



COMUNE DI BIBBIANO

Piazza Damiano Chiesa 2

42021 Bibbiano (RE)

P.Iva/C.F.: 00452960354

pec: bibbiano@cert.provincia.re.it



Responsabile Unico del Procedimento:

Ing. Iunior Ivan Tamagnini



MIGLIORAMENTO SISMICO DELLA SEDE MUNICIPALE DEL COMUNE DI BIBBIANO (RE)

**REGIONE EMILIA ROMAGNA
SECONDO PIANO
DEGLI INTERVENTI STRUTTURALI PRIORITARI
DI RAFFORZAMENTO LOCALE
O MIGLIORAMENTO SISMICO
DI EDIFICI PUBBLICI STRATEGICI,
DI CUI ALL'ART.2 COMMA 1 LETT B)
DELL'ORDINANZA C.D.P.C. N.532/2018
SECONDO LE DISPOSIZIONI
DELL'O.C.D.P.C. N.675/2020**

CODICE CUP : C69F22000040006

PROGETTO ESECUTIVO



R.05

Relazione geologica

emissione	aggiornamento	scala
OTTOBRE 2023	_____	_____

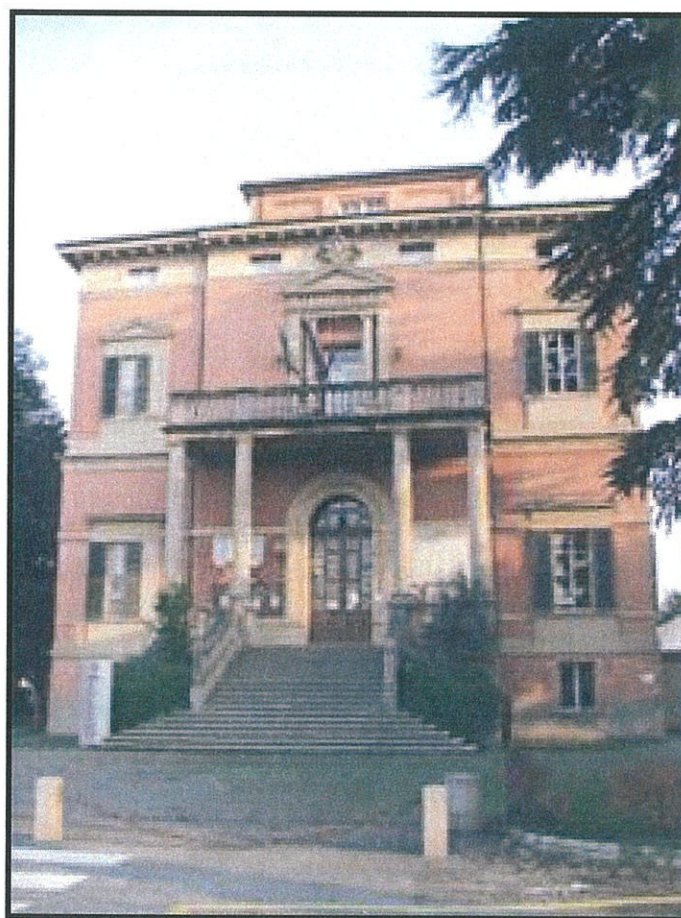
Architetto Stefano Fascini
Via Terrachini n.47
42122 Reggio Emilia
P.Iva 04963140969
stefano.fascini@libero.it

DOTT. GEOL. GIUSTI ARRIGO
42019 SCANDIANO (R.E.) - VIA CESARI, 18
TEL. (0522) 984819 - (348) 9109596

COMUNE DI BIBBIANO
(Provincia di Reggio nell'Emilia)

LOCALITÀ : PIAZZA DAMIANO CHIESA

VALUTAZIONE DELLA SICUREZZA DI UN EDIFICIO STRATEGICO
"MUNICIPIO DI BIBBIANO"



COMMITTENTE : COMUNE DI BIBBIANO

RELAZIONE GEOLOGICA

CONSULENZE NEL CAMPO GEOLOGICO GEOTECNICO ED ESTRATTIVO

Con riferimento agli accordi intercorsi con il Dott. Ing. Sergio Spallanzani dello Studio Tecnico Associato ABATON di Scandiano (RE) trasmetto la presente relazione geologica, comprensiva di valutazioni sismiche effettuate secondo il DM del 14 Gennaio 2008 coordinato dalla circolare esplicativa n. 617 del 2 febbraio 2009 nonché all'Ordinanza P.C.M. n° 3274, del 20 marzo 2003, sulla riclassificazione sismica del territorio italiano, ai fini della determinazione della Risposta Sismica Locale. Lo studio viene redatto a supporto della valutazione della sicurezza, come edificio strategico, del Municipio di Bibbiano (RE).

CARATTERISTICHE GEOLITOLOGICHE

La plasticità delle Formazioni non permette l'individuazione, in superficie, delle strutture tettoniche principali. Tuttavia, questi terreni hanno subito movimenti orogenetici molto recenti che hanno accompagnato il movimento traslativo della coltre alloctona, costituita dai Terreni Eugeo e Tardo-geosinclinali, al di sopra del basamento Miocenico padano.

La presenza di movimenti relativamente recenti (fasi pleistoceniche) può essere provata da osservazioni geomorfologiche: risulta infatti evidente come il territorio, a cui appartiene l'area in esame, sia soggetto al ringiovanimento dei fenomeni erosivi, a seguito di movimenti tettonici di tipo essenzialmente epirogenetico. Si può vedere come il rapido ringiovanimento dei corsi d'acqua si sia sovrapposto ad un ciclo erosivo precedente giunto "per vie forzate" a uno stadio di maturità.

In base ad indagini penetrometriche effettuate nei pressi dell'area in esame, si evince che il primo sottosuolo è ascrivibile ad un tipico deposito alluvionale del Pluviale-fluvioglaciale Mindel costituito da ciottoli e ghiaie miste a limi sabbiosi, sabbie limose e sabbie. È questo un materiale che ha subito un'intensa alterazione idrolitica che si caratterizza per la presenza di un paleosuolo rosso fersiallitico. Tale processo pedogenetico, risalente all'interglaciale Mindel-Riss, ha portato ad

un'intensa decalcificazione che ha distrutto, dissolvendole, le ghiaie e persino i ciottoli carbonatici ed arenaceo-calcarei. I clasti silicatici sono stati poi a loro volta alterati da processi idrolitici che hanno posto in circolo nel sottosuolo principalmente ferro, alluminio, manganese e silicio.

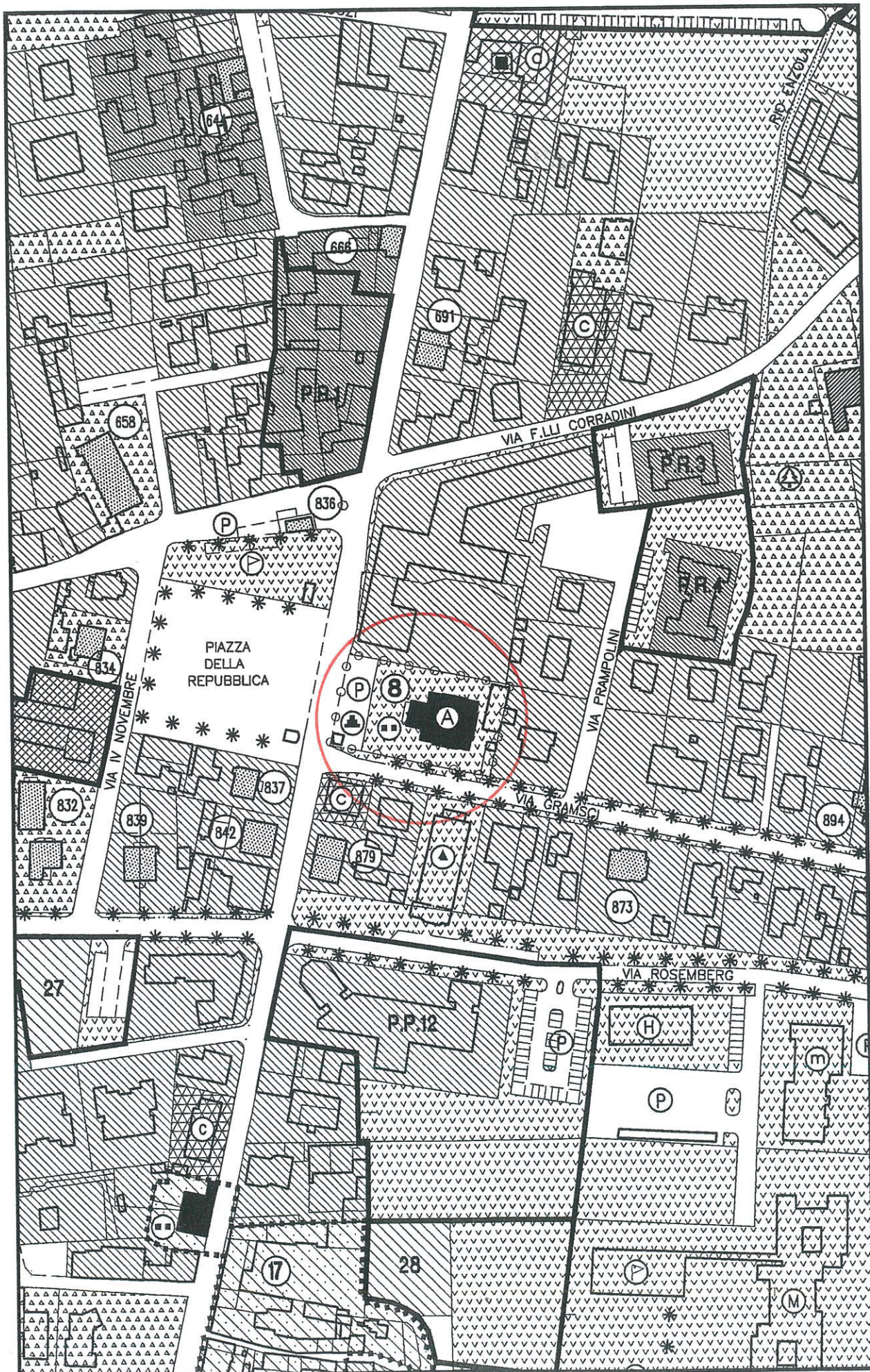
Agli ossidi ed idrossidi di ferro è dovuto il colore rosso del terreno, mentre patine nerastre di manganese sono spesso visibili sulle ghiaie residue e nelle fessure delle argille che le inglobano. I ciottoli silicei, gli unici che hanno mantenute intatte le loro caratteristiche originarie, sono a loro volta rivestiti da una incrostazione silicea (opalina). Pur risultando spesso assente, per eluviazione, l'orizzonte A, tale paleosuolo, rimaneggiato presso la superficie dal plurisecolare intervento antropico, presenta ovunque rilevanti spessori. La natura dei depositi mindeliani è, ovunque affiorino, prevalentemente ghiaiosa. Procedendo dalla zona pedecollinare verso la pianura, la loro pezzatura diviene però meno grossolana e compaiono intercalazioni, sempre più frequenti e di maggior potenza, di depositi clastici più fini, da sabbioso-limosi a limoso-sabbiosi.

All'altezza di Bibbiano predominano ancora comunque le ghiaie, inalterate al di sotto della coltre pedogenetica, con dimensioni molto variabili nei diversi livelli e non di rado eterometriche anche nell'ambito dei singoli corpi sedimentari. Esse risultano frammiste a sabbia e/o limo e ad interstrati della medesima natura in subordine, lentiformi ed embriciati con le ghiaie, secondo la tipica dinamica dei depositi fluviali. Ne deriva che lo spessore dei diversi episodi sedimentari è molto variabile e cambia senza alcuna apparente regolarità anche nell'ambito di ciascuno di essi.

Da rilevare che la litologia del substrato, nel territorio in esame, è stata solo in parte indagata direttamente, poiché le indagini non sempre sono state in grado di attraversare depositi ghiaiosi ad elevato grado di addensamento del tipo di quelli sopra descritti.

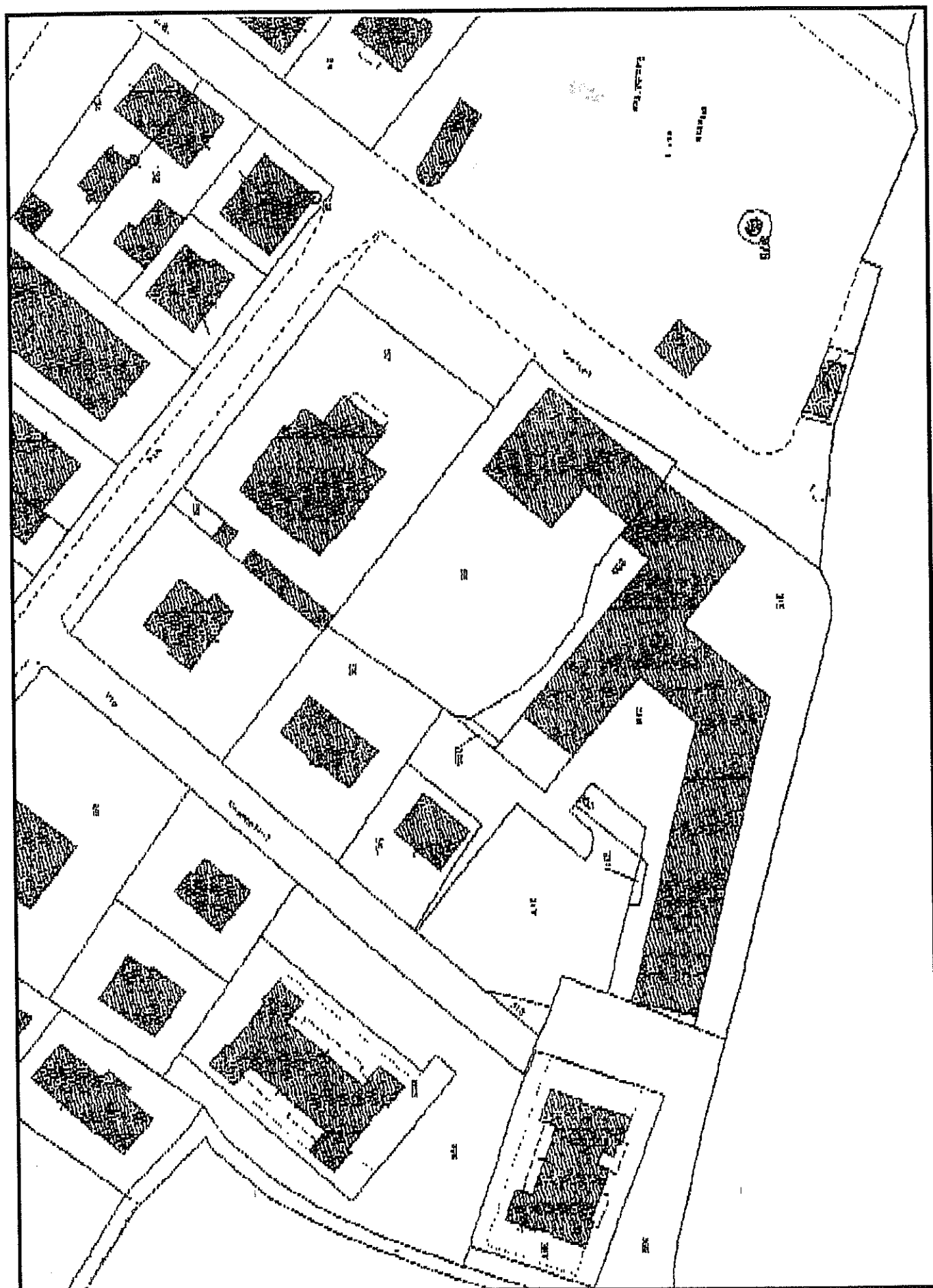
In ogni caso, usufruendo delle risultanze del sondaggio sismico a rifrazione tipo MASW qui effettuato per la determinazione del Vs30, si evince che nella zona, sino alla profondità di 5 m, abbiamo lenti di sabbia e ghiaia decalcificata in matrice limo argilloso. Il grado di consolidazione del deposito è in genere modesto tra i 3 m ed i 5 m, profondità in cui inizia ad essere presente un deposito prevalentemente litoide la cui potenza può essere stimata in oltre 8 m. Oltre, vi è

Elemento n° 200102 - Bibbiano



ESTRATTO PLANIMETRIA CATASTALE COMUNE DI BIBBIANO (RE)

SCALA 1: 1000

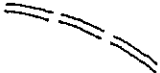
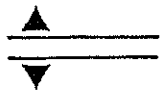
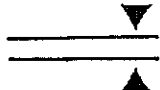


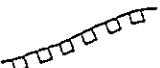
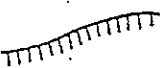
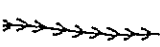







CARTA DELLA LITOLOGIA DI SUPERFICIE DELLA CONOIDE DEL T. ENZA (CON ELEMENTI DI MORFOLOGIA)

Scala 1 : 25.000

LEGENDA

Elementi strutturali, morfologici e idrologici

-  Linea di faglia
-  Asse di anticlinale sepolta
-  Asse di sinclinale sepolta
-  Scarpata fluviale non attiva
-  Scarpata fluviale attiva
-  Scarpata non attiva
-  Scarpata non attiva in terrazze
-  Fosso di ruscellamento concentrato non attivo
-  Valle a fondo concavo non attiva
-  Dosso fluviale ampio
-  Tracce di paleoalvei
-  Coni di deiezione
-  Risorgive

Litologia



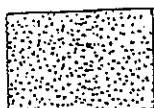
Depositi prevalentemente ghiaiosi recenti e attuali



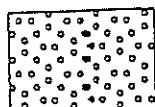
Depositi argilloso-limosi o argillosi.
Suolo grigiastro
Eta': olocene



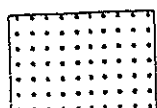
Depositi prevalentemente limosi. Suolo grigiastro.
Eta': olocene



Sabbie con poche lenti di ghiaie. Suolo grigio
o grigio gialliccio
Eta': olocene



Ghiaie eterometriche sulle piccole dimensioni,
miste a sabbie e ad argille siltose. Suolo grigio
o bruno grigiastro.
Eta': olocene



Ghiaie ben classate, non cementate ne' alterate,
di media pezzatura, miste a sabbia, talvolta con
lenti argillose o limose. Suolo argilloso bruno rossastro
per rimaneggiamento dei terreni rissiano-mindeliani.
Eta': pleistocene sup. (Diluvium recente e tardivo):
Pluviale fluvioglaciale Würm.



Ghiaie grossolane debolmente cementate e lenti
di sabbie e sabbie argillose. Suoli argilloso bruno chiaro,
giallo arancio o giallo bruno.
Sull' altopiano del Ghiardo depositi limosi di
probabile origine eolica (loess).
Eta': Pleistocene medio-sup. (Diluvium medio):
Pluviale-fluvioglaciale Riss



Ciottoli e ghiaie eterometriche, miste a sabbie e
limi in subordine, scarsamente cementate.
Intensa alterazione per azione idrolitica, ad eccezione dei
clasti silicei, ricoperti da una spessa patina opalina:
abbondanti laccature di manganese.
Paleosuolo rosso fersiallitico.
Eta': pleistocene medio (Diluvium antico):
Pluviale-fluvioglaciale Mindel.



nuovamente uno strato con un minor grado di addensamento in prevalente matrice pelitica che a sua volta, a partire dalla profondità di circa 20 m, ricopre un secondo banco di sabbie e ghiaie addensate.

IDROGEOLOGIA DI BACINO E LOCALE

Il territorio di Bibbiano ricade all'interno dell'Unità idrogeologica della conoide del F. Enza. La conoide dell'Enza si è infatti sviluppata quasi interamente in provincia di Reggio nell'Emilia, in riva destra dell'attuale percorso del fiume. Quest'ultimo ha poi subito nel tempo, come quasi tutti i corsi d'acqua del versante padano dell'Appennino, un progressivo spostamento verso Ovest, probabilmente a seguito di movimenti tettonici recenti.

In questa località ci troviamo lungo il margine orientale della base della conoide. In profondità abbiamo alternanze di sabbie, ghiaie e materiali limo-argillosi: gli orizzonti acquiferi conosciuti variano da tre a sei e possono raggiungere il 60% dello spessore. In relazione all'ampia distribuzione di materiali permeabili in superficie, la conoide dell'Enza è alimentata dall'infiltrazione di acque superficiali (di precipitazione, di corsi d'acqua minori, di canali, dell'Enza).

In base alla documentazione esistente ed alle caratteristiche della falda rilevate da alcuni pozzi, è possibile delineare un quadro sufficientemente preciso dell'idrogeologia della zona.

La mancanza, in questa località, di una vera e propria falda freatica deve essere ascritta all'esistenza di un alto strutturale in corrispondenza del quale le carte idrogeologiche indicano uno spartiacque principale che, in questa zona, con direzione SO/NE, accompagna, a oriente, la periferia del paese. Saltuariamente possono essere presenti falde sospese nel primo banco di sabbie e ghiaie a 10÷ m dal p.c.; il primo acquifero artesiani si rinviene invece tra -30 e -40 m dal p.c. Altri livelli permeabili, in lenti ghiaiose e sabbiose, sono presenti tra -80/100 m dal p.c, in prossimità del passaggio con il substrato costituito dai sedimenti marini. È questo l'acquifero più produttivo a cui attingono i pozzi irrigui della zona.

IDROGEOLOGIA CONOIDE DEL T. ENZA

CARTA DELLE ISOPIEZE

(SCALA 1 : 25.000)



Assi di drenaggio principali



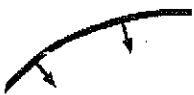
Assi di drenaggio secondari



Assi spartiacque principali



Assi spartiacque secondari



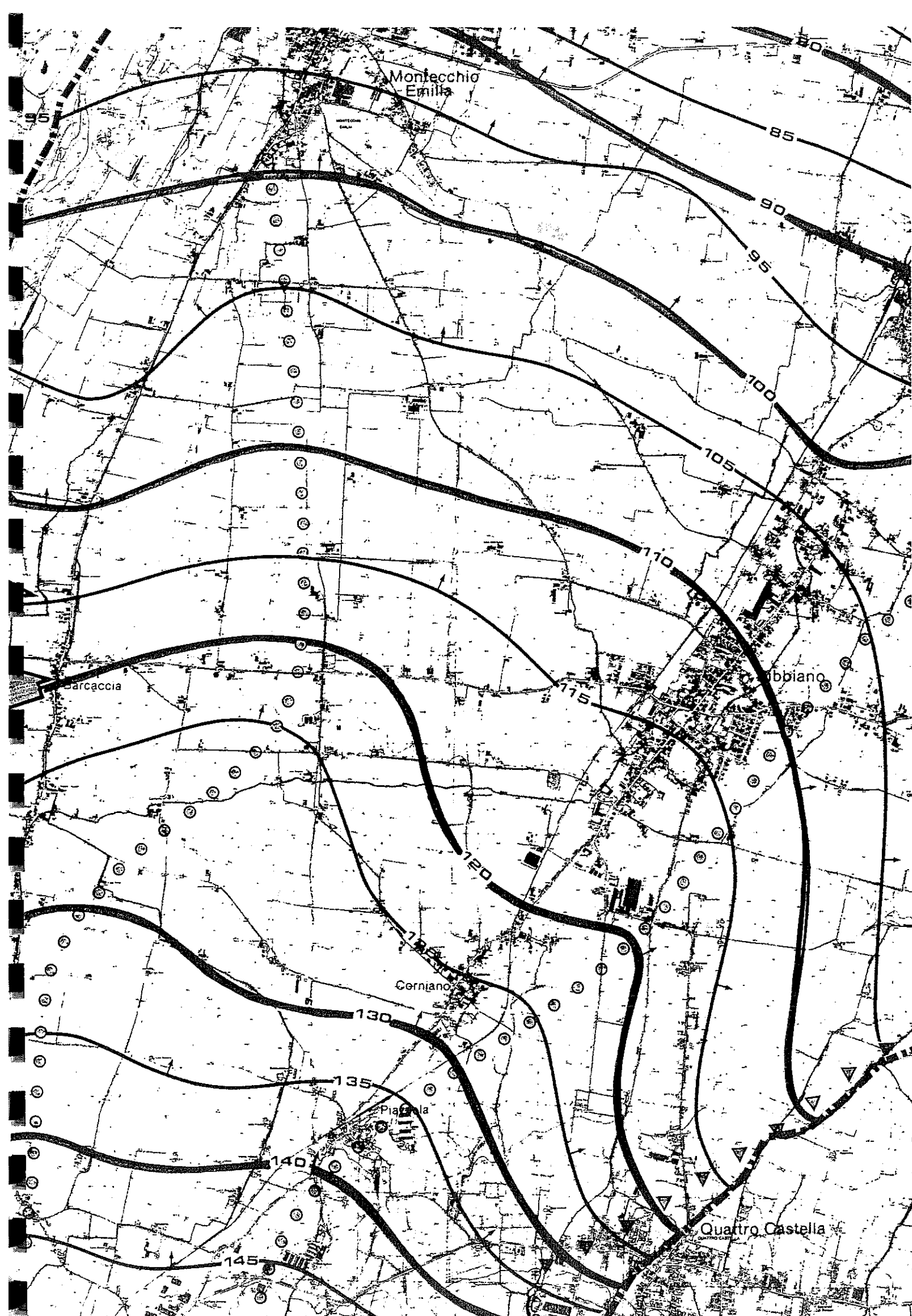
Direzioni di deflusso



Principali direzioni di flusso sotterraneo



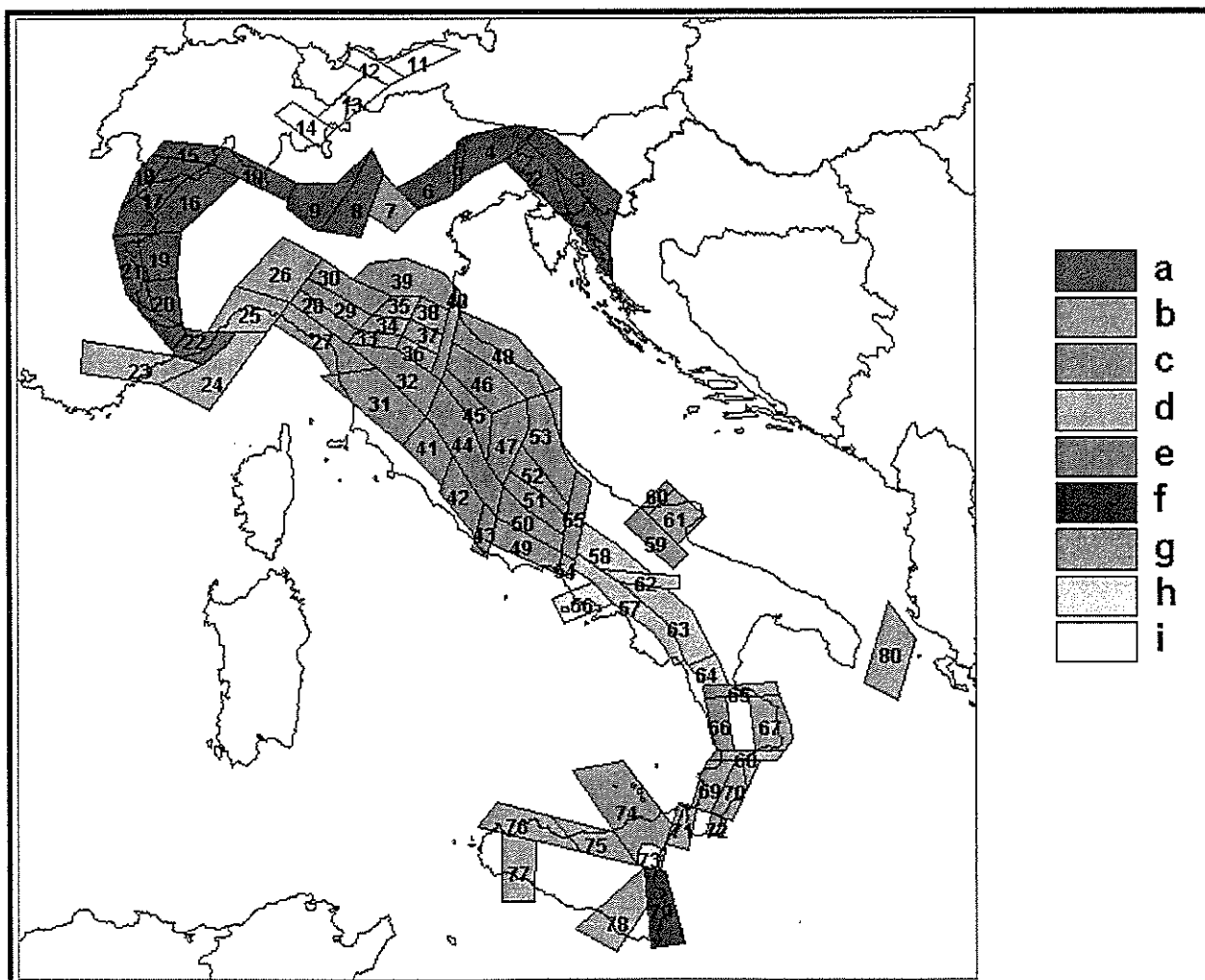
Linee isopiezometriche



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 30, 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).

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

Storia sismica di Bibbiano (RE)

[44.665, 10.474]

Osservazioni disponibili: 9

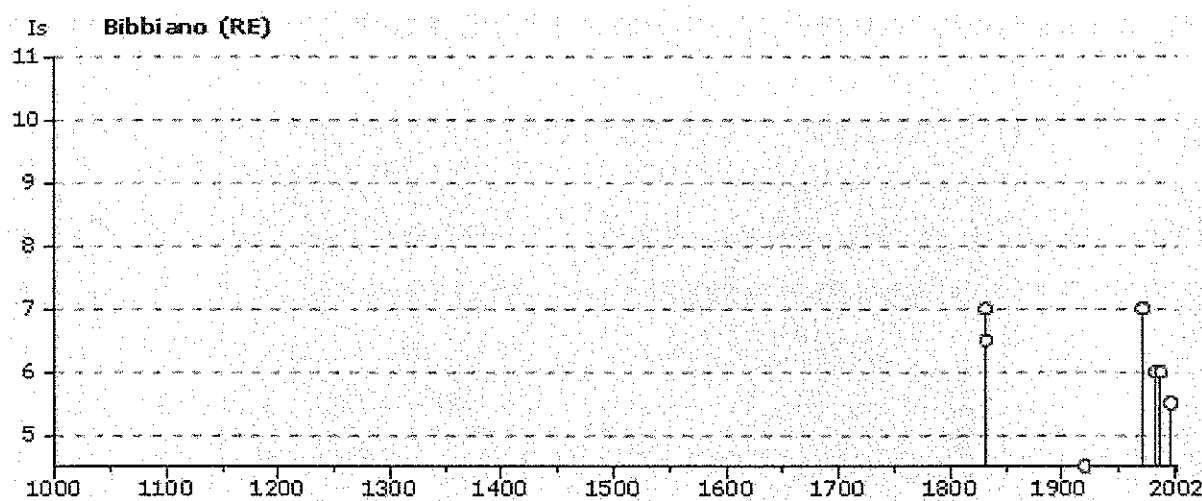
Effetti	In occasione del terremoto:							Io	Mw
	Is	Anno	Me	Gi	Or	Mi	Se		
	7	1831	09	11	18	15		Reggiano	7-8 5.48
	7	1971	07	15	01	33	23	Parmense	7-8 5.61
	6-7	1832	03	13	03	30		Reggiano	7-8 5.59
	6	1983	11	09	16	29	52	Parmense	6-7 5.10
	6	1987	05	02	20	43	53	REGGIANO	6 5.05
	5-6	1996	10	15	09	55	60	CORREGGIO	7 5.44
	4-5	1920	09	07	05	55	40	Garfagnana	9-10 6.48
	2-3	1995	10	10	06	54	22	LUNIGIANA	7 5.04
	NF	1986	12	06	17	07	19	BONDENO	6 4.56

Intendendo:

I_s = Intensità al sito (MCS)

I_o = Intensità epicentrale (MCS)

M_w = Magnitudo



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

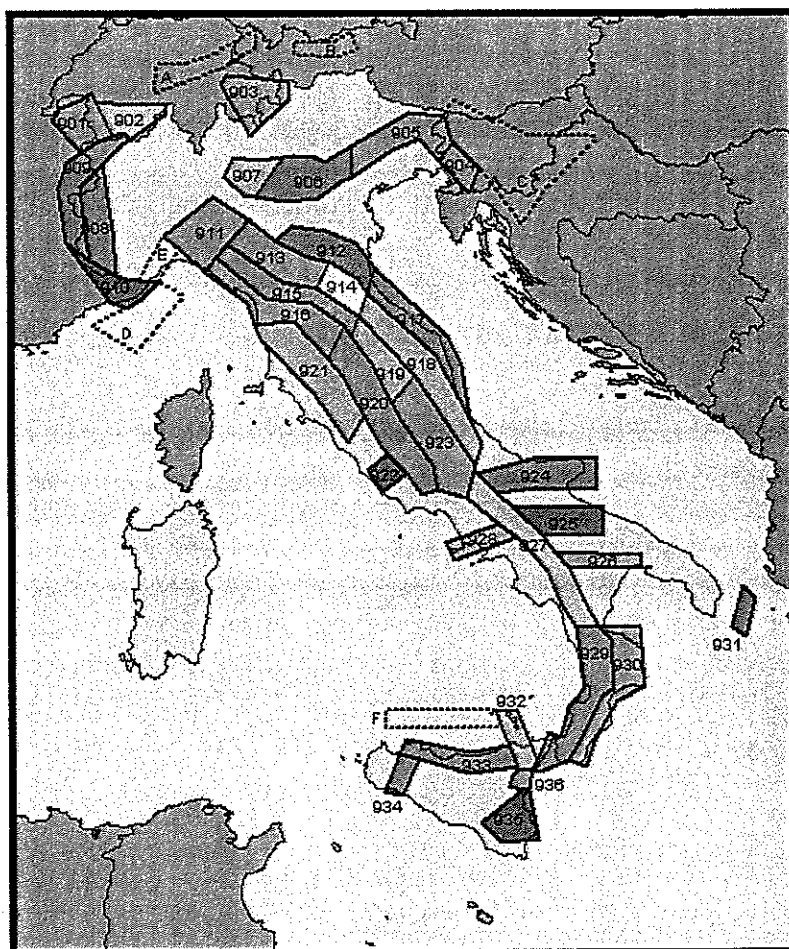
L'Ordinanza P.C.M. n° 3274 del 20 marzo 2003, di recente adozione, ha aggiornato la normativa sismica in vigore, con l'attribuzione, alle diverse località del territorio nazionale, di un valore di scuotimento sismico di riferimento, espresso in termini di incremento di accelerazione al suolo.

Il territorio del comune di Bibbiano, 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 Bibbiano, 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 0.156.



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, si è proceduto all'esecuzione di un sondaggio sismico per determinare il V_{s30} . La prospezione geofisica è stata effettuata 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 i primi cinque strati sono stati rispettivamente ottenuti i seguenti valori di:

1° STRATO	2° STRATO	3° STRATO
$V_s = 184 \text{ m/sec}$	$V_s = 133 \text{ m/sec}$	$V_s = 332 \text{ m/sec}$
$d = 3.0 \text{ m}$	$d = 1.9 \text{ m}$	$d = 8.6 \text{ m}$

4° STRATO	5° STRATO
$V_s = 188 \text{ m/sec}$	$V_s = 627 \text{ m/sec}$
$D = 5.9 \text{ m}$	$d = 10.6 \text{ m}$

da cui si può desumere un valore del V_{s30} di 285 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).

Come coefficiente sismico di fondazione, già prescritto dalla vecchia normativa sismica (D.M. 16/01/1996), si può procedere alla sua determinazione mediante l'utilizzo della procedura proposta da E. Carrara & A. Rapolla (1987), che lega tale valore alla rigidità dei terreni di fondazione posti al di sopra del bedrock sismico.

La rigidità o impedenza sismica viene comunemente calcolata con la seguente relazione:

$$R = \gamma \times V_s$$

dove γ è il peso di volume del terreno considerato e V_s è la velocità delle onde di taglio.

Considerando i due valori estremi di rigidità ($R > 1.5$ ed $R < 0.1$) gli Autori propongono la seguente tabella che consente di valutare i valori del coefficiente di fondazione anche nelle situazioni intermedie.

Tabella proposta E. Carrara & A. Rapolla (1987)

Intervallo	Rigidità (R)	Coefficiente di fondazione (ε)
I	> 1.5	1.0
II	1.5-0.4	1.1
III	0.4-0.1	1.2
IV	< 0.1	1.3

Sulla base dei valori di V_s e delle densità tipiche dei litotipi analizzati dal sondaggio di sismica a rifrazione effettuato si ottengono, per i primi quattro strati rispettivamente:

$$\text{Strato 1} \quad - \quad R = 1.82 \times 184 = 334.88 \text{ t/m}^2 \cdot \text{s}$$

$$\text{Strato 2} \quad - \quad R = 1.74 \times 133 = 231.42 \text{ t/m}^2 \cdot \text{s}$$

$$\text{Strato 3} \quad - \quad R = 1.96 \times 332 = 650.72 \text{ t/m}^2 \cdot \text{s}$$

$$\text{Strato 4} \quad - \quad R = 1.83 \times 188 = 344.04 \text{ t/m}^2 \cdot \text{s}$$

da cui si potrà assumere per il coefficiente di fondazione ε il valore di 1.2.

RISPOSTA SISMICA LOCALE, VITA NOMINALE DELL'OPERA, PERIODO DI RITORNO DELL'AZIONE SISMICA, PERICOLOSITÀ SISMICA E VERIFICA A POSSIBILI FENOMENI DI LIQUEFAZIONE

Il Decreto Ministeriale del 14 gennaio 2008 recante “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.

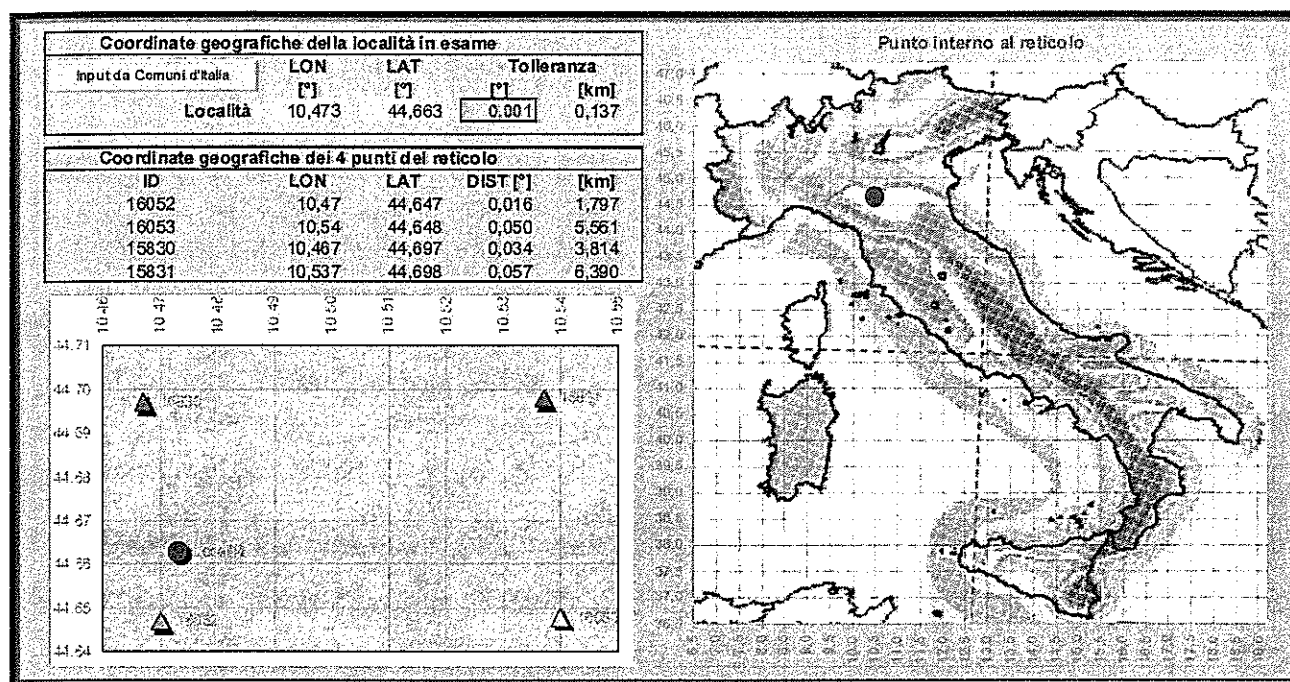
L’azione sismica sulle costruzioni è valutata partendo da una “pericolosità sismica di base”, derivata da studi eseguiti a livello nazionale e definita sulla base condizioni ideali in superficie di suolo rigido e topografia orizzontale.

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

- a_g = accelerazione orizzontale massima
- F_o = 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_o 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, le caratteristiche simiche del terreno nonché lo smorzamento e il fattore di struttura.

VITA DELLA STRUTTURA

Vita nominale V_N [anni]

Classe d'uso C_U

Vita di riferimento V_R [anni]

CARATTERISTICHE SISMICHE TERRENO

Topografia

Coeff. topografico S_T

Categoria suolo

	SL	P_{VR}	T_R	a_g	F_o	T_c^*	S	T_h	T_c	T_D	F_v
sle Operatività	81%	90	0,804	2,47	0,27	1,50	0,15	0,44	1,92	0,94	
sle Danno	63%	151	0,998	2,46	0,28	1,50	0,15	0,44	2,00	1,05	
slu Salv. Vita	10%	1424	2,212	2,44	0,30	1,38	0,16	0,47	2,48	1,55	
slu Collasso	5%	2475	2,593	2,47	0,31	1,32	0,16	0,48	2,64	1,70	

SMORZAMENTO E FATTORE DI STRUTTURA

Smorzamento viscoso equivalente : ξ =

Behavior factor adottato : q = ← sisma orizzontale

Behavior factor adottato : q = ← sisma verticale

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

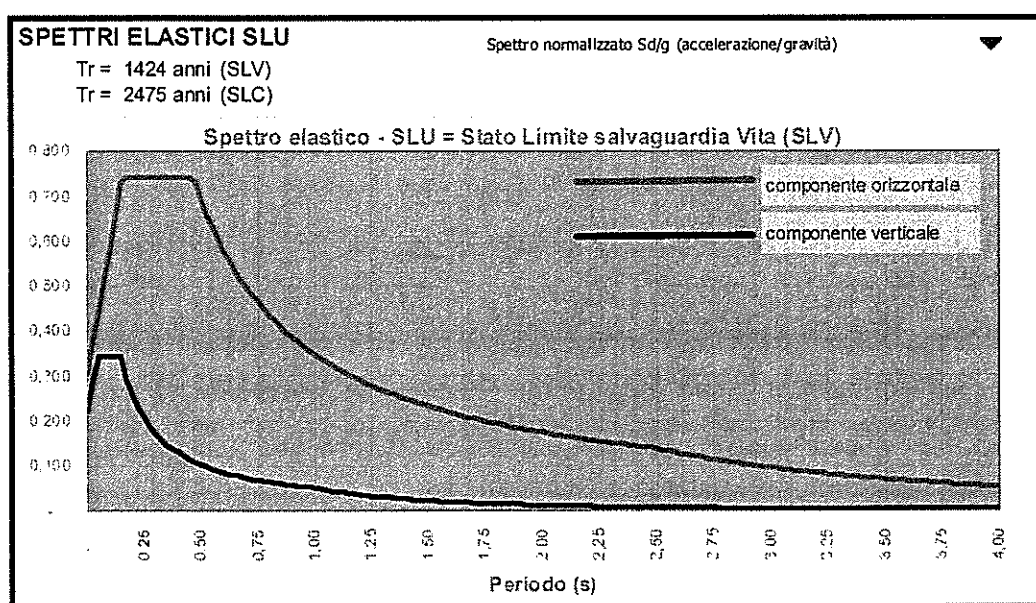
$$a_g = a_g/g = 2.212 / 9.81 = 0.225$$

$$F_o = 2.44$$

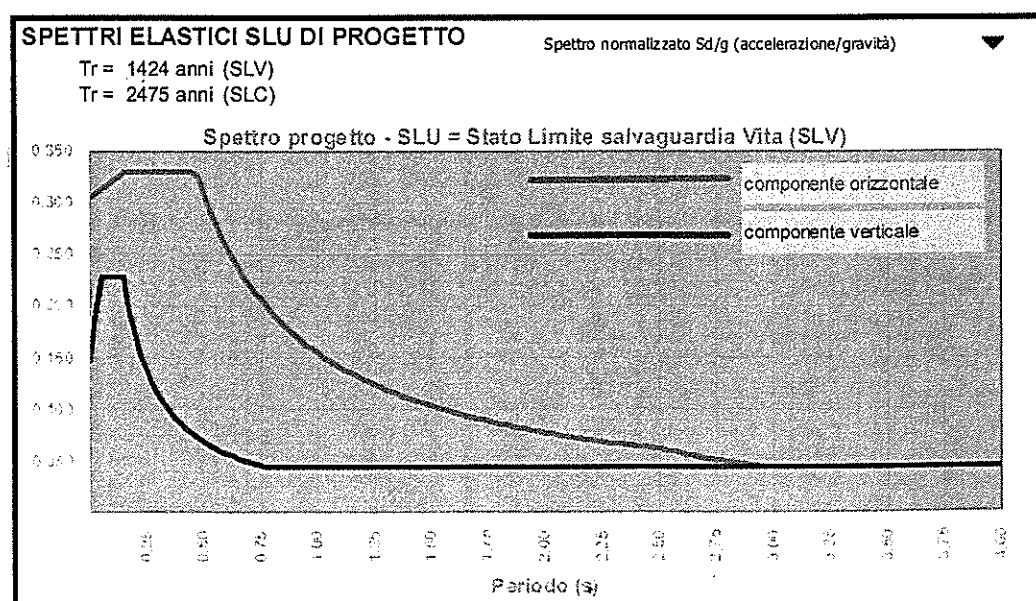
$$T_c^* = 0.30$$

Elaborando i dati forniti, il programma di calcolo ha prodotto gli spettri di risposta elastica necessari per definire gli stati limite di esercizio. Nella fattispecie sono stati ottenuti due tipi di grafici:

- Spettri elastici SLU



- Spettro elastici SLU di progetto



Analizzando gli spettri elastici, si ottengono i coefficienti sismici del terreno e della struttura.

Lo spettro elastico SLU ci evidenzia che per il sito in esame il coefficiente sismico del terreno (k_h), al periodo 0, è pari a 0,304; mentre il k_h della struttura si ottiene dagli spettri elastici SLU di progetto e risulta essere 0,331.

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.

L'analisi approfondita richiede un significativo numero di prove geofisiche e geotecniche, sia in sito che in laboratorio, volte alla valutazione quantitativa del comportamento dei terreni sotto sollecitazione dinamica.

Il Comune di Bibbiano ricade in Zona 3; per l'area di studio non è necessario applicare l'analisi "approfondita", dal momento che non risulta corrispondere a nessuno dei casi precedentemente elencati, critici dal punto di vista degli effetti sismici di sito.

L'analisi semplificata del 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 del 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 F_a è riportata nella sottostante tabella:

F.A. P.G.A.

V_{s30}	200	250	300	350	400	450	500	600	700	800
F.A.	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.5	1.4	1.2	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.	1.9	1.9	1.8	1.8	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	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.	2.6	2.5	2.4	2.1	1.9	1.7	1.6	1.4	1.1	1.0

La tabella è relativa ad una stratigrafia costituita da presenza di potenti orizzonti di ghiaie (anche decine di metri) e da alternanze di sabbie e peliti, con substrato poco 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 ReMi.

In base al valore di V_{s30} ottenuto dalla sismica a rifrazione tipo MASW di 285 m/sec, si ottengono i seguenti fattori di amplificazione:

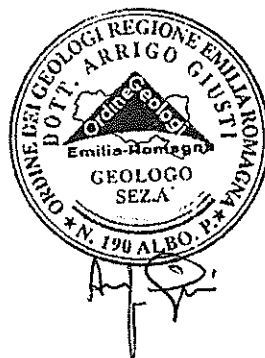
$$PGA F_a = 1.6$$

$$SI (0.1 - 0.5 \text{ sec}) F_a = 1.8$$

$$SI (0.5 - 1.0 \text{ sec}) F_a = 2.4$$

In conformità con quanto richiesto dall'allegato A3 del DAL 112/2007, 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 basso rischio di liquefazione. La verifica (cf. tabelle, diagrammi e profili proposti in allegato) è stata effettuata sia con i metodi che utilizzano le prove sismiche a rifrazione (Andrus e Stokoe 1997 ed Eurocodice 8).

Scandiano, Febbraio 2010



DIAGRAMMI E TABELLE **INDAGINI E VERIFICHE**



- A) **SISMICA A RIFRAZIONE PER
LA DETERMINAZIONE DEL V_{s30}**
(realizzata con sismografo PASI 16SG12)

- B) **VERIFICA A LIQUEFAZIONE**
(eseguita con il programma LAN dell'Aztec Informatica)

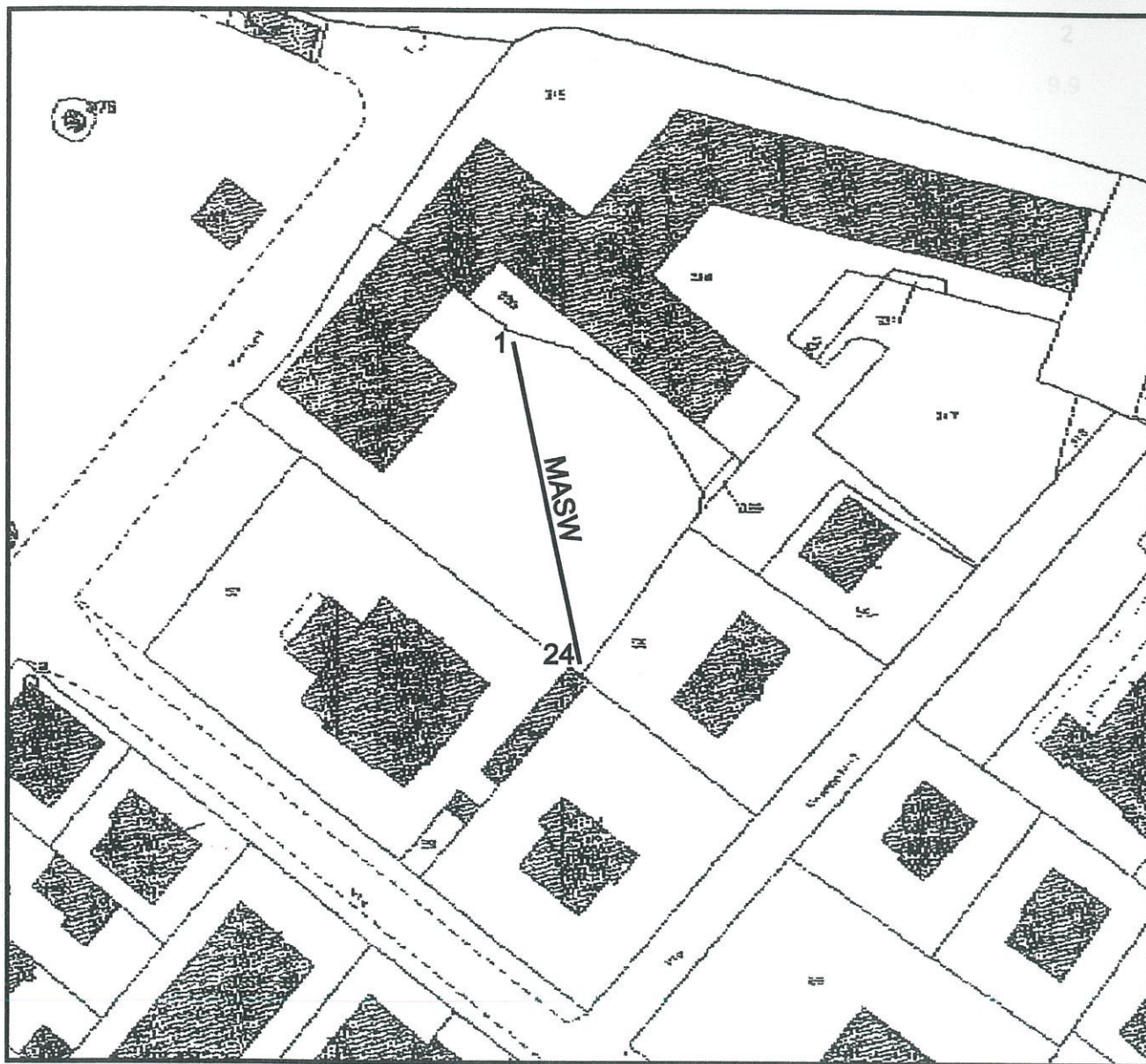
SISMICA A RIFRAZIONE

Determinazione del V_{s30}



SISMOGRAFO: PASI 16SG12

SCALA 1 : 1000



winMASW_report.txt

==o== SECTION#1

dataset: Bibbiano.DAT

minimum offset (m): 3

geophone spacing (m): 2

sampling (ms): 1

Dispersion curve: Comune di Bibbiano.cdp

Number of individuals: 30

Number of generations: 31

Adopted search space (minimum Vs & thickness):	100	2.9	100	1.8	100	2
	100	2	200			
Adopted search space (maximum Vs & thickness):	300	3.1	400	2	500	9.9
	600	15	811			
Adopted Poisson values:	0.35	0.35	0.35	0.35	0.3	

Output folder: C:\winMASW411pro\output\Giusti 2010\02 Febbraio

==o== SECTION#2

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits:	-81.8256	-33.4494
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits:	-70.6782	-27.3025
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits:	-62.7987	-26.3088
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits:	-53.6704	-26.0725
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits:	-59.2455	-26.0725
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits:	-59.3055	-26.0725
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits:	-62.4722	-26.0725
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits:	-66.9548	-26.0725
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits:	-61.5373	-26.0725
Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits:	-53.0351	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits:	-52.1524	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits:	-52.9711	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits:	-52.2648	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits:	-58.8276	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits:	-62.8102	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits:	-48.0011	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits:	-59.8446	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits:	-61.0624	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits:	-60.2235	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits:	-51.184	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits:	-51.4007	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits:	-57.8424	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits:	-56.8709	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits:	-61.4813	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits:	-61.2811	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits:	-60.2184	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits:	-57.8009	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits:	-59.6695	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits:	-54.1804	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits:	-58.0691	-25.7045
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits:	-47.4756	-25.7045

Checking the new search space (for the finer search)

Now a finer search around the most promising search space area

winMASW_report.txt

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -63.4906	-22.7973
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -65.9983	-22.7973
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -62.6515	-22.7973
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -71.5154	-22.7973
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -62.2687	-22.7973
Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -51.4281	-22.7973
Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -57.6075	-21.4128
Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -64.1054	-21.4128
Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -70.0127	-21.4128

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

Vs (m/s): 186 133 333 179 626

Poisson: 0.35 0.35 0.35 0.35 0.3

Thickness (m): 3 2 8.6 5.9

Number of models considered to calculate the average model: 20

RESULTS winMASW Pro
#####

Dataset: Bibbiano.DAT

Analyzed curve: Comune di Bibbiano.cdp

Posterior Probability Density (deviazioni standard) not defined because of insufficient data

==o== SECTION#3

MEAN MODEL

VS (m/s): 184 133 332 188 627

Standard deviations (m/s): 0 0 0 0 0

Thickness (m): 3.0 1.9 8.6 5.9

Standard deviations (m): 0.0 0.0 0.0 0.0

Approximate values for Vp, density & elastic moduli

Vp (m/s): 383 277 691 391 1173

Density (gr/cm3): 1.82 1.74 1.96 1.83 2.09

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): 167 83 585 174 2139

Sjear modulus (MPa): 62 31 217 65 823

Lamé (MPa): 144 72 505 150 1234

Bulk modulus (MPa): 185 93 649 193 1782

Fundamental mode

Mean model

f(Hz) VR(m/s)

3.05814 509.4747

4.86353 348.4804

7.96879 239.5553

14.1071 181.9537

winMASW_report.txt

19.7399 162.5773
29.9945 162.2543

First higher mode

Mean model

7.96879 428.973
10.063 373.8381
13.5294 288.6964
16.8513 274.1321
34.2552 228.4807

Second higher mode)

Mean model

12.0851 520.8365
14.1793 447.8038
16.9235 365.2042
19.8843 337.7861
23.2062 314.7339
26.0226 292.2248
29.1279 276.6127
37.1438 251.053

==o== SECTION#4

=====

BEST MODEL

Vs (m/s): 185.7699 132.5767 333.4725 178.5852 625.557
thickness (m): 3.0044 1.9762 8.6264 5.9427

Approximate values for Vp, density & elastic moduli

Vp (m/s): 387 276 694 372 1170
Density (gr/cm3): 1.82 1.74 1.97 1.81 2.09
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): 170 83 589 157 2131
Shear modulus (MPa): 63 31 218 58 820
Lamé (MPa): 147 71 511 135 1224
Bulk modulus (MPa): 189 92 656 174 1771

dispersion curve (frequency - Rayleigh phase velocity)

Fundamental mode)

best model

F(Hz) VR(m/s)
3.05814 505.9836
4.86353 315.9205
7.96879 235.5715
14.1071 181.1551
19.7399 162.8515
29.9945 162.9955

First higher mode)

best model

7.96879 428.7405
10.063 373.9657
13.5294 285.3966

16.8513	272.056
34.2552	212.1096

Second higher mode)
best model

12.0851	516.1854
14.1793	436.8141
16.9235	363.1029
19.8843	335.9445
23.2062	308.8471
26.0226	284.3534
29.1279	276.0116
37.1438	252.4649

VS5 (mean model): 161 m/s
VS5 (best model): 161 m/s

VS20 (mean model): 224 m/s
VS20 (best model): 220 m/s

VS30 (mean model): 285 m/s
VS30 (best model): 281 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 $c_{u30} > 250$ 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 $70 < c_{u30} < 250$ 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 $c_{u30} < 70$ 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 $10 < c_{uS30} < 20$ 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.

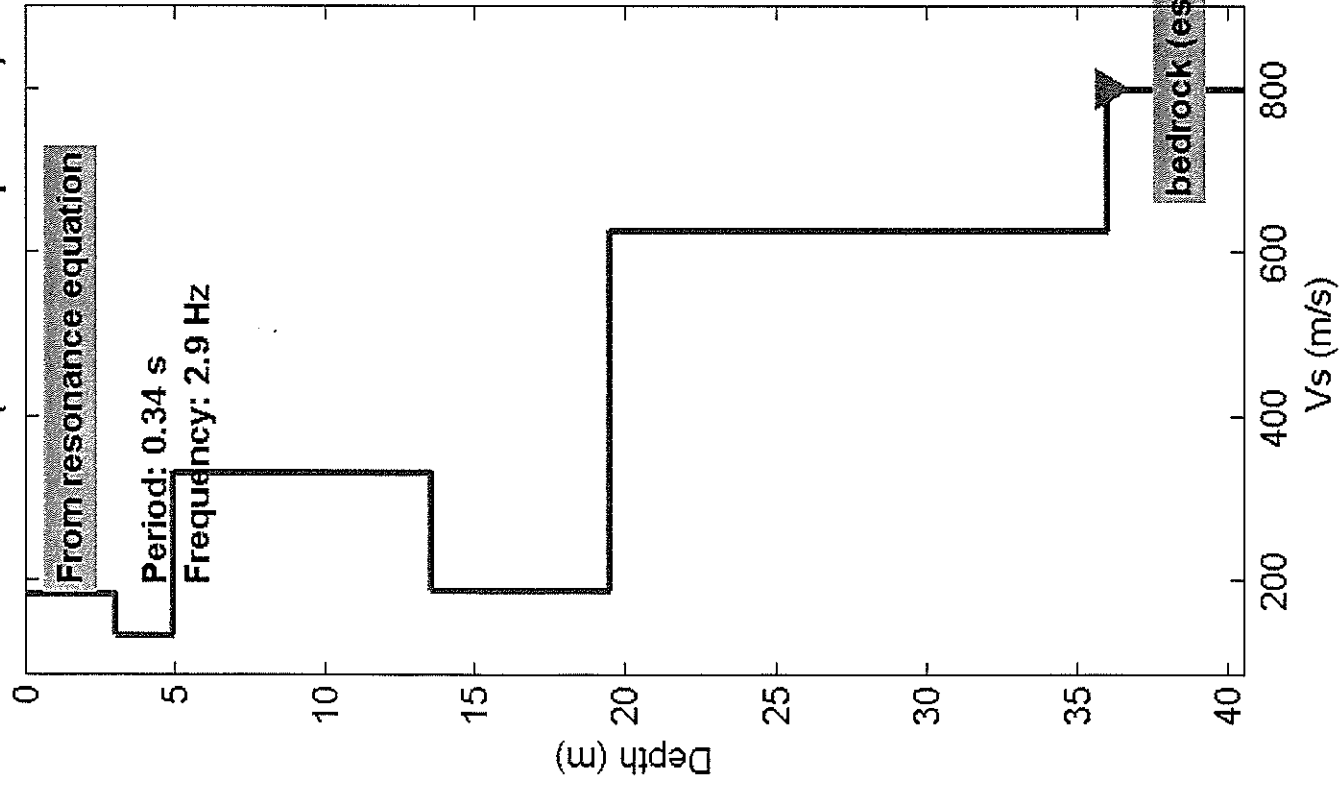
winMASW_report.txt

Results saved in the folder "C:\winMASW411pro\output\Giusti 2010\02 Febbraio".

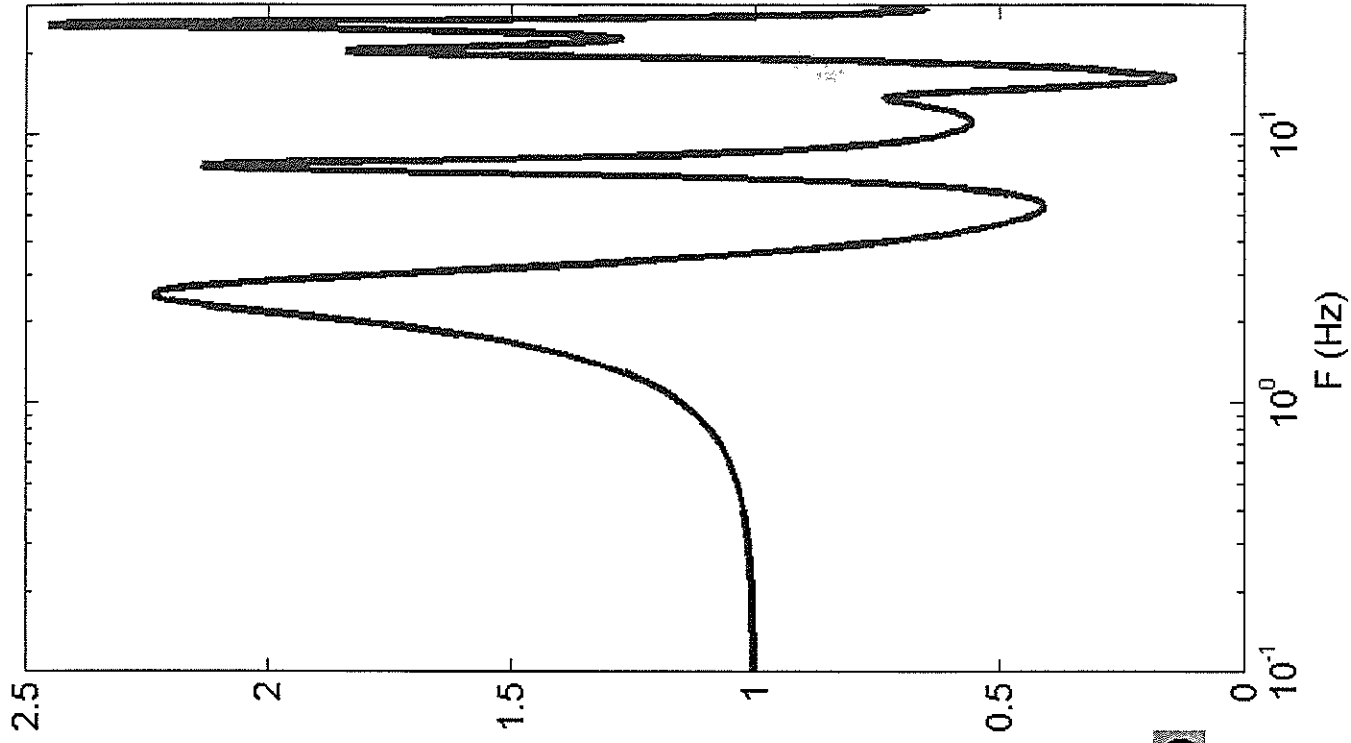
winMASW 4.2 Pro
Surface Wave Analysis
via MASW - Multichannel Analysis of Surface Waves

www.eliosoft.it

Mean model (reference depth: 0m)

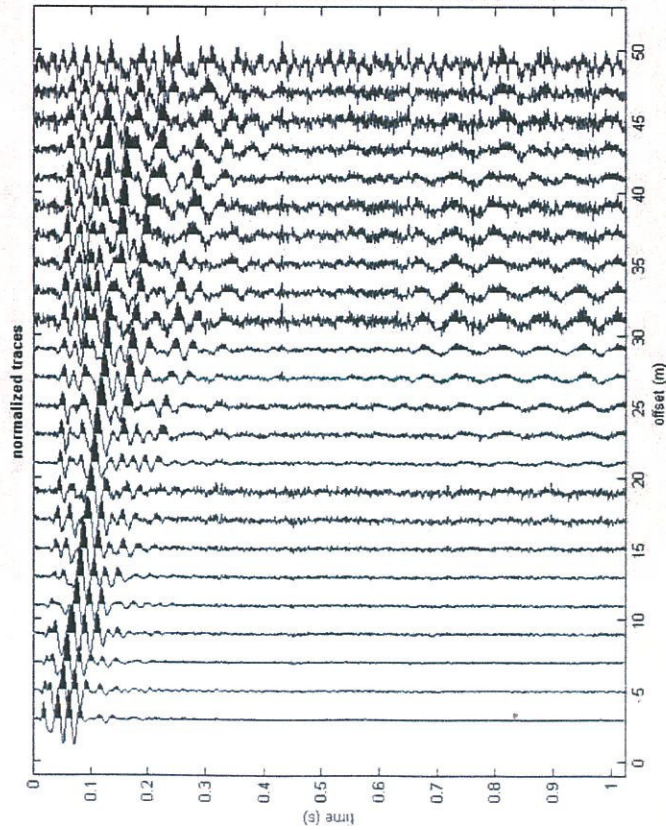


HVSR



#1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: Bibbiano.DAT
 minimum offset: 3 m
 geophone spacing: 2 m
 sampling: 1 ms



flip traces

spectrum

move ?

activate

select

cancel

20

save

quick refraction

upload

clear refraction

refraction

save

ver. 4.1 Pro

Attenuation analysis

www.ellosoft.it
winMASW

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

calculate spectrum

Tau - v

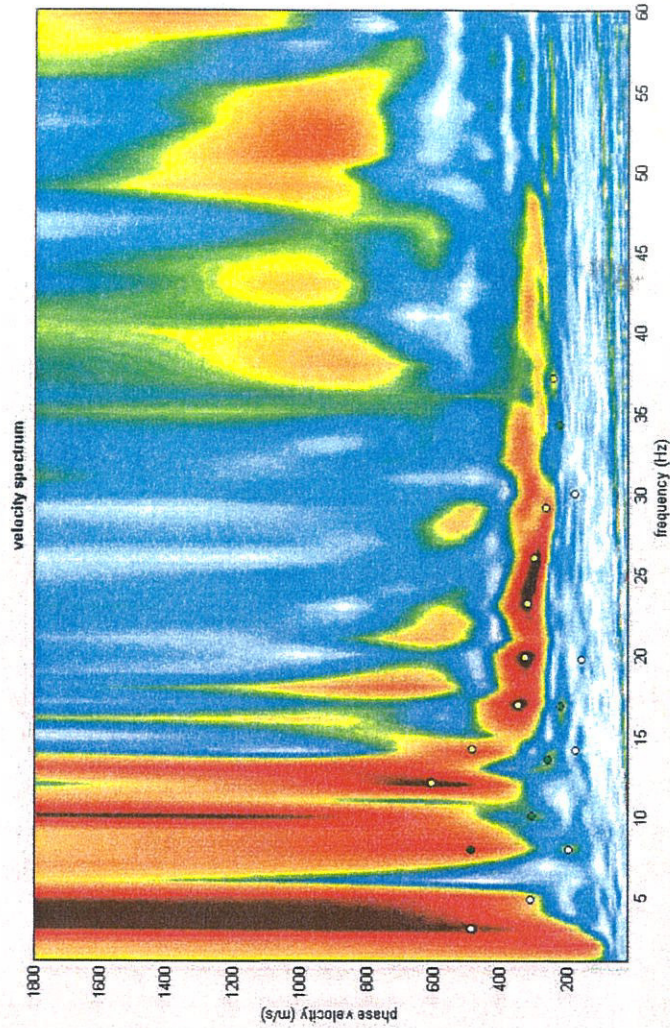
upload ReMi spectrum

ReMi

input curve

?

visualize curves



explore spectrum

Comune di Bibbiano.cdp

picking

second higher

?

use the right button to select the last point of the considered mode

save picking

?

cancel picking

inversion

exit

modelling

parameters

save model

upload model

3

Rayleigh

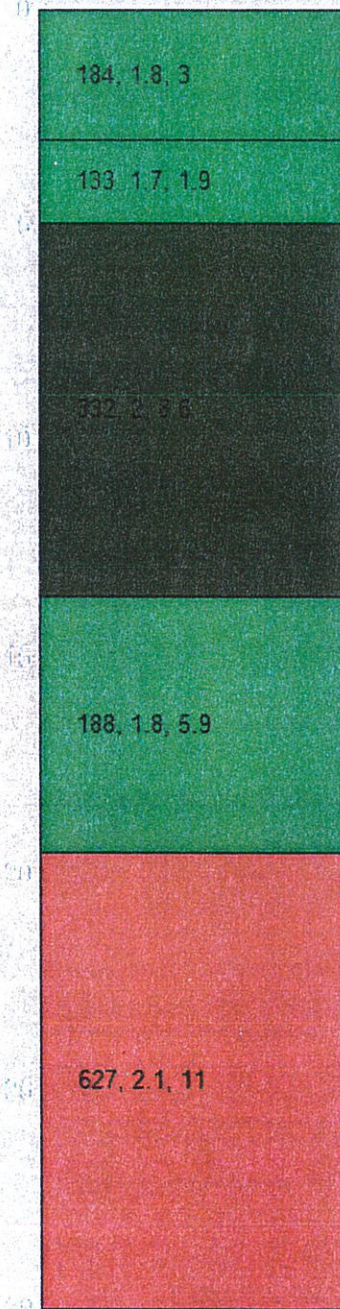
?

align period

refresh

?

Subsurface model



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

winMASW 4.1.1 Pro - Inversion of Surface-Wave Dispersion Curves

Main results

See "winMASW_report.txt" for further details.

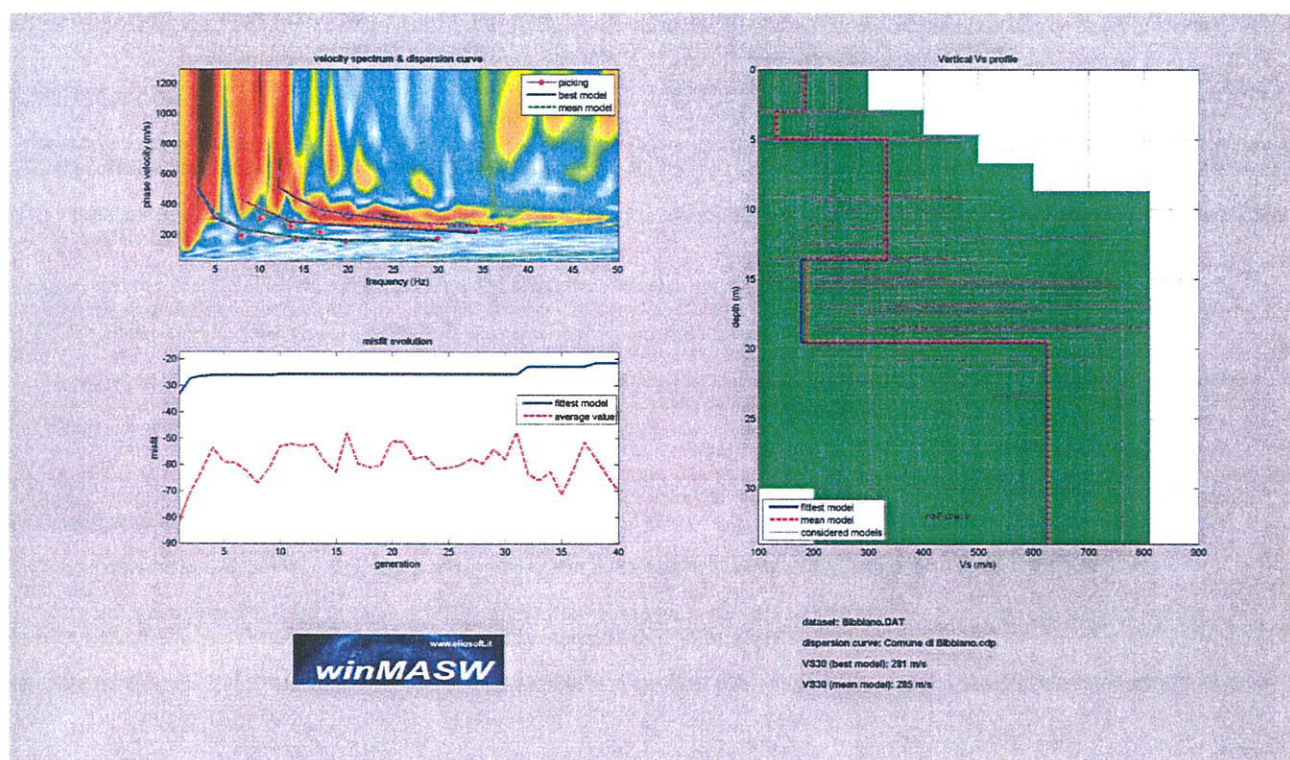
www.eliosoft.it

Date: 6 2 2010

Time: 9 30

Dataset: Bibbiano.DAT

Considered dispersion curve: Comune di Bibbiano.cdp



Mean model

Vs (m/s): 184, 133, 332, 188, 627

Thickness (m): 3.0, 1.9, 8.6, 5.9

Density (gr/cm³): 1.82, 1.74, 1.96, 1.83, 2.09

Shear modulus (MPa): 62, 31, 217, 65, 823

Analysis: Rayleigh Waves

Approximate values for Vp and elastic moduli

Vp (m/s): 383, 277, 691, 391, 1173

Poisson: 0.35, 0.35, 0.35, 0.35, 0.30

Bulk modulus (MPa): 185, 93, 649, 193, 1782

Young's modulus (MPa): 167, 83, 585, 174, 2139

Lamé (MPa): 144, 72, 505, 150, 1234

VS30 (m/s): 285

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 $10 < cu_{30} < 20$ 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.

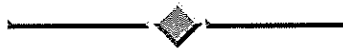
S2 - Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

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: Valutazione della sicurezza del Municipio di Bibbiano

Committente: Comune di Bibbiano

Località: Piazza D. Chiesa - Bibbiano (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

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 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/cm²].

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

$$F_s = CRR / CSR$$

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_{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	0.23	5000,00	0,90	10,0

Dati Stratigrafia

Simbologia adottata

$Nr.$: Indice dello strato;
<i>Descrizione</i>	: 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];
<i>fine</i>	: Contenuto di fine presente nello strato espressa in [%].

Nr.	Descrizione	h	γ	γ_s	d ₅₀	fine
1	argille sabbioso limose con ghiaie	3,0	1820	1920	0,004	75.00
2	limi argilloso sabbiosi	1,9	1740	1840	0,02	80.00
3	sabbie e ghiaie	8,6	1960	1960	2,00	10.00
4	argille sabbioso limose con ghiaie addensate	5,9	1830	1930	0,004	70.00
5	ghiaie addensate	10,6	2090	2090	2,00	5.00

Dati Indagini

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	3,0	184.00
2	4,9	133.00
3	13,5	332.00
4	19,4	188.00
5	30,0	627.00

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 ANDRUS

Nr.	z_i	σ'_v	σ_v	r_d	MSF	CSR	CRR	F_s
1	3,00	1,05	1,05	0.98	2.62	0.14	0.05	2.65
2	4,90	1,38	1,38	0.96	2.62	0.05	0.05	0.94
3	13,50	2,71	3,06	0.81	2.62	1000.00	0.05	19520.45
4	19,40	3,26	4,20	0.66	2.62	0.07	0.05	1.40
5	30,00	4,42	6,42	0.66	2.62	1000.00	0.05	18812.33

Indice di Liquefacibilità del deposito (I.L.): **0.01**

Rischio di liquefazione: **basso**

Metodo Eurocodice SISM

Nr.	z_i	σ'_v	σ_v	r_d	MSF	CSR	CRR	F_s
1	3,00	1,05	1,05	0.98	2.71	0.23	0.05	4.41
2	4,90	1,38	1,38	0.96	2.71	0.11	0.05	2.06
3	13,50	2,71	3,06	0.81	2.71	0.88	0.05	17.73
4	19,40	3,26	4,20	0.66	2.71	0.14	0.05	3.02
5	30,00	4,42	6,42	0.66	2.71	-0.79	0.05	-15.34

Indice di Liquefacibilità del deposito (I.L.): **0.00**

Rischio di liquefazione: **molto basso**