | |
|---|---|---|
| ☐ Z1 Instabilità dei versanti | ☐ Z2a Cedimenti | ☐ Z2b Liquefazione |
| ☐ Z3 Amplificazione topografica | ☒ Z4 Amplificazione Stratigrafica | |
| ☐ Z5 Comportamenti differenziali | ☐ Nessuno scenario | |

1.1 VERIFICA SISMICA DI SECONDO LIVELLO PSL 2 LIV – DGR 2616/2011 all. 5 p.to 2.2

- ☐ Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) > Soglia comunale (FAS) *
- ☐ Fattore di amplificazione sismica calcolato (FAC) <= Soglia comunale (FAS) *
- ☒ Analisi di secondo livello non effettuata

* tenuto conto delle tolleranze ammesse nell'Allegato 5 della D.G.R. 2616/2011

2. CLASSE DI FATTIBILITA' GEOLOGICA – DGR 2616/2011 p.to 3.1

- ☐ 1 senza particolari limitazioni
- ☒ 2 con modeste limitazioni
- ☐ 3 con consistenti limitazioni
- ☐ 4 con gravi limitazioni

2.1 TIPO DI LIMITAZIONE ALLA FATTIBILITA' GEOLOGICA - DGR 2616/2011 p.to 3.2

- ☐ a) Instabilità dei versanti dal punto di vista statico
- ☐ b) Vulnerabilità idrogeologica
- ☐ c) Vulnerabilità idraulica
- ☐ d) Scadenti caratteristiche geotecniche
- ☒ nessuna particolare limitazione

DICHIARA INOLTRE

in fase di predisposizione dello studio geologico a supporto della progettazione

- C. di aver seguito tutte le prescrizioni previste dalle norme geologiche di piano vigenti riportate nel piano delle regole del PGT del Comune di LODI (LO)
- D. di aver eseguito ai sensi degli allegati alla DGR 2616/2011 conformemente alle linee guida disponibili:
 - ☐ Approfondimento relativo all'instabilità dei versanti dal punto di vista statico (App1)
 - ☐ Approfondimento relativo alla vulnerabilità idrogeologica (App2)
 - ☐ Approfondimento relativo alla vulnerabilità idraulica (App3)
 - ☐ Approfondimento relativo alle scadenti caratteristiche geotecniche (App4)
 - ☒ Approfondimento relativo agli aspetti sismici (App5), la cui tipologia e grado sono dettagliatamente descritte nelle successive schede
 - ☐ Nessun particolare approfondimento
- E. di aver redatto il modello geologico del sito sulla base di:
 - ☒ indagini appositamente eseguite nel sito d'interesse o nel suo immediato intorno, del tipo PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT, SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO, PROVE DI LABORATORIO SU CAMPIONI DISTURBATI ED INDISTURBATI
 - ☐ indagini pregresse, la cui estendibilità al sito d'interesse è stata adeguatamente motivata in relazione, del tipo

- F. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo stratigrafico attraverso:
- ☐ analisi di risposta sismica locale
 - ☒ procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria di sottosuolo, di cui al paragrafo 3.2.2 NTC 2018, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione; pertanto è stata individuata la seguente categoria di sottosuolo:
☐ A ☐ B ☒ C ☐ D ☐ E
mediante la seguente tipologia d'indagine PROVE SISMICHE TIPO MASW-RE.MI la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione.
- G. di aver valutato i fenomeni di amplificazione sismica di tipo topografico attraverso:
- ☐ analisi di risposta sismica locale
 - ☒ procedura semplificata basata sulla definizione della seguente categoria topografica, di cui al punto 3.2.2 delle NTC 2018, la cui applicabilità è stata adeguatamente motivata in relazione; pertanto è stata individuata la seguente categoria topografica:
☒ T1 ☐ T2 ☐ T3 ☐ T4
mediante analisi morfologica condotta su base topografica a scala 1:2000 la cui idoneità al caso specifico è stata adeguatamente motivata in relazione.
- H. di aver adeguatamente considerato la sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione, mediante:
- ☐ esclusione della verifica (paragrafo 7.11.3.4.2 NTC 2018), opportunamente motivata in relazione;
 - ☒ verifica di stabilità (paragrafo 7.11.3.4.3 NTC 2018) mediante la seguente metodologia: calcolo FS_L
- I. che l'intervento previsto risulta fattibile e compatibile con l'assetto geologico del sito:
- ☒ senza esecuzione di opere e/o interventi specifici per la mitigazione del rischio
 - ☐ previa esecuzione di opere e/o accorgimenti costruttivi da eseguirsi durante i lavori relativi all'intervento in oggetto
 - ☐ previa esecuzione di specifiche opere e/o interventi per la mitigazione del rischio da eseguirsi prima dei lavori relativi all'intervento in oggetto; in relazione a questo si specifica che tali lavori:
 - ☐ non sono stati eseguiti o sono stati eseguiti solo parzialmente
 - ☐ sono stati eseguiti nel rispetto delle prescrizioni contenute nello studio specifico e con il quale risultano compatibili

ASSEVERA

ai sensi dell'art. 481 del Codice Penale la conformità di quanto eseguito ai fini della relazione in oggetto alla normativa nazionale e regionale vigente e la piena osservanza della relazione alle norme sismiche vigenti.

Dichiara infine di essere informato, ai sensi e per gli effetti del Regolamento UE2016/679 e del D.Lgs 101/2018 che i dati personali raccolti saranno trattati, anche con strumenti informatici, esclusivamente nell'ambito del procedimento per il quale la presente dichiarazione viene resa.

Lodi, 29 dicembre 2022

IL GEOLOGO

