

ALLEGATO 2

Indagini geognostiche FER estratte dal Progetto Definitivo Metro Engineering

INDAGINI SISMICHE

Realzione geologico-sismica approfondimenti di III livello dal RER 112/2007
(codice D0L0DPGGE003)



FERROVIE EMILIA ROMAGNA s.r.l.

LINEA FERROVIARIA BOLOGNA - PORTOMAGGIORE

PROGETTAZIONE E COORDINAMENTO DELLA SICUREZZA IN FASE DI
PROGETTAZIONE PROPEDEUTICHE ALLA REALIZZAZIONE DI INTERVENTI
INFRASTRUTTURALI PER L'AMMODERNAMENTO ED IL POTENZIAMENTO
DELLA LINEA

LOTTO 1 - INTERRAMENTO TRATTA SAN VITALE RIMESSE (km 2+084,300 - km 3+328,107)

LOTTO 2 - INTERRAMENTO TRATTA VIA LARGA (km 4+229,85 - km 5+161,80)

PROGETTO DEFINITIVO

0	20/07/14	EMISSIONE PER VARIANTE AL POC			Mardegan	Mardegan	Mardegan	Mardegan	Carbone
Aggior.	Data	Descrizione			Disegnato	Progettato	Verificato	Acquisito	Approvato

RELAZIONE GEOLOGICO - SISMICA APPROFONDIMENTI DI III LIVELLO DAL RER 112 / 2007

Commessa	Lotto	Fase	Opera	Parte d'Opera	Progressivo	Tipo	Scala	Dimensioni	IL COMMITTENTE
D0	L0	D	PG	GE	003	RT		A4	
	METRO ENGINEERING srl				Prof. Ing. Renato Vitaliani				
	S.TE.P. S.n.c.				COGEO Studio Geologico Associato				
	COORDINAMENTO Dott.Ing. Ignazio Carbone				PROGETTAZIONE Dott.Ing. Ignazio Carbone				
									 Dott. Ing. IGNAZIO CARBONE DIRETTORE TECNICO

SOMMARIO

1	INTRODUZIONE	2
2	INPUT SISMICO (Segnali di Riferimento).....	3
2.1	STIMA DELL'ACCELERAZIONE DI BASE DAL RER 112/07 (Tr=475)	4
2.2	STIMA DELL'ACCELERAZIONE DI BASE PER L'OPERA (Tr=1898)	5
2.3	NOTE SUGLI ACCELEROGRAMMI DI INPUT	5
2.4	DATI DI DISAGGREGAZIONE	7
2.5	ACCELEROGRAMMI DI INPUT	11
2.5.1	Segnali di riferimento Regionali	11
2.5.2	Estrazione di accelerogrammi naturali	11
3	STRATIGRAFIA E SISMOSTRATIGRAFIA.....	14
4	CURVE DI DEGRADO E DI SMORZAMENTO	17
5	ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	20
5.1	RSL SECONDO IL DAL RER 112/2007 (EERA - Tr = 475 anni).....	20
5.1.1	San Vitale.....	21
5.1.2	Via Larga.....	25
5.2	VERIFICA E CONFRONTO DEI DATI (Tr=475 anni)	29
5.2.1	San Vitale.....	29
5.2.2	Via Larga.....	31
5.3	RSL PER L'OPERA IN PROGETTO (Tr=1898 anni)	33
5.3.1	San Vitale.....	33
5.3.2	Via Larga.....	34
6	VERIFICA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE.....	36
6.1	Verifica alla Liquefazione Sondaggio 1V - H=4.5 m.....	38
6.2	Verifica alla Liquefazione Sondaggio 1V - H=17 m.....	38
6.3	Verifica alla Liquefazione Sondaggio 4V - H=2.5 m.....	38
6.4	Verifica alla Liquefazione Sondaggio 4V - H=2.5 m.....	39

1 INTRODUZIONE

Per il presente lavoro si sono utilizzati i dati pregressi esistenti (sondaggi a carotaggio continuo eseguiti per conto di MM (2009) e sondaggi a carotaggio continuo e pozzi prelevati online dall'archivio RER. Infine per la ricostruzione sismostratigrafica sono state effettuate numerose registrazioni sismiche (MASW, REMI/ESAC, HVRS).

Il quadro delle conoscenze geologiche, stratigrafiche, ma soprattutto sismiche del sito ha consigliato di seguire l'originaria suddivisione del tracciato e cioè di suddividere il tracciato in 2 aree principali anche per l'analisi di RSL:

- Zona San Vitale-Rimesse;
- Zona Via Larga.

E' evidente che la finalità di un lavoro di questo tipo è duplice: da una parte si vogliono approfondire gli aspetti di amplificazione locale (RSL), tenendo conto delle direttive e della normativa regionale (DAL RER 112/2007), ad uso soprattutto della pianificazione territoriale; dall'altra si vuole verificare se il "metodo semplificato" (DM 14/01/ 2008), utilizzato per la progettazione dell'opera, possano rispondere in modo adeguato alla risposta sismica del sito.

A questo punto bisogna chiarire che gli input sismici messi a disposizione dalla regione sono stati creati allo scopo della pianificazione territoriale (PSC-POC-RUE) e sono stati costruiti con tempi di ritorno di 475 anni, mentre per la progettazione dell'opera sono previsti tempi di ritorno di 1898 anni.

Appare ovvio che, per la completezza del lavoro, si rende necessario prendere in considerazione gli input sismici costruiti su entrambi i periodi di ritorno.

Nel presente studio da un lato si vuole ottenere risultati confrontabili con gli strumenti di pianificazione territoriale forniti dalla regione ($T_r=475$ anni), dall'altro si vuole verificare se lo spettro normalizzato della procedura semplificata (Classe d'uso IV e vita nominale $V_n=100$ anni, stato limite SLV) sia confrontabile con quello ricavato per il sito con la RSL. Tutto ciò comporta che per ogni sito (San Vitale e Via Larga) si sono effettuate 2 RSL distinte con entrambi i tempi di ritorno. Inoltre, per entrambe le aree, nel caso di tempi di ritorno di 475 anni si è voluto mettere a confronto i risultati ottenuti utilizzando due diversi software specifici: codice **EERA** (Bardet et al., 2000) e/o il software **STRATA** (Kottke & Rathje, 2008). In Particolare con il codice EERA si è preferito utilizzati gli input sismici regionali, mentre il programma STRATA è stato per lo più utilizzato per elaborare gli input naturali prelevati tramite il programma Rexel 3.5 beta.

2 INPUT SISMICO (SEGNALI DI RIFERIMENTO)

La prima informazione necessaria per la definizione dell'input sismico è l'accelerazione di base del sito di progetto (a_g), al valore della quale bisognerà scalare gli accelerogrammi. Per la definizione di tale parametro sono necessarie alcune informazioni relative al progetto ed alla sua localizzazione spaziale.

In sintesi i parametri necessari sono i seguenti:

- 1) Coordinate del sito
- 2) Vita di riferimento V_r come moltiplicazione della Vita nominale (V_n) e del Coefficiente d'uso (C_u) derivanti dalla scelta progettuale;
- 3) Stato limite o stati limite del progetto, ad esempio Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV) e Stato Limite di Danno (SLD), a cui corrisponderanno differenti a_g in funzione dei differenti periodi di ritorno T_r . In questo studio è stato preso in considerazione lo SLV.

Per calcolare l'accelerazione di base del sito e l'azione sismica di progetto si può utilizzare il foglio di calcolo Spettri-NTC ver.1.0.3 rilasciato dal Consiglio Superiore dei Lavori. Le coordinate devono essere in gradi sessagesimali e nel sistema di riferimento ED50. Ovviamente, vista la premessa, abbiamo la necessità di verificare per entrambi i siti studiati l'accelerazione di base con entrambi i tempi di ritorno $T_r=475$ e $T_r=1898$ anni. Per le coordinate invece possiamo utilizzare, per entrambi i siti, quelle tipiche della città di Bologna che compaiono nel foglio di calcolo del consiglio dei lavori pubblici:

FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO

Ricerca per coordinate LONGITUDINE: 11.35140 LATITUDINE: 44.50750

Ricerca per comune REGIONE: Emilia-Romagna PROVINCIA: Bologna COMUNE: Bologna

Elaborazioni grafiche
Grafici spettri di risposta
Variabilità dei parametri

Elaborazioni numeriche
Tabella parametri

Nodi del reticolo intorno al sito

Reticolo di riferimento

Controllo sul reticolo
● Sito esterno al reticolo
● Interpolazione su 3 nodi
● Interpolazione corretta

Interpolazione
media ponderata

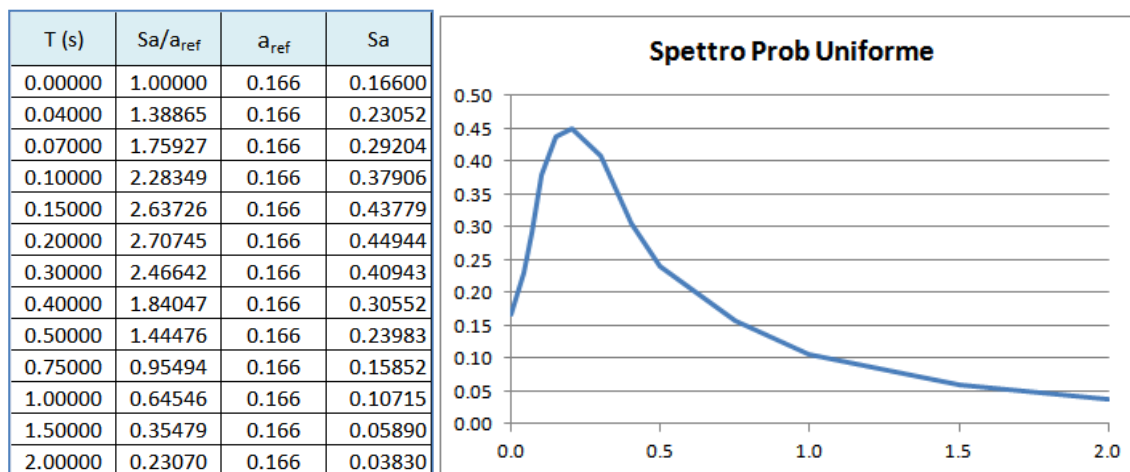
La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle così individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

2.1 STIMA DELL'ACCELERAZIONE DI BASE DAL RER 112/07 (TR=475)

Utilizzando il foglio excel Spettri-NTC ed immettendo le coordinate del sito, quindi la vita nominale ($V_n=50$ anni) ed il coefficiente d'uso della ipotetica costruzione ($C_u=50$), si ottengono i valori riportati nella seguente tabella:

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	30	0.054	2.478	0.258
SLD	50	0.067	2.479	0.272
SLV	475	0.166	2.399	0.310
SLC	975	0.212	2.430	0.315

La Regione Emilia Romagna fornisce, per un periodo di ritorno di 475 anni oltre che l'accelerazione di base per ogni singolo comune, anche una procedura per il calcolo dello spettro di risposta a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico (sempre su suolo di riferimento) atteso per ogni comune. Dallo spettro di risposta normalizzato è possibile ottenere, moltiplicando i valori della tabella sottostante per il valore di a_g di ogni comune, lo spettro di risposta a probabilità uniforme. Per la città di Bologna si ottiene il seguente spettro:



Tale spettro può essere confrontato durante le analisi di RSL con lo spettro al bedrock.

2.2 STIMA DELL'ACCELERAZIONE DI BASE PER L'OPERA ($T_R=1898$)

Utilizzando il foglio excel Spettri-NTC ed immettendo le coordinate del sito, quindi la vita nominale ($V_n = 100$ anni) ed il coefficiente d'uso della costruzione ($C_u=100$), si ottengono i valori riportati nella seguente tabella

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
SLO	120	0.096	2.464	0.286
SLD	201	0.120	2.415	0.291
SLV	1898	0.260	2.451	0.322
SLC	2475	0.282	2.459	0.324

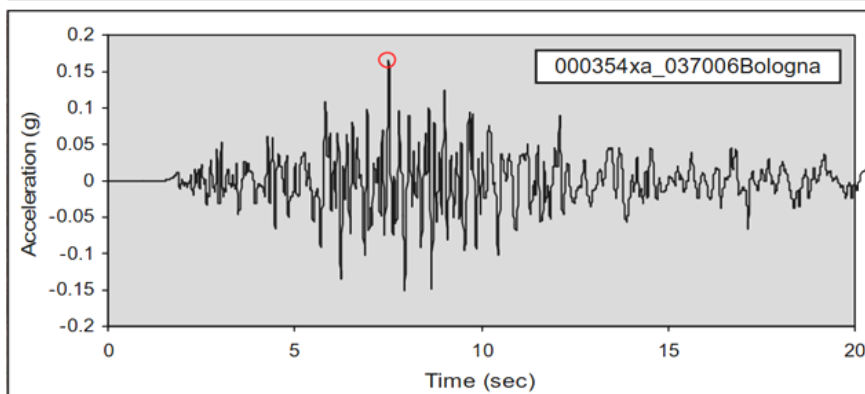
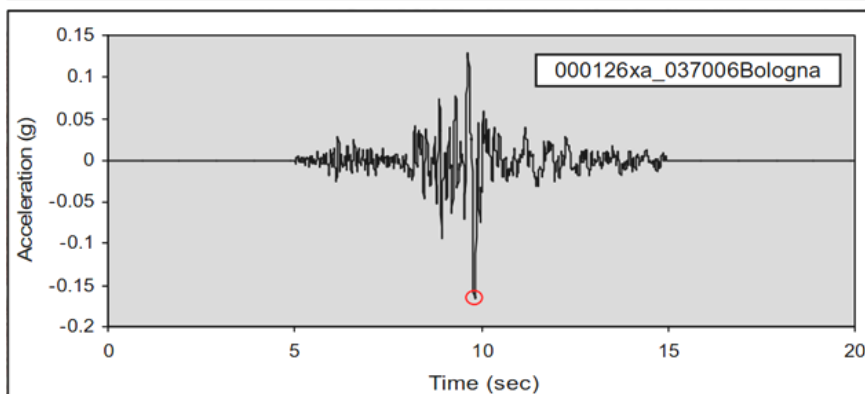
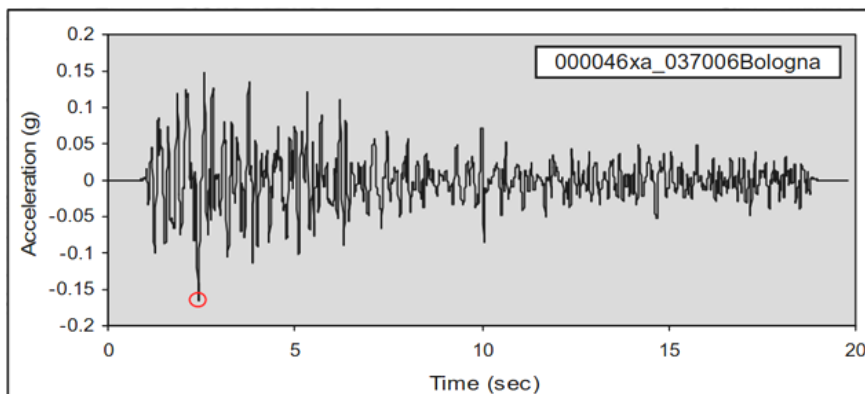
2.3 NOTE SUGLI ACCELEROGRAMMI DI INPUT

I segnali di riferimento forniti dalla RER (disponibili nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli regionale), sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion Database" attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento (nel nostro caso questa forma spettrale corrisponde alla forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni) e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ISESD.

Quindi se siamo in presenza di un'opera la cui vita di riferimento e lo stato limite conducono ad un periodo di ritorno $T_r \sim 475$ anni o se dobbiamo produrre materiale allo scopo della pianificazione territoriale (mappe di amplificazione, ecc.), possiamo utilizzare tranquillamente gli input sismici forniti dalla regione, altrimenti bisogna ricorrere ad una procedura un po' più complessa e a software specifici (REXEL) per la ricerca di input sismici più appropriati. Gli input sismici forniti dalla regione sono 3 e sono stati scalati e selezionati per ogni singolo comune: il primo è di tipo impulsivo (codice 46), il secondo con ampio contenuto in frequenze (codice 126), il terzo con componente predominante alle alte frequenze (codice 354).

ACCELEROGRAMMI DI RIFERIMENTO

(Scaricati dal sito della R.E.R. come previsto dalla Del. 112/2007 e scalati per il Comune di Bologna alla PGA di riferimento pari a **0.166g**)



Come accennato nella premessa nel nostro caso si sono utilizzati sia gli input sismici forniti dalla regione sia quelli prelevati tramite REXEL dalla banca dati italiana (Italian Accelerometric Archivie) ed europea (European Strong Motion Database).

2.4 DATI DI DISAGGREGAZIONE

L'estrazione degli accelerogrammi di input (tramite software specifici) prevede la determinazione di altri parametri oltre il valore di a_g : in particolare, bisognerà conoscere per il sito in esame i dati di disaggregazione (come ad esempio la variabilità in termini di magnitudo e distanza), reperibili nel sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia di Milano (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>) dedicata ai dati di pericolosità sismica nazionale.

Si accede ad una pagina web in cui va indicato il comune oggetto d'indagine (Bologna), la probabilità di accadimento in 50 anni ed il percentile.

Si seleziona una probabilità la più vicina cautelativamente al periodo di ritorno relativo al progetto di cui ci dobbiamo occupare.

Si ricordi che ai sensi dell'Allegato B delle NTC2008, il periodo di ritorno (T_R) è legato alla vita di riferimento (V_r) ed alla probabilità di superamento della vita di riferimento (P_{vR}) dalla seguente relazione:

$$T_R = - V_R / \ln(1-P_{vR})$$

Pertanto, verificato il periodo di ritorno relativo alla scelta di progettazione effettuata, si cerca nel sopraccitato sito INGV qual è il valore di P_{vR} (V_r è fissa a 50anni) corrispondente al valore di T_R (secondo la predetta formula) corrispondente o più simile al periodo di ritorno di progetto.

Per tempi di ritorno di 475 anni si setta 50 percentile con 10% di probabilità in 50 anni:

Mappe interattive di pericolosità sismica

Strumenti

- Ritorna alla mappa iniziale
- Ridisegna mappa
- Zoom In
- Zoom Out
- Ricentra sul punto
- Grafico sul punto griglia
- Grafico di disaggregazione

Navigazione

Scala:
 (Valori consentiti: 50.000 - 7.909.000)
 Scala:

Coordinate del centro della mappa

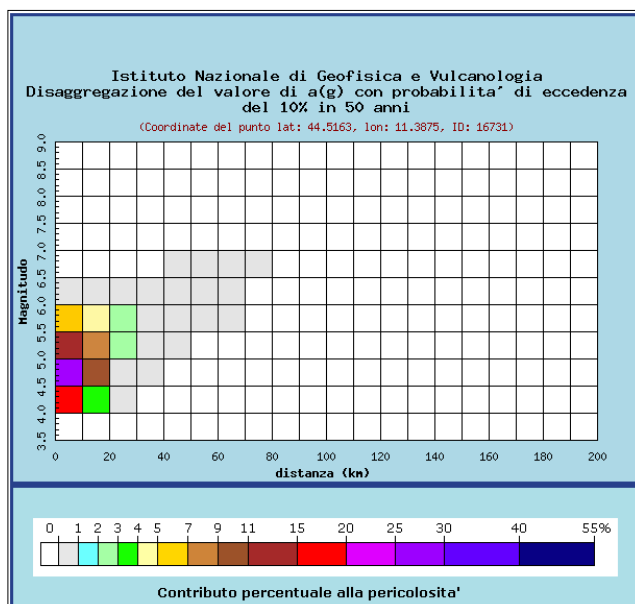
Latitudine:
 Longitudine:

Ricerca Comune

Il nome
 contiene:

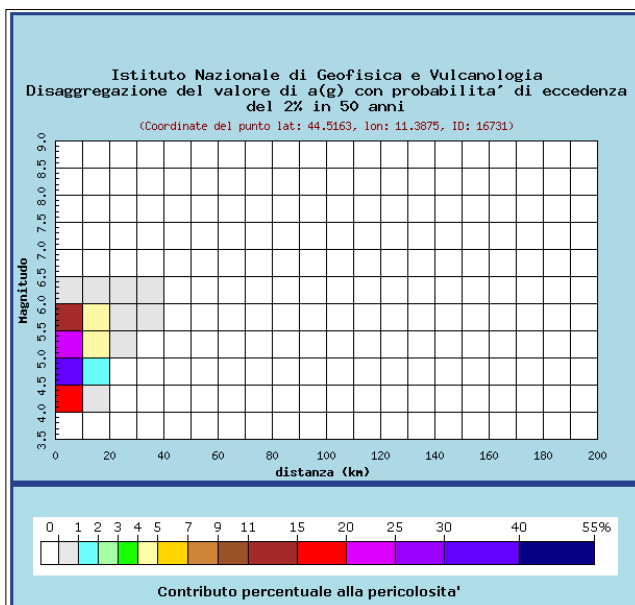
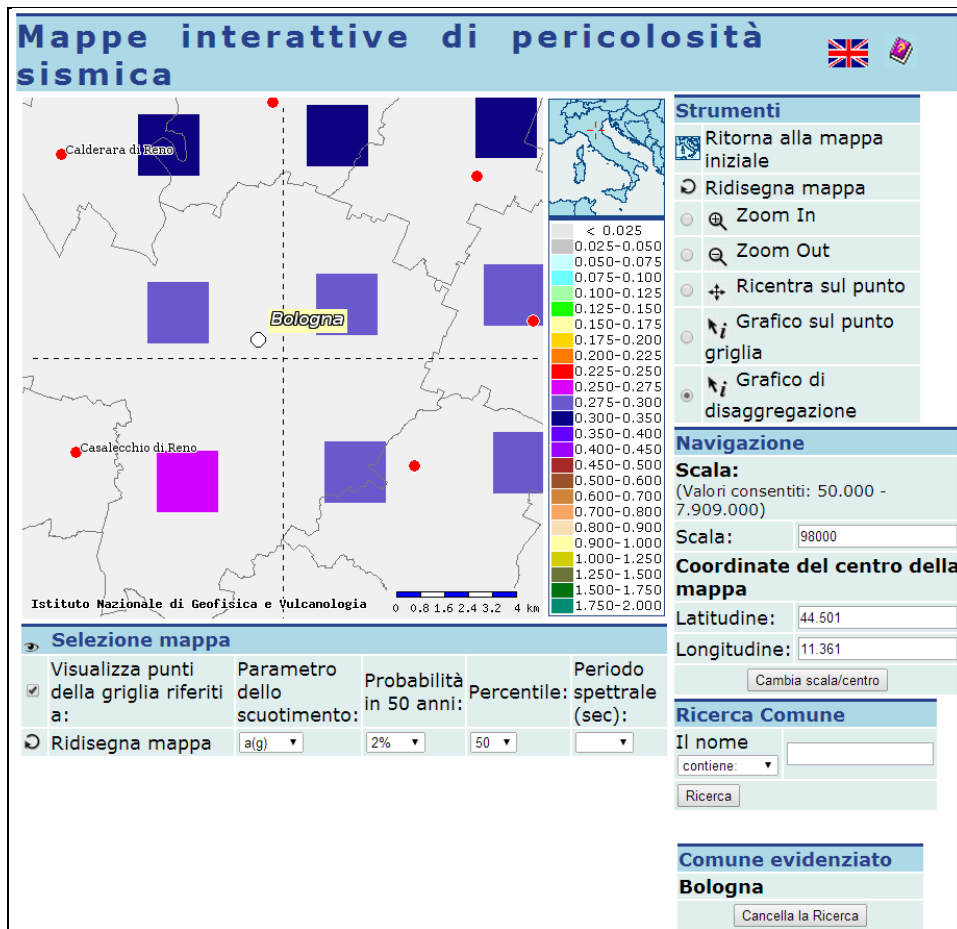
Comune evidenziato
Bologna

Selezione mappa	Parametro dello scuotimento:	Probabilità in 50 anni:	Percentile:	Periodo spettrale (sec):
<input checked="" type="checkbox"/> Visualizza punti della griglia riferiti a:	<input type="text" value="a(g)"/>	<input type="text" value="10%"/>	<input type="text" value="50"/>	<input type="text"/>
<input type="checkbox"/> Ridisegna mappa				



Per tempi di ritorno di 1898 anni non si trova corrispondenza con gli intervalli proposti dalla Mappa Nazionale di Pericolosità Sismica.

Pertanto, cautelativamente, per l'opera in progetto si è selezionata la probabilità di superamento del 2% in 50 anni, corrispondente ad un periodo di ritorno pari a 2475 anni.



In effetti il range di a_g indicato nella mappa INGV (0.27-0.30) è leggermente superiore a quello calcolato con il precedente foglio excel del Consiglio Superiore dei lavori pubblici (0.26), ma a tutto vantaggio della sicurezza.

Nelle tabelle seguenti si riporta un riepilogo dei dati necessari

PARAMETRI DEL SITO ($T_r=475$ anni)

RIEPILOGO PARAMETRI SISMICI DAL RER 2007	
Coordinate del sito (ED50)	LAT 44.5075
	LONG 11.3514
Parametri Progettazione	Vita Nominale = 50 anni
	Coefficiente d'uso = 1
	Stato limite di riferimento = SLV
	Tempo di ritorno = 475 anni
Acc. Orizzontale max al sito (a_g)	$a_g= 0.166$
Dati di disaggregazione	Magnitudo $4 < M < 6$
	Distanza $0 < R < 20$

PARAMETRI DEL SITO ($T_r=1898$ anni)

RIEPILOGO PARAMETRI SISMICI OPERA PRINCIPALE	
Coordinate del sito (ED50)	LAT 44.5075
	LONG 11.3514
Parametri Progettazione	Vita Nominale = 100 anni
	Coefficiente d'uso = 2
	Stato limite di riferimento = SLV
	Tempo di ritorno = 1898 anni
Acc. Orizzontale max al sito (a_g)	$a_g= 0.26$
Dati di disaggregazione	Magnitudo $4 < M < 6$
	Distanza $0 < R < 30$

2.5 ACCELEROGRAMMI DI INPUT

2.5.1 SEGNALI DI RIFERIMENTO REGIONALI

Per la Risposta sismica locale con tempi di ritorno di 475 anni si sono utilizzati i seguenti input sismici forniti dalla regione:

000046xa_037006Bologna

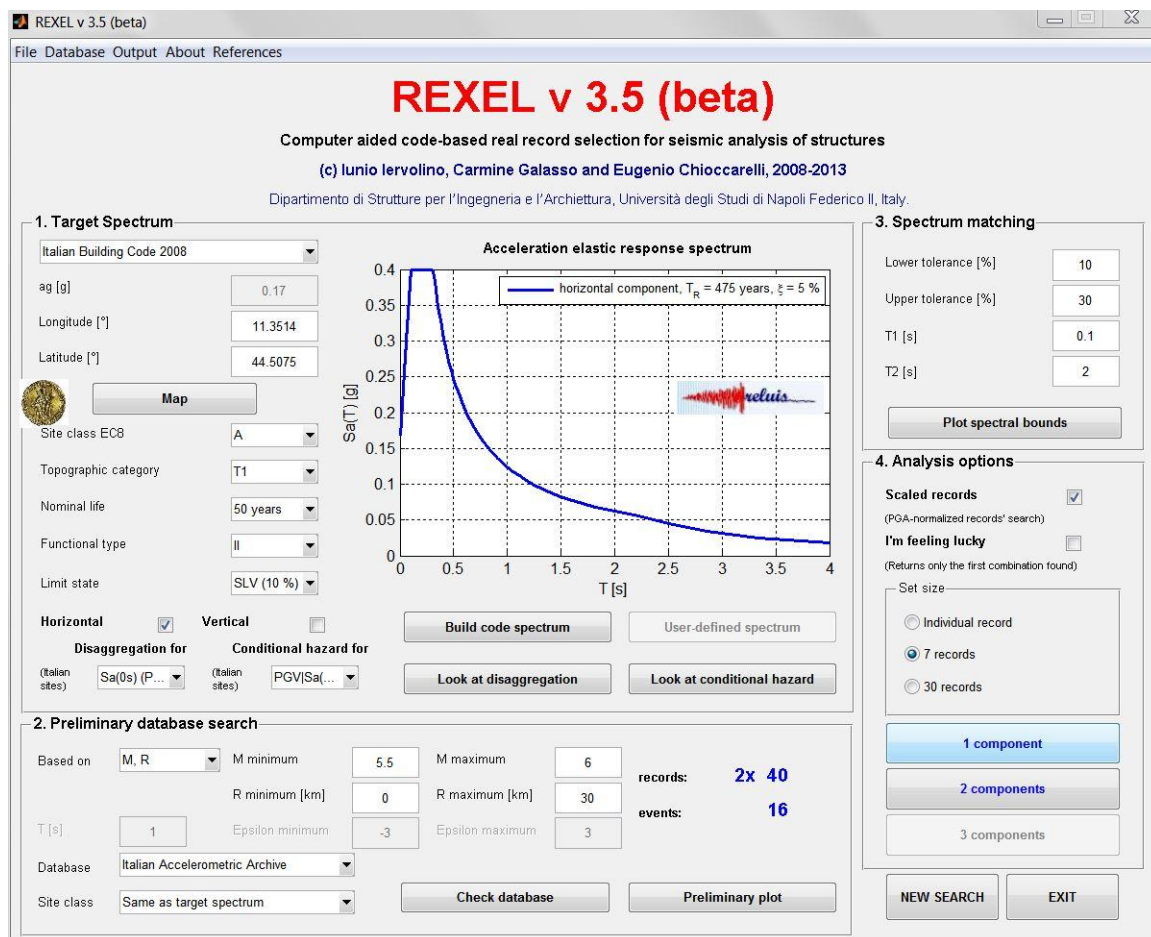
000126xa_037006Bologna

000354xa_037006Bologna

Gli input sismici regionali sono stati sia elaborati separatamente entro EERA (degli spettri di output in accelerazione è stata fatta la media), ma sono stati anche caricati simultaneamente nel programma STRATA per una verifica della bontà dell'analisi. I risultati ottenuti per gli spettri in accelerazione sono risultati simili, in più con il foglio EERA si è potuto ottenere la pseudo velocità dalla quale tramite integrale si possono ottenere le amplificazioni di Housner.

2.5.2 ESTRAZIONE DI ACCELEROGRAMMI NATURALI

Il software **Rexel 3.5 beta** permette l'estrazione di accelerogrammi di input naturali per applicazioni ingegneristiche, ma anche di pianificazione territoriale, da più banche dati, quali la banca dati europea **ESD** (Ambraseys et al., 2004; http://www.isesd.hi.is/ESD_Local/frameset.htm), la banca dati italiana **ITACA** (Working Group ITACA 2010; <http://itaca.mi.ingv.it/ItacaNet/>) e la banca dati **Simbad** (Smerzini e Paolucci, 2011; http://wpage.unina.it/iuniervo/SIMBAD_Database_Polimi.pdf), mediante una finestra windows abbastanza semplice che si interfaccia all'ambiente MATLAB.



Senza entrare nei dettagli d'uso del programma è stato possibile, immettendo le coordinate del sito, la vita nominale e la classe d'uso, i dati di disaggregazione, la banca dati (nazionale o europea) ed altri parametri per lo più di tolleranze e di analisi, l'estrazione di 7 accelerogrammi naturali.

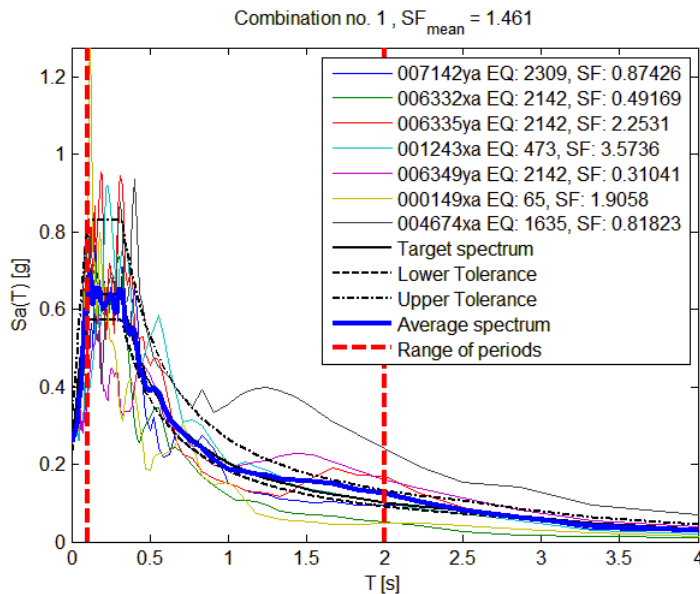
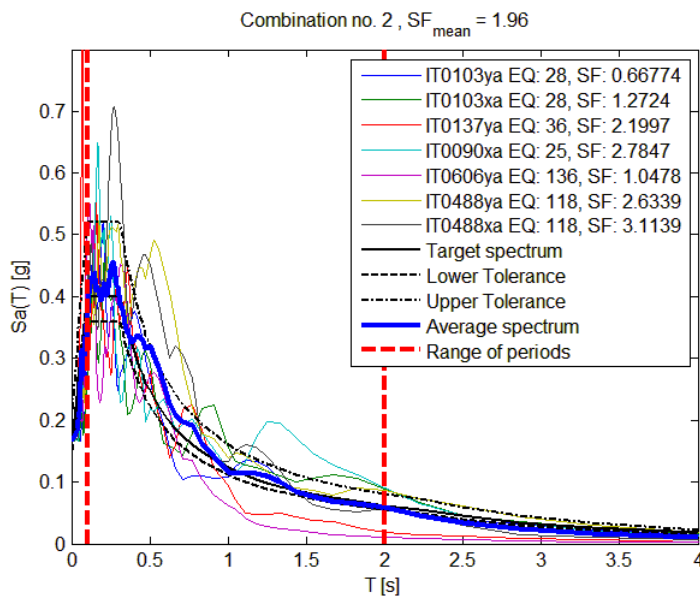
Si riportano di seguito i segnali selezionati per Bologna con tempi di ritorno di $T_r=475$ anni dalla banca dati italiana e per tempi di ritorno $T_r=1898$ anni dalla banca europea:

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw
103	28	SRCO	FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK	15/09/1976	5.9
103	28	SRCO	FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK	15/09/1976	5.9
137	36	ARQ	VAL NERINA	19/09/1979	5.8
90	25	SRCO	FRIULI EARTHQUAKE 3RD SHOCK	15/09/1976	5.9
606	136	LRS	APP. LUCANO	09/09/1998	5.6
488	118	CSC	UMBRIA-MARCHE 3RD SHOCK	14/10/1997	5.6
488	118	CSC	UMBRIA-MARCHE 3RD SHOCK	14/10/1997	5.6
mean:					5.757143

Per tempi di ritorno di 1898 anni la ricerca è stata effettuata sulla banca dati europea perché quella italiana non dava risultati entro i limiti dei dati di disaggregazione.

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6.3
6332	2142	ST2483	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4
6335	2142	ST2557	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4
1243	473	ST575	Izmit (aftershock)	13/09/1999	5.8
6349	2142	ST2558	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6.4
149	65	ST26	Friuli (aftershock)	15/09/1976	6
4674	1635	ST2486	South Iceland	17/06/2000	6.5
mean:					6.257143

Si riportano di seguito i corrispondenti grafici che mostrano i set di record trovati:



3 STRATIGRAFIA E SISMOSTRATIGRAFIA

Definito l'input in termini di eventi sismici da sottoporre a simulazione, bisogna determinare le caratteristiche sismostratigrafiche del volume di terreno d'indagine ed oggetto della probabile amplificazione.

Bisognerà riportare nel software il profilo sismostratigrafico del terreno, ovvero i differenti sismostratistrati in cui la campagna di esplorazione geologica (geofisica e geotecnica) del sottosuolo ha discretizzato il sottosuolo dell'area in esame.

Si assume, trattandosi di indagini monodimensionali, che gli strati siano piano paralleli e che la propagazione del sisma sia verticale.

Siamo in presenza di una copertura quaternaria continentale con spessore > 300 costituita da 2 cicli sedimentari (A e B) che poggiano sul ciclo sedimentario C che rappresenta la parte terminale del Quaternario marino. All'interno del ciclo A si rileva la presenza di corpi sedimentari grossolani prevalentemente rappresentati da ghiaie, di cui, quello individuato ad una profondità di circa 100 m, presenta l'estensione areale maggiore anche nelle zone di interconoide.

Si ritiene quindi che il picco di 0.8/0.9 Hz che compare su ogni misura HVSR, individui tale passaggio stratigrafico, che viene quindi considerato come "pseudo bedrock".

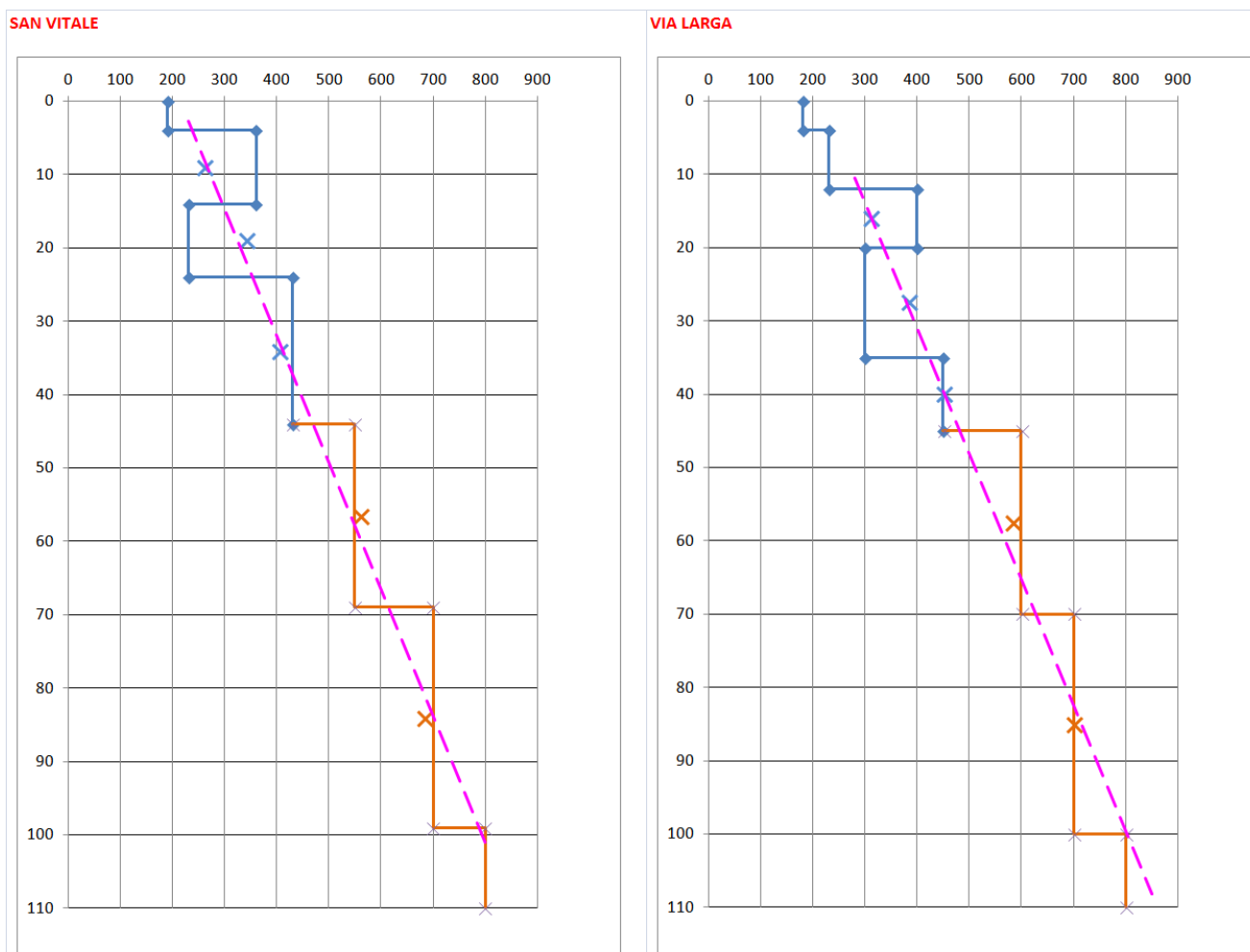
In conclusione, nell'area si ha per i primi 50 m una sedimentazione prevalentemente ghiaiosa con intercalazioni argillose soprattutto in superficie, mentre per i restanti 50 metri prevalgono le argille con qualche livello ghiaioso (tale passaggio viene evidenziato anche da una inversione nelle curve HVSR, dopo il picco 3.5/4.5 Hz).

Scendendo più nel dettaglio, nell'area di San Vito-Rimesse prevalgono le ghiaie anche in superficie per cui le amplificazioni risulteranno minori, mentre nell'area di Via Larga abbiamo almeno 13/15 m di argille prima di incontrare le ghiaie per cui le amplificazioni sono maggiori, rientrando così fra le amplificazioni attese per l'area.

Per quanto riguarda la velocità delle Vs fino a circa 40/45 m dal p.c. abbiamo dati precisi ricavati alle diverse indagini geofisiche eseguite lungo il tracciato ferroviario (Fit Congiunto MASW – Re.Mi / ESAC – HVSR e registrazioni simiche a stazione singola HVSR) mentre per le velocità delle Vs in profondità, al di sotto dei 45/50 m dal p.c., si seguono le indicazioni riportate nella delibera 112/2007.

L'andamento della curva delle Vs viene quindi estrapolato matematicamente mantenendo il gradiente dell'ultimo tratto della curva sperimentale (paragrafo 4.1.2. Acquisizione Dati),

ed ottenendo una profondità del bedrock sismico pari a circa 100 m, che rappresenta quindi la profondità di applicazione dell'input sismico.



Per quel che concerne la stratigrafia dell'area fino alla profondità di 40 m dal p.c. si sono utilizzati i sondaggi a carotaggio continuo MM e i numerosi sondaggi presenti nell'archivio RER (vedi allegato D); oltre tale profondità si sono utilizzati esclusivamente i pozzi e le stratigrafie dell'archivio RER (vedi allegato E).

Per *San Vitale* si sono confrontati in particolare i sondaggi 221090P423-430, per la zona *Rimesse* i sondaggi 221090P421 e 422, infine per l'area attorno a *Via Larga* i sondaggi 221090P433-434-440-513-514. Infine per la ricostruzione stratigrafica più profonda si sono utilizzati i pozzi 221090 P605, 221090P606 e 221090607 (zona San Vitale-Rimesse) e il pozzo 221090602 (zona Via Larga) e le sezioni stratigrafiche SEZ-031 (zona San Vitale-Rimesse) e SEZ-111 (zona Via Larga). (per i dettagli sulle stratigrafie si veda l'allegato F). Sono state consultate anche altre indagini geognostiche che non vengono riportate negli

allegati ma che sono consultabili sul sito RER al seguente indirizzo: <http://ambiente.regione.emilia-romagna.it/geologia/cartografia/webgis-banchedati/webgis>

Si riportano di seguito le sismostratigrafie dei due siti, sintesi delle registrazioni sismiche e delle stratigrafie ricavate dai sondaggi e dai pozzi:

SAN VITALE

	N	TIPO MATERIALE	SPESSORE (m)	Gmax (MPa)	Pes. Vol. (kN/m3)	Vs (m/sec)	
Surface	1	Sabbia	4.0	66.24	18.00	190	
	2	Ghiaia	10.0	251.01	19.00	360	
	3	Argilla	10.0	102.46	19.00	230	
	4	Ghiaia	20.0	376.96	20.00	430	
	5	Argilla	25.0	616.72	20.00	550	
	6	Argilla	30.0	915.19	20.00	670	
Bedrock	7			1370.03	21.00	800	Outcrop

VIA LARGA

	N	TIPO MATERIALE	SPESSORE (m)	Gmax (MPa)	Pes. Vol. (kN/m3)	Vs (m/sec)	
Surface	1	Argilla	5.0	59.45	18.00	180	
	2	Argilla	9.0	102.46	19.00	230	
	3	Ghiaia	8.0	309.89	19.00	400	
	4	Argilla	15.0	174.31	19.00	300	
	5	Ghiaia	10.0	412.84	20.00	450	
	6	Argilla	25.0	662.39	20.00	570	
	7	Argilla	30.0	970.64	20.00	690	
Bedrock	8			1370.03	21.00	800	Outcrop

Nelle tabelle di cui sopra compare un parametro fondamentale nelle RSL e cioè il modulo di taglio del terreno G. Le caratteristiche anelastiche dei terreni vengono considerate nei codici di calcolo, mediante l'inserimento per ogni strato di curve, relative alla variazione del modulo di taglio (G) e dello smorzamento (ξ) in funzione della deformazione sismica crescente. Tali curve sono ricavabili mediante esecuzione di analisi geotecniche di laboratorio in campo dinamico oppure desumibili da banche dati nazionali ed estere. Nel presente lavoro sono state utilizzate curve tipiche dei materiali presenti (argille, sabbie, ghiaie), riconosciute dalla letteratura internazionale.

Le curve di degrado e di smorzamento dei materiali vengono riportate nel dettaglio nel capitolo seguente.

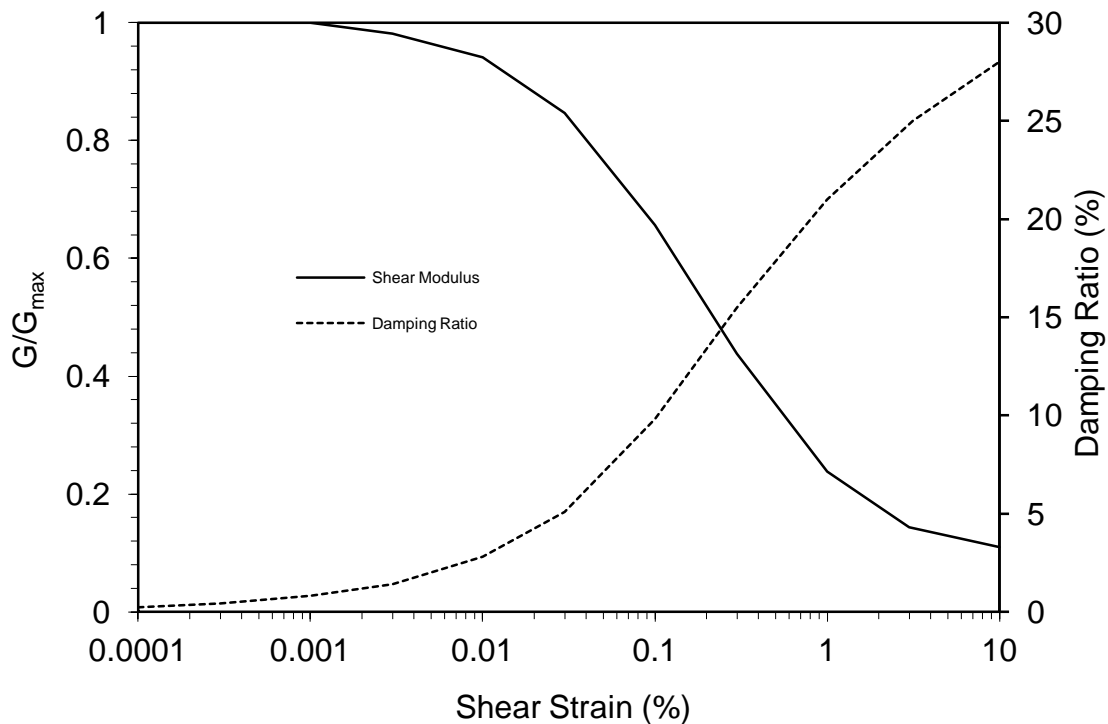
4 CURVE DI DEGRADO E DI SMORZAMENTO

L'analisi è stata effettuata introducendo nei software le curve di variazione del fattore di smorzamento D (damping ratio) in funzione della deformazione dei materiali. Si riportano nelle pagine seguenti le curve utilizzate, prese dalla letteratura internazionale.

Argilla

Modulus for clay (Seed and Sun, 1989) upper range and damping for clay (Idriss 1990)

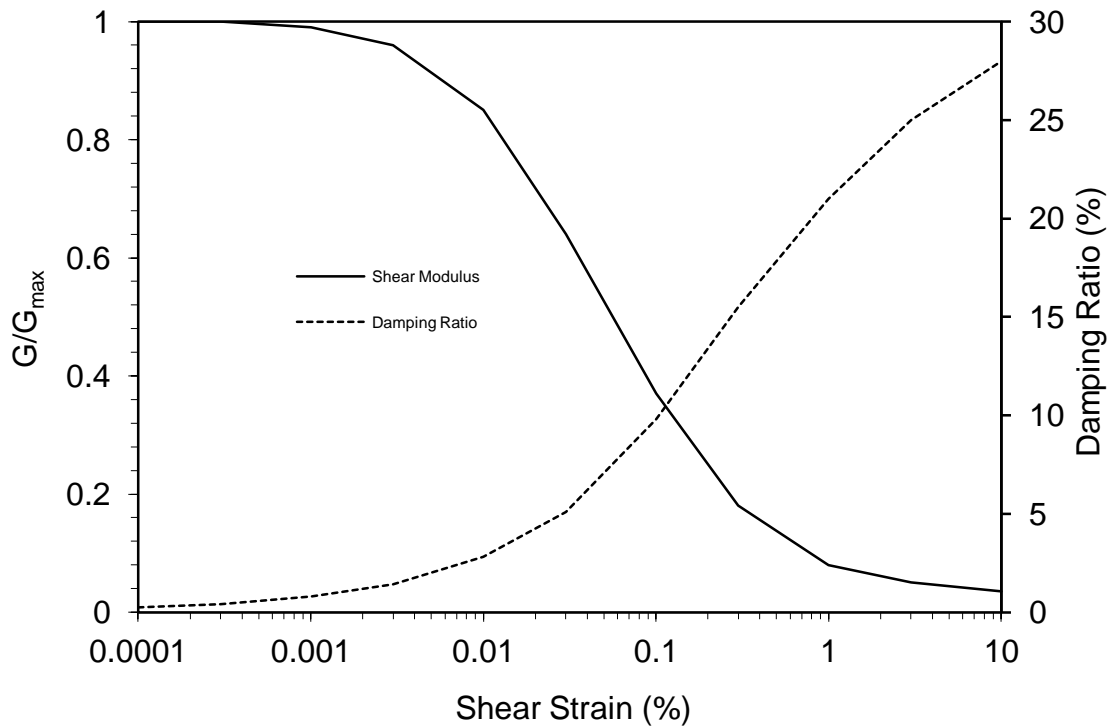
Strain (%)	G/Gmax	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	0.24
0.0003	1	0.0003	0.42
0.001	1	0.001	0.8
0.003	0.981	0.003	1.4
0.01	0.941	0.01	2.8
0.03	0.847	0.03	5.1
0.1	0.656	0.1	9.8
0.3	0.438	0.3	15.5
1	0.238	1	21
3	0.144	3.16	25
10	0.11	10	28



Sabbia

Modulus for sand (Seed & Idriss 1970) - Upper Range and damping for sand (Idriss 1990) - (about LRng from SI 1970)

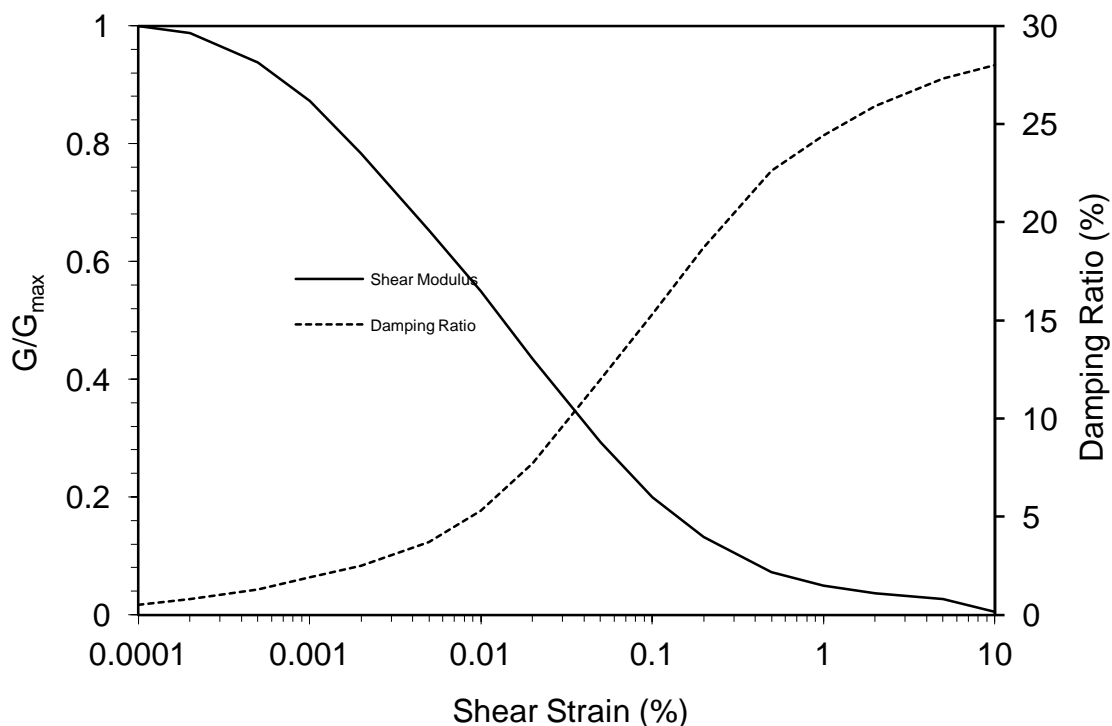
Strain (%)	G/G _{max}	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	0.24
0.0003	1	0.0003	0.42
0.001	0.99	0.001	0.8
0.003	0.96	0.003	1.4
0.01	0.85	0.01	2.8
0.03	0.64	0.03	5.1
0.1	0.37	0.1	9.8
0.3	0.18	0.3	15.5
1	0.08	1	21
3	0.05	3	25
10	0.035	10	28



Ghiaia

Abbis C.P. (1989) – *Seismic amplification – Mexico city. Earthquake engineering and structural dynamics*, 18, 79-88. Y

Strain (%)	G/Gmax	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	0.5
0.0002	0.987	0.0002	0.8
0.0005	0.937	0.0005	1.3
0.001	0.872	0.001	1.9
0.002	0.783	0.002	2.5
0.005	0.653	0.005	3.7
0.01	0.55	0.01	5.3
0.02	0.434	0.02	7.7
0.05	0.293	0.05	12
0.1	0.2	0.1	15.3
0.2	0.132	0.2	18.7
0.5	0.072	0.5	22.6
1	0.049	1	24.4
2	0.036	2	25.9
5	0.027	5	27.3
10	0.005	10	28



5 ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE

Come già anticipato nelle pagine precedenti si sono effettuate diverse analisi di risposta sismica locale per le aree di San Vitale/Rimesse e Via Larga sia con il foglio di calcolo EERA che con il software STRATA, per tempi di ritorno $T_r=475$ anni e $T_r=1898$ anni.

In particolare si è utilizzato EERA per le analisi di RSL secondo le direttive regionali (DAL RER 112/2007) perché offre in output gli opportuni dati per un calcolo immediato delle amplificazioni (PGA/PGAo ed SI/Slo), così come richiesto dalla delibera regionale, mentre si è prevalentemente utilizzato STRATA, con i 7 input sismici elaborati dal software REXEL, per un confronto fra lo spettro semplificato (DM 14/ 01/2008) utilizzato nel progetto e quello ricavato dalla RSL.

Infine è stato possibile anche un confronto fra gli spettri in accelerazione con tempi di ritorno di 475 anni ricavati dal software STRATA e dal foglio di calcolo EERA.

5.1 RSL SECONDO IL DAL RER 112/2007 (EERA - $T_r = 475$ ANNI)

Dopo aver scaricato gli input sismici dal sito della regione (vedi pag.6 e pag.11) ed averli caricati separatamente nei fogli di calcolo EERA, e dopo aver impostato il modello dei 2 sottosuoli da esaminare (vedi pag.16), rappresentati da strati (layer) a differente tessitura e a differenti valori delle onde S e del modulo di taglio del terreno G (vedi capitolo 4: *Curve di Degrado e di Smorzamento*), si ottengono 3 output separati.

Number of sublayer = 1
 Type of sublayer = **Outcrop**
 Ratio of critical Damping (%) = 5
 Depth at top of sublayer (m) = 0
 Maximum Spectral Acceleration (g) = 0.8231
 Maximum Spectral Velocity (cm/s) = 45.9553

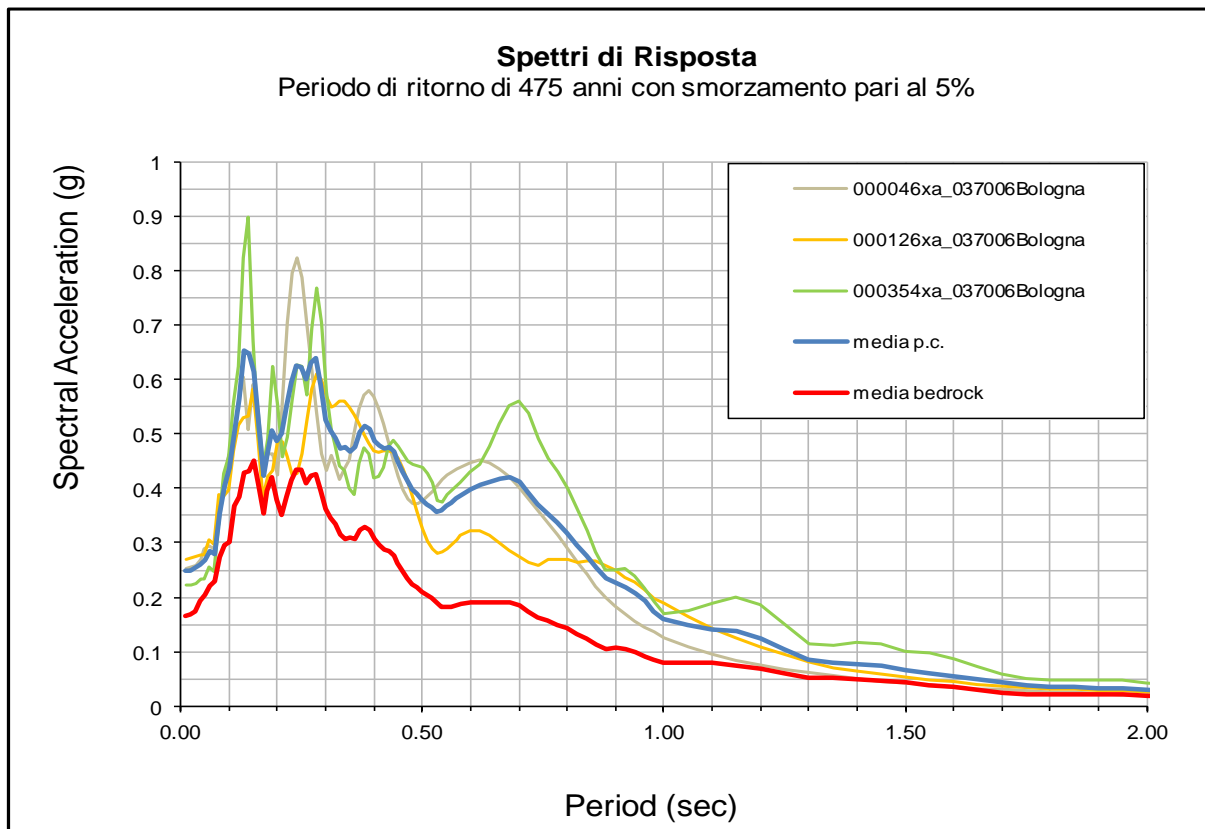
Period (sec)	Pseudo Relative Velocity (cm/s)	Pseudo Absolute Acceleration (g)	Relative Displacement (cm)	Absolute Acceleration (g)	Relative Velocity (cm/s)	Time for Maximum Absolute Acceleration (sec)	Time for Maximum Relative Velocity (sec)	Time for Maximum Relative Displacement (sec)
0.01	0.39	0.25	0.00	0.25	0.39	0.00	0.00	0.00
0.02	0.80	0.26	0.00	0.26	0.08	2.68	5.62	2.68
0.03	1.22	0.26	0.01	0.26	0.18	2.68	5.62	2.68
0.04	1.69	0.27	0.01	0.27	0.38	2.68	5.62	2.68
0.05	2.25	0.29	0.02	0.29	0.72	2.69	3.04	2.69
0.06	2.75	0.29	0.03	0.29	1.13	2.69	3.09	2.69
0.07	3.13	0.29	0.03	0.29	2.18	3.07	3.10	3.07
0.08	4.17	0.33	0.05	0.34	3.12	2.37	4.19	2.37
0.09	5.60	0.40	0.08	0.40	4.07	2.68	3.11	2.68
0.10	7.19	0.46	0.11	0.46	5.03	2.69	3.11	2.69
0.11	8.21	0.48	0.14	0.48	7.47	2.70	3.12	2.70
0.12	10.44	0.56	0.20	0.56	7.79	2.70	2.74	2.71

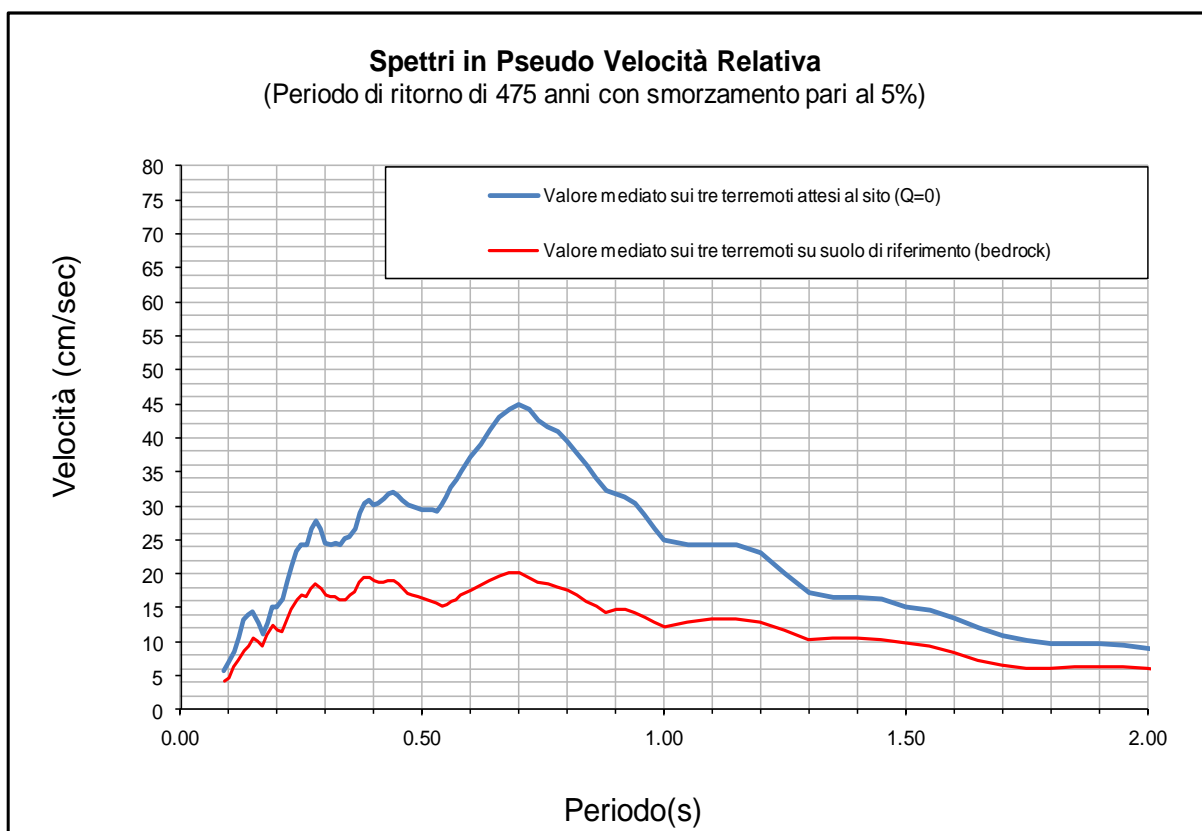
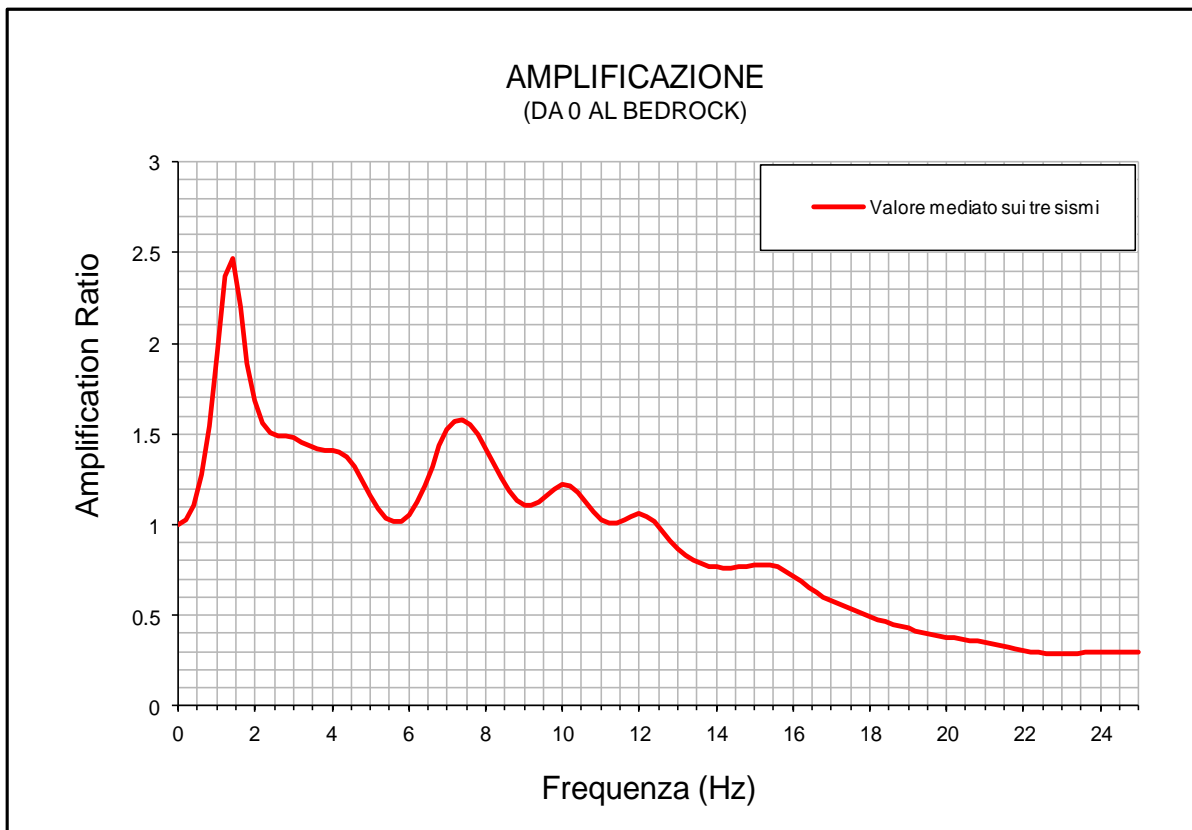
I dati in output (dati in accelerazione, spostamento e velocità e le frequenze di amplificazione) sono stati rielaborati e mediati all'interno di altri fogli excel. Nelle pagine seguenti vedremo le elaborazioni per il sito di San Vitale-Rimesse e per quello di Via Larga, per ciascuno dei 3 output separati e per gli spettri mediati.

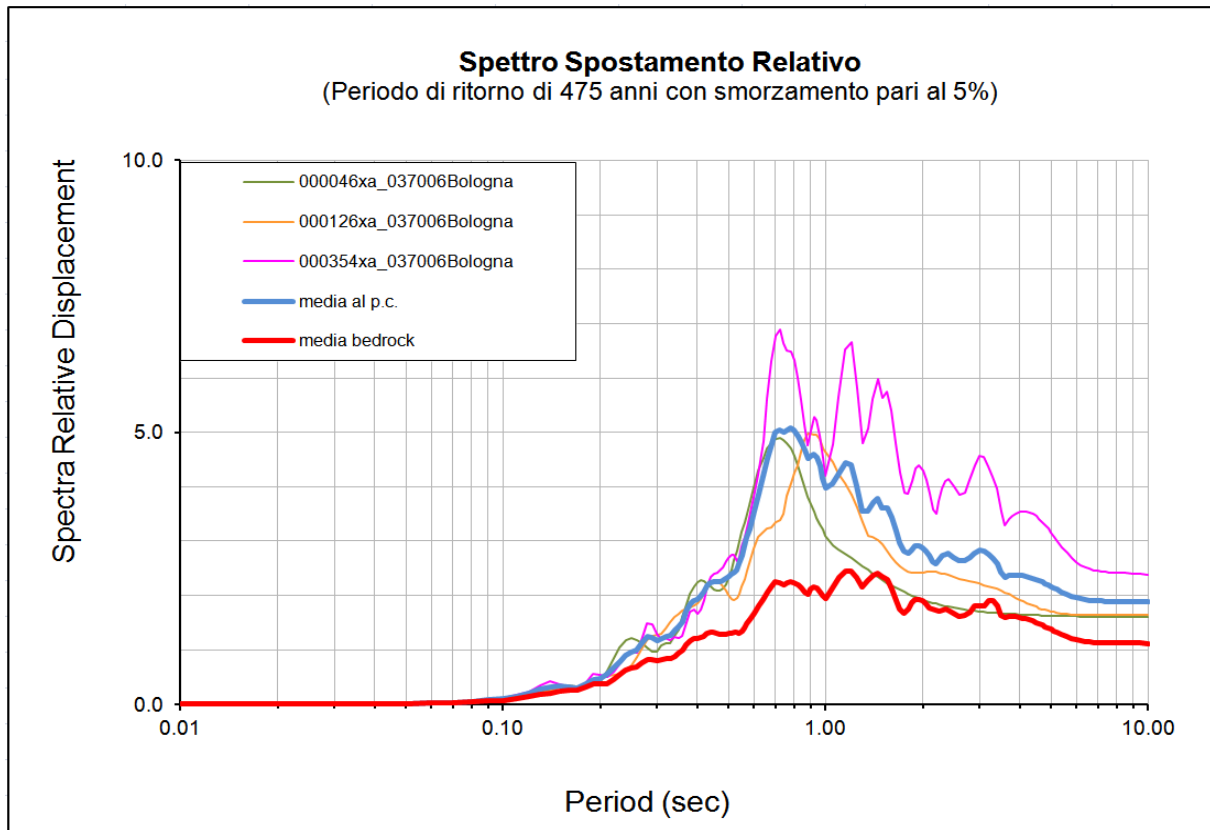
5.1.1 SAN VITALE

Di seguito vengono riportati i seguenti grafici:

1. Le forme spettrali in accelerazione ottenute dai 3 input della regione, e la loro media.
2. la funzione di amplificazione locale come rapporto tra l'ampiezza dello spettro al suolo e quello in corrispondenza del bedrock per un valore di smorzamento critico pari al 5%
3. I grafico dello spettro di pseudo velocità relativo ottenuto sempre dalla media delle tre velocità ottenute dalle 3 elaborazioni separate.
4. Il grafico dello spettro di spostamento relativo mediato sempre sui 3 output.
5. i coefficienti di amplificazione sismica espressi come rapporto di Intensità di Housner (S_I/S_0) negli intervalli di tempo $0.1 < T < 0.5$ s e $0.5 < T < 1.0$ s, ricavati dallo spettro delle pseudo velocità.







Dagli spettri in accelerazione (primo grafico) si ottiene immediatamente il fattore di amplificazione PGA/PGAo e dagli spettri in Pseudo Velocità relativa (terzo grafico) integrando rispetto al tempo (da 0.1 a 0.5 s e da 0.5 a 1.0 s), si ottengono le amplificazione di Housner così come richiesto dalla delibera regionale.

Seguono le amplificazioni calcolate separatamente per ogni segnale della regione:

OUTPUT 46 (segnale 000046xa_037006Bologna)

SI (0.1-0.5)	9.47 cm	SI/Si _o (0.1-0.5)	1.52
SI (0.5-1.0)	17.29 cm	SI/Si _o (0.5-1.0)	2.07
SI _o (0.1-0.5)	6.24 cm	<u>PGA</u>	1.42
SI _o (0.5-1.0)	8.35 cm	PGAo	

OUTPUT 126 (segnale 000126xa_037006Bologna)

SI (0.1-0.5)	9.05 cm	SI/Si _o (0.1-0.5)	1.56
SI (0.5-1.0)	15.43 cm	SI/Si _o (0.5-1.0)	2.19
SI _o (0.1-0.5)	5.78 cm	<u>PGA</u>	1.51
SI _o (0.5-1.0)	7.04 cm	PGA _o	

OUTPUT 354 (segnale 000354xa_037006Bologna)

SI (0.1-0.5)	9.49 cm	SI/Si _o (0.1-0.5)	1.51
SI (0.5-1.0)	21.36 cm	SI/Si _o (0.5-1.0)	2.21
SI _o (0.1-0.5)	6.29 cm	<u>PGA</u>	1.58
SI _o (0.5-1.0)	9.68 cm	PGA _o	

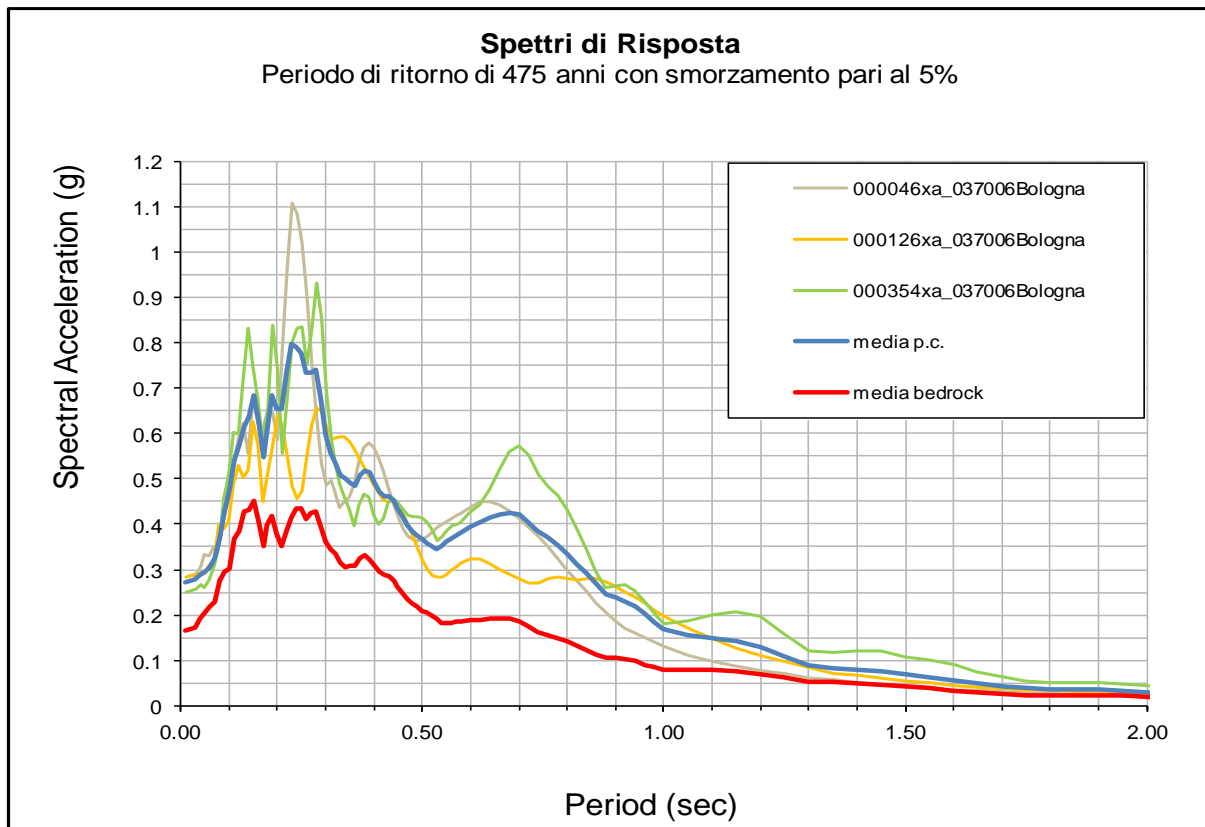
Seguono le amplificazioni elaborate dalle forme spettrali in pseudovelocità relativa ed in accelerazione, ottenute mediando gli spettri di output.

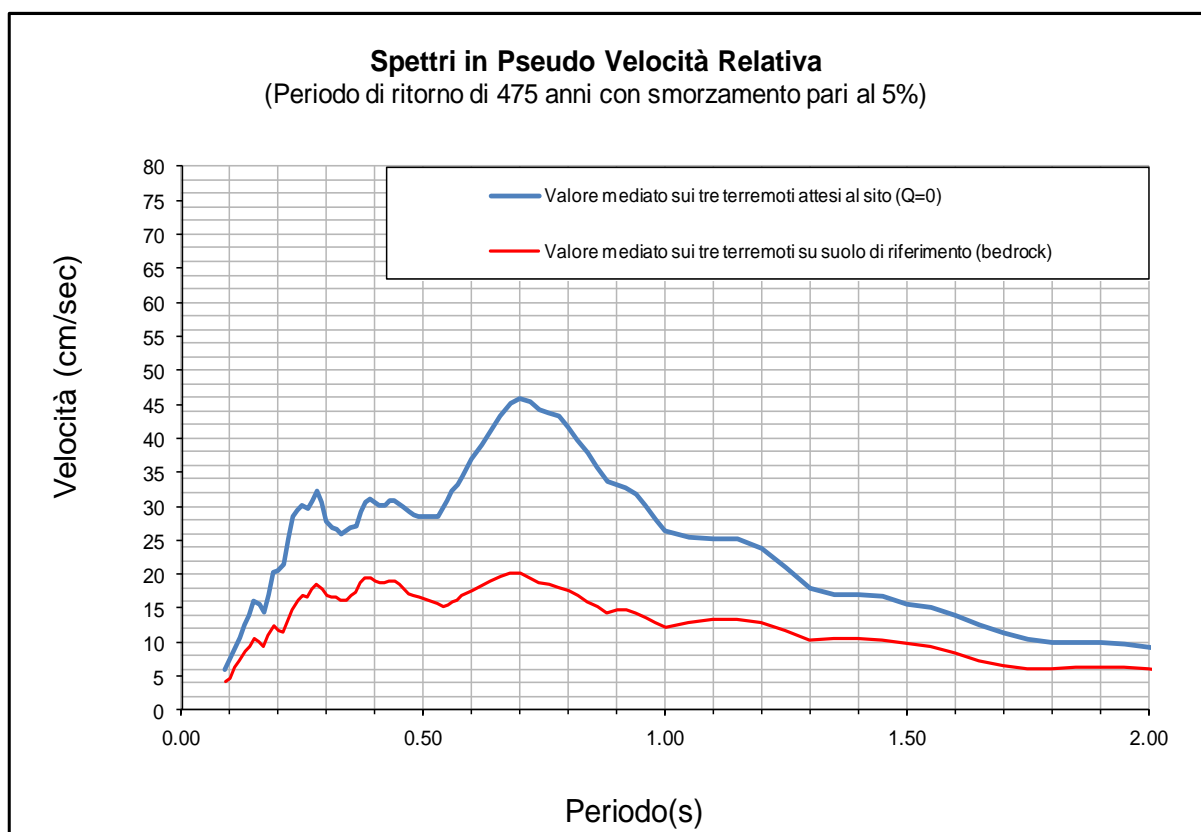
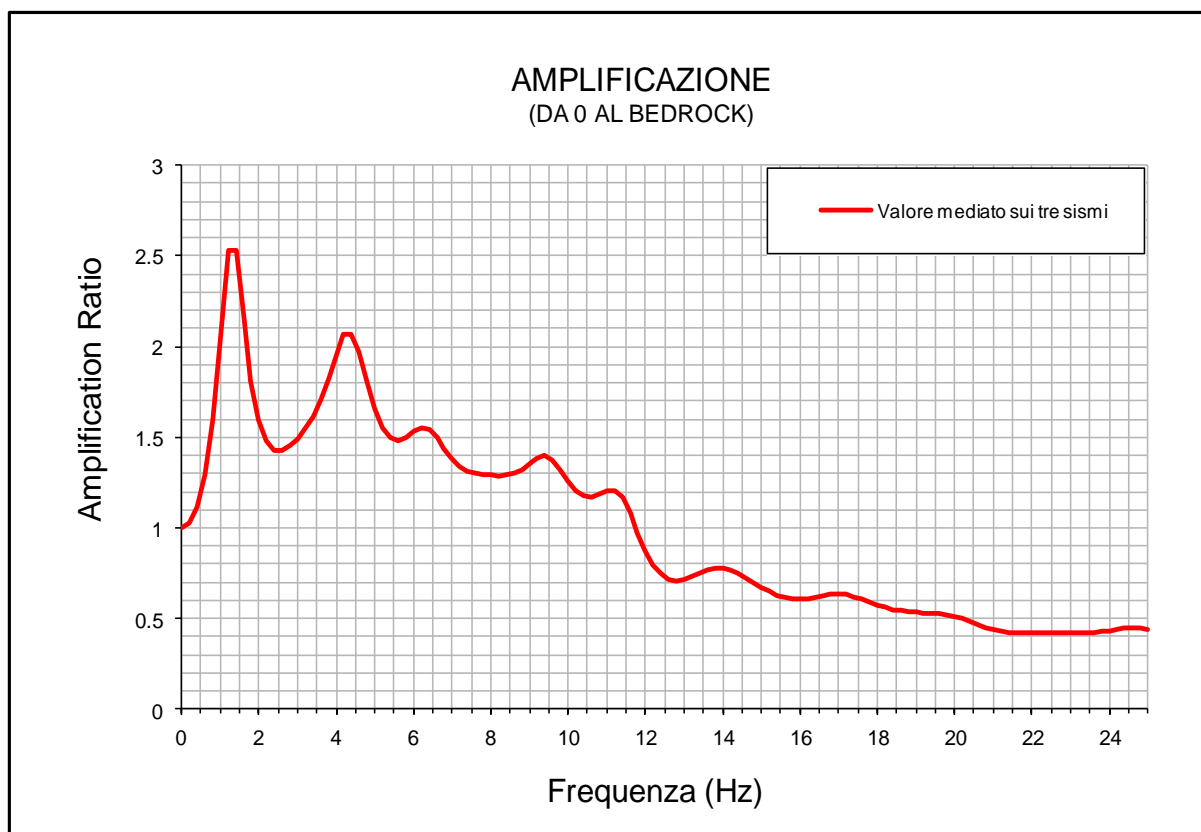
F.A. PGA/PGA _o =	1.45
FA_IS (0.1_0.5) =	1.53
FA_IS (0.5_1.0) =	2.16

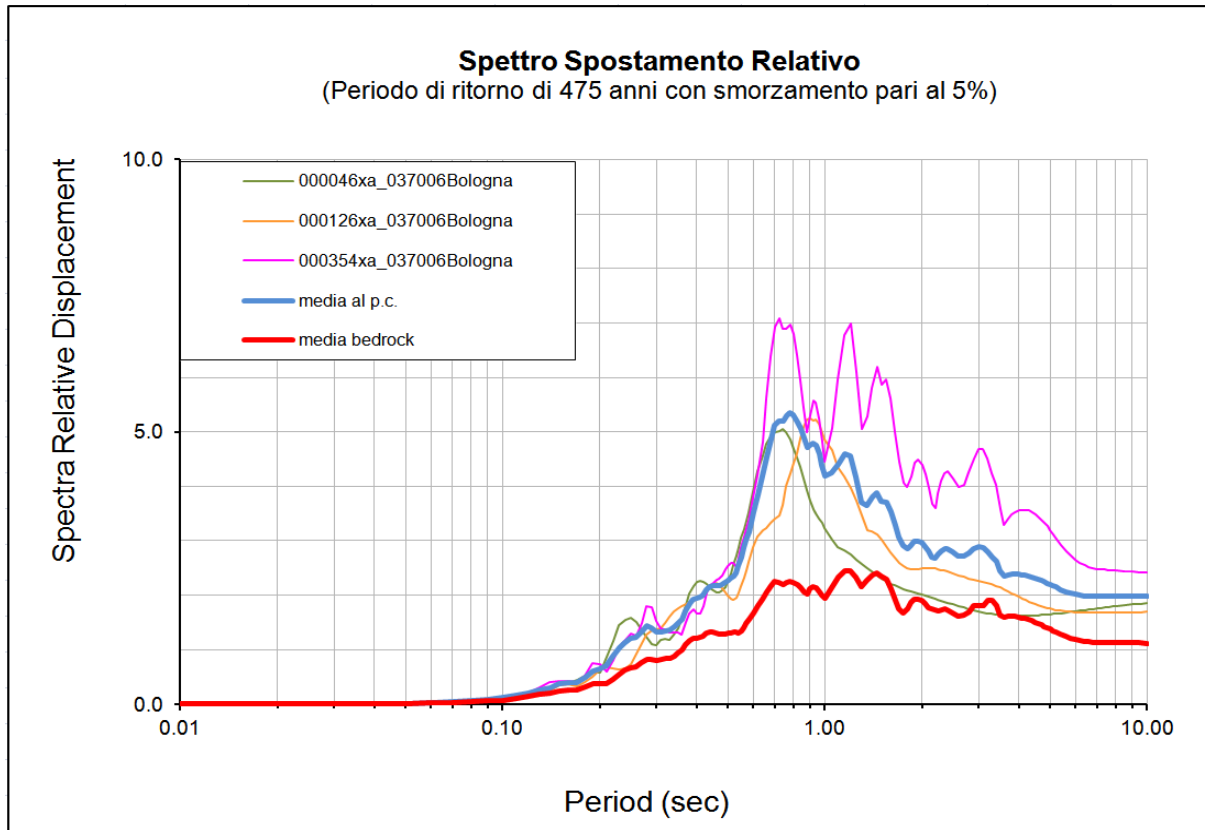
5.1.2 VIA LARGA

Di seguito vengono riportati i seguenti grafici:

1. Le forme spettrali in accelerazione ottenute dai 3 input della regione, e la loro media.
2. la funzione di amplificazione locale come rapporto tra l'ampiezza dello spettro al suolo e quello in corrispondenza del bedrock per un valore di smorzamento critico pari al 5%
3. I grafico dello spettro di pseudo velocità relativo ottenuto sempre dalla media delle tre velocità ottenute dalle 3 elaborazioni separate.
4. Il grafico dello spettro di spostamento relativo mediato sempre sui 3 output di spostamento.
5. i coefficienti di amplificazione sismica espressi come rapporto di Intensità di Housner (S_I/S_0) negli intervalli di tempo $0.1 < T < 0.5$ s e $0.5 < T < 1.0$ s, ricavati dallo spettro delle pseudo velocità.







Dagli spettri in accelerazione (primo grafico) si ottiene immediatamente il fattore di amplificazione PGA/PGAo e dagli spettri in Pseudo Velocità relativa (terzo grafico) integrando rispetto al tempo (da 0.1 a 0.5 s e da 0.5 a 1.0 s), si ottengono le amplificazione di Housner così come richiesto dalla delibera regionale.

Seguono le amplificazioni calcolate separatamente per ogni segnale della regione:

OUTPUT 46 (segnale 000046xa_037006Bologna)

SI (0.1-0.5)	10.46 cm	SI/Si _o (0.1-0.5)	1.68
SI (0.5-1.0)	17.49 cm	SI/Si _o (0.5-1.0)	2.09
SI _o (0.1-0.5)	6.24 cm	<u>PGA</u>	1.92
SI _o (0.5-1.0)	8.35 cm	PGAo	

OUTPUT 126 (segnale 000126xa_037006Bologna)

SI (0.1-0.5)	9.51 cm	SI/Si _o (0.1-0.5)	1.64
SI (0.5-1.0)	15.92 cm	SI/Si _o (0.5-1.0)	2.26
Sl _o (0.1-0.5)	5.78 cm	<u>PGA</u>	1.62
Sl _o (0.5-1.0)	7.04 cm	PGA _o	

OUTPUT 354 (segnale 000354xa_037006Bologna)

SI (0.1-0.5)	10.33 cm	SI/Si _o (0.1-0.5)	1.64
SI (0.5-1.0)	22.01 cm	SI/Si _o (0.5-1.0)	2.27
Sl _o (0.1-0.5)	6.29 cm	<u>PGA</u>	1.63
Sl _o (0.5-1.0)	9.68 cm	PGA _o	

Seguono le amplificazioni elaborate dalle forme spettrali in pseudovelocità relativa ed in accelerazione, ottenute mediando gli spettri di output.

F.A. PGA/PGA _o = 1.77
FA_IS (0.1_0.5) = 1.65
FA_IS (0.5_1.0) = 2.21

5.2 VERIFICA E CONFRONTO DEI DATI ($T_R=475$ ANNI)

Dopo aver scaricato i 7 input sismici con il programma REXEL (vedi pag. 11) ed averli caricati nel programma STRATA e dopo aver introdotto lo stesso modello dei 2 sottosuoli precedentemente utilizzato(vedi pag.15) rappresentati da strati a differente litologia e diversi valori delle onde S e del modulo di taglio, si ottiene in output un unico spettro in accelerazione, che possiamo comparare con quello precedentemente ottenuto con EERA + 3 input sismici RER (vedi §.5.1).

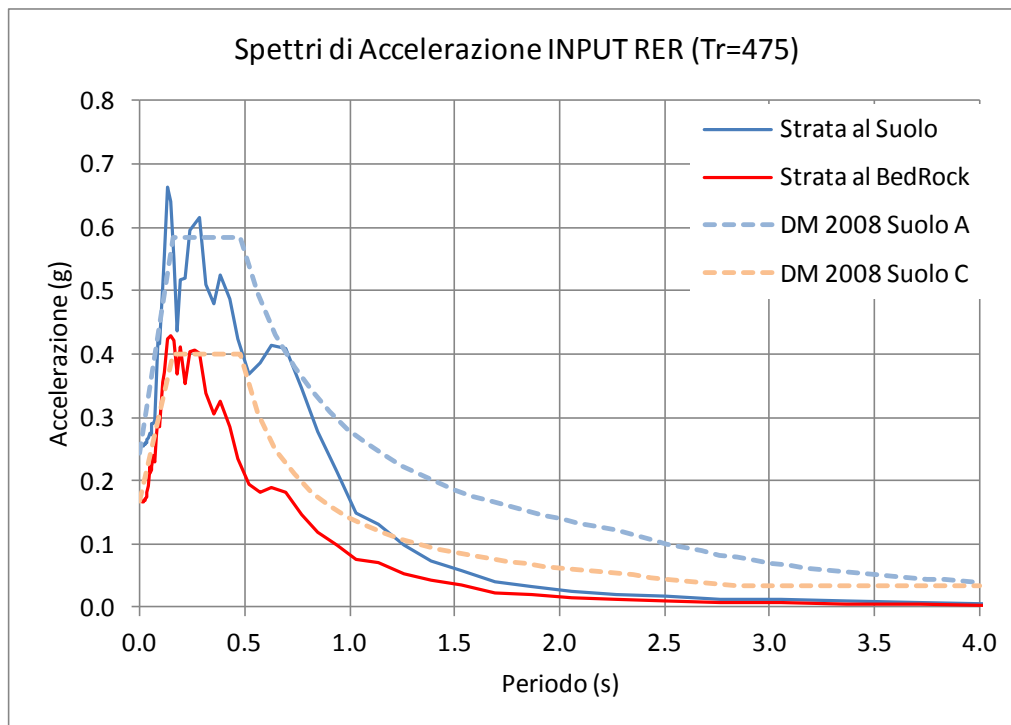
Si può infine caricare in STRATA i 3 input sismici RER e confrontarle lo spettro in accelerazione così ottenuto, con quello elaborato utilizzando i 7 input sismici naturali scaricati con il software REXEL.

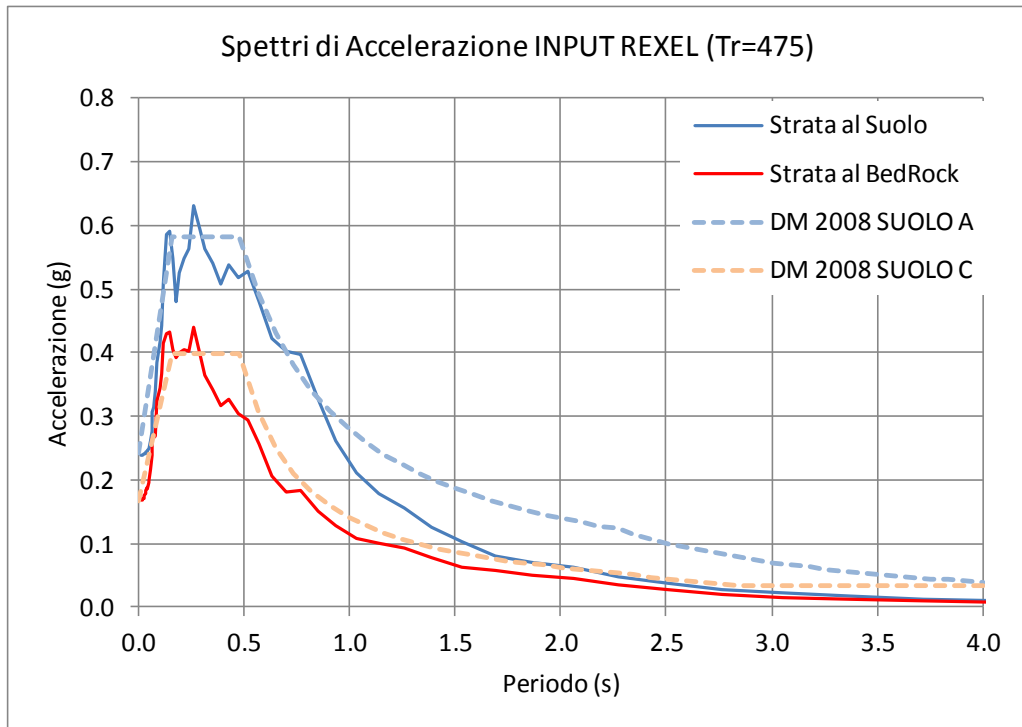
5.2.1 SAN VITALE

Di seguito vengono riportati i seguenti grafici:

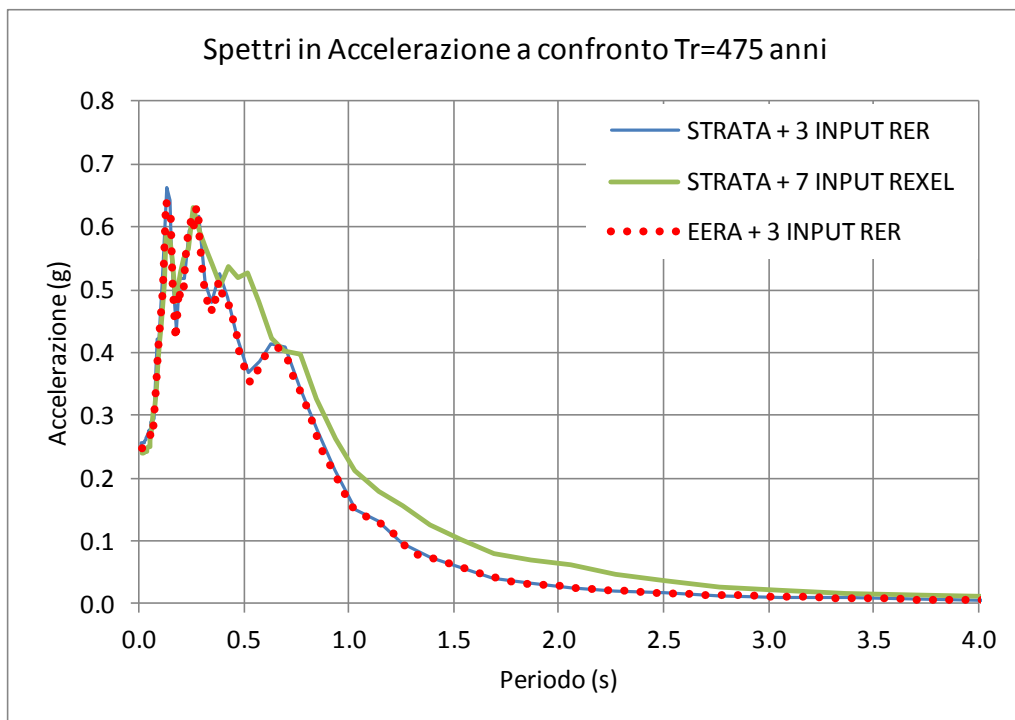
Le forme spettrali in accelerazione ottenute dai 3 input sismici della regione, elaborati con il programma STRATA.

Le forme spettrali in accelerazione ottenute dai 7 input prelevati con REXEL e sempre elaborati con il programma STRATA.





Infine si riporta il grafico, con tempi di ritorno $Tr=475$ anni e smorzamento al 5%, dei seguenti spettri in accelerazione: STRATA+INPUT_RER, STRATA+INPUT_REXEL, EERA+INPUT_RER.



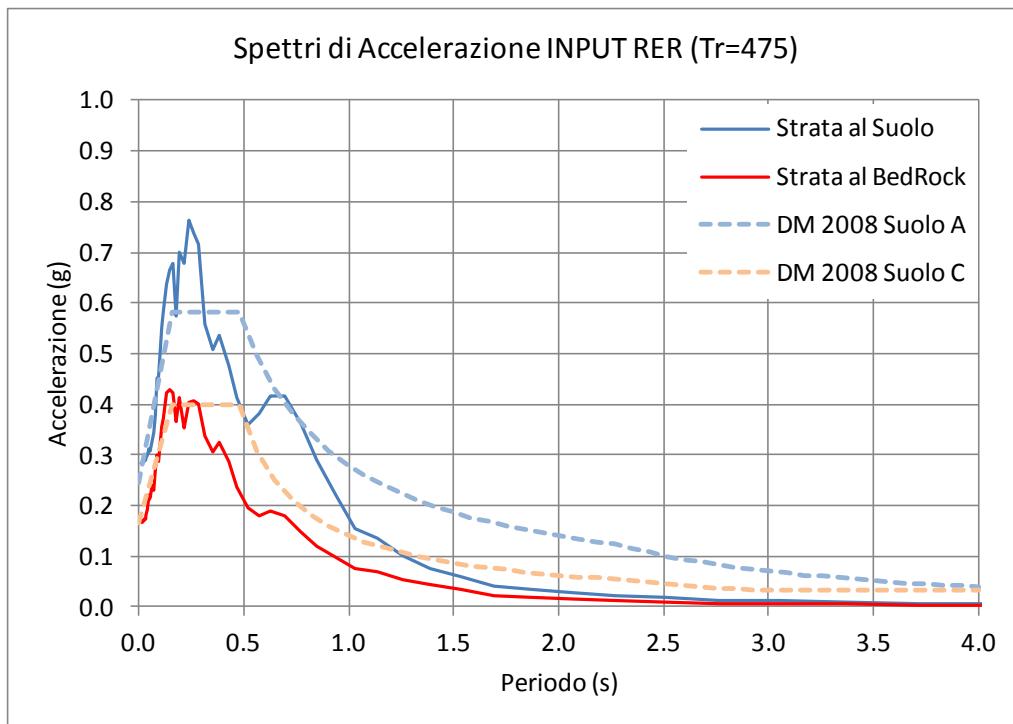
Dai grafici appare l'assoluta corrispondenza dei codici di calcolo EERA e STRATA e la bontà degli INPUT sismici selezionati con REXEL che conducono ad accelerogrammi quasi identici a quelli ottenuti dagli input regionali.

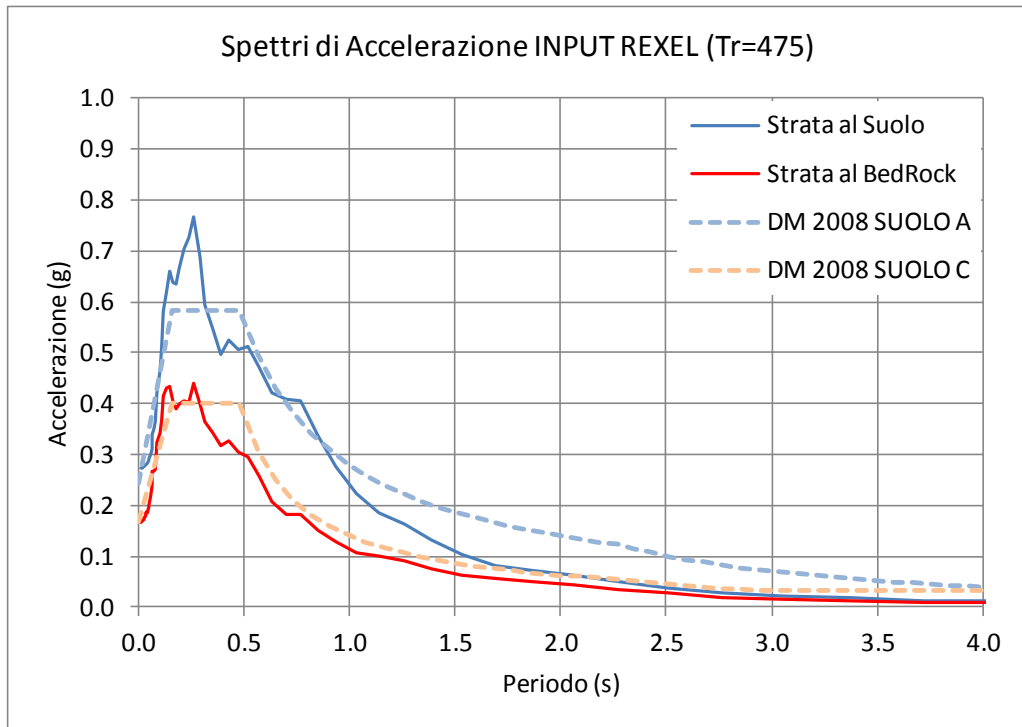
5.2.2 VIA LARGA

Di seguito vengono riportati i seguenti grafici:

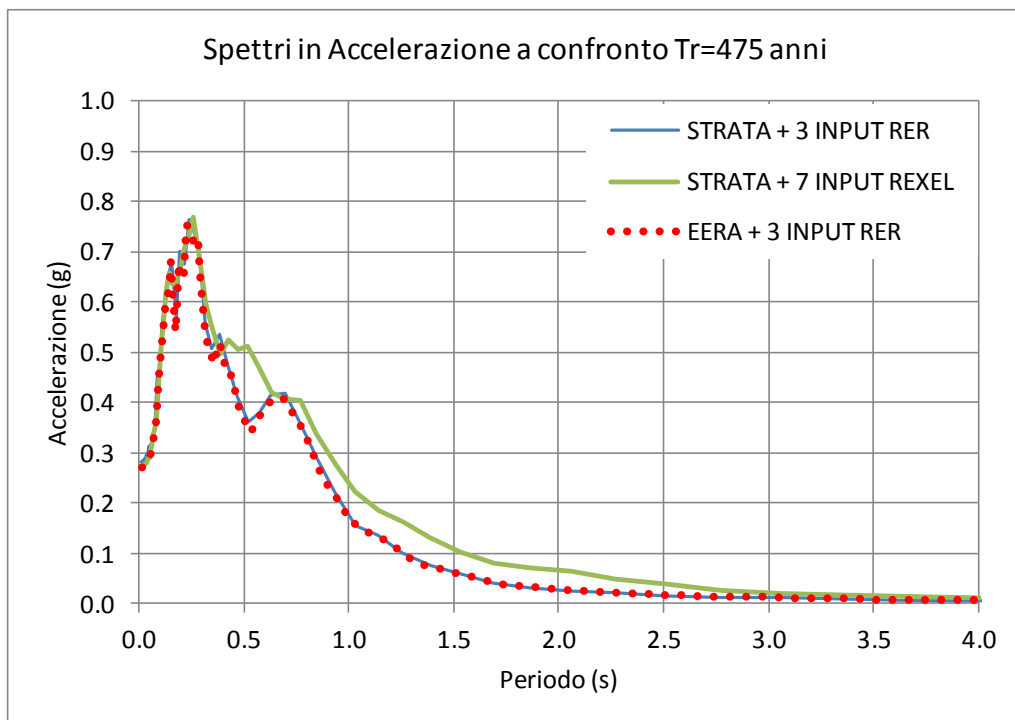
Le forme spettrali in accelerazione ottenute dai 3 input sismici della regione, elaborati con il programma STRATA.

Le forme spettrali in accelerazione ottenute dai 7 input prelevati con REXEL e sempre elaborati con il programma STRATA.





Infine si riporta il grafico, con tempi di ritorno $Tr=475$ anni e smorzamento al 5%, dei seguenti spettri in accelerazione: STRATA+INPUT_RER, STRATA+INPUT_REXEL, EERA+INPUT_RER.



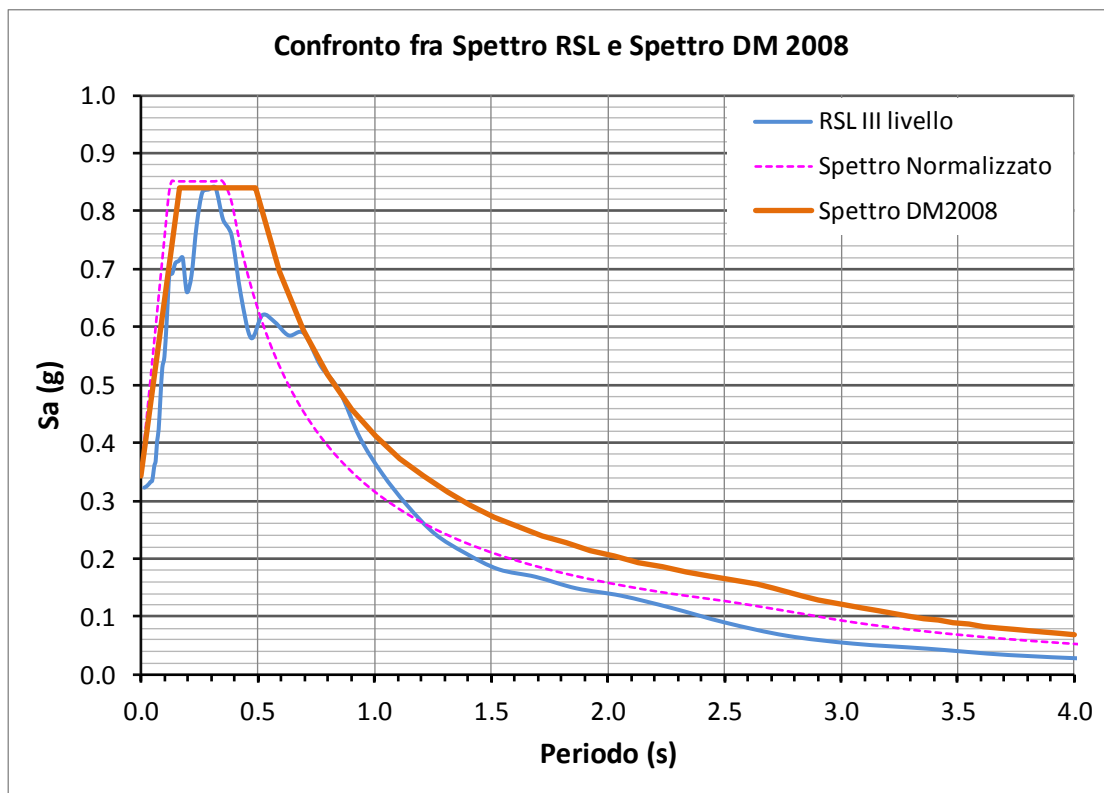
5.3 RSL PER L'OPERA IN PROGETTO ($T_R=1898$ ANNI)

Dopo aver scaricato i 7 input sismici con il programma REXEL ed averli caricati tutti nel programma STRATA e dopo aver introdotto lo stesso modello dei 2 sottosuoli da esaminare, rappresentati da strati a differente tessitura, diversi valori delle onde S e del modulo G, si ottiene in output un unico spettro che si può comparare con quello della normativa semplificata ($C_u=100$, $V_n= 100$, SLV).

Per il confronto si può ricostruire attorno allo spettro ottenuto dalla RSL uno "spettro normalizzato" con il metodo delle differenze ai minimi quadrati.

5.3.1 SAN VITALE

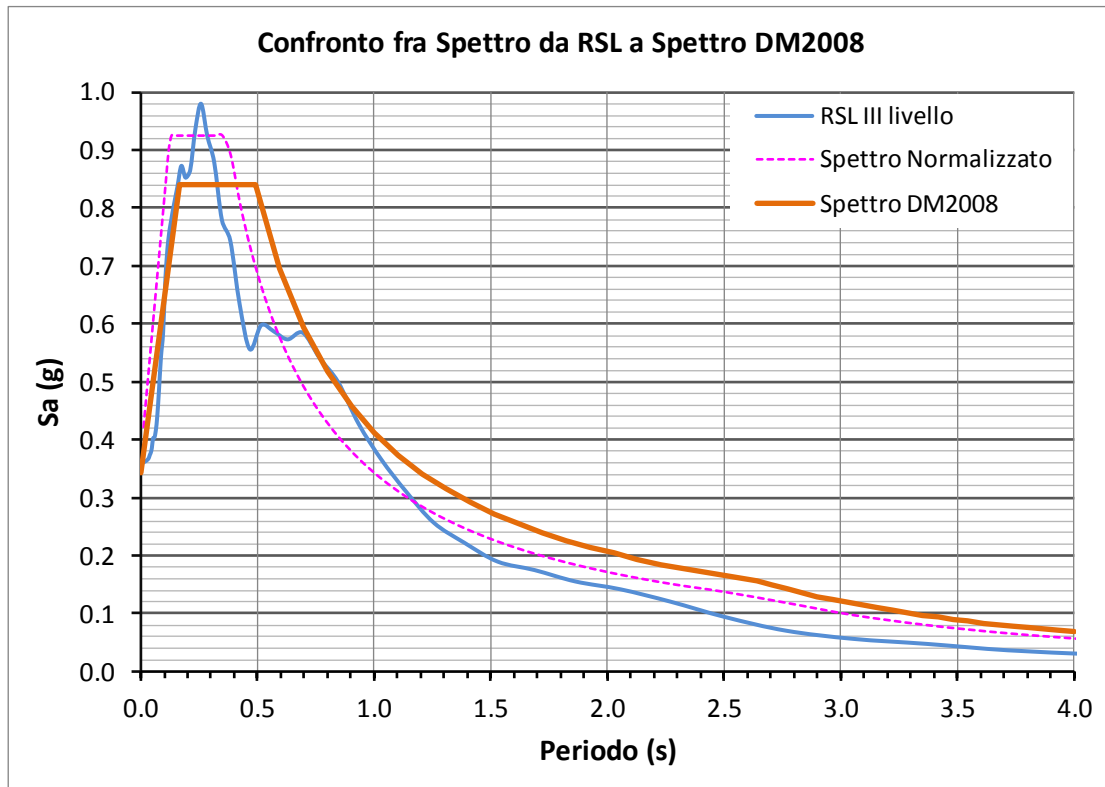
Di seguito viene riportato il grafico con l'accelerazione spettrale della RSL a confronto con quello della normativa semplificata e con lo spettro normalizzato con il metodo delle differenze ai minimi quadrati



Param	Valori	
Ag (g)	0.260	Fissato
FO	2.451	Fissato
Tb	0.123	Calcolato
Tc	0.370	Calcolato
Td	2.640	Calcolato
T*c	0.322	Fissato
S	1.336	Da variare
Eta	1.000	Fissato
Cc	1.150	Da Variare
Coeff	0.851	Calcolato
Scarto	0.849	(da 0 a 1.0 s)

5.3.2 VIA LARGA

Di seguito viene riportato il grafico con l'accelerazione spettrale della RSL a confronto con quello della normativa semplificata e con lo spettro normalizzato con il metodo delle differenze ai minimi quadrati



Param	Valori	
Ag (g)	0.260	Fissato
F0	2.451	Fissato
Tb	0.123	Calcolato
Tc	0.370	Calcolato
Td	2.640	Calcolato
T*c	0.322	Fissato
S	1.452	Da variare
Eta	1.000	Fissato
Cc	1.150	Da Variare
Coeff	0.925	Calcolato
Scarto	0.927	(da 0 a 1.0 s)

Infine sono eventualmente a disposizione del progettista i seguenti dati:

- Accelerogrammi di output
- Spettri di risposta elastici
- Spettri normalizzati
- Spettri di Progetto

6 VERIFICA SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

Per verificare la suscettibilità a liquefazione degli strati individuati come maggiormente inclini a liquefarsi è stato utilizzato l'approccio semplificato illustrato nel documento "Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento" DAL RER 112/2007 e basato sulla seguente relazione che definisce il coefficiente di sicurezza nei confronti della liquefazione come:

$$F_L = \frac{CRR}{CSR} \cdot MSF$$

Dove CRR è la resistenza normalizzata (rispetto alla pressione verticale efficace σ'_{v0}) che può essere valutata attraverso abachi che mettono in correlazione il parametro adimensionale CRR con i parametri desunti da prove SPT, CPT e da misure della velocità delle onde di taglio Vs.

Il parametro CSR rappresenta la tensione indotta dal sisma:

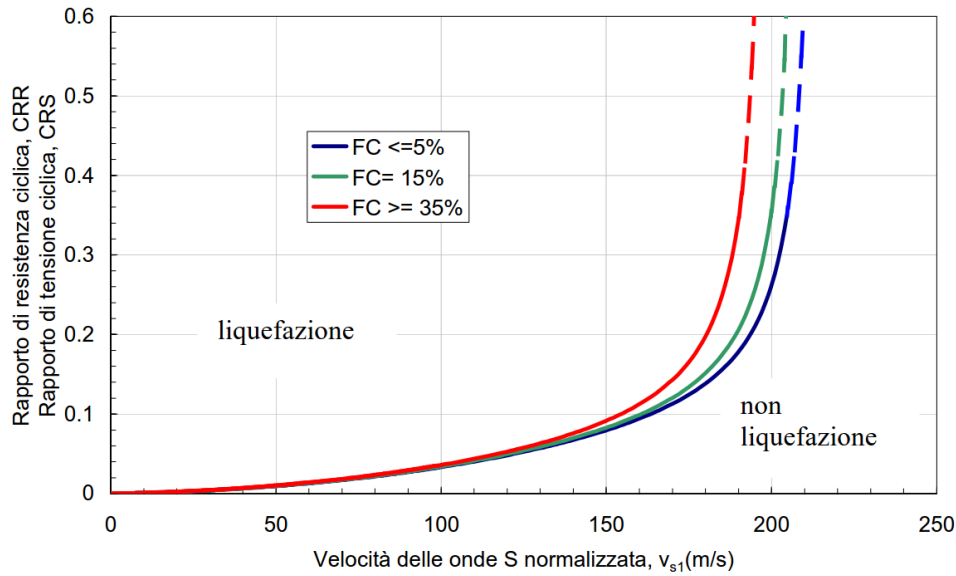
$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{maxs}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

dove a_{max} è il picco di accelerazione al piano campagna del terremoto di riferimento ($a_{maxs}=a \cdot S$); g è l'accelerazione di gravità; σ_v e σ'_v sono rispettivamente la tensione verticale totale e la tensione verticale efficace alla profondità considerata; r_d è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo e che può essere determinato con la relazione semplificata $r_d = 1-0.015z$.

Infine MSF è un fattore di scala che può essere valutato mediante la tabella riportata sotto in funzione della magnitudo dei terremoti attesi (per l'area in oggetto MSF=1.32).

Magnitudo	MSF
5.5	1.43
6.0	1.32
6.5	1.19

Da una prima analisi dei due siti oggetto di studio gli strati sabbiosi con le caratteristiche a liquefarsi sono molto rari e di spessore modesto, inoltre la falda ha una profondità spesso maggiore di 15 m dal p.c. Infine la velocità delle onde S, anche nei terreni sabbiosi è mediamente maggiore di 200 m/s per cui se si esamina l'abaco seguente si ricadrebbe nell'area di non liquefazione.



In ogni caso, anche considerando l'ipotesi peggiore, con $V_s \sim 190$ m/s, $\sigma_v / \sigma'_v \sim 2$ e lo strato posto ad una profondità $h = 2.0$ m dal p.c., poiché dalle analisi di laboratorio risulta che FC è mediamente maggiore del 20%, si può facilmente verificare che:

$$CRR \geq 0.28$$

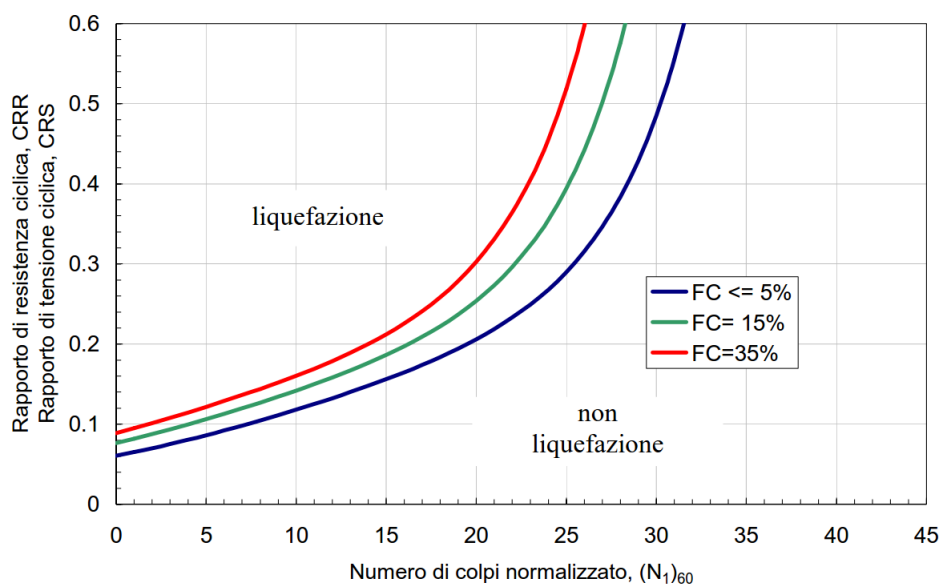
$$MSF = 1.32$$

$$CSR = 0.65 \cdot 0.166 \cdot 1.46 \cdot 2 \cdot 0.97 = 0.30$$

$$FL = (CRR/CSR) \cdot MSF = (0.28 / 0.30) \cdot 1.32 = 1.23$$

Nelle pagine seguenti faremo comunque una analisi più accurata, utilizzando le prove N_{spt} in foro normalizzate e verificando le verticali dei sondaggi eseguiti per MM.

In questo caso la resistenza normalizzata CRR verrà stimata con la seguente tabella.



6.1 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE SONDAGGIO 1V - H=4.5 M

Nspt	H (m)	γ (kN/m ³)	Falda (m)	σ_v (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)	CN1	CN2	CN3	N1(60)
18	4.5	20.0	12.0	90.0	90.0	1.05	1.08	1.08	19.4

$a_g/g=$ 0.166	CRR= 0.239
S= 1.46	CSR= 0.147
Sv= 90.0	MSF= 1.320
Sv'= 90.0	FL= 2.148

6.2 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE SONDAGGIO 1V - H=17 M

Nspt	H (m)	γ (kN/m ³)	Falda (m)	σ_v (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)	CN1	CN2	CN3	N1(60)
15	17.0	20.0	12.0	340.0	290.0	0.60	0.46	0.46	6.9

$a_g/g=$ 0.166	CRR= 0.119
S= 1.46	CSR= 0.138
Sv= 340.0	MSF= 1.320
Sv'= 290.0	FL= 1.144

6.3 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE SONDAGGIO 4V - H=2.5 M

Nspt	H (m)	γ (kN/m ³)	Falda (m)	σ_v (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)	CN1	CN2	CN3	N1(60)
18	2.5	20.0	12.0	50.0	50.0	1.37	1.62	1.61	29.0

$a_g/g=$ 0.166	CRR= 0.432
S= 1.46	CSR= 0.152
Sv= 50.0	MSF= 1.320
Sv'= 50.0	FL= 3.761

6.4 VERIFICA ALLA LIQUEFAZIONE SONDAGGIO 4V - H=2.5 M

Nspt	H (m)	γ (kN/m ³)	Falda (m)	σ_v (kN/m ²)	σ'_v (kN/m ²)	CN1	CN2	CN3	N1(60)
15	10.0	20.0	12.0	200.0	200.0	0.71	0.61	0.61	9.1

$a_g/g=$ 0.166	CRR= 0.113
S= 1.46	CSR= 0.134
Sv= 200.0	MSF= 1.320
Sv ¹ = 200.0	FL= 1.114

In definitiva le verifiche, anche nelle condizioni considerate più critiche, hanno mostrato sempre un fattore FL>1 per cui l'indice del potenziale di liquefazione, così come definito nel DAL RER 112/2007 risulta nullo.

Pavullo nel Frignano, 19 Agosto 2014

IL GEOLOGO
(COCETTI MARCELLO)



BIBLIOGRAFIA

Albarello Dario – *La Risposta Sismica Locale* – Dipartimento di Scienze Fisiche, della Terra e dell'QAmbiente Università degli Studi di Siena

Ambraseys N., Smit P., Berardi R., Rinaldis D., Cotton F., Berge C. (2000) – *Dissemination of European strongmotion data (Cd-Rom collection)*. European Commission, Dgxi, Science, Research and Development, Bruxelles;

Ambraseys N., Douglas J., Rinaldis D., Berge-Thierry C., Suhadolc P., Costa G., Sigbjornsson R. Smit P. (2004) – *Dissemination of European strong-motion data, vol 2, Cd-Rom*. Collection. Engineering and Physical Sciences Research Council, United Kingdom;

Bardet J.P., Ichii K. & Linn C.H. (2000) – *EERA, A computer program for Equivalent Earthquake site Response Analyses of Layered Soil Deposits*. University of Southern California;

Castellaro S., Negri N., Rovere M., Vigliotti L. – *Interazione Suolo-Struttura e Struttura-Struttura: una lezione dal terremoto di Mirandola del 20.05.2012. Il Geologo dell'Emilia Romagna*.

CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI; DM 14 Gennaio 2008: Norme tecniche per le costruzioni. Gazzetta Ufficiale della Repubblica Italiana, 29

CREPELLANI T. – Effetti di sito e fenomeni di instabilità indotti dai terremoti nei depositi e nei pendii – Dipartimento di Ingegneria Civile (DICEA). Università di Firenze

C.S.LL.PP. 02.02.2009 n°617 - *Circolare del consiglio superiore dei lavori pubblici: Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove norme tecniche per le costruzioni" D.M. 14.01.2008*

Dintinosante Vittorio – *Esercitazione pratica per l'utilizzo di codici di calcolo monodimensionali ai fini progettuali (valutazione dell'azione sismica ai sensi delle NTC2008)*

Gruppo di Lavoro MS-AQ (2010) – *Microzonazione sismica per la ricostruzione dell'area aquilana. Regione Abruzzo* – Dipartimento della Protezione Civile, L'Aquila, 3 vol. e Cd-rom;

Hashash Y.M.A., Hook J.J., Schmidt B., Yao J.I., 2001. *Seismic design and analysis of underground structures*. Tunnelling and Space Technology, 16: 247-293.

Hashash Y.M.A., Park D., Yao J.I., 2005. *Ovaling deformations of circular tunnels under seismic loading, an update on seismic design and analysis of underground structures*. Tunnelling and Space Technology, 20: 435-441.

Idriss I.M., 1990. *Response of soft soil sites during earthquakes*. Proceedings of H. Bolton Seed Memorial Symposium, vol. 2: 273-289.

Idriss I.M. & Sun J.I. (1992) – *SHAKE91: A computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits*. User's Guide, University of California, Davis, California, 13 pp;

Iervolino I., Galasso C. & Cosenza E. (2010) - *REXEL: computer aided record selection for codebased seismic structural analysis*. Bulletin of Earthquake Engineering, 8:339-362;

Kottke Albert R. & Rathje Ellen M. (2008) – *Technical Manual for Strata* – PEER 2008/10

Kramer S.L. (1996) - *Geotechnical Earthquake Engineering*. Prentice-Hall, pp. 652.

Lanzo G. & Silvestri F. (1999) – *Risposta Sismica Locale*. Edizioni Hevelius.

NTC2008 – *Norme Tecniche per le Costruzioni*. Decreto 14 gennaio 2008 del Ministero delle Infrastrutture. Supplemento Ordinario della G.U. n. 29 del 4.02.2008

REGIONE EMILIA ROMAGNA - Deliberazione della Giunta Regionale dell'Emilia Romagna nr. 1661 del 2 novembre 2009 - Approvazione elenco categorie di edifici di interesse strategico e opere infrastrutturali la cui funzionalità durante gli eventi sismici assume rilievo fondamentale per le finalità di protezione civile ed elenco categorie di edifici e opere infrastrutturali che possono assumere rilevanza in relazione alle conseguenze di un eventuale collasso.

REGIONE EMILIA ROMAGNA - ALLEGATO A3 - Delibera dell'Assemblea legislativa progr. n°112 - oggetto n°3121 del 2 maggio 2007 - Procedure di riferimento per le analisi di terzo livello di approfondimento.

REGIONE EMILIA ROMAGNA - Deliberazione della Giunta Regionale N. 1435 del 21/07/03 - Allegato A "Classificazione sismica dei Comuni dell'Emilia Romagna"

Schnabel P.B., Lysmer J. & Seed H.B. (1972) – *SHAKE: A computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites*. Report No. EERC 72-12, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, California.

Seed H.B., Sun J.H., 1989. *Implication of site effects in the Mexico City earthquake of September 19, 1985 for Earthquake-Resistant Design Criteria in the San Francisco Bay Area of California*. Report No. UCB/EERC-89/03, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.

Smerzini C. & Paolucci R. (2011) – *SIMBAD: a database with Selected Input Motions for displacement-Based Assessment and Design* – 2nd release. Research Project DPC – RELUIS 2010-2013

Working Group ITACA (2010) - *Data Base of the Italian strong motion records*: <http://itaca.mi.ingv.it>

ALLEGATI

ALLEGATO A - REGISTRAZIONI SISMICHE HVSR—MASW - ReMI/ESAC

ALLEGATO B - REGISTRAZIONI HVSR

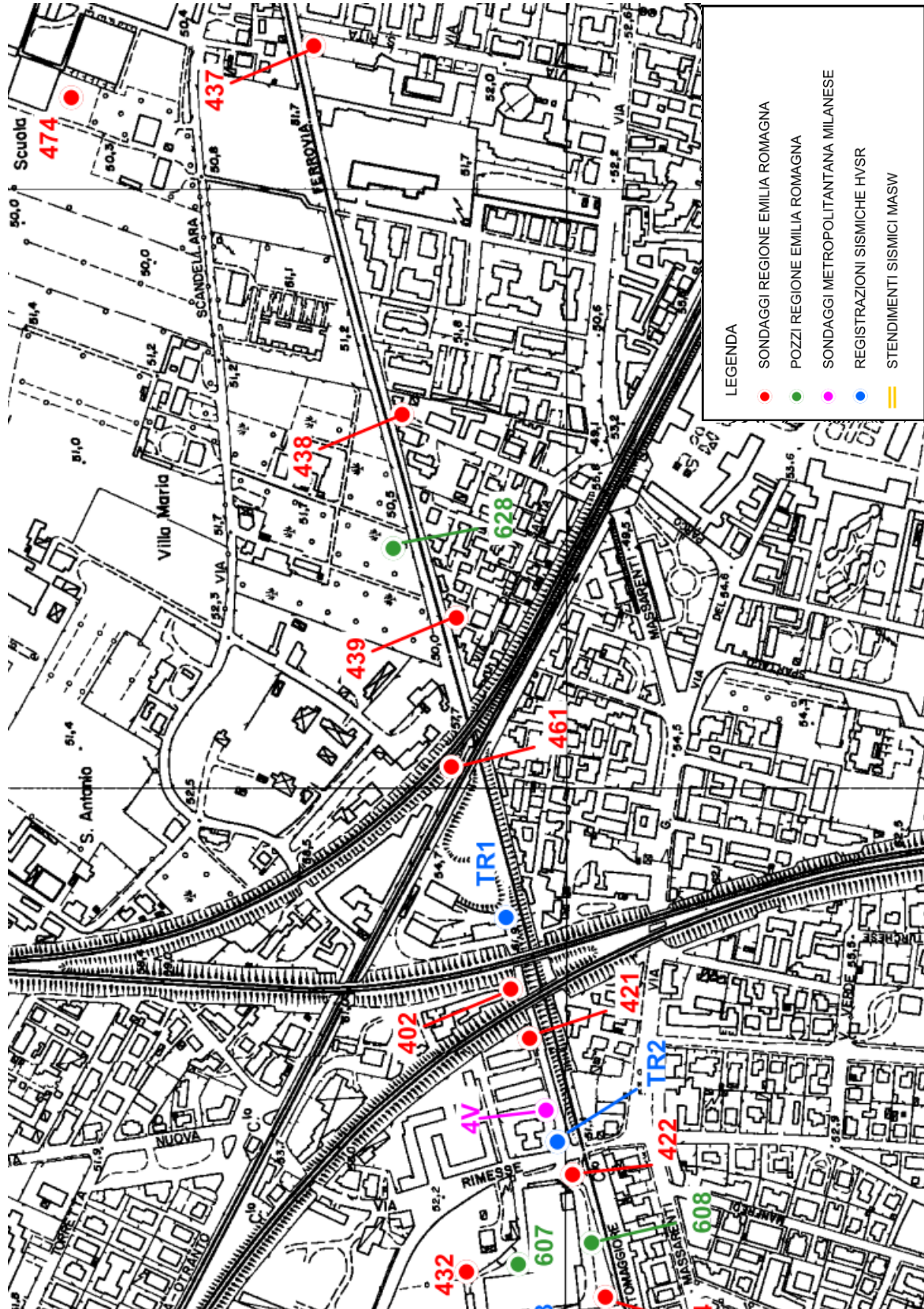
ALLEGATO C - SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO MM

ALLEGATO D - SONDAGGI A CAROTAGGIO CONTINUO RER

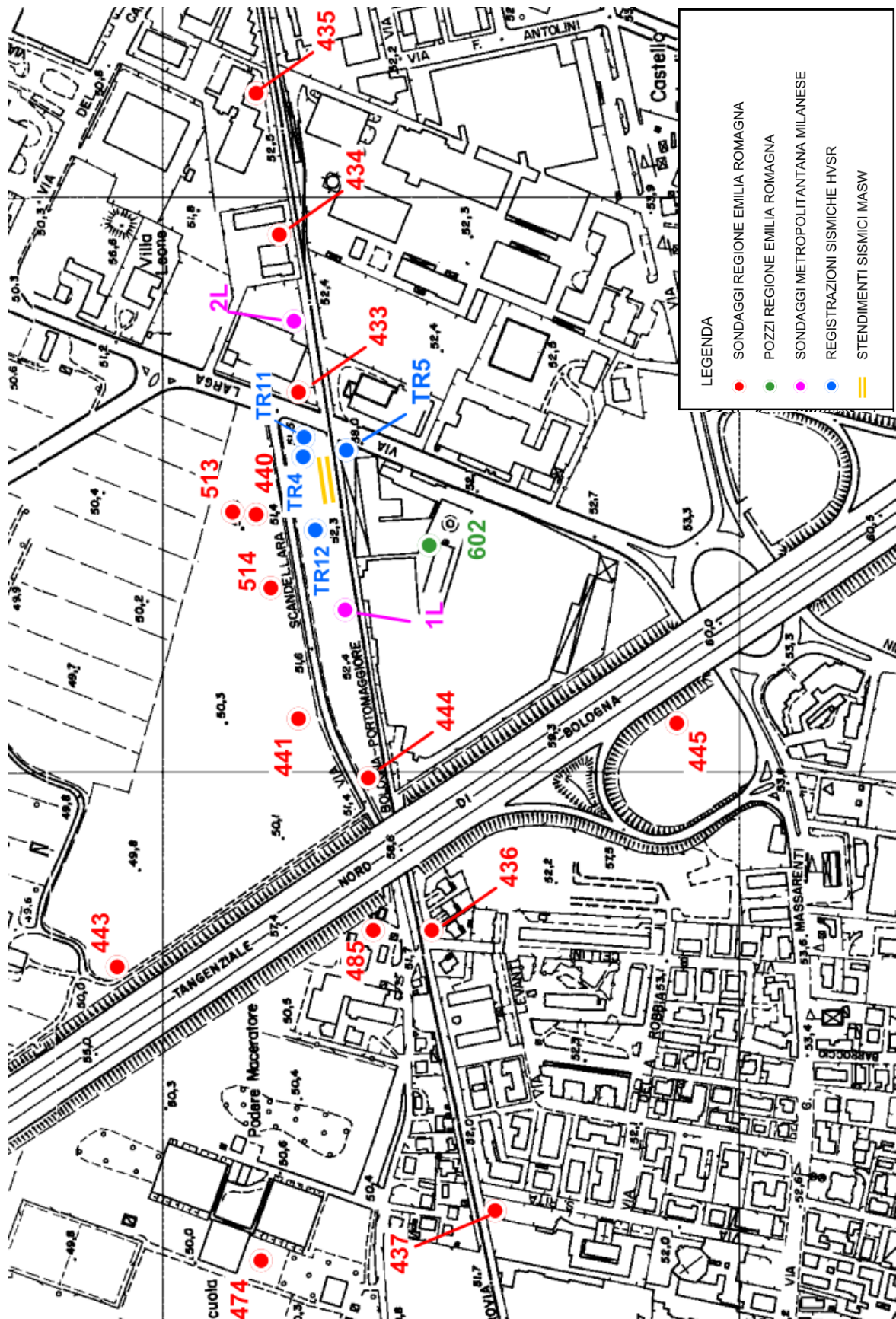
ALLEGATO E - POZZI RER

ALLEGATO F - SEZIONI STRATIGRAFICHE RER

UBICAZIONE STRATIGRAFIE E REGISTRAZIONI SISMICHE



UBICAZIONE STRATIGRAFIE E REGISTRAZIONI SISMICHE



ALLEGATO A

REGISTRAZIONI SISMICHE HVSR—MASW - ReMI/ESAC

REGISTRAZIONI SISMICHE

HVSR – MASW - ReMi / ESAC

TRATTA S. VITALE - RIMESSE

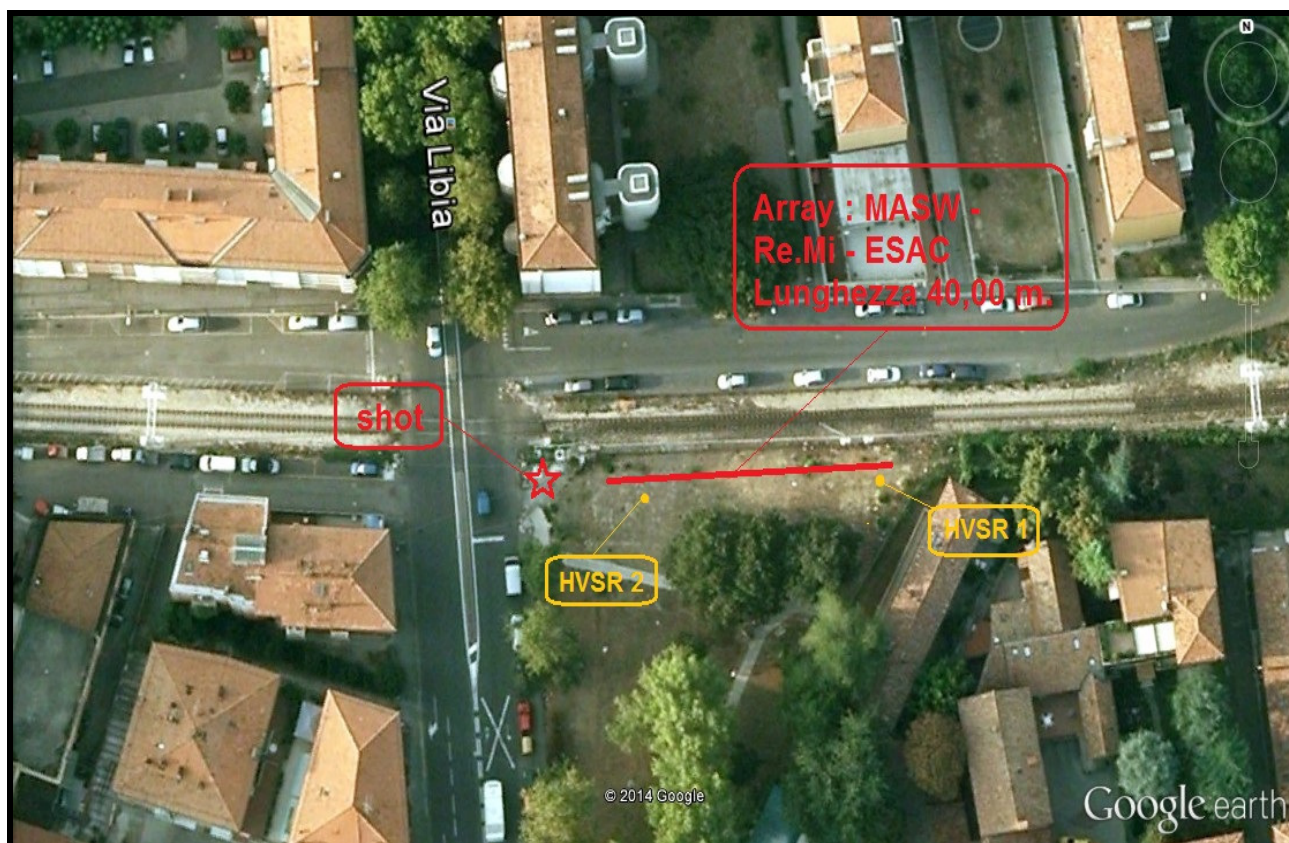


Fig 1 Ubicazione indagine: HVSR – MASW - ReMi/ESAC

Per ogni misura effettuata, è stata realizzata una scheda che riporta: Modello dello strumento utilizzato, data e ora della registrazione, coordinate geografiche (GPS), caratteristiche della registrazione, frequenza e durata, caratteristiche dell'elaborazione, lunghezza delle finestre, tipo e % del liscio, questa fase è stata effettuata attraverso il software Grilla in dotazione a TROMINO, secondo la procedura descritta in Castellaro (2010).

Le schede si completano con il diagramma del rapporto spettrale H/V, gli spettri delle singole componenti e le serie temporali e direzionali del H/V.

Per la MASW e la ReMi, si riporta lo Spettro velocità di fase delle Onde Rayleigh e per L'ESAC si riporta la rispettiva curva di dispersione sperimentale del sito.

L'acquisizione e l'elaborazione, per le misure HVSR viene convalidata attraverso il confronto con le tabelle delle linee guida, Progetto europeo SESAME 2005.

E la classificazione proposta da ALBARELLO (2011) in I.C.M.S. "Indirizzi e Criteri Microzonazione Sismica, Protezione Civile (2011)".

L'obiettivo del lavoro è stato quello di, determinare il **MODELLO GEOFISICO**, ossia:

- 1. Frequenza e Periodo fondamentale del sito,**
- 2. Profilo di Vs con la profondità e Vs (30),**
- 3. Profondità del Bedrock Sismico, ossia la profondità in cui le Vs risultano > di 600 - 800 m/s.**

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni DM 14 gennaio 2008 e I.C.M.S. "Indirizzi e Criteri Microzonazione Sismica, Protezione Civile (2011).

2. CENNI DI TEORIA “da letteratura vedi Castellaro e Albarello¹”

Sul sito oggetto di studio sono state eseguite due metodologie diverse: due misure a stazione singola HVSR e tre misure in array, MASW – ReMi – ESAC.

▪ MISURE A STAZIONE SINGOLA - HVSR

L'acronimo HVSR indica rapporto spettrale tra la componente orizzontale e la componente verticale del moto, il metodo è stato applicato da Nogoshi e Igarashi (1970 e 1971) e reso noto da Nakamura (1989 e 2000) L'uso dei rapporti spettrali orizzontale su verticale (H/V) per ricavare la frequenza fondamentale dei siti caratterizzati da una copertura soffice su un basamento rigido è diventato sempre più popolare a causa della sua semplicità in termini di applicazione e il suo basso costo.

Una panoramica del metodo è stato presentato da Bard (1999), Mucciarelli e Gallipoli (2001).

Nonostante il fatto che la base teorica è ancora dibattuta vi è un consenso sul fatto che questo rapporto ci permette di stimare, con ragionevole accuratezza, la frequenza fondamentale del sito .

¹ Albarello: Professore di Geofisica Università di Siena , Castellaro: Prof.ssa di Geofisica Università di Bologna.

Per i casi semplice, caratterizzati da un singolo strato, poggiante su un basamento rigido la frequenza fondamentale di risonanza è pari:

$$f = V_s/4H$$

dove V_s è la media delle onde S nello strato di copertura, mentre H rappresenta lo spessore.

Il metodo HVSR non fornisce direttamente la velocità delle onde di taglio V_s , ma queste possono essere ricavate indirettamente, utilizzando la relazione sopra esposta, conoscendo, attraverso un indagine supplementare lo spessore H della copertura.

▪ MISURE IN ARRAY MASW – REMI / ESAC

Sono tutte tecniche che analizzano le Onde di Superficie, le misure in array si dividono in due “famiglie”, attive e passive. Si riporta adesso una tabella riassuntiva, proposta da Castellaro “Corso di aggiornamento Marzo 2012”, in cui vengono forniti, parametri di acquisizione dei segnali sismici, vantaggi - svantaggi delle tecniche in onde di superficie, rispetto alle tecniche geofisiche classiche “rifrazione, riflessione e prove in foro”.

	TECNICHE ATTIVE CLASSICHE (rifrazione riflessione prove i foro)	TECNICHE ATTIVE IN ONDE DI SUPERFICIE (Masw)	TECNICHE PASSIVE IN ONDE DI SUPERFICIE (Re.Mi / ESAC)
SORGENTE	Impulsiva (fucile sismico, mazza)	Preferibile ad alto contenuto in frequenza (Caduta di grave)	Naturale
STENDIMENTO	1D- necessari molti ricevitori - geofoni	1D 4 – 5 ricevitori sono già sufficienti (esistono geometrie più furbe di quella equi distanziata)	1D 4 – 5 ricevitori sono già sufficienti (esistono geometrie più furbe di quella equi distanziata)
PROFONDITA' DI INDAGINE	1/4 - 1/5 apertura	Teoricamente fino a 1.5 – 2 volte l'apertura	Teoricamente fino a 1.5 – 2 volte l'apertura
RICEVITORI	H o V ad alta frequenza	H (Love) o V (Rayleigh) a bassa frequenza	Solitamente V a bassa frequenza
FREQUENZA DI CAMPIONAMENTO	1 KHz	< 1 KHz	< 1 KHz
REQUISITI DEL SOTTOSUOLO	2D no inversioni di velocità	Solo 1D	Solo 1D
RISULTATI	$V_p - V_s$	V Onde di Superficie $\approx V_s$	V Onde di Superficie $\approx V_s$ Metodi 1D V apparente \geq V reale! Metodi 2D: V più probabile nell'ipotesi di distribuzione delle sorgenti relativamente omogenea e isotropa.

▪ **MASW (ZVFDX5MO10)**

L'acronimo MASW indica (analisi multi – canale di onde di superficie) pertanto la tecnica analizza la dispersione delle onde di Rayleigh o Love (onde di superficie generate artificialmente, dallo studio delle dispersione di queste ultime si ottengono profili verticali di VS (velocità di propagazione delle onde di taglio VSh).

L'acronimo ZVFDX5MO10, indica che le registrazioni sono state effettuate utilizzando dei geofoni a componente verticale, energizzazioni verticali, inter distanziati di 5,00 m. l'offset minimo, ossia distanza tra Tigger scoppio e primo geofono è di 10,00 m.

▪ **REMI**

Negli ultimi anni la tecnica dell'analisi della rifrazione del Microtremore (ReMi), sviluppato da (Louie, 2001) ha guadagnato una grande popolarità, grazie al suo equipaggiamento limitato e ai bassi requisiti di spazio necessari per effettuarla. Il metodo analizza il microtremore ambientale, registrato da un sistema standard di sismica a rifrazione con geofoni verticali, collocati lungo una linea. L'analisi ha come base la trasformazione dei dati, misurati nel dominio spazio-tempo è trasformati nel dominio frequenza – velocità.

Questa trasformazione viene eseguita mediante l'applicazione di un "slant-stack" o "p- τ " trasformazione "(Thorson e Claerbout, 1985), utilizzando la trasformata di Fourier. Il risultato dell'analisi è un grafico della potenza del segnale in funzione della frequenza e velocità.

L'uso di array lineari offre una complessa interpretazione degli spettri velocità di fase, inguanto si presenta il problema dalla velocità apparente, che deriva dal fatto che la direzione della propagazione delle onde in un sondaggio passivo non è necessariamente parallela allo stendimento. La soluzione ha questo problema è quella di scegliere la curva di dispersione non lungo la massima energia dello spettro velocità di fase, ma si fa in modo che La curva di dispersione stia un po' sotto (Louie, 2001). Questa procedura nel metodo ReMi implica un certo grado di soggettività nel determinare il modello di velocità.

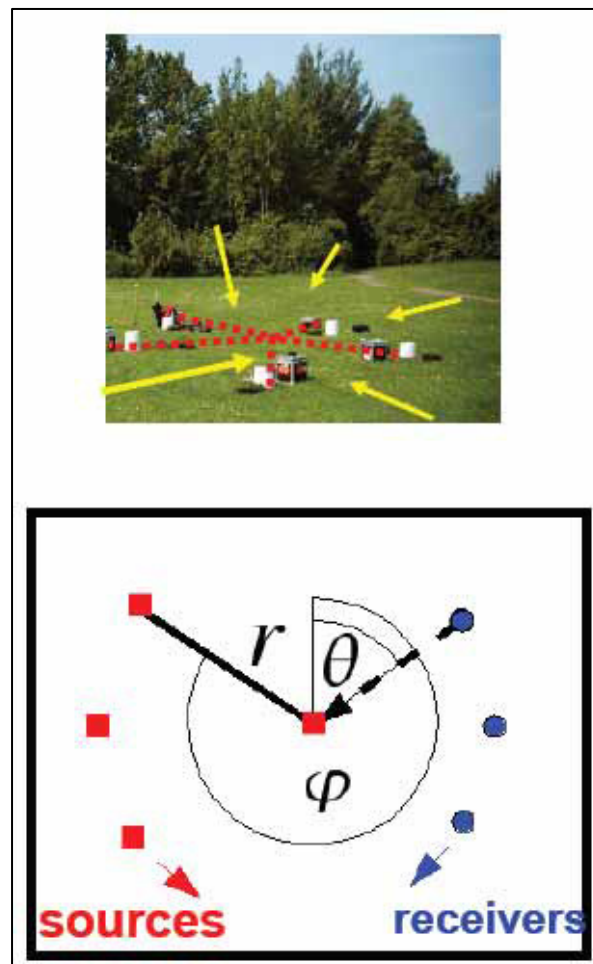
▪ **ESAC/SPAC**

L'acronimo ESAC indica: estesa autocorrelazione spaziale. Il metodo ha origine dalla tecnica, (SPAC) autocorrelazione spaziale, metodo, che si basa sulla ricerca intrapresa da Aki verso la fine del 1950. Il metodo ESAC/SPAC, ha come fondamento teorico il presupposto di uno campo d'onda stocastico è stazionario sia nel tempo che nello spazio (Aki, 1957). Due ipotesi sono alla base dei due metodi, il primo e che le onde di Rayleigh sono i dominanti del modo fondamentale, e il secondo, che la struttura del sottosuolo è a

strati paralleli. Il metodo SPAC richiede un array circolare, mentre il metodo ESAC non richiede un array circolare, ma è applicabile a qualsiasi forma (L o T).

Un vantaggio significativo della SPAC/ESAC sul metodo ReMi è l'estrazione della velocità di fase, indipendente dalla direzione alla sorgente, in questa procedura i segnali vengono analizzati in termini direzionali.

Le procedure ESAC sono basate sul risultato di Aki (1959) secondo il quale la funzione di correlazione media fra le registrazioni di un rumore isotropo effettuate su sensori verticali distribuiti nelle diverse direzioni a parità distanza r da un sensore centrale, ha una forma nota (Funzione di Bessel di ordine 0)



La forma di questa funzione di Bessel ad una data frequenza ed a una data distanza r è controllata dal valore della velocità di fase.

In realtà, il metodo ESAC consente di definire la cosiddetta **curva di dispersione sperimentale “effettiva”** che rappresenta una combinazione delle diverse curve modali “pesate” in base al loro specifico contenuto energetico nel sito.

Ricordiamo che la legge fisica a cui, occorre fare riferimento, per l’analisi della propagazione delle Onde, è:

$$v = \lambda \times f = \lambda/T$$

pertanto per l’analisi degli spettri e curve di dispersione occorre fare riferimento alla sopra citata relazione, ricordando che V , rappresenta la Velocità delle onde di Rayleigh.

Si riportano adesso due diagrammi con due algoritmi estratti dal corso di aggiornamento del Prof. Albarello, che illustrano il procedimento matematico, del passaggio dallo spettro velocità di fase dell’onda Rayleigh e “curve di dispersione” misurate durante le prove in array, (MASW – Re.Mi. – ESAC) al calcolo della V_S , con la profondità, richiesta dalla Normativa.

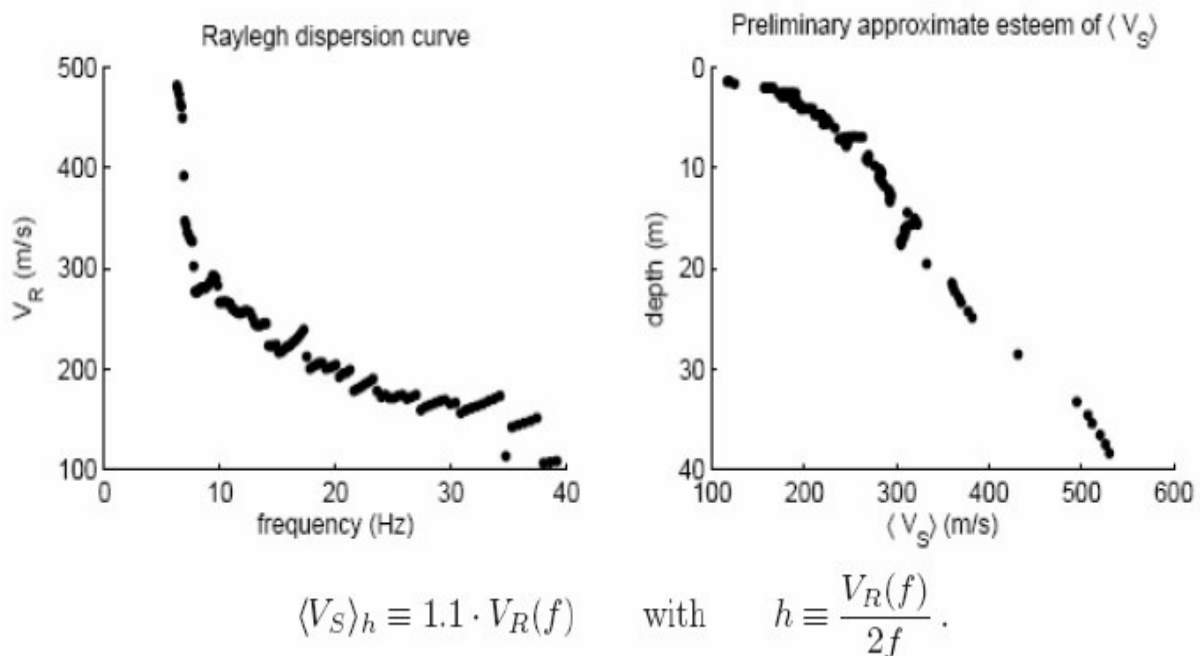


Fig 1 : Estratto da corso di aggiornamento Albarello, Algoritmi utilizzati per passare dallo spettro velocità di fase dell’onda Rayleigh al profilo di V_S con la profondità.

Occorre adesso fare un cenno sulla **massima profondità di esplorazione delle tecniche in array**, “Vedi ALBARELLO”.

In presenza di forti contrasti di impedenza sismica, l'analisi della curva di dispersione al di sopra della frequenza di risonanza, fornisce informazioni sul profilo di velocità delle onde S al di sopra del basamento risonante, in assenza di grandi contrasti di impedenza, la profondità di esplorazione, dipende da tre elementi:

1. La frequenza di risonanza dei geofoni
2. La dimensione dello stendimento
3. Dalla presenza di segnale in bassa frequenza

Simulazioni numeriche e l'esperienza di campagna hanno dimostrato che in presenza di un segnale intenso, è possibile determinare differenze di fase fino a frequenze pari alla metà circa della frequenza propria dei sensori (f_0). In generale, però, questa frequenza è la minima raggiungibile.

Data una velocità di fase V per le onde superficiali misurate, la massima lunghezza d'onda misurabile (V/f), almeno nel caso della procedura ESAC è dell'ordine di due volte la dimensione dello stendimento.

Dato che la profondità di esplorazione è circa dell'ordine della metà della lunghezza d'onda ne risulta che la profondità di esplorazione è, dell'ordine di grandezza della dimensione dello stendimento.

Studi sperimentali hanno messo in evidenza che :

$$V(\lambda 40m) \approx V_s (30)$$

▪ **Fit Congiunto MASW – Re.Mi / ESAC - HVSr**

In questa fase si è realizzato un modello di sottosuolo, che rispetti entrambi i fenomeni fisici, ossia, la dispersione delle onde di superficie per le MASW – Re.Mi / ESAC e i picchi di risonanza della curva H/V per HVSr.

Questa operazione dà la possibilità di migliorare e raffinare notevolmente il modello in quanto le tre tecniche vanno a vincolarsi e a compensarsi a vicenda, ossia:

- La MASW caratterizza meglio le alte frequenze, ossia gli strati più superficiali.
- La REMI/ESAC caratterizza meglio le medie - basse frequenze ossia gli strati a media profondità.
- La HVSr misura i contrasti di Impedenza Sismica.

3. SPECIFICHE TECNICHE

Di seguito si riporta la descrizione degli strumenti: **TROMINO ZERO, modello TRZ-0121/01-11.**

TROMINO® ZERO	
<i>Codice</i>	<i>Descrizione</i>
TROMINO® ZERO	<p>Registratore digitale tutto in uno 10 x 7 x 13 cm, ~ 1 kg 1 Gb di memoria alimentazione a batteria (AA, 2 x 1.5 V) 2 set di piedini per accoppiamento al suolo banda di lavoro 0.1-200 Hz</p> <ul style="list-style-type: none"> • 3 canali velocimetrici per microtremore sismico ambientale (saturazione ±1.2 mm/s in banda), • frequenze di campionamento 128, 256, 512 Hz su tutti i canali, • valigetta rigida per il trasporto • cavo USB per trasferimento dati al PC



➤ **ANTENNA SISMICA - Soil Spy Rosina**
 ➤ **Modello n° di serie SAB-0019/02-11,**

➤ **Nome:** SoilSpy Rosina

➤ **Descrizione:** sistema di acquisizione sismica, portatile digitale multicanale

➤ **Array-PC:** tramite interfaccia USB

➤ **Sensor-Array connessione:** bipolare, uno per ogni modulo

➤ **Impedenza d'ingresso:** 20 kΩ (12 kΩ in modalità attenuata)

➤ **Gamma dinamica:** 142 dB, da ± 3,2 mV a ± 665 mV (8 opzioni)

➤ **Risoluzione:** da 0,1 μV / digit 20 μV / digit (8 opzioni)

➤ **Frequenza di campionamento:** 89 kHz su ogni canale

➤ **Dati di output:** 256, 512, 1024, 2048 Hz su ogni canale

➤ **Conversione:** sincronizzato su ogni canale

➤ **Tempo massimo di registrazione continua:** limitato solo dalla capacità memoria del PC

➤ **Trasmissione dati:** bidirezionale asincrono seriali, 1Mb

➤ **Cross-talk:** inesistente

➤ Indicatori di stato: LED su ogni modulo
➤ Consumo medio: 7.5 mA @ 256 Hz per canale (120 mA a 256 Hz su 16 canali) 8,1 mA a 512 Hz per canale (130 mA a 512 Hz su 16 canali) 9,4 mA a 1024 Hz per canale (130 mA a 1024 Hz su 16 canali) Alimentazione: Alimentato direttamente dal PC via USB. Nessuna batterie esterna supplementare Tensione Interna: 3,3 V
➤ Numero di canali: 1 per ogni modulo, analogico banda DC-360 Hz
➤ Numero di moduli: 1 da 8 geofoni + 1 geofono da Trigger = 9 geofoni verticali da 4,5 Hz
➤ Peso: <200 g per ogni geofono + 5 m filo. ~ 3 kg totali
➤ Condizioni ambientali di funzionamento: Temperatura 0-50 °C, Umidità 0-100% Stoccaggio e di trasporto: Temperatura -20-50 °C, Umidità 0-95% senza condensazione Impermeabilità: indice di protezione IP 65 (polveri prova, prova di schizzi) Produttore: Micromed S.p.A via Giotto 2 - 31021 Mogliano Veneto (TV) – Italia telefono +39 041 5937000 web www.tromino.it web www.micromed.eu e-Mail support@tromino.it

4. **COMMENTO - INTERPRETAZIONI E RISULTATI**

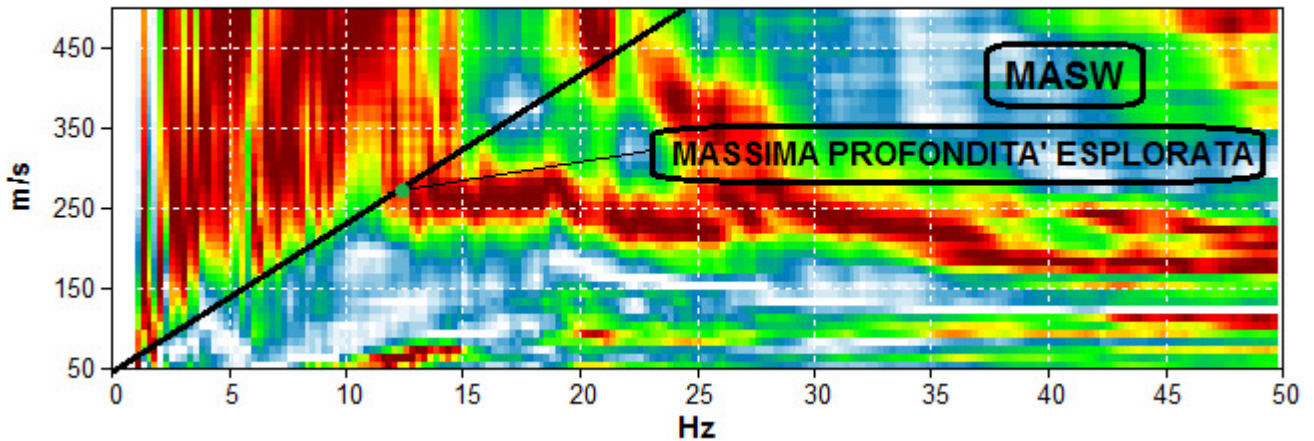
L'elaborazione è stata effettuata con il software Grilla in dotazione a TROMINO e SOILSPY ROSINA , secondo la procedura descritta in Castellaro (2010), relativamente ai parametri utilizzati, sia in fase di acquisizione che di elaborazione, si rimanda alle singole schede.

Tutte le acquisizioni HVSR, risultano completamente convalidate dalle linee guida SESAME 2005, per gli aspetti che riguardano andamento generale della curva H/V e i parametri di acquisizione.

Se si fa riferimento alla classificazione proposta da ALBARELLO (2011) in I.C.M.S. "Indirizzi e Criteri Microzonazione Sismica, Protezione Civile (2011)". Le registrazioni sono da ritenersi in classe B.

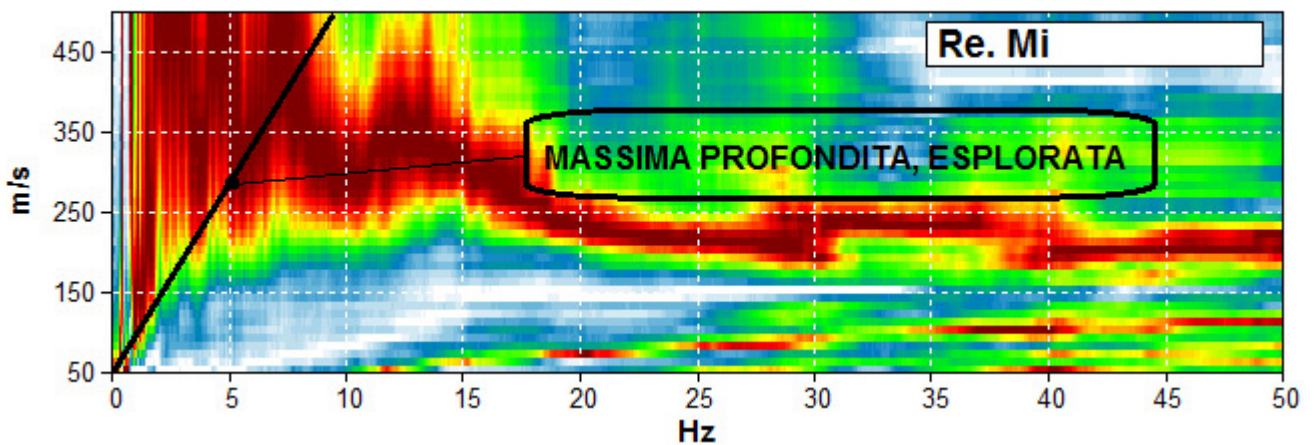
La modellazione in termini di **V_s**, è stata effettuata, su tutte le registrazioni, vincolando le curve spettrali H/V, alla curva di dispersione MASW e Re.Mi / ESAC, I risultati sono:

▪ SPETTRO - MASW



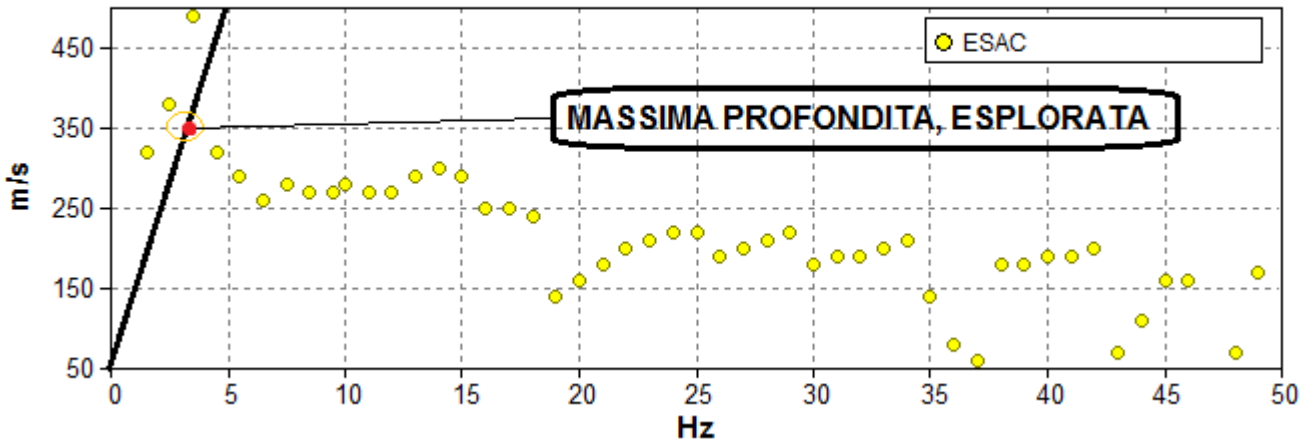
La **profondità di indagine raggiunta con il rilievo MASW**, è pari a : $\lambda/2,5$ dove la **lunghezza d'onda λ** è pari a $\lambda = V/f, = 280/12 = 23,00$ m. Profondità max = $\lambda/2,5 = 9.3$ m ≈ 10.00 m, al di sopra dei 12 Hz le velocità si assestano su valori medi di circa 240 m/s.

▪ SPETTRO – Re. Mi



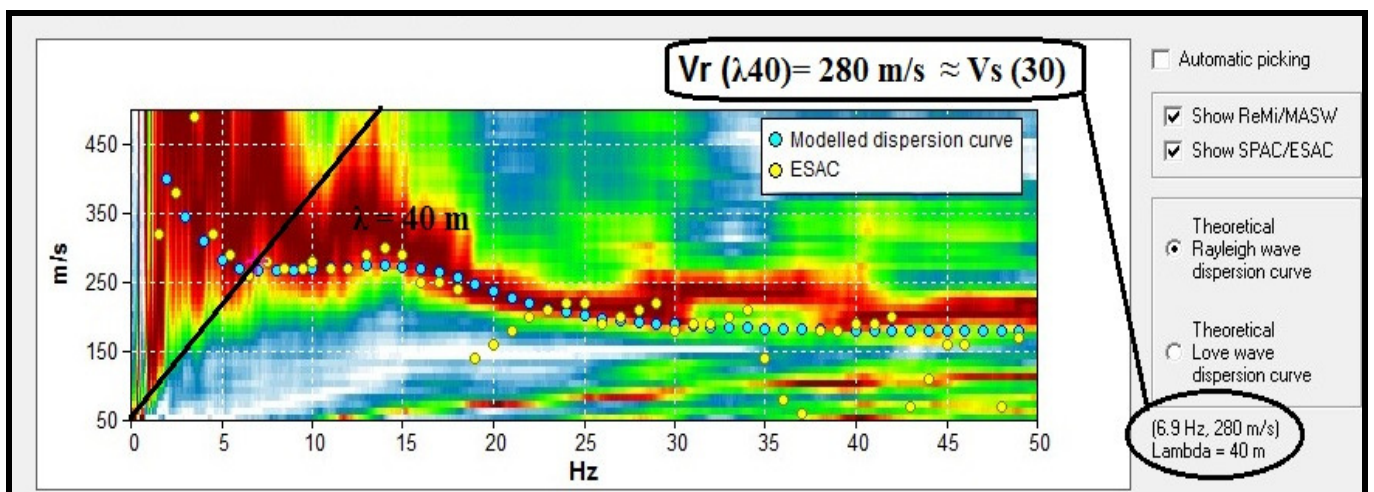
Lo spettro REMI ha confermato i dati MASW, e si è spinto ad una profondità maggiore:
Profondità Max = $\lambda/2.5$ $\lambda = V/f = 280/5 \approx 56,00$ m Profondità Max = $56,00/2.5 \approx 22.4$ m.

▪ CURVA DI DISPERSIONE SPERIMENTALE “EFFETTIVA” ESAC

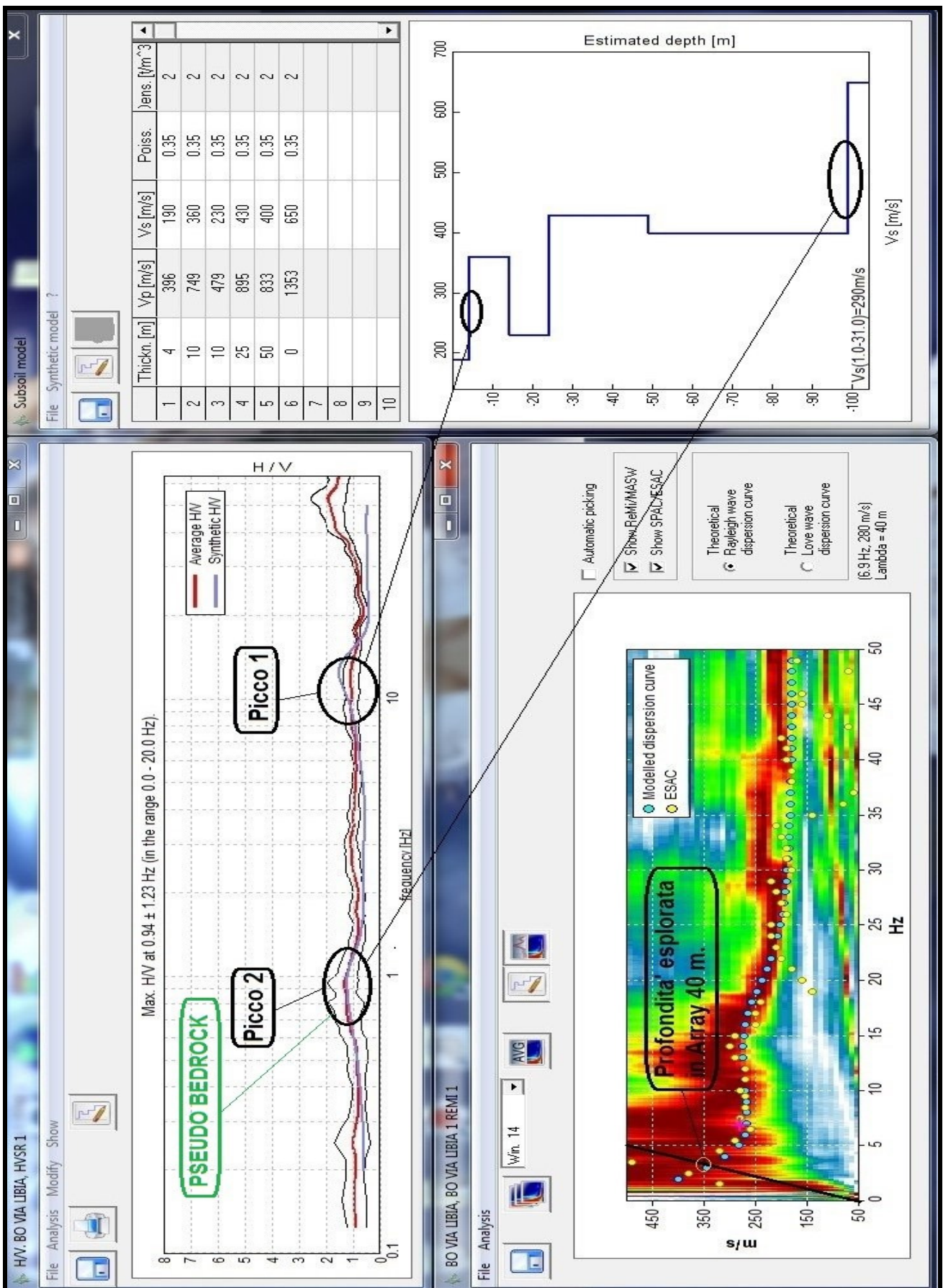


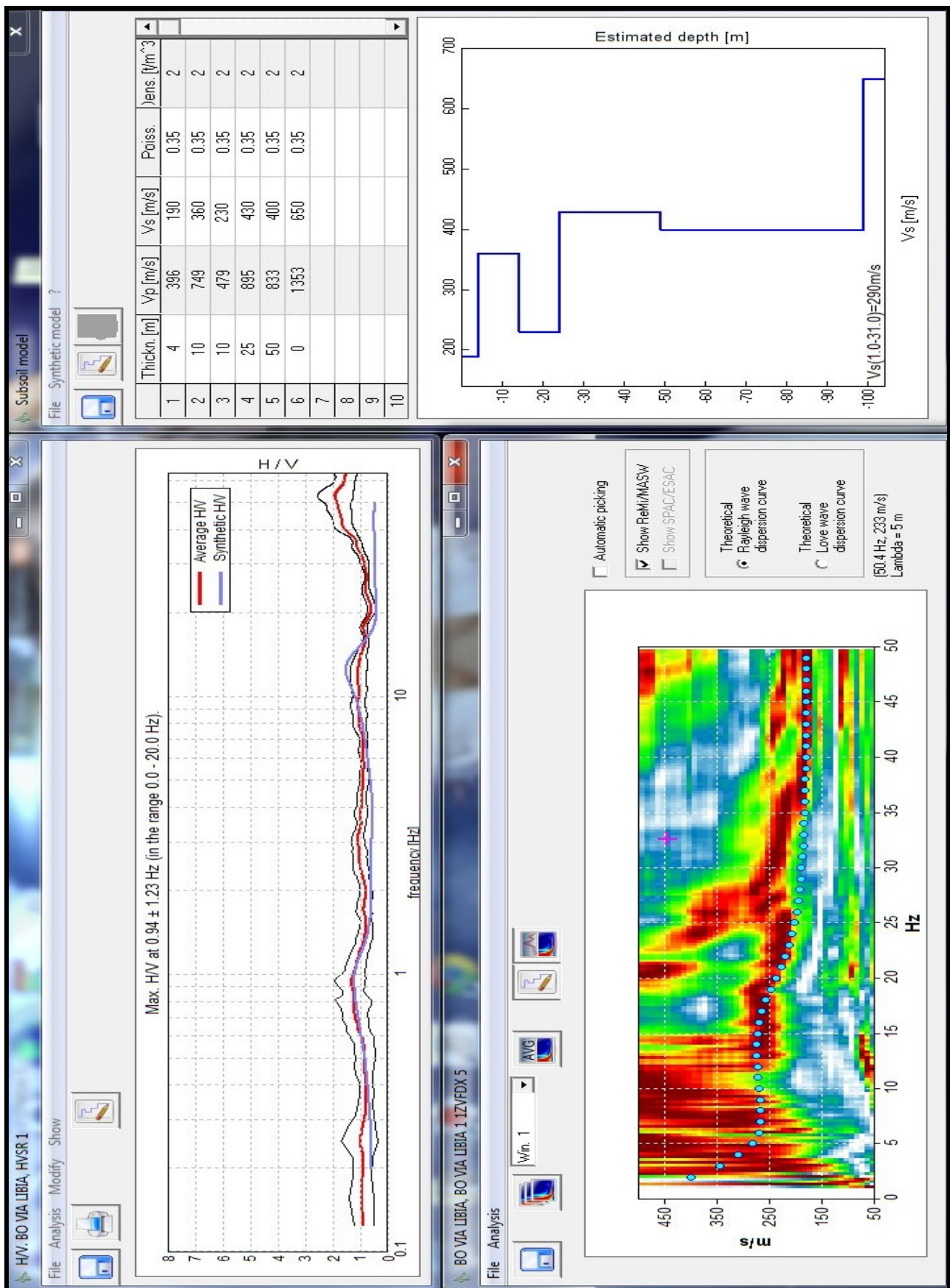
Attraverso la procedura ESAC, e quindi la Curva di dispersione sperimentale del Sito, “ben definita nell’intervallo tra 12 e 2,5 Hz, si è potuto caratterizzare porzioni di sottosuolo più Profonde, rispettivamente: Profondità Max = $\lambda/2.5$ $\lambda = V/f = 350/2,5 = 140$ m Profondità Max = $140/2.5 = 56$ m. $\approx 50 - 40,00$ m.

▪ Fit REMI/ESAC + CURVA DI DISPERSIONE MODELLO



Si riporta adesso il fit congiunto Re.Mi / ESAC + HVSR1, + MODELLO GEOFISICO DEL SITO, e MASW + HVSR 1 MODELLO GEOFISICO DEL SITO, risultato dell’indagine e dell’interpretazione :





Dall'analisi dei grafici si osserva che le prove in array hanno permesso di caratterizzare, circa 40,00 – 50,00 m di sottosuolo, mentre la restante porzione è stata caratterizzata dal fit con la prova a stazione singola HVSR, i risultati in termini di VS(30), sono:

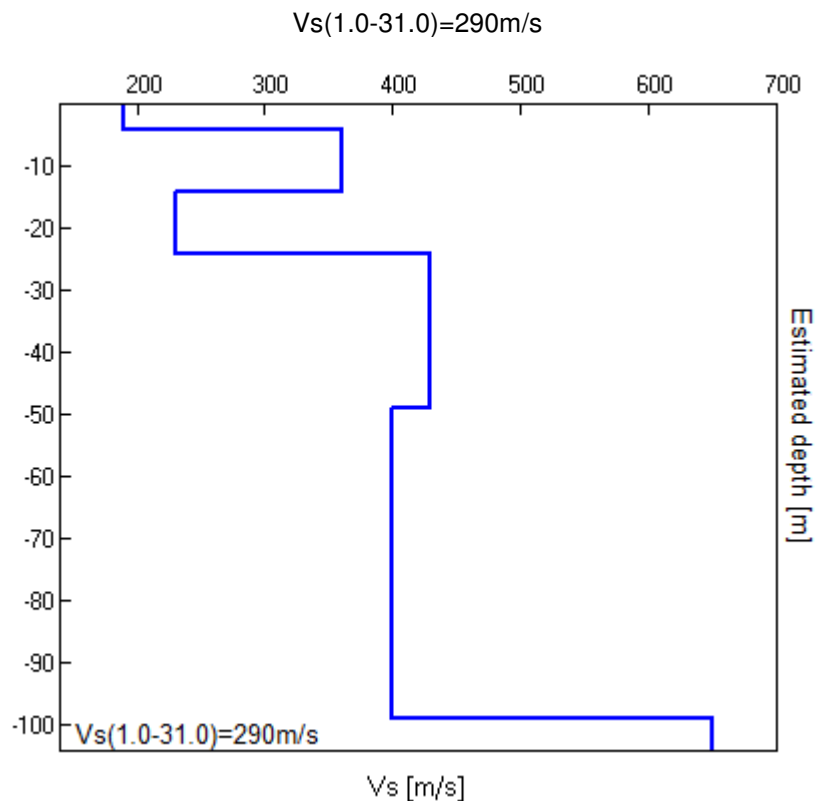
$V_s(30) \approx 290\text{m/s} \pm 10\%$

Da fit congiunto MASW - Re.Mi /ESAC + HVSR2

5. MODELLO GEOFISICO e/o DINAMICO DEL TERRENO

Si riporta adesso il modello geofisico ottenuto dall'elaborazione di tutte le prove Geofisiche effettuate :

4.00	4.00	190	0.35
14.00	10.00	360	0.35
24.00	10.00	230	0.35
49.00	25.00	430	0.35
99.00	50.00	400	0.35
inf.	inf.	650	0.35



si riporta adesso, il grafico del confronto delle misure HVSR :

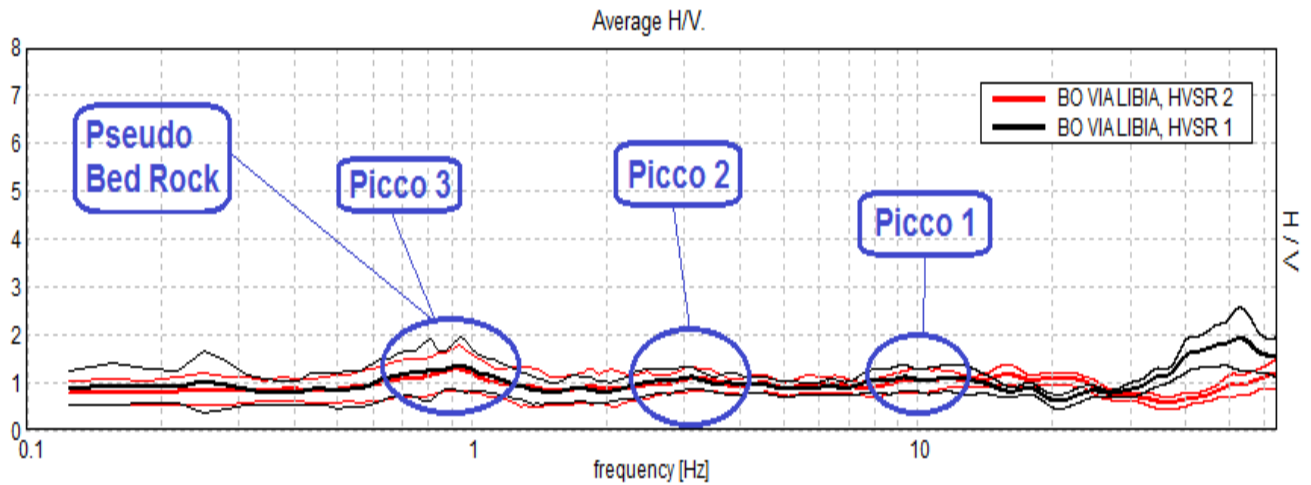


Fig. 3: Confronto curve HV

Le due misure, HVSR, hanno registrato, tre picchi stratigrafici caratteristici, rispettivamente:

FREQUENZA E PERIODO CARATTERISTICO:

Picchi Stratigrafici	Rapporto H/V (valori medi)	Frequenza(Hz) Caratteristica (valori medi)	Periodo (s) Caratteristico (valori medi)
1	1.2	~ 10.00	~ 0,1
2	1,3	~ 3,00	~ 0,33
3	1.7	~0,90	~ 1,11

Per la modellazione dei picchi di risonanza si è fatto riferimento a sondaggi geognostici presi dalla banca dati del sito ufficiale della Regione Emilia Romagna.

Il **picco 1** rappresenta un contrasto d'impedenza, molto superficiale, circa 4,00 m, il **picco 2** indica un contrasto d'impedenza situato a circa - 25, 00 m., entrambi sono caratterizzati da un basso rapporto H/V, ad indicare un basso valore di impedenza sismica. Il **picco 3** rappresenta un contrasto di impedenza situato a circa - 90 - 100, 00 m. rappresenta il (**Pseudo Bed Rock sismico**).