

Allegato 1

INQUADRAMENTO GEOGRAFICO
SCALA 1:10.000



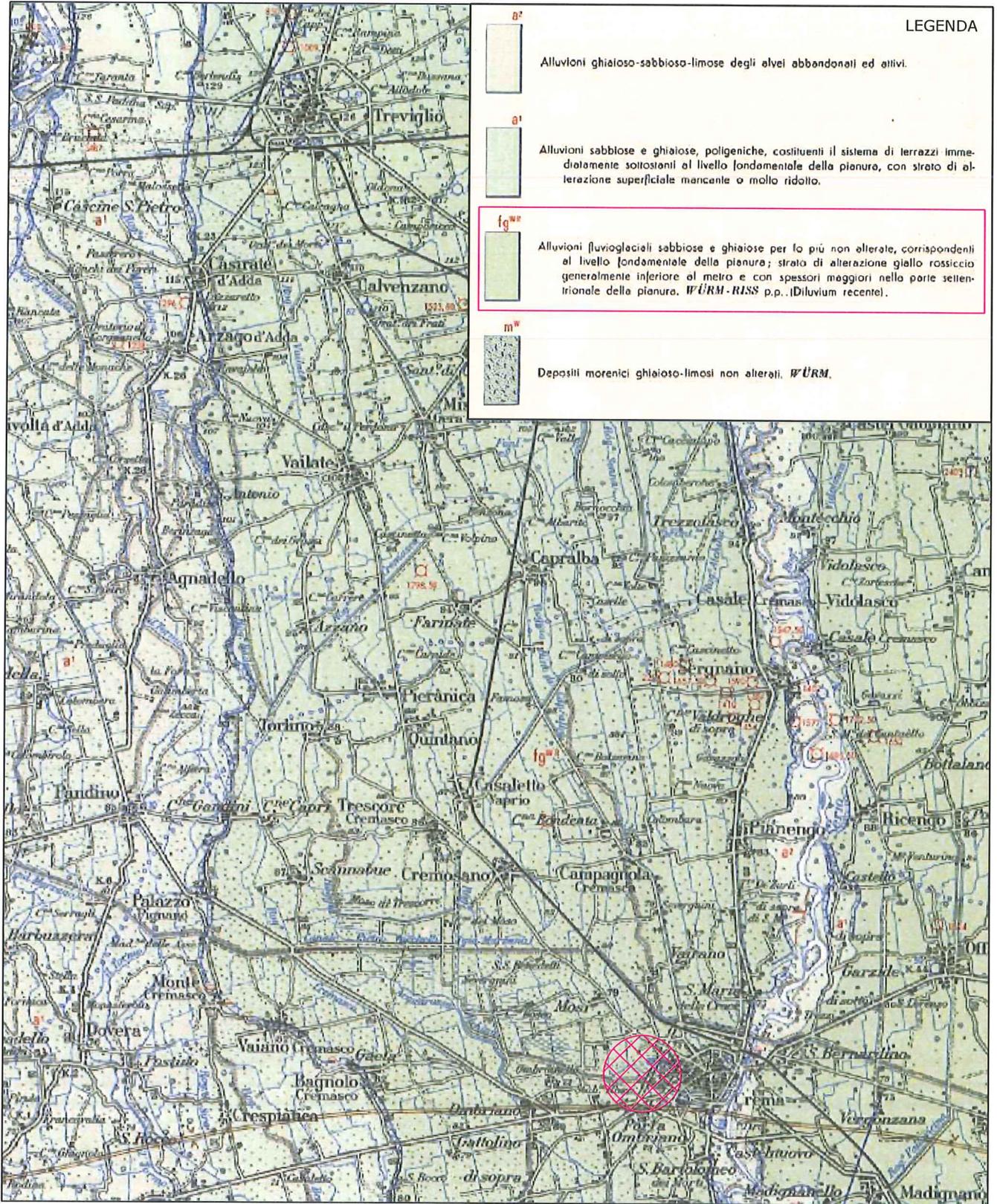
Allegato 1 - Scala 1:10.000; C.T.R. C6b5 stralcio



Ubicazione area di indagine

Allegato 2

INQUADRAMENTO GEOLOGICO
SCALA 1:100.000



LEGENDA

-  a²
Alluvioni ghiaioso-sabbioso-limoso degli alvei abbandonati ed allivi.
-  a¹
Alluvioni sabbiose e ghiaiose, poligeniche, costituenti il sistema di terrazzi immediatamente sottostanti al livello fondamentale della pianura, con strato di alterazione superficiale mancante o molto ridotto.
-  fg²
Alluvioni fluvioglaciali sabbiose e ghiaiose per lo più non alterate, corrispondenti al livello fondamentale della pianura; strato di alterazione giallo rossiccio generalmente inferiore al metro e con spessori maggiori nella parte settentrionale della pianura. WÜRМ-RISS p.p. (Diluvium recentel).
-  m²
Depositi morenici ghiaioso-limosi non alterati. WÜRМ.

CARTA GEOLOGICA D'ITALIA, FOGLIO 46 "TREVIGLIO", stralcio in scala 1:100.000

-  Ubicazione area indagata
-  Unità geologica d'interesse



Allegato 3

UBICAZIONE PROVE
PENETROMETRICHE
DINAMICHE

E

CARATTERISTICHE
TECNICHE
DELL'ATTREZZATURA DI
PROVA

N.B.: disegno non in scala



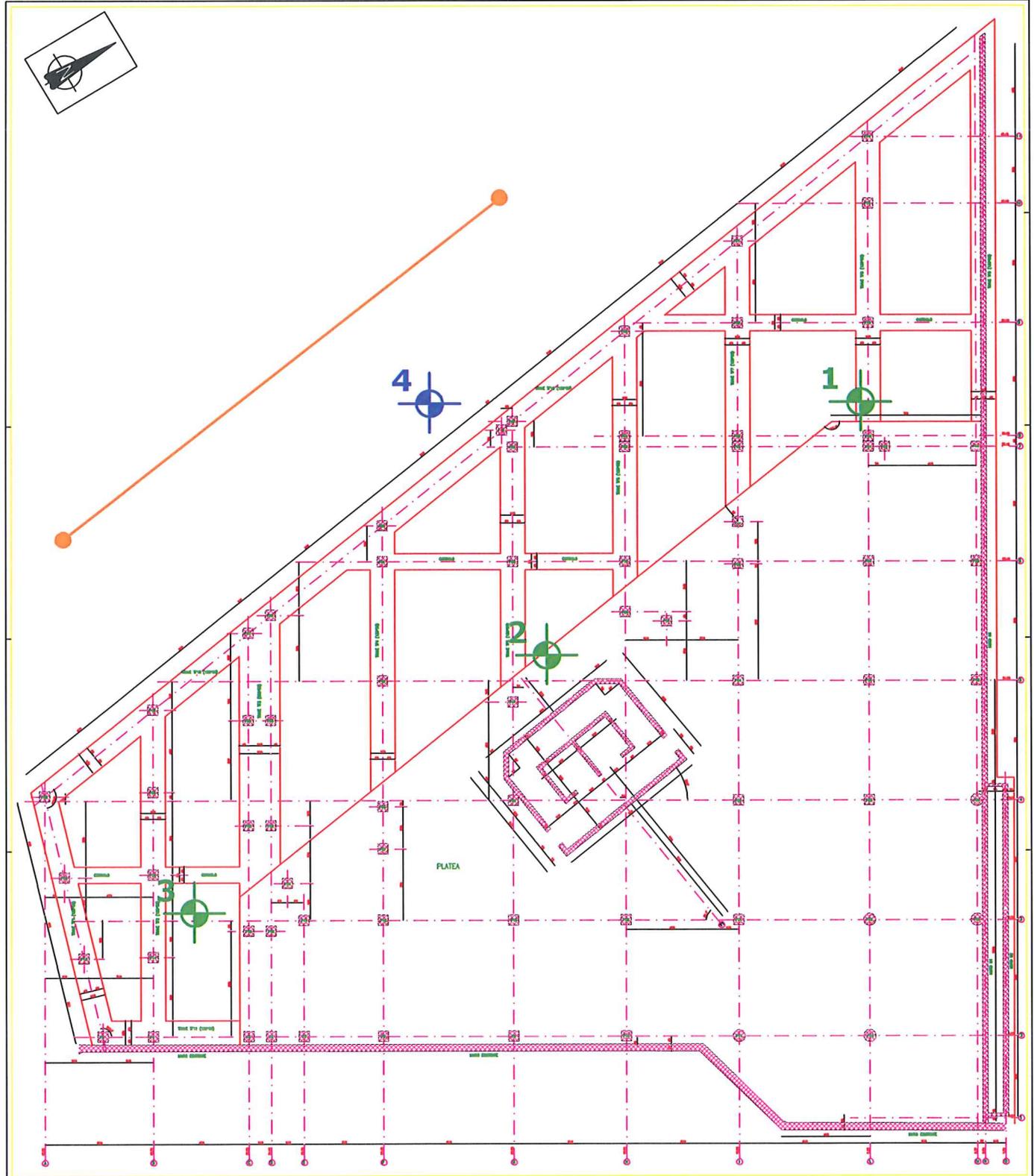
Ubicazione
linea sismica
Masw
(07/12/2017)



Ubicazione
prove
penetrometriche
dinamiche
(ott. 2003) e
relativa
numerazione



Ubicazione
prova
penetrometrica
dinamica
(07/12/2017)
e relativa
numerazione



PENETROMETRO DINAMICO IN USO: TG 73-100 M-A.C

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

CARATTERISTICHE TECNICHE: TG 73-100 M-A.C

PESO MASSA BATTENTE	M =	73.00 Kg	
ALTEZZA CADUTA LIBERA	H =	0.75 m	
DIAMETRO PUNTA CONICA	D =	51.00 mm	
AREA BASE PUNTA CONICA	A =	20.43 cm ²	
ANGOLO APERTURA PUNTA	α =	60°	
LUNGHEZZA DELLE ASTE	La =	0.90 cm	
PESO ASTE PER METRO	Ma =	6.31 Kg	
PROF. GIUNZIONE 1° ASTA	P1 =	0.30 m	
AVANZAMENTO PUNTA	δ =	0.30 m	
NUMERO DI COLPI PUNTA	N =	N(30) →	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	β_t =	Q/Qspt = 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

Allegato 4

DIAGRAMMI PROVE
PENETROMETRICHE
DINAMICHE

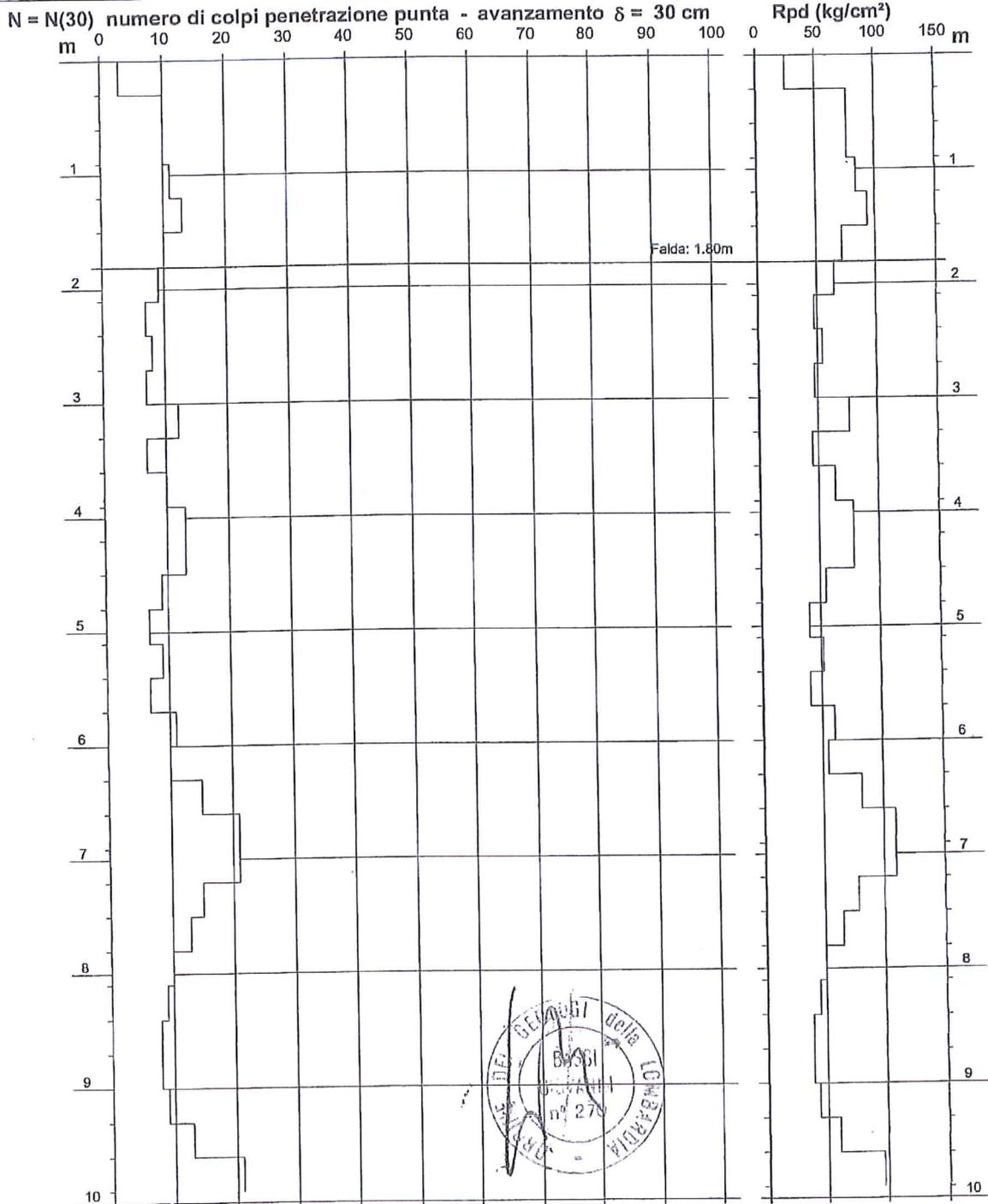
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA
 DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 1

Scala 1: 50

- committente : Dott Giovanni Bassi
 - lavoro : Nuove realizzazioni edilizie
 - località : Crema
 - note :

- data : 16/10/2003
 - quota inizio : p.c.
 - prof. falda : 1.80 m da quota inizio
 - pagina : 1



PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 2

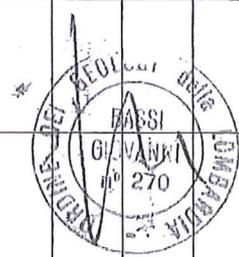
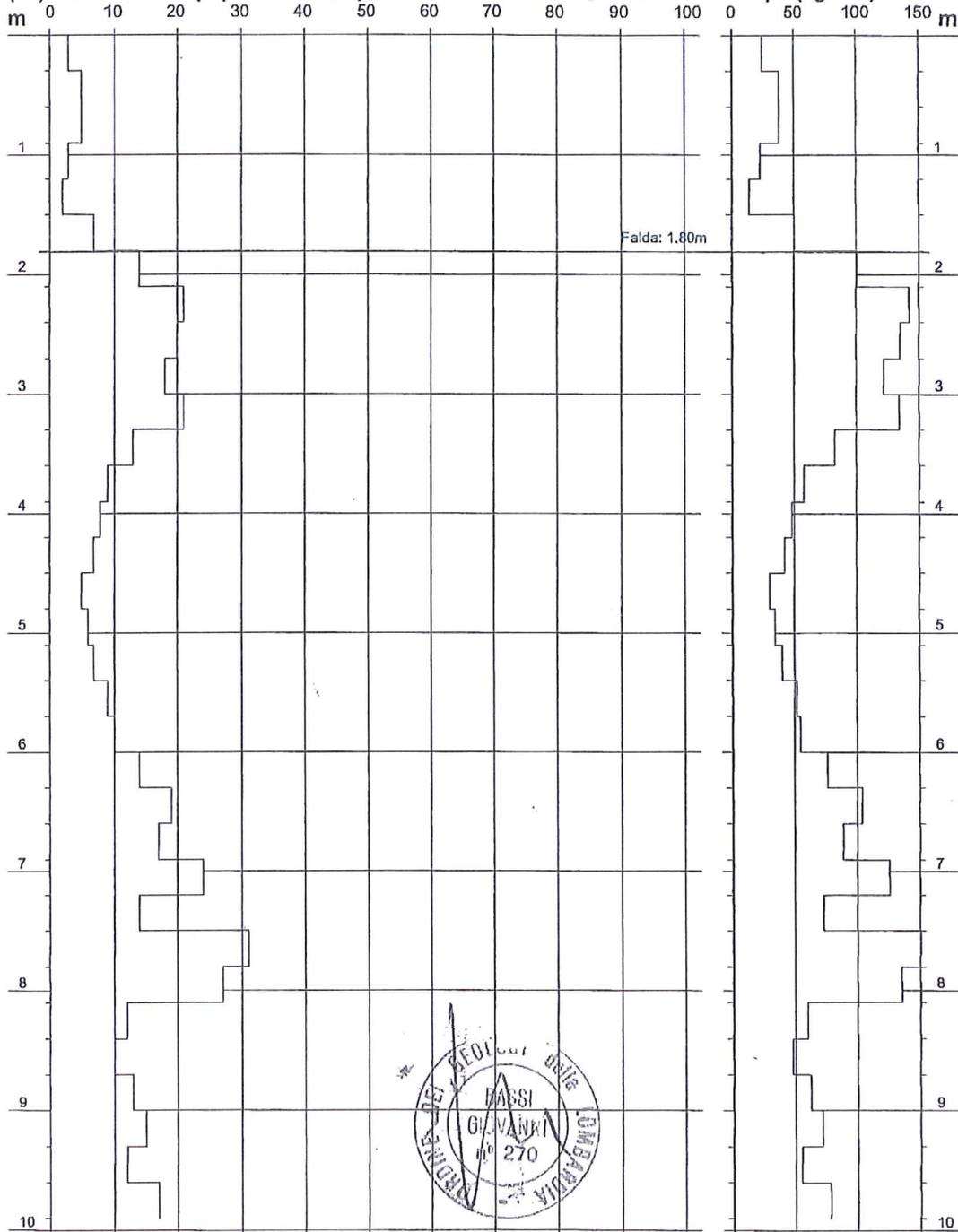
Scala 1: 50

- committente : Dott Giovanni Bassi
- lavoro : Nuove realizzazioni edilizie
- località : Crema
- note :

- data : 16/10/2003
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : 1.80 m da quota inizio
- pagina : 1

N = N(30) numero di colpi penetrazione punta - avanzamento $\delta = 30$ cm

Rpd (kg/cm²)



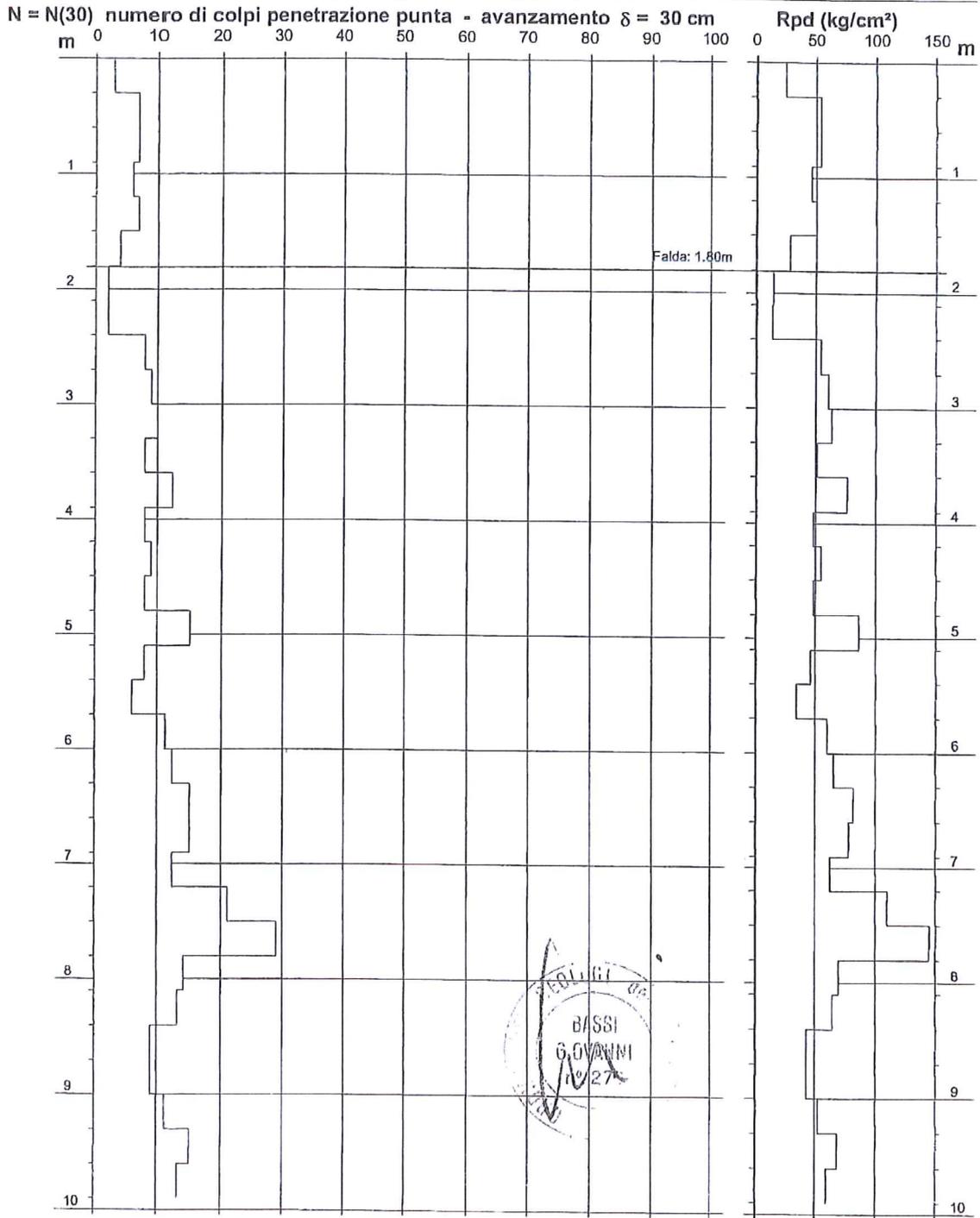
PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA - Rpd

DIN 3

Scala 1: 50

- committente : Dott Giovanni Bassi
- lavoro : Nuove realizzazioni edilizie
- località : Crema
- note :

- data : 16/10/2003
- quota inizio : p.c.
- prof. falda : 1.80 m da quota inizio
- pagina : 1

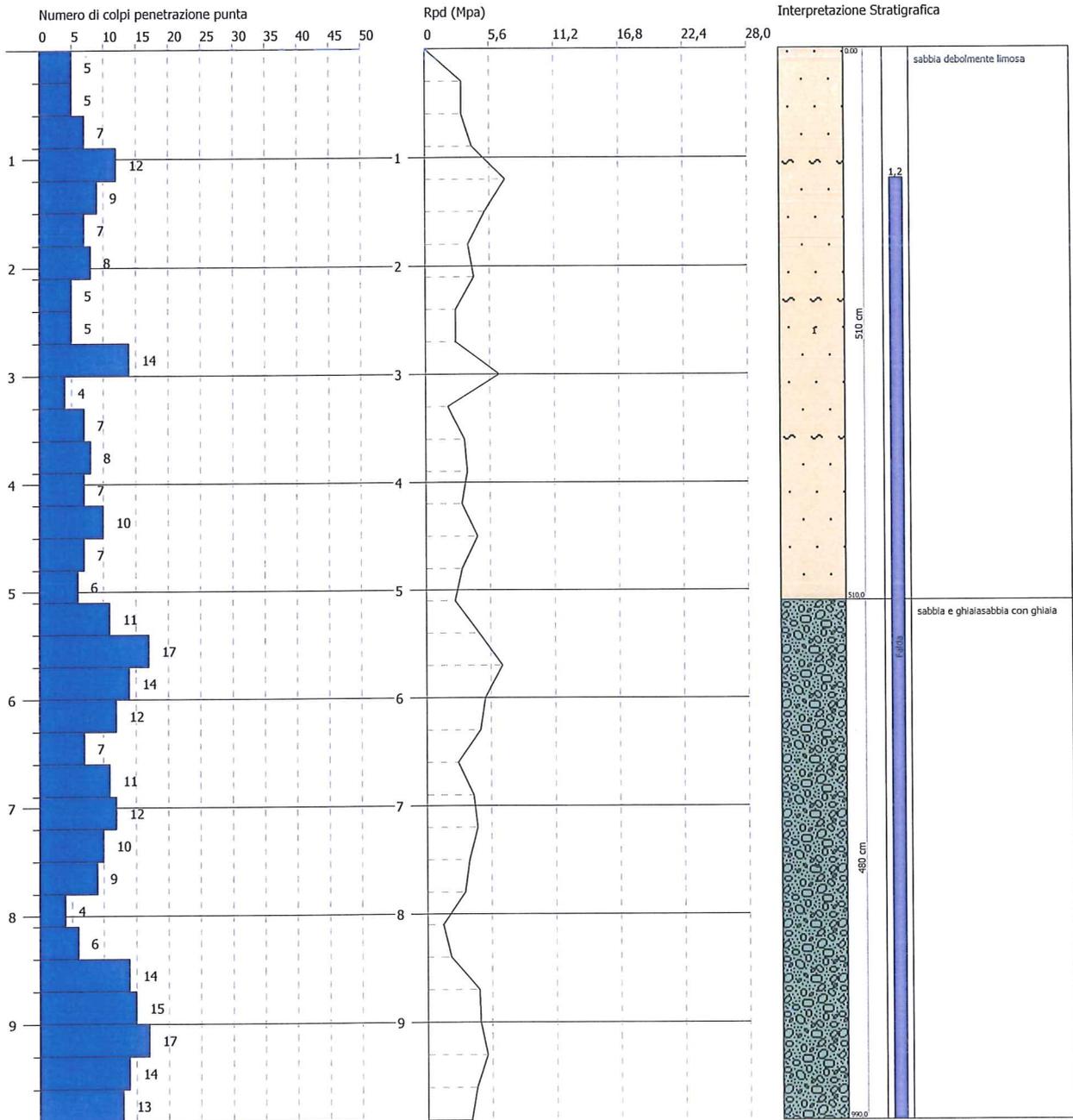


PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.4
Strumento utilizzato... SCPT (Standard Cone Penetration Test)

Committente: GERUNDO CENTER
 Cantiere: Via Indipendenza / Via Lago Gerundo
 Località: 26013 Crema (Cremona)

Data: 07/12/2017

Scala 1:60



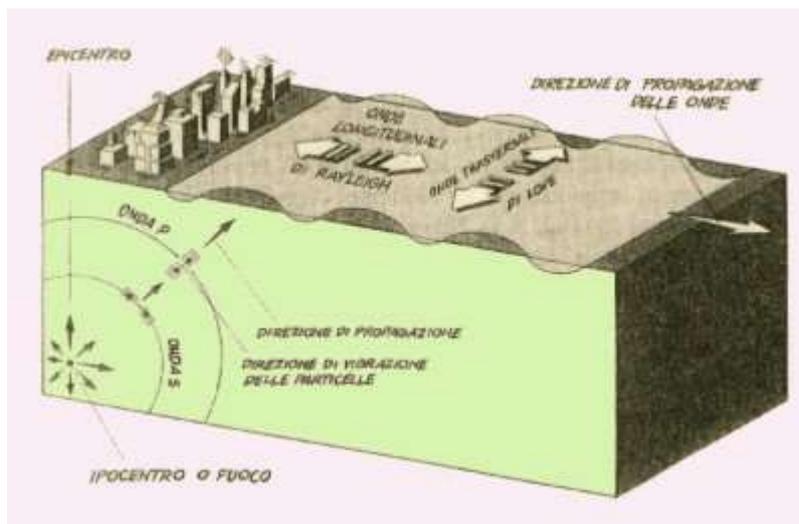
Allegato 5

RAPPORTO TECNICO
INDAGINE GEOFISICA

E

APPROFONDIMENTO
SISMICO DI SECONDO
LIVELLO

ESECUZIONE DI UNA PROSPEZIONE SISMICA M.A.S.W.
E DI UNA MISURA DI MICROTREMORE SISMICO H.V.S.R.,
IN VIA INDIPENDENZA / VIA LAGO GERUNDO, NEL COMUNE DI CREMA (CR)



Committente: *Gerundo Center S.r.l.*

RAPPORTO TECNICO

Data
Dicembre 2017



INDICE

1 - PREMESSA.....	3
2 - ANALISI HVSR	3
2.1 - Cenni sulla metodologia HVSR	3
2.2 - Acquisizione dei dati.....	4
2.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti.....	4
2.4 - Descrizione dei risultati.....	6
3 - INDAGINE SISMICA MASW	7
3.1 - Cenni sulla metodologia MASW	7
3.2 - Acquisizione dei dati.....	8
3.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti.....	8
4 - PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO.....	11



1 - PREMESSA

Per conto della Committente Gerundo Center S.r.l., sono state eseguite, in data 07 dicembre 2017, un'indagine geotecnica ed una prospezione geofisica finalizzate alla ricostruzione stratigrafica e sismica dei terreni, nell'ambito di un Studio Geologico eseguito in Via Lago Gerundo, nel Comune di Crema (CR).

Le indagini in sito per quanto concerne la componente geofisica, oggetto di questo report, sono consistite nell'esecuzione di **n° 1 profilo di sismica multicanale** con acquisizione delle onde di superficie ed elaborazione dati **mediante metodologia MASW**, e **n° 1 indagine sismica passiva con metodo HVSR**.

Mediante tali metodologie è stato possibile ricostruire l'**andamento medio delle onde Vs** in profondità ed eseguire la valutazione del parametro **Vs₃₀** di sito, al fine di classificare il terreno di fondazione (tabelle allegate al D.M. 14/01/08) e misurare eventualmente il periodo proprio di vibrazione di sito.

2 - ANALISI HVSR

Allo scopo di migliorare la definizione del profilo verticale Vs nelle porzioni più profonde e di calcolare la possibile frequenza di risonanza di sito, si è scelto di eseguire una misurazione dei microtremori sismici ambientali per la definizione e l'analisi del rapporto spettrale H/V.

2.1 - Cenni sulla metodologia HVSR

La tecnica HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è basata sulla misura dei rapporti medi fra le ampiezze spettrali delle componenti orizzontali e verticale del rumore sismico ambientale. La prova a stazione singola, consiste nella valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. Il risultato di questa prova è una curva sperimentale, che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi, sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. L'ampiezza di questi massimi è proporzionale (anche se non linearmente) all'entità del contrasto di impedenza sismica esistente alla base della copertura.

In particolare, in presenza di forti variazioni nel profilo di velocità delle onde S nel sottosuolo (legate per esempio alla transizione fra sedimenti soffici e basamento rigido), la funzione H/V mostra dei massimi marcati in corrispondenza della frequenza di risonanza *fr* relativa alla configurazione stratigrafica del sito (con *fr* circa uguale al rapporto fra la velocità media delle onde S fino alla profondità del salto di velocità e il quadruplo di questa profondità). Pertanto, questa prova ha lo scopo principale di mettere in luce la presenza di fenomeni di risonanza sismica e consentire una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni.



2.2 - **Acquisizione dei dati**

Nell'area d'indagine è stata eseguita, mediante stazione singola o tromometro, una misura di rumore sismico ambientale per un tempo di registrazione massimo di 15 minuti.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- un sistema di ricezione costituito da un tromometro CGE a 3 componenti geofoniche con frequenza propria di 2 Hz per acquisizioni del microtremore lungo la direzione verticale e le due direzioni orizzontali ortogonali.
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms (campionamento eseguito a 4 ms). Il sistema di acquisizione è completato da un computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

2.3 - **Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti**

I risultati delle analisi presentati in questo lavoro sono stati ottenuti con il software *winMASW* versione *Acd 7.1*, che permette di determinare i rapporti medi fra le componenti spettrali del rumore, misurate sul piano orizzontale e verticale. A questo scopo, l'acquisizione del rumore ambientale è stata suddivisa in una serie di finestre temporali di uguale durata (finestre di 20 ms), per ciascuna delle quali è stato determinato lo spettro del moto.

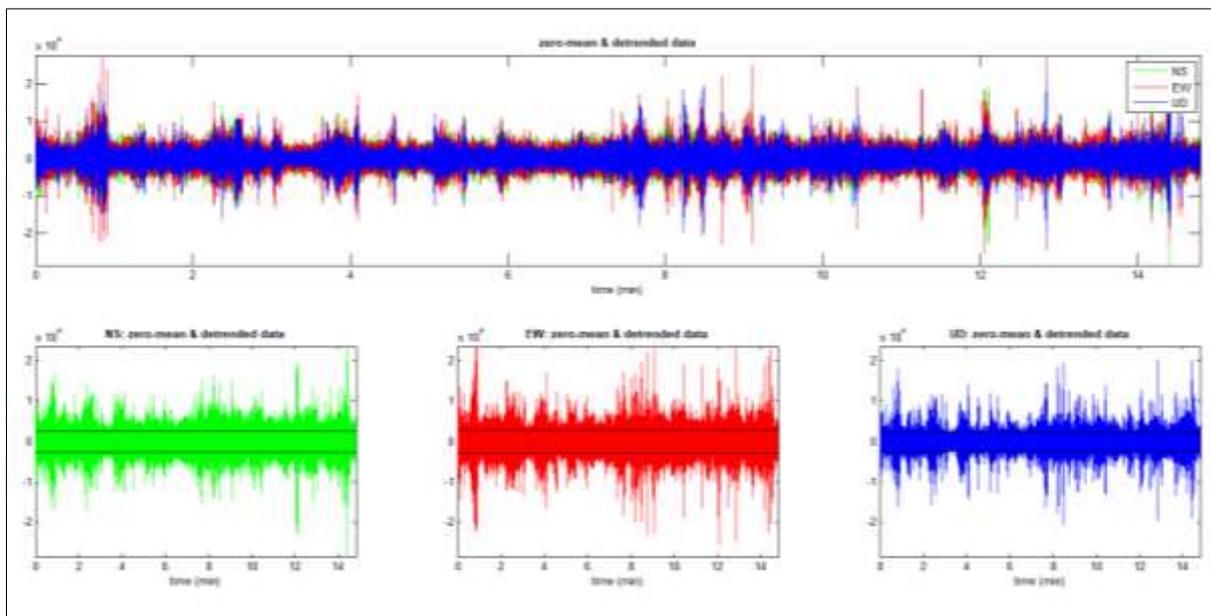


Fig. 1 -Visualizzazione dei dati dopo la rimozione di eventi transienti.

La determinazione della curva HVSR ha previsto in sintesi i seguenti steps:

- 1) Eliminazione manuale da parte dell'utente delle parti di segnale costituite dal disturbo arrecato da eventi non conformi al rumore ambientale (transienti). Questa operazione produce una diminuzione della lunghezza del segnale analizzato (vedi figura precedente).
- 2) Definizione della lunghezza degli intervalli entro cui calcolare le curve HVSR (20 ms).
- 3) Calcolo delle trasformate di Fourier delle tre componenti x , y , z del moto.
- 4) Operazione di smoothing degli spettri di Fourier.
- 5) Somma delle due componenti orizzontali x e y .
- 6) Calcolo delle curve HVSR come rapporto spettrale tra la componente orizzontale H e la componente verticale V negli N intervalli temporali stazionari.
- 7) Calcolo della curva HVSR media tra le n curve HVSR.

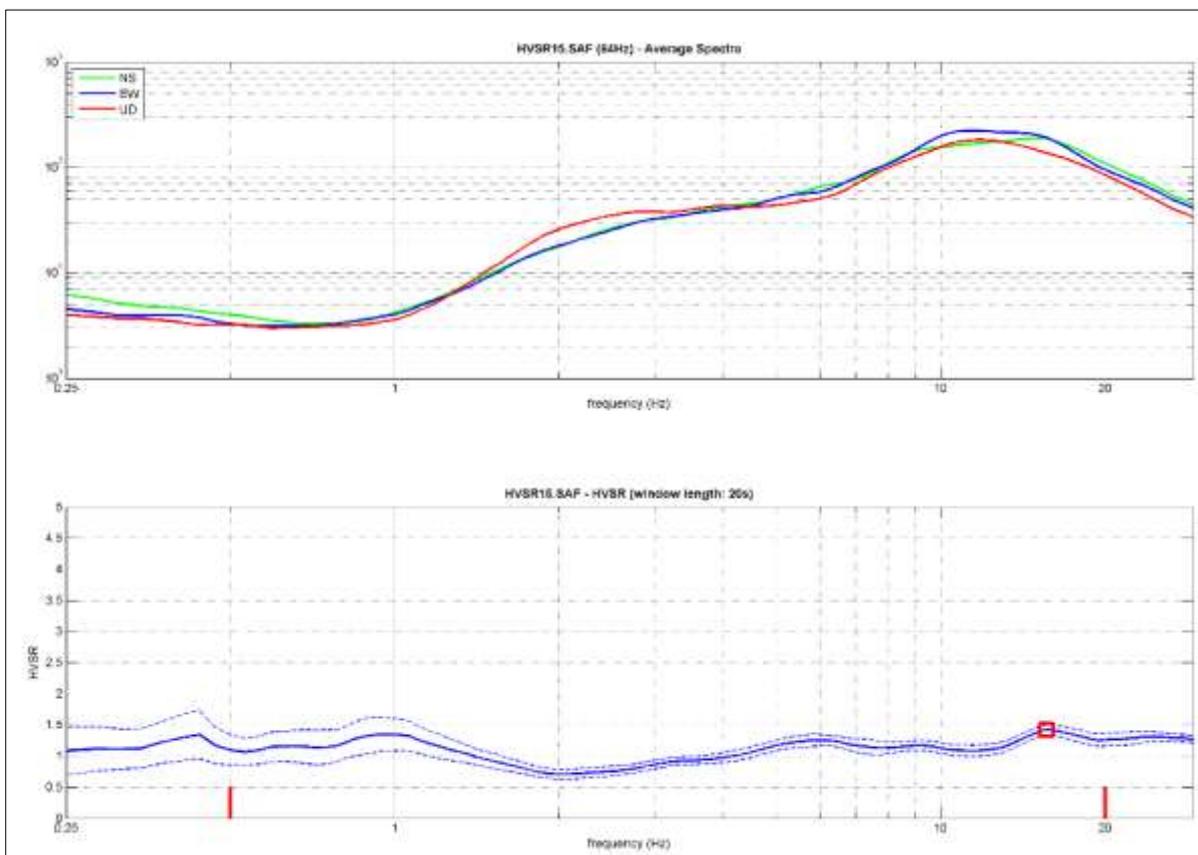


Fig. 2 -Visualizzazione HVSR e spettro medio di ampiezza del sito indagato.

I risultati parziali ottenuti, durante le fasi di elaborazione delle curve H/V, sono stati iterativamente controllati andando a valutare la direttività e la stabilità nel tempo della curva HVSR.



La curva HVSR calcolata, indica un picco principale a circa 15,6 Hz; la sua validità viene verificata, mediante software *winMASW*, secondo i criteri di ammissibilità del progetto *SESAME* (che definiscono la robustezza statistica della curva HVSR e degli eventuali picchi presenti).

Criteria for a reliable H/V curve (Criteri per una curva affidabile)

- #1. $[f_0 > 10/Lw]$: $15.609 > 0.5$ (OK)
- #2. $[nc > 200]$: $24974 > 200$ (OK)
- #3. $[f_0 > 0.5\text{Hz}; \sigma_A(f) < 2 \text{ for } 0.5f_0 < f < 2f_0]$ (OK)

Criteria for a clear H/V peak (Criteri per un picco H/V chiaro)

- #1. $[\text{exists } f^- \text{ in the range } [f_0/4, f_0] \mid AH/V(f^-) < A_0/2]$: (NO)
- #2. $[\text{exists } f^+ \text{ in the range } [f_0, 4f_0] \mid AH/V(f^+) < A_0/2]$: (NO)
- #3. $[A_0 > 2]$: $1.4 < 2$ (NO)
- #4. $[f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%]$: (NO)
- #5. $[\sigma_A < \epsilon(f_0)]$: $6.777 > 0.780$ (NO)
- #6. $[\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)]$: $0.081 < 1.58$ (OK)

2.4 - Descrizione dei risultati

Il picco a 15,6 Hz con ampiezza pari 1,4 rispetta tutti i criteri *SESAME* per una curva affidabile; tuttavia non è rispettata la condizione che prevede la verifica di un minimo di 5 criteri su 6 per un picco significativo, nonostante siano stati modificati, in diverso modo, i parametri di elaborazione affinché i criteri fossero tutti verificati.

Dall'analisi della curva HVSR, eseguita tra 0,5 Hz e 20,0 Hz (frequenze di interesse ingegneristico tali da includere anche il picco principale), è quindi risultata una possibile frequenza principale di risonanza attorno a 15,6 Hz.

Questa non può essere definita come certamente significativa ai fini dell'individuazione di una possibile frequenza di risonanza di sito. L'assenza di picchi di frequenza significativi è correlabile alla mancanza di forti contrasti di impedenza sismica all'interno della sequenza deposizionale indagata e/o all'aumento graduale, con la profondità, delle caratteristiche di addensamento dei terreni stessi, come per altro testimoniato dalle stratigrafie di alcuni pozzi terebrati in contesti omologhi a quello in cui ricade l'area oggetto di indagine.

Alla luce dei risultati ottenuti si è pertanto opportunamente scelto di non modellare la curva HVSR per trarre informazioni di tipo sismostratigrafico.



3 - INDAGINE SISMICA MASW

3.1 - Cenni sulla metodologia MASW

Con una prospezione sismica *MASW* (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*) si analizza il fenomeno della dispersione che le onde di superficie subiscono in un mezzo stratificato. La velocità di propagazione per una certa lunghezza d'onda (λ), quindi frequenza è, infatti, influenzata dalle proprietà che il sottosuolo attraversato possiede ed è detta *velocità di fase*.

Le *MASW* attive sono realizzate tramite analisi delle onde di Rayleigh o di Love oppure, congiuntamente Rayleigh + Love. Queste rappresentano le onde di superficie prodotte dall'interazione delle onde di corpo (P e S) con una superficie di discontinuità fisica. Le onde di Rayleigh, e più precisamente le loro componenti verticali, vengono registrate tramite i comuni geofoni verticali a bassa frequenza e generate da una sorgente ad impatto verticale, la classica martellata. Le onde di Love invece vengono acquisite mediante geofoni a componente orizzontale e generate applicando una sorgente di taglio al terreno, questo perché le loro componenti si muovono solamente sul piano orizzontale, con oscillazione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione dell'onda. Durante l'indagine in oggetto sono state registrate sia la componente verticale delle onde di Rayleigh sia le onde di Love.

Il principio della tecnica *MASW* prevede che, poiché la dispersione delle onde di superficie dipende dalle caratteristiche del sottosuolo e dalle sue variazioni verticali, dalla determinazione delle curve di dispersione del segnale è possibile ricavare le caratteristiche fondamentali del mezzo quali ad esempio la velocità delle onde di taglio V_s e lo spessore degli strati. La velocità delle onde di Rayleigh (V_R) infatti è correlabile alla V_s , essendo pari a circa il 90% della velocità delle onde di taglio. L'analisi del fenomeno della dispersione, che avviene attraverso la *curva di dispersione*, permette quindi di determinare le caratteristiche del sottosuolo. La curva di dispersione del *dataset* è ottenuta mediante il passaggio dal dominio *spazio-tempo* (sismogramma) al dominio *velocità di fase/frequenza* (spettro di velocità) effettuato mediante specifica operazione con software dedicato.

Tenuto conto di quanto richiesto per l'applicazione della normativa relativa alla progettazione geotecnica, si ritiene che la metodologia di analisi *MASW*, risulti idonea alla definizione dei dati richiesti. Tale scelta risulta avvalorata dalle seguenti considerazioni:

1. La percentuale di energia convertita in onde Rayleigh o di Love è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde P (7%) ed S (26%).
2. La propagazione e dispersione delle onde di Rayleigh o di Love si verifica senza problemi anche in caso di inversioni di velocità. Rispetto alla sismica a rifrazione, infatti, il metodo *MASW* non presenta problemi legati alla presenza di strati soffici compresi tra strati più rigidi.
3. La propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla V_p e dalla densità, è funzione innanzitutto della V_s , parametro di fondamentale importanza nella caratterizzazione geotecnica di un sito (categoria di suolo in base al Testo Unico).



3.2 - Acquisizione dei dati

L'ubicazione e la lunghezza degli stendimenti sono state scelte in funzione della logistica dei luoghi e dell'ingombro dell'edificio di progetto. L'allineamento sismico per l'acquisizione delle onde di Rayleigh ha previsto una distanza tra i geofoni pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni e coniugati rispetto all'ultimo geofono con offset variabili (1-3-5-7-10 m) a diversa intensità di energizzazione. Per l'acquisizione delle onde di Love lo stendimento sismico ha previsto invece una distanza intergeofonica pari a 1,0 m ed una serie di scoppi esterni con offset di 3 m dall'ultimo geofono.

L'acquisizione della componente verticale delle onde di Rayleigh, di cui non sono state riportate le risultanze delle elaborazioni, è avvenuta mediante registrazione della propagazione del segnale sismico generato da una sorgente ad impatto verticale (martellata), tramite uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente verticale.

L'acquisizione delle onde di Love è avvenuta invece mediante uno stendimento sismico di 24 geofoni a componente orizzontale posti trasversalmente all'allungamento dello stendimento, generando un'onda sismica di taglio mediante martellata orizzontale su piastra posta verticalmente nel terreno.

La strumentazione utilizzata si compone nello specifico di:

- una sorgente meccanica in grado di generare onde elastiche direzionali e ricche di energia realizzata mediante la battuta verticale e orizzontale di una mazza battente di 10 kg su piastra;
- un sistema di ricezione costituito alternativamente da uno stendimento di 24 geofoni (onde di Rayleigh) a movimento verticale (*Geospace GS11D*) e da uno stendimento di 24 geofoni (onde di Love) a movimento orizzontale (*Senshe* con livello a bolla), entrambi a frequenza di 4,5 Hz e puntale da 3", collegati mediante un cavo multielettrodo;
- un sistema di acquisizione e memorizzazione costituito da un sismografo modulare in grado di registrare in modo digitale le forme d'onda generate (*Geode Geometrics Mod. 3-1000*); il sismografo A/D è in grado di campionare segnali tra 0.025 ms e 16 ms. Il sistema di acquisizione è completato da dispositivo di *trigger*, computer per l'analisi e la memorizzazione del segnale e appositi cavi di collegamento.

3.3 - Analisi ed elaborazione dei segnali acquisiti

Determinazione degli spettri di velocità ed individuazione delle curve di dispersione

La stima dell'andamento in profondità delle velocità V_s , mediante acquisizione sismica multicanale è ottenuta tramite l'analisi del segnale nel dominio frequenza/velocità di fase.

Viene utilizzato lo spettro di velocità in quanto è il dominio dove è chiaramente più immediato e naturale comprendere le proprietà dispersive del mezzo attraversato, determinando con precisione la velocità di ciascuna componente del segnale registrato.

Dopo aver scelto quindi i sismogrammi più idonei, quelli solitamente con il miglior rapporto *segnale/rumore*, si esegue una trasformata dal dominio *spazio/tempo* al dominio *frequenza/velocità* (**Fig. 3**).

Particolare attenzione nell'interpretazione delle curve di dispersione è posta in considerazione del fatto che le vibrazioni indotte dalle onde di superficie sono correlabili a diversi *modi*, che possono sovrapporsi all'interno degli spettri di velocità.

Se tale sovrapposizione avviene, può generarsi una curva di dispersione apparente, che può risultare fuorviante in fase di interpretazione. Al fine di individuare i *modi* corretti e correlabili alla reale successione stratigrafica è stato scelto di eseguire un'**analisi congiunta delle onde di Rayleigh e delle onde Love**. L'interpretazione dello spettro è consistita quindi nel confrontare le distribuzioni di energia tra i vari modi. Dato che la distribuzione dell'energia nelle due componenti Love e Rayleigh è risultata a tratti molto differente, l'analisi congiunta è risultata indispensabile al riconoscimento del reale andamento dei modi e portando all'elaborazione di un modello maggiormente vincolato e preciso.

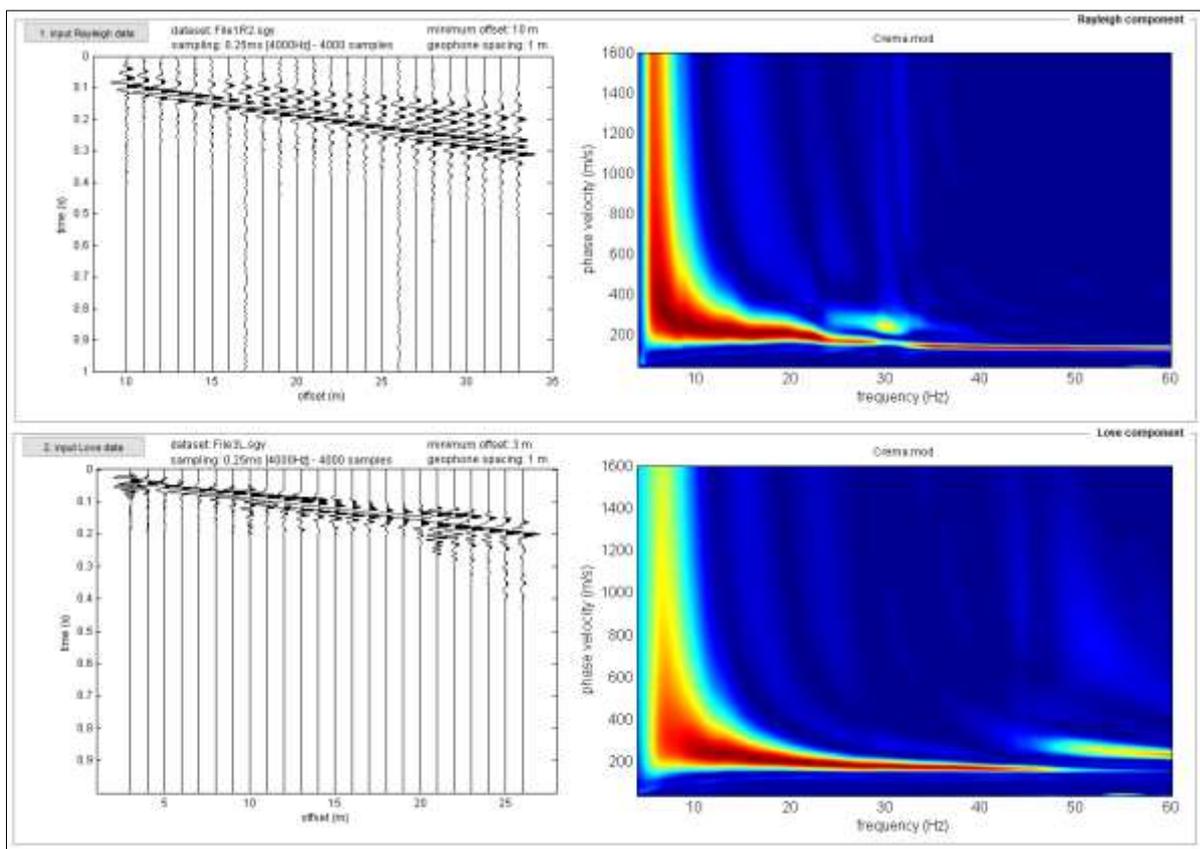


Fig. 3 -Sismogrammi acquisiti (*sx*) e relativi spettri di dispersione (*dx*) della componente verticale delle onde di Rayleigh (in alto) e delle onde di Love (in basso).

Si riassumono di seguito i dati relativi ai parametri di acquisizione utilizzati per i dataset prescelti per l'elaborazione:

ONDE DI RAYLEIGH	ONDE DI LOVE
Dati relativi allo shot 1 - file1R2.sgy	Dati relativi allo shot 1 - file3L.sgy
offset minimo: 10 m	offset minimo: 3 m
distanza intergeofonica: 1,0 m	distanza intergeofonica: 1,0 m
Intervallo di campionamento: 0,25 ms	Intervallo di campionamento: 0,25 ms
Tempo di acquisizione: 1 s	Tempo di acquisizione: 1 s

Procedure di modellazione diretta e analisi congiunta Rayleigh+Love

Analizzati i sismogrammi e i rispettivi spettri di velocità si è proceduto alla ricostruzione della distribuzione verticale delle Vs. Partendo dalle curve di dispersione delle onde di Rayleigh e di Love è stato ricostruito il modello che è responsabile di quelle curve, effettuando quindi un'inversione, vale a dire che si è ricavato il modello di sottosuolo che ha determinato il dato di campagna. Gli spettri di velocità di fase sono stati interpretati identificando le curve modali, mediante modellazione diretta, studiando l'andamento dei vari modi in funzione del modello atteso (**Fig. 4**). Questo è stato iterativamente modificato fino ad ottenere una buona sovrapposizione degli andamenti delle curve di dispersione sui vari modi riconosciuti, contemporaneamente in entrambi gli spettri, al fine di ottenere un solo modello di velocità.

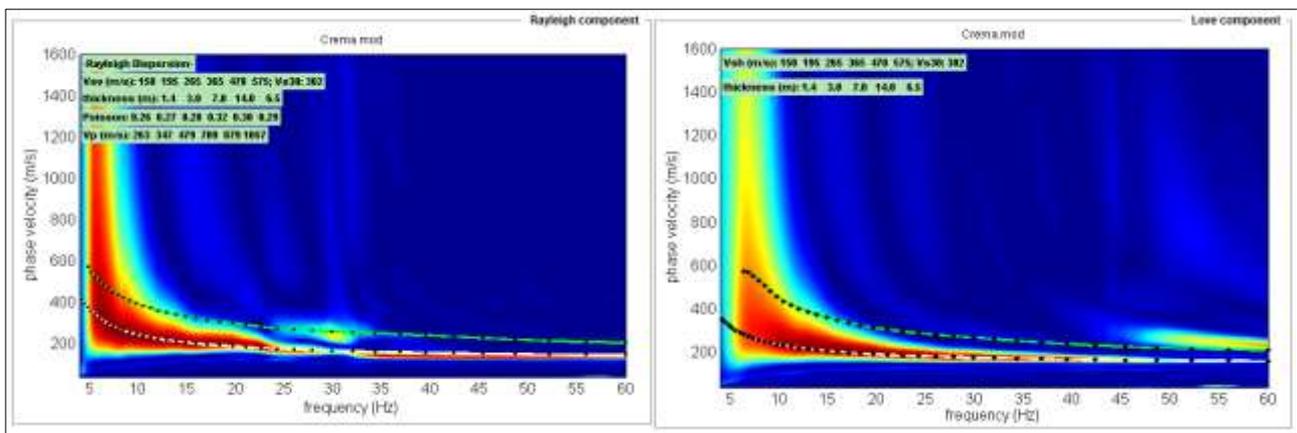


Fig. 4 -Risultati dell'analisi congiunta Rayleigh+Love: modellazione diretta mediante individuazione del modo fondamentale e del primo modo superiore che compongono lo spettro di velocità delle onde di Rayleigh (sx) e congiuntamente quello delle onde di Love (dx).



4 - PROFILO SISMOSTRATIGRAFICO

Per l'elaborazione e l'interpretazione dei dati, si è tenuto conto delle evidenze del segnale acquisito, dei risultati delle prove penetrometriche eseguite nella medesima area d'indagine e delle conoscenze stratigrafiche del territorio in esame. Nella seguente tabella sono riportati i valori delle velocità medie e gli spessori di ciascun sismostrato, in modo da definire un **modello geofisico medio**, ottenuto mediante analisi congiunta delle onde di Rayleigh e delle onde di Love, con la curva HVSr.

Si riportano anche, in maniera indicativa, le stime dei valori di V_p , densità e modulo di Poisson eseguite dal software di elaborazione. Poiché la dispersione delle onde di superficie dipende essenzialmente dalla V_s e degli spessori degli strati (cioè dalla geometria), tali valori di densità e V_p devono essere considerati solamente come stime largamente approssimative. Viene riportato, inoltre, il valore del modulo di taglio che tra i moduli elastici è l'unico che non dipende da V_p , ma solamente da V_s e densità e quindi la sua stima risulta più attendibile.

MODELLO GEOFISICO MEDIO - Via Lago Gerundo/Indipendenza - Crema (CR)								
Sismostrato	V_s (m/s)	Spessore (m)	Profondità da p.c. (m)	Stima della V_p (m/s)	V_p/V_s	Stima densità (g/cm ³)	Modulo di Poisson	Modulo di Taglio (MPa)
1	150	1,4	-1,4	263	1,75	1,73	0,26	39
2	195	3,0	-4,4	347	1,78	1,80	0,27	68
3	265	7,0	-11,4	479	1,81	1,88	0,28	132
4	365	14,0	-25,4	709	1,94	1,97	0,32	263
5	470	6,5	-31,9	879	1,87	2,02	0,30	447
6	575	3,1	-35,0	1057	1,84	2,07	0,29	684

Il valore del modulo dinamico di taglio, dipendente da V_s e densità si riferisce a condizioni di bassa deformazione. Per deformazioni significativamente superiori, come di norma nei calcoli geotecnici, i valori dovranno essere idoneamente corretti e utilizzati solo nei modi e nei casi appropriati.

	V_{s30} (m/s)	Categoria di sottosuolo	Valore di V_{s30} calcolato mediante l'espressione 3.2.1 del D.M. 14/01/2008
Calcolo a partire dal ripiano di esecuzione MASW	302	C	$V_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}} \text{ [m/s]}$ Categoria di sottosuolo assegnata in base a quanto indicato nelle Tabelle 3.2 II e 3.2 III

Si sottolinea come la Categoria di Sottosuolo di Progetto, stimata in base alle Tabelle 3.2 II e 3.2 III del D.M. 14/01/08, sarà definita dal Geologo in base ai dati sismostratigrafici, alle indagini geotecniche nonché ai dati progettuali integrati



Si riporta inoltre la stratigrafia schematica del modello medio ottenuto, mediante analisi MASW in onde di Rayleigh e di Love, fino a -35,0 m dal p.c., utilizzato per il calcolo del parametro Vs30 (**Fig. 5**).

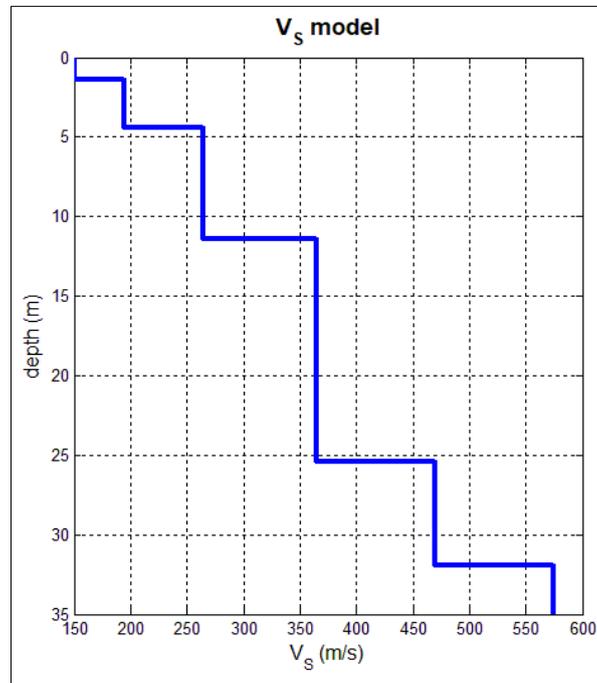


Fig. 5 - Profilo sismostratigrafico.

In base ai dati sismostratigrafici ottenuti, si rileva inizialmente un primo strato di terreno vegetale/rimaneggiato di spessore pari a 1,4 m, con velocità di propagazione delle onde di taglio (*onde S*) pari a 150 m/s.

Da -1,4 m a -25,4 m dal p.c., si riscontrano valori di velocità delle onde S in graduale aumento con la profondità e compresi tra 195 e 365 m/s, propri di terreni da moderatamente addensati ad addensati, appartenenti alla sequenza alluvionale di riferimento.

Oltre -25,4 m circa dal p.c. si rilevano valori di compresi tra 470 a 575 m/s, correlabili ad orizzonti stratigrafici molto addensati.

Il profilo sismostratigrafico ottenuto risulta correlabile con il quadro geologico dell'area oggetto di indagine e i valori di velocità delle onde S risultano compatibili con l'andamento della prova SCPT eseguita nel medesimo sito di progetto.



UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOFISICHE

(Via Lago Gerundo/Indipendenza – Crema - CR)



Legenda:



Stendimento sismico con acquisizione ed elaborazione dei dati mediante metodologia MASW (con analisi delle onde di Rayleigh e di Love)



Misura di microtremore sismico, con stazione singola, mediante tecnica HVSr

ALLEGATO FOTOGRAFICO



*Misura del microtremore sismico
mediante tecnica HVSR*



Stendimento sismico M.A.S.W.



*Shot sismico orizzontale per la
generazione delle onde di Love
(offset 3 metri)*



*Acquisizione del segnale sismico
con Sismografo Geometrics
Mod. Geode 3-1000*

Approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici (App5) - AMPLIFICAZIONE

Tenuto conto di tutti i dati illustrati in relazione e quindi del modello stratigrafico-geofisico-geotecnico evidenziato, possono essere applicate le procedure finali dell'All. 5 della D.G.R. 9/2616/2011 per la Stima degli Effetti Litologici e del relativo Fattore di amplificazione (F_a) di sito.

Sono stati esaminati gli scenari di Pericolosità Sismica Locale, funzione della litologia, individuati per l'area del territorio comunale oggetto di approfondimento di 2° livello, per la quale sono stati acquisiti i dati di sismica a rifrazione.

Si è proceduto a definire in primo luogo la Categoria di Sottosuolo attribuibile al sito, tenendo conto della normativa vigente (D.M. 14/01/08) ed a partire dal piano di campagna.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.

Categoria	Descrizione
S1	Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.
S2	Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Per l'ambito esaminato i terreni possono essere classificati come appartenenti alla **categoria C**.



In accordo con la procedura, la successione stratigrafica di riferimento e lo spessore e la velocità di ciascuno strato, come definiti mediante la sismica eseguita ad hoc (MASW), sono stati **riportati nelle "Schede di Stima degli Effetti Litologici" (figura nella pagina successiva)**.

Il primo passo della procedura prevede la definizione della scheda di valutazione (All. 5 D.G.R. 9/2616/2011) più idonea alla stima degli effetti litologici.

Sulla base delle informazioni acquisite durante la fase di indagini geognostica condotta sull'area in esame, nonché delle informazioni già in possesso degli scriventi derivate da altre analisi geologiche realizzate sul territorio di CREMA, nell'impossibilità di applicare la scheda riferita ai terreni limoso-sabbiosi tipo 1 (in quanto il profilo ricostruito esce dal campo di validità) o ghiaiosa, è stata utilizzata la scheda per la litologia **sabbiosa**, tenuto conto dei campi di validità riportati nei diagrammi Z-Vs (correlazione profondità- velocità onde sismiche), secondo quanto indicato in proposito dagli Enti Competenti (scelta dettata in prima istanza proprio dalla granulometria prevalente del sito). Nell'applicazione della scheda (la migliore alla quale è possibile fare riferimento in ragione della litologia prevalente nei primi 30 m), non si è tenuto conto dell'indicazione fornita nella DGR 2616/2011 che, al paragrafo 2.2.2 dell'Allegato 15, specifica che: *"In presenza di alternanze litologiche con inversioni di velocità con la profondità, si potrà utilizzare la scheda di valutazione che presenta l'andamento delle Vs con la profondità più simile a quella riscontrata nell'indagine e si accetteranno anche i casi in cui i valori di Vs escano dal campo di validità solo a causa dell'inversione"*. Nel caso specifico, come ben visibile nella figura che segue, il profilo Z-Vs esce dal campo di validità ma non per effetto di inversioni e solo per lo stato più superficiale. La scheda per la litologia sabbiosa utilizzata si può pertanto ritenere ottimamente rappresentativa della stratigrafia presente in sito in quanto l'unica che approssima il reale andamento delle Vs con la profondità nel sito.

Il passo successivo permette, per la scheda litologica scelta, la definizione della curva caratteristica da utilizzare per la stima del valore di Fa di sito. La profondità del primo strato o del primo strato equivalente (spessore > 4 m) e la relativa velocità Vs, definiscono la curva caratteristica da utilizzare ai fini dei calcoli. Qualora lo strato superficiale abbia una profondità inferiore a 4 m (come nel caso in esame, dove tale strato è profondo solo 1.4 m) si deve utilizzare, per la scelta della curva, lo strato superficiale equivalente, a cui si assegna una velocità Vs calcolata come media pesata del valore di Vs degli strati superficiali la cui somma supera i 4 m di spessore. Nel caso specifico, ne è risultato uno strato superficiale equivalente di spessore pari a 4,40 m e con una velocità Vs di 180,7 m/s.

E' stato quindi calcolato il valore del periodo del sito (T), riportato nella scheda in allegato (pari a 0,430 s), ottenuto considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore è uguale o superiore a 800 m/sec ed utilizzando la formula riportata nell'All.5 della DGR 2616/11.

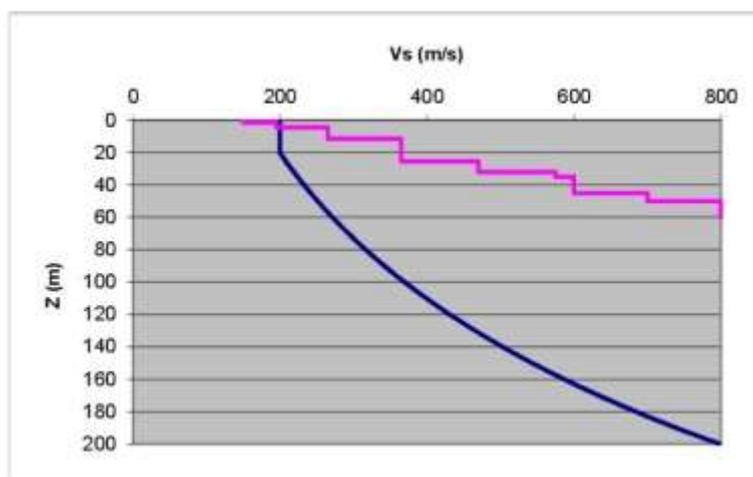
Si è quindi proceduto alla stima del fattore di amplificazione di sito (Fa di sito). Nel calcolo di tale fattore è stata utilizzata la curva 2 nel tratto polinomiale riferita all'intervallo di periodo compreso fra 0.1 e 0.5 s (valido per edifici bassi, regolari e piuttosto rigidi, a cui può essere associato quello in progetto), in accordo alla metodologia prevista dalla normativa citata. **Ne è risultato un fattore di amplificazione Fa pari a 1,6.**

STIMA DEGLI EFFETTI LITOLOGICI - ANALISI DI 2° LIVELLO

secondo le procedure dell'All.5 - d.g.r. 9-2616 del 30/11/2011

TERRENO SABBIOSO

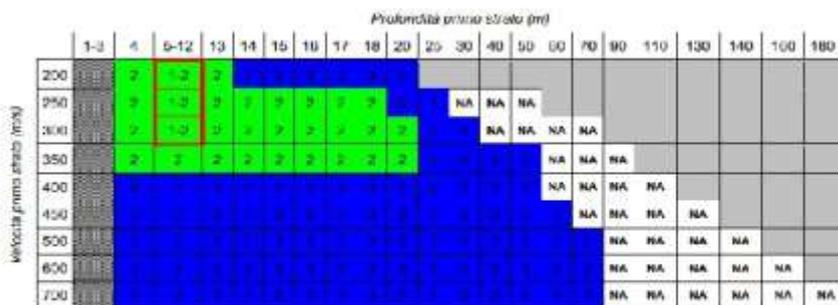
Prof base	Nspt	Vs
0		
1,4		150
4,4		195
11,4		265
25,4		365
31,9		470
35		575
45		600
50		700
60		800
70		900
Oltre 30 m		> 800



Primo strato	
Prof base:	4,4
Vs	181

Periodo del sito	
T (s)	0,430

Curva caratteristica	
n°	2



VERIFICA

Valori Fa di sito

0,1 s < T < 0,5 s	1,8
-------------------	-----

0,5 s < T < 1,5 s	1,7
-------------------	-----

COMUNE DI CREMA (CR)

Valori di Fa di soglia

Terreni di tipo:

B	C	D	E
1,4	1,8	2,2	1,9

1,7	2,4	4,1	3,0
-----	-----	-----	-----

Il Fattore di Amplificazione (Fa) calcolato (1,0) risulta inferiore a quello soglia (1,8) fornito da Regione Lombardia per i terreni di categoria C (come ricavato dall'indagine geofisica condotta) e per edifici con periodo di oscillazione compreso fra 0,1 e 0,5 s (edifici bassi, regolari e piuttosto rigidi), cui appartiene l'edificio in progetto



Considerazioni conclusive

Una volta calcolato il Fattore di Amplificazione F_a di sito, la valutazione del grado di protezione viene effettuata in termini di contenuti energetici confrontando tale valore con un parametro di analogo significato calcolato dal Politecnico di Milano per ciascun comune della Regione Lombardia, e per le diverse categorie di suolo (Norme Tecniche per le Costruzioni) soggette ad amplificazioni litologiche (B, C, D ed E).

Tale valore di riferimento rappresenta il valore soglia oltre il quale lo spettro proposto dalla normativa risulta insufficiente a tenere in considerazione la reale amplificazione presente nel sito.

Nel caso specifico, il valore fornito da Regione Lombardia per il Comune di Crema, riferito all'intervallo di periodo compreso fra 0.1 e 0.5 s, è pari a 1.8 per terreni di categoria C (la categoria di suolo di fondazione è stata stabilita sulla base dell'esito della prospezione geofisica condotta).

Ne risulta che il Fattore di Amplificazione F_a calcolato (1,6) è inferiore al valore soglia proposto da Regione Lombardia (1.8), quindi la normativa nazionale è sufficiente a tenere in considerazione i possibili effetti di amplificazione litologica).

Come conseguenza dell'analisi condotta, si ritiene possibile terminare l'approfondimento 5 relativo agli aspetti sismici utilizzando la categoria di Sottosuolo pari a quella corrispondente al V_{s30} misurato.

Nei calcoli geotecnici si dovrà pertanto far riferimento alla categoria di Sottosuolo C

Febbraio 2018

dott. geol. Giulio Mazzoleni

dott. geol. Davide Incerti

Allegato 6

PARAMETRI SISMICI DI
SITO E DI PROGETTO

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii
Muro rigido: 0

Sito in esame.

Latitudine: 45,362165
longitudine: 9,675012
Classe: 3
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 12711	Lat: 45,3737	Lon: 9,6504	Distanza: 2313,497
Sito 2	ID: 12712	Lat: 45,3760	Lon: 9,7214	Distanza: 3933,758
Sito 3	ID: 12934	Lat: 45,3260	Lon: 9,7246	Distanza: 5580,589
Sito 4	ID: 12933	Lat: 45,3238	Lon: 9,6536	Distanza: 4584,779

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 75anni
Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 45 [anni]
ag: 0,035 g
Fo: 2,524
Tc*: 0,213 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 75 [anni]
ag: 0,043 g
Fo: 2,523
Tc*: 0,236 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 712 [anni]
ag: 0,102 g
Fo: 2,523
Tc*: 0,291 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1462 [anni]
ag: 0,130 g
Fo: 2,535
Tc*: 0,298 [s]

Coefficienti sismici

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,750
St: 1,000
Kh: 0,011
Kv: 0,005
Amax: 0,517
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,690
St: 1,000
Kh: 0,013
Kv: 0,007
Amax: 0,638
Beta: 0,200

allegato_6_GeostruPS_report_20-12-2017_12-30

SLV:

Ss: 1,500
Cc: 1,580
St: 1,000
Kh: 0,037
Kv: 0,018
Amax: 1,496
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,500
Cc: 1,570
St: 1,000
Kh: 0,047
Kv: 0,023
Amax: 1,908
Beta: 0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Coordinate WGS84

latitudine: 45.361232
longitudine: 9.673966