

Progetto per il

Piano Urbanistico Attuativo - PUA

Ambito ANS_C2.1, Parco Centonara

PROPRIETA'

De' Toschi S.p.a
Sig. Gianni Ceré
C Holding S.r.l.
Sig. Ezio Baldazzi
Sig. Luca Baldazzi
Sig. Roberto Bonora
Sig.ra Chiara Bonora
Sig. Marco Filippi
Sig.ra Nadia Musiani

PROGETTISTA

Ing. Stefano Marzadori
Via Gyula, 43
40054, Budrio (BO)

COLLABORATORE

Arch. Nicoletta Rossi

SPAZIO RISERVATO ALL'UFFICIO TECNICO

OGGETTO:

Relazione geologica e sismica

SCALA

TAVOLA N°

10

REV.	DATA	DESCRIZIONE	N° ARCHIVIO:
1°	16 novembre 2018	Relazione geologica e sismica	A/719
2°			
3°			
4°			
5°			
6°			

CITTA' METROPOLITANA DI BOLOGNA

COMUNE DI OZZANO DELL'EMILIA

Relazione geologica di supporto all'inserimento di quattro aree nel PUA



Committente: Grande Sole srl – Budrio (BO)

Il Professionista incaricato: Dott. Geol. Piero Cavarocchi



Bologna, novembre 2018

OGGETTO DELL'INDAGINE

Oggetto dell'incarico professionale: relazione geologica di supporto all'inserimento di quattro aree all'interno del PUA del Comune di Ozzano dell'Emilia (BO). Il documento si propone quale estensione e puntualizzazione della relazione geologica redatta a marzo 2017 dal sottoscritto e dal Dott. Geol. Riccardo Galassi a supporto della richiesta di immissione dell'Ambito C2.1 "Parco Centonara" nel PUA del Comune di Ozzano dell'Emilia.

Questa integrazione vuole ottemperare alle prescrizioni contenute nella "Relazione Geologica e Sismica" inserita nella variante 2011 del POC 2010/2015, rieditata senza sostanziali variazioni per la Variante POC 2017, per i comparti C2.1 (13), C2.1 (14), C2.1 (15) e C2.1 (53) che, uniti, hanno dato origine al progetto "Parco Centonara".

Le integrazioni hanno interessato in particolare l'aspetto litostratigrafico dell'intero ambito territoriale e quello della caratterizzazione sismica del primo sottosuolo.



Fig. 1 – ubicazione dell'area su cartografia tecnica (dal sito web del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia Romagna)

Per quanto riguarda l'inquadramento geologico e geomorfologico dell'area si rimanda ai contenuti della Relazione Geologica e Sismica del marzo 2017.

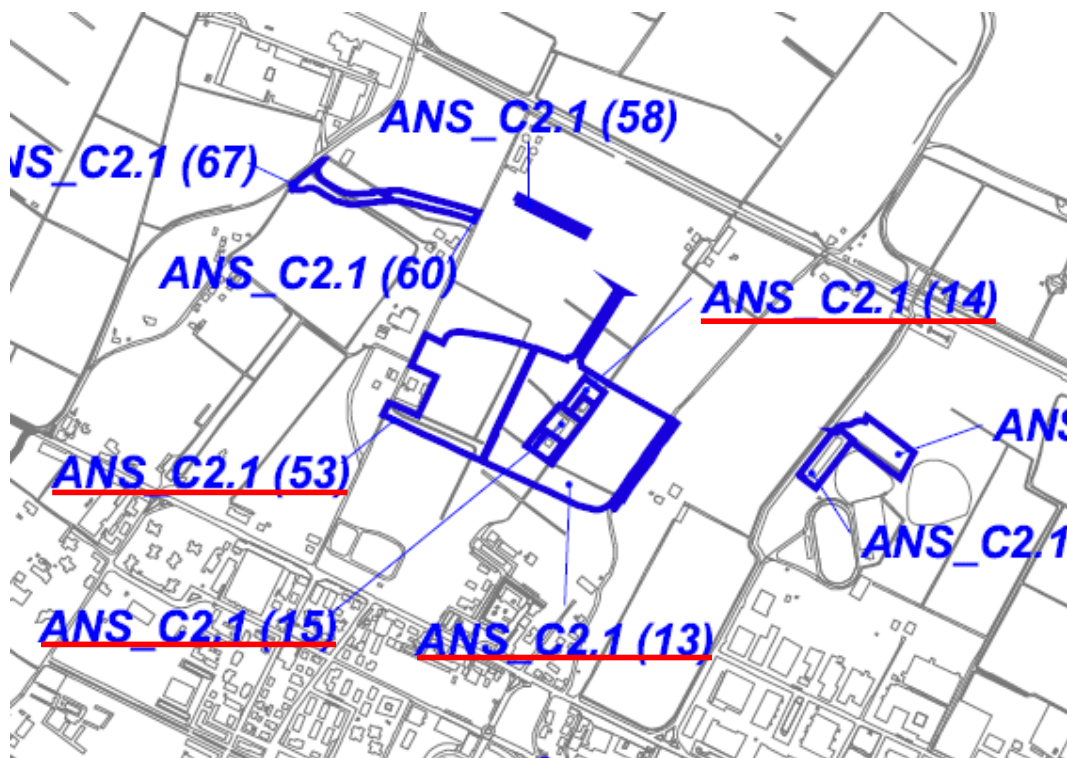


Fig. 2 - delimitazione dell'area nella cartografia del POC

Si fa presente che per quanto riguarda il comparto ANS C2.1 (14), non essendo previsto alcun intervento edificatorio al suo interno, non è stata eseguita alcuna caratterizzazione geologico-tecnica e sismica.

La suddetta "Relazione Geologica e Sismica" allegata al POC conteneva queste specifiche prescrizioni, suddivise per ogni specifico ambito:

- C2.1 (13)
 - "almeno 3 penetrometrie statiche o dinamiche superpesanti finalizzate alla stima dei parametri meccanici dei sedimenti fini meno profondi e ad appurare la profondità dell'intervallo ghiaioso (il cui tetto si presume collocato ad una profondità variabile tra circa 3÷6 metri dal p.c.)"
 - "nel caso di interventi edificatori più impegnativi e/o con previsione di locali interrati, almeno 2 sondaggi a carotaggio continuo che attraversino il primo strato granulare, per appurarne direttamente lo spessore. I carotaggi devono essere spinti fino ad una profondità minima di 15 metri per l'accertamento della stratigrafia fino a tale profondità e per la verifica dell'eventuale piezometria locale"
 - "nel caso di prevedere nuovi edifici con più di 4 piani di elevazione, un'analisi numerica di risposta sismica locale basata anche sui nuovi dati diretti che si ricaveranno dalle terebrazioni".
- C2.1 (53)
 - "almeno 3 penetrometrie statiche o dinamiche superpesanti finalizzate alla stima dei parametri meccanici dei sedimenti fini meno profondi e ad appurare la profondità dell'intervallo ghiaioso (il cui tetto si presume collocato ad una profondità variabile tra circa 3 metri dal p.c.)"
 - "nel caso di interventi edificatori più impegnativi e/o con previsione di locali interrati, almeno 1 sondaggio a carotaggio continuo che attraversi il primo strato granulare, per appurarne direttamente lo spessore. Il carotaggio deve essere spinto fino ad una profondità minima di 15 metri per l'accertamento della stratigrafia fino a tale profondità e per la verifica dell'eventuale piezometria locale"

- “nel caso di prevedere nuovi edifici con più di 4 piani di elevazione, un’analisi numerica di risposta sismica locale basata anche sui nuovi dati diretti che si ricaveranno dalle terebrazioni”.
- C2.1 (15)
 - “almeno 2 penetrometrie statiche o dinamiche superpesanti finalizzate alla stima dei parametri meccanici dei sedimenti fini meno profondi e ad appurare la profondità dell’intervallo ghiaioso (il cui tetto si presume collocato ad una profondità variabile tra circa 4÷5 metri dal p.c.)”
 - “nel caso di interventi edificatori più impegnativi e/o con previsione di locali interrati, almeno 1 sondaggio a carotaggio continuo che attraversi il primo strato granulare, per appurarlo direttamente lo spessore. Il carotaggio deve essere spinto fino ad una profondità minima di 15 metri per l’accertamento della stratigrafia fino a tale profondità e per la verifica dell’eventuale piezometria locale”
 - “nel caso di prevedere nuovi edifici con più di 4 piani di elevazione, un’analisi numerica di risposta sismica locale basata anche sui nuovi dati diretti che si ricaveranno dalle terebrazioni”.

In occasione della redazione della Relazione geologica del marzo 2017 è stata predisposta ed eseguita una campagna geognostica e sismica che, schematicamente può essere così descritta (suddivisa per ogni ambito – per l’ubicazione si veda la Fig. 3):

- C2.1 (13)
 - 3 penetrometrie statiche (CPT1, CPT2 e CPT4) spinte a profondità comprese tra 5,0 e 12,0 metri dal pc;
 - 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti alla profondità di 15 metri dal pc: all’interno dei fori è stato inserito un piezometro di tipo Norton a fondo foro per la verifica della presenza di un livello di falda.
- C2.1 (53)
 - 2 penetrometrie statiche (CPT5 e CPT6) spinte a profondità comprese tra 4,0 e 11,0 metri dal pc;
 - 2 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti a profondità di 15 metri dal pc (S4) e di 30 metri dal pc (S3): all’interno del foro del sondaggio S4 è stato inserito un piezometro di tipo Norton a fondo foro per la verifica della presenza di un livello di falda.
- C2.1 (15)
 - 1 penetrometria statica (CPT3) spinta alla profondità di 15,0 metri dal pc.

Per quanto riguarda la caratterizzazione sismica dell’intero comparto era stata eseguita una prova di tipo Down Hole in corrispondenza del sondaggio S3: a questa indagine era stata associata una prova di tipo HVSR.

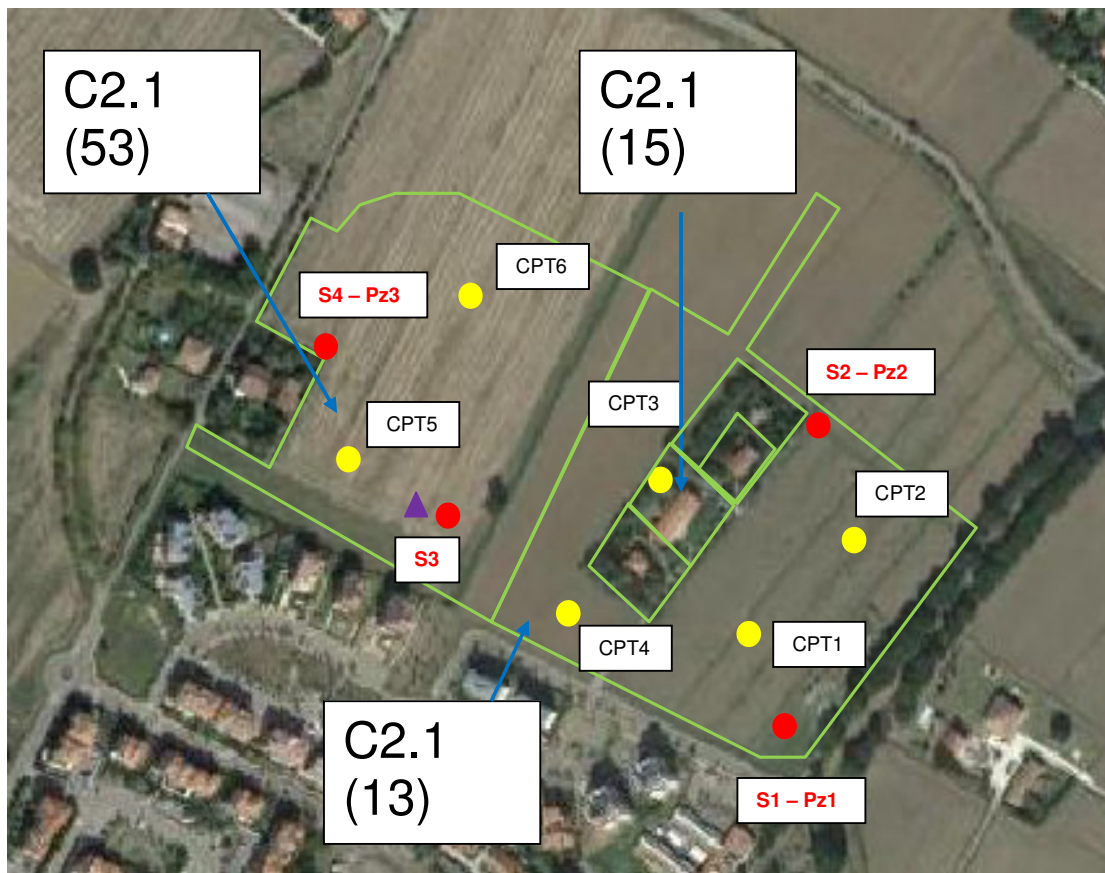


Fig. 3 – ubicazione delle indagini eseguite nel gennaio 2017. Il triangolo magenta evidenzia l'ubicazione della prova HVSR.

CAMPAGNA GEOGNOSTICA E SISMICA 2018

Confrontando le prescrizioni contenute nella Relazione Geologica e Sismica di supporto al POC di Ozzano dell'Emilia con quanto eseguito in occasione della prima fase di caratterizzazione geologico-meccanica del gennaio/marzo 2017 è possibile verificare che delle 8 prove penetrometriche statiche o dinamiche superpesanti richieste per l'intero comparto "Parco Centonara" ne erano state eseguite 6: per quanto riguarda i sondaggi geognostici, i 4 previsti sono stati tutti eseguiti [per quanto riguarda l'ambito C2.1 (15) è stata ritenuta significativa la caratterizzazione della stratigrafia e della falda derivante dal sondaggio S2, posizionato poco più a nord dell'ambito].

A completamento della campagna geognostica sono quindi state eseguite 2 penetrometrie statiche, ubicata una nell'ambito C2.1 (15) e l'altra nell'ambito C2.1 (53).

Dal punto di vista della caratterizzazione sismica, sono state eseguite 2 prove MASW associate ad altrettante prove HVSR.

Per l'ubicazione si veda la fig. 4.



Fig. 4– ubicazione delle indagini eseguite nel periodo ottobre-novembre 2018.



CPT7



CPT8

METODOLOGIE DI PROVA

Prova CPT

La prova penetrometrica statica CPT (di tipo meccanico) consiste essenzialmente nella misura della resistenza alla penetrazione di una punta meccanica di dimensioni e caratteristiche standardizzate, infissa nel terreno a velocità costante ($v = 2 \text{ cm / sec}$ □ $0,5 \text{ cm / sec}$).

La penetrazione viene effettuata tramite un dispositivo di spinta (martinetto idraulico), opportunamente ancorato al suolo con coppie di coclee ad infissione, che agisce su una batteria doppia di aste (aste coassiali esterne cave e interne piene), alla cui estremità è collegata la punta.

Lo sforzo necessario per l'infissione è misurato per mezzo di manometri, collegati al martinetto mediante una testa di misura idraulica.

La punta conica (del tipo telescopico) è dotata di un manicotto sovrastante, per la misura dell'attrito laterale : punta / manicotto tipo "**Begemann**".

Le dimensioni della punta / manicotto sono standardizzate, e precisamente :

- diametro Punta Conica meccanica $\varnothing = 35,7 \text{ mm}$
- area di punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo di apertura del cono $\alpha = 60^\circ$
- superficie laterale del manicotto $A_m = 150 \text{ cm}^2$

Sulla batteria di aste esterne è installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'infissione.

ANALISI DEI RISULTATI

RISULTATI DELL'INDAGINE GEOGNOSTICA

Per la ricostruzione della successione stratigrafica sono stati utilizzati i dati provenienti dalle penetrometrie statiche, che dal confronto dei valori di resistenza alla punta e resistenza laterale permettono di ottenere affidabili interpretazioni litologiche degli strati attraversati.

Le colonne litologiche che sintetizzano l'esito delle prove penetrometriche eseguite sono riportate nelle seguenti tabelle, ove sono distinti i principali intervalli ricostruiti sulla base del diagramma di di Schmertmann (1978) per le CPT (Figura 5).

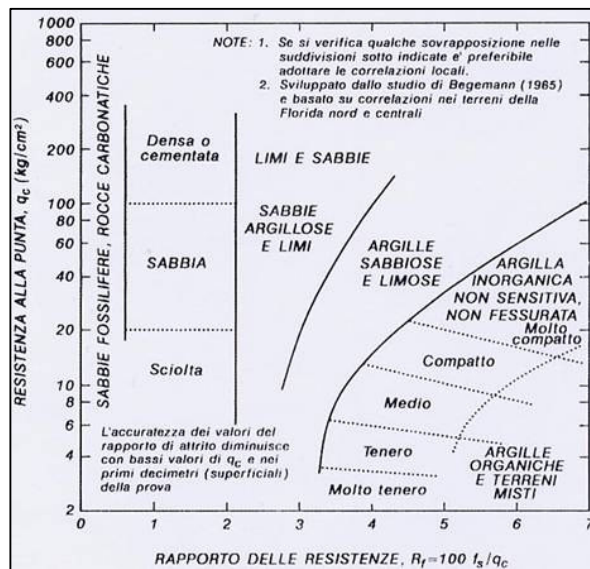


Fig. 5: Diagramma di Schmertmann (1978)

PROVA ...CPT7

Prof. Strato (m)	Descrizione Litologica	Comp. Geotecnico
0.80	Limi sabbiosi ed argillosi	Coesivo - Incoerente
1.60	Argilla limoso sabbiosa	Coesivo - Incoerente
3.40	Argilla inorganica molto compatta	Coesivo
4.40	Argilla sabbiosa e limosa	Coesivo - Incoerente
6.60	Sabbie addensate/ghiaie in matrice limoso sabbiosa	Incoerente - Coesivo

PROVA ...CPT8

Prof. Strato (m)	Descrizione Litologica	Comp. Geotecnico
1.40	Argilla limoso sabbiosa	Coesivo - Incoerente
3.20	Argilla inorganica molto compatta	Coesivo
5.60	Limi sabbiosi ed argillosi	Coesivo - Incoerente
8.60	Sabbie addensate	Incoerente

MODELLO GEOTECNICO INTERPRETAZIONE E PRESENTAZIONE DEI DATI

Metodologia di Elaborazione.

Per quanto riguarda la penetrometria statica, le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Static Probing della *GeoStru Software*.

I dati rilevati dalla prova sono costituiti da una coppia di valori per ogni intervallo di lettura costituiti da LP (Lettura alla punta) e LT (Lettura della punta + manicotto), le relative resistenze vengono quindi desunte per differenza, inoltre la resistenza laterale viene conteggiata 20 cm sotto (alla quota della prima lettura della punta).

La resistenze specifiche **Qc** (Resistenza alla punta **RP**) e **Ql** (Resistenza Laterale **RL** o **fs** attrito laterale specifico che considera la superficie del manicotto di frizione) vengono desunte tramite opportune costanti e sulla base dei valori specifici dell'area di base della punta e dell'area del manicotto di frizione laterale tenendo in debito conto che:

A_p = l'area punta (base del cono punta tipo "Begemann") = 10 cm²

A_m = area del manicotto di frizione = 150 cm²

C_t = costante di trasformazione = 10

I valori sono calcolati con le seguenti formule:

$$Q_c (RP) = (LP \times C_t) / 10 \text{ cm}^2.$$

Resistenza alla punta

$$Q_l (RL) (fs) = [(LT - LP) \times C_t] / 150 \text{ cm}^2.$$

Resistenza laterale

$Q_c (RP)$ = Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione C_t / Superficie Punta A_p

$Q_l (RL) (fs)$ = Lettura laterale LT- Lettura alla punta LP x Costante di Trasformazione C_t / A_m area del manicotto di frizione

N.B. - $A_p = 10 \text{ cm}^2$ e $A_m = 150 \text{ cm}^2$

- la resistenza laterale viene conteggiata **20 cm sotto** (alla quota della prima lettura della punta)

Per quanto riguarda le penetrometrie dinamiche, le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

I dati rilevati dalle prove sono trattati in modo da essere trasformati nel parametro NSPT (Standard Penetration Test) che rappresenta uno dei test più diffusi per ricavare informazioni sul comportamento geomeccanico dei terreni e per il quale sono note diverse correlazioni che permettono di ricavare i principali parametri.

CORRELAZIONI GEOTECNICHE

TERRENI INCOERENTI

Angolo di Attrito: metodo di Durgunouglu-Mitchell 1973

Densità relativa (%): Metodo di Lancellotta 1983

Modulo Edometrico: Metodo di Robertson & Campanella da Schmertmann

Modulo di Young: Metodo di Schmertmann

Peso di Volume Gamma e Gamma sat: Metodo di Meyerhof -

Modulo di deformazione di taglio: metodo di Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

OCR - Grado di Sovraconsolidazione Metodo di Larsson 1991 S.G.I.

TERRENI COESIVI

Coesione Non Drenata: Metodo Rolf Larsson SGI 1995

Modulo Edometrico-Confinato: Metodo Mitchell & Gardner (1975)

Peso di Volume Gamma e Gamma sat: Metodo di Meyerhof

Modulo di deformazione di taglio): Metodo di Imai & Tonouchi (1982)

OCR: Metodo Larsson 1991 S.G.I.

Caratterizzazione geomeccanica

Si riassumono, di seguito, i parametri del terreno ricavati dall'interpretazione dei dati numerici delle prove CPT mediante espressioni bibliografiche. Gli intervalli di seguito riportati, suddivisi secondo le caratteristiche geomeccaniche, coincidono con quelli descritti nella ricostruzione litologica della sequenza, rappresentandone un semplificazione/approfondimento geomeccanico, basato sia sul tipo di comportamento atteso (coesivo, incoerente o coesivo-incoerente), sia sui parametri di resistenza alla penetrazione misurati durante le prove.

I dati sono stati ricavati da software e l'utilizzo va ponderato attentamente da parte di progettista abilitato.

A giudizio dello scrivente i dati ricavati dalle penetrometrie nei primi 1,5 metri di profondità dal pc mostrano un grado di sovra consolidamento derivante da un effetto di essiccazione riconducibile ad una recente stagione estiva particolarmente secca: i parametri geomeccanici riferiti a questo intervallo di profondità riportati nelle tabelle sottostanti non devono considerarsi come realmente rappresentativi delle litologie, da valutarsi quindi con estrema cautela.

Schematizzazione litologica e tabella riassuntiva dati geomeccanici prova CPT 7

	Litologia	Prof. Base Strato (m)	Qc (Kg/cm q)	Fs (Kg/cm q)	γ (t/mc)	γ_{sat} (t/mc)	Go (Kg/cm q)	Eed (Kg/cm q)	Φ' (°)	Cu (Kg/cm q)
Strato 1	Limi sabbiosi ed argillosi	0.80	58,1	1,9	2,0	2,1	335	110	26	1,5
Strato 2	Argilla limoso sabbiosa	1.60	47,5	2,9	2,0	2,1	296	90	25	1,4
Strato 3	Argilla inorganica molto compatta	3.40	38,5	4,7	2,1	2,2	260	70	23	1,9
Strato 4	Argilla sabbiosa e limosa	4.40	97,5	7,2	2,0	2,1	459	180	27	1,8
Strato 5	Sabbie addensate/ghiaie in matrice limoso sabbiosa	6.60	240,0	2,3	1,9	2,0	795	350	39	

Schematizzazione litologica e tabella riassuntiva dati geomeccanici prova CPT 8

	Litologia	Prof. Base Strato (m)	Qc (Kg/cm q)	Fs (Kg/cm q)	γ (t/mc)	γ_{sat} (t/mc)	Go (Kg/cm q)	Eed (Kg/cm q)	Φ' (°)	Cu (Kg/cm q)
Strato 1	Argilla limoso sabbiosa	1.40	41,0	2,1	2,0	2,1	270	80	25	1,3
Strato 2	Argilla inorganica molto compatta	3.20	26,9	2,1	2,1	2,2	209	51	23	1,1
Strato 3	Limi sabbiosi ed argillosi	5.60	146,4	2,6	2,0	2,1	550	220	26	0,9
Strato 4	Sabbie addensate	8.60	220,8	2,1	1,9	2,0	755	330	39	

RILIEVO DELLA FALDA

In corrispondenza dei sondaggi geognostici S1, S2 e S4 sono stati installati tubi piezometrici per poter verificare nel tempo la presenza di un eventuale livello di falda nel primo sottosuolo.

Le tabelle seguenti mostrano i risultati di queste misure aggiornate al 31 ottobre 2018: nella prima vengono riportati i dati riferiti alla profondità del livello statico rispetto al p.c., nella seconda vengono riportati i dati riferiti alla quota del livello del mare (slm).

Livello piezometrico (profondità in m dal p.c. - soggiacenza)

	Profondità piezometro	27/01/17	31/01/17	21/02/17	05/04/17	26/10/17	14/05/18	31/10/18
PZ1	14,0	11,60	11,60	11,65	11,61	11,61	11,41	11,65
PZ2	15,0	10,36	10,36	10,37	10,40	10,37	10,09	10,36
PZ3 (in S4)	15,0	13,37	13,37	13,40	13,25	13,61	12,75	13,32

Livello piezometrico (quota assoluta – m slm)

	Profondità piezometro	27/01/17	31/01/17	21/02/17	05/04/17	26/10/17	14/05/18	31/10/18
PZ1	14,0	45.56	45.56	45.51	45.55	45.55	45.75	45.51
PZ2	15,0	43.97	43.97	43.96	43.93	43.96	44,24	43,97
PZ3 (in S4)	15,0	40.89	40.89	40.86	41,01	40.65	41,51	40,94

L'analisi delle tabelle evidenzia la presenza di acqua nel primo sottosuolo a profondità che si sono rilevate piuttosto costanti nell'arco temporale in cui sono state eseguite le misure (circa 21 mesi).

Il rilievo topografico di dettaglio eseguito nell'ambito della preparazione della documentazione tecnica per la richiesta di immissione nel PUA degli ambiti oggetto di questa relazione ha permesso di ricostruire l'andamento della superficie piezometrica nel primo sottosuolo, riferendo le isopieze al livello del mare.

Il loro andamento è illustrato nella fig.6: risulta evidente come il deflusso delle acque sotterranee della falda più superficiale avviene da est verso ovest.



Fig. 6 – andamento delle isoipieze (m slm). La freccia indica la direzione del deflusso delle acque sotterranee

MODELLO GEOLITOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

L'esito delle penetrometrie CPT7 e CPT8 eseguite nel mese di ottobre us ha sostanzialmente confermato quanto riportato nella Relazione Geologica del marzo 2017 a proposito della caratterizzazione litostratigrafica dell'intero ambito identificato come Parco Centonara. Le ultime CPT sono riuscite ad indagare i soli depositi più superficiali e l'unico aspetto che può essere segnalato riguarda la natura dei terreni presenti al di sopra del più superficiale deposito di sabbie e ghiaie: questi infatti, secondo il modello interpretativo di Schmertmann, sono risultati essere costituiti da sedimenti argilloso limosi con una certa frazione sabbiosa. Come schematizzazione litologico-stratigrafica resta quindi valida quella presentata nel marzo 2017 a cui si rimanda per una descrizione di maggiore dettaglio.

DETERMINAZIONE DEI VALORI GEOMECCANICI CARATTERISTICI PER LA RICHIESTA DI INSERIMENTO NEL PUA

Secondo quanto indicato del decreto del 17/01/2018, per la definizione delle caratteristiche geomeccaniche di riferimento dei vari intervalli riconosciuti nella sequenza, in fase preliminare, si è proceduto alla individuazione dei valori di angolo di attrito interno, coesione, coesione efficace e peso di volume per ognuno di tali intervalli.

Si fa presente che in virtù delle caratteristiche litologiche, degli spessori e dei parametri di resistenza rilevati nelle varie prove, la sequenza è stata scomposta in un numero di intervalli ritenuti significativi per la definizione del modello, a parziale semplificazione della colonna litologica e geotecnica riferibile alla singola prova.

Le procedure di stima dei parametri di progetto, utilizzate per la definizione del modello geotecnico concettuale preliminare, sono descritte come segue.

Procedura per ricavare i valori caratteristici mediante l'analisi statistica per parametri che seguono distribuzione log-normale (Cu, c', E, altri)

Si è applicato il metodo di Cox (da Zhou & Gao, 1997):

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} \pm z_{1-\frac{\alpha}{2}} * \sqrt{\frac{S^2}{n} + \frac{S^4}{2(n-1)}}$$

dove:

\bar{Y} valore medio del dataset con distribuzione lognormale

z distribuzione normale standardizzata

t valore della distribuzione di Student ad n-1 gradi di libertà

S deviazione standard del campione

n numero di dati

I valori caratteristici non sono stati divisi per il relativo coefficiente previsto dal decreto per determinarne il valore in caso di analisi simica.

Le sottostanti tabelle individuano preliminarmente le caratteristiche del terreno che interagirà con le opere di fondazione da progettarsi; queste dovranno essere riviste in fase di progettazione definitiva/esecutiva in funzione dell'esito delle prove che verranno realizzate in quelle fasi.

Le due tabelle contengono rispettivamente la schematizzazione degli intervalli litologici suddivisi per comportamento geomeccanico omogeneo e l'elaborazione dei dati relativi a tali intervalli riferiti ai primi 15 metri della successione stratigrafica, quelli indagati dalle prove penetrometriche.

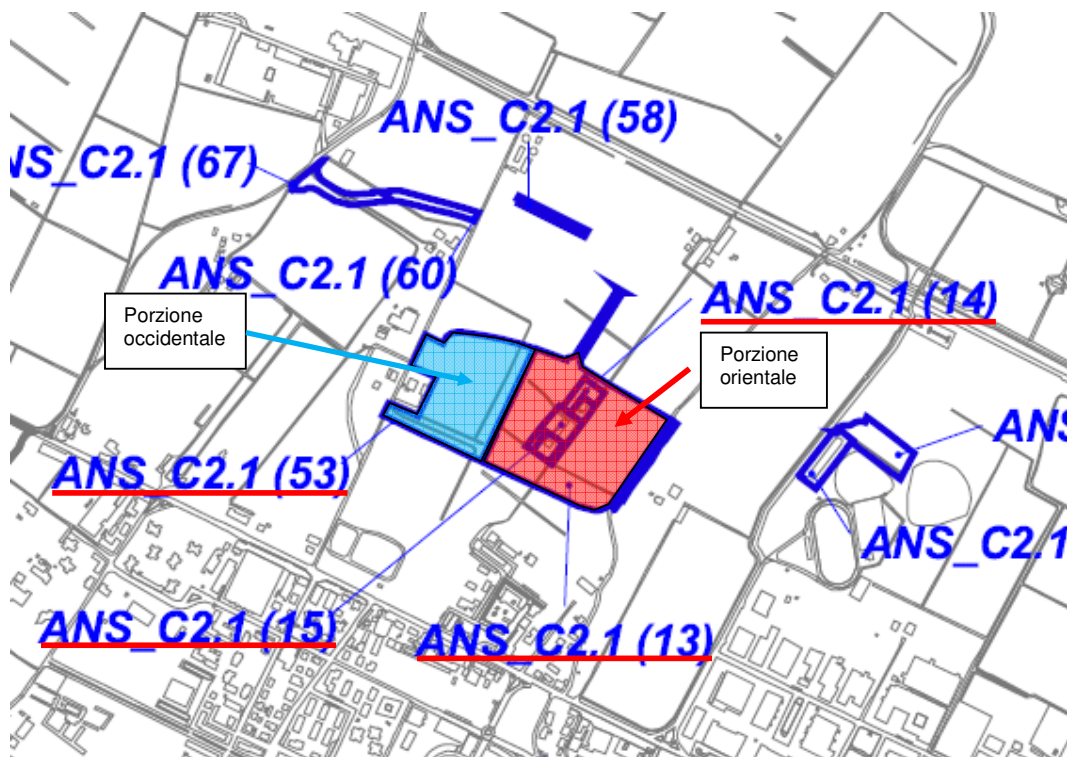
Si ritiene importante far rilevare che i valori dell'angolo di attrito interno efficace e della coesione efficace vanno riferiti generalmente ai livelli più granulari a comportamento incoerente compresi nell'intervallo considerato.

Tenendo presente che l'area in esame, come evidenziato all'inizio di questa relazione, si suddivide in 4 comparti di cui il solo C2.1 (53) ne rappresenta la porzione occidentale, mentre i

restanti 3 [C2.1 (13), C2.1 (14) e C2.1 (15)] ne rappresentano insieme la porzione orientale e facendo riferimento ai risultati delle indagini geognostiche eseguite (sondaggi meccanici e penetrometrie statiche) e ai risultati delle analisi di laboratorio geotecnico, si ritiene opportuno proporre due distinte tabelle relative ai parametri geotecnici di progetto relative rispettivamente alla porzione occidentale ed a quella orientale.

La scelta di proporre questa divisione appare opportuna soprattutto in quanto si sono evidenziate differenze non trascurabili sia in termini di spessore sia in termini di caratteristiche geomeccaniche in particolare nei terreni che caratterizzano la sequenza subito al di sotto del p.c., nell'intervallo compreso tra questo ed il tetto del più superficiale deposito incoerente.

La successiva schematizzazione della successione stratigrafica deve ritenersi valida per l'intera area in esame ma le due tabelle successive specificano più precisamente gli intervalli di profondità caratteristici di ogni litotipo riconosciuto.



Intervallo	Litologia
1	Argille e limi
2	Ghiaie e sabbie mediamente addensate
3	Sabbie e sabbie limose
4	Ghiaie addensate
5	Argille

I parametri geomeccanici caratteristici relativi ai litotipi riconosciuti per il settore orientale sono stati ottenuti utilizzando i dati provenienti dalle seguenti indagini geognostiche:

- S1
- S2
- CPT1
- CPT2
- CPT3
- CPT4
- CPT7

I parametri geomeccanici caratteristici relativi ai litotipi riconosciuti per il settore occidentale sono stati ottenuti utilizzando i dati provenienti dalle seguenti indagini geognostiche:

- S3
- S4
- CPT5
- CPT6
- CPT8

Valori di riferimento indicativi per il progetto – porzione orientale

Intervallo	Profondità	Comportamento geotecnico prevalente	ϕ'_k	c'_k	Cu_k	γ_k
1	0,0 ÷ 4.0-5.4 (7,0 solo in S1)	Coesivo	20	18	80	19
2	4.0-5.4 (7,0) ÷ 10,0-12.6	Incoerente	32	3		18
3	10.6-12,6 ÷ 12.6->15,0	Coesivo - Incoerente	24	14	70	20

Valori di riferimento indicativi per il progetto – porzione occidentale

Intervallo	Profondità	Comportamento geotecnico prevalente	ϕ'_k	c'_k	Cu_k	γ_k
1	0,00 ÷ 2,7-3.2	Coesivo	20	14	60	19
2	2,7-3.2 ÷ 7.0-10,5	Incoerente	30	4		18
3	7.0-10,5 ÷ 9.7-10,2 (14,0 solo in S3)	Coesivo - Incoerente	24	15	80	20
4	9.70-10,2 (14,0) ÷ > 15,0 (23,0 in S3)	Incoerente	34	3		19
5	>15,0 (>23,0 in S3)	Coesivo	nd	nd	nd	nd

N.B. Cu = coesione non drenata (KN/mq), Φ' = angolo di attrito interno efficace ($^\circ$), C' = coesione efficace (KN/mq), γ = peso di volume non saturo o saturo (KN/mc). I valori di c' per gli intervalli 2, 3 e 4 si riferiscono a indicazioni bibliografiche valide per terreni con caratteristiche litologiche simili. nd=non disponibili

Come specificato più sopra, i valori sopra tabellati devono intendersi come indicativi a livello di ogni singolo settore: in occasione delle fasi di progettazione dei singoli interventi edificatori dovranno essere confermati o meno dall'elaborazione di specifici dati acquisiti mediante appropriate indagini in situ ed in laboratorio di analisi terreni.

CARATTERISTICHE SISMICHE: MODELLO CONCETTUALE

Per quanto riguarda la caratterizzazione sismica a livello comunale si rimanda ai contenuti dello specifico capitolo della Relazione Geologica e Sismica del marzo 2017.

ANALISI A SCALA LOCALE

Anche per questo capitolo si rimanda alla citata relazione del marzo 2017.

Liquefazione

Le penetrometrie statiche eseguite in occasione della recente campagna geognostica integrativa hanno raggiunto profondità non superiori a 8,60 metri, confermando l'assenza di un livello di falda entro il più superficiale livello incoerente; questi dati non sono sufficienti per poter procedere ad una ulteriore verifica del potenziale di liquefazione dei primi 15 metri di sedimenti presenti nel sottosuolo e quindi per le considerazioni su questo aspetto si rimanda alla trattazione ed alle conclusioni espresse all'interno della Relazione Geologica del marzo 2017.

Analisi sismica preliminare di II e III livello

Le indagini eseguite, possono essere utilizzate in via preliminare per stimare i Fattori di Amplificazione (F.A.) richiesti nell'analisi sismica semplificata, secondo quanto previsto dalla DGR Emilia Romagna 112/2007. Attraverso le indagini, infatti, sono stati definiti lo spessore del deposito di copertura e della profondità del bedrock (H) oltre alla velocità equivalente delle onde

di taglio per lo spessore considerato (V_{sH} e V_{s30}) del deposito di copertura. Le prove eseguite in situ per la determinazione delle V_{s30} (Down Hole e HVSR) hanno fornito un valore compreso tra 321 m/s e 331 m/s, da cui discende la seguente indicazione dei Fattori di Amplificazione.

I Fattori di Amplificazione (F.A.) sono riferiti al Suolo A come previsto dall'Eurocodice 8, parte 1, e dal D.M. 14/9/2005 "Norme tecniche per le costruzioni", punto 3.2.1.

Per l'area di progetto tali fattori sono messi in evidenza in rosso nelle seguenti tabelle.

F.A. P.G.A.

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.5	1.5	1.5	1.4	1.4	1.4	1.3	1.1	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.1s < T_0 < 0.5s$

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.8	1.8	1.7	1.7	1.5	1.4	1.3	1.2	1.0	1.0

F.A. INTENSITA' SPETTRALE - $0.5s < T_0 < 1.0s$

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	2.5	2.3	2.3	2.0	1.8	1.7	1.7	1.5	1.2	1.0

Definizione della categoria di sottosuolo

Attraverso le prove effettuate è stato possibile ricostruire la risposta sismica locale, termine con il quale si intende l'insieme delle modifiche che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base posta ad una certa profondità nel sottosuolo, subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie.

Il sito, infatti è stato sottoposto ad una indagine che ha consentito di ricostruire i seguenti aspetti (per via diretta ed indiretta):

- stratigrafia con dettagliata definizione dell'andamento dei contatti dei livelli litologici riconosciuti nei primi 30 metri dal p.c,
- caratteristiche meccaniche dei terreni, con riferimento al loro comportamento dinamico,
- morfologia dell'area.

Per gli studi di risposta sismica locale finalizzati alla previsione delle azioni sismiche sugli edifici da realizzare è stato caratterizzato il terreno ricostruendo il valore di V_s (velocità delle onde di taglio) mediante l'esecuzione di due prove MASW associate ad altrettante prove HVSR. Si richiamano brevemente alcuni contenuti del decreto citato.

Il suolo è suddiviso in cinque categorie fondamentali:

Categorie	Descrizione	S
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi con V_s superiori a 800 m/sec, comprendenti spessori di alterazione non superiori a 5 metri	1
B	Sabbie e ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, di spessore superiore a 10 metri con graduale miglioramento delle caratteristiche meccaniche con la profondità e V_s comprese tra 360 m/sec e 800 m/sec,	1,25
C	Sabbie e ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, in spessori variabili tra decine e centinaia di metri, con valori di V_s compresi tra 180 m/sec e 360 m/sec,	1,25
D	Sabbie e ghiaie da sciolti a poco addensati o coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da V_s inferiore a 180 m/sec,	1,35
E	Profili di terreno costituiti da strati alluvionali superficiali, con valori di V_s simili a quelli di C e D e spessore compreso tra 5 e 20 metri giacenti su un substrato di materiale più rigido con V_s maggiore a 800 m/sec.	1,25

In base alle caratteristiche del terreno di fondazione, ricostruite mediante l'apposita campagna geofisica (si veda a tal proposito la documentazione allegata), è stato possibile verificare che la sequenza può essere assimilata ad un suolo di tipo C con valori di Vs30 compresi tra 291 e 303 m/sec.

Si sottolinea il fatto che la specifica relazione sismica allegata al presente documento evidenzia come a profondità maggiori di 4 metri dall'attuale pc si pone il passaggio delle Vs30 a valori maggiori di 360 m/sec: al di sotto di questa profondità la sequenza può essere assimilata ad un suolo di tipo B. Questo aspetto dovrà essere confermato o meno in occasione delle fasi progettuali dei singoli fabbricati, procedendo ad ulteriori indagini sismiche specifiche per ogni singolo lotto.

CONSIDERAZIONI FINALI

In occasione della richiesta di inserimento dell'area identificata come Parco Centonara quale zona di espansione residenziale verso nord dell'area urbanizzata del Comune di Ozzano dell'Emilia, si è provveduto all'integrazione della campagna geognostica eseguita a gennaio 2017 ed utilizzata per l'inserimento dello stesso ambito nel POC: con tale integrazione si ritiene di aver ottemperato alle prescrizioni contenute nella Relazione Geologica e Sismica allegata alla Variante del POC 2010/2015, rieditata senza sostanziali variazioni per la Variante POC 2017.

A tale scopo sono state eseguite N°2 prove penetrometriche statiche spinte a profondità comprese tra 6,6 e 8,6 metri dal pc e N°2 indagini sismiche integrate basate sulla tecnica MASW e su quella HVSr.

Le penetrometrie hanno sostanzialmente confermato la presenza di un livello superficiale di sedimenti prevalentemente coesivi (argille e limi) con una certa percentuale di sabbia a cui fa seguito un deposito di terreni incoerenti (sabbie e ghiaie) che, a causa del loro elevato grado di addensamento, hanno determinato l'interruzione forzata di entrambe le penetrometrie: nonostante non sia stato possibile indagare uno spessore maggiore può dirsi raggiunto lo scopo principale richiesto dalle prescrizioni della Relazione Geologica e Sismica del POC che era quello di ottenere una "stima dei parametri meccanici dei sedimenti fini meno profondi ed appurare la profondità dell'intervallo ghiaioso".

E' stato così confermato il modello litostratigrafico inserito nella relazione del marzo 2017.

Si conferma la necessità di procedere all'esecuzione di specifiche campagne di indagini geognostiche, da ubicarsi in corrispondenza dei futuri fabbricati, campagna che dovrà basarsi su tipologie di prove indirette (CPT e CPTU) o dirette (sondaggi geognostici) che possano fornire informazioni più puntuali e dettagliate sulla natura dei sedimenti presenti nel primo sottosuolo. A queste dovranno associarsi prove di laboratorio geotecnico su campioni indisturbati allo scopo di ottenere dati di maggiore accuratezza per la parametrizzazione geomeccanica degli strati che dovranno sostenere i carichi dei nuovi fabbricati.

Nel corso dei 20 mesi trascorsi tra le due campagne geognostiche sono state eseguite una serie di misure del livello di falda utilizzando i piezometri inseriti all'interno dei sondaggi geognostici eseguiti nel gennaio 2017: la falda è stata sempre ritrovata a profondità di circa 10-13 metri dal p.c. e sembrerebbe saturare solo il corpo più sabbioso - ghiaioso ritrovato con le prove.

E' stato altresì confermato l'andamento del deflusso delle acque di questa falda più superficiale indicato nella precedente relazione: questo è risultato essere orientato verso occidente.

Anche dal punto di vista geotecnico preliminare sito specifico vengono confermate le caratteristiche da discrete a buone di tutti gli intervalli che caratterizzano la sequenza deposizionale, pur non escludendo la possibilità di ritrovamento di alcuni livelli meno consistenti/costipati.

Nel presente documento sono stati riproposti i medesimi valori caratteristici dei principali intervalli che costituiscono il modello geomeccanico ricostruito attraverso le prove, valori già inseriti nel documento del marzo 2017.

Dal punto di vista della risposta sismica attesa sul sito le indagini MASW + HVSr hanno

consentito di verificare in via preliminare che i primi 30 metri di sequenza sarebbero classificabili come suolo di tipo C con VS_{30} pari a circa 300 m/sec. Si sottolinea il fatto che la specifica relazione sismica allegata evidenzia come a profondità maggiori di 4 metri dall'attuale pc si pone il passaggio delle Vs_{30} a valori maggiori di 360 m/sec: al di sotto di questa profondità la sequenza può essere assimilata ad un suolo di tipo B. Questo aspetto dovrà essere valutato con la necessaria attenzione in caso si preveda la realizzazione di piani interrati dei fabbricati, procedendo comunque ad ulteriori indagini sismiche specifiche per ogni singolo lotto.

Per quanto riguarda lo studio della potenziale liquefazione degli intervalli della sequenza, vengono confermate le risultanze delle verifiche eseguite a marzo 2017 che, cautelativamente, erano state impostate sull'ipotesi (risultata poco probabile alla luce degli esiti delle letture periodiche dei piezometri presenti all'interno del comparto) di un innalzamento del livello di falda fino a profondità di 2,0 metri dal p.c., per effetto di una saturazione parziale e/o temporanea dei livelli granulari riconosciuti con le indagini in situ: l'insorgenza di questo fenomeno può ritenersi altamente improbabile.

Bologna, li 11/11/2018

Dott. Geol. Piero Cavarocchi



NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La stesura della seguente relazione è stata eseguita in ottemperanza alle disposizioni contenute nelle normative di riferimento elencate di seguito:

“Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 gennaio 2018” e sue circolari applicative.

AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977;

AGI: raccomandazioni sulle prove geotecniche di laboratorio, Maggio 1990 (edizione provvisoria);

Eurocodice Ec7 per l'ingegneria geotecnica, Settembre 1988;

ISO 31-11: Quantities and units, Mathematical signs and symbols for use in the physical sciences and technology, 1992;

UNI ISO 2955: Rappresentazione delle unità SI e di altre unità usate nei sistemi con insiemi limitati di caratteri, 1987;

CNR-UNI: norme relative al prelievo di campioni, all'esecuzione di analisi granulometriche, alla determinazione dei limiti di consistenza, alla classificazione di una terra;

ASTM: norme relative alla descrizione di una terra, all'esecuzione di analisi granulometrica per via umida con sedimentazione ed aerometria, alla esecuzione di prova di compressione monoassiale, alla esecuzione di S.P.T., alla esecuzione di C.P.T.

Bibliografia

- Cestari F.: Prove geotecniche in sito; Geo-Graph Ed., Segrate, 1990.
- Lambe W.T., Whitman R.V.: Meccanica dei terreni. Dario Flaccovio Ed., Palermo, 1997.
- Leoni G.: Idrografia e bonifica del bacino del Reno. Consorzio della Bonifica Renana; Bologna, 1994.
- Marchi G.F.: Effetti delle variazioni stagionali di umidità dei terreni coesivi su fabbricati con fondazioni superficiali. Atti del Convegno “La Geotecnica in Italia e in Europa” Università degli Studi di Ferrara, 1993.
- Regione Emilia Romagna: Carta dei Rischi Geo-Ambientali; Bologna, 1994.
- Regione Emilia Romagna: Carta Tecnica Regionale; Bologna.
- Regione Emilia Romagna: I Suoli dell'Emilia Romagna; Bologna, 1994.
- F. Cestari - prove Geotecniche in sito - ed. GEO-GRAPH 1990
- M. Casadio - Il Manuale del Geologo - Pitagora Editrice
- Di Martino - Geotecnica Stradale
- P. Focardi - Prove in sito - Geologia Tecnica 1982
- Piacentini - Righi - Valutazione Compressibilità dei terreni e Consolidamento in base ai risultati di prove penetrometriche statiche - Inarcos Bologna

- P. Ventura - Interpretazione delle prove penetrometriche statiche tramite punta piezometrica
- Pelli - Ottaviani - Definizione della resistenza non drenata delle argille del Mare Adriatico mediante prove penetrometriche statiche R.I.G. 1992
- G. Sanglerat - Le Penetrometre et la reconnaissance des soils - Dunod Paris 1965
- G. Sanglerat - The Penetrometre and soil exploration - ESPC 1972
- A. Flora - Introduzione alle Indagini Geotecniche - Helvelius Edizioni
- C. Guidi - Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni - Vol. I-II - Hoepli (1975)
- F. Gambini - Manuale dei Piloti - Ed. Scac
- Herminier - Theory for the interpretation of penetration test data - Annales I.T.B.T.P. - Congress of Zurich 1953)
- Bellotti-Jamiolkowski-Ghionna-Pedroni - Penetrometro Statico - terreni non coesivi - Atti Convegno Naz. Geotecnica 1983
- R. Lancellotta - Penetrometro Statico - terreni coesivi - Atti Convegno Naz. Geotecnica 1983
- R. Lancellotta - Meccanica dei Terreni - Elementi di Geotecnica - L.E.U. Torino
- S.G.S. - Recommended Standard for Cone Penetration Tests - June 1992
- Sunda Strumentazione Geotecnica - Manuale Uso Penetrometro Statico
- M. Carter (1983) - Geotechnical engineering-Handbook-Pentech Press-London
- F. Colleselli-Soranzo (1980) - Esercitazioni di Geotecnica - Ed. Cleup - Padova
- R.F. Craig (1985) - Soil mechanics - Van Nostraan Reinhold (UH) Co.Ltd
- R.E. Hunt (1986) - Geotechnical engineering techniques and practices - McGraw- Hill - Inc. USA
- M. Pellegrini (1982) - Geologia Applicata - Ed. Pitagora - Bologna
- G. Pilot (1982) - Foundation engineering - Ecole national des ponts et chausees - Paris
- A.G.I. (1977) - Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche - AGI - Roma
- Larsson R. (1985) - The CPT test Equipment - testing - evaluation. An situ method for determination of stratigraphy and properties in soil profiles - S.G.I.
- P. Mayne (1992) Tentative method for estimation Gvo from Qc data in sand - Potsdam NY 1991
- Lunne, P.K. Robertson and Powell J.J.M. (1997) - Cone Penetration Test in Geotechnical Praticce - B.A. & P.
- T. Lunne, A. Kleven (1981) - Role of CPT in North Sea foundation engineering - Session ASCE Nationali Convetion - S. Louis
- T. Lunne, Christoffersen H.P. (1985) - Interpretation of Cone Penetration Data for Offshore Sands - Norwegian Geotechnical Institute 1985 - Pbl. 156
- Jamiolkowski M. et al (1985) New developments in field and laboratory testing of soils
- Kulhawy F.H., Mayne P.H. (1990) - Manual on estimating soil properties for foundation design - Electric Power Research Institute 1990
- Robertson P.K., Campanella R.G., Greig J. et al. (1986) - Use of piezometer cone data - - Use in situ tests in Geotechnical Engineering - ASCE Conference 1986
- Robertson P.K., Campanella R.G. (1983) - Interpretation of cone penetration test - Canadian Geotechnical Journal - 20(4) .

PROVE PENETROMETRICHE STATICHE CPT

Elaborati grafici e numerici delle prove

PROVA PENETROMETRICA STATICA

Committente: De Toschi SpA Cantiere: Ambito C2.1 "Parco Centonara" Località: Ozzano dell'Emilia (BO)	
--	--

Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 63 (200 kN)

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica	35,7
Angolo di apertura punta	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

PROVA ...CPT7

Committente: De Toschi SpA

Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)

Prova eseguita in data: 29/10/2018

Profondità prova: 6,60 mt

Località: Ozzano dell'Emilia (BO)

Profondità (m)	Letture punta (Kg/cm ²)	Letture laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,00	0,0	0,0	2,1	0,0	
0,40	59,00	91,0	59,1	1,3	45,5	2,2
0,60	57,00	76,0	57,1	2,4	23,8	4,2
0,80	58,00	94,0	58,1	2,0	29,1	3,4
1,00	52,00	82,0	52,1	3,5	14,9	6,7
1,20	57,00	109,0	57,3	3,4	16,9	5,9
1,40	45,00	96,0	45,3	2,9	15,6	6,4
1,60	35,00	79,0	35,3	1,8	19,6	5,1
1,80	36,00	63,0	36,3	3,1	11,7	8,5
2,00	38,00	84,0	38,3	4,6	8,3	12,0
2,20	35,00	104,0	35,4	4,5	7,9	12,7
2,40	35,00	102,0	35,4	4,0	8,9	11,3
2,60	35,00	95,0	35,4	4,5	7,9	12,7
2,80	37,00	105,0	37,4	4,9	7,6	13,1
3,00	41,00	115,0	41,4	5,7	7,3	13,8
3,20	48,00	134,0	48,6	5,9	8,2	12,1
3,40	91,00	180,0	91,6	6,4	14,3	7,0
3,60	95,00	191,0	95,6	6,3	15,2	6,6
3,80	93,00	188,0	93,6	7,2	13,0	7,7
4,00	88,00	196,0	88,6	7,6	11,7	8,6
4,20	112,00	226,0	112,7	8,2	13,7	7,3
4,40	102,00	225,0	102,7	7,3	14,1	7,1
4,60	117,00	226,0	117,7	2,1	56,0	1,8
4,80	340,00	371,0	340,7	2,9	117,5	0,9
5,00	195,00	238,0	195,7	5,1	38,4	2,6
5,20	275,00	351,0	275,8	3,7	74,5	1,3
5,40	195,00	250,0	195,8	2,6	75,3	1,3
5,60	110,00	149,0	110,8	2,5	44,3	2,3
5,80	110,00	147,0	110,8	1,0	110,8	0,9
6,00	102,00	117,0	102,8	3,9	26,4	3,8
6,20	258,00	317,0	259,0	1,9	136,3	0,7
6,40	422,00	451,0	423,0	0,0		0,0
6,60	500,00	0,0	501,0	0,0		0,0

PROVA ...CPT8

Committente: De Toschi SpA

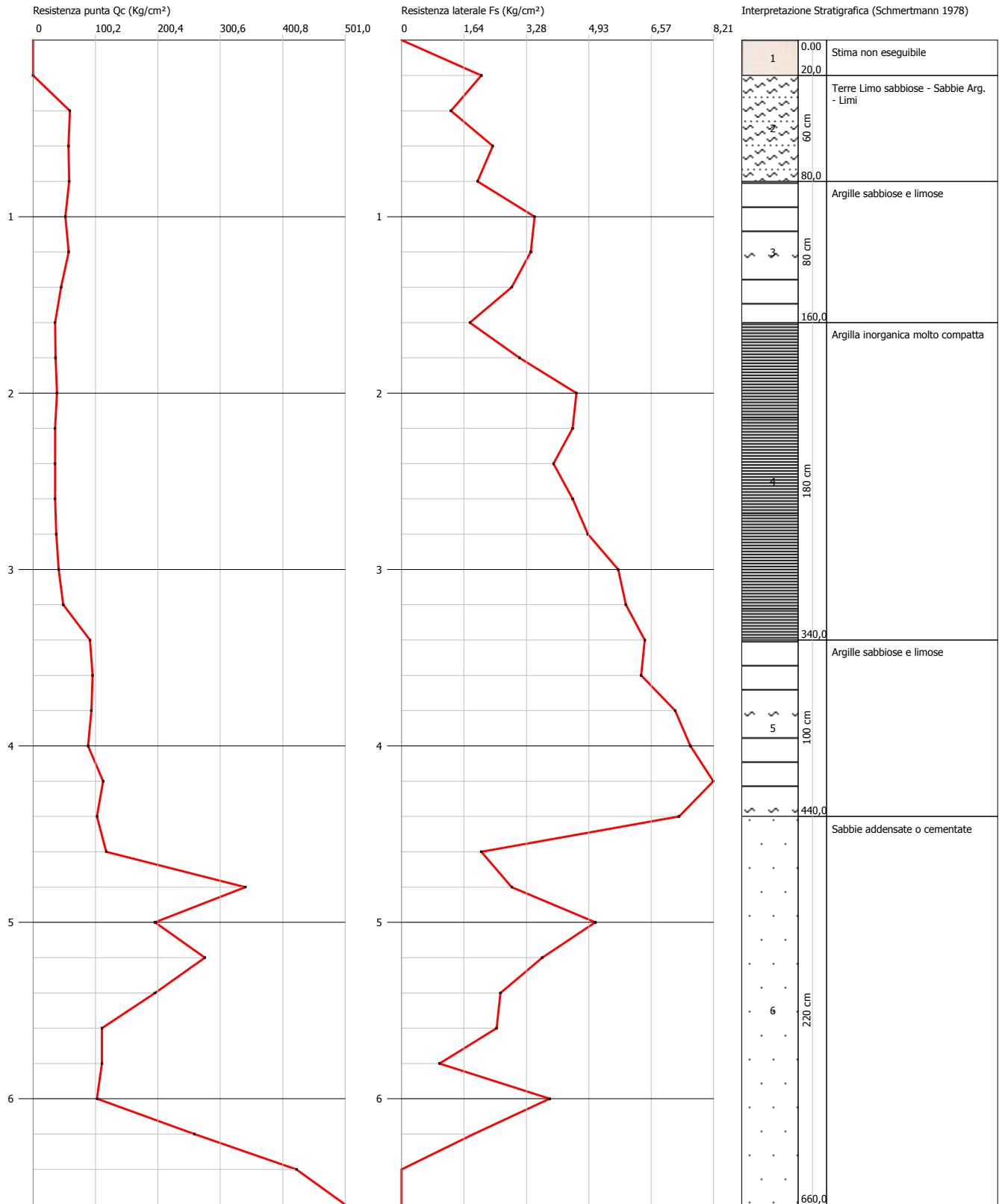
Strumento utilizzato: PAGANI TG 63 (200 kN)

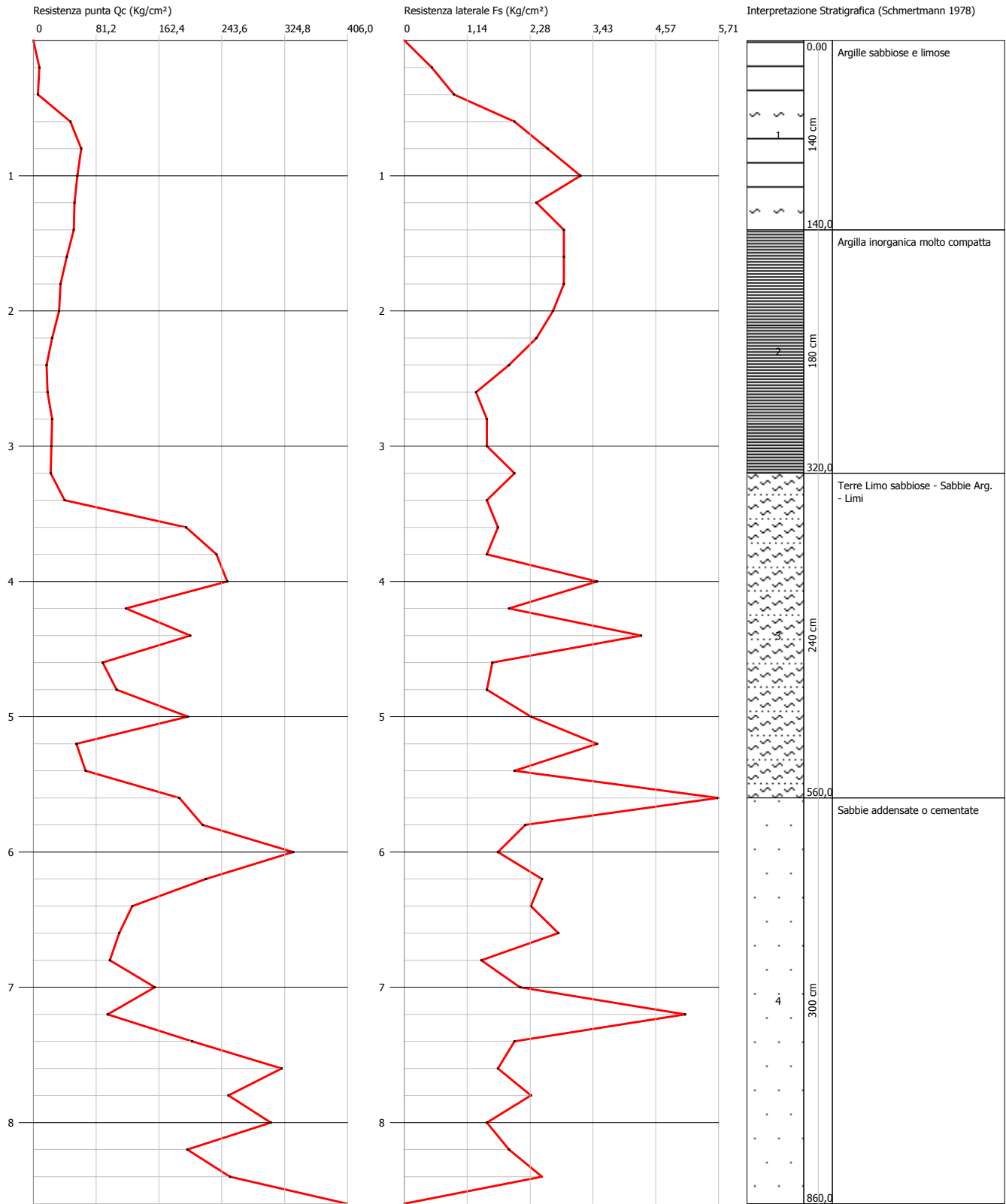
Prova eseguita in data: 07/11/2018

Profondità prova: 8,60 mt

Località: Ozzano dell'Emilia (BO)

Profondità (m)	Letture punta (Kg/cm ²)	Letture laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	8,00	0,0	8,1	0,5	16,2	6,2
0,40	6,00	14,0	6,1	0,9	6,8	14,8
0,60	48,00	61,0	48,1	2,0	24,1	4,2
0,80	62,00	92,0	62,1	2,6	23,9	4,2
1,00	57,00	96,0	57,1	3,2	17,8	5,6
1,20	53,00	101,0	53,3	2,4	22,2	4,5
1,40	52,00	88,0	52,3	2,9	18,0	5,5
1,60	43,00	86,0	43,3	2,9	14,9	6,7
1,80	35,00	79,0	35,3	2,9	12,2	8,2
2,00	33,00	77,0	33,3	2,7	12,3	8,1
2,20	24,00	65,0	24,4	2,4	10,2	9,8
2,40	17,00	53,0	17,4	1,9	9,2	10,9
2,60	18,00	47,0	18,4	1,3	14,2	7,1
2,80	24,00	43,0	24,4	1,5	16,3	6,1
3,00	23,00	45,0	23,4	1,5	15,6	6,4
3,20	22,00	45,0	22,6	2,0	11,3	8,8
3,40	40,00	70,0	40,6	1,5	27,1	3,7
3,60	197,00	220,0	197,6	1,7	116,2	0,9
3,80	236,00	261,0	236,6	1,5	157,7	0,6
4,00	250,00	273,0	250,6	3,5	71,6	1,4
4,20	119,00	172,0	119,7	1,9	63,0	1,6
4,40	202,00	231,0	202,7	4,3	47,1	2,1
4,60	89,00	154,0	89,7	1,6	56,1	1,8
4,80	107,00	131,0	107,7	1,5	71,8	1,4
5,00	199,00	222,0	199,7	2,3	86,8	1,2
5,20	55,00	90,0	55,8	3,5	15,9	6,3
5,40	67,00	119,0	67,8	2,0	33,9	2,9
5,60	188,00	218,0	188,8	5,7	33,1	3,0
5,80	218,00	304,0	218,8	2,2	99,5	1,0
6,00	335,00	368,0	335,8	1,7	197,5	0,5
6,20	222,00	247,0	223,0	2,5	89,2	1,1
6,40	127,00	165,0	128,0	2,3	55,7	1,8
6,60	110,00	145,0	111,0	2,8	39,6	2,5
6,80	98,00	140,0	99,0	1,4	70,7	1,4
7,00	156,00	177,0	157,0	2,1	74,8	1,3
7,20	95,00	127,0	96,1	5,1	18,8	5,3
7,40	204,00	280,0	205,1	2,0	102,6	1,0
7,60	320,00	350,0	321,1	1,7	188,9	0,5
7,80	251,00	277,0	252,1	2,3	109,6	0,9
8,00	306,00	341,0	307,1	1,5	204,7	0,5
8,20	198,00	221,0	199,2	1,9	104,8	1,0
8,40	253,00	281,0	254,2	2,5	101,7	1,0
8,60	404,00	441,0	405,2	0,0		0,0





PROVINCIA DI BOLOGNA

COMUNE DI Ozzano dell'Emilia

Via Papa Giovanni XXIII, Via Marconi

COMMITTENTE:

Dott. Geol. Piero Cavarocchi
via Murri, 44 - Bologna
40137

PROGETTO:

Indagine per caratterizzazione sismica
DM 17/01/2018

RELAZIONE GEOFISICA

	<p>dott. geol. Paolo Durante Ordine dei Geologi della Regione Abruzzo n.511</p>	
	<p>dott. geol. Giulio Dal Forno Ordine dei Geologi della Regione Emilia Romagna n.1294</p>	



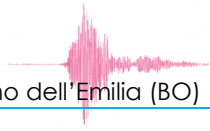
**Envia Studio Associato
di Geologia e Geofisica**
di Durante, Dal Forno e Rispoli
via G.P. da Palestrina 1/4 - 40141 Bologna
www.envia.it

Data:09/11/2018

Rif. Commessa: 2018_0235

Ed.: Finale

TUTTI I DIRITTI SONO RISERVATI - Questo documento è di proprietà esclusiva di ENVIA Studio Associato, non può essere copiato, riprodotto o divulgato ad altri senza autorizzazione



INDICE

1.	Premessa	2
2.	Normativa di riferimento.....	2
3.	Il metodo <i>MASW</i>	3
4.	Il metodo <i>HVSR</i>	4
5.	Risultati dell'indagine sismica integrata.....	5
6.	Bibliografia.....	7

ELENCO ALLEGATI

Allegato 1 Documentazione fotografica

Allegato 2 Sismogrammi indagine *MASW*

Allegato 3 Spettro di dispersione e curva *H/V*

Allegato 4 Velocità onde S in funzione della profondità



1. Premessa

Su richiesta del Dott. Geol. Piero Cavarocchi sono state effettuate due indagini sismiche integrate (MASW + HVSR) una in Via Marconi ed una in Via Papa Giovanni XXIII, all'interno del campo compreso dalle due vie citate, al fine di stimare il parametro $V_{S,eq}$ caratteristico dell'area, ossia la velocità equivalente di propagazione delle onde sismiche di taglio, come prescritto dall'art. 3.2.2 del D.M. 17 gennaio 2018.

2. Normativa di riferimento

Il D.M. 17 gennaio 2018 prevede che, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si renda necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi (art. 7.11.3). In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II del decreto, per la definizione dell'azione sismica si può far riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio V_S (cfr. Tabella 1).

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

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

con:

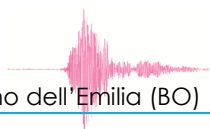
h_i spessore dell'*i*-esimo strato;

$V_{S,i}$ velocità delle onde di taglio nell'*i*-esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.



Descrizione del profilo stratigrafico	
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s
C	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.
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente 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 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 1 – Classificazione dei suoli secondo il D.M. 17 gennaio 2018 (Tabella 3.2.II).

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è ottenuta ponendo $H = 30$.

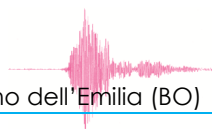
Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

3. Il metodo MASW

Per mezzo della tecnica MASW (Multichannel Analysis of SurfaceWaves), Park et al., (1999), e quindi dello studio delle onde superficiali che comunemente dominano una porzione considerevole dei sismogrammi nelle indagini sismiche (sia per ampiezza relativa che per durata del segnale), è possibile ottenere delle stime del profilo di velocità delle onde S.

Le onde superficiali sono onde sismiche che si propagano parallelamente alla superficie del terreno, la cui ampiezza diminuisce esponenzialmente con la profondità e la cui energia si propaga in una fascia superficiale corrispondente a circa una lunghezza d'onda λ . In un mezzo reale, caratterizzato da proprietà meccaniche variabili con la profondità, le onde superficiali, in funzione di λ , penetrano strati con diverse caratteristiche e quindi la loro propagazione ne risulta influenzata in termini di velocità e tempi di arrivo: onde con λ differente si propagano a velocità di fase cf differente e pertanto si separano lungo il loro tragitto. Tale fenomeno è noto come dispersione.

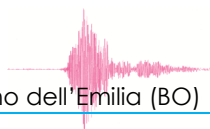
L'idea su cui si fonda il metodo MASW, come altre metodologie che analizzano le onde superficiali, è quella di utilizzare il fenomeno della dispersione per derivare informazioni indirette sulle proprietà fisiche e reologiche del terreno, tra cui la densità, i parametri elastici e le velocità delle onde di



taglio. A partire dall'intero campo d'onda, acquisito in campagna utilizzando un numero variabile di geofoni (di solito 12-24) allineati a spaziatura regolare (similmente a un classico esperimento di sismica a rifrazione), l'obiettivo del metodo è di derivare una curva di dispersione sperimentale velocità di fase – frequenza ($cf - f$), la cui forma è associata alle proprietà meccaniche del terreno da indagare. Tale curva si può ottenere seguendo differenti metodologie di elaborazione del campo d'onda (trasformata tempo di ritardo- $slowness$ - p , trasformata $f-k$). Il risultato è una nuova rappresentazione del campo d'onda dal dominio spazio-tempo a quello frequenza- $slowness$ o frequenza-velocità di fase (la $slowness$ è infatti il reciproco della velocità). Dato che le onde superficiali mostrano le ampiezze e le durate maggiori nel dominio spazio-tempo, anche nel dominio frequenza-velocità di fase, i massimi dello spettro saranno relativi alle differenti frequenze con cui si propagano le onde superficiali stesse. Dall'estrazione delle coppie frequenza-velocità di fase corrispondenti ai massimi d'intensità dello spettro si deriva la curva di dispersione sperimentale. In realtà, l'interpretazione degli spettri risulta spesso complicata dall'intrecciarsi dei modi superiori rispetto a quello fondamentale e/o alla generazione e propagazione di onde guidate. Un miglioramento nell'interpretazione degli spettri può essere ottenuto dalla comparazione tra spettro osservato e, in sovrapposizione, le curve di dispersione teoriche per i diversi modi di un modello ritenuto plausibile per l'area in esame (Dal Moro, 2008). Generalmente quando la rigidità degli strati aumenta gradualmente con la profondità il modo fondamentale risulta predominante a tutte le frequenze. Tuttavia, esistono diverse stratigrafie, con strati rigidi compresi tra strati soffici o strati soffici compresi tra strati rigidi o con variazioni brusche di rigidità con la profondità, in cui i modi superiori al primo diventano predominanti in certi intervalli di frequenza (Roma, 2006). Per la definizione del profilo di velocità delle onde di taglio è poi necessario procedere alla fase d'inversione della curva di dispersione per ottenere un modello delle proprietà fisiche del sottosuolo.

4. Il metodo HVSR

Il metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) proposto da Nogoshi e Igarashi (1970) e successivamente modificato da Nakamura (1989), si basa sull'analisi del rapporto spettrale tra le componenti orizzontale (H) e verticale (V) del rumore sismico registrato in un sito. Il rumore sismico è presente ovunque ed è generato sia da fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) che dall'attività antropica. Il rumore sismico è indicato spesso come microtremore poiché è caratterizzato da oscillazioni molto deboli (dell'ordine dei $\mu m/s$). I microtremori sono in parte costituiti da onde di volume, P o S, ma soprattutto da onde superficiali, la cui velocità è comunque prossima a quella delle onde S (Mulargia et al., 2007). Esiste un consenso generale sull'efficacia del metodo HVSR di fornire stime sulla frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo,



almeno nel caso di un modello semplice unidimensionale con strato soffice al di sopra di uno strato rigido (Lachet and Bard, 1994; Lermo and Chavez-Garcia, 1994; Ibs-von Seht and Wohlenberg, 1999). In questo caso semplice, tale frequenza f_0 è legata allo spessore h dello strato soffice attraverso la seguente relazione:

$$f_0 = \frac{V_s}{4h} \text{ Hz} \quad (2)$$

Naturalmente, la complessità stratigrafica del sottosuolo produce curve H/V sperimentali con svariati picchi, per le quali non è possibile applicare un modello semplice. Tuttavia, attraverso il confronto delle curve sperimentali con curve H/V sintetiche, è possibile derivare profili di velocità delle onde di taglio S nel sottosuolo, in presenza di adeguati vincoli, ottenuti da prove geognostiche dirette o da altre indagini geofisiche (Fäh et al., 2001; Castellaro and Mulargia, 2009).

La tecnica di misura del rumore sismico richiede tempi di registrazione pari a 15-20 minuti e necessita di sensori tridirezionali da sismologia con messa in bolla, digitalizzatore 24 bit con elevata dinamica, elevato guadagno ed elevata frequenza di campionamento nativo, con minimizzazione del rumore elettro/meccanico.

5. Resultati dell'indagine sismica integrata

Le indagini MASW sono state realizzate con sismografo "Echo 24/2002" a 24 canali prodotto da *Ambrogeo* (Piacenza) connesso a 12 geofoni verticali con frequenza propria pari a 4,5 Hz, interspaziati tra loro di 4 m per un totale di 44 m ([allegato 1](#)). I dati sono stati acquisiti e salvati da un PC portatile alimentato a batteria. La sorgente sismica utilizzata è una mazza battente di 8 kg, posta ad una distanza di 10 m dal geofono 1.

Le misure di rumore sismico sono state effettuate a una distanza ridotta dal profilo MASW per un tempo di registrazione pari a 20 minuti. La strumentazione utilizzata è un tromografo digitale "TrominoEngy" della *Micromed S.p.A.*

In [allegato 2](#) sono riportati i sismogrammi registrati da ognuno dei geofoni durante l'indagine MASW.

Lo spettro frequenza-velocità di fase, ottenuto attraverso il *software Geopsy* (Progetto *SESAME*), è riportato in [allegato 3](#) assieme alla curva H/V e al grafico delle componenti dei canali velocimetrici relativi alla misura di rumore sismico; per l'elaborazione sono state considerate le componenti (N-S, E-W e Up-Down). Allo spettro frequenza-velocità di fase sono sovrapposti il *picking* del modo fondamentale (crocette nere) e le curve di dispersione sintetiche del modo fondamentale e di



alcuni modi superiori (pallini bianchi) per il modello statisticamente migliore ottenuto dall'inversione. Questo modello è il risultato dell'inversione della curva di dispersione sperimentale ottenuta dall'indagine MASW ed eseguita attraverso due software differenti, *WaveEq (Geometrics)* e *SWAMI (Georgia Institute of Technology)*. La minima frequenza scelta nell'operazione di *picking* è pari a circa 3,5 Hz e presenta una velocità di fase di 395 m/s, valori corrispondenti indicativamente ad una profondità compresa tra 37 e 56 m per la prova MASW+HVS1, per la prova MASW+HVS2 la minima frequenza scelta nell'operazione di *picking* è pari a circa 5,1 Hz e presenta una velocità di fase di 348 m/s, valori corrispondenti indicativamente ad una profondità compresa tra 22 e 34 m. Oltre tali profondità il profilo delle velocità viene inoltre stimato attraverso *fit* della curva *H/V* ottenuta dall'acquisizione del rumore sismico.

La curva *H/V* **presenta il suo massimo a circa 7,8 Hz** per la prova MASW+HVS1 e a **circa 7,4 Hz** per la prova MASW+HVS2.

In **allegato 4** sono riportati il grafico dell'andamento della velocità delle onde S in funzione della profondità, la tabella con i valori numerici e il grafico della variazione del parametro $V_{S,eq}$ in funzione della profondità del piano di fondazione della struttura in progetto. Per il calcolo del parametro si è posto $H = 30$ m.

Dal modello di velocità derivato con la tecnica MASW è stato stimato il parametro $V_{S,eq}$ rispetto all'attuale piano campagna, pari a **291 m/s** per la prova MASW+HVS1 e pari a **303 m/s** per la prova MASW+HVS2.

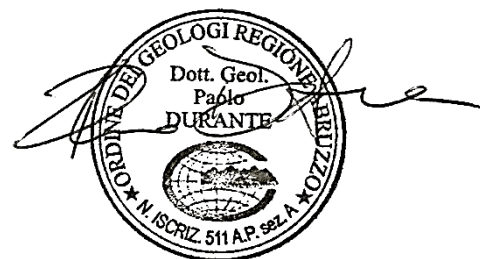
Ai sensi dell'art. 3.2.2 del D.M. 17/01/2018, unicamente sulla base del parametro $V_{S,eq}$ relativo all'attuale piano campagna, il sottosuolo ricade in **categoria C**. Tuttavia il geologo incaricato sulla base della conoscenza stratigrafica dell'area, derivata dalla sua esperienza professionale e dalle indagini geognostiche condotte nel sito in oggetto, nonché considerando le caratteristiche dell'opera in progetto e la tipologia di fondazioni, è tenuto a validare l'attribuzione alla suddetta categoria e valutare se approfondire l'indagine per la definizione dei coefficienti di amplificazione stratigrafica mediante studi specifici sulla risposta sismica locale, come indicato all'art. 7.11.3 del D.M. 17/01/2018.

Bologna, 9 Novembre 2018

Dott. Geol. Giulio Dal Forno



Dott. Geol. Paolo Durante





6. Bibliografia

Castellaro S. and Mulargia F., (2009). The effect of velocity inversions on H/V, *Pure Appl. Geophys.* Volume 166, Number 4, 567-592.

Dal Moro, G., (2008) – *Tre divagazioni: il mito dell'inversione, MASW in Friuli, esempio di studio congiunto MASW-rifrazione* - Giornata di studio sul "Monitoraggio dinamico per la valutazione della sicurezza sismica dei ponti", Centro Internazionale di Scienze Meccaniche (CISM), Udine, 18 aprile 2008.

Fäh D., Kind F. and Giardini D., (2001). A theoretical investigation of average H/V ratios, *Geophys. J. Int.* **145**, 535-549.

Ibs-von Seht M. and J. Wohlenberg, (1999). Microtremor measurements used to map thickness of soft sediments, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **89**, 250-259.

Lachet C. and P. Y. Bard, (1994). Numerical and theoretical investigations on the possibilities and limitation of Nakamura's technique, *J. Phys. Earth* **42**, 377-397.

Lermo J. and F. J. Chavez-Garcia, (1994). Are microtremors useful in site response evaluation?, *Bull. Seismol. Soc. Am.* **84**, 1350-1364.

Mulargia F., Castellaro S., Rossi P.L., (2007). Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica. *Il Geologo dell'Emilia Romagna Anno VII-2007 N.25 - Nuova serie*

Nakamura Y., (1989). A method for dynamic characteristics estimates of subsurface using microtremor on the round surface, *QR of RTI*, **30**, 25-33.

Nogoshi M. e Igarashi T., (1970). On the propagation characteristics of microtremors, *J. Seism. Soc. Japa*, **23**, 264-280.

Park, C.B., Miller, R.D., and Xia J., (1999)- *Multichannel Analysis of surface waves* - *Geophysics*, **64**, 800-808.

Roma, V., (2006) – *Caratterizzazione sismica dei suoli con il metodo MASW (Multichannel Analysis of surface waves)*- http://www.masw.it/downloads/Opuscolo_MASW_22_Gen_2007.pdf. microtremor on the round surface, *QR of RTI*, **30**, 25-33.

NORMATIVA

D. Min. Infrastrutture 17 gennaio 2018 (Suppl. Ord. alla G.U. 20.2.2018, n. 42) – *Approvazione delle norme tecniche per le costruzioni.*

Allegato 1 – Documentazione fotografica



Foto 1 – Ubicazione profilo sismico MASW+HVSRI



Foto 2 – Ubicazione misura HVSR MASW+HVSRI

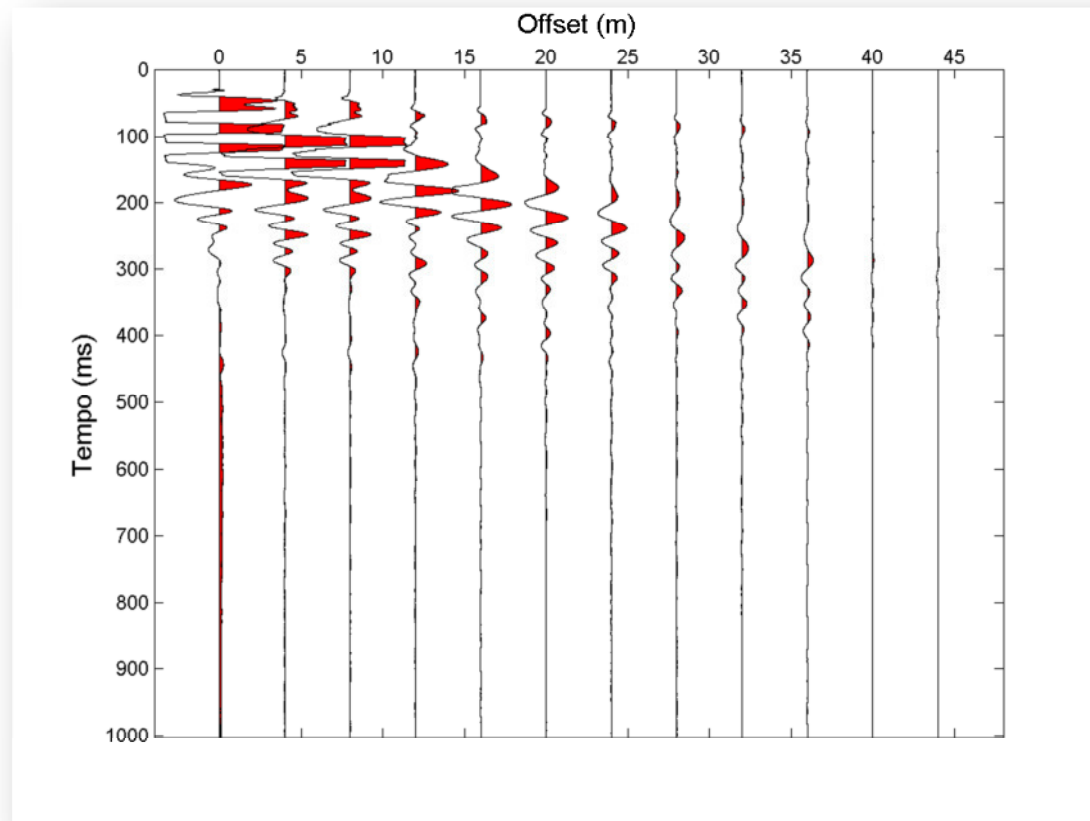


Foto 3 – Ubicazione profilo sismico MASW+HVS2



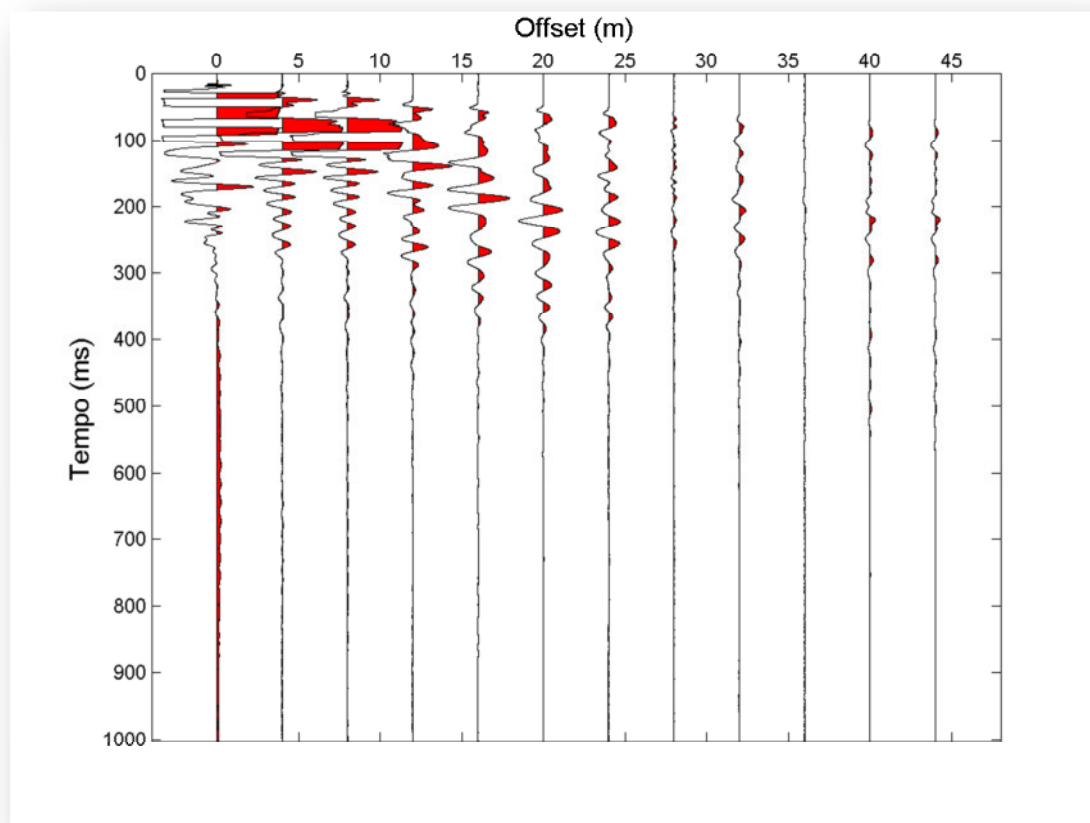
Foto 4 – Ubicazione misura HVSR MASW+HVS2

Allegato 2 – Sismogrammi MASW+HVSRI



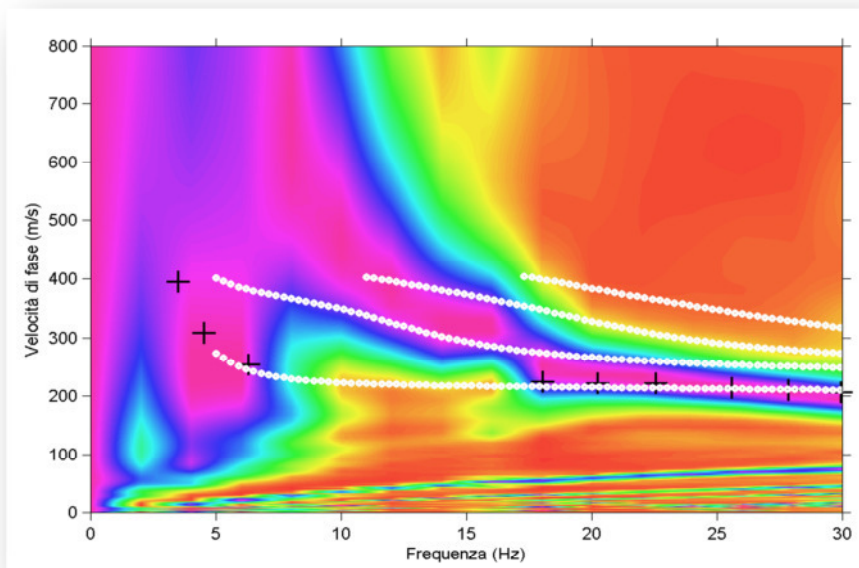
Sismogrammi acquisiti dai 12 geofoni durante l'indagine. La sorgente è posta ad una distanza di 10 m dal geofono 1. La spaziatura tra i geofoni è di 4 m.

MASW+HVS2



Sismogrammi acquisiti dai 12 geofoni durante l'indagine. La sorgente è posta ad una distanza di 10 m dal geofono 1. La spaziatura tra i geofoni è di 4 m.

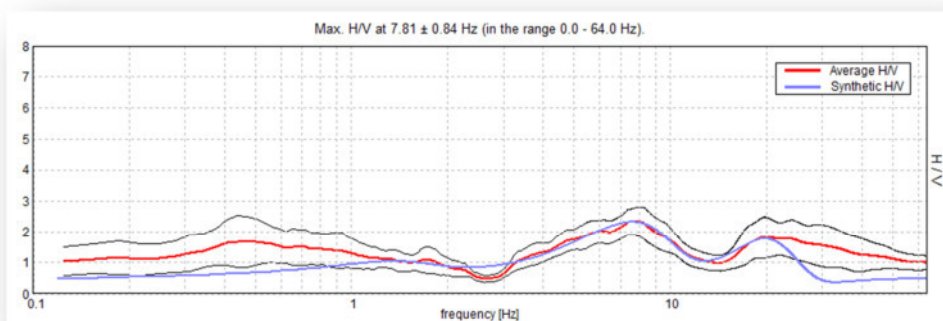
Allegato 3 – Spettro di dispersione MASW+HVS1



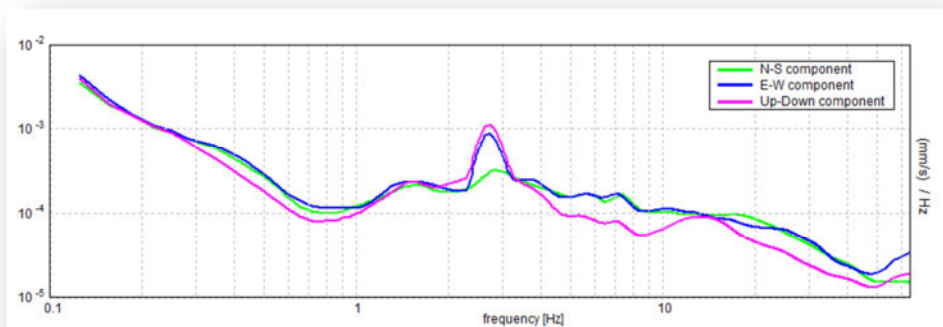
in alto: Spettro frequenza-velocità di fase dei dati acquisiti durante l'indagine. Sovrimposti allo spettro sono il picking del modo fondamentale (crocette nere) e le curve di dispersione sintetiche del modo fondamentale e di alcuni modi superiori (pallini bianchi).

in basso: Curva H/V (A) e andamento delle tre componenti velocimetriche (N-S, E-W, Up-Down) (B)

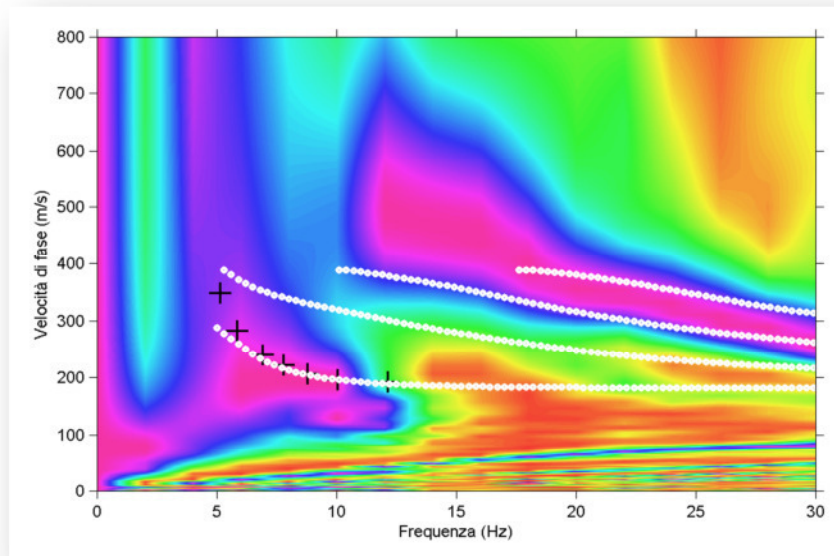
A



B



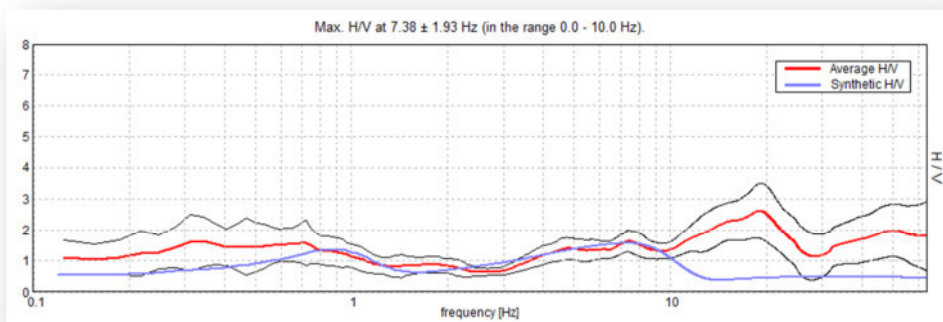
MASW+HVSAR2



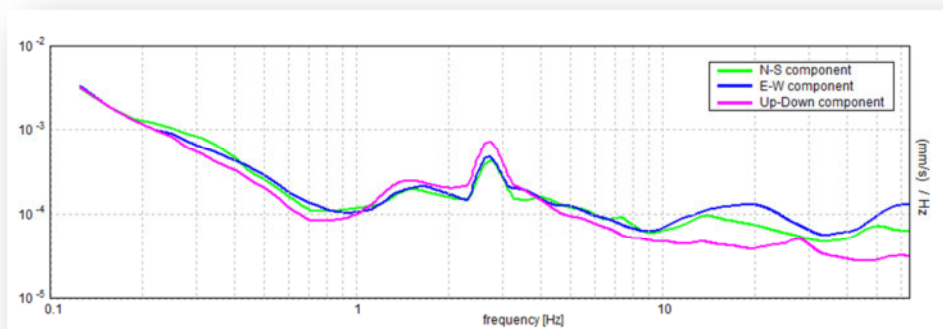
in alto: Spettro frequenza-velocità di fase dei dati acquisiti durante l'indagine. Sovrimposti allo spettro sono il picking del modo fondamentale (crocette nere) e le curve di dispersione sintetiche del modo fondamentale e di alcuni modi superiori (pallini bianchi).

in basso: Curva H/V (C) e andamento delle tre componenti velocimetriche (N-S, E-W, Up-Down) (D)

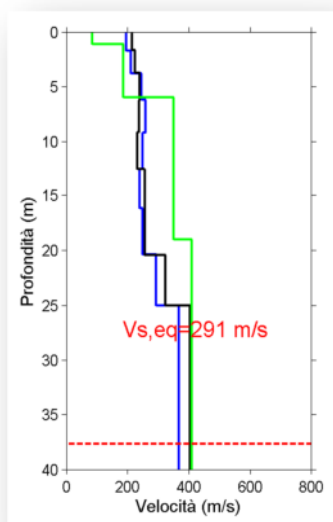
C



D



Allegato 4 – Velocità onde S in funzione della profondità MASW+HVSRI

A

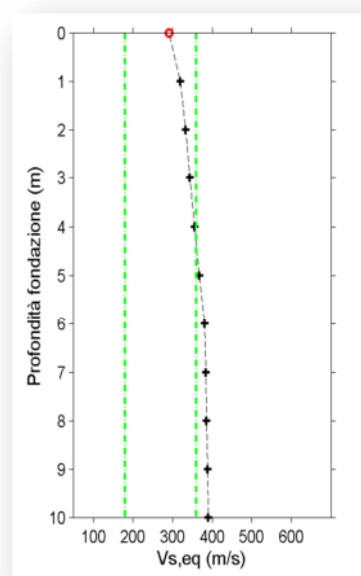
(A) Andamento della velocità delle onde S in funzione della profondità. Vengono riportati in nero i valori ottenuti con il programma WaveEq (Geometrics) e in blu i valori derivati con il programma SWAMI (Georgia Institute of Technology), relativamente all'indagine MASW; in verde viene indicato l'andamento ottenuto mediante inversione della curva H/V , vincolata nella parte superficiale attraverso i valori ottenuti dall'indagine MASW. La linea tratteggiata in rosso rappresenta la profondità stimata per la frequenza più bassa scelta durante l'operazione di *picking*. A profondità maggiori l'andamento delle velocità delle onde S è stimato mediante *fit* della curva H/V .

B

Spessore (m)	Vs WaveEq (m/s)	Spessore (m)	Vs SWAMI (m/s)	Spessore (m)	Vs HVSR (m/s)
1.7	214.2	1.7	195.9	1.1	85.0
2.1	224.7	2.1	211.1	4.9	187.0
2.5	240.1	2.4	245.8	13.0	350.0
2.9	238.6	3.0	259.0	50.0	410.0
3.3	231.2	3.3	249.3	inf	600.0
3.7	255.7	3.7	239.9		
4.2	255.3	4.2	249.8		
4.6	323.7	4.6	293.5		
15.0	403.8	15.0	366.7		
inf	430.3	inf	473.1		

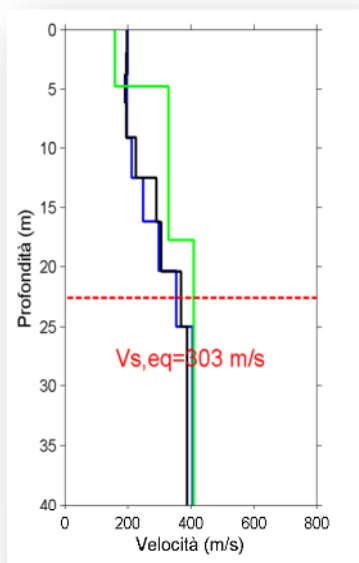
C

(B) La prima, terza e quinta colonna riportano gli spessori degli strati dei modelli ottenuti dall'indagine MASW (colonne 1 e 3) e dall'indagine HVSR (colonna 5). La seconda e la quarta colonna contengono le velocità stimate attraverso la tecnica MASW utilizzando i programmi WaveEq e SWAMI; la sesta colonna riporta le velocità stimate mediante inversione della curva H/V . Sono evidenziati in azzurro i valori di velocità e i relativi spessori utilizzati per il calcolo del parametro V_{s30} ; **(C)** andamento del parametro V_{s30} in funzione della variazione della profondità del piano fondale della struttura in progetto. Le linee in tratteggio di colore verde indicano i limiti 180 m/s e 360 m/s rispetto alla tabella 1 (crf. §2).



MASW+HVSr2

D



(D) Andamento della velocità delle onde S in funzione della profondità. Vengono riportati in nero i valori ottenuti con il programma WaveEq (Geometrics) e in blu i valori derivati con il programma SWAMI (Georgia Institute of Technology), relativamente all'indagine MASW; in verde viene indicato l'andamento ottenuto mediante inversione della curva H/V, vincolata nella parte superficiale attraverso i valori ottenuti dall'indagine MASW. La linea tratteggiata in rosso rappresenta la profondità stimata per la frequenza più bassa scelta durante l'operazione di *picking*. A profondità maggiori l'andamento delle velocità delle onde S è stimato mediante *fit* della curva H/V.

E

Spessore (m)	Vs WaveEq (m/s)	Spessore (m)	Vs SWAMI (m/s)	Spessore (m)	Vs HVSr (m/s)
1.7	196.3	1.7	197.5	4.8	160.0
2.1	195.0	2.1	197.0	13.0	330.0
2.5	191.5	2.4	194.8	90.0	410.0
2.9	196.4	3.0	196.2	inf	690.0
3.3	226.6	3.3	212.3		
3.7	291.4	3.7	248.6		
4.2	307.3	4.2	299.1		
4.6	369.5	4.6	354.6		
15.0	389.4	15.0	406.2		
inf	396.8	inf	426.7		

F

(E) La prima, terza e quinta colonna riportano gli spessori degli strati dei modelli ottenuti dall'indagine MASW (colonne 1 e 3) e dall'indagine HVSr (colonna 5). La seconda e la quarta colonna contengono le velocità stimate attraverso la tecnica MASW utilizzando i programmi WaveEq e SWAMI; la sesta colonna riporta le velocità stimate mediante inversione della curva H/V. Sono evidenziati in azzurro i valori di velocità e i relativi spessori utilizzati per il calcolo del parametro V_{s30} ; **(F)** andamento del parametro V_{s30} in funzione della variazione della profondità del piano fondale della struttura in progetto. Le linee in tratteggio di colore verde indicano i limiti 180 m/s e 360 m/s rispetto alla tabella 1 (crf. §2).

