



Comune di Arezzo

Ufficio Mobilità
Servizio Governo del Territorio

PNRR "Rigenerazione Urbana"

Intervento di realizzazione di una pista ciclabile di collegamento tra il Centro Commerciale OBI e Via Bologna
CUP B11B21002300005

LIV. PROG.

PROGETTO ESECUTIVO

PROGETTAZIONE

STRUTTURE:
Ing. Stefano Pittalis
Ordine Ing Firenze n.6732

ARCHITETTONICA:
Ing. Stefano Pittalis
Ordine Ing Firenze n.6732

IMPIANTISTICA:
Ing. Stefano Pittalis
Ordine Ing Firenze n.6732

GEOLOGICA:
Geol. Giuseppe Lotti
Ordine Geol. Toscana n.1422



RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO

Ing. Roberto Bernardini

(Timbro & Firma)

TIPO ELABORATO

PARTE GEOLOGICA

ELABORATO

RELAZIONE SISMICA

COD. PROGETTO

23036

RIFERIMENTO ELABORATO

N° Ordine Elaborato	Livello Progettuale	Tipo Elaborato	Codice Elaborato	Anno	Revisione
10	PE	RT	03	24	00

DATA DI STAMPA

marzo 24

SCALA

NOME FILE

240220_23036_Arch

00	PROGETTO ESECUTIVO				
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

INDICE

1 PREMESSE.....	3
2 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO.....	3
3 INQUADRAMENTO SISMOSTRATIGRAFICO.....	4
4 ASPETTI SISMICI ED AZIONI SISMICHE.....	4

ALLEGATI:

- all. 01 - carta geologico – tecnica (estratto S.U. vigente)*
- all. 02 - carta delle indagini (estratto S.U. vigente)*
- all. 03 - carta delle frequenze (estratto S.U. vigente)*
- all. 04 - carta delle MOPS (estratto S.U. vigente)*
- all. 05 - carta della pericolosità sismica (estratto S.U. vigente)*
- all. 06 – Ubicazione indagine sismica MASW*
- all. 07 - indagine HVSR, scheda n. 60 della Relazione Tecnica Microzonazione Sismica I° livello (estratto S.U. vigente)*
- all. 08 – Indagine sismica MASW*
- all. 09 – Parametri sismici (da Geostru)*

COMUNE DI AREZZO

Intervento di realizzazione di una pista ciclabile di collegamento tra il Centro Commerciale OBI e Via Bologna CUP B11B21002300005

RELAZIONE SISMICA

1 PREMESSE

La presente relazione, redatta su incarico dell'Amministrazione Comunale di Arezzo (AR) ed indicazioni dei progettisti, ha per oggetto la modellazione sismica dei terreni presenti nell'area d'imposta del tracciato di una nuova pista ciclabile di collegamento tra il Centro Commerciale OBI e Via Bologna ad Arezzo, inserita nell'ambito del PNRR "Rigenerazione Urbana" (Missione 5 - Componente 2 - Investimento 2.1 CUP B11B21002300005).

L'intervento in progetto, intercettante con il tracciato la linea ferroviaria Arezzo-Stia, comprende anche le opere strutturali per il sottoattraversamento della stessa.

L'area in oggetto, morfologicamente pianeggiante, si inserisce in una tranquilla zona del tessuto urbano, caratterizzata da un modesto traffico veicolare e media densità edilizia ed è posta al margine del centro abitato, nelle "Aree agricole e forestali - TR.A4 - Ambiti delle piane agricole (Arezzo, Cafaggio e Meliciano)" del Piano Operativo vigente.

Per tutti i dettagli riguardanti l'intervento in parola, si rimanda agli elaborati grafici e alla relazione tecnica a cura dei progettisti.

L'indagine geologica è redatta in conformità a quanto previsto dal D.M. 17 gennaio 2018 <Aggiornamento delle "Norme tecniche per le costruzioni"> e ai sensi del nuovo regolamento DPGR 1/R del 19 gennaio 2022¹, che ha abrogato il precedente DPGR n°36/R/2009.

Nell'ambito di tale studio e in relazione alla tipologia di opera in progetto si è proceduto come di seguito indicato:

- valutazione degli aspetti normativi relativi alla pericolosità sismica dell'area;
- valutazione dell'assetto litostratigrafico e sismostratigrafico del sito interessato dall'intervento in progetto;
- analisi delle informazioni di carattere sismostratigrafico derivanti dalla disamina dei dati disponibili, reperibili nelle varie banche dati online a livello comunale e sovracomunale;
- esecuzione di n°1 indagine sismica *in situ* con tecnica MASW, per la determinazione del parametro $V_{s,eq}$, e definizione della categoria di suolo di fondazione;
- calcolo dei parametri sismici per il sito in oggetto.

2 QUADRO NORMATIVO DI RIFERIMENTO

Gli Strumenti Urbanistici vigenti del Comune di Arezzo si sono dotati di uno studio di Microzonazione Sismica di I° livello per quanto riguarda l'analisi degli aspetti relativi alla risposta sismica locale.

Sulla base dei risultati di tali analisi e il contesto litostratigrafico, topografico e sismostratigrafico del settore in cui ricade il comparto di intervento è stata individuata la classe di pericolosità sismica PS3 – elevata, così come definita ai sensi del DPGR 53/R/2011.

¹ "Regolamento di attuazione dell'art. 181 della L.R. 10 novembre 2014 n°65 (Norme per il governo del territorio). Disciplina sulle modalità di svolgimento dell'attività di vigilanza e verifica delle opere e delle costruzioni in zone soggette a rischio sismico".

Per quanto concerne il rischio sismico la riclassificazione sismica regionale di cui alla Deliberazione G.R.T. n. 421 del 26/05/2014 include il territorio comunale di Arezzo nella zona 2.

3 INQUADRAMENTO SISMOSTRATIGRAFICO

Il settore interessato dalla realizzazione della pista ciclo-pedonale, a NO del centro abitato di Arezzo, si sviluppa lungo un tracciato parallelo, o parzialmente sovrapposto, alla viabilità esistente compresa tra l'area parcheggio del centro commerciale OBI (ad Ovest) e l'innesto di Via Genova su Via Bologna / Via Romagna (ad Est), per una distanza complessiva di ca. 800 m, delimitando il comparto urbano edificato (a Sud) da zone ad uso prevalentemente agricolo (verso Nord).

Come descritto nella Relazione Geologica a cura dello scrivente, i sedimenti caratterizzanti l'area d'intervento appartengono a terreni di copertura riconducibili all'unità litologica **VILh**, comprensiva di “*depositi continentali di origine fluvio-lacustre, costituiti da sabbie, sabbie ciottolose e sabbie siltoso-argillose e limi sabbiosi di età plio-pleistocenica.*” In particolare, come emerso con le indagini geognostiche in situ, nell'area in parola risultano prevalenti sedimenti con frazione fine limosa e argillosa predominante, seppure con componente granulare presente.

Dal punto di vista litotecnico detti sedimenti sono classificabili come “*materiale granulare sciolto o poco addensato a prevalenza fine (LI5)*”, derivante dalla deposizione di chiusura del ciclo lacustre le cui caratteristiche tecniche variano moltissimo con il variare della frazione argillosa e della presenza d'acqua.

Tali depositi nella carta geologico – tecnica, redatta a supporto degli studi citati in precedenza, vengono indicati dalla sigla MLin “*Limi inorganici, sabbie fini limose o argillose, limi argillosi di bassa plasticità di bacino (piana) intramontano*”, poggianti in discordanza su un substrato lapideo stratificato (sigla LPS) rappresentato dal Membro di Montalto (FAL3, CEV nelle cartografie geologiche della Regione Toscana) dell'unità di M. Cervarola-M. Falterona, costituito da litotipi arenaceo-pelitici di età Aquitaniano – Burdigaliano, attribuibili a successioni torbiditiche sislicoclastiche del Dominio Toscano. Il contatto è marcato da una fascia di fratturazione / alterazione, coinvolgente l'unità lapidea miocenica, indicata dalla sigla SFLPS.

L'assetto litostratigrafico descritto, esplicitato anche nella traccia della sezione geologica passante per l'area in studio e riportato (in porzione) nella carta geologico – tecnica in allegato, viene ricondotto, nel contesto delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) a zone stabili suscettibili di amplificazioni locali, nel caso specifico attribuibili alle zone 13, 17, 18, 19 (rispettivamente indicate dalle sigle 2013, 2017, 2018, 2019 nella cartografia in allegato) le cui stratigrafie di riferimento derivano dall'analisi dei dati geognostici disponibili per il comparto.

Una prospezione sismica di tipo passivo a stazione singola (HVSR) condotta in Via Marco Perennio, nelle vicinanze dell'area di interesse, fornisce un valore di $f_0 = 2,3$ e $A_0 = 7,5$ (per i dettagli si rimanda all'estratto, in allegato, della Relazione Tecnica “*indagini HVSR*” di supporto allo Studio di Microzonazione Sismica di I° Livello del Comune di Arezzo).

Il quadro sopra riportato permette di collocare il settore di intervento all'interno di zone stabili suscettibili di amplificazioni locali caratterizzate da un alto contrasto di impedenza sismica atteso tra copertura e substrato rigido entro profondità di poche decine di metri, per cui nel contesto della definizione della classe di pericolosità sismica locale viene attribuita la classe PS3 – elevata.

Di seguito si descrivono le risultanze degli approfondimenti geosismici condotti in loco e la scheda relativa ai parametri sismici di sito, definiti tramite l'utilizzo del software *online* fornito gratuitamente dalla GEOSTRU.

4 ASPETTI SISMICI ED AZIONI SISMICHE

4.1 ZONIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA

Come esposto nel capitolo relativo all'inquadramento normativo per gli aspetti relativi al rischio sismico la riclassificazione sismica regionale di cui alla Deliberazione G.R.T. n. 878 del 8/10/2012 e s.m.i., include il territorio comunale di Arezzo nella zona 2.

In relazione alle disposizioni dell'aggiornamento delle **norme tecniche per le costruzioni** (D.M. 17.01.2018), la stima della pericolosità sismica è effettuata con approccio "sito dipendente". L'azione sismica di progetto viene definita in funzione della pericolosità di base del sito.

I caratteri del moto sismico (su sito di riferimento rigido orizzontale) sono descritti dalla distribuzione su territorio nazionale delle seguenti grandezze, sulla base delle quali sono definite le forme spettrali per la generica probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento P_{VR} :

a_g = accelerazione massima al sito

F_o = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale

T_c^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Il valore di a_g è desunto direttamente dalla pericolosità di riferimento, mentre F_o e T_c^* sono calcolati in modo che gli spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento forniti dalle NTC approssimino al meglio i corrispondenti spettri di risposta elastici in accelerazione, velocità e spostamento derivanti dalla pericolosità di riferimento.

Lo scuotimento del suolo così individuato deve essere corretto per tener conto delle modifiche prodotte dalle condizioni locali del sottosuolo del sito di costruzione e dalla morfologia della superficie. Vengono pertanto determinati *categoria di suolo di fondazione e categoria topografica* e relativi *coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica*.

In questo caso per la loro definizione sono stati utilizzati i dati derivanti da una prospezione sismica con tecnica *MASW* appositamente portata a termine in situ dallo scrivente, con contestuale analisi del locale andamento topografico.

4.2 CATEGORIE DI SOTTOSUOLO E CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Categorie di sottosuolo

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3 delle NTC 2018. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, V_s . I valori dei parametri meccanici necessari per le analisi di risposta sismica locale o delle velocità V_s per l'approccio semplificato costituiscono parte integrante della caratterizzazione geotecnica dei terreni compresi nel volume significativo, di cui al § 6.2.2 delle NTC 2018.

I valori di V_s sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in situ, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche (per i terreni a grana grossa) e le prove penetrometriche statiche.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{s,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell' i -esimo strato;

N numero di strati;

H profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Nel caso di opere di sostegno di terreni naturali, la profondità è riferita alla testa dell'opera. Per muri di sostegno di terrapieni, la profondità è riferita al piano di imposta della fondazione.

Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ è definita dal parametro $V_{s,30}$, ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Le categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato sono definite in Tab. 3.2.II.

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

Categoria	
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>

Per queste cinque categorie di sottosuolo, le azioni sismiche sono definibili come descritto al § 3.2.3 del D.M. 17 gennaio 2018 (Aggiornamento Norme tecniche per le costruzioni). Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di *risposta sismica locale* per la definizione delle azioni sismiche.

L'elaborazione dell'indagine espletata (v. allegati in calce) ha permesso di individuare la corrispondenza tra $V_{s,eq}$ con $V_{s,30}$ e che, nel caso specifico, **la categoria di sottosuolo del sito in esame è assimilabile al tipo C** secondo la tabella 3.2.II delle NTC 2018, corrispondente a “*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*”.

Condizioni topografiche

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.III):

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 $i > 30^\circ$

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

Nel caso in esame la categoria topografica di riferimento è la **T1**.

Per i parametri sismici del sito di intervento e per la descrizione dell'indagine sismica MASW espletata si rimanda agli specifici allegati 8 e 9 in calce.

4.3 AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche che determinano la risposta sismica locale.

Alle azioni sismiche contribuiscono i **parametri statici**, che dipendono essenzialmente dalla sorgente del terremoto (accelerazione di picco orizzontale al suolo a_0 , intensità macrosismica I) ed i **parametri dinamici**, che dipendono dalla posizione e dalle caratteristiche geologiche del sito (fattori di amplificazione **S** e **Fo**) e dal periodo dello spettro di risposta (periodi di oscillazione massima del suolo). Entrambi i parametri definiscono la pericolosità sismica dell'area.

Come già accennato, la pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (di categoria A come definita al § 3.2.2 delle NTC 2018), nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} come definite nel § 3.2.1 (NTC 2018), nel periodo di riferimento V_R , come definito nel § 2.4 (NTC 2018). In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Ai fini della presente normativa le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento P_{VR} nel periodo di riferimento V_R , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C^* valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Per i valori di a_g , F_0 e T_C^* , necessari per la determinazione delle azioni sismiche, si fa riferimento agli Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008, pubblicato nel S.O. alla Gazzetta Ufficiale del 4 febbraio 2008, n.29, ed eventuali successivi aggiornamenti.

4.3.1 PERIODO DI RIFERIMENTO

Il primo aspetto da considerare riguarda la definizione del *periodo di riferimento* V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la *vita nominale di progetto* V_N per il *coefficiente d'uso* C_U .

$$V_R = V_N \cdot C_U$$

La vita nominale di progetto V_N di un'opera è convenzionalmente definita come il numero di anni nel quale è previsto che l'opera, purché soggetta alla necessaria manutenzione, mantenga specifici livelli prestazionali.

I valori minimi di V_N da adottare per i diversi tipi di costruzione sono riportati nella Tab. 2.4.I. Tali valori possono essere anche impiegati per definire le azioni dipendenti dal tempo.

Tab. 2.4.I – Valori minimi della Vita nominale V_N di progetto per i diversi tipi di costruzioni

TIPI DI COSTRUZIONI		Valori minimi di V_N (anni)
1	Costruzioni temporanee e provvisorie	10
2	Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari	50
3	Costruzioni con livelli di prestazioni elevati	100

In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in classi d'uso così definite:

Tab. 3.2.II – Valori del coefficiente d'uso C_u

CLASSE D'USO	I	II	III	IV
COEFFICIENTE C_u	0,7	1,0	1,5	2,0

<i>Classe I:</i>	Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli.
<i>Classe II:</i>	Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti.
<i>Classe III:</i>	Costruzioni il cui uso preveda affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in Classe d'uso III. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti per le conseguenze di un loro eventuale collasso.
<i>Classe IV:</i>	Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al D.M. 5 novembre 2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica.

Nel caso specifico, in base a quanto comunicato dal Progettista, si ha:

$$V_r = V_n * C_u = 50 * 1,0 = \mathbf{50 \text{ anni}}$$

3.3.2 STATI LIMITE E RELATIVE PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO

Nei confronti delle azioni sismiche, sia gli Stati limite di esercizio (SLE) che gli Stati limite ultimi (SLU) sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli Stati limite di esercizio (**SLE**) comprendono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti in relazione alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

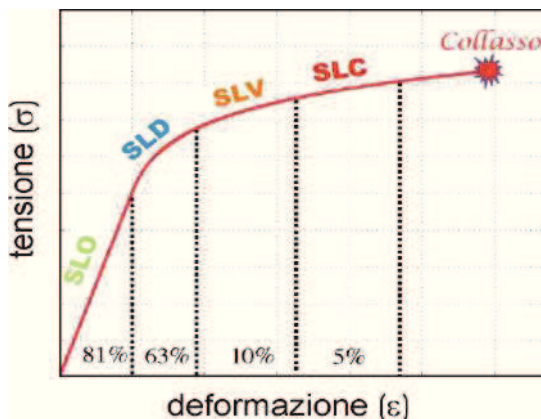
Gli Stati limite ultimi (**SLU**) comprendono:

- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{V_R} , cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella Tab. 3.2.I.

Tab. 3.2.I – Probabilità di superamento P_{VR} in funzione dello stato limite considerato

Stati Limite	P_{VR} : Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R	
Stati limite di esercizio	SLO	81%
	SLD	63%
Stati limite ultimi	SLV	10%
	SLC	5%



4.3.3 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Ai fini delle presenti norme l'azione sismica è caratterizzata da 3 componenti traslazionali, due orizzontali contrassegnate da X ed Y ed una verticale contrassegnata da Z, da considerare tra di loro indipendenti. Nelle espressioni per il calcolo degli spettri di risposta elastici in accelerazione, orizzontali e verticale, ai fini della descrizione delle componenti traslazionali indicate (si rimanda al § 3.2.3.2 del D.M. 17 gennaio 2018 per dettagli e approfondimenti) compare il coefficiente **S** che tiene conto dell'amplificazione dell'azione sismica dipendente dalla categoria di sottosuolo e dalle condizioni topografiche locali mediante la relazione: $S = S_s \cdot S_T$

Il coefficiente **S_s** (contributo correlato all'assetto stratigrafico) deriva dalla tab 3.2 IV del summenzionato D.M.:

Tab. 3.2.IV – Espressioni di S_s e di C_c

Categoria sottosuolo	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_o \cdot \frac{a_E}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

Il coefficiente **S_T** (contributo correlato all'assetto topografico) deriva dalla tabella 3.2.V della normativa di riferimento:

Tab. 3.2.V – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

nel caso specifico avremo:

$S_s = 1,5$ (categoria di sottosuolo **C**)

$S_T = 1,0$ (categoria topografica **T1**)

da cui $S = 1,50$

4.3.4 AZIONI SISMICHE: DATI DI RIFERIMENTO DI BASE

Con l'ausilio del programma fornito gratuitamente *on line* dalla ditta *GEOSTRU*, sono stati calcolati i parametri sismici riferiti al sito in esame per il due stati limite SLV e SLD. Per la consultazione del report si rimanda all'allegato 9 in calce.

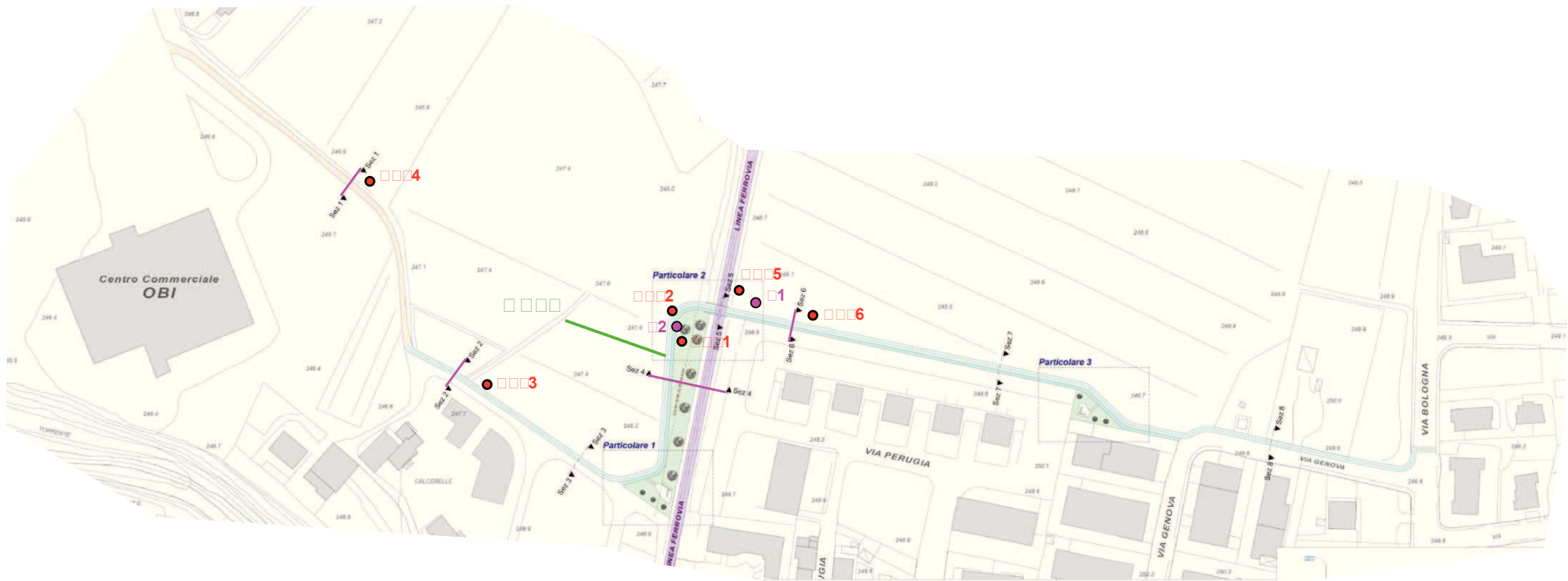
San Miniato (PI), 28 giugno 2023

Geol. Giuseppe Lotti

Geol. Lotti Giuseppe

ALLEGATI: 1-6

S□□□ 1:2.000



		P□□□ □□□□□□ □□□□ □□□□ CPT
		S□□□□□□ □□□□□□□□ □ □□□□□□□ □□□□□□
		T□□□□□□ □□□□ □□□□□□□□□□ □ □□□□□□□
		T□□□□□ □□□□□□□□ □□□□□□□□□□ □□□□□□ (□ □□□ 5□ □ 5□)
		I□□□□□□ □□□□ □□ MASW

Geol. Lotti Giuseppe

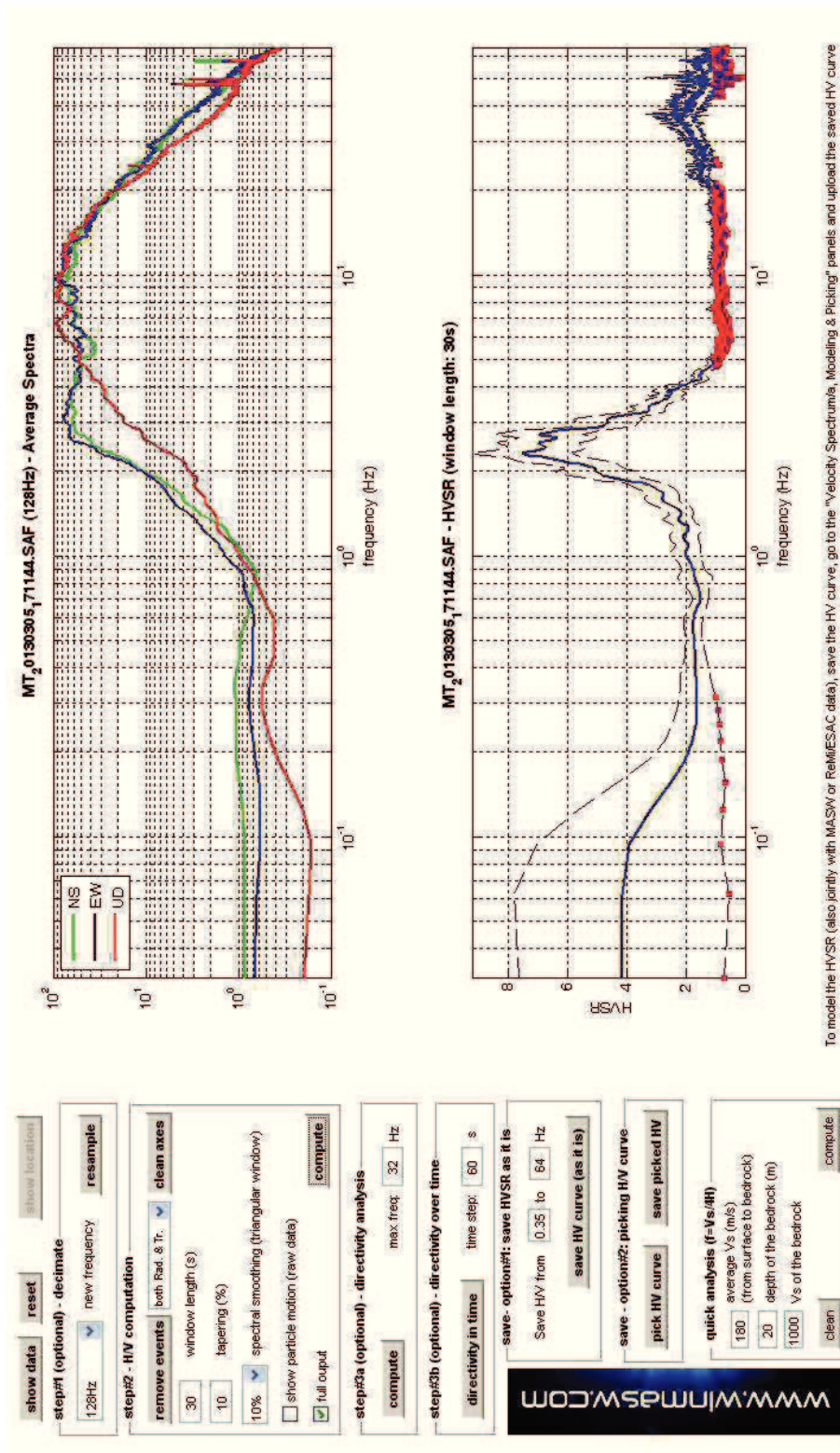
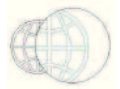
ALLEGATO 7



Arezzo 60

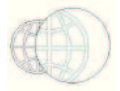


DATA	ORARIO	LUOGO
05/03/2013	17.11	Arezzo, Via Marco Perennio
OPERATORE	Coordinate	
ProGeo Associati	Latitudine	43,470394
	Longitudine	11,869906
	Quota (mslm)	252,0
TIPO DI STAZIONE	TIPO DI SENSORI	TIPO DI ARCHIVIAZIONE
Sara electronic Instruments SR04S3	3 velocimetri GS11D 4.5 Hz Geospace, LP	Notebook HP Pavilion
NOME FILE		NUMERO PUNTO DI MISURA
MT_20130305_171144.SAF		60
AMPLIFICAZIONE	FREQ. DI CAMPIONAMENTO (Hz)	DURATA DELLA REGISTRAZIONE (SEC)
74 nV/count	300	1200
CONDIZIONI METEO	VENTO	assente
	PIOGGIA	assente
	TEMPERATURA	12 °C
	altre osservazioni	
TIPO DI SUOLO	TERRENO	compatto
	LITOLOGIA	limoso-sabbioso-organico
	ANTROPICO	NO
	SUOLO	parz. saturo
ACCOPPIAMENTO ARTIFICIALE SENSORE	NO	
DENSITA' DI EDIFICI NELLE VICINANZE	bassa	
TRANSIENTI	medi	DISTANZA DALLA STAZIONE
auto	SI	20 m
camion	NO	
persone a piedi	SI	20 m
altro		
SORGENTE DI RUMORE MONOCROMATICO		
PRESENZA DI STRUTTURE VICINE	ALTEZZA	DISTANZA DALLA STAZIONE
	6-8 m	15 m
OSSERVAZIONI		



To model the HVSr (also jointly with MASW or ReMiSAC data), save the HV curve, go to the "Velocity Spectra", "Modeling & Picking" panels and upload the saved HV curve

E' individuabile un picco di ampiezza significativa ad una frequenza di circa 2,3 Hz.



Si riportano di seguito il report dei risultati e la significatività secondo i criteri SESAME:

Dataset: MT_20130305_171144.SAF
Sampling frequency (Hz): 128
Window length (sec): 30
Length of analysed temporal sequence (min): 20.0
Tapering (%): 10

=====
I **0.5-20.0H**
Peak frequency (Hz): 2.3 (± 2.2)
Peak HVSR value: 7.5 (± 1.6)

==== **C** **H/V** =====
#1. [$f_0 > 10/Lw$]: $2.3 > 0.33333$ (OK)
#2. [$nc > 200$]: $5417 > 200$ (OK)
#3. [$f_0 > 0.5\text{Hz}$; $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$] (OK)

==== **C** **H/V** (**5**) =====
#1. [exists f- in the range [$f_0/4, f_0$] | $AH/V(f-) < A_0/2$]: yes, at frequency 1.8Hz (OK)
#2. [exists f+ in the range [$f_0, 4f_0$] | $AH/V(f+) < A_0/2$]: yes, at frequency 3.3Hz (OK)
#3. [$A_0 > 2$]: $7.5 > 2$ (OK)
#4. [$f_{\text{peak}}[Ah/v(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$]: (OK)
#5. [$\sigma_{\text{maf}} < \epsilon(f_0)$]: $2.208 > 0.117$ (NO)
#6. [$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$]: $1.686 < 1.58$ (NO)

Infine viene indicata la classificazione (di qualità) delle Misure di H/V secondo Albarello et al. 2010.

Arezzo 60 – CLASSE A: H/V affidabile e interpretabile: può essere utilizzata anche da sola. Sottoclasse TIPO 1 : Presenta almeno un picco “chiaro” secondo i criteri di SESAME: possibile risonanza.

ALLEGATO 8

**RISULTATI DI UNA PROSPEZIONE GEOFISICA M.A.S.W.
ESEGUITA IN PROSSIMITA' DI VIA PERUGIA
(AREA SOTTOPASSO FERROVIARIO IN PROGETTO),
NEL COMUNE DI AREZZO**



~~~~~

**GIUGNO 2023**

**Committente: A.C. di Arezzo**



**INDICE**

|                                                       |   |
|-------------------------------------------------------|---|
| 1 PREMESSE.....                                       | 3 |
| 2 GENERALITÀ SULLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH..... | 3 |
| 3 IL METODO M.A.S.W.....                              | 5 |
| 4 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIE IMPIEGATE.....         | 6 |
| 5 INTERPRETAZIONE DEI DATI.....                       | 7 |

**ALLEGATI:**

- *Grafici "common-shot gather", spettro di velocità, profilo verticale onde S e modello sismostratigrafico*
- *Report di calcolo*
- *Documentazione fotografica*

## RISULTATI DI UNA PROSPEZIONE GEOFISICA M.A.S.W. ESEGUITA IN PROSSIMITA' DI VIA PERUGIA (AREA SOTTOPASSO FERROVIARIO IN PROGETTO), NEL COMUNE DI AREZZO



### 1 PREMESSE

La presente relazione descrive i risultati della prospezione sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) eseguita in prossimità di Via Perugia, nel settore in cui il progetto della pista ciclopedonale prevede la costruzione di sottopasso ferroviario, nel Comune di Arezzo.

L'indagine M.A.S.W. è stata effettuata con l'obiettivo di determinare il parametro  $V_{s_{eq}}$ , necessario al fine della classificazione dei suoli, per la definizione dell'azione sismica di progetto, volendo procedere con l'approccio semplificato secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018 – "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni").

### 2 GENERALITÀ SULLE ONDE SUPERFICIALI DI RAYLEIGH

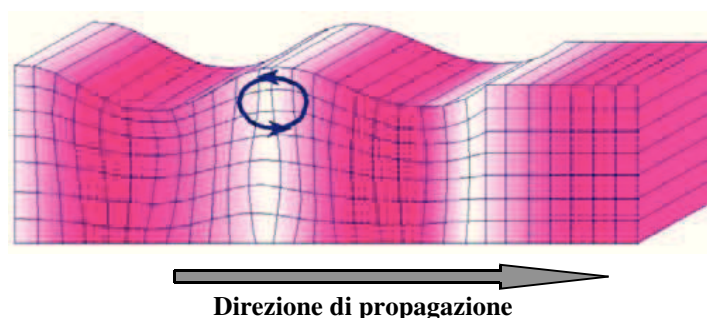
Le onde di Rayleigh sono polarizzate in un piano verticale (Fig. 1) e si generano in corrispondenza della superficie libera del mezzo quando viene sollecitato acusticamente. In questo tipo di onde le particelle descrivono un movimento di tipo ellittico la cui ampiezza decresce esponenzialmente con la distanza dalla superficie libera.

L'asse maggiore delle ellissi è normale alla superficie libera del mezzo ed alla direzione di propagazione delle onde e le particelle compiono questo movimento ellittico in senso retrogrado alla direzione di propagazione delle onde che vengono così generate.

Le onde superficiali di Rayleigh, quando si propagano in un mezzo omogeneo, non presentano dispersione e la loro velocità è uguale a  $0.92 V_s$ .

In un mezzo disomogeneo, quale la Terra, la loro velocità varia in funzione della lunghezza d'onda tra i limiti 0 e  $0.92 V_s$ .

La teoria della propagazione delle onde superficiali è ben conosciuta ed è descritta dettagliatamente da Ewing et al. (1957).



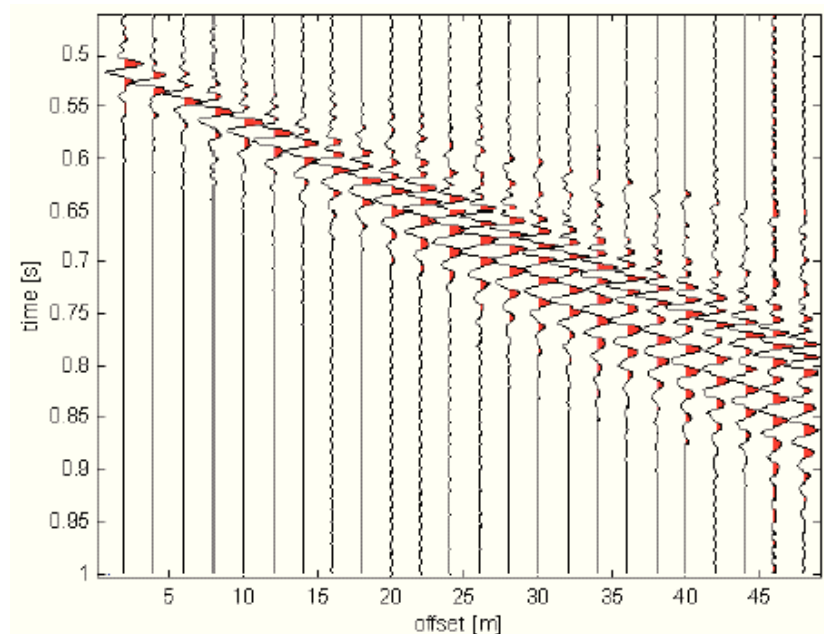
**Fig. 1 - Rappresentazione grafica della propagazione delle onde superficiali di Rayleigh caratterizzata dall'oscillazione polarizzata in un piano verticale e con movimento delle particelle retrogrado rispetto al senso di propagazione dell'onda.**

La determinazione della velocità delle onde di taglio  $V_s$  tramite le misure delle onde superficiali di Rayleigh risulta particolarmente indicata per suoli altamente attenuanti e ambienti rumorosi poiché la percentuale di energia convertita in onde di Rayleigh è di gran lunga predominante (67%) rispetto a quella coinvolta nella generazione e propagazione delle onde  $P$  (7%) ed  $S$  (26%).

I metodi basati sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh forniscono una buona risoluzione e non sono limitati, a differenza del metodo a rifrazione, dalla presenza di inversioni di velocità in profondità. Inoltre la propagazione delle onde di Rayleigh, anche se influenzata dalla  $V_p$  e dalla densità, è funzione innanzitutto della  $V_s$ , parametro di fondamentale importanza per la caratterizzazione geotecnica di un sito secondo quanto previsto dal DM 17/01/2018, mentre la velocità delle onde  $P$  misurata in terreni saturi dipende in maniera sostanziale dalle vibrazioni trasmesse dal fluido interstiziale e non dallo scheletro solido del materiale, la velocità delle onde  $S$  è caratteristica delle vibrazioni trasmesse dal solo scheletro solido e, pertanto, a differenza delle onde  $P$ , risulta rappresentativa delle reali proprietà meccaniche del terreno.

La proprietà fondamentale delle onde superficiali di Rayleigh, sulla quale si basa l'analisi per la determinazione delle  $V_s$ , è costituita dal fenomeno della dispersione che si manifesta in mezzi stratificati. In caso di variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale si propaga a una diversa velocità (velocità di fase) che a sua volta corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda. (Fig. 2)

Pertanto, analizzando la curva di dispersione, ossia la variazione della velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della lunghezza d'onda (o della frequenza, che è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda), è possibile determinare la variazione della velocità delle onde di taglio con la profondità tramite processo di inversione.



**Fig. 2 – Segnali sismici che evidenziano (in rosso) le onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato. Risulta evidente il fenomeno della dispersione delle onde superficiali di Rayleigh in un mezzo stratificato.**

### **3 IL METODO M.A.S.W.**

L'analisi multicanale delle onde superficiali di Rayleigh MASW (*Multichannel Analysis of Surface Waves*) è un'efficiente e accreditata metodologia sismica per la determinazione delle velocità delle onde di taglio  $V_S$ .

Tale metodo utilizza le onde superficiali di Rayleigh registrate da una serie di geofoni lungo uno stendimento rettilineo e collegati ad un sismografo multicanale. Le onde superficiali di Rayleigh, durante la loro propagazione vengono registrate lungo lo stendimento di geofoni e vengono successivamente analizzate attraverso tecniche computazionali, basate su un approccio di riconoscimento di modelli multistrato di terreno.

La metodologia per la realizzazione di una indagine sismica MASW prevede 3 fasi fondamentali:

- acquisizioni multicanale dei segnali sismici, generati da una sorgente energizzante artificiale lungo uno stendimento rettilineo di sorgente-geofoni;
- estrazione del modo fondamentale dalla curva di dispersione (grafico velocità di fase rispetto alla frequenza) delle onde superficiali di Rayleigh;
- inversione delle curve di dispersione per ottenere profili verticali 1D delle  $V_S$ .

Per ottenere un profilo  $V_S$  vengono generate onde sismiche usando una sorgente impattante come un martello su una piastra vengono generate sia onde di volume ( $P$  e  $S$ ), sia onde di superficie (Rayleigh e Love), che si propagano in tutte le direzioni.

Alcune di queste onde vengono riflesse e disperse quando incontrano oggetti superficiali o poco profondi (ad esempio, fondazioni di edifici, ecc.) e diventano rumore.

Inoltre, vengono quasi sempre rilevate vibrazioni da rumore ambientale proveniente dal traffico veicolare, dall'attività industriale e, in generale, dall'attività umana.

Il vantaggio principale dell'approccio multicanale della tecnica MASW sta nella possibilità di distinguere tutte queste onde dovute al rumore e di isolarle dalle onde superficiali di Rayleigh evidenziando solo il modo fondamentale di oscillazione dei terreni.

L'isolamento del modo fondamentale di oscillazione si basa su molteplici caratteristiche sismiche dei segnali. Le proprietà della dispersione di tutti i tipi di onde (di volume e superficiali) sono visualizzate attraverso un metodo di trasformazione (basato sull'analisi spettrale dei segnali sismici) del campo d'onda che converte direttamente i segnali sismici acquisiti in una immagine dove un modello di dispersione è riconosciuto nella distribuzione dell'energia trasformata in oscillazioni. Successivamente, il modo fondamentale (proprietà fondamentale della dispersione della velocità di fase delle onde di Rayleigh) viene estratto da un modello specifico.

### **4 STRUMENTAZIONE E METODOLOGIE IMPIEGATE**

Per l'indagine in oggetto si è impiegata un'attrezzatura AMBROGEO "ECHO12-24/2002 Sismic Unit", avente le seguenti caratteristiche:

- . numero di canali: 24
- . sampler interval: 0,296 msec
- . A/D conversion: 16 bit
- . input impedance: 1KOhm
- . Gain: 10 dB – 100 dB (step 1 dB)
- . saturation tension: +/- 2,3 V
- . saturation level: 100 dB

- . distorsion: 0,01%
- . sampler:
  - 25 msec (191 punti)
  - 50 msec (383 punti)
  - 100 msec (756 punti)
  - 200 msec (1530 punti)
  - 400 msec (3060 punti)
  - 800 msec (6121 punti)
  - 1000 msec
- . sampling: 130 microsec
- . filter low pass: 50/950 Hz, step 1 Hz
- . digital filter low pass: 1000-50
- . digital filter high pass: 0-250
- . frequency response: 7-950 Hz, filter at 950 Hz
- . dynamic range: 93 dB
- . noise: 0,66 uV RMS, gain = 55 dB
- . crosstalk: 52 dB, gain = 55 dB
- . power: 12 V.

Il software di acquisizione dati è "ECHO 12-24" vers. 7.00.

L'attrezzatura è completata da 2 cavi sismici a 12 takes out spazati a 5 m, con connettori cannon, montati su rullo, geofoni "Geospace" a 4,5 Hz, mazza di battuta da 8 Kg con interruttore starter, cavo trigger da 200 m montato su rullo.

Lo stendimento impiegato per il profilo MASW in oggetto ha le seguenti caratteristiche:

- n. geofoni: 24
- spaziatura fra i geofoni: 2,00 m
- n. shots: sono state effettuate 3 rilevazioni, impiegando la massa battente, a distanze di 2,0 m, 4,0 m e 8,0 m dalla linea geofonica
- tempo di acquisizione: 1.000 msec

Il profilo è da considerare orizzontale, in quanto i dislivelli massimi lungo lo stendimento sono modesti (nell'ordine del decimetro).

## **5 INTERPRETAZIONE DEI DATI**

Per l'interpretazione dei dati è stato impiegato il software winMASW versione 6.0 professional, il quale consente la determinazione di profili verticali della velocità delle onde di taglio Vs tramite il processo d'inversione delle curve di dispersione delle onde di Rayleigh acquisite con la tecnica MASW. Tale programma è in grado di operare sui records in formato SGY prodotti dalla strumentazione Ambrogeo.

Il processo si articola in due fasi:

- . determinazione dello spettro di velocità dove è possibile identificare la curva di dispersione, mediante il picking riconoscendo il solo modo fondamentale o anche i modi superiori.
- . inversione della curva di dispersione mediante algoritmi genetici.



Per il processo d'inversione si procede definendo un intervallo di ricerca sia per quanto riguarda le velocità che per gli spessori, all'interno del quale il software valuta tutte le possibili soluzioni fornendo quella più rispondente al picking eseguito. Risulta evidente che la rispondenza tra modello reale del sito e quello ottenuto dal processo d'inversione risente fortemente degli intervalli impostati all'interno dei quali il software esegue la ricerca. Il modello calcolato sarà più prossimo a quello reale tante più informazioni del sito si avranno a disposizione e quindi tanto più gli intervalli di ricerca saranno stringenti.

É possibile inoltre procedere con la modellazione diretta inserendo un modello di partenza del sito e confrontando la curva sintetica calcolata dal software con quella di dispersione ottenuta dalle rilevazioni con tecnica MASW.

Nel caso in esame il *picking* della curva di dispersione è stato eseguito riconoscendo il modo fondamentale e il primo e secondo modo superiore utilizzando il grafico spettro di velocità/velocità di fase relativo allo shot con offset di 2,0 m, che è risultato con sufficiente grado di definizione. Anche gli spettri relativi agli altri shots sono risultati confrontabili con quello preso in esame.

I profili di velocità delle onde S ottenuti sono profili semplificati multistrato derivanti da parametri di partenza quali spessori e ranges di velocità. Tali parametri sono stimabili con indagini aggiuntive quali sondaggi geognostici, prove penetrometriche, indagini di sismica in foro o a rifrazione. In assenza di tali approfondimenti non è possibile ottenere il modello reale sismostratigrafico, ma sarà comunque possibile fornire un valore di  $V_{seq}$  affidabile.

Il software winMasw presenta come soluzione due modelli: il *modello migliore*, cioè quello che presenta la differenza minore tra la curva osservata e calcolata, e un *modello medio* calcolato secondo un'operazione statistica, fornendo per ciascun modello il valore di  $V_{seq}$ .

Di seguito sono riportate le velocità  $V_s$  e gli spessori dei livelli sismici costituenti i due modelli.

- secondo il MODELLO MEDIO

| strato n.     | 1   | 2   | 3   | 4   |
|---------------|-----|-----|-----|-----|
| VS (m/s):     | 171 | 296 | 414 | 505 |
| spessori (m): | 7,6 | 3,2 | 5,9 |     |

- secondo il MODELLO MIGLIORE:

| strato n.     | 1    | 2    | 3      | 4   |
|---------------|------|------|--------|-----|
| VS (m/s):     | 170  | 298  | 427393 | 485 |
| spessori (m): | 7,47 | 2,78 | 5,3    |     |

Come evidenziato dalle tabelle sopra riportate e nella colonna sismostratigrafica in allegato 1, l'indagine sismica non ha intercettato il substrato ( $V_s > 800$  m/s) entro la profondità di -30,00 m

dal p.c. di riferimento. In ottemperanza con quanto riportato nel D.M. 17 gennaio 2018 il valore della  $V_{s_{eq}}$  è quindi definito dal parametro  $V_{s_{30}}$ .

Con i dati ottenuti per la zona di indagine si ha:

- $V_{s_{30}}$  del *modello medio*: **314 m/s**
- $V_{s_{30}}$  del *modello migliore*: **313 m/s**

Per le categorie di suolo che permettono l'approccio semplificato si rimanda alla Tab. 3.2.II del D.M. 17 gennaio 2018.

Fermo restando che la scelta della corretta categoria di sottosuolo spetta al Progettista, sulla base delle proprie conoscenze e valutazioni geologiche del sito oltre ai risultati della presente indagine sismica, si osserva che il valore della  $V_{s_{30}}$  determinato identifica una categoria di sottosuolo di tipo **C** secondo la tabella 3.2.II del DM 17 gennaio 2018 (aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni), corrispondente a *“Depositi 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”*.

Per la consultazione del report si rimanda all'allegato 2 in calce.

San Miniato (PI), 28/06/2023

**Penetratio s.n.c.**

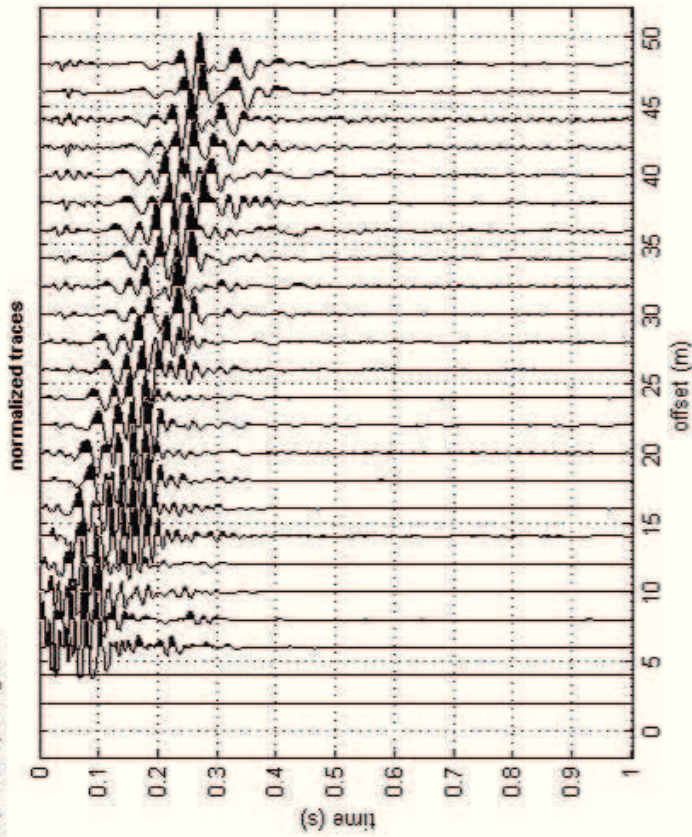
Dott. Geol. G. Lotti

*Geol. Lotti Giuseppe*

**ALLEGATO 1**

### #1: uploading & processing (MASW analyses)

dataset: 2M.sgy  
 sampling: 0.131 ms  
 minimum offset: 2 m  
 geophone spacing: 2 m



resampling: 1

data selection:   60

filtering & spectra:

refraction:  100

other tools & setting: 1.00215

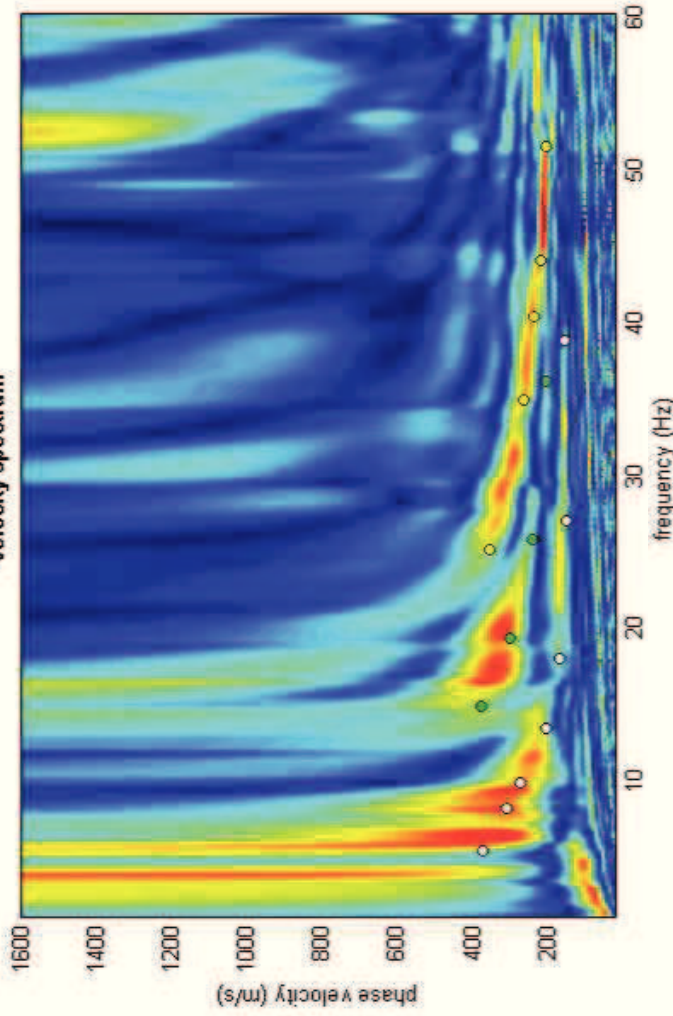
### #2: velocity spectrum, modelling & picking (MASW & ReMi analyses)

MASW: compute velocity spectrum

phase velocity  f-k

handling the spectra

velocity spectrum



modelling

general setting:  3

Reference depth  Refraction

HV body waves

HV modes (SV ellipticity)

Vs (m/s) Poisson thickness (m)

100 0.4 1

180 0.35 2

260 0.35 5

400 0.35 5

600 0.35 7

800 0.35 80

1200 0.3 0

0 0.2

synthetics

ZVF

elastic

shows DC

visualize curves

?

picking

second higher

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

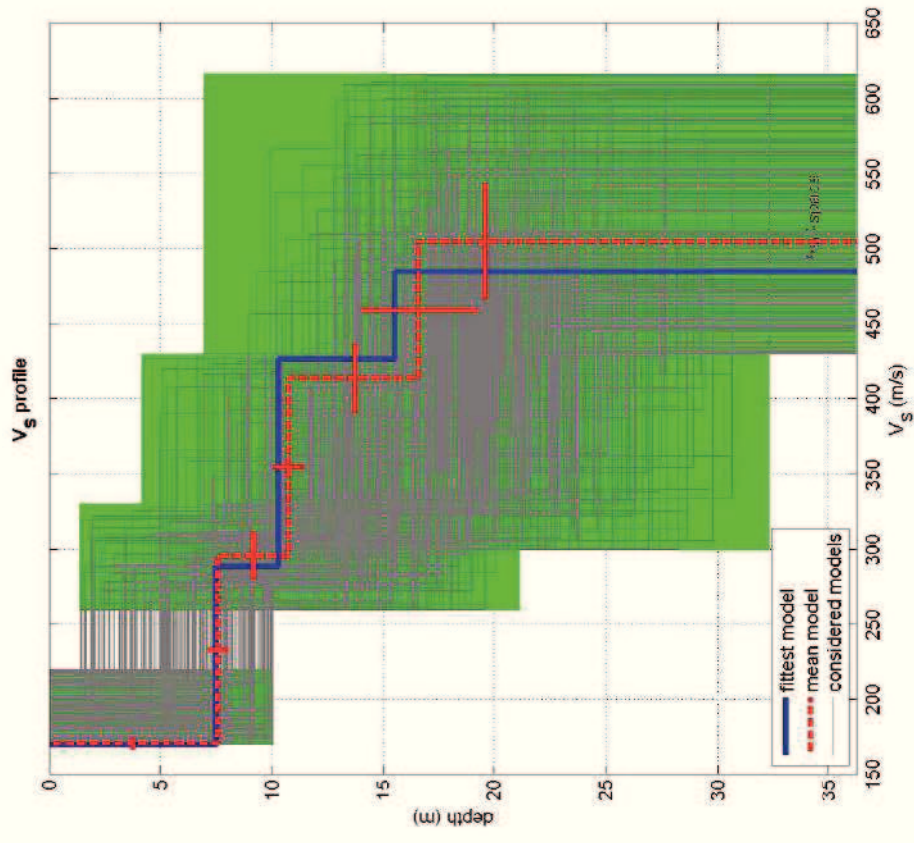
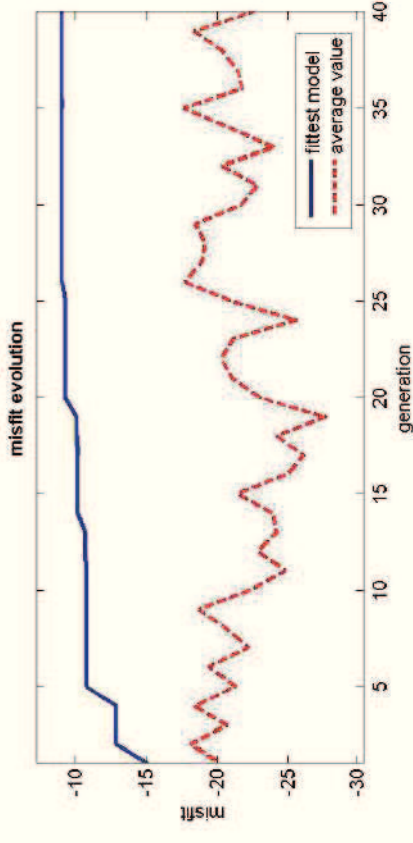
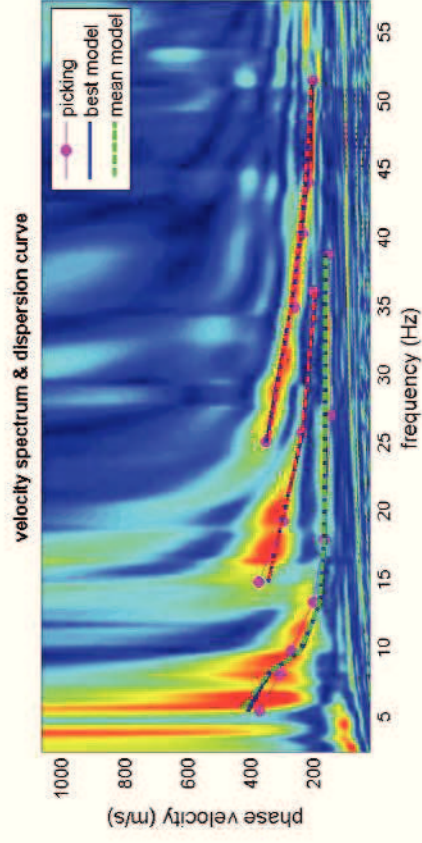
?

2m.cdp

inversion

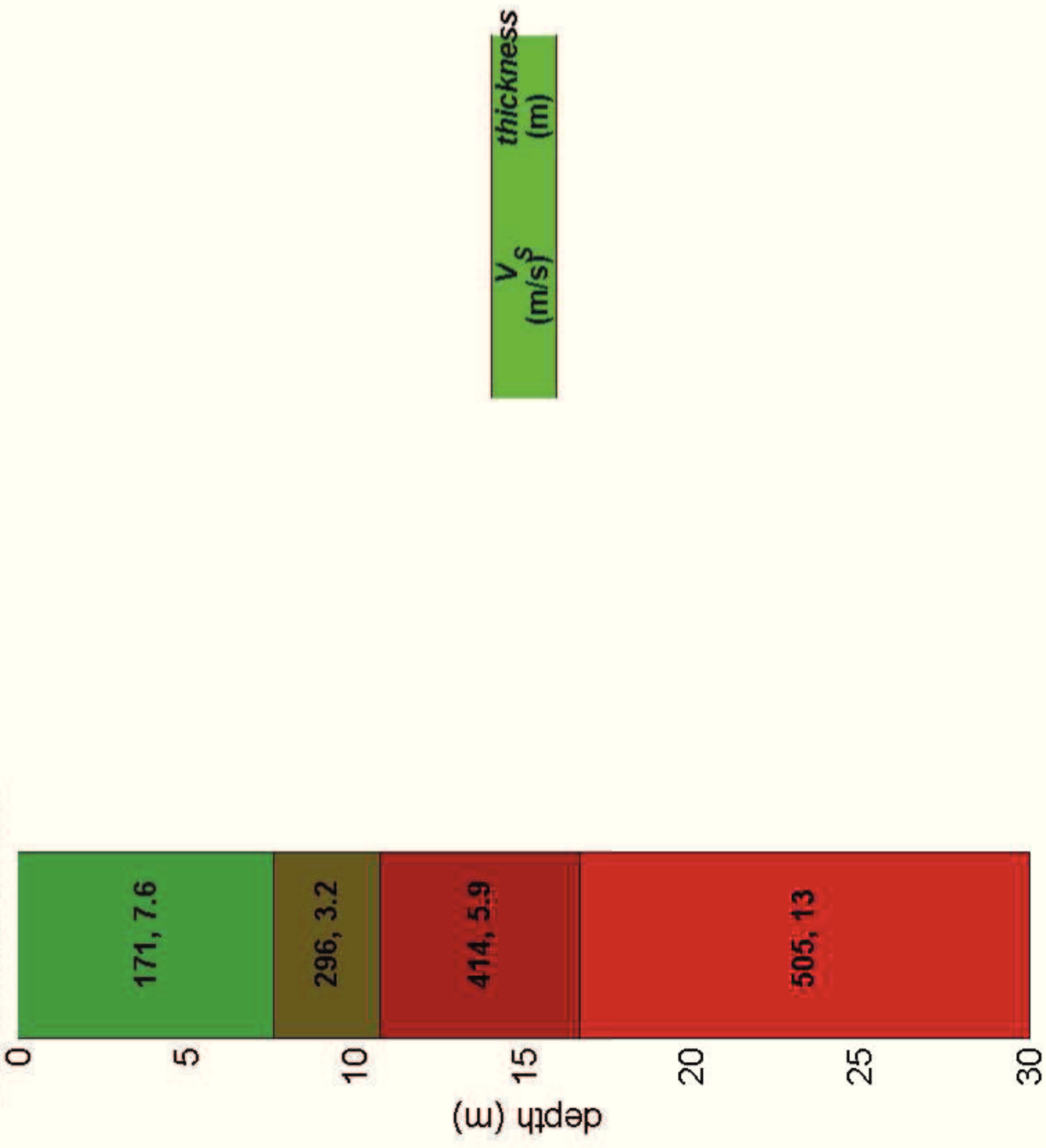
Joint DC-HV inv.





dataset: 2M.sgy  
 dispersion curve: 2m.cdp  
 $V_{s30}$  (best model): 313 m/s  
 $V_{s30}$  (mean model): 314 m/s

# Subsurface model





**ALLEGATO 2**

## Analyzing phase velocities

==o== SECTION#1

dataset: 2M.sgy

minimum offset (m): 2

geophone spacing (m): 2

sampling (ms): 0.131

Dispersion curve: 2m.cdp

Number of individuals: 30

Number of generations: 31

## Rayleigh-wave dispersion analysis

### Analyzing phase Velocities

|                                                |     |          |         |
|------------------------------------------------|-----|----------|---------|
| Adopted search space (minimum Vs & thickness): | 170 | 1.39135  | 260     |
| 2.782699                                       | 300 | 2.782699 | 430.084 |
| Adopted search space (maximum Vs & thickness): | 220 | 10.01772 | 330     |
| 11.1308                                        | 430 | 11.1308  | 616     |
| Adopted Poisson values:                        | 0.4 | 0.35     | 0.35    |
|                                                |     | 0.35     | 0.35    |

Output folder: C:\Users\Giuseppe\Desktop\sismiche temp\output\_disp

==o== SECTION#2

## Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -20.2244  
-15.0501

Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -18.1616  
-12.865

Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -20.6918  
-12.865

Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -18.4211  
-12.865

Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -21.3228  
-10.7512

Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -19.4145  
-10.7512

Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -22.2104  
-10.7512

Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -20.6719  
-10.7512

Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -18.7077  
-10.7512

Optimizing Vs & Thickness - generation: 10; average & best misfits: -22.3845  
-10.7512

Optimizing Vs & Thickness - generation: 11; average & best misfits: -24.801  
-10.7512

Optimizing Vs & Thickness - generation: 12; average & best misfits: -22.8684  
-10.7002

Optimizing Vs & Thickness - generation: 13; average & best misfits: -24.2271  
-10.7002  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 14; average & best misfits: -23.931  
-10.1746  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 15; average & best misfits: -21.4731  
-10.1746  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 16; average & best misfits: -24.9902  
-10.1746  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 17; average & best misfits: -26.1112  
-10.1746  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 18; average & best misfits: -24.2228  
-10.1049  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 19; average & best misfits: -27.7026  
-10.1049  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 20; average & best misfits: -23.045  
-9.27331  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 21; average & best misfits: -21.059  
-9.27331  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 22; average & best misfits: -20.3108  
-9.27331  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 23; average & best misfits: -21.1241  
-9.27331  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 24; average & best misfits: -25.5949  
-9.27331  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 25; average & best misfits: -21.0761  
-9.27331  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 26; average & best misfits: -17.7575  
-9.05105  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 27; average & best misfits: -18.8831  
-9.05105  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 28; average & best misfits: -19.1382  
-9.05105  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 29; average & best misfits: -18.4715  
-9.05105  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 30; average & best misfits: -21.7498  
-9.05105  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 31; average & best misfits: -22.8776  
-9.05105

Checking the new search space (for the finer search)

Now a finer search around the most promising search space area

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vs & Thickness - generation: 1; average & best misfits: -20.3424  
-9.05105  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 2; average & best misfits: -24.0255  
-9.05105  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 3; average & best misfits: -20.9026  
-9.05105  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 4; average & best misfits: -17.647  
-9.05105  
Optimizing Vs & Thickness - generation: 5; average & best misfits: -21.7618  
-9.04024

Optimizing Vs & Thickness - generation: 6; average & best misfits: -21.4425  
 -9.04024  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 7; average & best misfits: -20.3617  
 -9.04024  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 8; average & best misfits: -18.3904  
 -9.02583  
 Optimizing Vs & Thickness - generation: 9; average & best misfits: -22.6243  
 -9.02583

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

Vs (m/s): 170 289 427 485  
 Thickness (m): 7.5 2.8 5.3

Poisson: 0.4 0.35 0.35 0.35

Vp & Density Optimization

p14 =

2

p15 =

16

p16 =

|        |        |        |        |        |        |        |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 0.1376 | 0.2095 | 0.2526 | 0.3446 | 0.4624 | 0.6953 | 1.0000 |
| 0.4102 | 0.5338 | 0.7128 | 1.0000 | 0      | 0      | 0      |
| 0.4869 | 0.6774 | 0.7835 | 0.8549 | 1.0000 | 0      | 0      |
| 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      | 0      |

Rayleigh wave analysis

Optimizing Vp & Density - generation: 1; average & best misfits: -10.2647  
 -7.291

Optimizing Vp & Density - generation: 2; average & best misfits: -9.0183  
 -7.2333

Optimizing Vp & Density - generation: 3; average & best misfits: -8.3047  
 -7.1496

Optimizing Vp & Density - generation: 4; average & best misfits: -8.0979  
 -7.1496

Optimizing Vp & Density - generation: 5; average & best misfits: -7.7244  
 -7.116

Optimizing Vp & Density - generation: 6; average & best misfits: -7.5609  
 -7.0817

Optimizing Vp & Density - generation: 7; average & best misfits: -7.3272  
 -7.0579

Optimizing Vp & Density - generation: 8; average & best misfits: -7.3226  
 -7.0579

Optimizing Vp & Density - generation: 9; average & best misfits: -7.2772  
 -7.0579

Number of models considered to calculate the average model: 152

#####  
 RESULTS  
 #####

Dataset: 2M.sgy  
 Analyzed curve/spectrum: 2m.cdp

===== SECTION#3

Analyzing Phase Velocities

Analyzing Rayleigh-Wave Dispersion

===== MEAN MODEL

Vs (m/s):                    171 296 414 505  
 Standard deviations (m/s): 4 16 23 39

Thickness (m):                7.6                3.2                5.9  
 Standard deviations (m): 0.4                0.7                2.6

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

Vp (m/s):                    1616 876 1310 1490  
 Density (gr/cm3):            2.17 2.02 2.12 2.15  
 Vp/Vs ratio: 9.45            2.96            3.16            2.95  
 Poisson: 0.49    0.44    0.44    0.44  
 Shear modulus (MPa): 63            177            363            548  
 Estimated static shear modulus (MPa): 0            0            0            0

Fundamental mode

Mean model  
 f(Hz)            VR(m/s)  
 5.33413        431.2544  
 8.12032        343.2144  
 9.79204        242.8419  
 13.3584        180.5301  
 17.9277        168.1158  
 26.955        163.9596  
 38.7684        163.3217

First higher mode

Mean model  
 14.8072        345.2584  
 19.2651        301.4157  
 25.7291        236.5571  
 36.0937        193.6007

Second higher mode

Mean model

|         |          |
|---------|----------|
| 25.0604 | 345.8999 |
| 34.8678 | 275.2418 |
| 40.3287 | 243.5931 |
| 44.0065 | 227.1146 |
| 51.4735 | 206.1357 |

===== SECTION#4

BEST MODEL

Vs (m/s): 170 289 427 485  
thickness (m): 7.4756 2.7827 5.3079

Approximate values for Vp, density, Poisson & Shear modulus

|                                       |       |      |      |      |   |   |
|---------------------------------------|-------|------|------|------|---|---|
| Vp (m/s):                             | 2531  | 659  | 2302 | 997  |   |   |
| Density (gr/cm3):                     | 2.28  | 1.95 | 2.26 | 2.05 |   |   |
| Vp/Vs ratio:                          | 14.89 | 2.28 | 5.39 | 2.06 |   |   |
| Poisson:                              | 0.50  | 0.38 | 0.48 | 0.34 |   |   |
| Shear modulus (MPa):                  | 66    | 163  | 411  | 483  |   |   |
| Estimated static shear modulus (MPa): | 0     |      | 0    | 0    | 0 | 0 |

dispersion curve (frequency - velocity)

Fundamental mode)

best model

| F(Hz)   | VR(m/s)  |
|---------|----------|
| 5.33413 | 409.22   |
| 8.12032 | 342.916  |
| 9.79204 | 241.2679 |
| 13.3584 | 179.2026 |
| 17.9277 | 167.1314 |
| 26.955  | 163.0711 |
| 38.7684 | 162.4394 |

First higher mode)

best model

|         |          |
|---------|----------|
| 14.8072 | 345.7834 |
| 19.2651 | 301.5558 |
| 25.7291 | 234.122  |
| 36.0937 | 192.3106 |

Second higher mode)

best model

|         |          |
|---------|----------|
| 25.0604 | 352.6474 |
| 34.8678 | 273.2526 |
| 40.3287 | 240.9098 |
| 44.0065 | 225.0464 |
| 51.4735 | 204.788  |



Vs5 (mean model): 171 m/s  
Vs5 (best model): 170 m/s

Vs20 (mean model): 264 m/s  
Vs20 (best model): 266 m/s

Vs30 (mean model): 314 m/s  
Vs30 (best model): 313 m/s

==o== SECTION#5

For Italian Users:

Dalla normativa vigente (aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni, emanato con D.M. Infrastrutture del 17/01/2018, pubblicato su Gazzetta Ufficiale Supplemento ordinario n°42 del 20/02/2018):

A - 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 di 3 m.

B - 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.

C - 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.

D - 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 m/s e 180 m/s.

E - Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C e D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Per queste cinque categorie di sottosuolo le azioni sismiche sono definite come descritto al § 3.2.3. del D.M. 17.01.2018. Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale per la determinazione delle azioni sismiche.

=====

Results saved in the folder "C:\Users\Giuseppe\Desktop\sismiche  
temp\output\_disp".

=====

winMASW  
Surface Waves & Beyond  
www.winmasw.com

Number of models used to define the mean model: 152

Vs5 for the best model: 170  
Vs30 for the best model: 313  
Analyzing phase velocities

Elapsed time is 33.906274 seconds.

**ALLEGATO 3**

## DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



---

*Risultati di una prospezione geofisica M.A.S.W. eseguita in prossimità di Via Perugia  
(area sottopasso ferroviario in progetto), nel Comune di Arezzo.*



**DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



---

*Risultati di una prospezione geofisica M.A.S.W. eseguita in prossimità di Via Perugia  
(area sottopasso ferroviario in progetto), nel Comune di Arezzo.*



## **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



---

*Risultati di una prospezione geofisica M.A.S.W. eseguita in prossimità di Via Perugia  
(area sottopasso ferroviario in progetto), nel Comune di Arezzo.*



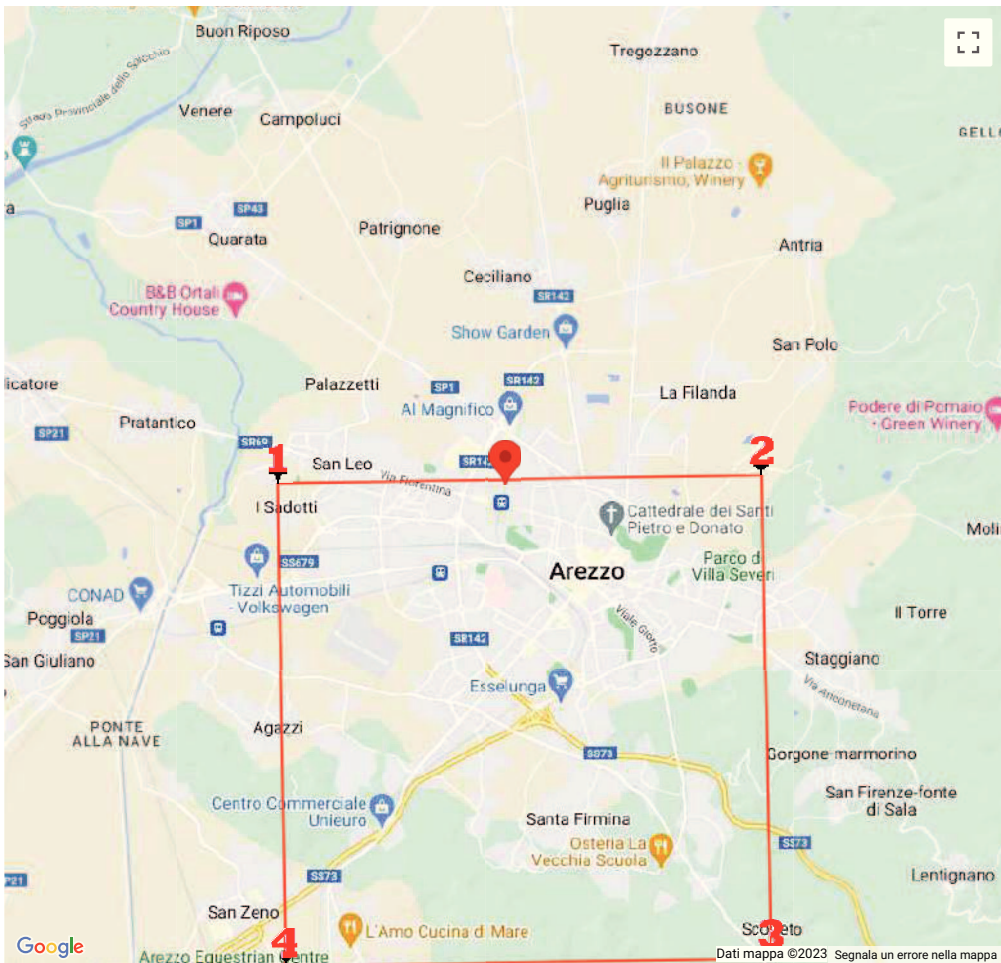
**ALLEGATO 9**

Indirizzo



WGS84: Lat 43.472123 - Lng 11.868025

ED50: Lat 43.473082 - Lng 11.868989



Visualizza vertici della maglia di appartenenza

### Stati limite

- Classe Edificio ▼
- II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali... ▼
- Vita Nominale 50 ▼
- Interpolazione Media ponderata ▼



CU = 1

| Stato Limite                                 | Tr [anni] | a <sub>g</sub> [g] | F <sub>o</sub> | T <sub>c</sub> * [s] |
|----------------------------------------------|-----------|--------------------|----------------|----------------------|
| Operatività (SLO)                            | 30        | 0.054              | 2.514          | 0.261                |
| Danno (SLD)                                  | 50        | 0.066              | 2.519          | 0.273                |
| Salvaguardia vita (SLV)                      | 475       | 0.159              | 2.419          | 0.292                |
| Prevenzione collasso (SLC)                   | 975       | 0.199              | 2.429          | 0.300                |
| Periodo di riferimento per l'azione sismica: | 50        |                    |                |                      |

### Coefficienti sismici

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

|                                                                                                         |                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>H (m)</p> <p> 1</p> | <p>us (m)</p> <p> 0.1</p> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p> Cat. Sottosuolo</p> <p> Cat. Topografica</p> | <p>C <span style="float: right;">▼</span></p> <p>T1 <span style="float: right;">▼</span></p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|

|                                 | SLO  | SLD  | SLV  | SLC  |
|---------------------------------|------|------|------|------|
| SS Amplificazione stratigrafica | 1,50 | 1,50 | 1,47 | 1,41 |
| CC Coeff. funz categoria        | 1,64 | 1,61 | 1,58 | 1,56 |
| ST Amplificazione topografica   | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |

Acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]
 
 0.6


| Coefficienti             | SLO   | SLD   | SLV   | SLC   |
|--------------------------|-------|-------|-------|-------|
| kh                       | 0.016 | 0.020 | 0.056 | 0.067 |
| kv                       | 0.008 | 0.010 | 0.028 | 0.034 |
| Amax [m/s <sup>2</sup> ] | 0.794 | 0.973 | 2.295 | 2.755 |
| Beta                     | 0.200 | 0.200 | 0.240 | 0.240 |

ESPORTA IN TXT

SALVA SU GEODROPBOX

PDF

SPETTRI

Carica file 



Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii  
Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 43,473082  
longitudine: 11,868989  
Classe: 2  
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

|          |           |              |              |           |
|----------|-----------|--------------|--------------|-----------|
| Sito 1   | ID: 21399 | Lat: 43,4732 | Lon: 11,8366 | Distanza: |
| 2610,380 |           |              |              |           |
| Sito 2   | ID: 21400 | Lat: 43,4741 | Lon: 11,9055 | Distanza: |
| 2948,450 |           |              |              |           |
| Sito 3   | ID: 21622 | Lat: 43,4241 | Lon: 11,9068 | Distanza: |
| 6241,022 |           |              |              |           |
| Sito 4   | ID: 21621 | Lat: 43,4232 | Lon: 11,8380 | Distanza: |
| 6088,367 |           |              |              |           |

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C  
Categoria topografica: T1  
Periodo di riferimento: 50anni  
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
Tr: 30 [anni]  
ag: 0,054 g  
Fo: 2,514  
Tc\*: 0,261 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 50 [anni]  
ag: 0,066 g  
Fo: 2,519  
Tc\*: 0,273 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 475 [anni]  
ag: 0,159 g  
Fo: 2,419  
Tc\*: 0,292 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 975 [anni]  
ag: 0,199 g  
Fo: 2,429  
Tc\*: 0,300 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500  
Cc: 1,640  
St: 1,000  
Kh: 0,016  
Kv: 0,008  
Amax: 0,794  
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500  
Cc: 1,610  
St: 1,000  
Kh: 0,020  
Kv: 0,010  
Amax: 0,973  
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,470  
Cc: 1,580  
St: 1,000  
Kh: 0,056  
Kv: 0,028  
Amax: 2,295  
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,410  
Cc: 1,560  
St: 1,000  
Kh: 0,067  
Kv: 0,034  
Amax: 2,755  
Beta: 0,240

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50  
Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.472123

longitudine: 11.868025