

Relazione geologico-geotecnico-sismica e geognostica relativa al progetto per la realizzazione di una nuova palestra temporanea da ubicare nel Capoluogo del Comune di Carpi, in adiacenza Nord dei parcheggi del Piazzale Bob Marley e a breve distanza da Via dell'Industria.

1. PREMESSA

La presente indagine è stata effettuata su incarico e d'intesa con l'ing. Norberto Carboni del Comune di Carpi (MO).

L'oggetto dell'indagine è quello di fornire elementi geologici, geotecnici, sismici, idrologici e idrogeologici, anche mediante l'esecuzione di indagini geognostiche, necessari alla progettazione dell'opera di cui al titolo, come da e-mail della Regione Emilia Romagna del 28.08.2012 avente ad oggetto "Ricognizione esigenze palestre scolastiche".

La struttura prefabbricata in progetto sarà composta da PT e appoggiata su fondazione a platea rettangolare con dimensioni complessive in pianta di circa 17,50m x 30m (Fig. 1).

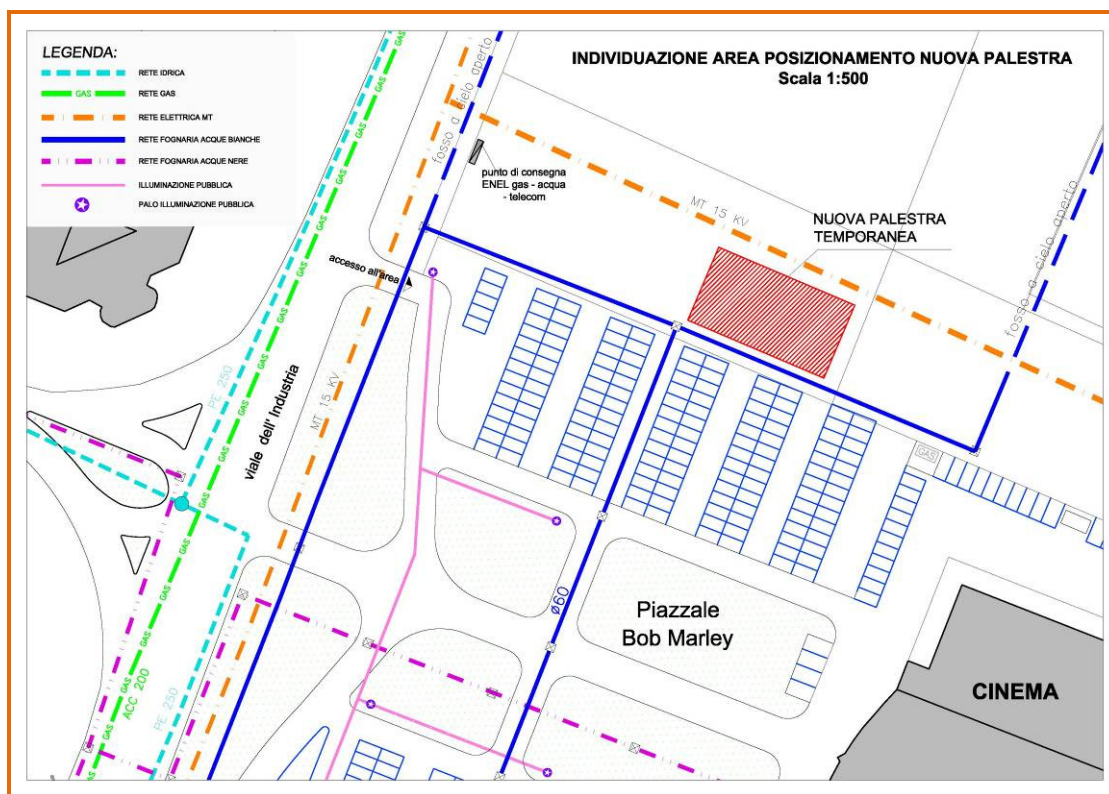


Fig. 1 - Planimetria progetto opera.

L'indagine è stata condotta nel rispetto del DM 14.01.2008 "Norme tecniche per le costruzioni" e relativa Circolare n. 617 del 02.02.2009.

Verrà approfondito l'aspetto geologico e proposto il relativo modello mentre la parte geotecnica verrà limitata alla caratterizzazione fisico-meccanica del sottosuolo; per la parte sismica verranno determinati gli elementi descrittivi e parametrici necessari alla modellazione, attribuita la categoria sismica del sottosuolo (capitolo 3.2 delle NTC) e condotta la verifica, con metodi semplificati sulla base della prova CPT, al rischio di liquefazione in condizioni di *free field*.

2. INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area oggetto di studio è posta nel quadrante centro-occidentale del Capoluogo di Carpi fra le Vie dell'Industria e il Piazzale Bob Marley (Figg. 2, 3 e 4); in particolare si tratta di un'area con solo massicciata in ghiaia posta al margine nord del parcheggio del piazzale citato.



Fig. 2 – Inquadramento territoriale con ubicazione dell'area di intervento.



Fig. 3 - Ubicazione dell'area di intervento (da Google Earth).

nord, e le così dette Pieghe Emiliane a sud (Fig. 5). Il condizionamento strutturale determinato da tali grandi strutture tettoniche (e sismogenitiche) ha avuto come conseguenza che l'entità degli spessori di sedimenti marini/continentali pliocenici e pleistocenici sono fortemente variabili, andando da valori minimi dell'ordine del centinaio di m (o localmente inferiori), in coincidenza delle culminazioni delle dorsali, a diverse migliaia di metri, in corrispondenza dei bassi strutturali (sinclinali). Per quanto riguarda il territorio comunale, al confine con Novi, si riscontra la base dei sedimenti pliocenici marini a circa 400-500 m, mentre nella parte sud tale profondità scende fino a raggiungere anche i 5000 e più metri.

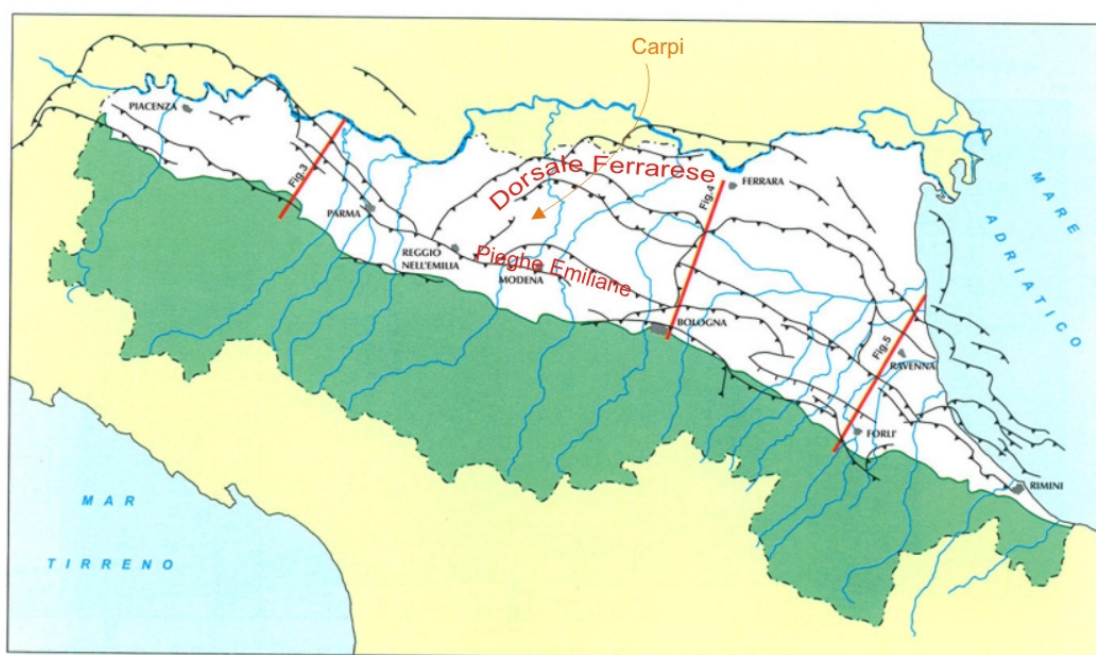


Figura 5 – Principali strutture sepolte della pianura emiliano-romagnola.¹

Dal punto di vista litologico e stratigrafico, i sedimenti che costituiscono il primo sottosuolo del territorio Carpigiano sono ascrivibili al sistema deposizionale dei corsi d'acqua appenninici, con prevalenza di terreni a granulometria fine (limi e argille, con le sabbie subordinate) (All. n. 1).

L'appartenenza al sistema deposizionale dei corsi d'acqua appenninici è confermata dalle analisi geomorfologiche che evidenziano la presenza di forme del paesaggio, tipicamente di pianura, geneticamente correlate al Fiume Secchia e ai Torrenti Tresinaro e Crostolo (All. nn. 1 e 2), che, soprattutto in passato, in certi

¹ Immagine tratta (con inserimenti grafici) da Regione Emilia-Romagna, ENI-AGIP (1998) - *Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna*. A cura di G. Di Dio, S.EL.CA (Firenze), pp. 120.

settori hanno creato non pochi problemi legati alla pericolosità idraulica. Pericolosità idraulica che in alcuni settori del Comune è spesso legata alla natura fine dei terreni superficiali, nonché alla debolissima acclività, che non permettono, soprattutto in occasione di eventi meteorici significativamente intensi, il drenaggio ottimale delle acque superficiali, anche in alcune parti del centro capoluogo.

Per quanto riguarda gli aspetti idrogeologici, gli acquiferi principali, ospitati all'interno di orizzonti sabbiosi continui si pongono a profondità di diverse decine di metri e sono separati dalla superficie da una spessa coltre di depositi fini e pertanto sono da considerare protetti. È comunque diffusa la presenza di falde superficiali, entro depositi lentiformi sabbiosi e/o (più continui) limosi, tanto che i livelli della freatica sono spesso molto vicini alla superficie (soggiacenza dell'ordine dei 2 m o poco più (All. n. 2).

3.2. *Geologia di dettaglio*

Dalla lettura della "Carta Geologica della Regione Emilia-Romagna" a scala 1:10.000 (Fig. 6) (sito web del Servizio Geologico Regione Emilia Romagna) si constata che l'area di interesse, con quote assolute pari a circa 24 m s.l.m., appartiene alla piana alluvionale fluviale dove affiorano depositi riferiti al cosiddetto subsistema di Ravenna (AES8) secondo la nomenclatura stratigrafica utilizzata dalla Regione Emilia-Romagna per descrivere la successione Neogenico-Quaternaria del margine appenninico padano; tali sedimenti presentano tessitura mediamente limo-sabbiosa per l'area specifica e un ampio intorno.

Dall'esame congiunto dei dati geognostici esistenti e disponibili d'area (dati geognostici della Carta Geologica Regionale prima citata - Figg. 7 e 8), congiuntamente ai rilievi sismici e alle osservazioni dirette si evince la seguente situazione litostratigrafica tipica per l'area di interesse.

I terreni più superficiali sono spesso sovraconsolidati per essiccazione fino a una profondità di circa 1,5÷3 m da pdc, condizione che si accentua nel periodo estivo durante il quale non è infrequente la formazione di crepacciature e solchi da "ritiro" che raggiungono profondità anche superiori al metro.



Fig. 6 – Carta geologica (fuori scala) -da sito web cartografico del Servizio Geologico Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna- Il cerchio rosso individua l'area di intervento.

Al di sotto di questi è presente una sequenza, lateralmente disomogenea, di terreni fini, all'interno dei quali non è infrequente la presenza di strati, anche plurimetri, sabbiosi, sabbioso-limosi e limo-sabbiosi anche se nel caso specifico tali intercalazioni non sono presenti. E' da notare invece un aumento nella consistenza delle argille a partire da circa 11,40 m di profondità.

La soggiacenza della falda freatica, contenuta negli acquiferi più superficiali, è normalmente posta a 2-3 m dal pdc, variando con la stagionalità che prudentemente si considera, per il caso in esame, a -1 m dal pdc.

Secondo quanto riportato nello studio idraulico realizzato a supporto del vigente Piano Regolatore Generale, il sito in esame ricade in un'area allagabile a causa del drenaggio insufficiente e in relazione ad eventi con tempi di ritorno inferiori ai 10 anni.

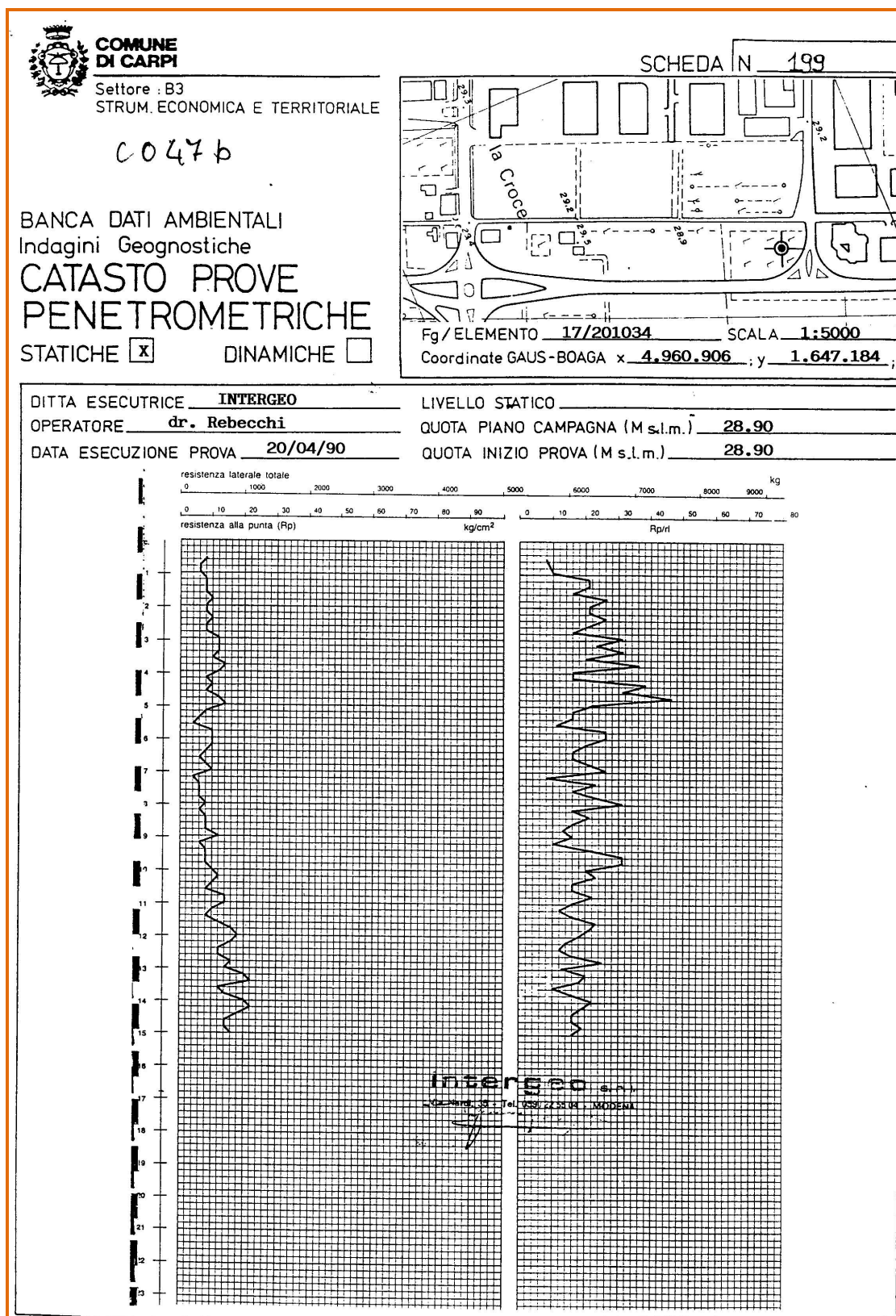


Fig. 7 – Prova Penetrometrica C047b (da Bibliografia).

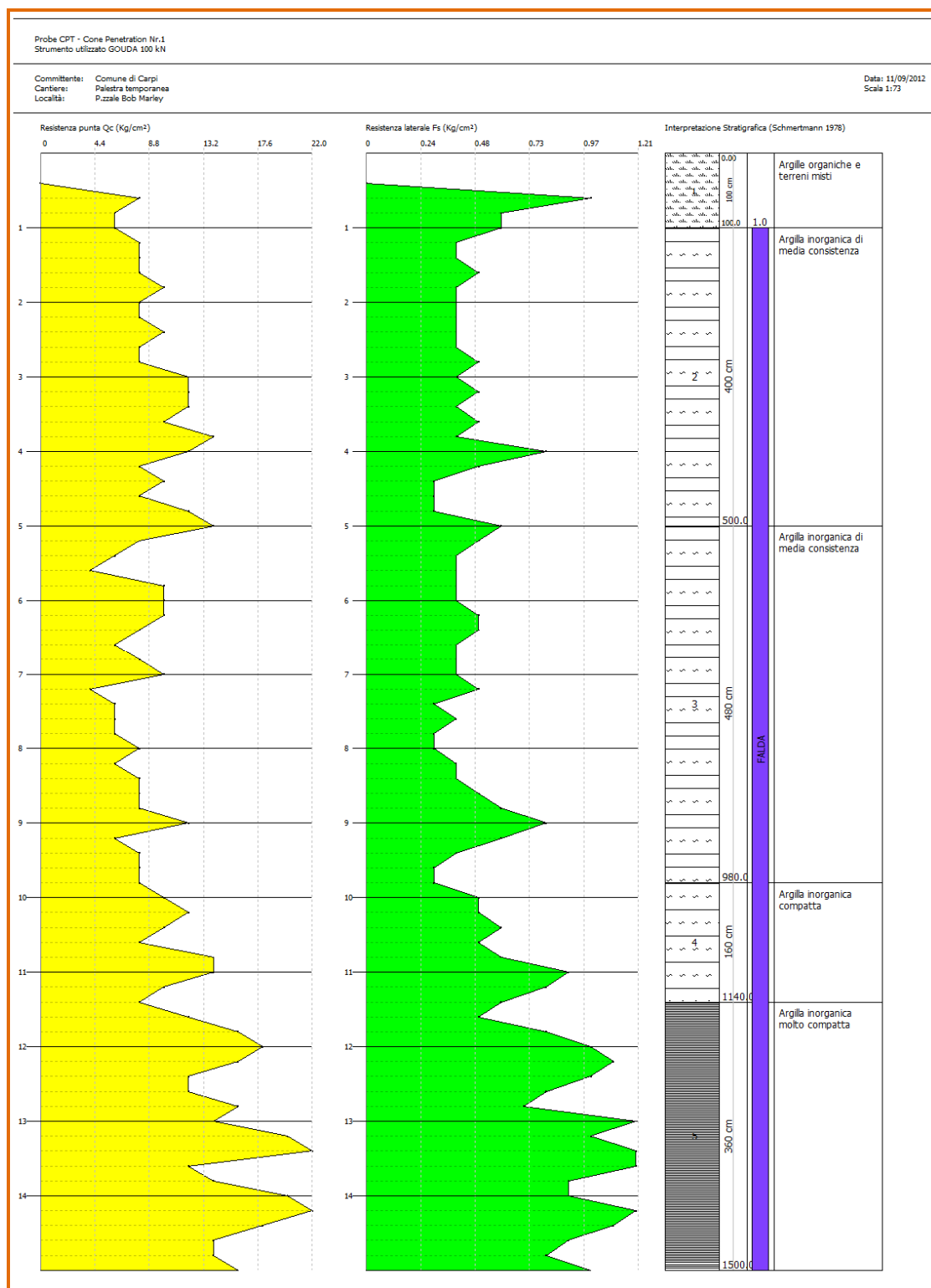


Fig. 8 – Diagramma penetrometrico Prova C047b (da Bibliografia).

Dall'elaborazione di tale indagine (vedi successivo capitolo 4) è stato ricavato l'andamento litotecnico rappresentativo per l'area di interesse che viene riportato in Fig. 9.

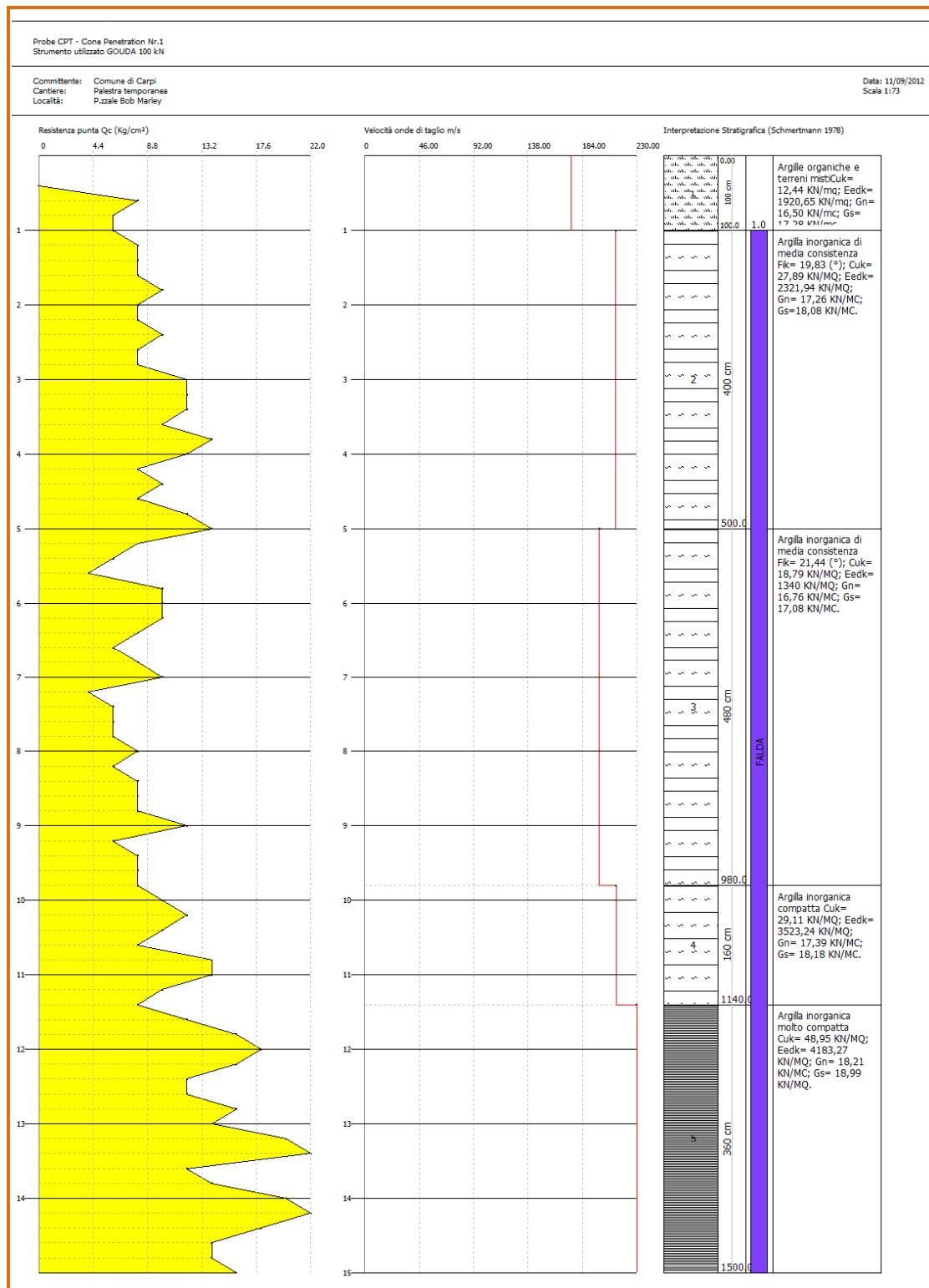


Fig. 9 - Colonna Litostratigrafica.

E' stato inoltre eseguita una prova sismica tipo MASW (All. n. 4) ubicata come da Fig. 4.

4. GEOTECNICA

4.1. Caratterizzazione fisico-meccanica del sottosuolo

Per una più puntuale caratterizzazione fisico-meccanica dei terreni di fondazione i dati penetrometrici sono stati elaborati attraverso correlazioni di tipo empirico ottenendo, per ogni strato individuato, i risultati riportati di seguito.

PROVA N. 1

Committente: Comune di Carpi
Strumento utilizzato: GOUDA 100 kN
Prova eseguita in data: 11/09/2012
Profondità prova: 15.00 mt
Località: P.zzale Bob Marley

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1.00	4.00	0.44	1.1	Coesivo	Argille organiche e terreni misti
5.00	10.71	0.44	1.9	Coesivo	Argilla inorganica di media consistenza
9.80	7.58	0.41	1.8	Coesivo	Argilla inorganica di media consistenza
11.40	10.75	0.64	1.8	Coesivo	Argilla inorganica compatta
15.00	16.00	0.96	1.9	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta

STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 1	1.00	4.00	0.44	0.1	0.1	Terzaghi	0.2
Strato 2	5.00	10.71	0.44	0.5	0.3	Terzaghi	0.5
Strato 3	9.80	7.58	0.41	1.3	0.7	Terzaghi	0.4
Strato 4	11.40	10.75	0.64	1.9	0.9	Terzaghi	0.5
Strato 5	15.00	16.00	0.96	2.4	1.1	Terzaghi	0.8

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 1	1.00	4.00	0.44	0.1	0.1	Metodo generale del modulo Edometrico	22.8
Strato 2	5.00	10.71	0.44	0.5	0.3	Metodo generale del modulo Edometrico	44.9
Strato 3	9.80	7.58	0.41	1.3	0.7	Metodo generale del modulo Edometrico	37.1
Strato 4	11.40	10.75	0.64	1.9	0.9	Metodo generale del modulo Edometrico	45.0
Strato 5	15.00	16.00	0.96	2.4	1.1	Metodo generale del modulo Edometrico	48.0

Modulo di deformazione non drenato Eu

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eu (Kg/cm ²)
Strato 1	1.00	4.00	0.44	0.1	0.1	Cancelli 1980	147.9
Strato 2	5.00	10.71	0.44	0.5	0.3	Cancelli 1980	390.8
Strato 3	9.80	7.58	0.41	1.3	0.7	Cancelli 1980	259.4
Strato 4	11.40	10.75	0.64	1.9	0.9	Cancelli 1980	368.7
Strato 5	15.00	16.00	0.96	2.4	1.1	Cancelli 1980	557.1

Modulo di deformazione a taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di deformazione a taglio (Kg/cm ²)
Strato 1	1.00	4.00	0.44	0.1	0.1	Imai & Tomauchi	65.3
Strato 2	5.00	10.71	0.44	0.5	0.3	Imai & Tomauchi	119.2
Strato 3	9.80	7.58	0.41	1.3	0.7	Imai & Tomauchi	96.5
Strato 4	11.40	10.75	0.64	1.9	0.9	Imai & Tomauchi	119.5
Strato 5	15.00	16.00	0.96	2.4	1.1	Imai & Tomauchi	152.4

Grado di sovraconsolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ocr
Strato 1	1.00	4.00	0.44	0.1	0.1	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 2	5.00	10.71	0.44	0.5	0.3	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 3	9.80	7.58	0.41	1.3	0.7	Piacentini Righi 1978	4.41
Strato 4	11.40	10.75	0.64	1.9	0.9	Piacentini Righi 1978	4.94
Strato 5	15.00	16.00	0.96	2.4	1.1	Piacentini Righi 1978	5.91

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	1.00	4.00	0.44	0.1	0.1	Meyerhof	1.7
Strato 2	5.00	10.71	0.44	0.5	0.3	Meyerhof	1.9
Strato 3	9.80	7.58	0.41	1.3	0.7	Meyerhof	1.8
Strato 4	11.40	10.75	0.64	1.9	0.9	Meyerhof	1.9
Strato 5	15.00	16.00	0.96	2.4	1.1	Meyerhof	1.9

Fattori di compressibilità C Crm

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	C	Crm
Strato 1	1.00	4.00	0.44	0.1	0.1	0	0
Strato 2	5.00	10.71	0.44	0.5	0.3	0	0
Strato 3	9.80	7.58	0.41	1.3	0.7	0	0
Strato 4	11.40	10.75	0.64	1.9	0.9	0	0
Strato 5	15.00	16.00	0.96	2.4	1.1	0	0

Peso unità di volume saturo

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume saturo (t/m ³)
Strato 1	1.00	4.00	0.44	0.1	0.1	Meyerhof	1.8
Strato 2	5.00	10.71	0.44	0.5	0.3	Meyerhof	1.9
Strato 3	9.80	7.58	0.41	1.3	0.7	Meyerhof	1.9
Strato 4	11.40	10.75	0.64	1.9	0.9	Meyerhof	1.9
Strato 5	15.00	16.00	0.96	2.4	1.1	Meyerhof	2.0

Velocità onde di taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Vs (m/s)
Strato 1	1.00	4.00	0.44	0.1	0.1	Jamiolkowski et al 1985	175.31

Strato 2	5.00	10.71	0.44	0.5	0.3	Jamiolkowski et al 1985	213.27
Strato 3	9.80	7.58	0.41	1.3	0.7	Jamiolkowski et al 1985	199.10
Strato 4	11.40	10.75	0.64	1.9	0.9	Jamiolkowski et al 1985	213.43
Strato 5	15.00	16.00	0.96	2.4	1.1	Jamiolkowski et al 1985	231.01

Permeabilità

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	K (cm/s)
Strato 1	1.00	4.00	0.44	0.1	0.1	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11
Strato 2	5.00	10.71	0.44	0.5	0.3	Piacentini-Righi 1988	9.56E-08
Strato 3	9.80	7.58	0.41	1.3	0.7	Piacentini-Righi 1988	4.25E-10
Strato 4	11.40	10.75	0.64	1.9	0.9	Piacentini-Righi 1988	1.96E-11
Strato 5	15.00	16.00	0.96	2.4	1.1	Piacentini-Righi 1988	1.00E-11

Coefficiente di consolidazione

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Coefficiente di consolidazione (cm ² /s)
Strato 1	1.00	4.00	0.44	0.1	0.1	Piacentini-Righi 1988	1.2E-07
Strato 2	5.00	10.71	0.44	0.5	0.3	Piacentini-Righi 1988	3.071556E-03
Strato 3	9.80	7.58	0.41	1.3	0.7	Piacentini-Righi 1988	9.674371E-06
Strato 4	11.40	10.75	0.64	1.9	0.9	Piacentini-Righi 1988	6.3051E-07
Strato 5	15.00	16.00	0.96	2.4	1.1	Piacentini-Righi 1988	4.8E-07

4.2. Valori caratteristici dei principali parametri geotecnici

Consideriamo utile fornire i parametri caratteristici indicativi per l'intera profondità indagata con la prova penetrometrica di riferimento (15 m); in considerazione all'incertezza del volume coinvolto dai bulbi di rottura e di compattazione (resistenze non compensate) e tenendo però conto dei dati assunti di tipo estrapolato, verrà eseguita un'elaborazione applicando la distribuzione *Student* e adottando il valore corrispondente al 5° percentile.

I valori caratteristici così elaborati vengono riportati di seguito.

	Angolo di resistenza al taglio	Coesione non drenata	Modulo di compressibilità edometrica	Modulo di Young	Peso di volume naturale	Peso di volume saturato
	[°]	[kN/mq]	[kN/mq]	[kN/mq]	[kN/mc]	[kN/mc]
1	--	12.44	1920.65	--	16.50	17.28
2	19.83	27.89	2321.94	1328.59	17.26	18.08
3	21.44	18.79	1399.94	1569.06	16.76	17.08
4	--	29.11	3523.24	--	17.39	18.18
5	--	48.95	4183.27	--	18.21	18.99

4.2.1. Liquefazione

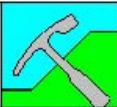
Per le analisi saranno adottati metodi di analisi semplificata (Capitolo 7.11.3.4.3 del DM 14.01.2008).

Per la definizione dello sforzo di taglio indotto da terremoto (CSR) si farà riferimento ad una accelerazione massima attesa in superficie pari a $a_{max}=0,257$ (g), risultante dall'elaborazione dei parametri sismici con il programma online "GeoStru PS" (All. n. 5).

Il dato di Vs30, necessario per la determinazione dell'accelerazione massima attesa in superficie, è stato ricavato da apposita prova MASW, ottenendo una Vs30=232 m/sec da -1 m da pdc (All. n. 4) e quindi facendo rientrare il sottosuolo in esame nella categoria "C".

Per quanto riguarda invece il calcolo della resistenza al taglio nel terreno (CRR) si utilizzerà la metodologia di *Robertson e Wride, 1997*, applicando il fattore di scala della magnitudo MSF riferita alla magnitudo del Comune di Carpi (MO) ($M_{wmax}=6,14$) in quanto appartenente alla zona sismogenetica (ZS) n. 912 "Dorsale ferrarese" (www.zonesismiche.mi.ingv.it).

Lo sviluppo del calcolo è stato condotto con il codice *LIQUEF* della *ProgramGeo* il cui risultato si riporta nella Fig. 10.



Program Geo
Via XX Settembre, 89d-25013 Carpenedolo-0309966987

Committente: Comune di Carpi
 Località: P.zza Bob Marley Carpi
 Note:

Descrizione: Palestra temporanea
 Sigla:

Stima del rischio di liquefazione con il metodo di Robertson e Wride (1997)

Profondità (m)	qc(kg/cmq)	fs(kg/cmq)	Gamma(t/mc)	Sforzo indotto dal sisma T(kg/cmq)	Resistenza alla liquefazione R(kg/cmq)	Coefficiente di sicurezza alla liquefazione Fs
1	4	0.44	1.1	0.166	0.116	
5	11	0.44	0.9	0.275	0.082	
9.8	8	0.41	0.8	0.309	0.06	
11.4	11	0.64	0.8	0.303	0.06	
15	16	0.96	0.9	0.282	0.062	

Profondità tetto falda(m): 1

Profondità base falda(m): 15

Accelerazione sismica di progetto(g)= 0.256

Magnitudo di riferimento= 6.14

Indice di liquefazione=0.0 rischio molto basso

Fattore di correzione della magnitudo MSF: 1.94

Fs = MSF x R / T

Fig. 10 - Stima del rischio di liquefazione.

Da tale figura si può notare che tutti gli strati di terreno vengono esclusi perché dotati di una distribuzione granulometrica ricadente nelle argille e nei limi argillosi e quindi rientranti nel caso escludente n. 5 del capitolo 7.11.3.4.2 del DM 14.01.2008.

5. SISMICA

Il Comune di Carpi è classificato sismico in **Zona 3** dall'OPCM n.3274/2003 (Allegato 1, punto 3 "Prima applicazione") ed appartenendo alla zona sismogenetica (ZS9) n. 911 (Dorsale Ferrarese) si assume come magnitudo M il valore di **Mw_{max} = 6,14**.

Al fine di determinare la categoria sismica di sottosuolo (capitolo 3.2 delle NTC) è stato eseguito uno stendimento sismico con tecnica MASW (All. n. 4) dal quale è stata dedotta l'appartenenza dell'area alla **categoria C** e confermata la stratigrafia descritta al Capitolo 3.2.

Con tale informazione sono stati definiti i parametri sismici necessari alle successive verifiche di sicurezza utilizzando un apposito software (*GeoStru PS*) i cui risultati sono riportati nell'Allegato n. 5.

Onde verificare la presenza di eventuali contrasti di impedenza significativi (riflettore sismico) a profondità tali da determinare frequenze proprie del terreno pericolose per la struttura in progetto (doppia risonanza) è stata eseguita una prova con tromometro (ubicata come da Fig. 4) ottenendo i risultati riportati in Allegato n. 3.

Come si può notare da tale allegato è presente un riflettore significativo ($H/V > 2$) posto però oltre i 100 m di profondità dal pdc generante frequenze proprie al terreno soprastante circa pari a circa 0,75 Hz; tale frequenza è però diversa, solitamente dal periodo proprio della tipologia dell'edificio in progetto.

Anche mediante tale prova è riconfermata l'appartenenza del terreno alla categoria "C" ($V_{s30} = 277$ m/s).

6. CONCLUSIONI

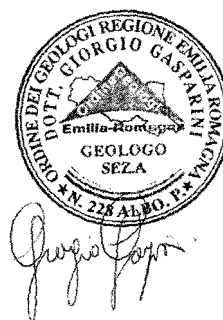
La presente indagine ha permesso di definire il modello geologico dell'area coinvolta dal progetto in esame, approfondire il modello geotecnico (limitatamente alla caratterizzazione fisico-meccanica del sottosuolo) ed infine indicare i parametri sismici e la categoria di sottosuolo dell'area.

La presente relazione risulta conforme alle prescrizioni di cui ai:

- OPCM 3274/2003 e ss.mm.ii;
- D.M. 14 Gennaio 2008.

Bastiglia, 06.12.2012

Dott. Geol. Giorgio Gasparini



ALLEGATI

(*) - Immagini tratte dal Quaderno del Piano n. 2 (Comune di Carpi, 1995)

Tavola 2. Litologia di superficie (secondo Shepard 1954)

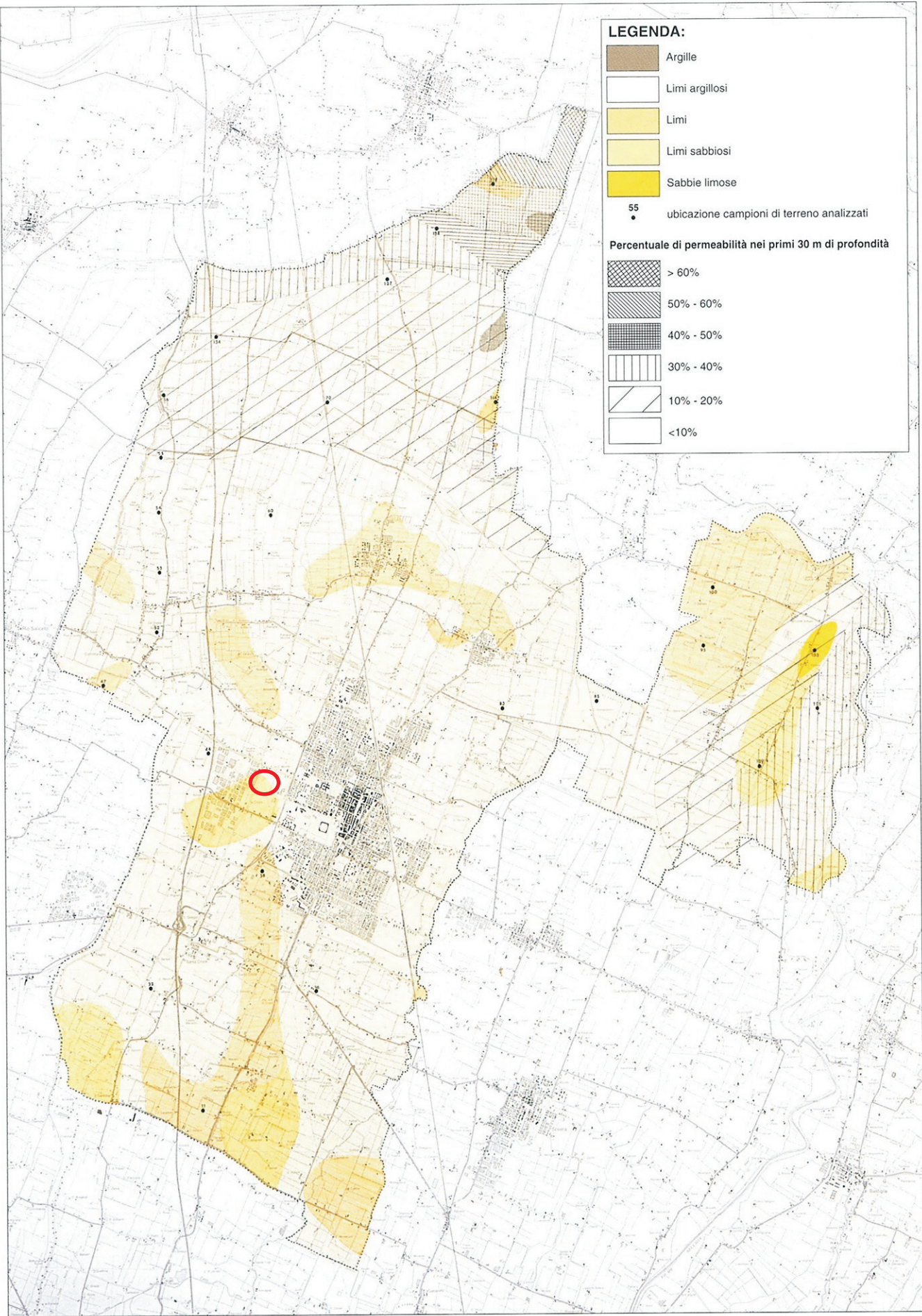
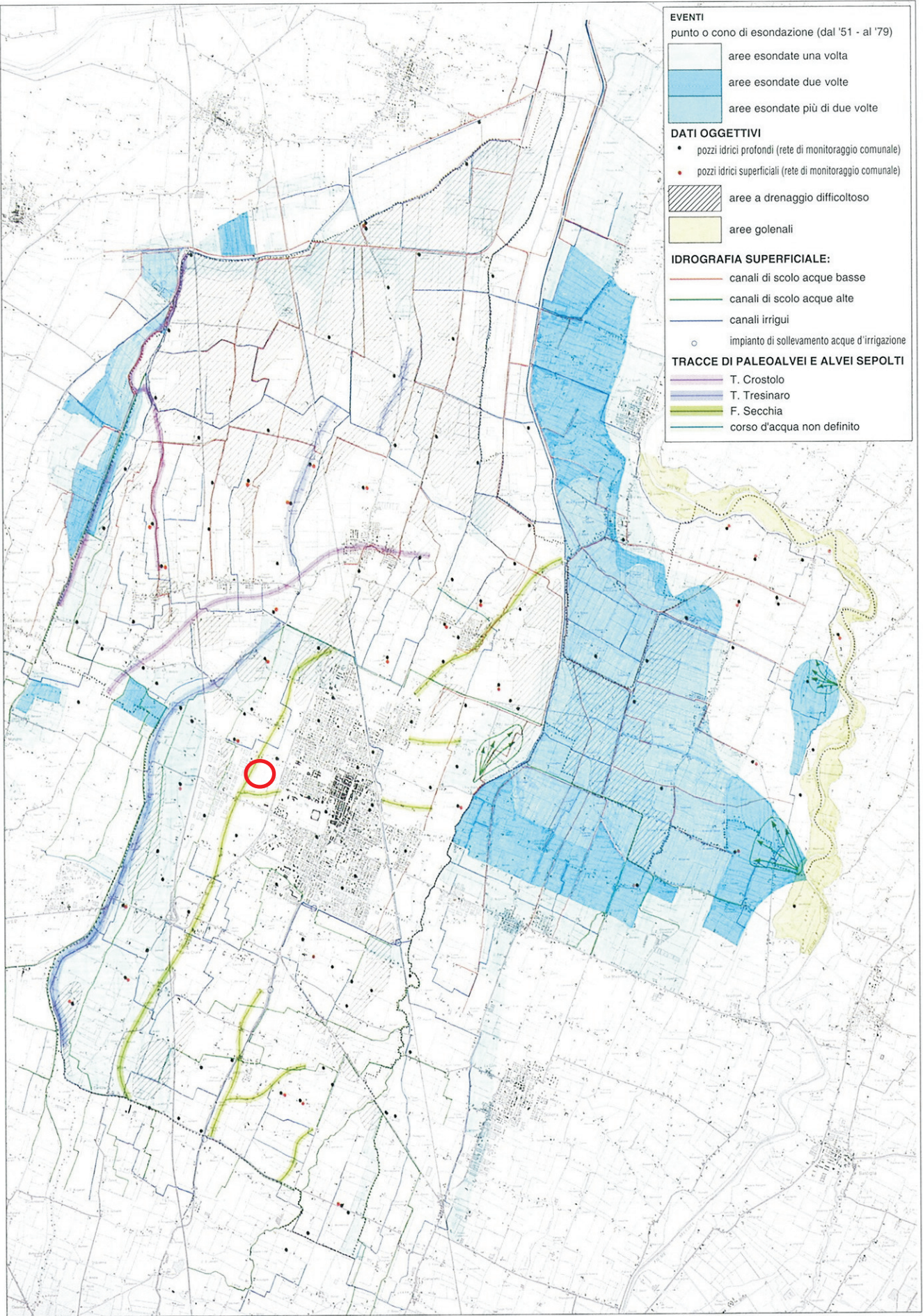


Tavola 4. Carta idrogeomorfologica



(*) - Immagini tratte dal Quaderno del Piano n. 2 (Comune di Carpi, 1995)

Tavola 19. Struttura del paesaggio

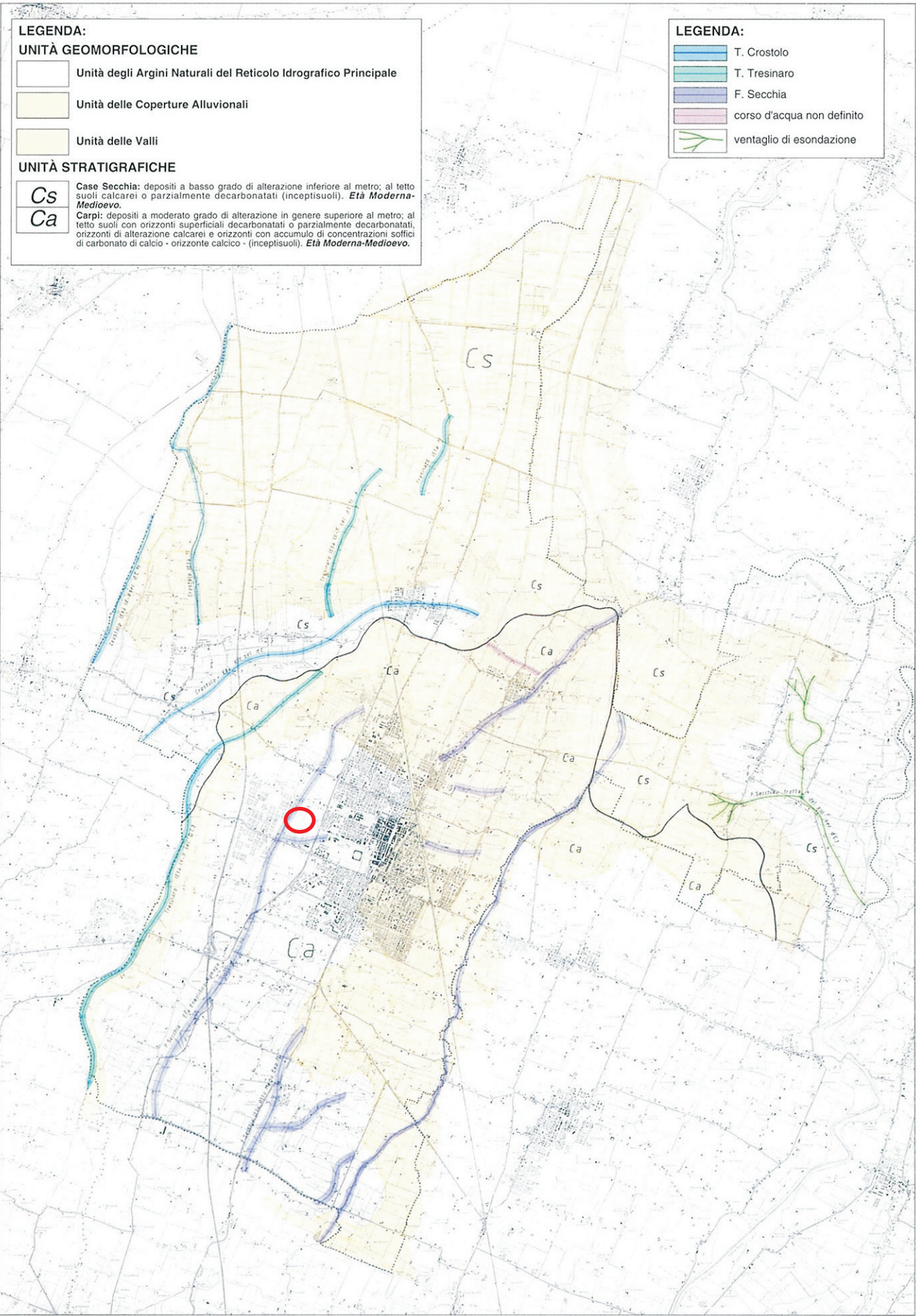
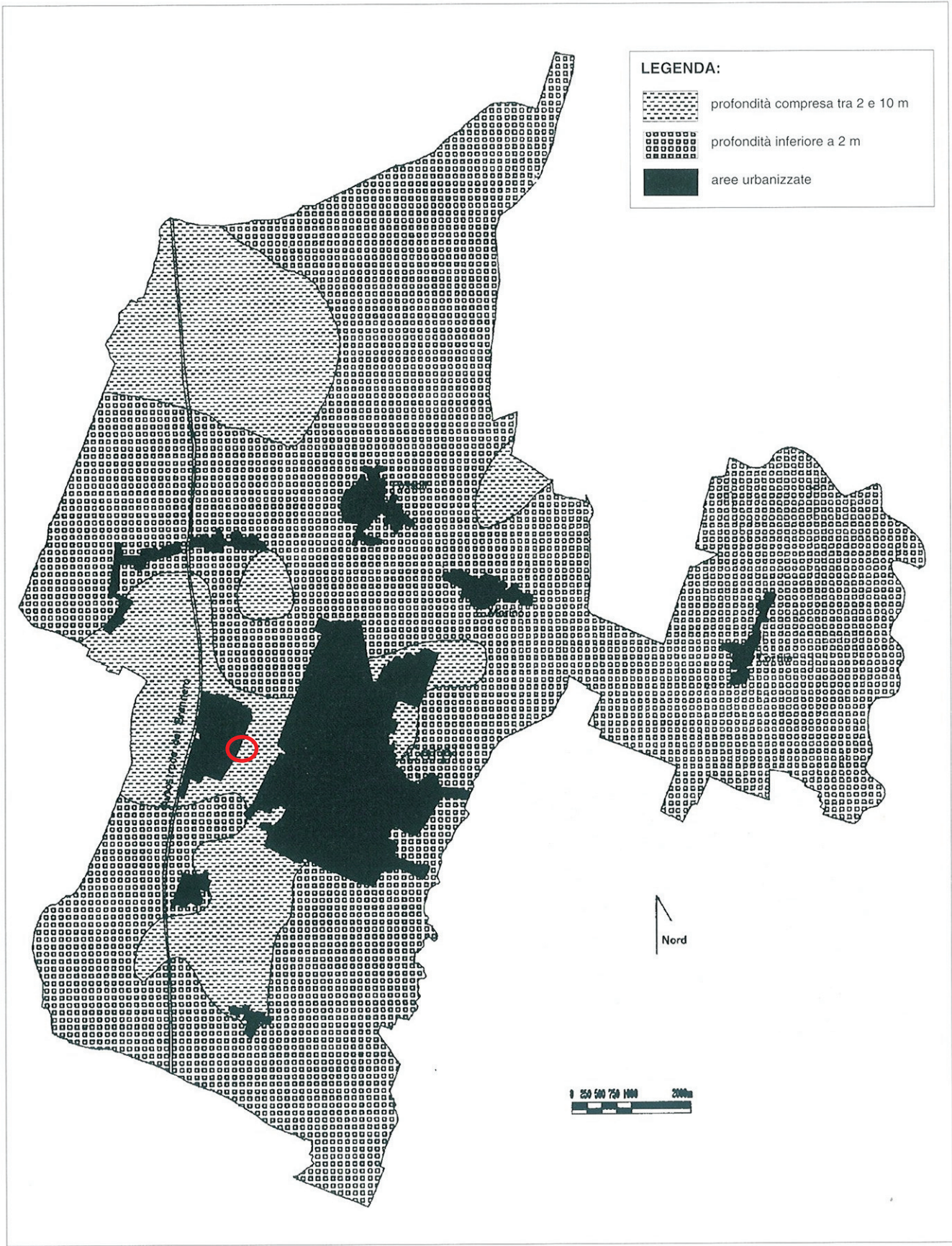


Tavola 15. Carta della profondità media dei livelli freatici



**Analisi
Tromografica**

PROVA, VIA COMMERCIO PALESTRA

Strumento: TR-0006/01-05

Inizio registrazione: 05/12/12 14:21:27 Fine registrazione: 05/12/12 14:41:28

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 55% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

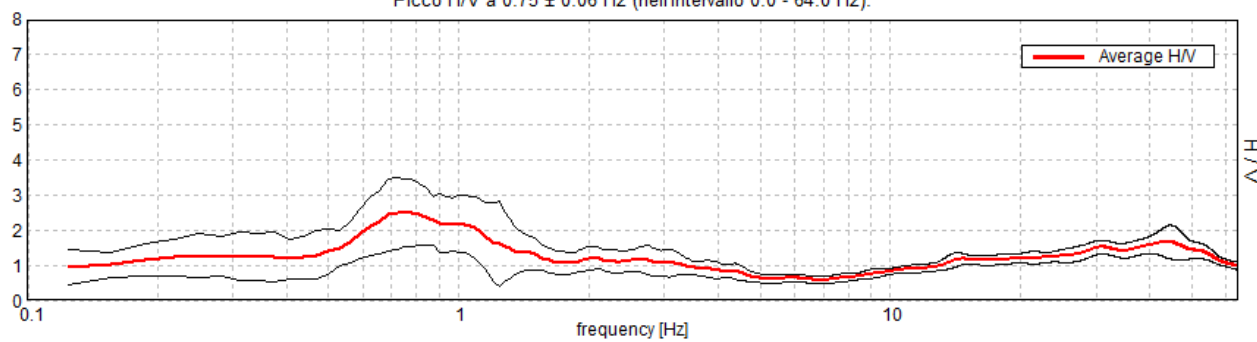
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

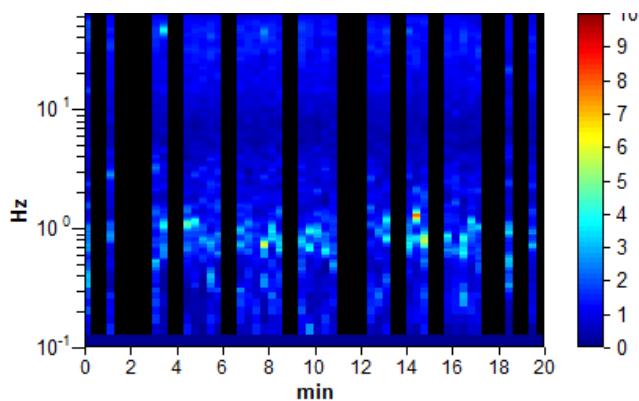
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

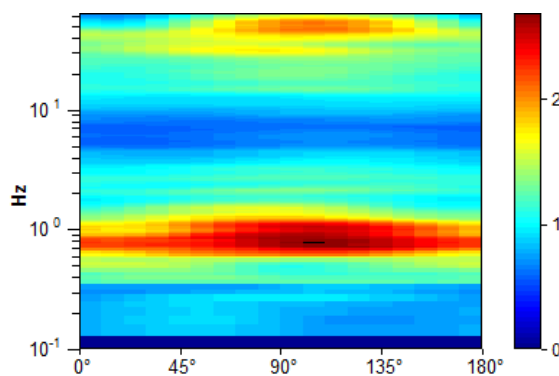
Picco H/V a 0.75 ± 0.06 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).



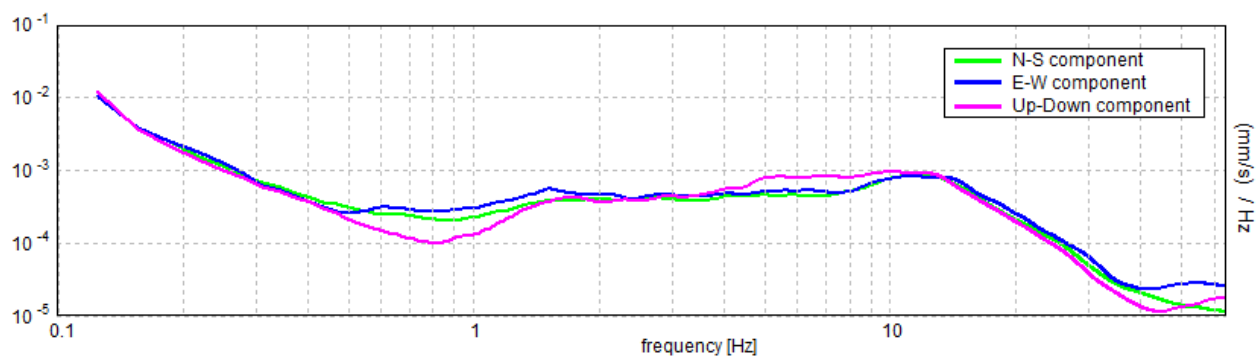
SERIE TEMPORALE H/V

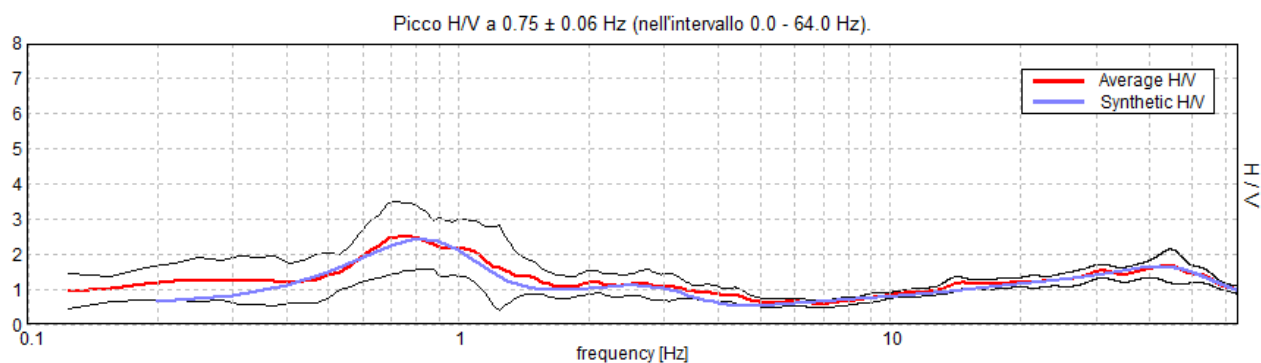


DIREZIONALITA' H/V



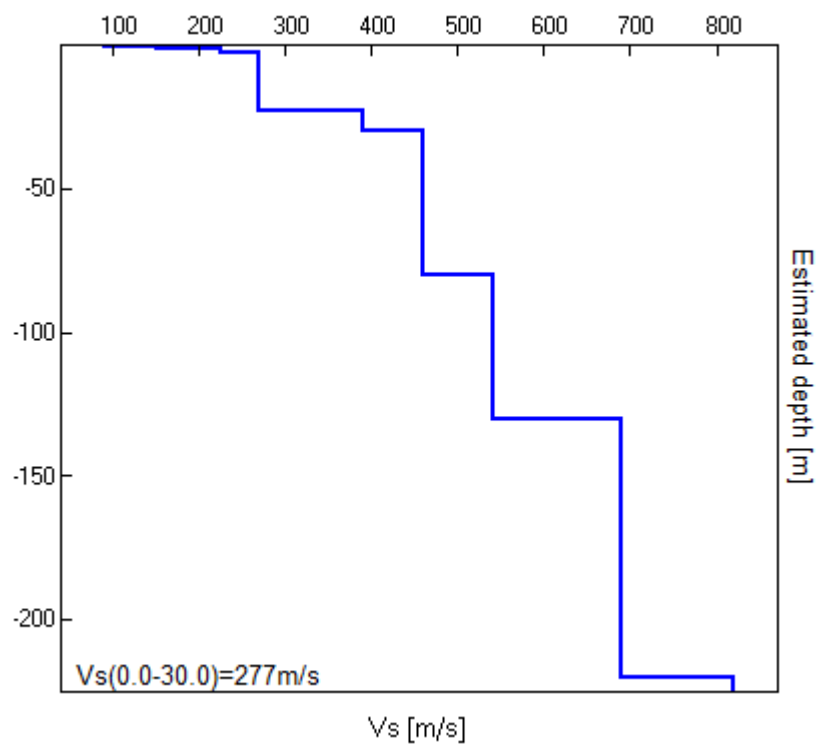
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO


Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
0.30	0.30	90	0.35
0.90	0.60	150	0.37
2.90	2.00	225	0.38
22.90	20.00	270	0.38
29.90	7.00	390	0.40
79.90	50.00	460	0.45
129.90	50.00	540	0.48
219.90	90.00	690	0.48
inf.	inf.	820	0.48

Vs(0.0-30.0)=277m/s



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

Picco H/V a 0.75 ± 0.06 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.75 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$495.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 37	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.438 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	1.563 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.50 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04072 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.03054 < 0.1125$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.4727 < 2.0$	OK	

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

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

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

**Diagrammi
indagini sismiche tipo MASW**

Indagine Sismica MASW a Carpi Via dell'Industria (Comune di Carpi, Provincia di Modena)

Premessa

Su incarico del Dott. Geol. Giorgio Gasparini è stata eseguita un'acquisizione di sismica attiva con metodologia MASW (*Multichannell Analysis of Surface Waves*) nel Comune di Carpi, in via dell'Industria (Figura 1).

Strumentazione, geometria e parametri di acquisizione

È stato utilizzato un sismografo digitale Dolang, modello DBS280, a 24 canali, dotato di cavi di 60 metri e di doppia serie di geofoni da 4,5 Hz e 10 Hz, per una lunghezza complessiva di 46 m di stendimento (2 m di distanza intergeofonica). Come sistema di energizzazione è stata utilizzata una mazza da 10 Kg battente su piastra con chiusura del circuito (*trigger*) a contatto. Sono state eseguite più acquisizioni con *offset* minimo (distanza tra il punto di energizzazione e primo geofono) pari a 1x, 2x e 5x (essendo x la distanza intergeofonica=2 m), acquisendo 2048 ovvero 4096 campioni per volta, impostando alternativamente il passo di campionamento a 0,6 ovvero a 1,2 ms ed eseguendo, per controllo, anche l'acquisizione in ritorno (con un *offset* minimo pari a 1X).

Per l'elaborazione dei dati è stato utilizzato il software MASW (di "Roma e associati").

Interpretazione

A supporto dell'interpretazione dei dati (eseguita per modellazione diretta) ci si è avvalsi delle informazioni geologico-stratigrafiche desumibili dalla Banca Dati Geognostici di Pianura regionale, consultabili sul sito web cartografico del *Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli della Regione Emilia-Romagna*.

Nella Figura 2 sono riportate le tracce dei sismogrammi e lo spettro F-k da esse ottenuto. Nella scheda sintetica di cui alla pagina 4 sono invece riportati: la curva di

dispersione sperimentale (con la selezione dei punti per la modellazione diretta); il modello ottenuto attraverso la modellazione diretta (basata anche sulle conoscenze stratigrafiche disponibili); il confronto tra curve di dispersione sintetica, effettiva e apparente, riferite al modello, con i punti selezionati dalla curva di dispersione sperimentale. La tabella di cui alla Figura 3 riassume infine i parametri relativi al modello del profilo verticale di velocità.



Figura 1. A sinistra: Estratto da CTR con ubicazione dello stendimento MASW e inquadramento corografico. A destra: stendimento sismico MASW.

I dati geognostici disponibili (diagrammi di prove penetrometriche) suggeriscono una composizione del primo sottosuolo data da:

- un orizzonte superficiale di sabbie limose fino a circa 5-6 m di profondità, comprendente anche la parte pedogenizzata (sabbioso limoso argillosa);
- una sequenza data dall'alternanza di livelli sabbiosi estrati limo sabbiosi e limo argillosi fino ad almeno 20 m dal p.c.. Localmente s'incontrano banchi con sabbie prevalenti (tra circa 13 e 17 m dal p.c.).

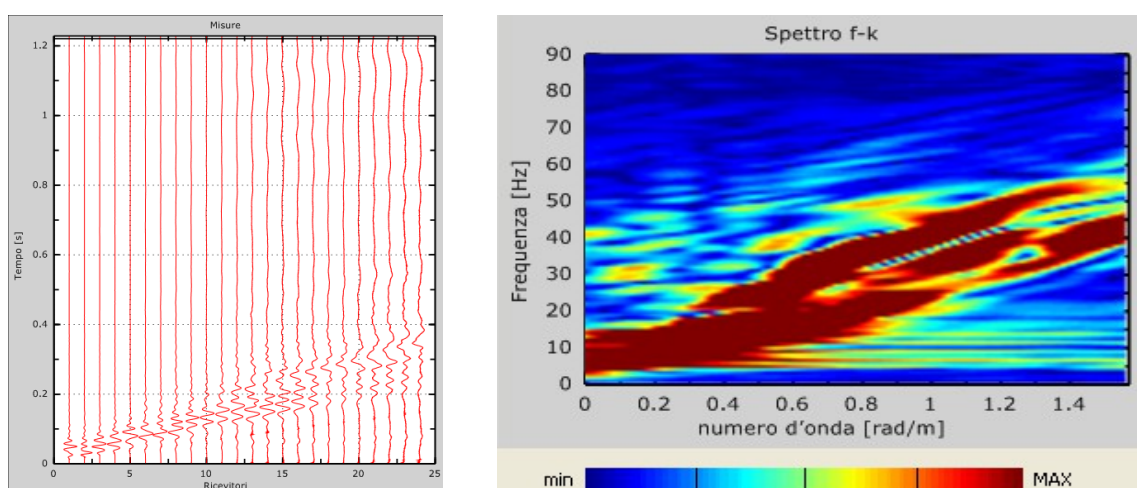


Figura 2. A destra: spettro f-k relativo ai sismogrammi riportati sulla sinistra.

La presenza di acque libere, pur non essendo indicata nei diagrammi penetrometrici, è ipotizzabile a bassa profondità (pochi metri) sulla base di misure eseguite in fori penetrometrici realizzati di recente nell'area carpigiana, in contesti stratigrafici e morfologici analoghi a quello in esame.

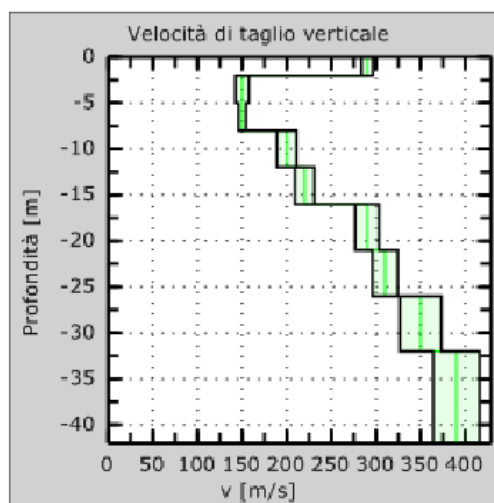
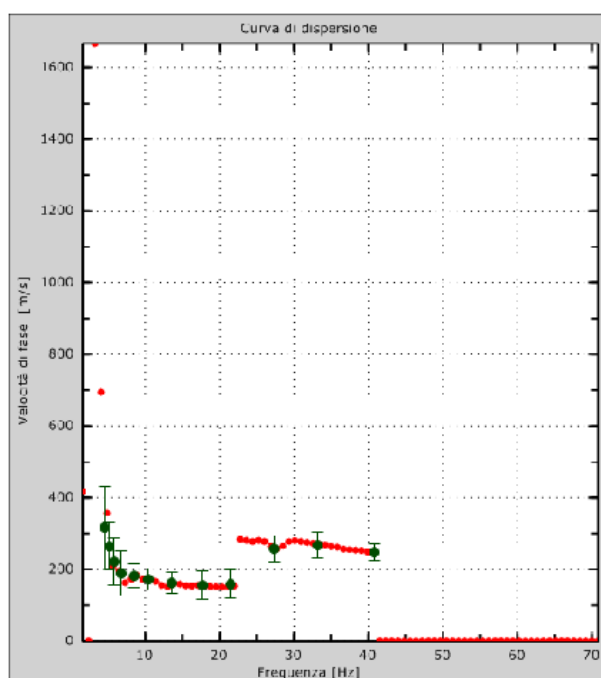
* * *

Il modello di profilo verticale di velocità, ricavato per modellazione diretta dell'acquisizione MASW (condizionata dai dati penetrometrici), è formato da quattro orizzonti principali (figura 3):

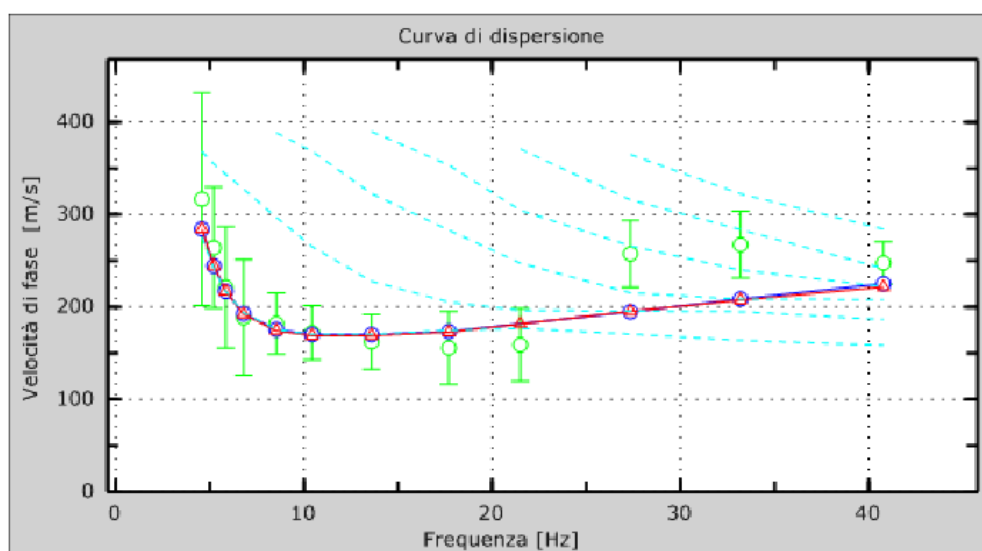
- da p.c. a 2 m: strato superficiale relativamente veloce (V_s circa 290 m/s) dato da suolo sabbioso limoso argilloso sovraconsolidato;
- da 2 a 8 m dal p.c.: strato relativamente lento (V_s circa 150 m/s) dato da sabbie, sabbie limose e limi sabbiosi in strati e livelli decimetrici alternati;
- da 8 a 16 m dal p.c.: alternanze prevalenti di sabbie e limi con argille; terreni poco più veloci dell'orizzonte precedente (V_s da 200-220 m/s);
- a partire da circa 16 m di profondità si verifica un lieve salto di velocità (sebbene il modello di profilo mantenga poi un gradiente velocità/profondità simile a quello dello strato precedente) con V_s da 290 m/s a oltre 350 m/s. Mancando dati stratigrafici vicini all'area in esame, si può solamente ipotizzare (in analogia con altri settori del carpigiano) trattarsi di sedimenti argilloso limosi ai quali si intercalano localmente strati sabbiosi.

Indagine sismica MASW

Località: Carpi (Via dell'Industria)

Modello di profilo di velocità (incertezza $0,1\sigma$)

Curva di dispersione sperimentale (rosso) e picking (verde)



Disallineamento tra curva di dispersione sperimentale e modello: 13% e 13%
 In verde-Punti picking (curva sperimentale); in rosso-curve effettiva (modello); in blu-curve apparente (modello); in celeste (modi di Rayleigh per il modello)

VS30 a partire da p.c.: 230 m/s
VS30 a partire da -1 m da p.c.: 232 m/s
VS30 a partire da -2 m da p.c.: 233 m/s

Indagine Sismica MASW-Carpi (Via dell'Industria)
Comune di Carpi (MO)

Dott. Geol. Marco Capitani

Descrizione	Spessore (m)	Profondità base (m)	Densità (kg/m ³)	Coefficiente di Poisson	Vs (m/s)	Vp (m/s)
Suolo sabbioso-argilloso-limoso, sovraconsolidato	2	-2	1800	0,4	290	710
Terreni sabbioso-limosi	3	-5	1800	0,48	150	765
Alternanza prevalentemente date da sabbie e limi, con intercalazioni argillose	3	-8	1800	0,48	150	765
Alternanza prevalentemente date da sabbie e limi, con intercalazioni argillose	4	-12	1800	0,48	200	1020
Alternanza prevalentemente date da sabbie e limi, con intercalazioni argillose	4	-16	1800	0,48	220	1122
Argille e limi con intercalazioni sabbiose?	5	-21	1800	0,48	290	1479
Argille e limi con intercalazioni sabbiose?	5	-26	1800	0,48	310	1581
Argille e limi con intercalazioni sabbiose?	6	-32	1800	0,48	350	1785

Figura 3. Dati riassuntivi del modello di profilo verticale di velocità. (stendimento di 46 m di lunghezza).

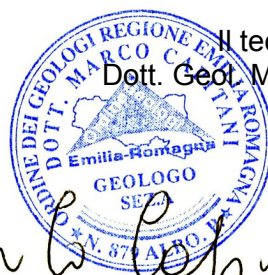
Per quanto riguarda il parametro Vs30 (classificazione di cui al punto 3.2.2 del DM 14 gennaio 2008), dal modello di profilo verticale di velocità si ricava quanto segue:

Vs30 a partire da p.c.: 230 m/s

Vs30 a partire da -1m da p.c.: 232 m/s

Vs30 a partire da -2 m da p.c.: 233 m/s

Vignola, 05-12-2012



Il tecnico
Dott. Geol. Marco Capitani

Marco Capitani

Parametri sismici

determinati con **GeoStru PS** <http://www.geostru.com/geoapp>

Le coordinate geografiche espresse in questo file sono in ED50

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii

Sito in esame.

latitudine: 44,787370 [°]

longitudine: 10,863612 [°]

Classe d'uso: III. Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.

Vita nominale: 50 [anni]

Tipo di interpolazione: Media ponderata

Siti di riferimento.

	ID	Latitudine [°]	Longitudine [°]	Distanza [m]
Sito 1	15391	44,804860	10,813940	4375,4
Sito 2	15392	44,806420	10,884320	2675,2
Sito 3	15614	44,756440	10,886560	3887,2
Sito 4	15613	44,754880	10,816230	5200,2

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C

Categoria topografica: T1

Periodo di riferimento: 75 anni

Coefficiente cu: 1,5

	Prob. superament o [%]	Tr [anni]	ag [g]	Fo [-]	Tc* [s]
Operatività (SLO)	81	45	0,051	2,509	0,262
Danno	63	75	0,064	2,496	0,274

(SLD)					
Salvaguardia della vita (SLV)	10	712	0,181	2,548	0,274
Prevenzione dal collasso (SLC)	5	1462	0,239	2,488	0,282

Coefficienti Sismici

	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	Kh [-]	Kv [-]	Amax [m/s ²]	Beta [-]
SLO	1,500	1,630	1,000	0,015	0,008	0,755	0,200
SLD	1,500	1,610	1,000	0,019	0,010	0,948	0,200
SLV	1,420	1,610	1,000	0,062	0,031	2,514	0,240
SLC	1,340	1,590	1,000	0,090	0,045	3,147	0,280

Geostru software - www.geostru.com