



Aleanna Resources LLC

**Procedimento V.I.A. (ex D. Lgs. 152/06 e s.m.i.)
Progetto di Concessione di Coltivazione di idrocarburi
“Gradizza”**

INTEGRAZIONI AL S.I.A.

**Nota MATTM n° 1621 del 22/01/2016 e
Regione Emilia-Romagna n° PG.2015.860060 del 03/12/2015**

ALLEGATO 10

REGIONE EMILIA ROMAGNA

COMUNE DI COPPARO E FORMIGNANA

Provincia di Ferrara (FE)

"CONCESSIONE DI COLTIVAZIONE IDROCARBURI GRADIZZA"

**OPERE PER LA MESSA IN PRODUZIONE DEL GIACIMENTO
GRADIZZA**

INTEGRAZIONI

allo STUDIO DI IMPATTO AMBIENTALE

ed ai DOCUMENTI PROGETTUALI

A seguito della richiesta del M.A.T.T.M. del 22.01.2016

27 – Analisi alla risposta sismica locale

MARZO 2016

Sommario

1	Premessa	3
2	Introduzione alla valutazione della risposta sismica locale	4
3	Impostazione del problema del calcolo dell'amplificazione locale	9
4	Normativa di riferimento	11
5	Risposta sismica locale.....	12
6	Metodo di calcolo adottato e descrizione del codice di calcolo STRATA	14
6.1	METODO LINEARE EQUIVALENTE	14
6.2	PROCEDIMENTO ITERATIVO	16
7	Analisi della risposta sismica locale del sito di Gradizza 1.....	17
7.1	INPUT	17
7.2	CURVE DI DECADIMENTO DEI MATERIALI	17
7.3	STRATIGRAFIE E CARATTERISTICHE DEI SINGOLI STRATI	17
7.4	ACCELEROGRAMMI E SPETTRI DI INPUT	17
7.5	SPETTRI DI OUTPUT	18
7.5.1	SLD	18
7.5.2	SLV	19
8	ALLEGATO 1 -.....	20
9	ALLEGATO 2 -.....	21

1 Premessa

Il presente documento è stato redatto con la finalità di rispondere al punto 27 della sezione Suolo e sottosuolo di cui alla Richiesta di Integrazioni pervenuta dal Ministero dell’Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare – Direzione generale per le valutazioni e le autorizzazioni ambientali – con nota n° 1621 del 22/01/2016 in relazione al Progetto di “Concessione di coltivazione idrocarburi Gradizza – derivante dal permesso di ricerca “**La Prospera**” – realizzazione opere per la messa in produzione del pozzo **Gradizza 1**”.

Nello specifico, si richiede di “valutare la risposta sismica locale ai fini della progettazione dei manufatti e dell’opera lineare annessa; le specifiche analisi, come prescritte da normativa, dovranno essere condotte considerando anche gli eventuali fenomeni di liquefazione”.

2 Introduzione alla valutazione della risposta sismica locale

In passato si è potuto osservare, a seguito di terremoti distruttivi, una distribuzione anomala del danneggiamento delle costruzioni, con forti differenziazioni fra zone contigue anche di modeste dimensioni.

Oltre alle differenze della vulnerabilità sismica dovuta alla qualità delle costruzioni e alle loro differenti caratteristiche dinamiche, tali distribuzioni anomale possono essere attribuite principalmente alle modificazioni delle caratteristiche del moto sismico indotte da condizioni geologiche e geomorfologiche locali.

Il moto sismico in un determinato sito, infatti, è influenzato da tre parametri importanti:

- Il meccanismo di sorgente;
- La propagazione;
- La risposta sismica locale.

I primi due fattori dipendono fortemente dalle caratteristiche dell'evento sismico; questi variano in funzione delle caratteristiche della sorgente (magnitudo e tipo di rottura della faglia) e dalla distanza tra il sito in esame e la sorgente.

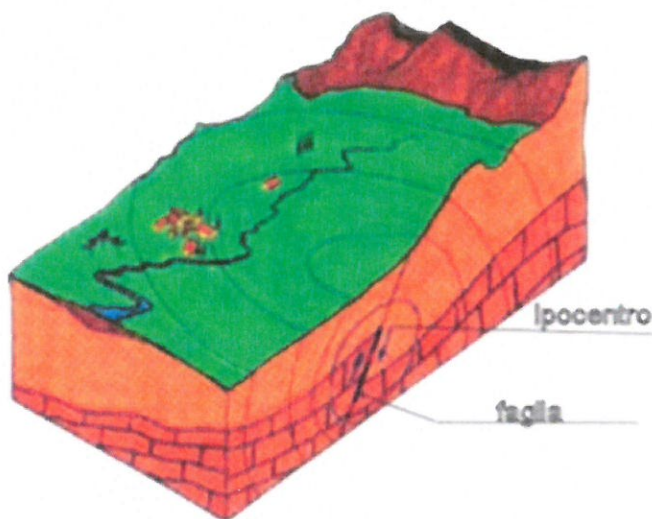


Figura 1 - Schema della rottura del terreno e generazione e propagazione delle onde sismiche.

La risposta sismica locale è il risultato di interazioni tra le onde sismiche e le condizioni locali, cioè l'insieme delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e ammassi rocciosi e delle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

In altre parole, le caratteristiche del sito sono le responsabili delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenze, che un moto sismico subisce attraversando gli strati dal bedrock fino alla superficie rispetto a una formazione rocciosa di base (terremoto di riferimento - Lanzo G. et al.,1999).

Nella Figura 1 è rappresentato uno schema della rottura fragile del terreno in profondità con conseguente generazione di onde che si irradiano dall'ipocentro.

Se si ipotizza di avere installato un sismometro ad una grande distanza dall'ipocentro un possibile segnale registrato potrebbe essere quello mostrato nella Figura 2. Il segnale inizia con l'arrivo delle onde P caratterizzate da alte frequenze a bassa ampiezza. Successivamente arrivano le onde S che si propagano meno velocemente delle P e sono di frequenza più bassa e di maggiore ampiezza. Queste ultime sono in genere la causa dei maggiori danni. Le onde P e quelle S sono chiamate onde di volume per distinguerle da quelle di superficie che sono più lente.



Figura 2 - Tipico sismogramma registrato in superficie a grande distanza.

In generale si può dire che le onde generate dalla sorgente sismica sono di due differenti tipi, cioè quelle associate a stati deformativi di compressione-dilatazione volumetrica, dette onde P che si propagano con velocità V_p pari a:

$$V_p = \sqrt{\frac{M_v}{\rho}}$$

con:

$$M_v = \lambda + 2G$$

dove:

- λ : modulo di Lamé del terreno;
- G : modulo elastico di taglio del terreno;
- ρ : densità di volume del terreno.

Per le onde P il moto oscillatorio delle particelle di terreno avviene parallelamente alla direzione di propagazione.

Le onde S sono associate a deformazione di taglio ed hanno una velocità V_s pari a:

$$V_s = \sqrt{\frac{G}{\rho}}$$

Il moto delle particelle di terreno è in tal caso perpendicolare alla direzione di propagazione. Il campo di spostamenti, in genere, è scomposto in due componenti perpendicolari tra di loro: le onde SV polarizzate nel piano verticale contenente la sorgente e le onde SH polarizzate nel piano orizzontale (piano della superficie libera del terreno in direzione perpendicolare al precedente).

Per maggiore chiarezza, se si considera il piano n verticale e contenente la direzione di propagazione dell'onda incidente, il moto della particella di terreno perpendicolare a tale piano costituisce l'onda SH, viceversa il moto in tale piano costituisce l'onda SV.

Le onde P e S arrivate in superficie possono trasformarsi parzialmente in onde di diverso tipo (P in S oppure S in P) oppure in onde superficiali chiamate così perché viaggiano in superficie attenuandosi rapidamente con la profondità. Queste ultime si differenziano in onde di Rayleigh quando il moto della particella di terreno è in un piano verticale oppure onde di Love quando il moto è in un piano orizzontale.

Con riferimento alla Figura 3, il fenomeno della propagazione delle onde può essere descritto come segue. Nella sua complessità morfologica, litologica e stratigrafica, un territorio può essere rappresentato come un insieme di formazioni superficiali, interessate dai loro fenomeni evolutivi tipici, poggianti su formazioni più profonde, i cui andamenti possono

essere stati resi complessi fino alla creazione di affioramenti dai fenomeni tettonici ed orogenetici.

Prevalentemente, le formazioni profonde saranno costituite da rocce ignee o metamorfiche di origine sedimentaria, mentre quelle superficiali saranno di natura sedimentaria più recente, coerenti od incoerenti, e quindi con caratteristiche meccaniche ben differenziate rispetto alle prime.

Le onde sismiche che si sono generate in profondità, e che sono già caratterizzate diversamente a seconda del meccanismo proprio della sorgente, subiscono una serie di modificazioni ulteriori (riflessioni e rifrazioni) nell'attraversare la crosta terrestre e giungere fino alle formazioni di base del sito. Ad una certa distanza dall'epicentro, e per una porzione di territorio ragionevolmente limitata, il moto sismico apparirà come un fronte d'onda uniforme propagantesi dal basso verso l'alto, con una certa angolazione rispetto alla verticale, che viene trasmesso dalle formazioni di base a quelle superficiali.

Il moto al suolo tende a non dipendere più solamente dal tipo di rottura della sorgente e a diventare il risultato di due ulteriori meccanismi eventualmente combinati:

- la propagazione delle onde sismiche all'interno delle formazioni di base e dalla conformazione delle frontiere della stessa;
- la risposta dinamica delle formazioni superficiali.

Tutto ciò comporta una non omogeneità del moto vibratorio in superficie che può cambiare da punto a punto anche a breve distanza. Sugli aspetti quantitativi e qualitativi del fenomeno hanno pertanto grande rilevanza diversi fattori quali la natura delle onde sismiche incidenti ed in particolare il meccanismo di sorgente, le diversità fra le caratteristiche meccaniche dei terreni attraversati, ed in particolare tra formazioni di base e superficiali, la conformazione e la giacitura degli strati, la presenza di falde idriche, l'entità dei fenomeni dissipativi ed altri ancora.

Al variare delle condizioni locali, il moto alla superficie risulterà quindi differente per quanto attiene ai suoi caratteri principali e cioè: ampiezza, contenuto in frequenza e durata. Si osserva che tutti e tre questi caratteri sono significativi e concorrono a causare il danneggiamento delle strutture e l'instabilità dei terreni (frane, cedimenti, liquefazioni).

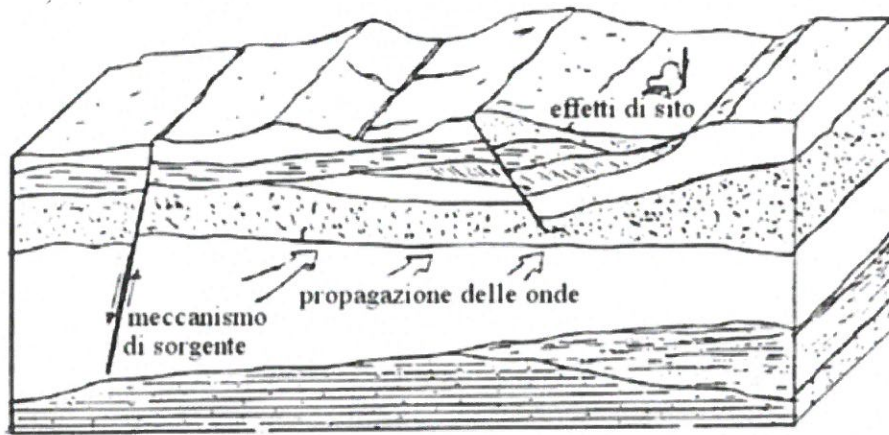


Figura 3 - Schema di una situazione reale.

3 Impostazione del problema del calcolo dell'amplificazione locale

Per illustrare gli aspetti principali del fenomeno della risposta sismica locale si paragoni il moto in corrispondenza di tre siti, indicati con A, B e C nella Figura 4, posti alla stessa distanza dalla sorgente sismica durante lo stesso evento sismico. Si supponga inoltre che il primo sito sia su un semispazio affiorante (per esempio roccia) e il secondo B su un deposito alluvionale posto al di sopra del semi spazio ed il terzo C su di un rilievo.

In corrispondenza della coltre alluvionale si verifica, rispetto al moto sul semi spazio affiorante, una amplificazione del moto in particolari campi di frequenza e una deamplificazione negli altri campi. Analogamente sul rilievo in C si verificheranno focalizzazioni oppure diradazioni di onde per effetto della forma del rilievo e della direzione di incidenza delle onde.

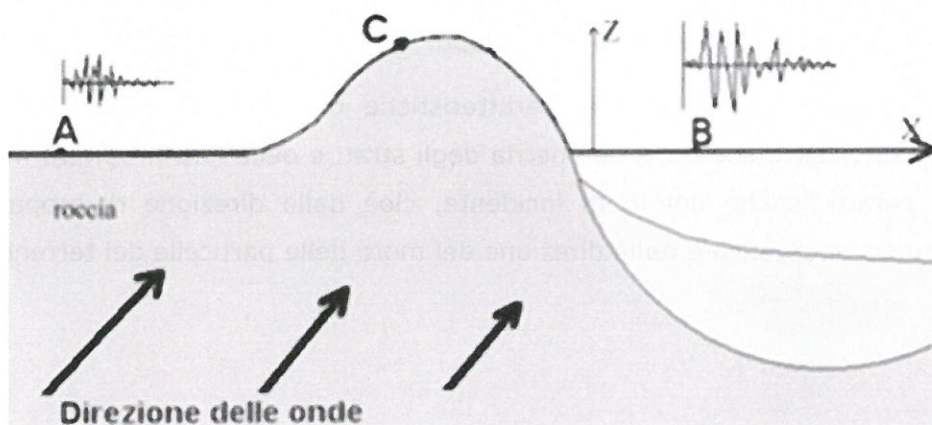


Figura 4 - Schema della propagazione delle onde dalla sorgente e delle differenti condizioni locali.

In letteratura si parla di effetti stratigrafici o monodimensionali nel caso in cui le modifiche che il moto sismico subisce nel propagarsi in direzione prevalentemente verticale verso la superficie dal sottostante basamento roccioso siano essenzialmente attribuibili a fenomeni di filtraggio. L'amplificazione delle onde sismiche dipende in questo caso dalla stratigrafia del sottosuolo, dalle caratteristiche fisico-meccaniche dei terreni e del contenuto in frequenza del moto sismico.

Il termine "effetti di bacino" è utilizzato quando le onde incidenti incontrano una valle alluvionale; in tal caso ai fenomeni sopra descritti si sovrappongono quelli dovuti al manifestarsi di fenomeni complessi di interazione tra le onde, che possono sommarsi o elidersi a vicenda, e generazione di onde superficiali. Spesso ai bordi della valle si verificano maggiori amplificazioni, dette: "effetti di bordo".

Con "effetti topografici" si intendono le modifiche delle caratteristiche del moto sismico causate essenzialmente da fenomeni di focalizzazione delle onde sismiche per effetto della particolare geometria della superficie (per es. la cresta di un rilievo o un canyon) e sono molto influenzati dalla lunghezza d'onda del moto incidente e dalla direzione di incidenza.

Lo scopo delle analisi di amplificazione sismica locale è quello di determinare il moto in B oppure in C una volta noto il moto nel sito di riferimento A. Tale moto di riferimento è in genere determinabile in via statistica (analisi di pericolosità) o deterministica dallo studio del meccanismo di rottura della sorgente nell'ipotesi che tra la sorgente stessa ed il sito in esame il mezzo sia omogeneo ed isotropo.

Come è facile immaginare le caratteristiche del moto in superficie sono fortemente influenzate, oltre che dalla geometria degli strati e delle loro proprietà meccaniche, anche dalle caratteristiche del moto incidente, cioè dalla direzione di propagazione, dal suo contenuto energetico e dalla direzione del moto delle particelle del terreno.

4 Normativa di riferimento

La normative di riferimento per lo studio del problema in esame sono:

- NTC 2008 Cap 7.11.3.1 (Risposta Sismica Locale);

5 Risposta sismica locale

Come già detto in precedenza, il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono.

Alla scala della singola opera o del singolo sistema geotecnico, la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale.

I passi da seguire nello studio del problema della risposta sismica locale sono:

1. Definizione input sismico;

- 1.1 Stima dell'accelerazione di base;
- 1.2 Dati di disaggregazione;
- 1.3 Estrazione, conversione e normalizzazione accelerogrammi di input;

2. Analisi di Risposta Sismica Locale;

- 2.1 Inserimento sismostratigrafia di input (derivata da un'inversione congiunta di una curva di dispersione derivata da un'indagine sismica MASW e di una curva HVSR);
- 2.2 Esecuzione dell'analisi e restituzione grafica.

Le analisi numeriche che consentono di valutare gli effetti del sito nell'amplificazione delle onde sismiche possono essere distinte in:

- Analisi numeriche monodimensionali (come in questo caso);
- Analisi numeriche bidimensionali;
- Analisi numeriche tridimensionali.

Il primo approccio consente di definire una realistica risposta sismica stratigrafica di terreni non affetti da problematiche bidimensionali. Questo approccio è ritenuto la via ufficiale delle NTC 2008 (Cap. 3.2.2) e consente, in determinati casi e mediante il confronto con la relativa categoria di sottosuolo, elementi di risparmio rispetto all'approccio semplificato di normativa, poiché identifica amplificazione per intervalli di periodi solitamente più limitati rispetto a quelli di normativa.

Il secondo approccio è da preferire in quelle situazioni in cui il sottosuolo presenta una geometria variabile in cui, oltre alla profondità, è importante considerare un'altra delle due restanti dimensioni spaziali. Un esempio di situazione che richiede l'utilizzo di modelli bidimensionali è il caso delle aree marginali delle valli alluvionali, in cui alle normali cause di amplificazione del moto sismico si sommano gli effetti di bordo connessi alla geometria del problema.

Il terzo approccio necessita di modelli complessi che richiedono capacità computazionali notevoli; solo recentemente iniziano ad avere una certa diffusione grazie al rapido sviluppo degli strumenti informatici. Il loro utilizzo è principalmente concentrato sulla valutazione delle amplificazioni in presenza di effetti morfologici, data l'importanza assunta in queste analisi dalla conoscenza precisa e dalla gestione di un modello tridimensionale del terreno.

6 Metodo di calcolo adottato e descrizione del codice di calcolo STRATA

Il codice di calcolo STRATA (Rathje & Kottke, 2010, <https://nees.org/resources/strata>) consente di effettuare una modellazione monodimensionale, nel dominio delle frequenze, in tensioni totali, utilizzando il metodo lineare equivalente.

6.1 METODO LINEARE EQUIVALENTE

Il comportamento meccanico dei terreni sotto l'effetto di carichi ciclici ad elevata frequenza è alquanto complesso e caratterizzato da marcata non linearità, accumulo di deformazioni permanenti, dissipazione di energia e degradazione progressiva delle caratteristiche meccaniche per effetto del numero di cicli di carico applicati. In presenza di fluido interstiziale, alle suddette problematiche si aggiunge l'accumulo di sovrappressioni interstiziali in condizioni di drenaggio impedito o parziale, che sono comunque le più frequenti, in considerazione della velocità di applicazione del carico.

La modellazione di tali fenomeni richiede l'utilizzo di legami costitutivi complessi, che oltretutto difficilmente riescono a riprodurre simultaneamente tutte le specificità del comportamento dei terreni. Per tale ragione spesso si preferisce fare riferimento a modelli costitutivi semplificati che, pur non essendo rigorosi, riescono a riprodurre il comportamento in modo adeguato in riferimento alla specifica applicazione.

In particolare, per quanto riguarda la risposta sismica dei depositi, l'approccio visco-elastico lineare equivalente rappresenta un valido compromesso tra semplificazione delle analisi ed accuratezza dei risultati. La strategia consiste sostanzialmente nel fare riferimento alle soluzioni visco-elastiche lineari per la propagazione delle onde sismiche adeguando in modo iterativo i parametri costitutivi in funzione del livello deformativo indotto dal moto sismico nel terreno.

Tale modello lineare equivalente, studia il comportamento tra tensione e deformazione del terreno basandosi sul modello di Kelvin-Voigt, illustrato in Figura 5. La tensione τ dipende dalla deformazione γ e dalla sua derivata $\dot{\gamma}$, secondo la relazione:

$$\tau = G \gamma + \eta \dot{\gamma}$$

dove:

- G : Modulo di taglio;
- η : viscosità del mezzo.

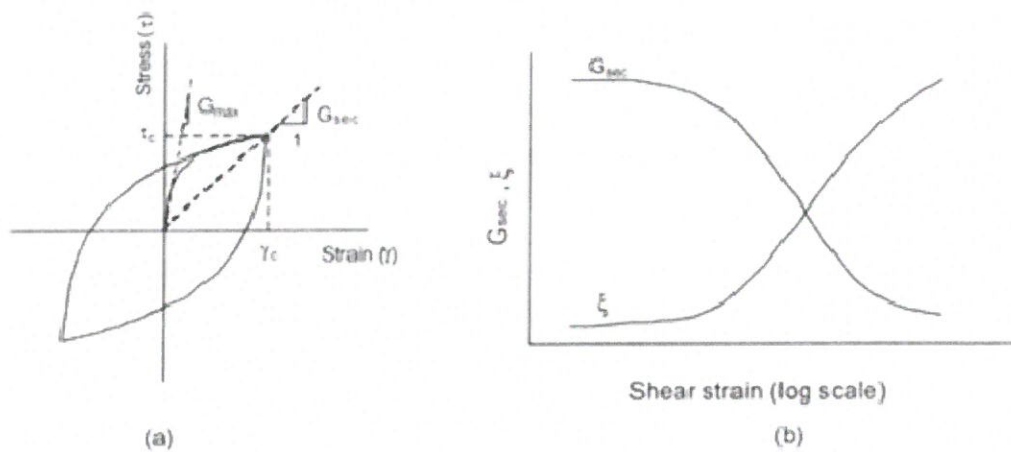


Figura 5 - . Modello lineare equivalente: (a) curve tensioni - deformazioni; (b) variazione del modulo.

Il comportamento non lineare del terreno, durante un ciclo di carico, viene approssimato come mostrato in figura 5. Il modulo di taglio equivalente G è preso considerando il modulo di taglio secante G_s .

È possibile notare come alla fine di un ciclo controllato e simmetrico di tensioni si ha:

$$G_s = \frac{\tau_c}{\gamma_c}$$

La curva G_s - γ non può avere una forma arbitraria ma deriva dalla curva τ - γ e sussiste la seguente relazione:

$$\frac{d\tau}{d\gamma} = G_s(\gamma) + \frac{dG_s}{d\gamma} \gamma \geq 0$$

La descrizione del comportamento meccanico dei terreni nei confronti dei carichi ciclici non può peraltro prescindere dalla dissipazione intrinseca di energia che si verifica durante i cicli di carico-scarico. Il parametro di riferimento a tal riguardo è costituito dal coefficiente di smorzamento D , definito come:

$$D = \frac{1}{4\pi} \frac{\Delta W^{dissp}}{W^{max}}$$

dove:

- $\Delta W, diss$: quantità di energia dissipata, per unità di volume, dal terreno durante un ciclo di carico armonico;
- W, max : massima energia di deformazione, per unità di volume, immagazzinata dal terreno durante lo stesso ciclo di carico armonico.

6.2 PROCEDIMENTO ITERATIVO

La procedura iterativa che consente di ottenere la risposta non lineare del sistema consiste nell'eseguire una sequenza di analisi lineari, con aggiornamento iterativo dei parametri di rigidità e smorzamento, fino al raggiungimento di un prefissato criterio di convergenza. Lo schema della procedura iterativa su cui è basato il modello lineare equivalente, da applicare ad ogni strato in cui è stato discretizzato il profilo stratigrafico, prevede:

1. definizione di curve $G=G(\gamma)$ e $D=D(\gamma)$ per i diversi strati;
2. inizializzazione dei valori del modulo di taglio e del fattore di smorzamento ai livelli di piccole deformazioni (G_0 e D_0);
3. calcolo della risposta dinamica del suolo e valutazione della deformazione massima a taglio in ogni strato (γ_1 , figura 7);
4. aggiornamento dei valori $G_1=G(\gamma_1)$ e $D_1=D(\gamma_1)$;
5. iterazione dei passi 3 e 4 fino a convergenza ($\gamma_{i-1} \sim \gamma_i$).

7 Analisi della risposta sismica locale del sito di Gradizza 1

7.1 INPUT

Nei paragrafi successivi e nei due report allegati (1 e 2) vengono riportate le informazioni relative ai dati di input utilizzati per lo studio della risposta sismica locale del deposito.

7.2 CURVE DI DECADIMENTO DEI MATERIALI

All'aumentare del livello di deformazione angolare raggiunta dal terreno si ha una diminuzione del modulo di taglio G ed un aumento del rapporto di smorzamento D. Tale comportamento può essere descritto, per ogni tipo di materiale presente nella stratigrafia, da due curve di decadimento, relative a G e a D.

I dati delle curve di riferimento utilizzate nell'analisi sono riportati negli allegati 1 e 2

7.3 STRATIGRAFIE E CARATTERISTICHE DEI SINGOLI STRATI

Sulla base del cosiddetto volume significativo di terreno interessato dal problema in esame, viene definita una stratigrafia di progetto che rappresenta l'andamento delle singole lenti di terreno in una sezione verticale.

Tale stratigrafia è stata desunta dal profilo di velocità derivato da un'inversione congiunta di una curva di dispersione derivata da un'indagine sismica MASW e di una curva HVSR e dai dati della stratigrafia del pozzo e di sondaggi geognostici ubicati nelle immediate vicinanze.

Il profilo di velocità è stato estrapolato fino alla profondità di 370 m, alla quale si è raggiunto gli 800 m/s di velocità.

La stratigrafia utilizzata è rappresentata negli allegati 1 e 2.

7.4 ACCELEROGRAMMI E SPETTRI DI INPUT

Gli accelerogrammi di input relativi agli stati limite in esame (SLD e SLV) possono essere ottenuti tramite un'analisi con l'utilizzo dell'applicativo software REXEL v. 3.5 beta, che

permette la ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri delle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC 2008), dell'Eurocodice 8 (EC – CEN 2003), dell'ASCE/SEI 7-10 (ASCE, 2010). Il database utilizzato è l'European Strong Motion Database (ESD).

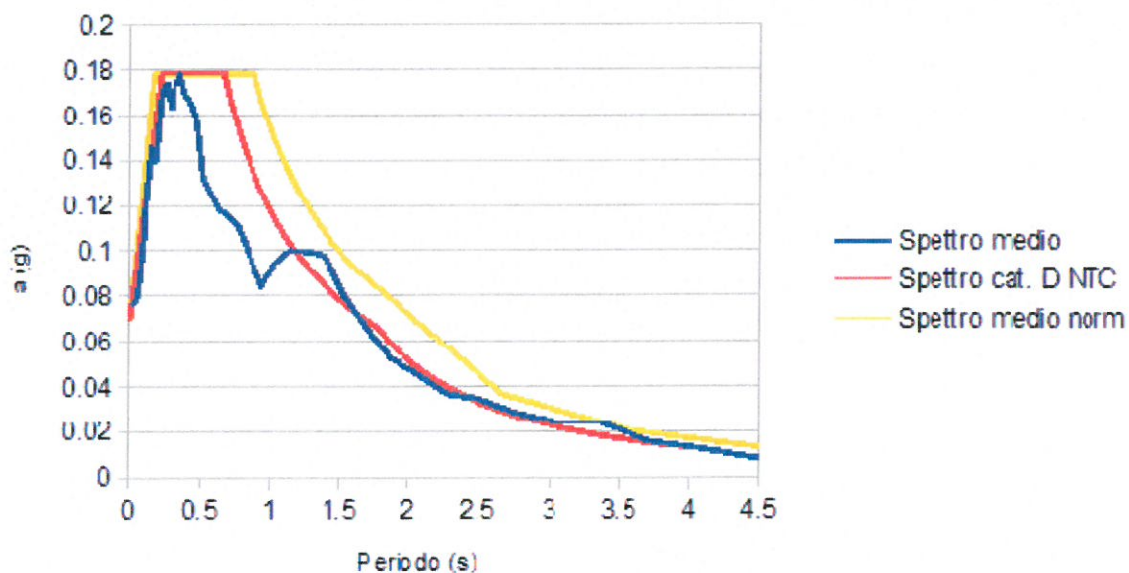
Gli accelerogrammi utilizzati sono riportati negli allegati 1 e 2

7.5 SPETTRI DI OUTPUT

Nei paragrafi successivi vengono riportate le informazioni relative ai risultati del calcolo.

7.5.1 SLD

Di seguito viene riportato lo spettro di risposta in accelerazione, derivante dalla media degli spettri ottenuti dai 7 accelerogrammi utilizzati (per un tempo di ritorno di 50 anni). Si riporta inoltre il confronto con lo spettro di normativa per la corrispondente categoria di sottosuolo (D) e lo spettro di risposta derivato dalla RSL, normalizzato (ed i relativi parametri).

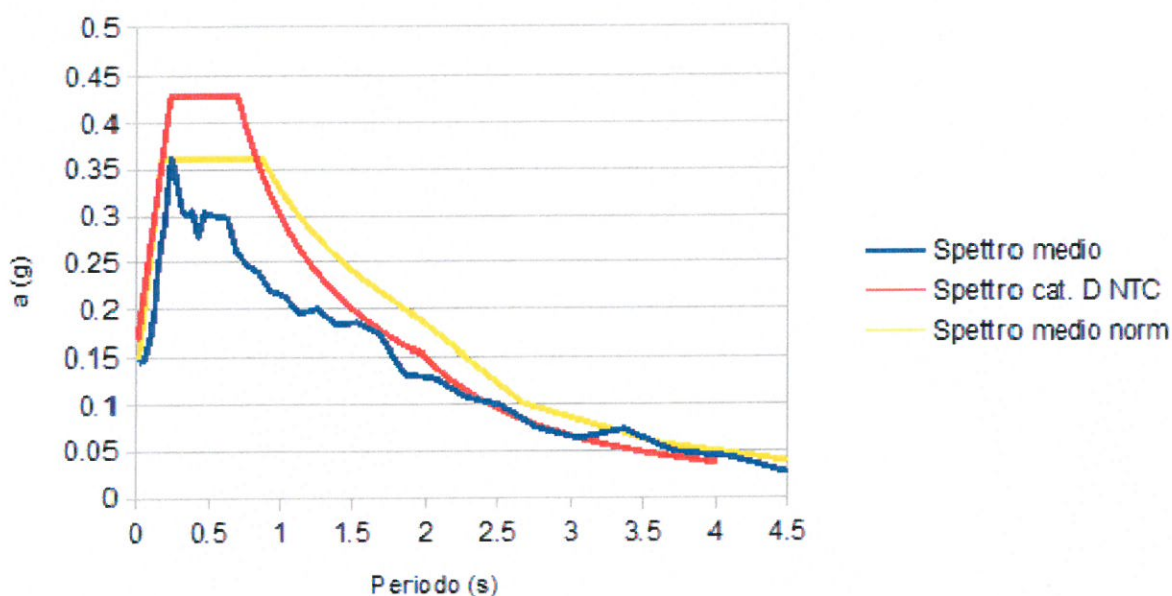


Parametri indipendenti	
a(g)	0.039
F0	2.752
T*c	0.275 s

Parametri dipendenti	
Tb	0.164
Tc	0.831
S	1.777

7.5.2 SLV

Di seguito viene riportato lo spettro di risposta in accelerazione, derivante dalla media degli spettri ottenuti dai 7 accelerogrammi utilizzati (per un Tr di 475 anni). Si riporta inoltre il confronto con lo spettro di normativa per la corrispondente categoria di sottosuolo (D) e lo spettro di risposta derivato dalla RSL, normalizzato (ed i relativi parametri).



Parametri indipendenti	
a(g)	0.093
F0	2.573
T*c	0.312 s

Parametri dipendenti	
Tb	0.234
Tc	1.157
S	1.513

Marzo, 2016

Dott. Geol. Alessandro Murratzu

Dott. Geol. Simone Fiaschi

8. ALLEGATO 1 - REPORT ANALISI RSL (SLD, Tr 50 anni)

RSL - Gradizza_SLD

I. General Settings

A. Project

Title: RSL - Gradizza_SLD

Notes: Analisi di risposta sismica locale relativa ad un sito ubicato in loc. Gradizza, nel comune di Copparo (FE) effettuata con 7 accelerogrammi, scelti utilizzando REXEL (Iervolino et al., 2009), per lo stato limite elastico SLD

File prefix: SLD_

Units System: Metric

B. Type of Analysis

Analysis Method: Equivalent Linear (EQL)

Approach: Time Series

Properties Varied: False

C. Layer Discretization

Maximum frequency: 20 Hz

Wavelength fraction: 0.2

D. Equivalent Linear Parameters

Effective strain ratio: 0.45 Hz

Error tolerance: 2

Maximum number of iterations: 10

II. Soil Types

[A. Sedimenti 30 - 37 m](#)

[B. Sedimenti 37 - 76 m](#)

[C. Sedimenti 76 - 152 m](#)

[D. Sedimenti > 152 m](#)

[E. Limi prev. argillosi](#)

[F. Limi prev. sabbiosi](#)

[G. Bedrock](#)

A. Sedimenti 30 - 37 m

Name: Sedimenti 30 - 37 m

Notes:

Unit Weight: 18 kN/m³

Initial Damping: 5

Varied: True

Shear Modulus Reduction Damping Ratio

Type: Shear Modulus Reduction

Type: Damping Ratio

Name: EPRI (93), 50-120 ft

Name: EPRI (93), 50-120 ft

Strain (%)	G/Gmax
1.00e-04	1.000
1.78e-04	1.000
3.16e-04	1.000
5.62e-04	0.999
1.00e-03	0.998
1.78e-03	0.988
3.16e-03	0.970
5.62e-03	0.934
1.00e-02	0.878
1.78e-02	0.797
3.16e-02	0.691
5.62e-02	0.567
1.00e-01	0.444
1.78e-01	0.328
3.16e-01	0.225
5.62e-01	0.145

Strain (%)	Damping (%)
1.00e-04	1.000
1.78e-04	0.982
3.16e-04	0.978
5.62e-04	1.122
1.00e-03	1.165
1.78e-03	1.371
3.16e-03	1.610
5.62e-03	2.046
1.00e-02	2.830
1.78e-02	3.901
3.16e-02	5.493
5.62e-02	7.662
1.00e-01	10.381
1.78e-01	13.383
3.16e-01	16.643
5.62e-01	19.766

1.00e+00	0.092
----------	-------

1.00e+00	22.580
----------	--------

B. Sedimenti 37 - 76 m

Name: Sedimenti 37 - 76 m

Notes:

Unit Weight: 19 kN/m³

Initial Damping: 5

Varied: True

Shear Modulus Reduction Damping Ratio

Type: Shear Modulus Reduction

Type: Damping Ratio

Name: EPRI (93), 120-250 ft

Name: EPRI (93), 120-250 ft

Strain (%)	G/Gmax
1.00e-04	1.000
1.78e-04	1.000
3.16e-04	1.000
5.62e-04	0.999
1.00e-03	0.999
1.78e-03	0.994
3.16e-03	0.979
5.62e-03	0.954
1.00e-02	0.909
1.78e-02	0.840
3.16e-02	0.747
5.62e-02	0.631
1.00e-01	0.507
1.78e-01	0.384
3.16e-01	0.274
5.62e-01	0.182
1.00e+00	0.118

Strain (%)	Damping (%)
1.00e-04	0.857
1.78e-04	0.839
3.16e-04	0.821
5.62e-04	0.880
1.00e-03	1.006
1.78e-03	1.125
3.16e-03	1.341
5.62e-03	1.629
1.00e-02	2.198
1.78e-02	3.131
3.16e-02	4.460
5.62e-02	6.281
1.00e-01	8.686
1.78e-01	11.573
3.16e-01	14.770
5.62e-01	17.879
1.00e+00	20.906

C. Sedimenti 76 - 152 m

Name: Sedimenti 76 - 152 m

Notes:

Unit Weight: 20 kN/m³

Initial Damping: 5

Varied: True

Shear Modulus Reduction Damping Ratio

Type: Shear Modulus Reduction

Type: Damping Ratio

Name: EPRI (93), 250-500 ft

Name: EPRI (93), 250-500 ft

Strain (%)	G/Gmax
1.00e-04	1.000
1.78e-04	1.000
3.16e-04	1.000
5.62e-04	0.999
1.00e-03	0.999
1.78e-03	0.999
3.16e-03	0.986
5.62e-03	0.968
1.00e-02	0.934
1.78e-02	0.879

Strain (%)	Damping (%)
1.00e-04	0.786
1.78e-04	0.792
3.16e-04	0.799
5.62e-04	0.811
1.00e-03	0.867
1.78e-03	0.950
3.16e-03	1.081
5.62e-03	1.344
1.00e-02	1.774
1.78e-02	2.515

3.16e-02	0.799
5.62e-02	0.696
1.00e-01	0.575
1.78e-01	0.449
3.16e-01	0.332
5.62e-01	0.230
1.00e+00	0.148

3.16e-02	3.520
5.62e-02	5.077
1.00e-01	7.206
1.78e-01	9.853
3.16e-01	12.839
5.62e-01	15.972
1.00e+00	19.072

D. Sedimenti > 152 m

Name: Sedimenti > 152 m

Notes:

Unit Weight: 21 kN/m³

Initial Damping: 5

Varied: True

Shear Modulus Reduction Damping Ratio

Type: Shear Modulus Reduction

Type: Damping Ratio

Name: EPRI (93), 500-1000 ft

Name: EPRI (93), 500-1000 ft

Strain (%)	G/Gmax
1.00e-04	1.000
1.78e-04	1.000
3.16e-04	1.000
5.62e-04	1.000
1.00e-03	1.000
1.78e-03	1.000
3.16e-03	0.995
5.62e-03	0.982
1.00e-02	0.960
1.78e-02	0.915
3.16e-02	0.850
5.62e-02	0.765
1.00e-01	0.660
1.78e-01	0.532
3.16e-01	0.410
5.62e-01	0.297
1.00e+00	0.200

Strain (%)	Damping (%)
1.00e-04	0.492
1.78e-04	0.554
3.16e-04	0.607
5.62e-04	0.589
1.00e-03	0.643
1.78e-03	0.696
3.16e-03	0.772
5.62e-03	0.983
1.00e-02	1.234
1.78e-02	1.735
3.16e-02	2.562
5.62e-02	3.696
1.00e-01	5.408
1.78e-01	7.617
3.16e-01	10.428
5.62e-01	13.524
1.00e+00	16.459

E. Limi prev. argillosi

Name: Limi prev. argillosi

Notes:

Unit Weight: 18 kN/m³

Initial Damping: 5

Varied: True

Shear Modulus Reduction Damping Ratio

Type: Shear Modulus Reduction

Type: Damping Ratio

Name: Idriss (1990), Clay

Name: Idriss (1990), Clay

Strain (%)	G/Gmax
1.00e-04	1.000
3.16e-04	1.000
1.00e-03	1.000
3.16e-03	0.979

Strain (%)	Damping (%)
1.00e-04	0.240
3.16e-04	0.440
1.00e-03	0.800
3.16e-03	1.460

1.00e-02	0.941
3.16e-02	0.839
1.00e-01	0.656
3.16e-01	0.429
1.00e+00	0.238
3.16e+00	0.238
1.00e+01	0.238

1.00e-02	2.800
3.16e-02	5.310
1.00e-01	9.800
3.16e-01	15.740
1.00e+00	21.000
3.16e+00	21.000
1.00e+01	21.000

F. Limi prev. sabbiosi

Name: Limi prev. sabbiosi

Notes:

Unit Weight: 18 kN/m³

Initial Damping: 5

Varied: True

Shear Modulus Reduction Damping Ratio

Type: Shear Modulus Reduction

Type: Damping Ratio

Name: Idriss (1990), Sand

Name: Idriss (1990), Sand

Strain (%)	G/Gmax
1.00e-04	1.000
3.16e-04	1.000
1.00e-03	0.990
3.16e-03	0.955
1.00e-02	0.850
3.16e-02	0.628
1.00e-01	0.370
3.16e-01	0.176
1.00e+00	0.080
3.16e+00	0.080
1.00e+01	0.080

Strain (%)	Damping (%)
1.00e-04	0.240
3.16e-04	0.440
1.00e-03	0.800
3.16e-03	1.460
1.00e-02	2.800
3.16e-02	5.310
1.00e-01	9.800
3.16e-01	15.740
1.00e+00	21.000
3.16e+00	21.000
1.00e+01	21.000

G. Bedrock

Unit weight: 22 kN/m³

Damping: 1

III. Soil Layers

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Average Vs (m/s)
0	5	Limi prev. argillosi	106
5	7	Limi prev. sabbiosi	106
12	5	Limi prev. argillosi	106
17	6	Limi prev. argillosi	130
23	6	Limi prev. sabbiosi	130
29	6	Sedimenti 30 - 37 m	230
35	7	Sedimenti 30 - 37 m	230
42	5	Sedimenti 37 - 76 m	294
47	26	Sedimenti 37 - 76 m	294
73	8	Sedimenti 37 - 76 m	412
81	19	Sedimenti 76 - 152 m	412
100	51	Sedimenti 76 - 152 m	446
151	6	Sedimenti 76 - 152 m	474
157	78	Sedimenti > 152 m	474
235	108	Sedimenti > 152 m	548
343	2	Sedimenti > 152 m	749

345	10	Sedimenti > 152 m	768
355	10	Sedimenti > 152 m	779
365	10	Sedimenti > 152 m	790
375	—	Bedrock	800

IV. Motion(s)

Input Location: Bedrock

Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
SLV_Copparo\000342xa_record_g.txt		Outcrop	0.04	3.64	2.65
SLV_Copparo\001891ya_record_g.txt		Outcrop	0.04	3.60	1.56
SLD_Copparo\000383xa_record_g.txt		Outcrop	0.04	2.81	2.01
SLD_Copparo\000789xa_record_g.txt		Outcrop	0.04	2.49	1.61
SLD_Copparo\005085xa_record_g.txt		Outcrop	0.04	6.24	3.32
SLD_Copparo\000382xa_record_g.txt		Outcrop	0.04	2.00	1.57
SLD_Copparo\000368xa_record_g_scaled.txt		Outcrop	0.04	3.38	1.00

9. ALLEGATO 2 - REPORT ANALISI RSL (SLV, Tr 475 anni)

RSL - Gradizza_SLV

I. General Settings

A. Project

Title: RSL - Gradizza_SLV

Notes: Analisi di risposta sismica locale relativa ad un sito ubicato in loc. Gradizza, nel comune di Copparo (FE) effettuata con 7 accelerogrammi, scelti utilizzando REXEL (Iervolino et al., 2009), per lo stato limite ultimo SLV

File prefix: SLV_

Units System: Metric

B. Type of Analysis

Analysis Method: Equivalent Linear (EQL)

Approach: Time Series

Properties Varied: False

C. Layer Discretization

Maximum frequency: 20 Hz

Wavelength fraction: 0.2

D. Equivalent Linear Parameters

Effective strain ratio: 0.45 Hz

Error tolerance: 2

Maximum number of iterations: 10

II. Soil Types

[A. Sedimenti 30 - 37 m](#)

[B. Sedimenti 37 - 76 m](#)

[C. Sedimenti 76 - 152 m](#)

[D. Sedimenti > 152 m](#)

[E. Limi prev. argillosi](#)

[F. Limi prev. sabbiosi](#)

[G. Bedrock](#)

A. Sedimenti 30 - 37 m

Name: Sedimenti 30 - 37 m

Notes:

Unit Weight: 18 kN/m³

Initial Damping: 5

Varied: True

Shear Modulus Reduction Damping Ratio

Type: Shear Modulus Reduction

Type: Damping Ratio

Name: EPRI (93), 50-120 ft

Name: EPRI (93), 50-120 ft

Strain (%)	G/Gmax
1.00e-04	1.000
1.78e-04	1.000
3.16e-04	1.000
5.62e-04	0.999
1.00e-03	0.998
1.78e-03	0.988
3.16e-03	0.970
5.62e-03	0.934
1.00e-02	0.878
1.78e-02	0.797
3.16e-02	0.691
5.62e-02	0.567
1.00e-01	0.444
1.78e-01	0.328
3.16e-01	0.225
5.62e-01	0.145

Strain (%)	Damping (%)
1.00e-04	1.000
1.78e-04	0.982
3.16e-04	0.978
5.62e-04	1.122
1.00e-03	1.165
1.78e-03	1.371
3.16e-03	1.610
5.62e-03	2.046
1.00e-02	2.830
1.78e-02	3.901
3.16e-02	5.493
5.62e-02	7.662
1.00e-01	10.381
1.78e-01	13.383
3.16e-01	16.643
5.62e-01	19.766

1.00e+00	0.092
----------	-------

1.00e+00	22.580
----------	--------

B. Sedimenti 37 - 76 m

Name: Sedimenti 37 - 76 m

Notes:

Unit Weight: 19 kN/m³

Initial Damping: 5

Varied: True

Shear Modulus Reduction Damping Ratio

Type: Shear Modulus Reduction

Type: Damping Ratio

Name: EPRI (93), 120-250 ft

Name: EPRI (93), 120-250 ft

Strain (%)	G/Gmax
1.00e-04	1.000
1.78e-04	1.000
3.16e-04	1.000
5.62e-04	0.999
1.00e-03	0.999
1.78e-03	0.994
3.16e-03	0.979
5.62e-03	0.954
1.00e-02	0.909
1.78e-02	0.840
3.16e-02	0.747
5.62e-02	0.631
1.00e-01	0.507
1.78e-01	0.384
3.16e-01	0.274
5.62e-01	0.182
1.00e+00	0.118

Strain (%)	Damping (%)
1.00e-04	0.857
1.78e-04	0.839
3.16e-04	0.821
5.62e-04	0.880
1.00e-03	1.006
1.78e-03	1.125
3.16e-03	1.341
5.62e-03	1.629
1.00e-02	2.198
1.78e-02	3.131
3.16e-02	4.460
5.62e-02	6.281
1.00e-01	8.686
1.78e-01	11.573
3.16e-01	14.770
5.62e-01	17.879
1.00e+00	20.906

C. Sedimenti 76 - 152 m

Name: Sedimenti 76 - 152 m

Notes:

Unit Weight: 20 kN/m³

Initial Damping: 5

Varied: True

Shear Modulus Reduction Damping Ratio

Type: Shear Modulus Reduction

Type: Damping Ratio

Name: EPRI (93), 250-500 ft

Name: EPRI (93), 250-500 ft

Strain (%)	G/Gmax
1.00e-04	1.000
1.78e-04	1.000
3.16e-04	1.000
5.62e-04	0.999
1.00e-03	0.999
1.78e-03	0.999
3.16e-03	0.986
5.62e-03	0.968
1.00e-02	0.934
1.78e-02	0.879

Strain (%)	Damping (%)
1.00e-04	0.786
1.78e-04	0.792
3.16e-04	0.799
5.62e-04	0.811
1.00e-03	0.867
1.78e-03	0.950
3.16e-03	1.081
5.62e-03	1.344
1.00e-02	1.774
1.78e-02	2.515

3.16e-02	0.799
5.62e-02	0.696
1.00e-01	0.575
1.78e-01	0.449
3.16e-01	0.332
5.62e-01	0.230
1.00e+00	0.148

3.16e-02	3.520
5.62e-02	5.077
1.00e-01	7.206
1.78e-01	9.853
3.16e-01	12.839
5.62e-01	15.972
1.00e+00	19.072

D. Sedimenti > 152 m

Name: Sedimenti > 152 m

Notes:

Unit Weight: 21 kN/m³

Initial Damping: 5

Varied: True

Shear Modulus Reduction Damping Ratio

Type: Shear Modulus Reduction

Type: Damping Ratio

Name: EPRI (93), 500-1000 ft

Name: EPRI (93), 500-1000 ft

Strain (%)	G/Gmax
1.00e-04	1.000
1.78e-04	1.000
3.16e-04	1.000
5.62e-04	1.000
1.00e-03	1.000
1.78e-03	1.000
3.16e-03	0.995
5.62e-03	0.982
1.00e-02	0.960
1.78e-02	0.915
3.16e-02	0.850
5.62e-02	0.765
1.00e-01	0.660
1.78e-01	0.532
3.16e-01	0.410
5.62e-01	0.297
1.00e+00	0.200

Strain (%)	Damping (%)
1.00e-04	0.492
1.78e-04	0.554
3.16e-04	0.607
5.62e-04	0.589
1.00e-03	0.643
1.78e-03	0.696
3.16e-03	0.772
5.62e-03	0.983
1.00e-02	1.234
1.78e-02	1.735
3.16e-02	2.562
5.62e-02	3.696
1.00e-01	5.408
1.78e-01	7.617
3.16e-01	10.428
5.62e-01	13.524
1.00e+00	16.459

E. Limi prev. argillosi

Name: Limi prev. argillosi

Notes:

Unit Weight: 18 kN/m³

Initial Damping: 5

Varied: True

Shear Modulus Reduction Damping Ratio

Type: Shear Modulus Reduction

Type: Damping Ratio

Name: Idriss (1990), Clay

Name: Idriss (1990), Clay

Strain (%)	G/Gmax
1.00e-04	1.000
3.16e-04	1.000
1.00e-03	1.000
3.16e-03	0.979

Strain (%)	Damping (%)
1.00e-04	0.240
3.16e-04	0.440
1.00e-03	0.800
3.16e-03	1.460

1.00e-02	0.941
3.16e-02	0.839
1.00e-01	0.656
3.16e-01	0.429
1.00e+00	0.238
3.16e+00	0.238
1.00e+01	0.238

1.00e-02	2.800
3.16e-02	5.310
1.00e-01	9.800
3.16e-01	15.740
1.00e+00	21.000
3.16e+00	21.000
1.00e+01	21.000

F. Limi prev. sabbiosi

Name: Limi prev. sabbiosi

Notes:

Unit Weight: 18 kN/m³

Initial Damping: 5

Varied: True

Shear Modulus Reduction Damping Ratio

Type: Shear Modulus Reduction

Type: Damping Ratio

Name: Idriss (1990), Sand

Name: Idriss (1990), Sand

Strain (%)	G/Gmax
1.00e-04	1.000
3.16e-04	1.000
1.00e-03	0.990
3.16e-03	0.955
1.00e-02	0.850
3.16e-02	0.628
1.00e-01	0.370
3.16e-01	0.176
1.00e+00	0.080
3.16e+00	0.080
1.00e+01	0.080

Strain (%)	Damping (%)
1.00e-04	0.240
3.16e-04	0.440
1.00e-03	0.800
3.16e-03	1.460
1.00e-02	2.800
3.16e-02	5.310
1.00e-01	9.800
3.16e-01	15.740
1.00e+00	21.000
3.16e+00	21.000
1.00e+01	21.000

G. Bedrock

Unit weight: 22 kN/m³

Damping: 1

III. Soil Layers

Depth (m)	Thickness (m)	Soil Type	Average Vs (m/s)
0	5	Limi prev. argillosi	106
5	7	Limi prev. sabbiosi	106
12	5	Limi prev. argillosi	106
17	6	Limi prev. argillosi	130
23	6	Limi prev. sabbiosi	130
29	6	Sedimenti 30 - 37 m	230
35	7	Sedimenti 30 - 37 m	230
42	5	Sedimenti 37 - 76 m	294
47	26	Sedimenti 37 - 76 m	294
73	8	Sedimenti 37 - 76 m	412
81	19	Sedimenti 76 - 152 m	412
100	51	Sedimenti 76 - 152 m	446
151	6	Sedimenti 76 - 152 m	474
157	78	Sedimenti > 152 m	474
235	108	Sedimenti > 152 m	548
343	2	Sedimenti > 152 m	749

345	10	Sedimenti > 152 m	768
355	10	Sedimenti > 152 m	779
365	10	Sedimenti > 152 m	790
375	—	Bedrock	800

IV. Motion(s)

Input Location: Bedrock

Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
SLV_C opparo\000084xa_record_g.txt		Outcrop	0.10	4.65	3.19
SLV_C opparo\000342xa_record_g.txt		Outcrop	0.10	9.35	6.81
SLV_C opparo\000368xa_record_g.txt		Outcrop	0.10	9.20	1.63
SLV_C opparo\000642ya_record_g.txt		Outcrop	0.10	8.67	1.65
SLV_C opparo\000706xa_record_g.txt		Outcrop	0.10	5.58	3.49
SLV_C opparo\001891ya_record_g.txt		Outcrop	0.10	9.26	4.01
SLV_C opparo\001916xa_record_g.txt		Outcrop	0.10	12.32	5.70