

CAROLI DOTT. GEOL. NICOLA

Via Ferrari, 4 - 42019 SCANDIANO (RE)

Email: carolinicola@alice.it

Cell: 3406286161

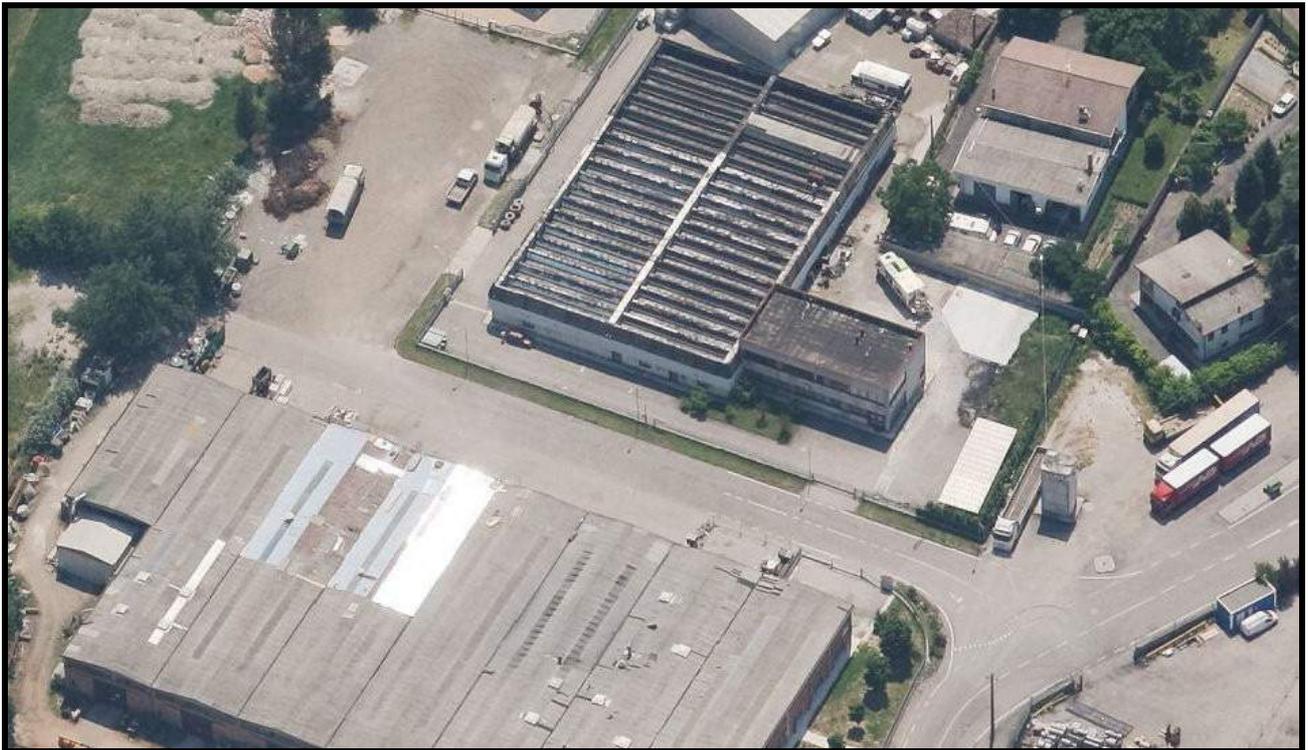


**Comune di Finale Emilia
(Provincia di Modena)**

Località: Via A. Miari, 6 – Zona Artigianale Crocetta

RELAZIONE GEOLOGICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

**Ripristino e miglioramento sismico di un fabbricato artigianale
a seguito degli eventi sismici del maggio 2012**



Committente: K.G. BONTIRA S.r.l.

Giugno 2014

INDICE

1. PREMESSA.....	3
2. MORFOLOGIA, PEDOLOGIA E CARATTERISTICHE CLIMATICHE	3
3. INQUADRAMENTO TETTONICO E CARATTERISTICHE GEOLITOLOGICHE.....	4
5. SISMICITÀ DELL'AREA.....	10
6. PERIODO DI RITORNO E PERICOLOSITÀ DELL'AZIONE SISMICA	17
7. RISPOSTA SISMICA LOCALE	20
8. VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE	24
9. METODOLOGIA D'INDAGINE	25
10. CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE E PARAMETRI GEOTECNICI.....	27
11. RIEPILOGO E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	29

- ALLEGATI:

- UBICAZIONE DELLE INDAGINI
- PROVA PENETROMETRICA STATICA
- SISMICA A RIFRAZIONE TIPO MASW
- VERIFICA DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

1. PREMESSA

Con riferimento agli accordi intercorsi con il Dott. Ing. Clavio Manarini di Bologna, trasmetto la presente relazione geologica e sulla pericolosità sismica di base atta a definire le caratteristiche geomeccaniche e sismiche di un terreno, sito in comune di Finale Emilia (MO), su cui è in progetto l'intervento di ripristino e miglioramento sismico di un fabbricato artigianale a seguito degli eventi sismici del maggio 2012.

2. MORFOLOGIA, PEDOLOGIA E CARATTERISTICHE CLIMATICHE

L'area in oggetto di studio, posta alla quota di 14 m s.l.m., è ubicata nella Zona Artigianale Crocetta, a SE del centro storico di Finale, a monte dell'alveo del Fiume Panaro.

Più precisamente, il terreno in esame, su cui preesiste il fabbricato oggetto di intervento, è situato a valle della S.P. 10 Via per Cento e della località Bersaglio, ad occidente del Canale Consorziale Palata Reno, con accesso da Via A. Miari (cf. stralcio dalla C.T.R. in scala 1:5.000 – elementi n° 184161 – Finale Emilia Est e n° 184162 - Alberone nonché immagine tridimensionale proposta sul frontespizio).

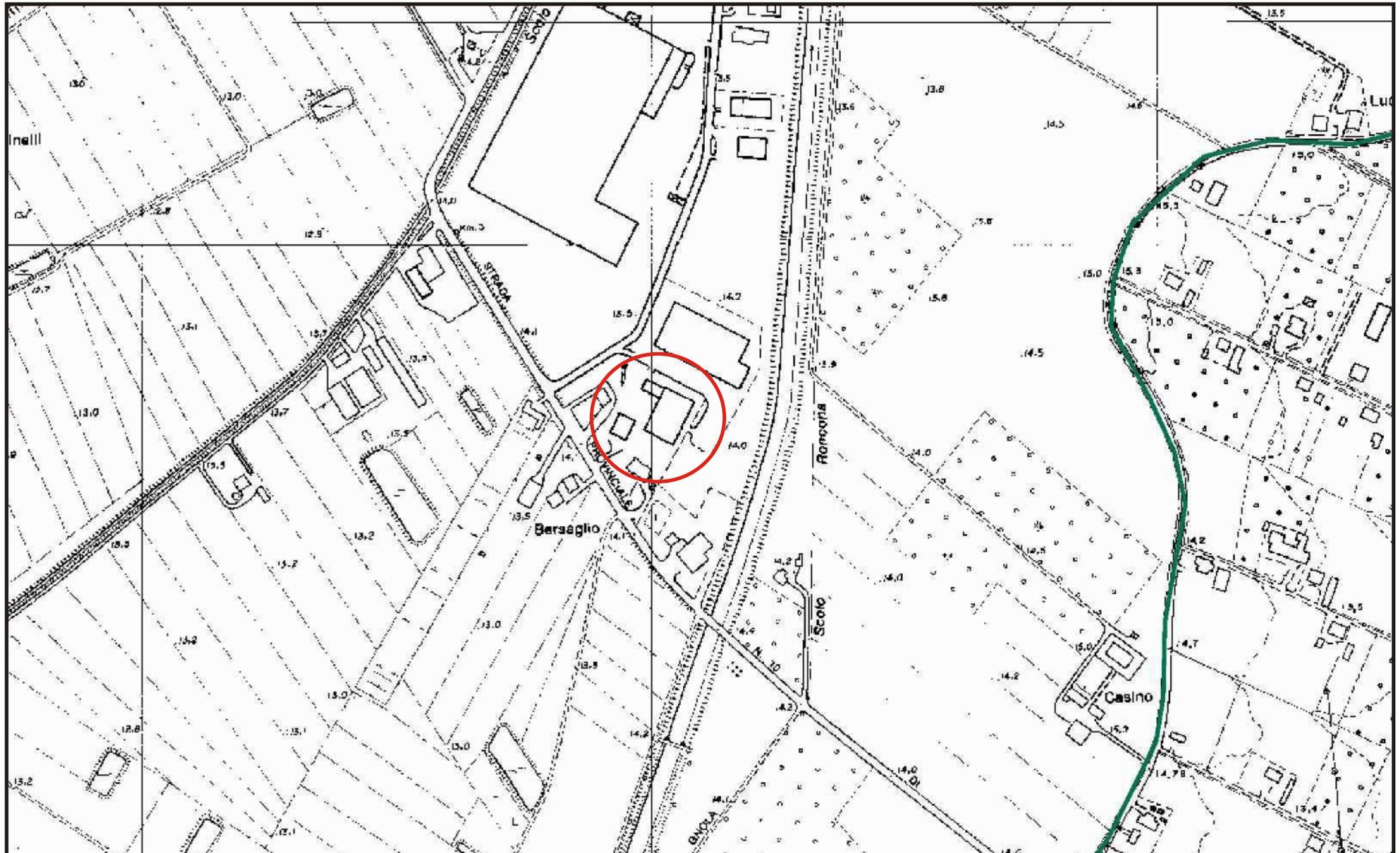
In virtù delle caratteristiche fisico-chimiche, l'indirizzo naturale di questi terreni è quello agricolo. I suoli tipici di questa Unità Idrogeologica, in parte asportati dal precedente intervento edilizio e ricoperti da una coltre di materiale di riporto nelle aree di manovra, appartengono all'associazione dei "suoli idromorfi organici".

Questi suoli presentano tracce evidenti di idromorfia, sono acalcarei ed hanno reazione a volte fortemente acida, ma più in generale neutra. Attualmente il loro utilizzo prevalente è il seminativo; la potenzialità va da scarsa ad alta.

Il regime pluviometrico della zona è di tipo continentale. Il valore medio annuo delle precipitazioni è di 642.8 mm con punte massime di piovosità, nelle 24 ore, in agosto e settembre (78.7 mm), minime, sempre nell'arco di una giornata, in luglio (5.3 mm).

STRALCIO DALLA C.T.R. IN SCALA 1:5000

Elementi n° 184161 - Finale Emilia Est e n° 184162 - Alberone

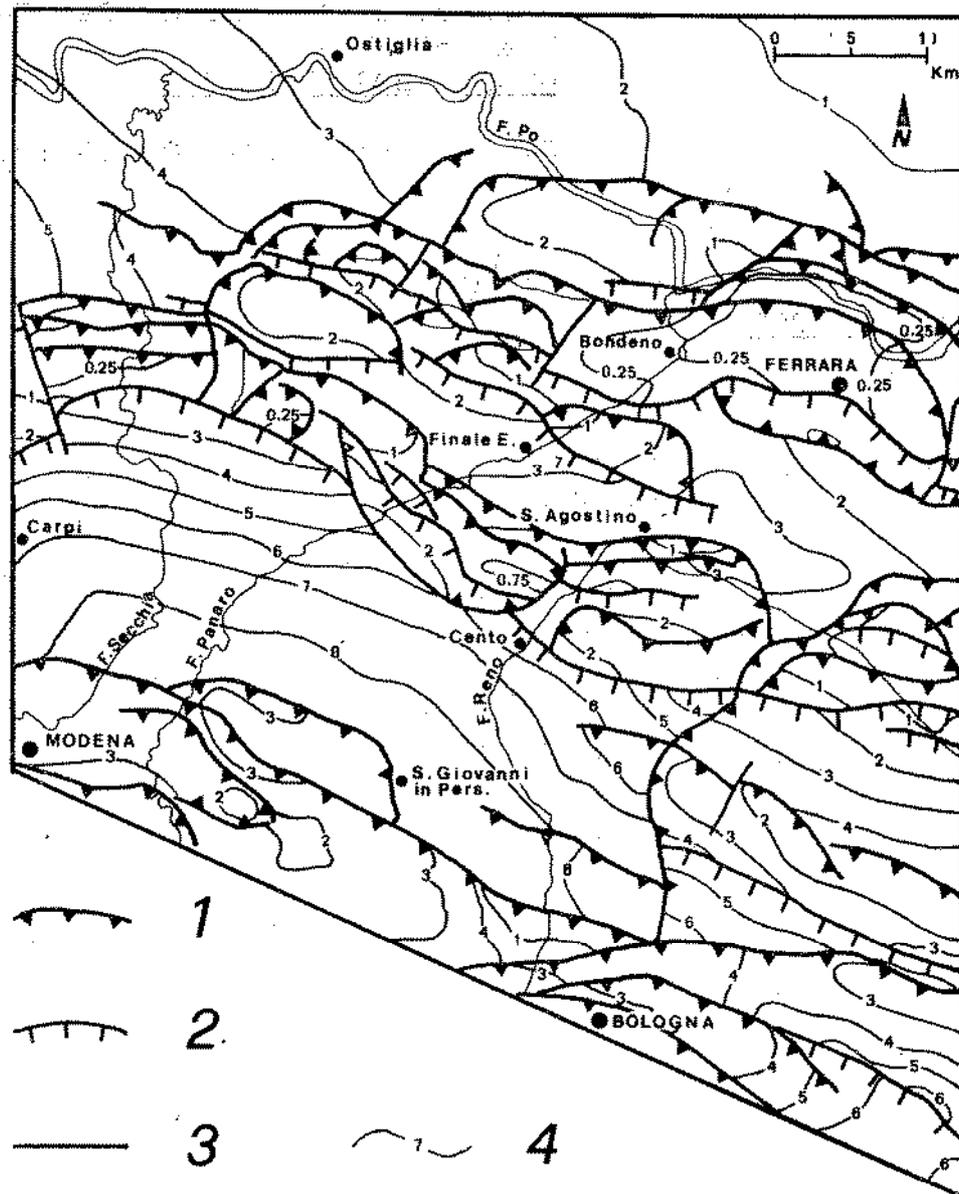


La temperatura media mensile giornaliera è di 13.3 °C, con valori medi massimi di 17.1 °C e minimi di 9.3 °C. Rispetto alle temperature assolute la massima è di 39 °C mentre la minima di -14 °C. I venti prevalenti provengono da Ovest.

3. INQUADRAMENTO TETTONICO E CARATTERISTICHE GEOLITOLOGICHE

L'intero territorio del Comune risulta compreso nel bacino subsidente pliocenico-quadernario della Pianura Padana, costituito da un'ampia depressione a stile compressivo colmata da sedimenti mesozoici, terziari e quadernari. I litotipi che compongono il primo sottosuolo, in relazione alle evoluzioni idrografiche di fiumi e torrenti, hanno un andamento lentiforme, discontinuo, con passaggi laterali e verticali da una componente granulometrica all'altra più o meno gradualmente.

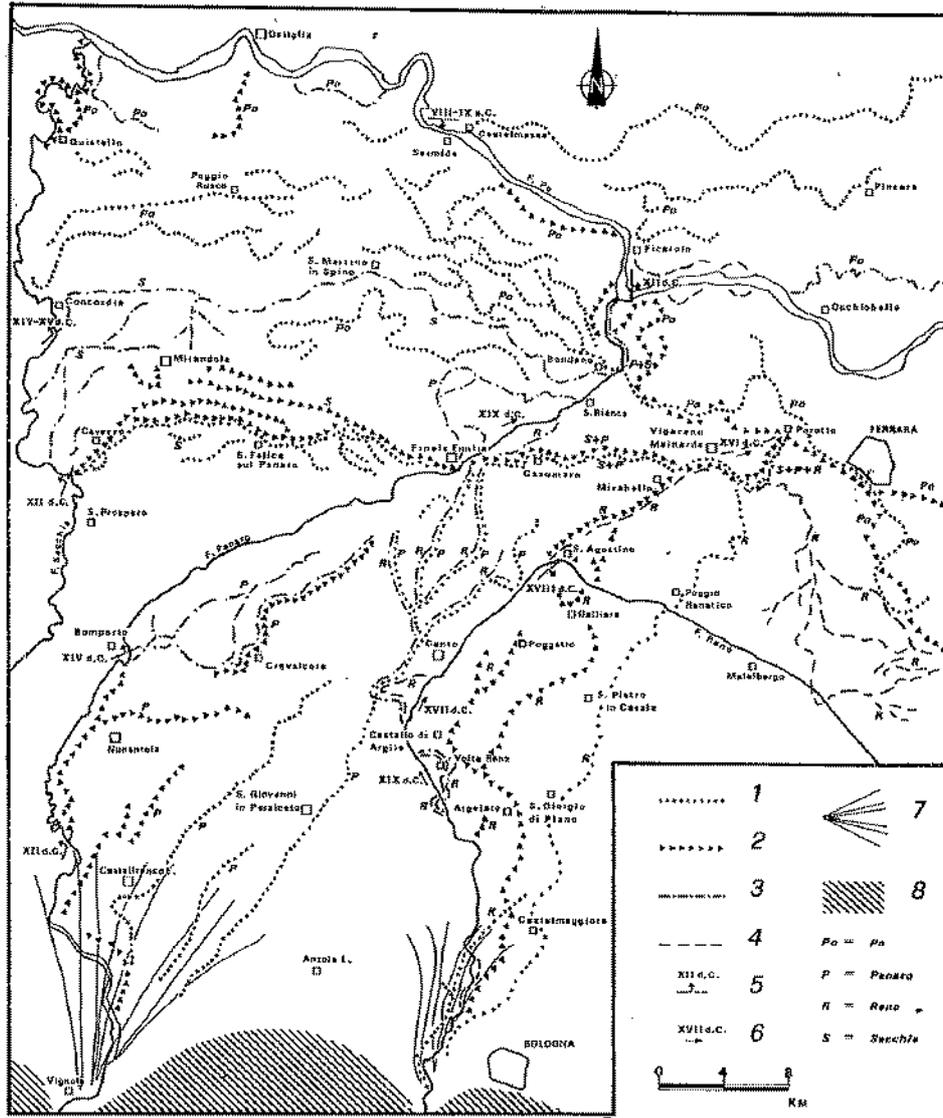
Dal punto di vista stratigrafico quindi il territorio in esame si presenta di una complessità non trascurabile dovuta a migrazioni di fiumi e torrenti, al costipamento differenziato dei sedimenti fluviali, nonché al massiccio intervento antropico volto alla regimazione dei corsi d'acqua, con tutta una serie di deviazioni, canalizzazioni e bonifiche. Consultando la cartografia geologica ufficiale, si può facilmente notare come il territorio di Finale Emilia ricada all'interno dell'area interessata dalle "pieghe ferraresi" che hanno condizionato sia la distribuzione dei depositi più profondi che l'evoluzione idrografica in questo settore della Pianura Padana. Come è noto le pieghe ferraresi sono costituite da una serie di pieghe associate a faglie che nel complesso danno luogo a una struttura positiva fortemente sollevata rispetto alla zona circostante e non rappresentano altro che la prosecuzione delle strutture appenniniche nell'antistante area di pianura. Lo spessore dei depositi marini plio-quadernari è assai vario essendo naturalmente condizionato dalla geometria delle suddette strutture. In particolare, all'interno del territorio a cui appartiene l'area in esame, il loro spessore è nell'ordine di 1000 m. Per quanto concerne i depositi continentali si ritiene che la loro potenza sia di circa 400 m.



Carta strutturale del Plio-Quaternario (ridisegnata semplificata da Ambrosetti et alii, 1985).

Legenda: 1) sovrascorrimenti; 2) faglie normali; 3) faglie con tipo di movimento non definito; 4) isopache, in migliaia di metri, dei depositi plio-quaternari.

In base a dati bibliografici desunti da uno studio effettuato da D. Castaldini e S. Raimondi, dell'Istituto di Geologia dell'Università di Modena, sull'evoluzione recente della Pianura, nel territorio in esame è stata accertata la presenza di paleoalvei del F. Panaro e del F. Reno, rimasti attivi rispettivamente prima dell'VIII sec. A.C. e tra il XII sec. d.C. ed il XV sec. d.C, che hanno certamente condizionato la stratigrafia del primo sottosuolo (Cf. carta dei paleoalvei).



Carta dei paleovalvei, su base bibliografica, dei fiumi Po, Panaro, Reno e Secchia nel settore di Pianura Padana compresa tra Bologna, Vignola ed il Po. **Legenda:** 1) paleovalvei attivi prima dell'VIII sec. a.C. (per il Reno sino ai primi secoli d.C.); 2) paleovalvei attivi tra l'VIII sec. a.C. ed il XII sec. d.C. (per il Reno tra i primi secoli d.C. e l'XI sec. d.C.); 3) paleovalvei attivi tra il XII sec. d.C. ed il XV sec. d.C.; 4) paleovalvei attivi dopo il XV sec. d.C.; 5) principali deviazioni fluviali con indicazione dell'età; 6) principali tagli fluviali con indicazione dell'età; 7) conoidi del Panaro e del Reno; 8) rilievi collinari appenninici.

La carta geologica del Servizio Geologico d'Italia evidenzia altresì che il primo sottosuolo si caratterizza per la presenza di alluvioni oloceniche in cui vi è una preponderanza di argille sabbiose e sabbie argillose.

La Carta Geologica di Pianura dell'Emilia Romagna (cf. stralcio in allegato) attribuisce i terreni qui affioranti a "depositi di argine distale" della piana alluvionale e li descrive come "limi sabbiosi,

sabbie fini e finissime, argille limose e subordinatamente sabbie limoso-argillose intercalate in strati di spessore decimetrico”. Suddetti depositi sfumano, verso nord e verso oriente, in “depositi di canale ed argine prossimale” costituiti da “sabbie medie e fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose con in subordine limi argillosi: localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi”, verso occidente invece in “depositi di area interfluviale e depositi di palude” a loro volta caratterizzati da “argille limose, argille e limi argillosi laminati, localmente concentrazioni di materiali organici parzialmente decomposti”.

La prova penetrometrica, appositamente effettuata per accertare la reale natura del primo sottosuolo, ha accertato, nei primi 15 m dal p.c., una preponderanza di materiali coesivi costituiti da limi ed argille, talora ad elevata componente organica e torbosa, a cui si alternano sottili livelli di limi sabbiosi e sabbie limose. Oltre, concordando altresì con l’indagine sismica a rifrazione tipo MASW e con le stratigrafie di pozzi e penetrometrie spinte a oltre 30 m dal p.c., eseguiti in terreni limitrofi, alla preponderante massa coesiva si alternano anche livelli di sabbie limose e sabbie

In tal senso, in sintonia con le indicazioni della “Carta dei paleoalvei”, occorre sottolineare come anche la Carta Geologica di Pianura dell’Emilia Romagna segnali nel territorio la presenza di numerose tracce di paleoalvei del Fiume Panaro databili all’XI°-XV° secolo.

4. IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA DEL PRIMO SOTTOSUOLO

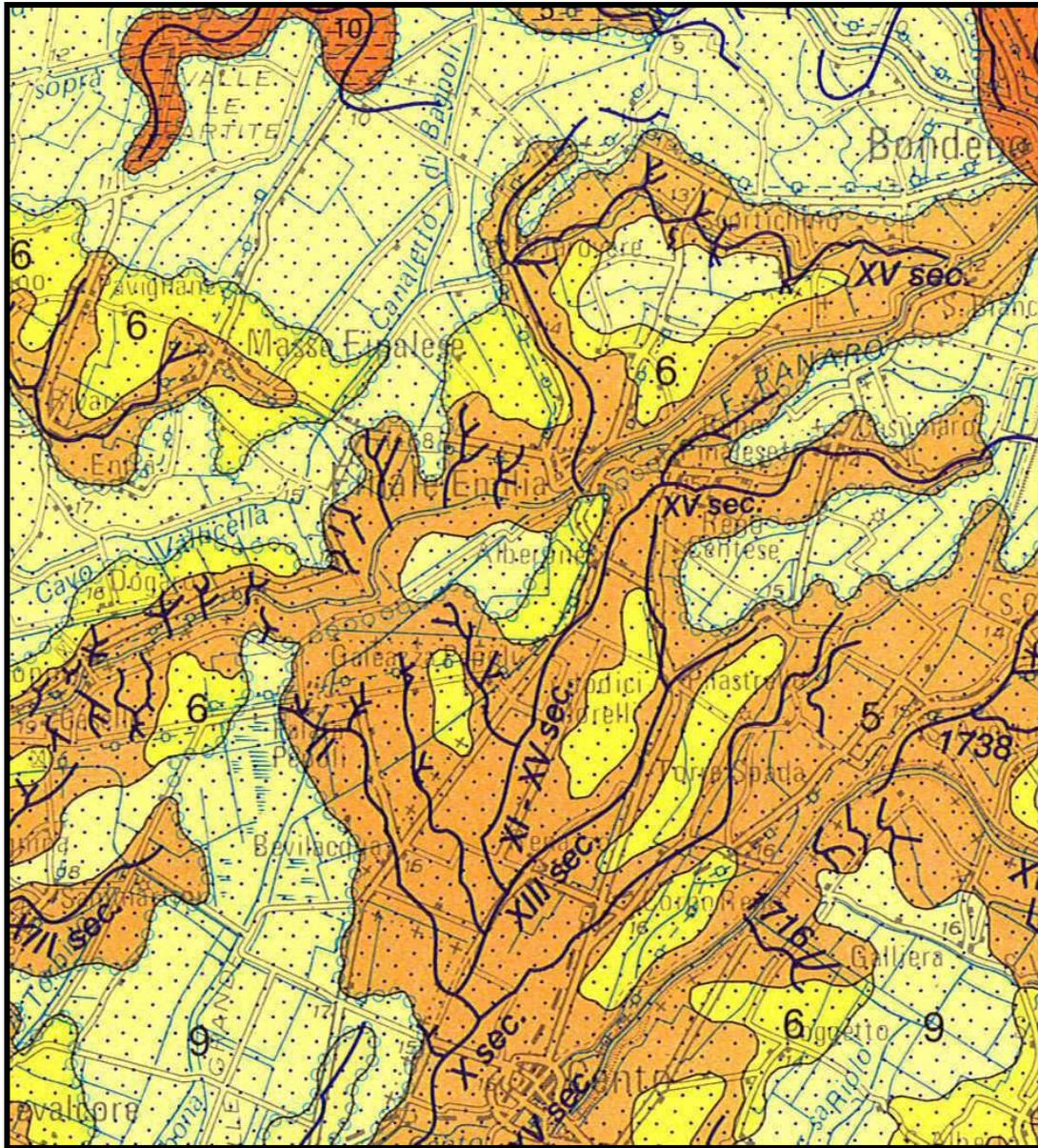
La rete idrografica superficiale appartiene al bacino idrografico del Fiume Panaro ed è costituita prevalentemente dai cavi e canali del Consorzio Interprovinciale per la Bonificazione Burana – Modena.

Il reticolo idrografico, la cui genesi deriva dalla naturale evoluzione dei fiumi Panaro, Secchia e Po e da una serie di successive modificazioni antropiche del sistema scolante, è identificato da un sistema di assi drenanti, formati a loro volta da una fitta rete di fossi e scoli che convogliano i

CARTA GEOLOGICA DI PIANURA DELL'EMILIA-ROMAGNA

GEOLOGICAL MAP OF THE EMILIA-ROMAGNA PLAIN

a cura di Domenico PRETI



DEPOSITI ALLUVIONALI

PIANA ALLUVIONALE

5	Sabbie medie e fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, subordinatamente limi argillosi; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine prossimale. Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.
6	Limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose e subordinatamente sabbie limoso-argillose intercalate in strati di spessore decimetrico. Depositi di argine distale. Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.
9	Argille limose, argille e limi argillosi laminati, localmente concentrazioni di materiali organici parzialmente decomposti. Area interfluviale e depositi di palude.
10	Sabbie medie e grossolane subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose, limi e limi sabbiosi in strati di spessore decimetrico. Depositi di piana a meandri. Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.

deflussi idrici nei collettori principali che solcano il territorio. Nella fattispecie, per il territorio in esame, possono essere citati il Canale Consorziiale Palata Reno, lo Scolo Roncona e lo Scolo Fossetta.

Per quanto concerne i fenomeni di esondabilità nel territorio indagato, occorre segnalare che esso è stato soggetto a frequenti inondazioni del F. Panaro e del F. Po.

Le esondazioni più recenti correlate al Fiume Po sono documentate nel secolo scorso. Si può tuttavia ritenere che le opere di regimazione idraulica superficiale effettuate dal Consorzio Interprovinciale della Bonifica Burana – Modena, iniziate nel 1899, abbiano conferito un'efficienza idraulica al territorio che rende improbabile il ripetersi di allagamenti da parte del Fiume Po. L'esondazione più recente riferibile al Fiume Panaro, avvenuta il 19-20 Novembre 1952, ha una probabilità molto limitata di ripetersi, grazie alla realizzazione delle casse di espansione in località San Damaso di Modena, nonché l'area di laminazione delle piene del Fiume Panaro in prossimità di Cà Bianca di Finale Emilia. Tuttavia il territorio comunale è stato interessato da allagamenti circoscritti a piccole aree in occasione dell'evento del maggio 1996, imputabili a difficoltà di smaltimento, per eccessivo carico, dei corsi d'acqua di bonifica.

Da un punto di vista idrogeologico la zona appartiene al Sistema Acquifero Padano delimitato a sud dagli affioramenti appenninici ed a nord da quelli alpini e terminante a circa 50 km al largo della Costa Adriatica. Il serbatoio idrogeologico è formato prevalentemente da depositi del Quaternario Continentale assemblati in un'alternanza di livelli più o meno permeabili con rapporti stratigrafici sensibilmente complessi.

L'acquifero principale, inteso come quello solitamente sfruttato, si presenta quindi generalmente compartimentato, con una potenzialità idrica complessivamente molto scarsa, con valori di trasmissività molto bassi; in superficie (entro i primi 10 m) è frequente riscontrare livelli acquiferi sospesi, di tipo freatico, completamente separati dall'acquifero principale e dotati di acque scadenti.

La porzione di territorio qui esaminata è essenzialmente caratterizzata da sedimenti fini depositi dai fiumi appenninici e dal Po. La base dell'acquifero è formata da orizzonti poco permeabili o

impermeabili e/o dalle formazioni del substrato Pliocenico e pre Pliocenico saturati da acque salmastre e salate, che in prossimità della Dorsale Ferrarese tendono a risalire anche a -40/-100 m dal p.c.

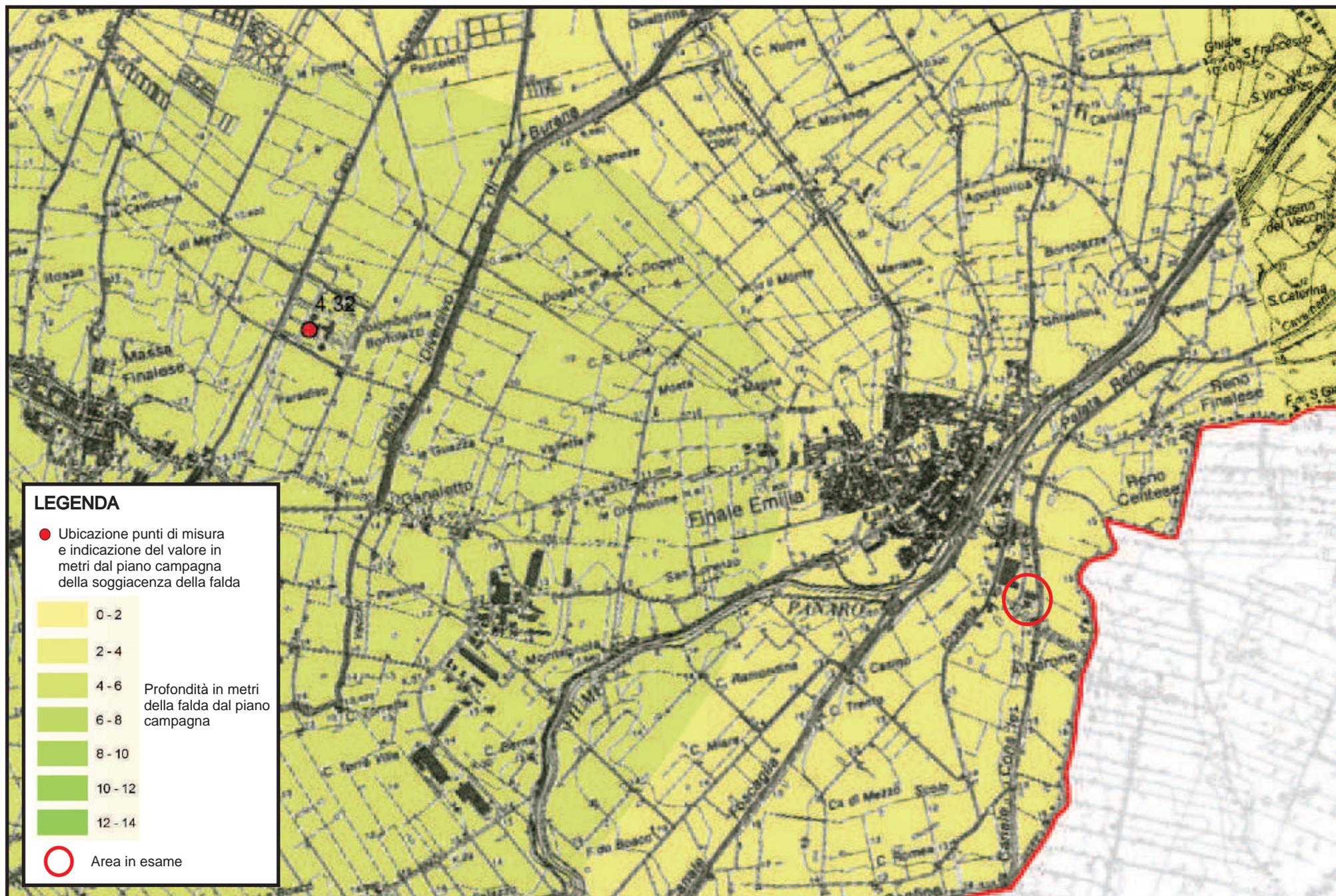
Scendendo più nel dettaglio dell'area in esame, dato l'assetto lenticolare dell'orizzonte sabbioso di transizione, non si ha, a scala territoriale, una separazione tra l'acquifero freatico e la prima falda idrica confinata. Nella fattispecie, al termine della penetrometria, nel foro di sonda, il livello statico della falda si è posizionato a 1 m dal piano cortilivo. Del resto, sulla Carta della Soggiacenza della Falda allegata al P.I.A.E. della Provincia di Modena, esso risulta essere compreso fra 0 m ed i 2 m da p.c. (cf. stralcio in allegato)

Nel suo insieme, l'acquifero è alimentato da un complesso permeabile continuo costituito da litotipi marcatamente sabbiosi a granulometria variabile da medio fine a medio grossolana, di spessore oscillante da 30 m a 40 m; segue il substrato argilloso, quale sua base impermeabile.

Gli apporti al sistema acquifero sono in gran parte dovuti al Fiume Po, con il quale sono in diretta comunicazione, ad apporti di subalveo e paleoalveo nonché ad alvei e canali con acque appenniniche. Trascurabili sono invece le infiltrazioni superficiali, che raggiungono un'efficacia del 25% solamente in corrispondenza dei dossi sabbiosi.

CARTA DELLA SOGGIACENZA DELLA FALDA

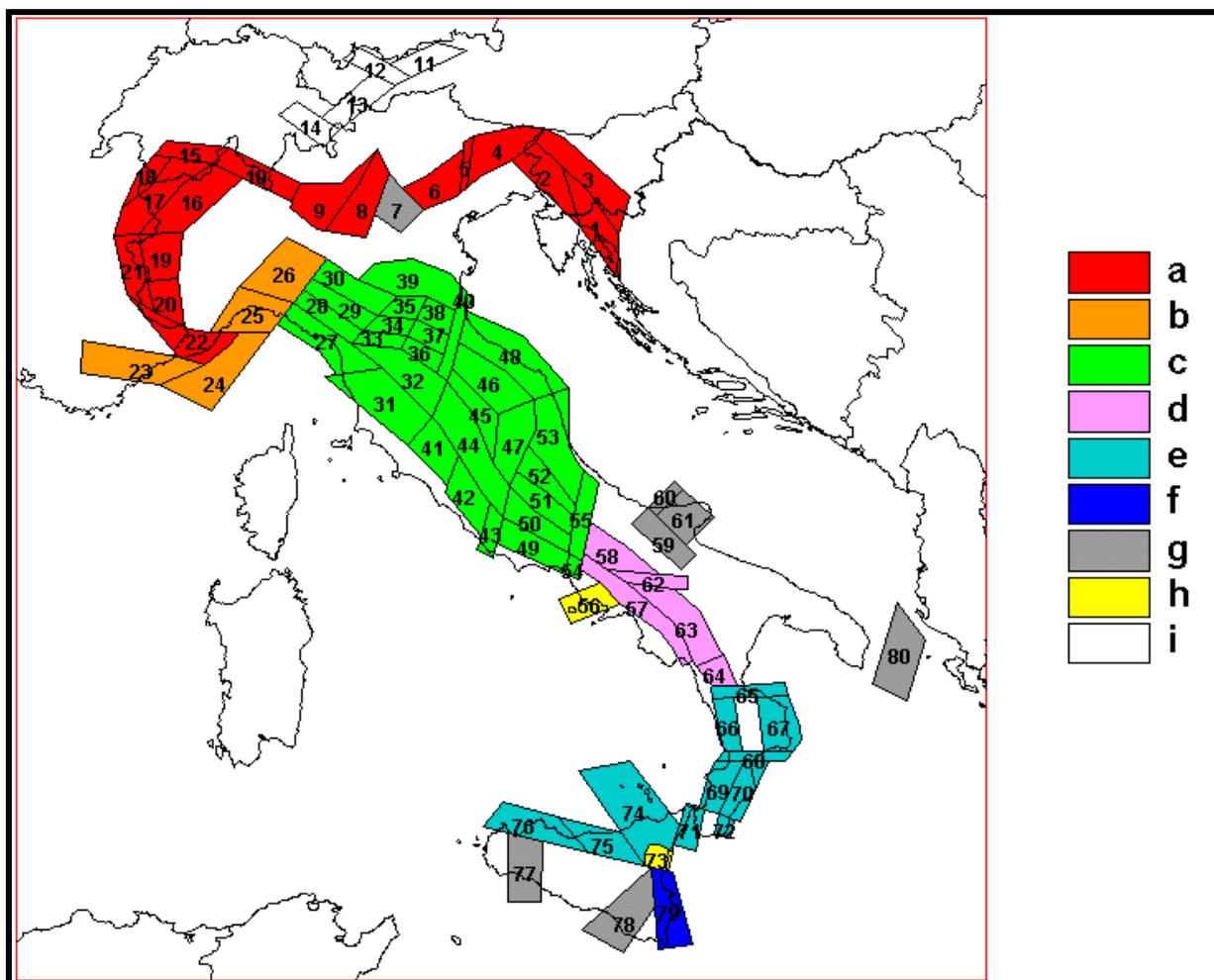
Tratta dallo studio della Variante Generale al P.I.A.E. Della Provincia di Modena - Anno 2008



5. SISMICITÀ DELL'AREA

Per caratterizzare la sismicità dell'area si è fatto riferimento, oltre che alla normativa vigente, ai dati disponibili in letteratura ed in particolare ai lavori svolti dal GNDT del CNR (Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti).

Si è presa in considerazione la zonazione sismogenetica del territorio italiano ZS4 (progetto di P. Scandone e M. Stucchi – marzo 1999 – cf. tav. seg.) che considera 80 sorgenti omogenee dal punto di vista strutturale e sismogenetico. Secondo questa suddivisione l'area oggetto di studio ricade nell'area 39, appartenente alla fascia padano-adriatica in compressione legata allo sprofondamento passivo della litosfera adriatica sotto il sistema di catena nell'Arco Appenninico Settentrionale secondo cui i meccanismi di rottura attesi sono di tipo thrust e strike-slip con assi di subduzione da SW a NE.



Attraverso elaborazioni probabilistiche il GNDT ha prodotto, per un tempo di ritorno di 475 anni (equivalente alla probabilità di superamento nell'arco temporale di 50 anni – vita media di un edificio), la zonazione del territorio italiano, come riportato in figura. Per la zona le accelerazioni orizzontali di picco attese sono state considerate, in accordo con quanto proposto dal GNDT, pari a $PGA = 0.15g$ (Peak Ground Acceleration).

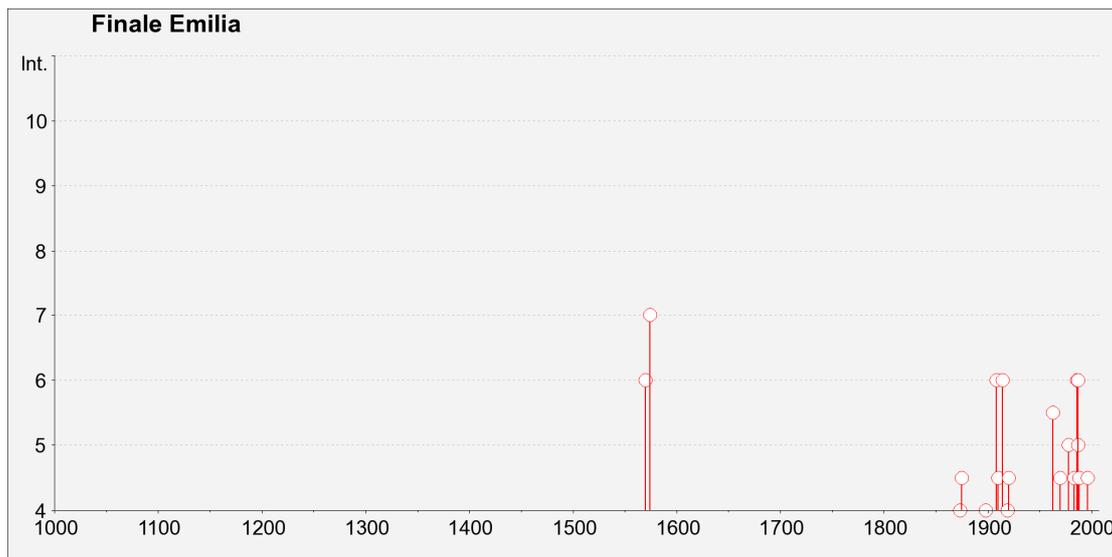
Sino a maggio 2012, l'intensità massima risentita nella zona, come risulta dai dati del catalogo del Servizio Sismico Nazionale, non ha superato in Finale Emilia, in epoca storica, il valore del VII/VIII grado MCS. (cf. tabelle qui di seguito allegate).

STORIA SISMICA DI FINALE EMILIA
[44.833, 11.294]
Numero di eventi: 34

Effetti			
I[MCS]	Data	Ax	Io Mw
F	1505 01 03 02:00	Bolognese	8 5.57 ±0.25
6	1570 11 17 19:10	Ferrara	7-8 5.46 ±0.25
7	1574 03 17 03:40	FINALE EMILIA	6 4.72 ±0.34
3	1873 03 12 20:04	Marche meridionali	8 5.95 ±0.10
4	1873 06 29 03:58	Bellunese	9-10 6.32 ±0.11
4-5	1875 03 17 23:51	Romagna sud-orientale	5.93 ±0.16
3	1879 04 27 04:06	Valle del Senio	7 5.05 ±0.50
F	1881 01 24 16:14	Bolognese	7 5.16 ±0.30
F	1881 02 14 09:0	Bolognese	
3	1887 02 23 05:2	Liguria occidentale	6.97 ±0.15
4	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	7-8 5.41 ±0.09
NF	1904 11 17 05:02	Pistoiese	7 5.15 ±0.14
6	1908 06 28 03:1	Finale Emilia	5 4.27 ±0.53

Effetti			
I[MCS]	Data	Ax	Io Mw
4-5	1910 03 22 23:29	Bassa modenese	5 4.30 ±0.34
6	1914 10 27 09:2	Garfagnana	7 5.76 ±0.09
2	1916 08 16 07:06	Alto Adriatico	6.14 ±0.14
4	1919 06 29 15:0	Mugello	10 6.29 ±0.09
4-5	1920 09 07 05:5	Garfagnana	10 6.48 ±0.09
3	1922 05 24 21:1	Ferrarese	4 4.34 ±0.25
3	1926 01 01 18:0	Slovenia	7-8 5.85 ±0.18
NF	1950 09 05 04:08	GRAN SASSO	8 5.68 ±0.07
NF	1957 08 27 11:5	ZOCCA	5 4.65 ±0.21
5-6	1963 04 05 13:4	Finale Emilia	4-5 4.09 ±0.34
NF	1965 11 09 15:3	ALTA V. SECCHIA	5 4.74 ±0.25
4-5	1970 11 02 08:4	Bassa modenese	4-5 4.09 ±0.34
5	1978 12 25 22:5	Bassa mantovana	5 4.22 ±0.22
4-5	1983 11 09 16:2	Parmense	6-7 5.06 ±0.09
6	1986 12 06 17:0	BONDENO	6 4.61 ±0.10
5	1987 05 02 20:4	Reggiano	6 4.74 ±0.09
6	1987 05 08 11:1	Bassa modenese	6 4.57 ±0.23
4-5	1988 03 15 12:0	Reggiano	6 4.66 ±0.12
4-5	1996 10 15 09:5	Correggio	7 5.41 ±0.09
3-4	2000 06 18 07:4	Parmense	5-6 4.43 ±0.09
NF	2002 11 13 10:4	Franciacorta	5-6 4.29 ±0.09

Intendendo: Is = Intensità al sito (MCS); Io = Intensità epicentrale (MCS); Mw = Magnitudo



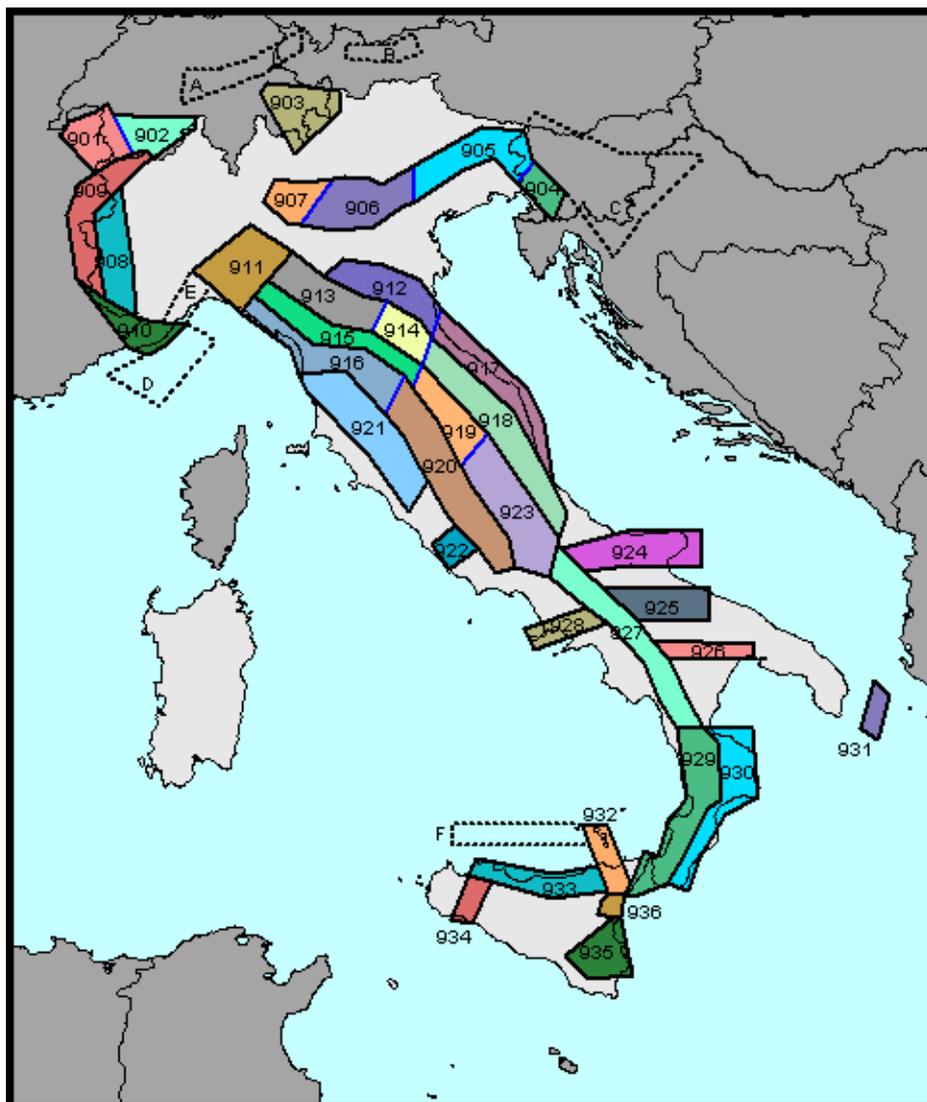
eventi nel rapporto tra anni (in ascisse) ed intensità sismica (in ordinate)

L'Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003 ha aggiornato la normativa sismica, con l'attribuzione, alle diverse località del territorio nazionale, di un valore di scuotimento sismico di riferimento, espresso in termini di incremento di accelerazione al suolo.

Il territorio del comune di Finale Emilia, secondo la nuova zonazione sismogenetica ZS9 (progetto a cura di C. Meletti e G. Valensise del marzo 2004) è incluso nella zona 913, al passaggio, verso settentrione, con la zona 912 (cf. tavola nella pagina seguente). In base a questa nuova zonazione, il territorio in esame (secondo la precedente classificazione *non classificato*), è stato inserito in zona Z3 a bassa sismicità.

Come espressamente specificato al punto 2.4 della circolare n° 1677/2005 (prot. GEO/05/87449) emanata in data 24/10/2005 dalla Giunta della Regione Emilia Romagna, ai fini della determinazione delle azioni sismiche, può essere assegnato, a zone come questa di bassa sismicità, un valore (a_g/g), di ancoraggio dello spettro di risposta elastico, pari a 0.15.

Più precisamente, al comune di Finale Emilia, l'allegato 4 dell'Assemblea Legislativa n° 2131 – prot. n° 8511 del 2 maggio 2007, assegna il valore di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo, cioè $T = 0$, espressa in frazione dell'accelerazione di gravità g (a_{refg}), di 0.149.



Zonazione sismogenetica ZS9

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, le modifiche ed integrazioni dell'Ordinanza propongono una caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo. In base alla velocità delle onde di taglio, mediate sui primi 30 metri di terreno (V_{s30}), vengono individuate cinque categorie (A – B – C – D – E), più altre due speciali (S1 e S2).

In ottemperanza con quanto prescritto dalla normativa è stato effettuato un sondaggio sismico. La prospezione geofisica è stata eseguita utilizzando un sismografo a 24 canali prodotto dalla Ditta PASI di Torino attrezzato con 24 geofoni orizzontali di ricezione, dotati di preamplificatori di segnale, disposti ad interasse di 2 m l'uno dall'altro.

L'indagine, effettuata mediante sismica a rifrazione applicando il metodo MASW – Multichannel Analysis of Surface Waves, ha consentito di analizzare, nei primi 30 m, la velocità delle onde di taglio (S). Le onde S, analogamente a quelle di compressione (P), non sono dispersive e si propagano anche in mezzi perfettamente omogenei inducendo deformazioni puramente distorsionali. Gli elementi di volume investiti dall'onda vibrano in direzione perpendicolare rispetto alla direzione di propagazione.

Nella fattispecie, il sondaggio ha accertato la presenza di cinque strati e ad ognuno di essi, mediante l'ausilio dell'apposito programma di calcolo winMASW 4.1.1 Pro, è stata attribuita la velocità delle onde di taglio S (V_S) ed il rispettivo spessore (d) (cf. tabelle e diagrammi proposti in allegato).

Per gli strati sono stati rispettivamente ottenuti i seguenti valori:

1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
$V_S = 150 \text{ m/sec}$	$V_S = 151 \text{ m/sec}$	$V_S = 186 \text{ m/sec}$
$d = 0.9 \text{ m}$	$d = 7.9 \text{ m}$	$d = 6.3 \text{ m}$

4° STRATO	5° STRATO
$V_S = 351 \text{ m/sec}$	$V_S = 206 \text{ m/sec}$
$d = 6.0 \text{ m}$	$d = 8.9 \text{ m}$

La valutazione del valore V_{S30} viene quindi ottenuta mediante l'utilizzo della seguente relazione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{v_i}}$$

dove:

h_i = spessore dello strato i -esimo, m

v_i = velocità onde di taglio strato i -esimo, m/sec

ottenendo:

$$V_{S30} = 197 \text{ m/sec}$$

In ottemperanza con quanto prescritto dalla normativa, viste le caratteristiche del primo sottosuolo, il suolo di fondazione può essere pertanto assimilato alla categoria C di azione sismica “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*” con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

6. PERIODO DI RITORNO E PERICOLOSITÀ DELL'AZIONE SISMICA

La Delibera Regionale 112/2007, emessa dalla Assemblea Legislativa della Regione Emilia Romagna in data 2 Maggio 2007, fornisce i criteri per l'individuazione delle aree che potrebbero essere soggette ad effetti sismici locali (microzonazione sismica) in modo da orientare le scelte di pianificazione verso le aree a minor rischio. La metodologia indicata per tali tipi di studio prevede due fasi di analisi, con diversi livelli di approfondimento.

La prima fase ha carattere qualitativo ed è diretta ad identificare le parti di territorio suscettibili di effetti locali (amplificazione del segnale sismico, cedimenti, instabilità dei versanti, fenomeni di liquefazione, rotture del terreno, ecc.).

Essa viene realizzata sulla base di rilievi, osservazioni e valutazioni di tipo geologico e geomorfologico, svolte a scala territoriale, associati a raccolte di informazioni sugli effetti indotti dai terremoti passati.

La seconda fase ha invece come obiettivo la microzonazione sismica del territorio. Sulla base degli scenari individuati dalle analisi svolte nel corso della prima fase, nella seconda fase si attuano due diversi livelli di approfondimento:

a) analisi semplificata (secondo livello di approfondimento); basata, oltre che sull'acquisizione di dati geologici e geomorfologico più dettagliati di quelli rilevati nel primo livello, su prove geofisiche in sito e su prove geotecniche di tipo standard; essa viene svolta nelle aree pianeggianti e sub-pianeggianti, incluse le zone di fondovalle appenniniche, con stratificazione orizzontale e sub-orizzontale, e sui versanti stabili con acclività minore o uguale a 15° in cui il deposito ha spessore costante;

b) analisi approfondita (terzo livello di approfondimento), richiesta nei seguenti casi:

- Aree soggette a liquefazione e densificazione;
- Aree instabili e potenzialmente instabili;

- Aree in cui le coperture hanno spessore fortemente variabile, come ad esempio nelle aree pedemontane e di fondovalle a ridosso dei versanti;
- Aree in cui è prevista la realizzazione di opere di rilevante interesse pubblico.

Secondo quanto riportato nelle “Mappe delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica dei 17 Comuni con $IMCS \geq 6$ ”, in cui sono individuate le aree suscettibili di amplificazione e quelle in cui si ritiene necessario verificare la presenza di condizioni predisponenti la liquefazione, l’area in esame ricade tra quelle che necessitano della stima del fattore di amplificazione tramite procedure semplificate (analisi di II livello).

L’analisi semplificata di secondo livello prevede la valutazione dei fattori di amplificazione F_a sulla base delle velocità medie delle onde di taglio all’interno della copertura (V_{sH}) o nei primi 30 metri dalla superficie (V_{s30}), calcolate secondo le seguenti formule:

$$V_{sH} = \frac{H}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}} \quad V_{s30} = \frac{30}{\sum \frac{h_i}{V_{s_i}}}$$

La Delibera Regionale 112/2007, per un’analisi semplificata di secondo livello, propone l’utilizzo di una serie di tabelle di carattere empirico che mettono in relazione i valori di V_{sH} o di V_{s30} con i fattori di amplificazione.

Le varie Tabelle rispecchiano situazioni geologiche tipiche del territorio regionale, tra le quali occorre scegliere quella che meglio corrisponde alle caratteristiche dell’area di studio.

I fattori stimati esprimono l’amplificazione del moto sismico al passaggio dal bedrock alla superficie. Essi possono essere espressi sia come rapporto di PGA che come rapporto tra le intensità spettrali calcolate sugli spettri di pseudo-velocità all’interno di due intervalli distinti:

0.1-0.5 sec

0.5-1.0 sec

La tabella di riferimento per la valutazione dei fattori di amplificazione Fa è riportata nella sottostante tabella:

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

La tabella è relativa ad una stratigrafia costituita da alternanze di sabbie e peliti, con spessori anche deca metrici, talora con intercalazioni di orizzonti di ghiaie (di spessore anche decine di metri), con substrato profondo (≥ 100 metri da p.c.) che corrisponde, con le naturali approssimazioni insite in ogni tipo di suddivisione o classificazione, alle conoscenze geologiche disponibili nell'area di studio basate su pregresse indagini geognostiche e geofisiche nonché all'estrapolazione dei dati dell'indagine MASW.

In base al valore di V_{s30} di 197 m/s, ottenuto estrapolando i dati dall'indagine sismica MASW, si ritiene opportuno adottare i seguenti fattori di amplificazione:

$$\text{PGA F.A.} = 1.5$$

$$\text{SI (0.1 - 0.5 sec) F.A.} = 1.8$$

$$\text{SI (0.5 - 1.0 sec) F.A.} = 2.5$$

7. RISPOSTA SISMICA LOCALE

Il Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 recante le “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”, che recepisce quanto già riportato nell’Ordinanza 3274 del 20/03/2003 e successive modifiche, definisce i criteri antisismici generali, precisando le azioni che devono essere impiegate in fase progettuale per la sicurezza strutturale delle opere.

L’azione sismica sulle costruzioni è valutata partendo da una “pericolosità sismica di base”, derivata da studi eseguiti a livello nazionale e definita sulla base di condizioni ideali in superficie di suolo rigido e topografia orizzontale.

Le Azioni di progetto, per un suolo rigido orizzontale, vengono ricavate in funzione di tre parametri:

a_g = accelerazione orizzontale massima

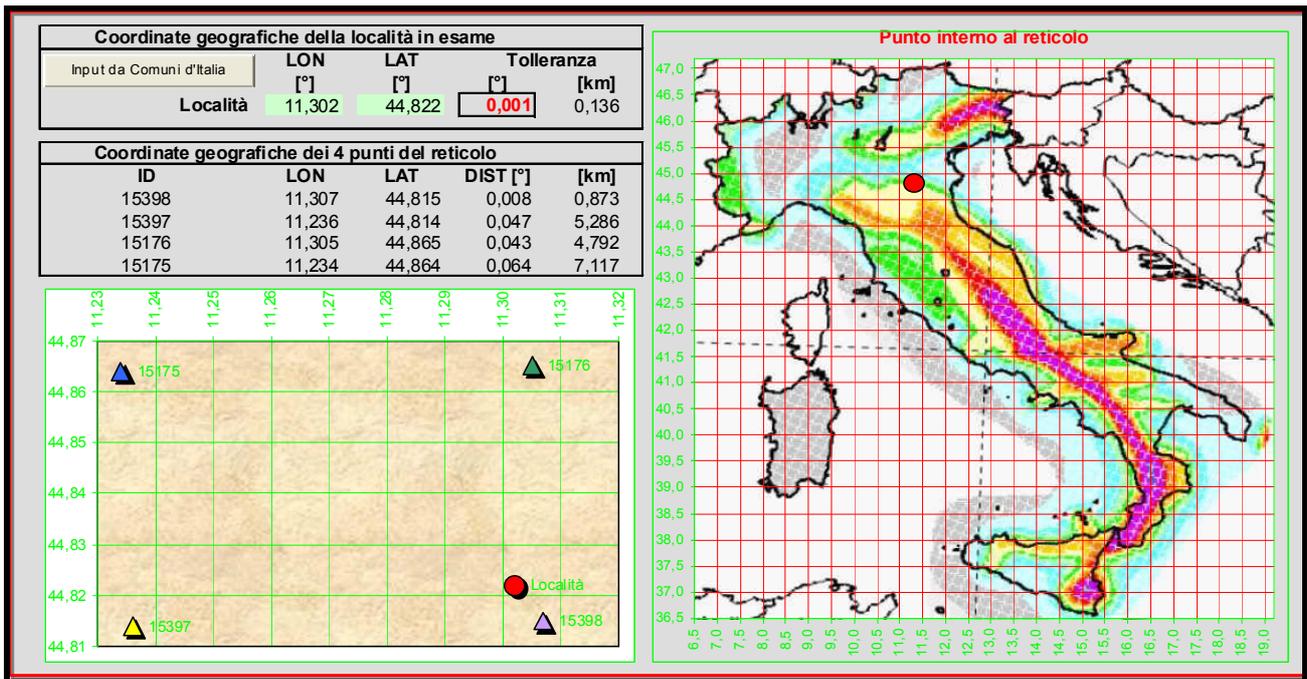
F_0 = fattore di amplificazione massimo dello spettro in accelerazione orizzontale

T_c^* = periodo inizio tratto costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Tali parametri vengono inoltre definiti secondo termini probabilistici differenti, con periodi di ritorno T_R di 30, 50, 475, 975 anni; per tale motivo, ai fini progettuali, occorre fissare la vita di riferimento V_R della costruzione e la probabilità di superamento associata a ciascuno degli stati limite considerati.

I valori dei parametri a_g , F_0 e T_c^* per la definizione dell’Azione Sismica possono essere calcolati mediante l’utilizzo del programma di calcolo “Calcolo Spettro Sismico”, ideato dagli Ingegneri Red Shift & Afazio, in cui vengono generati accelerogrammi correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito.

I primi dati ad essere stati introdotti nel programma sono le coordinate geografiche (latitudine e longitudine) del sito di riferimento (vedi figura in allegato).



Come si può visualizzare nella tabella sottostante, per ottenere gli spettri di risposta sismica locale, sono stati inoltre introdotti i valori della vita della struttura e le caratteristiche sismiche del terreno.

VITA DELLA STRUTTURA	
Vita nominale	V_N <input type="text" value="50"/> [anni]
Classe d'uso	C_U <input type="text" value="II"/>
Vita di riferimento	V_R 50 [anni]

CARATTERISTICHE SISMICHE TERRENO	
Topografia	<input type="text" value="T1"/>
Coeff. topografico	S_T 1,0
Categoria suolo	<input type="text" value="C"/>

	SL	P_{VR}	T_R	a_g	F_o	T_C^*	S	T_b	T_C	T_D	F_v
sle	Operatività	81%	30	0,392	2,56	0,25	1,50	0,14	0,41	1,76	0,68
sle	Danno	63%	50	0,517	2,47	0,27	1,50	0,15	0,44	1,81	0,76
slu	Salv. Vita	10%	475	1,507	2,59	0,27	1,47	0,15	0,44	2,20	1,36
slu	Collasso	5%	975	2,027	2,54	0,28	1,39	0,15	0,45	2,41	1,54

I valori dei principali parametri sismici (a_g , F_0 , T_c^*) riferiti all'area in oggetto al TR = 475 anni dello Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita esplicitati sono:

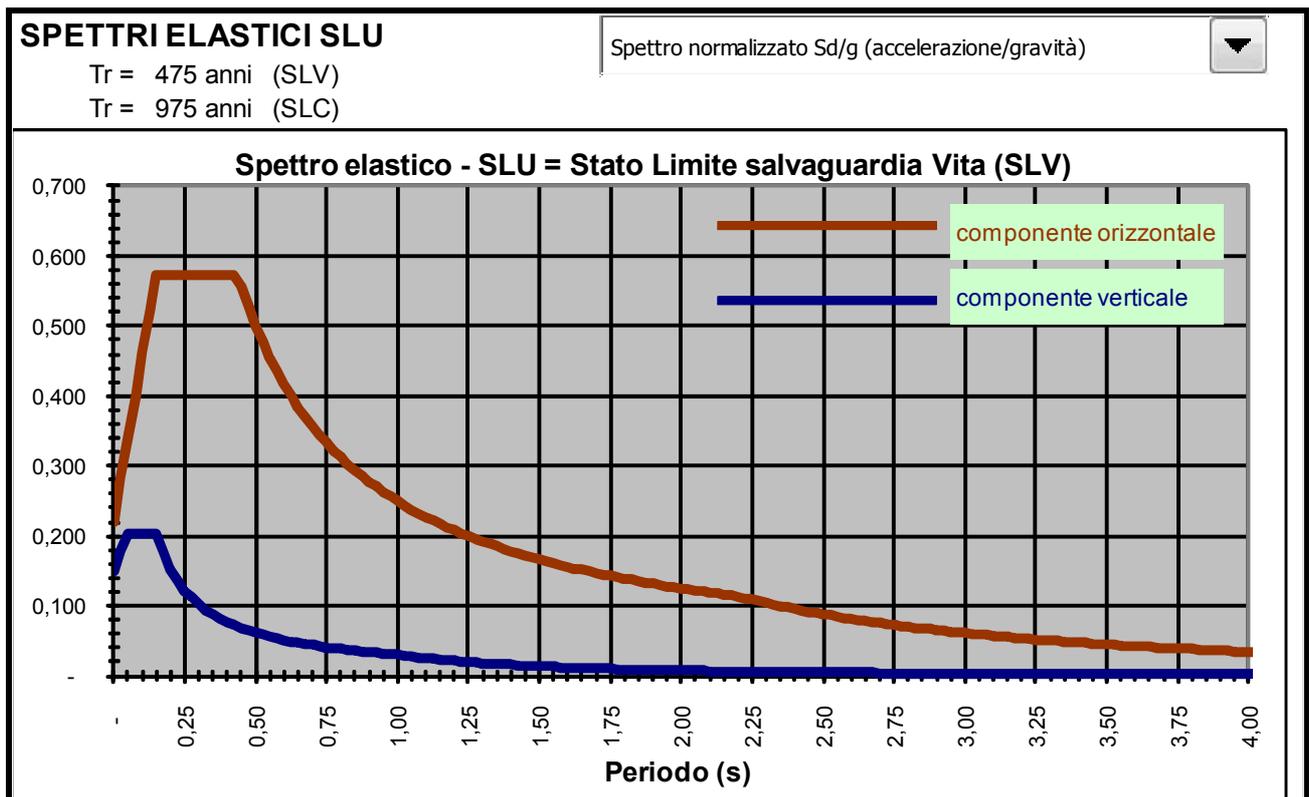
$$a_g = a_g/g = 1.507 / 9.81 = 0.153$$

$$F_0 = 2.59$$

$$T_c^* = 0.27$$

Elaborando i dati forniti, il programma di calcolo ha prodotto gli spettri di risposta elastica necessari per definire gli stati limite ultimo.

Nella fattispecie è stato ottenuto il grafico degli spettri elastici SLU:



In assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale è possibile valutare l'accelerazione massima attesa al sito mediante la relazione:

$$a_{\max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g$$

in cui:

S_s = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione stratigrafica;

S_t = coefficiente che tiene conto dell'effetto dell'amplificazione topografica;

a_g = accelerazione orizzontale massima sul suolo di categoria A.

Tabella 3.2.V – Espressioni di S_s

Categoria sottosuolo	S_s
A	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$

Nel caso in esame potrà essere assunto:

VN 50 anni - Classe d'Uso II

Stato limite SLV e TR = 475 anni (Paragrafo 7.1 D.M. 14.01.2008):

$S_s = 1.47$ - Categoria sottosuolo C

$S_t = 1.0$ - Categoria topografica T1

$a_g = 0.153 \cdot g$

Sulla base dei dati sopra riportati risulta pertanto che:

$$a_{\max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g = 1.47 \cdot 1.0 \cdot 0.153 = 0.225 \cdot g.$$

8. VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Con il termine liquefazione si intende generalmente la perdita di resistenza dei terreni saturi, sotto sollecitazioni di taglio cicliche o monotoniche, in conseguenza delle quali il terreno raggiunge una condizione di fluidità pari a quella di un liquido viscoso.

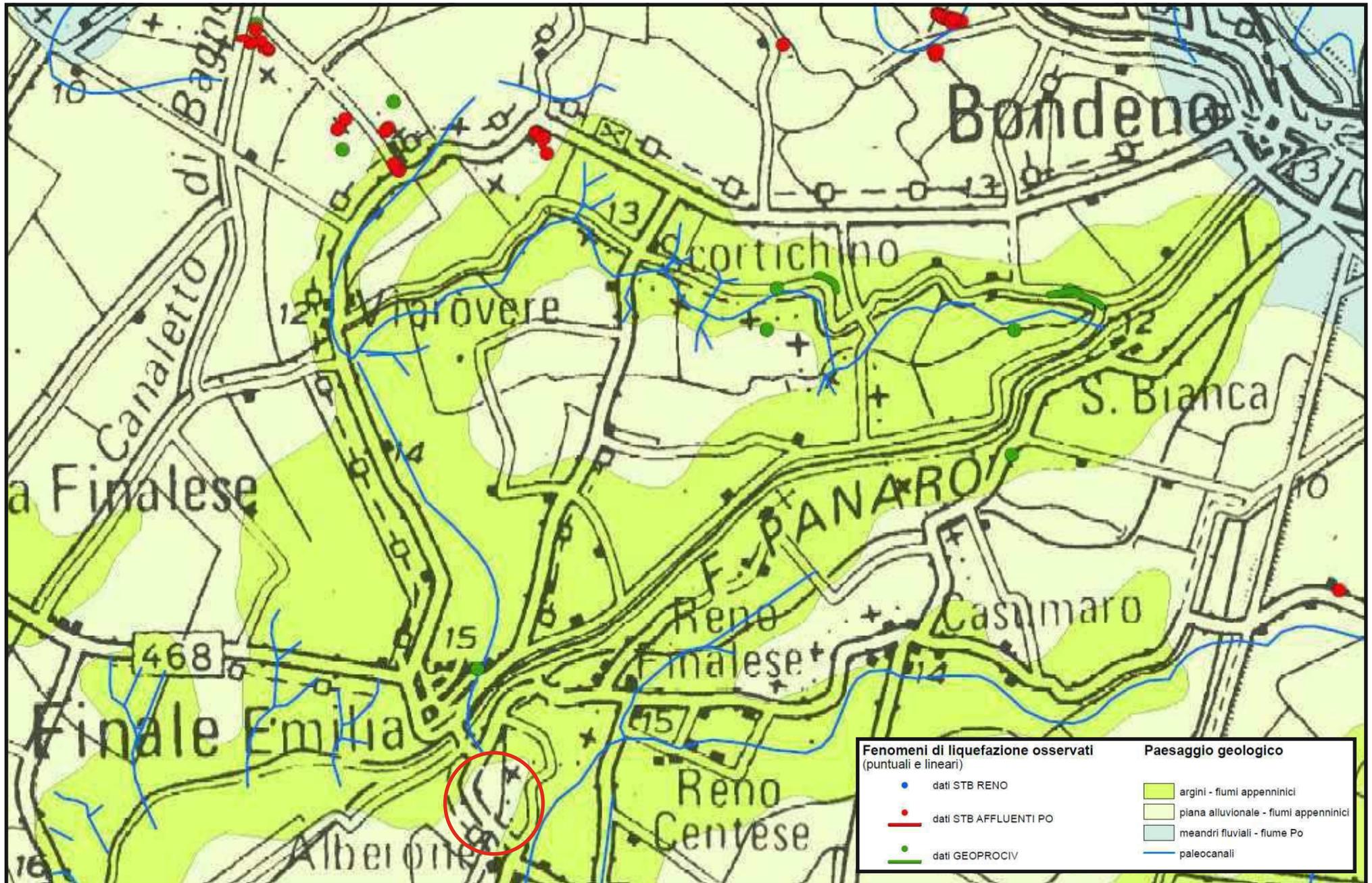
Ciò avviene quando la pressione dell'acqua nei pori aumenta progressivamente fino ad eguagliare la pressione totale di confinamento e quindi allorché gli sforzi efficaci, da cui dipende la resistenza al taglio, si riducono a zero.

Questi fenomeni si verificano soprattutto nelle sabbie fini e nei limi saturi di densità da media a bassa e a granulometria piuttosto uniforme, anche se contenenti una frazione fine limoso-argillosa.

In conformità con quanto richiesto dall'allegato A3 del DAL 112/2007 e dai punti 7.11.3.4.2. e C7.11.3.4.2. delle NTC 2008, per la presenza di Magnitudo superiori a 5, tenendo altresì ben presente che nei terreni limitrofi all'area in esame, in concomitanza degli eventi sismici del maggio 2012, sono stati segnalati fenomeni di liquefazione, si è quindi proceduto alla verifica della liquefazione del terreno.

La verifica (cf. tabelle, diagrammi e profili proposti in allegato) è stata effettuata applicando la metodologia di Robertson e Wride (1997), che opera appunto utilizzando i risultati della prova penetrometrica statica.

Pur avendo l'indagine penetrometrica accertato, nei primi metri dal piano campagna, la presenza di livelli di limi sabbiosi, sabbie limose e sabbie che si alternano alle argille, è stato tuttavia appurato, con l'ausilio del programma LAN prodotto dalla Ditta Aztec Informatica, *che il primo sottosuolo presenta un basso rischio di liquefazione.*



9. METODOLOGIA D'INDAGINE

Le caratteristiche del terreno sono state determinate interpretando i dati ricavati da un'indagine penetrometrica. La penetrometria è stata effettuata avvalendosi di un penetrometro statico tipo Gouda da 10 tonnellate.

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 ($v = 2 \text{ cm/s} \pm 0.5 \text{ cm/s}$).

La penetrazione avviene attraverso un dispositivo di spinta (martinetto idraulico) opportunamente ancorato al suolo (ovvero zavorrato), che agisce su una batteria doppia di aste (aste esterne cave e aste interne piene coassiali), alla cui estremità inferiore è collegata la punta. Lo sforzo necessario per l'infissione viene determinato a mezzo di un opportuno sistema di misura, collegato al martinetto idraulico.

La punta conica (di 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 di base del cono $\phi = 35.7 \text{ mm}$
- area della punta conica $A_p = 10 \text{ cm}^2$
- angolo apertura del cono $\alpha = 60^\circ$
- superficie laterale del manicotto $m = 150 \text{ cm}^2$

Sulla batteria di aste esterne può essere installato un anello allargatore per diminuire l'attrito sulle aste, facilitandone l'approfondimento.

Nei diagrammi e tabelle allegate sono riportati i seguenti valori di resistenza (rilevati dalle letture di campagna, durante l'infissione dello strumento):

- $R_p \text{ (Kg/cm}^2\text{)} =$ resistenza alla punta (conica)
- $R_L \text{ (Kg/cm}^2\text{)} =$ resistenza laterale (manicotto)

(la resistenza alla punta R_p e la resistenza laterale R_L sono rilevate a intervalli regolari di 20 cm).

Oltre all'elaborazione dei valori di resistenza del sottosuolo, vengono fornite utili informazioni per il riconoscimento di massima dei terreni attraversati, in base al rapporto R_p/R_L fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale del penetrometro (Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977), ovvero in base ai valori di R_p e del rapporto $FR = (R_L/R_p) \%$ (esperienze di Schmertmann - 1978).

Sempre con riferimento alla prova penetrometrica statica CPT, nelle tavole allegate sono riportate indicazioni concernenti i principali parametri geotecnici (coesione non drenata C_u , angolo di attrito interno efficace ϕ' , densità relativa D_r , modulo edometrico M_o , moduli di deformazione non drenato E_u e drenato E' , peso di volume Y , ecc.).

10. CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE E PARAMETRI GEOTECNICI

L'indagine consente di ricostruire, per i vari strati, le *caratteristiche stratigrafiche* ed i *parametri geotecnici caratteristici*:

Livello A

Strato che dal piano cortilivo, annettendo la coltre di riporto ed il sottostante terreno vegetale, si approfondisce sino a 3 m in argille con sottili livelli di limi sabbiosi, con valori di:

$$\gamma = 1.85 \text{ t/m}^3 = 18.14 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1.95 \text{ t/m}^3 = 19.12 \text{ kN/m}^3$$

$$C_u = 0.6 \text{ kg/cm}^2 = 58.83 \text{ kPa}$$

$$c' = 0.1 \text{ kg/cm}^2 = 9.81 \text{ kPa}$$

$$\phi' = 18 [^\circ]$$

$$M_o = 60 \text{ kg/cm}^2 = 5883 \text{ kPa}$$

$$E = 50 \text{ kg/cm}^2 = 4903 \text{ kPa}$$

Livello B

Da 3 m sino a 8 m vi sono argille ed argille sabbioso limose con sottili livelli di sabbie limose, con valori di:

$$\gamma = 1.85 \text{ t/m}^3 = 18.14 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1.95 \text{ t/m}^3 = 19.12 \text{ kN/m}^3$$

$$C_u = 0.7 \text{ kg/cm}^2 = 68.64 \text{ kPa}$$

$$c' = 0.15 \text{ kg/cm}^2 = 14.71 \text{ kPa}$$

$$\phi' = 20 [^\circ]$$

$$M_o = 70 \text{ kg/cm}^2 = 6864 \text{ kPa}$$

$$E = 60 \text{ kg/cm}^2 = 5883 \text{ kPa}$$

Livello C

Da 8 m sino a 12 m vi sono argille talora organiche ed argille sabbioso limose, con valori di:

$$\gamma = 1.85 \text{ t/m}^3 = 18.14 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 1.95 \text{ t/m}^3 = 19.12 \text{ kN/m}^3$$

$$C_u = 0.8 \text{ kg/cm}^2 = 78.45 \text{ kPa}$$

$$c' = 0.15 \text{ kg/cm}^2 = 14.71 \text{ kPa}$$

$$\phi' = 18 [^\circ]$$

$$M_o = 70 \text{ kg/cm}^2 = 6864 \text{ kPa}$$

$$E = 60 \text{ kg/cm}^2 = 5883 \text{ kPa}$$

Livello D

Oltre 12 m vi sono argille molto consistenti, con valori di:

$$\gamma = 1.90 \text{ t/m}^3 = 18.63 \text{ kN/m}^3$$

$$\gamma_{\text{sat}} = 2.0 \text{ t/m}^3 = 19.61 \text{ kN/m}^3$$

$$C_u = 0.9 \text{ kg/cm}^2 = 88.25 \text{ kPa}$$

$$c' = 0.2 \text{ kg/cm}^2 = 19.61 \text{ kPa}$$

$$\phi' = 20 [^\circ]$$

$$M_o = 90 \text{ kg/cm}^2 = 8825 \text{ kPa}$$

$$E = 80 \text{ kg/cm}^2 = 7845 \text{ kPa}$$

dove:

γ = peso di volume; γ_{sat} = peso di volume saturo;

C_u = coesione non drenata; c' = coesione efficace;

ϕ' = angolo di attrito;

M_o = modulo edometrico; E = modulo elastico.

11. RIEPILOGO E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La prova penetrometrica, appositamente effettuata per accertare la reale natura del primo sottosuolo, ha accertato, nei primi 15 m dal p.c., una preponderanza di materiali coesivi costituiti da limi ed argille, talora ad elevata componente organica e torbosa, a cui si alternano sottili livelli di limi sabbiosi e sabbie limose, sede della falda freatica.

Nella fattispecie, al termine della penetrometria, nel foro di sonda, il livello statico della falda si è posizionato a 1 m dal piano cortilivo. Del resto, sulla Carta della Soggiacenza della Falda allegata al P.I.A.E. della Provincia di Modena, esso risulta essere compreso fra 0 m ed i 2 m da p.c.

Indubbiamente si tratta di una falda leggermente in pressione che permea i livelli di natura granulare che si alternano alla massa coesiva e indubbiamente risente sicuramente delle variazioni pluviometriche stagionali.

In ottemperanza con quanto prescritto dalla normativa, viste le caratteristiche del primo sottosuolo, il suolo di fondazione può essere pertanto assimilato alla categoria C di azione sismica “*Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti*” con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{S30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Per il sito in oggetto, in base al valore di V_{S30} m/sec, ottenuto dall’analisi di sismica a rifrazione tipo MASW, sono stati desunti i seguenti fattori di amplificazione:

$$\text{PGA F.A.} = 1.5; \text{SI (0.1 - 0.5 sec) F.A.} = 1.8; \text{SI (0.5 - 1.0 sec) F.A.} = 2.5.$$

Mediante l’utilizzo di un apposito programma per il “Calcolo dello Spettro Sismico”, ideato dagli Ingegneri Red Shift & Afazio, in cui vengono generati accelerogrammi correttamente commisurati alla pericolosità sismica del sito, si è proceduto poi al calcolo del valore dei parametri a_g , F_o e T_c^* per la definizione dell’Azione Sismica locale. Riferiti all’area in oggetto, al $TR = 475$

anni dello Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita, sono stati ottenuti i seguenti valori: $a_g = a_g/g = 1.507 / 9.81 = 0.153$; $F_o = 2.59$; $T_c^* = 0.27$.

Elaborando i dati, il programma ha prodotto gli spettri elastici SLU; è stata inoltre calcolata l'accelerazione massima attesa al sito di $a_{max} = S_s \cdot S_t \cdot a_g = 1.47 \cdot 1.0 \cdot 0.153 = 0.225 \cdot g$.

In conformità con quanto richiesto dall'allegato A3 del DAL 112/2007 e dai punti 7.11.3.4.2. e C7.11.3.4.2. delle NTC 2008, per la presenza di Magnitudo superiori a 5, tenendo altresì ben presente che nei terreni limitrofi all'area in esame, in concomitanza degli eventi sismici del maggio 2012, sono stati segnalati fenomeni di liquefazione, si è quindi proceduto alla verifica della liquefazione del terreno. La verifica (cf. tabelle, diagrammi e profili proposti in allegato) è stata effettuata applicando la metodologia di Robertson e Wride (1997), che opera appunto utilizzando i risultati della prova penetrometrica statica. Pur avendo l'indagine penetrometrica accertato, nei primi metri dal piano campagna, la presenza di livelli di limi sabbiosi, sabbie limose e sabbie che si alternano alle argille, è stato tuttavia appurato, con l'ausilio del programma LAN prodotto dalla Ditta Aztec Informatica, che il primo sottosuolo presenta un basso rischio di liquefazione.

Sulla base dei parametri geomeccanici del terreno acquisiti con l'indagine si è infine proceduto alla valutazione del peso di volume (γ), dell'angolo di attrito interno (ϕ'), della coesione non drenata (C_u) ed efficace (c') nonché dei moduli edometrico (M_o) ed elastico (E), per gli strati che caratterizzano il primo sottosuolo.

Suddetti valori potranno essere utilizzati a supporto della valutazione dell'idoneità delle strutture, secondo quanto riportato dal D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le costruzioni".

Scandiano, giugno 2014

Dott. Geol. Caroli Nicola

Iscr. Ordine dei Geologi Emilia Romagna sez. A n° 1370



ALLEGATI

UBICAZIONE INDAGINI

* Penetrometria statica

— Sismica a rifrazione per la determinazione del vs30 (MASW)



PROVA PENETROMETRICA STATICA
(CONE PENETRATION TEST)
CPT

Committente: K.G. BONTIRA S.r.l.
Cantiere: Adeguamento sismico fab bricati
Località: Via A. Miari, 6 - Finale Emilia (MO)

Caratteristiche Strumentali DEEP DRILL 100 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	20

PROVA ...CPT1

Committente: K.G. BONTIRA S.r.l.

Strumento utilizzato: DEEP DRILL 100 kN

Prova eseguita in data: 11/05/2013

Profondità prova: 15,00 mt Profondità falda: 1 m

Località: Via A. Miari, 6 - Finale Emilia (MO)

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	5,00	0,0	10,1	0,3	33,7	3,0
0,40	4,50	7,0	9,1	0,7	13,0	7,7
0,60	70,00	75,0	140,1	0,1	1401,0	0,1
0,80	28,00	29,0	56,1	0,7	80,1	1,2
1,00	10,50	16,0	21,1	0,6	35,2	2,8
1,20	8,00	12,5	16,3	0,7	23,3	4,3
1,40	6,50	12,0	13,3	0,6	22,2	4,5
1,60	6,50	11,0	13,3	0,6	22,2	4,5
1,80	8,00	12,5	16,3	0,7	23,3	4,3
2,00	8,50	14,0	17,3	0,9	19,2	5,2
2,20	9,00	16,0	18,4	0,7	26,3	3,8
2,40	5,00	10,0	10,4	0,3	34,7	2,9
2,60	4,50	7,0	9,4	0,3	31,3	3,2
2,80	6,50	8,5	13,4	0,4	33,5	3,0
3,00	6,00	9,0	12,4	0,5	24,8	4,0
3,20	8,00	12,0	16,6	0,4	41,5	2,4
3,40	9,00	12,0	18,6	0,6	31,0	3,2
3,60	10,00	14,5	20,6	0,7	29,4	3,4
3,80	10,00	15,5	20,6	0,7	29,4	3,4
4,00	11,00	16,5	22,6	0,9	25,1	4,0
4,20	11,50	18,0	23,7	0,9	26,3	3,8
4,40	10,50	17,0	21,7	0,9	24,1	4,1
4,60	10,50	17,0	21,7	1,2	18,1	5,5
4,80	10,00	19,0	20,7	1,1	18,8	5,3
5,00	12,00	20,0	24,7	0,8	30,9	3,2
5,20	10,00	16,0	20,8	0,9	23,1	4,3
5,40	10,50	17,0	21,8	0,9	24,2	4,1
5,60	11,00	17,5	22,8	1,1	20,7	4,8
5,80	10,50	18,5	21,8	1,1	19,8	5,0
6,00	9,00	17,5	18,8	0,8	23,5	4,3
6,20	8,00	14,0	17,0	1,1	15,5	6,5
6,40	9,50	18,0	20,0	1,0	20,0	5,0
6,60	8,50	16,0	18,0	0,9	20,0	5,0
6,80	8,50	15,5	18,0	0,9	20,0	5,0
7,00	10,00	17,0	21,0	0,8	26,3	3,8
7,20	10,00	16,0	21,1	0,6	35,2	2,8
7,40	8,00	12,5	17,1	0,7	24,4	4,1
7,60	7,00	12,0	15,1	0,7	21,6	4,6
7,80	9,50	14,5	20,1	0,8	25,1	4,0
8,00	10,00	16,0	21,1	0,7	30,1	3,3
8,20	7,00	12,0	15,2	0,5	30,4	3,3
8,40	5,00	9,0	11,2	0,5	22,4	4,5
8,60	5,50	9,5	12,2	0,7	17,4	5,7
8,80	5,00	10,0	11,2	0,6	18,7	5,4
9,00	6,00	10,5	13,2	0,5	26,4	3,8
9,20	12,00	16,0	25,4	0,8	31,8	3,1
9,40	14,00	20,0	29,4	1,3	22,6	4,4
9,60	12,00	22,0	25,4	1,1	23,1	4,3
9,80	14,00	22,0	29,4	1,1	26,7	3,7
10,00	12,50	21,0	26,4	1,1	24,0	4,2

10,20	10,00	18,0	21,5	1,1	19,5	5,1
10,40	10,50	18,5	22,5	0,9	25,0	4,0
10,60	10,00	17,0	21,5	1,1	19,5	5,1
10,80	8,50	17,0	18,5	0,9	20,6	4,9
11,00	9,00	16,0	19,5	0,8	24,4	4,1
11,20	9,00	15,0	19,7	1,1	17,9	5,6
11,40	8,50	16,5	18,7	1,1	17,0	5,9
11,60	7,00	15,0	15,7	1,1	14,3	7,0
11,80	7,50	15,5	16,7	1,2	13,9	7,2
12,00	8,50	17,5	18,7	1,1	17,0	5,9
12,20	10,00	18,0	21,8	1,2	18,2	5,5
12,40	11,00	20,0	23,8	1,4	17,0	5,9
12,60	11,50	22,0	24,8	1,5	16,5	6,0
12,80	11,00	22,5	23,8	1,7	14,0	7,1
13,00	13,00	26,0	27,8	1,8	15,4	6,5
13,20	13,25	27,0	28,4	2,0	14,2	7,0
13,40	15,00	30,0	31,9	2,1	15,2	6,6
13,60	17,00	33,0	35,9	2,1	17,1	5,8
13,80	16,50	32,5	34,9	1,6	21,8	4,6
14,00	18,00	30,0	37,9	2,2	17,2	5,8
14,20	15,50	32,0	33,1	2,1	15,8	6,3
14,40	16,00	32,0	34,1	2,9	11,8	8,5
14,60	23,00	45,0	48,1	3,2	15,0	6,7
14,80	21,00	45,0	44,1	4,0	11,0	9,1
15,00	28,00	58,0	58,1	0,0		0,0

Prof. Strato (m)	qc Media (Kg/cm ²)	fs Media (Kg/cm ²)	Gamma Medio (t/m ³)	Comp. Geotecnico	Descrizione
1,00	47,3	0,5	1,9	Incoerente	Riporto
3,00	14,1	0,6	1,9	Coesivo	Argilla inorganica compatta
8,00	20,2	0,8	2,0	Incoerente-Coesivo	Argille sabbiose e limose
12,00	19,6	0,9	2,0	Coesivo	Argilla inorganica compatta
15,00	33,9	2,0	2,0	Coesivo	Argilla inorganica molto compatta

Probe CPT - Cone Penetration CPT1
Strumento utilizzato DEEP DRILL 100 kN

Committente: K.G. BONTIRA S.r.l.
Cantiere: Adeguamento sismico fab bricati
Località: Via A. Miari, 6 - Finale Emilia (MO)

Data: 11/05/2013
Scala 1:80

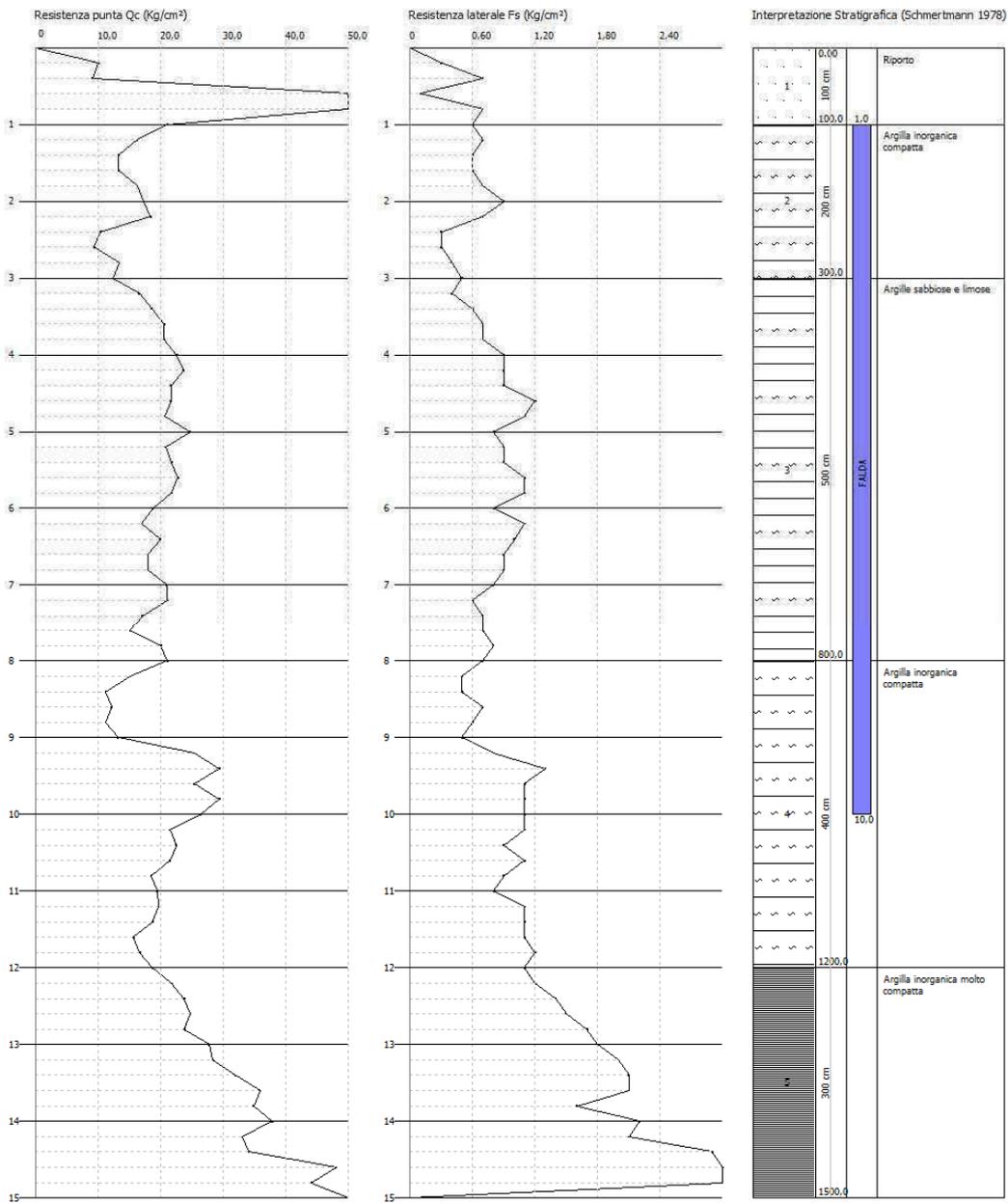
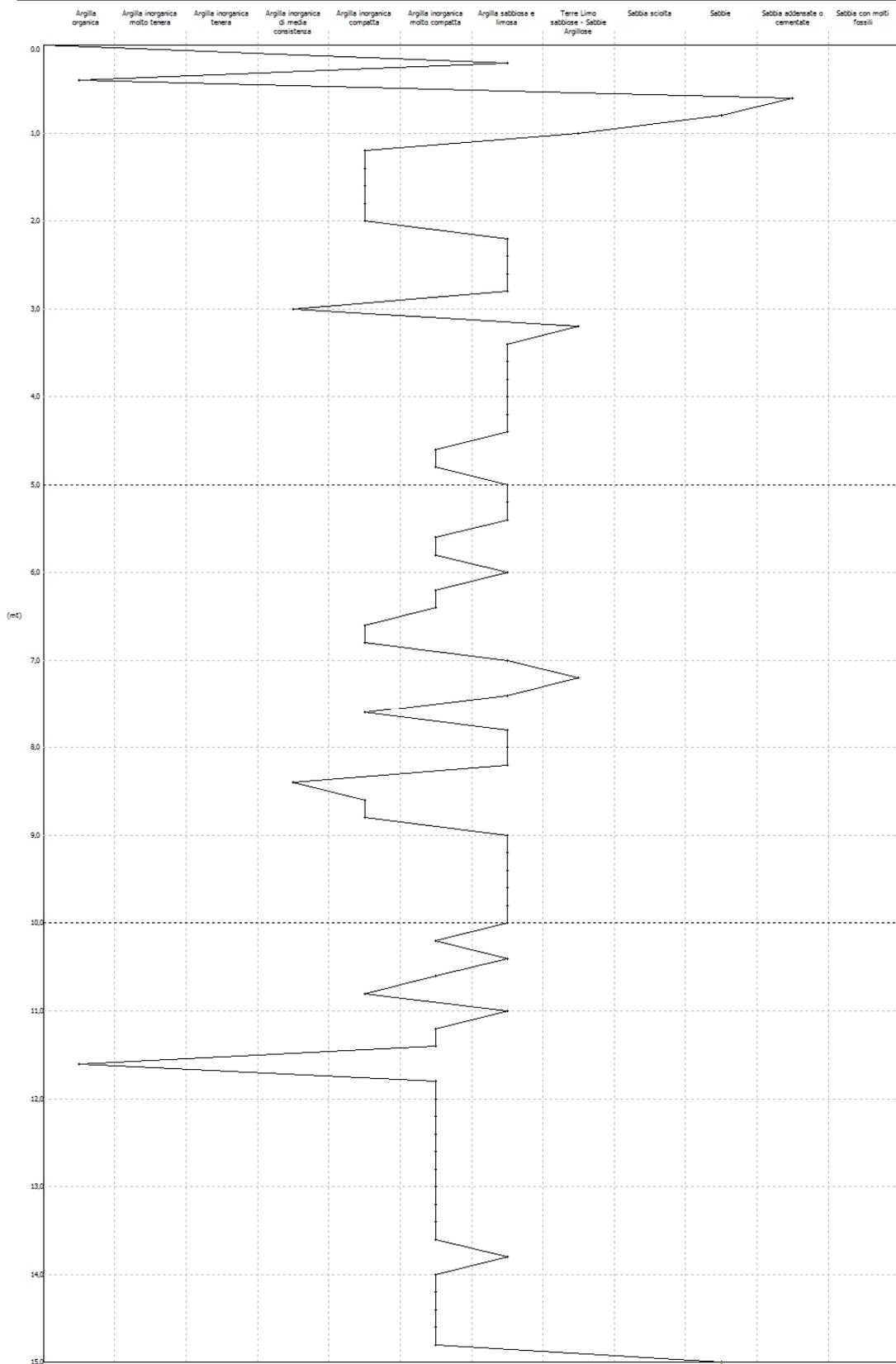


GRAFICO PROFONDITA' / VALUTAZIONI LITOLOGICHE (Schmertmann 1978)
 PROVA: CPT1



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 2	3,00	14,1	0,6	0,4	0,3	Terzaghi	0,7
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	Terzaghi	1,0
Strato 4	12,00	19,6	0,9	2,0	1,1	Terzaghi	1,0
Strato 5	15,00	33,9	2,0	2,7	2,7	Terzaghi	1,7

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 2	3,00	14,1	0,6	0,4	0,3	Mitchell & Gardner (1975)	70,5
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	Mitchell & Gardner (1975)	101,0
Strato 4	12,00	19,6	0,9	2,0	1,1	Mitchell & Gardner (1975)	98,0
Strato 5	15,00	33,9	2,0	2,7	2,7	Mitchell & Gardner (1975)	84,8

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 2	3,00	14,1	0,6	0,4	0,3	Cancelli 1980	518,3
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	Cancelli 1980	734,2
Strato 4	12,00	19,6	0,9	2,0	1,1	Cancelli 1980	694,9
Strato 5	15,00	33,9	2,0	2,7	2,7	Cancelli 1980	1171,1

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 2	3,00	14,1	0,6	0,4	0,3	Imai & Tomauchi	141,0
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	Imai & Tomauchi	175,7
Strato 4	12,00	19,6	0,9	2,0	1,1	Imai & Tomauchi	172,5
Strato 5	15,00	33,9	2,0	2,7	2,7	Imai & Tomauchi	241,1

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 2	3,00	14,1	0,6	0,4	0,3	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	Piacentini Righi 1978	>9
Strato 4	12,00	19,6	0,9	2,0	1,1	Piacentini Righi 1978	5,94
Strato 5	15,00	33,9	2,0	2,7	2,7	Piacentini Righi 1978	5,09

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 2	3,00	14,1	0,6	0,4	0,3	Meyerhof	1,9
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	Meyerhof	2,0
Strato 4	12,00	19,6	0,9	2,0	1,1	Meyerhof	2,0
Strato 5	15,00	33,9	2,0	2,7	2,7	Meyerhof	2,0

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 2	3,00	14,1	0,6	0,4	0,3	0,16133	0,02097
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	0,13284	0,01727
Strato 4	12,00	19,6	0,9	2,0	1,1	0,13486	0,01753
Strato 5	15,00	33,9	2,0	2,7	2,7	0,11725	0,01524

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 2	3,00	14,1	0,6	0,4	0,3	Meyerhof	2,0
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	Meyerhof	2,0
Strato 4	12,00	19,6	0,9	2,0	1,1	Meyerhof	2,0
Strato 5	15,00	33,9	2,0	2,7	2,7	Meyerhof	2,1

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 1	1,00	47,3	0,5	0,1	0,1	Harman	100,0
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	Harman	28,5

Angolo di resistenza al 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	Angolo d'attrito (°)
Strato 1	1,00	47,3	0,5	0,1	0,1	Schmertmann	42,0
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	Schmertmann	31,5

Modulo di Young

	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 Young (Kg/cm ²)
Strato 1	1,00	47,3	0,5	0,1	0,1	Schmertmann	118,3
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	Schmertmann	50,5

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	Modulo Edometrico (Kg/cm ²)
Strato 1	1,00	47,3	0,5	0,1	0,1	Buisman - Sanglerat	71,0
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	Buisman - Sanglerat	101,0

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	G (Kg/cm ²)
Strato 1	1,00	47,3	0,5	0,1	0,1	Imai & Tomauchi	295,5
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	Imai & Tomauchi	175,7

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	47,3	0,5	0,1	0,1	Larsson 1991 S.G.I.	<0,5
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	Larsson 1991 S.G.I.	<0,5

Modulo di reazione Ko

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Ko
Strato 1	1,00	47,3	0,5	0,1	0,1	Kulhawy & Mayne (1990)	0,00
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	Kulhawy & Mayne (1990)	0,29

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	Crn
Strato 1	1,00	47,3	0,5	0,1	0,1	0,1071	0,01392
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	0,13284	0,01727

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	47,3	0,5	0,1	0,1	Meyerhof	1,9
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	Meyerhof	1,8

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	47,3	0,5	0,1	0,1	Meyerhof	2,2
Strato 3	8,00	20,2	0,8	1,1	0,6	Meyerhof	2,1

SISMICA A RIFRAZIONE

MASW

Determinazione del V_{s30}



SISMOGRAFO: PASI 16SG24

==o== SECTION#1

dataset: K.G. Bontira Srl.DAT

minimum offset (m): 9

geophone spacing (m): 2

sampling (ms): 1

Dispersion curve: Finale Emilia (MO) Via A. Miari 6

Number of individuals: 30

Number of generations: 31

Adopted search space (minimum Vs & thickness): 60	0.5	70	7.5	80	0.1	90	0.1	100
Adopted search space (maximum Vs & thickness): 300	1.5	325	8.5	350	10	375	10	400
Adopted Poisson values: 0.35	0.35	0.35	0.35	0.3				

Output folder: C:\winMASW411pro\output\2013\Caroli\05\Finale Emilia - KG Bontira

==o== SECTION#2

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -34.5379	-12.5717
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -29.217	-12.5717
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -27.1744	-11.2844
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -21.1598	-11.2844
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -22.3992	-11.1506
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -23.0198	-11.1506
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -26.1764	-11.1506
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -28.3204	-9.67975
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -25.6421	-9.67975
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -29.5631	-9.67975
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -29.8079	-9.67975
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -32.8909	-9.67975
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -26.2292	-9.67975
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -23.3367	-9.67975
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -28.3312	-9.67975
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -28.3665	-9.67975
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -28.6136	-9.67975
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -35.7906	-9.67975
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -30.7178	-9.67975
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -28.1373	-9.67975
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -25.3462	-7.83527
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -31.5807	-7.83527
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -30.5645	-7.57489
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -30.0415	-7.57489
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -30.1196	-7.57489
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -33.0556	-7.57489
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -27.2005	-7.0001
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -23.7596	-7.0001
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -25.4064	-7.0001
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -22.3079	-7.0001
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -20.8049	-7.0001

Checking the new search space (for the finer search)

Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -37.1964	-7.0001
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -37.5743	-7.0001
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -33.8774	-7.0001
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -30.0755	-7.0001
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -24.0753	-7.0001
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -24.9413	-7.0001
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -32.4038	-7.0001
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -26.449	-7.0001
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -22.8416	-7.0001

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):

Vs (m/s): 142 149 182 349 207

Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.3

Thickness (m): 0.93 7.6 5.9 6.3

Number of models considered to calculate the average model: 29

RESULTS winMASW Pro
#####

Dataset: K.G. Bontira Srl.DAT
Analyzed curve: Finale Emilia (MO) Via A. Miari 6

==o== SECTION#3

=====

MEAN MODEL

VS (m/s): 150 151 186 351 206
Standard deviations (m/s): 33 7 22 26 34

Thickness (m): 0.9 7.9 6.3 6.0
Standard deviations (m): 0.1 0.3 1.1 1.8

Approximate values for Vp, density & elastic moduli
Vp (m/s): 312 314 387 731 385
Density (gr/cm3): 1.77 1.77 1.82 1.98 1.82
Vp/Vs ratio: 2.08 2.08 2.08 2.08 1.87
Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30
Young modulus (MPa): 108 109 170 658 201
Sjear modulus (MPa): 40 40 63 244 77
Lamé (MPa): 93 94 147 570 116
Bulk modulus (MPa): 119 121 189 732 167

Fundamental mode

Mean model
f(Hz) VR(m/s)
1.4694 189.2879
5.00796 189.5911
9.84639 147.3712
14.396 142.4597
19.9565 141.3146
26.2393 141.0512

First higher mode

Mean model
4.93574 312.2094
9.55753 237.9963
16.0569 193.0535
21.2564 175.7296
28.7668 163.6519
38.3715 157.2349
47.0373 154.7931

==o== SECTION#4

=====

BEST MODEL

Vs (m/s): 141.62 149 181.5782 349.2386 206.9412
thickness (m): 0.92506 7.5861 5.941 6.2532

Approximate values for Vp, density & elastic moduli
Vp (m/s): 295 310 378 727 387
Density (gr/cm3): 1.76 1.77 1.82 1.98 1.82
Vp/Vs ratio: 2.08 2.08 2.08 2.08 1.87
Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.30
Young modulus (MPa): 96 106 163 650 203
Shear modulus (MPa): 35 39 60 241 78
Lamé (MPa): 82 92 139 563 117
Bulk modulus (MPa): 106 118 180 724 169

dispersion curve (frequency - Rayleigh phase velocity)

Fundamental mode)

best model

F(Hz)	VR(m/s)
1.4694	189.8544
5.00796	190.043
9.84639	145.0292
14.396	139.8858
19.9565	138.5429
26.2393	138.009

First higher mode)

best model

4.93574	309.6801
9.55753	237.4091
16.0569	191.8589
21.2564	173.7242
28.7668	161.7509
38.3715	155.2818
47.0373	152.8019

VS5 (mean model): 151 m/s

VS5 (best model): 148 m/s

VS20 (mean model): 188 m/s

VS20 (best model): 189 m/s

VS30 (mean model): 197 m/s

VS30 (best model): 196 m/s

==o== SECTION#6

Possible Soil Type: C

(based on the mean model)

For the Italian Users:

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n°29 del 04/02/2008):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e $cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).

S1 - Depositati di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero $10 < cu_{S30} < 20$ kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 - Depositati di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Results saved in the folder "C:\winMASW411pro\output\2013\Caroli\05\Finale Emilia - KG Bontira".

winMASW 4.2 Pro

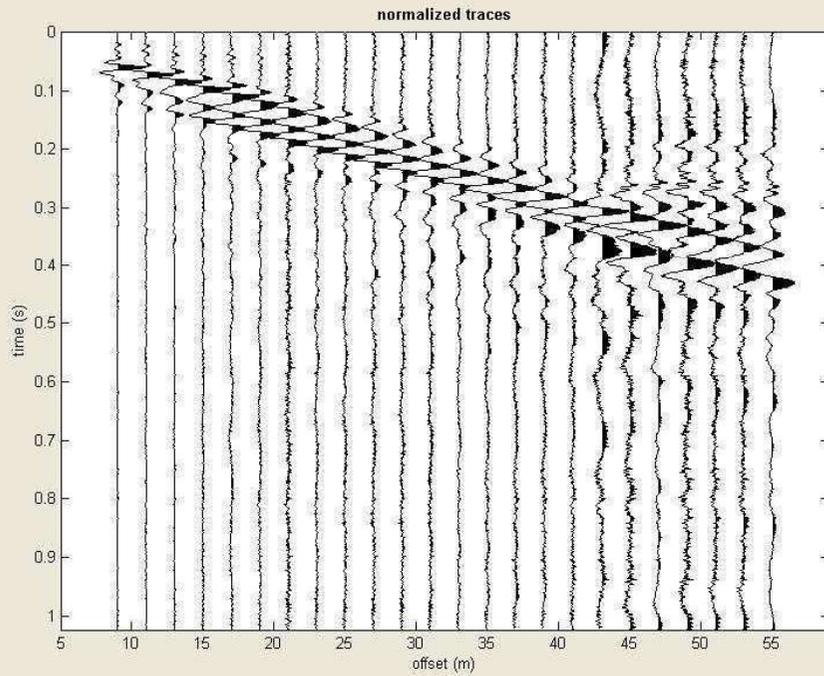
Surface Wave Analysis

via MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves

www.eliosoft.it

#1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: K.G. Bontira Srl.DAT
minimum offset: 9 m
geophone spacing: 2 m
sampling: 1 ms



utilities

flip traces
spectrum
movie ?

data selection

activate
select 20
cancel save

refraction

quick refraction
upload save
clear refraction



ver. 4.1 Pro

Attenuation analysis

#2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & ReMi analyses)

MASW

calculate spectrum

Tau - v

ReMi

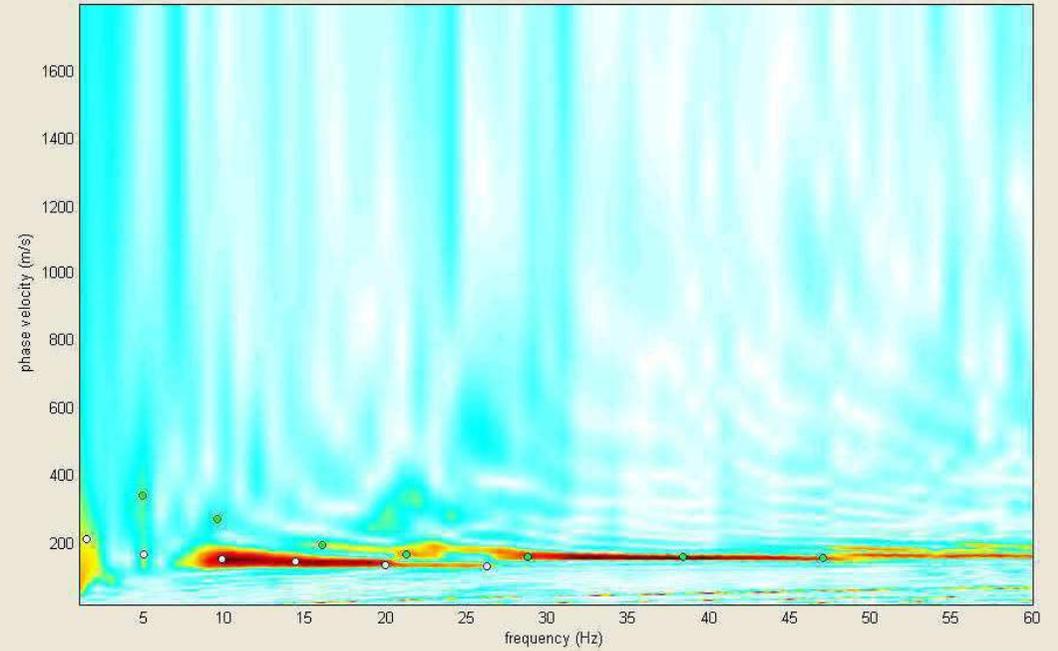
upload ReMi spectrum

visualize curves

input curve

?

velocity spectrum



explore spectrum

modelling

parameters save model
upload model 3 Rayleigh
 eigen period refresh ?

Finale Emilia (MO) Via A. Miari 6

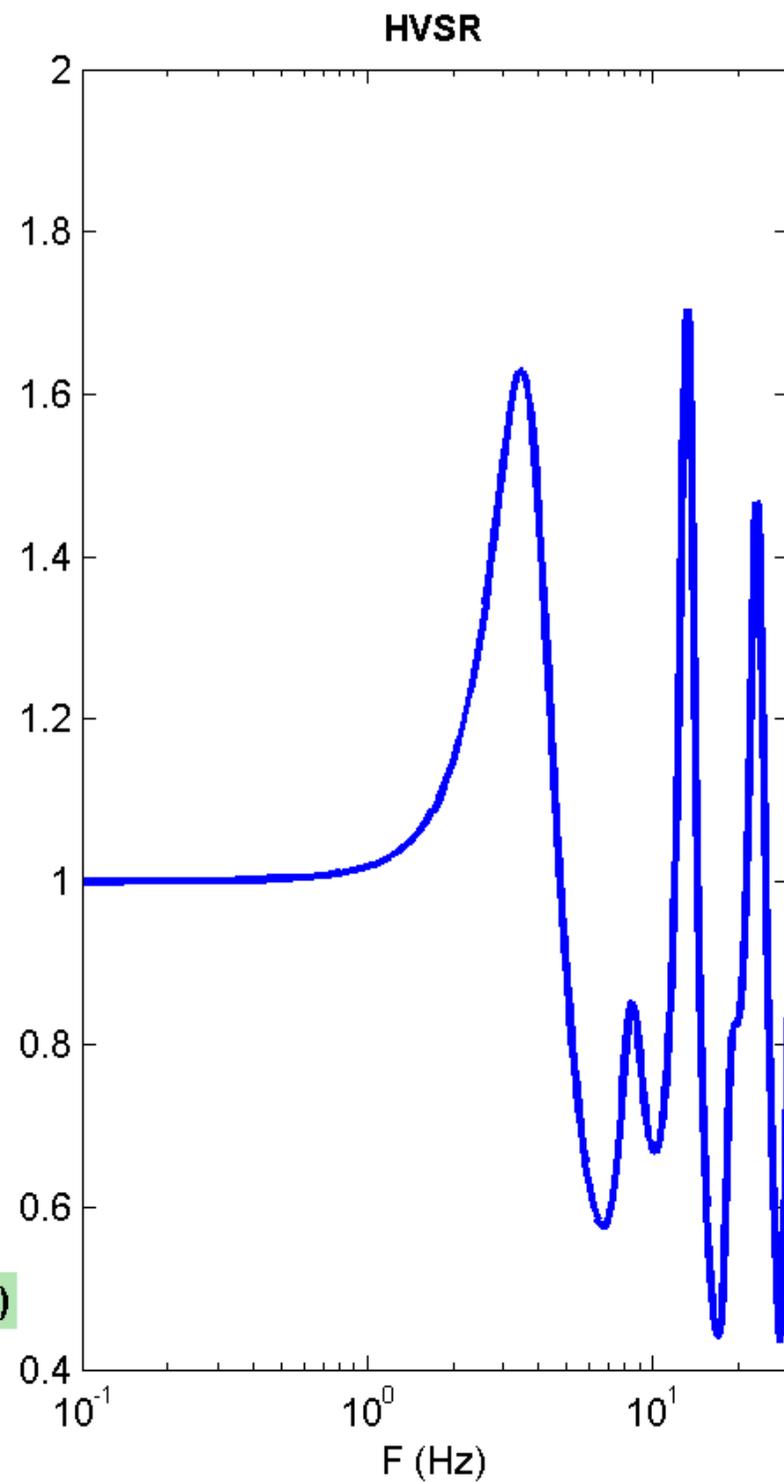
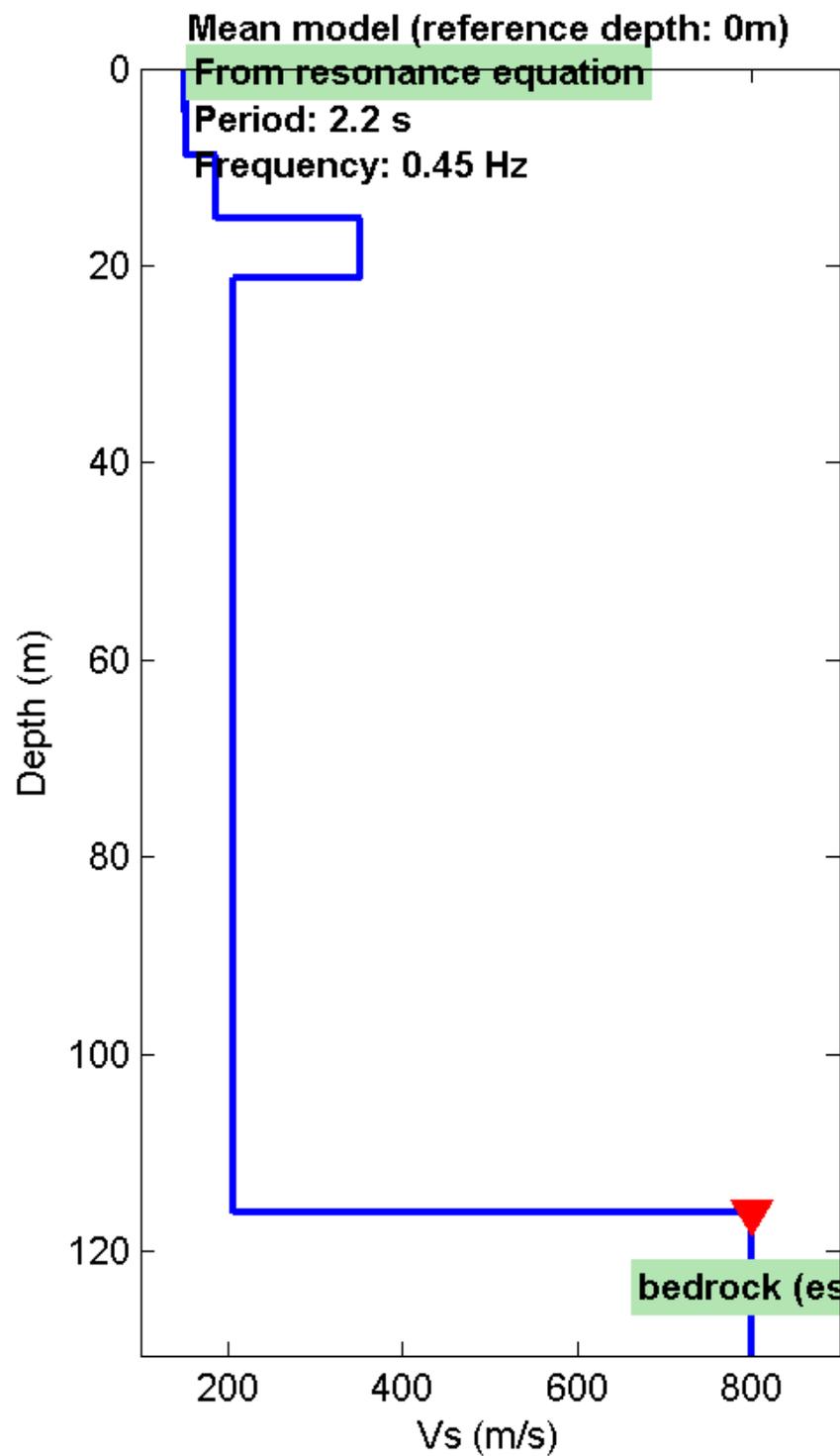
picking

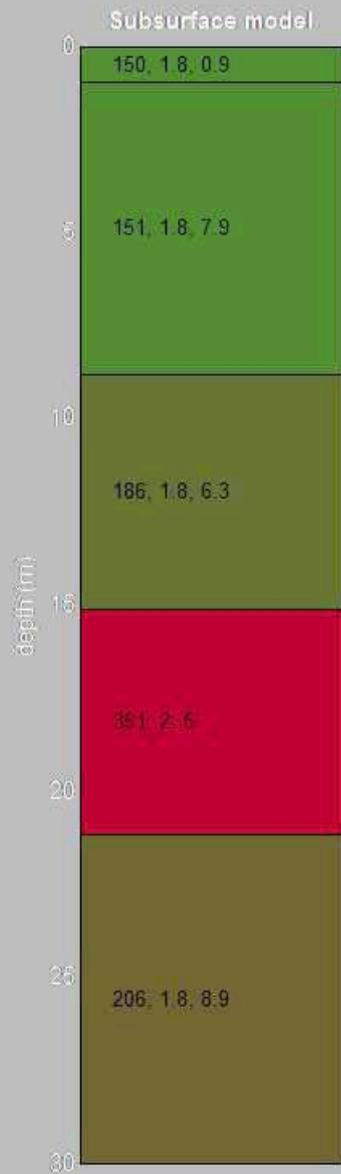
first higher ?
use the right button to select the last point of the considered mode

save picking ? cancel picking

inversion

exit





Vs density thickness
(m/s) (gr/cm³) (m)

winMASW 4.1.1 Pro - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Main results

See "winMASW_report.txt" for further details.

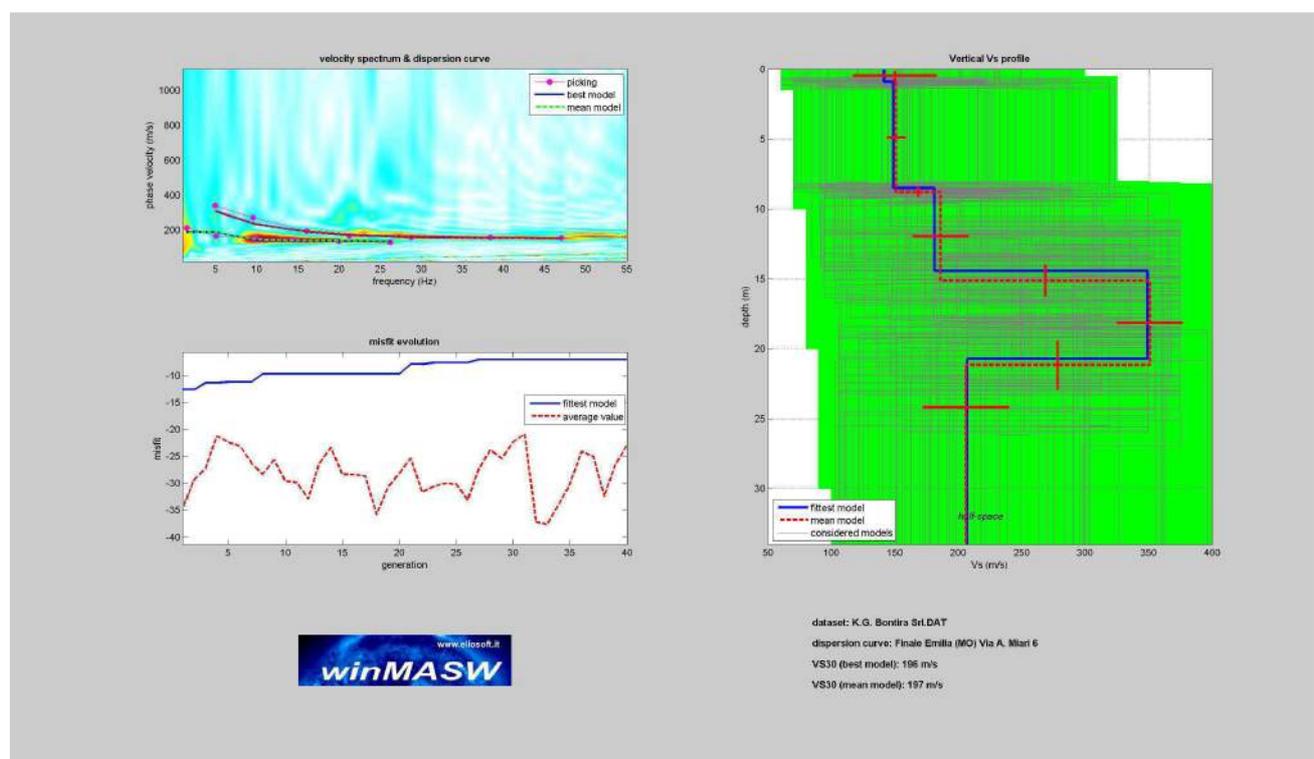
www.eliosoft.it

Date: 17/5/2013

Time: 11:36

Dataset: K.G. Bontira Srl.DAT

Considered dispersion curve: Finale Emilia (MO) Via A. Miari 6



Mean model

Vs (m/s): 150, 151, 186, 351, 206

Standard deviations (m/s): 33, 7, 22, 26, 34

Thickness (m): 0.9, 7.9, 6.3, 6.0

Standard deviations (m/s): 0.1, 0.3, 1.1, 1.8

Density (gr/cm³): 1.77, 1.77, 1.82, 1.98, 1.82

Shear modulus (MPa): 40, 40, 63, 244, 77

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli

Vp (m/s): 312, 314, 387, 731, 385

Poisson: 0.35, 0.35, 0.35, 0.35, 0.30

Bulk modulus (MPa): 119, 121, 189, 732, 167

Young's modulus (MPa): 108, 109, 170, 658, 201

Lamé (MPa): 93, 94, 147, 570, 116

VS30 (m/s): 197

Possible Soil Type: C

Pay attention

Soil classification must be performed by the user.

For the Italian Users:

Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n° 29 del 04/02/2008):

A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di VS30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo di 3 m.

B - Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT30 > 50 nei terreni a grana grossa e $cu_{30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).

C - Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < NSPT30 < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < cu_{30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

D - Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VS30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT30 < 15 nei terreni a grana grossa e $cu_{30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).

E - Terreni dei sottosuoli dei tipi C o D per spessori non superiori a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con VS > 800 m/s).

S1 - Depositi di terreni caratterizzati da valori di VS30 inferiori 100 m/s (ovvero $10 < cu_{S30} < 20$ kPa) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includano almeno 3 m di torba o argille altamente organiche.

S2 - Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

winMASW 4.1.1 Pro

Surface wave analysis modelling and inversion of Rayleigh and Love waves MASW, ReMi and attenuation analyses

www.eliosoft.it

VERIFICA A LIQUEFAZIONE



PROGRAMMA DI CALCOLO: LAN (Aztec Informatica)

Progetto: Ripristino e miglioramento sismico fabbricato artigianale
 Ditta: K.G. BONTIRA S.r.l.
 Comune: Via Miari, 6 – Finale Emilia (MO)

Normative di riferimento

- Normativa sismica del GRUPPO NAZIONALE di Difesa dei Terremoti.
- Raccomandazioni del National Center for Earthquake Reserch (NCEER)
- Eurocodice 8, Indicazioni progettuali per la resistenza sismica delle strutture
- Norme Tecniche D.M. del 14 Gennaio 2008

Metodo di calcolo della domanda di resistenza a liquefazione CSR

Il carico sismico, *CSR*, dipende dalla magnitudo *M* e dalla massima accelerazione in superficie, a_{max} .
 Per una magnitudo $M=7.5$ *CSR* è espresso dalla seguente relazione

$$CSR=0.65*(a_{max}/g)(\sigma_{v0}/\sigma'_{v0})*r_d$$

essendo

a_{max} picco di accelerazione orizzontale in superficie prodotto dal terremoto
 g accelerazione di gravità
 σ_{v0} e σ'_{v0} tensione verticale geostatica totale ed efficace
 r_d coefficiente riduttivo delle tensioni

Per il coefficiente r_d si assumono i seguenti valori

$r_d = 1.0 - 0.00765z$ per $z \leq 9.15$ m
 $r_d = 1.174 - 0.0267z$ per $9.15 \leq z \leq 23$ m
 $r_d = 0.774 - 0.008z$ per $23 < z < 30$ m
 $r_d = 0.5$ per $z > 30$ m

Per terremoti con magnitudo diversa da 7.5 si applica un fattore correttivo, *MSF*, al valore di *CSR* precedentemente calcolato.

L'equazione utilizzata per per il calcolo di *MSF* viene di seguito riportata:

$$MSF = \left(\frac{M}{7.5} \right)^{-3.3} \quad \text{per } M \leq 7.5$$

$$MSF = \frac{10^{2.24}}{M^{2.56}} \quad \text{per } M > 7.5$$

L'Eurocodice 8 per tener conto di terremoti di magnitudo diversa da 7,5 utilizza la seguente correlazione :

M	MSF
5.5	2.86
6.0	2.20
6.5	1.69
7.0	1.30
8.0	0.67

Metodi di calcolo della resistenza a liquefazione CRR

Metodo di Robertson

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) da prove penetrometriche statiche viene stimata dagli autori con la seguente espressione:

$$CRR = \begin{cases} 0.883 \cdot \left[\frac{(q_{c1n})_{CS}}{1000} \right] + 0.05 & \text{per } 0 < (q_{c1n})_{CS} < 50 \\ 93 \cdot \left[\frac{(q_{c1n})_{CS}}{1000} \right]^3 + 0.08 & \text{per } 50 < (q_{c1n})_{CS} < 160 \end{cases}$$

dove:

$(q_{c1n})_{CS}$: resistenza alla punta corretta e normalizzata.

Per il calcolo di $(q_{c1n})_{CS}$ si procede come di seguito :

Calcolo di q_{c1N}

$$F = \frac{f_s}{q_c - \sigma_v} \cdot 100 \quad : \text{ attrito laterale specifico normalizzato;}$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_v}{\sigma'_v} \quad : \text{ resistenza alla punta;}$$

q_c : resistenza alla punta misurata espressa in $[\text{kg}/\text{cm}^2]$;

f_s : attrito laterale specifico misurato espresso in $[\text{kg}/\text{cm}^2]$

σ_v : pressione verticale totale espressa in $[\text{kg}/\text{cm}^2]$.

σ'_v : pressione verticale efficace espressa in $[\text{kg}/\text{cm}^2]$.

$$I_c = \sqrt{(\text{Log}_{10} F + 1.22)^2 + (\text{Log}_{10} Q - 3.47)^2}$$

$$q_{c1N} = C_Q \cdot q_c$$

$$C_Q = \left(\frac{1}{\sigma'_v} \right)^n$$

$$n = \begin{cases} 1.00 & \text{se } I_c > 2.6; \\ 0.50 & \text{se } \begin{cases} I_c \leq 2.6 \\ \sqrt{(\text{Log}_{10} F + 1.22)^2 + (\text{Log}_{10} q_{c1N} - 3.47)^2} \leq 2.6 \end{cases} \\ 0.75 & \text{se } \begin{cases} I_c \leq 2.6 \\ \sqrt{(\text{Log}_{10} F + 1.22)^2 + (\text{Log}_{10} q_{c1N} - 3.47)^2} > 2.6 \end{cases} \end{cases}$$

deve comunque essere :

$$q_{c1N} \leq 2 \cdot q_c$$

Calcolo di $(q_{c1N})_{CS}$

$$(q_{c1N})_{CS} = K_C \cdot q_{c1N}$$

$$K_C = \begin{cases} 1 & I_c \leq 1.64 \\ -0.403 \cdot I_c^4 + 5.581 \cdot I_c^3 - 21.63 \cdot I_c^2 + 33.75 \cdot I_c - 17.88 & 1.64 < I_c < 2.6 \end{cases}$$

per $I_c \geq 2.6$ non esiste fenomeno di liquefazione.

Il metodo si basa sulla determinazione del fattore di sicurezza espresso da:

$$F_s = \text{CRR} / \text{CSR}$$

Quest'ultimo è indicativo della propensione o meno del terreno a liquefare. Il deposito sabbioso saturo è potenzialmente liquefacibile se risulta $F_s \leq 1.0$

Dati Situ*Simbologia adottata*

M	: Magnitudo dell'evento sismico;
a_g	: Accelerazione massima su sito di riferimento rigido;
$F0$: Fattore di amplificazione spettrale;
CdS	: Categoria di sottosuolo;
Ss	: Coefficiente amplificazione stratigrafica;
p_0	: Presenza di sovraccarico al piano campagna espresso in $[\text{kg}/\text{mq}]$;
z_w	: Profondità della falda dal piano campagna espressa in $[\text{m}]$.

M	a_g	F_0	CdS	Ss	p_0	z_w
6.14	1,477	2,589	C	1,494	5000,00	1,0

$$a_{\max} / g = 0,225$$

Dati Stratigrafia*Simbologia adottata*

<i>Nr.</i>	: Indice dello strato;
<i>Descrizione</i>	: Descrizione strato;
<i>h</i>	: Spessore dello strato espresso in [m];
γ	: Peso di volume del terreno espresso in [kg/mc];
γ_s	: Peso di volume saturo del terreno espresso in [kg/mc];
<i>d₅₀</i>	: Diametro della curva granulometrica del passante al 50 per cento espresso in [mm];
<i>fine</i>	: Contenuto di fine presente nello strato espressa in [%].

Nr.	Descrizione	h	γ	γ_s	d₅₀	fine
1	argille con sottili livelli di limi sabbiosi	3,0	1850	1950	0,00	80.00
2	argille ed argille sabbioso limose con sottili livelli di sabbie	5,0	1850	1950	0,00	70.00
3	argille talora organiche ed argille sabbioso limose	4,0	1850	1950	0,00	80.00
4	argille molto consistenti	3,0	1900	2000	0,00	85.00

Dati Prove Penetrometriche**PROVA CPT***Simbologia adottata*

<i>Nr.</i>	: Numero d'ordine dei valori delle misure della prova;
<i>z_i</i>	: Profondità alla quale viene effettuata la misura della prova espressa in [m];
<i>q_c</i>	: Resistenza alla punta della prova CPT espressa in [kg/cm ²].
<i>f_s</i>	: Resistenza laterale della prova CPT espressa in [kg/cm ²].

Nr.	z_i	q_c	f_s
1	1,0	21,0	0,6
2	1,2	16,0	0,7
3	1,4	13,0	0,6
4	1,6	13,0	0,6
5	1,8	16,0	0,7
6	2,0	17,0	0,9
7	2,2	18,0	0,7
8	2,4	10,0	0,3
9	2,6	9,0	0,3
10	2,8	13,0	0,4
11	3,0	12,0	0,5
12	3,2	16,0	0,4
13	3,4	18,0	0,6
14	3,6	20,0	0,7
15	3,8	20,0	0,7
16	4,0	22,0	0,9
17	4,2	23,0	0,9
18	4,4	21,0	0,9
19	4,6	21,0	1,2
20	4,8	20,0	1,1
21	5,0	24,0	0,8
22	5,2	20,0	0,9
23	5,4	21,0	0,9
24	5,6	22,0	1,1
25	5,8	21,0	1,1
26	6,0	18,0	0,8
27	6,2	17,0	1,1
28	6,4	20,0	1,0
29	6,6	18,0	0,9
30	6,8	18,0	0,9
31	7,0	21,0	0,8
32	7,2	21,0	0,6
33	7,4	17,0	0,7
34	7,6	15,0	0,7
35	7,8	20,0	0,8
36	8,0	21,0	0,7
37	8,2	15,0	0,5
38	8,4	11,0	0,5
39	8,6	12,0	0,7
40	8,8	11,0	0,6

41	9,0	13,0	0,5
42	9,2	25,0	0,8
43	9,4	29,0	1,3
44	9,6	25,0	1,1
45	9,8	29,0	1,1
46	10,0	26,0	1,1
47	10,2	21,0	1,1
48	10,4	22,0	0,9
49	10,6	21,0	1,1
50	10,8	18,0	0,9
51	11,0	19,0	0,8
52	11,2	19,0	1,1
53	11,4	18,0	1,1
54	11,6	15,0	1,1
55	11,8	16,0	1,2
56	12,0	18,0	1,1
57	12,2	21,0	1,2
58	12,4	23,0	1,4
59	12,6	24,0	1,5
60	12,8	23,0	1,7
61	13,0	27,0	1,8
62	13,2	28,0	2,0
63	13,4	31,0	2,1
64	13,6	35,0	2,1
65	13,8	34,0	1,6
66	14,0	37,0	2,2
67	14,2	33,0	2,1
68	14,4	34,0	2,9
69	14,6	48,0	3,2
70	14,8	44,0	4,0
71	15,0	58,0	4,0

Risultati Analisi

Calcolo fattore di sicurezza

Simbologia adottata

$Nr.$: Numero d'ordine del risultato;
z_i	: Profondità alla quale viene calcolato il fattore di sicurezza espressa in [m];
σ'_v	: tensione verticale efficace calcolata alla profondità z_i espressa in [kg/cm ²];
σ_v	: tensione verticale totale calcolata alla profondità z_i espressa in [kg/cm ²];
r_d	: coefficiente correttivo di riduzione delle tensioni con la profondità z_i ;
MSF	: coefficiente correttivo funzione dellamagnitudo del sisma;
CSR	: resistenza a taglio mobilitata espressa in termini di rapporto di tensione ciclica;
CRR	: sforzo di taglio indotto dal sisma espresso in termini di rapporto di resistenza ciclica;
F_s	: Fattore di sicurezza espresso come rapporto tra CRR e CSR;

Medoto ROBERTSON

Nr.	z_i	σ'_v	σ_v	r_d	MSF	CSR	CRR	F_s
1	1,00	0,69	0,69	0,99	1,94	0,07	0,17	2,57
2	1,20	0,70	0,72	0,99	1,94	0,07	0,12	1,70
3	1,40	0,72	0,76	0,99	1,94	0,07	0,10	1,39
4	1,60	0,74	0,80	0,99	1,94	0,07	0,10	1,34
5	1,80	0,76	0,84	0,99	1,94	0,07	0,11	1,48
6	2,00	0,78	0,88	0,98	1,94	0,07	0,11	1,49
7	2,20	0,80	0,92	0,98	1,94	0,08	0,11	1,51
8	2,40	0,82	0,96	0,98	1,94	0,08	0,08	1,08
9	2,60	0,84	1,00	0,98	1,94	0,08	0,08	1,01
10	2,80	0,86	1,04	0,98	1,94	0,08	0,09	1,16
11	3,00	0,88	1,07	0,98	1,94	0,08	0,09	1,09
12	3,20	0,89	1,11	0,98	1,94	0,08	0,10	1,19
13	3,40	0,91	1,15	0,97	1,94	0,08	0,10	1,24
14	3,60	0,93	1,19	0,97	1,94	0,08	0,11	1,31
15	3,80	0,95	1,23	0,97	1,94	0,08	0,11	1,27
16	4,00	0,97	1,27	0,97	1,94	0,08	0,11	1,35
17	4,20	0,99	1,31	0,97	1,94	0,09	0,12	1,37
18	4,40	1,01	1,35	0,97	1,94	0,09	0,11	1,23
19	4,60	1,03	1,39	0,96	1,94	0,09	0,10	1,20
20	4,80	1,05	1,43	0,96	1,94	0,09	0,10	1,14
21	5,00	1,06	1,47	0,96	1,94	0,09	0,11	1,28
22	5,20	1,08	1,50	0,96	1,94	0,09	0,10	1,10
23	5,40	1,10	1,54	0,96	1,94	0,09	0,10	1,11
24	5,60	1,12	1,58	0,96	1,94	0,09	0,10	1,12
25	5,80	1,14	1,62	0,96	1,94	0,09	0,10	1,07

26	6,00	1,16	1,66	0,95	1,94	0,09	0,09	1,01
27	6,20	1,18	1,70	0,95	1,94	0,09	0,09	0,97
28	6,40	1,20	1,74	0,95	1,94	0,09	0,09	1,00
29	6,60	1,22	1,78	0,95	1,94	0,09	0,09	0,97
30	6,80	1,24	1,82	0,95	1,94	0,09	0,09	0,96
31	7,00	1,25	1,85	0,95	1,94	0,09	0,09	0,99
32	7,20	1,27	1,89	0,94	1,94	0,09	0,09	1,01
33	7,40	1,29	1,93	0,94	1,94	0,09	0,08	0,90
34	7,60	1,31	1,97	0,94	1,94	0,09	0,08	0,84
35	7,80	1,33	2,01	0,94	1,94	0,09	0,09	0,95
36	8,00	1,35	2,05	0,94	1,94	0,09	0,09	0,96
37	8,20	1,37	2,09	0,94	1,94	0,10	0,08	0,82
38	8,40	1,39	2,13	0,94	1,94	0,10	0,07	0,72
39	8,60	1,41	2,17	0,93	1,94	0,10	0,07	0,74
40	8,80	1,43	2,21	0,93	1,94	0,10	0,07	0,71
41	9,00	1,45	2,25	0,93	1,94	0,10	0,07	0,75
42	9,20	1,46	2,28	0,93	1,94	0,10	0,09	0,96
43	9,40	1,48	2,32	0,92	1,94	0,10	0,10	1,04
44	9,60	1,50	2,36	0,92	1,94	0,10	0,09	0,96
45	9,80	1,52	2,40	0,91	1,94	0,10	0,10	1,03
46	10,00	1,54	2,44	0,91	1,94	0,10	0,09	0,97
47	10,20	1,56	2,48	0,90	1,94	0,10	0,08	0,89
48	10,40	1,58	2,52	0,90	1,94	0,10	0,09	0,91
49	10,60	1,60	2,56	0,89	1,94	0,09	0,08	0,89
50	10,80	1,62	2,60	0,89	1,94	0,09	0,08	0,82
51	11,00	1,64	2,63	0,88	1,94	0,09	0,08	0,84
52	11,20	1,65	2,67	0,87	1,94	0,09	0,08	0,84
53	11,40	1,67	2,71	0,87	1,94	0,09	0,08	0,82
54	11,60	1,69	2,75	0,86	1,94	0,09	0,07	0,76
55	11,80	1,71	2,79	0,86	1,94	0,09	0,07	0,78
56	12,00	1,73	2,83	0,85	1,94	0,09	0,08	0,82
57	12,20	1,75	2,87	0,85	1,94	0,09	0,08	0,87
58	12,40	1,77	2,91	0,84	1,94	0,09	0,08	0,90
59	12,60	1,79	2,95	0,84	1,94	0,09	0,08	0,92
60	12,80	1,81	2,99	0,83	1,94	0,09	0,08	0,90
61	13,00	1,83	3,03	0,83	1,94	0,09	0,09	0,97
62	13,20	1,85	3,07	0,82	1,94	0,09	0,09	0,99
63	13,40	1,87	3,11	0,82	1,94	0,09	0,09	1,04
64	13,60	1,89	3,15	0,81	1,94	0,09	0,10	1,07
65	13,80	1,91	3,19	0,81	1,94	0,09	0,09	1,06
66	14,00	1,93	3,23	0,80	1,94	0,09	0,10	1,11
67	14,20	1,95	3,27	0,79	1,94	0,09	0,09	1,04
68	14,40	1,97	3,31	0,79	1,94	0,09	0,09	1,05
69	14,60	1,99	3,35	0,78	1,94	0,09	0,12	1,35
70	14,80	2,01	3,39	0,78	1,94	0,09	0,11	1,24
71	15,00	2,03	3,43	0,77	1,94	0,09	0,15	1,69

Indice di Liquefacibilità del deposito (I.L.): 3.85

Rischio di liquefazione: basso