

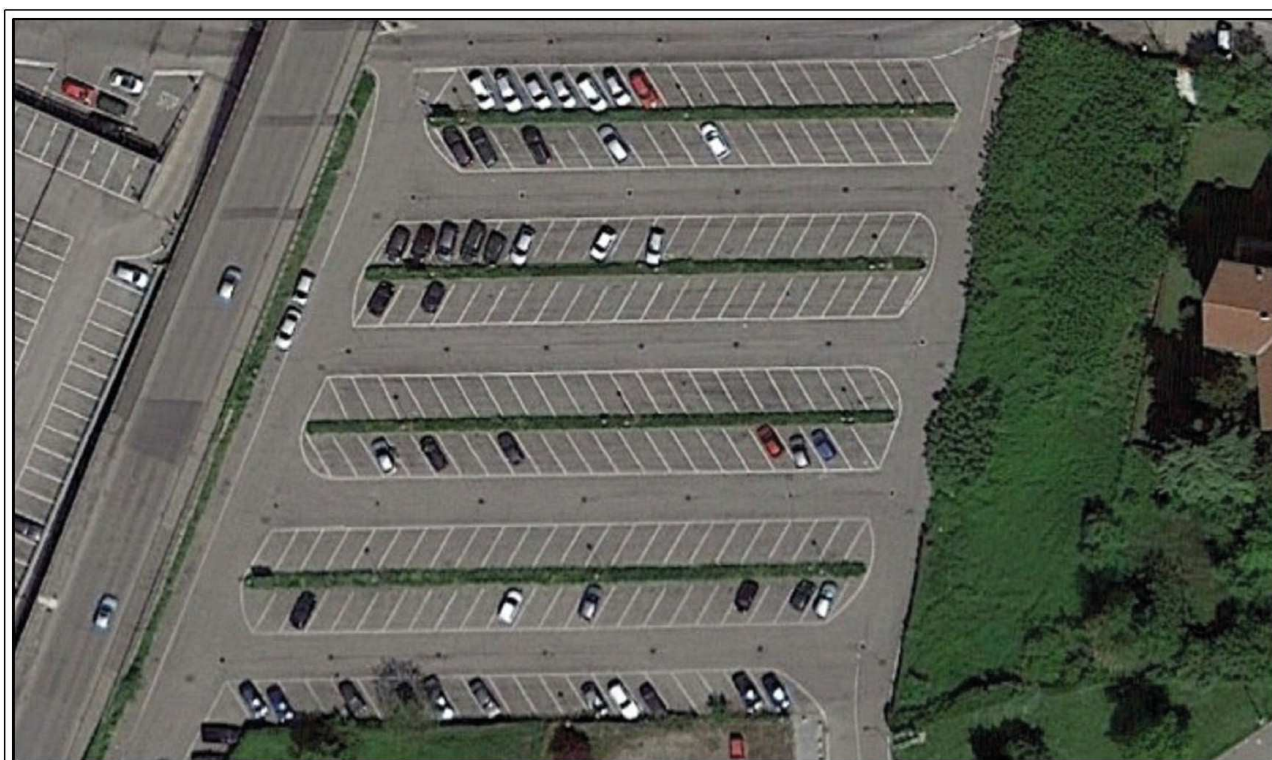
REGIONE LOMBARDIA

PROVINCIA DI CREMONA

COMUNE DI CREMONA

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

A SUPPORTO DEL PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN PARCHEGGIO
SOPRAELEVATO IN PIAZZA DELLE TRANVIE IN COMUNE DI CREMONA (CR)



Committente: Spett.le A.E.M. S.p.A. Viale Trento e Trieste, 38 26100 Cremona (CR)	RELAZIONE GEOLOGICA ai sensi del D.M. 17/01/18	R1
	RELAZIONE GEOLOGICA ai sensi della D.G.R. IX/2616/2011	R3
Il tecnico: Dott. Roberto Mariotti <i>Geologo Specialista</i> Corso Garibaldi, 95 – 26100 Cremona (CR) tel/fax: 0372-23266 tel: 335-6958159 e-mail: drmariotti.roberto@libero.it pec: mariottiroberto@epap.sicurezza postale.it		Settembre 2018

SOMMARIO

1 – PREMESSA.....	1
2 – RIFERIMENTI NORMATIVI.....	3
3 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	4
4 – INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO.....	5
5 – VINCOLI GEOLOGICI E FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELL’INTERVENTO.....	7
6 – MODELLAZIONE SISMICA.....	8
6.1 – Inquadramento sismico e pericolosità sismica.....	8
6.2 – Pericolosità sismica locale.....	9
6.3 – Valutazione degli effetti di amplificazione secondo d.g.r. 2616/2011.....	16
6.4 – Verifica della pericolosità sismica del sito di costruzione.....	19
6.5 – Verifica della liquefazione dei terreni di fondazione.....	21
7 – CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA.....	24
8 – CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	25

Allegati nel testo

- All. 1 – Inquadramento geologico e geomorfologico – scala 1: 10.000
- All. 2 – Inquadramento idrografico ed idrogeologico – scala 1: 10.000
- All. 3 – Ubicazione indagini
- All. 4 – Indagine sismica con metodo congiunto MASW-REMI – Rapporto tecnico
- All. 5 – Risultati grafici e tabulati indagini sismiche HVSR
- All. 6 – Approfondimento sismico di 2° livello
- All. 7 – Verifica della liquefazione dei terreni in condizioni sismiche
- All. 8 – Diagrammi, tabulati ed elaborazioni delle indagini penetrometriche
- All. 9 – Documentazione fotografica

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

1 – PREMESSA

La presente **relazione geologica e sismica** è stata redatta, dietro incarico della Committenza, a supporto del progetto di realizzazione di un parcheggio sopraelevato in Piazza delle Tranvie in Comune di Cremona (CR), su area censita al catasto al Fg. 38 Mapp. 823, localizzata ad est del viadotto di Via Cimitero ed attualmente adibita a parcheggio a raso.

L'opera in oggetto è una costruzione alla quale, secondo la suddivisione riportata nelle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC18), può essere assegnata la classe d'uso **Classe II**, alla quale appartengono costruzioni il cui uso prevede normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. L'opera in esame è di **tipo 2** (costruzioni con livelli di prestazioni ordinari), a cui corrisponde una vita nominale minima $V_N = 50$ anni.

L'area oggetto di intervento, all'interno dello studio geologico di supporto alla vigente Variante Generale del Piano di Governo del Territorio (P.G.T.) del Comune di Cremona (CR), è stata assegnata alla **Classe di Fattibilità Geologica 2** (fattibilità con modeste limitazioni); tale classificazione è stata confermata anche nella già adottata Variante Parziale 2018 del P.G.T..

Per le aree ricadenti in tale classe e **per qualsiasi intervento che interessi i suoli di fondazione**, il Documento di Piano (DdP) ed il Piano delle Regole (PdR) del P.G.T., in all. A “*Norme tecniche geologiche*”, ai sensi delle Norme Tecniche per le Costruzioni, dispongono obbligatoriamente la redazione di una **relazione geologico tecnica**, redatta a seguito di indagini geognostiche volte a determinare i caratteri geotecnici dei terreni di fondazione, in funzione del tipo di fondazione e delle dimensioni dell'intervento, subordinate alla definizione di un quadro geologico di dettaglio dell'area indagata.

Verificate e valutate le prescrizioni riportate nel P.G.T. comunale e nelle vigenti NTC18, al fine di caratterizzare dal punto di vista litostratigrafico, idrogeologico e geologico-tecnico i terreni di fondazione dell'area in esame sono state realizzate n. 4 indagini penetrometriche dinamiche S.C.P.T., spinte alla profondità massima di m. 12,30 da p.c., integrate dai risultati derivanti da sondaggi geognostici ed indagini penetrometriche realizzate in passato in corrispondenza dell'ambito in esame.

In ottemperanza alla normativa sono stati inoltre analizzati i principali aspetti geologici, geomorfologici, idrografici, idrogeologici, vincolistici e sismici del territorio, al fine di individuare eventuali elementi di vulnerabilità e pericolosità.

Attraverso la caratterizzazione litostratigrafica, idrogeologica e geologico-tecnica dei terreni di fondazione è stato definito il modello geologico di riferimento del sito di intervento, propedeutico alla definizione del modello geotecnico del sottosuolo ed alle verifiche geotecniche di sicurezza.

In riferimento alla caratterizzazione sismica dell'area è stata verificata la pericolosità sismica del sito in esame relativamente sia agli effetti di amplificazione del segnale sismico, attraverso l'esecuzione di indagini sismiche su terreno (MASW, REMI, HVSR), sia agli effetti di instabilità (liquefazione) cui sono potenzialmente soggetti i terreni di fondazione in condizioni sismiche.

2 – RIFERIMENTI NORMATIVI

Si fornisce di seguito l'elenco della normativa di riferimento consultata per la realizzazione della presente relazione.

- **D.M. 17 gennaio 2018 (NTC18)** “*Norme Tecniche per le Costruzioni*”.
- **O.P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274** “*Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica*”, e succ. modifiche e integrazioni.
- **O.P.C.M. 28 aprile 2006 n. 3519** “*Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone*”.
- **D.G.R. 11 luglio 2014 n. X/2129** “*Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d)*”.
- **D.G.R. 10 ottobre 2014 n. X/2489** “*Differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con d.g.r. 11 luglio 2014 n. 2129*”.
- **D.G.R. 8 ottobre 2015 n. X/4144** “*Ulteriore differimento del termine di entrata in vigore della nuova classificazione sismica del territorio approvata con d.g.r. 11 luglio 2014 n. 2129*”.
- **L.R. 12 ottobre 2015 n. 33** “*Disposizioni in materia di opere o di costruzioni e relativa vigilanza in zone sismiche*”.
- **D.G.R. 30 marzo 2016 n. X/5001** “*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)*”
- **Presidenza del Consiglio dei Ministri – Dipartimento della Protezione Civile** “*Indirizzi e criteri per la Microzonazione Sismica*”.
- **L.R. 11 marzo 2005 n. 12** “*Legge per il governo del territorio*”.
- **D.G.R. 30 novembre 2011 n. 9/2616** “*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*”.
- **Regolamento Regionale 23 novembre 2017 n. 7** “*Regolamento recante criteri e metodi per il rispetto del principio dell’invarianza idraulica ed idrologica ai sensi dell’articolo 58bis della legge regionale 11 marzo 2005, n. 12 (Legge per il governo del territorio)*”.
- **Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale (P.T.C.P)** – approvato con delibera di C.P. n. 95 del 9 luglio 2003.
- **Variante del P.T.C.P. di adeguamento alla l.r. 12/05** – approvata con delibera di C.P. n. 66 del 8 aprile 2009.
- **Piano di Governo del Territorio (P.G.T.) del Comune di Cremona – Variante Generale** – approvato dal Consiglio Comunale con deliberazione n. 31,32,33 del 1 luglio 2013.
- **Piano di Governo del Territorio (P.G.T.) del Comune di Cremona – Variante Parziale** – adottato dal Consiglio Comunale con deliberazione n. 20 del 26 marzo 2018.

3 – INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

I principali aspetti geologici e geomorfologici del contesto territoriale in esame sono stati analizzati sulla base delle informazioni derivanti dalla cartografia geologica ufficiale (Fig. 61 “Cremona” della Carta Geologica d’Italia alla scala 1:100.000) e dalle relative note illustrative (Petrucci & Tagliavini, 1969).

Come rappresentato nella cartografia tematica di All. 1 l’area oggetto di intervento è caratterizzata dai depositi alluvionali di origine continentale appartenenti alla formazione geologica pleistocenica denominata “*Fluviale Würm (f^W)*”, che presentano una granulometria prevalentemente sabbiosa e sabbioso limosa; tali depositi definiscono il ripiano terrazzato noto in letteratura come “*Livello Fondamentale della Pianura*”, che si sviluppa per la maggior parte della pianura cremonese a quote superiori rispetto alle valli fluviali attuali e passate, testimonianza dell’ultima grande fase di colmamento detritico postglaciale della pianura.

In ambito urbano, i terreni superficiali sono generalmente caratterizzati da riporto di misto granulare di varia natura e tipologia, nonché pezzame lapideo e/o materiale antropico di scarto.

Il passaggio verso sud ai più recenti terreni della valle del fiume Po, caratterizzata dai depositi alluvionali di origine continentale appartenenti alla formazione geologica olocenica denominata “*Alluvioni Medio Recenti (a^2)*”, avviene in corrispondenza della scarpata morfologica fluviale che si sviluppa in direzione ovest-est con rigetti verticali generalmente dell’ordine di m. 5,00÷6,00, completamente obliterata all’interno del centro edificato di Cremona, dove in alcuni tratti è possibile distinguere l’originale orlo di terrazzo in corrispondenza della variazione di pendenza da cui si diparte il piano inclinato che blandamente degrada, con dislivelli massimi dell’ordine di m. 2,00÷3,00, verso i terreni alluvionali posti a quote inferiori.

L’area in esame non è soggetta a rischio geologico e geomorfologico.

4 – INQUADRAMENTO IDROGRAFICO ED IDROGEOLOGICO

Come rappresentato nella tavola cartografica di All. 2 e nella figura seguente, tratta dal testo “Contributo allo studio delle acque della Provincia di Cremona”, la rete idrografica cittadina è caratterizzata da una rete di canali (fosse) di origine antica, per lunghi tratti tombinati e strettamente connessi con la rete fognaria, la cui funzione originaria era legata all’approvvigionamento di acque all’interno della città, all’allontanamento dei reflui fognari ed ad esigenze di difesa territoriale all’esterno delle mura civiche.



Figura 1
Idrografia principale della città di Cremona

In particolare, si segnala ad est e sud dell’area in esame la presenza dei tracciati tombinati rispettivamente della Fossa Cremonella e della Fossa Civica, che raccolgono le acque provenienti da nord dal Naviglio Civico e le convogliano verso sud in collettori principali che sfociano successivamente nel fiume Po.



In corrispondenza di tali corsi d'acqua sono segnalate numerose criticità idrauliche, legate a fenomeni di rigurgito delle fosse tombinate non in grado di smaltire adeguatamente il quantitativo di acqua piovana connesso ad eventi alluvionali eccezionali (indicativamente con $T_R > 200$ anni).

Tali criticità, soprattutto in corrispondenza dei tratti tombinati, è legata alle difficoltà di manutenzione degli alvei, soggetti al naturale deposito sul fondo di sedimenti fini, nonché al sottodimensionamento dei canali, progettati in passato per altri fabbisogni, particolarmente evidente durante eventi meteorologici brevi ed intensi.

In corrispondenza dell'area di intervento, nello studio geologico del P.G.T. non sono comunque segnalati episodi di esondazione della rete idrografica e/o della rete fognaria durante eventi alluvionali significativi.

Si sottolinea inoltre che l'area in esame non rientra nelle zone soggette a pericolosità idraulica ed a rischio idraulico, così come rappresentate nelle mappe di pericolosità e nelle mappe di rischio del "Piano di Gestione del Rischio di Alluvioni (PGRA)", predisposto dalla Regione Lombardia in attuazione della Direttiva 2007/60/CE "Direttiva Alluvioni" e del d.lgs. 49/2010 ed approvato dal Comitato Istituzionale dell'Autorità di Bacino del fiume Po, aggiornamento ed integrazione del quadro conoscitivo rappresentato negli Elaborati del P.A.I., all'interno delle quali sono contenute rispettivamente la delimitazione/classificazione delle aree allagabili e la classificazione del grado di rischio al quale sono soggetti gli elementi esposti.

* * *

L'assetto idrostratigrafico del sottosuolo è caratterizzato da una complessa successione di livelli acquiferi permeabili che si sviluppano in alternanza a livelli impermeabili di continuità laterale variabile, che si sviluppano per centinaia di metri al di sopra del substrato Terziario; le unità idrogeologiche che derivano da tale conformazione sono tipiche della “*Serie idrogeologica della medio-bassa pianura*” della provincia cremonese, che raggruppa terreni con proprietà idrogeologiche omogenee, all'interno dei quali circolano falde acquifere libere, semi-confinata e/o confinata in funzione della profondità e dell'assetto litostratigrafico dei corpi acquiferi.

Per verificare la direzione di flusso della falda freatica, che circola all'interno dell'acquifero superficiale, sono state rappresentate in All. 2 le curve isofreatiche, che rappresentano la quota assoluta del livello piezometrico della falda superficiale, realizzate sulla base di valori di soggiacenza disponibili e mediati sull'intero anno idrogeologico.

Dall'analisi dell'andamento delle curve isofreatiche, si individua un flusso sotterraneo della falda freatica in direzione prevalentemente N-S, richiamata dall'azione drenante del fiume Po, con cui è in contatto idraulico.

La soggiacenza della falda freatica in corrispondenza dell'area in esame, soggetta ad oscillazione periodiche in funzione di fattori meteorologici ed antropici, presenta valori generalmente superiori a m. 4,00 da p.c..

L'intervento in progetto non influenzerà in alcun modo le risorse idriche estratte a scopi idropotabili dagli acquiferi intermedi e profondi dai pozzi a servizio dell'acquedotto comunale.

5 – VINCOLI GEOLOGICI E FATTIBILITÀ GEOLOGICA DELL'INTERVENTO

Per verificare la presenza di vincoli geologici all'interno dell'ambito in esame sono stati consultati i piani di programmazione e pianificazione comunale, provinciale, regionale e sovraregionale.

Dall'analisi di tale documentazione e della relativa cartografia allegata emerge che l'area in oggetto non è interessata da vincoli geologico-idraulico-ambientali in grado di impedire/limitare la realizzazione dell'intervento in progetto.

In particolare, l'area in esame è esterna alle Zone I (aree a rischio idrogeologico molto elevato con eventi di piena $T_R < 50$ anni) del P.A.I. (Piano Assetto Idrogeologico) redatto dall'Autorità di Bacino del fiume Po.

* * *

In riferimento alla fattibilità geologica, come riferito in premessa, l'area in esame all'interno dello studio geologico a supporto del P.G.T. comunale è stata inserita in **Classe di Fattibilità Geologica 2.2** (fattibilità con modeste limitazioni), che comprende aree urbane con scavi e riporti storici di spessore plurimetrico e natura non precisata e/o forte alterazione dei terreni.

L'area di intervento è stata inserita sia all'interno dello scenario sismico **PSLZ4a** (scenario principale), che caratterizza le zone con terreni potenzialmente soggetti a fenomeni di amplificazione del segnale sismico di base, sia all'interno dello scenario sismico **PSLZ2b** (scenario secondario), che caratterizza le zone con terreni potenzialmente soggetti a fenomeni di liquefazione in seguito ad un'azione sismica.

6 – MODELLAZIONE SISMICA

6.1 – INQUADRAMENTO SISMICO E PERICOLOSITÀ SISMICA

Il territorio comunale di Cremona (CR), in seguito all'O.P.C.M. 20 marzo 2003 n. 3274 ed alla d.g.r. 14964/03 della Regione Lombardia, è stato classificato in Zona Sismica 4 (sismicità molto bassa).

Successivamente, l'O.P.C.M. 3519/2006 ha stabilito che la nuova suddivisione in zone sismiche da parte della Regione Lombardia deve avere come riferimento una nuova mappa di pericolosità sismica, allegata all'O.P.C.M., nella quale vengono espressi i valori di accelerazione sismica di picco orizzontale del suolo (a_g) con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, risultato di valutazioni relative alla **pericolosità sismica** che hanno avuto come riferimento la **zonazione sismogenetica ZS9**, realizzata per tutto il territorio nazionale dall'I.N.G.V. (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Gruppo di lavoro MPS 2004).

In accordo con le disposizioni normative nazionali e coerentemente con la mappa di pericolosità sismica, la Giunta Regionale ha approvato, con d.g.r. 11 luglio 2014 n. X/2129, l'aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia, entrato ufficialmente in vigore dal **10 aprile 2016**.

Pertanto a seguito di tale aggiornamento in territorio comunale, riclassificato in **Zona Sismica 3** (sismicità bassa), dovrà essere adottato un regime normativo più restrittivo e maggiormente attento alla componente sismica sia a livello di pianificazione che di progettazione degli interventi.

6.2 – PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE

Allo stato attuale il concetto di zonazione sismica è stato totalmente superato, sostituito da un approccio di tipo quantitativo–probabilistico ed interpolatorio–deterministico che ha portato alla definizione ed alla realizzazione, come riportato in precedenza, di un reticolo di riferimento su tutto il territorio nazionale, risultato di valutazioni relative alla pericolosità sismica che hanno avuto come riferimento la zonazione sismogenetica ZS9.

Per la definizione dell’azione sismica di progetto di un sito specifico, è necessario valutare l’influenza delle condizioni geologiche e geomorfologiche della zona (condizioni locali) sulla pericolosità sismica di base, valutando sia gli **effetti di amplificazione** che può subire il moto sismico di riferimento che gli **effetti di instabilità** cui sono sottoposti i terreni di fondazione se sottoposti ad una sollecitazione sismica.

Come riportato in precedenza, la pericolosità sismica di base, che presenta una discreta variabilità anche all’interno di uno stesso territorio, è definita attraverso il valore dell’accelerazione sismica orizzontale massima del suolo a_g su suolo rigido orizzontale in condizioni di campo libero (free field, assenza di manufatti) nonché in termini di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, ed è funzione dei parametri sismici (a_g , F_0 , T_c^*) che per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R (espresso in anni) definiscono le forme spettrali dell’azione sismica di progetto.

L’amplificazione dell’azione sismica di base è legata alle condizioni topografiche e stratigrafiche di uno specifico sito, in relazione ai potenziali effetti di riflessione multipla, risonanza e doppia risonanza delle onde sismiche, che tendono ad amplificare localmente le azioni sismiche trasmesse dal terreno (effetti di sito).

Si rende pertanto necessaria la valutazione della **“risposta sismica locale”** del sito di intervento, al fine di determinare l’azione sismica di progetto, a seguito delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza subite dall’azione sismica di base trasmettendosi dal substrato rigido sino alla superficie topografica.

Nel caso in esame, essendo l’area di intervento pianeggiante, non devono essere considerati gli effetti di amplificazione topografica; l’area di progetto appartiene difatti alla **categoria topografica T1**, alla quale corrisponde un coefficiente topografico $S_T=1,0$ (assenza di amplificazione topografica), come riportato nelle NTC18 (Tab. 3.2.V).

La risposta sismica locale del sito di costruzione è pertanto legata esclusivamente agli effetti di amplificazione stratigrafica del segnale sismico di riferimento.

Come previsto nelle NTC18 (par. 3.2.2), la valutazione dell'amplificazione stratigrafica necessaria alla definizione dell'azione sismica di progetto, in alternativa a specifiche analisi di risposta sismica locale, può essere effettuata con riferimento alle **categorie di sottosuolo** (approccio semplificato), la cui individuazione si basa sui valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_s .

Per depositi con profondità del substrato (formazione costituita da roccia o terreno molto rigido caratterizzata da $V_s \geq 800$ m/s) superiore a 30m dal piano di imposta delle fondazioni superficiali (caso in esame) la velocità equivalente $V_{s,eq}$ delle onde di taglio è definita dal parametro V_{s30} .

Ai fini della determinazione del valore della V_{s30} , necessario per la definizione della categoria di sottosuolo dell'area in esame, è stata realizzata per conto dello scrivente dal Dott. Geol. Alberto Lepori un'indagine sismica condotta con metodo “**REMI**” (Refraction Microtremor), tecnica “passiva” basata sulla registrazione del rumore sismico indotto da attività antropiche, e con metodo “**MASW**” (Multichannel Analysis of Surface Waves), tecnica “attiva” basata sulla misura delle onde superficiali (onde di Rayleigh).

Con il metodo REMI l'acquisizione dei dati per la determinazione della V_{s30} è stata svolta tramite la registrazione del “noise” (rumore) ambientale utilizzando geofoni da 4.5 Hz ed un acquisitore digitale multicanale a 24 canali con dinamica a 24bit, attraverso il quale è stato acquisito un profilo sismico costituito da uno stendimento costituito da 17 geofoni equispaziati di 5 m e sono stati raccolti 15 records di lunghezza di 30 sec l'uno con campionamento ogni 2.0 ms.

Con il metodo MASW l'acquisizione dei dati è stata svolta utilizzando lo stesso stendimento dell'indagine REMI; la lunghezza delle registrazioni è stata di 1 sec, con passo di campionamento di 0.250ms. L'energizzazione, realizzata a distanza di 5 e 10 m dal geofono 1, è stata ottenuta con una massa battente di 10 Kg.

La traccia dello stendimento sismico è rappresentata in All. 3, mentre il **rapporto tecnico** delle indagini sismiche realizzate viene riportato in All. 4.

I dati sismici acquisiti ed elaborati hanno consentito di determinare il profilo di velocità delle onde “S” del sito fino oltre 30 m di profondità e valori di V_{s30} che variano in funzione della quota del piano di imposta delle strutture di fondazione dell'opera in progetto secondo la tabella di seguito riportata.

Quota piano di fondazione	Intervallo dal p.c.	VSH	Categoria di sottosuolo
0 m	0/-30 m	255 m/sec	C
-1 m	-1/-31 m	259 m/sec	C
-2 m	-2/-32 m	262 m/sec	C
-3 m	-3/-33 m	266 m/sec	C
-4 m	-4/-34 m	268 m/sec	C
-5 m	-5/-35 m	270 m/sec	C

Analizzando la tabella si registra un progressivo aumento del valore di V_{s30} con la profondità del piano di imposta delle strutture di fondazione; in ogni caso, confrontando il valore di V_{s30} ottenuto con i corrispondenti intervalli di valori associati alle categorie di sottosuolo riportate nella Tabella 3.2.II del Cap. 3.2.2 delle NTC18, è possibile assegnare i terreni di fondazione dell'area in esame alla **CATEGORIA DI SOTTOSUOLO C**, alla quale appartengono depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

* * *

Al fine di valutare la **frequenza di vibrazione fondamentale** dei terreni dell'ambito di intervento sono state realizzate **n. 3 prove H/V – metodo dei rapporti spettrali a stazione singola HVSR** (metodo Nakamura), localizzate come rappresentato in All. 3.

Tale metodo si basa sulla misura del microtremore naturale del suolo, il quale agendo da oscillatore naturale permette, tramite adeguata strumentazione, la misura diretta delle frequenze di vibrazione dei terreni e dei manufatti.

La tecnica utilizzata, proposta da Nakamura 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 superficiali 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 **f₀**.

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 di taglio e H è la profondità della discontinuità sismo-stratigrafica.

Le prove HVSR sono state effettuate mediante tromografo digitale “**TROMINO ENGY**” (Micromed S.r.l), che racchiude al suo interno 3 terne (due di velocimetri ed una di accelerometri) di sensori ortogonali tra loro con possibilità di campionamento nell'intervallo di frequenze compreso tra 0,1 e 256 Hz; sono state acquisite n. 3 registrazioni di lunghezza pari a 20 minuti con campionamento a 128 Hz orientando la componente y dello strumento secondo il nord geografico.

Per l'elaborazione dei dati sismici è stato utilizzato il software “GRILLA” (Micromed S.r.l), che consente di effettuare:

- Analisi spettrale completa delle tracce e 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.

Il risultato dell'elaborazione è rappresentato da una “*curva di ellitticità*” che rappresenta il **rapporto spettrale H/V** tra il segnale delle componenti orizzontali ed il segnale della componente verticale; l'analisi dell'andamento dello spettro medio e delle corrispondenti curve di confidenza (deviazione standard) nell'intervallo di frequenze di interesse permette di individuare in modo diretto la frequenza di risonanza fo del sito indagato, corrispondente nel grafico al picco massimo del rapporto H/V cui è associato il massimo valore di amplificazione stratigrafica dovuta ad un contrasto di impedenza sismica (prodotto tra densità e velocità dell'onda sismica nel mezzo) tra strati (unità sismiche) differenti.

I risultati ottenuti sono stati successivamente confrontati e validati attraverso il software free “GEOPSY”.

In All. 5 sono riportati i grafici ed i tabulati delle n. 3 indagini sismiche HVSR realizzate, rappresentati da: parametri e risultati della registrazione, grafico dello spettro medio del rapporto spettrale H/V e delle relative curve di confidenza, serie temporale del rapporto spettrale H/V risultante dalla pulizia del segnale nel dominio delle frequenze, grafico di direzionalità del rapporto spettrale H/V, grafico degli spettri delle singole componenti del moto (V, NS, EW) e verifica dei **criteri SESAME**.

Le linee guida del progetto di ricerca europeo SESAME (2004) stabiliscono una serie di criteri (essenzialmente di tipo statistico) per la valutazione della significatività dei risultati dell'indagine sismica HVSR realizzata e del grafico del rapporto spettrale H/V ottenuto.

I primi 3 criteri riguardano l'affidabilità statistica della curva H/V ottenuta e la correttezza delle finestre temporali scelte per l'elaborazione.

I restanti 6 criteri riguardano la chiarezza del picco massimo del rapporto H/V, sia rispetto alle frequenze circostanti che alla sua stabilità nei rapporti H/V delle singole finestre.

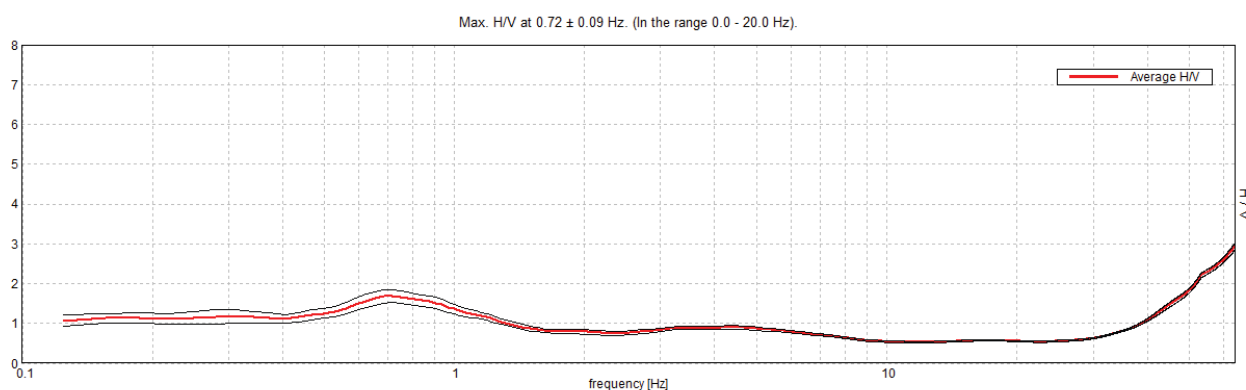
Come riportato nei report allegati, in ogni caso sono stati rispettati tutti i 3 criteri relativi all'affidabilità statistica della curva H/V, di conseguenza le indagini sismiche realizzate sono state eseguite in modo corretto e significativo dal punto di vista geofisico.

I criteri relativi alla chiarezza del picco H/V non sono stati invece soddisfatti completamente; questo è dovuto in ambito di pianura alluvionale all'assenza di contatti stratigrafici netti tra litotipi con caratteristiche meccaniche differenti, come accade ad esempio al passaggio tra substrato roccioso e depositi alluvionali di copertura.

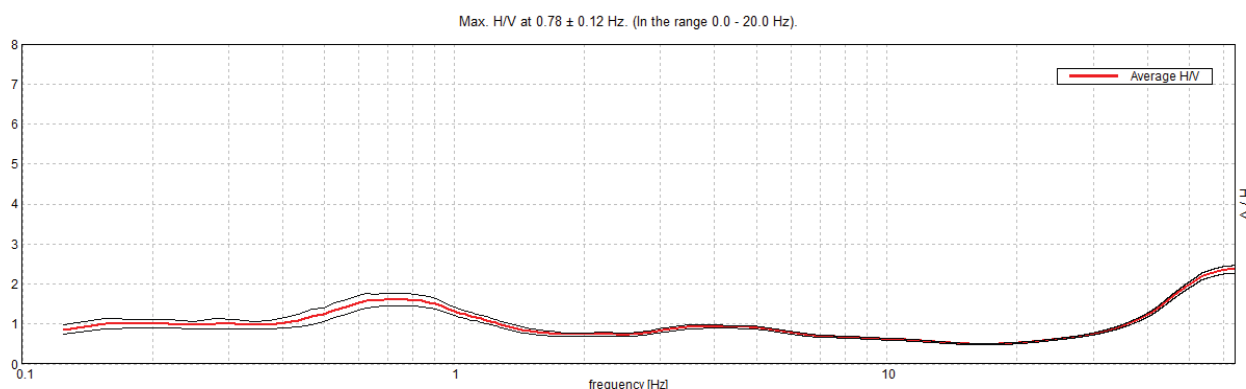
Nel caso in esame, i picchi del rapporto H/V individuati sono legati perlopiù ad un passaggio graduale tra depositi alluvionali sciolti con differente grado di addensamento, che genera amplificazioni in un intervallo di frequenze più largo e con valori del rapporto spettrale H/V generalmente inferiori a 2.

Si ritiene opportuno sottolineare che il non superamento di questi criteri non significa che non ci sono contrasti di impedenza sismici significativi (risonanze stratigrafiche) nel sito in esame ma solo che non ci sono picchi H/V singoli ben definiti, per le motivazioni sopra esposte.

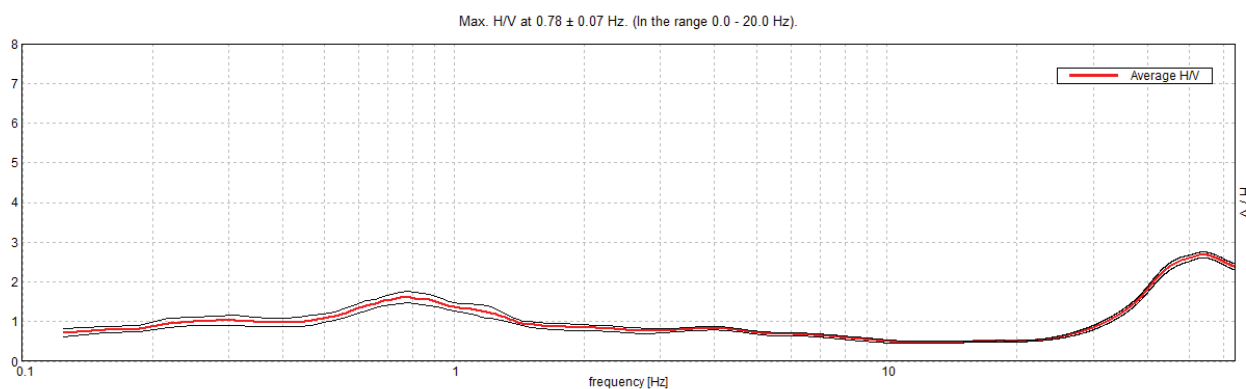
Si riportano di seguito i grafici dei rapporti spettrali H/V ottenuti dalle n. 3 indagini sismiche HVSR realizzate, riportati in modo più completo in All. 5.



Prova HVSR_1 – Rapporto Spettrale H/V – Spettro medio e relativa deviazione standard



Prova HVSR_2 – Rapporto Spettrale H/V – Spettro medio e relativa deviazione standard



Prova HVSR_3 – Rapporto Spettrale H/V – Spettro medio e relativa deviazione standard

Si riassumono nella seguente tabella i valori delle frequenze di risonanza f_0 del sito ed i valori di ampiezza dei picchi del rapporto spettrale H/V alle corrispondenti frequenze f_0 individuati mediante le indagini sismiche HVSR realizzate.

Indagine sismica HVSR	Frequenza di risonanza f_0 ± deviazione standard [Hz]	Ampiezza del picco del rapporto spettrale H/V
HVSR_1	0,72 ± 0,09	1,68
HVSR_2	0,78 ± 0,12	1,62
HVSR_3	0,78 ± 0,07	1,63

Analizzando i risultati delle prove HVSR, nel rispetto dei criteri SESAME, emerge che la frequenza fondamentale (di risonanza) del sito presenta un valore pari a $f_0=0,72\div 0,78$ Hz +/- una deviazione standard che rappresenta il “range” di oscillazione della stima della frequenza di vibrazione.

Tale amplificazione sismica massima, alla quale corrisponde un valore del rapporto $H/V=1,62\div 1,68$ ed un periodo di oscillazione pari a $T=1,28\div 1,39s$, è associata ad un contrasto di impedenza sismica profondo.

6.3 VALUTAZIONE DEGLI EFFETTI DI AMPLIFICAZIONE SECONDO D.G.R. 2616/2011

Al fine di verificare la correttezza dell'attribuzione della categoria di sottosuolo C all'area in esame si ritiene opportuno applicare in fase di progettazione il 2° livello di approfondimento, secondo le indicazioni della d.g.r. n. 9/2616/2011, relativo allo scenario sismico **PSLZ4a** (che caratterizza le zone con terreni potenzialmente soggetti a fenomeni di amplificazione del segnale sismico di base).

Si sottolinea che il 2° livello di approfondimento è già stato applicato nell'ambito dello studio geologico di supporto al Piano di Governo del Territorio (P.G.T.) del Comune di Cremona (fase di pianificazione), tuttavia poiché è stato limitato solamente ad alcune zone del territorio comunale si ritiene doveroso applicarlo all'area di intervento, al fine di verificare se sussistono le condizioni per l'applicazione del 3° livello di approfondimento.

La metodologia utilizzata permette di valutare la pericolosità sismica locale (PSL) e gli effetti prodotti dalle condizioni locali di una determinata area attraverso una procedura organizzata in una struttura modulare, basata su n. 3 livelli di approfondimento con grado di dettaglio in ordine crescente.

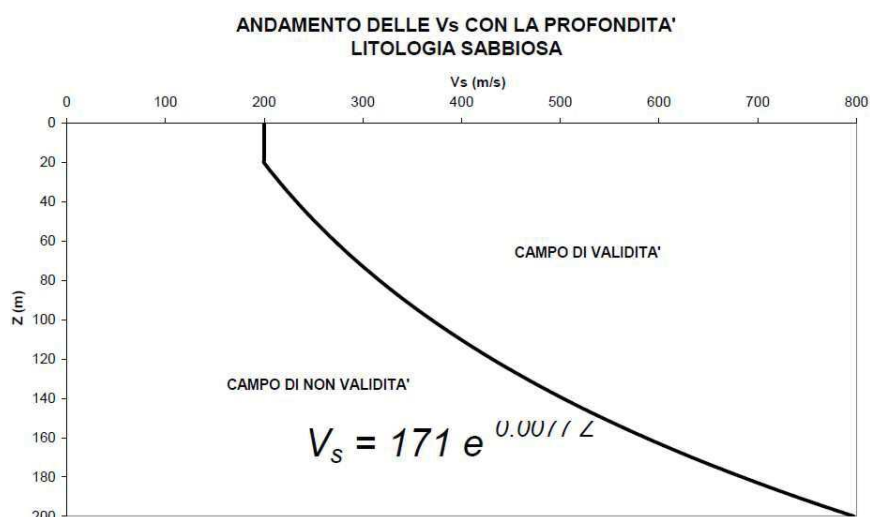
L'applicazione del 2° livello di approfondimento permette di individuare le aree **PSL Z4a** nelle quali la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale, ovvero se il F_a calcolato risulta superiore al F_a di soglia, fornito dal Politecnico di Milano, relativo al territorio comunale, riferito agli intervalli di periodo tra $0,1\div 0,5s$ e $0,5\div 1,5s$ delle tipologie edilizie presenti più frequentemente nel territorio regionale ed in funzione della categoria di sottosuolo di riferimento.

La procedura relativa agli effetti litologici consiste brevemente in:

- Individuazione della litologia prevalente nell'area in esame, sulla base dei risultati derivanti da indagini geognostiche e stratigrafie di pozzi disponibili.
- Definizione della distribuzione delle V_s (velocità delle onde di taglio) con la profondità fino a valori di $V_s \geq 800$ m/s e della categoria di sottosuolo di riferimento, sulla base delle indagini sismiche realizzate.
- Scelta della scheda litologica di valutazione di riferimento, riportata in All. 5 della d.g.r. 2616/2011.

- Determinazione algebrica del Fa relativo ai due intervalli di periodo citati.
- Confronto tra il Fa calcolato (FAC) ed il Fa di soglia (FAS) relativo al territorio comunale.
- Considerazioni conclusive.

Sulla base delle informazioni derivanti dalle indagini geognostiche e dalle stratigrafie di pozzi disponibili, nonché dei risultati delle indagini sismiche realizzate, è possibile individuare come litotipi dominanti i depositi sabbioso limosi la cui granulometria rientra in quelle previste nella scheda litologica di valutazione denominata “*scheda litologica sabbiosa*”; il profilo di velocità delle onde secondarie Vs ottenuto con le indagini MASW-REMI rientra nel campo di validità della scheda litologica adottata, come di seguito riportato.



All’interno della scheda di valutazione scelta, come rappresentato in All. 6, sono state utilizzate le curve 2 (colore verde) e le corrispondenti formule algebriche, adottando il valore del periodo proprio di oscillazione del sito, desunto dal rapporto spettrale ottenuto con le indagini HVSR, pari a **T=1,28s**.

Per il Comune di Cremona (CR) i valori di Fa di soglia sono riportati nella banca dati **soglie_lomb.xls**, all’interno della quale essi presentano, per le diverse categorie di sottosuolo ed in funzione dell’intervallo di periodo T della struttura, i seguenti valori:

Valori di soglia del fattore di amplificazione Fa per l’intervallo di periodo 0,1 – 0,5 s				
Comune	Categoria di suolo tipo B	Categoria di suolo tipo C	Categoria di suolo tipo D	Categoria di suolo tipo E
Cremona	1,4	1,8	2,1	1,9

Valori di soglia del fattore di amplificazione Fa per l'intervallo di periodo 0,5 – 1,5 s				
Comune	Categoria di suolo tipo B	Categoria di suolo tipo C	Categoria di suolo tipo D	Categoria di suolo tipo E
Cremona	1,7	2,4	4,0	3,0

Considerando un periodo proprio della struttura ricadente nell'intervallo **0,1-0,5s**, relativo alla curva n. 2 ed al periodo del terreno T misurato (1,28s), si evince che:

$$Fa_{0,1-0,5s} = 1,00$$

Considerando un periodo proprio delle strutture ricadente nell'intervallo **0,5-1,5s**, relativo alla curva n. 2 ed al periodo del terreno T misurato (1,28s), si evince che:

$$Fa_{0,5-1,5s} = 1,58$$

Considerando i valori di soglia di Fa riferiti alla categoria di sottosuolo C, ovvero:

- $Fa_{(soglia) 0,1-0,5s} = 1,8$
- $Fa_{(soglia) 0,5-1,5s} = 2,4$

ed i corrispondenti valori calcolati di Fa (arrotondati alla prima cifra decimale), ovvero:

- $Fa_{(calc) 0,1-0,5s} = 1,0$
- $Fa_{(calc) 0,5-1,5s} = 1,6$

considerando la variabilità $\pm 0,1$ che tiene in conto la variabilità del valore di Fa ottenuto, si evince che:

$$\begin{aligned} Fa_{(calc) 0,1-0,5s} = 1,0 \pm 0,1 &\leq Fa_{(soglia) 0,1-0,5s} = 1,8 \\ Fa_{(calc) 0,5-1,5s} = 1,6 \pm 0,1 &\leq Fa_{(soglia) 0,5-1,5s} = 2,4 \end{aligned}$$

In entrambi i casi i valori di Fa di soglia proposti dalla normativa sono superiori ai corrispondenti valori di Fa calcolati, pertanto la normativa è da considerarsi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito; in fase di progettazione edilizia è quindi corretto l'utilizzo dello spettro previsto dalla normativa vigente per la categoria di sottosuolo C.

6.4 – VERIFICA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO DI COSTRUZIONE

In base alle considerazioni espresse in precedenza relativamente alla pericolosità sismica di base ed alla pericolosità sismica locale, è possibile effettuare una stima della pericolosità sismica del sito in esame attraverso la determinazione dei coefficienti sismici corrispondenti a ciascuno degli stati limite nei confronti dei quali devono essere effettuate le verifiche di sicurezza.

Inserendo all'interno del software “*Geostru PS Parametri sismici v.1.4*” la localizzazione del sito (sistema di riferimento UTM-ED50), i dati prestazionali indicativi dell'opera in esame (tipo di costruzione, vita nominale V_N , classe d'uso), la tipologia di fondazione, la categoria di sottosuolo e la categoria topografica, sono stati ottenuti i parametri sismici ed i coefficienti sismici riportati nei tabulati che seguono.

SITO IN ESAME (coordinate UTM-ED50)	
LATITUDINE	45,1433
LONGITUDINE	10,0239
TIPO DI COSTRUZIONE	2
VITA NOMINALE (V_N)	50 [anni]
CLASSE D'USO	II
VITA DI RIFERIMENTO (V_R)	50 [anni]

Considerando la “*risposta sismica locale*” del sito di intervento, ovvero i parametri ed i coefficienti sismici derivanti dalla categoria topografica T1 ($S_t=1,00$) e dalla categoria di sottosuolo C ($S_s=1,50$) dell'area in esame, per ogni stato limite considerato si ottiene il valore dell'accelerazione sismica orizzontale massima del suolo a_{max} attesa al sito di progetto.

S.L. Stato limite		PV _R Probabilità di superamento	T _R Tempo ritorno [anni]	a _g [g]	S (S _s · S _t) [-]	a _{max} (a _g · S) [m/s ²]
S.L.E.	S.L.O.	81 %	30	0,032	1,500	0,471
	S.L.D.	63 %	50	0,039	1,500	0,574
S.L.U.	S.L.V.	10 %	475	0,082	1,500	1,207
	S.L.C.	5 %	975	0,101	1,500	1,486

S.L. Stato limite		PV _R Probabilità di superamento	T _R Tempo ritorno [anni]	a _g [g]	F _o [-]	T _c * [s]
S.L.E.	S.L.O.	81 %	30	0,032	2,548	0,209
	S.L.D.	63 %	50	0,039	2,580	0,235
S.L.U.	S.L.V.	10 %	475	0,082	2,596	0,300
	S.L.C.	5 %	975	0,101	2,625	0,316

S.L. Stato limite		S _s	C _c	St	k _h	k _v	β
S.L.E.	S.L.O.	1,500	1,760	1,000	0,010	0,005	0,200
	S.L.D.	1,500	1,690	1,000	0,012	0,006	0,200
S.L.U.	S.L.V.	1,500	1,560	1,000	0,025	0,012	0,200
	S.L.C.	1,500	1,540	1,000	0,036	0,018	0,240

Dove:

Tipo di costruzione	Rappresenta la tipologia dell'opera in progetto (N.T.C. – Tab. 2.4.I)
Vita nominale V_N	Rappresenta il n° di anni nel quale la struttura deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata (N.T.C. – Tab. 2.4.I)
Classe d'uso	Rappresenta l'uso a cui è destinata l'opera, con riferimento alle conseguenze di operatività o di un eventuale collasso in presenza di azioni sismiche (N.T.C.– Par. 2.4.2)
Categoria di sottosuolo	Categoria a cui associare i terreni di fondazione, necessaria per la definizione dell'azione sismica di progetto (N.T.C. – Tab. 3.2.II)
Categoria topografica	Categoria a cui appartiene l'area di intervento, necessaria per la definizione dell'azione sismica di progetto (N.T.C. – Tab. 3.2.III)
Coefficiente d'uso	Coefficiente che varia in funzione della classe d'uso (N.T.C. – Tab. 2.4.II)
Periodo di riferimento V_R	In relazione al quale vengono valutate le azioni sismiche sulle costruzioni; è il prodotto tra la vita nominale V _N ed il coefficiente d'uso C _u ⇒ V _R = V _N ·C _u (N.T.C. – Par. 2.4.3)
S.L.E.	Stato limite di esercizio
S.L.O.	Stato limite di operatività
S.L.D.	Stato limite di danno
S.L.U.	Stato limite ultimo
S.L.V.	Stato limite di salvaguardia della vita
S.L.C.	Stato limite di prevenzione del collasso
Probabilità di superamento PV_R	Associata agli stati limite, rappresenta la probabilità di superamento di ognuno di essi nel periodo di riferimento V _R della costruzione

T_R	Periodo di ritorno dell'azione sismica
a_g	Accelerazione sismica orizzontale massima attesa su sito di riferimento rigido orizzontale
F_o	Valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale
T_c*	Periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale
S_s	Coefficiente di amplificazione stratigrafica che tiene conto della categoria di sottosuolo (N.T.C. – Tab. 3.2.IV)
S_t	Coefficiente di amplificazione topografica che tiene conto delle condizioni topografiche (N.T.C. – Tab. 3.2.V)
S	Coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione $S = S_s \cdot S_t$
C_c	Coefficiente funzione della categoria di sottosuolo (N.T.C. – Tab. 3.2.IV), utilizzato per la determinazione del periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro T _c
Kh	Coefficiente sismico orizzontale ($K_h = \beta \cdot a_{max}/g$)
Kv	Coefficiente sismico verticale ($K_v = K_h/2$)
a_{max}	Accelerazione sismica massima attesa al sito di progetto, prodotto tra il coefficiente S , l'accelerazione sismica massima a_g attesa su sito di riferimento rigido e l'accelerazione di gravità (9,8 m/s ²)
β	Coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito a _{max} , funzione della categoria di sottosuolo (N.T.C. – Tab. 7.11.I)

6.5 – VERIFICA DELLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI DI FONDAZIONE

In riferimento agli **effetti di instabilità** cui sono sottoposti i terreni di fondazione se sottoposti ad una sollecitazione sismica, come da indicazioni delle NTC18 è stata valutata la stabilità del sito di costruzione nei confronti della **liquefazione**, fenomeno associato alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, in seguito ad un significativo aumento istantaneo della pressione interstiziale dell'acqua presente nei vuoti intergranulari, che determina una fluidificazione del materiale con conseguenti potenziali effetti di instabilità nei confronti delle strutture di fondazione e delle strutture in elevazione.

Per condurre a liquefazione un terreno suscettibile al fenomeno è necessaria non solo l'occorrenza di un **forte sisma**, sia in termini di magnitudo che durata, ma anche di particolari condizioni litostratigrafiche, idrogeologiche e gomeccaniche dei terreni di fondazione.

Per la definizione della magnitudo di progetto (M_w) del sisma atteso si ritiene opportuno utilizzare in via cautelativa il valore della magnitudo massima attesa nella zona sismogenetica più prossima all'area di intervento, ovvero la **ZS911** "Tortona-Bobbio", alla quale è associato un valore di **$M_w=6,14$** , come da tabella 2.8-1 degli ICMS di seguito riportata.

Tabella 2.8-1 – Valori di M_{wmax} per le zone sismogenetiche di ZS9 (estratto da Gruppo di lavoro, 2004)

Nome ZS	Numero ZS	M_{wmax}
Colli Albani, Etna	922, 936	5.45
Ischia-Vesuvio	928	5.91
Altre zone	901, 902, 903, 904, 907, 908, 909, 911, 912, 913, 914, 916, 917, 920, 921, 926, 932, 933, 934	6.14
Medio-Marchigiana/Abruzzese, Appennino Umbro, Nizza Sanremo	918, 919, 910	6.37
Friuli-Veneto Orientale, Garda-Veronese, Garfagnana-Mugello, Calabria Jonica	905, 906, 915, 930	6.60
Molise-Gargano, Ofanto, Canale d'Otranto	924, 925, 931	6.83
Appennino Abruzzese, Sannio – Irpinia-Basilicata	923, 927	7.06
Calabria tirrenica, Iblei	929, 935	7.29

Tra i vari metodi di verifica alla liquefazione riportati in letteratura, nel presente studio è stato utilizzato il metodo semplificato deterministico dell'Eurocodice 8, basato sul calcolo di un fattore di sicurezza F_s dato dal rapporto tra la resistenza al taglio mobilitante R caratteristica del materiale (**CRR** – Cyclic Resistance Ratio), ossia il suo stato di deformazione critica, e lo sforzo di taglio T indotto dall'azione sismica (**CSR** – Cyclic Stress Ratio):

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

dove MSF è un fattore di scala funzione della magnitudo dei terremoti attesi.

Come riportato negli ICMS si considera come valore discriminante $F_s=1,25$, tale per cui un terreno risulterà suscettibile al fenomeno della liquefazione nel caso in cui:

$$F_s \leq 1,25 \quad \text{materiale liquefacibile}$$

Per la definizione del sisma di progetto, oltre alla magnitudo di riferimento (M_w) del sisma di progetto ($M_w=6,14$), si è reso necessario determinare il valore dell'accelerazione sismica orizzontale massima (a_{max}) attesa in superficie nel sito in esame.

Il valore di a_{max} utilizzato nell'elaborazione effettuata, in riferimento alle tabelle riportate nel paragrafo 6.3, è quello relativo allo stato limite SLV, ossia:

$$a_{max} = 1,207 \text{ m/s}^2$$

che, espressa come frazione dell'accelerazione di gravità g , risulta pari a:

$$a_{max} = ag \cdot S = 0,082g \cdot 1,500 = 0,123 \text{ g (m/s}^2\text{)}$$

Mediante l'adozione di un programma dedicato (LiqIT – Geologismiki) sono stati elaborati i dati della prova penetrometrica dinamica SCPT1, considerando in via cautelativa una soggiacenza della falda freatica pari a 4,00 m da p.c., ottenendo i risultati grafici riportati in All. 7, dai quali si evince **l'assenza di fenomeni di liquefazione**.

E' stato calcolato inoltre il valore del potenziale di liquefazione (**PL**) o indice di liquefazione (**IL**), definito dalla relazione di Iwasaki et al. (1978):

$$PL = \sum_{i=1}^n F(z)W(z)dz$$

dove:

n	numero degli intervalli di calcolo di Fs lungo la verticale
z	profondità di calcolo (max 20 m)
F(z)	F(z) = 0 per Fs > 1; F(z) = 1 - Fs per Fs ≤ 1
W(z)	W(z) = 10 - 0,5z
dz	spessore dell'intervallo di calcolo

Il valore ottenuto, pari a **IL = 0,00**, in base alle classi di rischio riportate nella seguente legenda permette di definire un rischio di liquefazione nullo.

Overall potential I_L : 0.00

I_L = 0.00 - No liquefaction
I_L between 0.00 and 5 - Liquefaction not probable
I_L between 5 and 15 - Liquefaction probable
I_L ≥ 15 - Liquefaction certain

7 – CARATTERIZZAZIONE E MODELLAZIONE GEOLOGICA

Al fine di caratterizzare dal punto di vista litostratigrafico, idrogeologico e geologico-tecnico i terreni di fondazione dell'area in esame sono state realizzate per conto dello scrivente dal Dott. Geol. Marco Barbieri n. 4 prove penetrometriche dinamiche S.C.P.T., localizzate come rappresentato in All. 3.

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere verticalmente una punta conica metallica posta all'estremità di un'asta di acciaio, prolungabile con l'aggiunta di successive aste; l'infissione avviene per battitura facendo cadere da un'altezza costante un maglio di determinato peso, contando il numero di colpi necessari per la penetrazione di un tratto di lunghezza stabilita (nel caso in esame: 30 cm). Il vantaggio di questa tipologia di prova è la semplicità di esecuzione in quasi tutti i depositi, tuttavia non fornisce alcuna informazione quantitativa sulla composizione granulometrica dei terreni ma permette di risalire esclusivamente al grado di consistenza/addensamento dei livelli litologici attraversati, proporzionale al grado di resistenza all'infissione; i valori del numero di colpi di approfondimento ed i valori di resistenza dinamica alla punta Rpd permettono quindi solamente una valutazione qualitativa e semi-quantitativa delle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni attraversati e dei parametri geologico-tecnici, sulla base di correlazioni empiriche tra numero di colpi e parametri di resistenza al taglio dei terreni in condizioni non drenate.

Le caratteristiche del penetrometro utilizzato per la realizzazione delle indagini penetrometriche, i diagrammi, i tabulati e le elaborazioni delle prove, con le relative legende descrittive, sono riportate in All. 8 in calce alla relazione.

Si ritiene opportuno precisare che l'interpretazione litologica fornita nei tabulati delle indagini penetrometriche è basata sulla correlazione con i risultati derivanti da un sondaggio geognostico a carotaggio continuo (S1) spinto sino alla profondità di m. 25,00 da p.c., realizzato in maggio 2009 in corrispondenza dell'area di intervento nell'ambito del progetto di nuova viabilità Via Dante – FFSS – Cimitero.

* * *

In base ai risultati ottenuti, utilizzando le correlazioni semiempiriche tratte dalla letteratura geotecnica sono stati determinati i principali parametri geotecnici rappresentativi dei livelli litologici individuati, suddivisi in **unità geotecniche** a comportamento geomeccanico omogeneo, dei quali si riporta nella tabella che segue il valore medio.

Litologia prevalente	Profondità da p.c. [m]		Cu _m [Kg/cm ²]	φ' _m [°]	Unità geotecnica
	da	a			
Soletta di bitume e materiale inerte di riporto	0,00	0,60÷0,90	/	35°	/
Limo sabbioso	0,60÷0,90	2,70÷3,00	0,60	27°	A
Sabbia limosa e/o debolmente limosa	2,70÷3,00	9,00÷9,30	/	30°	B
Sabbia	> 9,00÷9,30		/	32°	C

Dove:

φ' _m	Valore medio dell'angolo di attrito interno dei terreni (di natura incoerente)
Cu _m	Valore medio della coesione non drenata dei terreni (di natura coesiva)

La soggiacenza della falda freatica, alla data di esecuzione delle indagini (05/09/2018), è stata rilevata alla profondità di circa **m. 7,00** da p.c..

8 – CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Dietro incarico della Committenza è stata redatta la presente **relazione geologica e sismica** a supporto del progetto di realizzazione di un parcheggio sopraelevato in Piazza delle Tranvie in Comune di Cremona (CR), su area attualmente adibita a parcheggio a raso.

L'analisi dei principali aspetti geologici, geomorfologici, idrografici, idrogeologici, vincolistici e di fattibilità geologica dell'area in esame ha permesso di escludere la presenza di elementi di pericolosità e/o tutela connessi alle tematiche analizzate.

Dott. Roberto Mariotti – Geologo Specialista
Corso Garibaldi, 95 – 26100 Cremona (CR)
e-mail: drmariotti.roberto@libero.it

tel/fax: 0372-23266
cell: 335-6958159
pec: mariottiroberto@epap.sicurezza postale.it

L'analisi degli aspetti sismici ha fornito un inquadramento sismico del territorio comunale, approfondendo gli aspetti relativi alla pericolosità sismica del sito di intervento, ovvero gli effetti di amplificazione stratigrafica e gli effetti di instabilità (liquefazione dei terreni); in particolare, in riferimento allo scenario sismico **PSLZ4a**, si ritiene corretto l'utilizzo in fase di progettazione edilizia dello spettro previsto per la categoria di sottosuolo C.

In riferimento alla caratterizzazione litostratigrafica, idrogeologica e geologico-tecnica dei terreni di fondazione, sulla base dei risultati derivanti da n. 4 prove penetrometriche dinamiche S.C.P.T. è stato definito il modello geologico di riferimento dell'area di intervento, propedeutico alla definizione del modello geotecnico del sottosuolo ed alle necessarie verifiche di sicurezza, come disposto dalle NTC18.

A seguito degli approfondimenti effettuati, per quanto di competenza si dichiara la fattibilità dell'intervento in progetto.

Cremona, 18 settembre 2018

Il tecnico
Dott. Geol. Roberto Mariotti



A.E.M. S.p.A.
Viale Trento e Trieste, 38
26100 Cremona (CR)

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA
a supporto del progetto di realizzazione di un parcheggio
sopraelevato in Piazza delle Tranvie in Comune di Cremona (CR)

**INQUADRAMENTO GEOLOGICO
E GEOMORFOLOGICO**

All. **1**

scala 1:10.000

Settembre 2018

Il tecnico:

Dott. Geol. Roberto Mariotti



A.E.M. S.p.A.
Viale Trento e Trieste, 38
26100 Cremona (CR)

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA
a supporto del progetto di realizzazione di un parcheggio
sopraelevato in Piazza delle Tranvie in Comune di Cremona (CR)

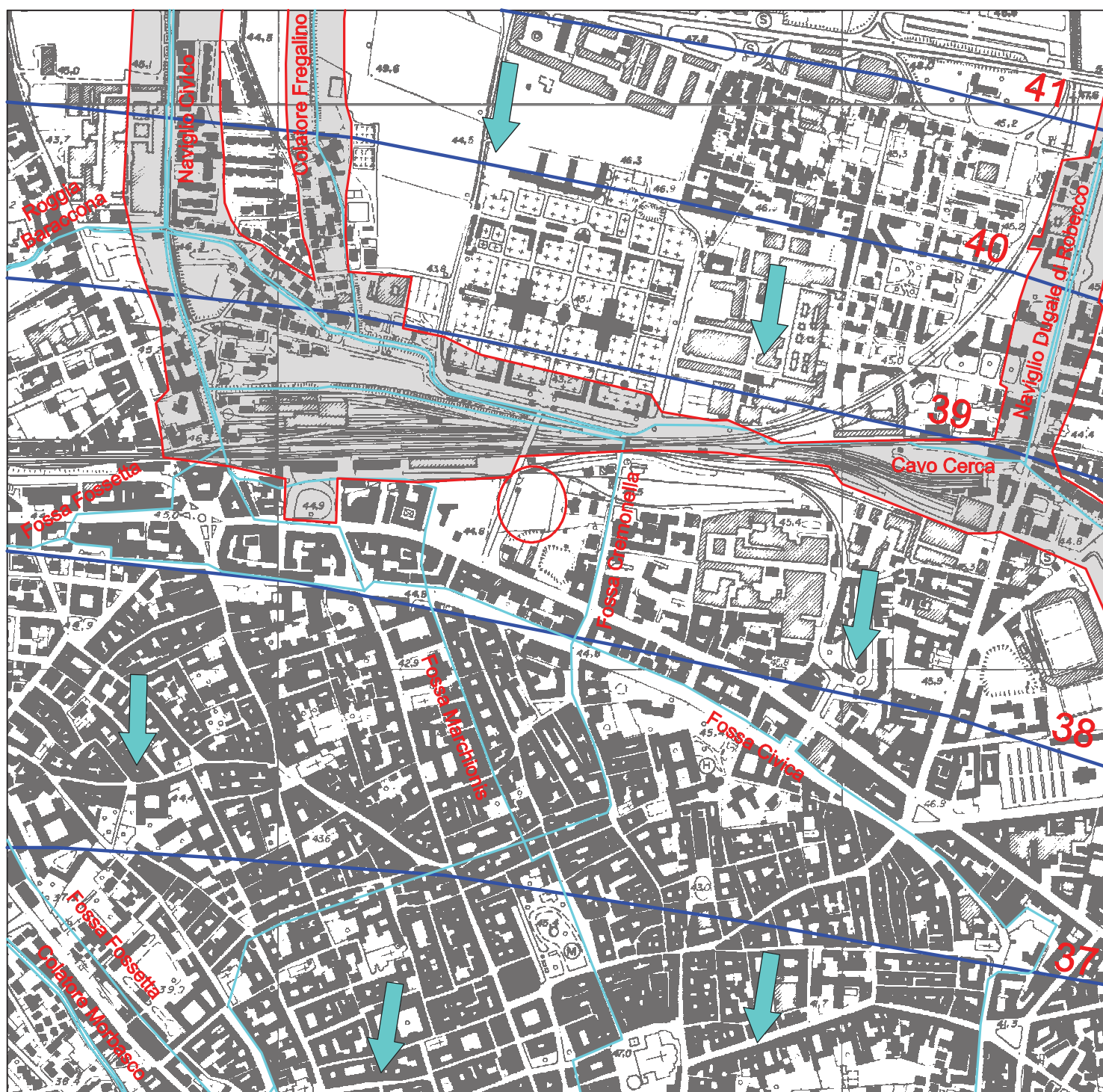
**INQUADRAMENTO IDROGRAFICO
ED IDROGEOLOGICO**

All. **2**

scala 1:10.000

Settembre 2018

Il tecnico: *Dott. Geol. Roberto Mariotti*



A.E.M. S.p.A.
Viale Trento e Trieste, 38
26100 Cremona (CR)

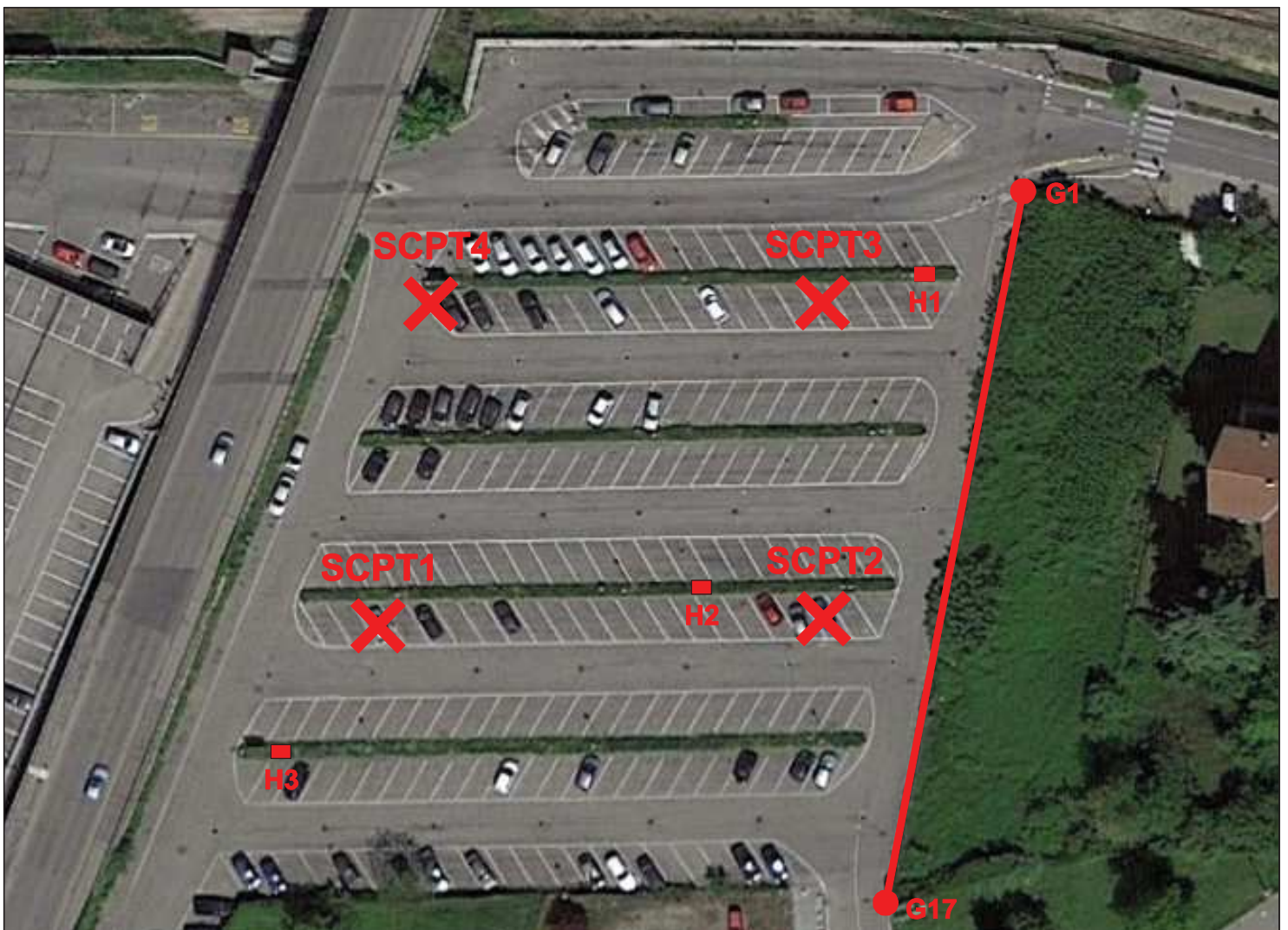
RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA
a supporto del progetto di realizzazione di un parcheggio
sopraelevato in Piazza delle Tranvie in Comune di Cremona (CR)

UBICAZIONE INDAGINI

All. **3**

Settembre 2018

Il tecnico: *Dott. Geol. Roberto Mariotti*



Prova penetrometrica dinamica SCPT



Stendimento sismico con geofoni per prove MASW - REMI



Indagine sismica HVSR



Dott. Roberto Mariotti – *Geologo Specialista*
Corso Garibaldi, 95 – 26100 Cremona (CR)
e-mail: drmariotti.roberto@libero.it

tel/fax: 0372-23266
cell: 335-6958159
pec: mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it

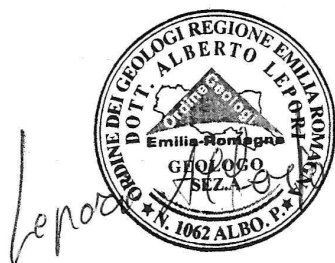
ALLEGATO 4

**INDAGINE SISMICA
CON METODO CONGIUNTO MASW-REMI**

RAPPORTO TECNICO

Sommario

PREMESSA INDAGINE SISMICA.....	2
1 PROVE PER LA DETERMINAZIONE DELLA Vs30.....	2
1.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA	3
1.2 PROVA “MASW”	3
1.2.1 Cenni metodologici.....	3
1.2.2 Modalità esecutive della prova “Masw”	5
1.2.3 Elaborazione dei dati	5
1.3 PROVA RE.MI.	5
1.3.1 Cenni metodologici.....	5
1.3.2 Modalità di intervento.....	7
1.3.3 Elaborazione dati	7
1.4 ANALISI DEI RISULTATI.....	9
1.5 CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE.....	9



PREMESSA INDAGINE SISMICA

Il rapporto illustra e commenta l'indagine geofisica eseguita a Cremona in Piazza delle Tranvie. L'indagine sismica è stata finalizzata sia alla determinazione della categoria del suolo di fondazione, ai sensi del testo unitario "Norme tecniche per le costruzioni" (D.M. 2018), che alla valutazione della frequenza di vibrazione fondamentale del sito.

1 PROVE PER LA DETERMINAZIONE DELLA Vs30

L'indagine è stata condotta con due metodologie sismiche che possono essere considerate complementari:

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

La metodologia **RE.MI.** è una tecnica "passiva" in quanto si basa sulla registrazione del rumore sismico indotto dalle attività antropiche (traffico, fabbriche ecc.). I pregi ed i limiti principali di questa tecnica si possono così sintetizzare:

Pregi

- ✓ adatta in ambienti fortemente antropizzati;
- ✓ elevate profondità di indagine, anche in presenza di terreni con bassa velocità delle onde di taglio (Vs), per la capacità di campionare basse frequenze.

Limiti

- ✓ non adatta in ambienti poco "rumorosi";
- ✓ possibilità di sovrastimare i valori di Vs 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. I pregi ed i limiti principali di questa tecnica si possono così sintetizzare:

Pregi

- ✓ adatta in ambienti "non rumorosi";
- ✓ buona capacità di definizione dei valori di Vs, soprattutto per quanto riguarda gli orizzonti più superficiali (primi 20-30m).

Limiti

- ✓ poco adatta in ambienti fortemente antropizzati e rumorosi;
- ✓ limitate profondità di indagine, in presenza di terreni con bassa velocità delle onde di taglio (Vs).

Difficilmente, prima di realizzare l'indagine, è possibile valutare quale tecnica 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 2 tecniche.

In generale, utilizzando le due metodologie in modo “combinato”, sarà dunque possibile ottenere un buon dettaglio superficiale e una maggior profondità d’indagine.

1.1 STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Il “Geode” è un sismografo modulare a 24 bit che rappresenta l’ultima frontiera dei sistemi di registrazione sismica combinando il meglio dei tradizionali sismografi Geometrics con la flessibilità di un sistema ripartito in unità distinte. 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 Hz – 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.



Figura 1: Sismografo “Geode” collegato al pc

- 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 mt con 24 takeouts SPT-21 a 5 metri di intervallo e due code da 7.5 mt l’una terminate con connettore Bendix 61S,
- Geofoni GS20DX, 2.0 Hz verticali, 395 Ohm con puntale da 3” ed 1,5 mt di cavo terminato con mueller clip singola MC-20-SP,
- Computer portatile ACER.

1.2 PROVA “MASW”

1.2.1 Cenni metodologici

Il metodo **MASW** (Multichannel Analysis of Surface Waves) 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 Vs, 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 5 Hz e 70 Hz, 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 ν), 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 compresa 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.

1.2.2 Modalità esecutive della prova "Masw"

E' stato utilizzato uno stendimento costituito da allineamento di 17 geofoni spazati di 5 m. La lunghezza delle registrazioni è stata di 1 sec, con un passo di campionamento di 0.250 ms. L'energizzazione, realizzata a distanze di 5 e 10 metri dal primo geofono, è stata ottenuta con una massa battente di 10 Kg.

1.2.3 Elaborazione dei dati

Il software utilizzato per l'elaborazione dei dati è il "winMASW" Academy della **Eliosoft**. In una prima fase è stata calcolata la velocità di fase apparente sperimentale. In una seconda si è estrapolata la curva di dispersione sperimentale e nella terza ed ultima fase si è individuato il profilo di velocità delle onde di taglio verticali Vs, modificando opportunamente lo spessore h, le velocità delle onde di taglio Vs e di compressione Vp (o in maniera alternativa alle velocità Vp 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 velocità assegnato.

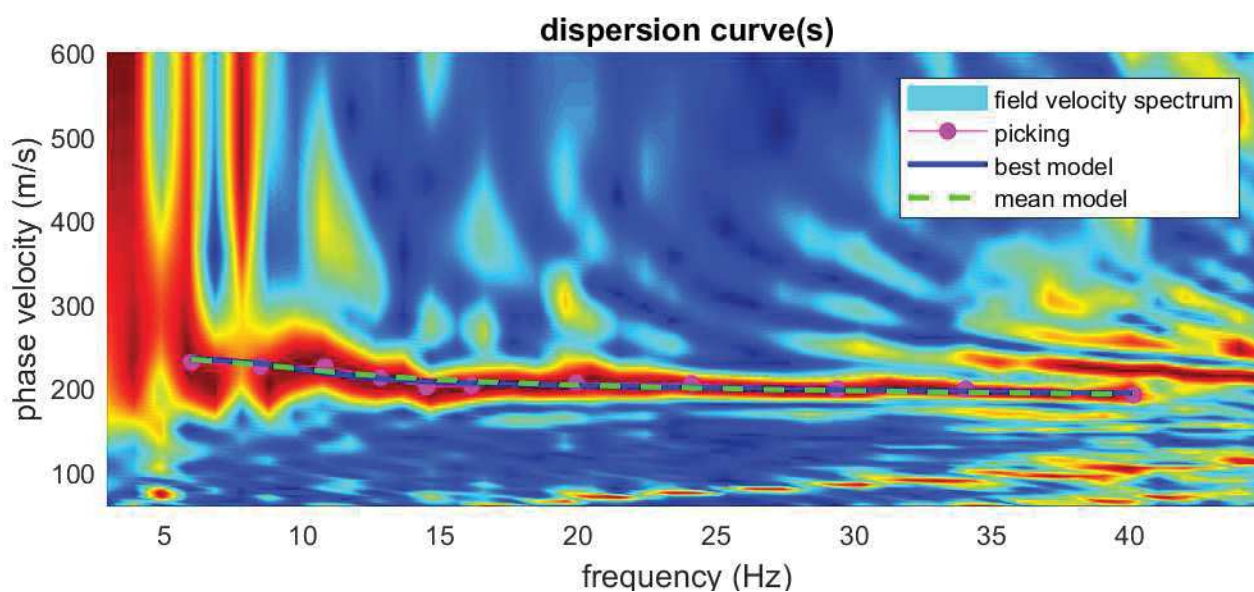


Figura 2: Spettro velocità di fase e curva di dispersione prova "Masw"

1.3 PROVA RE.MI.

1.3.1 Cenni metodologici

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 VS. 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, ma soprattutto 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 100m.

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.

1.3.2 Modalità di intervento

E' stato acquisito lo stesso profilo della prova "Masw", costituito da uno stendimento di 17 geofoni equispaziati di 5 m; sono stati raccolti oltre 15 records di lunghezza di 30 sec. con campionamento ogni 2ms.

1.3.3 Elaborazione dati

Il software di elaborazione utilizzato è il **winMASW Academy** prodotto dalla **EliaSoft**.

Come già accennato, l'approccio utilizzato prevede l'elaborazione "congiunta" delle prove ReMi e Masw. In una prima fase è stata eseguita un'analisi spettrale dei sismogrammi della prova **ReMi**.

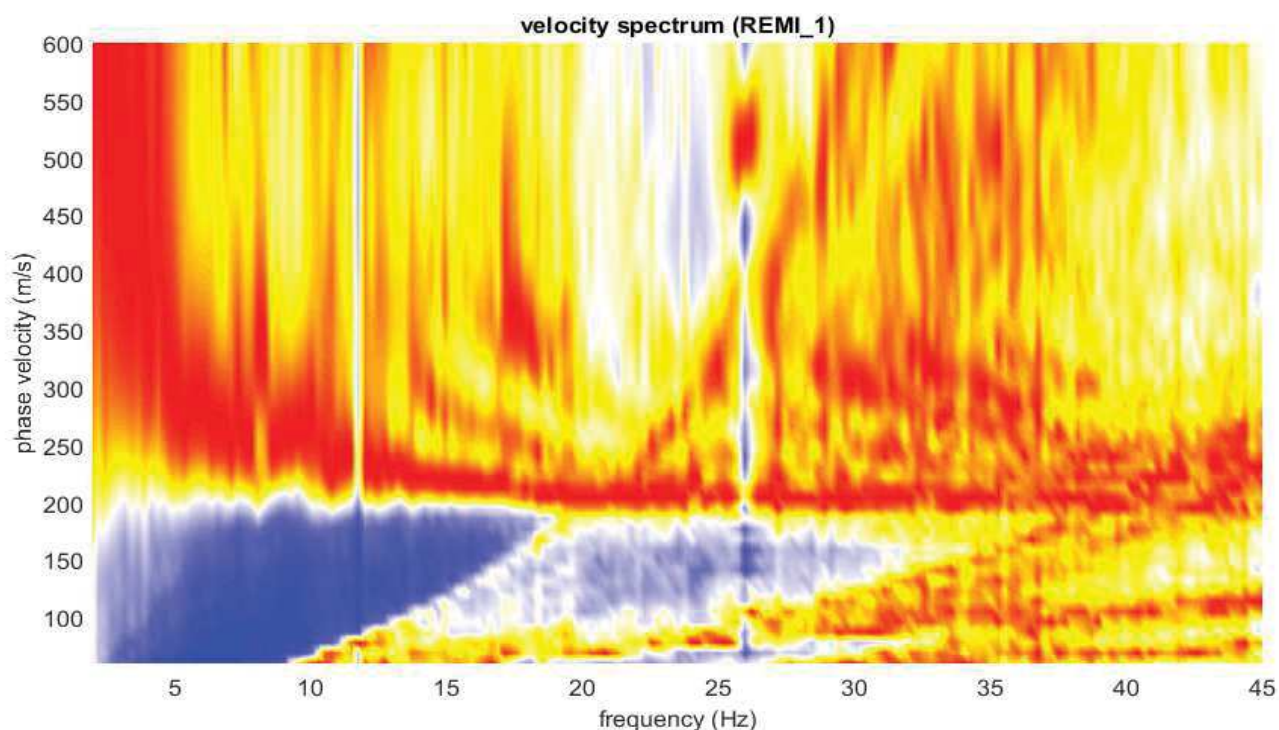


Figura 3: Analisi spettrale della prova "Re.Mi."

In seguito sono stati "combinati" gli spettri derivati dalla prova "Masw" e da quella "Re.Mi." in modo da ottenere uno spettro di velocità "congiunto".

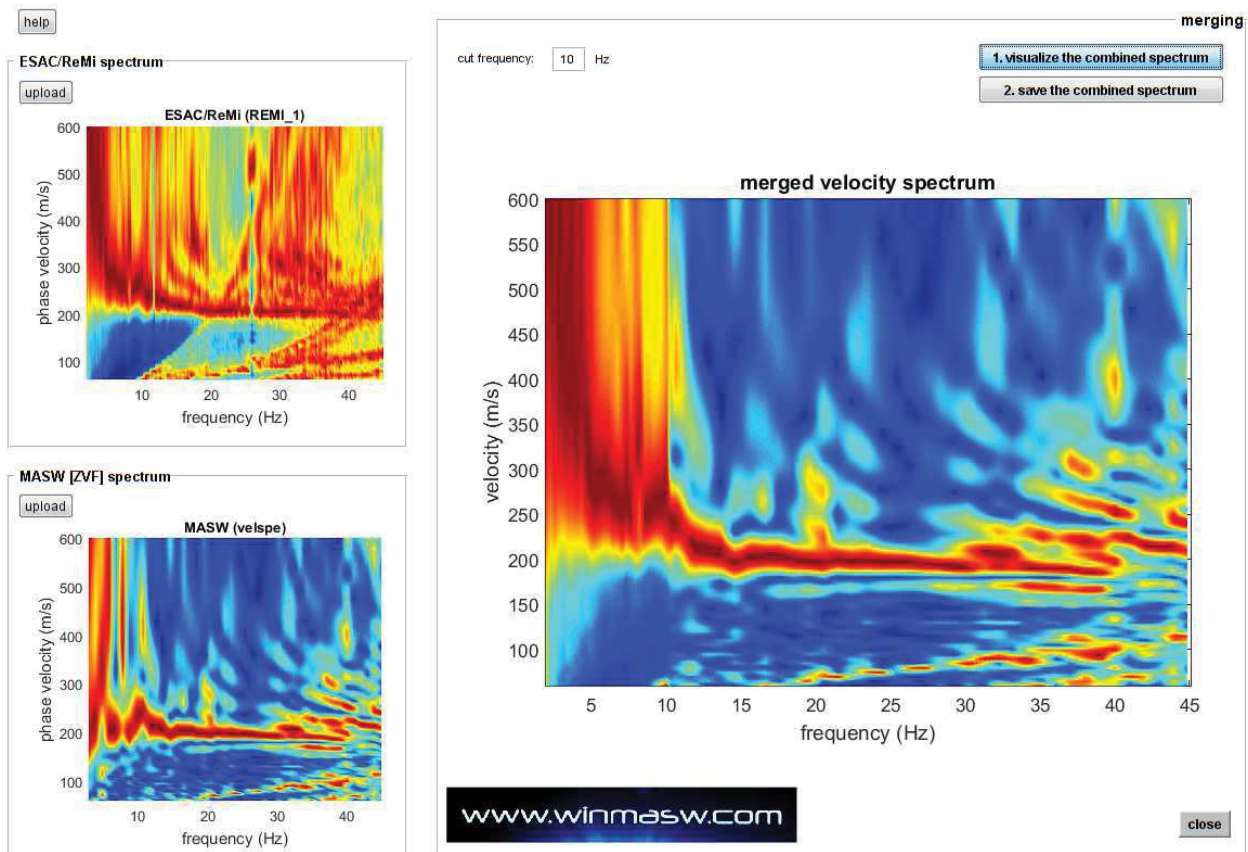


Figura 4: “Combinazione” degli spettri di velocità derivati dalle prove attive e passive

Infine è stata estrapolata la curva di dispersione congiunta Masw-Remi che ha consentito di ricavare il profilo di velocità V_s del sito.

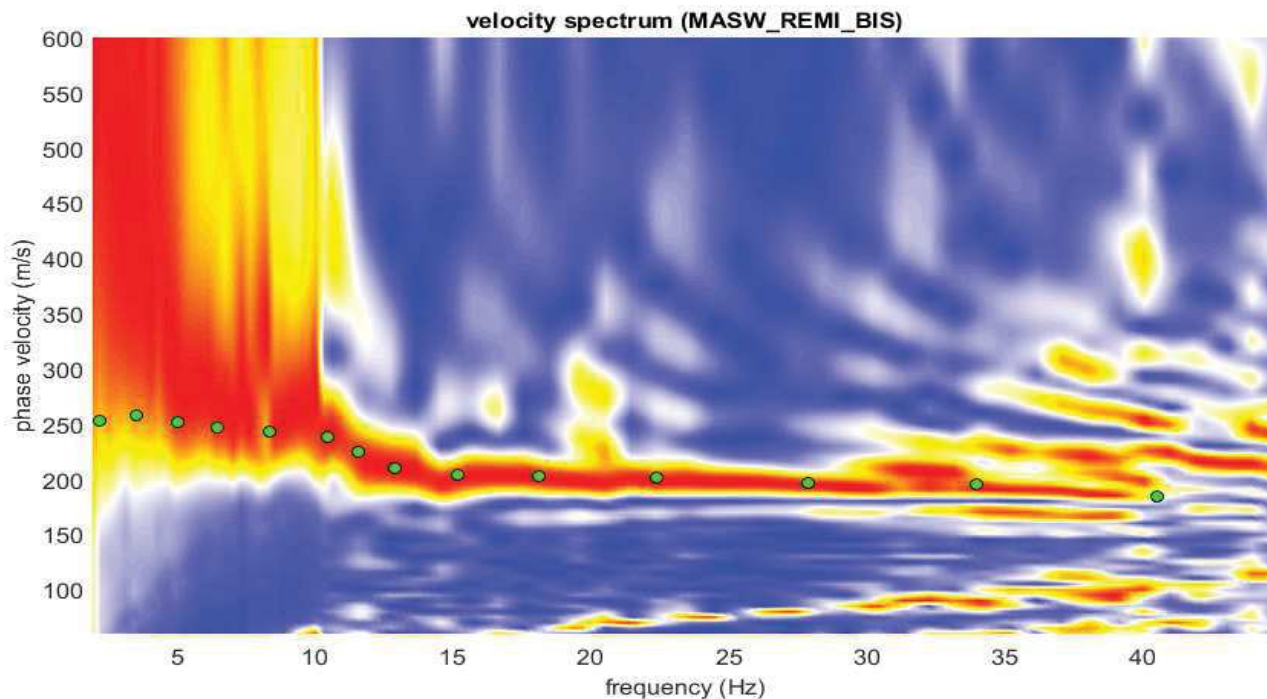


Figura 5: Curva di dispersione “effettiva” derivata dallo spettro di velocità combinato

1.4 ANALISI DEI RISULTATI

I dati sismici acquisiti ed elaborati hanno consentito di determinare il profilo di velocità delle onde "S" del sito.

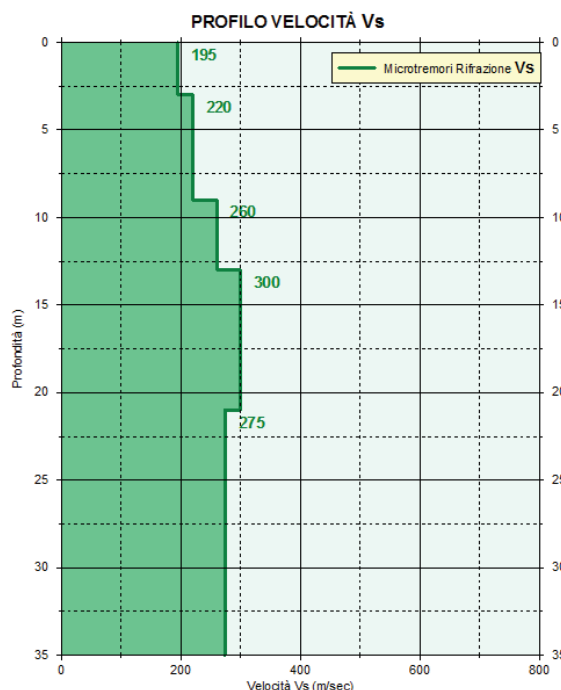


Figura 6: Profilo di velocità del sito

Esaminando i risultati delle prove si possono fare le seguenti considerazioni:

- ✓ Lo spessore del materiale di copertura con $V_s = 200$ m/s è di circa m. 3,00;
- ✓ Fra m. 3,00 e m. 8,00÷9,00 le velocità aumentano leggermente collocandosi sui $V_s = 220$ m/s;
- ✓ Fra i m. 8,00÷9,00 e m. 21,00÷22,00 si ha un ulteriore aumento di velocità con valori di $V_s = 260-300$ m/s;
- ✓ Oltre i m. 21,00÷22,00 si registra una leggera riduzione di velocità.

1.5 CLASSIFICAZIONE DEL SOTTOSUOLO DI FONDAZIONE

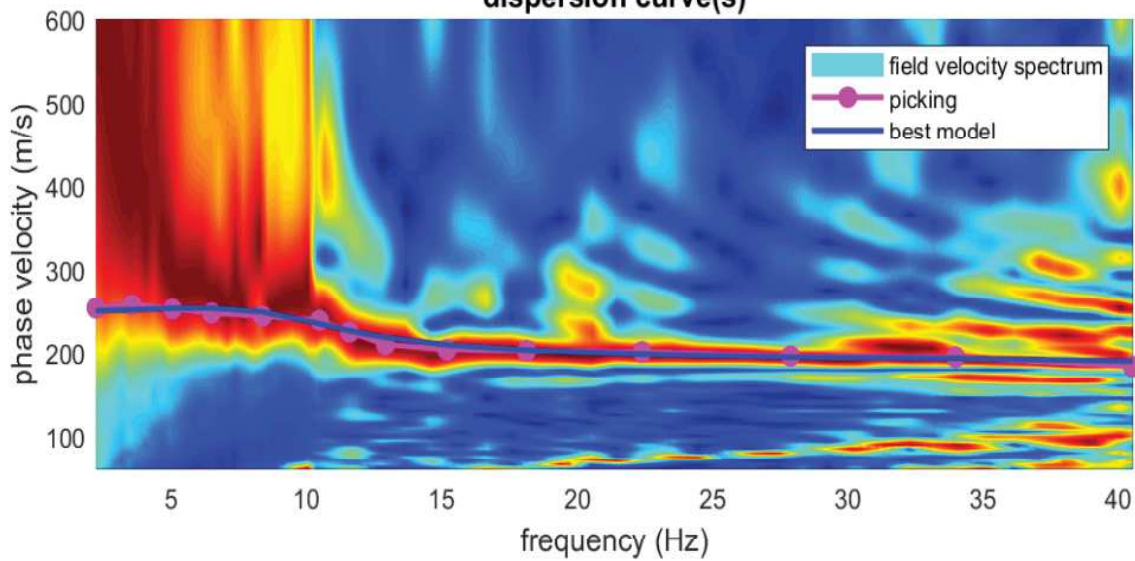
Poiché la norma stabilisce che la classificazione deve riguardare i terreni al di sotto delle fondazioni, in funzione del piano di posa delle fondazioni stesse, la V_{s30} varia secondo la seguente tabella:

Quota piano di fondazione	Intervallo dal p.c.	VSH	Categoria di sottosuolo
0 m	0/-30 m	255 m/sec	C
-1 m	-1/-31 m	259 m/sec	C
-2 m	-2/-32 m	262 m/sec	C
-3 m	-3/-33 m	266 m/sec	C
-4 m	-4/-34 m	268 m/sec	C
-5 m	-5/-35 m	270 m/sec	C

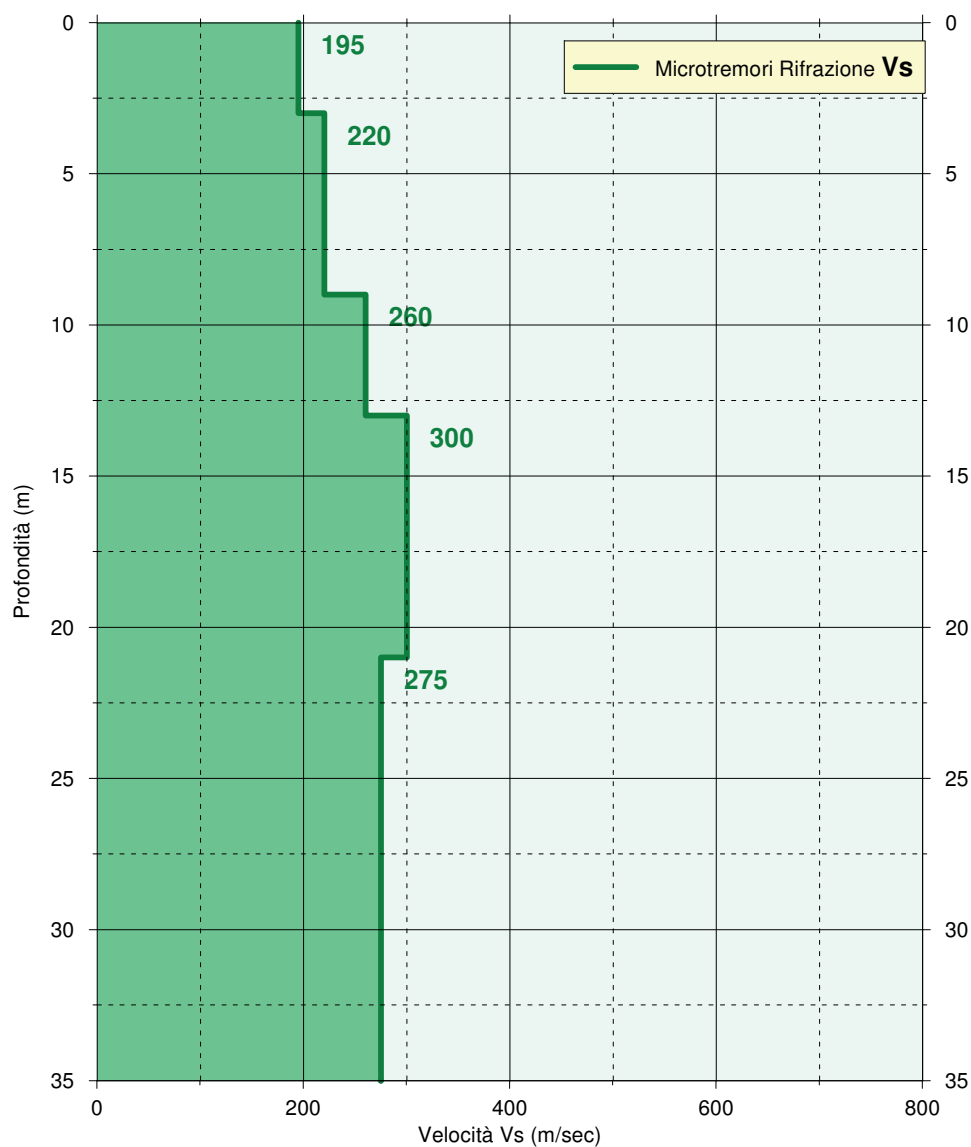
Tabella 1

Loc. CREMONA - Piazza delle Tranvie
METODO CONGIUNTO MASW-REMI

Spettro velocità di fase - curva dispersione
dispersion curve(s)



PROFILO VELOCITÀ Vs



VsH (0-30 m) = 255 m/s

Suolo di fondazione tipo "C"

Dott. Roberto Mariotti – *Geologo Specialista*
Corso Garibaldi, 95 – 26100 Cremona (CR)
e-mail: drmariotti.roberto@libero.it

tel/fax: 0372-23266
cell: 335-6958159
pec: mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it

ALLEGATO 5

RISULTATI GRAFICI E TABULATI INDAGINI SISMICHE HVSR

CREMONA – Piazza della Tranvie – Prova HVSR_1

Strumento: TEP-0122/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 06/09/18 08:47:29 Fine registrazione: 06/09/18 09:07:29

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

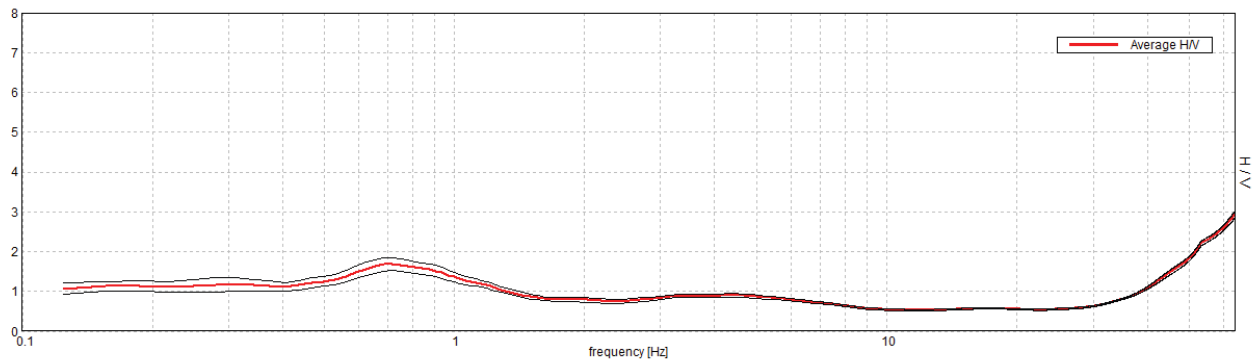
Lunghezza finestre: 25 s

Tipo di lisciamento: Triangularwindow

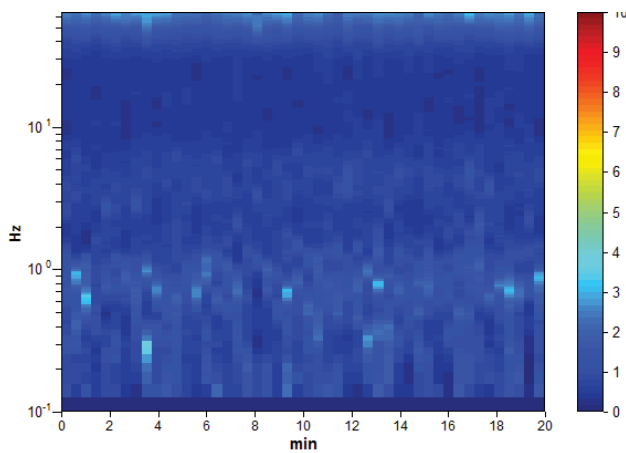
Lisciamento: 20%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

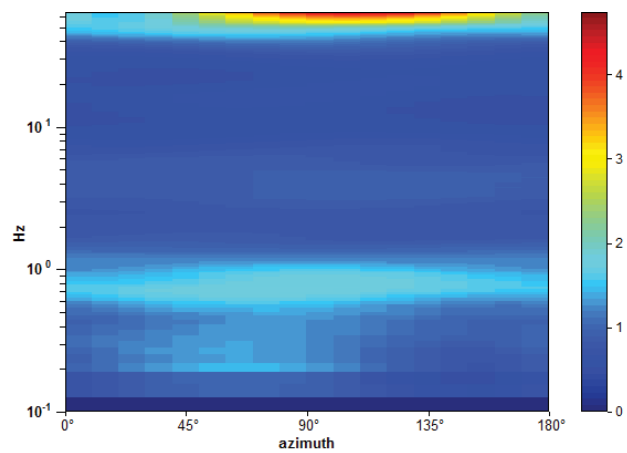
Max. H/V at 0.72 ± 0.09 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



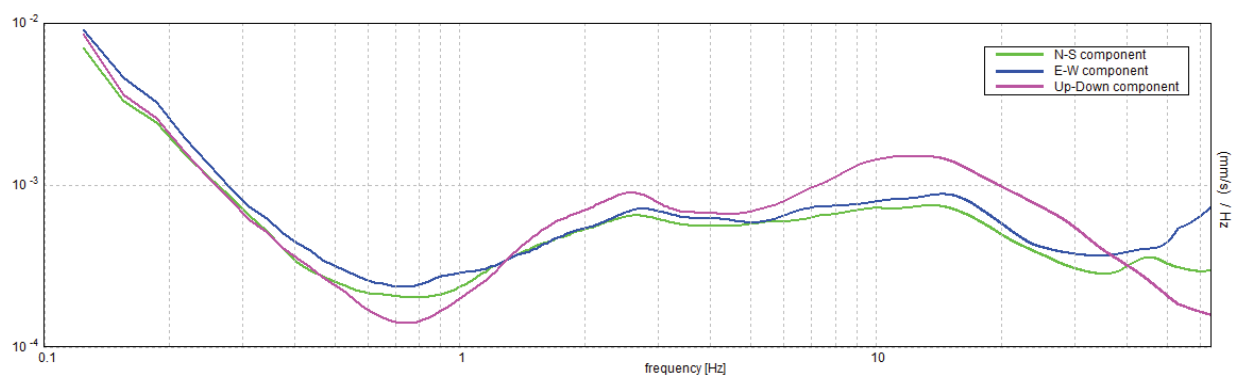
SERIE TEMPORALE H/V



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 0.72 ± 0.09 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.72 > 0.40$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$862.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 36	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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.563 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.68 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.12907 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.09277 < 0.10781$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1648 < 2.0$	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

CREMONA – Piazza della Tranvie – Prova HVSR_2

Strumento: TEP-0122/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 06/09/18 09:12:35 Fine registrazione: 06/09/18 09:32:35

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

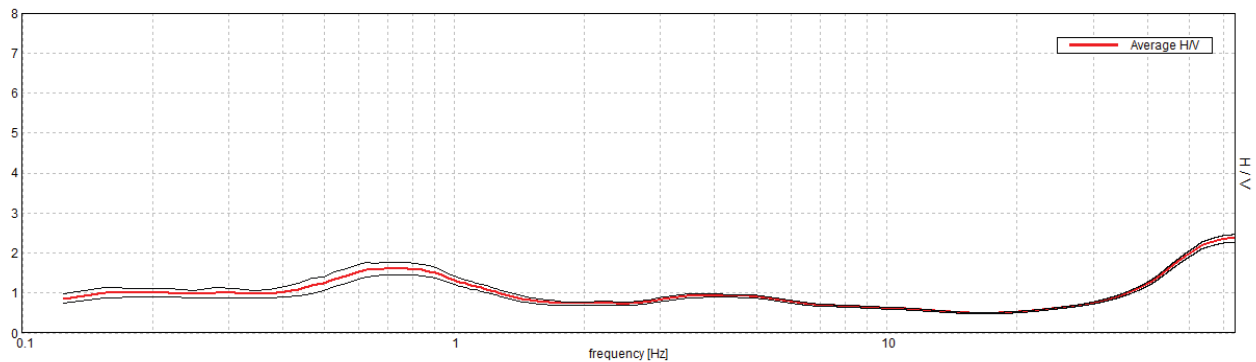
Lunghezza finestre: 25 s

Tipo di lisciamento: Triangularwindow

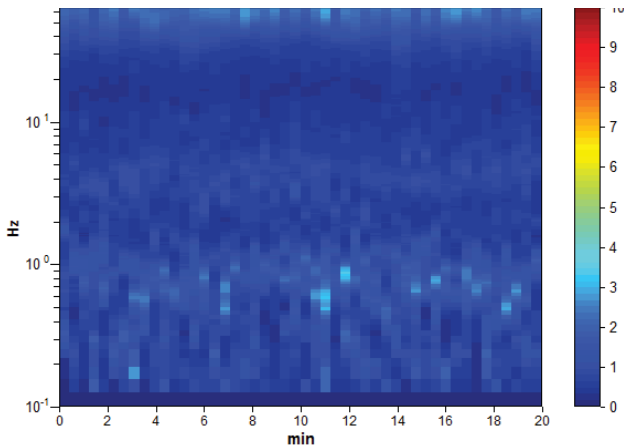
Lisciamento: 20%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

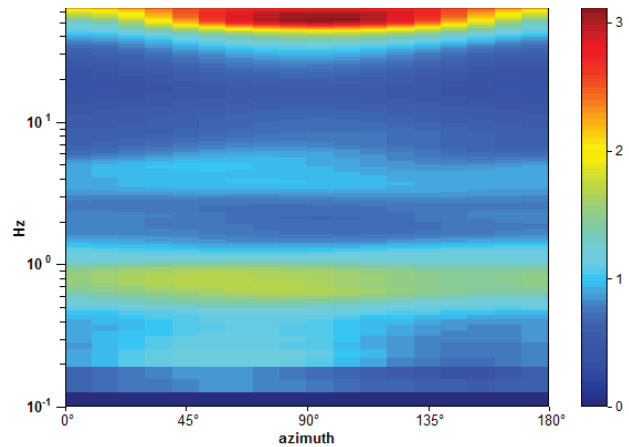
Max. H/V at 0.78 ± 0.12 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



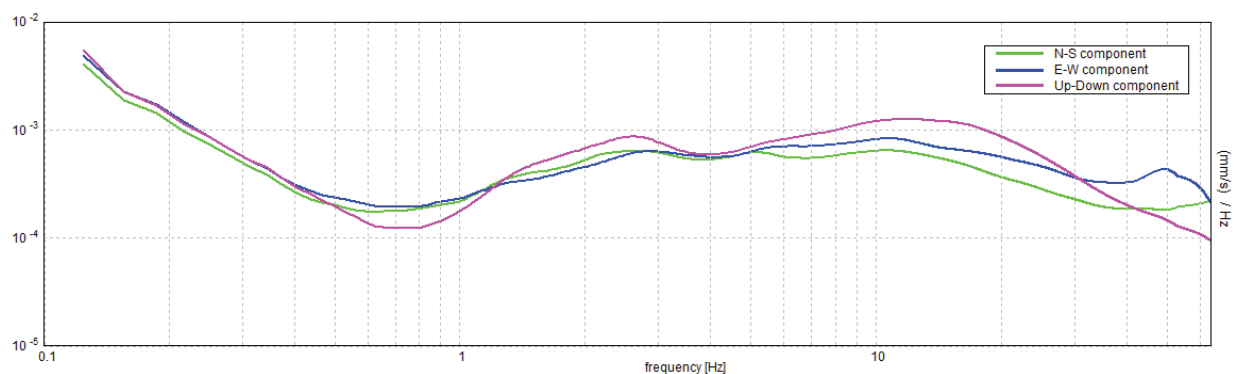
SERIE TEMPORALE H/V



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 0.78 ± 0.12 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.78 > 0.40$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$937.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 38	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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.531 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.62 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.15351 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.11993 < 0.11719$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.156 < 2.0$	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

CREMONA – Piazza della Tranvie – Prova HVSR_3

Strumento: TEP-0122/01-10

Formato dati: 16 byte

Fondo scala [mV]: n.a.

Inizio registrazione: 06/09/18 09:39:13 Fine registrazione: 06/09/18 09:59:13

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Durata registrazione: 0h20'00".

Analisi effettuata sull'intera traccia.

Freq. campionamento: 128 Hz

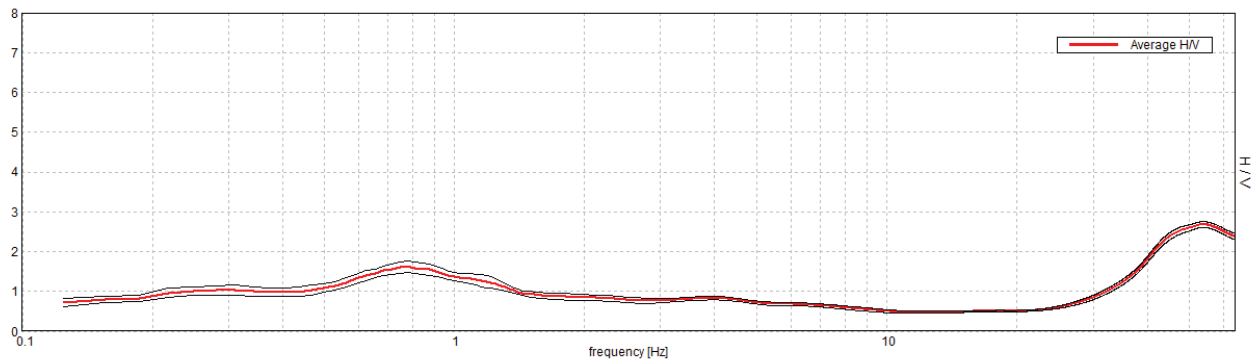
Lunghezza finestre: 25 s

Tipo di lisciamento: Triangularwindow

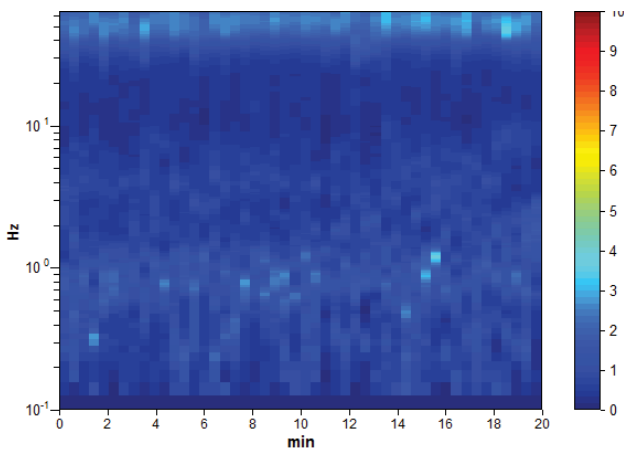
Lisciamento: 20%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

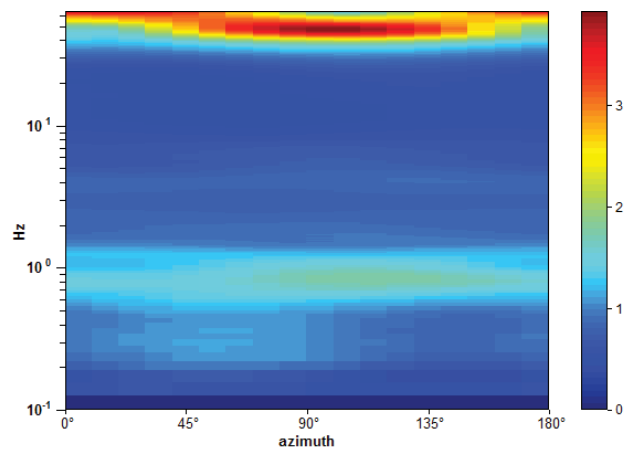
Max. H/V at 0.78 ± 0.07 Hz. (In the range 0.0 - 20.0 Hz).



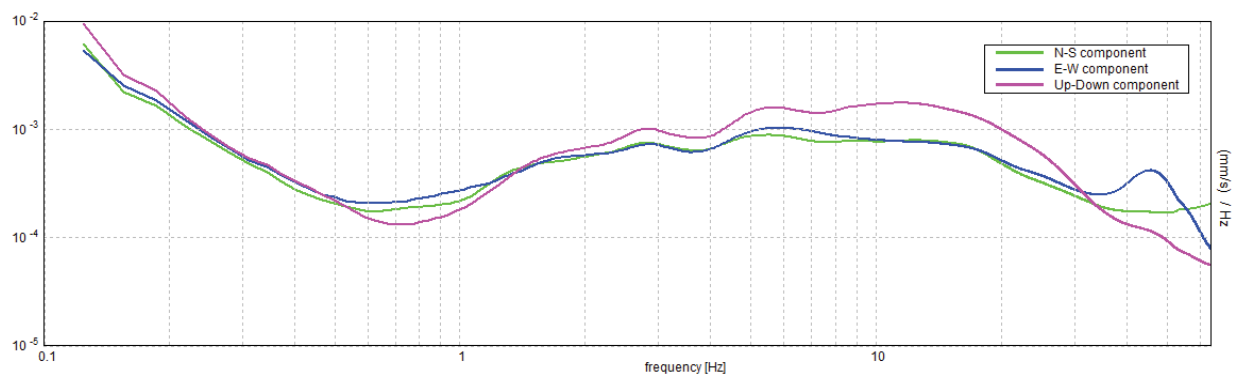
SERIE TEMPORALE H/V



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 0.78 ± 0.07 Hz (nell'intervallo 0.0 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.78 > 0.40$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$937.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 38	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 $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.375 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$1.63 > 2$		NO
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.09055 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.07075 < 0.11719$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.1467 < 2.0$	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

Dott. Roberto Mariotti – *Geologo Specialista*
Corso Garibaldi, 95 – 26100 Cremona (CR)
e-mail: drmariotti.roberto@libero.it

tel/fax: 0372-23266
cell: 335-6958159
pec: mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it

ALLEGATO 6

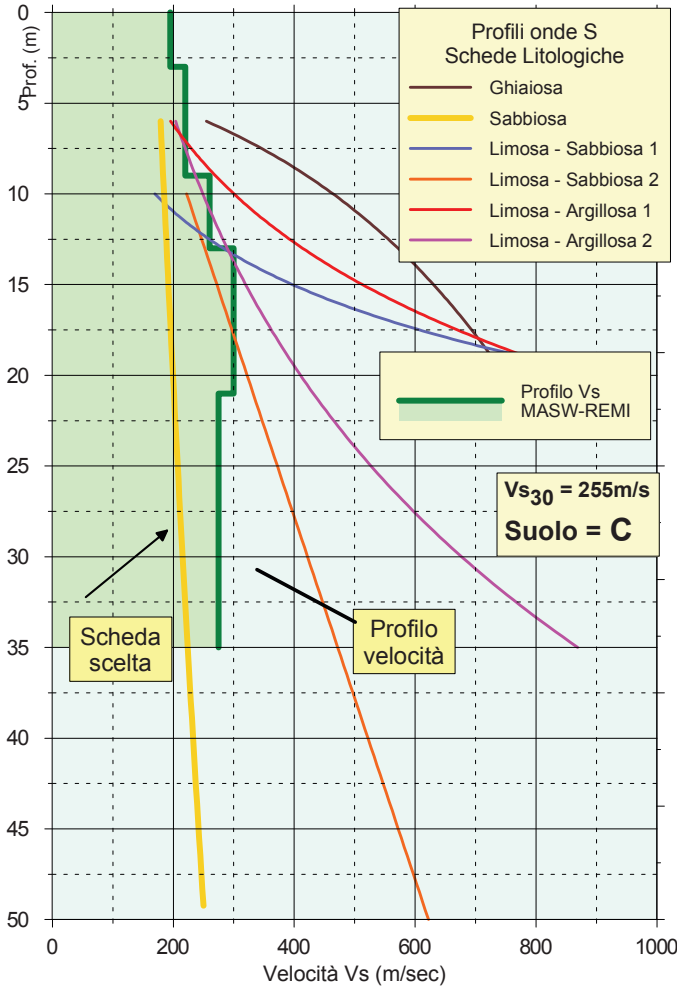
APPROFONDIMENTO SISMICO DI 2° LIVELLO

CREMONA (CR) - Piazza delle Tranvie

Approfondimento sismico di 2° Livello

SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

**CONFRONTO TRA VELOCITÀ Vs DEL SITO
E PROFILI VELOCITÀ SCHEDE LITOLOGICHE**



**SCHEDA DI VALUTAZIONE PER LA SCELTA
DELLA CURVA DI AMPLIFICAZIONE**
(In funzione della profondità e velocità Vs dello strato superficiale)

Velocità primo strato (m/s)	Profondità primo strato (m)																					
	1-3	4	5-12	13	14	15	16	17	18	20	25	30	40	50	60	70	90	110	130	140	160	180
200	3	2	1-2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
250	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
300	2	1-2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
350	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
400	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
450	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
500	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
600	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
700	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3

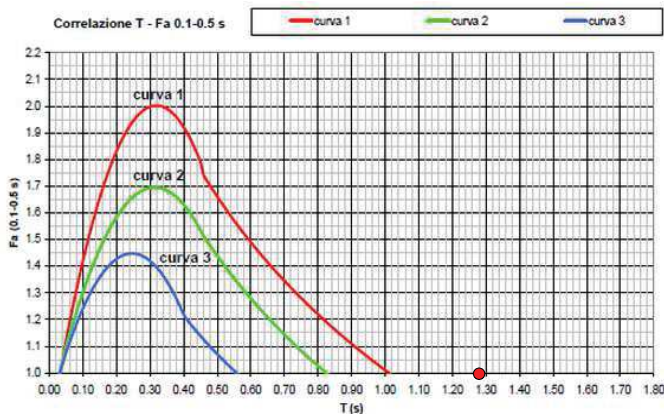
Correlazione T- Fa periodo 0.1-0.5 s

Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	$0.03 \leq T \leq 0.50$	$0.50 < T \leq 1.00$	$T > 1.00$
2	$Fa_{0.1-0.5} = -12.21 T^2 + 7.79 T + 0.76$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	$0.03 \leq T \leq 0.45$	$0.45 < T \leq 0.80$	$T > 0.80$
	$Fa_{0.1-0.5} = -8.65 T^2 + 5.44 T + 0.84$	$Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
	$0.03 \leq T \leq 0.40$	$0.50 < T \leq 0.55$	$T > 0.55$
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.68 T^2 + 4.77 T + 0.86$	$Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65 \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Correlazione T- Fa periodo 0.5-1.5 s

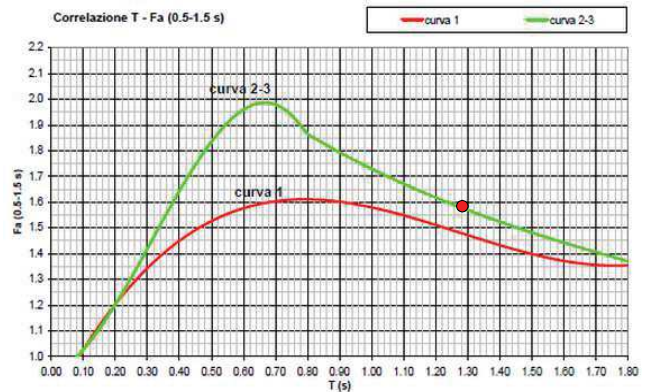
Curva	
1	$0.08 \leq T \leq 1.80$
	$Fa_{0.5-1.5} = 0.57 T^3 - 2.18 T^2 + 2.38 T + 0.81$
2	$0.08 \leq T < 0.80$
3	$0.80 \leq T \leq 1.80$
	$Fa_{0.5-1.5} = -6.11 T^3 + 5.79 T^2 + 0.44 T + 0.93$
	$Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61 \ln T$

Correlazione T- Fa periodo 0.1 - 0.5 s



F.A. Valore calcolato: 1.0 < Valore soglia: 1.8

Correlazione T- Fa periodo 0.5 - 1.5 s



F.A. Valore calcolato: 1.6 < Valore soglia: 2.4

Dott. Roberto Mariotti – *Geologo Specialista*
Corso Garibaldi, 95 – 26100 Cremona (CR)
e-mail: drmariotti.roberto@libero.it

tel/fax: 0372-23266
cell: 335-6958159
pec: mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it

ALLEGATO 7

VERIFICA DELLA LIQUEFAZIONE DEI TERRENI IN CONDIZIONI SISMICHE

LIQUEFACTION ANALYSIS REPORT

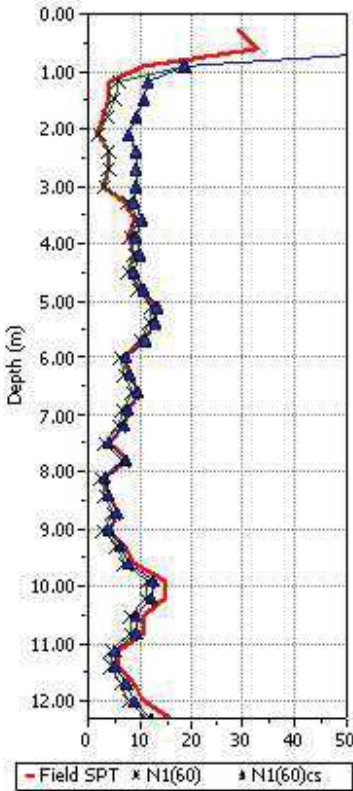
Project title : Piazza delle Tranvie - Cremona (CR)

Project subtitle : SPT1

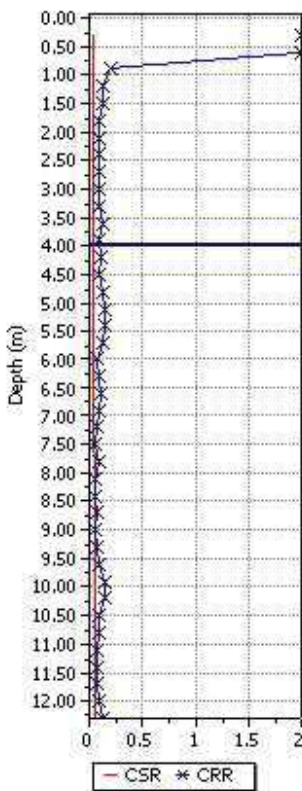
Input parameters and analysis data

In-situ data type:	Standard Penetration Test	Depth to water table:	4.00 m
Analysis type:	Deterministic	Earthquake magnitude M_w :	6.14
Analysis method:	Eurocode 8	Peak ground acceleration:	0.12 g
Fines correction method:	Idriss & Seed	User defined F.S.:	1.00

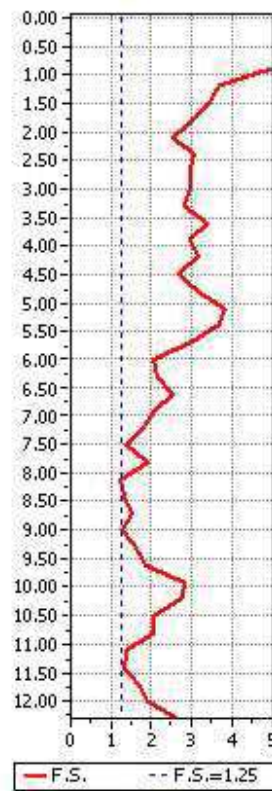
SPT data graph



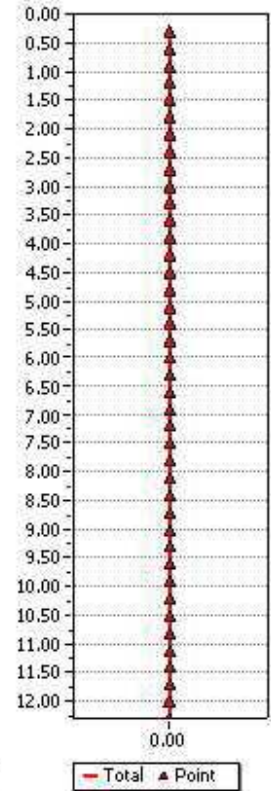
Shear stress ratio



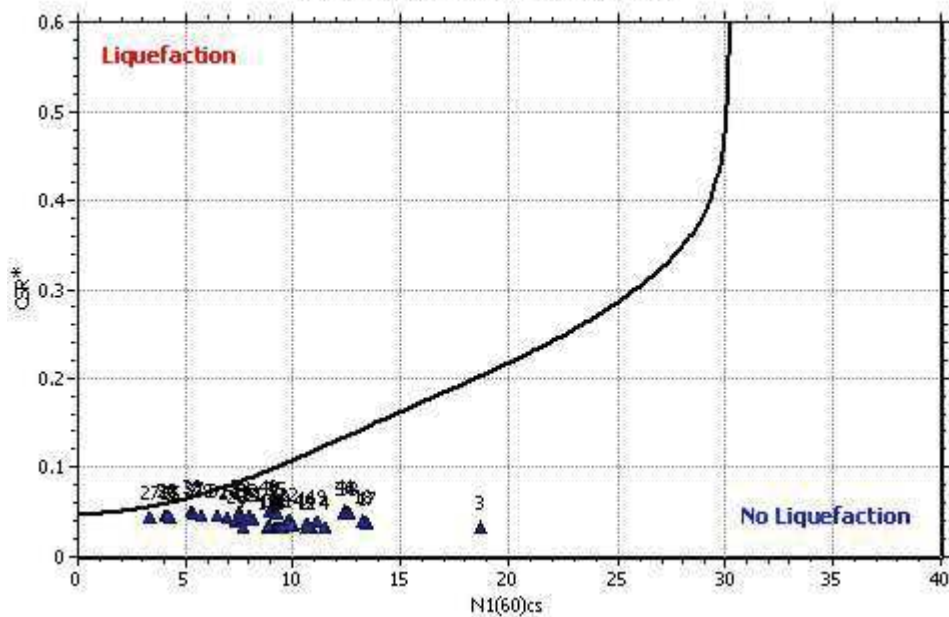
Factor of safety



Settlements (mm)



$M_w=7^{1/2}$, $\sigma_v=1$ atm base curve



Relazione geologica e sismica a supporto del progetto di realizzazione di un parcheggio interrato in Piazza delle Tranvie in Comune di Cremona (CR)

Dott. Roberto Mariotti – *Geologo Specialista*
Corso Garibaldi, 95 – 26100 Cremona (CR)
e-mail: drmariotti.roberto@libero.it

tel/fax: 0372-23266
cell: 335-6958159
pec: mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it

ALLEGATO 8

DIAGRAMMI, TABULATI ED ELABORAZIONI DELLE INDAGINI PENETROMETRICHE

PENETROMETRO DINAMICO IN USO : **TG 63-100 M-A.C**

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

CARATTERISTICHE TECNICHE : TG 63-100 M-A.C

PESO MASSA BATTENTE	M = 73,00 kg
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H = 0,75 m
PESO SISTEMA BATTUTA	Ms = 0,63 kg
DIAMETRO PUNTA CONICA	D = 51,00 mm
AREA BASE PUNTA CONICA	A = 20,43 cm ²
ANGOLO APERTURA PUNTA	$\alpha = 60^\circ$
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La = 0,80 m
PESO ASTE PER METRO	Ma = 6,31 kg
PROF. GIUNZIONE 1 ^a ASTA	P1 = 0,30 m
AVANZAMENTO PUNTA	$\delta = 0,30$ m
NUMERO DI COLPI PUNTA	N = N(30) \Rightarrow Relativo ad un avanzamento di 30 cm
RIVESTIMENTO / FANGHI	NO
ENERGIA SPECIFICA x COLPO	Q = (MH)/(A δ) = 8,93 kg/cm ² (prova SPT : Qspt = 7.83 kg/cm ²)
COEFF.TEORICO DI ENERGIA	$\beta_t = Q/Q_{spt} = 1,141$ (teoricamente : Nspt = β_t N)

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

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

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

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

UNITA' di MISURA (conversioni)

1 kg/cm² = 0.098067 MPa
1 MPa = 1 MN/m² = 10.197 kg/cm²
1 bar = 1.0197 kg/cm² = 0.1 MPa
1 kN = 0.001 MN = 101.97 kg

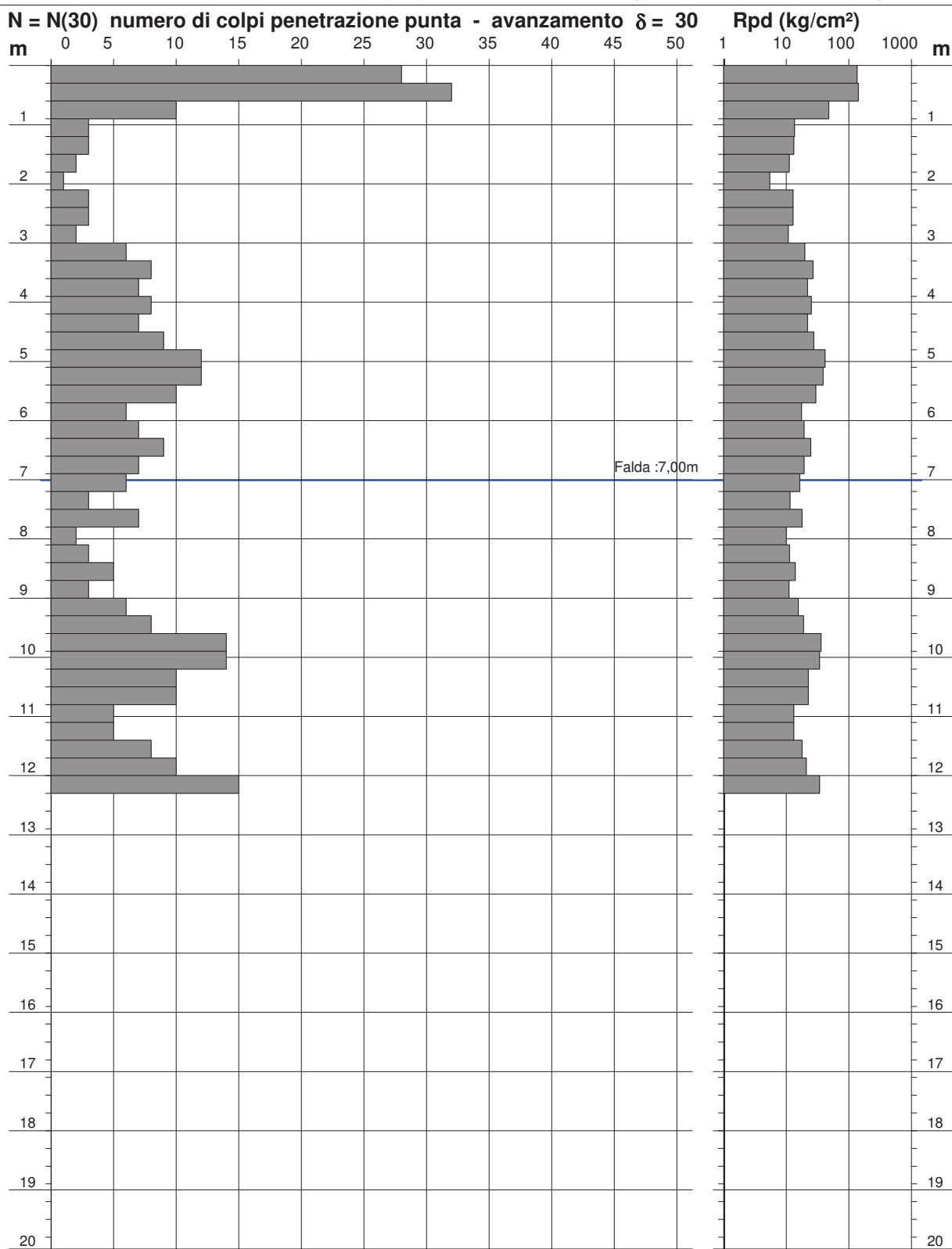
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 1

Scala 1: 100

- indagine : Dott. Roberto Mariotti
- cantiere :
- località : Piazza delle Tranvie - Cremona (CR)

- data : 05/09/2018
- quota inizio :
- prof. falda : 7,00 m da quota inizio



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 M-A.C**

- M (massa battente)= **73,00 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(30) [$\delta = 30$ cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 1

- indagine : Dott. Roberto Mariotti
 - cantiere :
 - località : Piazza delle Tranvie - Cremona (CR)
 - note :

- data : 05/09/2018
 - quota inizio :
 - prof. falda : 7,00 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,30	28	232,1	----	1	6,30 - 6,60	9	49,3	----	9
0,30 - 0,60	32	249,2	----	2	6,60 - 6,90	7	38,3	----	9
0,60 - 0,90	10	77,9	----	2	6,90 - 7,20	6	31,5	----	10
0,90 - 1,20	3	23,4	----	2	7,20 - 7,50	3	15,8	----	10
1,20 - 1,50	3	22,0	----	3	7,50 - 7,80	7	35,3	----	11
1,50 - 1,80	2	14,7	----	3	7,80 - 8,10	2	10,1	----	11
1,80 - 2,10	1	7,3	----	3	8,10 - 8,40	3	15,1	----	11
2,10 - 2,40	3	20,9	----	4	8,40 - 8,70	5	24,3	----	12
2,40 - 2,70	3	20,9	----	4	8,70 - 9,00	3	14,6	----	12
2,70 - 3,00	2	13,2	----	5	9,00 - 9,30	6	29,2	----	12
3,00 - 3,30	6	39,6	----	5	9,30 - 9,60	8	37,5	----	13
3,30 - 3,60	8	52,8	----	5	9,60 - 9,90	14	65,6	----	13
3,60 - 3,90	7	43,9	----	6	9,90 - 10,20	14	63,3	----	14
3,90 - 4,20	8	50,2	----	6	10,20 - 10,50	10	45,2	----	14
4,20 - 4,50	7	43,9	----	6	10,50 - 10,80	10	45,2	----	14
4,50 - 4,80	9	53,9	----	7	10,80 - 11,10	5	21,8	----	15
4,80 - 5,10	12	71,8	----	7	11,10 - 11,40	5	21,8	----	15
5,10 - 5,40	12	68,6	----	8	11,40 - 11,70	8	34,9	----	15
5,40 - 5,70	10	57,2	----	8	11,70 - 12,00	10	42,2	----	16
5,70 - 6,00	6	34,3	----	8	12,00 - 12,30	15	63,4	----	16
6,00 - 6,30	7	38,3	----	9					

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 M-A.C**

- M (massa battente)= **73,00** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [δ = 30 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

n° 1

- indagine : Dott. Roberto Mariotti
- cantiere :
- località : Piazza delle Tranvie - Cremona (CR)
- note :

- data : 05/09/2018
- quota inizio :
- prof. falda : 7,00 m da quota inizio
- pagina : 1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	β	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\min)$	s	M-s				M+s
1	0,00	0,90	N	23,3	10	32	16,7	----	----	----	23	1,14	26
			Rpd	186,4	78	249	132,1	----	----	----	184		
2	0,90	3,00	N	2,4	1	3	1,7	----	1,6	3,2	2	1,14	2
			Rpd	17,5	7	23	12,4	5,9	11,6	23,4	15		
3	3,00	7,20	N	8,1	6	12	7,1	2,0	6,1	10,2	8	1,14	9
			Rpd	48,1	32	72	39,8	12,1	36,1	60,2	48		
4	7,20	9,00	N	3,8	2	7	2,9	1,8	2,0	5,7	4	1,14	5
			Rpd	19,2	10	35	14,7	9,2	10,0	28,4	20		
5	9,00	12,30	N	9,5	5	15	7,3	3,6	6,0	13,1	10	1,14	11
			Rpd	42,7	22	66	32,3	15,9	26,8	58,6	45		

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio

N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 30$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)

β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,14$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.90	Materiali inerti	26	59.0	35.0	392	2.03	1.65	----	----	----	----
2	0.90	3.00	Limo Sabbioso	2	7.5	27.0	207	1.85	1.36	0.60	1.75	47	1.267
3	3.00	7.20	Sabbia debolmente Limosa	9	31.7	31.0	261	1.92	1.48	----	----	----	----
4	7.20	9.00	Sabbia Limosa	5	18.3	29.0	230	1.88	1.41	----	----	----	----
5	9.00	12.30	Sabbia	11	36.5	32.0	276	1.94	1.51	----	----	----	----

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

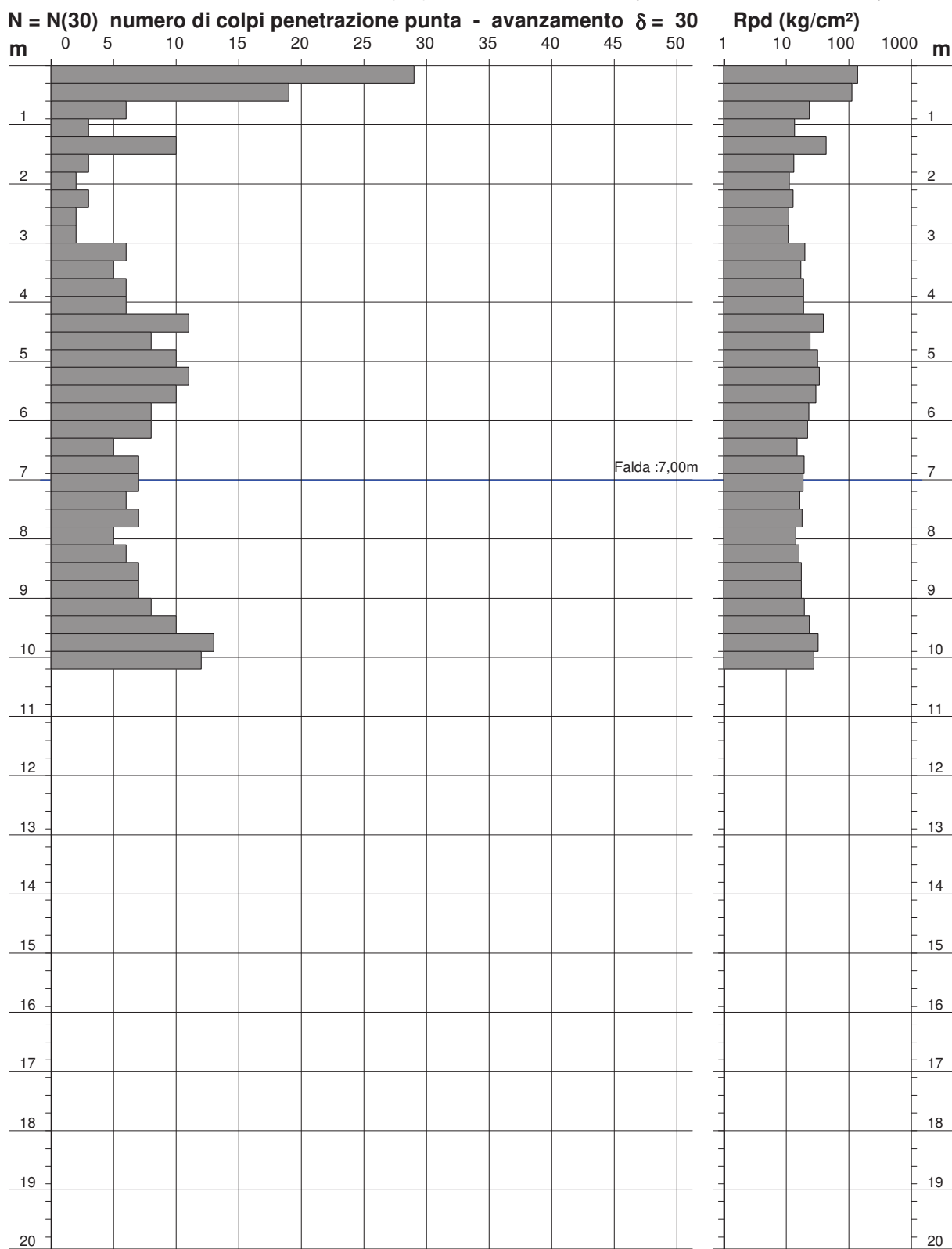
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 2

Scala 1: 100

- indagine : Dott. Roberto Mariotti
 - cantiere :
 - località : Piazza delle Tranvie - Cremona (CR)

- data : 05/09/2018
 - quota inizio :
 - prof. falda : 7,00 m da quota inizio



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 M-A.C**

- M (massa battente)= **73,00 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(30) [$\delta = 30$ cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 2

- indagine : Dott. Roberto Mariotti
 - cantiere :
 - località : Piazza delle Tranvie - Cremona (CR)
 - note :

- data : 05/09/2018
 - quota inizio :
 - prof. falda : 7,00 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,30	29	240,4	----	1	5,10 - 5,40	11	62,9	----	8
0,30 - 0,60	19	148,0	----	2	5,40 - 5,70	10	57,2	----	8
0,60 - 0,90	6	46,7	----	2	5,70 - 6,00	8	45,8	----	8
0,90 - 1,20	3	23,4	----	2	6,00 - 6,30	8	43,8	----	9
1,20 - 1,50	10	73,5	----	3	6,30 - 6,60	5	27,4	----	9
1,50 - 1,80	3	22,0	----	3	6,60 - 6,90	7	38,3	----	9
1,80 - 2,10	2	14,7	----	3	6,90 - 7,20	7	36,8	----	10
2,10 - 2,40	3	20,9	----	4	7,20 - 7,50	6	31,5	----	10
2,40 - 2,70	2	13,9	----	4	7,50 - 7,80	7	35,3	----	11
2,70 - 3,00	2	13,2	----	5	7,80 - 8,10	5	25,2	----	11
3,00 - 3,30	6	39,6	----	5	8,10 - 8,40	6	30,3	----	11
3,30 - 3,60	5	33,0	----	5	8,40 - 8,70	7	34,0	----	12
3,60 - 3,90	6	37,7	----	6	8,70 - 9,00	7	34,0	----	12
3,90 - 4,20	6	37,7	----	6	9,00 - 9,30	8	38,9	----	12
4,20 - 4,50	11	69,0	----	6	9,30 - 9,60	10	46,8	----	13
4,50 - 4,80	8	47,9	----	7	9,60 - 9,90	13	60,9	----	13
4,80 - 5,10	10	59,8	----	7	9,90 - 10,20	12	54,2	----	14

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 M-A.C**

- M (massa battente)= **73,00** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [δ = 30 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

n° 2

- indagine : Dott. Roberto Mariotti
 - cantiere :
 - località : Piazza delle Tranvie - Cremona (CR)
 - note :

- data : 05/09/2018
 - quota inizio :
 - prof. falda : 7,00 m da quota inizio
 - pagina : 1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	β	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\min)$	s	M-s				M+s
1	0,00	0,90	N	18,0	6	29	12,0	----	----	----	18	1,14	21
			Rpd	145,0	47	240	95,9	----	----	----	145		
2	0,90	3,00	N	3,6	2	10	2,8	2,9	----	6,4	4	1,14	5
			Rpd	25,9	13	74	19,6	21,4	4,6	47,3	29		
3	3,00	6,30	N	8,1	5	11	6,5	2,2	5,9	10,3	8	1,14	9
			Rpd	48,6	33	69	40,8	11,9	36,7	60,5	48		
4	6,30	9,30	N	6,5	5	8	5,8	1,0	5,5	7,5	6	1,14	7
			Rpd	33,2	25	39	29,2	4,5	28,6	37,7	31		
5	9,30	10,20	N	11,7	10	13	10,8	----	----	----	12	1,14	14
			Rpd	54,0	47	61	50,4	----	----	----	55		

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 30$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,14$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.90	Materiali inerti	21	51.5	34.0	353	2.00	1.60	----	----	----	----
2	0.90	3.00	Limo Sabbioso	5	18.3	27.0	230	1.88	1.41	0.60	1.83	39	1.061
3	3.00	6.30	Sabbia debolmente Limosa	9	31.7	31.0	261	1.92	1.48	----	----	----	----
4	6.30	9.30	Sabbia Limosa	7	25.0	30.0	245	1.90	1.45	----	----	----	----
5	9.30	10.20	Sabbia	14	41.0	32.0	299	1.96	1.53	----	----	----	----

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

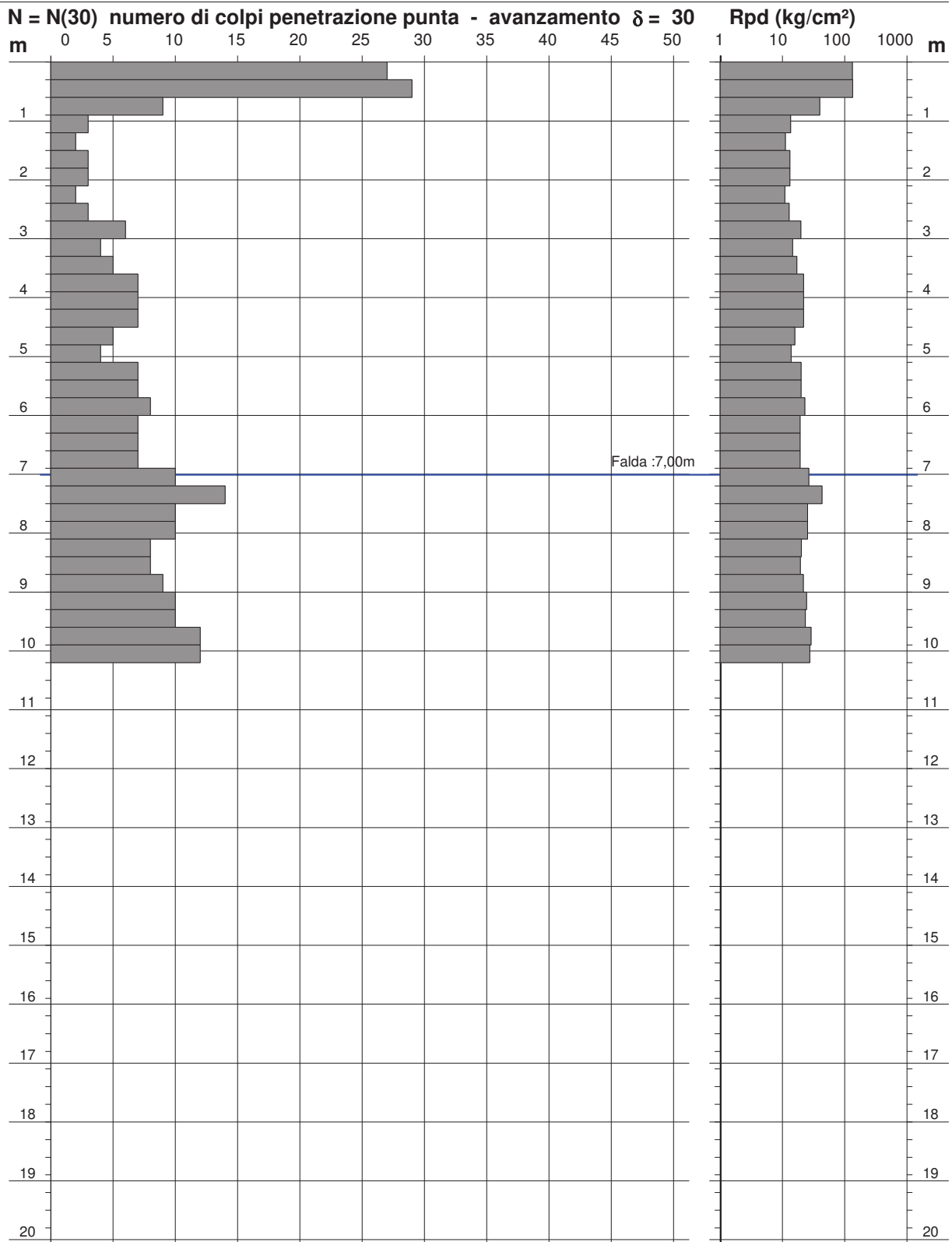
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 3

Scala 1: 100

- indagine : Dott. Roberto Mariotti
- cantiere :
- località : Piazza delle Tranvie - Cremona (CR)

- data : 05/09/2018
- quota inizio :
- prof. falda : 7,00 m da quota inizio



- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 M-A.C**

- M (massa battente)= **73,00 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**

- Numero Colpi Punta N = N(30) [$\delta = 30$ cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 3

- indagine : Dott. Roberto Mariotti
 - cantiere :
 - località : Piazza delle Tranvie - Cremona (CR)
 - note :

- data : 05/09/2018
 - quota inizio :
 - prof. falda : 7,00 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,30	27	223,8	----	1	5,10 - 5,40	7	40,0	----	8
0,30 - 0,60	29	225,9	----	2	5,40 - 5,70	7	40,0	----	8
0,60 - 0,90	9	70,1	----	2	5,70 - 6,00	8	45,8	----	8
0,90 - 1,20	3	23,4	----	2	6,00 - 6,30	7	38,3	----	9
1,20 - 1,50	2	14,7	----	3	6,30 - 6,60	7	38,3	----	9
1,50 - 1,80	3	22,0	----	3	6,60 - 6,90	7	38,3	----	9
1,80 - 2,10	3	22,0	----	3	6,90 - 7,20	10	52,5	----	10
2,10 - 2,40	2	13,9	----	4	7,20 - 7,50	14	73,6	----	10
2,40 - 2,70	3	20,9	----	4	7,50 - 7,80	10	50,5	----	11
2,70 - 3,00	6	39,6	----	5	7,80 - 8,10	10	50,5	----	11
3,00 - 3,30	4	26,4	----	5	8,10 - 8,40	8	40,4	----	11
3,30 - 3,60	5	33,0	----	5	8,40 - 8,70	8	38,9	----	12
3,60 - 3,90	7	43,9	----	6	8,70 - 9,00	9	43,7	----	12
3,90 - 4,20	7	43,9	----	6	9,00 - 9,30	10	48,6	----	12
4,20 - 4,50	7	43,9	----	6	9,30 - 9,60	10	46,8	----	13
4,50 - 4,80	5	29,9	----	7	9,60 - 9,90	12	56,2	----	13
4,80 - 5,10	4	23,9	----	7	9,90 - 10,20	12	54,2	----	14

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 M-A.C**

- M (massa battente)= **73,00** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [δ = 30 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

n° 3

- indagine : Dott. Roberto Mariotti
 - cantiere :
 - località : Piazza delle Tranvie - Cremona (CR)
 - note :

- data : 05/09/2018
 - quota inizio :
 - prof. falda : 7,00 m da quota inizio
 - pagina : 1

n°	Profondità (m)	PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA							VCA	β	Nspt
			M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\min)$	s	M-s	M+s			
1	0,00 0,90	N	21,7	9	29	15,3	----	----	----	22	1,14	25
		Rpd	173,2	70	226	121,7	----	----	----			
2	0,90 2,70	N	2,7	2	3	2,3	----	2,2	3,2	3	1,14	3
		Rpd	19,5	14	23	16,7	4,1	15,4	23,6			
3	2,70 6,90	N	6,3	4	8	5,1	1,3	5,0	7,6	6	1,14	7
		Rpd	37,5	24	46	30,7	6,8	30,8	44,3			
4	6,90 10,20	N	10,3	8	14	9,1	1,8	8,5	12,1	10	1,14	11
		Rpd	50,5	39	74	44,7	9,4	41,1	59,9			

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 30$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,14$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

n°	Prof.(m)	LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
				DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00 0.90	Materiali inerti	25	57.5	35.0	384	2.02	1.64	----	----	----	----
2	0.90 2.70	Limo Sabbioso	3	11.3	27.0	214	1.86	1.38	0.60	1.78	44	1.194
3	2.70 6.90	Sabbia Limosa	7	25.0	30.0	245	1.90	1.45	----	----	----	----
4	6.90 10.20	Sabbia	11	36.5	32.0	276	1.94	1.51	----	----	----	----

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

n° 4

Scala 1: 100

- indagine : Dott. Roberto Mariotti

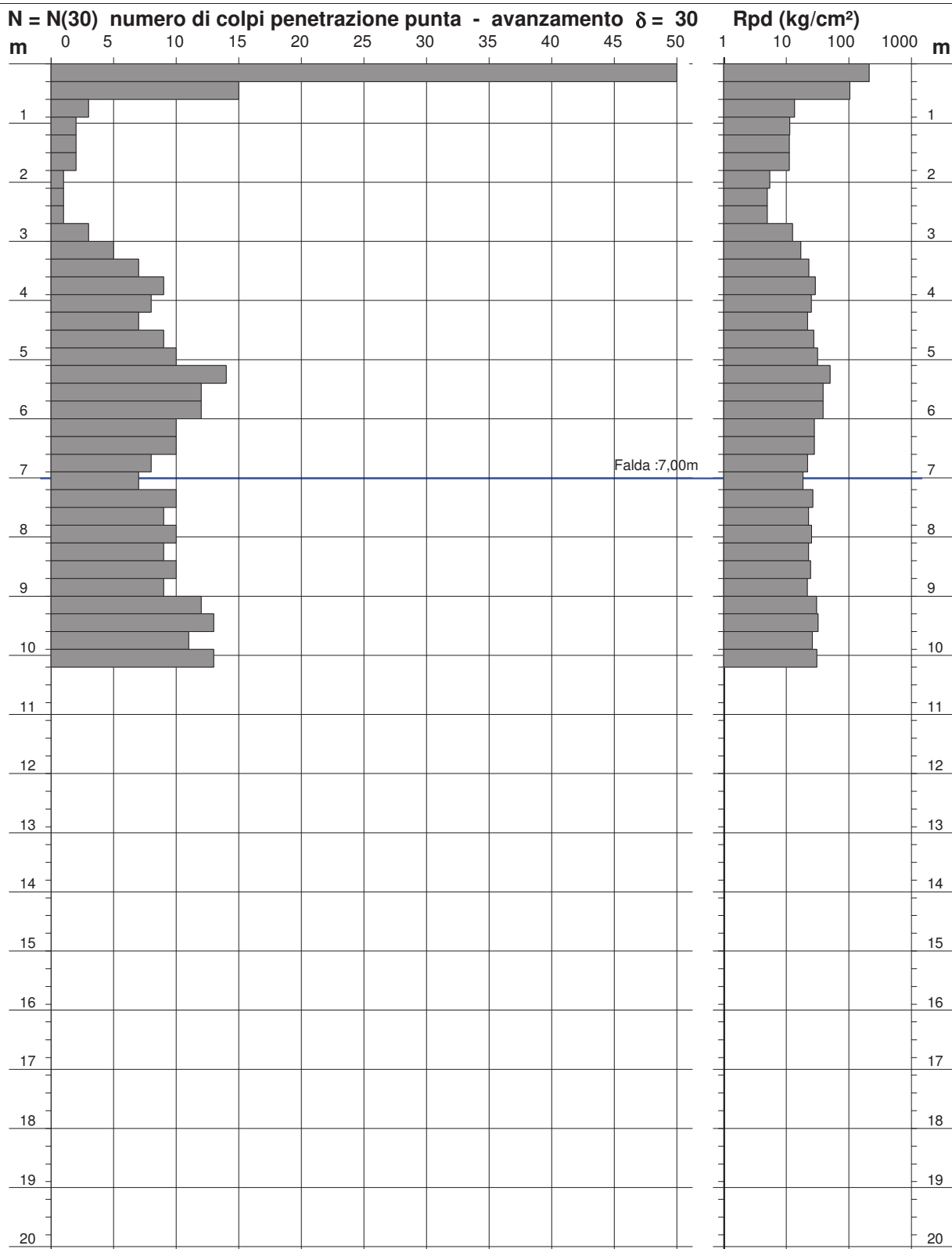
- data : 05/09/2018

- cantiere :

- quota inizio :

- località : Piazza delle Tranvie - Cremona (CR)

- prof. falda : 7,00 m da quota inizio

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 M-A.C**- M (massa battente)= **73,00 kg** - H (altezza caduta)= **0,75 m** - A (area punta)= **20,43 cm²** - D(diam. punta)= **51,00 mm**- Numero Colpi Punta N = N(30) [$\delta = 30$ cm]- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

TABELLE VALORI DI RESISTENZA

n° 4

- indagine : Dott. Roberto Mariotti
 - cantiere :
 - località : Piazza delle Tranvie - Cremona (CR)
 - note :

- data : 05/09/2018
 - quota inizio :
 - prof. falda : 7,00 m da quota inizio
 - pagina : 1

Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta	Prof.(m)	N(colpi p)	Rpd(kg/cm ²)	N(colpi r)	asta
0,00 - 0,30	51	422,7	----	1	5,10 - 5,40	14	80,1	----	8
0,30 - 0,60	15	116,8	----	2	5,40 - 5,70	12	68,6	----	8
0,60 - 0,90	3	23,4	----	2	5,70 - 6,00	12	68,6	----	8
0,90 - 1,20	2	15,6	----	2	6,00 - 6,30	10	54,8	----	9
1,20 - 1,50	2	14,7	----	3	6,30 - 6,60	10	54,8	----	9
1,50 - 1,80	2	14,7	----	3	6,60 - 6,90	8	43,8	----	9
1,80 - 2,10	1	7,3	----	3	6,90 - 7,20	7	36,8	----	10
2,10 - 2,40	1	7,0	----	4	7,20 - 7,50	10	52,5	----	10
2,40 - 2,70	1	7,0	----	4	7,50 - 7,80	9	45,4	----	11
2,70 - 3,00	3	19,8	----	5	7,80 - 8,10	10	50,5	----	11
3,00 - 3,30	5	33,0	----	5	8,10 - 8,40	9	45,4	----	11
3,30 - 3,60	7	46,2	----	5	8,40 - 8,70	10	48,6	----	12
3,60 - 3,90	9	56,5	----	6	8,70 - 9,00	9	43,7	----	12
3,90 - 4,20	8	50,2	----	6	9,00 - 9,30	12	58,3	----	12
4,20 - 4,50	7	43,9	----	6	9,30 - 9,60	13	60,9	----	13
4,50 - 4,80	9	53,9	----	7	9,60 - 9,90	11	51,5	----	13
4,80 - 5,10	10	59,8	----	7	9,90 - 10,20	13	58,7	----	14

- PENETROMETRO DINAMICO tipo : **TG 63-100 M-A.C**

- M (massa battente)= **73,00** kg - H (altezza caduta)= **0,75** m - A (area punta)= **20,43** cm² - D(diam. punta)= **51,00** mm

- Numero Colpi Punta N = N(**30**) [δ = 30 cm]

- Uso rivestimento / fanghi iniezione : **NO**

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA ELABORAZIONE STATISTICA

n° 4

- indagine : Dott. Roberto Mariotti
 - cantiere :
 - località : Piazza delle Tranvie - Cremona (CR)
 - note :

- data : 05/09/2018
 - quota inizio :
 - prof. falda : 7,00 m da quota inizio
 - pagina : 1

n°	Profondità (m)		PARAMETRO	ELABORAZIONE STATISTICA						VCA	β	Nspt	
				M	min	Max	$\frac{1}{2}(M+\min)$	s	M-s				M+s
1	0,00	0,60	N	33,0	15	51	24,0	----	----	----	33	1,14	38
			Rpd	269,8	117	423	193,3	----	----	----	270		
2	0,60	3,00	N	1,9	1	3	1,4	----	1,0	2,7	2	1,14	2
			Rpd	13,7	7	23	10,3	6,2	7,5	19,9	14		
3	3,00	7,20	N	9,1	5	14	7,1	2,4	6,7	11,6	9	1,14	10
			Rpd	53,6	33	80	43,3	12,9	40,7	66,5	53		
4	7,20	10,20	N	10,6	9	13	9,8	1,6	9,0	12,2	11	1,14	13
			Rpd	51,6	44	61	47,6	6,1	45,5	57,6	54		

M: valore medio min: valore minimo Max: valore massimo s: scarto quadratico medio
 N: numero Colpi Punta prova penetrometrica dinamica (avanzamento $\delta = 30$ cm) Rpd: resistenza dinamica alla punta (kg/cm²)
 β : Coefficiente correlazione con prova SPT (valore teorico $\beta_t = 1,14$) Nspt: numero colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

Nspt - PARAMETRI GEOTECNICI

n°	Prof.(m)		LITOLOGIA	Nspt	NATURA GRANULARE					NATURA COESIVA			
					DR	ϕ'	E'	Ysat	Yd	Cu	Ysat	W	e
1	0.00	0.60	Materiali inerti	38	73.0	37.0	484	2.09	1.75	----	----	----	----
2	0.60	3.00	Limo Sabbioso	2	7.5	27.0	207	1.85	1.36	0.60	1.75	47	1.267
3	3.00	7.20	Sabbia debolmente Limosa	10	35.0	31.0	268	1.93	1.50	----	----	----	----
4	7.20	10.20	Sabbia	13	39.5	32.0	292	1.95	1.53	----	----	----	----

Nspt: numero di colpi prova SPT (avanzamento $\delta = 30$ cm)

DR % = densità relativa ϕ' (°) = angolo di attrito efficace E' (kg/cm²) = modulo di deformazione drenato W% = contenuto d'acqua
 e (-) = indice dei vuoti Cu (kg/cm²) = coesione non drenata Ysat, Yd (t/m³) = peso di volume saturo e secco (rispettivamente) del terreno

Dott. Roberto Mariotti – *Geologo Specialista*
Corso Garibaldi, 95 – 26100 Cremona (CR)
e-mail: drmariotti.roberto@libero.it

tel/fax: 0372-23266
cell: 335-6958159
pec: mariottiroberto@epap.sicurezzapostale.it

ALLEGATO 9

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



Fig. 1 - Esecuzione della prova penetrometrica dinamica SCPT1 (05/09/2018)



Fig. 2 - Esecuzione della prova penetrometrica dinamica SCPT2 (05/09/2018)



Fig. 3 - Esecuzione della prova penetrometrica dinamica SCPT3 (05/09/2018)



Fig. 4 - Esecuzione della prova penetrometrica dinamica SCPT4 (05/09/2018)



Fig. 5 - Esecuzione dell'indagine sismica con stazione singola HVSR_1 (06/09/2018)



Fig. 6 - Esecuzione dell'indagine sismica con stazione singola HVSR_2 (06/09/2018)



Fig. 7 - Esecuzione dell'indagine sismica con stazione singola HVSR_3 (06/09/2018)



Fig. 8 - Stendimento sismico per esecuzione delle prove MASW-REMI (06/09/2018)



Fig. 9 - Esecuzione della prova MASW (06/09/2018)



Fig. 10 - Esecuzione della prova MASW (06/09/2018)