



Comune di Rimini



PIANO STRUTTURALE COMUNALE

SISTEMA AMBIENTALE E NATURALE

RELAZIONE DI MICROZONAZIONE SISMICA

QUADRO CONOSCITIVO

ALL. A

Studi di microzonazione sismica di III livello

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI III LIVELLO

Approvato con delibera di C.C. n° 70 del 21/11/2019

Committente: **Associazione Comunità Papa Giovanni XXIII**

Comune: **Rimini**

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI III ° LIVELLO E ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE PER LA REALIZZAZIONE DI UN SITO DI CULTO IN LOCALITÀ COVIGNANO, IN COMUNE DI RIMINI (RN).

Rimini, Gennaio 2019
Rif. 06-2018



Dott. Geol. ALESSANDRO MERLI

INDICE

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO GENERALE	2
2.1	CONSIDERAZIONI GENERALI	2
3	PROVE GEOFISICHE IN SITO	5
3.1	INDAGINE DI SISMICA ATTIVA	5
3.2	INDAGINI DI SISMICA PASSIVA	6
4	RISULTATI PROVE GEOFISICHE	10
5	SISMICITA' DELL'AREA E FENOMENI COSISMICI	12
6	ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE	19
6.1	GENERALITA'	19
6.2	MODELLO E CARATTERIZZAZIONE DINAMICA DEL SOTTOSUOLO	19
6.3	III LIVELLO DI APPROFONDIMENTO – DGR 2193/2015 R.E.R.	23
6.4	ANALISI DI RSL ALLO SLV – DM 17/01/2018	30
7	CONCLUSIONI GENERALI RSL	39

ALLEGATI

ALLEGATO N. 1 - INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

ALLEGATO N. 2 - SCHEMA PLANIMETRICO INDAGINE GEOGNOSTICA-GEOFISICA

ALLEGATO N. 3 – INDAGINI GEOFISICHE

ALLEGATO N. 4 – PARAMETRI DI SCUOTIMENTO – SEGNALI INPUT / OUTPUT - MZS

ALLEGATO N. 5 – PARAMETRI DI SCUOTIMENTO – SEGNALI INPUT / OUTPUT – DM2018

ALLEGATO N. 6 – DATI SPETTRO ELASTICO MEDIO RSL - MZS

ALLEGATO N. 7 – DATI SPETTRO ELASTICO MEDIO RSL – DM2018

1. PREMESSA

Su incarico dell'Associazione Comunità Papa Giovanni XXIII è stato predisposto il presente studio per lo studio di microzonazione sismica di III Livello di Approfondimento e di Risposta Sismica Locale su di un'area per la realizzazione di un sito di culto in località Covignano, in Comune di Rimini (RN).

L'area di studio è compresa nell'Elemento 152 (S. Martino Monte l'Abate) del Foglio 256 (RIMINI) della Carta Tecnica Regione Emilia Romagna (allegato n. 1).

Detta relazione, coerentemente alle norme di PSC, viene realizzata sia a fini di pianificazione urbanistica che di progettazione esecutiva di opere, in ottemperanza sia alle procedure definite nella delibera dell'Assemblea legislativa progr. N° 112 – oggetto n° 3121 del 2 maggio 2007 – “Indirizzi per gli studi di microzonazione sismica in Emilia-Romagna per la pianificazione territoriale e urbanistica”, come aggiornata con DGR 2193/2015 che ai paragrafi 3.2.2-3.2.3. (“*Valutazione dell’Azione Sismica*”) e 7.11.3.1 (“*Risposta sismica locale*”) delle Norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 gennaio 2018 (G.U. del 20.02.2018 suppl. ord. n° 42).

Tale studio si avvale anche dei dati geologici, geognostici e geofisici elaborati ed acquisiti in occasione dello Studio Geologico redatto dal Dott. Geol. Matteo Gurnari in data novembre 2018 ed a cui si farà riferimento per le valutazioni di tipo geologico stratigrafico.

L'indagine è stata articolata nelle seguenti fasi:

- ricostruzione del modello geologico e geofisico generale del sito attraverso utilizzo di dati geognostici, rilevamento in sito e materiale bibliografico;
- definizione del modello geologico, idrogeologico e tettonico generale rappresentativo con riferimento alla Relazione Geologica redatta dal Dott. Geol. Matteo Gurnari in data novembre 2018;
- utilizzo della campagna geognostica a supporto della medesima Relazione Geologica;
- realizzazione di una specifica campagna di indagini geofisiche per la definizione del modello di comportamento dinamico dei terreni tramite:
 - N. 1 prova Masw con Array a 24 canali;
 - N. 1 prova Re.Mi. con array a 24 canali;
 - N. 1 prova a stazione singola tipo HVSR;
- definizione del modello geofisico di riferimento
- valutazioni circa la pericolosità sismica di base
- Selezione segnali sismici di input
- Analisi di Risposta Sismica Locale e azioni sismiche di output;

La presente relazione potrà costituire un utile riferimento per il progettista nell'inquadrare i problemi e di conseguenza permettere una modellazione a supporto delle scelte progettuali che dovrà essere affrontata nella sede opportuna quale la relazione geotecnica.

2 INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 CONSIDERAZIONI GENERALI

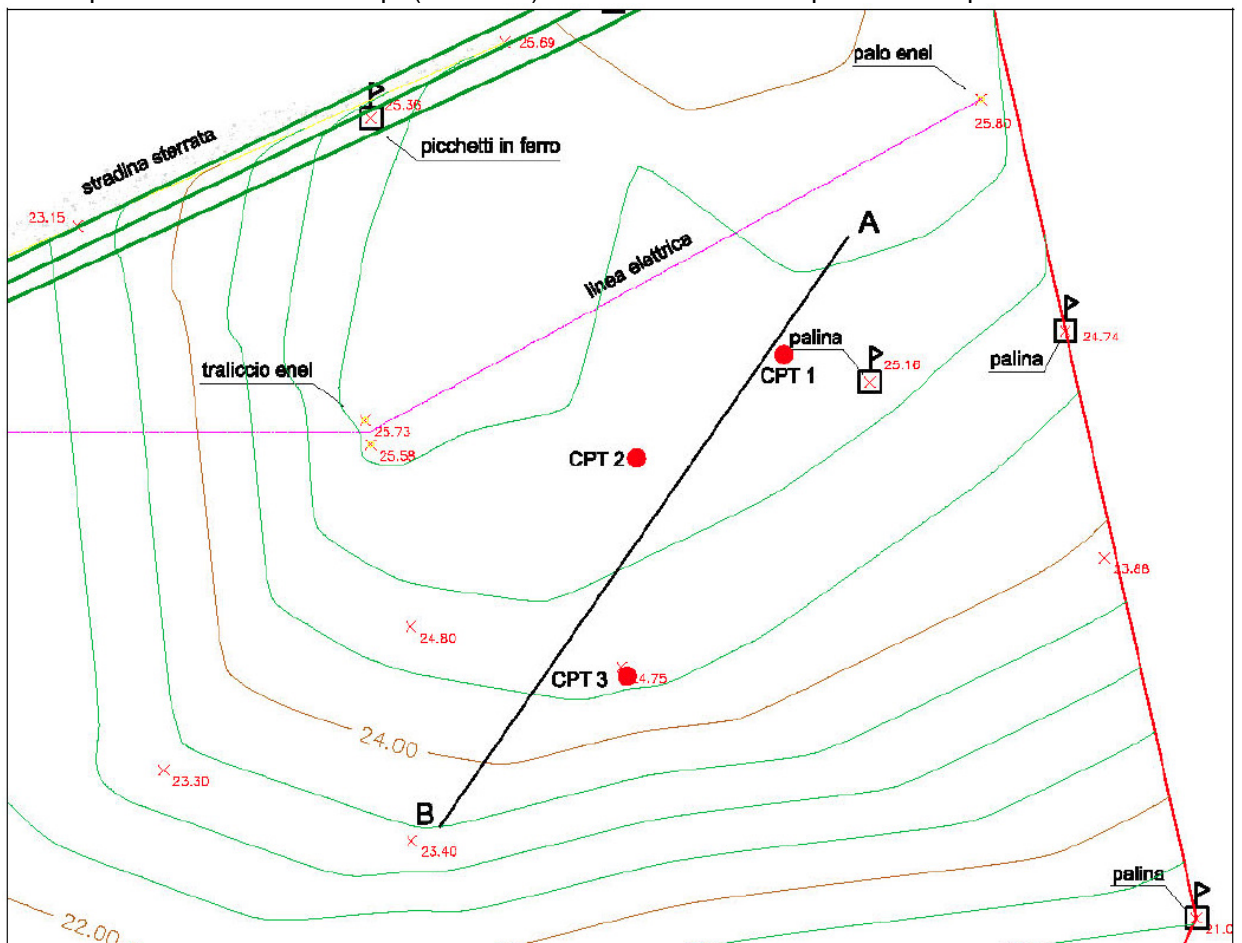
Per la caratterizzazione geologica e geomeccanica del sito si fa riferimento alla campagna geognostica eseguita in sito per la Relazione Geologica (Dott. Gurnari, 2018) ed in particolare in:

- materiale bibliografico (dati geologici e geognostici a cura del Servizio geologico e sismico dei suoli della Regione Emilia Romagna).
- utilizzo di n. 3 prove penetrometriche statiche C.P.T. per la valutazione delle caratteristiche geolitologiche e geomeccaniche dei terreni superficiali.
- N. 2 prove dilatometriche con dilatometro piatto Marchetti per valutare le caratteristiche ed i profili superficiali di deformabilità/rigidezza dei terreni e poter calibrare al meglio l'utilizzo/selezione delle curve di degrado.

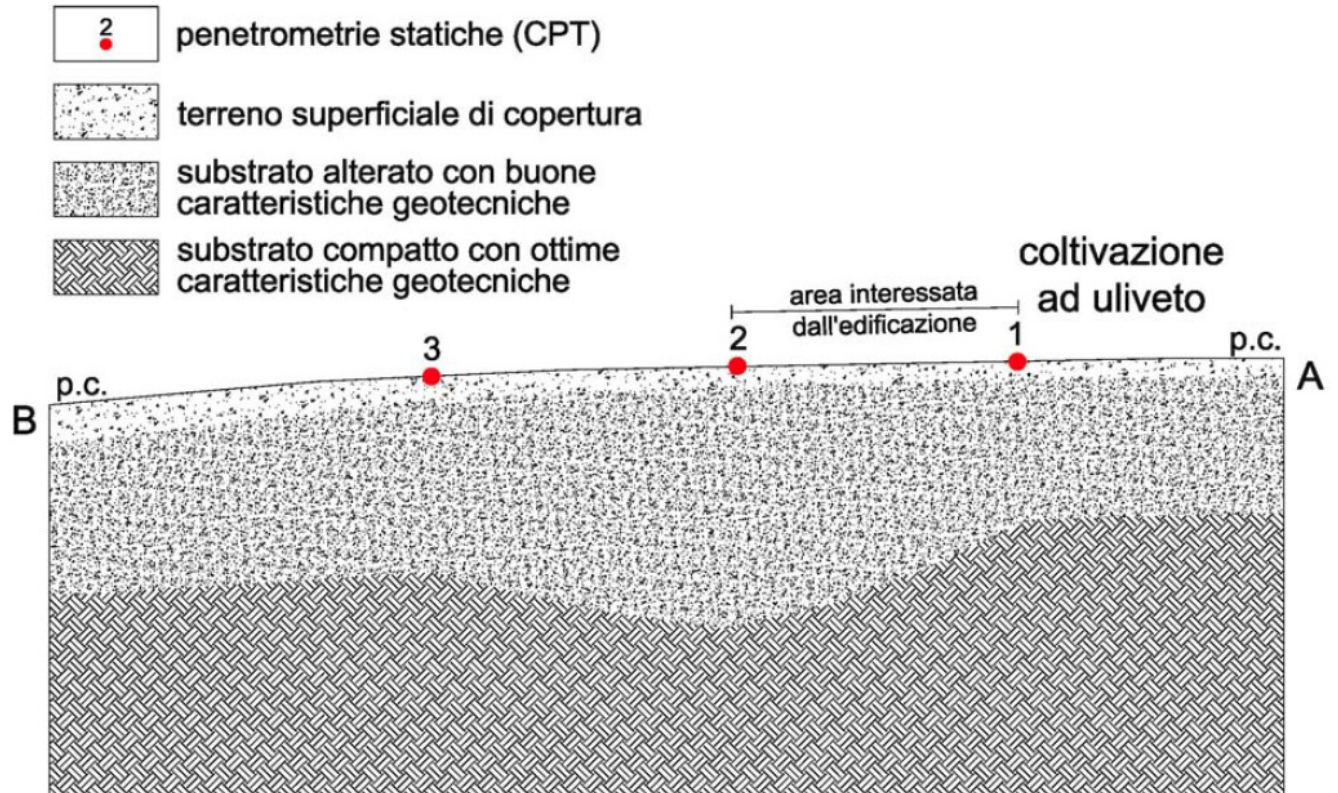
Il modello geologico di riferimento e l'assetto stratigrafico generale considerati pertanto sono quelli già definiti attraverso le stratigrafie geolitologiche schematiche illustrate nella Relazione Geologica del Dott. Matteo Gurnari (novembre 2018), realizzate con l'ausilio sia delle nuove prove in sito, le quali permettono di visualizzare l'andamento degli orizzonti nel sottosuolo distinti in base alle caratteristiche litologico – meccaniche e ne chiariscono nel contempo i rapporti stratigrafici, per cui sintetizzando i litotipi superficiali presenti sono:

LIT.	Descrizione	Profondità (da p.c.)
V	Livello superficiale Limi argillosi di origine eluvio – colluviale, depositi antropici e/o appartenenti alla coltre formazionale fortemente alterata, in sup. terreno vegetale ed orizzonti pedogenizzati; talora con indurimenti per essiccazione; caratteristiche geotecniche scarse e variabili.	Da 0 A 1.0
A	Coltre formazionale alterata Coltre formazionale alterata costituita da Limi con argilla alternati a livelli più sabbiosi, con tracce di stratificazione; modeste – caratteristiche geotecniche e compressibilità a forte variabilità. Locali orizzonti pseudocementati Talora molto fratturata e decompressa	Da 1.0 a 4.0-5.0
SD	Substrato decompresso Substrato formazionale in posto decompresso ed a modesta alterazione. Limi con argilla alternati a livelli più sabbiosi, con tracce di stratificazione; generalmente compatti ed a modesta compressibilità. Resistenza crescente con la profondità.	Da 4.0-5.0 a 6.6-11.4
SU	Substrato pliocenico Formazione pliocenica inalterata in posto; limi con argilla alternati a livelli sabbiosi; duri ed a ridotta compressibilità. Resistenza crescente con la profondità	Da 6.6-11.4 a termine prove

L'assetto del substrato formazionale inalterato in posto viene schematizzato nella relazione geologica del dott. Gurnari secondo la seguente sezione litotecnica esplicativa, in cui il substrato alterato comprende i succitati Litotipi (A ed SD) ed il "Substrato compatto" corrisponde ad SU:

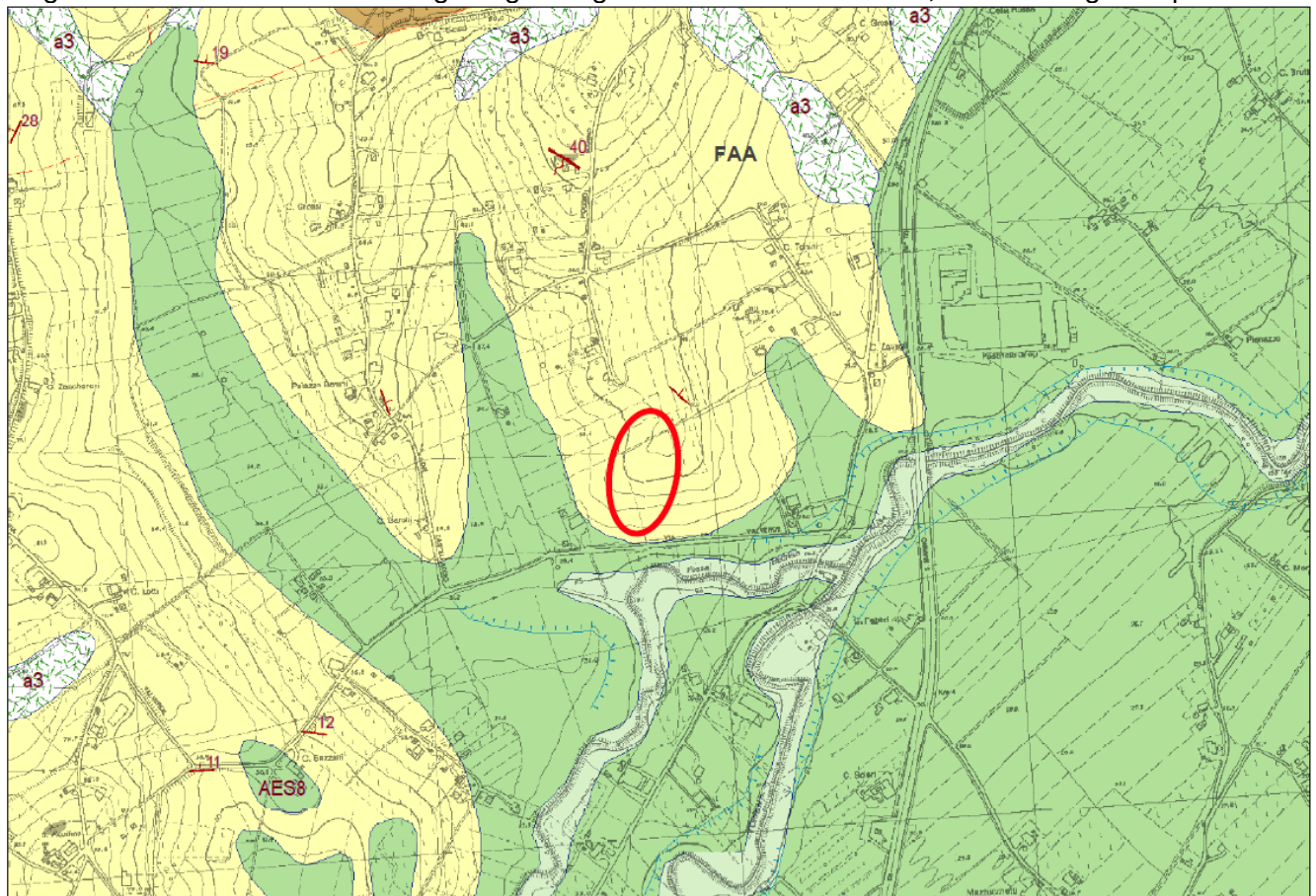


Traccia di sezione (A-B) lungo la quale è stata ricostruita la stratigrafia del terreno



Ricostruzione stratigrafica della porzione di versante interessata dall'eventuale messa in posto del modesto manufatto (sezione A-B)

I terreni del substrato geologico (A, SD ed SU) risultano appartenere alla Formazione delle Argille Azzurre FAA, con assetto a reggipoggio/traversopoggio, come rilevato dal Servizio Geologico Regionale nell'ambito della carta geologica regionale alla scala 1:10000, come di seguito riportata:



L'indagine geognostica, unitamente al raffronto con i sondaggi prossimi all'area in studio ed alle sezioni geologiche profonde sviluppate in prossimità del sito dalla Regione Emilia Romagna, ha così consentito di definire il quadro stratigrafico dell'area in esame.

3 PROVE GEOFISICHE IN SITO

3.1 Generalità

Al fine di caratterizzare il sottosuolo più approfonditamente ai fini dello studio di RSL, con l'individuazione dei profili di VS ed i contrasti di impedenza sismica che condizionano il modo di vibrare del terreno, sono state utilizzate le seguenti prove geofisiche in sito:

- N. 1 prova in array passivo monodimensionale con elaborazione Re.Mi. (dicembre 2018);
- N. 1 prova in array attivo monodimensionale con elaborazione MASW (dicembre 2015);
- N. 1 prova a stazione singola tipo HVSR (novembre 2015);

Per una miglior calibrazione delle indagini si sono attuate delle tecniche di elaborazione congiunta, abbinando prove ad alta risoluzione superficiale (MASW) con prove a maggior capacità di penetrazione (Re.Mi.- HVSR), individuando al contempo i modi di vibrazione del sottosuolo, strettamente associati alle caratteristiche stratigrafiche e di rigidità dei sismostrati.

Le tecnologie geofisiche utilizzate hanno consentito di valutare l'omogeneità strutturale/geofisica delle aree, il posizionamento del bed-rock sismico nonché le frequenze di risonanza del sito.

L'ubicazione delle prove utilizzate è illustrata **in allegato n. 2**, mentre i relativi report vengono riportati **in allegato n. 3**

3.2 Indagini di sismica attiva

3.2.1 Prova sismica attiva in array superficiale MASW

Cenni teorici

Per la conoscenza dell'andamento nel primo sottosuolo della velocità di propagazione delle onde di taglio Negli ultimi anni hanno avuto ampio sviluppo tecniche geofisiche basate sull'analisi della propagazione delle onde superficiali ed, in particolare, delle onde di Rayleigh. Le proprietà dispersive di tali onde in mezzi stratificati, nonché la stretta relazione esistente tra la loro velocità di propagazione e quella delle onde di taglio, consentono di risalire al profilo di velocità delle onde S.

Il metodo di indagine attivo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) è basato su un'artificiale energizzazione sismica del suolo e sull'analisi spettrale delle onde superficiali presenti nel segnale (Nazarian e Stokoe, 1984; Park et al., 1999).

La curva di dispersione delle onde di Rayleigh rappresenta la variazione di velocità di fase che tali onde hanno al variare della frequenza. Tali valori di velocità sono intimamente legati alle proprietà meccaniche del mezzo in cui l'onda si propaga (velocità delle onde S, delle onde P e densità). Tuttavia, diversi studi hanno in realtà messo in evidenza che la velocità delle onde P e la densità sono parametri di second'ordine rispetto alle onde S nel determinare la velocità di fase delle onde di Rayleigh. Quindi, dato che le onde superficiali campionano una porzione di sottosuolo che cresce in funzione del periodo dell'onda e che la loro velocità di fase è fortemente condizionata in massima parte dalle velocità delle onde S dello strato campionato, la forma di questa curva è essenzialmente condizionata dalla struttura del sottosuolo ed in particolare dalle variazioni con la profondità delle velocità delle onde S.

Pertanto, utilizzando appositi formalismi (inversione) è possibile stabilire una relazione (analiticamente complessa ma diretta) fra la forma della curva di dispersione e la velocità delle onde

S nel sottosuolo. Tale relazione consente il calcolo di curve di dispersione teoriche a partire da modelli del sottosuolo a strati piano-paralleli.

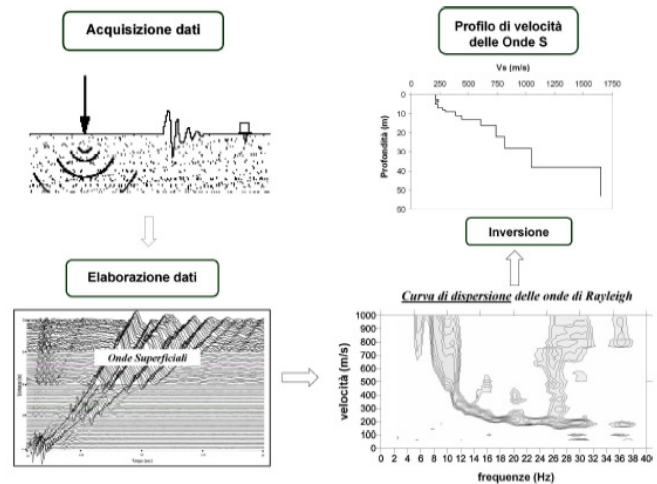
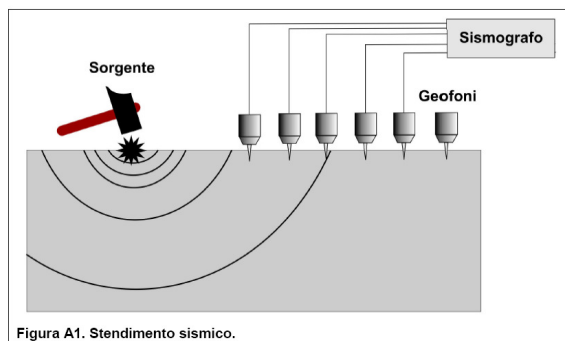
L'operazione d'inversione, quindi, consiste nella minimizzazione, attraverso una procedura iterativa, degli scarti tra i valori di velocità di fase sperimentali della curve di dispersione e quelli teorici relativi ad una serie di modelli di prova "velocità delle onde S – profondità".

Strumentazione utilizzata

-Numero dei canali 24

-A/D conversione 24 bit

-24 Geofoni verticali da 4.5 hz



MODALITA' OPERATIVA

Si sono disposti 23 geofoni da 4,5 hz a distanza di 2.0 metri, con un offset dalla sorgente di energizzazione = 5.0 mt ottenendo così una traccia ricevente lunga circa 49 metri. Eseguendo poi varie battute di energizzazione tramite massa battente (mazzetta) alla distanza fissa di offset si sono ottenute più tracce, energizzando da entrambe le estremità, per meglio analizzare le onde superficiali e le eventuali anisotropie stratigrafiche.

L'ubicazione dello stendimento viene illustrato in **allegato n. 2** mentre **in allegato 3** vengono riportati i dati sperimentali elaborati.

3.3 Indagini di sismica passiva

3.3.1 Prova a stazione singola HVSR

Questa tecnica si basa essenzialmente sul rapporto spettrale H/V di rumore ambientale (seismic noise) e permette di valutare gli effetti locali di sito.

Si assume che i microtremori (il cosiddetto rumore di fondo registrabile in qualunque momento posizionando un sensore sismico sul terreno) consistano principalmente di un tipo di onde superficiali, le onde di Rayleigh, che si propagano in un singolo strato sovrastante su semispazio e che la presenza di questo strato sia la causa dell'amplificazione al sito.

Per l'applicazione e l'interpretazione di questa tecnica è fondamentale una buona conoscenza dell'ingegneria sismologica combinata con un background di informazioni relative alle caratteristiche geologiche, geofisiche e geotecniche del sito.

Questa tecnologia è stata oggetto del progetto di ricerca SESAME (Site EffectS assessment using AMBient Excitations) ed a questo che si rimanda per le linee guida della tecnica H/V spectral ratio (<http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/index.htm>).

La sismica passiva a stazione singola fornisce quindi importanti informazioni sui terreni di indagine relativamente alle frequenze naturali e di risonanza.

Nel caso specifico si è ritenuto adeguato l'utilizzo di tale metodologia in quanto è possibile anche un'adeguata taratura "stratigrafica" e "geofisica" tramite le prove geognostiche in sito ed un'elaborazione congiunta con altre tecniche investigative del sottosuolo (MASW, Re.Mi.) al fine di ottenere una stima del profilo di VS sino a elevate profondità con la maggior attendibilità e coerenza sperimentale possibile.

La misura di microtremore ambientale è stata effettuata per mezzo di un registratore sismico Tromino, con freq. propria 4.5 Hz, prodotto dalla ditta Micromed spa.

Il registratore è composto da una terna di velocimetri, i quali trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore. Lo strumento, una volta posizionato correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul terreno, inizia l'acquisizione dei microtremori: i modi di vibrare del terreno vengono amplificati, convertiti in forma digitale, organizzati e salvati su una memoria digitale. Successivamente i dati vengono trasferiti nel PC dove, in base alle necessità di analisi vengono elaborati ed archiviati con i seguenti codici di calcolo Grilla 7.4, WinMasw e Geopsypack 2.4.2, (vedi **allegato n. 3**).

L'ubicazione delle acquisizioni viene illustrato **in allegato n. 2**.

Basi teoriche

Le basi teoriche dell'HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) in un sistema stratificato in cui i parametri variano solo con la profondità (1-D) è abbastanza semplice.

Si consideri un sistema in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2).

Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene parzialmente riflessa dall'orizzonte che separa i due strati, e questa una volta riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore h del primo strato.

In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde P è:

$$f_r = V_{p1}/(4h)$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$f_r = V_{s1}/(4h)$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati e, insieme ad una stima della velocità media, è in grado di fornire previsioni sullo spessore h degli strati.

Tale informazione è per lo più contenuta nella componente verticale del moto, ma la prassi di usare il rapporto degli spettri orizzontali e quello verticale, piuttosto che il solo spettro verticale, deriva dal fatto che il rapporto fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

Si rileva inoltre come i microtremori siano solo in parte costituiti da onde di volume, P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh (Lachet e Bard, 1994).

Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. L'applicabilità pratica della semplice formula sopra riportata relativa alle onde S è stata già dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica sia nell'ambito ingegneristico.

Elaborazione dati

L'elaborazione dei dati raccolti impiega un software (Grilla 7.4 – WinMASw - Geopsypack 2.4.2) in grado di consentire la determinazione delle frequenze di risonanza del sottosuolo mediante la tecnica dei rapporti spettrali secondo le linee guida del progetto europeo SESAME (Site EffectS assessment using Ambient Excitations, 2005).

Le risultanze dell'elaborazione sono presentate mediante graficazione dei rapporti spettrali H/V e delle SINGLE COMPONENT SPECTRA, ovvero l'andamento delle singole componenti nelle tre direzioni (N-S_E-O_Verticale) secondo la procedura descritta in Castellaro et altri (2005), consentendo di definire il massimo del rapporto HVSR nel valore di f_0 – Frequenza/e di risonanza e la sua deviazione standard.

Inoltre è possibile invertire le curve HVSR creando una serie di modelli sintetici da confrontare con quello sperimentale fino a considerare ottimale il modello teorico più prossimo alle curve sperimentali, basato sulla propagazione delle onde di Rayleigh nel modo fondamentale e superiori in

sistemi multistrato.

Onde verificare la qualità della registrazione e, quindi, la corretta utilizzazione del dato acquisito ed elaborato, sono state valutate le caratteristiche di persistenza e direzionalità del segnale, necessarie a garantire il carattere stocastico della grandezza da misurare e, quindi, l'affidabilità del risultato.

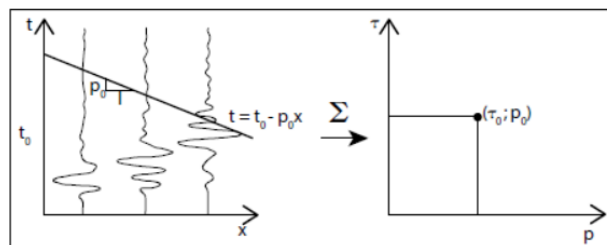
3.3.2 Prova in array monodimensionale Refraction Microtremor (Re.Mi.)

Questo metodo venne introdotto da Louie (2001), e prevede una disposizione lineare dei geofoni verticali, del tipo comunemente usato per la sismica a rifrazione a piccola profondità (frequenza propria 8-10 Hz), allo specifico scopo di avere una profondità d'indagine dell'ordine di almeno 30 m, tipica degli studi per la valutazione degli effetti di sito legati alla distribuzione della VS (e quindi del modulo di rigidità μ o "G") fino a tale profondità.

Com'è ormai chiaro, profondità d'indagine superiori, possono essere raggiunte solo utilizzando frequenze proprie inferiori. L'acronimo Re.Mi. sta infatti per Refraction Microtremors. Il dispositivo di misura è sostanzialmente uguale a quello MASW e obbedisce agli stessi parametri di acquisizione, sia in termini di banda di frequenze analizzate che di spaziatura dei geofoni, per cui la spaziatura geofonica rappresenta una sorta di filtro in frequenza per il segnale che arriva da tutte le direzioni e maggiore è la spaziatura intergeofonica, minore è la frequenza del segnale utile campionabile (minor risoluzione), aumentando di conseguenza la profondità di investigazione.

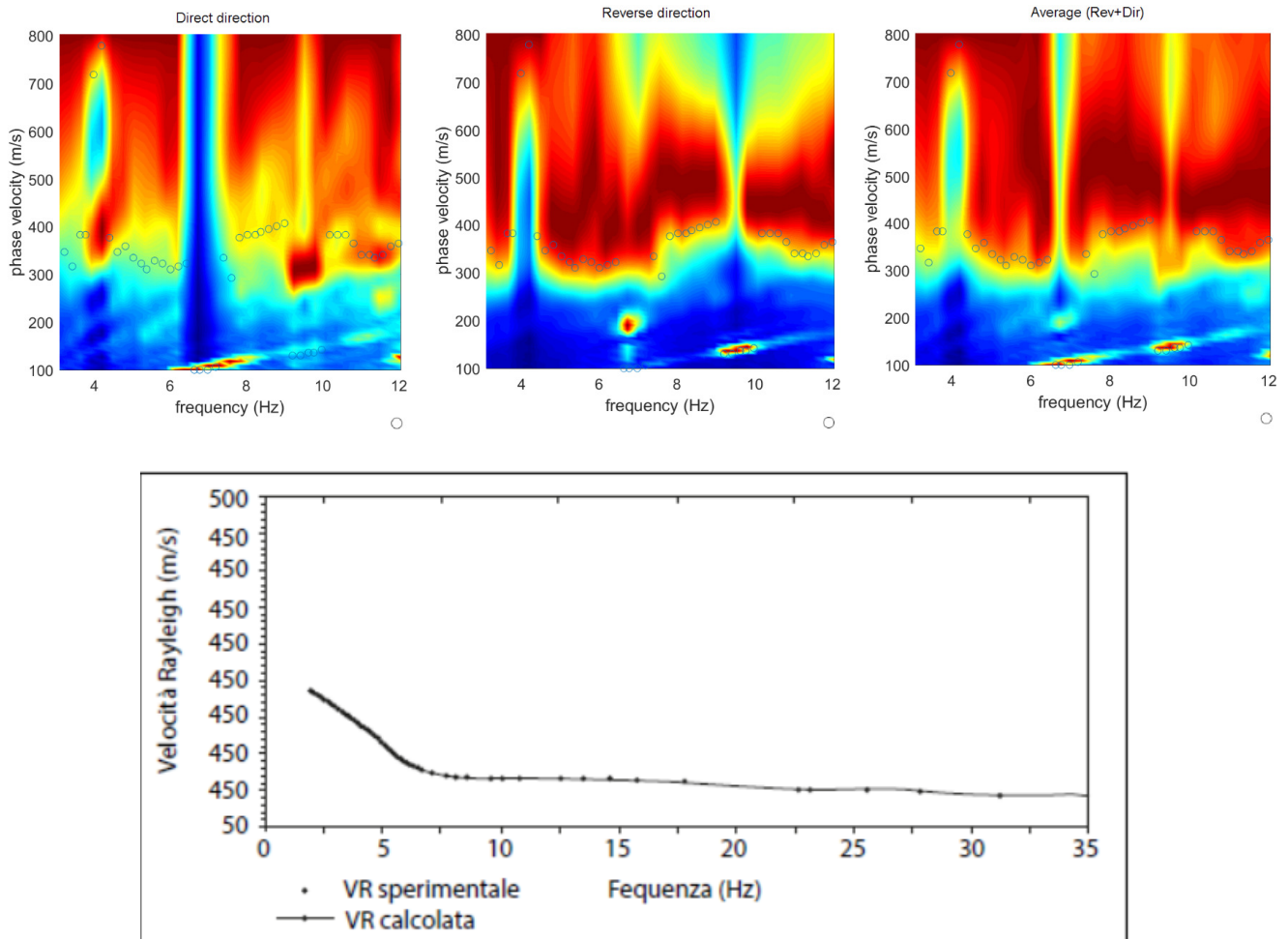
Inoltre se la linea in esame non varia orizzontalmente più del 5% della sua direzione e se non cambia la sua elevazione più del 5% della lunghezza totale della linea si può utilizzare una procedura standard semplificata mentre al contrario vanno impostati i parametri geometrici e di quota esatti.

L'elaborazione dei dati pur dovendo passare per una trasformazione di Fourier (T.F.) avviene in forma sostanzialmente diversa dalla tecnica MASW, in quanto in questo caso gli arrivi delle onde di Rayleigh non sono in sequenza crescente con la distanza dalla sorgente, ma casuali. La modifica sostanziale riguarda un'operazione preliminare alla T.F., che viene effettuata sui dati di campagna e chiamata slant-stack (ovvero "sovrapposizione obliqua")



Nel sismogramma acquisito sul campo, che giace nel piano x-t, si mandano tante rette di equazione: $t = \tau_0 - p_0 x$, dove p_0 ha le dimensioni del reciproco della velocità (lentezza o "slowness") e τ_0 è l'ordinata all'origine o "tempo intercetto", variando τ_0 da 0 al tempo massimo di registrazione e p da 0 (velocità apparente d'arrivo del fronte infinita) a un valore p_{max} , reciproco del valore di VR minima attesa (poche decine di m/s in presenza di terreni sciolti). Lungo ciascuna di queste rette si sommano tutte le ampiezze di segnale incontrate sulle varie tracce e il risultato diventa un punto di coordinate (p_0, τ_0) nel piano p-t.

La trasformata di Fourier viene eseguita per ogni p, lungo l'asse τ . Si ottiene lo spettro di Fourier nel piano frequenza-velocità di fase (reciproca di p), a cui segue l'inversione 1D della curva di fase del modo fondamentale e/o superiori, esattamente come nel metodo MASW.



Un limite concettuale di questo metodo è costituito dal fatto che soltanto le velocità di onde che si propagano nella direzione del profilo vengono restituite con precisione. Mentre tutte le altre direzioni portano a velocità sovrastimate. Louie stesso si rese conto di questo limite e fece una valutazione statistica dell'errore, concludendo che si otteneva un ragionevole modello delle Vs invertendo non la linea di massimo spettrale nel grafico f-p, ma il suo bordo inferiore (v. picking della figura colorata).

Attraverso le procedure di inversione, variando il numero di strati, la loro velocità e la densità del materiale, la curva di dispersione calcolata viene adattata fino a farla aderire il più possibile a quella sperimentale ottenuta con il picking.

In sostanza, si tratta di una modellazione diretta, monodimensionale, che può accettare inversioni di velocità con la profondità nella quale è molto importante l'abilità e l'esperienza di interpretazione del geofisico.

L'elaborazione mediante tecnica Refraction Microtremor (Re.Mi.) è comunque in grado, specialmente se ben supportata da un'adeguata e corretta interpretazione dei dati, di differenziare con dettaglio (anche mediante inversione dei parametri con la profondità) le variazioni nel grado di consistenza (= variazioni dei parametri cinematici delle onde di taglio) del terreno; inoltre, con tale tecnica innovativa, si sopperisce alla possibile e diffusa presenza di fonti di rumore ambientale nel sito in esame che altrimenti potrebbero inficiare, come per altre tecniche sismiche, la ricerca stessa dei risultati.

In particolare l'inversione della curva di dispersione è stata effettuata in maniera congiunta ai rapporti spettrali H/V realizzati nel medesimo sito ed al profilo SCPTU (per gli orizzonti più superficiali) in modo da avere un maggiore controllo sul fitting e quindi un dato sperimentale più efficiente. Per la prova si sono utilizzati 24 geofoni da 4,5 Hz ad interdistanza di 5,0 metri, ottenendo così una traccia lunga 120 metri. La registrazione dei microtremori è stata condotta per 20 minuti tramite sismografo Pasi.

I dati ottenuti sono stati quindi analizzati con codice di calcolo Winmasw ed elaborati come illustrato in allegato n. 3.

L'ubicazione dello stendimento viene illustrato in allegato n. 2.

4 RISULTATI PROVE GEOFISICHE

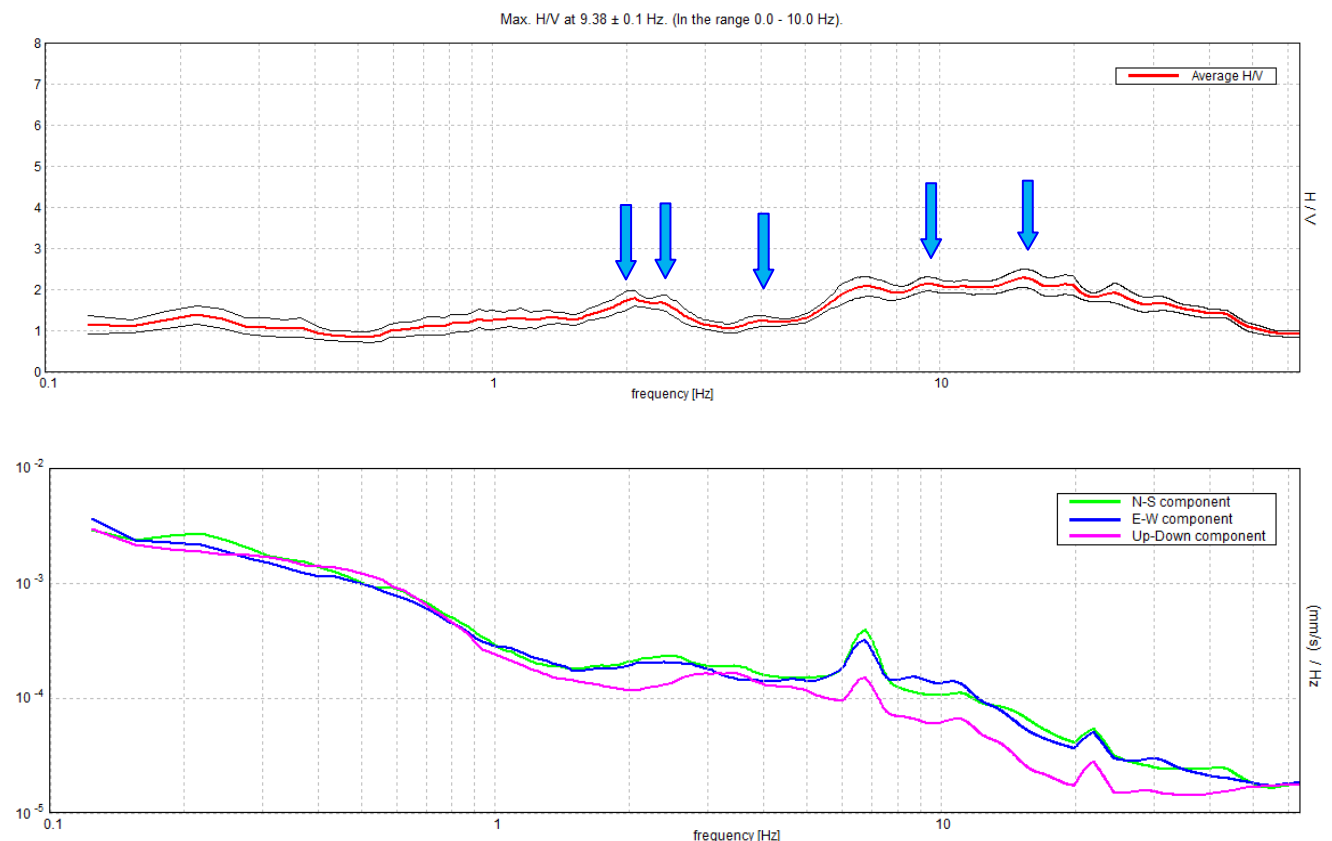
In allegato n. 3 sono riportati rispettivamente i risultati delle prove sismiche MASW, ReMi, HVSR, eseguite come sopra descritto, unitamente alle frequenze di risonanza caratteristiche dei terreni in sito ed al grafico delle Vs.

L'indagine sismica basata sulla misura del microtremore, nel massimo valore H/V del rapporto spettrale, individua le frequenze caratteristiche del sottosuolo nel sito di intervento.

Per fenomeno di "risonanza" si intende la coincidenza tra le frequenze dominanti del segnale sismico in ingresso e quelle naturali del sottosuolo. Con il termine "doppia risonanza" si intende la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle caratteristiche dei manufatti ivi edificati (da Risposta Sismica Locale di Lanzo e Silvestri, Hevelius Edizioni).

Sarà compito del progettista geotecnico/strutturale verificare la frequenza fondamentale delle strutture in progetto e confrontarla con la frequenza fondamentale o le frequenze caratteristiche del sottosuolo onde evitare pericolosi fenomeni di doppia risonanza in caso di sisma.

La lettura degli spettri HVSR si basa sull'analisi dei picchi di frequenza ritenuti significativi di seguito individuati attraverso il confronto dei vari spettri medi e del rapporto fra le componenti orizzontali e verticali:



L'area risulta presentare caratteristiche abbastanza omogenee, soprattutto nei suoi tratti di media ed elevata profondità consentendo di stimare i seguenti picchi caratteristici e relativi range di variazione (i valori riportati possono essere suscettibili di una variabilità pari a ± 25%):

FREQUENZE (f)	RAPPORTI H/V
2.0<f<2.4	1.7<HV<2.0
4.0<f<4.5	1.2<HV<1.4
9.0<f<9.5	2.1<HV<2.3
13.0<f<15.0	2.2<HV<2.5

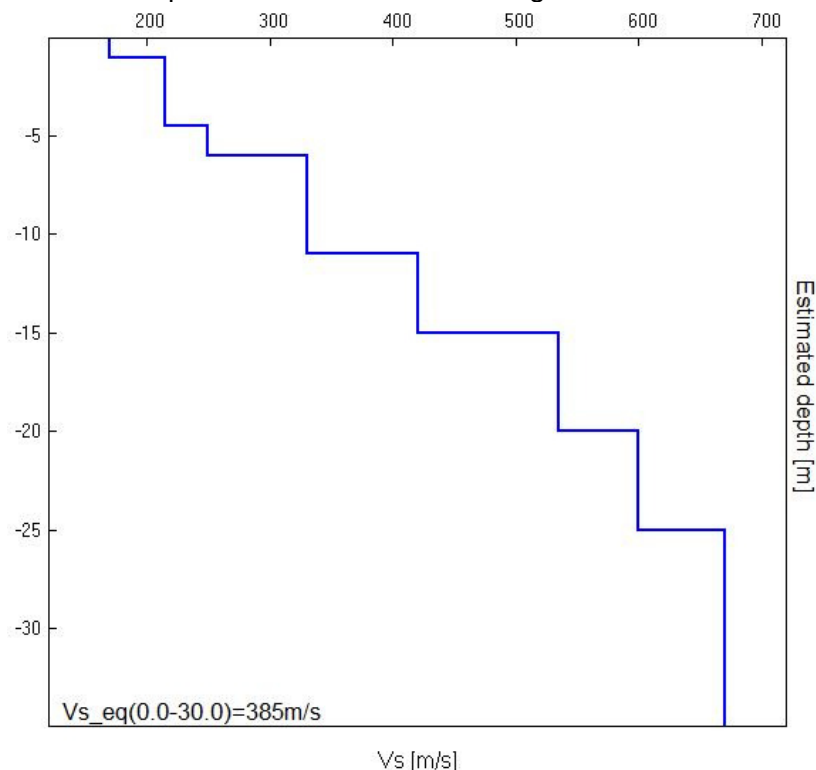
in cui frequenze più basse rappresentano le interfacce più profonde ove la più bassa è detta fondamentale (f_0).

A 6.5 Hz e 20/22 Hz vengono riscontrati disturbi persistenti nel segnale riconducibili a picchi artificiali di probabile origine antropica.

In ogni caso, per una interpretazione generale, si devono considerare affidabili solo i valori di frequenza corrispondenti ai vari picchi H/V in quanto, in termini di ampiezza, tali i picchi possono risultare spesso smorzati o sovrasmorzati (in presenza di significative inversioni di velocità) sino a renderne difficile l'individuazione (meglio apprezzabile dall'andamento dei profili delle componenti orizzontali e verticali).

In base ai profili sperimentali di velocità elaborati con tecnica MASW/REMI le interfacce geofisiche più superficiali, coerentemente ai picchi H/V a media-alta frequenza, vengono individuate circa in corrispondenza dei passaggi stratigrafici fra i litotipi a diverso stato di alterazione (Lit. A, SD ed SU), mentre quello più profondo, assimilabile alla frequenza fondamentale f_0 , può essere attribuito all'interfaccia con il bedrock sismico locale, risultando particolarmente significativa per effettuare analisi di risposta sismica locale nonché per i campi di interesse ingegneristico.

Di seguito si riporta il profilo di V_s desumibile dai dati sperimentali diretti acquisiti (MASW/REMI) ed elaborati tramite procedure di inversione congiunta:



Quindi, più in profondità, il profilo di velocità è stato stimato sfruttando l'inversione dei dati desumibili da indagine HVSR sino all'interfaccia definita dalla frequenza fondamentale di sito che, alla profondità di circa 100 m dal p.c., consente di individuare il bedrock sismico locale.

Il bedrock geofisico contraddistingue l'assunzione di un significativo grado di omogeneità e rigidità sismica per un considerevole tratto in profondità, al di sotto del quale è ragionevole attendersi assenza di fenomeni amplificativi nel segnale sismico.

5 SISMICITA' DELL'AREA E FENOMENI COSISMICI

5.1 Eventi sismici attesi

Facendo riferimento alle osservazioni macrosismiche di terremoti al di sopra della soglia del 5° grado di danno censiti nel Catalogo Parametrico dei terremoti Italiani, di seguito si riepiloga in breve la storia sismica della provincia di Rimini, ricavata mediante consultazione del database dell'INGV "DBMI2015" di cui di seguito si riporta uno stralcio:

Seismic history of Rimini PARTE 1												
PlaceID		IT_41984										
Coordinates (lat, lon)		44.059, 12.568										
Municipality		Rimini										
Province		Rimini										
Region		Emilia-Romagna										
No. of reported earthquakes		78										
Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	lo	Mw	Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	lo	Mw	
7-8	1308 01 25 17 15	Rimini	1	7-8	5.33	8	1916 08 16 07 06 14.00	Riminese	257	8	5.82	
5	1468 06 06 10 30	Romagna	3	4	3.7	2	1916 11 16 06 35	Alto Reatino	40	8	5.5	
7	1472	Rimini	1	7	5.1	3	1917 04 26 09 35 59.00	Alta Valtiberina	134	9-10	5.99	
5-6	1473 02 02	Rimini	1	5-6	4.4	3-4	1917 12 02 17 39	Appennino forlivese	32	6-7	5.09	
6	1483 08 11 19 40	Romagna	14	8	5.69	5	1918 11 10 15 12 28.00	Appennino forlivese	187	9	5.96	
F	1511 03 26 15 30	Friuli-Slovenia	120	9	6.32	4	1920 09 07 05 55 40.00	Garfagnana	750	10	6.53	
4-5	1584 09 10 20 30	Appennino forlivese	17	9	5.97	4	1924 01 02 08 55 13.00	Senigallia	76	7-8	5.48	
5-6	1591 07 10	Romagna	6	6-7	5.13	2	1926 01 01 18 04 03.00	Carniola interna	63	7-8	5.72	
6	1625 12 05	Rimini	1	6	4.63	3	1928 05 30 20 01	Senigallia	17	5	5.02	
5	1661 03 22 12 50	Appennino forlivese	79	9	6.05	3	1929 04 10 05 44	Bolognese	87	6	5.05	
8	1672 04 14 15 45	Riminese	92	8	5.59	4-5	1930 10 30 07 13	Senigallia	268	8	5.83	
5	1688 04 11 12 20	Romagna	39	8-9	5.84	4	1934 11 30 02 58 23.00	Adriatico settentrionale	51	5	5.3	
F	1695 02 25 05 30	Asolano	107	10	6.4	4	1936 10 18 03 10	Alpago Cansiglio	269	9	6.06	
F	1703 01 14 18	Valnerina	197	11	6.92	3	1937 11 26 21 58 30.00	Costa pesarese	7	5	4.16	
5	1703 02 02 11 05	Aquilano	69	10	6.67	3	1943 10 03 08 28 29.00	Ascolano	170	8	5.67	
4-5	1741 04 24 09 20	Fabrianese	135	9	6.17	3	1953 12 14 07 11 06.00	Appennino forlivese	48	5-6	4.7	
4-5	1743 02 20	Ionio settentrionale	84	9	6.68	2	1961 05 08 22 45 51.00	Forlivese	40	5	4.37	
4	1768 10 19 23	Appennino forlivese	45	9	5.99	3	1962 01 23 17 31	Costa pesarese	49	5	4.35	
3	1780 05 25	Romagna	5	5-6	4.4	NF	1962 08 30 06 27 07.00	Montefeltro	23	6-7	4.76	
5	1781 04 04 21 20	Faentino	96	9-10	6.12	4-5	1967 12 30 04 19	Emilia Romagna orientale	40	6	5.05	
8	1786 12 25 01	Riminese	90	8	5.66	F	1972 11 30 11 25 27.45	Costa pesarese	30		4.52	
4	1861 10 16	Romagna	10	6-7	5.13	4	1978 12 05 15 39 04.00	Romagna	34	4-5	4.61	
3	1870 10 30 18 34	Forlivese	41	8	5.61	3	1980 11 23 18 34 52.00	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81	
4-5	1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8	5.85	2	1983 11 09 16 29 52.00	Parmense	850	6-7	5.04	
3-4	1873 06 29 03 58	Alpago Cansiglio	197	9-10	6.29	3-4	1984 04 29 05 02 59.00	Umbria settentrionale	709	7	5.62	
NF	1874 10 07	Imolese	60	7	4.96	NF	1986 12 06 17 07 19.77	Ferrarese	604	6	4.43	

Seismic history of Rimini PARTE 2												
Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	lo	Mw	Intensity	Year Mo Da Ho Mi Se	Epicentral area	NMDP	lo	Mw	
8	1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8	5.74	NF	1993 11 07 23 21 11.72	Cesenate	36	4-5	3.95	
3	1878 03 12 21 36	Bolognese	31	6	4.84	3-4	1996 10 15 09 55 59.95	Pianura emiliana	135	7	5.38	
3	1881 09 28	Cesena	24	6-7	4.71	4	1997 09 26 00 33 12.88	Appennino -marchigiano	760	7-8	5.66	
3	1904 11 17 05 02	Pistoiese	204	7	5.1	5	1997 09 26 09 40 26.60	Appennino -marchigiano	869	8-9	5.97	
5	1909 01 13 00 45	Emilia Romagna orientale	867	6-7	5.36	4	1997 10 14 15 23 10.64	Valnerina	786		5.62	
NF	1909 08 25 00 22	Crete Senesi	259	7-8	5.34	3-4	1998 04 05 15 52 21.01	Appennino-marchigiano	395		4.78	
4	1911 02 19 07 18 30.00	Forlivese	181	7	5.26	2	1999 01 25 22 45 58.08	Appennino forlivese	97	5	4.36	
6	1911 03 26 13 51	Riminese	9	5	5.04	2-3	2000 05 08 12 29 56.20	Faentino	126	5	4.67	
NF	1913 11 25 20 55	Appennino parmense	73	4-5	4.65	2-3	2000 05 10 16 52 11.60	Faentino	151	5-6	4.82	
4	1914 10 27 09 22	Lucchesia	660	7	5.63	4	2000 08 01 02 34 31.00	Montefeltro	84	5-6	4.27	
4-5	1915 01 13 06 52 43.00	Marsica	1041	11	7.08	2	2001 11 26 00 56 55.46	Casentino	211	5-6	4.63	
8	1916 05 17 12 50	Riminese	132	8	5.82	5	2003 12 07 10 20 33.04	Forlivese	165	5	4.18	
6	1916 06 16 01 27	Riminese	17	6	4.82	NF	2006 10 21 07 04 10.01	Anconetano	287	5	4.21	

Estratto della tabella esplicativa riportante i parametri che costituiscono il formato sintetico del database:

Field Description

N Record number (in chronological order)

Year Origin time: year

Mo Origin time: month

Da Origin time: day

Ho Origin time: hour

Mi Origin time: minutes

Se Origin time: seconds

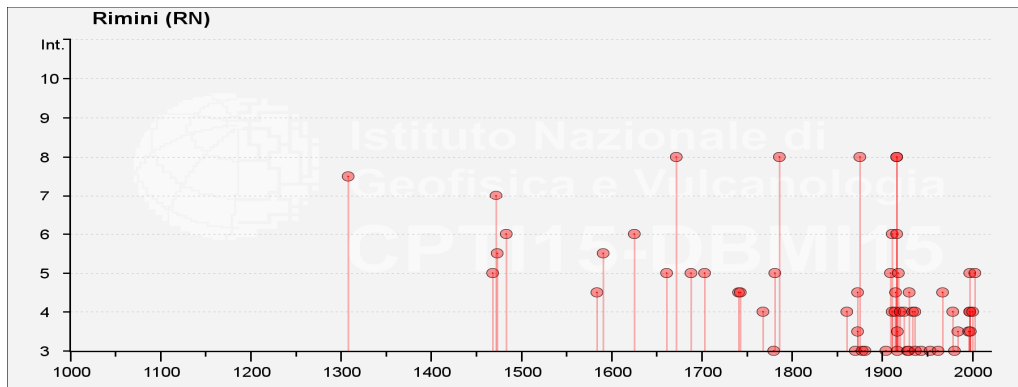
EpicentralArea Epicentral area or area of the largest macroseismic effects

Mw moment magnitude

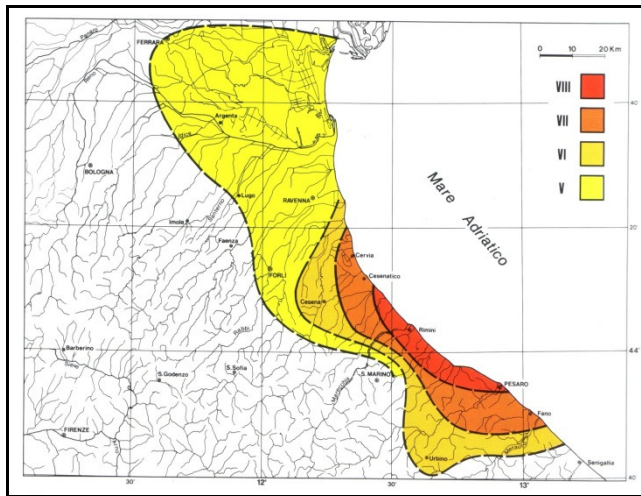
MdpN Number of macroseismic data

Imax Maximum intensity

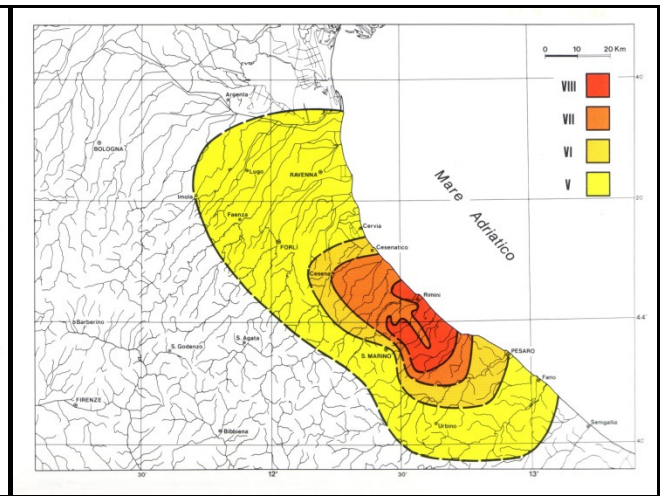
lo Epicentral intensity



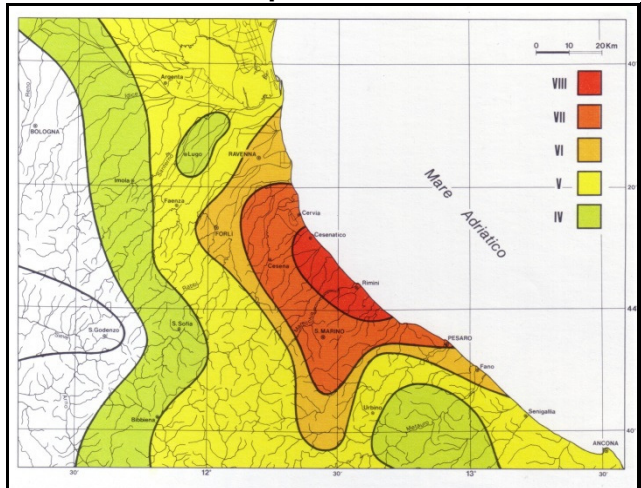
Distribuzione temporale degli eventi sismici considerati



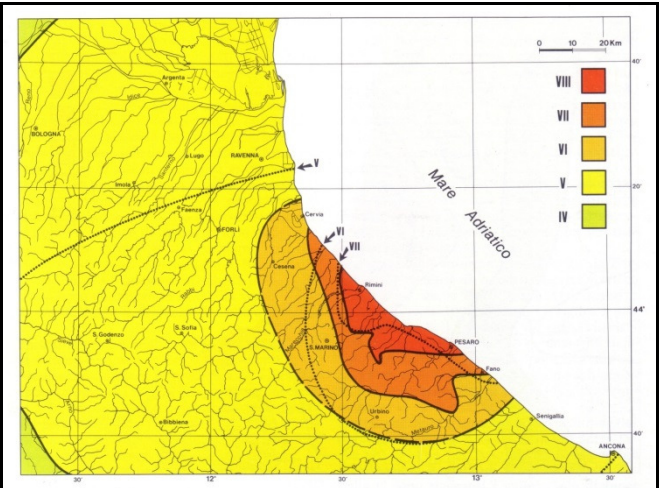
Terremoto del 14 aprile 1672



Terremoto del 25 dicembre 1786



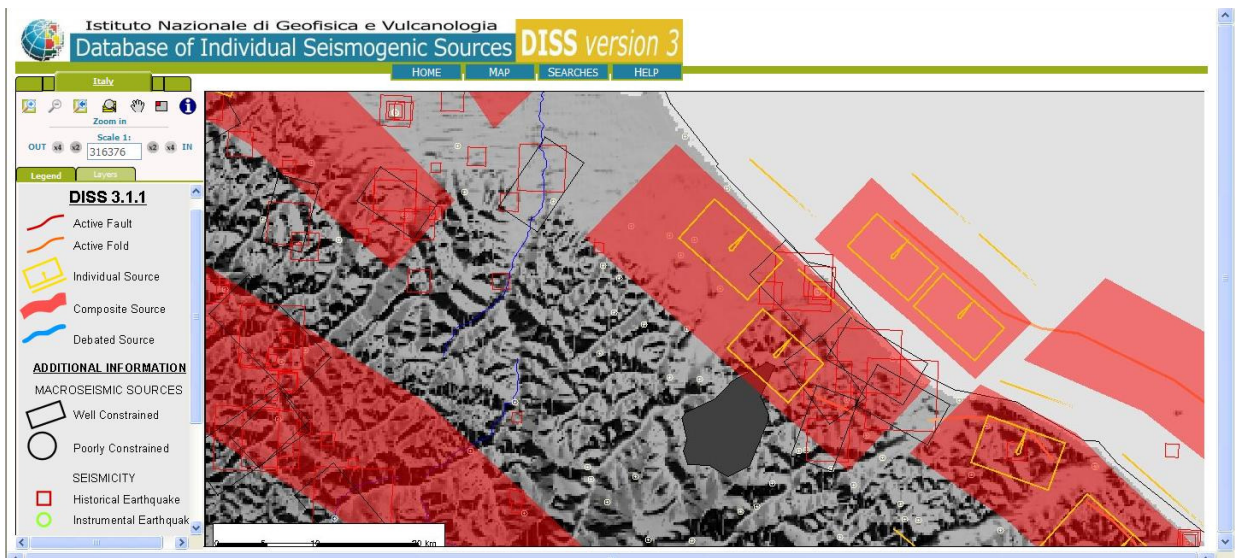
Terremoto del 17 marzo 1875



Terremoto del 17 maggio – 16 agosto 1916

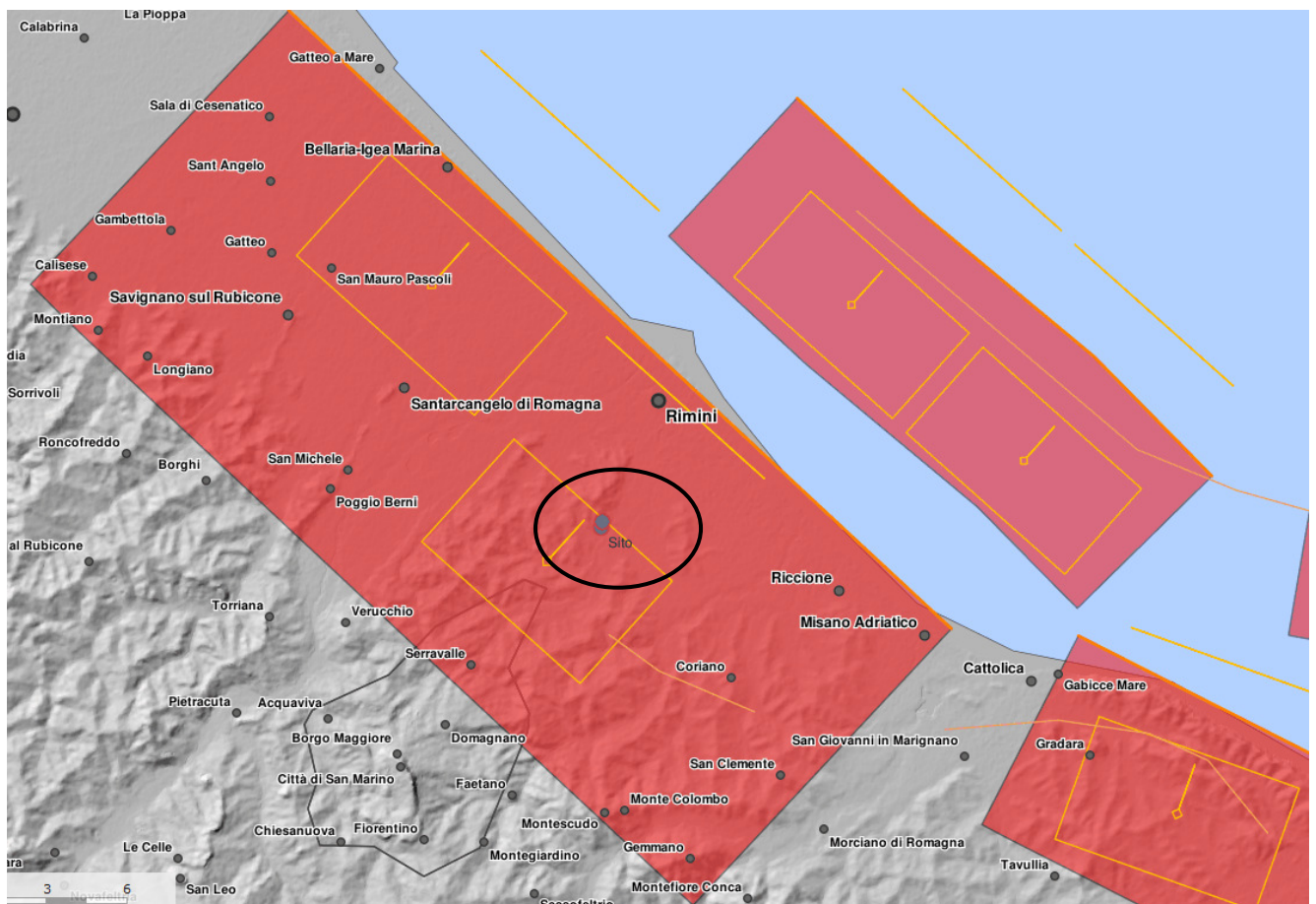
Carte delle isosisme in cui le aree colorate dal rosso al verde corrispondono a parti di territorio colpite da effetti di severità decrescente. (DISS3/INGV).

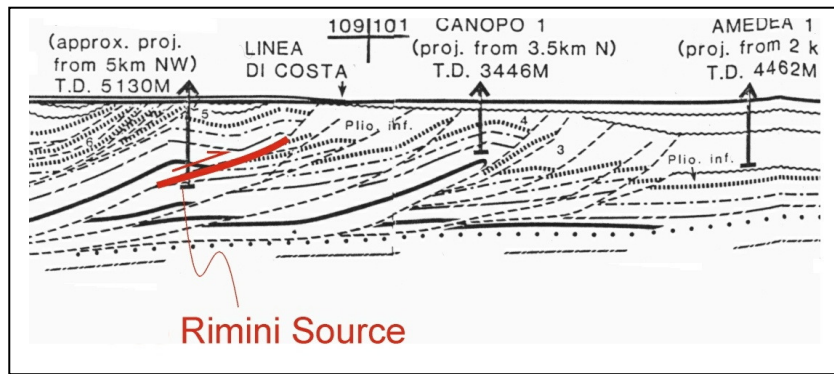
Sulla scorta di tali cataloghi nonché di più approfondite informazioni storico-scientifiche e di studi su modelli geodinamici e crostali l'INGV ha sviluppato un database delle sorgenti sismogenetiche attive denominato DISS3, contenente potenziali fonti per i terremoti più grandi di 5,5 M in Italia e nelle aree circostanti:



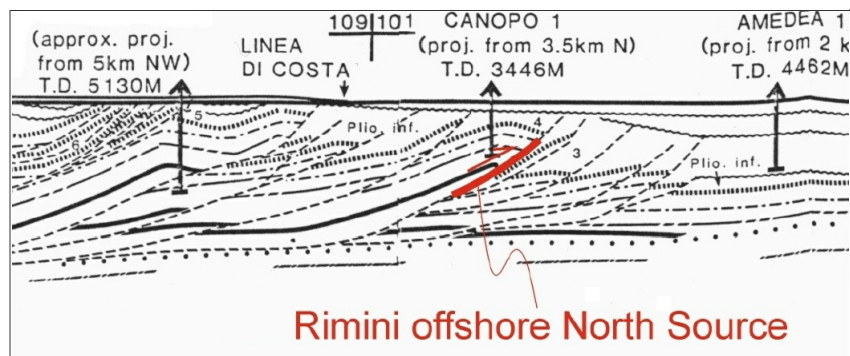
Stralcio cartografico con distribuzione regionale degli eventi e delle sorgenti sismogenetiche - INGV_DISS 3

L'area d'intervento, risulta direttamente interessata dalla sorgente sismo genetica composta ITCS039 (denominata "Riminese On-Shore", Basili, R., U. Fracassi and S. Mariano 2006), molto prossima alla ITCS030, posizionata nello specchio marino frontestante, così come censite e caratterizzate nel database INGV_DISS 3.2, di cui di seguito si riporta uno stralcio georeferenziato ed ingrandito, unitamente agli stralci di due sezioni sismiche profonde rispettivamente rappresentative delle sorgenti ITCS039 e ITCS030, caratterizzanti l'attività sismica dell'area:





Sorgente sismogenetica ITC039 - Riminese "on-shore" proiettata su Sezione Amedea-M.te.Amiata di Bally et al. [1986]. Basili, R., U. Fracassi and S. Mariano 2006



Sorgente sismogenetica ITC030 - Riminese "off-shore" proiettata su Sezione Amedea-M.te.Amiata di Bally et al. [1986]. Basili, R., U. Fracassi and S. Mariano 2006

Di conseguenza diviene necessario definire un valore di magnitudo di riferimento "M_{wmax}" (magnitudo momento), analogamente ai valori di accelerazione massima, in funzione della possibilità che si possano verificare, sia pure con probabilità molto basse, eventi con magnitudo pari o superiore a quelli verificatisi nel periodo di osservazione del Catalogo dei Terremoti.

Per la definizione della massima magnitudo associabile a tali sorgenti sismogenetiche, sulla base dei dati macrosismici e strumentali, è opportuno rapportarsi all'aggiornamento del catalogo DBMI-CPT115 in cui oltre ai valori di riferimento per ciascun evento vengono stimati anche i relativi ambiti di incertezza.

Diversamente il metodo di "disaggregazione" condotto da INGV (Spallarossa e Barani; 2007) fornisce risultati ottenuti attraverso l'opera di disaggregazione della pericolosità sismica (Bazzurro e Cornell; 1999) ovvero un'operazione che consente di valutare i contributi di diverse sorgenti sismiche alla pericolosità di un sito. Tale metodo si pone come obiettivo quello di consentire in qualunque sito la stima di una coppia di riferimento magnitudo - distanza (nel seguito M-R) e pertanto riporta una mappatura del territorio nazionale con valori di magnitudo che possono essere utilizzati per verificare le condizioni di stabilità di versante o di liquefazione per opere alle quali è associato un periodo di riferimento (RP) non superiore a quello per il quale la mappa è stata dedotta (vedi "Indicazioni e Criteri per la Microzonazione Sismica", 2008 a cura del Dipartimento per la Protezione civile).

Dai dati dell'analisi di disaggregazione il valore di magnitudo momento adottabile nel calcolo, al pari di quello della accelerazione, per opere ordinarie (progetti di basso-medio rischio e V_n=50 anni) con tempi max di ritorno di 475 anni e percentuale di superamento pari al 10%, potrebbe essere **M_w = 5.5** come definibile dalle Fig. 2.8.1 pag. 113 e 2.8.3 pag. 115 delle ICMS (metodo eventualmente utilizzabile solo per TR ≤ 475 anni come da indicazioni ICMS).

Tuttavia l'area in studio è inserita all'interno della **zona sismogenetica n. 917** (Rimini - Ancona; vedi figura successiva) nell'ambito della zonazione "ZS9" definita dal "Gruppo di Lavoro per la redazione della Mappa della Pericolosità Sismica" dell'INGV. Nel rapporto conclusivo al paragrafo 6.3 (a pag. 36) sono stati individuati due tipi di valori (Rapporto Conclusivo GdL INGV, 2004).

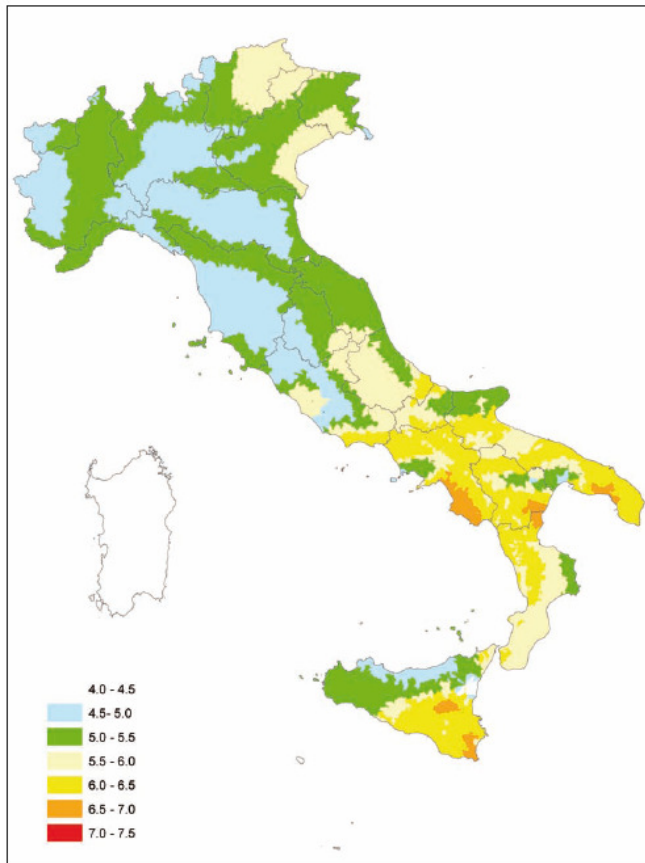
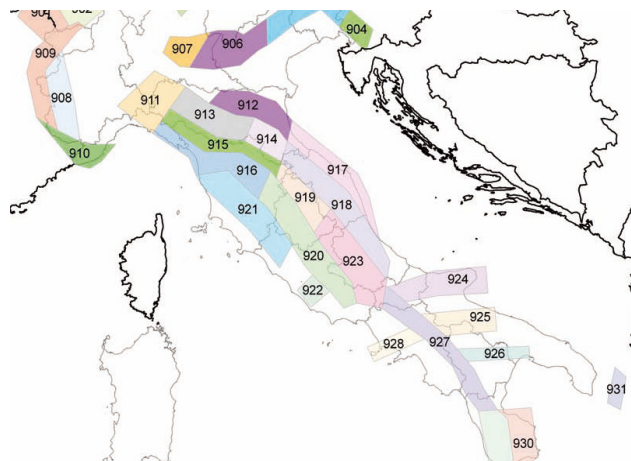


Figura 2.8-3 - Valori medi di M per comune, ottenuti a seguito della disaggregazione della pericolosità con periodi di ritorno di 475 anni (elaborazione su dati da Spallarossa e Barani, 2007).

A tal proposito in “Indicazioni e Criteri per la Microzonazione Sismica” (anno 2008 a cura del Dipartimento per la Protezione civile) si raccomanda l’adozione del valore di **Mwmax2 = 6.14**, come richiamato al paragrafo 2.8.2, definito come metodo semplice e in favore della sicurezza per stimare il valore della magnitudo che può essere utilizzata **per le verifiche di stabilità e di liquefazione dei terreni e/o progettazione di opere**. Rimane in ogni caso in ambito discrezionale del progettista l’adozione del valore più opportuno di magnitudo ai fini delle verifiche di calcolo in funzione della tipologia di opera e delle relative classe d’uso, tempi di ritorno, vita nominale e grado di rischio.



Si può osservare inoltre che ben pochi dei terremoti significativi verificatisi nella storia sismica del riminese e lungo la costa del Comune di Rimini hanno delle magnitudo inferiori a 5/5.5 e grado di intensità MCS<7-8.

Pertanto, considerati gli studi dell’INGV, la zonazione ZS9 e le indicazioni I.C.M.S., in relazione alle finalità e tipologie di opere e di intervento previste nell’areale di studio nonché alle relative condizioni di rischio prevedibili, per le analisi di calcolo si ritiene di proporre una **magnitudo momento max pari a MW=6.14**, derivabile dalle raccomandazioni I.C.M.S. e zonazione ZS9.


5.2 Pericolosità sismica – faglie capaci

Per completare il quadro di pericolosità sismica dell'area ci si avvale del database ITHACA "ITHACA" dell'ISPRA, creato per la raccolta e la facile consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie attive che potenzialmente possono creare deformazione in superficie. Il database delle faglie capaci (vedi figura successiva) è uno strumento fondamentale sia per analisi di pericolosità ambientale / sismica che per la pianificazione territoriale.




STRALCIO DATA BASE ITACA

Il database evidenzia come le aree in studio non possano interferire con strutture tettoniche proprie di faglie capaci censite e certe/ben conosciute. La struttura censita più vicina (a oltre 4 Km di distanza) risulta essere la "Rimini – Ravenna", appartenente alle strutture sepolte del sottosuolo padano e al contempo ne riporta le caratteristiche nella scheda seguente:



ISPRA
Istituto Superiore per la Protezione e la Ricerca Ambientale



MENU GENERALE

Chiudi finestra

ITHACA - Catalogo delle faglie capaci

ITHACA è un database creato per la raccolta e la facile consultazione di tutte le informazioni disponibili riguardo le strutture tettoniche attive in Italia, con particolare attenzione ai processi tettonici che potrebbero generare rischi naturali. Il progetto si occupa in modo particolare delle faglie capaci, definite come faglie che potenzialmente possono creare deformazione in superficie. Il database delle faglie capaci è uno strumento fondamentale per: a) analisi di pericolosità ambientale e sismica, b) comprensione dell'evoluzione recente del paesaggio, c) pianificazione territoriale e d) gestione delle emergenze di Protezione Civile. Può essere inoltre di supporto alla ricerca scientifica nell'ambito dell'analisi dei processi geodinamici.

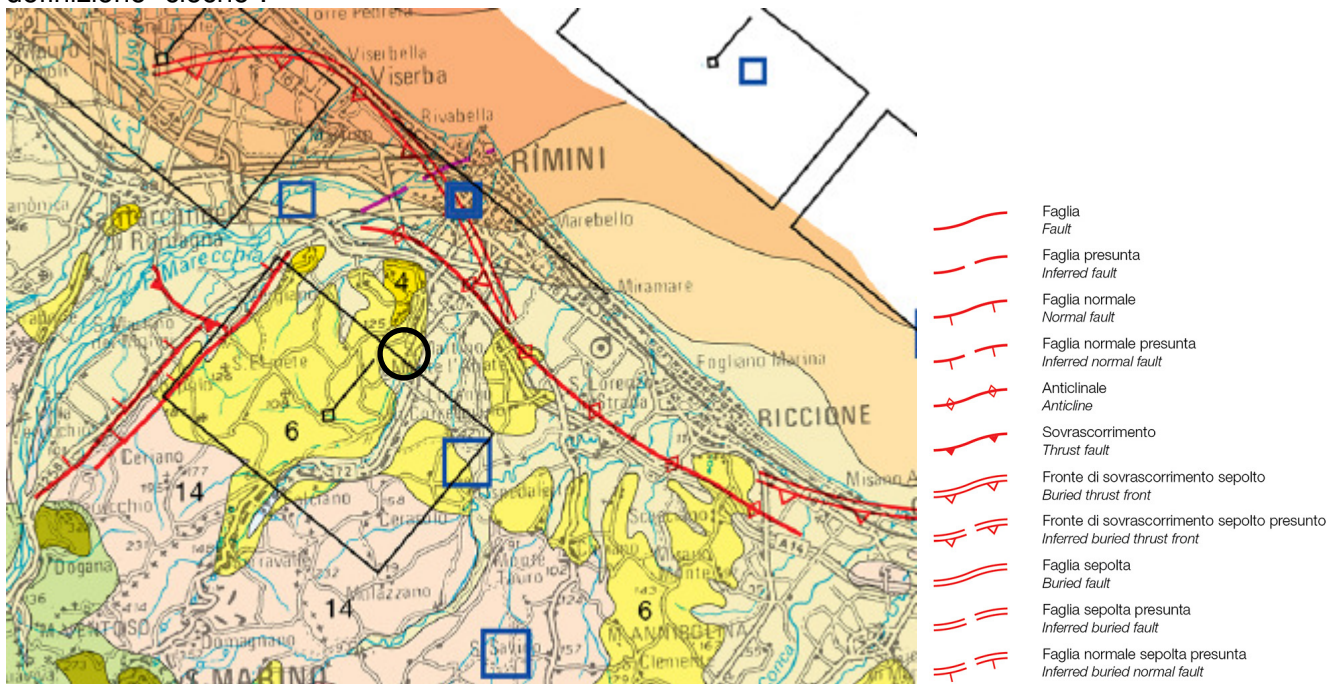
PHISICAL AND GEOLOGICAL ATTRIBUTES

GEOLOGIC SETTING	
SYNOPSIS	Thrust appartenente alle strutture sepolte del sottosuolo padano. Nella parte meridionale della Pianura Padana si possono riconoscere tre archi principali chiamati, da ovest verso est: Arco del Monferrato; Arco Emiliano; Arco Romagnolo Ferrarese. Questi archi rappresentano, a grande scala, il limite esterno dell'Arco Appenninico settentrionale. L'Arco Emiliano è in parte sovrascorso sulla terminazione dei thrust subalpini e, nella parte orientale al di sopra dell'Arco Romagnolo Ferrarese. E' possibile suddividere la struttura dell'Arco Romagnolo Ferrarese in tre gruppi relativamente minori: le pieghe ferraresi, le pieghe romagnole e, più a est, le pieghe adriatiche. La presenza di questi archi denota inoltre diversi valori di raccorciamento che tendono mediamente ad aumentare da ovest verso est. Dal punto di vista sismico l'area è caratterizzata da un basso livello di sismicità di fondo con una maggior concentrazione di eventi lungo la catena appenninica e lungo i fronti dei sovrascorimenti della Pianura Padana.
FAULT NAME	Rimini - Ravenna
FAULT CODE	93798
MACROZONE	3
REGION NAME	Emilia Romagna
SYSTEM NAME	Ravenna - Comacchio System
RANK	PRIMARY

GEOMETRY				
SEGMENTATION		no		
DEPTH (Km)		0		
LOCATION RELIABILITY (MAPPING SCALE)		1:250000		
LAST ACTIVITY		Early Pleistocene		
ACTIVITY RELIABILITY		Low reliability		
RECURRENCE INTERVAL (yr)		0		
SLIP-RATE (mm/yr)		0		
MAX CREDIBLE RUPTURE LENGTH		14		
MAX CREDIBLE SLIP (m)		0		
KNOWN SEISMIC EVENTS				
MAX CREDIBLE MAGNITUDE (Mw)		6.4		
MAX CREDIBLE INTENSITY (INQUA scale)				
STUDY QUALITY		LOW		
NOTES		e' giusto indicare AV in assenza di indicazioni certe?		
REFERENCES				
FAULT CODE	AUTHORS	TITLE	REFERENCES	YEAR
93798	CERRINA FERONI A., MARTELLI L., MARTINELLI P., OTTRIA P.	Carta geologico strutturale dell'Appennino Emiliano Romagnolo alla scala 1:250000	Regione Emilia-Romagna - CNR	2002
93798	REGIONE EMILIA-ROMAGNA, ENI-AGIP, a cura di DI DIO G. (1998)	Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna.	S.EL.CA., Firenze	1998

Essa passerebbe in corrispondenza dell'area costiera prospiciente ma occorre tuttavia sottolineare che la qualità degli studi effettuati sulla stessa è bassa al pari della attendibilità delle informazioni sul grado di attività.

Per quanto riguarda la Geologia di sottosuolo anche la recente Carta Sismotettonica dell'Emilia-Romagna, alla scala 1:250.000, segnala le medesime strutture potenzialmente attive. Tali thrust tuttavia risultano collocati ad alcune migliaia di metri di profondità, dando luogo a strutture per definizione "cieche".



Pertanto sulla base di questi dati si può affermare che nell'area di indagine non vi sono strutture affioranti legate all'orogenesi appenninica certe di una certa rilevanza; anche la attendibilità riguardo al grado di attività di quella "capace" ipotizzata dagli studi è bassa; in conseguenza di ciò si può affermare che nel territorio oggetto di studio, almeno sulla base delle conoscenze scientifiche attuali, non vi siano situazioni accertate riconducibili a "zone di faglia attiva capace" in grado di condizionare in maniera consistente la pericolosità sismica locale soprattutto in termini di deformazioni/fagliazioni superficiali.

6 STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA E RISPOSTA SISMICA LOCALE

6.1 Generalità

E' noto che le caratteristiche del moto sismico in corrispondenza di un substrato roccioso o "geofisico base" possono essere differenti da quelle in sommità della copertura, proprio a causa della presenza e spessore della copertura che modifica il moto sismico esercitato dal terreno.

Questa variazione è rappresentata dalla "Funzione di Amplificazione" la quale fornisce una chiara ed efficace rappresentazione dell'effetto filtrante del terreno sulle onde sismiche, ma la sua conoscenza non è comunque sufficiente per determinare le caratteristiche del moto sismico alla superficie del terreno.

E' possibile caratterizzare la risposta sismica locale (RSL) di un sito tramite la definizione di uno spettro di risposta in accelerazione, che è il tipo di rappresentazione utile per le applicazioni di ingegneria, associabile ad un dato scuotimento e ad un dato fattore di smorzamento.

Il moto sismico alla superficie del terreno è inoltre fortemente condizionato dai parametri del moto atteso al substrato roccioso o bedrock geofisico, cioè del terremoto di riferimento.

Inoltre una corretta valutazione del RSL non può prescindere da una modellazione geofisica realistica del sottosuolo in quanto le caratteristiche locali del sito condizionano, a parità di evento e di caratteristiche di propagazione, il moto sismico in output alla superficie.

Considerate le condizioni topografiche, geometriche, morfologiche, litostratigrafiche unitamente alle soluzioni tecnico-realizzative adottate, si ritiene opportuno effettuare una modellazione in condizioni monodimensionali.

Le analisi numeriche sono state effettuate tramite il codice STRATA (Kottke e Rathje, 2008), che modella una colonna di terreno come un continuo stratificato a comportamento visco-elastico lineare. Le equazioni del moto sono risolte nel dominio della frequenza attraverso il calcolo e la successiva convoluzione delle funzioni di trasferimento di ogni strato, analogamente a quanto fatto dal ben noto codice di calcolo SHAKE91 (Idriss e Sun, 1992).

La non linearità delle proprietà dinamiche, assunte indipendenti dalla frequenza, è portata in conto tramite l'approccio lineare equivalente. Secondo tale modello, il modulo di taglio G e il fattore di smorzamento D , che descrivono il comportamento meccanico di un materiale sotto sollecitazioni cicliche, vengono fatti dipendere dal livello della deformazione tangenziale γ_c indotta dalle sollecitazioni sismiche. A partire dai valori iniziali dei parametri di rigidità e smorzamento con una prima analisi si determina un primo valore caratteristico (o effettivo) della deformazione tangenziale γ_{eff} . Dalle curve $G/G_0 - \gamma_c$ e $D - \gamma_c$, che esprimono il comportamento non lineare, si determinano quindi nuovi valori di G e D e si esegue una nuova analisi determinando un nuovo valore caratteristico. Il procedimento viene ripetuto fino a quando lo scarto percentuale tra i valori di G , D e γ_{eff} viene ritenuto accettabile.

Per le analisi sui segnali/spettri in fase di input/output sono stati utilizzati i software SeismoSignal 5.1.2 e SeismoMatch vers. 2.1.2, sviluppati dalla soc. SeismoSoft, di cui si dispone della relativa licenza d'uso.

6.2 Modello e caratterizzazione dinamica del sottosuolo

Per quanto riguarda la caratterizzazione geotecnica dei terreni, non essendo stati analizzati direttamente e sperimentalmente tramite laboratorio dinamico/ciclico, sulla scorta delle esperienze condotte da vari autori in bibliografia (Idriss 90, Seed & Idriss, Seed 86, Darendeli & Stokoe 2001, Crespellani et Al. 2007) nonché dallo scrivente tramite prove dinamiche e cicliche effettuate su terreni simili appartenenti al medesimo contesto litostratigrafico e deposizionale, si sono valutate le curve presenti nel database del software Strata relative alle curve di decadimento del Modulo di taglio normalizzato (G/G_0) e dello smorzamento ($D\%$) per i materiali di sito, implementando il modello con le curve degli autori ritenute appropriate al caso in esame.

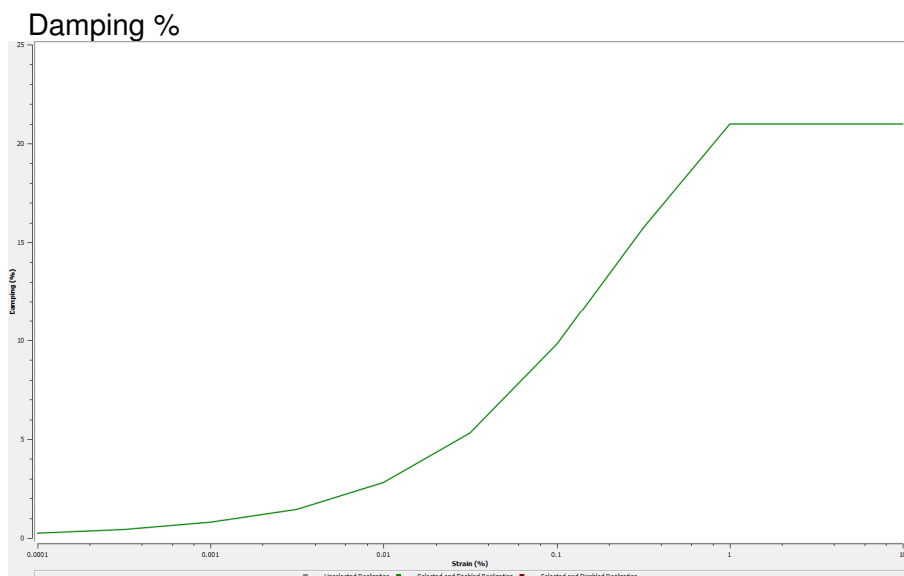
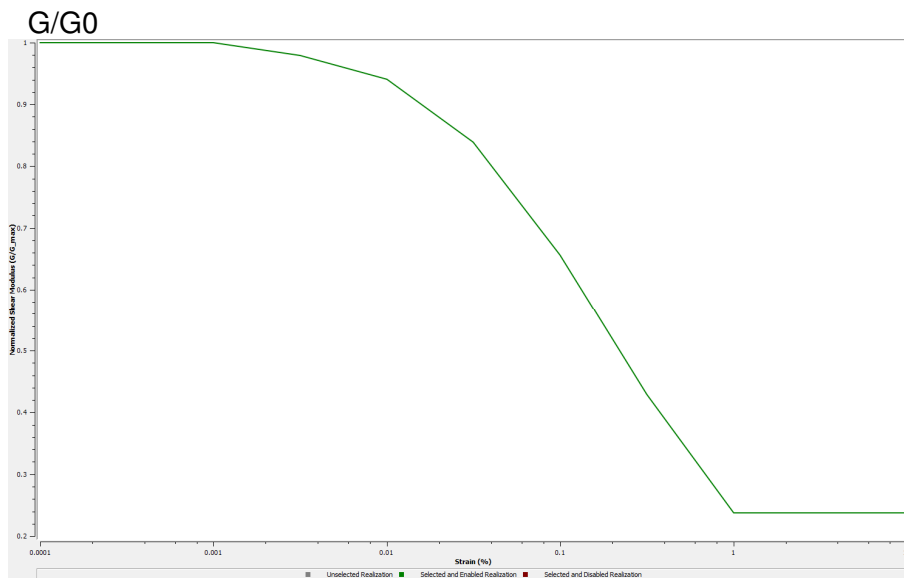
Pertanto in funzione della natura litologica e delle caratteristiche geotecniche e di deformabilità dei materiali sono state estratte le seguenti curve:

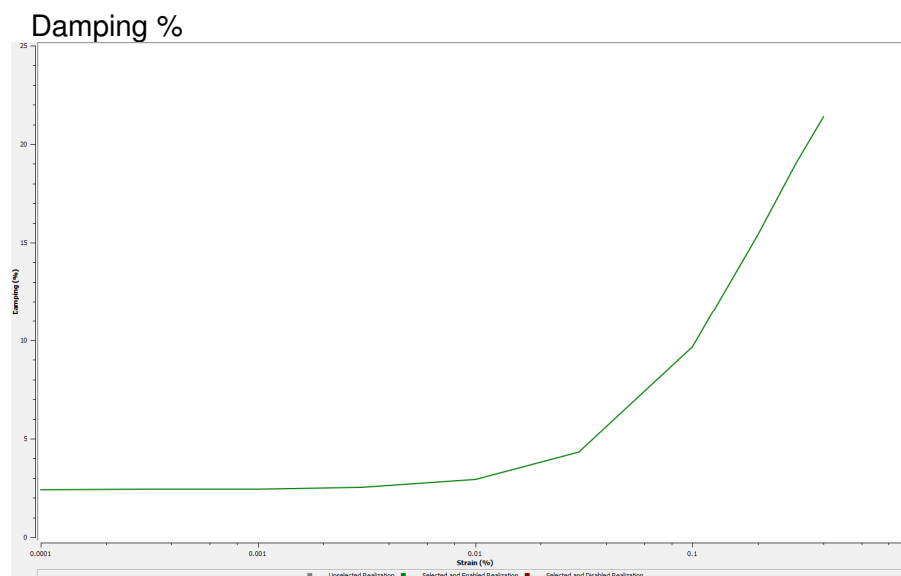
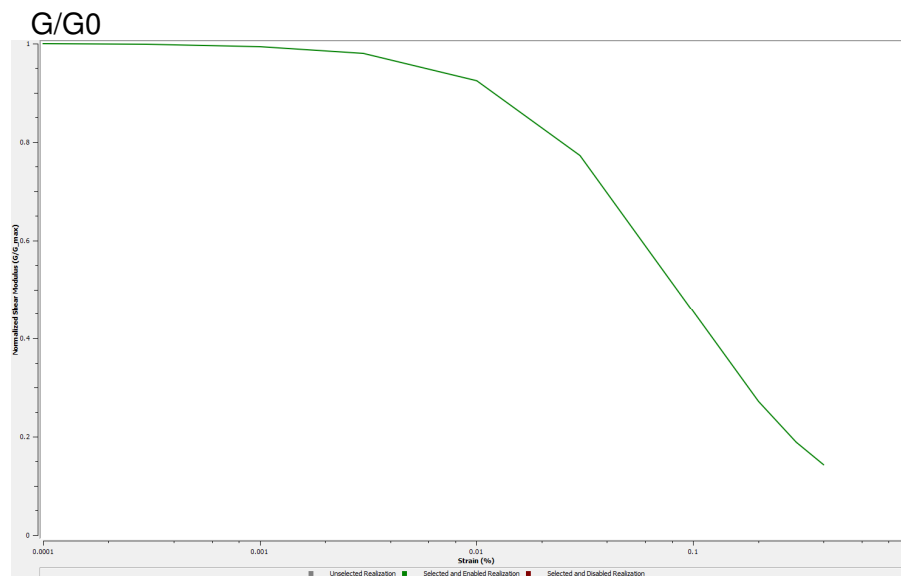
- Idriss Clay - All (1990)
- Crespellani et Al. (2007) *Plio-Pleistocene mean*

Data la varietà tipologica dei materiali presenti in sito i terreni appartenenti ai Lit. V, A, SD ed SU, fino alla profondità di 30 mt, sono stati modellati tramite le curve per terreni argillosi di Idriss (1990), mentre per le marne argillose più profonde sono state utilizzate le curve di letteratura di Crespellani et Al. (2007), sviluppate per terreni simili sia in termini litologici e sovraconsolidazione (Formazione delle Argille Azzurre) che di profondità/carico citostatico.

Pertanto, in funzione della natura litologica e delle caratteristiche geotecniche e di deformabilità dei materiali, sono state adottate le seguenti curve:

Limi_Arg NC – Idriss 1990 (Clay):



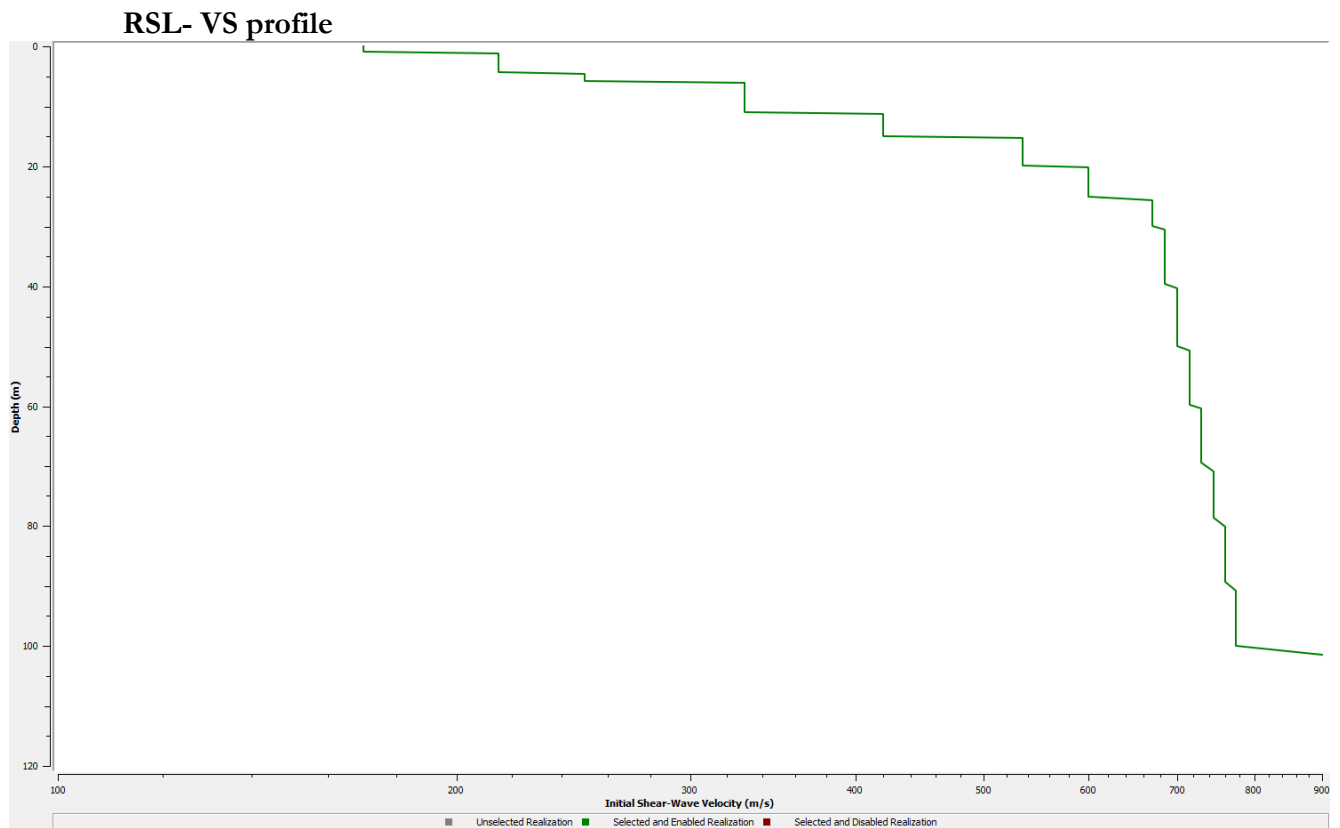
Substrato marnoso – Crespellani et Al. (2007) - Plio-Pleistocene Mean:

La falda è stata assunta ad un livello costante medio pari a -5.0 m

Per il Bedrock si è assunto un damping=1.0% ed un peso di volume pari a 23.00 KN/m³

Data l'omogeneità litologica e stratigrafica delle aree indagate, le curve dei Log Vs rappresentativi di sito sono state principalmente derivate da un'analisi congiunta di MASW/REMI ed H/V stimando, al di sotto dei dati sperimentali desumibili dalle prove in array, un gradiente di circa 1.5 m/s/m, utile a definire la posizione del tetto del bedrock sismico, coerentemente a quanto rilevato in prove down-hole condotte su terreni simili in aree vicine; al di sotto dell'interfaccia con il bedrock sismico, identificato ad una profondità di circa 100 mt, con Vs = 900 m/s, si ipotizza un modesto incremento della velocità in onde Vs e, quindi, nel comportamento geofisico e di rigidità dei materiali, determinando una sostanziale assenza di significativi fenomeni amplificativi nei periodi di interesse.

I profili di Vs sono stati poi sottoposti a partizione in funzione degli ambiti di frequenza e Vs da indagare e dei range di interesse progettuale, secondo il seguente input del modello 1D in Strata:



RSL- Soil profile

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Vs (m/s)
0	1	Limi_Arg NC	170
1	3.5	Limi_Arg NC	215
4.5	1.5	Limi_Arg NC	250
6	5	Limi_Arg NC	330
11	4	Limi_Arg NC	420
15	5	Limi_Arg NC	535
20	5	Limi_Arg NC	600
25	5	Limi_Arg NC	670
30	10	Sub Marnoso	685
40	10	Sub Marnoso	700
50	10	Sub Marnoso	715
60	10	Sub Marnoso	730
70	10	Sub Marnoso	745
80	10	Sub Marnoso	760
90	10	Sub Marnoso	775
100	Half-Space	Bedrock	900

6.3 III Livello di approfondimento – D.A.L. N° 112 / 2007 - DGR 2193/2015 R.E.R.

Sulla base delle indicazioni contenute nella Del. Ass. Lgs. N° 112 / 2007 R.E.R. e successiva DGR 2193/2015, sono state effettuate analisi di RSL per via analitica utilizzando sia le informazioni dedotte dalle indagini sismiche di caratterizzazione del sottosuolo sia il moto sismico indicato dalla Regione Emilia Romagna per le aree studiate e scaricabili dal link “[segnali di riferimento](#)”.

Come previsto da Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica, le analisi di Risposta Sismica Locale (RLS) sono state condotte considerando, nella simulazione, 3 differenti moti sismici al bedrock. I segnali sismici sono rappresentativi dello scuotimento atteso, per un periodo di ritorno di 475 anni (10% di probabilità di superamento in 50 anni), sul suolo di riferimento relativo alla categoria di sottosuolo A definita nella tabella 3.2. Il delle Norme Tecniche per le Costruzioni del 2008 e 2018, ovvero con V_{s30} superiore a 800 m/s.

La selezione e scalatura dei segnali di riferimento si basa sui valori di pericolosità sismica elaborati da INGV per il territorio nazionale resi disponibili per il territorio regionale sui punti di una griglia con passo 0.05 gradi nel sito web del Servizio Geologico, Sismico e dei Suoli, tema “Sismica Microzonazione Sismica”.

Il valore di “arefg” relativo a ciascun sito analizzato si ottiene interpolando i valori di arefg definiti nei punti della griglia più prossimi al sito oppure utilizzando il valore del punto della griglia più vicino al sito di indagine.

Quindi il moto sismico (periodo di ritorno 475 anni) in termini di accelerogrammi relativi al sito analizzato è ottenuto moltiplicando le accelerazioni normalizzate dei segnali di riferimento per il valore di “arefg” ottenuto utilizzando il valore pesato derivato dall’interpolazione dei punti della griglia vicini.



○ Nodo più vicino

per cui, arrotondando, si assume: **arefg = 0.184**

Si tratta di accelerogrammi “natural” estratti dalla banca dati accelerometrica “European Strong Motion database”, con caratteristiche energetiche e di scuotimento (durata, contenuto in frequenza, ecc.) diverse tra loro, in modo da poter investigare, quanto più possibile, il comportamento del sottosuolo e la sua suscettibilità ai fenomeni amplificativi/dissipativi quando sottoposto ad azioni sismiche differenti.

I 3 segnali di riferimento all'interno della banca dati accelerometrica vengono identificati attraverso i seguenti codici:

1. 000046xa
2. 000126xa
3. 000354xa

Tali segnali, ciascuno scalato all'accelerazione di ancoraggio prevista al bedrock attraverso l'interpolazione per l'area di riferimento, risultano spettro-compatibili con lo spettro elastico di riferimento secondo le seguenti caratteristiche:

- la forma dello spettro di risposta normalizzato è rappresentativo del moto sismico atteso per un periodo di ritorno di 475 anni (con smorzamento pari al 5%);
- i valori di arefg di ogni comune sono riferiti al 10% di probabilità di superamento in 50 anni;

Pertanto lo spettro di risposta di riferimento a probabilità uniforme che descrive le caratteristiche del moto sismico atteso (periodo di ritorno di 475 anni e smorzamento pari al 5%) a partire dai valori di accelerazione massima orizzontale di picco al suolo ($T = 0$) sul nodo della griglia più vicino risulta:

T(s)	Sa/aref	PGA bedrock	Spettro scalato
0	1	0,184	0,184
0,1	2,21	0,184	0,40664
0,15	2,608	0,184	0,479872
0,2	2,6562	0,184	0,4887408
0,3	2,4033	0,184	0,4422072
0,4	1,9394	0,184	0,3568496
0,5	1,505	0,184	0,27692
0,75	0,9172	0,184	0,1687648
1	0,6359	0,184	0,1170056
1,5	0,3608	0,184	0,0663872
2	0,2462	0,184	0,0453008

Input Location: Bedrock

Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
Allegato_4_SEGNALI_RER\000046xa_SCAL.txt		O utcrop	0.18	8.33	1.00
Allegato_4_SEGNALI_RER\000126xa_SCAL.txt		O utcrop	0.18	10.50	1.00
Allegato_4_SEGNALI_RER\000354xa_SCAL.txt		O utcrop	0.18	9.08	1.00

L'analisi puntuale mediante Strata è stata prodotta per ottenere una risposta riferita al piano campagna in condizioni di free field.

I parametri di calcolo generali adottati per la modellazione sono i seguenti:

B. Type of Analysis

Analysis Method: Equivalent Linear (EQL)

Approach: Time Series

Properties Varied: False

C. Layer Discretization

Maximum frequency: 20 Hz

Wavelength fraction: 0.1

D. Equivalent Linear Parameters

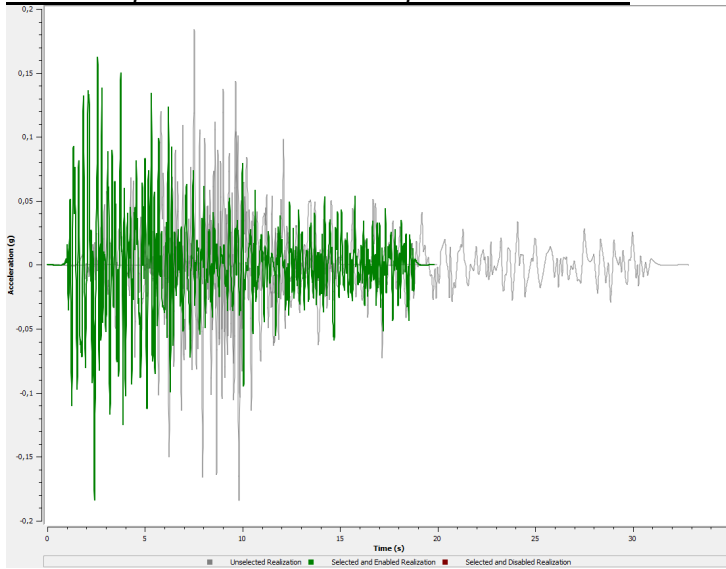
Effective strain ratio: 0.65 Hz

Error tolerance: 2

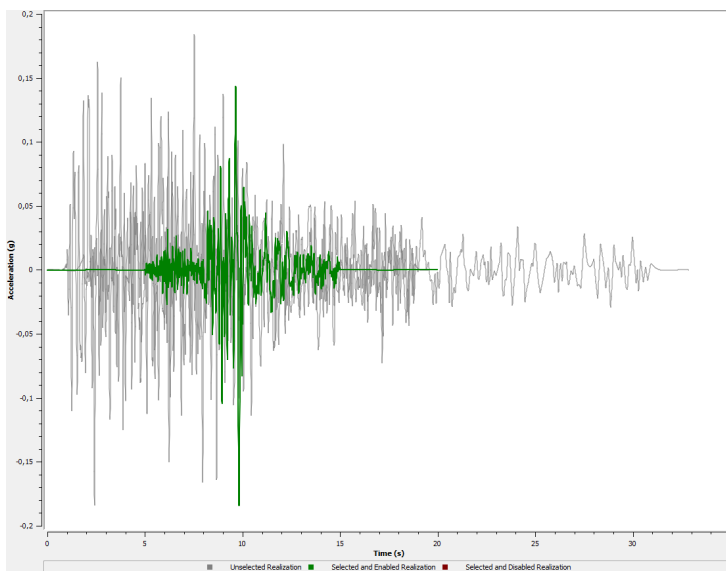
Maximum number of iterations: 10

Quindi dalla modellazione geofisica del sottosuolo ed il modello di calcolo soprariportati si sono determinati gli accelerogrammi convoluti sino al piano campagna, i quali vengono definiti in funzione dell'accelerazione (g):

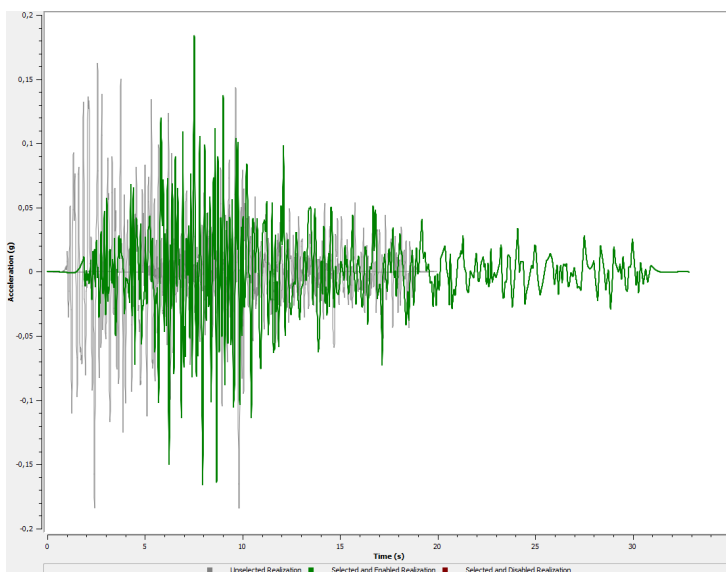
Serie temporali convolute Tempo/Accelerazione



00046xa

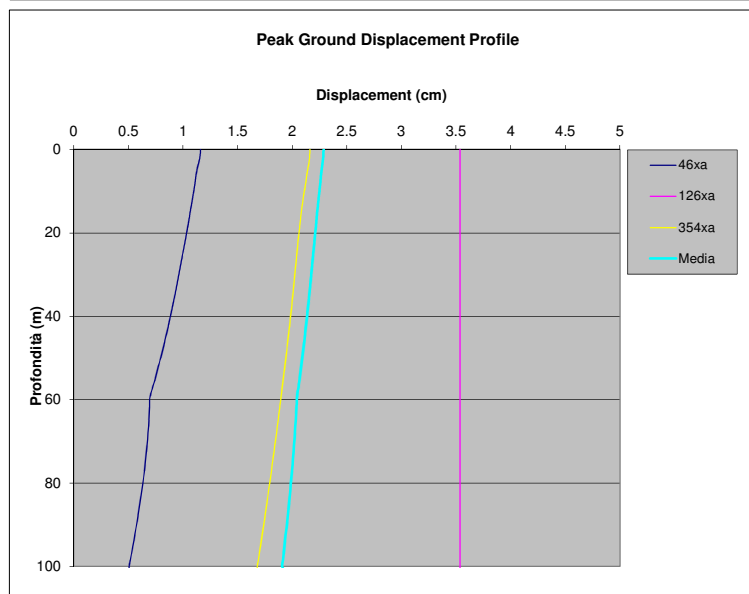
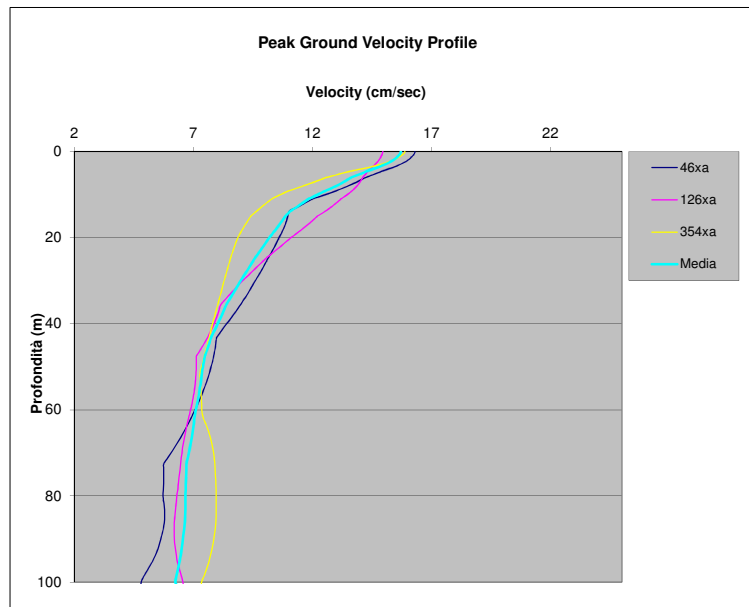
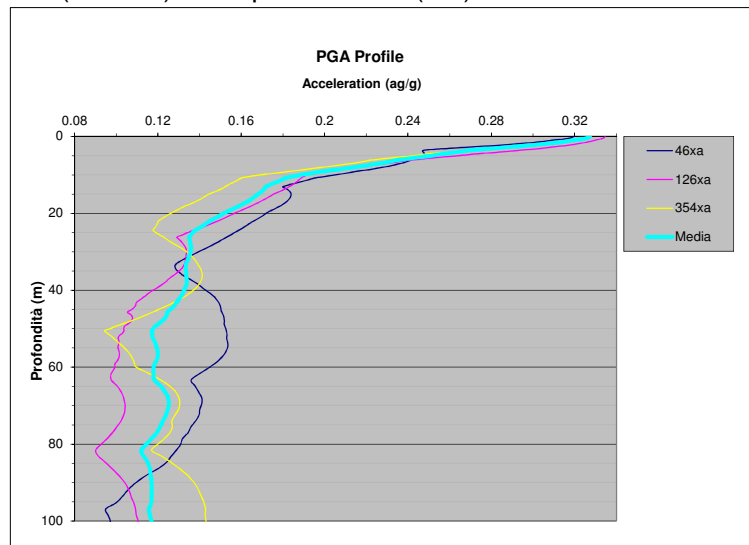


000126xa



000354xa

I logs della PGA/profondità, PGV/profondità e Spostamento/Profondità dei tre sismi sono rappresentati nei grafici seguenti, dove in ordinata c'è la profondità (m) ed in ascissa rispettivamente l'accelerazione (g), la velocità (cm/sec) e lo spostamento (cm):



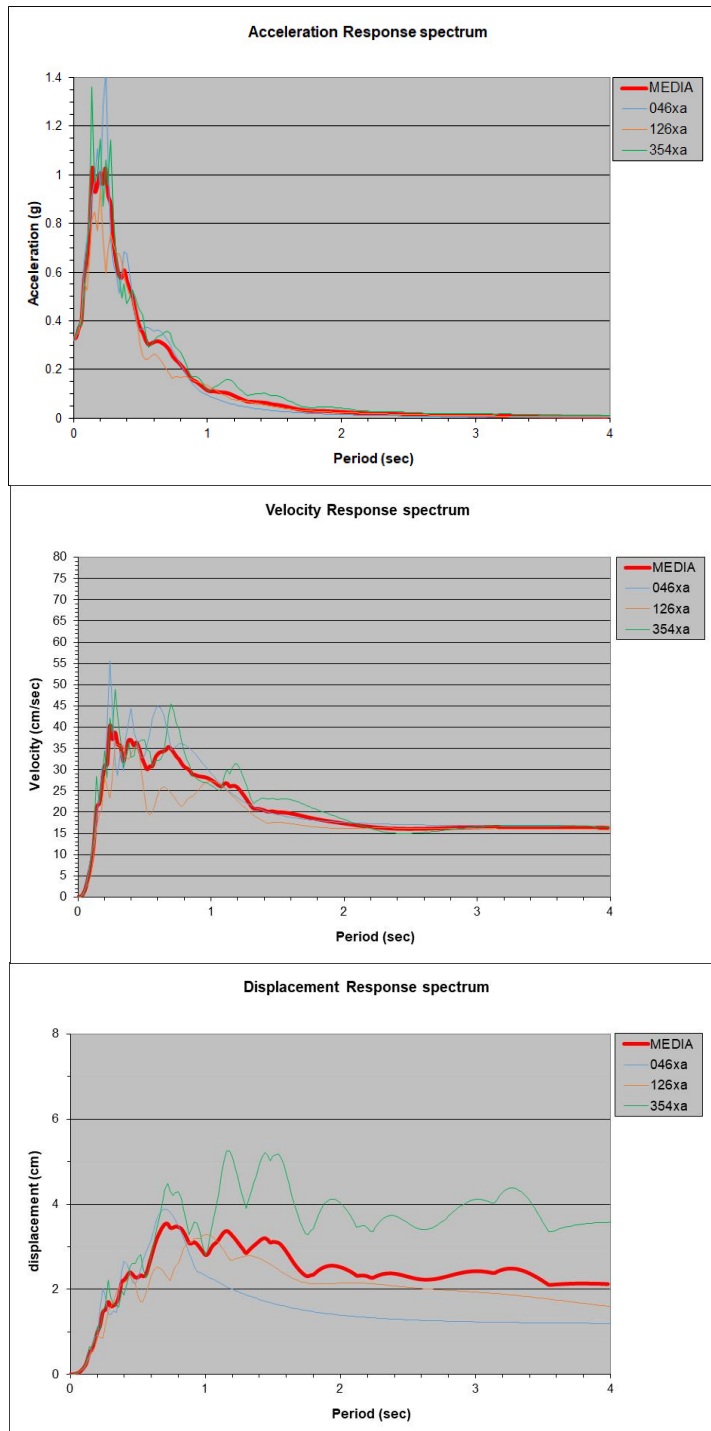
I valori medi di accelerazione massima (PGA), di velocità massima (PGV) e di spostamento (PGD) relativi agli accelerogrammi convoluti con Strata alle quote di riferimento assunte indicativamente al piano campagna mt sono i seguenti:

Superficie di riferimento: piano campagna

PGA	PGV	PGD
0.327 g	15.71 cm/sec	2.28 cm

I rapporti PGA/arefg e, quindi, il fattore di amplificazione in termini di PGA (FA_{PGA}) alla superficie di riferimento risulta: **$FA_{PGA} = 1.785$**

Lo spettro di risposta superficiale di ciascun sito viene sintetizzato nei seguenti grafici per i tre sismi unitamente a quello medio relativamente alla pseudo-accelerazione spettrale PSA, alla pseudo-velocità spettrale PSV ed allo spostamento PSD per uno smorzamento $\xi = 5.0\%$, in rosso è riportata la curva media di sintesi:

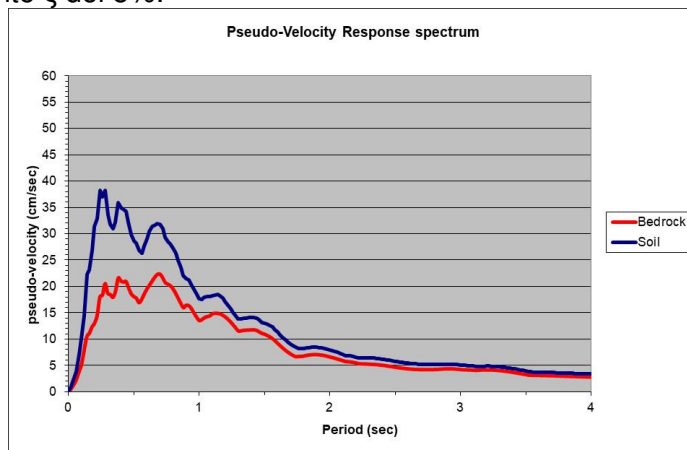


I risultati di questa analisi sono utilizzabili per il calcolo del fattore SI, Intensità di Housner, come richiesto nel terzo livello di approfondimento, definito dalla relazione:

$$SI = \int_{T1}^{T2} PSV_{(\xi=5\%)} dt \quad \text{dove PSV è lo spettro di risposta in pseudo velocità}$$

L'Intensità di Housner (SI) è un indicatore della pericolosità sismica ed è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudo velocità in un intervallo prefissato di frequenze ed è direttamente correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante un terremoto, e quindi espressione del possibile grado di danneggiamento degli edifici e/o opere.

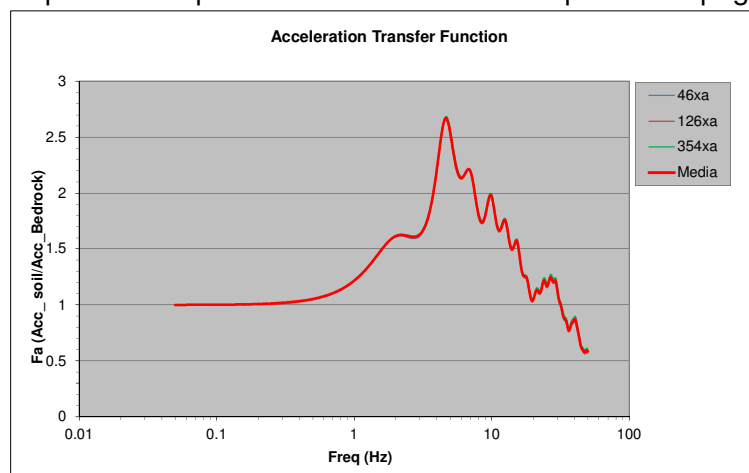
Tramite SeismoSignal e SeismoMatch sono stati elaborati i segnali di output ottenendo gli spettri medi in Pseudo-velocità PSV sia al bedrock che in superficie, integrando i quali si ricava il valore dell'Intensità di Housner al bedrock (SI₀) ed in superficie (SI) nel range di primaria importanza per le strutture ovvero negli intervalli tra 0.1-0.5 sec, 0.5-1.0 sec, 0.5-1.5 sec e 0.1-2.5 sec (tra 0.4 Hz e 10 Hz) con smorzamento ξ del 5%:



Quindi tramite il rapporto SI/SI₀ è possibile desumere anche il relativo fattore di amplificazione (FA):

	Periodo	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	0.1-0.5	6.792155	12.461141	1.835
INT SPETT.	0.5-1.0	9.627480	13.792061	1.433
INT SPETT.	0.5-1.5	16.115741	21.694143	1.346
INT SPETT.	0.1-2.5	29.162679	41.625551	1.427

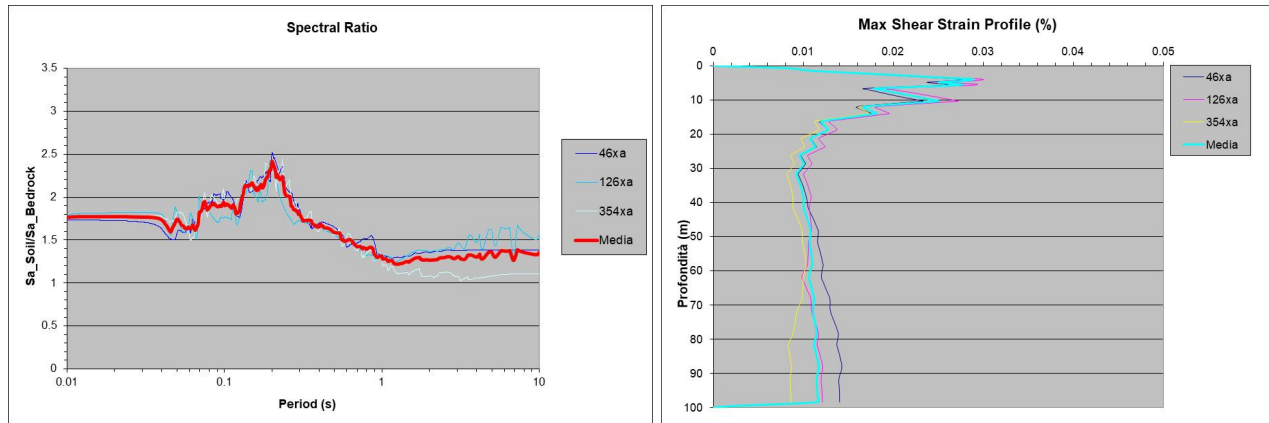
Nei grafici seguenti viene presentato la funzione di trasferimento con relativo Fattore di Amplificazione considerando gli accelerogrammi applicati in posizione di "Outcrop", determinandone quindi il rapporto tra la risposta su superficie libera al bedrock ed piano campagna:



Dall'analisi monodimensionale, nell'ambito dei periodi di interesse, si possono rilevare frequenze di amplificazione di riferimento per i seguenti valori (f =valore di frequenza; F_a =fattore di amplificazione):

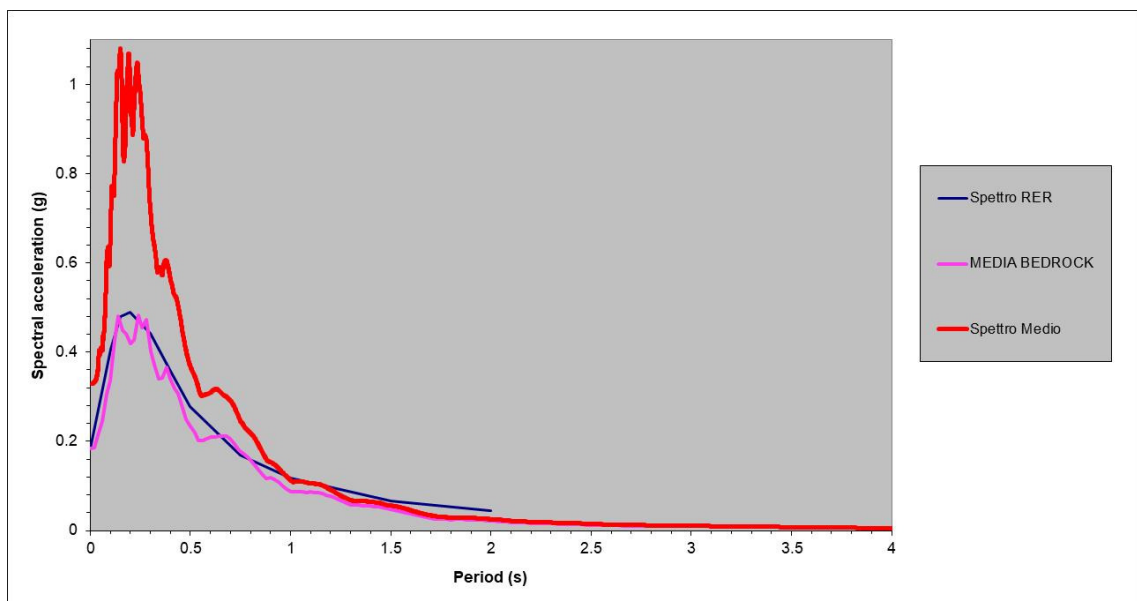
$f = 2.20$ hz	$F_a = 1.62$
$f = 4.65$ hz	$F_a = 2.65$
$f = 6.82$ hz	$F_a = 2.20$
$f = 9.85$ hz	$F_a = 1.98$

Di seguito vengono altresì illustrati anche i diagrammi con i rapporti spettrali ed i profili che evidenziano la massima deformazione di taglio (Shear strain %) con la profondità:



In ultimo per meglio evidenziare gli effetti occorsi nei segnali a seguito delle analisi di convoluzione in superficie, si ritiene opportuno raffrontare gli spettri elastici medi finali con quello medio di input al bedrock, per le necessarie valutazioni progettuali/urbanistiche, in relazione alla caratteristiche di pericolosità sismica ed alla natura dei terreni.

SPETTRO ELASTICO MEDIO in output alla superficie di riferimento = piano campagna



Sulla base dell'utilizzo degli accelerogrammi forniti dalla Regione Emilia Romagna per gli studi di microzonazione sismica e dalla sovrapposizione degli spettri in input ed output, è possibile apprezzare la significativa amplificazione del segnale soprattutto negli ambiti ad alta frequenza (bassi

periodi, mentre già per periodi $T \geq 0.45$ s le ampiezze spettrali tendono a diminuire drasticamente, portandosi su valori prossimi o confrontabili con quelli propri dello spettro al bedrock, tipico per terreni rigidi. Tale comportamento, oltre alle caratteristiche degli input sismici utilizzati, è imputabile alla presenza, già dal primo sottosuolo, di terreni dotati di significativa rigidità sino al bedrock, in grado di indurre modi caratteristici di vibrazione prevalentemente alle medie-alte frequenze, determinando un modesto comportamento deformativo ed una bassa capacità dissipativa.

6.4 Analisi di RSL allo SLV – DM 17/01/2018

6.4.1 Sismicità dell'area e pericolosità sismica di base

Per quanto riguarda le caratteristiche sismogenetiche e di pericolosità sismica di base dell'area ci si rapporta a quanto già esplicitato al Par. 5, con particolare riferimento alle zone sismogenetiche illustrate nel database DISS3, alle considerazioni sulla sismicità storica ed al valore di M_{wmax} appropriato per il caso in esame che, come previsto dalla Zonazione ZS9 (Rapporto Conclusivo GdL INGV, 2004) per la zona n. 917, risulta $M_w=6.14$.

Nel caso specifico, **su indicazione della progettazione, si definiscono i parametri relativi ad un fabbricato in classe d'uso III, vita nominale delle opere $V_n \geq 50$ anni, vita di riferimento di 75 anni e per un tempo di ritorno di 712 anni relativo allo "Stato Limite di Salvaguardia della Vita"**.

L'azione sismica sul modello geotecnico è valutabile a partire da una "pericolosità sismica di base", in condizioni ideali di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria "A" nelle NTC). Le valutazioni della "pericolosità sismica di base" derivano da studi condotti a livello nazionale, su dati aggiornati, con procedure trasparenti e metodologie validate.

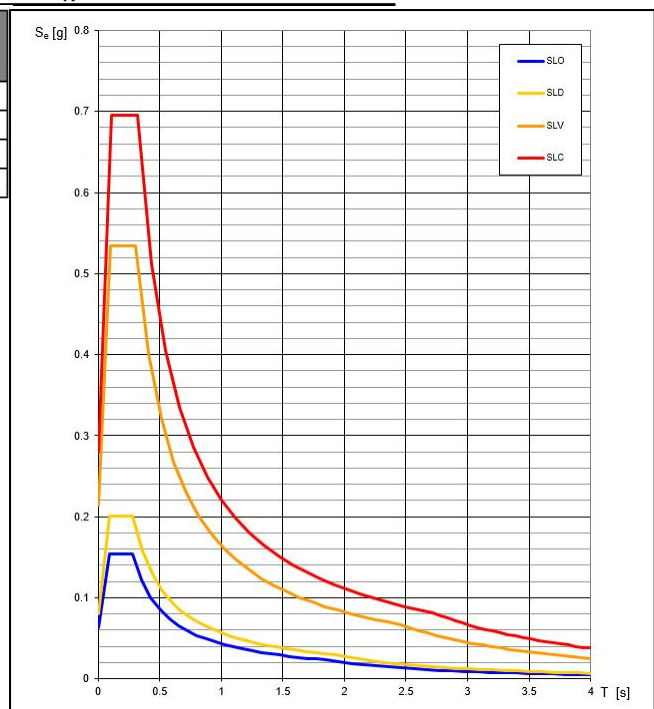
Allo stato attuale, la pericolosità sismica su reticolo di riferimento nell'intervallo di riferimento è fornita sia dai dati pubblicati sul sito <http://esse1.mi.ingv.it/> che definibile dal foglio excel scaricabile sul sito LL.PP denominato "Spettri-NTCver.1.0.3". Le forme spettrali previste dalle NTC, sulla base di analisi disaggregazione, sono definite, su sito di riferimento rigido orizzontale, in funzione dei tre parametri a_g - F_o - T_c .

Tali forme spettrali sono contraddistinte da prescelte probabilità di superamento e vite di riferimento della costruzione (insieme definiscono il "periodo di ritorno dell'azione sismica), per individuare a partire dai dati di pericolosità sismica disponibili le seguenti azioni sismiche:

Coordinate di sito (ED50): Longitudine: 12.542175 – Latitudine: 44.01817

Valori dei parametri a_g , F_o , T_c^* per i periodi di ritorno T_R associati a ciascuno SL

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	45	0.063	2.463	0.279
SLD	75	0.080	2.521	0.283
SLV	712	0.214	2.498	0.307
SLC	1462	0.280	2.486	0.319



Pertanto per quanto riguarda l'area in oggetto, le carte del progetto INGV S1 (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>), nel nodo più vicino, prevedono per un periodo di ritorno di 475 anni (10% di probabilità di eccedenza in 50 anni) un valore del picco di accelerazione orizzontale atteso (PGA) compreso nell'intervallo 0.175-0.200 g e nell'intervallo 0.225-0.250 g per un tempo di ritorno pari a 975 anni (5% di probabilità di eccedenza in 50 anni). Interpolando linearmente i valori tabellati si ottiene un valore di 0.214g per un tempo di ritorno di 712 anni.

Diversamente l'analisi di disaggregazione fornita (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) suggerisce per un periodo di ritorno di 975 anni la terna di valori medi $M_w=5.180$, distanza=7.36 Km ed $\epsilon=0.951$. Per il periodo di ritorno di 475 anni gli stessi valori medi diventano $M_w=5.140$, distanza=9.14 Km ed $\epsilon=0.777$. Secondo tale analisi i valori di magnitudo sembrano sottostimare quelli desumibili dalla storia sismica locale degli eventi più significativi e dalle previsioni della zonazione ZS9, mentre le distanze epicentrali sono compatibili con questi ultimi e con le zone sismogenetiche del catalogo DISS3 (Fig.1).

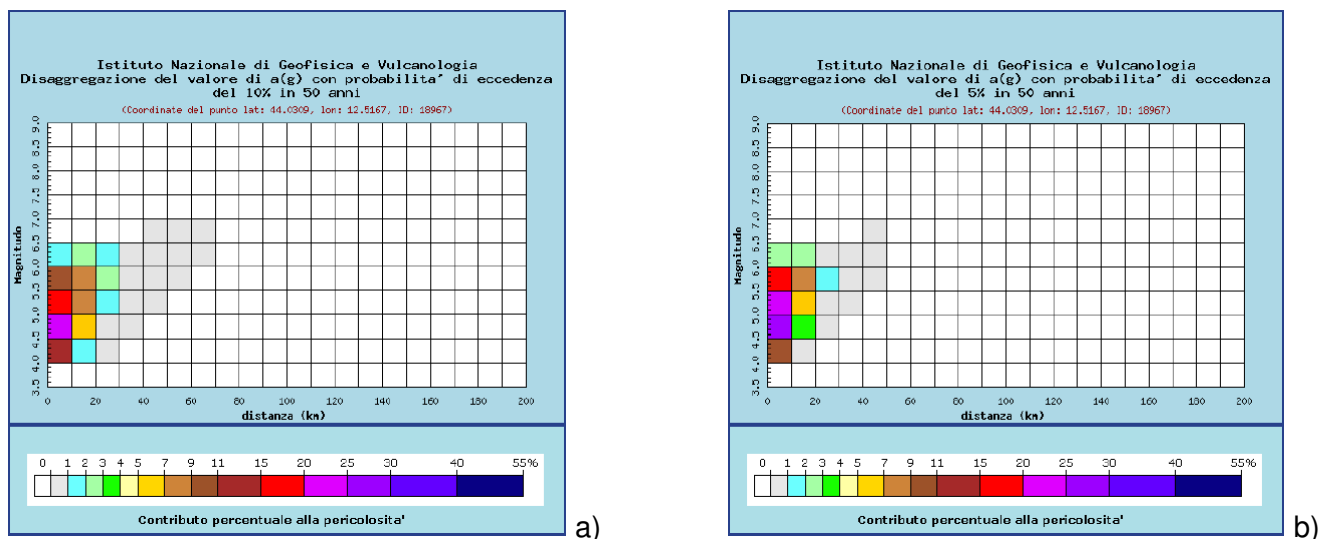


Figura 1. Risultati dell'analisi di disaggregazione per il nodo più vicino all'area in studio secondo le stime di pericolosità sismica del territorio nazionale e relative ad un periodo di ritorno di 475 (a) e 975 (b) anni. (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>)

Quindi l'azione sismica individuata tramite spettri di risposta elastici diviene di riferimento per caratterizzare la pericolosità sismica locale in funzione degli stati limite e per la scelta dei segnali utili alla risposta sismica locale; inoltre per la scelta delle distanze epicentrali utili alla ricerca degli accelerogrammi, di riferimento e/o che possono dare maggior contributo alla pericolosità sismica dell'area, diviene un importante riferimento l'analisi di disaggregazione (INGV S1) nonché specifiche valutazioni derivabili dal progetto DISS3.

6.4.2 Accelerogrammi – segnali di input per analisi numeriche

La scelta dei segnali di input (accelerogrammi) necessari allo sviluppo del modello di calcolo monodimensionale Equivalente-Lineare (EQL) viene condotta, sulla scorta dei parametri generali precedentemente definiti, da un lato secondo il criterio di spettro-compatibilità e dall'altro di coerenza e similitudine con le caratteristiche sismogenetiche dell'area in studio, di magnitudo del terremoto atteso e distanza epicentrale.

Le valutazioni generali sulla base di magnitudo, distanze epicentrali, meccanismi focali e spettro-compatibilità, hanno fatto convergere sulla scelta di n. 7 accelerogrammi di riferimento, attraverso una procedura di spettrocompatibilità con lo spettro normativo di riferimento allo SLV e ritenuti utili ad investigare il comportamento del modello di sottosuolo con i metodi adottati.

Gli accelerogrammi sono stati selezionati tramite IN-SPECTOR¹ vers. Rev-007, uno strumento software reso disponibile dagli autori G. Acunzo, A. Pagliaroli, G. Scasserra presso CNR –

IGAG, Roma e sviluppato al fine di addivenire ad una ricerca di segnali spettrocompatibili su una base di parametri di ricerca (magnitudo, distanza epicentrale, intensità di Arias, durata significativa, ecc.), con a monte un'analisi preliminare di disaggregazione sulla quale definire lo spettro elastico di riferimento.

Le combinazioni di segnali sono stati ricercati e selezionati utilizzando le seguenti banche dati:

- Banca dati europea ISESD²
- SIMBAD³ *Selected Input Motions for displacement - Based Assessment and Design* sviluppato in seno al Politecnico di Milano.
- ITACA (ITalian ACcelerometric Archive)⁴.

1)

G. Acunzo, A. Pagliaroli, G. Scasserra

IN-SPECTOR: un software di support alla selezione di accelerogrammi naturali spettrocompatibili per analisi geotecniche e strutturali.

33° *Convegno Nazionale GNGTS, Bologna 25-27 Novembre 2014, volume2, 107-114, ISBN: 978-88-940442-2-5.*

2)

Ambraseys, N., Smit, P., Sigbjornsson, R., Suhadolc, P. and Margaris, B.

Internet-Site for European Strong-Motion Data,

European Commission, Research-Directorate General, Environment and Climate Programme (2002)

<http://www.isesd.cv.ic.ac.uk/ESD/>

3)

SIMBAD: a database with Selected Input Motions for displacement-

Chiara Smerzini & Roberto Paolucci

Department of Structural Engineering Politecnico di Milano, ITALY - 2011

4)

Luzi L, Pacor F, Puglia R (2017).

Italian Accelerometric Archive v 2.3.

INGV. doi: 10.13127/ITACA.2.3

La coppia Mw e distanza epicentrale di riferimento è stata valutata, oltre che nei confronti delle caratteristiche di pericolosità sismica generale richiamate al precedente paragrafo (Mw= 6.14) e della vicinanza alle sorgenti sismogenteiche (distanza epicentrale max contributo da disaggregazione=7.36-9.14 Km). Dal grafico di disaggregazione è apprezzabile come il sostanziale contributo alla pericolosità si concentri per sorgenti entro i 20 Km di distanza mentre, per eventi con magnitudo maggiori di 6.0, una modesta aliquota venga fornita anche da eventi più distanti (30-60 km).

Di seguito quindi si riporta una tabella riepilogativa dei segnali selezionati dai database sopracitati (in funzione anche delle distanze epicentrali), adattati poi tramite opportuni fattori di scala, al fine di ottenere la spettrocompatibilità entro ambiti di tolleranza pari a -10% e +30% rispetto allo spettro target di progetto:

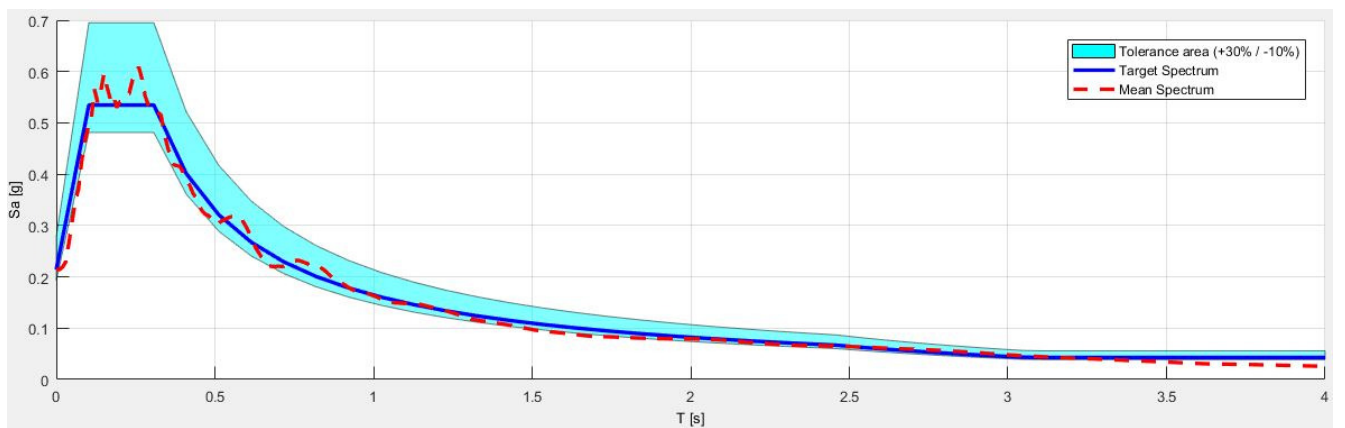
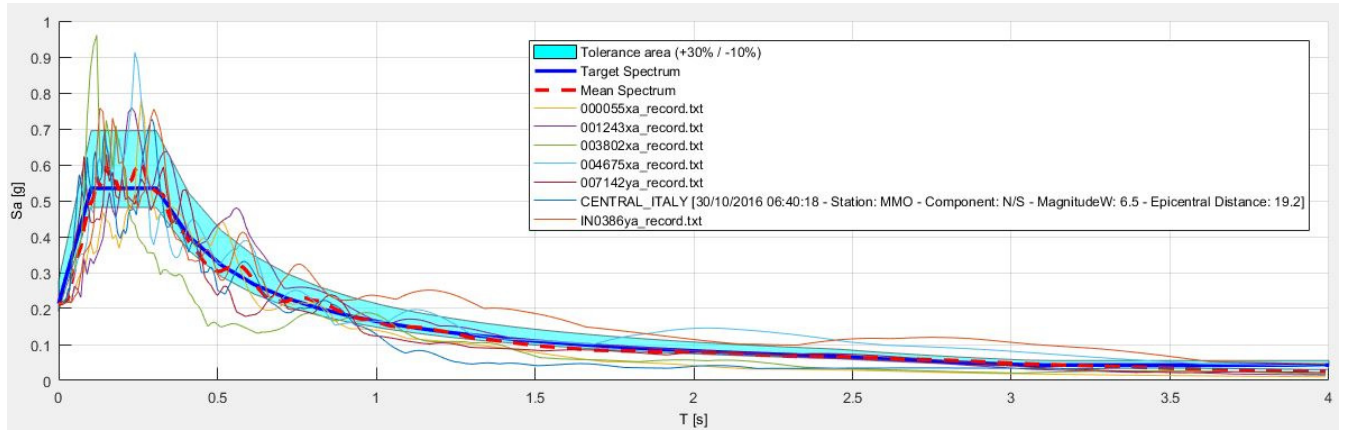
Event	Earthquake	Date	MW	Epic. Distance [Km]	Subsoil class (EC8)	SF	Drms	Ia [cm/s]	SD [s]	Fault Mechanism
000055xa	Friuli	06/05/1976	6.5	23	A	0.600	0.019	28.765	4.35	thrust
001243xa	Izmit (aftershock)	13/09/1999	5.8	15	A	2.942	0.023	31.681	6.09	oblique
003802xa	SE of Tirana	09/01/1988	5.9	7	A	1.886	0.033	33.878	6.13	thrust
004675xa	South Iceland	17/06/2000	6.5	13	A	1.626	0.022	42.808	4.48	strike slip
007142ya	Bingol	01/05/2003	6.3	14	A	0.720	0.014	42.752	6.79	strike slip
MMO-HGN	CENTRAL_ITALY	30/10/2016	6.5	19.2	A*	1.134	0.020	71.625	12.8	normal
IN0386ya	Christchurch	13/06/2011	6	5.1	A*	0.379	0.027	71.860	9.16	reverse
Mean:			6.21	13.76		1.33	0.02	46.20	7.11	

Quale criterio di scelta, fra tutte le combinazioni (settuple), si è ritenuto di utilizzare segnali registrati su suolo A, di magnitudo media comparabile con la Mwmax attesa per il sito, considerando l'adeguatezza dei meccanismi focali al contesto sismogenetico che minimizzi il fattore di scala e il valore Drms.

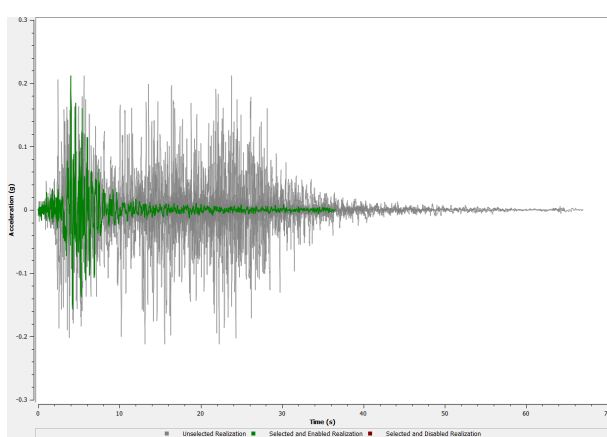
Nella scelta si è altresì cercato di accostare singoli segnali per ciascun evento sismico, con accelerogrammi che presentano una varabilità di parametri come durata (aspetto fortemente dipendente dalla distanza nonché da fattori geologici e sismogenetici) e di frequenza fondamentale. In tal senso l'Intensità di Arias Ia (cm/s), oltre agli altri parametri, è stata utilizzata come indicatore per valutare il contenuto energetico rappresentativo di ciascun segnale.

Le singole distanze e quella media epicentrale pari a 13.76 km, derivabile dalla settupla prescelta, si ritengono adeguate e compatibili sia con i contributi di pericolosità derivabili da disaggregazione che rispetto agli eventi maggiormente significativi per la storia sismica locale.

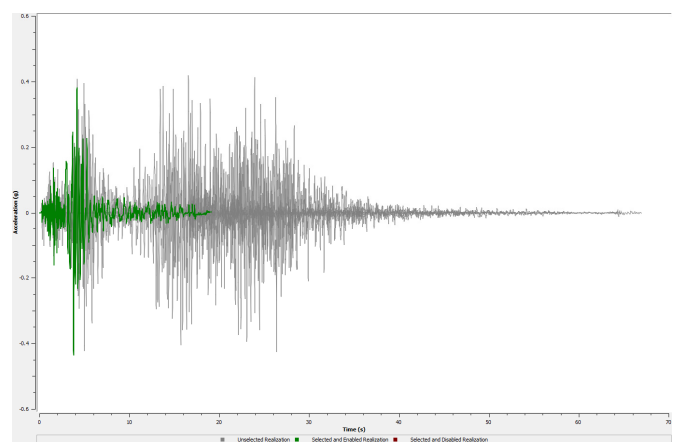
Gli accelerogrammi sono stati opportunamente scalati (SF = Scale Factor) al fine di garantire la migliore spettro-compatibilità nei possibili periodi di interesse progettuale ed essere utilizzati come input per le analisi 1D, ottenendo il minor fattore di scala medio possibile, pari a **FS = 1.33**.



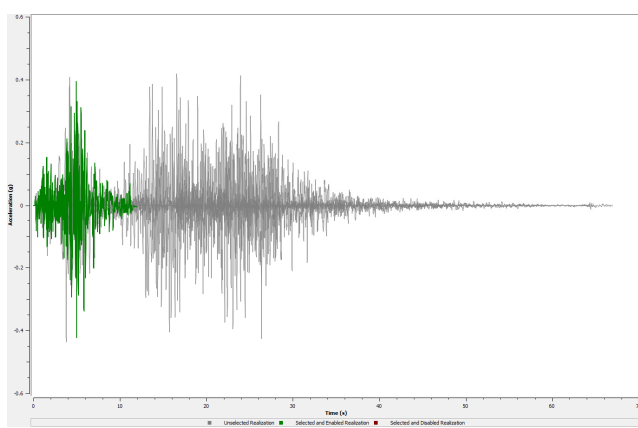
Accelerogrammi di input:



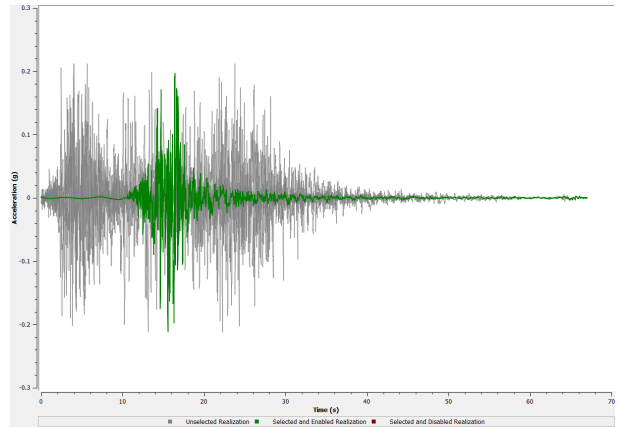
000055xa



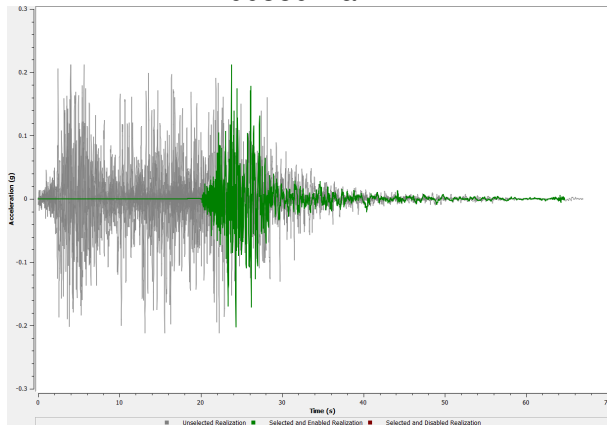
001243xa



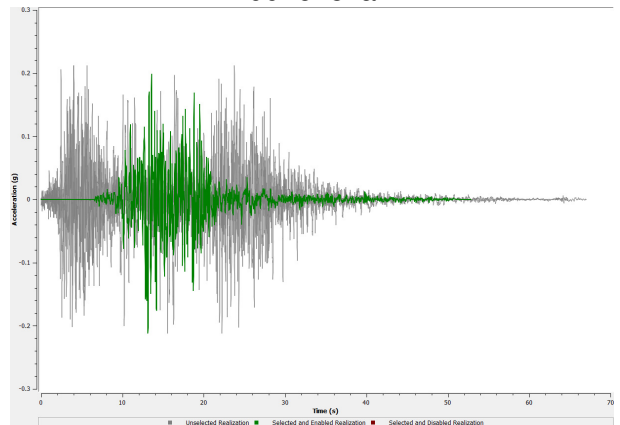
003802xa



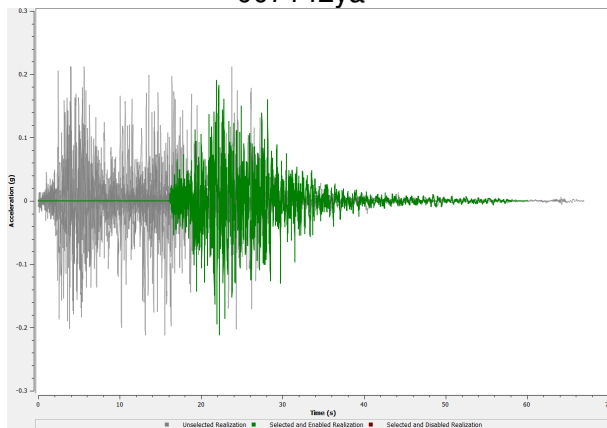
004675xa



007142ya



IN0386ya



MMO-HGN

Input Motion

	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	<input checked="" type="checkbox"/> Segnali Input\000055xa_record(scaled).txt		Outcrop	0.21	12.58	1.00
2	<input checked="" type="checkbox"/> Segnali Input\001243xa_record(scaled).txt		Outcrop	0.21	16.07	1.00
3	<input checked="" type="checkbox"/> Segnali Input\003802xa_record(scaled).txt		Outcrop	0.21	10.22	1.00
4	<input checked="" type="checkbox"/> Segnali Input\004675xa_record(scaled).txt		Outcrop	0.21	26.23	1.00
5	<input checked="" type="checkbox"/> Segnali Input\007142ya_record(scaled).txt		Outcrop	0.21	15.08	1.00
6	<input checked="" type="checkbox"/> Segnali Input\IN0386ya_record(scaled).txt		Outcrop	0.21	29.67	1.00
7	<input checked="" type="checkbox"/> Segnali Input\MMO..HGN(scaled).txt		Outcrop	0.21	12.94	1.00

6.4.3 ANALISI DI RISPOSTA SISMICA LOCALE SLV

L'analisi puntuale mediante Strata è stata riferita al piano campagna in condizioni di free field. I parametri di analisi generali adottati per la modellazione/discretizzazione sono i seguenti:

B. Type of Analysis

Analysis Method: Equivalent Linear (EQL)

Approach: Time Series

Properties Varied: False

C. Layer Discretization

Maximum frequency: 20 Hz

Wavelength fraction: 0.1

D. Equivalent Linear Parameters

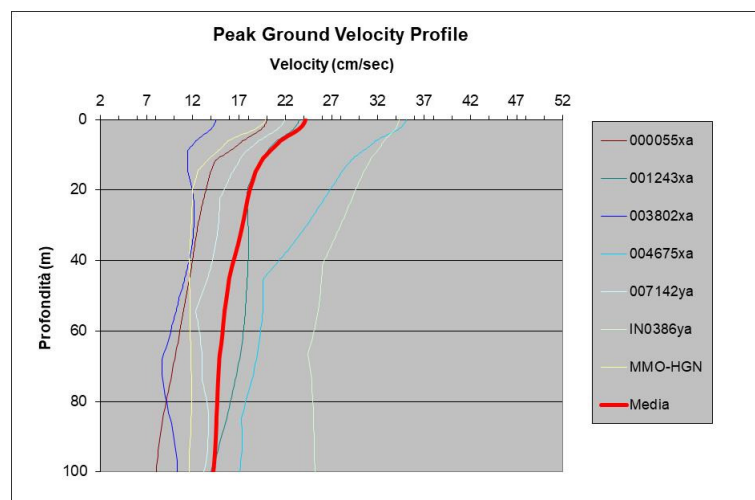
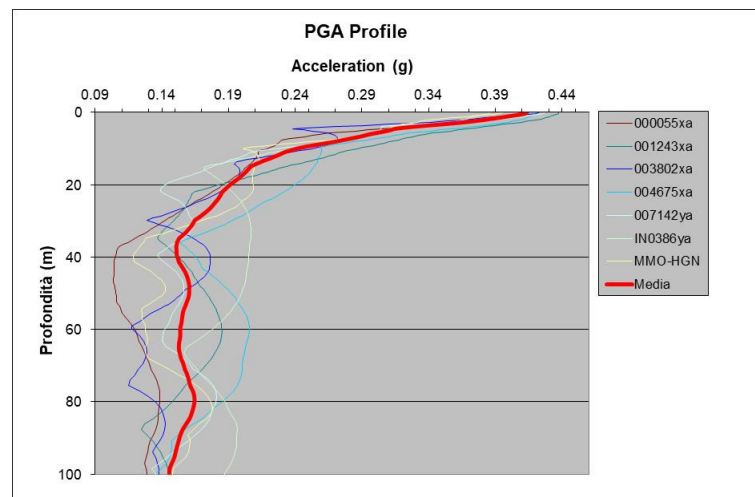
Effective strain ratio: 0.65 Hz

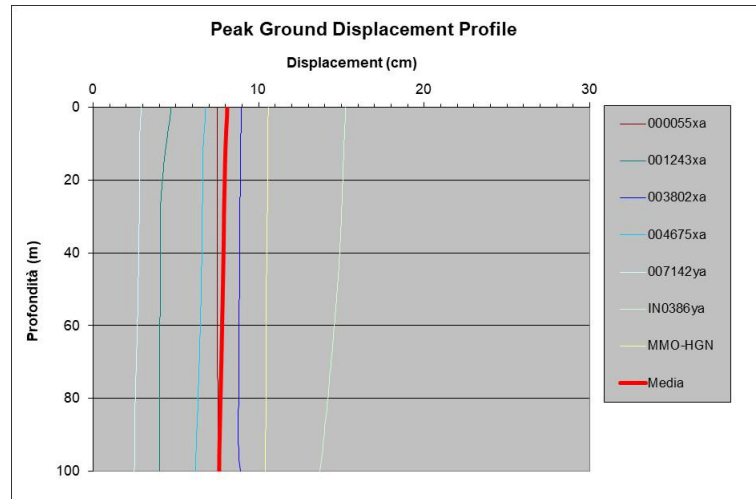
Error tolerance: 2

Maximum number of iterations: 10

Quindi dal modello di calcolo monodimensionale EQL mediante Strata si sono ottenuti gli accelerogrammi convoluti al piano campagna e, attraverso successive procedure di integrazione dei segnali in accelerazione, è possibile altresì generare le corrispondenti serie temporali in termini di Tempo/Velocità e Tempo/Spostamento.

Con l'involuppo dei valori massimi lungo la verticale, si sono ottenuti i profili dei massimi di PGA/profondità, PGV/profondità, Spostamento/Profondità dei sismi selezionati; nei grafici seguenti vengono quindi rappresentati con la profondità (m) in ordinata ed in ascissa rispettivamente accelerazione (g), velocità (cm/sec), spostamento (cm):





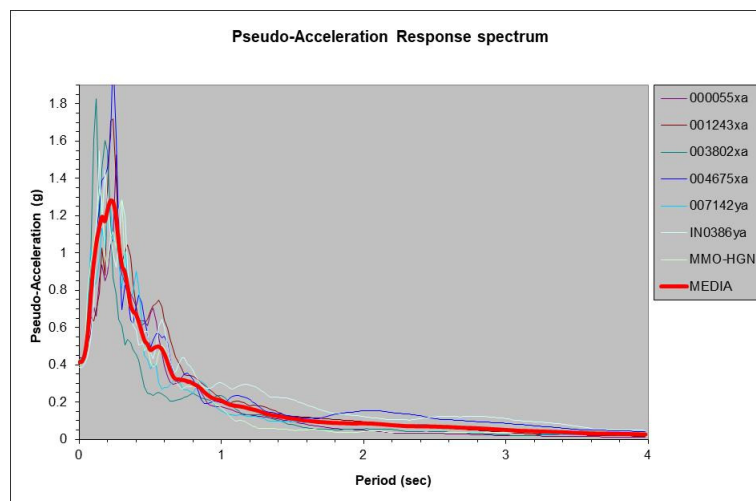
I valori medi di accelerazione massima (*PGA*), di velocità massima (*PGV*) e di spostamento (*PGD*) relativi agli accelerogrammi convoluti con Strata alle quote di riferimento assunte indicativamente al piano campagna mt sono i seguenti:

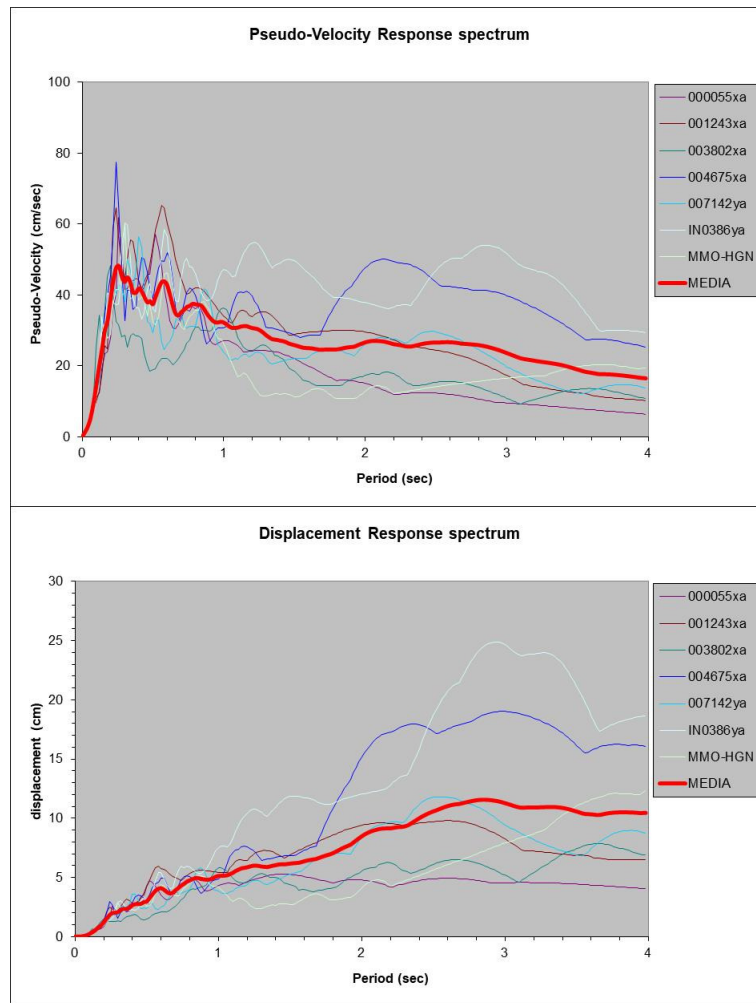
Superficie di riferimento: piano campagna

<i>PGA</i>	<i>PGV</i>	<i>PGD</i>
0.413 g	24.17 cm/sec	8.09 cm

I rapporti PGA/PGA_0 (PGA_0 = accelerazione al bedrock) e, quindi, il fattore di amplificazione in termini di *PGA* (FA_{PGA}) alla superficie di riferimento risulta: **$FA_{PGA} = 1.953$**

Dall'analisi condotta nel dominio delle frequenze lo spettro di risposta superficiale di sito viene sintetizzato nei seguenti grafici per i tutti sismi unitamente a quello medio relativamente alla pseudo- accelerazione *PSA*, alla pseudo-velocità spettrale *PSV* ed allo spostamento *PSD* per uno smorzamento $\xi = 5.0 \%$, in rosso è riportata la curva media di sintesi:



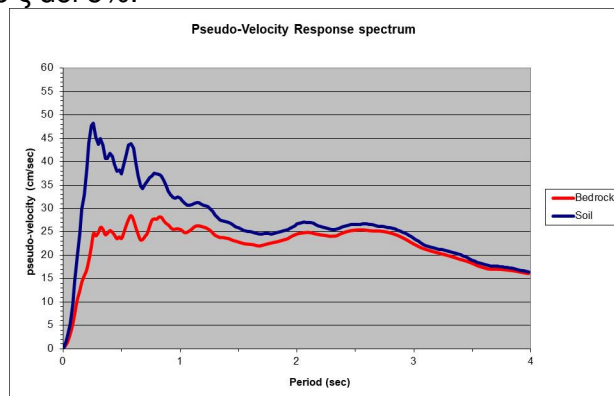


I risultati di questa analisi sono utilizzabili per il calcolo del fattore SI, *Intensità di Housner*, come richiesto nel terzo livello di approfondimento, definito dalla relazione:

$$SI = \int_{T1}^{T2} PSV_{(\xi=5\%)} dt \quad \text{dove PSV è lo spettro di risposta in pseudo velocità}$$

L'Intensità di Housner (SI) è un indicatore della pericolosità sismica ed è definito come l'area sottesa dello spettro di risposta di pseudo velocità in un intervallo prefissato di frequenze ed è direttamente correlabile all'energia che viene dissipata nelle strutture durante un terremoto, e quindi espressione del possibile grado di danneggiamento degli edifici e/o opere.

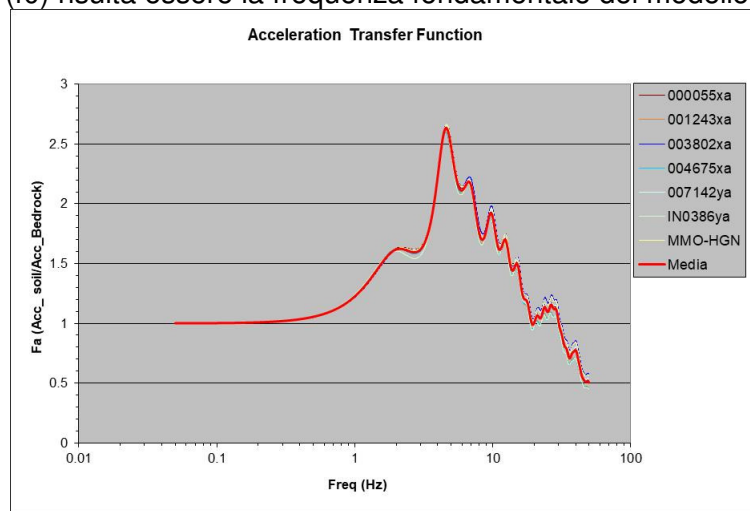
Tramite SeismoSignal e SeismoMatch sono stati elaborati i segnali di output ottenendo gli spettri medi in Pseudo-velocità PSV sia al bedrock che in superficie, integrando i quali si ricava il valore dell'Intensità di Housner al bedrock (SI_0) ed in superficie (SI) nel range di primaria importanza per le strutture ovvero negli intervalli tra 0.1-0.5 sec, 0.5-1.0 sec, 0.5-1.5 sec e 0.1-2.5 sec (tra 0.4 Hz e 10 Hz) con smorzamento ξ del 5%:



Quindi tramite il rapporto S_i/S_{i0} è possibile desumere anche il relativo fattore di amplificazione (FA):

	Periodo	Bedrock	Soil	FA
INT SPETT.	0.1-0.5	8.565622	15.615180	1.823
INT SPETT.	0.5-1.0	13.570188	19.168726	1.413
INT SPETT.	0.5-1.5	25.937201	33.798551	1.303
INT SPETT.	0.1-2.5	57.750333	74.374667	1.288

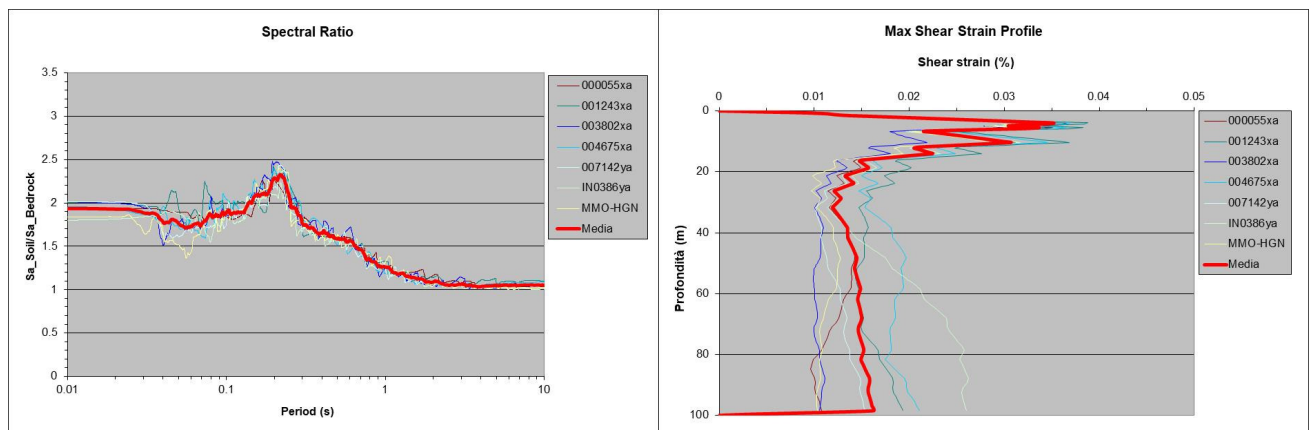
Nei grafici seguenti, per ciascuna zona, viene presentata la funzione di trasferimento con relativo Fattore di Amplificazione considerando gli accelerogrammi applicati in posizione di "Outcrop" sul bedrock geofisico in profondità e determinandone quindi la risposta su superficie libera al piano campagna. Quindi dall'analisi monodimensionale equivalente lineare si possono rilevare picchi significativi di amplificazione (Fa_i =fattore di amplificazione) per determinate frequenze caratteristiche f_i , di cui la più bassa (f_0) risulta essere la frequenza fondamentale del modello analizzato:



Dall'analisi monodimensionale, nell'ambito dei periodi di interesse, si possono rilevare frequenze di amplificazione di riferimento per i seguenti valori (f =valore di frequenza; Fa =fattore di amplificazione):

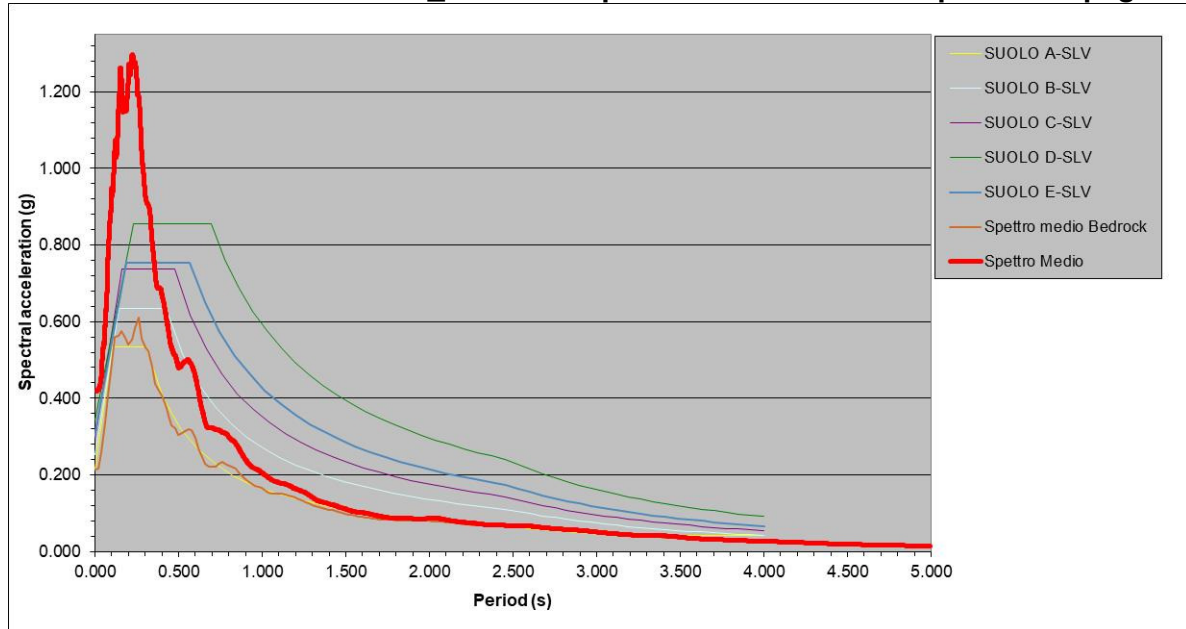
- $f = 2.20 \text{ hz}$ $Fa = 1.64$
- $f = 4.61 \text{ hz}$ $Fa = 2.64$
- $f = 6.791 \text{ hz}$ $Fa = 2.21$
- $f = 9.80 \text{ hz}$ $Fa = 1.95$

Di seguito vengono altresì illustrati anche i diagrammi con i rapporti spettrali ed i profili che evidenziano la massima deformazione di taglio (Shear strain %) con la profondità:



A titolo puramente illustrativo si ritiene opportuno comparare gli spettri elastici ritenuti caratteristici per il sito in esame a seguito delle analisi di RSL effettuate (spettro medio) con quelli semplificati di normativa allo stato limite SLV per un $T_r=712$ anni; ciò potrà supportare le necessarie valutazioni progettuali, in relazione a ciascuna tipologia di opera e piani di riferimento per la stima dell'azione sismica e prestazioni attese.

SPETTRO ELASTICO MEDIO_SLV alla superficie di riferimento = piano campagna



7 CONCLUSIONI GENERALI RSL

L'area in studio in virtù dei dati sperimentali e delle caratteristiche geologico-morfologiche del sito presenta un comportamento dinamico sostanzialmente omogeneo e tale da consentire l'esecuzione di analisi secondo modelli 1D. Al proposito si sono utilizzati segnali sismici conformi sia alla normativa regionale (per quanto riguarda la pianificazione urbanistica e le problematiche di microzonazione sismica) sia alle nuove NTC 2018 per quanto riguarda le necessità di progettazione allo SLV.

Chiaramente i diversi gradi di pericolosità sismica di base vengono tenuti in conto anche dalle differenti condizioni di spetrocompatibilità dei segnali di input che, per la progettazione di opere di Classe III, risultano più severi rispetto ai segnali regionali e, data la significativa rigidità dei terreni (valori elevati di VS su grandi spessori di sottosuolo), portano a fattori di amplificazione leggermente superiori, soprattutto ai bassi periodi spettrali.

Da quanto sopra risulta evidente i picchi di amplificazione sono generalmente condizionati dai contrasti di rigidità fra i vari sismostrati sovrapposti ovvero dalla loro continuità e, chiaramente, dalla posizione e rigidità del bedrock sismico.

In particolare la presenza di una sottile copertura superficiale a bassa velocità a immediato contatto con i terreni sovraconsolidati della formazione marina (dapprima moderatamente decompressa e poi inalterata) di significativa rigidità, fa sì che lungo la colonna di terreno studiata la propagazione delle onde sismiche nei livelli più deformabili induca solo modeste deformazioni ($\epsilon \leq 0.035\%$), quasi alla stregua della condizione elastica lineare; ciò comporta un limitato effetto di smorzamento e di dissipazione energetica.

In ogni caso in sede di progettazione, onde dimensionare adeguatamente gli apparati fondali alle azioni/momenti taglianti prevedibili nonché conseguenti effetti di interazione cinematica, sarà opportuno valutare le deformazioni massime di taglio (max shear strain) attese alle zone di interfaccia maggiormente significative.

Il massimo picco di amplificazione registrabile in termini di ampiezza delle accelerazioni spettrali viene rilevato nell'ambito di periodi compresi fra 0.15 e 0.25 s, dopodiché si determina una rapida diminuzione delle ampiezze che da $T \geq 0.41$ s divengono addirittura inferiori a quelle proprie dello spettro di normativa di categoria B (allo SLV).

In ogni caso per periodi spettrali $T \leq 0.33$ s lo spettro medio evidenzia ampiezze superiori anche allo spettro di categoria D.

Tale modalità di risposta risulta chiaramente condizionata da terreni compatti a media – elevata rigidità sismica, con un assetto litostratigrafico caratterizzato da contrasti di impedenza significativi solo a bassa profondità, in grado di concentrare gli effetti di amplificazione prevalentemente su range di frequenze da medie ad elevate.

Per quanto attiene alla progettazione esecutiva, con riferimento allo SLV ed in funzione dei modi di vibrare propri delle opere in progetto, si dovrà fare riferimento ai risultati illustrati al Paragrafo 6.4, potendo altresì risultare utile un raffronto con i corrispondenti spettri di normativa (riferiti alla Classe III Vn 50) al fine di valutare le accelerazioni spettrali attese nei range di interesse, nonché le prestazioni attese dalle opere ed il comportamento del sistema terreno/struttura.

Il Progettista in funzione delle esigenze progettuali e delle relative metodologie di analisi/calcolo potrà utilizzare, per quanto attiene il solo SLV oggetto di calcolo, lo spettro elastico “medio” (vedi tabelle numeriche in allegato n. 7), oppure determinare sullo stesso adeguate forme spettrali semplificate e coerenti con le metodologie normative adottate per la “normalizzazione” (formulazione 3.2.4 – 3.2.9 delle NTC 2018). In alternativa potrà altresì scegliere lo spettro rappresentativo, fra quelli selezionati, secondo una adeguato percentile di riferimento della distribuzione di dati (in relazione al grado di confidenza ricercato) o, addirittura, selezionare quello maggiormente penalizzante per i fini progettuali.

Allo stesso modo gli “spettri di progetto” dovranno essere elaborati e/o scalati (se di tipo semplificato) secondo opportuni valori di Damping (fattore di smorzamento), differente dal 5% adottato per la definizione dello spettro elastico in free field e dipendente dal fattore di struttura di progetto (in base alle caratteristiche strutturali dell'opera e/o dell'interazione opera/terreno).

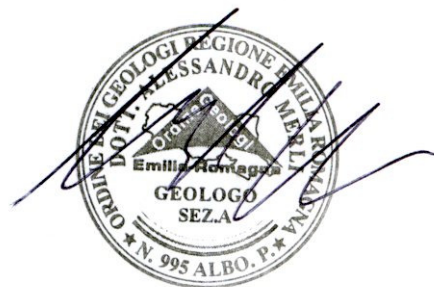
Qualora risultasse necessario valutare selettivamente i singoli accelerogrammi (e/o relativi spettri elastici), sia al bedrock che convoluti al piano campagna, sarà possibile farlo anche in funzione dei rispettivi parametri di scuotimento (ground motion parameter) riepilogati in allegato n. 5.

All'occorrenza ed in relazione alle esigenze progettuali andrà valutata l'interazione delle opere di fondazione ed in elevazione con le caratteristiche geotecniche e sismiche dei siti oggetto di studio, in relazione alle modalità realizzative, alle caratteristiche strutturali ed ai parametri di pericolosità sismica e di scuotimento definiti nel presente studio.

Per quanto riguarda gli aspetti di Microzonazione Sismica ex DGR 2193/2015 si potrà fare riferimento alle azioni sismiche (PGA) e fattori di amplificazione (SI/SI0) riepilogati al Paragrafo 6.3 del presente studio e, in particolare, a quanto illustrato alle pag. 27 e 28. I relativi parametri di scuotimento unitamente ai dati dello spettro medio ottenuto vengono riepilogati in allegato n. 4 e 6.

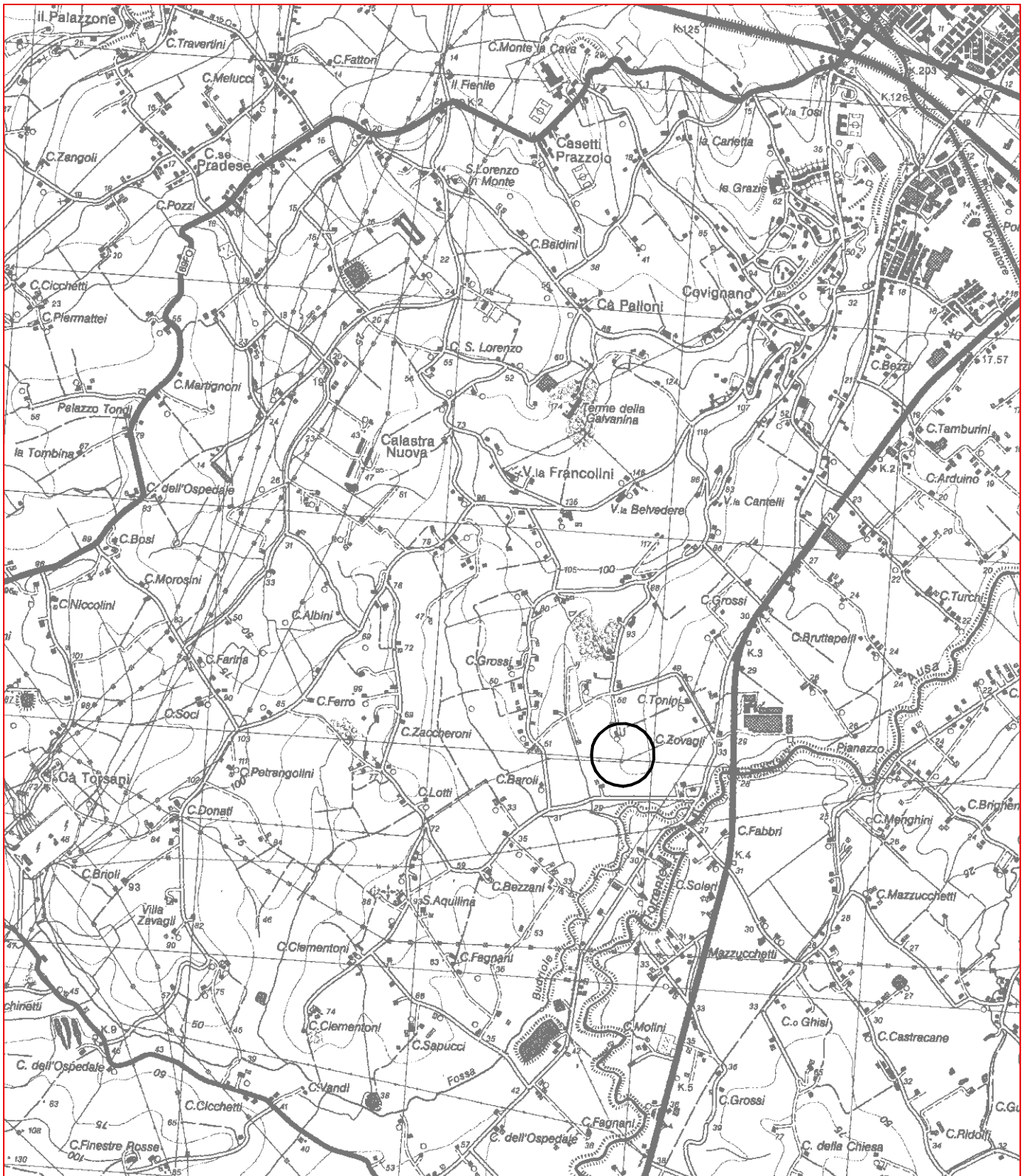
Un eventuale approfondimento delle indagini ed analisi sin qui condotte potrà essere sviluppato allo scopo di ottenere informazioni più puntuali sulle azioni sismiche nonché di natura geotecnica e sul comportamento dinamico e deformativo dei materiali in relazione alle soluzioni esecutive ed agli stati limite di riferimento, così come previsto nel DM 17/01/2018.

Rimini, gennaio 2019



ALLEGATI

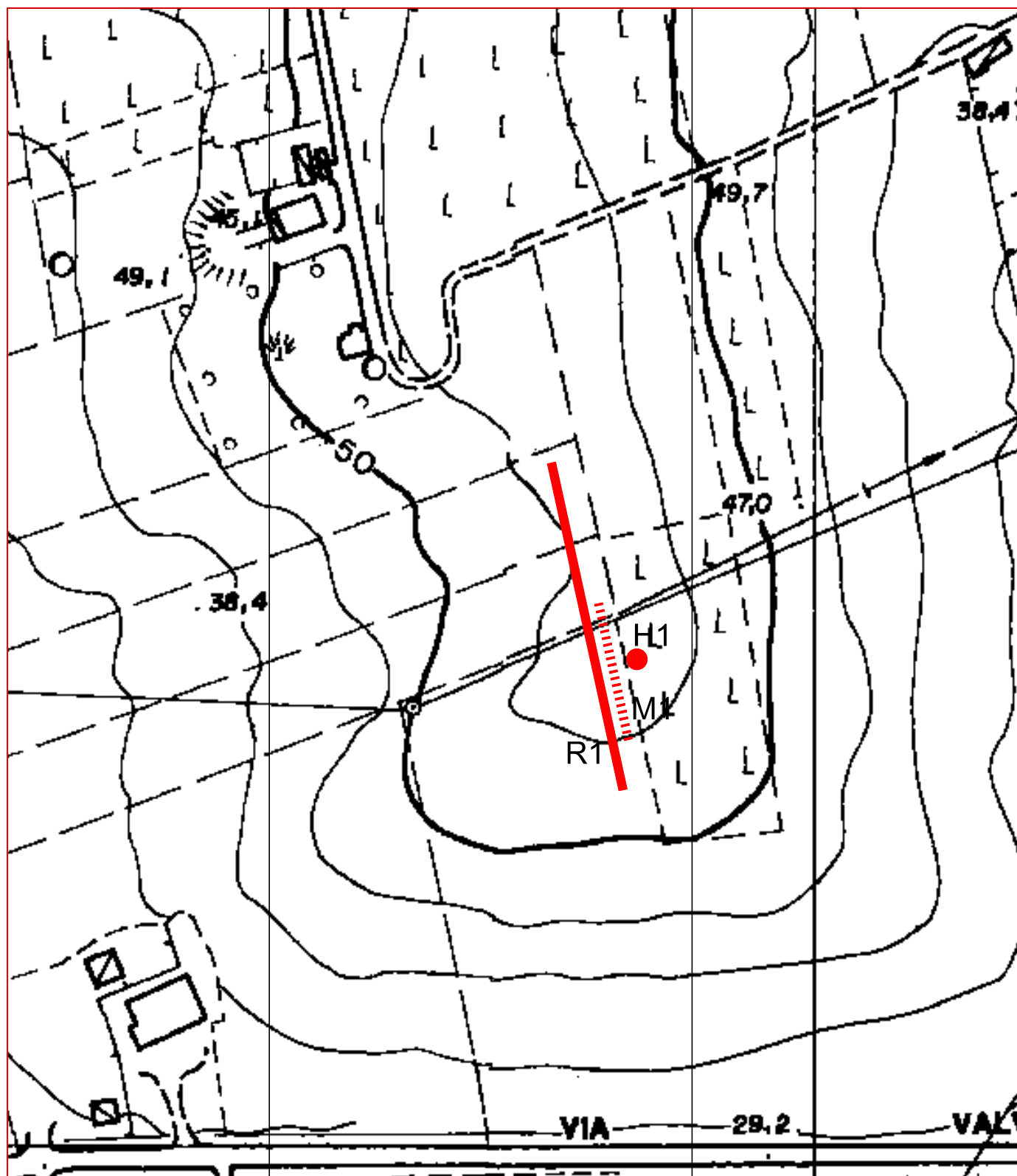
C O R O G R A F I A



C.T.R. SCALA 1: 25.000

TAVOLA 256 SE - RIMINI

 Area di studio



C.T.R. SCALA 1: 2.000

FOGLIO 256 RIMINI - ELEMENTO I52 - I53

— R1 - Prova Re.Mi.

● H1 - Prova HVSR

----- M1 - Prova MASW

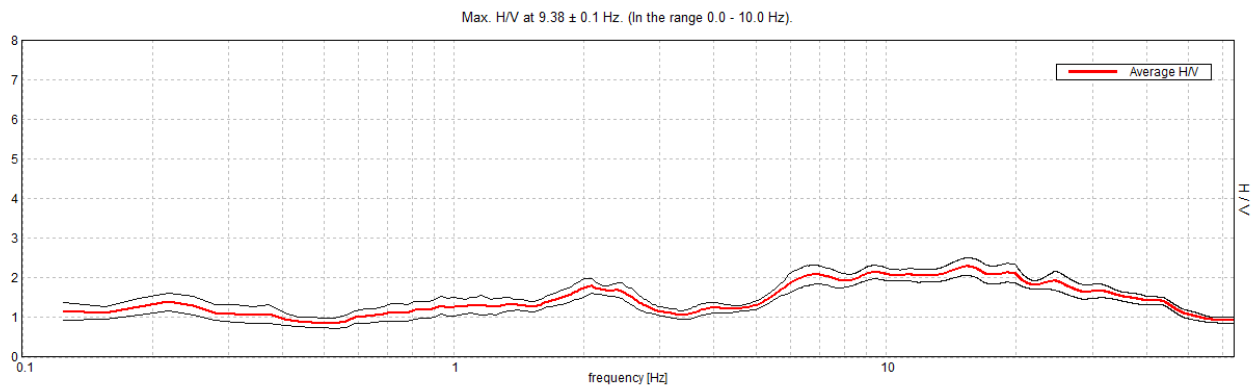
ALLEGATO N. 3

INDAGINI GEOFISICHE

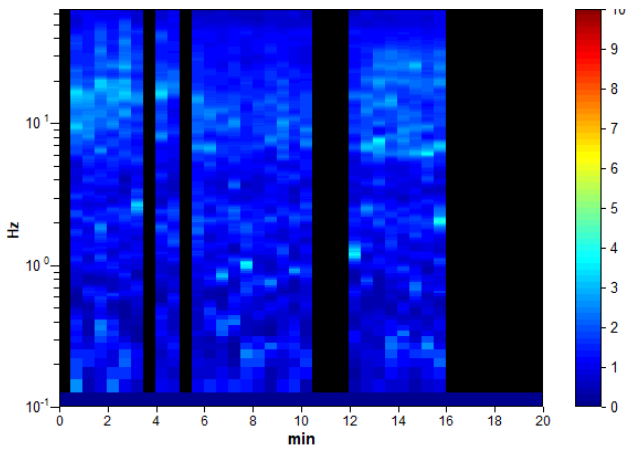
COVIGNANO_PAPA GIOVANNI, HV1

Instrument: TRZ-0054/01-09
 Data format: 16 byte
 Full scale [mV]: n.a.
 Start recording: 30/10/18 15:08:23 End recording: 30/10/18 15:28:24
 Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
 GPS data not available
 Trace length: 0h20'00". Analyzed 65% trace (manual window selection)
 Sampling rate: 128 Hz
 Window size: 30 s
 Smoothing type: Triangular window
 Smoothing: 10%

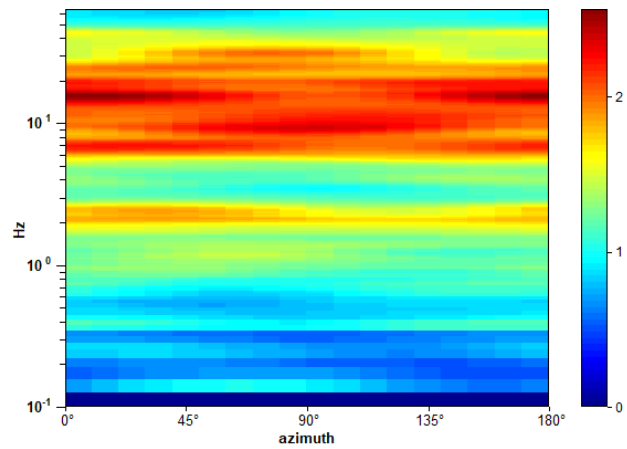
HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO



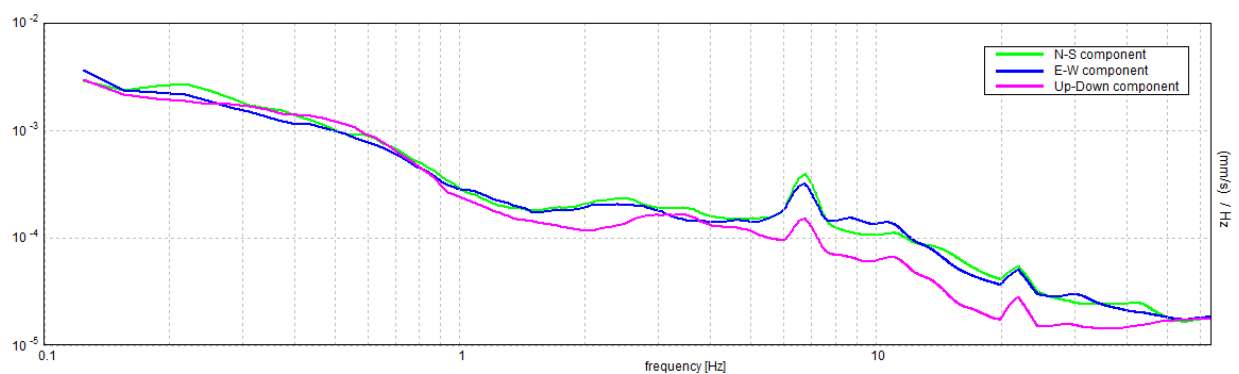
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V



SINGLE COMPONENT SPECTRA



[According to the SESAME, 2005 guidelines. Please read carefully the *Grilla* manual before interpreting the following tables.]

Max. H/V at 9.38 ± 0.1 Hz (in the range 0.0 - 10.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	9.38 > 0.33	OK	
$n_c(f_0) > 200$	7312.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 451 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	3.438 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.14 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01056 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.09901 < 0.46875	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1711 < 1.58	OK	

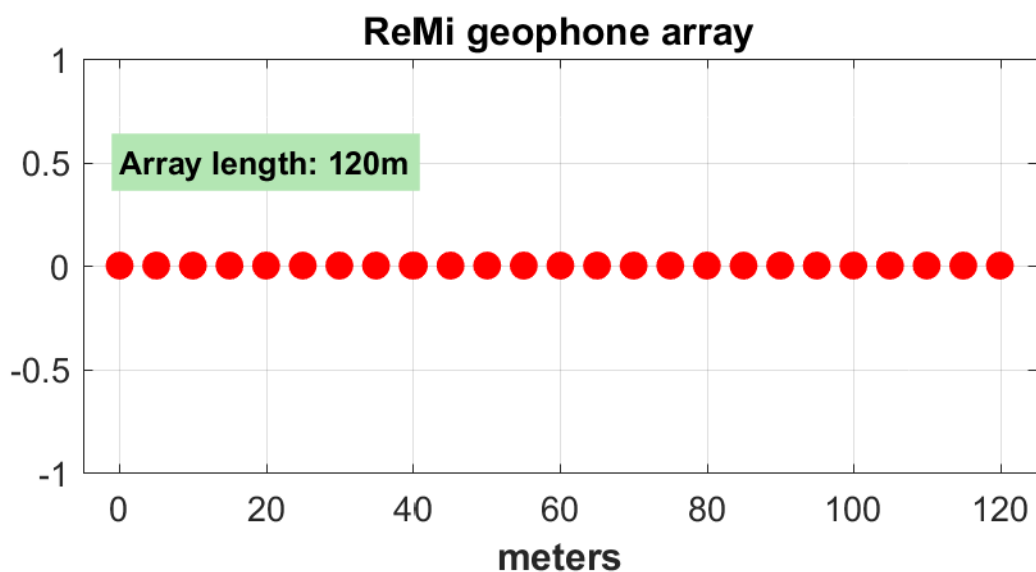
L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

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

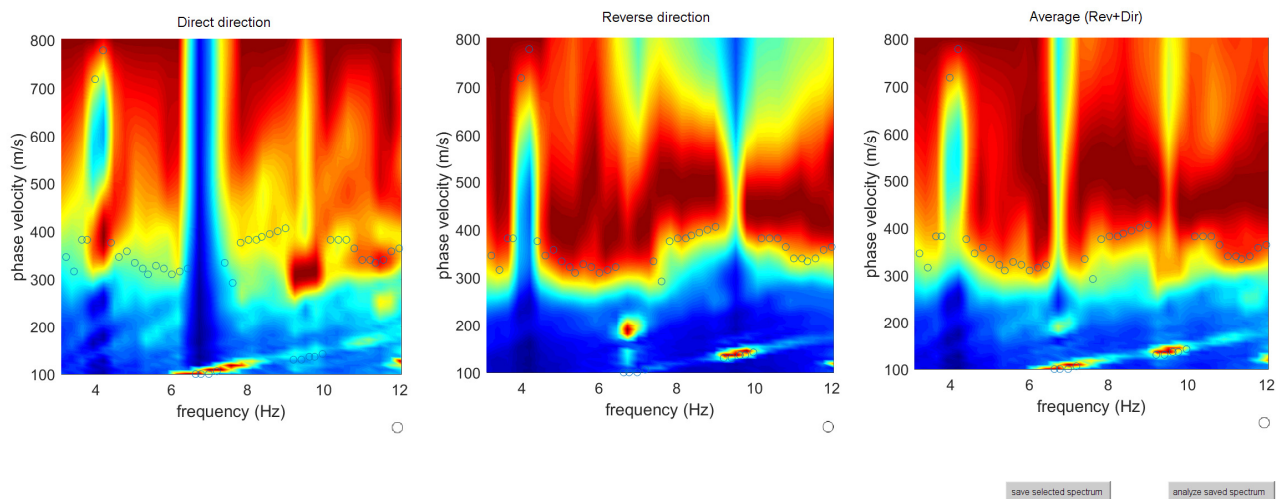
Report prova Re.Mi.

SCHEMA GEOMETRICO



ANALISI SPETTRALE

Frequenza/velocità di fase



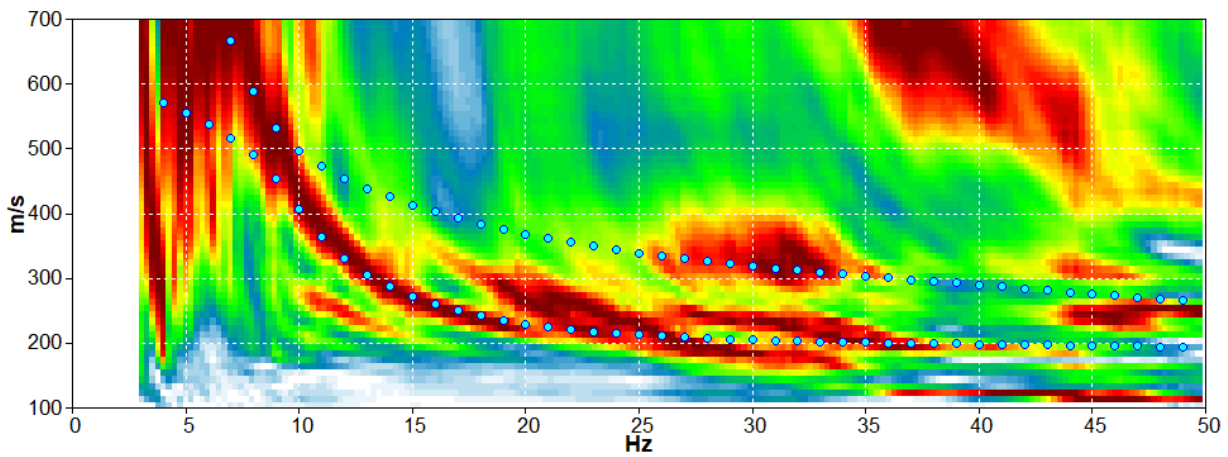
COVIGNANO_PAPA GIOVANNI, MASW1

Start recording: 17/12/18 12:09:58 End recording: 17/12/18 12:09:59
Trace length: 0h00'01".
Sampling rate: 8000 Hz

Channel labels: CH01 ; CH02 ; CH03 ; CH04 ; CH05 ; CH06 ; CH07 ;
CH08 ; CH09 ; CH10 ; CH11 ; CH12 ; CH13 ; CH14 ; CH15 ; CH16
; CH17 ; CH18 ; CH19 ; CH20 ; CH21 ; CH22 ; CH23 ; CH24

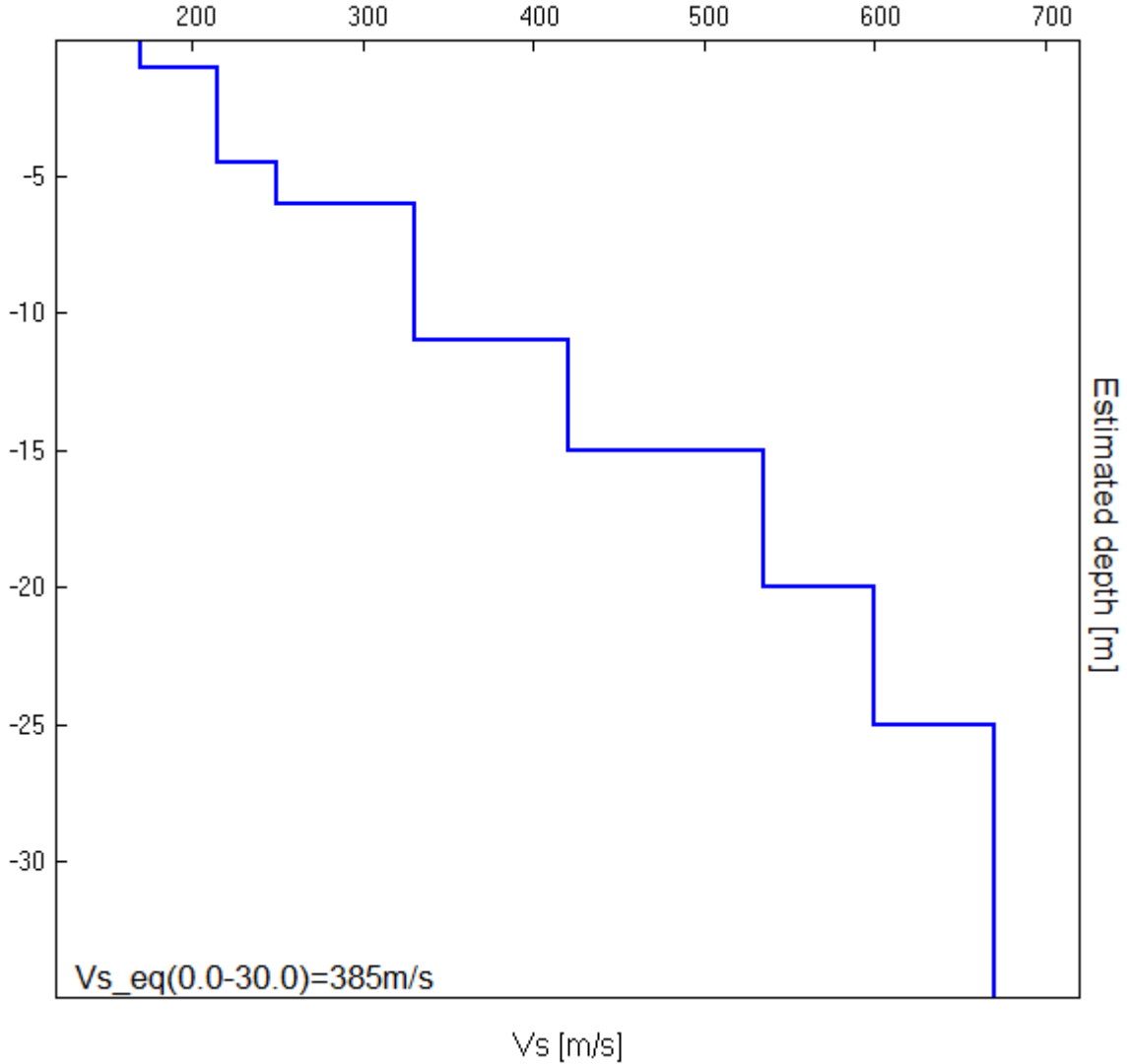
Array geometry (x): 0.0 5.0 7.0 9.0 11.0 13.0 15.0 17.0 19.0 21.0 23.0 25.0 27.0 29.0 31.0 33.0 35.0 37.0
39.0 41.0 43.0 45.0 47.0 49.0 m.

MODELLED RAYLEIGH WAVE PHASE VELOCITY DISPERSION CURVE



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	170	0.45
4.50	3.50	215	0.40
6.00	1.50	250	0.40
11.00	5.00	330	0.40
15.00	4.00	420	0.40
20.00	5.00	535	0.35
25.00	5.00	600	0.35
30.00	5.00	670	0.35
inf.	inf.	670	0.42

Vs eq(0.0-30.0)=385m/s



ALLEGATO N. 4

PARAMETRI DI SCUOTIMENTO - ACCELEROGRAMMI DI INPUT

000046xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.184
Time of Max. Acceleration (sec)	2.41
Max. Velocity (cm/sec)	8.33271
Time of Max. Velocity (sec)	2.49
Max. Displacement (cm)	0.83545
Time of Max. Displacement (sec)	2.405
Vmax / Amax: (sec)	0.04616
Acceleration RMS: (g)	0.03539
Velocity RMS: (cm/sec)	1.70174
Displacement RMS: (cm)	0.14147
Arias Intensity: (m/sec)	0.38226
Characteristic Intensity (lc)	0.02963
Specific Energy Density (cm2/sec)	57.36798
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	457.46301
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.15745
Velocity Spectrum Intensity (cm)	34.49948
Housner Intensity (cm)	23.37274
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.15021
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	6.23271
Effective Design Acceleration (g)	0.18035
A95 parameter (g)	0.18075
Predominant Period (sec)	0.24
Mean Period (sec)	0.26491
Significant Duration:	13.475
Effective Duration:	13.275

000126xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.184
Time of Max. Acceleration (sec)	9.815
Max. Velocity (cm/sec)	10.50664
Time of Max. Velocity (sec)	9.75
Max. Displacement (cm)	0.8683
Time of Max. Displacement (sec)	9.835
Vmax / Amax: (sec)	0.05821
Acceleration RMS: (g)	0.01852
Velocity RMS: (cm/sec)	1.17477
Displacement RMS: (cm)	0.15036
Arias Intensity: (m/sec)	0.10558
Characteristic Intensity (lc)	0.01126
Specific Energy Density (cm2/sec)	27.57396
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	147.8751
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.14266
Velocity Spectrum Intensity (cm)	33.3236
Housner Intensity (cm)	24.98575
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.10454
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	4.78707
Effective Design Acceleration (g)	0.18441
A95 parameter (g)	0.18354
Predominant Period (sec)	0.28
Mean Period (sec)	0.32783
Significant Duration:	3.53
Effective Duration:	3.01

000354xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.184
Time of Max. Acceleration (sec)	7.525
Max. Velocity (cm/sec)	9.08494
Time of Max. Velocity (sec)	5.755
Max. Displacement (cm)	1.94977
Time of Max. Displacement (sec)	13.435
Vmax / Amax: (sec)	0.05033
Acceleration RMS: (g)	0.02855
Velocity RMS: (cm/sec)	2.16644
Displacement RMS: (cm)	0.41951
Arias Intensity: (m/sec)	0.41287
Characteristic Intensity (lc)	0.02766
Specific Energy Density (cm2/sec)	154.2972
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	576.186
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.15874
Velocity Spectrum Intensity (cm)	42.22709
Housner Intensity (cm)	38.88056
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.16415
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	8.11934
Effective Design Acceleration (g)	0.17834
A95 parameter (g)	0.18169
Predominant Period (sec)	0.14
Mean Period (sec)	0.36994
Significant Duration:	15.355
Effective Duration:	14.645

VALORI MEDI	
Max. Acceleration (g)	0.184
Time of Max. Acceleration (sec)	6.583
Max. Velocity (cm/sec)	9.308
Time of Max. Velocity (sec)	5.998
Max. Displacement (cm)	1.218
Time of Max. Displacement (sec)	8.558
Vmax / Amax: (sec)	0.052
Acceleration RMS: (g)	0.027
Velocity RMS: (cm/sec)	1.681
Displacement RMS: (cm)	0.237
Arias Intensity: (m/sec)	0.300
Characteristic Intensity (lc)	0.023
Specific Energy Density (cm2/sec)	79.746
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	393.841
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.153
Velocity Spectrum Intensity (cm)	36.683
Housner Intensity (cm)	29.080
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.140
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	6.380
Effective Design Acceleration (g)	0.181
A95 parameter (g)	0.182
Predominant Period (sec)	0.220
Mean Period (sec)	0.321
Significant Duration (sec):	10.787
Effective Duration (sec):	10.310

PARAMETRI DI SCUOTIMENTO - ACCELEROGRAMMI DI OUTPUT

000046xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.3195
Time of Max. Acceleration (sec)	2.59
Max. Velocity (cm/sec)	16.31018
Time of Max. Velocity (sec)	2.645
Max. Displacement (cm)	1.15901
Time of Max. Displacement (sec)	2.56
Vmax / Amax: (sec)	0.05204
Acceleration RMS: (g)	0.07005
Velocity RMS: (cm/sec)	2.93977
Displacement RMS: (cm)	0.21115
Arias Intensity: (m/sec)	1.49768
Characteristic Intensity (lc)	0.08251
Specific Energy Density (cm2/sec)	171.15935
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	914.2834
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.30761
Velocity Spectrum Intensity (cm)	60.91907
Housner Intensity (cm)	36.28142
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.2819
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	10.59674
Effective Design Acceleration (g)	0.31282
A95 parameter (g)	0.31386
Predominant Period (sec)	0.24
Mean Period (sec)	0.23789
Significant Duration:	13.415
Effective Duration:	13.36

000126xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.33458
Time of Max. Acceleration (sec)	9.98
Max. Velocity (cm/sec)	14.82584
Time of Max. Velocity (sec)	9.87
Max. Displacement (cm)	1.16943
Time of Max. Displacement (sec)	9.98
Vmax / Amax: (sec)	0.04517
Acceleration RMS: (g)	0.035
Velocity RMS: (cm/sec)	1.78384
Displacement RMS: (cm)	0.22651
Arias Intensity: (m/sec)	0.37712
Characteristic Intensity (lc)	0.02927
Specific Energy Density (cm2/sec)	63.56205
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	277.9065
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.25743
Velocity Spectrum Intensity (cm)	50.4745
Housner Intensity (cm)	36.35688
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.20797
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	6.78835
Effective Design Acceleration (g)	0.33532
A95 parameter (g)	0.33207
Predominant Period (sec)	0.2
Mean Period (sec)	0.26853
Significant Duration:	3.32
Effective Duration:	3.385

000354xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.32764
Time of Max. Acceleration (sec)	7.7
Max. Velocity (cm/sec)	15.89195
Time of Max. Velocity (sec)	7.745
Max. Displacement (cm)	2.11865
Time of Max. Displacement (sec)	13.56
Vmax / Amax: (sec)	0.04944
Acceleration RMS: (g)	0.05452
Velocity RMS: (cm/sec)	3.0574
Displacement RMS: (cm)	0.47507
Arias Intensity: (m/sec)	1.50587
Characteristic Intensity (lc)	0.07299
Specific Energy Density (cm2/sec)	307.306
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	1054.548
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.30963
Velocity Spectrum Intensity (cm)	61.51031
Housner Intensity (cm)	51.7619
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.28067
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	12.3035
Effective Design Acceleration (g)	0.31871
A95 parameter (g)	0.32186
Predominant Period (sec)	0.14
Mean Period (sec)	0.28366
Significant Duration:	13.34
Effective Duration:	13.225

VALORI MEDI	
Max. Acceleration (g)	0.327
Time of Max. Acceleration (sec)	6.757
Max. Velocity (cm/sec)	15.676
Time of Max. Velocity (sec)	6.753
Max. Displacement (cm)	1.482
Time of Max. Displacement (sec)	8.700
Vmax / Amax: (sec)	0.049
Acceleration RMS: (g)	0.053
Velocity RMS: (cm/sec)	2.594
Displacement RMS: (cm)	0.304
Arias Intensity: (m/sec)	1.127
Characteristic Intensity (lc)	0.062
Specific Energy Density (cm2/sec)	180.676
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	748.913
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.292
Velocity Spectrum Intensity (cm)	57.635
Housner Intensity (cm)	41.467
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.257
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	9.896
Effective Design Acceleration (g)	0.322
A95 parameter (g)	0.323
Predominant Period (sec)	0.193
Mean Period (sec)	0.263
Significant Duration (sec):	10.025
Effective Duration (sec):	9.990

ALLEGATO N. 5

PARAMETRI DI SCUOTIMENTO - ACCELEROGRAMMI DI INPUT

000055xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.21404
Time of Max. Acceleration (sec)	4.02
Max. Velocity (cm/sec)	1.26E+01
Time of Max. Velocity (sec)	3.54
Max. Displacement (cm)	7.6625
Time of Max. Displacement (sec)	36.53
Vmax / Amax: (sec)	0.05991
Acceleration RMS: (g)	0.02261
Velocity RMS: (cm/sec)	1.73859
Displacement RMS: (cm)	4.52552
Arias Intensity: (m/sec)	0.28765
Characteristic Intensity (Ic)	0.02054
Specific Energy Density (cm2/sec)	110.41941
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	353.2382
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.18433
Velocity Spectrum Intensity (cm)	56.03748
Housner Intensity (cm)	44.06769
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.16209
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	8.98469
Effective Design Acceleration (g)	0.21622
A95 parameter (g)	0.21135
Predominant Period (sec)	0.26
Mean Period (sec)	0.39546
Significant Duration:	4.36

001243xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.21404
Time of Max. Acceleration (sec)	4
Max. Velocity (cm/sec)	16.07701
Time of Max. Velocity (sec)	3.92
Max. Displacement (cm)	4.16388
Time of Max. Displacement (sec)	3.65
Vmax / Amax: (sec)	0.07657
Acceleration RMS: (g)	0.03279
Velocity RMS: (cm/sec)	3.36532
Displacement RMS: (cm)	1.88518
Arias Intensity: (m/sec)	0.31681
Characteristic Intensity (Ic)	0.02596
Specific Energy Density (cm2/sec)	216.5413
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	330.9516
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.20543
Velocity Spectrum Intensity (cm)	70.92101
Housner Intensity (cm)	64.83378
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.14131
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	12.79194
Effective Design Acceleration (g)	0.21138
A95 parameter (g)	0.21243
Predominant Period (sec)	0.24
Mean Period (sec)	0.49249
Significant Duration:	6.1

003802xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.21404
Time of Max. Acceleration (sec)	4.83
Max. Velocity (cm/sec)	10.22595
Time of Max. Velocity (sec)	4.52
Max. Displacement (cm)	9.13727
Time of Max. Displacement (sec)	11.96
Vmax / Amax: (sec)	0.0487
Acceleration RMS: (g)	0.04287
Velocity RMS: (cm/sec)	3.16857
Displacement RMS: (cm)	5.43406
Arias Intensity: (m/sec)	0.33878
Characteristic Intensity (Ic)	0.0307
Specific Energy Density (cm2/sec)	120.0766
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	328.7403
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.16614
Velocity Spectrum Intensity (cm)	49.7538
Housner Intensity (cm)	41.5084
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.15492
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	7.89679
Effective Design Acceleration (g)	0.20621
A95 parameter (g)	0.21135
Predominant Period (sec)	0.12
Mean Period (sec)	0.28059
Significant Duration:	6.14

004675xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.21404
Time of Max. Acceleration (sec)	15.54
Max. Velocity (cm/sec)	26.24341
Time of Max. Velocity (sec)	16.35
Max. Displacement (cm)	6.33276
Time of Max. Displacement (sec)	14.43
Vmax / Amax: (sec)	0.12498
Acceleration RMS: (g)	0.02036
Velocity RMS: (cm/sec)	2.44825
Displacement RMS: (cm)	2.31186
Arias Intensity: (m/sec)	0.42808
Characteristic Intensity (Ic)	0.02378
Specific Energy Density (cm2/sec)	401.5325
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	434.4993
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.20947
Velocity Spectrum Intensity (cm)	79.1212
Housner Intensity (cm)	76.46128
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.17727
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	13.7283
Effective Design Acceleration (g)	0.21064
A95 parameter (g)	0.21026
Predominant Period (sec)	0.24
Mean Period (sec)	0.47703
Significant Duration:	4.49

007142ya

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.21404
Time of Max. Acceleration (sec)	23.76
Max. Velocity (cm/sec)	15.0899
Time of Max. Velocity (sec)	26.05
Max. Displacement (cm)	2.68752
Time of Max. Displacement (sec)	26.51
Vmax / Amax: (sec)	0.07187
Acceleration RMS: (g)	0.02071
Velocity RMS: (cm/sec)	1.88183
Displacement RMS: (cm)	0.64573
Arias Intensity: (m/sec)	0.42752
Characteristic Intensity (Ic)	0.02397
Specific Energy Density (cm2/sec)	229.15549
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	474.21468
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.19035
Velocity Spectrum Intensity (cm)	57.98895
Housner Intensity (cm)	53.63471
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.18049
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	11.73871
Effective Design Acceleration (g)	0.22603
A95 parameter (g)	0.21026
Predominant Period (sec)	0.08
Mean Period (sec)	0.37618
Significant Duration:	6.8

MMO-HGN

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.21404
Time of Max. Acceleration (sec)	22.245
Max. Velocity (cm/sec)	12.93979
Time of Max. Velocity (sec)	21.7
Max. Displacement (cm)	10.38657
Time of Max. Displacement (sec)	19.8
Vmax / Amax: (sec)	0.06163
Acceleration RMS: (g)	0.02784
Velocity RMS: (cm/sec)	2.33652
Displacement RMS: (cm)	2.09255
Arias Intensity: (m/sec)	0.71631
Characteristic Intensity (Ic)	0.03597
Specific Energy Density (cm2/sec)	327.5036
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	759.868
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.19313
Velocity Spectrum Intensity (cm)	46.66103
Housner Intensity (cm)	38.52431
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.18829
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	12.1647
Effective Design Acceleration (g)	0.20348
A95 parameter (g)	0.20917
Predominant Period (sec)	0.3
Mean Period (sec)	0.28335
Significant Duration:	12.805

IN0368ya

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.21404
Time of Max. Acceleration (sec)	13.14
Max. Velocity (cm/sec)	29.68459
Time of Max. Velocity (sec)	12.75
Max. Displacement (cm)	14.51881
Time of Max. Displacement (sec)	13.09
Vmax / Amax: (sec)	0.14137
Acceleration RMS: (g)	0.02972
Velocity RMS: (cm/sec)	3.9932
Displacement RMS: (cm)	3.03616
Arias Intensity: (m/sec)	0.7186
Characteristic Intensity (Ic)	0.03723
Specific Energy Density (cm2/sec)	841.9317
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	691.0219
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.20694
Velocity Spectrum Intensity (cm)	91.84131
Housner Intensity (cm)	84.38648
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.17787
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	17.6769
Effective Design Acceleration (g)	0.21452
A95 parameter (g)	0.21135
Predominant Period (sec)	0.3
Mean Period (sec)	0.4679
Significant Duration:	9.17

VALORI MEDI	
Max. Acceleration (g)	0.214
Time of Max. Acceleration (sec)	12.505
Max. Velocity (cm/sec)	17.549
Time of Max. Velocity (sec)	12.690
Max. Displacement (cm)	7.841
Time of Max. Displacement (sec)	17.996
Vmax / Amax: (sec)	0.084
Acceleration RMS: (g)	0.028
Velocity RMS: (cm/sec)	2.705
Displacement RMS: (cm)	2.847
Arias Intensity: (m/sec)	0.462
Characteristic Intensity (Ic)	0.028
Specific Energy Density (cm2/sec)	321.023
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	481.791
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.194
Velocity Spectrum Intensity (cm)	64.618
Housner Intensity (cm)	57.631
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.169
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	12.140
Effective Design Acceleration (g)	0.213
A95 parameter (g)	0.211
Predominant Period (sec)	0.220
Mean Period (sec)	0.396
Significant Duration (sec):	7.124

ALLEGATO N. 5

PARAMETRI DI SCUOTIMENTO - ACCELEROGRAMMI DI OUTPUT

000055xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.408
Time of Max. Acceleration (sec)	4.2
Max. Velocity (cm/sec)	2.02E+01
Time of Max. Velocity (sec)	4.26
Max. Displacement (cm)	2.48985
Time of Max. Displacement (sec)	4.18
Vmax / Amax: (sec)	0.05039
Acceleration RMS: (g)	0.04099
Velocity RMS: (cm/sec)	2.52204
Displacement RMS: (cm)	0.65014
Arias Intensity: (m/sec)	0.946
Characteristic Intensity (Ic)	0.05016
Specific Energy Density (cm2/sec)	232.41919
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	635.64494
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.34226
Velocity Spectrum Intensity (cm)	83.13451
Housner Intensity (cm)	60.44048
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.23918
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	16.1689
Effective Design Acceleration (g)	0.41252
A95 parameter (g)	0.40493
Predominant Period (sec)	0.26
Mean Period (sec)	0.33436
Significant Duration:	4.12

001243xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.43774
Time of Max. Acceleration (sec)	3.79
Max. Velocity (cm/sec)	23.56998
Time of Max. Velocity (sec)	4.08
Max. Displacement (cm)	4.51526
Time of Max. Displacement (sec)	3.8
Vmax / Amax: (sec)	0.05489
Acceleration RMS: (g)	0.06041
Velocity RMS: (cm/sec)	4.42228
Displacement RMS: (cm)	1.00973
Arias Intensity: (m/sec)	1.07574
Characteristic Intensity (Ic)	0.06494
Specific Energy Density (cm2/sec)	374.1168
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	573.3879
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.38856
Velocity Spectrum Intensity (cm)	101.8586
Housner Intensity (cm)	85.28022
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.22809
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	20.07787
Effective Design Acceleration (g)	0.43749
A95 parameter (g)	0.43444
Predominant Period (sec)	0.24
Mean Period (sec)	0.36553
Significant Duration:	4.08

003208xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.42325
Time of Max. Acceleration (sec)	5.01
Max. Velocity (cm/sec)	15.00814
Time of Max. Velocity (sec)	5.16
Max. Displacement (cm)	3.33214
Time of Max. Displacement (sec)	1.09
Vmax / Amax: (sec)	0.03615
Acceleration RMS: (g)	0.08375
Velocity RMS: (cm/sec)	4.07602
Displacement RMS: (cm)	1.15361
Arias Intensity: (m/sec)	1.29364
Characteristic Intensity (Ic)	0.08385
Specific Energy Density (cm2/sec)	198.8692
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	633.6959
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.32936
Velocity Spectrum Intensity (cm)	70.03863
Housner Intensity (cm)	54.02311
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.31488
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	12.38425
Effective Design Acceleration (g)	0.41879
A95 parameter (g)	0.41793
Predominant Period (sec)	0.12
Mean Period (sec)	0.21841
Significant Duration:	5.76

004675xa

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.41998
Time of Max. Acceleration (sec)	16.57
Max. Velocity (cm/sec)	35.04863
Time of Max. Velocity (sec)	16.51
Max. Displacement (cm)	6.37384
Time of Max. Displacement (sec)	14.43
Vmax / Amax: (sec)	0.08507
Acceleration RMS: (g)	0.03937
Velocity RMS: (cm/sec)	2.92189
Displacement RMS: (cm)	0.95373
Arias Intensity: (m/sec)	1.60035
Characteristic Intensity (Ic)	0.06395
Specific Energy Density (cm2/sec)	571.9214
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	779.1717
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.41651
Velocity Spectrum Intensity (cm)	109.3427
Housner Intensity (cm)	95.2122
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.37848
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	16.34051
Effective Design Acceleration (g)	0.42607
A95 parameter (g)	0.41682
Predominant Period (sec)	0.24
Mean Period (sec)	0.31082
Significant Duration:	3.62

007142ya

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.42699
Time of Max. Acceleration (sec)	26.38
Max. Velocity (cm/sec)	21.9284
Time of Max. Velocity (sec)	23.6
Max. Displacement (cm)	2.91546
Time of Max. Displacement (sec)	26.68
Vmax / Amax: (sec)	0.05235
Acceleration RMS: (g)	0.03814
Velocity RMS: (cm/sec)	2.38947
Displacement RMS: (cm)	0.67139
Arias Intensity: (m/sec)	1.45067
Characteristic Intensity (Ic)	0.05992
Specific Energy Density (cm2/sec)	369.5236
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	836.06584
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.35319
Velocity Spectrum Intensity (cm)	80.43872
Housner Intensity (cm)	68.13972
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.36024
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	17.07927
Effective Design Acceleration (g)	0.42953
A95 parameter (g)	0.42162
Predominant Period (sec)	0.22
Mean Period (sec)	0.28517
Significant Duration:	5.64

IN0368ya

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.38603
Time of Max. Acceleration (sec)	13.75
Max. Velocity (cm/sec)	34.28524
Time of Max. Velocity (sec)	12.91
Max. Displacement (cm)	15.19061
Time of Max. Displacement (sec)	13.16
Vmax / Amax: (sec)	0.09054
Acceleration RMS: (g)	0.05386
Velocity RMS: (cm/sec)	4.58614
Displacement RMS: (cm)	3.06165
Arias Intensity: (m/sec)	2.36085
Characteristic Intensity (Ic)	0.09084
Specific Energy Density (cm2/sec)	1110.736
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	1253.883
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.37379
Velocity Spectrum Intensity (cm)	123.0028
Housner Intensity (cm)	103.2326
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.34807
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	20.70292
Effective Design Acceleration (g)	0.37766
A95 parameter (g)	0.37724
Predominant Period (sec)	0.14
Mean Period (sec)	0.32457
Significant Duration:	9.27

MMO-HGN

Parameter	Corrected Accelerogram
Max. Acceleration (g)	0.39516
Time of Max. Acceleration (sec)	23.07
Max. Velocity (cm/sec)	19.88495
Time of Max. Velocity (sec)	21.875
Max. Displacement (cm)	10.56623
Time of Max. Displacement (sec)	19.79
Vmax / Amax: (sec)	0.0513
Acceleration RMS: (g)	0.05016
Velocity RMS: (cm/sec)	2.94263
Displacement RMS: (cm)	2.10467
Arias Intensity: (m/sec)	2.32554
Characteristic Intensity (Ic)	0.087
Specific Energy Density (cm2/sec)	519.4594
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	1356.521
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.3615
Velocity Spectrum Intensity (cm)	70.26668
Housner Intensity (cm)	52.73556
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.35672
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	14.81378
Effective Design Acceleration (g)	0.36936
A95 parameter (g)	0.38617
Predominant Period (sec)	0.14
Mean Period (sec)	0.24569
Significant Duration:	12.185

VALORI MEDI	
Max. Acceleration (g)	0.414
Time of Max. Acceleration (sec)	13.253
Max. Velocity (cm/sec)	24.271
Time of Max. Velocity (sec)	12.628
Max. Displacement (cm)	6.483
Time of Max. Displacement (sec)	11.876
Vmax / Amax: (sec)	0.060
Acceleration RMS: (g)	0.052
Velocity RMS: (cm/sec)	3.409
Displacement RMS: (cm)	1.372
Arias Intensity: (m/sec)	1.579
Characteristic Intensity (Ic)	0.072
Specific Energy Density (cm2/sec)	482.435
Cumulative Absolute Velocity (cm/sec)	866.910
Acceleration Spectrum Intensity (g*sec)	0.366
Velocity Spectrum Intensity (cm)	91.155
Housner Intensity (cm)	74.152
Sustained Maximum Acceleration (g)	0.318
Sustained Maximum Velocity (cm/sec)	16.795
Effective Design Acceleration (g)	0.410
A95 parameter (g)	0.408
Predominant Period (sec)	0.194
Mean Period (sec)	0.298
Significant Duration (sec):	6.382

ALLEGATO N. 6

DATI SPETTRO MEDIO MZS - DGR 2195

Period (s)	Acc (g)	Vel (cm/sec)	Disp (cm)	Pseudo-Acc (g)	Pseudo-Vel (cm/sec)
0	0.327	0.000	0.000	0.327	0.000
0.02	0.331	0.128	0.003	0.331	1.035
0.04	0.370	0.784	0.015	0.369	2.307
0.06	0.404	2.412	0.036	0.403	3.778
0.08	0.575	5.094	0.091	0.574	7.165
0.1	0.647	8.046	0.160	0.645	10.066
0.12	0.777	12.649	0.277	0.774	14.502
0.14	1.027	21.177	0.498	1.023	22.351
0.16	0.932	22.010	0.590	0.927	23.170
0.18	0.960	25.745	0.769	0.955	26.844
0.2	1.008	30.989	0.997	1.003	31.323
0.22	0.962	31.259	1.152	0.958	32.899
0.24	1.027	40.321	1.462	1.021	38.268
0.26	0.916	37.191	1.530	0.911	36.977
0.28	0.878	38.775	1.702	0.874	38.199
0.3	0.722	35.893	1.605	0.718	33.625
0.32	0.641	35.640	1.621	0.637	31.824
0.34	0.587	31.985	1.675	0.583	30.950
0.36	0.577	34.322	1.846	0.573	32.226
0.38	0.608	36.864	2.171	0.605	35.890
0.4	0.563	36.945	2.227	0.560	34.974
0.42	0.532	35.703	2.319	0.529	34.696
0.44	0.502	36.416	2.402	0.499	34.307
0.46	0.450	34.946	2.354	0.448	32.151
0.48	0.401	32.908	2.284	0.399	29.897
0.5	0.369	31.333	2.281	0.367	28.667
0.52	0.349	30.079	2.332	0.347	28.173
0.54	0.320	30.817	2.308	0.319	26.858
0.56	0.303	30.841	2.349	0.301	26.361
0.58	0.307	32.710	2.554	0.306	27.671
0.6	0.312	33.693	2.775	0.310	29.060
0.62	0.317	34.143	3.002	0.314	30.426
0.64	0.316	34.308	3.191	0.313	31.325
0.66	0.310	34.633	3.331	0.308	31.714
0.68	0.303	35.365	3.453	0.301	31.908
0.7	0.292	34.849	3.534	0.290	31.722
0.72	0.277	34.044	3.543	0.275	30.914
0.74	0.255	33.106	3.448	0.253	29.275
0.76	0.242	32.441	3.451	0.240	28.528
0.78	0.232	31.398	3.479	0.230	28.022
0.8	0.220	30.658	3.465	0.218	27.218
0.82	0.207	30.303	3.427	0.205	26.262
0.84	0.192	29.798	3.341	0.191	24.992
0.86	0.177	28.893	3.220	0.175	23.523
0.88	0.162	28.788	3.086	0.160	22.033
0.9	0.155	28.518	3.086	0.153	21.545
0.92	0.149	28.408	3.107	0.148	21.221
0.94	0.140	28.313	3.056	0.139	20.424
0.96	0.131	28.187	2.973	0.130	19.461
0.98	0.122	27.966	2.889	0.121	18.520
1	0.114	27.629	2.811	0.113	17.659
1.02	0.111	27.201	2.837	0.110	17.477
1.04	0.111	26.728	2.959	0.110	17.879
1.06	0.110	26.264	3.049	0.109	18.076
1.08	0.108	26.100	3.099	0.107	18.032
1.1	0.107	26.711	3.179	0.106	18.160
1.12	0.106	26.785	3.273	0.105	18.363
1.14	0.105	26.071	3.350	0.104	18.462
1.16	0.102	26.212	3.373	0.101	18.268
1.18	0.097	26.179	3.331	0.096	17.737
1.2	0.092	25.769	3.260	0.091	17.067
1.22	0.087	25.038	3.188	0.086	16.418
1.24	0.082	24.229	3.105	0.081	15.732
1.26	0.077	23.334	3.021	0.077	15.064
1.28	0.073	22.384	2.937	0.072	14.418
1.3	0.069	21.486	2.854	0.068	13.794
1.32	0.068	20.861	2.909	0.067	13.846
1.34	0.067	20.838	2.974	0.067	13.947
1.36	0.067	20.758	3.030	0.066	13.997
1.38	0.066	20.624	3.083	0.065	14.036
1.4	0.065	20.446	3.138	0.064	14.084
1.42	0.064	20.166	3.186	0.064	14.096
1.44	0.063	20.130	3.204	0.062	13.980
1.46	0.061	20.202	3.171	0.060	13.646
1.48	0.058	20.095	3.101	0.057	13.167
1.5	0.057	19.980	3.119	0.056	13.063
1.52	0.055	19.960	3.110	0.054	12.856
1.54	0.054	19.941	3.095	0.053	12.629
1.56	0.051	19.888	3.048	0.050	12.275
1.58	0.049	19.806	2.974	0.048	11.829
1.6	0.046	19.699	2.885	0.045	11.328
1.62	0.044	19.574	2.786	0.043	10.807
1.64	0.041	19.435	2.688	0.040	10.299
1.66	0.039	19.291	2.595	0.038	9.823
1.68	0.037	19.143	2.511	0.036	9.393
1.7	0.035	18.995	2.439	0.034	9.014
1.72	0.033	18.850	2.377	0.032	8.685
1.74	0.032	18.710	2.327	0.031	8.402
1.76	0.031	18.576	2.310	0.030	8.246
1.78	0.030	18.449	2.334	0.030	8.237
1.8	0.030	18.328	2.347	0.029	8.192
1.82	0.030	18.213	2.402	0.029	8.294
1.84	0.030	18.104	2.451	0.029	8.371
1.86	0.030	18.000	2.492	0.029	8.418
1.88	0.029	17.900	2.523	0.029	8.432
1.9	0.029	17.803	2.544	0.028	8.414
1.92	0.029	17.709	2.556	0.028	8.364
1.94	0.028	17.616	2.559	0.027	8.287
1.96	0.027	17.524	2.553	0.027	8.185
1.98	0.027	17.434	2.541	0.026	8.063
2	0.026	17.344	2.523	0.025	7.925
2.02	0.025	17.255	2.500	0.025	7.777

2.04	0.025	17.167	2.474	0.024	7.619
2.06	0.024	17.081	2.443	0.023	7.453
2.08	0.023	16.996	2.409	0.022	7.276
2.1	0.022	16.912	2.369	0.022	7.087
2.12	0.022	16.831	2.322	0.021	6.882
2.14	0.021	16.753	2.323	0.020	6.822
2.16	0.021	16.678	2.328	0.020	6.772
2.18	0.020	16.606	2.324	0.020	6.698
2.2	0.020	16.539	2.309	0.019	6.594
2.22	0.019	16.475	2.281	0.019	6.457
2.24	0.019	16.416	2.273	0.018	6.375
2.26	0.019	16.361	2.302	0.018	6.401
2.28	0.019	16.312	2.328	0.018	6.414
2.3	0.019	16.267	2.348	0.018	6.415
2.32	0.018	16.227	2.363	0.018	6.401
2.34	0.018	16.192	2.373	0.017	6.372
2.36	0.018	16.162	2.377	0.017	6.328
2.38	0.018	16.137	2.376	0.017	6.272
2.4	0.017	16.116	2.370	0.017	6.204
2.42	0.017	16.100	2.360	0.016	6.127
2.44	0.017	16.089	2.347	0.016	6.043
2.46	0.016	16.081	2.331	0.016	5.955
2.48	0.016	16.077	2.315	0.015	5.864
2.5	0.016	16.077	2.298	0.015	5.774
2.52	0.015	16.079	2.281	0.014	5.687
2.54	0.015	16.085	2.266	0.014	5.604
2.56	0.015	16.093	2.252	0.014	5.528
2.58	0.014	16.104	2.241	0.014	5.458
2.6	0.014	16.116	2.233	0.013	5.397
2.62	0.014	16.131	2.229	0.013	5.345
2.64	0.014	16.146	2.228	0.013	5.302
2.66	0.013	16.163	2.230	0.013	5.267
2.68	0.013	16.181	2.235	0.013	5.241
2.7	0.013	16.200	2.244	0.012	5.221
2.72	0.013	16.220	2.254	0.012	5.208
2.74	0.013	16.239	2.267	0.012	5.200
2.76	0.013	16.260	2.282	0.012	5.196
2.78	0.013	16.280	2.298	0.012	5.194
2.8	0.013	16.299	2.315	0.012	5.195
2.82	0.013	16.319	2.332	0.012	5.195
2.84	0.012	16.338	2.348	0.012	5.196
2.86	0.012	16.357	2.364	0.012	5.194
2.88	0.012	16.375	2.379	0.012	5.190
2.9	0.012	16.392	2.392	0.011	5.183
2.92	0.012	16.408	2.404	0.011	5.172
2.94	0.012	16.424	2.413	0.011	5.157
2.96	0.012	16.439	2.420	0.011	5.138
2.98	0.012	16.453	2.425	0.011	5.114
3	0.012	16.466	2.428	0.011	5.085
3.02	0.011	16.478	2.428	0.011	5.051
3.04	0.011	16.489	2.425	0.011	5.012
3.06	0.011	16.499	2.420	0.010	4.969
3.08	0.011	16.509	2.412	0.010	4.921
3.1	0.011	16.517	2.402	0.010	4.869
3.12	0.011	16.524	2.390	0.010	4.813
3.14	0.010	16.531	2.384	0.010	4.771
3.16	0.010	16.536	2.416	0.010	4.805
3.18	0.010	16.541	2.443	0.010	4.827
3.2	0.010	16.545	2.464	0.010	4.837
3.22	0.010	16.548	2.478	0.010	4.836
3.24	0.010	16.550	2.487	0.010	4.823
3.26	0.010	16.551	2.490	0.009	4.800
3.28	0.010	16.552	2.488	0.009	4.766
3.3	0.010	16.552	2.480	0.009	4.722
3.32	0.010	16.551	2.468	0.009	4.670
3.34	0.010	16.550	2.450	0.009	4.610
3.36	0.009	16.548	2.429	0.009	4.542
3.38	0.009	16.545	2.404	0.008	4.469
3.4	0.009	16.542	2.375	0.008	4.390
3.42	0.009	16.538	2.344	0.008	4.306
3.44	0.009	16.534	2.309	0.008	4.218
3.46	0.008	16.530	2.273	0.008	4.128
3.48	0.008	16.525	2.235	0.007	4.035
3.5	0.008	16.519	2.195	0.007	3.940
3.52	0.008	16.514	2.154	0.007	3.844
3.54	0.007	16.508	2.112	0.007	3.748
3.56	0.007	16.502	2.107	0.007	3.718
3.58	0.007	16.495	2.112	0.007	3.707
3.6	0.007	16.488	2.117	0.007	3.695
3.62	0.007	16.481	2.122	0.007	3.682
3.64	0.007	16.474	2.125	0.006	3.668
3.66	0.007	16.467	2.128	0.006	3.654
3.68	0.007	16.459	2.131	0.006	3.638
3.7	0.007	16.452	2.133	0.006	3.622
3.72	0.007	16.444	2.134	0.006	3.605
3.74	0.007	16.436	2.136	0.006	3.588
3.76	0.007	16.428	2.136	0.006	3.570
3.78	0.007	16.420	2.137	0.006	3.552
3.8	0.007	16.412	2.137	0.006	3.533
3.82	0.007	16.404	2.136	0.006	3.514
3.84	0.006	16.396	2.136	0.006	3.495
3.86	0.006	16.388	2.135	0.006	3.475
3.88	0.006	16.380	2.134	0.006	3.456
3.9	0.006	16.371	2.133	0.006	3.436
3.92	0.006	16.363	2.131	0.006	3.416
3.94	0.006	16.355	2.129	0.006	3.396
3.96	0.006	16.347	2.127	0.005	3.376
3.98	0.006	16.339	2.125	0.005	3.355
4	0.006	16.331	2.123	0.005	3.335

ALLEGATO N. 7

DATI SPETTRO MEDIO SLV - DM2018

Period (s)	Acc (g)	Vel (cm/sec)	Disp (cm)	Pseudo-Acc (g)	Pseudo-Vel (cm/sec)
0	0.414	0.000	0.000	0.414	0.000
0.02	0.419	0.187	0.004	0.419	1.308
0.04	0.460	1.114	0.018	0.460	2.873
0.06	0.575	3.129	0.051	0.574	5.374
0.08	0.761	7.177	0.121	0.759	9.481
0.1	0.931	11.872	0.231	0.928	14.484
0.12	1.055	16.262	0.376	1.051	19.694
0.14	1.135	21.960	0.551	1.130	24.707
0.16	1.200	26.719	0.760	1.195	29.843
0.18	1.176	30.030	0.943	1.171	32.906
0.2	1.239	35.319	1.226	1.234	38.525
0.22	1.288	41.961	1.542	1.282	44.026
0.24	1.278	47.762	1.820	1.271	47.642
0.26	1.193	49.980	1.994	1.187	48.196
0.28	1.041	45.726	2.016	1.035	45.245
0.3	0.938	44.874	2.085	0.932	43.669
0.32	0.905	47.906	2.291	0.900	44.976
0.34	0.825	46.343	2.355	0.820	43.528
0.36	0.729	43.529	2.334	0.725	40.735
0.38	0.689	43.545	2.458	0.685	40.647
0.4	0.674	42.418	2.663	0.670	41.834
0.42	0.630	43.110	2.746	0.626	41.073
0.44	0.577	43.735	2.761	0.574	39.420
0.46	0.531	44.087	2.777	0.528	37.926
0.48	0.513	43.729	2.921	0.510	38.235
0.5	0.482	43.522	2.977	0.479	37.413
0.52	0.491	43.885	3.278	0.488	39.605
0.54	0.499	45.258	3.591	0.496	41.780
0.56	0.501	47.130	3.879	0.498	43.528
0.58	0.487	47.239	4.046	0.484	43.835
0.6	0.460	46.350	4.090	0.457	42.826
0.62	0.418	44.515	3.962	0.415	40.155
0.64	0.373	41.637	3.770	0.370	37.009
0.66	0.339	39.385	3.651	0.337	34.759
0.68	0.325	38.775	3.704	0.322	34.229
0.7	0.324	39.056	3.915	0.322	35.145
0.72	0.321	40.784	4.105	0.319	35.822
0.74	0.320	42.988	4.315	0.317	36.641
0.76	0.314	44.634	4.468	0.311	36.941
0.78	0.310	45.097	4.656	0.308	37.503
0.8	0.301	45.057	4.757	0.299	37.362
0.82	0.293	44.501	4.861	0.291	37.246
0.84	0.285	43.542	4.950	0.282	37.024
0.86	0.271	41.978	4.938	0.269	36.078
0.88	0.255	41.211	4.871	0.253	34.777
0.9	0.242	40.968	4.831	0.240	33.729
0.92	0.230	40.285	4.806	0.228	32.821
0.94	0.222	39.448	4.829	0.220	32.276
0.96	0.217	38.469	4.929	0.215	32.263
0.98	0.214	37.755	5.060	0.212	32.439
1	0.208	37.414	5.128	0.206	32.223
1.02	0.201	36.819	5.144	0.199	31.687
1.04	0.193	36.427	5.149	0.192	31.107
1.06	0.187	36.476	5.180	0.186	30.704
1.08	0.184	36.438	5.283	0.182	30.734
1.1	0.181	36.549	5.391	0.179	30.792
1.12	0.179	36.542	5.543	0.178	31.094
1.14	0.177	37.003	5.662	0.175	31.204
1.16	0.174	37.543	5.767	0.172	31.240
1.18	0.169	37.992	5.812	0.168	30.945
1.2	0.165	38.491	5.859	0.164	30.678
1.22	0.162	38.880	5.932	0.160	30.551
1.24	0.158	39.027	5.990	0.157	30.350
1.26	0.154	39.221	6.002	0.152	29.930
1.28	0.148	39.143	5.976	0.147	29.333
1.3	0.142	38.817	5.922	0.141	28.621
1.32	0.138	38.281	5.895	0.136	28.061
1.34	0.133	37.701	5.880	0.132	27.572
1.36	0.131	37.007	5.936	0.129	27.423
1.38	0.128	36.326	5.998	0.127	27.310
1.4	0.126	35.704	6.041	0.124	27.110
1.42	0.123	35.015	6.094	0.122	26.966
1.44	0.120	34.272	6.118	0.119	26.695
1.46	0.117	33.425	6.110	0.115	26.293
1.48	0.114	32.524	6.136	0.113	26.051
1.5	0.112	31.756	6.173	0.110	25.859
1.52	0.109	31.290	6.197	0.108	25.618
1.54	0.107	31.269	6.217	0.105	25.364
1.56	0.105	31.261	6.241	0.103	25.138
1.58	0.103	31.272	6.297	0.102	25.043
1.6	0.101	31.218	6.369	0.100	25.010
1.62	0.100	31.171	6.432	0.099	24.947
1.64	0.098	31.148	6.477	0.097	24.816
1.66	0.096	31.374	6.519	0.095	24.676
1.68	0.095	31.991	6.557	0.093	24.522
1.7	0.094	32.517	6.648	0.093	24.571
1.72	0.093	32.995	6.737	0.092	24.610
1.74	0.092	33.468	6.816	0.091	24.614
1.76	0.090	33.897	6.891	0.090	24.600
1.78	0.089	34.274	6.964	0.088	24.583
1.8	0.089	34.595	7.061	0.088	24.647
1.82	0.088	34.868	7.179	0.087	24.785
1.84	0.088	35.146	7.306	0.087	24.949
1.86	0.088	35.483	7.438	0.087	25.124
1.88	0.087	35.869	7.553	0.086	25.244
1.9	0.086	36.286	7.655	0.085	25.314
1.92	0.086	36.628	7.765	0.085	25.410
1.94	0.086	36.895	7.942	0.085	25.721
1.96	0.086	37.085	8.129	0.085	26.059
1.98	0.086	37.285	8.307	0.085	26.361
2	0.087	37.575	8.483	0.085	26.649
2.02	0.086	37.804	8.636	0.085	26.862

2.04	0.086	37.976	8.765	0.085	26.995
2.06	0.085	38.091	8.870	0.084	27.055
2.08	0.085	38.151	8.952	0.083	27.041
2.1	0.084	38.160	9.021	0.082	26.992
2.12	0.083	38.122	9.086	0.081	26.930
2.14	0.081	38.115	9.125	0.080	26.790
2.16	0.080	38.180	9.139	0.079	26.586
2.18	0.078	38.205	9.147	0.077	26.362
2.2	0.077	38.191	9.146	0.076	26.122
2.22	0.076	38.143	9.190	0.075	26.009
2.24	0.075	38.060	9.232	0.074	25.895
2.26	0.074	37.946	9.258	0.073	25.740
2.28	0.073	37.974	9.269	0.072	25.544
2.3	0.072	38.004	9.316	0.071	25.448
2.32	0.071	37.999	9.394	0.070	25.442
2.34	0.071	37.960	9.535	0.070	25.602
2.36	0.071	37.890	9.690	0.070	25.797
2.38	0.071	37.789	9.841	0.070	25.980
2.4	0.071	37.657	10.000	0.070	26.179
2.42	0.071	37.498	10.141	0.070	26.330
2.44	0.070	37.313	10.266	0.069	26.437
2.46	0.070	37.141	10.388	0.069	26.532
2.48	0.069	36.947	10.494	0.069	26.588
2.5	0.069	36.744	10.589	0.068	26.612
2.52	0.069	36.539	10.669	0.068	26.603
2.54	0.068	36.316	10.767	0.067	26.635
2.56	0.068	36.090	10.868	0.067	26.673
2.58	0.067	35.849	10.957	0.066	26.684
2.6	0.067	35.705	11.034	0.066	26.664
2.62	0.066	35.608	11.098	0.065	26.615
2.64	0.065	35.561	11.149	0.064	26.534
2.66	0.065	35.546	11.183	0.064	26.416
2.68	0.064	35.512	11.204	0.063	26.268
2.7	0.063	35.460	11.265	0.062	26.215
2.72	0.063	35.478	11.324	0.062	26.158
2.74	0.062	35.639	11.381	0.061	26.097
2.76	0.061	35.773	11.431	0.060	26.023
2.78	0.061	35.925	11.482	0.060	25.951
2.8	0.060	36.029	11.522	0.059	25.856
2.82	0.059	36.087	11.549	0.058	25.731
2.84	0.059	36.159	11.561	0.058	25.578
2.86	0.058	36.221	11.561	0.057	25.398
2.88	0.057	36.236	11.548	0.056	25.194
2.9	0.056	36.205	11.526	0.055	24.972
2.92	0.055	36.129	11.491	0.054	24.727
2.94	0.054	36.031	11.453	0.053	24.477
2.96	0.053	36.044	11.403	0.052	24.205
2.98	0.052	36.018	11.341	0.051	23.911
3	0.051	35.956	11.268	0.050	23.600
3.02	0.050	35.858	11.199	0.049	23.299
3.04	0.049	35.728	11.120	0.048	22.984
3.06	0.048	35.567	11.037	0.047	22.662
3.08	0.047	35.377	10.969	0.047	22.378
3.1	0.046	35.353	10.908	0.046	22.109
3.12	0.046	35.357	10.887	0.045	21.924
3.14	0.045	35.366	10.898	0.044	21.808
3.16	0.045	35.387	10.908	0.044	21.688
3.18	0.044	35.402	10.910	0.043	21.556
3.2	0.044	35.411	10.908	0.043	21.418
3.22	0.043	35.414	10.910	0.042	21.289
3.24	0.043	35.413	10.919	0.042	21.175
3.26	0.042	35.406	10.923	0.041	21.052
3.28	0.042	35.418	10.937	0.041	20.951
3.3	0.041	35.425	10.948	0.040	20.844
3.32	0.041	35.426	10.948	0.040	20.720
3.34	0.040	35.422	10.942	0.039	20.583
3.36	0.040	35.419	10.929	0.039	20.436
3.38	0.039	35.480	10.906	0.038	20.273
3.4	0.039	35.535	10.871	0.038	20.090
3.42	0.038	35.582	10.827	0.037	19.890
3.44	0.038	35.622	10.771	0.037	19.673
3.46	0.037	35.655	10.705	0.036	19.440
3.48	0.036	35.680	10.629	0.035	19.191
3.5	0.036	35.697	10.560	0.035	18.958
3.52	0.035	35.706	10.486	0.034	18.717
3.54	0.034	35.707	10.402	0.033	18.463
3.56	0.034	35.700	10.358	0.033	18.281
3.58	0.033	35.725	10.345	0.032	18.157
3.6	0.033	35.740	10.328	0.032	18.026
3.62	0.032	35.745	10.302	0.032	17.882
3.64	0.032	35.740	10.275	0.031	17.736
3.66	0.032	35.725	10.279	0.031	17.646
3.68	0.032	35.699	10.334	0.031	17.644
3.7	0.031	35.664	10.385	0.031	17.636
3.72	0.031	35.619	10.425	0.030	17.609
3.74	0.031	35.565	10.456	0.030	17.565
3.76	0.031	35.501	10.477	0.030	17.508
3.78	0.030	35.428	10.490	0.030	17.436
3.8	0.030	35.345	10.498	0.029	17.357
3.82	0.030	35.254	10.502	0.029	17.275
3.84	0.030	35.153	10.499	0.029	17.178
3.86	0.029	35.045	10.494	0.028	17.082
3.88	0.029	34.928	10.489	0.028	16.986
3.9	0.029	34.804	10.476	0.028	16.878
3.92	0.028	34.672	10.458	0.027	16.763
3.94	0.028	34.533	10.436	0.027	16.643
3.96	0.028	34.388	10.444	0.027	16.572
3.98	0.027	34.237	10.445	0.027	16.490
4	0.027	34.081	10.438	0.026	16.396

STUDIO DI MICROZONAZIONE SISMICA DI III LIVELLO

Approvato con delibera di C.C. n° 15 del 08/04/2021

Comune di Rimini

Progetto:

REALIZZAZIONE DI UN PARCHEGGIO MULTIPIANO CON ANNESSO EDIFICIO COMMERCIALE

**VARIANTE AL RUE ADOTTATA CON DELIBERA DI CONSIGLIO COMUNALE N. 34 DEL 25/06/2018 AI SENSI
DELL'ART. 4 COMMA 4 DELLA L.R. 24/2017 PER LA MODIFICA DELLA DISCIPLINA DELL'AREA OGGETTO DELLA
PROPOSTA DI ACCORDO EX ART. 18 L.R. N. 20/2000 DELIBERA DI G.C. N. 53 DEL 20/02/2018**

Ubicazione:

via Bramante –via Circonvallazione Meridionale

Dati Catastali:

Committente:

Fox Petroli S.p.A.

Professionisti:

Dott. Geol. Matteo Darderi
Dott. Geol. Patrizia Rondoni

Collaboratori:

Dott. Claudia Tomassoli

RELAZIONE GEOLOGICA SISMICA

INTEGRAZIONE

Data	Commessa	Rev.	Rif.
21/10/2018	2017	01	Rimini Fox Petroli Variante

"OPERA DELL'INGEGNO – RIPRODUZIONE VIETATA OGNI DIRITTO RISERVATO – ART.99 L. 633/41".

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 2 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica Rev. 01		

Indice

1	PREMESSA	3
2	CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA.....	6
3	CENNI TEORICI DI ANALISI DINIMACA AVANZATA (FLAC 2D – ITASCA, 2017)	11
4	EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA.....	20
5	ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO.....	22
	5.1 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate.....	22
	5.2 Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta all’H.V.S.R. ottenuti dalle indagini sismiche effettuate.....	22
	5.3 Indagine sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.).....	23
	5.4 Categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni – D.M. 17 gennaio 2018	24
6	MODELLIZZAZIONE NUMERICA AVANZATA	26
7	CONSIDERAZIONI IN MERITO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE.....	30

ALLEGATI

1. Spettro di risposta elastico medio da modellazione numerica
2. Planimetria ubicazione prove penetrometriche cpt
Tabulati e diagrammi penetrometrici

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 3 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Rev.	01	

1 PREMESSA

Questa integrazione alla relazione geologica già prodotta, relativa alla “realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale”, fa seguito alla richiesta di integrazione, pervenuta il 31/08/2018 con posta certificata dal comune di Rimini, Prot.N.0241522/2018, finalizzata all’espressione del parere ai sensi dell’art. 5 della L.R. 19/08.

Per completare le richieste si allegano anche i diagrammi delle prove penetrometriche eseguite nel sito che non erano stati inseriti nella relazione geologica già consegnata.

Si è pertanto proceduto a sviluppare le analisi di terzo livello di RSL e ad approfondire le considerazioni sulle analisi di microzonazione sismica di cui al punto 4.2 della 112/2007 e della 2193/2015.

A tale fine è stato condotto uno studio della risposta sismica locale tramite modellazione numerica avanzata in modalità dinamica – Livello 3 (N.T.C. – D.M. 17 gennaio 2018; D.G.R. n. X/5001 30/03/2016).

In particolare in data 3 ottobre 2018 è stata condotta una campagna d’indagine geofisica presso l’area di intervento sita in Via Donato Bramante nel Comune di Rimini (RN).

La campagna suddetta è stata realizzata dallo Studiosisma srl di Vicenza ed è consistita nella esecuzione di:

- ✚ **n°1 prospezione sismica con tecnica passiva Re.Mi. (Refraction Microtremor)** sviluppata in un *array* lineare con n°16 geofoni a 4,5 Hz ad asse verticale per la ricostruzione sismo-stratigrafica dei terreni e assegnazione della categoria di sottosuolo di fondazione tramite la stima della velocità di propagazione delle onde S (metodo semplificato – NTC18);
- ✚ **n°1 registrazione di rumore sismico ambientale a stazione singola con elaborazione H.V.S.R. (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)** per individuare le frequenze di risonanza del terreno e per ricostruire puntualmente l’assetto sismo-stratigrafico locale fino all’ultimo riflettore in grado di generare amplificazione.

Successivamente, la risposta sismica dei terreni oggetto d’indagine è stata indagata mediante un approccio al continuo in condizioni di monodimensionalità (RSL – Livello 3).

La tecnica di risoluzione numerica utilizzata è quella alle differenze finite (FDM) implementata nel codice di calcolo FLAC 8.0 (ITASCA, 2017), operante nel dominio del tempo; il codice effettua un’analisi lagrangiana del continuo risolto mediante uno schema di avanzamento temporale di tipo esplicito.

L’esatta ubicazione dell’area è stata ottenuta tramite un posizionatore GPS interno alla strumentazione geofisica utilizzata e di seguito riportata in gradi e minuti con decimali secondo lo standard WGS-84 e ED50.

Latitudine	Longitudine
44.055560°N (WGS-84)	12.568629°E (WGS-84)
44.056499° N (ED50)	12.569586° E (ED50)

Nella figura seguente sono invece riportate, in dettaglio, le posizioni di ogni misura effettuata.

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 4 / 35
	Identificazione documento		Oggetto:		
	RGS		Relazione Geologica sismica		
			15.10.2018		
			Rev.	01	



Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 5 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica	Rev.	



Fig. n° 1 – Ubicazione prove in sito

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 6 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		
			Rev.	01	

2 CENNI TEORICI E STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

2.1 Indagine sismica di tipo passivo in array (Re.Mi.)

È noto che la propagazione delle onde, nel caso di mezzi stratificati e trasversalmente isotropi, avviene in maniera diversa rispetto al caso di mezzi omogenei; non esiste più un'unica velocità ma ogni frequenza è caratterizzata da una diversa velocità di propagazione a sua volta legata alle varie lunghezze d'onda. Queste interessano il terreno a diverse profondità e risultano influenzate dalle caratteristiche elastiche, appunto variabili con la profondità. Questo comportamento viene definito dispersione in frequenza ed è fondamentale nello sviluppo dei metodi sismici che utilizzano le onde di superficie. Ovviamente le lunghezze d'onda più grandi corrispondono alle frequenze più basse e vanno ad interessare il terreno più in profondità; al contrario, le lunghezze d'onda più piccole, poiché sono associate alle frequenze più alte, rimangono nelle immediate vicinanze della superficie. I metodi di prospezione sismica che utilizzano le onde di superficie si basano su modelli fisico – matematici nei quali il sottosuolo viene schematizzato come una serie di strati con caratteristiche elastiche lineari.

La procedura Re.Mi. è un metodo di prospezione sismica sviluppato presso l'Università di Reno in Nevada (Louie, 2001) e viene classificato come metodo passivo in quanto utilizza il rumore ambientale. I vantaggi promossi da questo metodo sono molteplici: è molto veloce e semplice da usare in fase di acquisizione, raggiunge una buona profondità e risoluzione d'indagine ma soprattutto permette di ottenere migliori risultati in ambienti particolarmente urbanizzati.

La fase di acquisizione deve essere effettuata con una serie di accorgimenti e precauzioni da prendere in sito e nella pianificazione della registrazione. Tutto è finalizzato alla registrazione di dati contenenti la miglior informazione possibile riguardo alla propagazione delle onde di Rayleigh con buon rapporto segnale - rumore.

Il rumore incoerente, cioè di tipo casuale, nel caso Re.Mi. rappresenta la fonte del segnale utile che si vuole registrare. I microtremori generati dall'ambiente si propagano nel suolo e di questi si cerca di distinguere il modo fondamentale di vibrazione dell'onda di Rayleigh da quelli superiori e dall'aliasing spaziale. C'è, in questo caso, la necessità di soddisfare la condizione di "omnidirezionalità" delle sorgenti, cioè si suppone che il rumore ambientale provenga sostanzialmente da tutte le direzioni.

I tempi di registrazione dei microtremori sono decisamente più elevati rispetto alle indagini di tipo attivo. La registrazione sarà analizzata in finestre temporali che variano dai 10 ai 30 secondi.

Sono da considerare la lunghezza dello stendimento L e la distanza intergeofonica Δx . Quest'ultima agisce sul segnale come una specie di filtro in frequenza. Supponendo, infatti, che il segnale arrivi da tutte le direzioni, maggiore è la spaziatura, minore sarà la frequenza del segnale utile campionabile e viceversa. Se la frequenza è più bassa aumenta la profondità d'indagine.

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 7 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		
			Rev.	01	

La fase più delicata è quella del data processing, che consiste nel trattamento dei dati acquisiti con l'obiettivo di stimare la velocità di fase delle onde di Rayleigh (V_r) che sono correlabili con le velocità V_s di propagazione delle onde S ($V_s \approx 1,1 V_r$).

Le varie tecniche di processing trasformano l'informazione registrata nel dominio $x - t$ (spazio tempo), in un dominio dove l'energia associata all'evento è funzione della frequenza e di altre variabili. Tutto questo allo scopo, attraverso lo spettro, di localizzare la densità di energia maggiore, alla quale sono di solito associate le onde di Rayleigh. Con procedura manuale vengono selezionati dei punti sullo spettro, che andranno a formare la curva di dispersione sperimentale. La scelta di questi valori, denominata picking, è condizionata da alcune indicazioni ma è imprescindibile dall'abilità e dall'esperienza dell'interprete anche in base ad altre conoscenze in merito al sito in esame.

Il sampling rate utilizzato è stato di 512 Hz in modo da ottenere un elevato dettaglio del segnale. La durata (lunghezza temporale) del segnale registrato è stato di circa 6 minuti. Il software utilizzato per l'analisi spettrale è Grilla v.7 beta release 2017.

Data la necessità di analizzare con elevato dettaglio le basse frequenze (tipicamente anche al di sotto dei 10 Hz), sono stati utilizzati n°16 geofoni verticali a 4,5 Hz uniti in un array lineare totalmente digitale (SoilSpy Rosina) costituito da n° 10 geofoni in direzione X e n°6 geofoni in direzione Y. Ogni geofono è munito di un digitalizzatore che converte il segnale e lo trasmette al sismografo tramite un'interfaccia USB. Tale sistema permette di avere elevati rapporti di rumore, un perfetto sincronismo e una estrema leggerezza. La spaziatura utilizzata tra i geofoni è stata di 3 m quindi la lunghezza complessiva del profilo è risultata essere di 46 m.



Non sono presenti sostanziali variazioni di quota e quindi il sito può essere considerato orizzontale.

Per una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde V_s è necessario adottare una modellizzazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$\hat{v}_s = \frac{H}{\sum_{i=1}^n \frac{h_i}{v_i}} \quad [2.1]$$

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 8 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		

Dove:

Vs = valore di velocità delle onde di taglio [m/s];

H = profondità alla quale si desidera stimare Vs [m] (30 m in caso di Vs30);

hi = spessore dello strato i – esimo [m];

vi = velocità delle onde Vs all'interno dello strato i – esimo [m/s].

In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano i valori tabulati da Borcherdt (1992; 1994) assieme a quelli ottenuti sperimentalmente in diversi ambienti sedimentari da altri autori (Budny, 1984; Ibs von Seht e Wohlenberg, 1999; Delgado et al., 2000 a, b; Parolai et al., 2002; Scherbaum et al., 2003; D'Amico et al., 2004, 2006; Hinzen et al., 2004).

TIPO DI SUOLO	Vs min [m/s]	Vs med [m/s]	Vs max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate)	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia)	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - GHIAIOSI (es. ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose)	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere)	100	150	200

2.2 Indagine sismica di tipo passivo a stazione singola (H.V.S.R.)

La tecnica sismica passiva (tecnica dei rapporti spettrali o H.V.S.R., Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non richiede nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale. Si dovranno adottare adeguate precauzioni nel costruire edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- la frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito (free field) e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 9 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		

- la velocità media delle onde di taglio Vs calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. Sarà quindi possibile calcolare la Vs,eq e la relativa categoria di sottosuolo come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018;
- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0,5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostante per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

- dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s;
- dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
- dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

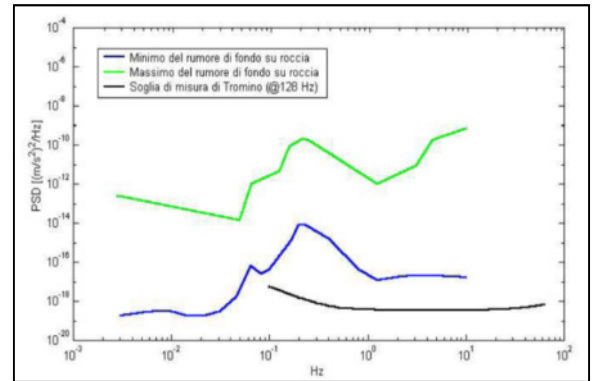
$$\text{segnale registrazione al sito } x = \text{sorgente} * \text{effetti di percorso} * \text{funzione trasferimento strumento}$$

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi poiché il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva. Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione riguardante la sorgente è persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni concernenti il percorso del segnale e, in particolare, relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 10 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		

è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSR che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali del sottosuolo; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale della ditta Moho S.r.l. modello "Tromino – ENGY PLUS" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra - leggeri e ultra - compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno tre terne velocimetriche con i sensori ortogonali tra loro e con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. Nella figura a fianco si riporta la curva di rumore di "Tromino" a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.



Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 11 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		
			Rev.	01	

3 CENNI TEORICI DI ANALISI DINIMACA AVANZATA (FLAC 2D – ITASCA, 2017)

Il codice di calcolo FLAC 2D v.8.0 (Fast Lagrangian Analysis of Continua) della Itasca (2017) è basato sul metodo delle differenze finite con un procedimento di tipo esplicito. La flessibilità nella modellazione della geometria del problema, la disponibilità di elementi strutturali, l'elevato numero di modelli costitutivi implementati e la possibilità di svilupparne nuovi, rendono FLAC idoneo allo studio di praticamente tutti i problemi riguardanti il comportamento meccanico di mezzi continui (terreni, rocce, ecc.) e di strutture interagenti. Sviluppato inizialmente per le applicazioni di ingegneria geotecnica e ingegneria mineraria in campo statico ha trovato successivamente, con l'introduzione del modulo dinamico, largo impiego anche per la soluzione di problemi di risposta sismica locale. Il codice di calcolo FLAC, anche per i problemi in campo statico, risolve le equazioni di equilibrio dinamico di un mezzo continuo:

$$\rho \cdot \frac{\partial \dot{u}_i}{\partial t} = \sum_j \frac{\partial \tau_{ji}}{\partial x_j} + \rho g_i \quad (3.10)$$

dove:

- ρ è la densità
- x_j la componente i -esima del vettore posizione
- \dot{u}_i la componente i -esima del vettore velocità
- g_i la componente dell'accelerazione di gravità (forze di volume) lungo la direzione i
- τ_{ji} la generica componente del tensore degli sforzi.

Il comportamento meccanico dei materiali è espresso dalla legge costitutiva:

$$\tau_{ji} = M(\tau_{ji}; \dot{\epsilon}_{ij}; k) \quad (3.11)$$

dove k è un parametro che tiene conto della storia di carico, M un funzionale e $\dot{\epsilon}_{ij}$ il tensore velocità di deformazione espresso dalla:

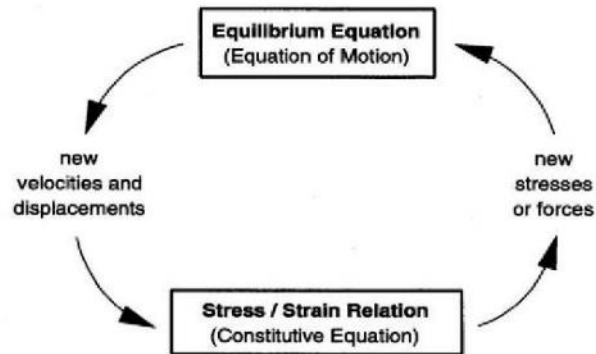
$$\dot{\epsilon}_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \dot{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (3.12)$$

I materiali vengono rappresentati da elementi quadrilateri, o zone, che formano una griglia (mesh) che può essere configurata dall'utente in modo da modellare contatti stratigrafici e morfologie superficiali anche complesse e irregolari. A ciascuna zona si assegnano le proprietà fisiche e meccaniche che ne caratterizzano il comportamento nell'analisi. I vertici di ogni zona costituiscono i nodi della griglia.

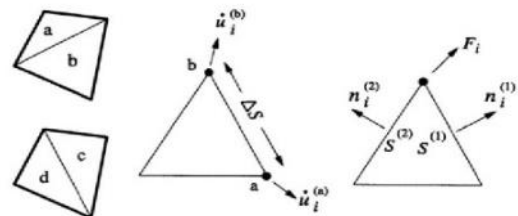
I metodi alle differenze finite come quelli agli elementi finiti traducono un sistema di equazioni differenziali come le (3.10) in un sistema di equazioni algebriche. Se i metodi agli elementi finiti

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 12 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		

hanno come punto centrale la definizione delle funzioni di forma che descrivono la variazione delle grandezze che interessano il problema (tensioni, deformazioni) attraverso ciascun elemento, nei metodi alle differenze finite si prescinde da questa definizione della funzioni di forma, e le equazioni algebriche vengono scritte direttamente in termini di variabili di campo (tensioni, spostamenti) definite nei nodi della mesh. In sintesi, l'algoritmo risolutivo dell'approccio esplicito si articola secondo il ciclo indicato nella seguente figura.



Ad ogni nuovo passo di calcolo (step), vengono risolte le equazioni di equilibrio dinamico, per cui dalle tensioni e dalle forze si ottengono i valori corrispondenti delle velocità di deformazione e degli spostamenti; successivamente dalle velocità di deformazione, attraverso le equazioni dei legami costitutivi, si giunge a valori aggiornati delle tensioni. L'ipotesi base dell'approccio esplicito consiste nel fatto che, durante ciascuna fase, le grandezze vengono ricavate da altre grandezze i cui valori sono assunti costanti durante l'operazione. Ad esempio, i valori delle velocità di deformazione sono considerati fissi durante l'operazione di calcolo delle tensioni mediante le leggi costitutive; in altre parole, i nuovi valori calcolati delle tensioni non influenzano le velocità. Questo può apparire poco accettabile dal punto di vista fisico poiché se c'è una variazione di tensione in un punto, questa necessariamente influenza i punti vicini alterandone le velocità di deformazione. Tuttavia se l'intervallo di tempo Δt (timestep) corrispondente al singolo ciclo di calcolo è sufficientemente piccolo, tale alterazione non può propagarsi da un elemento all'altro in tale intervallo. Tale approccio si è dimostrato particolarmente efficiente nella modellazione di problemi non lineari in presenza di grandi deformazioni. Per contro, essendo il Δt richiesto generalmente molto piccolo, sono necessari un gran numero di passi di integrazione cui corrispondono tempi di calcolo molto elevati.



Gli elementi quadrangolari della griglia vengono automaticamente suddivisi dal programma in due set sovrapposti di triangoli a deformazioni costanti. Le equazioni alle differenze finite per ogni triangolo si ottengono dalla forma generalizzata del teorema della divergenza di Gauss:

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 13 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		
			Rev.	01	

$$\int_S \mathbf{f} \cdot \hat{\mathbf{n}} \cdot d\mathbf{s} = \int_A \text{div } \mathbf{f} \cdot dA \quad (3.13)$$

in cui:

\mathbf{n} è il versore normale al contorno S del dominio triangolare

f la funzione generica (scalare, vettore o tensore)

A la superficie del dominio triangolare di contorno S

ds la lunghezza incrementale lungo il contorno S .

Sostituendo ad f un valore medio del vettore velocità la relazione precedente consente di scrivere:

$$\frac{\partial \dot{u}_i}{\partial x_i} \cong \frac{1}{2A} \sum_s (\dot{u}_i^{(a)} + \dot{u}_i^{(b)}) n_j \Delta s \quad (3.14)$$

dove (a) e (b) sono due nodi consecutivi sul generico lato del triangolo.

Attraverso la (3.12) e la (3.14) è quindi possibile calcolare tutte le componenti del tensore velocità di deformazione. La legge costitutiva è poi utilizzata per calcolare un nuovo valore del tensore delle tensioni. Calcolate le tensioni vengono calcolate le forze equivalenti applicate ai nodi. Le tensioni agiscono in ciascun triangolo come trazioni sui lati del triangolo stesso; ogni trazione è considerata equivalente a due forze agenti sui due nodi all'estremità del lato. Su ogni nodo del triangolo quindi agiscono due forze relative ai due lati convergenti nel nodo stesso:

$$\mathbf{F}_i = \frac{1}{2} \tau_{ji} \left(n_i^{(1)} S^{(1)} + n_i^{(2)} S^{(2)} \right) \quad (3.15)$$

Infine per ciascun nodo vengono sommate tutte le forze dovute ai triangoli convergenti nel nodo, le forze dovute a eventuali carichi esterni applicati e le forze di volume dovute alla gravità. In tal modo viene determinata la forza nodale netta ΣF_i ; se $\Sigma F_i = 0$ il nodo è in equilibrio altrimenti subirà un'accelerazione espressa dalla seconda legge di Newton, nient'altro che la (3.10) espressa in termini incrementali:

$$\dot{u}_i^{(t+\frac{\Delta t}{2})} = \dot{u}_i^{(t-\frac{\Delta t}{2})} + \left[\sum F_i^{(t)} \right] \frac{\Delta t}{m} \quad (3.16)$$

dove l'apice indica il tempo in corrispondenza del quale è valutata la variabile e m è la massa associata a ciascun nodo pari alla somma di un terzo delle masse dei triangoli convergenti nel nodo. Dalla relazione precedente si determinano nuovi valori della velocità e quindi del tensore velocità di deformazione per un nuovo ciclo.

Come detto, condizione essenziale dell'algoritmo descritto, è che il time step Δt corrispondente al singolo ciclo di calcolo sia sufficientemente piccolo da rendere accettabile l'approssimazione

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 14 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		
			Rev.	01	

di tensioni e velocità costanti sul singolo step di calcolo. In particolare Δt deve essere inferiore ad un time step critico Δt_{crit} definito dalla:

$$\Delta t_{cr} = \min \left\{ \frac{A}{V_p \Delta x_{max}} \right\} \quad (3.17)$$

dove A è la superficie del sub-elemento triangolare, Δx_{max} la dimensione massima della zona (in genere la diagonale) e VP la velocità delle onde di compressione. La funzione minimo è presa su tutte le zone. Il timestep critico è tanto più piccolo (e i tempi di calcolo quindi tanto più elevati) quanto più la rigidezza del materiale è elevata e quanto più piccolo è l'elemento. Il Δt di calcolo viene determinato internamente da FLAC applicando un coefficiente di sicurezza due al valore fornito dalla (3.17).

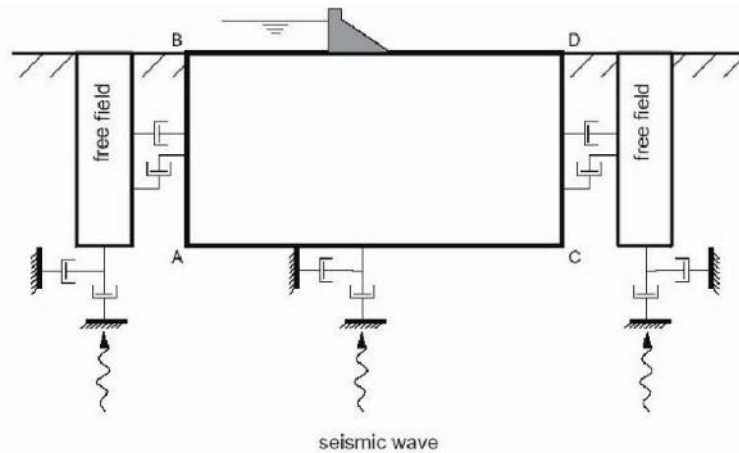
Particolare attenzione va posta nella scelta delle dimensioni degli elementi della mesh in quanto queste condizionano in maniera fondamentale l'accuratezza numerica della trasmissione delle onde. In particolare, per un'accurata modellazione viene consigliato di scegliere una altezza degli elementi h almeno pari ad un valore compreso tra un decimo ed un ottavo della minima lunghezza d'onda di interesse λ_{min} :

$$h \leq \frac{\lambda_{min}}{10} \quad (3.18)$$

La λ_{min} è la lunghezza d'onda che corrisponde alla massima frequenza di interesse ed è legata ad essa dalla velocità di propagazione delle onde di taglio. I metodi alle differenze finite, così come quelli agli elementi finiti, si basano sulla discretizzazione, tramite una mesh di nodi, di una porzione finita dello spazio per cui appropriate condizioni al contorno vanno imposte ai confini artificiali di tale regione. In ogni problema di propagazione di onde sismiche, parte dell'energia si allontana indefinitamente dalla regione di interesse verso il semispazio circostante per fenomeni di diffrazione e riflessione dando luogo ad una "perdita" di energia indicata come smorzamento di radiazione. Al fine di modellare correttamente questo fenomeno, FLAC consente di minimizzare la riflessione delle onde sui contorni della mesh imponendo su questi condizioni di campo libero (free field boundaries) o viscosi (quiet boundaries). La definizione delle condizioni al contorno è strettamente correlata all'applicazione della sollecitazione dinamica, come discusso in seguito.

I contorni free-field consistono sostanzialmente in colonne monodimensionali di larghezza unitaria, situate ai lati del modello, che simulano il comportamento di un mezzo infinitamente esteso (figura seguente).

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 15 / 35	
	Identificazione documento		Oggetto: Relazione Geologica sismica			15.10.2018
	RGS		Rev.	01		



In pratica, essi riproducono il moto libero del terreno che si avrebbe in assenza della configurazione bidimensionale ed allo stesso tempo impediscono la riflessione ai bordi della mesh delle onde difratte verso l'esterno. Come illustrato, i singoli nodi dei contorni laterali della griglia principale vengono accoppiati alla griglia free-field attraverso smorzatori viscosi che materialmente assorbono l'energia delle onde incidenti sui contorni, applicando delle forze viscosse proporzionali alla differenza tra il campo di velocità esistente al bordo e quello in condizioni free-field. Prima dell'applicazione delle condizioni free-field durante l'analisi dinamica il modello deve essere in condizioni di equilibrio statico, per cui è necessario eseguire una analisi statica preliminare per determinare lo stato tensionale e deformativo all'interno del modello. All'atto dell'applicazione delle condizioni free-field quindi tutte le variabili di stato determinate dall'equilibrio statico vengono applicate alle colonne monodimensionali ai bordi del modello. I contorni free-field sono di notevole utilità in quanto consentono di evitare l'allontanamento dei confini laterali altrimenti necessario, in assenza di confini assorbenti, per la minimizzazione delle onde riflesse dai contorni.

I contorni quiet sono invece costituiti, secondo la formulazione di Lysmer e Kuhlemeyer (1969), da smorzatori viscosi attaccati alla griglia ed agenti in direzione normale e tangenziale al contorno stesso; essi consentono un pressoché completo assorbimento delle onde di volume che incidono sul contorno. I contorni quiet possono essere applicati su contorni verticali, orizzontali o inclinati. Essi vanno applicati al confine inferiore della mesh per simulare la base elastica mentre ai bordi del modello, come detto, è preferibile l'utilizzo dei contorni free-field.

Le sollecitazioni dinamiche possono essere applicate sia ai bordi della mesh sia ai suoi nodi interni in una delle seguenti forme:

- ✓ storia temporale di accelerazioni
- ✓ storia temporale di velocità
- ✓ storia temporale di tensioni
- ✓ storia temporale di forze.

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 16 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		

Nell'applicare la sollecitazione dinamica, bisogna però tenere conto di alcune limitazioni che derivano da particolari incompatibilità tra forme di applicazione dell'input e delle condizioni al contorno. Se, ad esempio, queste sono rappresentate da quiet boundaries (come avviene solitamente per il bordo inferiore della mesh) il loro effetto viene annullato se si applica un accelerogramma o una storia di velocità. In questo caso quindi la base è modellata come rigida cioè perfettamente riflettente dando luogo a irrealistiche sovrastime del moto sismico. Per simulare correttamente una base elastica occorre applicare ai quiet boundaries alla base della mesh una storia temporale di tensioni. A tal fine, un accelerogramma di input deve essere integrato per ottenere una storia temporale di velocità e questa viene infine convertita in tensioni tramite le seguenti relazioni:

$$\sigma_n = 2(\rho V_p) v_n \quad \sigma_s = 2(\rho V_s) v_s \quad (3.19)$$

dove:

ρ è la densità

σ_n , σ_s rispettivamente tensione applicata in direzione normale e tangenziale al contorno

V_p , V_s rispettivamente velocità delle onde di compressione e di taglio del materiale che viene simulato al di sotto del contorno inferiore (costituente la base elastica)

v_n , v_s rispettivamente la velocità di input normale e tangente al contorno.

In definitiva quindi un input costituito da onde SV sarà applicato come una storia temporale di tensioni tangenziali mentre le onde P tramite una storia temporale di tensioni normali al contorno. Entrambe le sollecitazioni sono applicate con incidenza verticale.

La non linearità e le proprietà dissipative dei terreni possono essere modellate in FLAC secondo differenti modalità: attraverso l'adozione di un legame costitutivo propriamente non lineare o, a partire dalla versione 5.0 (Itasca, 2005), tramite semplici modelli di smorzamento isteretico. Le proprietà dissipative possono altresì essere modellate attraverso la formulazione di Rayleigh.

L'adozione di una legge sforzi-deformazione non lineare rappresenta, teoricamente, il modo più efficace per tenere conto della degradazione di rigidità al procedere della deformazione e della dissipazione di energia per isteresi. Questi modelli possono essere accoppiati con modelli di filtrazione per simulare la generazione e dissipazione di eccessi di pressioni neutre e/o fenomeni di liquefazione e consentono inoltre la valutazione delle deformazioni permanenti. Dal punto di vista pratico però spesso i modelli non lineari sono complessi e richiedono la definizione di molti parametri e lunghi processi di calibrazione.

La complessità dei modelli non lineari e la comodità di un utilizzo diretto delle curve G/G_0 - γ e D - γ generalmente fornite dalle prove di laboratorio e dalle correlazioni empiriche ha portato

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 17 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		

all'introduzione di semplici modelli di smorzamento isteretico (hysteretic damping) nella recente versione 5.0 del codice. Durante ciascun step di calcolo, in funzione del valore medio del tensore di velocità di deformazione, viene restituito un fattore moltiplicativo da usarsi nel legame costitutivo in modo da correggere il valore del modulo tangente di taglio associato a ciascun elemento. Il modello isteretico implementato utilizza solo curve continue che esprimono la variazione del modulo di taglio con la deformazione tangenziale, quindi i parametri da fornire in input, che definiscono la forma di tali curve, vanno ricavati attraverso regressione dei dati sperimentali. Analisi di calibrazione dello smorzamento isteretico sono necessarie prima di un suo uso nella pratica corrente.

Nel caso di analisi lineari, o per modellare comunque lo smorzamento a basse deformazioni che spesso i legami costitutivi non lineari non riescono a cogliere, si può utilizzare la formulazione di Rayleigh. Essa conduce ad uno smorzamento dipendente dalla frequenza in contrasto con le evidenze sperimentali sul comportamento dei terreni. Il suo impiego richiede pertanto una oculata scelta dei parametri che lo definiscono per limitare la variazione dello smorzamento con la frequenza (Lanzo et al., 2003 e 2004). Lo smorzamento di Rayleigh è stato originariamente formulato per le analisi strutturali ed è espresso in forma matriciale attraverso la definizione di una matrice di smorzamento C proporzionale alla matrice di massa M e a quella di rigidezza K:

$$C = \alpha_R M + \beta_R K \quad (3.20)$$

dove alfa-R e beta-R sono i coefficienti di Rayleigh che hanno dimensione rispettivamente di s-1 e s. E' possibile dimostrare (Chopra, 1995) che lo smorzamento ξ_j associato al j-esimo modo di vibrazione del deposito è espresso dalla:

$$\xi_j = \frac{1}{2} \left(\frac{\alpha_R}{\omega_j} + \beta_R \omega_j \right) \quad (3.21)$$

dove ω_j è la frequenza circolare relativa al modo j.

I coefficienti di Rayleigh vengono comunemente determinati attraverso due procedure, a seconda che si fissi il valore dello smorzamento modale in corrispondenza di una o due frequenze naturali opportunamente selezionate (dette frequenze di controllo). Il codice FLAC adotta la prima procedura in accordo alla quale i coefficienti di Rayleigh sono espressi dalle:

$$\alpha_R = \xi^* \omega^* \quad , \quad \beta_R = \frac{\xi^*}{\omega^*} \quad (3.22)$$

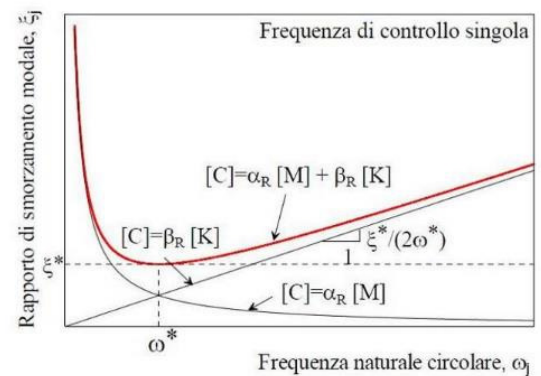
avendo fissato lo smorzamento modale al valore ξ in corrispondenza della singola frequenza ω .

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 18 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		

Per ciascun elemento della mesh occorre specificare il rapporto di smorzamento ξ^* del materiale e la frequenza ω^* . A titolo di esempio, nel caso di smorzamento ξ^* e frequenza ω^* costante per tutto il deposito, è possibile dimostrare che un'analisi lineare eseguita con FLAC fornisce gli stessi risultati di un'analisi modale con rapporto di smorzamento modale dell'intero sistema variabile con la frequenza circolare naturale ω_j secondo la:

$$\xi_{j\sigma} = \frac{\xi^*}{2} \left(\frac{\omega^*}{\omega_j} + \frac{\omega_j}{\omega^*} \right) \quad (3.23)$$

riportata nella figura seguente, nella quale si nota come ξ_j assuma un minimo (pari al valore imposto ξ^*) in corrispondenza della frequenza di controllo ω^* mentre sia sovrastimato nel campo dei valori maggiori e minori di ω^* . La formulazione di Rayleigh viene applicata a livello del singolo elemento della mesh per cui, tra i dati di input, occorre specificare per ciascun elemento il valore del rapporto di smorzamento del materiale che lo costituisce ξ^* e la frequenza di controllo ω^* (o meglio il valore f^*). La scelta di f^* è cruciale per fissare il campo di frequenza in corrispondenza del quale lo smorzamento mostra variazioni contenute rispetto a ξ^* . In generale, f^* deve essere scelta nel campo di frequenza significativo per il problema in esame sia in termini di frequenze naturali del sistema che di frequenze predominanti dell'input. In prima approssimazione si può collocare f^* tra la frequenza fondamentale del sistema e la frequenza predominante dell'input (frequenza corrispondente al massimo dello spettro di Fourier o di risposta). Se questi valori sono distanti è comunque opportuno esaminare con analisi parametriche l'influenza sui risultati delle diverse scelte di f^* .



In definitiva occorre quindi fornire in input, per ciascun materiale, i seguenti parametri:

- peso dell'unità di volume
- nel caso di analisi lineari modulo di taglio (G_0) e di elasticità volumetrico (k), o, in alternativa modulo di Young (E) e coefficiente di Poisson (ν); nel caso di analisi non lineari occorre fornire i parametri caratteristici del modello adottato
- rapporto di smorzamento (ξ^*) e frequenza di controllo (f^*) se si adotta la formulazione di Rayleigh.

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 19 / 35
	Identificazione documento	Oggetto: Relazione Geologica sismica	15.10.2018		
	RGS		Rev.	01	

In uscita il codice offre notevoli potenzialità potendo restituire la storia temporale di tutte le grandezze di interesse: spostamenti, velocità, accelerazioni, deformazioni e tensioni. L'interfaccia grafica consente inoltre di costruire ed esportare grafici delle sopra citate grandezze in funzione della profondità o lungo un generico profilo.

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 20 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		

4 EVOLUZIONE NORMATIVA E CENNI DI INGEGNERIA SISMICA

La storia della classificazione sismica Italiana comincia dopo il terribile terremoto di Reggio Calabria e Messina del 1908 (XI grado MCS) che provocò la morte di circa 80.000 persone. In seguito a questo evento ci fu un deciso impegno dello Stato a tradurre in legge le conoscenze scientifiche e tecniche sulle costruzioni sino ad allora maturate. Fu così emanato il Regio decreto n°193 [1909] nel quale è contenuta la prima classificazione sismica del territorio Italiano. Negli anni a seguire si continuò ad aggiornare la normativa tecnica ampliando la classificazione in base alle zone colpite da eventi sismici. Nel 1962 fu pubblicata la Legge n°1684, in seguito ai terremoti di Carnia (1956), Valle del Velino (1961) e Irpinia (1962) dove, per la prima volta, si prescrisse l'applicazione delle norme sismiche ai comuni "soggetti a intensi movimenti sismici" e non solo a quelli colpiti dal terremoto. In seguito ai terremoti dei Monti Nebroli (1967), della Valle del Belice (1968) e di Tuscania (1971), fu emanata la Legge n°64 [1974], che costituisce una pietra miliare nel panorama della normativa sismica poiché stabilì che la classificazione sismica dovesse procedere sulla base di comprovate motivazioni tecniche scientifiche.

La promulgazione dell'Ordinanza P.C.M. n°3274 del 20/3/2003 e successive modifiche ed integrazioni ha determinato sul panorama nazionale un grande rinnovamento sul fronte della normativa tecnica in zona sismica, rappresentata fino ad allora dai contenuti del D.M. 16 gennaio 1996. La principale novità introdotta dall'O.P.C.M. n°3274 è l'abbandono del carattere puramente prescrittivo e convenzionale che caratterizzava le norme tecniche di vecchia concezione, come il D.M. 16/01/1996, per abbracciare un'impostazione puramente prestazionale, in cui gli obiettivi della progettazione e quindi il livello di sicurezza sono esplicitamente dichiarati, a seconda della risposta sismica attesa per la struttura e il sito di costruzione, per un prefissato livello di severità dell'azione sismica.

Le attuali norme tecniche per le costruzioni (N.T.C. D.M. - 17 gennaio 2018) ereditano gran parte dei contenuti dell'O.P.C.M. n°3274 in merito alla progettazione in zone sismiche; tuttavia rispetto a quest'ultimo documento sono anche stati apportati importanti cambiamenti, di cui forse il più rilevante riguarda la definizione dell'azione sismica.

Per comprendere pienamente il significato della nuova normativa è necessario rifarsi al concetto di risposta sismica locale. Dal punto di vista strettamente fisico, per effetto di sito (risposta sismica locale) s'intende l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S).

Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze che corrispondono alle frequenze naturali f_n di vibrazione del deposito:

$$f_n = 1 / T_n = (V_s \cdot (2n - 1)) / (4 \cdot H) \quad \text{con } n = 1, 2, \dots, \quad [3.1]$$

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 21 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS				

mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito denominata frequenza fondamentale di risonanza:

$$f_1 = 1 / T_1 = V_s / 4H \quad [3.2]$$

E' quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero gravose.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [3.3]$$

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. fondamentale di risonanza del sito} \quad [3.4]$$

ad essere particolarmente pericolosa, poiché da luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

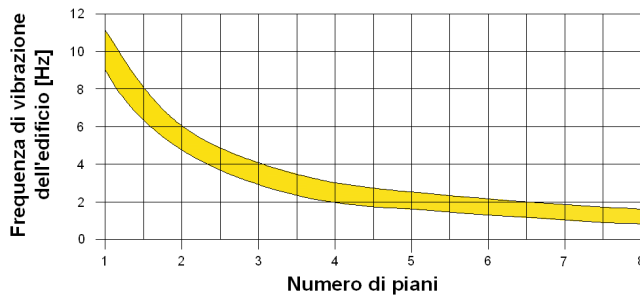


Figura - Frequenza di vibrazione degli edifici rapportata al numero di piani.

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 22 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Rev. 01		
Oggetto: Relazione Geologica sismica					

5 ANALISI SISMICA DI SITO E DEFINIZIONE CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

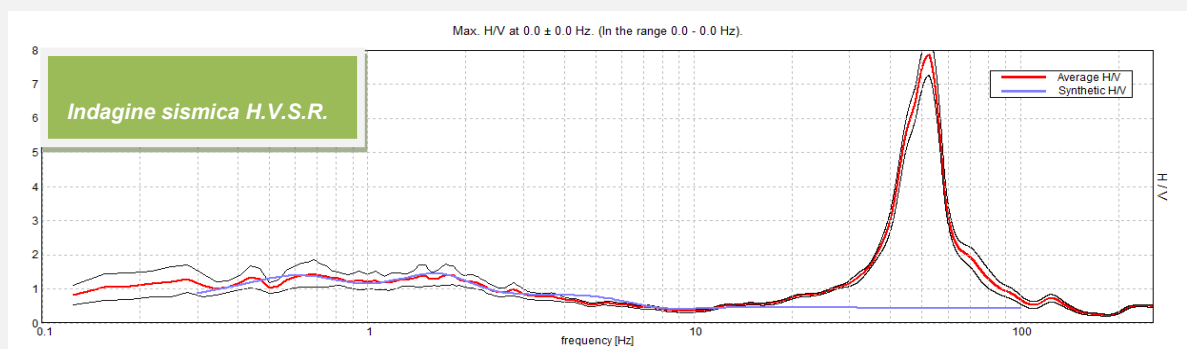
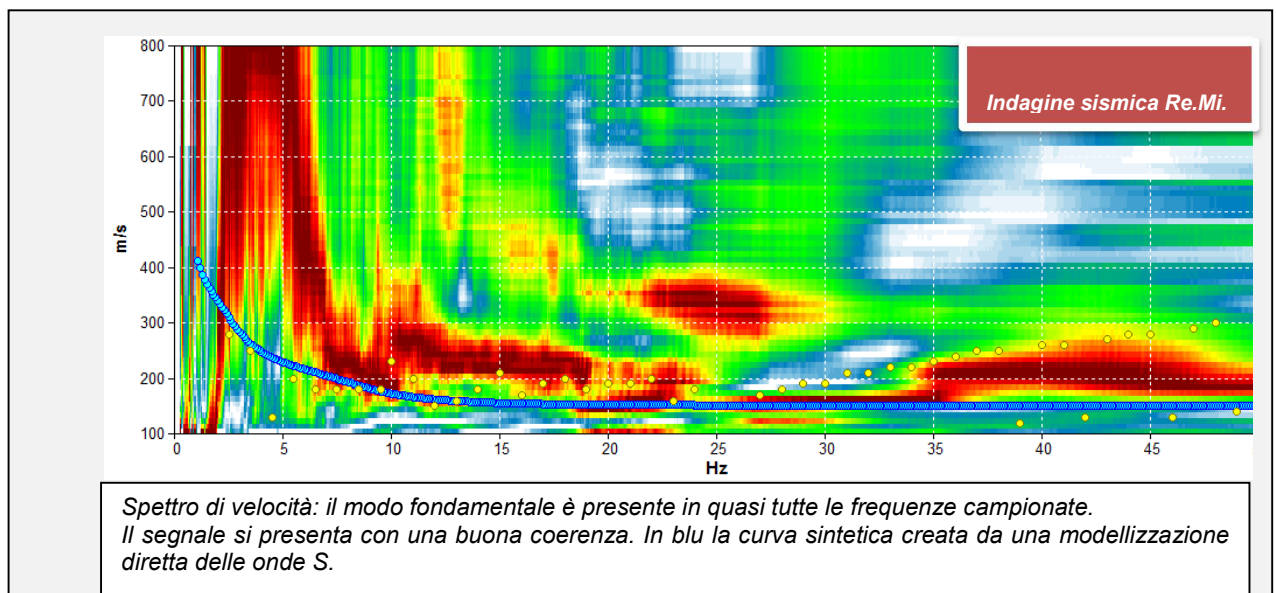
5.1 Risultati ottenuti dalle indagini sismiche effettuate

L'utilizzo incrociato delle varie tecniche sismiche ha permesso di ottenere un modello sismo-stratigrafico del sottosuolo robusto e affidabile in corrispondenza della zona d'interesse.

L'indagine Re.Mi. ha individuato le discontinuità sismiche superficiali e stimato le velocità di propagazione delle onde S mentre la prospezione passiva a stazione singola (H.V.S.R.), tramite inversione congiunta, ha stimato il grado di rigidità della copertura superficiale e di quella profonda. Inoltre, la misura H.V.S.R. ha determinato le frequenze di risonanza di sito cioè i valori di frequenza attesi in superficie in occasione di evento sismico.

L'attendibilità del modello sismo-stratigrafico desunto è da considerarsi elevata poiché la coerenza del segnale è buona e lo spettro di velocità è ben definito per quasi tutte le frequenze campionate. Il programma di elaborazione utilizzato permette di considerare non solo il modo fondamentale ma, una volta individuati, anche i modi superiori per vincolare con maggior attendibilità la ricostruzione del sottosuolo.

5.2 Indagine sismica passiva in array (Re.Mi.) con inversione congiunta all'H.V.S.R. ottenuti dalle indagini sismiche effettuate

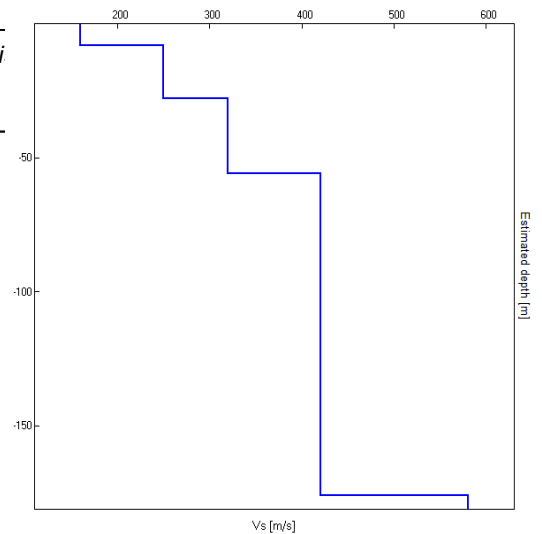


Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 23 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		

La curva spettrale rossa rappresenta l'andamento sismico regi
ev curva sintetica generata dal codice di calcolo.

addensata caratterizzata da una vs di ≈ 100 m/s fino a
circa 8,0 m di profondità dal p.c. locale; per valori di
profondità maggiori il grado di rigidità diventa più
elevato ($V_s \approx 250-320$ m/s; vedi modello sismo-
stratigrafico interpretativo riportato a seguire).

Con l'aumentare della profondità, a circa 56 m dal p.c.,
migliorano anche le condizioni meccaniche dei litotipi
indagati e quindi aumenta la velocità ($V_s \approx 420$ m/s); a
circa 176 m è possibile segnalare un ulteriore contrasto
di rigidità che porta le V_s a raggiungere valori di circa
580 m/s.



Indagine sismica Re.Mi. congiunta all'H.V.S.R.	Velocità onde di taglio [m/s]	Spessori [m]	Profondità [m]
I SISMOSTRATO	160	8.0	0.0 – 8.0
II SISMOSTRATO	250	20	8.0 – ≈ 28
III SISMOSTRATO	320	28	≈ 28 – ≈ 56
IV SISMOSTRATO	420	120	≈ 56 – ≈ 176
V SISMOSTRATO	580	Semisp	≈ 176 – Semisp

5.3 Indagine sismica passiva a stazione singola (H.V.S.R.)

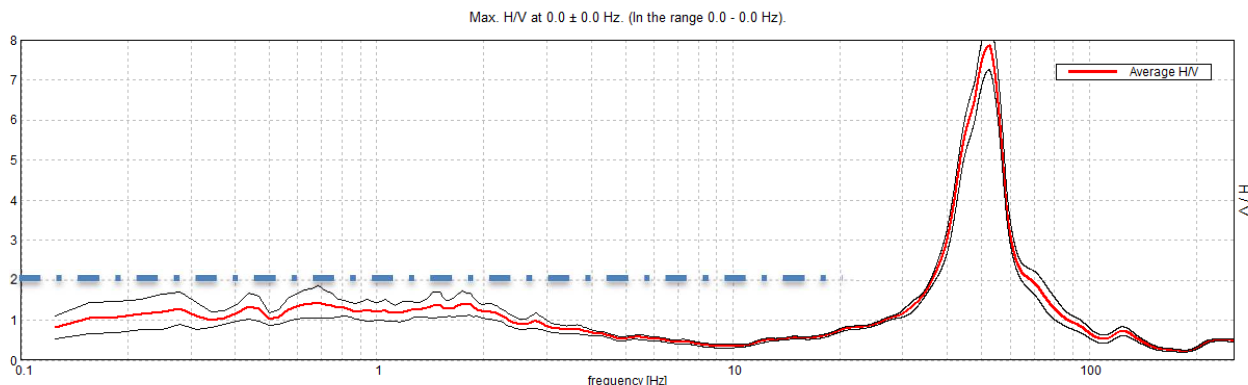
Nel caso specifico del sito in esame si è cercato di correlare i valori di picco, dello spettro di risposta HVSR, con le frequenze fondamentali di risonanza di sito.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si sono potute ricavare le frequenze relative ad ogni discontinuità sismica.

E' ormai consolidata, sia a livello accademico sia professionale, l'ipotesi che le strutture subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale del terreno investito da un'onda sismica e quella naturale dell'edificio.

Si ritiene importante segnalare che i rapporti H/V registrati sono tali da ipotizzare assenza di amplificazione del moto sismico in superficie. Si ricorda che, in base al progetto SESAME che di fatto fornisce le linee guida per misure sismiche HVSR, il rapporto sotto il quale non si devono considerare le amplificazioni sismiche dovute ad effetti locali è fissato a 2 (linea tratteggiata nel grafico sotto riportato).

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 24 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		



Rapporto spettrale H/V misurato. In rosso è indicato l'HV medio mentre in nero l'intervallo di confidenza al 95%.

5.4 Categoria di sottosuolo di fondazione secondo le Norme Tecniche sulle Costruzioni – D.M. 17 gennaio 2018

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi o in rapporto ad un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di Categorie di Sottosuolo di riferimento. Per definire le Categorie, il D.M. 17 gennaio 2018 prevede il calcolo del parametro $V_{s,eq}$, ovvero della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio V_s dei terreni posti al di sopra del substrato di riferimento ($V_{s,30}$ per depositi con profondità del substrato superiore a 30 m). La profondità del substrato è riferita al piano di posa delle fondazioni superficiali, alla testa dei pali per fondazioni indirette, al piano di imposta delle fondazioni per muri di sostegno di terrapieni o alla testa delle opere di sostegno di terreni naturali.

Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.</i>
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.</i>
C	<i>Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.</i>
D	<i>Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.</i>
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.</i>

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 25 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		
			Rev.	01	

Dall'assetto sismo-stratigrafico desunto dalle indagini sismiche effettuate, è possibile constatare la presenza del bedrock geofisico (substrato di riferimento) a profondità superiori a 30 m.

Pertanto, come espressamente richiesto dalla normativa vigente (Norme Tecniche sulle Costruzioni – D.M. 17/01/2018), si è calcolata la velocità media di propagazione delle onde di taglio fino a 30 m dal piano di posa delle fondazioni ($V_{s,30}$), a partire da varie profondità dal piano campagna:

Profondità piano di posa delle fondazioni	$V_{s,30}$
0 m dal p.c.	$V_s (0 - 30) \approx 220$ m/s
1 m dal p.c.	$V_s (1 - 31) \approx 225$ m/s
2 m dal p.c.	$V_s (2 - 32) \approx 231$ m/s
3 m dal p.c.	$V_s (3 - 33) \approx 236$ m/s

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si dovrebbe prevedere l'inserimento del sito d'indagine nella Categoria di Sottosuolo denominata C, così definita:

Categoria C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

Tuttavia, al fine di definire con precisione l'input sismico da utilizzare in fase di progettazione, si è condotto uno studio approfondito di risposta sismica locale (RSL – Livello 3), i cui contenuti e risultati sono riportati nel capitolo successivo.

CATEGORIA TOPOGRAFICA E COEFFICIENTE DI AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA ST

L'area in esame è modellizzabile nella Categoria T1 (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ - cfr. Tabella delle NTC 2018).

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

Categoria	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 26 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		

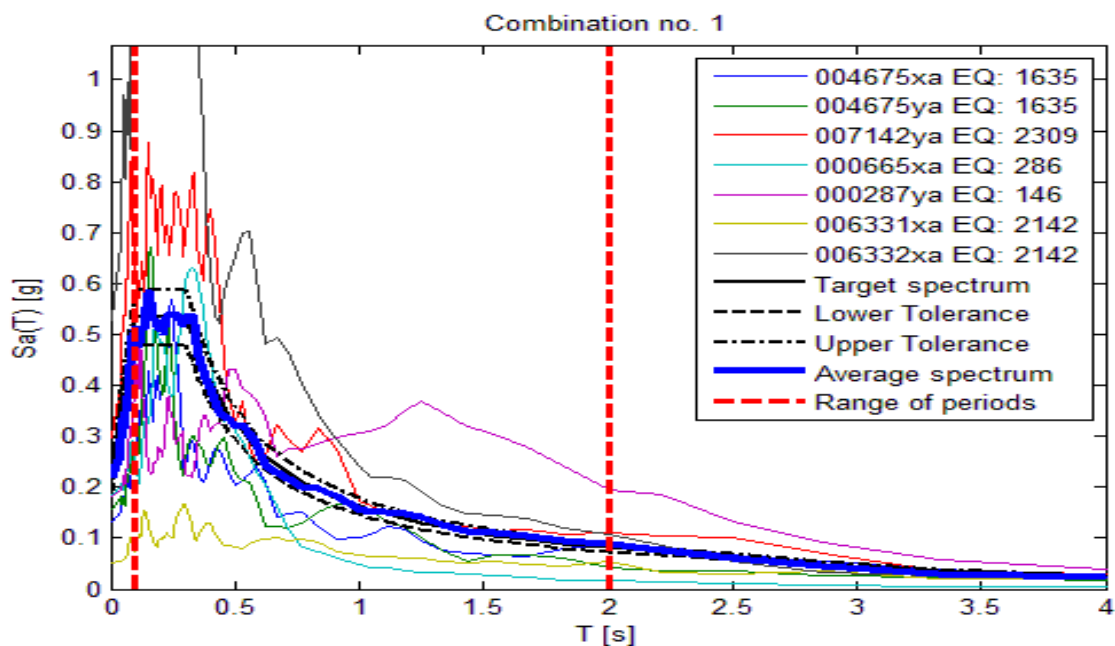
6 MODELLIZZAZIONE NUMERICA AVANZATA

Come anticipato in premessa, è stato effettuato uno studio di risposta sismica locale (livello 3 di approfondimento) tramite una modellazione numerica monodimensionale avanzata in modalità dinamica.

Nel rispetto della normativa vigente – D.G.R. n. X/5001 del 30/03/2016 – è stata effettuata una modellazione numerica assegnando una severità dell'azione sismica con la probabilità di superamento, P, e con il periodo di ritorno, T_r , relativi agli stati limite considerati.

In particolare, è stata considerata una vita nominale della costruzione (V_n) di 50 anni, una classe d'uso uguale a III (*Classe III: Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi*) con coefficiente di uso $C_u = 1,5$ quindi una vita di riferimento $V_r = 75$ anni.

A partire da queste indicazioni si è determinato un periodo di ritorno dell'azione sismica di 712 anni corrispondenti allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV).

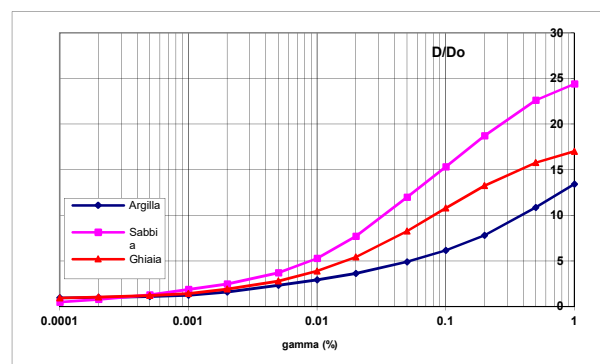
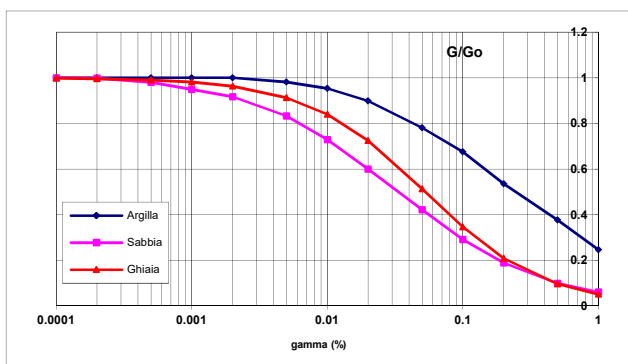


Gli input sismici utilizzati sono rappresentati da una settupla di storie accelerometriche applicate alla base del modello per lo stato limite considerato e riferite agli spettri di normativa calcolati per il sito in esame, considerando un sottosuolo di roccia affiorante (classe A) con topografia sub-orizzontale (T1) e correttamente deconvoluto (v. Dynamic Analysis della ITASCA, 2016). In particolare, gli accelerogrammi sono stati ricavati tramite l'utilizzo del software REXEL - *computer aided record selection for code-based seismic structural analysis*.

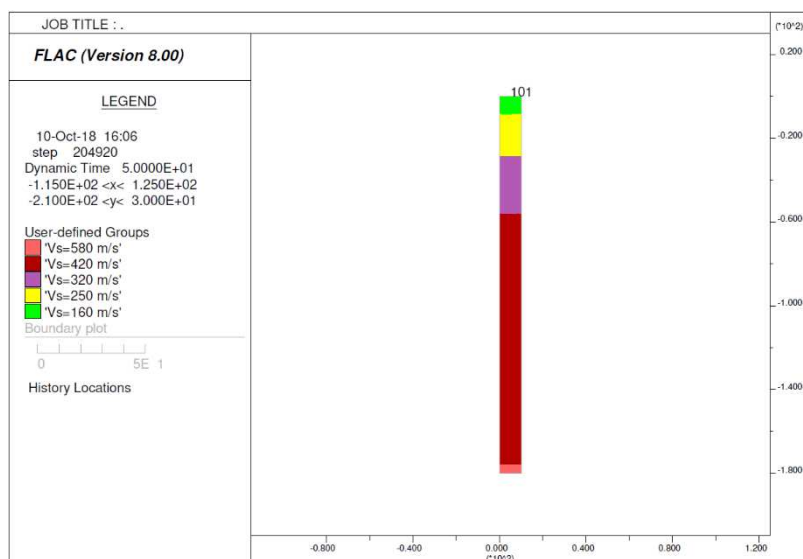
Nella modellazione numerica, è stata utilizzata la sismo – stratigrafia e i valori di rigidità ricavati dalle indagini geofisiche eseguite e precedentemente descritte. Il modello geometrico è stato discretizzato con una maglia ad elementi quadrangolari, le dimensioni dei quali sono state stabilite in funzione delle lunghezze d'onda minime caratterizzanti il fenomeno di propagazione sismica, determinabili con la relazione di Kuhlemeyer & Lysmer ($h_{max} < V_s /$

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 27 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		

10 * fmax) in funzione delle velocità delle onde di taglio nei diversi terreni del modello e della frequenza massima di interesse dei segnali accelerometrici selezionati (fmax=10 Hz). Lungo le frontiere laterali sono stati introdotti particolari elementi assorbenti (free-field boundaries), che, oltre ad evitare la riflessione delle onde in maniera analoga agli smorzatori viscosi introdotti da Lysmer & Kuhlemeyer (1969), forzano i nodi delle frontiere laterali a riprodurre il moto di free-field, essenziali per le analisi di risposta sismica locale 2D. Per limitare la riflessione delle onde in corrispondenza della frontiera inferiore del modello sono stati utilizzati degli smorzatori viscosi (quiet boundaries) mentre le proprietà dissipative dei materiali sono state ottenute attraverso lo smorzamento isteretico per i materiali più superficiali tramite le curve di degrado G/G0 e D/D0 indicate negli "Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica" del 2008 e sotto riportate.

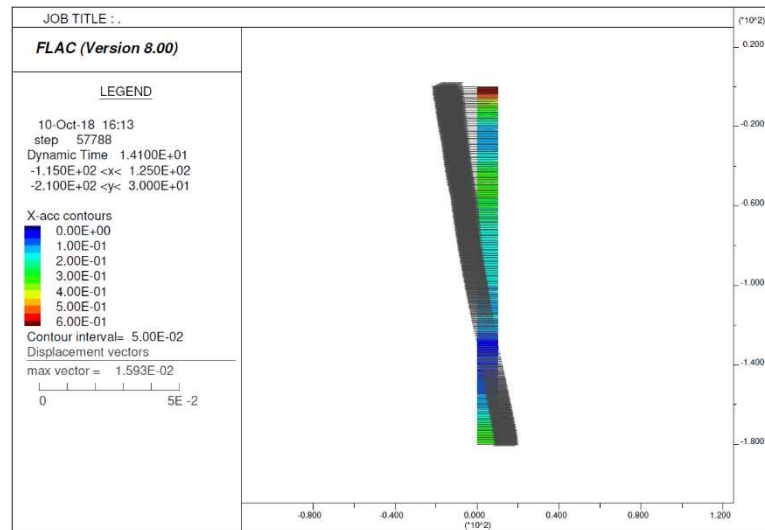


Le history (storie temporali) ricavate al tetto del modello rappresentano le storie accelerometriche orizzontali attese nel sito d'indagine. Le n°7 history ottenute sono state successivamente plottate in uno spettro di risposta elastico e mediate in una curva rappresentativa (Step n.1), confrontabile con gli spettri di normativa provenienti dall'approccio semplificato (Step n.2). Inoltre, a seguire si mostra il modello sismo - stratigrafico impiegato per le simulazioni numeriche e l'andamento dell'accelerazione in termini di "X-acc contours" nell'istante in cui l'accelerogramma n°5 ha raggiunto il suo massimo valore.



Modello sismo – stratigrafico utilizzato per lo studio di RSL

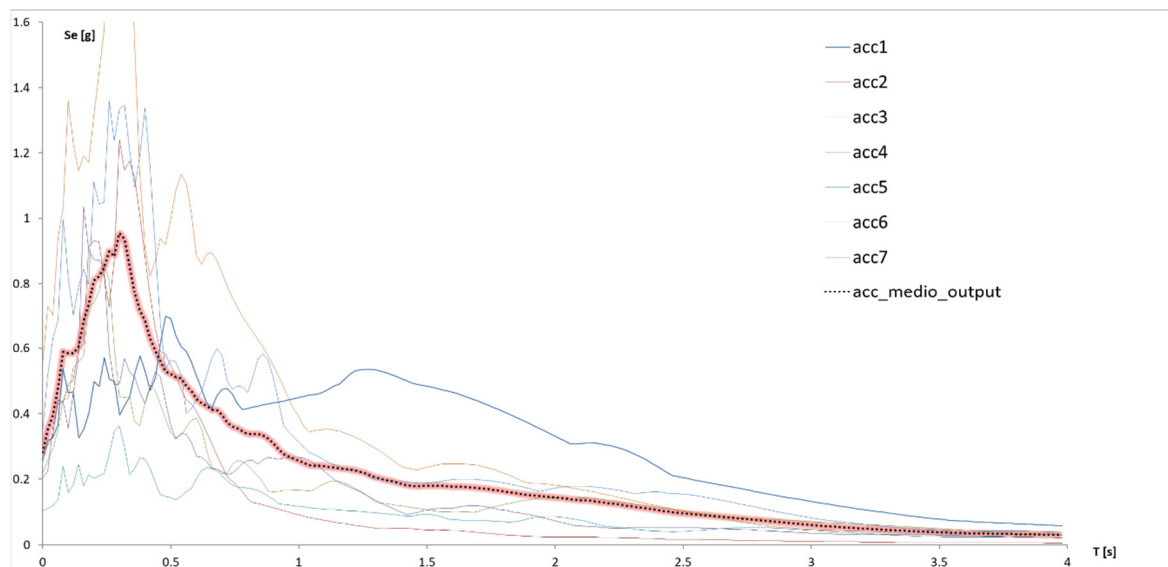
Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 28 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Rev. 01		



“X-acc contours” - nell’istante in cui l’acc5 raggiunge il suo massimo valore

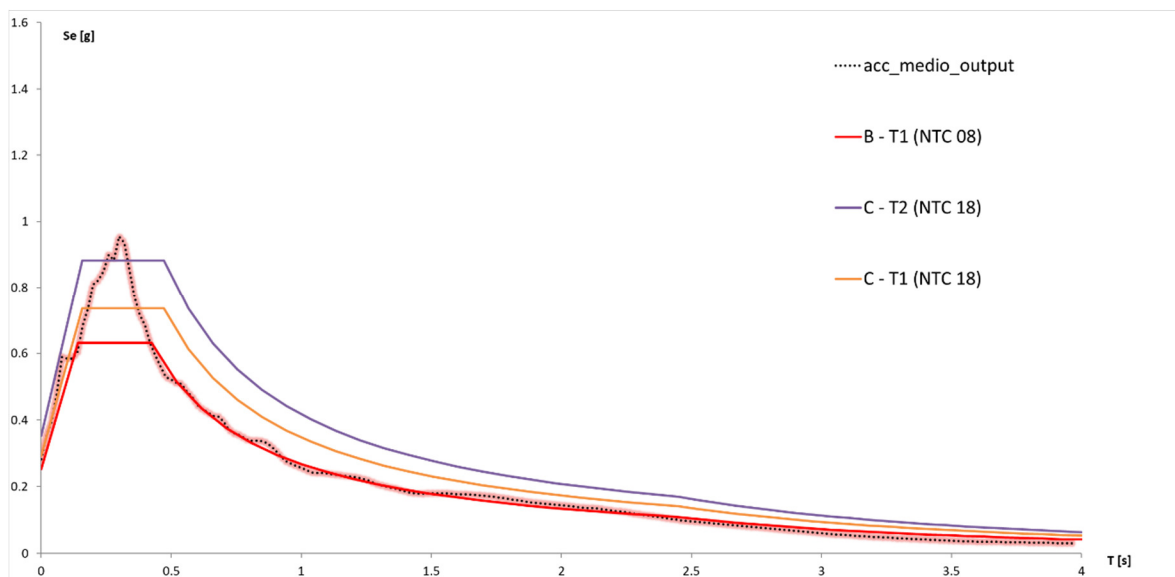
ANALISI ALLO STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA (SLV)

Step n.1: le linee acc1, acc2, acc3, acc4, acc5, acc6 e acc7 rappresentano gli spettri di risposta elastica calcolati in superficie (tetto del modello) per ogni evento sismico modellizzato. La media di questi è rappresentata dalla linea nera (acc_medio; cfr All.to1).



Step n.2: lo spettro di risposta medio viene confrontato con quelli derivanti dalla procedura semplificata di risposta sismica locale e identificabile nelle categorie di sottosuolo.

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 29 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		



Sintesi del lavoro eseguito

Dalla ricostruzione del quadro sismico-stratigrafico emerso dal presente studio e dalle indicazioni normative si dovrebbe prevedere l'inserimento del sito d'indagine nella Categoria di Sottosuolo denominata C.

Tuttavia, al fine di definire con precisione l'input sismico da utilizzare in fase di progettazione, si è ritenuto opportuno condurre uno studio di risposta sismica locale (Livello 3) con un periodo di ritorno dell'azione sismica di 712 anni corrispondenti allo stato limite ultimo di salvaguardia della vita (SLV) i cui risultati sono rappresentati nei grafici precedenti.

Lo spettro di risposta elastico ottenuto dallo studio di RSL presenta valori massimi di a_g compresi tra 0,63 – 0,95 a_g/g nell'intervallo 0,14s e 0,51s.

Dal grafico sopra riportato, si può osservare che la Categoria C unita alla Categoria Topografica T1 in cui rientrerebbe il sito, sottostima la risposta sismica locale tra i periodi 0,2 – 0,36 secondi, non riuscendo a quantificare correttamente l'input sismico a scapito di una sicurezza progettuale. Al contrario, per periodi superiori a circa 0,36 secondi, tale categoria sovrastima lo spettro di risposta elastico modellato.

Pertanto, dai risultati ottenuti, si auspica l'utilizzo dello spettro calcolato tramite la modellazione numerica descritta poiché riesce a quantificare correttamente la spinta sismica da utilizzare in fase di progettazione.

Tuttavia, qualora si necessiti di uno spettro di risposta elastico da approccio semplificato (Categoria di sottosuolo + Categoria Topografica), si evidenzia che, per periodi inferiori a 0,2 s, la combinazione Categoria di Sottosuolo C e Categoria Topografica T1 è quella che meglio approssima lo spettro modellato, mentre nei periodi compresi tra 0,2 – 0,36 s in cui a_g è massima, la Categoria di Sottosuolo che più si avvicina in termini di a_g ai valori raggiunti è la C ma con Categoria topografica T2. Infine, per periodi maggiori di 0,36s l'approccio semplificato rappresentato dalla combinazione B-T1 sembra essere il più appropriato.

Resta di stretta competenza del Progettista la scelta definitiva dell'input sismico da adottare per i calcoli strutturali, che sarà subordinata all'individuazione dei parametri progettuali definitivi.

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 30 / 35
	Identificazione documento		Oggetto: Relazione Geologica sismica		
	RGS		15.10.2018	Rev.	

7 CONSIDERAZIONI IN MERITO AL FENOMENO DELLA LIQUEFAZIONE

La liquefazione è un processo in seguito al quale un sedimento che si trova al di sotto del livello di falda perde temporaneamente resistenza e si comporta come un liquido viscoso a causa di un aumento della pressione neutra e di una conseguente riduzione della pressione efficace. La liquefazione avviene quando la pressione dei pori (u_0) aumenta fino ad eguagliare la pressione totale (σ_{v0}) annullando la pressione efficace (σ'_{v0}).

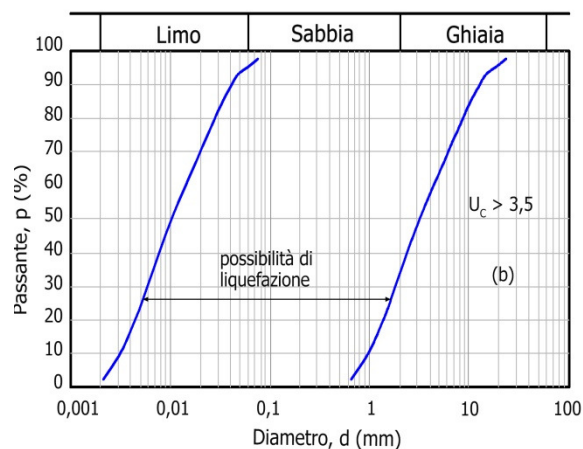
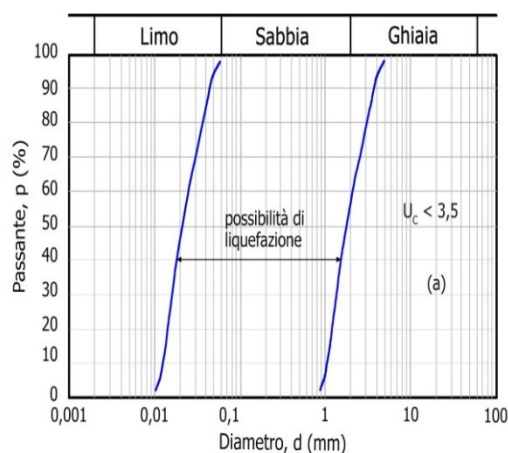
$$\sigma'_{v0} = (\sigma_{v0} - u_0) = 0$$

L'incremento della pressione neutra è dato dalla tendenza dei materiali granulari a compattarsi quando soggetti ad azioni cicliche di un sisma.

Il fenomeno della liquefazione può quindi interessare depositi sotto falda a litologia prevalentemente sabbiosa (con contenuto di fini plastici inferiore al 15%).

In base alla normativa italiana (NTC 2018), la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze (punto 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione):

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (cfr figura seguente).



Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 31 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		

Nel sito di intervento è stata eseguita una campagna geognostica basata sull'esecuzione di tre prove penetrometriche statiche CPT (di cui in allegato si riportano i risultati All.to 2). Il rapporto tra la resistenza all'avanzamento della punta (Q_c) e del manicotto (F_s) del Penetrometro permette di ottenere informazioni riguardanti la litologia dei terreni investigati. Nella figura seguente viene riportato un grafico che mostra la correlazione tra litologia e tale rapporto secondo uno studio dell'Associazione Geotecnica Italiana (1977). Si vede chiaramente che la granulometria prevalente è quella argillosa e argilloso-limosa con rari livelletti di limitato spessore anche a contenuto parzialmente sabbioso.

Per quanto detto non si è ritenuto necessario prelevare dei campioni di terreno da sottoporre ad analisi granulometriche di laboratorio in quanto appare evidente la non appartenenza dei terreni in questione ai fusi suscettibili di liquefazione.

La campagna indagini geognostiche eseguite nel sito di intervento



Litologia da rapporto dei valori di Q_c/F_s da prova penetrometrica CPT

A conferma di quanto riportato sopra si richiama anche la cartografia del PSC in cui si evidenzia che l'intervento in questione ricade in area in cui sono esclusi, tra gli effetti attesi, i fenomeni di liquefazione.

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 32 / 35
	Identificazione documento	Oggetto: Relazione Geologica sismica	15.10.2018		
	RGS		Rev.	01	

ALLEGATO 1

Spettro di risposta elastico medio da modellazione numerica con Tr 712 anni e smorzamento 5% (SLV)

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 33 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		

Spettro di risposta elastico medio da modellazione numerica con Tr 712 anni e smorzamento 5% (SLV)

T [s]	Se [g]	T [s]	Se [g]	T [s]	Se [g]	T [s]	Se [g]
0	0.28204	1.04	0.243254	2.08	0.137389	3.12	0.053503
0.02	0.351755	1.06	0.241777	2.10	0.136398	3.14	0.052531
0.04	0.394438	1.08	0.240576	2.12	0.135331	3.16	0.051566
0.06	0.478649	1.10	0.239289	2.14	0.133904	3.18	0.050611
0.08	0.588849	1.12	0.237551	2.16	0.132091	3.20	0.049664
0.10	0.585139	1.14	0.23532	2.18	0.129984	3.22	0.048796
0.12	0.584227	1.16	0.233035	2.20	0.127938	3.24	0.047936
0.14	0.604899	1.18	0.231218	2.22	0.125949	3.26	0.047079
0.16	0.684757	1.20	0.229708	2.24	0.123886	3.28	0.046231
0.18	0.733352	1.22	0.227117	2.26	0.121758	3.30	0.045389
0.20	0.809518	1.24	0.223062	2.28	0.119422	3.32	0.044555
0.22	0.821976	1.26	0.217982	2.30	0.116904	3.34	0.043745
0.24	0.849341	1.28	0.211822	2.32	0.114824	3.36	0.042967
0.26	0.899193	1.30	0.206094	2.34	0.112822	3.38	0.042198
0.28	0.883507	1.32	0.20183	2.36	0.110682	3.40	0.041451
0.30	0.955101	1.34	0.197807	2.38	0.108555	3.42	0.040732
0.32	0.935631	1.36	0.193649	2.40	0.106231	3.44	0.040024
0.34	0.853513	1.38	0.189353	2.42	0.103718	3.46	0.039328
0.36	0.769665	1.40	0.185044	2.44	0.101045	3.48	0.038646
0.38	0.715589	1.42	0.181734	2.46	0.098624	3.50	0.03798
0.40	0.683574	1.44	0.180108	2.48	0.09746	3.52	0.03733
0.42	0.630183	1.46	0.179072	2.50	0.096226	3.54	0.036701
0.44	0.592729	1.48	0.179685	2.52	0.094907	3.56	0.036186
0.46	0.560174	1.50	0.180159	2.54	0.093513	3.58	0.035723
0.48	0.529327	1.52	0.180223	2.56	0.09209	3.60	0.035293
0.50	0.521477	1.54	0.1799	2.58	0.090626	3.62	0.035055
0.52	0.511909	1.56	0.17933	2.60	0.08919	3.64	0.034818
0.54	0.507799	1.58	0.178578	2.62	0.087698	3.66	0.034562
0.56	0.485478	1.60	0.177692	2.64	0.086262	3.68	0.034282
0.58	0.468913	1.62	0.177448	2.66	0.084785	3.70	0.033982
0.60	0.444576	1.64	0.176778	2.68	0.083273	3.72	0.033663
0.62	0.432398	1.66	0.175691	2.70	0.081784	3.74	0.03333
0.64	0.423316	1.68	0.174203	2.72	0.08032	3.76	0.033086
0.66	0.412737	1.70	0.172929	2.74	0.078818	3.78	0.032843
0.68	0.411162	1.72	0.171593	2.76	0.077345	3.80	0.032576
0.70	0.396258	1.74	0.169894	2.78	0.075831	3.82	0.032302
0.72	0.372013	1.76	0.16786	2.80	0.074288	3.84	0.032042
0.74	0.361579	1.78	0.165571	2.82	0.072755	3.86	0.031758
0.76	0.354931	1.80	0.163224	2.84	0.071226	3.88	0.031452
0.78	0.347167	1.82	0.160691	2.86	0.069812	3.90	0.031129

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 34 / 35
	Identificazione documento		15.10.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		

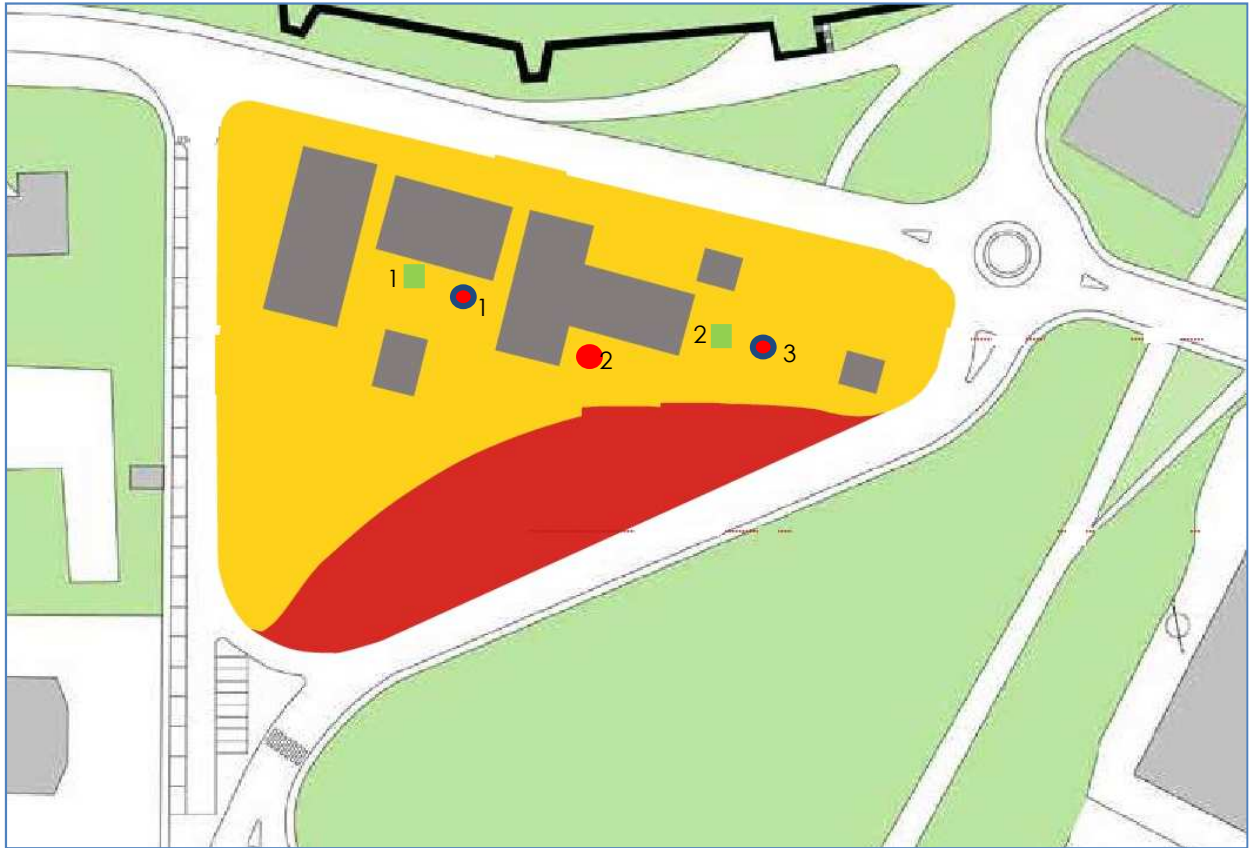
0.80	0.338299	1.84	0.158058	2.88	0.068414	3.92	0.030784
0.82	0.337752	1.86	0.155685	2.90	0.067014	3.94	0.030418
0.84	0.337667	1.88	0.153653	2.92	0.065604	3.96	0.030039
0.86	0.334529	1.90	0.152021	2.94	0.064197	3.98	0.029657
0.88	0.323559	1.92	0.150433	2.96	0.062833		
0.9	0.309512	1.94	0.148564	2.98	0.061479		
0.92	0.292821	1.96	0.147279	3.00	0.060135		
0.94	0.277429	1.98	0.146089	3.02	0.058796		
0.96	0.269679	2.00	0.144725	3.04	0.057582		
0.98	0.262702	2.02	0.143042	3.06	0.056528		
1.00	0.256338	2.04	0.141018	3.08	0.055482		
1.02	0.249103	2.06	0.13876	3.10	0.054478		

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 35 / 35
	Identificazione documento	Oggetto: Relazione Geologica sismica	15.10.2018		
	RGS		Rev.	01	

ALLEGATO 2

**Planimetria ubicazione prove penetrometriche cpt
Tabulati e diagrammi penetrometrici**

1 Planimetria con ubicazione indagini di campo

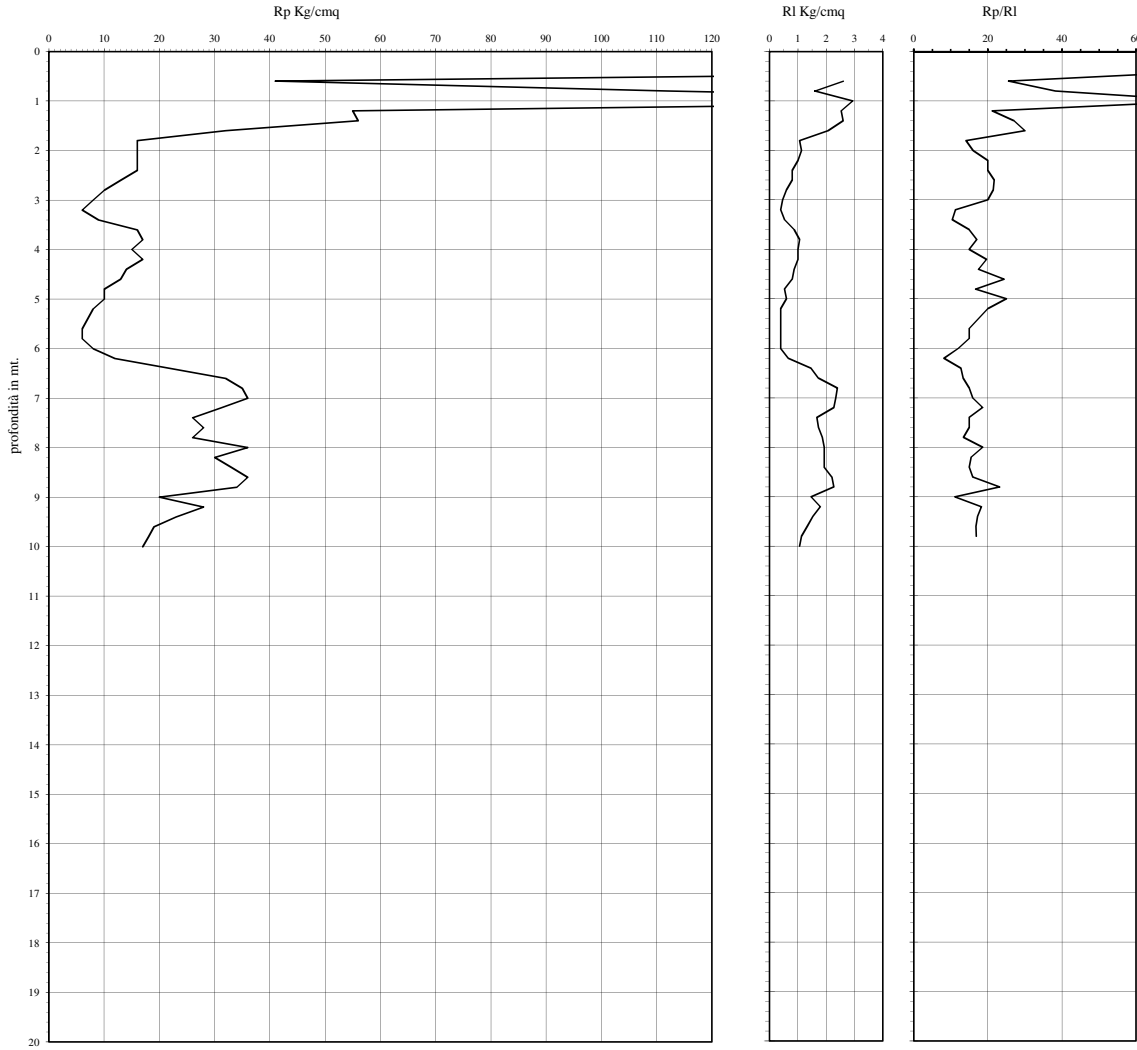


- Prova Penetrometrica statica CPT
- Micropiezometro a tubo aperto
- Prova Sismica HVSR

Prova Penetrometrica Statica

Prova n.: CPT 2
 Cantiere: Rimini (RN) - Via Circonvallazione
 Data: Ottobre 2017

Quota inizio: piano campagna
 Liv.falda: chiuso
 Note:



Caratteristiche strumento: penetrometro statico semovente. 200kN spinta
 Punta meccanica tipo Begemann - manicotto laterale superficie 150 cm²

Classificazione orientativa dei terreni (Schmertmann - 1978)

A A A A A A A S S S S S S										Angolo d'attrito interno, densità relativa e coesione				Verifica alla liquefazione magnitudo di 6 g accelerazione massima al suolo 0.25 g (Seed et al. 1985)			
0	M	T	M	C	M	S	L	L	S	D	ϕ°	Dr	Cu	Nspt	coefficiente di sicurezza		
T				C	L	A							Kg/cmq				
											0.2						
											0.4	208	147	80.00	/		2.77
											0.6	41	2.60	28.63	/		n.l.
											0.8	112	1.60	38.18	/		2.77
											1	200	2.93	78.95	/		2.77
											1.2	55	2.53	21.15	/		n.l.
											1.4	56	2.60	27.10	/		n.l.
											1.6	32	2.07	30.00	/		n.l.
											1.8	16	1.07	14.12	/		n.l.
											2	16	1.13	16.00	/		n.l.
											2.2	16	1.00	20.00	/		n.l.
											2.4	16	0.80	20.00	/		n.l.
											2.6	13	0.80	21.67	/		n.l.
											2.8	10	0.60	21.43	/		n.l.
											3	8	0.47	20.00	/		n.l.
											3.2	6	0.40	11.25	/		n.l.
											3.4	9	0.53	10.38	/		n.l.
											3.6	16	0.87	15.00	/		n.l.
											3.8	17	1.07	17.00	/		n.l.
											4	15	1.00	15.00	/		n.l.
											4.2	17	1.00	19.62	/		n.l.
											4.4	14	0.87	17.50	/		n.l.
											4.6	13	0.80	24.38	/		n.l.
											4.8	10	0.53	16.67	/		n.l.
											5	10	0.60	25.00	/		n.l.
											5.2	8	0.40	20.00	/		n.l.
											5.4	7	0.40	17.50	/		n.l.
											5.6	6	0.40	15.00	/		n.l.
											5.8	6	0.40	15.00	/		n.l.
											6	8	0.40	12.00	/		n.l.
											6.2	12	0.67	8.18	/		n.l.
											6.4	22	1.47	12.69	/		n.l.
											6.6	32	1.73	13.33	/		n.l.
											6.8	35	2.40	15.00	/		n.l.
											7	36	2.33	18.88	/		n.l.
											7.2	31	2.27	18.60	/		n.l.
											7.4	26	1.67	15.00	/		n.l.
											7.6	28	1.73	15.00	/		n.l.
											7.8	26	1.87	13.45	/		n.l.
											8	36	1.93	18.62	/		n.l.
											8.2	30	1.93	15.52	/		n.l.
											8.4	33	1.93	15.00	/		n.l.
											8.6	36	2.20	18.88	/		n.l.
											8.8	34	2.27	23.18	/		n.l.
											9	20	1.47	11.11	/		n.l.
											9.2	28	1.80	18.26	/		n.l.
											9.4	23	1.53	17.25	/		n.l.
											9.6	19	1.33	16.76	/		n.l.
											9.8	18	1.13	16.88	/		n.l.
											10	17	1.07		/		n.l.

Legenda:

- argilla
- sabbia limoso argillosa
- sabbia
- AO argilla organica e terreni misti; AMT argilla molto tenera; AT argilla tenera; AM argilla media; AC argilla compatta
- AMC argilla molto compatta; ASL argilla sabbiosa limosa; SL sabbia e limo; SLA sabbia limoso argillosa
- SS sabbia sciolta; S sabbia; SD sabbia densa
- n.l. non liquefacibile

Comune di Rimini

Progetto:

REALIZZAZIONE DI UN PARCHEGGIO MULTIPIANO CON ANNESSO EDIFICIO COMMERCIALE

**VARIANTE AL RUE ADOTTATA CON DELIBERA DI CONSIGLIO COMUNALE N. 34 DEL 25/06/2018 AI SENSI
DELL'ART. 4 COMMA 4 DELLA L.R. 24/2017 PER LA MODIFICA DELLA DISCIPLINA DELL'AREA OGGETTO DELLA
PROPOSTA DI ACCORDO EX ART. 18 L.R. N. 20/2000 DELIBERA DI G.C. N. 53 DEL 20/02/2018**

Ubicazione:

via Bramante –via Circonvallazione Meridionale

Dati Catastali:

Committente:

Fox Petroli S.p.A.

Professionisti:

Dott. Geol. Matteo Darderi
Dott. Geol. Patrizia Rondoni

RELAZIONE GEOLOGICA SISMICA

INTEGRAZIONE

**Considerazioni sulle analisi di microzonazione sismica di cui al alla DGR112/2007 e
DGR 2193/2015 Art. 4 - punto 4.2 -.**

Data	Commessa	Rev.	Rif.
06/11/2018	2017	02	Rimini Fox Petroli Variante

“OPERA DELL'INGEGNO – RIPRODUZIONE VIETATA OGNI DIRITTO RISERVATO – ART.99 L. 633/41”.

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 2 / 8
	Identificazione documento		06.11.2018		
	RGS		Oggetto: Relazione Geologica sismica		
			Rev.	02	

Considerazione sulle analisi di microzonazione sismica di cui al alla DGR112/2007 e DGR 2193/2015 Art. 4 - punto 4.2 -.

Le considerazioni che seguono riguardano il progetto di “Realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale “- variante al RUE adottata con delibera di Consiglio Comunale n. 34 del 25/06/2018 ai sensi dell’art. 4 comma 4 della L.R. 24/2017 per la modifica della disciplina dell’area oggetto della proposta di accordo ex art. 18 L.R. n. 20/2000 Delibera di G.C. n. 53 del 20/02/2018.

L’Art 4 della DGR112/2007 e DGR 2193/2015 al punto 4.2 richiede un’analisi più approfondita per la stima di indici di rischio nelle aree nelle quali si intenda localizzare ambiti di riqualificazione e nuovo insediamento, riguardo alle seguenti situazioni:

- a) aree suscettibili di liquefazione o densificazione;
- b) aree di versante instabili e potenzialmente instabili;
- c) aree con rapide variazioni della profondità del substrato rigido, come ad esempio le valli strette e profondamente incise, nelle quali il modello geologico non può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale; in questo caso sono raccomandate analisi bidimensionali;
- d) aree suscettibili di effetti differenziali (zone di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse, zone di faglia attiva e capace, zone con cavità sepolte).

Di seguito si riporta l’esito delle verifiche condotte nell’area di intervento relativamente alle situazioni indicate nei 4 punti suddetti da cui si evince che non si ritiene necessario effettuare ulteriori approfondimenti.

a) aree suscettibili di liquefazione o densificazione:

l’area ricade in un settore di territorio a ridosso della fascia costiera romagnola corrispondente alla piana alluvionale del Fiume Marecchia; i litotipi costituenti la successione stratigrafica del primo sottosuolo sono pertanto di origine alluvionale.

Per quanto attiene la caratterizzazione geolitologica, si è fatto riferimento sia alle sezioni geologiche profonde n. 60 (o “Sezione Fiume Marecchia”) e 59 (o “Sezione Costiera”) ricostruita dal Servizio Geologico della Regione Emilia Romagna nell’ambito del progetto CARG, sia ai dati stratigrafici profondi provenienti da studi di geologia del sottosuolo della conoide del Fiume Marecchia.

La ubicazione delle sezioni geologiche è riportata nello stralcio planimetrico seguente.

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 3 / 8
	Identificazione documento		Oggetto: Relazione Geologica sismica		
	RGS		06.11.2018		Rev.

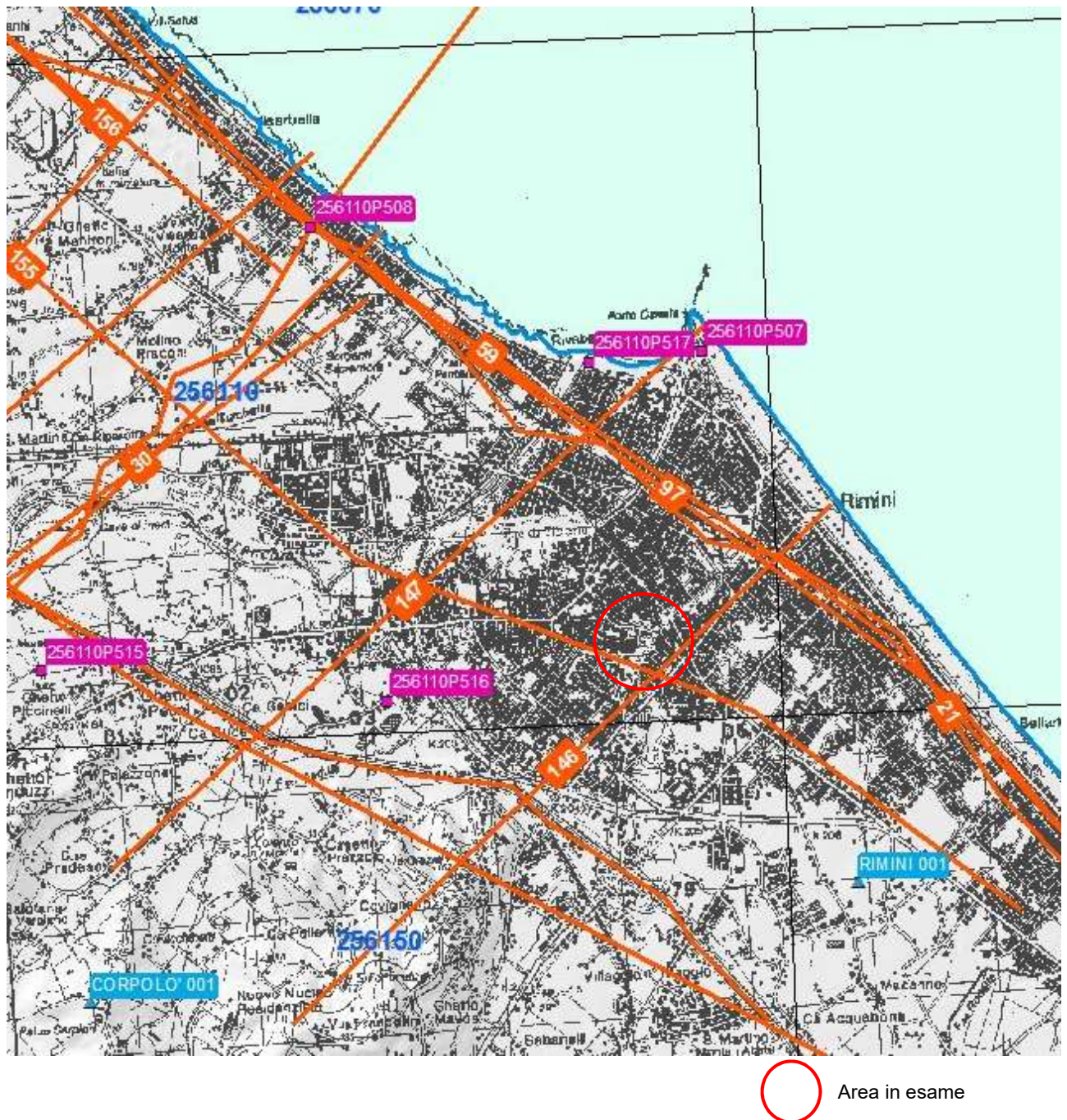


Fig. n° 1 – Da: Cartografia Regionale ubicazione sezioni geologiche scala 1:20.000

La “Sezione Fiume Marecchia” è posizionata a circa 4 km di distanza a NO dell’area di intervento mentre la “Sezione Costiera” si colloca a circa 1 km a NE (di seguito sono di riportate le sezioni); tramite correlazioni con stratigrafie di pozzi profondi e sondaggi vicini, arrivano ad indagare uno spessore di circa 370 mt.

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina	
	Identificazione documento		Oggetto: Relazione Geologica sismica		06.11.2018	
	RGS				Rev.	02

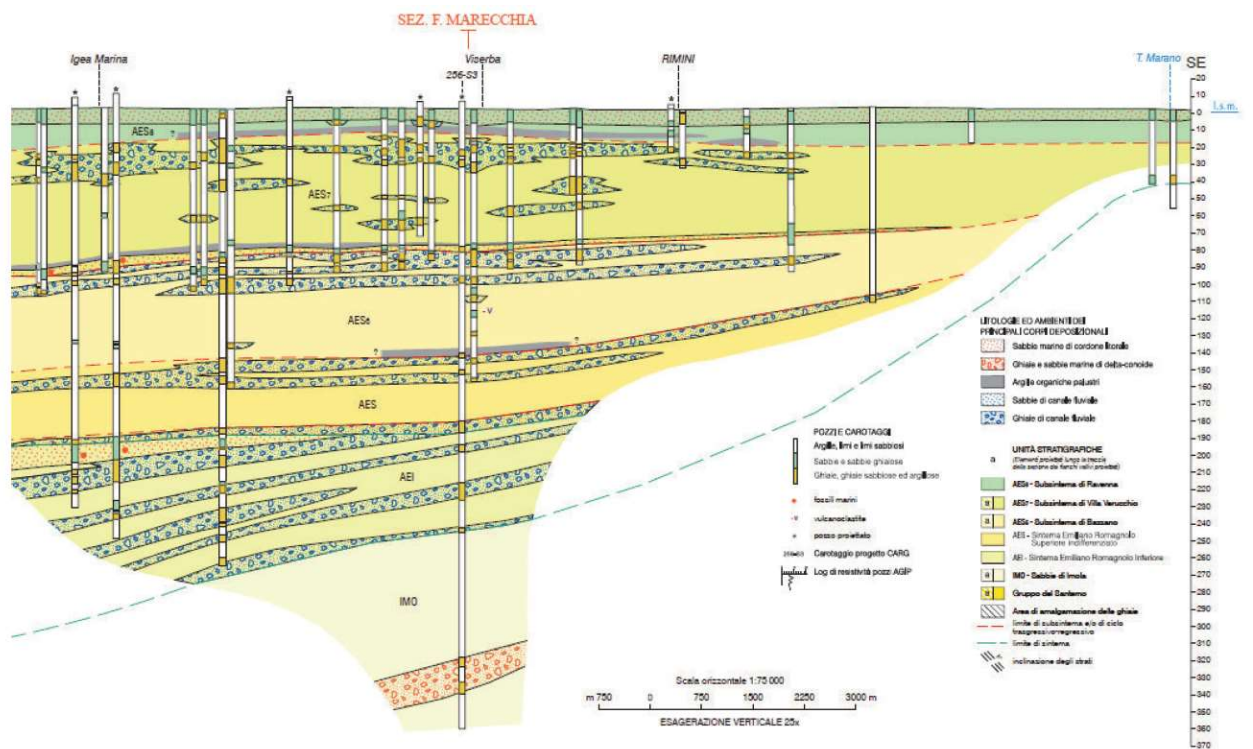
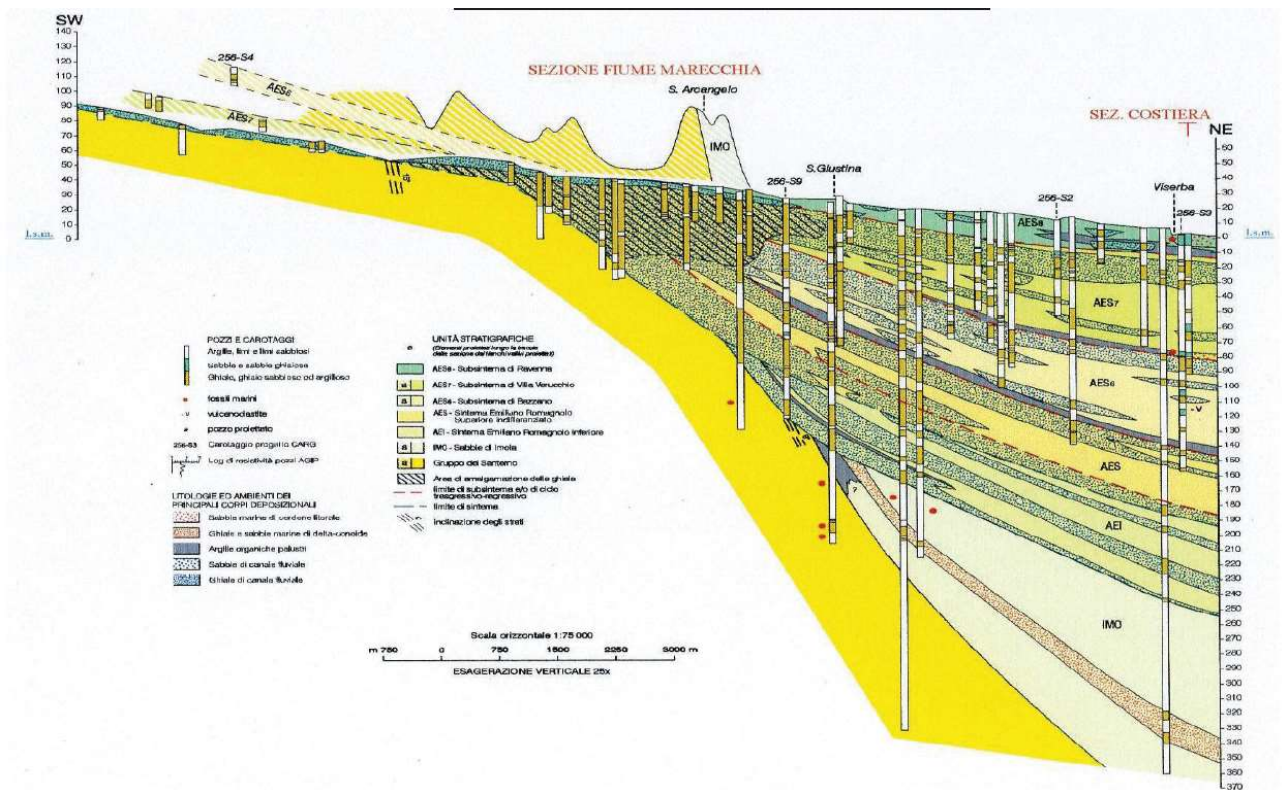


Fig. n° 2 – Da: Cartografia Regionale sezioni geologiche (fuori scala).

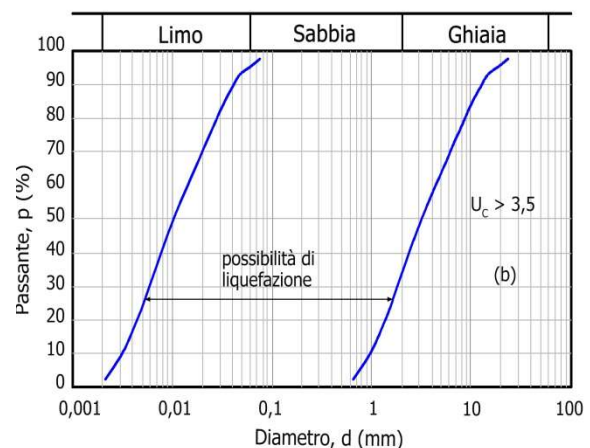
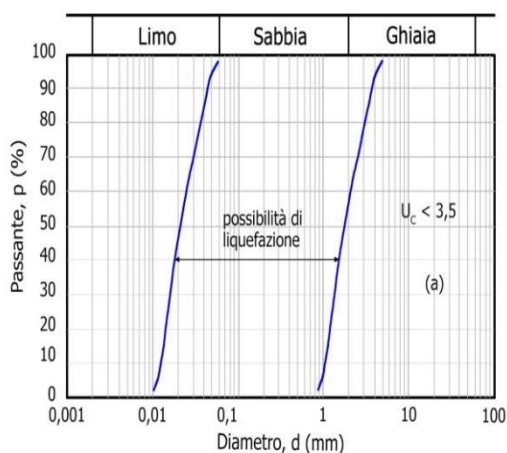
Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 5 / 8
	Identificazione documento		Oggetto: Relazione Geologica sismica		
	RGS		06.11.2018	Rev.	

Questi dati unitamente a quelli dell'indagine geognostica puntuale, al raffronto con i sondaggi prossimi all'area in studio ed alle sezioni geologiche profonde sviluppate in prossimità del sito dalla Regione Emilia Romagna, ci forniscono il quadro geologico generale omogeneo almeno per una fascia di territorio esteso dalla linea di costa fino ai primi rilievi collinari.

Il modello geologico è quindi quello di uno spessore consistente di sedimenti deposti in dominio continentale in giacitura sub orizzontale al di sopra dei terreni di origine marina che rappresentano il substrato e costituiscono le strutture tettoniche sepolte legate all'orogenesi appenninica.

La normativa italiana (NTC 2018) prevede che si possa omettere la verifica a liquefazione dei terreni nel caso si realizzino alcune condizioni di accelerazione, intensità sismica, resistenza alla penetrazione nei terreni e distribuzione granulometrica degli stessi; in tal senso la norma prevede 5 circostanze di riferimento e, nel caso si manifesti almeno una di queste, la verifica alla liquefazione può essere omessa (punto 7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione):

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)60 > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)60$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ e in Fig. 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$ (cfr figura seguente).



In relazione al rischio di liquefacibilità si possono fare le seguenti assunzioni:

nel sito di intervento è stata eseguita una campagna geognostica basata sull'esecuzione di tre prove penetrometriche statiche CPT (di cui in allegato si riportano i risultati All.to 2 della

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 6 / 8
	Identificazione documento		Oggetto: Relazione Geologica sismica		
	RGS		06.11.2018	Rev.	

integrazione alla relazione geologica). Il rapporto tra la resistenza all'avanzamento della punta (Q_c) e del manicotto (F_s) del Penetrometro permette di ottenere informazioni riguardanti la litologia dei terreni investigati. Nella figura seguente viene riportato un grafico che mostra la correlazione tra litologia e tale rapporto secondo uno studio dell'Associazione Geotecnica Italiana (1977). Si vede chiaramente che la granulometria prevalente è quella argillosa e argilloso-limosa con rari livelletti di limitato spessore anche a contenuto parzialmente sabbioso pertanto non si è ritenuto necessario prelevare dei campioni di terreno da sottoporre ad analisi granulometriche di laboratorio in quanto appare evidente la non appartenenza dei terreni in questione ai fusi suscettibili di liquefazione.

La campagna indagini geognostiche eseguite nel sito di intervento



Fig. n° 3 Litologia da rapporto dei valori di Q_c/F_s da prova penetrometrica CPT

Viste le risultanze, in base anche alle suddette considerazioni, i terreni in oggetto possono essere considerati come non soggetti a densificazione e a liquefazione.

A ulteriore conferma di quanto riportato sopra si richiama anche la cartografia del PSC in cui si evidenzia che l'intervento in questione ricade in area in cui sono esclusi, tra gli effetti attesi, i fenomeni di liquefazione.

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale		Data		Pagina 7 / 8
	Identificazione documento		06.11.2018		
	RGS	Oggetto: Relazione Geologica sismica	Rev.	02	

- b)** aree di versante instabili e potenzialmente instabili;
A seguito di verifiche e valutazioni articolate attraverso rilievi diretti e esame della cartografia e degli studi disponibili per l'area (confronto con le Tavole del PTCP della Provincia di Rimini, con la cartografia del PSC comunale, con la cartografia CTR e con la Carta Geologica e dei suoli della regione Emilia Romagna) è emerso che l'aspetto morfologico dell'area è quello pianeggiante tipico delle pianure alluvionali, originato dalla sovrapposizione di depositi fluviali, conseguenza del trasporto e del deposito di sedimenti da parte del Fiume Marecchia e non risulta interessata da fenomeni franosi in atto o potenziali. Pertanto l'area non presenta alcun rischio nè di instabilità gravitativa nè di potenziale instabilità gravitativa ai fini della presenza o meno di effetti di sito.
- c)** aree con rapide variazioni della profondità del substrato rigido, come ad esempio le valli strette e profondamente incise, nelle quali il modello geologico non può essere assimilato ad un modello fisico monodimensionale; in questo caso sono raccomandate analisi bidimensionali;
A seguito dell'esame della situazione geologica e geomorfologica rilevata direttamente in sito e più in generale della conoscenza geologica del territorio, della situazione litostratigrafica verificata sia in sito con una campagna geognostica e sismica puntuale sia attraverso l'utilizzo della banca dati geologici reperibile presso il Servizio Geologico, Sismico e dei suoli della Regione Emilia Romagna si può affermare che nell'area esaminata non si riscontrano le condizioni di cui al punto c).
- d)** aree suscettibili di effetti differenziali (zone di contatto laterale tra litotipi con caratteristiche fisico – meccaniche molto diverse, zone di faglia attiva e capace, zone con cavità sepolte).
A seguito dell'esame della geologia del territorio anche attraverso l'utilizzo della banca dati geologici reperibile presso il Servizio Geologico, Sismico e dei suoli della Regione Emilia Romagna si può affermare che l'area esaminata non è suscettibile di effetti differenziali di cui al punto d). L'esame della cartografia del progetto ITHACA, sviluppato dal Servizio Geologico di Stato – ISPRA, che riporta la posizione di tutte le faglie attive in grado cioè di produrre movimenti in superficie (faglie "capaci"), rileva la quella più prossima alla zona d'intervento; come si vede non esistono problematiche note riguardo al fenomeno di rottura superficiale dovuta a faglia essendo la faglia più vicina a circa più di un 500 km in direzione NE (cfr. Fig. seguente).

Studio di Geologia Rondoni & Darderi Associati	Lavoro: realizzazione di un parcheggio multipiano con annesso edificio commerciale	Data		Pagina
	Identificazione documento	06.11.2018		8 / 8
	RGS	Oggetto: Relazione Geologica sismica	Rev.	

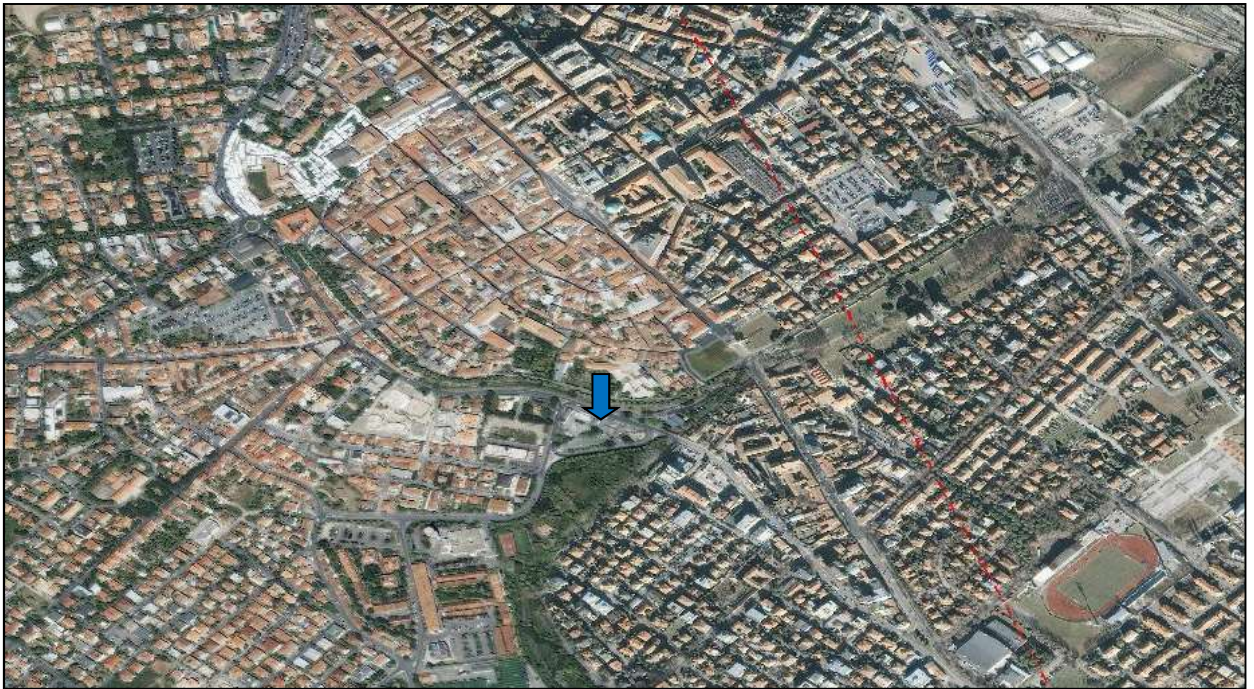


Fig. n° 4: Faglie capaci da progetto ITHACA (in rosso), in blu la zona d'intervento.