DOTT. GEOL. GIUSTI ARRIGO
42019 SCANDIANO (R.E.) - VIA CESARI, 18
TEL. (0522) 984819 – (348) 9109596
www.geogiusti.it arrigogiusti@alice.it

COMUNE DI RUBIERA
(Provincia di Reggio nell'Emilia)

LOCALITÀ : VIA MARI , 13/A - CAPOLUOGO

ADEGUAMENTO STRUTTURALE SISMICO
PALESTRA – VIA MARI

COMMITTENTE : COMUNE DI RUBIERA

RELAZIONE GEOLOGICA E PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

CONSULENZE NEL CAMPO GEOLOGICO GEOTECNICO ED ESTRATTIVO

INDICE

- MORFOLOGIA, PEDOLOGIA E CARATTERISTICHE CLIMATICHE.....pag. 1

- CARATTERISTICHE DELLA CONOIDE DEL F. SECCHIA, LITOLOGIA DEL PRIMO SOTTOSUOLO E CENNI DI IDROGEOLOGIA.....pag. 2

- SISMICITÀ DELL'AREA.....pag. 5

- RISPOSTA SISMICA LOCALE.....pag. 11

- VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE.....pag. 15

- METODOLOGIA D'INDAGINE.....pag. 16

- CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE E PARAMETRI GEOTECNICI.....pag. 18

- RIEPILOGO E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE..... pag. 19

- **ALLEGATI:**

  - UBICAZIONE DELLE INDAGINI
  - PROVE PENETROMETRICHE STATICHE
  - SISMICA A RIFRAZIONE – DETERMINAZIONE DEL Vs30
  - VERIFICA A LIQUEFAZIONE

Con riferimento agli accordi intercorsi con l'Ing. Sabrina Bocedi, Responsabile del Servizio Pianificazione Sviluppo e Gestione del Patrimonio del Comune di Rubiera (RE) e con il Dott. Ing. Stafano Menozzi di Reggio nell'Emilia, trasmetto la presente relazione geologica e sulla pericolosità sismica di base redatta a supporto dell'adeguamento strutturale sismico della Palestra di Via Mari in Rubiera (RE).

(Foglio n° 26, mappale n° 390)

****

MORFOLOGIA, PEDOLOGIA E CARATTERISTICHE CLIMATICHE

L'area in oggetto di studio (52 m s.l.m.) appartiene alla vasta superficie pianeggiante della media pianura.

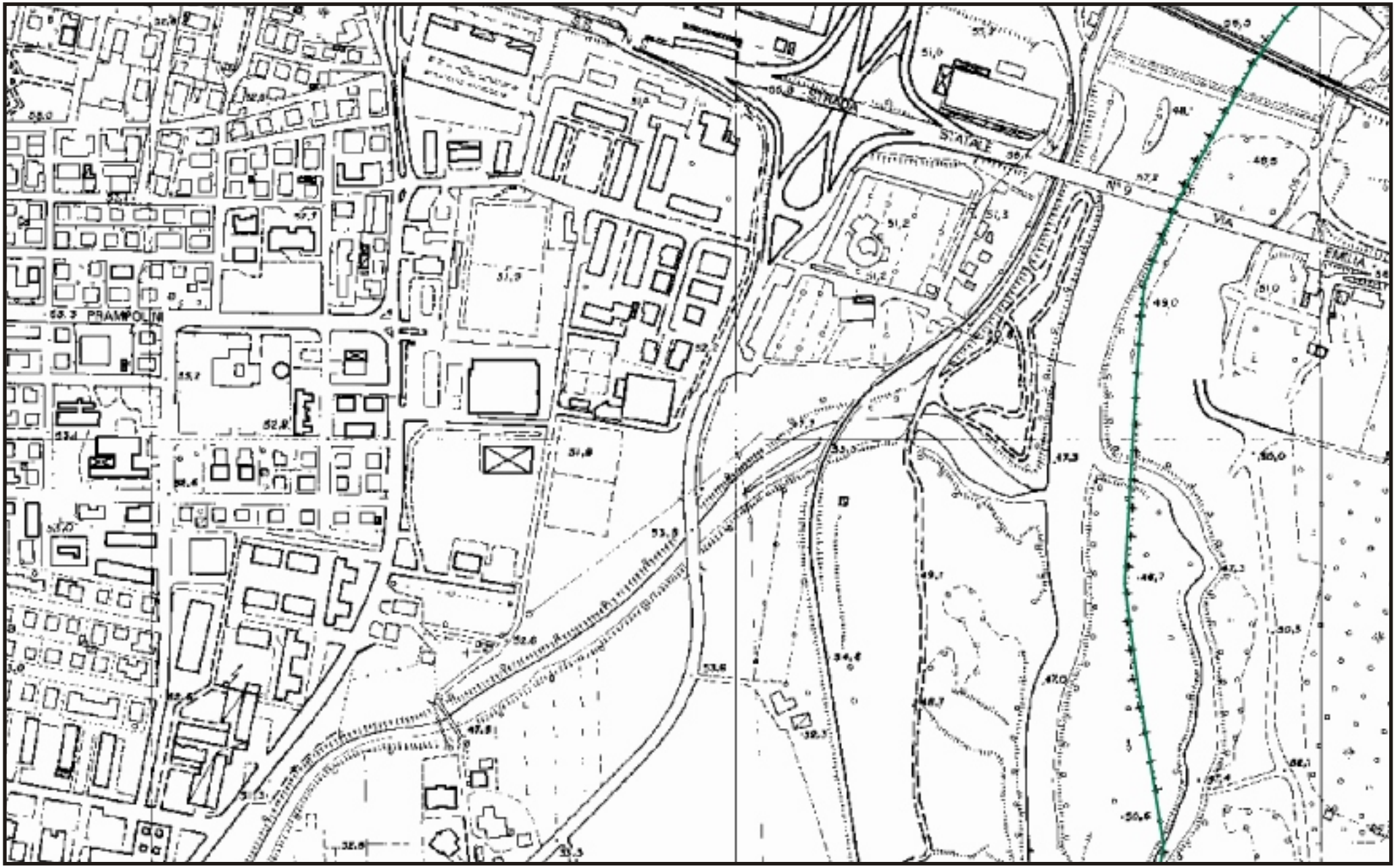
Questa zona, da un punto di vista idrogeologico, compete all'Unità Idrogeologica del Fiume Secchia. Tale Unità Idrogeologica, verso Ovest, sfuma per eteropia di facies nella Unità Idrogeologica dei corsi d'acqua minori.

Più precisamente, il terreno in esame, su cui sorge la palestra in oggetto, è ubicato nell'area sportiva comunale situata nella periferia Est dell'abitato di Rubiera, a settentrione della confluenza del T. Tresinaro nel F. Secchia, ad occidente della Strada Provinciale n° 51, che qui prende il nome di Via Contea (cf. stralci dalla C.T.R. elementi n° 201102 – Marzaglia, 201103 – Rubiera, 201143 – Salvaterra e n° 201144 – Rubiera Sud in scala 1:5.000, estratto di planimetria catastale in scala 1:2000 nonché immagine tridimensionale proposta sul frontespizio).

I suoli qui presenti, in parte asportati per consentire il posizionamento delle preesistenti strutture, degli entisuoli, appartengono all'associazione dei "suoli alluvionali". Si tratta di un suoli relativamente recenti, poco evoluti, a prevalente tessitura limosa e limo-argillosa, aventi una potenzialità colturale da buona ad elevata.

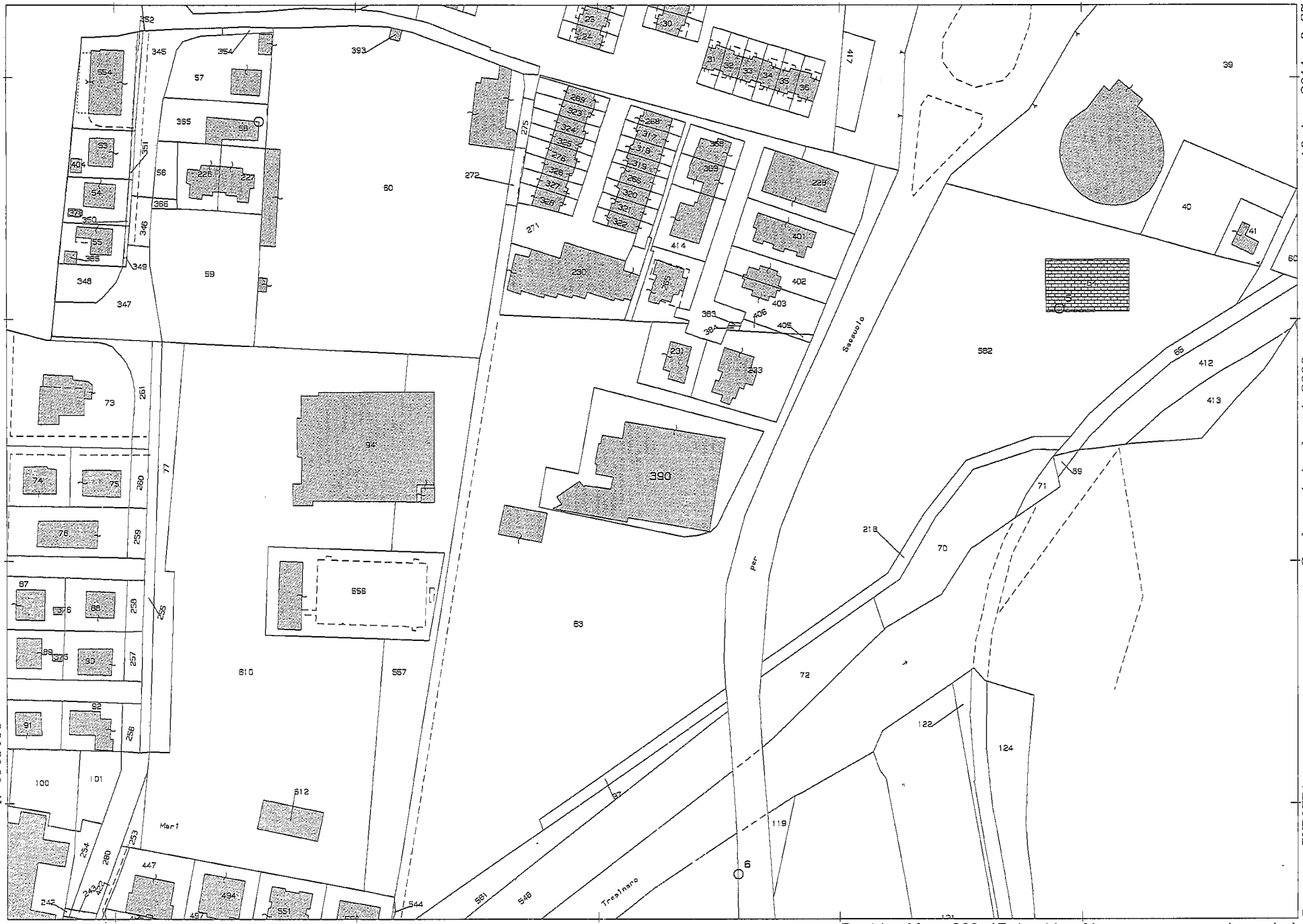
STRALCIO DALLA C.T.R. IN SCALA 1 : 5.000

Elementi n° 201102 - Marzaglia; n° 201103 - Rubiera; n° 201143 - Salvaterra e n° 201144 - Rubiera Sud



Ufficio Provinciale di REGGIO NELL'EMILIA - Direttore: DOTT. ING. POTITO SCALZULLI

Per Visura



Particella: 390,(Estratto di mappa non aggiornato)

Comune: RUBIERA
Foglio: 26

Scala originale: 1:2000
Dimensione cornice: 534.000 x 378.000 metri

19-Apr-2011 9:27
Prot. n. T51626/2011

Il regime pluviometrico della zona è di tipo continentale. Il valore medio annuo delle precipitazioni è di 790 mm con punte massime di piovosità in primavera ed autunno.

La temperatura media mensile è di 12.7 °C, con valori medi massimi di 29.8 °C, per il mese di luglio, e minimi di - 2.3 °C, per il mese di gennaio. L'escursione annua è quindi di 32.1 °C.

I venti predominanti provengono da N/NW.

CARATTERISTICHE DELLA CONOIDE DEL F. SECCHIA, LITOLOGIA DEL PRIMO SOTTOSUOLO E CENNI DI IDROGEOLOGIA

I terreni che costituiscono il primo sottosuolo appartengono alla conoide del F. Secchia.

La conoide (v. tavola allegata), con apice nei pressi di Sassuolo, è asimmetrica rispetto all'attuale corso del fiume, che si trova spostato sul margine occidentale; ha una lunghezza di circa 20 chilometri e una larghezza massima di 14. È una conoide molto piatta, che presenta longitudinalmente una doppia pendenza: nella parte alta, fino a quota 50 metri s.l.m., è mediamente dello 0.7%, in quella terminale, dello 0.3%.

La conoide, poggiante sui sedimenti argillosi marini plio-quaternari, è costituita da quattro unità litologiche sovrapposte, tre riconoscibili in superficie e la quarta sepolta; la più antica unità affiorante (I), che si raccorda con i terrazzi alti della valle del Secchia a sud di Sassuolo, è visibile in due strette fasce ai lati del fiume stesso dove in parte è ricoperta da un paleosuolo rossastro.

L'unità (II) rappresenta il massimo sviluppo areale, longitudinale e trasversale della conoide, mentre l'unità (III) è costituita dai depositi attuali reincisi dal corso d'acqua in questi ultimi anni a causa dell'abbassamento del letto causato dalle ingenti asportazioni di materiale per inerti.

Al di sotto delle tre unità sopradescritte è presente, non riconoscibile in superficie, la parte più antica della conoide, che poggia sui sedimenti marini; si tratta dell'unità più ampia e potente e che pertanto costituisce il corpo principale della conoide stessa.

Nella zona medio-distale della conoide (v. sezione b-b' che attraversa il territorio di Rubiera) nei primi 300 metri di profondità, corrispondente al pacco dei depositi continentali, si ha un'alternanza di livelli ghiaiosi e limo-argillosi in percentuale pressoché uguale. Dall'esame della sezione appare chiaramente come i livelli ghiaiosi siano raggruppati in due zone tra loro separate da un'area a prevalente costituzione limo-argillosa. La parte occidentale presenta banchi ghiaiosi regolari con ampio sviluppo laterale; nella parte orientale, invece, questi sono meno potenti e a forma irregolare, con andamenti lenticolari più marcati.

Come in precedenza accennato, la conoide risulta costituita da quattro unità, tre delle quali rilevabili in superficie ed una completamente sepolta. Le prime tre sono riconoscibili in campagna, in quanto corrispondono a tre ordini terrazzati e presentano caratteristiche litologiche diverse: ghiaie con paleosuolo rosso nella prima unità, ghiaie ricoperte da sabbie nella seconda e solo ghiaia fresca nella terza.

La distinzione dell'unità più antica, quella sepolta, è basata invece sui dati litologici ricavati dalle stratigrafie dei pozzi: in particolare dalla presenza, al tetto dell'unità sepolta, di un livello prevalentemente argilloso pedogenizzato di colore giallo-ocraceo e di straterelli parzialmente cementati solo nei livelli ghiaiosi sottostanti.

L'età della conoide alluvionale, in mancanza di riferimenti cronologici precisi, rimane assai incerta, compresa tra il Pleistocene inferiore del basamento marino e l'attuale.

Per quanto riguarda le quattro unità in cui è stata divisa la conoide è impossibile assegnare loro una qualsivoglia età; si può solo supporre (ipotesi da verificare possibilmente con esami palinologici) che il livello pedogenizzato, posto alla profondità di circa 60/70 metri, separi i depositi würmiani da quelli più antichi.

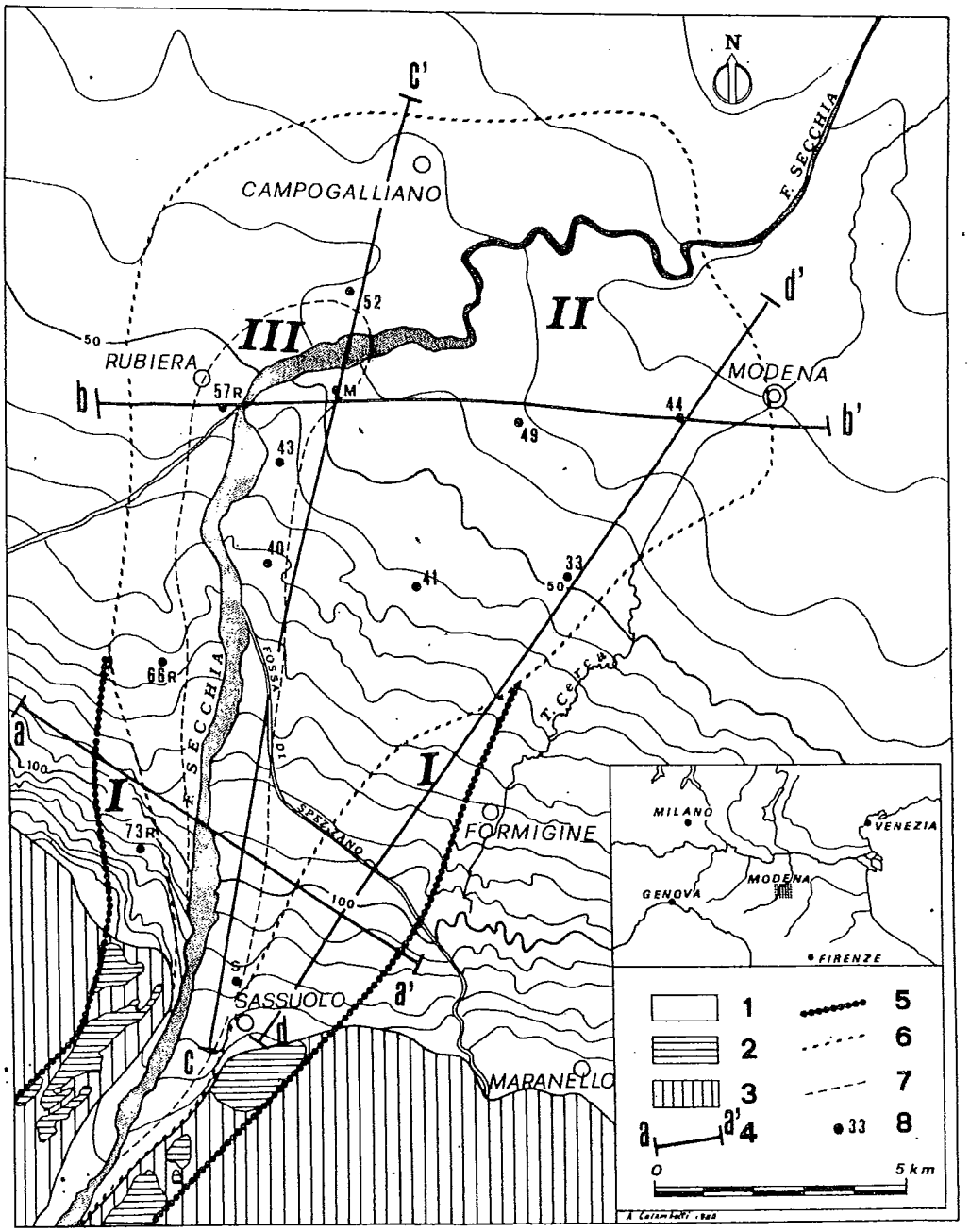
L'area in oggetto di studio è ascrivibile all'unità III (cf. planimetria della conoide del F. Secchia).

Secondo studi recenti, effettuati da ricercatori dell'Università di Modena - Istituto di Geologia, i depositi alluvionali che, in questa località, costituiscono il primo sottosuolo (Cf. stralcio della

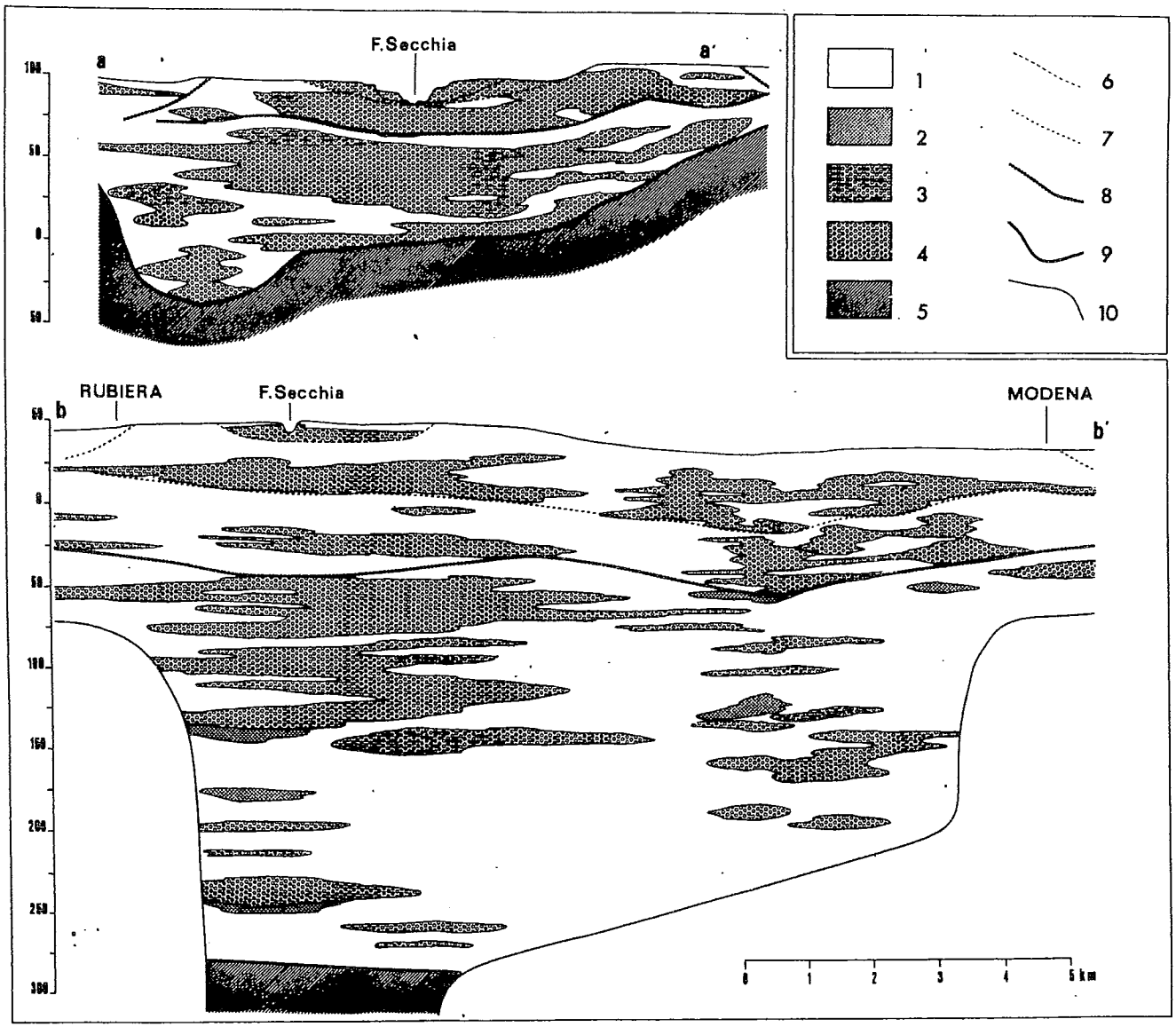
Carta Geologica del margine Appenninico e dell'Alta Pianura tra i fiumi Secchia e Panaro in scala 1 : 25.000), sono ascrivibili all'Unità dei corsi d'acqua principali al passaggio, verso occidente, fra terreni posteriori alle opere di difesa spondali costruite tra il XV°-XVI° e il XX° secolo e depositi molto più antichi ascrivibili al Neolitico – Romano. In litologia tutti questi terreni vengono descritti come "depositi ghiaiosi e sabbiosi delle conoidi pedemontane dei fiumi Secchia e Panaro".

Le prove penetrometriche statiche, in sintonia con quanto accertato da altre realizzate in terreni limitrofi a supporto di precedenti studi, hanno in effetti accertato, alla base di una coltre di limi ed argille della potenza di 1÷2 m, la presenza di un banco di sabbie e ghiaie che, per l'elevato grado di addensamento, non è stato possibile attraversare. La potenza di questo primo banco, indubbiamente crescente in direzione del fiume, è tuttavia contenuta se è vero che sezioni a largo raggio che lo rappresentano ne individuano, all'altezza del corso attuale del fiume, uno spessore massimo di una decina di metri. Indubbiamente si tratta di ghiaie in matrice limo argillosa, visto che il sondaggio sismico a rifrazione ha restituito una velocità di propagazione delle onde sismiche di poco inferiore a 300 m/sec. Oltre questo primo banco le sezioni rappresentano nuovamente limi ed argille e solo oltre i 20 m di profondità un secondo potente banco di sabbie e ghiaie. A queste ghiaie, accertate dalla sismica a rifrazione ad oltre 24 m di profondità, il sondaggio ha restituito velocità di propagazione di 484 m/sec, chiaro indizio di un più elevato grado di addensamento.

Viste le caratteristiche del deposito alluvionale, il drenaggio delle acque è certamente in direzione del fiume e vi è sicuramente una correlazione della prima falda con le acque di subalveo del Secchia. Nei fori di sondaggio delle prove, in sintonia con altre realizzate a quest'altezza, vista tra l'altro la difficoltà di infissione entro il banco litoide, non è stata mai accertata presenza d'acqua; il livello, in relazione alla differenza di quota fra l'area in esame (52 m s.l.m.) ed il letto del fiume (47.3÷47 m s.l.m.), è quindi con ogni probabilità nell'ordine di circa 5 m rispetto alla quota del piano cortilivo. Le carte tematiche nella zona segnalano poi l'esistenza di un secondo acquifero a 15÷20 m sempre rispetto al piano campagna; indubbiamente quest'acquifero attinge nel secondo banco di sabbie e ghiaie come detto situato a partire da 20÷25 m dal p.c.



- **Planimetria della conoide del F. Secchia.** 1) Alta e media pianura costituita da ghiaia, sabbia, limi e argille; 2) terrazzi collinari di vario ordine con suolo ocraceo; 3) formazioni limo-argillose plio-quaternarie del margine collinare; 4) tracce delle sezioni litostratigrafiche; 5) limiti della conoide antica (I); 6) limiti della conoide recente (II); 7) limiti della conoide attuale (III); 8) ubicazione e numero d'ordine dei pozzi delle tabelle 1 e 2; M = pozzo di Marzaglia.



- **Sezioni litostratigrafiche trasversali alla conoide del F. Secchia.** Depositi fluviali 1) Limi e argille; 2) sabbie a varia granulometria; 3) ghiaie e ciottoli con abbondante matrice limosa per lo più di colore ocraceo; 4) ghiaie a varia granulometria con ciottoli e straterelli di conglomerato; 5) Depositi marini plio-pleistocenici: argille e limi con livelli subordinati di sabbia con ghiaie e conglomerato; 6) limite della conoide attuale (I); 7) limite della conoide recente (II); 8) limite della conoide antica (III); 9) limite fra terreni continentali e marini; 10) limite delle conoscenze.

CARTA GEOLOGICA DEL MARGINE APPENNINICO E DELL'ALTA PIANURA TRA I FIUMI SECCHIA E PANARO

SCALA 1:25000

1a' — **Depositi terrazzati negli alvei attuali:** ghiaie e sabbie, prevalenti, dei fiumi principali; limi e sabbie, prevalenti, degli alvei minori, comprensivi dei depositi limo-argillosi colluviali ad essi talora sovrapposti.
Età: *Attuale.*

1b — **Riempimento degli alvei minori relitti:** sedimenti limo-sabbiosi di prevalente origine colluviale.
Età: *Attuale.*

2a, 3a, 4a — **Unità dei corsi d'acqua minori:** depositi di conoide alluvionale limo-sabbiosi e argillosi e sabbioso-limosi con lenti di ghiaie; a tetto suoli alluvionali poco evoluti(*):
- 2a posteriori alle opere di difesa spondali costruite tra il XV-XVI e il XX secolo.
  Età: *XV-XX secolo.*
- 3a ricoprenti evidenze archeologiche di età romana.
  Età: *Medioevo.*
- 4a alla base materiali archeologici neolitici e a tetto o in superficie materiali archeologici dell'Età del bronzo e romana.
  Età: *Neolitico - Romano.*

2b, 3b, 4b — **Unità dei corsi d'acqua principali:** depositi ghiaiosi e sabbiosi delle conoidi pedemontane dei fiumi Secchia e Panaro; a tetto suoli alluvionali poco evoluti:
- 2b posteriori alle opere di difesa spondali costruite tra il XV-XVI e il XX secolo. L'Unità comprende i depositi sabbiosi e limosi delle aree golenali e degli alvei abbandonati.
  Età: *XV-XX secolo.*
- 3b Età: *Medioevo.*
- 4b Età: *Neolitico - Romano.*

5a, 5b, 5c — **Pianura alluvionale:** depositi argillosi (a), limosi (b) e sabbiosi (c) stratificati o massivi, di prevalente accrescimento verticale nella piana alluvionale, costituenti anche dossi fluviali, argini naturali e ventagli di esondazione. Sono laterali e coevi a: 3a, 4a, 3b, 4b. A tetto suoli alluvionali poco evoluti.
Età: *Neolitico - Medioevo.*

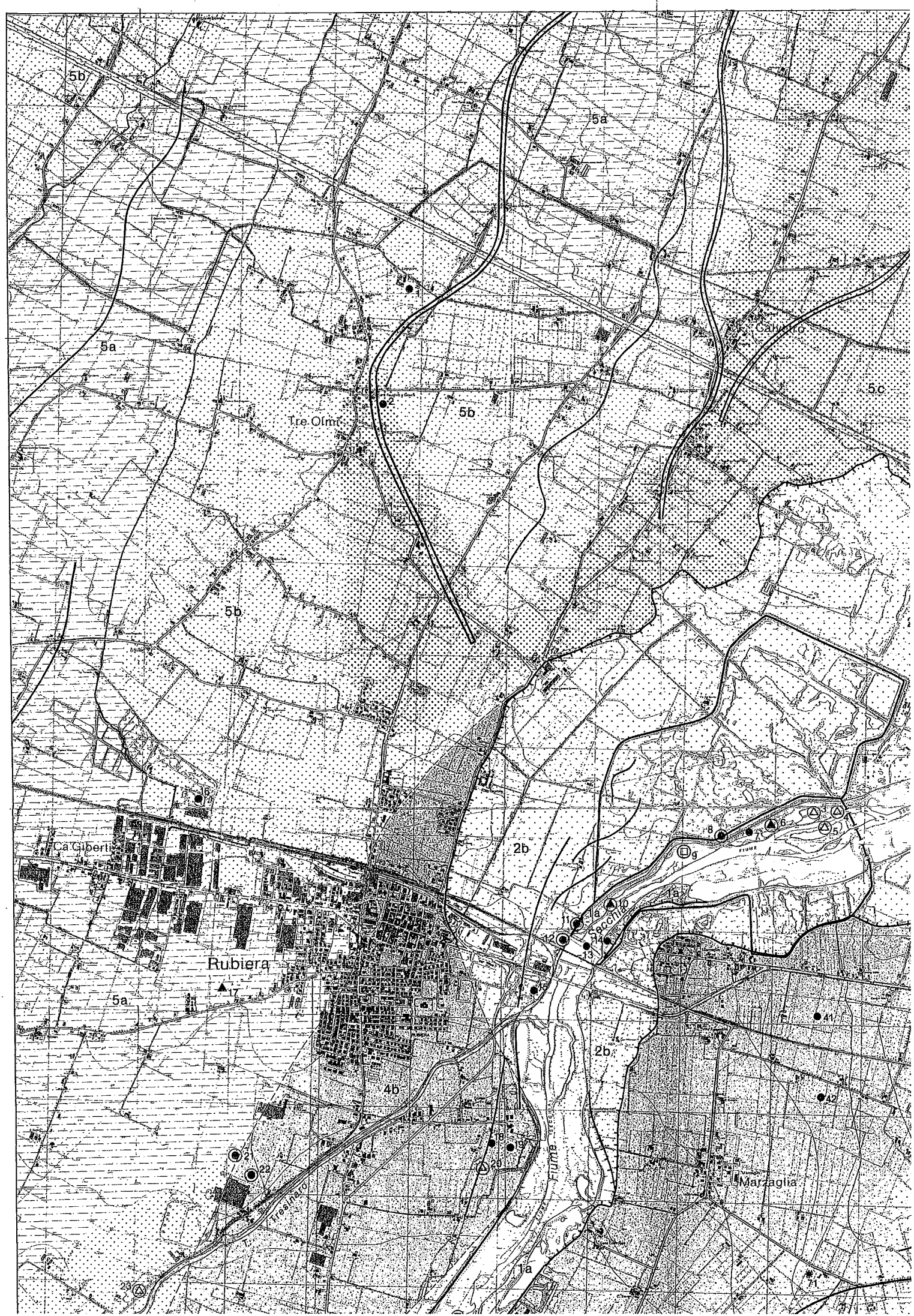
DATI STRUTTURALI

- Principali accumuli di frana
- Paleofrane
- Depositi colluviali
- Colate delle "salse"
- Conoidi alluvionali dei corsi d'acqua minori
- a, b — Principali paleoalvei individuati dalla morfologia (dossi) (a) e dalle fotografie aeree (b), in 5.
- Orli di scarpate
- Opere di difesa spondali: argini in rilevato e in muratura o cemento; argini delle casse in espansione.
- Cave di ghiaia e "argille": il colore indica l'Unità affiorante al loro interno.
- Salse, emergenze di acque salate di fondo e/o idrocarburi per lo più gassosi
- 15 — Assetto degli strati: inclinati, orizzontali, verticali.
- Faglie e loro probabile prosecuzione.

CENSIMENTO DELLE PRESENZE ARCHEOLOGICHE

In superficie (fino a m 1 dal p.c.)	Sepolti	In posizione non conosciuta	Età
*	⊛	⊛	Medioevo
●	◉	◉	Età romana — presenza isolata
	▨		Età romana — area urbana (Mutina)
	⧄		Età romana — area suburbana e necropoli di Mutina
△	⊙	⊙	Età del ferro
▲	⊙	⊙	Età del bronzo
□	⊡	⊡	Eneolitico-Neolitico
■	⊠	⊠	Paleolitico

La numerazione fa riferimento al censimento delle presenze archeologiche riportate nel testo. La diversa densità dei siti archeologici riportati deriva da una non omogenea esplorazione sistematica.


5b
5a
5a
5b
5c
Tre Olmi
5b
2b
Ca Giberti
Rubiera
5a
4b
2b
Fiume
Tresinaro
Marzaglia
1a
Secchia
Fiume

LITOLOGIA DI SUPERFICIE E ISOBATE DEL TETTO DEL PRIMO LIVELLO GHIAIOSO

GHIAIE E TERRENI PREVALENTEMENTE GHIAIOSI

SABBIE E TERRENI PREVALENTEMENTE SABBIOSI

LIMI E TERRENI PREVALENTEMENTE LIMOSI

ARGILLE E TERRENI PREVALENTEMENTE ARGILLOSI

5

ISOBATE DEL TETTO DELLE GHIAIE E LORO ANDAMENTO PRESUNTO
(il valore 0 coincide sempre con il limite litologico)

4

LENTI SUPERFICIALI DI GHIAIA AL DI SOPRA DEL TETTO INDIVIDUATO DALLE ISOBATE

>20

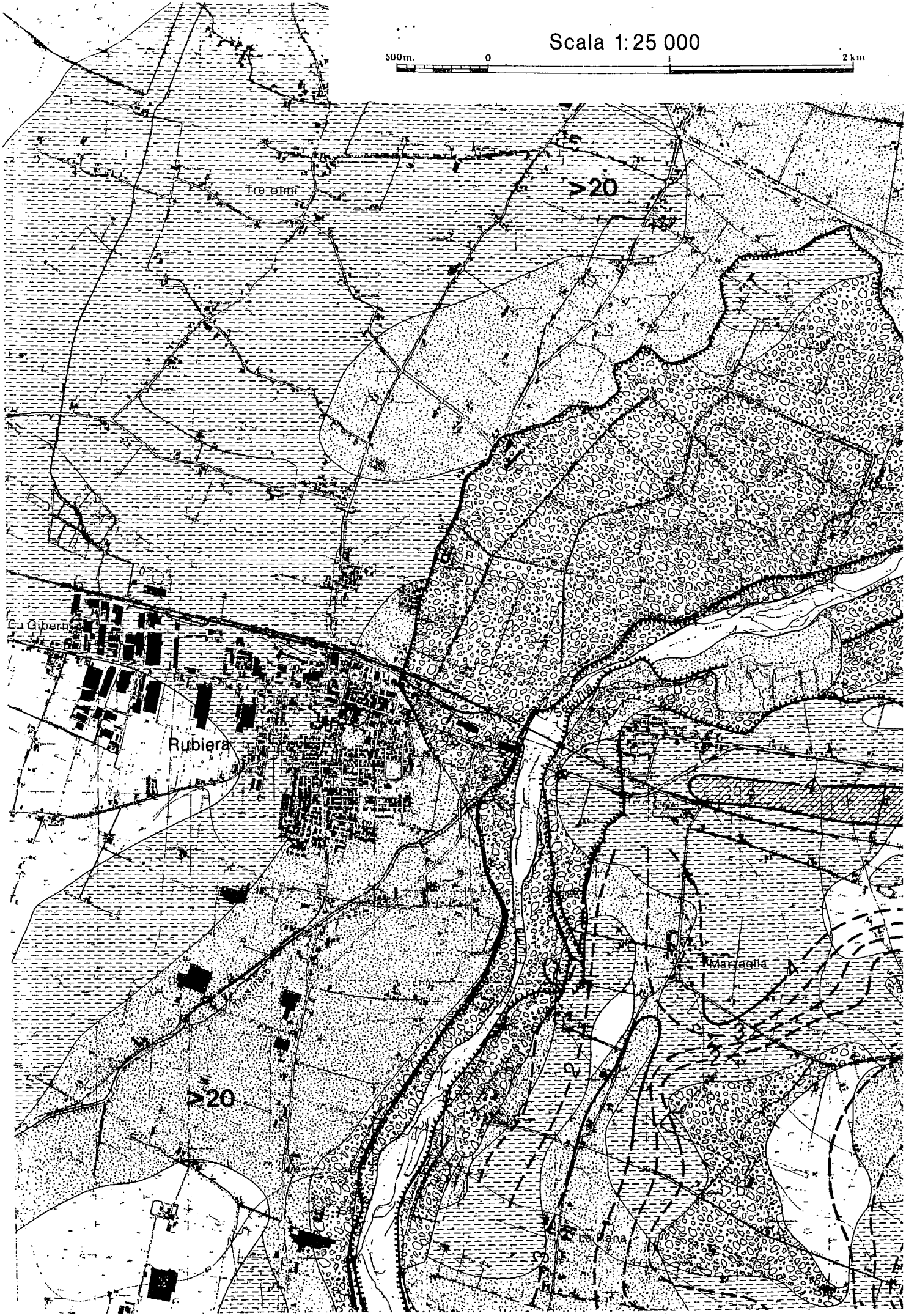
PROFONDITÀ DEL TETTO DELLE GHIAIE MAGGIORE DI m 20 DAL PIANO CAMPAGNA

AREE CON LENTI DI GHIAIA NON ANASTOMIZZANTISI E CHE QUINDI NON COSTITUISCONO UNA SUPERFICIE CONTINUA

ALVEO FLUVIALE

ORLI DI SCARPATE

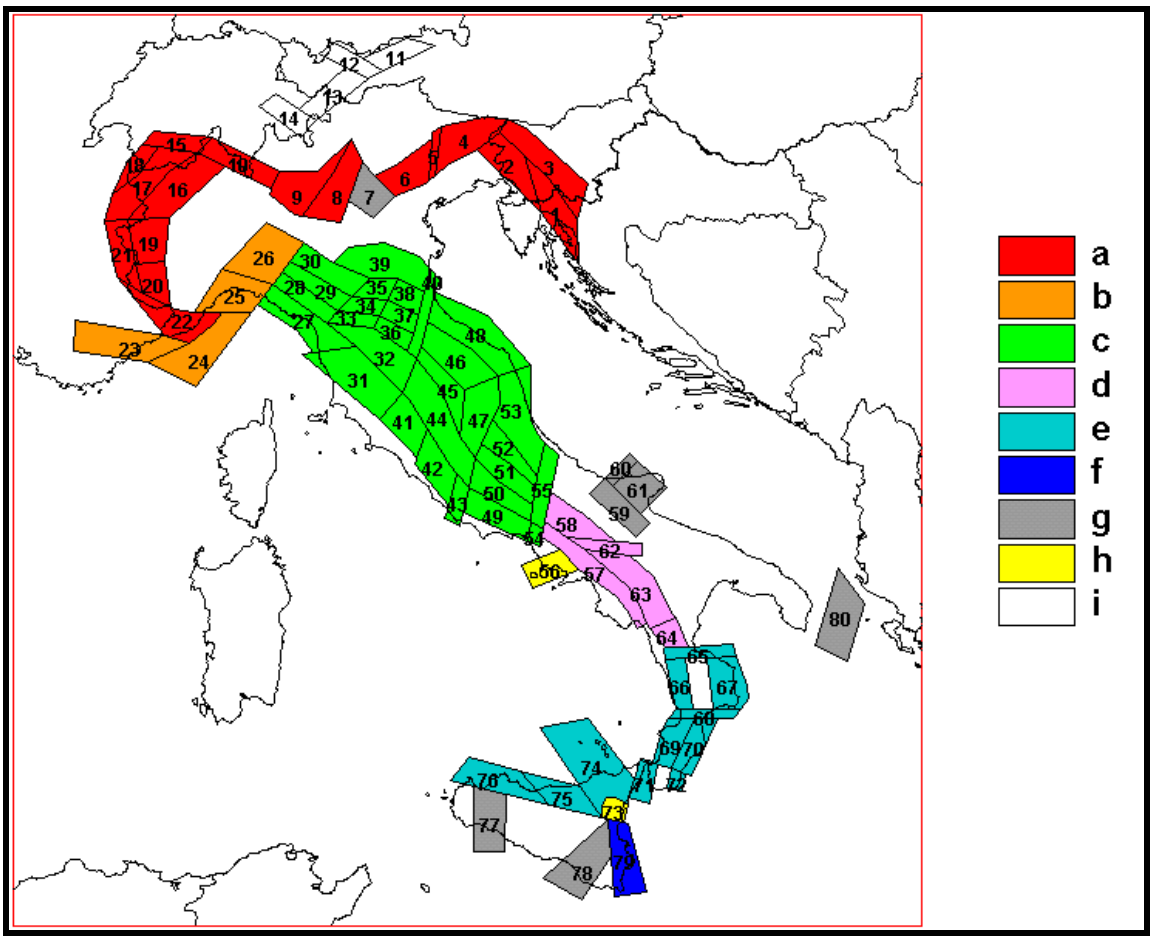
LIMITE DELL'ALTA PIANURA


Scala 1:25 000
500m.
0
1
2 km
Tre olmi
>20
Cu Giberna
Rubiera
Manzaglia
>20
la Piana

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 al passaggio tra l'area 30 e la 39, appartenenti 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).

L'intensità massima risentita nella zona, come risulta dai dati del catalogo del Servizio Sismico Nazionale, non ha superato in epoca storica il valore del VII grado MCS (cf. tabelle qui di seguito allegate).

Storia sismica di Rubiera (RE)
[44.653, 10.783]

Osservazioni disponibili: 14

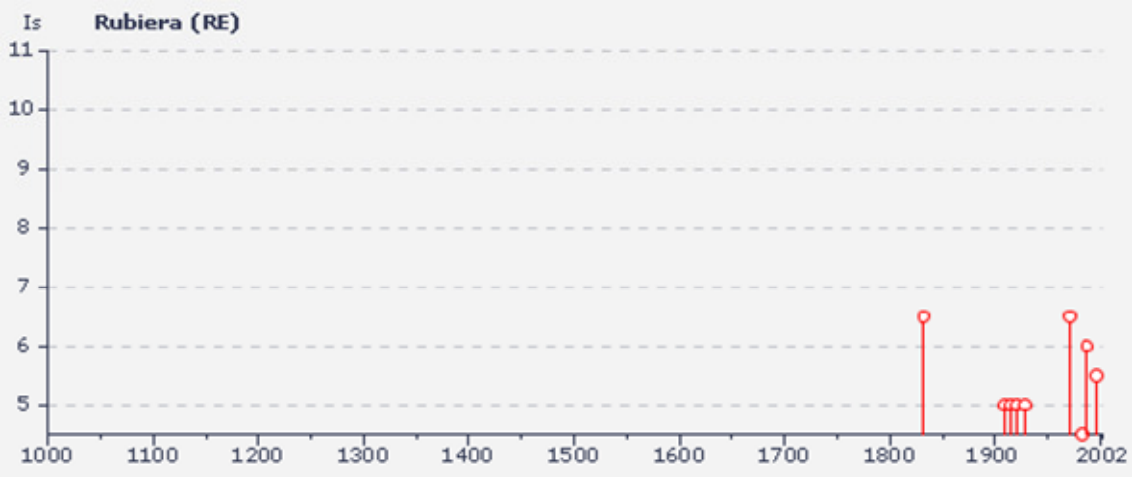
Effetti	In occasione del terremoto:			
Is	Anno Me Gi Or Mi Se	AE	Io	Mw
6-7	1832 03 13 03 30	Reggiano	7-8	5.59
6-7	1971 07 15 01 33 23	Parmense	7-8	5.61
6	1987 05 02 20 43 53	REGGIANO	6	5.05
5-6	1996 10 15 09 55 60	CORREGGIO	7	5.44
5	1909 01 13 45	BASSA PADANA	6-7	5.53
5	1915 10 10 23 10	REGGIO EMILIA	6	5.01
5	1920 09 07 05 55 40	Garfagnana	9-10	6.48
5	1928 06 13 08	CARPI	6-7	4.85
4-5	1983 11 09 16 29 52	Parmense	6-7	5.10
4	1898 03 04	CALESTANO	6-7	5.07
1-2	1995 10 10 06 54 22	LUNIGIANA	7	5.04
NF	1909 08 25 22	MURLO	7-8	5.40
NF	1965 11 09 15 35	ALTA V. SECCHIA	5	5.01
NF	1986 12 06 17 07 19	BONDENO	6	4.56

Intendendo:

Is = Intensità al sito (MCS)

Io = Intensità epicentrale (MCS)

Mw = Magnitudo



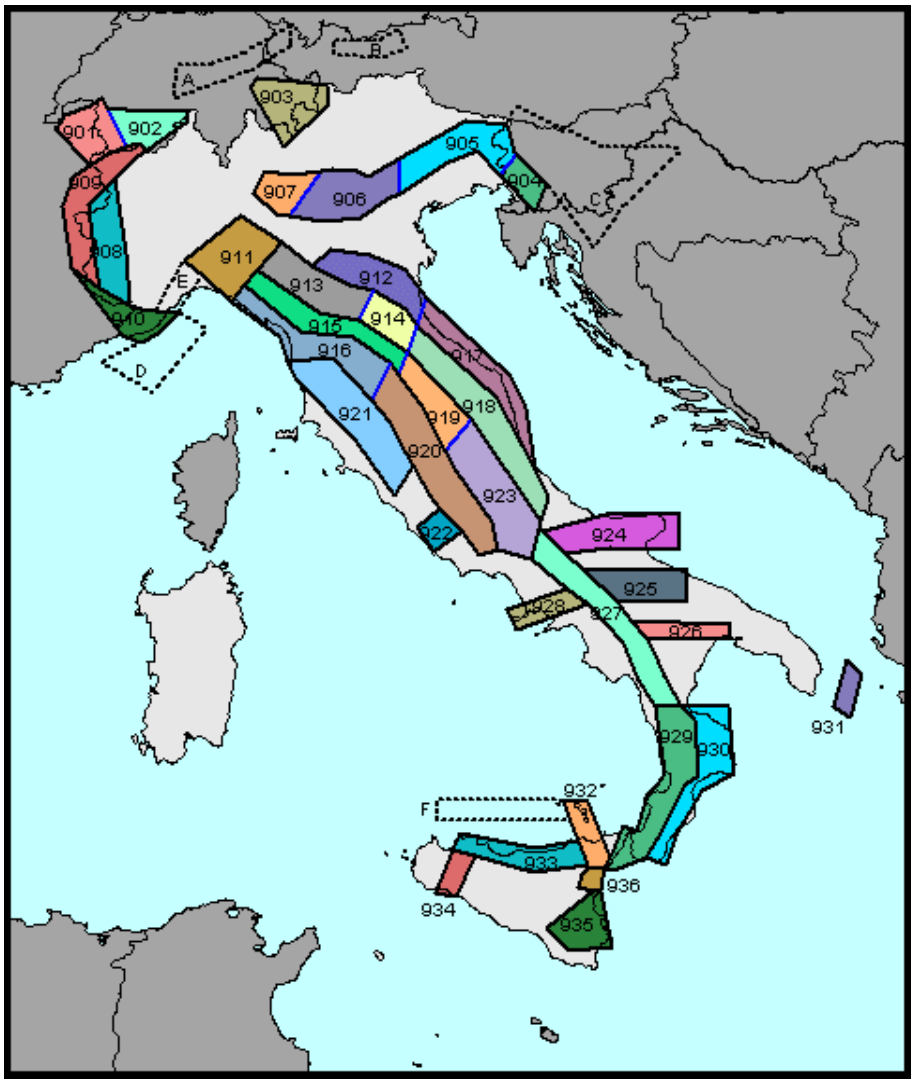
La precedente rappresentazione evidenzia, molto semplicemente, gli eventi della precedente tabella nel rapporto tra anni (in ascisse) ed intensità sismica (in ordinate).

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 Rubiera, 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 24710/2005 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 Rubiera, 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 0.162.



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 quattro 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 (Vs) ed il rispettivo spessore (d) (cf. tabelle e diagrammi proposti in allegato).

Per i primi quattro strati, prendendo come riferimento di partenza il piano d'appoggio delle fondazioni e quindi la profondità di circa 1 m rispetto alla quota dell'attuale piano cortilivo, sono stati rispettivamente ottenuti i seguenti valori di:

1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO	4° STRATO
V_S = 235 m/sec	V_S = 294 m/sec	V_S = 332 m/sec	V_S = 484 m/sec
d = 1.9 m	d = 11.8 m	d = 9.9 m	d = 6.4 m

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

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{hi}{vi}}$$

dove:

hi = spessore dello strato iesimo, m

vi = velocità onde di taglio strato iesimo, m/sec

ottenendo:

$$V_{S30} = 328.7 \text{ m/sec}$$

In ottemperanza con quanto prescritto dalla normativa, viste le caratteristiche del primo sottosuolo, il suolo di fondazione può essere assimilato alla <u>*categoria C di azione sismica*</u> "*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 $70 < c_{u\,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

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.

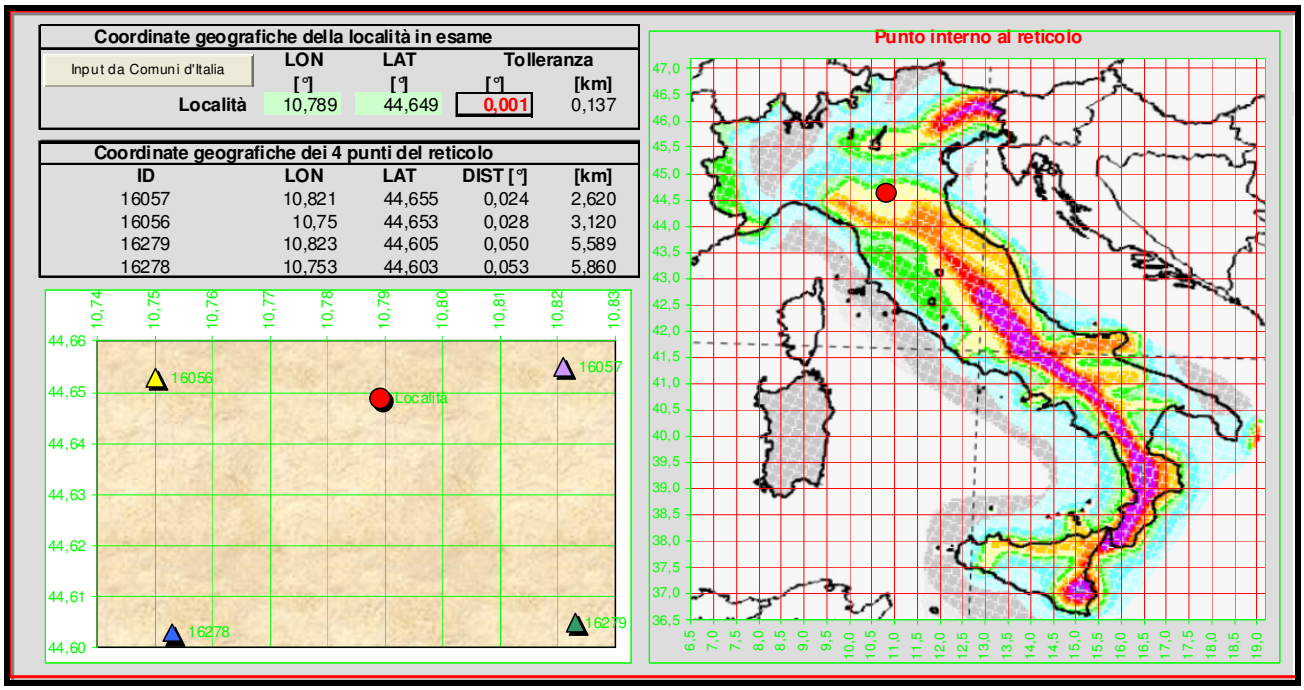
Le Azioni di progetto, per un suolo rigido orizzontale, vengono ricavate in funzione di tre parametri:

- ag = accelerazione orizzontale massima
- Fo = fattore di amplificazione massimo dello spettro in accelerazione orizzontale
- Tc* =periodo inizio tratto costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

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

I valori dei parametri ag, Fo e Tc* 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).



Coordinate geografiche della località in esame

Input da Comuni d'Italia	LON [°]	LAT [°]	Tolleranza [°]	[km]
Località	10,789	44,649	0,001	0,137

Coordinate geografiche dei 4 punti del reticolo

ID	LON	LAT	DIST [°]	[km]
16057	10,821	44,655	0,024	2,620
16056	10,75	44,653	0,028	3,120
16279	10,823	44,605	0,050	5,589
16278	10,753	44,603	0,053	5,860

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	50	[anni]
Classe d'uso	C_U	III	
Vita di riferimento	V_R	75	[anni]

CARATTERISTICHE SISMICHE TERRENO

Topografia		T1
Coeff. topografico	S_T	1,0
Categoria suolo		C

	SL	P_{VR}	T_R	a_g	F_o	T_C^*	S	Tb	T_C	T_D	F_v
sle	Operatività	81%	45	0,587	2,49	0,27	1,50	0,14	0,43	1,83	0,82
sle	**Danno**	63%	75	0,736	2,47	0,27	1,50	0,15	0,44	1,89	0,90
slu	**Salv. Vita**	10%	712	1,865	2,38	0,30	1,43	0,16	0,47	2,35	1,39
slu	Collasso	5%	1462	2,366	2,40	0,31	1,36	0,16	0,48	2,55	1,58

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

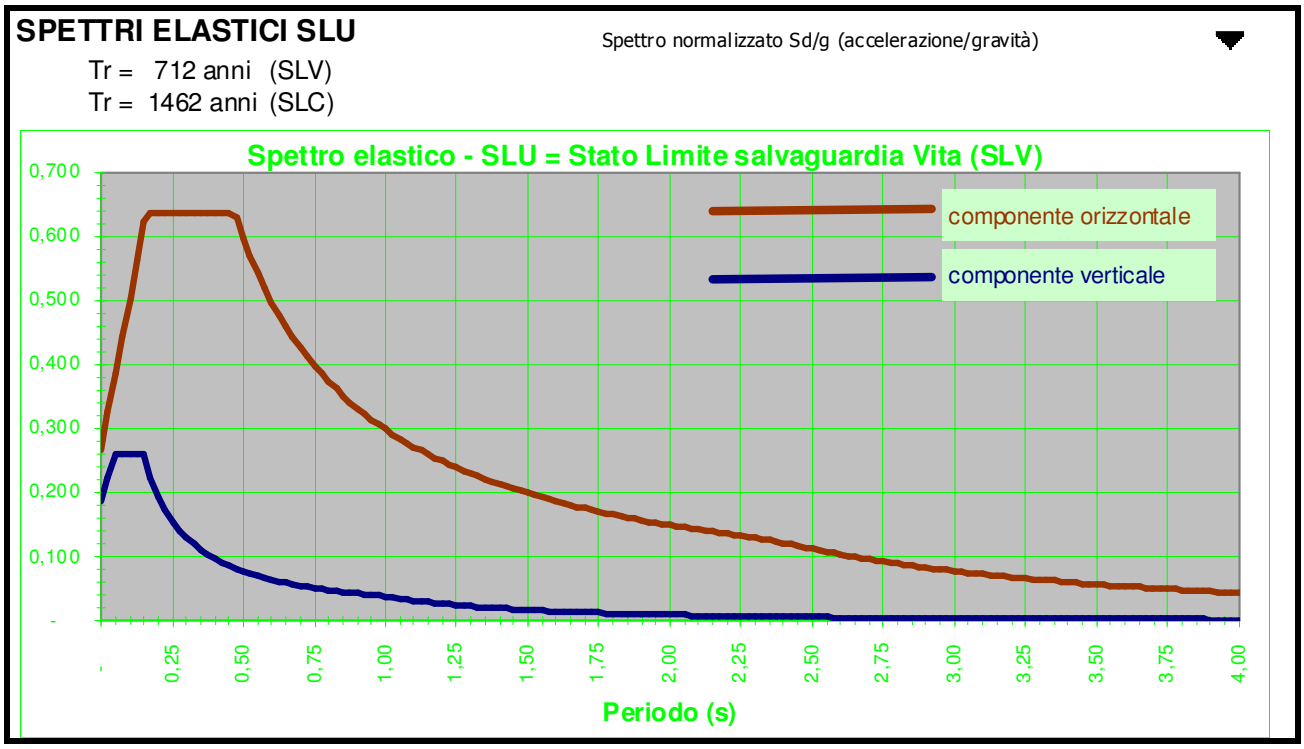
$$ag = ag/g = 1.865/\ 9.81 = 0.190$$

$$Fo = 2.38$$

$$Tc^* = 0.30$$

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:

$$a_{max} = Ss \cdot St \cdot ag$$

in cui:

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

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

ag = accelerazione orizzontale massima sul suolo di categoria A.

Tabella 3.2.V – *Espressioni di* S_S

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

Nel caso in esame potrà essere assunto:

VN 50 anni - Classe d'Uso III

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

Ss = 1.43 - Categoria sottosuolo C

St = 1.0 - Categoria topografica T1

ag = 0.190·g

Sulla base dei dati sopra riportati risulta pertanto che:

$$a_{max} = Ss \cdot St \cdot ag = 1.43 \cdot 1.0 \cdot 0.190 = 0.272 \cdot g$$

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE

Con il termine di 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 richiesto dai punti 7.11.3.4.2. e C7.11.3.4.2. delle NTC 2008, per la presenza di Magnitudo superiori a 5, si è quindi proceduto alla verifica della liquefazione del terreno.

In assenza, nei primi metri, di livelli di spessore significativo di sabbie limose e sabbie sature d'acqua è stato appurato, con l'ausilio del programma LAN prodotto dalla Ditta Aztec Informatica, che il primo sottosuolo presenta un valore molto basso di rischio di liquefazione. La verifica (cf. tabelle, diagrammi e profili proposti in allegato) è stata effettuata sia con i metodi che utilizzano prove penetrometriche statiche (Seed; Seed Modificato; Tokimatsu; Iwasaki ed Eurocodice 8) sia con quelli che si avvalgono delle prove sismiche a rifrazione (Andrus e Stokoe 1997 ed Eurocodice 8).

METODOLOGIA D'INDAGINE

Le caratteristiche stratigrafiche ed i parametri geotecnici del primo sottosuolo vengono qui di seguito restituiti sulla base dei dati acquisiti con due prove penetrometriche ed un sondaggio sismico a rifrazione.

Le *penetrometrie* sono state eseguite utilizzando un penetrometro statico tipo GOUDA da 10 t.

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 cm/sec ± 0.5 cm/sec).

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 ϕ = 35.7 mm
- area della punta conica Ap = 10 cm^2
- angolo apertura del cono α = 60°
- superficie laterale del manicotto m = 150 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):

- Rp (Kg/cm^2) = resistenza alla punta (conica)

- RL (Kg/cm^2) = resistenza laterale (manicotto)

(la resistenza alla punta Rp e la resistenza laterale RL 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 Rp/RL fra la resistenza alla punta e la resistenza laterale del penetrometro (Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977), ovvero in base ai valori di Rp e del rapporto FR = (RL/Rp) % (esperienze di Schmertmann - 1978).

Sempre con riferimento alle prove penetrometriche statiche CPT, nelle tavole allegate sono riportate indicazioni concernenti i principali parametri geotecnici (coesione non drenata Cu, angolo di attrito interno efficace ϕ', densità relativa Dr, modulo edometrico Mo, moduli di deformazione non drenato Eu e drenato E', peso di volume Y, ecc.).

Il *sondaggio sismico a rifrazione*, per la valutazione della velocità di propagazione delle Vs30, è stato invece effettuato mediante l'utilizzo del programma winMASW 4.1.1 Pro. Vengono restituiti in allegato il:

- report dei dati con indicate le distanze tra i ricevitori (geofoni), lo spessore degli strati e la velocità di propagazione delle onde sismiche;
- dataset di campagna, spettro di velocità picking della curva di dispersione;
- spettro di risposta al sito per identificare la frequenza di risonanza del terreno;
- rappresentazione del modello del sottosuolo - spessori e valori di Vs;
- tabelle e rappresentazione grafica dei risultati.

CARATTERISTICHE STRATIGRAFICHE E PARAMETRI GEOTECNICI

Come in precedenza sottolineato, le indagini consentono di ricostruire, per i vari strati, le *caratteristiche stratigrafiche* ed i *parametri geotecnici*:

Livello A

Strato che dal piano campagna, annettendo la coltre di terreno vegetale, si approfondisce sino a 2 m costituito in prevalenza da limi ed argille, con valori di:

γ = 1.85 t/m^3 = 18.14 kN/m^3

Cu = 0.8 kg/cm^2 = 78.45 kPa

ϕ' = 20 [°]

Livello B

Oltre 2 m dal piano cortilivo vi è un banco di sabbie e ghiaie in matrice limo argillosa, con valori di:

γ = 2 t/m^3 = 19.61 kN/m^3

Cu = 0 kg/cm^2 = 0 kPa

ϕ' = 35 [°]

dove:

γ = peso di volume

Cu = coesione non drenata

ϕ' = angolo di attrito

RIEPILOGO E CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Le prove penetrometriche statiche, in sintonia con quanto appurato da altre realizzate in terreni limitrofi a supporto di precedenti studi, hanno accertato, alla base di una coltre di limi ed argille della potenza di 1÷2 m, la presenza di un banco di sabbie e ghiaie ad elevato grado di addensamento. Questi materiali sono ascrivibili ad antichi depositi del corso d'acqua; in tal senso, le carte tematiche segnalano che l'area in esame ricade al passaggio, verso occidente, fra terreni posteriori alle opere di difesa spondali costruite tra il XV°-XVI° e il XX° secolo e depositi molto più antichi ascrivibili al Neolitico – Romano.

In ottemperanza con quanto prescritto dalla normativa, viste le caratteristiche del primo sottosuolo, il suolo di fondazione può essere 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 $70 < c_{u\,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

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 ag, Fo e Tc* 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: ag = ag/g = 1.865/ 9.81 = 0.190; Fo = 2.38; Tc* = 0.30.

Elaborando i dati, il programma ha prodotto gli spettri elastici SLU; è stata inoltre calcolata l'accelerazione massima attesa al sito di $a_{max} = Ss \cdot St \cdot ag = 1.43 \cdot 1.0 \cdot 0.190 = 0.272 \cdot g$.

In conformità con richiesto dai punti 7.11.3.4.2. e C7.11.3.4.2. delle NTC 2008, per la presenza di Magnitudo superiori a 5, si è quindi proceduto alla verifica della liquefazione del terreno. In assenza, nei primi metri, di livelli di spessore significativo di sabbie limose e sabbie sature d'acqua

è stato appurato, con l'ausilio del programma LAN prodotto dalla Ditta Aztec Informatica, che il primo sottosuolo presenta un valore molto basso di rischio di liquefazione. La verifica (cf. tabelle, diagrammi e profili proposti in allegato) è stata effettuata sia con i metodi che utilizzano prove penetrometriche statiche (Seed; Seed Modificato; Tokimatsu; Iwasaki ed Eurocodice 8) sia con quelli che si avvalgono delle prove sismiche a rifrazione (Andrus e Stokoe 1997 ed Eurocodice 8).

Sulla base dei parametri geomeccanici del terreno acquisiti con le indagini si è infine proceduto alla valutazione del peso di volume (γ), dell'angolo di attrito interno (ϕ) e della coesione non drenata (Cu) per gli strati che caratterizzano il primo sottosuolo. Suddetti valori potranno essere utilizzati a supporto della valutazione della capacità portante e dei cedimenti ai sensi delle prescrizioni delle normative vigenti, in particolare del D.M. 14/01/2008.

Come segnalato nei precedenti capitoli, viste le caratteristiche del deposito alluvionale, il drenaggio delle acque è certamente in direzione del fiume; esiste inoltre sicuramente una correlazione della prima falda con le acque di subalveo del Secchia.

In tal senso, pur non essendo stato possibile, visto l'elevato grado di addensamento delle ghiaie, penetrare in profondità nel banco litoide, in relazione alla differenza di quota fra l'area in esame (52 m s.l.m.) ed il letto del fiume (47.3÷47 m s.l.m.), si ha ragione di ritenere che l'acqua possa permeare il deposito alluvionale a circa 5 m rispetto alla quota del piano cortilivo.

Pur essendo possibile una variazione del livello in relazione alle condizioni di piena o di magra del fiume, è da escludere un'interazione di queste acque con la base d'appoggio delle fondazioni.

Vista la natura del primo sottosuolo, per la presenza, al di sopra del primo banco di ghiaie, di materiali di natura coesiva, per loro natura impermeabili, per limitare il ristagno e l'ammollimento del terreno alla base delle fondazioni è altresì in ogni caso opportuno che tutte le acque meteoriche e di scarico vengano raccolte ed allontanate, utilizzando tubazioni e raccordi a perfetta tenuta, in direzione della rete fognaria principale. Si tenga infatti presente che, in concomitanza di periodi di siccità, la frazione argillosa può essere soggetta a fenomeni di ritiro oltremodo pericolosi per la staticità delle strutture in elevazione.

Nel rispetto di quanto in precedenza esposto e delle disposizioni delle leggi vigenti, siano esse nazionali che regionali (D.M. 14/01/2008 “Norme tecniche per le costruzioni”) che prescrivono un’attenta verifica dell’idoneità delle strutture in funzione delle caratteristiche del primo sottosuolo, si attesta l’idoneità del terreno all’attuazione dell’intervento edilizio in progetto e si concede quindi parere geologico favorevole.

Scandiano, giugno 2011

ALLEGATI

A) UBICAZIONE INDAGINI

B) PROVE PENETROMETRICHE STATICHE
(effettuate con penetrometro statico tipo GOUDA da 10 t)

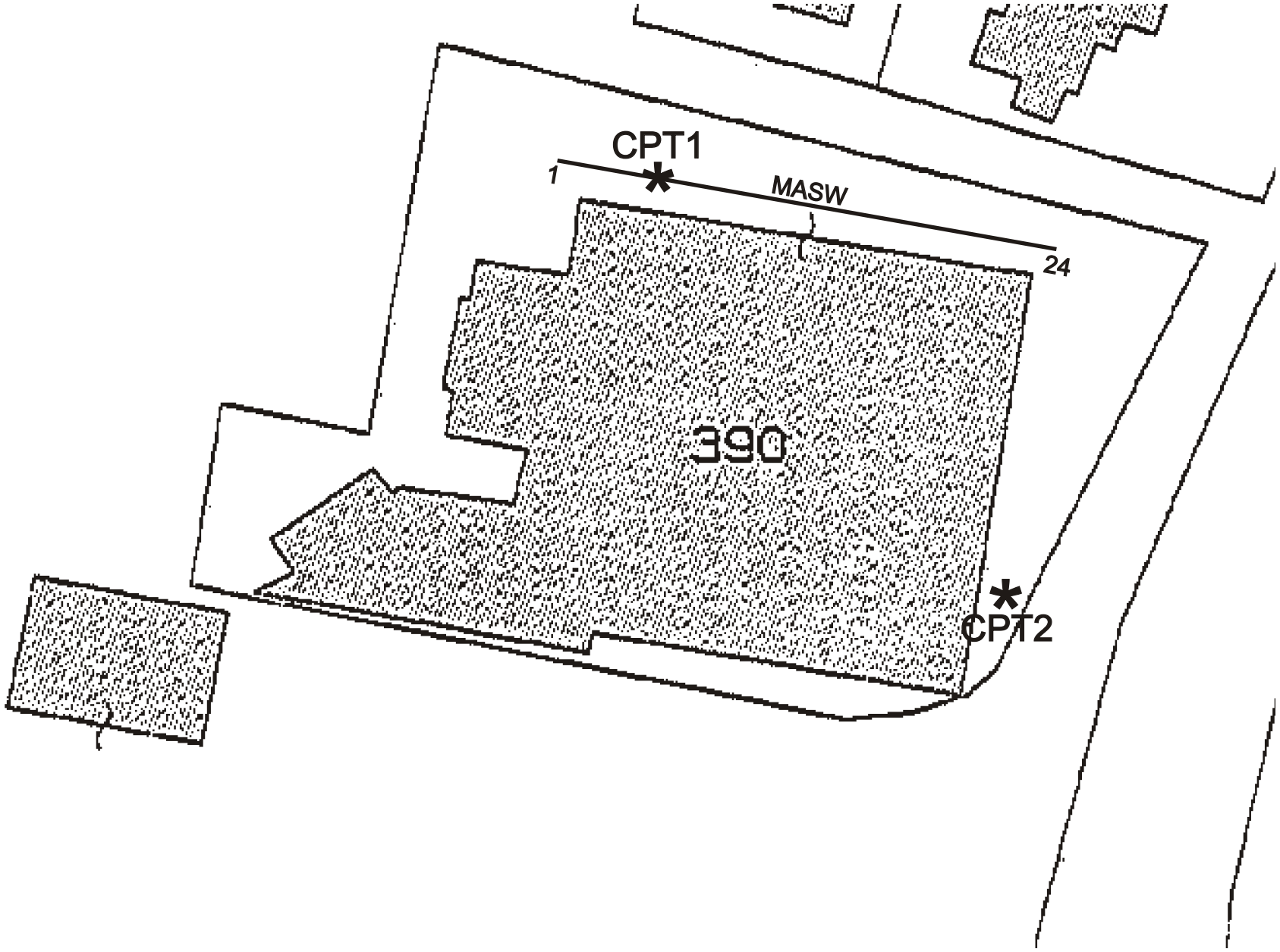
C) SISMICA A RIFRAZIONE PER LA DETERMINAZIONE DEL Vs30
(realizzata applicando il metodo MASW con sismografo PASI 16SG24)

D) VERIFICA A LIQUEFAZIONE
(eseguita con il programma LAN dell'Aztec Informatica)

UBICAZIONE INDAGINI

SCALA 1:500

* Penetrometrie statiche — Sismica a rifrazione per la determinazione del Vs30 (MASW)



- PROVE PENETROMETRICHE STATICHE -

DIAGRAMMI DI RESISTENZA

-

TABELLE E VALORI DI RESISTENZA

-

VALUTAZIONI LITOLOGICHE

-

PARAMETRI GEOTECNICI

DOTT. GEOL. ARRIGO GIUSTI
42019 SCANDIANO (R.E.) - VIA CESARI, 18
TEL. (0522) 984819

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

PENETROMETRO STATICO tipo:

Caratteristiche:

- punta conica meccanica Ø 35.7 mm, angolo di apertura α= 60 ° -(area punta Ap = 10 cm²)
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' (Ø 35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. Am. = 150 cm²)
- velocità di avanzamento costante V = 2 cm / sec (± 0,5 cm / sec)
- spinta max nominale dello strumento Smax variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett.⇒ Spinta) Ct = SPINTA (Kg) / LETTURA DI CAMPAGNA

fase 1 - resistenza alla punta Rp (Kg / cm²) = (L. punta) Ct /10

fase 2 - resistenza laterale locale RL (Kg / cm²) = [(L. laterale) - (L. punta)] Ct / 150

fase 3 - resistenza totale Rt (Kg) = (L. totale) Ct

Rp / RL = 'rapporto Begemann'

- L. punta = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta (fase 1)
- L. laterale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- L. totale = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta S (Kg) , corrispondente a ciascuna fase , si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione Ct .

N.B. : causa la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro , la resistenza laterale locale RL viene computata 20 cm sopra la punta .

CONVERSIONI

1 kN (kiloNewton) = 1000 N ≈ 100 kg = 0,1 t - 1MN (megaNewton) = 1000 kN = 1000000 N ≈ 100 t

1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa ≈ 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²

1 MPa (MegaPascal) = 1 MN/m² = 1000 kN/m² = 1000 kPa ≈ 100 t / m2 = 10 kg/cm²

kg/cm² = 10 t/m² ≈ 100 kN/m² = 100 kPa = 0,1 MN/m² = 0,1 Mpa

1 t = 1000 kg ≈ 10 kN

DOTT. GEOL. ARRIGO GIUSTI
42019 SCANDIANO (R.E.) - VIA CESARI, 18
TEL. (0522) 984819

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

Valutazioni in base al rapporto: **F = (Rp / RL)**

(Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977)

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

F = Rp / RL	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
F < 15	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
15 < F ≤ 30	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
30 < F ≤ 60	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
F > 60	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di Rp e di FR = (RL / Rp) % :

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- 1/3 ± 1/2 di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

DOTT. GEOL. ARRIGO GIUSTI
42019 SCANDIANO (R.E.) - VIA CESARI, 18
TEL. (0522) 984819

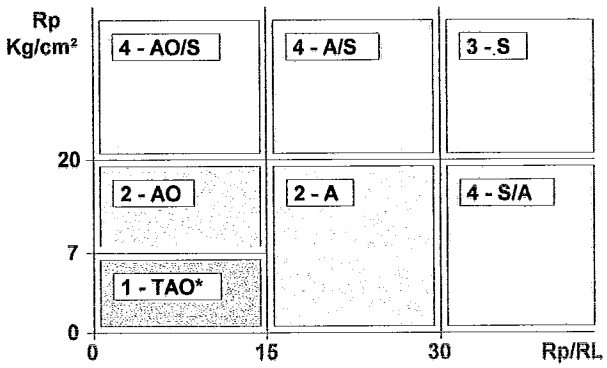
LEGENDA PARAMETRI GEOTECNICI

SCELTE LITOLOGICHE (validità orientativa)

Le scelte litologiche vengono effettuate in base al rapporto Rp / RL
(Begemann 1965 -Raccomandazioni A.G.I. 1977), prevedendo altresì la possibilità di casi dubbi :

Rp ≤ 20 kg/cm² : possibili terreni COESIVI anche se (Rp / RL) > 30

Rp ≥ 20 kg/cm² : possibili terreni GRANULARI anche se (Rp / RL) < 30



NATURA LITOLOGICA

1 - COESIVA (TORBOSA) ALTA COMPRIMIBILITA'
2 - COESIVA IN GENERE
3 - GRANULARE
4 - COESIVA / GRANULARE

PARAMETRI GEOTECNICI (validità orientativa) - simboli - correlazioni - bibliografia

γ' = peso dell' unità di volume (efficace) del terreno [correlazioni : γ' - Rp - natura]
(Terzaghi & Peck 1967 -Bowles 1982)

σ'vo = tensione verticale geostatica (efficace) del terreno (valutata in base ai valori di γ')

Cu = coesione non drenata (terreni coesivi) [correlazioni : Cu - Rp]

OCR = grado di sovra consolidazione (terreni coesivi) [correlazioni : OCR - Cu - σ'vo]
(Ladd et al. 1972 / 1974 / 1977 - Lancellotta 1983)

Eu = modulo di deformazione non drenato (terr.coes.) [correl. : Eu - Cu - OCR - Ip Ip= ind.plast.]
Eu50 - Eu25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (Duncan & Buchigani 1976)

E' = modulo di deformazione drenato (terreni granulari) [correlazioni : E' - Rp]
E'50 - E'25 corrispondono rispettivamente ad un grado di mobilitazione dello sforzo deviatorico pari al 50-25% (coeff. di sicurezza F = 2 - 4 rispettivamente)
(Schmertmann 1970 / 1978 - Jamiolkowski et al. 1983)

Mo = modulo di deformazione edometrico (terreni coesivi e granulari) [correl. : Mo - Rp - natura]
(Sanglerat 1972 - Mitchell & Gardner 1975 - Ricceri et al. 1974 - Holden 1973)

Dr = densità relativa (terreni gran. N. C. - normalmente consolidati)
[correlazioni : Dr - Rp - σ'vo] (Schmertmann 1976)

Ø' = angolo di attrito interno efficace (terreni granulari N.C.) [correl. : Ø' - Dr - Rp - σ'vo]
(Schmertmann 1978 - Durgunoglu & Mitchell 1975 - Meyerhof 1956 / 1976)
Ø1s - (Schmertmann) sabbia fine uniforme Ø2s - sabbia media unif./ fine ben gradata
Ø3s - sabbia grossa unif./ media ben gradata Ø4s - sabbia-ghiaia poco lim./ ghiaietto unif.
Ødm - (Durgunoglu & Mitchell) sabbie N.C. Ømy - (Meyerhof) sabbie limose

Amax = accelerazione al suolo che può causare liquefazione (terreni granulari)
(g = acc.gravità)(Seed & Idriss 1971 - Sirio 1976) [correlazioni : (Amax/g) - Dr]

DOTT. GEOL. ARRIGO GIUSTI
42019 SCANDIANO (R.E.) - VIA CESARI, 18
TEL. (0522) 984819

Rifer. 77-2011

PROVA PENETROMETRICA STATICA — CPT 1
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

2.010496-059

- committente : Comune di Rubiera
- lavoro : Adeguamento strutturale sismico palestra
- località : Via Mari, 13/A - Rubiera (RE)
- note :

- data : 26/05/2011
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

prf m	LP Kg/cm²	LL Kg/cm²	Rp Kg/cm²	RL Kg/cm²	Rp/Rl -	prf m	LP Kg/cm²	LL Kg/cm²	Rp Kg/cm²	RL Kg/cm²	Rp/Rl -
0,20	27,0	----	54,0	0,53	101,0	1,80	18,0	27,0	36,0	1,20	30,0
0,40	18,0	22,0	36,0	0,67	54,0	**2,00**	11,0	20,0	22,0	1,27	17,0
0,60	18,0	23,0	36,0	1,07	34,0	2,20	11,5	21,0	23,0	1,33	17,0
0,80	10,0	18,0	20,0	0,93	21,0	2,40	60,0	70,0	120,0	1,33	90,0
1,00	10,0	17,0	20,0	2,67	7,0	2,60	150,0	160,0	300,0	1,33	225,0
1,20	25,0	45,0	50,0	2,80	18,0	2,80	180,0	190,0	360,0	1,33	270,0
1,40	27,0	48,0	54,0	1,53	35,0	**3,00**	200,0	210,0	400,0	-----	----
1,60	20,5	32,0	41,0	1,20	34,0	3,20	250,0	0,0	500,0	-----	----

- PENETROMETRO STATICO tipo da 10 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 20 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

DOTT. GEOL. ARRIGO GIUSTI
42019 SCANDIANO (R.E.) - VIA CESARI, 18
TEL. (0522) 984819

Rifer. 77-2011

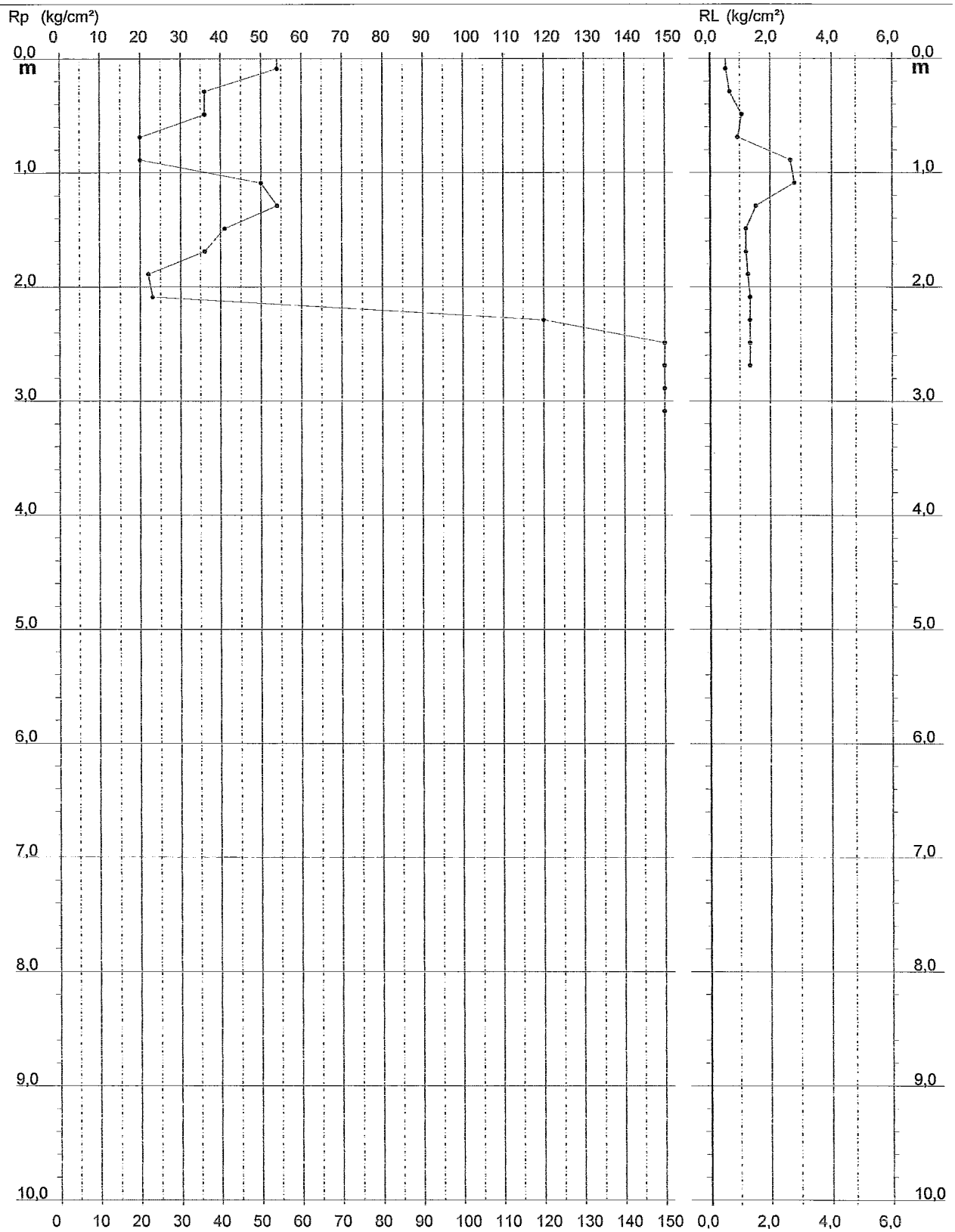
PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

2.010496-059

- committente : Comune di Rubiera
- lavoro : Adeguamento strutturale sismico palestra
- località : Via Mari, 13/A - Rubiera (RE)

- data : 26/05/2011
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

DOTT. GEOL. ARRIGO GIUSTI
42019 SCANDIANO (R.E.) - VIA CESARI, 18
TEL. (0522) 984819

Rifer. 77-2011

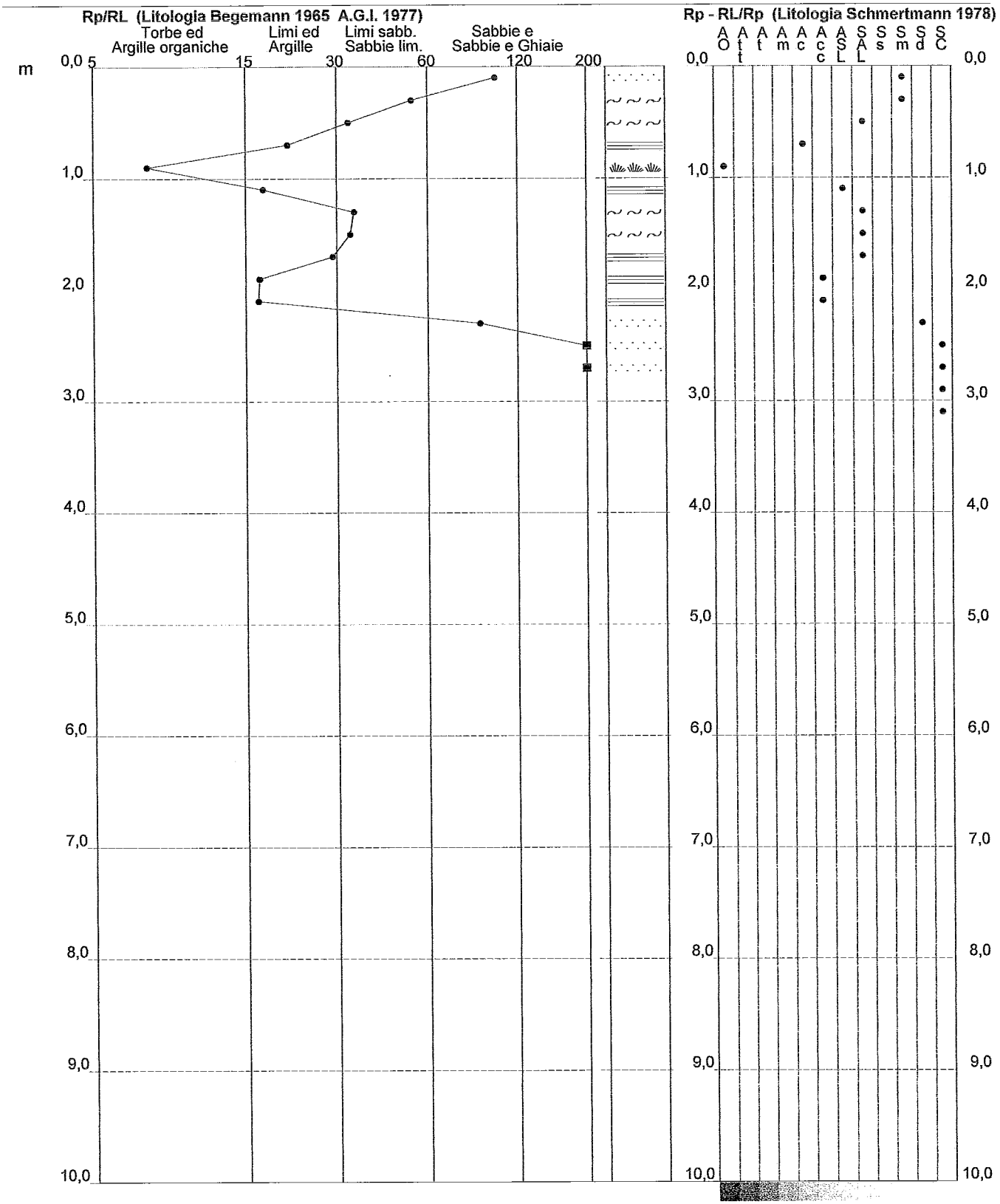
PROVA PENETROMETRICA STATICA
VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

2.010496-059

- committente : Comune di Rubiera
- lavoro : Adeguamento strutturale sismico palestra
- località : Via Mari, 13/A - Rubiera (RE)
- note :

- data : 26/05/2011
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



DOTT. GEOL. ARRIGO GIUSTI
42019 SCANDIANO (R.E.) - VIA CESARI, 18
TEL. (0522) 984819

PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 1

2.010496-059

- committente : Comune di Rubiera
- lavoro : Adeguamento strutturale sismico palestra
- località : Via Mari, 13/A - Rubiera (RE)
- note :

- data : 26/05/2011
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

					NATURA COESIVA						NATURA GRANULARE										
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	øm̃y (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²
0,20	54	101	3::::	1,85	0,04	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	31	0,258	90	135	162
0,40	36	54	3::::	1,85	0,07	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	30	0,258	60	90	108
0,60	36	34	3::::	1,85	0,11	--	--	--	--	--	91	41	42	44	45	42	30	0,225	60	90	108
0,80	20	21	4/:/:	1,85	0,15	0,80	51,7	136	204	60	63	37	39	41	43	38	27	0,140	33	50	60
1,00	20	7	4/:/:	1,85	0,19	0,80	39,2	136	204	60	58	36	38	40	43	37	27	0,125	33	50	60
1,20	50	18	4/:/:	1,85	0,22	1,67	78,0	283	425	150	85	40	41	43	45	41	31	0,206	83	125	150
1,40	54	35	3::::	1,85	0,26	--	--	--	--	--	84	40	41	43	45	40	31	0,202	90	135	162
1,60	41	34	3::::	1,85	0,30	--	--	--	--	--	71	38	40	42	44	39	30	0,162	68	103	123
1,80	36	30	4/:/:	1,85	0,33	1,20	31,2	204	306	108	64	37	39	41	43	37	30	0,141	60	90	108
2,00	22	17	4/:/:	1,85	0,37	0,85	17,7	144	216	66	44	34	37	39	42	34	28	0,090	37	55	66
2,20	23	17	4/:/:	1,85	0,41	0,87	16,2	148	221	69	43	34	36	39	41	34	28	0,088	38	58	69
2,40	120	90	3::::	1,85	0,44	--	--	--	--	--	98	42	43	44	46	41	35	0,251	200	300	360
2,60	300	225	3::::	1,85	0,48	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	500	750	900
2,80	360	270	3::::	1,85	0,52	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	600	900	1080
3,00	400	--	3::::	1,85	0,55	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	667	1000	1200
3,20	500	--	3::::	1,85	0,59	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	833	1250	1500

DOTT. GEOL. ARRIGO GIUSTI
42019 SCANDIANO (R.E.) - VIA CESARI, 18
TEL. (0522) 984819

Rifer. 77-2011

PROVA PENETROMETRICA STATICA
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 2

2.010496-059

- committente : Comune di Rubiera
- lavoro : Adeguamento strutturale sismico palestra
- località : Via Mari, 13/A - Rubiera (RE)
- note :

- data : 26/05/2011
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

prf m	LP Kg/cm²	LL Kg/cm²	Rp Kg/cm²	RL Kg/cm²	Rp/Rl -	prf m	LP Kg/cm²	LL Kg/cm²	Rp Kg/cm²	RL Kg/cm²	Rp/Rl -
0,20	18,0	----	36,0	0,13	270,0	1,20	120,0	130,0	240,0	1,33	180,0
0,40	28,0	29,0	56,0	1,53	37,0	1,40	170,0	180,0	340,0	1,33	255,0
0,60	22,0	33,5	44,0	1,33	33,0	1,60	200,0	210,0	400,0	-----	----
0,80	40,0	50,0	80,0	1,40	57,0	1,80	250,0	0,0	500,0	-----	----
1,00	23,5	34,0	47,0	1,33	35,0						

- PENETROMETRO STATICO tipo da 10 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 20 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann ø = 35.7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 150 cm²)

DOTT. GEOL. ARRIGO GIUSTI
42019 SCANDIANO (R.E.) - VIA CESARI, 18
TEL. (0522) 984819

Rifer. 77-2011

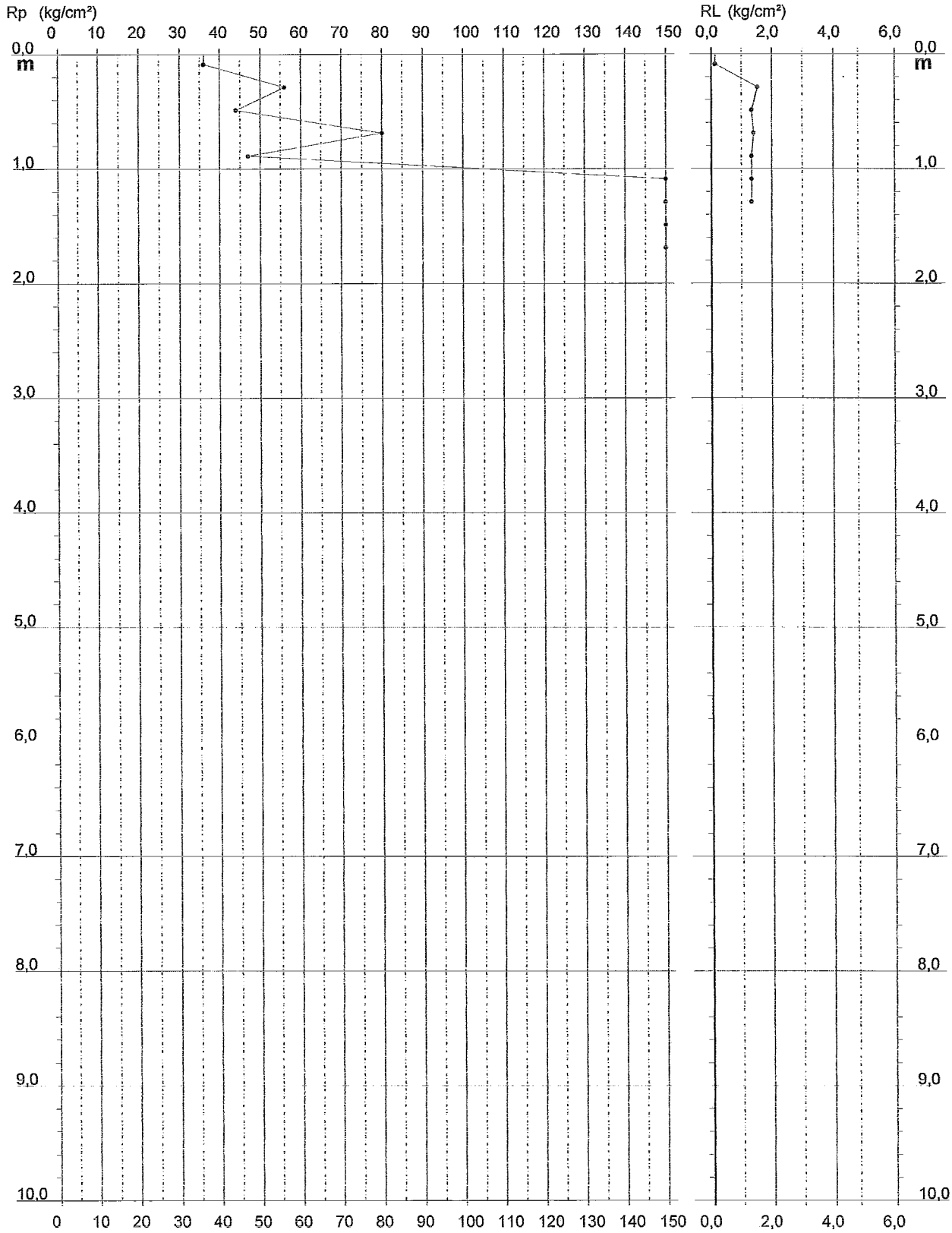
PROVA PENETROMETRICA STATICA
DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

2.010496-059

- committente : Comune di Rubiera
- lavoro : Adeguamento strutturale sismico palestra
- località : Via Mari, 13/A - Rubiera (RE)

- data : 26/05/2011
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

DOTT. GEOL. ARRIGO GIUSTI
42019 SCANDIANO (R.E.) - VIA CESARI, 18
TEL. (0522) 984819

Rifer. 77-2011

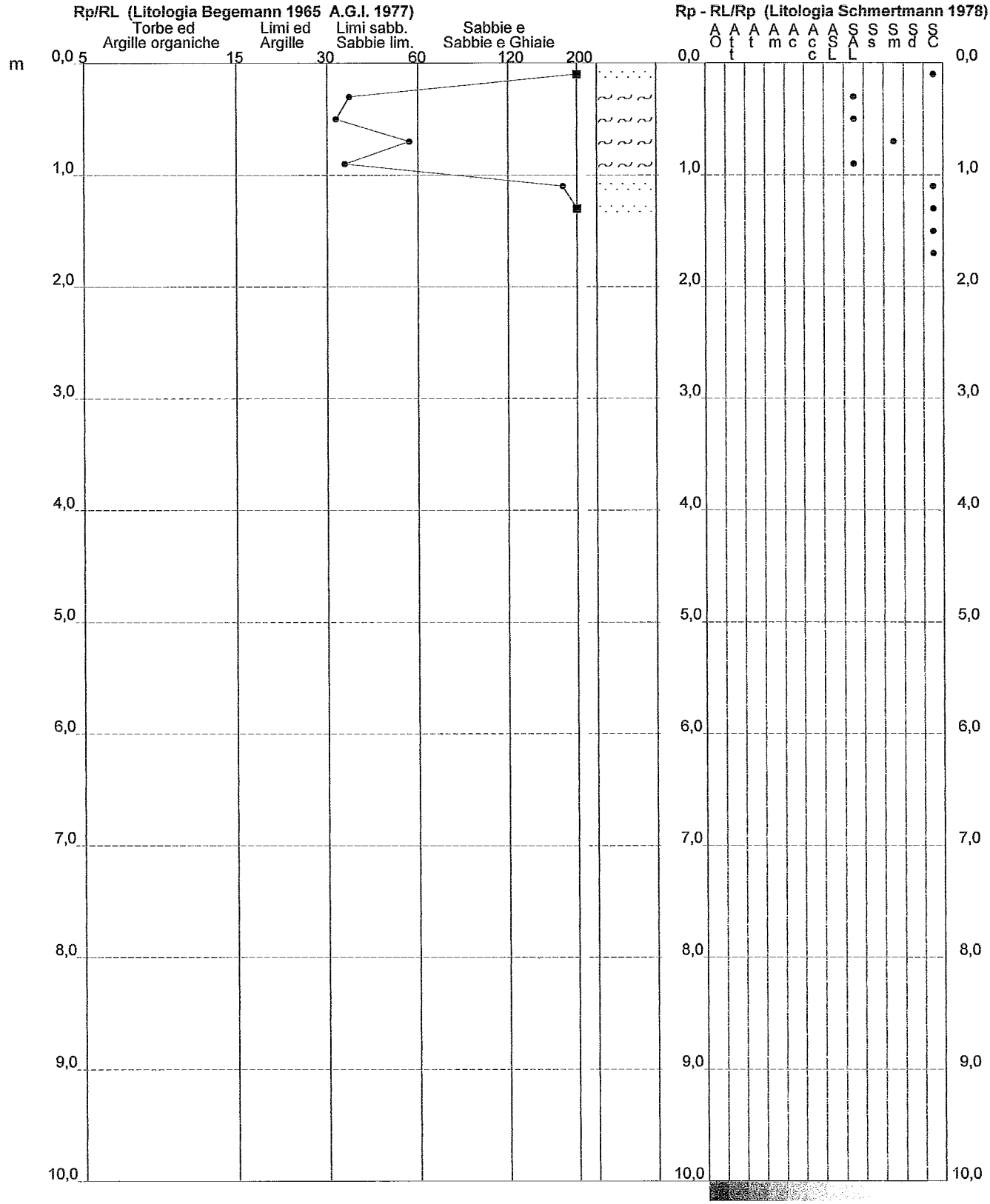
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 2

2.010496-059

- committente : Comune di Rubiera
- lavoro : Adeguamento strutturale sismico palestra
- località : Via Mari, 13/A - Rubiera (RE)
- note :

- data : 26/05/2011
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 50



DOTT. GEOL. ARRIGO GIUSTI
42019 SCANDIANO (R.E.) - VIA CESARI, 18
TEL. (0522) 984819

Rifer. 77-2011

PROVA PENETROMETRICA STATICA
TABELLA PARAMETRI GEOTECNICI

CPT 2

2.010496-059

- committente : Comune di Rubiera
- lavoro : Adeguamento strutturale sismico palestra
- località : Via Mari, 13/A - Rubiera (RE)
- note :

- data : 26/05/2011
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- pagina : 1

					NATURA COESIVA						NATURA GRANULARE										
Prof. m	Rp kg/cm²	Rp/Rl (-)	Natura Litol.	Y' t/m³	p'vo kg/cm²	Cu kg/cm²	OCR (-)	Eu50 kg/cm²	Eu25 kg/cm²	Mo kg/cm²	Dr %	ø1s (°)	ø2s (°)	ø3s (°)	ø4s (°)	ødm (°)	ømy (°)	Amax/g (-)	E'50 kg/cm²	E'25 kg/cm²	Mo kg/cm²
0,20	36	270	3::::	1,85	0,04	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	30	0,258	60	90	108
0,40	56	37	3::::	1,85	0,07	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	31	0,258	93	140	168
0,60	44	33	3::::	1,85	0,11	--	--	--	--	--	97	42	43	44	46	43	31	0,249	73	110	132
0,80	80	57	3::::	1,85	0,15	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	44	33	0,258	133	200	240
1,00	47	35	3::::	1,85	0,19	--	--	--	--	--	87	40	42	43	45	41	31	0,214	78	118	141
1,20	240	180	3::::	1,85	0,22	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	39	0,258	400	600	720
1,40	340	255	3::::	1,85	0,26	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	567	850	1020
1,60	400	--	3::::	1,85	0,30	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	667	1000	1200
1,80	500	--	3::::	1,85	0,33	--	--	--	--	--	100	42	43	45	46	45	40	0,258	833	1250	1500

SISMICA A RIFRAZIONE

MASW

Determinazione del Vs30

SISMOGRAFO: PASI 16SG24

==o== SECTION#1
dataset: RUBIERA.DAT
minimum offset (m): 10
geophone spacing (m): 2
sampling (ms): 1
Dispersion curve: Rubiera - Palestra.cdp
Number of individuals: 30
Number of generations: 31

Adopted search space (minimum Vs & thickness): 90 2 100 4 110 4 120
Adopted search space (maximum Vs & thickness): 650 3 700 12 750 15 800
Adopted Poisson values: 0.35 0.35 0.35 0.3

Output folder: C:\winMASW411pro\output\2011\Giusti\05\Rubiera - Palestra

==o== SECTION#2

Rayleigh wave analysis
Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -73.5612 -13.2864
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -90.4066 -13.2864
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -72.3529 -13.2864
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -80.6128 -13.1632
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -69.4245 -8.13704
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -54.0683 -8.13704
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -62.8312 -8.13704
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -68.3836 -8.13704
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -49.9913 -7.83166
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -49.9273 -7.83166
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -42.4545 -7.83166
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -44.3304 -7.83166
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -45.9652 -7.83166
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -46.6298 -7.83166
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -46.7215 -7.83166
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -50.5466 -7.83166
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -53.5481 -7.83166
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -58.8018 -7.83166
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -61.3647 -7.83166
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -51.3818 -7.83166
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -55.1123 -7.83166
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -66.8751 -7.83166
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -58.3201 -7.83166
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -53.3523 -4.86486
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -54.5364 -4.86486
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -63.6261 -4.86486
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -67.6781 -4.86486
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -64.9979 -4.86486
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -64.0273 -4.86486
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -68.9324 -4.86486
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -63.6058 -4.86486

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: -84.6542 -4.86486
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -61.7599 -4.86486
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -59.2909 -4.86486
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -52.8585 -4.86486
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -54.0557 -4.86486
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -56.0384 -4.86486
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -53.0359 -4.86486
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -53.7466 -4.86486
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -47.845 -4.86486

Model after the Vs & Thickness optimization (fixed Poisson values):
Vs (m/s): 235 294 332 484
Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.3
Thickness (m): 2.9 12 10

Number of models considered to calculate the average model: 3

##
RESULTS winMASW Pro
##

Dataset: RUBIERA.DAT
Analyzed curve: Rubiera - Palestra.cdp

==o== SECTION#3

==========
MEAN MODEL

VS (m/s): 235 294 332 484
Standard deviations (m/s): 0 0 0 0

Thickness (m): 2.9 11.8 9.9
Standard deviations (m): 0.1 0.4 0.1

Approximate values for Vp, density & elastic moduli
Vp (m/s): 489 612 691 905
Density (gr/cm3): 1.88 1.93 1.96 2.03
Vp/Vs ratio: 2.08 2.08 2.08 1.87
Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.30
Young modulus (MPa): 280 452 585 1236
Sjear modulus (MPa): 104 167 217 475
Lamé (MPa): 242 390 505 711
Bulk modulus (MPa): 311 502 649 1028

Fundamental mode
Mean model
f(Hz) VR(m/s)
3.13035 407.6567

7.1022	305.8901
11.9406	272.0686
16.9235	263.7666
26.6726	251.6177
33.0275	242.7352

First higher mode
Mean model

10.063	439.7578
13.9627	398.5515
18.2234	355.9996
23.0618	332.1354
36.3494	305.8144

==o== SECTION#4

==========
BEST MODEL

Vs (m/s): 235.0302 293.7533 331.7467 484.2986
thickness (m): 2.94433 12 9.98912

Approximate values for Vp, density & elastic moduli
Vp (m/s): 489 611 691 906
Density (gr/cm3): 1.88 1.93 1.96 2.03
Vp/Vs ratio: 2.08 2.08 2.08 1.87
Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.30
Young modulus (MPa): 280 451 585 1237
Shear modulus (MPa): 104 167 217 476
Lamé (MPa): 242 388 505 715
Bulk modulus (MPa): 311 499 649 1032

dispersion curve (frequency - Rayleigh phase velocity)

Fundamental mode)
best model

F(Hz)	VR(m/s)
3.13035	407.3031
7.1022	304.2068
11.9406	271.4349
16.9235	263.2474
26.6726	250.848
33.0275	241.895

First higher mode)
best model

10.063	438.6531
13.9627	396.337
18.2234	354.1911
23.0618	330.8055
36.3494	304.994

VS5 (mean model): 257 m/s
VS5 (best model): 256 m/s

VS20 (mean model): 292 m/s
VS20 (best model): 292 m/s

VS30 (mean model): 321 m/s
VS30 (best model): 319 m/s

==o== SECTION#6

Possible Soil Type: C
(based on the mean model)

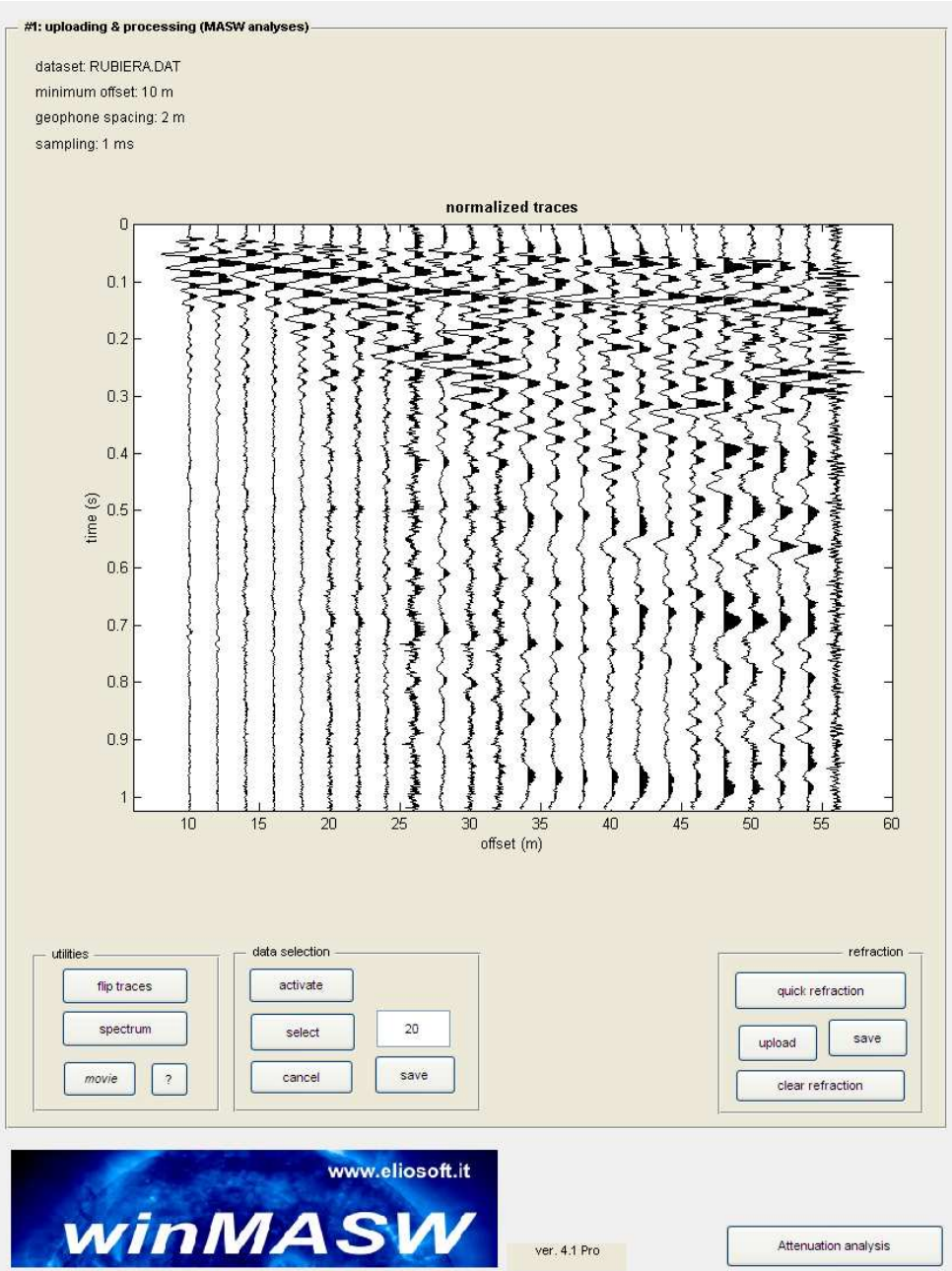
For the Italian Users:
Dalla normativa (modifiche del D.M. 14/09/2005 Norme Tecniche per le Costruzioni, emanate con D.M. Infrastrutture del 14/01/2008, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n°29 del 04/02/2008):
A - Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi,caratterizzati da 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 cu30> 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 < cu30 < 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 cu30 < 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 < cuS30 < 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.

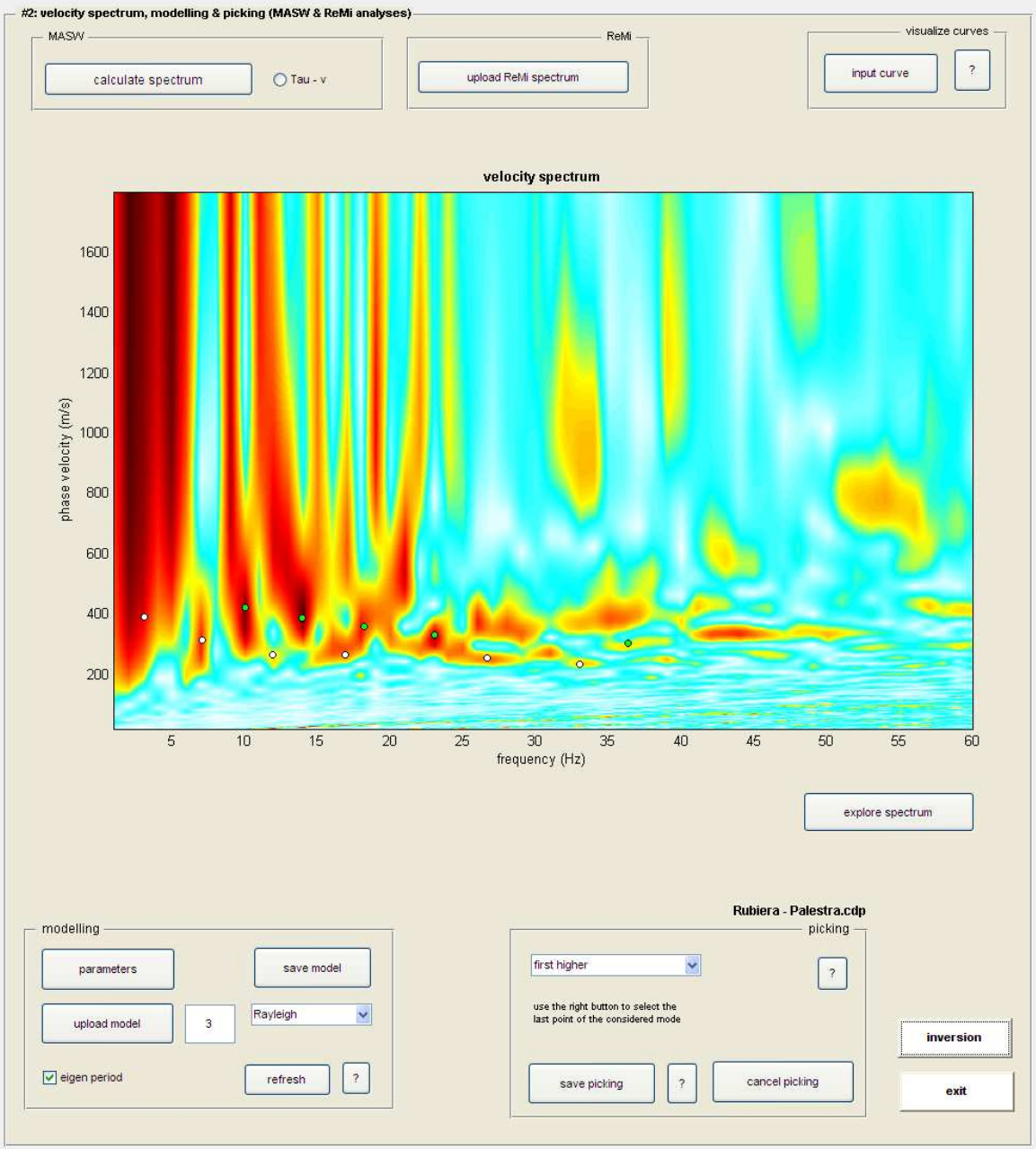
Results saved in the folder "C:\winMASW411pro\output\2011\Giusti\05\Rubiera - Palestra".

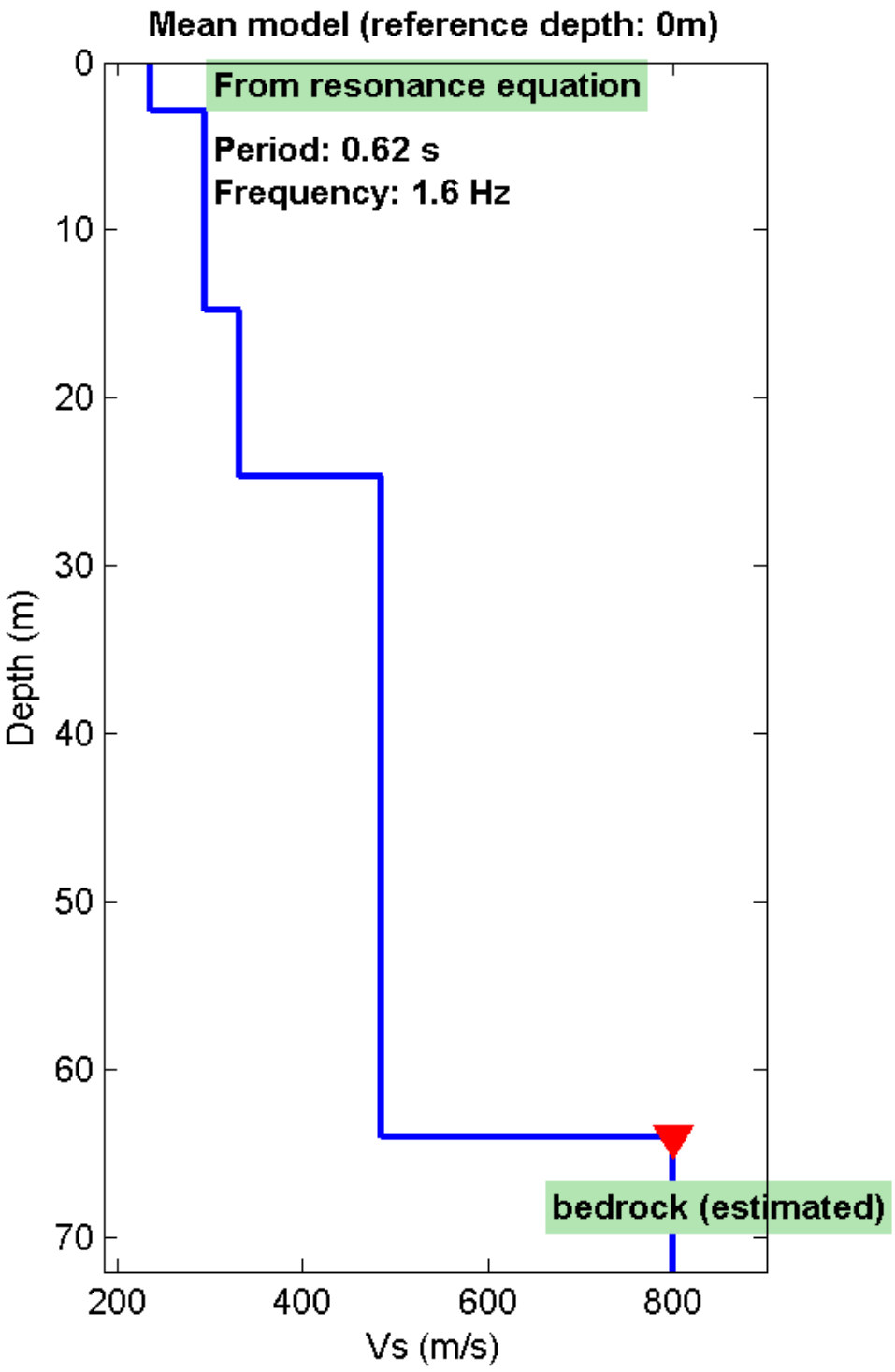
==========

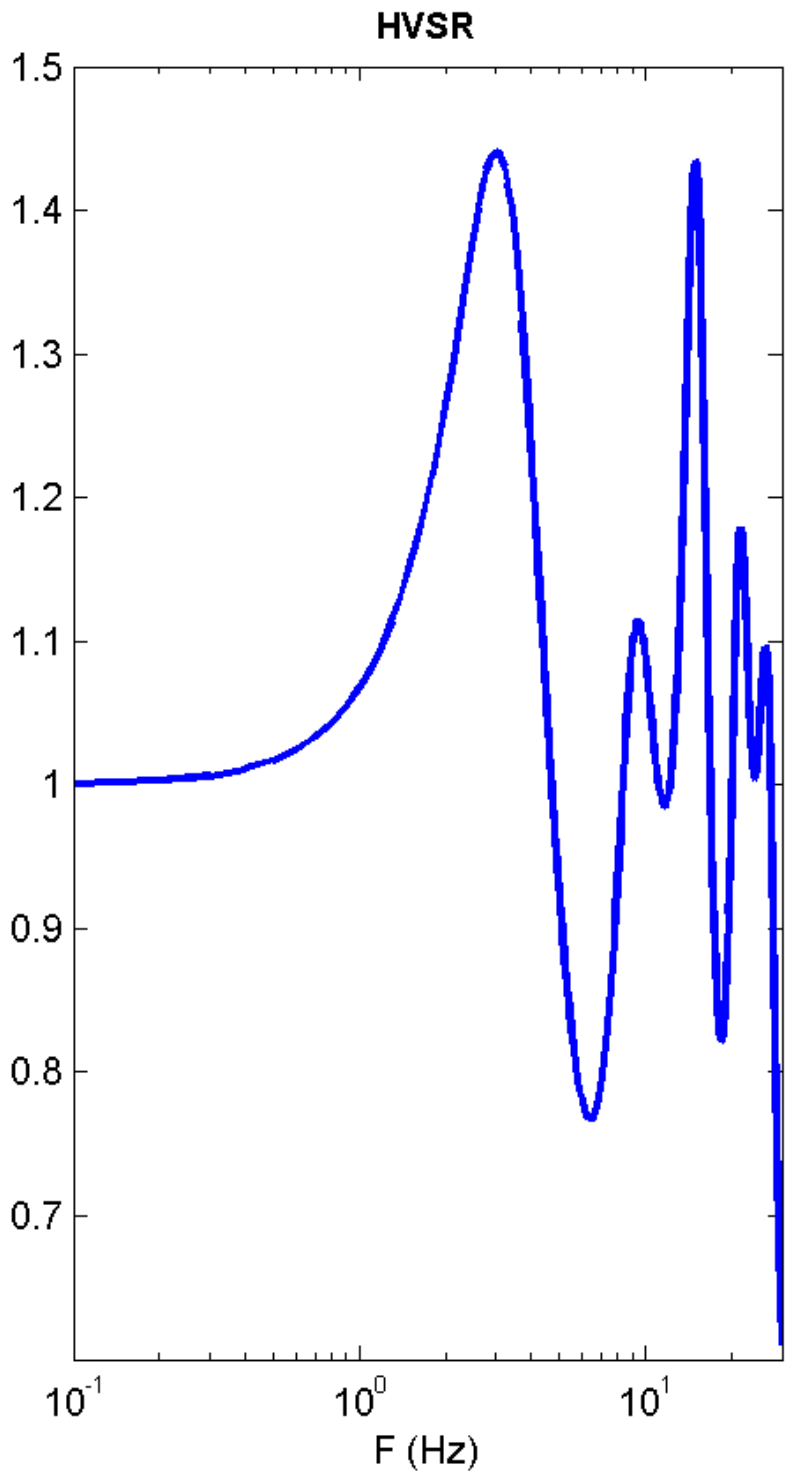
winMASW 4.2 Pro
Surface Wave Analysis
via MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves

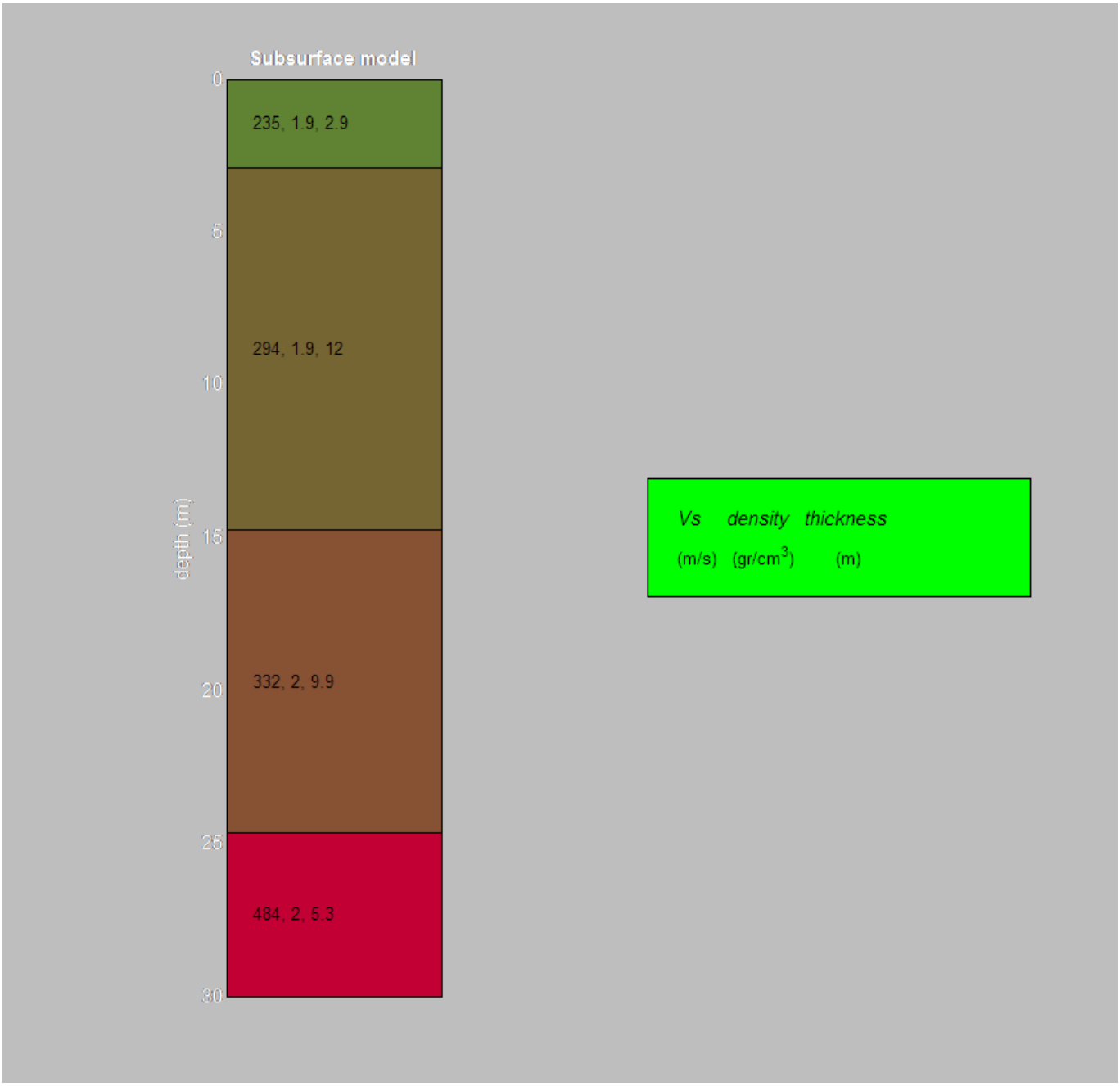
www.eliosoft.it


#1: uploading & processing (MASW analyses)
dataset: RUBIERA.DAT
minimum offset: 10 m
geophone spacing: 2 m
sampling: 1 ms
normalized traces
time (s)
offset (m)
utilities
flip traces
spectrum
movie
?
data selection
activate
select
20
cancel
save
refraction
quick refraction
upload
save
clear refraction
www.eliosoft.it
winMASW
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
phase velocity (m/s)
frequency (Hz)
explore spectrum
Rubiera - Palestra.cdp
modelling
parameters
save model
upload model
3
Rayleigh
eigen period
refresh
?
picking
first higher
?
use the right button to select the
last point of the considered mode
save picking
?
cancel picking
inversion
exit


Mean model (reference depth: 0m)
From resonance equation
Period: 0.62 s
Frequency: 1.6 Hz
bedrock (estimated)
Depth (m)
Vs (m/s)
0
10
20
30
40
50
60
70
200
400
600
800


HVSR
F (Hz)
1.5
1.4
1.3
1.2
1.1
1
0.9
0.8
0.7
10^{-1}
10^{0}
10^{1}


Subsurface model
0
5
10
15
20
25
30
depth (m)
235, 1.9, 2.9
294, 1.9, 12
332, 2, 9.9
484, 2, 5.3
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.

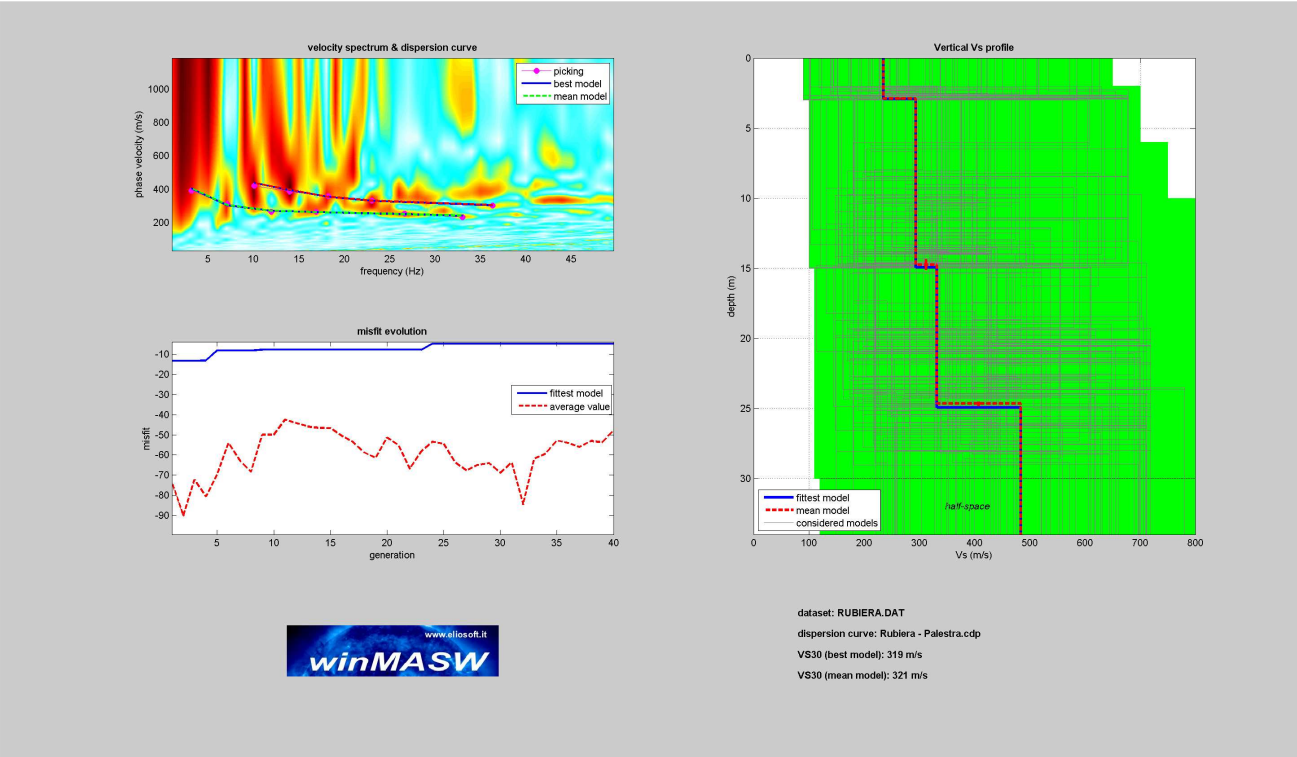
www.eliosoft.it

Date: 13 6 2011

Time: 19 5

Dataset: RUBIERA.DAT

Considered dispersion curve: Rubiera - Palestra.cdp



Mean model

Vs (m/s): 235, 294, 332, 484

Thickness (m): 2.9, 11.8, 9.9

Standard deviations (m/s): 0.1, 0.4, 0.1

Density (gr/cm3): 1.88, 1.93, 1.96, 2.03

Shear modulus (MPa): 104, 167, 217, 475

Analysis: Rayleigh Waves

Medoto Eurocodice CPT

Nr.	z_i	σ'_v	σ_v	r_d	MSF	CSR	CRR	F_s
1	0,20	0,24	0,24	1.00	2.71	7.65	0.05	168.33
2	0,40	0,27	0,27	1.00	2.71	7.65	0.05	168.59
3	0,60	0,31	0,31	1.00	2.71	7.65	0.05	168.85
4	0,80	0,35	0,35	0.99	2.71	7.65	0.05	169.11
5	1,00	0,39	0,39	0.99	2.71	7.65	0.05	169.37
6	1,20	0,42	0,42	0.99	2.71	7.65	0.05	169.63
7	1,40	0,46	0,46	0.99	2.71	7.65	0.05	169.89
8	1,60	0,50	0,50	0.99	2.71	7.65	0.04	170.16
9	1,80	0,53	0,53	0.99	2.71	7.65	0.04	170.42
10	2,00	0,57	0,57	0.98	2.71	0.06	0.04	1.38
11	2,20	0,61	0,61	0.98	2.71	0.06	0.04	1.40
12	2,40	0,65	0,65	0.98	2.71	0.47	0.04	10.57
13	2,60	0,69	0,69	0.98	2.71	6.23	0.04	139.63
14	2,80	0,73	0,73	0.98	2.71	6.23	0.04	139.85
15	3,00	0,77	0,77	0.98	2.71	6.23	0.04	140.07
16	3,20	0,81	0,81	0.98	2.71	6.23	0.04	140.29

Indice di Liquefacibilità del deposito (I.L.): **0.00**
Rischio di liquefazione: **molto basso**

Medoto ANDRUS

Nr.	z_i	σ'_v	σ_v	r_d	MSF	CSR	CRR	F_s
1	2,90	0,75	0,75	0.98	2.62	1000.00	0.05	21714.91
2	14,70	2,14	3,11	0.78	2.62	1000.00	0.05	18695.35
3	24,60	3,14	5,10	0.58	2.62	1000.00	0.04	22654.48
4	30,00	3,79	6,29	0.58	2.62	1000.00	0.05	22165.47

Indice di Liquefacibilità del deposito (I.L.): **0.00**
Rischio di liquefazione: **molto basso**

Medoto Eurocodice SISM

Nr.	z_i	σ'_v	σ_v	r_d	MSF	CSR	CRR	F_s
1	2,90	0,75	0,75	0.98	2.71	0.76	0.04	17.17
2	14,70	2,14	3,11	0.78	2.71	0.63	0.05	12.16
3	24,60	3,14	5,10	0.58	2.71	0.71	0.04	16.75
4	30,00	3,79	6,29	0.58	2.71	-2.20	0.04	-50.49

Indice di Liquefacibilità del deposito (I.L.): **0.00**
Rischio di liquefazione: **molto basso**

Approximate values for Vp and elastic moduli

Vp (m/s): 489, 612, 691, 905

Poisson: 0.35, 0.35, 0.35, 0.30

Bulk modulus (MPa): 311, 502, 649, 1028

Young's modulus (MPa): 280, 452, 585, 1236

Lamé (MPa): 242, 390, 505, 711

VS30 (m/s): 321

Possible Soil Type: C

Pay attention

Soil classification must be perfomed 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 cu30> 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 < cu30 < 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 cu30 < 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 < cuS30 < 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:Adeguamento sismico Palestra Via Mari
Committente: Comune di Rubiera
Località:Via Mari, 13/A - Rubiera (RE)

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
- Ordinanza Ministeriale nr. 3274 del 20 Marzo 2003
- Norme tecniche per le Costruzioni D.M. 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<=9.15 m
r_d = 1.174-0.0267z per 9.15<= z <=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:

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

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

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:

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

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}

$F = \dfrac{f_S}{q_C - \sigma_V} \cdot 100$: attrito laterale specifico normalizzato;

$Q = \dfrac{q_C - \sigma_V}{\sigma'_V}$: resistenza alla punta;

q_C : resistenza alla punta misurata espressa in [kg/cm^2];

f_S : attrito laterale specifico misurato espresso in [kg/cm^2]

σ_V : pressione verticale totale espressa in [kg/cm^2].

σ'_V : pressione verticale efficace espressa in [kg/cm^2].

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

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

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

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

deve comunque essere :

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

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

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

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

per Ic ≥ 2.6 *non esiste fenomeno di liquefazione.*

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

Fs=CRR/CSR

Quest'ultimo è indicativo della propensione o meno del terreno a liquefare.Il deposito sabbioso saturo è potenzialmente liquefacibile se risulta *Fs<=1.0*

Metodo di Andrus

La valutazione della capacità di resistenza alla liquefazione (CRR) da prove sismiche a rifrazione (VS) viene stimata dagli autori con la seguente espressione:

$$CRR = 0.03 \cdot \left(\frac{V_{S1}}{100}\right)^2 + \frac{0.9}{V_{S1C} - V_{S1}} - \frac{0.9}{V_{S1C}}$$

dove

$$V_{S1} = V_S \cdot \left(\frac{1}{\sigma'_v}\right)^{0.25}$$

$$V_{S1C} = \begin{cases} 220 & FC < 5\% \\ 210 & FC = 20\% \\ 200 & FC > 35\% \end{cases}$$

V_S : velocità misurata dell'onda di taglio S espressa in [m/sec];

FC : frazione di fine contenuto nella sabbia espressa in [%].

σ'_v : pressione verticale efficace espressa in [kg/cm^2].

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

Fs=CRR/CSR

Quest'ultimo è indicativo della propensione o meno del terreno a liquefare.Il deposito sabbioso saturo è potenzialmente liquefacibile se risulta *Fs<=1.0*

Dati Situ

Simbologia adottata

M : Magnitudo dell'evento sismico;
a_{max} / g : Rapporto tra accelerazione sismica massima ed accelerazione di gravità;
p_0 : Presenza di sovraccarico al piano campagna espresso in [kg/cmq];
CdS : Classe di sottosuolo (per classe A e B si ha CdS=1.0 per classe C si ha CdS=0.9);
z_w : Profondità della falda dal piano campagna espressa in [m].

M	a_{max} / g	p_0	CdS	z_w
5.60	0.19	2000,00	0,90	5,0

Dati Stratigrafia

Simbologia adottata

Nr. : Indice dello strato;
Descrizione : Descrizione strato;
h : 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];
d_{50} : Diametro della curva granulometrica del passante al 50 per cento espresso in [mm];
fine : Contenuto di fine presente nello strato espressa in [%].

Nr.	Descrizione	h	γ	γ_s	d_{50}	fine
1	limi ed argille	2,0	1850	1950	0,02	80.00
2	sabbie e ghiaie	8,0	2000	2000	0,25	5.00
3	limi ed argille consolidate	14,0	1900	2000	0,02	70.00
4	sabbie e ghiaie	7,0	2200	2200	0,25	5.00

Dati Prove Penetrometriche

PROVA CPT

Simbologia adottata

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

Nr.	z_i	q_c	f_s
1	0,2	54,0	0,5
2	0,4	36,0	0,7
3	0,6	36,0	1,1
4	0,8	20,0	0,9
5	1,0	20,0	2,7
6	1,2	50,0	2,8
7	1,4	54,0	1,5
8	1,6	41,0	1,2
9	1,8	36,0	1,2
10	2,0	22,0	1,3
11	2,2	23,0	1,3
12	2,4	120,0	1,3
13	2,6	300,0	1,3
14	2,8	360,0	1,3
15	3,0	400,0	1,3
16	3,2	500,0	1,3

PROVA SISMICA A RIFRAZIONE

Simbologia adottata

Nr. : Numero d'ordine dei valori delle misure della prova;
z_i : Profondità alla quale viene effettuata la misura della prova espressa in [m];
V_S : Velocità dell'onda S della prova sismica a rifrazione espressa in [m/sec]

Nr.	z_i	V_S
1	2,9	235.00
2	14,7	294.00
3	24,6	332.00
4	30,0	484.00

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/cmq];
σ_v : tensione verticale totale calcolata alla profondità z_i espressa in [kg/cmq];
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	0,20	0,24	0,24	1.00	2.62	0.28	0.05	5.95
2	0,40	0,27	0,27	1.00	2.62	0.23	0.05	4.86
3	0,60	0,31	0,31	1.00	2.62	0.35	0.05	7.46
4	0,80	0,35	0,35	0.99	2.62	0.30	0.05	6.42
5	1,00	0,39	0,39	0.99	2.62	0.09	0.05	2.00
6	1,20	0,42	0,42	0.99	2.62	0.09	0.05	2.00
7	1,40	0,46	0,46	0.99	2.62	0.42	0.05	9.03
8	1,60	0,50	0,50	0.99	2.62	0.31	0.05	6.64
9	1,80	0,53	0,53	0.99	2.62	0.31	0.05	6.64
10	2,00	0,57	0,57	0.98	2.62	0.26	0.05	5.67
11	2,20	0,61	0,61	0.98	2.62	0.25	0.05	5.41
12	2,40	0,65	0,65	0.98	2.62	0.09	0.05	2.00
13	2,60	0,69	0,69	0.98	2.62	0.09	0.05	2.00
14	2,80	0,73	0,73	0.98	2.62	0.09	0.05	2.00
15	3,00	0,77	0,77	0.98	2.62	0.09	0.05	2.00
16	3,20	0,81	0,81	0.98	2.62	0.09	0.05	2.00

Indice di Liquefacibilità del deposito (I.L.): **0.00**
Rischio di liquefazione: **molto basso**

Medoto Eurocodice CPT

Nr.	z_i	σ'_v	σ_v	r_d	MSF	CSR	CRR	F_s
1	0,20	0,24	0,24	1.00	2.71	7.65	0.05	168.33
2	0,40	0,27	0,27	1.00	2.71	7.65	0.05	168.59
3	0,60	0,31	0,31	1.00	2.71	7.65	0.05	168.85
4	0,80	0,35	0,35	0.99	2.71	7.65	0.05	169.11
5	1,00	0,39	0,39	0.99	2.71	7.65	0.05	169.37
6	1,20	0,42	0,42	0.99	2.71	7.65	0.05	169.63
7	1,40	0,46	0,46	0.99	2.71	7.65	0.05	169.89
8	1,60	0,50	0,50	0.99	2.71	7.65	0.04	170.16
9	1,80	0,53	0,53	0.99	2.71	7.65	0.04	170.42
10	2,00	0,57	0,57	0.98	2.71	0.06	0.04	1.38
11	2,20	0,61	0,61	0.98	2.71	0.06	0.04	1.40
12	2,40	0,65	0,65	0.98	2.71	0.47	0.04	10.57
13	2,60	0,69	0,69	0.98	2.71	6.23	0.04	139.63
14	2,80	0,73	0,73	0.98	2.71	6.23	0.04	139.85
15	3,00	0,77	0,77	0.98	2.71	6.23	0.04	140.07
16	3,20	0,81	0,81	0.98	2.71	6.23	0.04	140.29

Indice di Liquefacibilità del deposito (I.L.): **0.00**
Rischio di liquefazione: **molto basso**

Medoto ANDRUS

Nr.	z_i	σ'_v	σ_v	r_d	MSF	CSR	CRR	F_s
1	2,90	0,75	0,75	0.98	2.62	1000.00	0.05	21714.91
2	14,70	2,14	3,11	0.78	2.62	1000.00	0.05	18695.35
3	24,60	3,14	5,10	0.58	2.62	1000.00	0.04	22654.48
4	30,00	3,79	6,29	0.58	2.62	1000.00	0.05	22165.47

Indice di Liquefacibilità del deposito (I.L.): **0.00**
Rischio di liquefazione: **molto basso**

Medoto Eurocodice SISM

Nr.	z_i	σ'_v	σ_v	r_d	MSF	CSR	CRR	F_s
1	2,90	0,75	0,75	0.98	2.71	0.76	0.04	17.17
2	14,70	2,14	3,11	0.78	2.71	0.63	0.05	12.16
3	24,60	3,14	5,10	0.58	2.71	0.71	0.04	16.75
4	30,00	3,79	6,29	0.58	2.71	-2.20	0.04	-50.49

Indice di Liquefacibilità del deposito (I.L.): **0.00**
Rischio di liquefazione: **molto basso**