Finanziato dall'Unione europea
NextGenerationEU

COMUNE DI MONTALTO UFFUGO

(Provincia di Cosenza)

OGGETTO:

MESSA IN SICUREZZA DI UN TRATTO DI STRADA DI S. MARIA LA CASTAGNA INTERESSATO DA UN MOVIMENTO FRANOSO

PROGETTO DEFINITIVO ED ESECUTIVO

TAV. B. 02

Montalto Uffugo - febbraio 2022

ELABORATO

RELAZIONE DI PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE E ANALISI NUMERICA

R.U.P. :

Ing. Massimiliano Costanzo

Geologo:

Dott. Geol. Giorgio Canonaco

Progettista :

Ing. Luciano Corniola

Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

INDICE

PREMESSA pag. 2
Contesto normativo
Sismicità storica pag. 3
Amplificazione topografica del sito in caso di sisma pag. 5
Prospezione sismica a rifrazione di tipo MASW pag. 6
MASW 1 – INTERVENTO 1 pag. 6
MASW 2 – INTERVENTO 2 pag. 6
Calcolo Vs_{eq} di progetto intervento 1 pag. 7
Calcolo Vs_{eq} di progetto intervento 2 pag. 8
Dati sismici di Base pag. 9
Parametri sismici intervento 1 pag. 10
Coefficienti sismici intervento 1 pag. 10
Parametri sismici intervento 2 pag. 13
Coefficienti sismici intervento 2 pag. 14
Risposta sismica locale – Analisi numerica *pag. 15*
Accellerogrammi utilizzati agli starti limiti pag. 30
Elaborazione interevento 1 pag. 31
Elaborazione interevento 2 pag. 31
Analisi della suscettibilità dei terreni alla liquefazione pag. 72
Conclusioni pag. 73

ALLEGATO

Repoprt indagini geofisiche eseguite

Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

PREMESSA

La presente **R**elazione di pericolosità **L**ocale, parte integrante degli elaborati progettuali dell'intervento in oggetto, viene redatto per incarico dell'amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

Le aree interessate dai dissesti in atto lungo Via Zaingra in contrada Santa Maria la castagna nel Comune di Montalto Uffugo (CS).

Il territorio Comunale di Montalto Uffugo (CS), ricade in ambito sismico di prima categoria, ed è stato inserito, nell'Ordinanza n° 3274 del 23.03.2003, a cura della Presidenza del Consiglio dei Ministri, pubblicato sulla G.U. n° 105 del 08.05.2003, fra i comuni ad elevato rischio sismico.

CONTESTO NORMATIVO

Il presente studio è stato redatto in ottemperanza alle seguenti normative:

- CRITERI DI INDIVIDUAZIONE DEGLI EFFETTI DI SITO PER INTERVENTI DI TIPO EDILIZIO IN CLASSE D'USO 2 (Legge Regionale n. 35 del 19/10/2009 e ss.mm. e ii. e Regolamento Regionale n. 7 del 28/06/2012 – allegato 3);
- O.P.C.M. n° 3274 del 20.03.2003 - primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica; Norme tecniche per le costruzioni
- O.P.C.M n° 3519 del 28/04/2006 "criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" e s.m.i.;
- D.M. 17.01.2018 – "norme tecniche per le costruzioni"; C.M. 617/2009 – "Istruzioni per l'applicazione delle N.T.C. di cui al D.M. 17.01.08 2018".

SISMICITÀ STORICA

E' stata effettuata una ricerca sulla sismicità storica della porzione di territorio interessata, con particolare riferimento al centro urbano di Montalto Uffugo, al fine di valutarne il livello di pericolosità di base. Per tale analisi storica ci si è avvalsi della pubblicazione su cd rom "Catalogo dei Forti Terremoti in Italia dal 491 a.C. al 1990", curata dall'Istituto Nazionale di Geofisica - S.G.A. "Storia Geofisica Ambiente". I risultati della ricerca, effettuata selezionando la località e per un'intensità maggiore del VI grado, sono esplicitati nelle tabelle seguenti, nelle quali sono indicati:

- data dell'evento sismico e zona epicentrale;
- intensità del terremoto all'ipocentro (Io);
- intensità risentita nelle località di riferimento (Iloc).

Per ogni evento sono stati, poi, riportati i danni al patrimonio edilizio, storico, monumentale, di culto e quelli di tipo ambientale indicati nel catalogo:

data	zona epicentrale	Io	Iloc
27 marzo 1683	*Calabria*	*11*	*8 - 9*
danni a strutture: *crollo di due delle quattro torri circolari e del portico interno del Castello; crollo del campanile del Duomo; distruzione e/o gravi danneggiamenti ai Conventi di S. Francesco, S. Agostino, Cappuccini e ai Monasteri delle Vergini e Cappuccinelle* *danni al patrimonio ambientale:* *frana in corrispondenza della sommità di Colle Pancrazio; fenditure e voragini nel terreno con fuoriuscita di gas solforosi; variazione della portata delle sorgenti*			

data	zona epicentrale	Io	Iloc
28 marzo 1783	*Calabria*	*11*	*7*
danni a strutture: *danni ai monasteri delle Vergini e Cappuccinelle, con abbattimento di muri pericolanti; lesioni alla Chiesa di S. Nicola*			

data	zona epicentrale	Io	Iloc
8 settembre 1905	*Calabria*	*10*	*7*
danni non gravi		*danni a strutture:*	

data	zona epicentrale	Io	Iloc
28 dicembre 1908	*Calabria meridionale*	*6*	*6*
accentuazione dei danni riportati in occasione del terremoto dell'8.09.1905		*danni a strutture:*	

In virtù dell'attività sismica storica, caratterizzata da periodi fortemente attivi intervallati da lunga inattività, esclusa quella strumentale, di bassa intensità e rilevata in maniera continua nel tempo, tutto il territorio comunale è stato finora classificato come "zona sismica di II categoria".

Con l'entrata in vigore della nuova Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274 del 20 marzo 2003 (G.U. n° 105 del 08 maggio 2003), recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", alla quale i tecnici progettisti possono già fare specifico riferimento, il Comune di Acquappesa risulta, invece, essere "zona sismica 2"

Codice ISTAT 2001	Categoria sismica	Zona sismica (O.P.C.M. n.3274/03)
18079081	II	1

cui corrisponde un valore di accelerazione orizzontale massima del suolo (ag), espressa come frazione dell'accelerazione di gravità (g), di 0,25:

Zona	Valore di a_g
1	***0.35 g***
2	0.25 g
3	*0.15 g*
4	*0.05 g*

vale a dire che, in caso di sisma, c'è da attendersi un'accelerazione sismica di picco orizzontale del suolo > 0.25 (ag/g).

AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA DEL SITO IN CASO DI SISMA.

In base all' N.T.C. 2018, il calcolo dell'incremento sismico locale, non è più "zona dipendente" ma l'approccio è "sito dipendente". L'azione sismica è, infatti, legata alla risposta sismica locale, al tempo di ritorno prescelto (in relazione alla vita utile), all'amplificazione stratigrafica (S) e alle condizioni topografiche.

È necessario, pertanto, assegnare, ad ogni sito di progetto, una categoria topografica che, per configurazioni superficiali semplici, può utilizzare la sottostante tabella.

Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

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

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 si consiglia di utilizzare una categoria topografica di tipo "T2"

PROSPEZIONE SISMICA A RIFRAZIONE DI TIPO M.A.S.W.

Con riferimento al lavoro in oggetto, sono state eseguite due indagine geofisiche di tipo M.A.S.W., rispettivamente sulle aree degli interventi 1 e 2.

Per tale scopo la prospezione sismica di superficie, finalizzata esclusivamente alla definizione di un profilo verticale delle onde di taglio (Vs) e longitudinali (Vp), mediante un'analisi della dispersione di fase delle onde Rayleigh, nota in letteratura come **M**ultichannel **A**nalysis of **S**urface **W**aves (M.a.s.w.).

Le indagini sono state eseguite da ditta specializzata ed allegate allo studio geologico di progetto sempre a firma dello scrivente.

Masw 1 – Intervento 1

Nel profilo sismico Masw 1 sono stati riconosciuti quattro orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici.

In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0 -4,80 metri circa e le velocità delle onde sismiche di taglio Vs = 237,00 m/s.

Nel Sismostrato 2, con uno spessore di 5,50 m, si incontra un intervallo caratte- rizzatoda onde sismiche di taglio Vs = 431,00 m/s.

Nel Sismostrato 3, con uno spessore di 14,40 m, si incontra un intervallo caratte- rizzatoda onde sismiche di taglio Vs = 556,00 m/s.

L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità di indagine, è caratterizzato da onde sismiche di taglio Vs = 868,00 m/s.

Masw 2 – Intervento 2

Nel profilo sismico Masw 2 sono stati riconosciuti quattro orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici.

In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0-5,00 metri circa e le velocità delle onde sismiche di taglio Vs = 190,00 m/s.

Nel Sismostrato 2, con uno spessore di 12,60 m, si incontra un intervallo caratte- rizzatoda onde sismiche di taglio Vs = 402,00 m/s.

Nel Sismostrato 3, con uno spessore di 12,40 m, si incontra un intervallo caratte- rizzatoda

onde sismiche di taglio Vs = 613,00 m/s.

L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità di indagine, è caratterizzato da onde sismiche di taglio Vs = 1028,00 m/s.

CALCOLO DEL VS_{EQ} DI PROGETTO

Le N.T.C. 2018 propongono l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica del profilo stratigrafico del suolo, mediante sette tipologie di suoli da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 metri di terreno (Vs_{eq}) calcolate alla base delle fondazioni.

Nel complesso le due prospezioni geofisiche eseguite, per mezzo dell'analisi delle prove MASW, hanno permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" nel sottosuolo dei siti dall'attuale piano spiaggia coincidente con il litotipo di sedime delle fondazioni.

Calcolo Vs_{eq} - Intervento 1

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità VS di ogni sismostrato secondo le indicazioni riportate in normativa.

Nel complesso la prospezione geofisica eseguita, per mezzo dell'analisi delle prove MASW, ha permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" nel sottosuolo del sito partendo dall'attuale piano campagna.

Considerando lo sbancamento da effettuare per la posa delle fondazioni, di circa un 1,0 metri dall'attuale piano strada, si propone il seguente modello sismico di progetto calcolato dalla base delle fondazioni (testa pali):

Copertura	*0.00 – 2.30 m dal p.c.*	*spes. 2.30 m*	*Vs 237,00 m/s*
Argilla limosa sabbiosa	*2.30 – 7.80 m dal p.c.*	*spes. 5.50 m*	*Vs 431,00 m/s*
Argilla limosa	*7.80 – 22.20 m dal p.c.*	*spes. 14.40 m*	*Vs 556,00 m/s*

La velocità media di propagazione delle Onde di taglio entro i 22.20 metri di profondità (Vs_{eq}) è calcolata con la seguente espressione:

$$Vs_{eq} = 22.20/(S\ hi/Vi)$$

Il profilo MASW indica una **Vs_{eq} pari a 662,00 m/s.**

Categoria di suolo di fondazione "B" definita:

Depositi di terreni a grana grossa moderatamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VSeq compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Calcolo Vs_{eq} - Intervento 2

Al fine di poter procedere con le operazioni di calcolo è necessario inserire gli spessori con le relative velocità VS di ogni sismostrato secondo le indicazioni riportate in normativa.

Nel complesso la prospezione geofisica eseguita, per mezzo dell'analisi delle prove MASW, ha permesso di ricavare sia il modello medio di distribuzione della velocità delle onde "S" nel sottosuolo del sito partendo dall'attuale piano campagna.

Considerando lo sbancamento da effettuare per la posa delle fondazioni, di circa un 1,0 metri dall'attuale piano strada, si propone il seguente modello sismico di progetto calcolato dalla base delle fondazioni (testa pali):

Copertura	*0.00 – 2.50 m dal p.c.*	*spes. 2.50 m*	*Vs 190,00 m/s*
Argilla limosa sabbiosa	*2.50 – 15.10 m dal p.c.*	*spes. 12.60 m*	*Vs 402,00 m/s*
Argilla limosa	*15.10 – 27.50 m dal p.c.*	*spes. 12.40 m*	*Vs 613,00 m/s*

La velocità media di propagazione delle Onde di taglio entro i 27.50 metri di profondità (Vs_{eq}) è calcolata con la seguente espressione:

$$Vs_{eq} = 27.50/(S\ hi/Vi)$$

Il profilo MASW indica una **Vs_{eq} pari a 427,00 m/s.**

Categoria di suolo di fondazione "B" definita:

Depositi di terreni a grana grossa moderatamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del VSeq compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

DATI SISMICI DI BASE

Per determinare la risposta sismica locale del sito d'interesse si è utilizzato il software gratuito della Geostru, che fornisce i parametri sismici e gli spettri di risposta rappresentativi delle componenti (orizzontali e verticale) delle azioni sismiche di progetto per il generico sito del territorio nazionale, per come previsto nelle N.T.C. 2018.

Intervento 1



Sito in esame.

latitudine: 39,394277
longitudine: 16,130063
Classe: 3
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 39445 Lat: 39,4048 Lon: 16,0761 Distanza: 4781,279
Sito 2 ID: 39446 Lat: 39,4033 Lon: 16,1407 Distanza: 1354,164
Sito 3 ID: 39668 Lat: 39,3533 Lon: 16,1387 Distanza: 4617,480
Sito 4 ID: 39667 Lat: 39,3548 Lon: 16,0741 Distanza: 6508,636

Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T2
Periodo di riferimento: 75anni
Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):
Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 45 [anni]
ag: 0,079 g
Fo: 2,293
Tc*: 0,306 [s]

Danno (SLD):
Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 75 [anni]
ag: 0,103 g
Fo: 2,309
Tc*: 0,325 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):
Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 712 [anni]
ag: 0,289 g
Fo: 2,444
Tc*: 0,387 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):
Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1462 [anni]
ag: 0,384 g
Fo: 2,480
Tc*: 0,416 [s]

Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2018

SLO:
Ss: 1,200
Cc: 1,390
St: 1,200
Kh: 0,000
Kv: 0,000
Amax: 1,113
Beta: 0,000

SLD:
Ss: 1,200
Cc: 1,380
St: 1,200
Kh: 0,070
Kv: 0,035
Amax: 1,457
Beta: 0,470

SLV:
Ss: 1,120
Cc: 1,330
St: 1,200
Kh: 0,148
Kv: 0,074
Amax: 3,812
Beta: 0,380

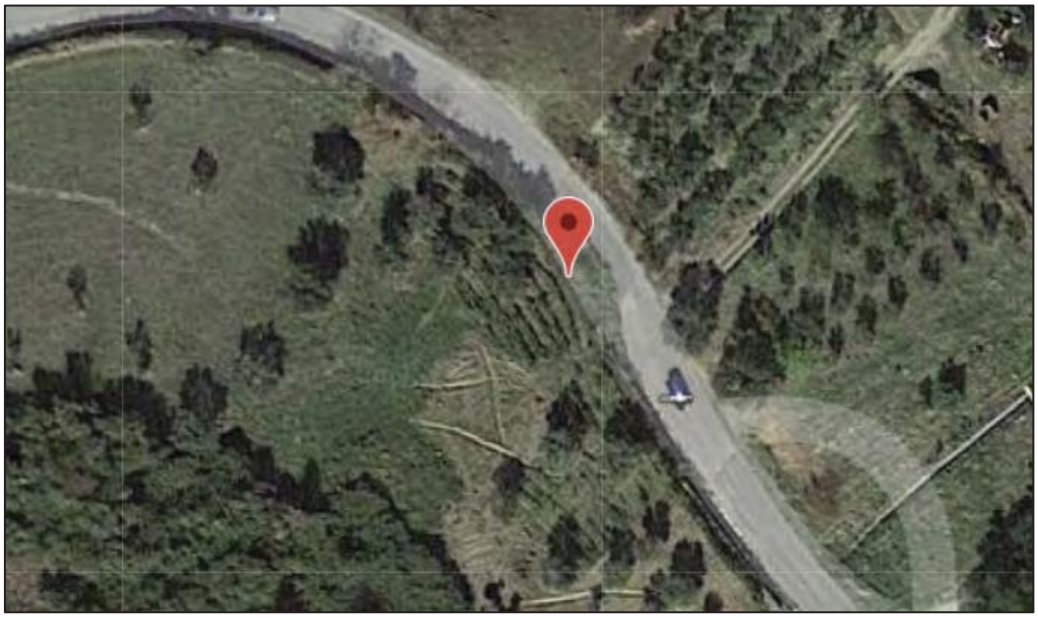
SLC:
Ss: 1,020
Cc: 1,310
St: 1,200
Kh: 0,000
Kv: 0,000
Amax: 4,615
Beta: 0,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Coordinate WGS84
latitudine: 39.393261
longitudine: 16.129251

Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

Dati sismici – Intervento 2



Sito in esame.

latitudine:	39,3940335785588
longitudine:	16,1314432427336
Classe:	3
Vita nominale:	50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 39445	Lat: 39,4048	Lon: 16,0761	Distanza: 4902,903
Sito 2	ID: 39446	Lat: 39,4033	Lon: 16,1407	Distanza: 1298,500
Sito 3	ID: 39668	Lat: 39,3533	Lon: 16,1387	Distanza: 4573,101
Sito 4	ID: 39667	Lat: 39,3548	Lon: 16,0741	Distanza: 6578,811

Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: B
Categoria topografica: T2
Periodo di riferimento: 75anni
Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):
Probabilità di superamento: 81 %
Tr: 45 [anni]
ag: 0,079 g
Fo: 2,293
Tc*: 0,306 [s]

Danno (SLD):
Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 75 [anni]
ag: 0,103 g
Fo: 2,308
Tc*: 0,325 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):
Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 712 [anni]
ag: 0,290 g
Fo: 2,444
Tc*: 0,386 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):
Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 1462 [anni]
ag: 0,385 g
Fo: 2,480
Tc*: 0,416 [s]

Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

Coefficienti Sismici Opere di sostegno NTC 2018

SLO:
Ss: 1,200
Cc: 1,390
St: 1,200
Kh: 0,000
Kv: 0,000
Amax: 1,114
Beta: 0,000

SLD:
Ss: 1,200
Cc: 1,380
St: 1,200
Kh: 0,070
Kv: 0,035
Amax: 1,459
Beta: 0,470

SLV:
Ss: 1,120
Cc: 1,330
St: 1,200
Kh: 0,148
Kv: 0,074
Amax: 3,818
Beta: 0,380

SLC:
Ss: 1,020
Cc: 1,310
St: 1,200
Kh: 0,000
Kv: 0,000
Amax: 4,622
Beta: 0,000

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Coordinate WGS84
latitudine: 39.393018
longitudine: 16.130631

RISPOSTA SISMICA LOCALE

Il Regolamento Regionale riferito alle procedure per la denuncia, il deposito e l'autorizzazione di interventi di carattere strutturale e per la pianificazione territoriale in prospettiva sismica, individua il tipo di studio da effettuare riguardo gli effetti di sito per interventi di tipo edilizio.

Le analisi specifiche permettono di ottenere lo spettro di progetto elastico e/o gli accelerogrammi in superficie a partire da una modellazione numerica o per mezzo di misure empiriche sperimentali.

Per eseguire correttamente le indagini per l'Analisi Specifica e permettere alla Regione Calabria di verificare i risultati sono necessarie le seguenti informazioni:

- Litostratigrafia del sito con particolare attenzione alla profondità del Bedrock sismico (quando individuabile);
- profondità della falda;
- caratterizzazione geotecnica dei terreni e caratterizzazione geomeccanica degli ammassi rocciosi;
- profilo della velocità delle onde S (Vs);
- morfologia del Bedrock sismico;
- morfologia superficiale del sito;
- caratterizzazione dei terreni in condizioni dinamiche.

Si pongono poi dei criteri sulle indagini da effettuare e sull'area da indagare; in questo caso, accertata l'assenza di fenomeni gravitativi in atto o quiescenti, si intende valido un modello univoco per tutta l'area di ingombro e per un sufficiente ambito all'intorno.

Di seguito vengono forniti i modelli per la rappresentazione dei parametri prima elencati al fine di fornire tutti gli elementi di competenza del geologo per l'analisi specifica.

CRITERI SCIENTIFICI

La progettazione strutturale di opere sismo-resistenti richiede la conoscenza dei meccanismi che sottendono le genesi della forzante sismica, quali:

- il meccanismo di sorgente;
- la propagazione delle onde sismiche dalla sorgente al sito;
- le modifiche spettrali della forzante sismica in funzione della geologia locale.

Ragionando in tale direzione è possibile usufruire dell'esistenza di numerose misure di moto vibratorio, in superficie e contestualmente al substrato effettuate in occasione di diversi terremoti in tutto il mondo ed ora anche a L'Aquila, le quali hanno consentito di valutare l'importanza e l'influenza dei molteplici fattori che concorrono nella valutazione del rischio sismico quale base fondamentale per operazioni di progettazione antisismica e di pianificazione

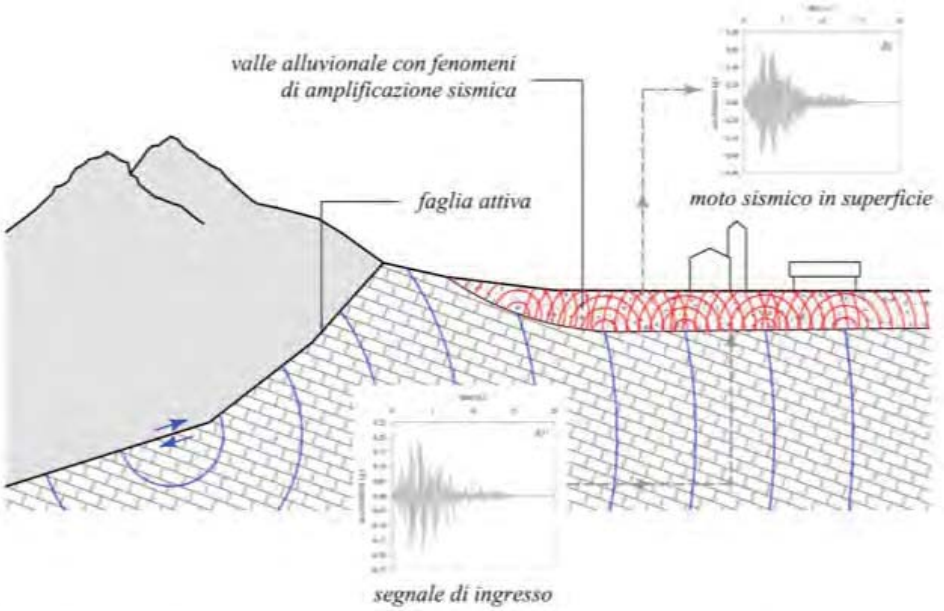


Figura 1. Effetti tipici della risposta sismica locale, con il moto sismico di ingresso al sito che subisce amplificazione e distorsione del treno di onde in relazione alla geologia locale (da: Di Francesco R., 2008, 2010).

territoriale. In tale ambito la conoscenza del moto vibratorio del terreno in superficie a seguito di un terremoto è di fondamentale importanza, laddove i fattori che concorrono alla sua definizione sono fortemente condizionati dalla complessità geologica del sottosuolo, dalla morfologia e morfometria dei terreni di copertura ed anche dalle proprietà

dinamiche del sito; in altre parole occorre tenere in debito conto l'importanza e l'influenza dei fattori che concorrono nella definizione del punto "3", ovvero della risposta sismica locale.

In sintesi:

- la stratigrafia locale;
- le caratteristiche dinamiche dei terreni di superficie;
- la geometria strutturale;
- il contenuto spettrale della forzante sismica.

Riunendo tutti gli elementi in unico algoritmo è allora possibile definire, quale punto di partenza per l'analisi della risposta sismica locale, lo studio e della genesi e della propagazione di un sisma che conduce, in definitiva, alla definizione del moto sismico di ingresso ad un sito (uB(t) noto anche come segnale di ingresso (figura 1).

Seguono, quindi, le modifiche apportate al segnale di ingresso dalle particolari caratteristiche di un sito, nel caso specifico della figura 1 rappresentato da una valle alluvionale, che si traducono in variazioni dell'ampiezza, durata e contenuto in frequenza del sisma conducendo, infine, alla definizione del moto sismico in superficie (uS(t)) da utilizzare nella progettazione strutturale.

Il problema fondamentale insito in tale trattazione deriva ora dalla necessità di dover relazionare gli effetti di sito sia alle nuove normative antisismiche e sia ad una corretta formulazione del fenomeno, entrambe obbligate non solo a dover fornire risposte esaurienti ai fenomeni riscontrati nell'aquilano ma anche, e forse soprattutto, a quelli attesi stante la diffusa presenza in Italia di strutture sismogenetiche molto attive e pericolose.

Il par. 3.2 delle recenti N.T.C. 2018 introduce il concetto di pericolosità sismica espressa in funzione della massima accelerazione attesa (ag) determinata in condizioni di free-field.

Il punto di partenza è allora dato da un substrato roccioso affiorante (dotato di una VSH ≥ 800 m/s) con superficie topografica orizzontale (figura 2), al quale associare una categoria di sottosuolo A ed una categoria topografica T1, entrambi conducenti ad assenza di amplificazioni sismiche.

In effetti, una volta individuata la "geometria" (stratigrafia) e la "dinamica" (velocità e/o impedenze caratteristiche dei mezzi) di riferimento è possibile ricorrere alle tabelle 3.2.II, 3.2.IV, 3.2.VI per individuare i parametri atti a definire, in sostanza, lo spettro di accelerazione di progetto da utilizzare nel dimensionamento strutturale sismoresistente.

È anche vero, però, che l'utilizzo dei parametri di progetto previsti nelle N.T.C. 2018 non consente una trattazione esaustiva dell'argomento dal momento che pur adottando i coefficienti più restrittivi, applicati ad esempio a punti di riferimento del territorio aquilano, si ottiene una massima accelerazione al suolo molto inferiore rispetto a quella rilevata strumentalmente negli stessi, in occasione del sisma del 6 aprile 2009, e pari ad una media di circa 0.7g con punte ben superiori ad 1g.

È evidente, allora, che una corretta progettazione strutturale non può prescindere dalla conoscenza dei meccanismi di base che sottendono il fenomeno della risposta sismica locale.

A tal proposito le N.T.C. stabiliscono, al par. 7.11.2, che "... le indagini devono comprendere l'accertamento degli elementi che, unitamente agli effetti topografici, influenzano la propagazione delle onde sismiche, quali le condizioni stratigrafiche e la presenza di un substrato rigido ..."; contestualmente, al par. 7.11.3 (risposta sismica locale e stabilità del sito) delle N.T.C. 2018 e della Circolare esplicativa n. 217 del 2 febbraio 2009, è stabilito che occorre innanzitutto individuare la scelta della procedura di analisi (esempio 1D o 2D) mentre è fatto divieto assoluto di utilizzo di accelerogrammi artificiali poiché ritenuti, a ragione, caratterizzati da un contenuto spettrale irrealistico. Al contrario, è ammesso l'uso degli accelerogrammi reali

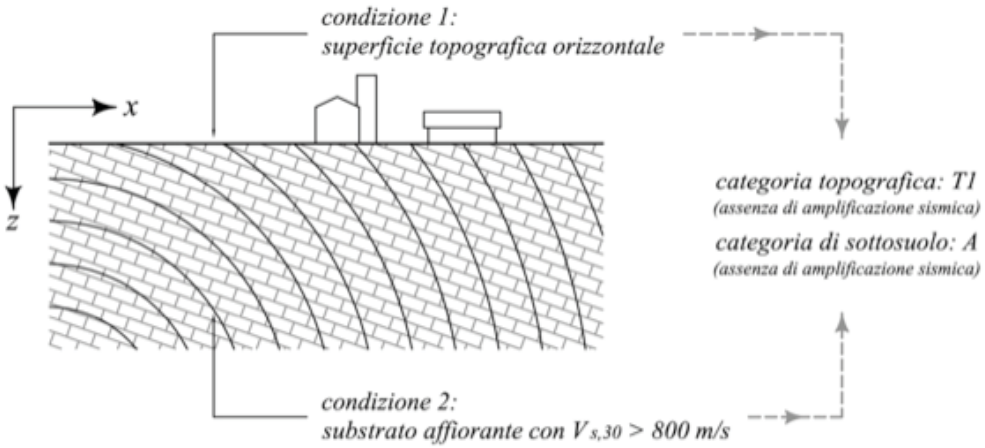


Figura 2. Geometria normativa di riferimento per la definizione dei fenomeni di amplificazione sismica (da: *Di Francesco R., 2010).*

registrati la cui scelta sia rappresentativa della sismicità del sito.

In effetti, il problema deriva dalla constatazione che il terremoto in oggetto può essere considerato caratteristico per il settore sismico in questione ma affatto rappresentativo per altri settori sismici pur adiacenti; nel contempo, risulta anche difficile stabilire l'effettiva validità del contenuto in frequenza del terremoto di progetto derivato da accelerogrammi reali poiché,

anche nel caso in cui siano rappresentativi della sismicità locale, influenzano in maniera determinante la risposta strutturale in quanto derivante dall'interazione terreno – struttura.

MODELLI SEMPLICI DI ANALISI: la relazione di Okamoto

Sia:

$$Z_i = \gamma_i \times V_{SHi}$$

l'impedenza caratteristica dei terreni data dal prodotto del peso di volume per la velocità di propagazione delle onde di taglio polarizzate sul piano orizzontale.

L'equazione:

$$FAD = \frac{Z_s}{Z_a} = \frac{\gamma_s}{\gamma_a} \times \frac{V_{SH,s}}{V_{SH,a}}$$

definisce allora il Fattore di Amplificazione Dinamica, con i pedici "s" ed "a" riferiti rispettivamente al substrato ed ai sovrastanti terreni soffici come nel caso dei materassi alluvionali di fondovalle.

Contestualmente l'equazione:

$$T = \frac{4H}{(2n-1)V_{SH,a}}$$

nota come relazione di Okamoto (1973), consente di ricavare i periodi di vibrazione di un deposito, e conseguenzialmente le frequenze fondamentali dello stesso, noto lo spessore H.

Ovviamente, nel caso del periodo fondamentale (n = 1) l'equazione (5) si riduce a:

$$T = \frac{4H}{V_{SH,a}}$$

che dimostrano come un materasso alluvionale avente un certo spessore conduca ad un'amplificazione dell'accelerazione relativa all'onda monocromatica componente il sisma di ingresso e corrispondente ad una certa frequenza.

Noti tali elementi, seppur derivati da un modello concettuale alquanto semplice, non resta che confrontarli con i risultati dell'analisi modale della struttura al fine di prevenire effetti di risonanza del sistema terreno – struttura.

Notare come in tale metodo non entri affatto il contenuto spettrale del sisma.

MODELLI DI ANALISI 1D: equazione monodimensionale

Il Fattore di Amplificazione Dinamica introdotto nel paragrafo precedente assume il ruolo di funzione di trasferimento (ft) del segnale, considerato che dal prodotto:

$$u_s(t) = u_b(t) \times FAD = u_b(t) \cdot f_t$$

si ottiene il segnale di uscita al suolo a partire dal segnale di ingresso al sito. Ovviamente l'equazione è valida nel solo dominio delle frequenze.

Una volta noti gli elementi che sottendono l'analisi della risposta sismica locale è possibile introdurre il modello monodimensionale (Carrara et. ali, 1992):

$$FAD = \left[\begin{array}{l} \left[\cos^2\theta_1 \times sen^2\theta_2 + 2\left(\frac{y_2 V_2}{y_3 V_3} \times \frac{y_1 V_1}{y_3 V_3} - \frac{y_1 V_1}{y_2 V_2} \right) \right. \\ \left. sen\,\theta_1 \cos\theta_2 sen\,\theta_1 \cos\theta_2 + \frac{y_1^2 V_1^2}{y_2^2 V_2^2} sen^2\theta_1 sen^2\theta_2 + \frac{y_2^2 V_2^2}{y_3^2 V_3^2} \cos^2\theta_1 sen^2\theta_2 + \frac{y_1^2 V_1^2}{y_3^2 V_3^2} sen^2\theta_1 \cos^2\theta_2 \right]^{1/2} \end{array} \right.$$

basato sullo spettro di risposta dell'oscillatore armonico semplice (Muzzi F., 1990) e nella quale compaiono:

i parametri dinamici di due strati soffici (V1, V2, ∂1, ∂2) sovrastanti un substrato deformabile (V3, ∂3); la pulsazione angolare e gli angoli di incidenza e gli spessori H1 ed H2 degli strati soffici.

Analizzando l'equazione si scopre che il modello, pur nella sua limitazione, consente ad esempio di analizzare il comportamento dinamico dei depositi alluvionali a geometria tabulare in punti lontani dai bordi; quindi, applicando la stessa al caso rappresentato in figura 1 si ottiene il Fattore di Amplificazione Dinamico illustrato in figura 1, tenuto conto del prodotto tra

la stessa equazione e la funzione di smorzamento dipendente dallo smorzamento iniziale del terreno (nel caso specifico D0 = 1% valido per entrambi gli strati superficiali) e funzione della frequenza (f = 0 → Df = 1; f = 0.25 → Df = 0.99; f = 0.5 → Df = 0.9801; f = 0.75 → Df = 0.9703; f = 1 → Df = 0.9606....) avendo applicato una discretizzazione di 0.25 Hz.

In definitiva, noto l'andamento del FAD sempre espresso nel dominio delle frequenze, occorre applicare l'equazione moltiplicando l'ampiezza di ogni singola onda monocromatica componente un segnale di ingresso per il corrispondente valore del FAD, giungendo in tal modo a determinare il segnale di uscita al suolo; quindi, utilizzando la trasformata inversa di Fourier si giunge infine alla definizione dell'accelerogramma di progetto da utilizzare nel calcoli strutturali.

Attraverso l'indagine geofisica, si è inteso effettuare, sull'area in esame, una valutazione del sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo previsto dall'Ordinanza PCM 20/03/03 e ss. mm., mediante le cinque (A - B - C - D - E) tipologie di suoli (più altri due speciali: S1 e S2), da individuare in relazione ai parametri di velocità delle onde di taglio mediate sui primi 30 metri di terreno (VSEq).

RISPOSTA SISMICA LOCALE - METODO NUMERICO MONODIMENSIONALE 1D CRITERIO UTILIZZATO

La procedura di calcolo adoperata da RSL per la valutazione della funzione di trasferimento presuppone come base di partenza uno o più accelerogrammi, od uno spettro di risposta in accelerazione, e la conoscenza della stratigrafia del sito attraverso i seguenti parametri geotecnici per ogni strato:

- peso per unità di volume;
- velocità di propagazione delle onde di taglio;
- coefficiente di spinta laterale;
- modulo di taglio iniziale (opzionale);
- spessore;
- indice di plasticità.

La non linearità del calcolo è introdotta dalla dipendenza del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso dalla deformazione.

Schematicamente la procedura è riassumibile nel seguente modo:

1. Valutazione dello spettro di Fourier dell'accelerogramma (omessa nel caso si debba analizzare uno spettro);
2. Ricerca di un errore relativo piccolo seguendo la procedura di:
   - 2.1 Stima della funzione di trasferimento;
   - 2.2 Valutazione della deformazione indotta in ciascuno strato;
   - 2.3 Correzione del modulo di deformazione al taglio e del coefficiente di smorzamento viscoso per ogni strato;

Le operazioni 2.1, 2.2 e 2.3 sono ripetute fino a quando la differenza di deformazione tra un'iterazione e la precedente non rimane al di sotto di una soglia ritenuta accettabile;

3 Trasformazione inversa di Fourier dello spettro precedentemente calcolato ed opportunamente pesato per mezzo della funzione di trasferimento calcolata.

Attraverso questa procedura è possibile "trasferire" l'accelerogramma dal bedrock in superficie. La deformazione per ciascuno strato viene corretta sulla base del rapporto fra deformazione effettiva e massima come suggerito dalla letteratura scientifica, ovvero

$$\frac{\gamma_{eff}}{\gamma_{max}} = \frac{M-1}{10}$$

dove M rappresenta la magnitudo del sisma.

Per la valutazione della funzione di trasferimento, RSL considera un suolo variamente stratificato composto da N strati orizzontali di cui l'N-esimo è il letto di roccia (bedrock). Ponendo come ipotesi che ciascuno strato si comporti come un solido di Kelvin-Voigt

$$\left[\tau = G\gamma + \eta\frac{\partial\gamma(z,t)}{\partial z\partial t}\right],$$

la propagazione delle onde di taglio che attraversano gli strati verticalmente può essere definita dall'equazione dell'onda:

$$\rho\frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = G\frac{\partial^2 u}{\partial z^2} + \eta\frac{\partial^3 u}{\partial z^2\partial t} \quad (1)$$

dove: u rappresenta lo spostamento; t il tempo; ρ la densità; G il modulo di deformazione al taglio; η la viscosità. Per onde armoniche lo spostamento può essere scritto come:

$$u(z,t) = U(z)^{i\omega t} \quad (2)$$

che sostituita nella (1) pone

$$(G + i\omega t)\frac{d^2U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (3)$$

dove ω rappresenta la frequenza angolare. La (3) può essere riscritta come

$$G^*\frac{d^2U}{dz^2} = \rho\omega^2 U \quad (4)$$

avendo posto $G^* = G + i\omega\eta$, ovvero il modulo di deformazione al taglio *complesso*. Questo può essere ulteriormente riscritto come

$$G^* = G(1 + 2i\xi) \quad (5)$$

avendo posto

$$\eta = \frac{2G}{\omega}\xi \quad (6)$$

dove ξ rappresenta il coefficiente di smorzamento viscoso. Ciò posto, e fatta convenzione che l'apice * indica la natura complessa della variabili in gioco, la soluzione dell'equazione generica dell'onda è la seguente:

$$u(z,t) = Ee^{i(\omega t + k^* z)} + Fe^{i(\omega t - k^* z)} \quad (7)$$

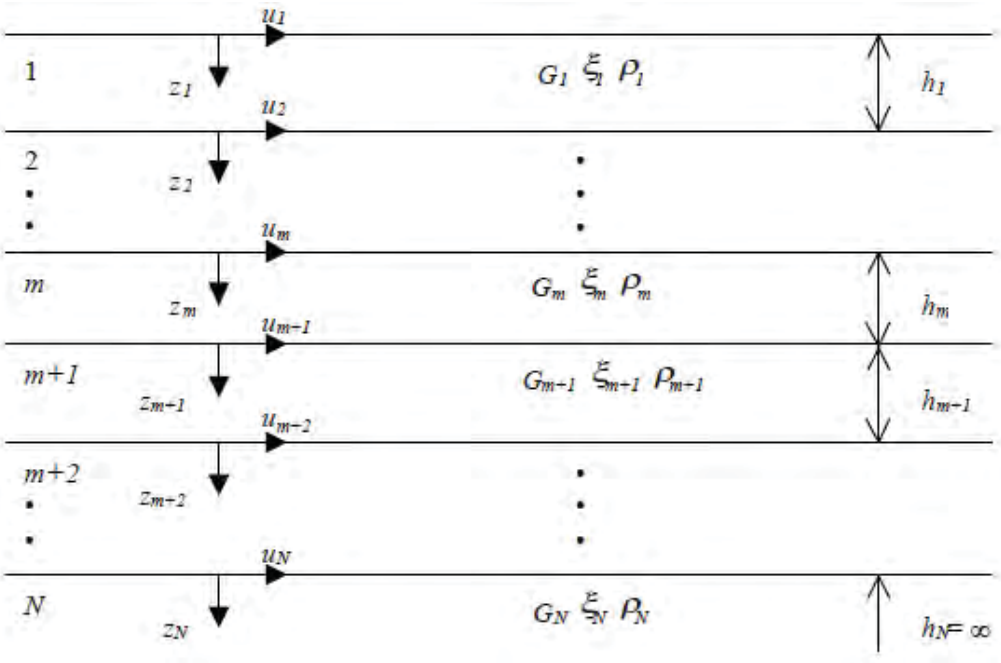


Figura 1: Esempio di stratigrafia per riferimento.

dove E e F dipendono dalle condizioni al contorno e rappresentano l'ampiezza d'onda che viaggia rispettivamente verso l'alto (-z) e verso il basso (+z), mentre k^* rappresenta il numero d'onda complesso dato dalla seguente espressione:

$$k^* = \omega\sqrt{\frac{\rho}{G^*}} \quad (8)$$

Il taglio invece è dato da:

$$\tau(z,t) = G^* \frac{dU}{dz} e^{i\omega t} = ik^* G^* \left[E e^{i(\omega t + k^* z)} + F e^{i(\omega t - k^* z)} \right] e^{i\omega t} \quad (9)$$

Per il generico strato *m* di spessore hm gli spostamenti, rispettivamente in sommità (z = 0) ed al fondo (z = hm), sono:

$$u_m(0,t) = (E_m + F_m) e^{i\omega t} \quad (10)$$

$$u_m(h_m,t) = \left(E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \right) e^{i\omega t} \quad (11)$$

Poiché deve essere rispettata la congruenza sullo spostamento all'interfaccia tra gli strati, ovvero lo spostamento in sommità ad uno strato deve essere uguale allo spostamento sul fondo di quello immediatamente sopra, se ne deduce che:

$$u_m(z = h_m, t) = u_{m+1}(z = 0, t) \quad (12)$$

Usando la (10), (11) e la (12), ne consegue che

$$E_{m+1} + F_{m+1} = E_m e^{ik_m^* h_m} + F_m e^{-ik_m^* h_m} \quad (13)$$

Il taglio in sommità ed al fondo dell'*m*-esimo strato è dato da:

$$\tau_m(0,t) = ik_m^* G_m^* \left[E_m - F_m \right] e^{i\omega t} \quad (14)$$

$$\tau_m(h_m,t) = ik_m^* G_m^* \left[E_m e^{ik_m^* h_m} - F e^{ik^* h_m} \right] e^{i\omega t} \quad (15)$$

Poiché fra uno strato e l'altro il taglio deve essere continuo si ha

$$\tau_m(z = h_m, t) = \tau_{m+1}(z = 0, t) \quad (16)$$

ovvero

$$E_{m+1} - F_{m+1} = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \left(E_m e^{ik_m^* h_m} - F_m e^{-ik_m^* h_m} \right) \quad (17)$$

Sommando la (13) alla (17) e sottraendo la (17) alla (13) si ottiene

$$E_{m+1} = \frac{1}{2} E_m \left(1 + \alpha_m^*\right) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m \left(1 - \alpha_m^*\right) e^{-ik_m^* h_m} \quad (18)$$

$$F_{m+1} = \frac{1}{2} E_m \left(1 - \alpha_m^*\right) e^{ik_m^* h_m} + \frac{1}{2} F_m \left(1 + \alpha_m^*\right) e^{-ik_m^* h_m} \quad (19)$$

dove α_m^* rappresenta il coefficiente di impedenza complesso al contorno tra gli strati *m* ed *m+1*, ed è dato dalla seguente espressione:

$$\alpha_m^* = \frac{k_m^* G_m^*}{k_{m+1}^* G_{m+1}^*} \quad (20)$$

Poiché in superficie il taglio è nullo,

$$\tau_1(0,t) = ik_1^* G_1^* \left[E_1 - F1\right] e^{i\omega t} = 0$$

si deduce che *E1 = F1*.

Le equazioni (18) e (19) possono essere successivamente applicate agli strati successivi da 2 ad m. La funzione di trasferimento *Amn* che lega gli spostamenti in sommità degli strati *m* ed *n* è definita dalla seguente espressione:

$$A_{mn} = \frac{u_m}{u_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (21)$$

Amn rappresenta la funzione di trasferimento, ovvero la funzione che mette in relazione il modulo della deformazione tra i punti *m* e *n*.

In pratica lo stato deformativo di una stratigrafia rimane definito una volta nota la deformazione di un suo qualsiasi punto. Inoltre, poiché la velocità e l'accelerazione sono legati allo spostamento,

$$\dot{u}(z,t) = \frac{\partial u}{\partial t} = i\omega u(z,t) \quad \ddot{u}(z,t) = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} = -\omega^2 u(z,t) \quad (22)$$

La funzione di trasferimento *Amn* può essere espressa anche in funzione delle velocità e dell'accelerazione al tetto degli strati *n* ed *m*:

$$A_{mn}(\omega) = \frac{u_m}{u_n} = \frac{\dot{u}_m}{\dot{u}_n} = \frac{\ddot{u}_m}{\ddot{u}_n} = \frac{E_m + F_m}{E_n + F_n} \quad (23)$$

La deformazione tangenziale rimane definita alla profondità *z* e al tempo *t* dalla relazione:

$$\gamma(z,t) = \frac{\partial u}{\partial z} = ik^* \left(Ee^{ik^+ z} - Fe^{-ik^+ z}\right) e^{i\omega t} \quad (24)$$

E la corrispondente tensione tangenziale, dalla seguente espressione:

$$\tau(z,t) = G^{*}\gamma(z,t) \quad (25)$$

Ai fini di una corretta interpretazione del problema della risposta sismica locale, risulta utile riprodurre la rappresentazione schematica di Figura 2 in cui è riportata la terminologia utilizzata per lo studio del moto sismico di un deposito che poggia su un basamento roccioso.

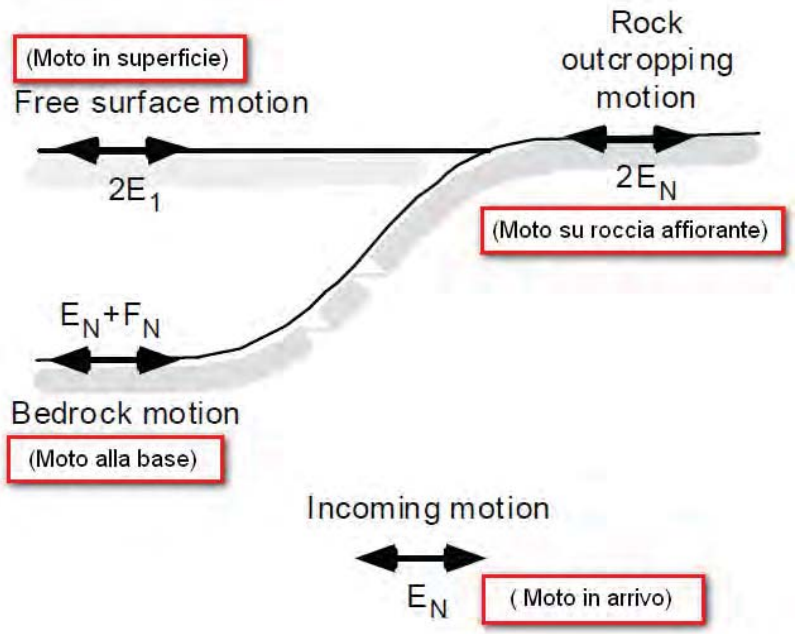


Figura 2: Schema di riferimento e terminologia utilizzata.

Le onde di taglio si propagano verticalmente attraverso il bedrock con ampiezza pari ad EN; al tetto del bedrock, sotto il deposito degli strati di terreno, il moto ha un'ampiezza pari a EN+FN. Sulla roccia affiorante, poiché le tensioni tangenziali sono nulle (EN = FN), il moto avrà ampiezza pari a 2EN. La funzione di trasferimento dal bedrock al bedrock-affiorante è la seguente:

$$A_{NN}(\omega) = \frac{2E_N}{E_N + F_N} \quad (26)$$

A è non lineare poiché *G* è funzione di *γ*. Nella procedura di calcolo infatti, da una stima iniziale del modulo di deformazione al taglio, si ottiene la tensione ipotizzando un legame

lineare, per poi ottenere un nuovo valore di γ. Grazie a questo valore aggiornato si valuta un nuovo modulo G così da ripetere la procedura fino a quando la differenza tra la deformazione aggiornata e quella ottenuta dalla precedente iterazione viene ritenuta accettabile. Il modello per $G(\gamma)$ adoperato è quello suggerito da Ishibashi e Zhang (1993) che tiene conto degli effetti della pressione di confinamento e dell'indice di plasticità:

$$G = G_{max} \cdot K(\gamma, PI)(\sigma'_m)^{m(\gamma,PI)-m_0} \quad (24)$$

$$K(\gamma, PI) = 0.5\left\{1 + tanh\left[ln\left(\frac{0.000102+n(PI)}{\gamma}\right)^{0.492}\right]\right\} \quad (25)$$

$$m(\gamma, PI) - m_0 = 0.272\left\{1 - tanh\left[ln\left(\frac{0.000556}{\gamma}\right)^{0.4}\right]\right\}exp(-0.0145PI^{1.3}) \quad (26)$$

$$n(PI) = \begin{cases} 0.0 & per\ PI = 0 \\ 3.37 \times 10^{-6} PI^{1.404} & per\ 0 < PI \leq 15 \\ 7.0 \times 10^{-7} PI^{1.976} & per\ 15 < PI \leq 70 \\ 2.7 \times 10^{-5} PI^{1.115} & per\ PI > 70 \end{cases} \quad (27)$$

dove G_{max} è dato dalla relazione

$$G_{max} = \rho V_s^2 \quad (28)$$

dove ρ è la densità del terreno e V_s la velocità di propagazione delle onde di taglio nello stesso. La (28) fornisce il valore iniziale di G per la prima iterazione.

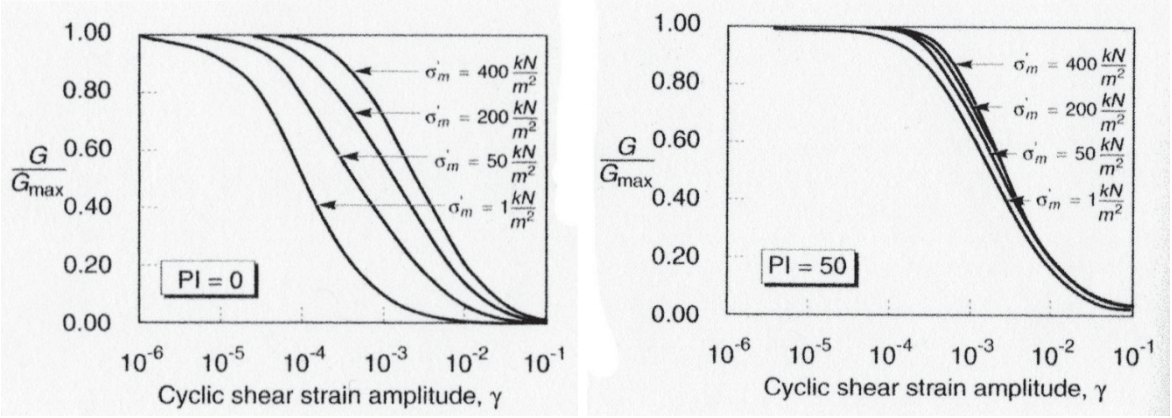


Figura 2: Influenza della pressione di confinamento e della plasticità sul modulo di deformazione al taglio.

Per quanto riguarda invece il coefficiente di smorzamento viscoso ξ, in conseguenza del modello introdotto dalla (24) si ha:

$$\xi = 0.333\frac{1+exp\left(-0.0145\,PI^{1.3}\right)}{2}\left[0.586\left(\frac{G}{G_{max}}\right)^2 - 1.547\frac{G}{G_{max}} + 1\right] \quad (29)$$

da cui si deduce che anche ξ deve essere ricalcolato ad ogni iterazione.

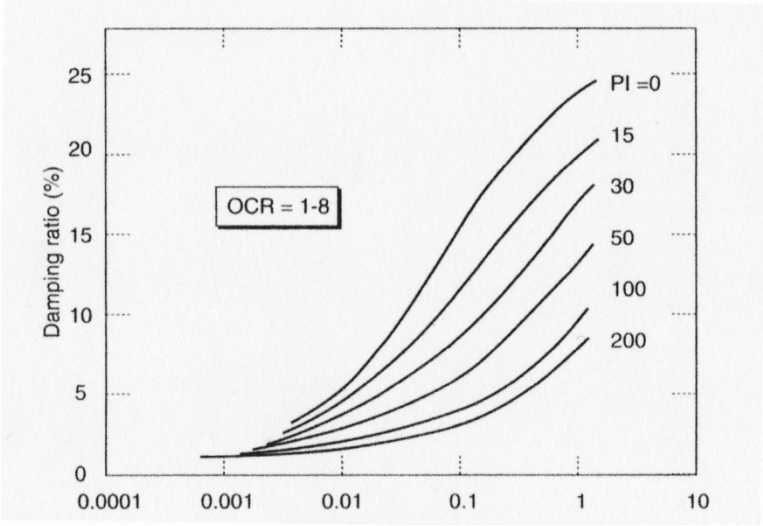


Figura 3: Influenza della plasticità sul coefficiente di smorzamento viscoso.

SLV

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s^2]	PGA_Y [m/s^2]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	C8 Site clas
292	146	ST98	Campano Lucano	23/11/1980	6,9	normal	25	0,5878	0,5876	0,0436	0,0585	16,351	13,7949	0,65537	1,162	A
342	307	ST124	Cazulas	24/06/1984	4,9	oblique	24	0,1501	0,1735	0,0139	0,0089	5,5538	7,8634	0,72104	0,50194	A
368	175	ST143	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5,9	normal	22	0,628	0,6706	0,0563	0,0385	7,0298	9,0898	0,9295	0,84769	A
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6,3	strike slip	14	5,0514	2,9178	0,336	0,2097	7,3341	8,4263	0,64556	0,85171	A
4675	1635	ST2487	South Iceland	17/06/2000	6,5	strike slip	13	1,2916	1,5325	0,1611	0,101	4,8619	7,669	0,79499	0,70631	A
55	34	ST20	Friuli	06/05/1976	6,5	thrust	23	3,4985	3,0968	0,2061	0,3262	6,9175	7,2301	0,56953	0,68607	A
4674	1635	ST2486	South Iceland	17/06/2000	6,5	strike slip	5	3,1176	3,3109	0,6122	0,2377	4,0709	9,8457	0,79545	0,58565	A
mean:					6,214286		18	2,046428571	1,755671429	0,20417143	0,14007143	7,445571	9,131314	0,730206	0,763054	

SLD

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s^2]	PGA_Y [m/s^2]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	C8 Site clas
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6,3	strike slip	14	5,0514	2,9178	0,336	0,2097	7,3341	8,4263	0,64556	0,85171	A
342	307	ST124	Cazulas	24/06/1984	4,9	oblique	24	0,1501	0,1735	0,0139	0,0089	5,5538	7,8634	0,72104	0,50194	A
368	175	ST143	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5,9	normal	22	0,628	0,6706	0,0563	0,0385	7,0298	9,0898	0,9295	0,84769	A
368	175	ST143	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5,9	normal	22	0,628	0,6706	0,0563	0,0385	7,0298	9,0898	0,9295	0,84769	A
1891	651	ST1320	Kranidia	25/10/1984	5,5	?	23	0,3488	0,2552	0,0107	0,0227	8,0673	4,4419	0,77818	0,61965	A
5272	1338	ST2487	Mt. Vatnafjoll	25/05/1987	6	oblique	24	0,3222	0,243	0,0168	0,0228	7,194	5,4809	0,55432	0,5671	A
5078	1464	ST2496	Mt. Hengill Area	04/06/1998	5,4	strike slip	18	0,1325	0,2386	0,0105	0,0193	5,2737	2,6775	0,86643	0,68945	A
mean:					5,7		21	1,037285714	0,738471429	0,0715	0,0514857	6,783214	6,724229	0,774936	0,703604	

SLO

Waveform ID	Earthquake ID	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mechanism	Epicentral Distance [km]	PGA_X [m/s^2]	PGA_Y [m/s^2]	PGV_X [m/s]	PGV_Y [m/s]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	C8 Site class
7142	2309	ST539	Bingol	01/05/2003	6,3	strike slip	14	5,0514	2,9178	0,336	0,2097	7,3341	8,4263	0,64556	0,85171	A
368	175	ST143	Lazio Abruzzo	07/05/1984	5,9	normal	22	0,628	0,6706	0,0563	0,0385	7,0298	9,0898	0,9295	0,84769	A
383	176	ST153	Lazio Abruzzo (aftershock)	11/05/1984	5,5	normal	14	0,1983	0,2012	0,0143	0,009	8,2592	10,2276	0,85738	0,73207	A
1891	651	ST1320	Kranidia	25/10/1984	5,5	normal	23	0,3488	0,2552	0,0107	0,0227	8,0673	4,4419	0,77818	0,61965	A
5272	1338	ST2487	Mt. Vatnafjoll	25/05/1987	6	oblique	24	0,3222	0,243	0,0168	0,0228	7,194	5,4809	0,55432	0,5671	A
789	355	ST225	Umbria Marche (aftershock)	12/10/1997	5,2	oblique	22	0,2465	0,1874	0,0148	0,0109	5,973	6,7536	0,55583	0,76796	A
6331	2142	ST2486	South Iceland (aftershock)	21/06/2000	6,4	strike slip	22	0,513	0,386	0,0572	0,0397	6,5052	7,101	1,0681	0,76636	A
mean:					5,828571		20,14285714	1,044028571	0,694457143	0,0723	0,050471429	7,194657	7,360157	0,769836	0,736076	

Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

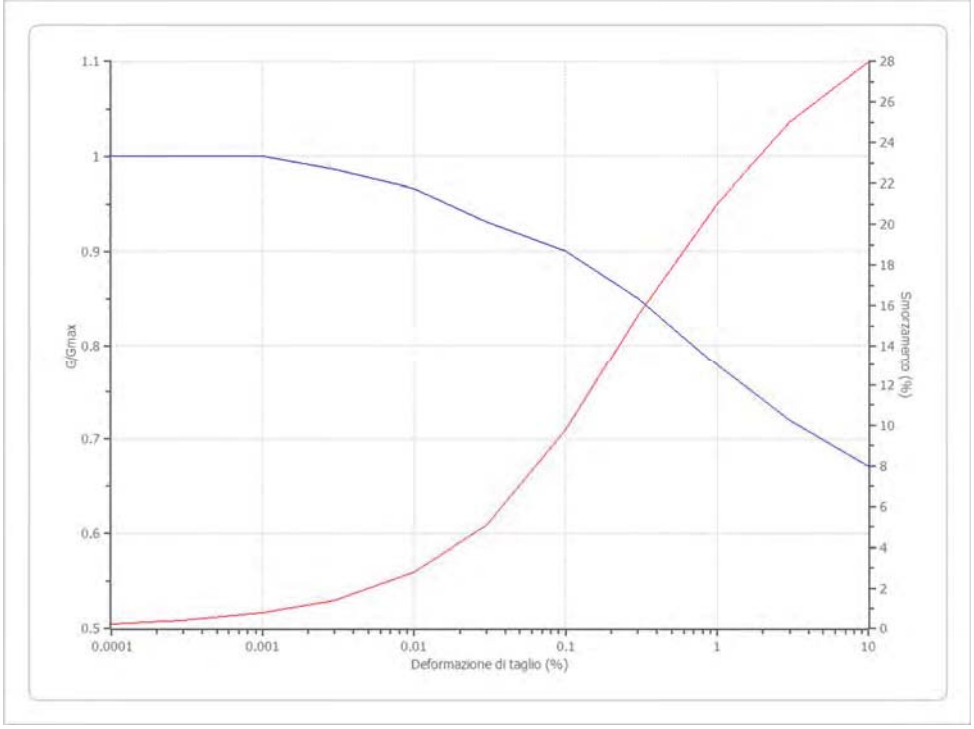
Dati generali Intervento 1

Data della prova	d.C./04/2021
Via	S. Maria la Castagna - Montalto Uffugo (CS)
Latitudine	39.3933[°]
Longitudine	16.129282[°]

Terreni

Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)

Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	1.000	0.001	0.800
0.003	0.986	0.003	1.400
0.010	0.966	0.010	2.800
0.030	0.931	0.030	5.100
0.100	0.900	0.100	9.800
0.300	0.850	0.300	15.500
1.000	0.779	1.000	21.000
3.000	0.720	3.000	25.000
10.000	0.671	10.000	28.000

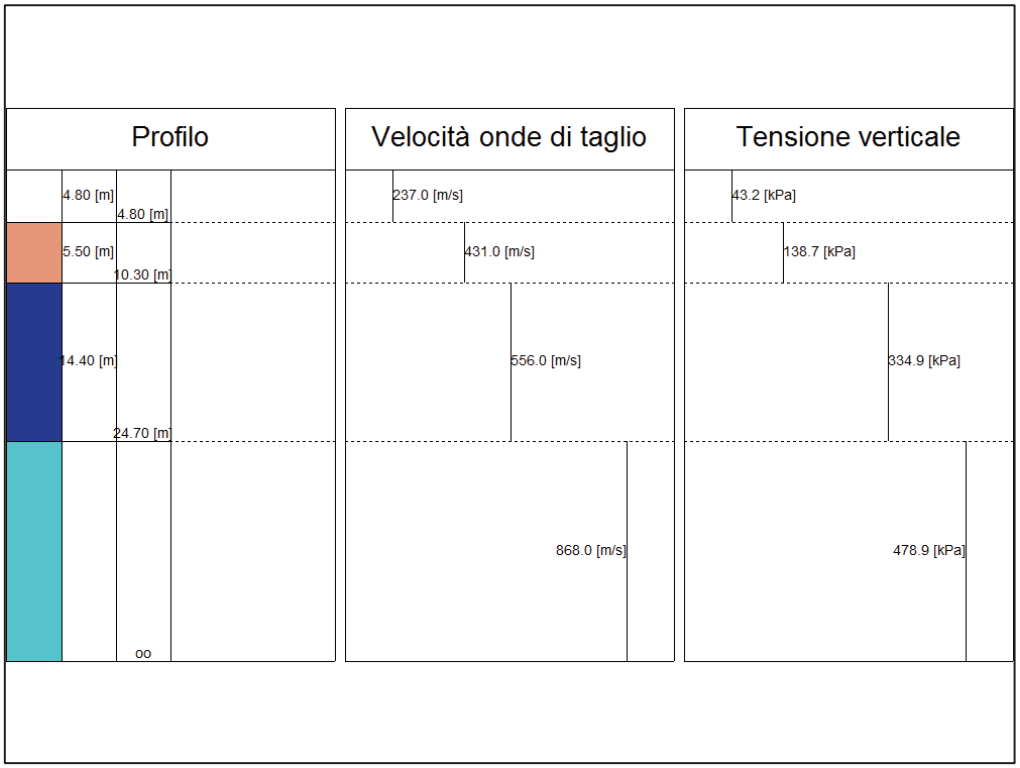


Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	4.8	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	103.06	--	18.0	237.0	43.2
2		4.8	5.5	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	359.78	--	19.0	431.0	138.7
3		10.3	14.4	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	630.25	--	20.0	556.0	334.9
4		oo	--	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	1536.03	--	20.0	868.0	478.9

Strato rilevamento accelerogramma: 4 Affiorante

Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).



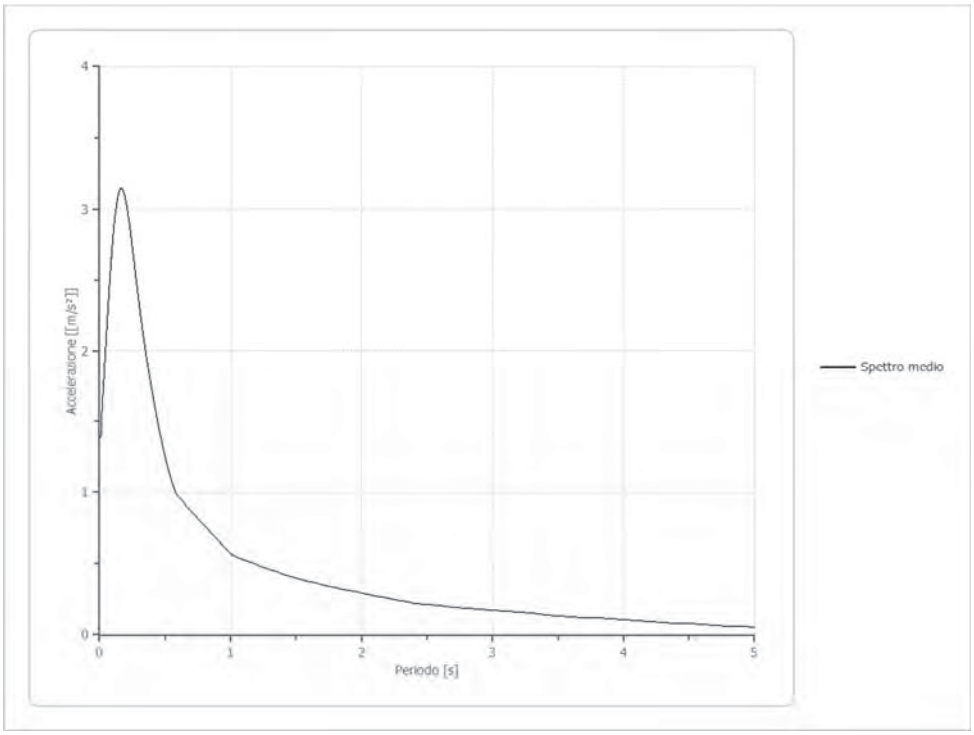
Elaborazione SLO Intervento 1

Numero di iterazioni 40
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza --

Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	1.3915	0.28	2.4985	0.56	1.0517	1.25	0.4748	2.90	0.1801
0.01	1.3918	0.29	2.4219	0.57	1.0246	1.30	0.4583	3.00	0.1723
0.02	1.6192	0.30	2.3469	0.58	0.9990	1.35	0.4427	3.10	0.1647
0.03	1.7588	0.31	2.2738	0.60	0.9747	1.40	0.4278	3.20	0.1573
0.04	1.9297	0.32	2.2030	0.62	0.9514	1.45	0.4137	3.30	0.1500
0.05	2.0849	0.33	2.1346	0.64	0.9291	1.50	0.4003	3.40	0.1429
0.06	2.2405	0.34	2.0684	0.66	0.9075	1.55	0.3876	3.50	0.1360
0.07	2.3880	0.35	2.0046	0.68	0.8864	1.60	0.3756	3.60	0.1294
0.08	2.5281	0.36	1.9430	0.70	0.8658	1.65	0.3642	3.70	0.1229
0.09	2.6578	0.37	1.8834	0.72	0.8455	1.70	0.3532	3.80	0.1166
0.10	2.7752	0.38	1.8258	0.74	0.8255	1.75	0.3427	3.90	0.1105
0.11	2.8786	0.39	1.7699	0.76	0.8056	1.80	0.3325	4.00	0.1045

0.12	2.9661	0.40	1.7156	0.78	0.7858	1.85	0.3225	4.10	0.0987
0.13	3.0368	0.41	1.6629	0.80	0.7661	1.90	0.3128	4.20	0.0930
0.14	3.0897	0.42	1.6116	0.82	0.7463	1.95	0.3031	4.30	0.0875
0.15	3.1248	0.43	1.5616	0.84	0.7265	2.00	0.2936	4.40	0.0820
0.16	3.1423	0.44	1.5129	0.86	0.7066	2.05	0.2842	4.50	0.0767
0.17	3.1430	0.45	1.4656	0.88	0.6866	2.10	0.2748	4.60	0.0715
0.18	3.1282	0.46	1.4197	0.90	0.6666	2.15	0.2656	4.70	0.0665
0.19	3.0992	0.47	1.3752	0.92	0.6465	2.20	0.2564	4.80	0.0617
0.20	3.0579	0.48	1.3322	0.94	0.6263	2.25	0.2474	4.90	0.0570
0.21	3.0061	0.49	1.2908	0.96	0.6063	2.30	0.2385	5.00	0.0526
0.22	2.9457	0.50	1.2511	0.98	0.5863	2.35	0.2297		
0.23	2.8787	0.51	1.2132	1.00	0.5666	2.40	0.2211		
0.24	2.8067	0.52	1.1772	1.05	0.5472	2.50	0.2126		
0.25	2.7314	0.53	1.1431	1.10	0.5282	2.60	0.2043		
0.26	2.6541	0.54	1.1108	1.15	0.5098	2.70	0.1961		
0.27	2.5762	0.55	1.0804	1.20	0.4919	2.80	0.1880		

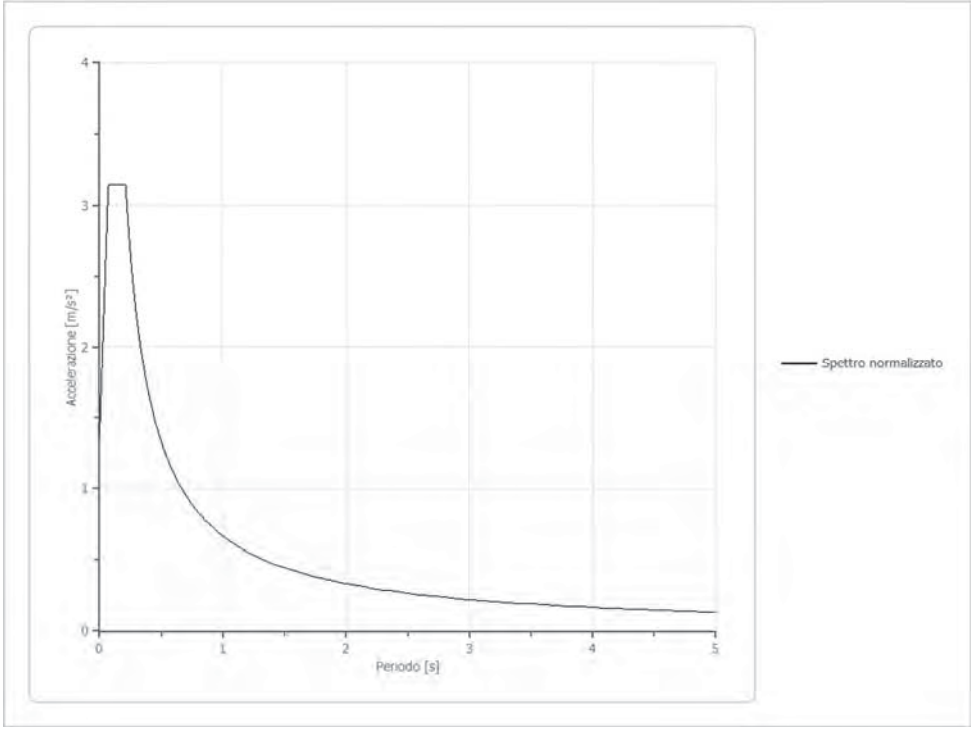


Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	1.3707	0.28	2.3771	0.56	1.1885	1.25	0.5325	2.90	0.2295
0.01	1.6218	0.29	2.2951	0.57	1.1677	1.30	0.5120	3.00	0.2219
0.02	1.8729	0.30	2.2186	0.58	1.1475	1.35	0.4930	3.10	0.2147
0.03	2.1240	0.31	2.1470	0.60	1.1093	1.40	0.4754	3.20	0.2080
0.04	2.3750	0.32	2.0799	0.62	1.0735	1.45	0.4590	3.30	0.2017
0.05	2.6261	0.33	2.0169	0.64	1.0400	1.50	0.4437	3.40	0.1958
0.06	2.8772	0.34	1.9576	0.66	1.0085	1.55	0.4294	3.50	0.1902
0.07	3.1283	0.35	1.9016	0.68	0.9788	1.60	0.4160	3.60	0.1849
0.08	3.1430	0.36	1.8488	0.70	0.9508	1.65	0.4034	3.70	0.1799
0.09	3.1430	0.37	1.7989	0.72	0.9244	1.70	0.3915	3.80	0.1752
0.10	3.1430	0.38	1.7515	0.74	0.8994	1.75	0.3803	3.90	0.1707
0.11	3.1430	0.39	1.7066	0.76	0.8758	1.80	0.3698	4.00	0.1664
0.12	3.1430	0.40	1.6639	0.78	0.8533	1.85	0.3598	4.10	0.1623
0.13	3.1430	0.41	1.6234	0.80	0.8320	1.90	0.3503	4.20	0.1585
0.14	3.1430	0.42	1.5847	0.82	0.8117	1.95	0.3413	4.30	0.1548
0.15	3.1430	0.43	1.5479	0.84	0.7924	2.00	0.3328	4.40	0.1513
0.16	3.1430	0.44	1.5127	0.86	0.7739	2.05	0.3247	4.50	0.1479
0.17	3.1430	0.45	1.4791	0.88	0.7563	2.10	0.3169	4.60	0.1447
0.18	3.1430	0.46	1.4469	0.90	0.7395	2.15	0.3096	4.70	0.1416
0.19	3.1430	0.47	1.4161	0.92	0.7235	2.20	0.3025	4.80	0.1387
0.20	3.1430	0.48	1.3866	0.94	0.7081	2.25	0.2958	4.90	0.1358
0.21	3.1430	0.49	1.3583	0.96	0.6933	2.30	0.2894	5.00	0.1331
0.22	3.0254	0.50	1.3312	0.98	0.6792	2.35	0.2832		
0.23	2.8938	0.51	1.3051	1.00	0.6656	2.40	0.2773		
0.24	2.7732	0.52	1.2800	1.05	0.6339	2.50	0.2662		
0.25	2.6623	0.53	1.2558	1.10	0.6051	2.60	0.2560		
0.26	2.5599	0.54	1.2326	1.15	0.5788	2.70	0.2465		
0.27	2.4651	0.55	1.2101	1.20	0.5546	2.80	0.2377		

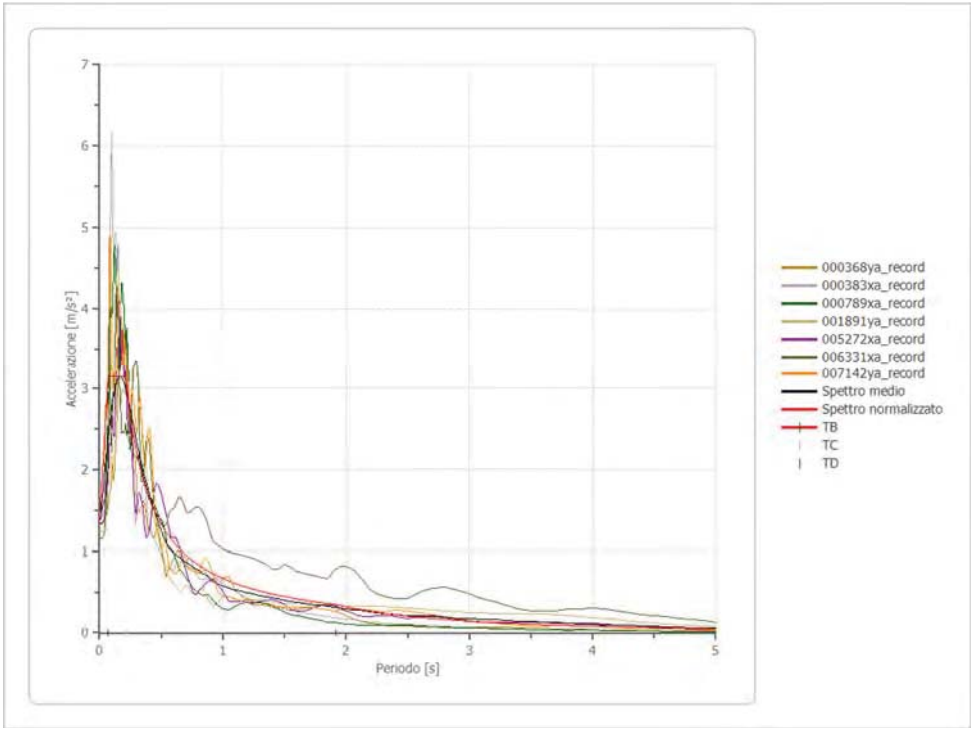
Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).



Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s²]	Se(TB) [m/s²]	S
1.371	2.293	--	0.071	0.212	1.916	1.371	3.143	1.000

Confronto tra gli spettri

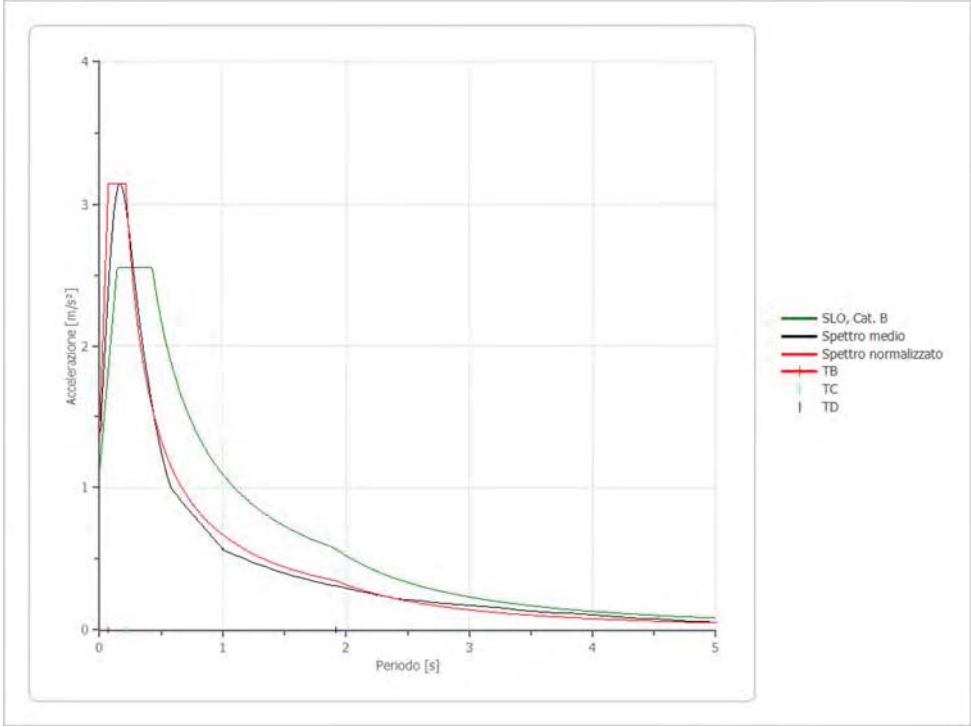


Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	45	75	712	1462
ag [m/s²]	0.775	1.010	2.835	3.767
Fo	2.293	2.309	2.444	2.48
Tc* [s]	0.306	0.325	0.387	0.416
Ss	1.20	1.20	1.12	1.02
St	1.20	1.20	1.20	1.20
Cc	1.39	1.38	1.33	1.31
TB [s]	0.142	0.149	0.172	0.182
TC [s]	0.427	0.448	0.515	0.545
TD [s]	1.916	2.012	2.756	3.136
Se(0) [m/s²]	1.116	1.454	3.802	4.607
Se(TB) [m/s²]	2.559	3.358	9.291	11.424

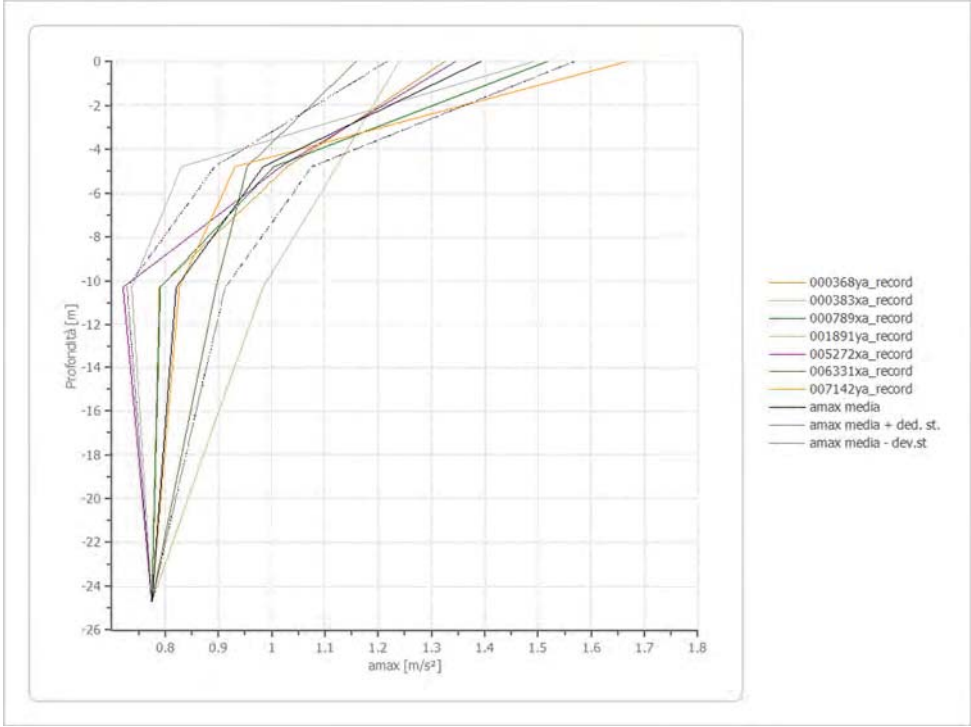
Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).



Profilo a max

	0.0 [m]	4.8 [m]	10.3 [m]	24.7 [m]
000368ya_record [m/s²]	1.325	1.029	0.790	0.775
000383xa_record [m/s²]	1.491	0.831	0.737	0.775
000789xa_record [m/s²]	1.516	1.004	0.791	0.775
001891ya_record [m/s²]	1.239	1.122	0.984	0.775
005272xa_record [m/s²]	1.345	1.017	0.721	0.775
006331xa_record [m/s²]	1.159	0.954	0.896	0.775
007142ya_record [m/s²]	1.666	0.931	0.827	0.775
media [m/s²]	1.391	0.984	0.821	0.775
Dev. St. [m/s²]	0.175	0.091	0.092	0.000

Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).



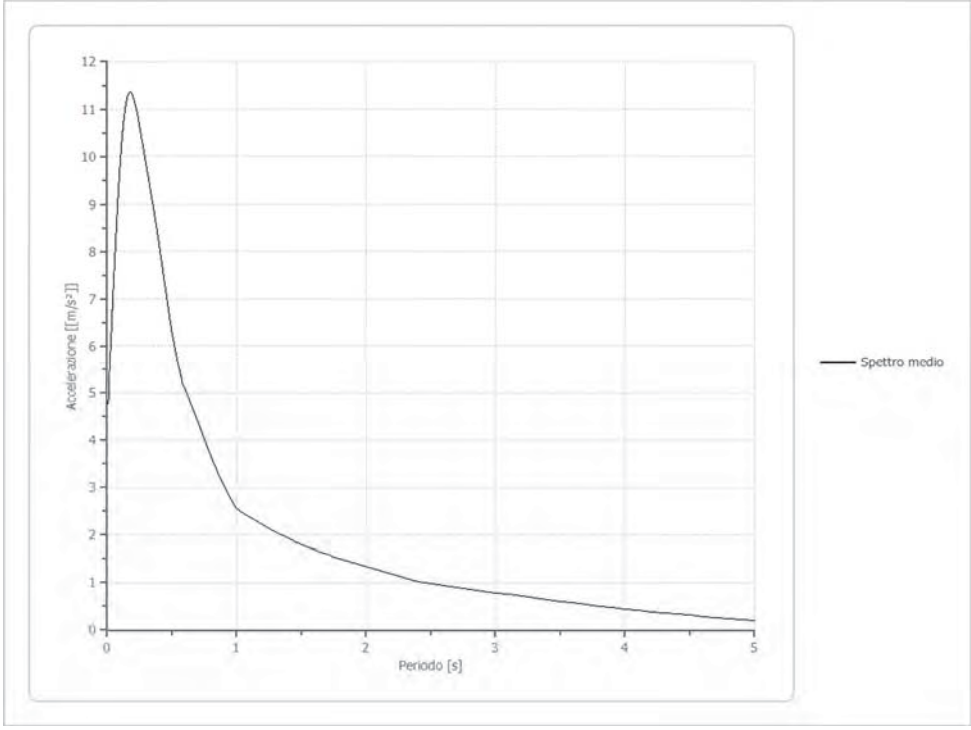
Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

Elaborazione SLV Intervento 1

Numero di iterazioni 40
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza 1.55 E-04

Spettro medio di risposta elastico

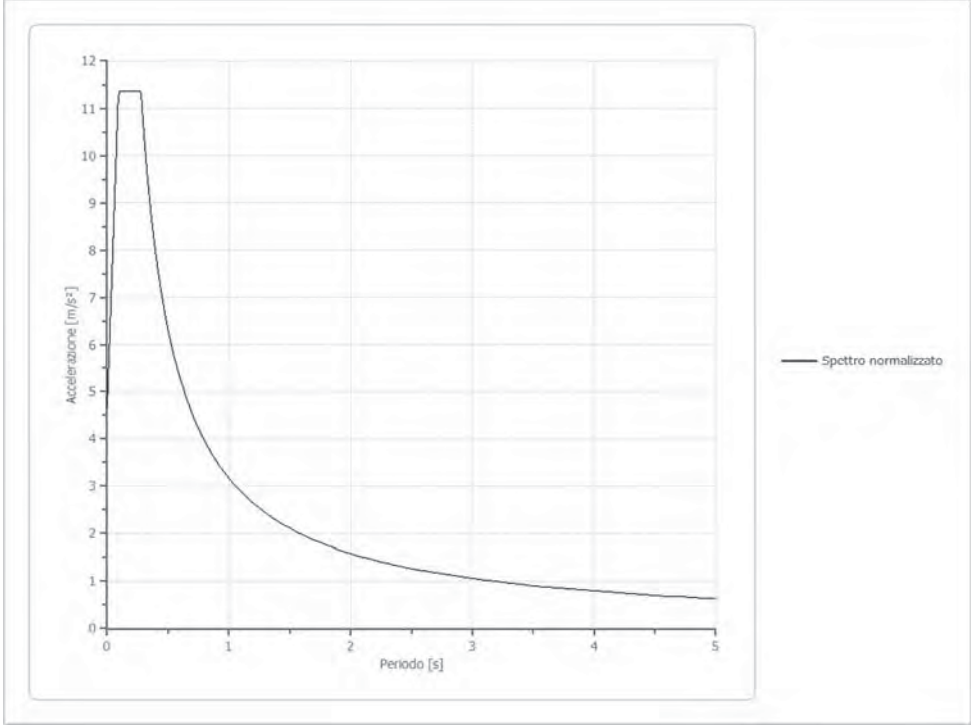
Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	4.7695	0.28	10.1627	0.56	5.4711	1.25	2.1391	2.90	0.8261
0.01	4.7705	0.29	10.0005	0.57	5.3435	1.30	2.0662	3.00	0.7883
0.02	5.6202	0.30	9.8392	0.58	5.2154	1.35	1.9963	3.10	0.7509
0.03	6.1394	0.31	9.6791	0.60	5.0857	1.40	1.9292	3.20	0.7141
0.04	6.7736	0.32	9.5200	0.62	4.9532	1.45	1.8652	3.30	0.6779
0.05	7.3458	0.33	9.3612	0.64	4.8176	1.50	1.8042	3.40	0.6424
0.06	7.9162	0.34	9.2019	0.66	4.6788	1.55	1.7463	3.50	0.6076
0.07	8.4537	0.35	9.0410	0.68	4.5369	1.60	1.6914	3.60	0.5735
0.08	8.9616	0.36	8.8774	0.70	4.3928	1.65	1.6393	3.70	0.5403
0.09	9.4300	0.37	8.7101	0.72	4.2473	1.70	1.5900	3.80	0.5079
0.10	9.8546	0.38	8.5383	0.74	4.1015	1.75	1.5431	3.90	0.4764
0.11	10.2299	0.39	8.3614	0.76	3.9567	1.80	1.4983	4.00	0.4458
0.12	10.5524	0.40	8.1793	0.78	3.8140	1.85	1.4553	4.10	0.4163
0.13	10.8198	0.41	7.9924	0.80	3.6744	1.90	1.4138	4.20	0.3879
0.14	11.0315	0.42	7.8015	0.82	3.5388	1.95	1.3733	4.30	0.3606
0.15	11.1884	0.43	7.6078	0.84	3.4079	2.00	1.3336	4.40	0.3345
0.16	11.2929	0.44	7.4128	0.86	3.2822	2.05	1.2944	4.50	0.3097
0.17	11.3485	0.45	7.2185	0.88	3.1619	2.10	1.2554	4.60	0.2862
0.18	11.3599	0.46	7.0267	0.90	3.0470	2.15	1.2164	4.70	0.2640
0.19	11.3320	0.47	6.8392	0.92	2.9375	2.20	1.1774	4.80	0.2433
0.20	11.2706	0.48	6.6578	0.94	2.8331	2.25	1.1383	4.90	0.2239
0.21	11.1811	0.49	6.4836	0.96	2.7335	2.30	1.0991	5.00	0.2058
0.22	11.0689	0.50	6.3176	0.98	2.6381	2.35	1.0598		
0.23	10.9391	0.51	6.1599	1.00	2.5468	2.40	1.0205		
0.24	10.7962	0.52	6.0102	1.05	2.4590	2.50	0.9812		
0.25	10.6441	0.53	5.8679	1.10	2.3746	2.60	0.9421		
0.26	10.4862	0.54	5.7317	1.15	2.2932	2.70	0.9031		
0.27	10.3250	0.55	5.6000	1.20	2.2147	2.80	0.8644		



Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	4.6481	0.28	11.3008	0.56	5.6504	1.25	2.5314	2.90	1.0911
0.01	5.3709	0.29	10.9111	0.57	5.5513	1.30	2.4340	3.00	1.0547
0.02	6.0938	0.30	10.5474	0.58	5.4556	1.35	2.3439	3.10	1.0207
0.03	6.8167	0.31	10.2072	0.60	5.2737	1.40	2.2602	3.20	0.9888
0.04	7.5396	0.32	9.8882	0.62	5.1036	1.45	2.1822	3.30	0.9589
0.05	8.2624	0.33	9.5886	0.64	4.9441	1.50	2.1095	3.40	0.9307
0.06	8.9853	0.34	9.3066	0.66	4.7943	1.55	2.0414	3.50	0.9041
0.07	9.7082	0.35	9.0407	0.68	4.6533	1.60	1.9776	3.60	0.8790
0.08	10.4311	0.36	8.7895	0.70	4.5203	1.65	1.9177	3.70	0.8552
0.09	11.1539	0.37	8.5520	0.72	4.3948	1.70	1.8613	3.80	0.8327
0.10	11.3599	0.38	8.3269	0.74	4.2760	1.75	1.8081	3.90	0.8113
0.11	11.3599	0.39	8.1134	0.76	4.1635	1.80	1.7579	4.00	0.7911
0.12	11.3599	0.40	7.9106	0.78	4.0567	1.85	1.7104	4.10	0.7718
0.13	11.3599	0.41	7.7176	0.80	3.9553	1.90	1.6654	4.20	0.7534
0.14	11.3599	0.42	7.5339	0.82	3.8588	1.95	1.6227	4.30	0.7359
0.15	11.3599	0.43	7.3587	0.84	3.7669	2.00	1.5821	4.40	0.7191
0.16	11.3599	0.44	7.1914	0.86	3.6793	2.05	1.5435	4.50	0.7032
0.17	11.3599	0.45	7.0316	0.88	3.5957	2.10	1.5068	4.60	0.6879
0.18	11.3599	0.46	6.8788	0.90	3.5158	2.15	1.4717	4.70	0.6732
0.19	11.3599	0.47	6.7324	0.92	3.4394	2.20	1.4383	4.80	0.6592

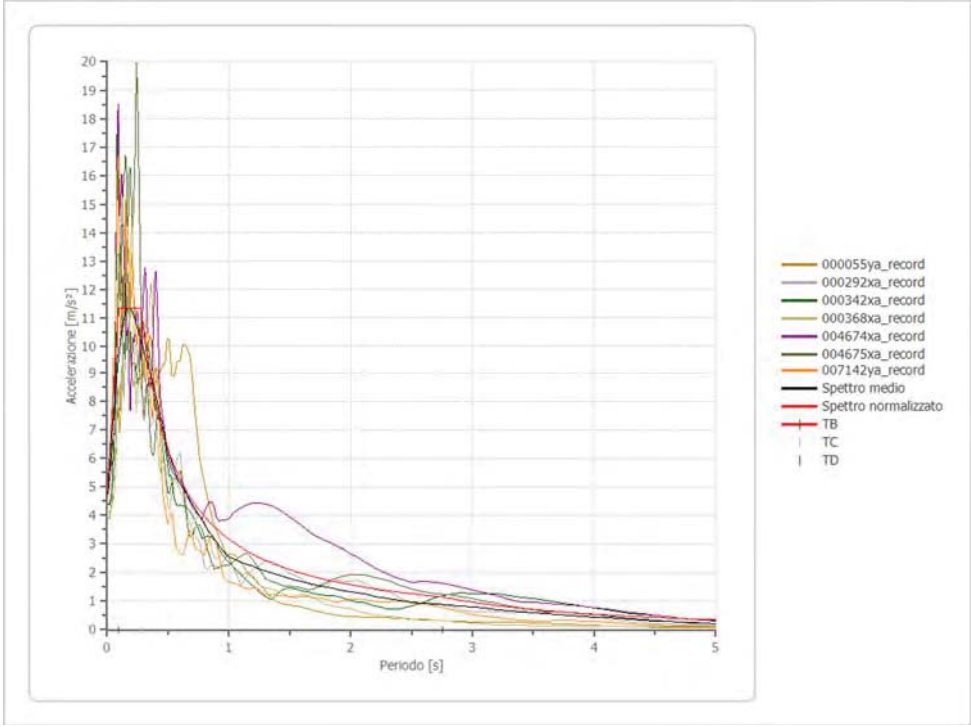
0.20	11.3599	0.48	6.5921	0.94	3.3662	2.25	1.4063	4.90	0.6458
0.21	11.3599	0.49	6.4576	0.96	3.2961	2.30	1.3758	5.00	0.6328
0.22	11.3599	0.50	6.3285	0.98	3.2288	2.35	1.3465		
0.23	11.3599	0.51	6.2044	1.00	3.1642	2.40	1.3184		
0.24	11.3599	0.52	6.0851	1.05	3.0136	2.50	1.2657		
0.25	11.3599	0.53	5.9702	1.10	2.8766	2.60	1.2170		
0.26	11.3599	0.54	5.8597	1.15	2.7515	2.70	1.1719		
0.27	11.3599	0.55	5.7531	1.20	2.6369	2.80	1.1301		



Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s²]	Se(TB) [m/s²]	S
4.648	2.444	--	0.093	0.279	2.756	4.648	11.360	1.000

Confronto tra gli spettri

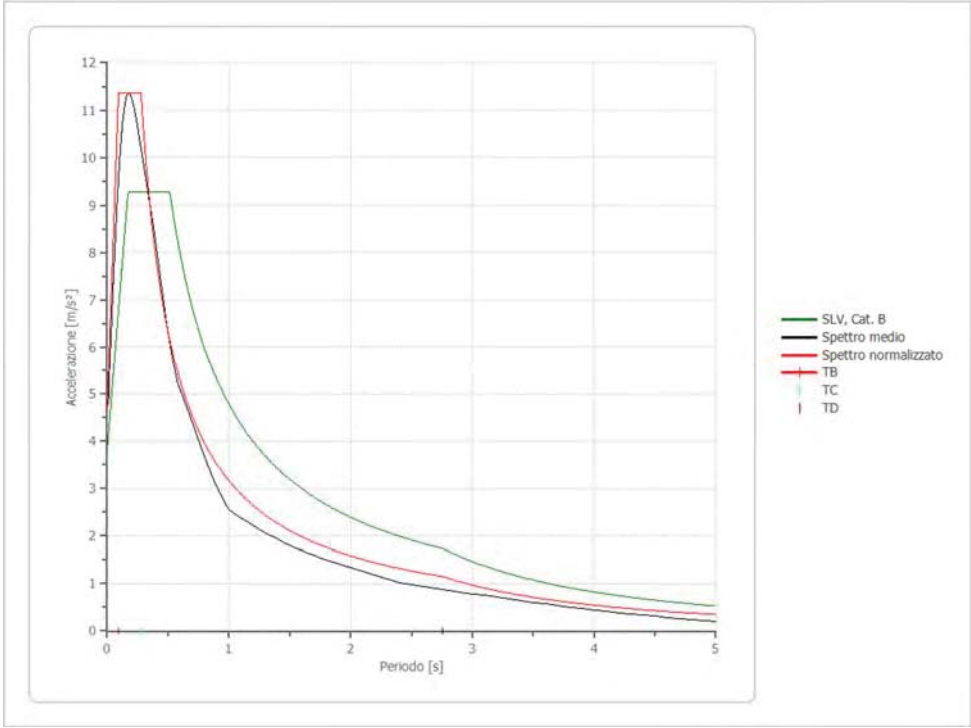


Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	45	75	712	1462
ag [m/s²]	0.775	1.010	2.835	3.767
Fo	2.293	2.309	2.444	2.48
Tc* [s]	0.306	0.325	0.387	0.416
Ss	1.20	1.20	1.12	1.02
St	1.20	1.20	1.20	1.20
Cc	1.39	1.38	1.33	1.31
TB [s]	0.142	0.149	0.172	0.182
TC [s]	0.427	0.448	0.515	0.545
TD [s]	1.916	2.012	2.756	3.136
Se(0) [m/s²]	1.116	1.454	3.802	4.607
Se(TB) [m/s²]	2.559	3.358	9.291	11.424

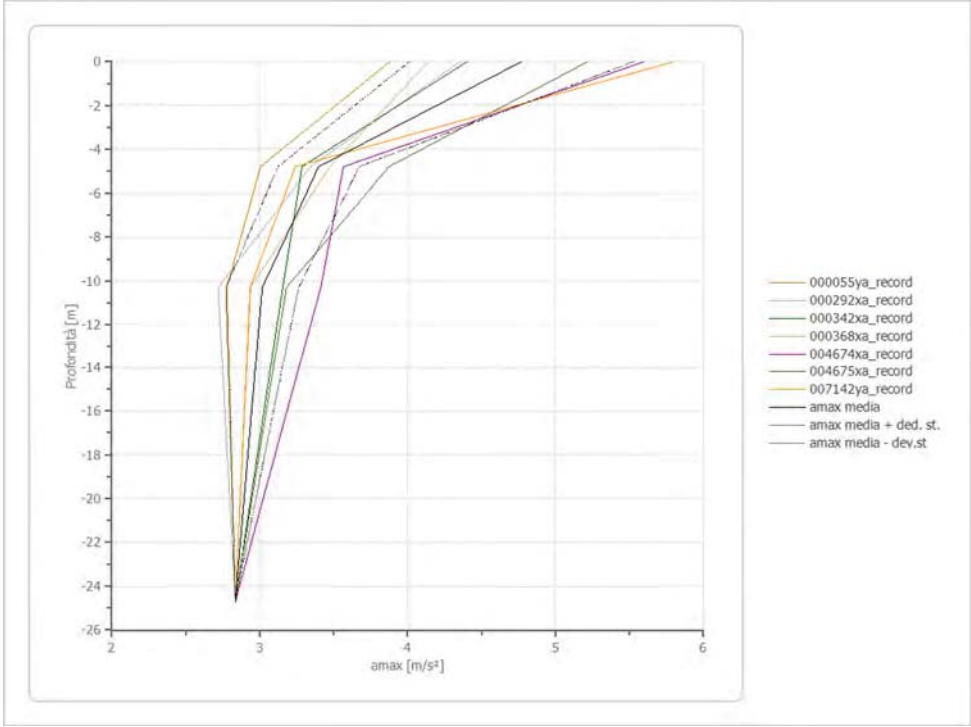
Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).



Profilo a max

	0.0 [m]	4.8 [m]	10.3 [m]	24.7 [m]
000055ya_record [m/s²]	3.879	3.005	2.778	2.835
000292xa_record [m/s²]	4.353	3.342	2.718	2.835
000342xa_record [m/s²]	4.401	3.286	3.156	2.835
000368xa_record [m/s²]	4.141	3.473	2.938	2.835
004674xa_record [m/s²]	5.597	3.566	3.413	2.835
004675xa_record [m/s²]	5.217	3.873	3.181	2.835
007142ya_record [m/s²]	5.799	3.240	2.935	2.835
media [m/s²]	4.770	3.398	3.017	2.835
Dev. St. [m/s²]	0.757	0.275	0.246	0.000

Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).



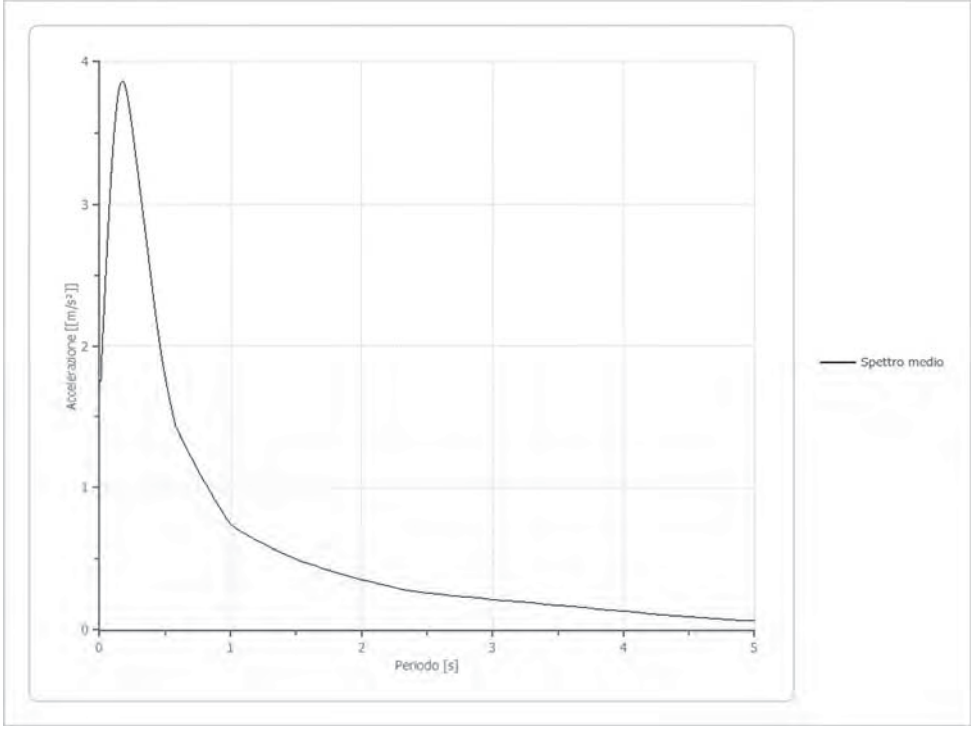
Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

Elaborazione SLD Intervento 1

Numero di iterazioni 40
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza --

Spettro medio di risposta elastico

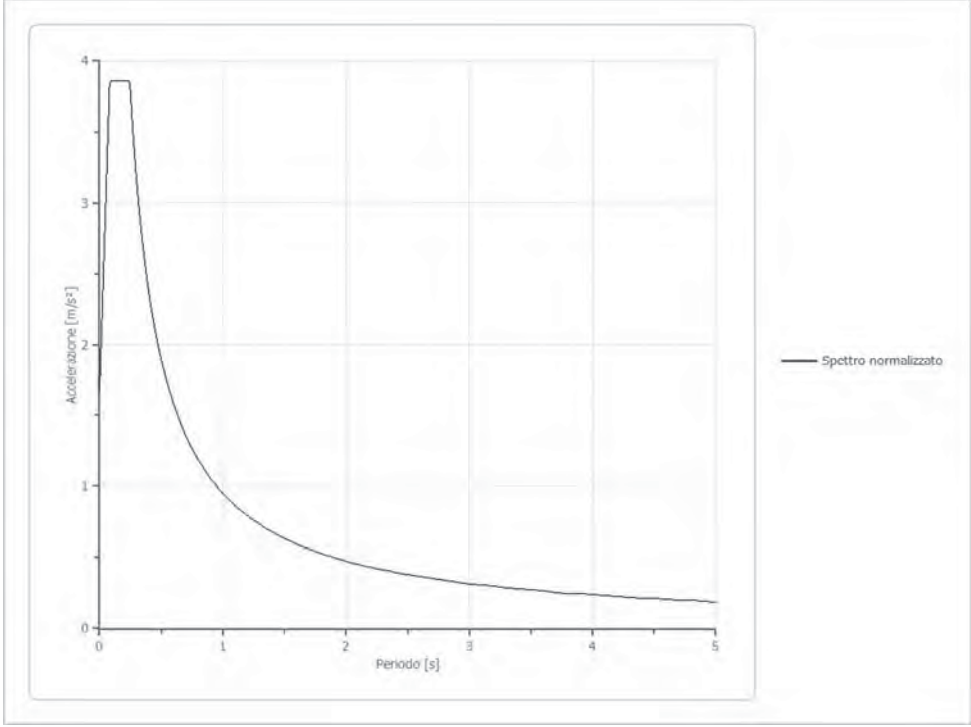
Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	1.7456	0.28	3.3111	0.56	1.5130	1.25	0.6041	2.90	0.2247
0.01	1.7458	0.29	3.2388	0.57	1.4727	1.30	0.5808	3.00	0.2161
0.02	2.0117	0.30	3.1668	0.58	1.4334	1.35	0.5586	3.10	0.2075
0.03	2.1744	0.31	3.0949	0.60	1.3948	1.40	0.5377	3.20	0.1990
0.04	2.3736	0.32	3.0230	0.62	1.3569	1.45	0.5179	3.30	0.1905
0.05	2.5540	0.33	2.9506	0.64	1.3195	1.50	0.4992	3.40	0.1820
0.06	2.7348	0.34	2.8777	0.66	1.2827	1.55	0.4817	3.50	0.1735
0.07	2.9062	0.35	2.8039	0.68	1.2465	1.60	0.4651	3.60	0.1650
0.08	3.0696	0.36	2.7293	0.70	1.2107	1.65	0.4494	3.70	0.1566
0.09	3.2218	0.37	2.6541	0.72	1.1756	1.70	0.4344	3.80	0.1483
0.10	3.3612	0.38	2.5785	0.74	1.1410	1.75	0.4201	3.90	0.1400
0.11	3.4860	0.39	2.5029	0.76	1.1070	1.80	0.4064	4.00	0.1319
0.12	3.5945	0.40	2.4278	0.78	1.0737	1.85	0.3931	4.10	0.1239
0.13	3.6854	0.41	2.3536	0.80	1.0408	1.90	0.3802	4.20	0.1161
0.14	3.7579	0.42	2.2809	0.82	1.0085	1.95	0.3677	4.30	0.1085
0.15	3.8115	0.43	2.2100	0.84	0.9767	2.00	0.3555	4.40	0.1011
0.16	3.8463	0.44	2.1414	0.86	0.9453	2.05	0.3436	4.50	0.0940
0.17	3.8628	0.45	2.0753	0.88	0.9142	2.10	0.3320	4.60	0.0872
0.18	3.8620	0.46	2.0118	0.90	0.8835	2.15	0.3208	4.70	0.0807
0.19	3.8455	0.47	1.9511	0.92	0.8532	2.20	0.3099	4.80	0.0746
0.20	3.8151	0.48	1.8932	0.94	0.8232	2.25	0.2993	4.90	0.0688
0.21	3.7727	0.49	1.8380	0.96	0.7936	2.30	0.2891	5.00	0.0634
0.22	3.7206	0.50	1.7853	0.98	0.7644	2.35	0.2792		
0.23	3.6609	0.51	1.7351	1.00	0.7357	2.40	0.2696		
0.24	3.5956	0.52	1.6871	1.05	0.7077	2.50	0.2602		
0.25	3.5267	0.53	1.6412	1.10	0.6804	2.60	0.2511		
0.26	3.4556	0.54	1.5970	1.15	0.6540	2.70	0.2422		
0.27	3.3835	0.55	1.5543	1.20	0.6285	2.80	0.2334		



Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	1.6729	0.28	3.3852	0.56	1.6926	1.25	0.7583	2.90	0.3268
0.01	1.9406	0.29	3.2685	0.57	1.6629	1.30	0.7291	3.00	0.3160
0.02	2.2084	0.30	3.1595	0.58	1.6342	1.35	0.7021	3.10	0.3058
0.03	2.4761	0.31	3.0576	0.60	1.5798	1.40	0.6770	3.20	0.2962
0.04	2.7438	0.32	2.9621	0.62	1.5288	1.45	0.6537	3.30	0.2872
0.05	3.0116	0.33	2.8723	0.64	1.4810	1.50	0.6319	3.40	0.2788
0.06	3.2793	0.34	2.7878	0.66	1.4362	1.55	0.6115	3.50	0.2708
0.07	3.5470	0.35	2.7082	0.68	1.3939	1.60	0.5924	3.60	0.2633
0.08	3.8147	0.36	2.6329	0.70	1.3541	1.65	0.5745	3.70	0.2562
0.09	3.8628	0.37	2.5618	0.72	1.3165	1.70	0.5576	3.80	0.2494
0.10	3.8628	0.38	2.4944	0.74	1.2809	1.75	0.5416	3.90	0.2430
0.11	3.8628	0.39	2.4304	0.76	1.2472	1.80	0.5266	4.00	0.2370
0.12	3.8628	0.40	2.3697	0.78	1.2152	1.85	0.5124	4.10	0.2312
0.13	3.8628	0.41	2.3119	0.80	1.1848	1.90	0.4989	4.20	0.2257
0.14	3.8628	0.42	2.2568	0.82	1.1559	1.95	0.4861	4.30	0.2204
0.15	3.8628	0.43	2.2043	0.84	1.1284	2.00	0.4739	4.40	0.2154
0.16	3.8628	0.44	2.1542	0.86	1.1022	2.05	0.4624	4.50	0.2106
0.17	3.8628	0.45	2.1064	0.88	1.0771	2.10	0.4514	4.60	0.2061
0.18	3.8628	0.46	2.0606	0.90	1.0532	2.15	0.4409	4.70	0.2017
0.19	3.8628	0.47	2.0167	0.92	1.0303	2.20	0.4308	4.80	0.1975

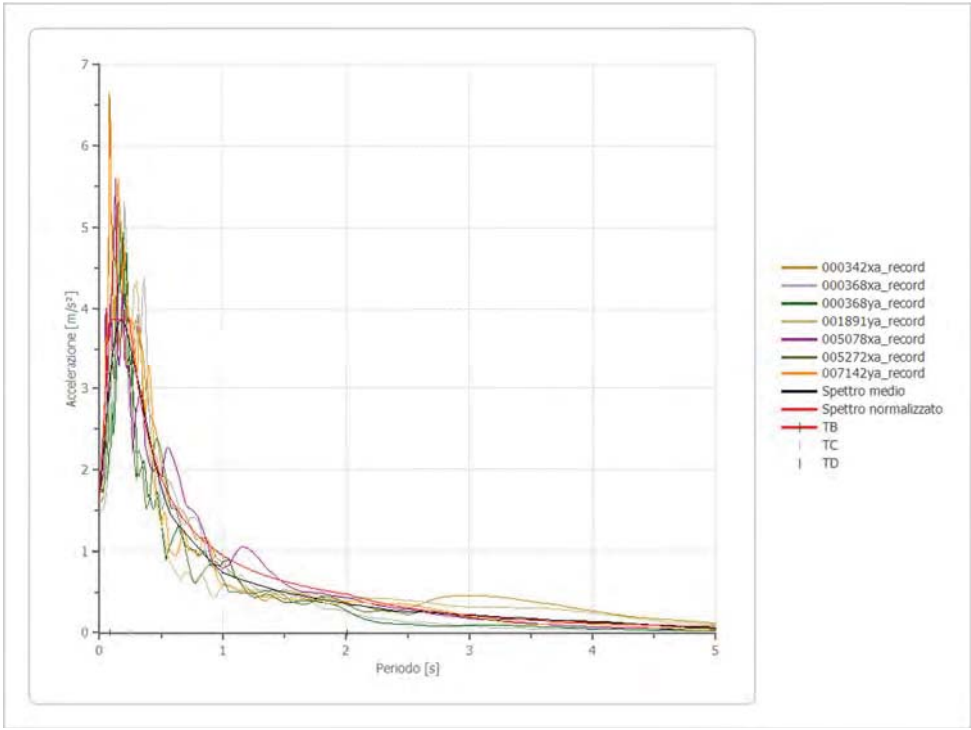
0.20	3.8628	0.48	1.9747	0.94	1.0084	2.25	0.4213	4.90	0.1934
0.21	3.8628	0.49	1.9344	0.96	0.9874	2.30	0.4121	5.00	0.1896
0.22	3.8628	0.50	1.8957	0.98	0.9672	2.35	0.4033		
0.23	3.8628	0.51	1.8586	1.00	0.9479	2.40	0.3949		
0.24	3.8628	0.52	1.8228	1.05	0.9027	2.50	0.3791		
0.25	3.7914	0.53	1.7884	1.10	0.8617	2.60	0.3646		
0.26	3.6456	0.54	1.7553	1.15	0.8242	2.70	0.3511		
0.27	3.5106	0.55	1.7234	1.20	0.7899	2.80	0.3385		



Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s²]	Se(TB) [m/s²]	S
1.673	2.309	--	0.082	0.245	2.012	1.673	3.863	1.000

Confronto tra gli spettri

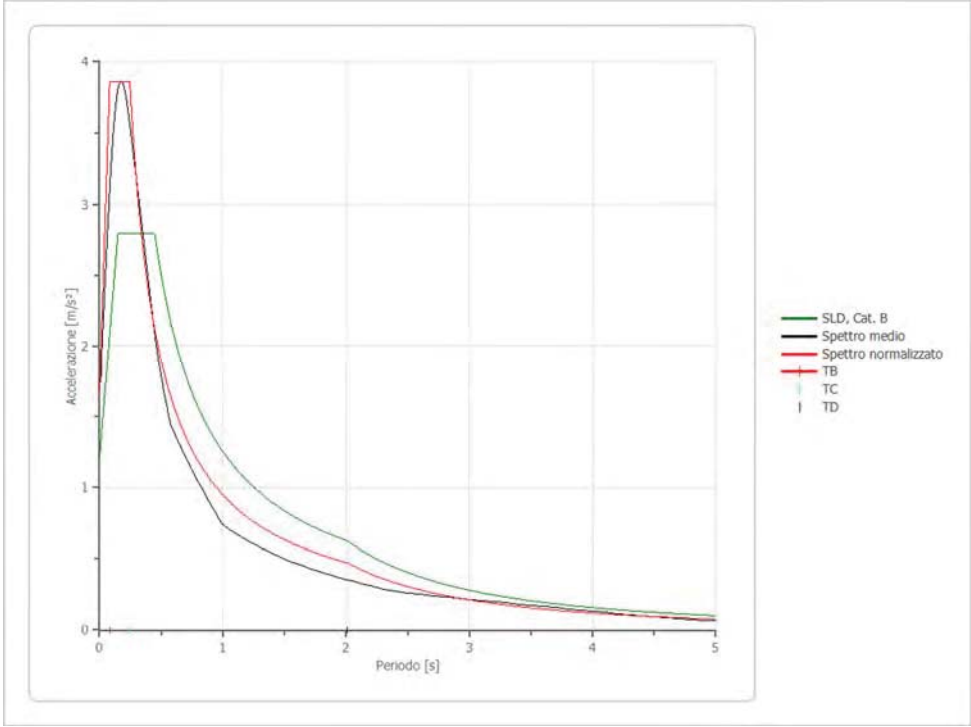


Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	45	75	712	1462
ag [m/s²]	0.775	1.010	2.835	3.767
Fo	2.293	2.309	2.444	2.48
Tc* [s]	0.306	0.325	0.387	0.416
Ss	1.20	1.20	1.12	1.02
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.39	1.38	1.33	1.31
TB [s]	0.142	0.149	0.172	0.182
TC [s]	0.427	0.448	0.515	0.545
TD [s]	1.916	2.012	2.756	3.136
Se(0) [m/s²]	0.930	1.212	3.168	3.839
Se(TB) [m/s²]	2.132	2.799	7.743	9.520

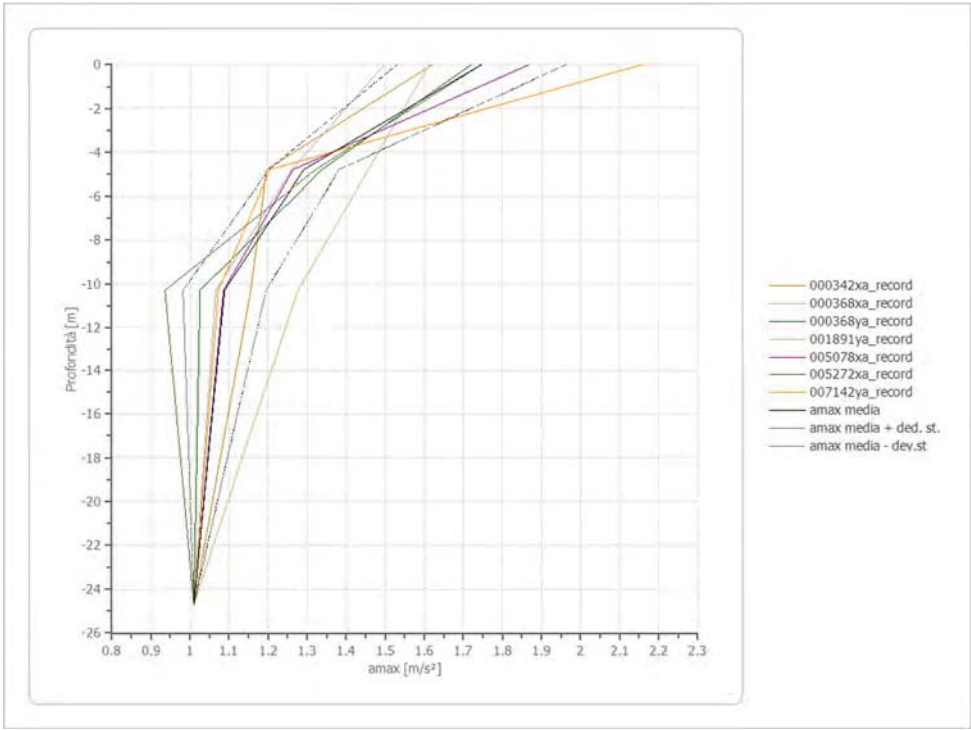
Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).



Profilo a max

	0.0 [m]	4.8 [m]	10.3 [m]	24.7 [m]
000342xa_record [m/s²]	1.620	1.196	1.156	1.010
000368xa_record [m/s²]	1.497	1.260	1.066	1.010
000368ya_record [m/s²]	1.720	1.337	1.026	1.010
001891ya_record [m/s²]	1.612	1.456	1.277	1.010
005078xa_record [m/s²]	1.868	1.264	1.086	1.010
005272xa_record [m/s²]	1.745	1.321	0.936	1.010
007142ya_record [m/s²]	2.156	1.205	1.073	1.010
media [m/s²]	1.746	1.291	1.088	1.010
Dev. St. [m/s²]	0.216	0.090	0.106	0.000

Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).



Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

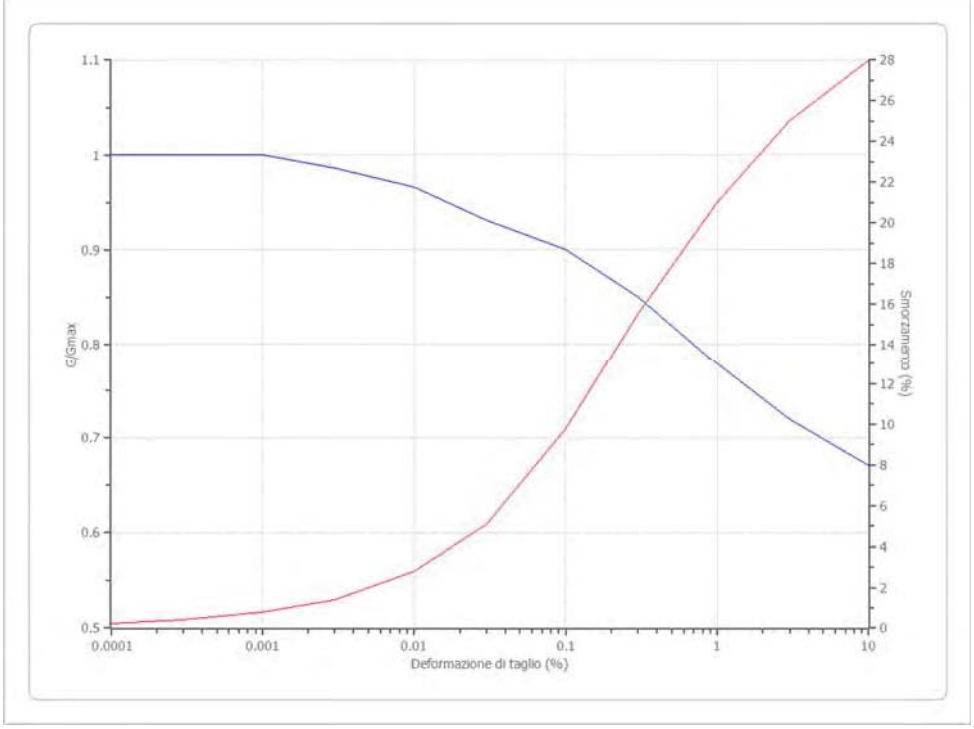
Dati generali Intervento 2

Data della prova	d.C./04/2021
Via	S. Maria la Castagna - Montalto Uffugo (CS)
Latitudine	39.3929977[°]
Longitudine	16.1306438[°]

Terreni

Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)

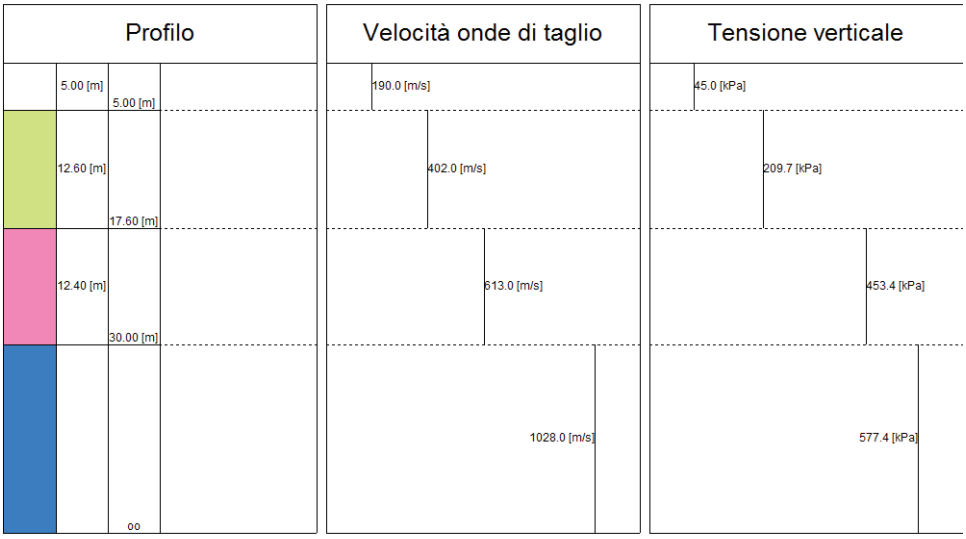
Deformazione %	G/Gmax	Deformazione %	Smorzamento %
0.0001	1.000	0.0001	0.240
0.0003	1.000	0.0003	0.420
0.001	1.000	0.001	0.800
0.003	0.986	0.003	1.400
0.010	0.966	0.010	2.800
0.030	0.931	0.030	5.100
0.100	0.900	0.100	9.800
0.300	0.850	0.300	15.500
1.000	0.779	1.000	21.000
3.000	0.720	3.000	25.000
10.000	0.671	10.000	28.000



Stratigrafia

n.	Descrizione	Profondità [m]	Spessore [m]	Terreno	Numero sottostrati	Gmax [MPa]	Smorzamento critico [%]	Peso unità vol. [kN/m³]	Vs [m/s]	Tensione verticale [kPa]
1		--	5.0	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	66.24	--	18.0	190.0	45.0
2		5.0	12.6	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	312.99	--	19.0	402.0	209.7
3		17.6	12.4	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	766.09	--	20.0	613.0	453.4
4		oo	--	Idriss (1990) Clay (Seed and Sun 1989)	0	2154.50	--	20.0	1028.0	577.4

Strato rilevamento accelerogramma: 4 Affiorante



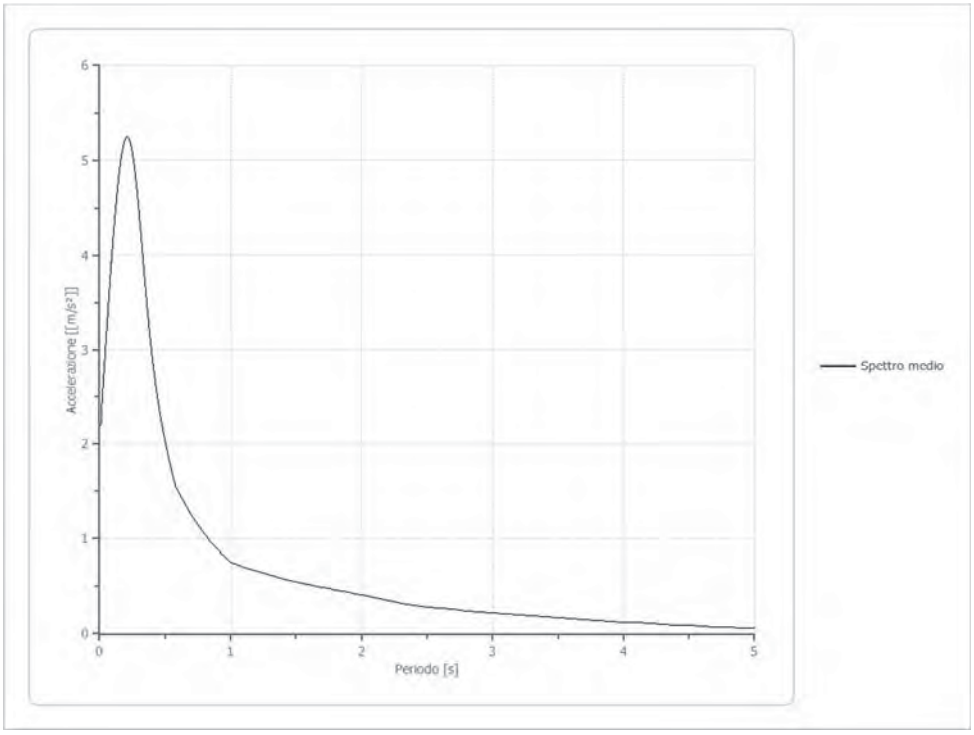
Elaborazione SLD Intervento 2

Numero di iterazioni 40
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza --

Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	2.2003	0.28	4.7583	0.56	1.6617	1.25	0.6375	2.90	0.2300
0.01	2.2006	0.29	4.6190	0.57	1.6058	1.30	0.6177	3.00	0.2183
0.02	2.5013	0.30	4.4692	0.58	1.5509	1.35	0.5988	3.10	0.2071
0.03	2.6864	0.31	4.3117	0.60	1.4971	1.40	0.5810	3.20	0.1963
0.04	2.9142	0.32	4.1497	0.62	1.4445	1.45	0.5640	3.30	0.1860
0.05	3.1231	0.33	3.9857	0.64	1.3932	1.50	0.5479	3.40	0.1761
0.06	3.3353	0.34	3.8222	0.66	1.3435	1.55	0.5325	3.50	0.1665
0.07	3.5407	0.35	3.6615	0.68	1.2956	1.60	0.5178	3.60	0.1573
0.08	3.7414	0.36	3.5053	0.70	1.2496	1.65	0.5035	3.70	0.1483
0.09	3.9346	0.37	3.3551	0.72	1.2056	1.70	0.4896	3.80	0.1397
0.10	4.1193	0.38	3.2117	0.74	1.1638	1.75	0.4760	3.90	0.1312
0.11	4.2941	0.39	3.0758	0.76	1.1240	1.80	0.4625	4.00	0.1230
0.12	4.4578	0.40	2.9477	0.78	1.0862	1.85	0.4491	4.10	0.1150
0.13	4.6091	0.41	2.8273	0.80	1.0502	1.90	0.4356	4.20	0.1073

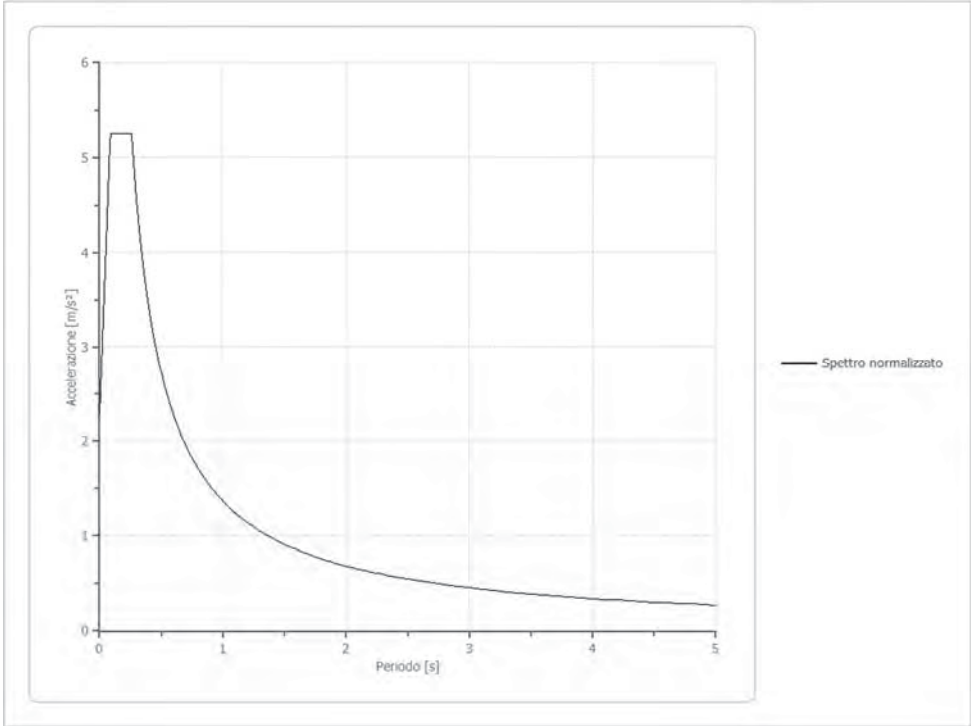
0.14	4.7469	0.42	2.7145	0.82	1.0158	1.95	0.4221	4.30	0.0999
0.15	4.8704	0.43	2.6090	0.84	0.9828	2.00	0.4083	4.40	0.0927
0.16	4.9783	0.44	2.5101	0.86	0.9509	2.05	0.3944	4.50	0.0858
0.17	5.0696	0.45	2.4175	0.88	0.9202	2.10	0.3804	4.60	0.0793
0.18	5.1432	0.46	2.3306	0.90	0.8903	2.15	0.3662	4.70	0.0732
0.19	5.1980	0.47	2.2488	0.92	0.8611	2.20	0.3519	4.80	0.0674
0.20	5.2328	0.48	2.1716	0.94	0.8328	2.25	0.3376	4.90	0.0620
0.21	5.2468	0.49	2.0985	0.96	0.8052	2.30	0.3233	5.00	0.0570
0.22	5.2392	0.50	2.0289	0.98	0.7784	2.35	0.3091		
0.23	5.2098	0.51	1.9625	1.00	0.7525	2.40	0.2950		
0.24	5.1586	0.52	1.8986	1.05	0.7275	2.50	0.2813		
0.25	5.0864	0.53	1.8370	1.10	0.7034	2.60	0.2679		
0.26	4.9944	0.54	1.7771	1.15	0.6804	2.70	0.2548		
0.27	4.8843	0.55	1.7188	1.20	0.6584	2.80	0.2422		



Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	2.2733	0.28	4.8826	0.56	2.4413	1.25	1.0937	2.90	0.4714
0.01	2.6156	0.29	4.7143	0.57	2.3985	1.30	1.0516	3.00	0.4557
0.02	2.9580	0.30	4.5571	0.58	2.3571	1.35	1.0127	3.10	0.4410
0.03	3.3003	0.31	4.4101	0.60	2.2786	1.40	0.9765	3.20	0.4272

0.04	3.6427	0.32	4.2723	0.62	2.2051	1.45	0.9429	3.30	0.4143
0.05	3.9850	0.33	4.1428	0.64	2.1362	1.50	0.9114	3.40	0.4021
0.06	4.3274	0.34	4.0210	0.66	2.0714	1.55	0.8820	3.50	0.3906
0.07	4.6697	0.35	3.9061	0.68	2.0105	1.60	0.8545	3.60	0.3798
0.08	5.0120	0.36	3.7976	0.70	1.9531	1.65	0.8286	3.70	0.3695
0.09	5.2468	0.37	3.6950	0.72	1.8988	1.70	0.8042	3.80	0.3598
0.10	5.2468	0.38	3.5977	0.74	1.8475	1.75	0.7812	3.90	0.3505
0.11	5.2468	0.39	3.5055	0.76	1.7989	1.80	0.7595	4.00	0.3418
0.12	5.2468	0.40	3.4178	0.78	1.7527	1.85	0.7390	4.10	0.3334
0.13	5.2468	0.41	3.3345	0.80	1.7089	1.90	0.7195	4.20	0.3255
0.14	5.2468	0.42	3.2551	0.82	1.6672	1.95	0.7011	4.30	0.3179
0.15	5.2468	0.43	3.1794	0.84	1.6275	2.00	0.6836	4.40	0.3107
0.16	5.2468	0.44	3.1071	0.86	1.5897	2.05	0.6669	4.50	0.3038
0.17	5.2468	0.45	3.0381	0.88	1.5536	2.10	0.6510	4.60	0.2972
0.18	5.2468	0.46	2.9720	0.90	1.5190	2.15	0.6359	4.70	0.2909
0.19	5.2468	0.47	2.9088	0.92	1.4860	2.20	0.6214	4.80	0.2848
0.20	5.2468	0.48	2.8482	0.94	1.4544	2.25	0.6076	4.90	0.2790
0.21	5.2468	0.49	2.7901	0.96	1.4241	2.30	0.5944	5.00	0.2734
0.22	5.2468	0.50	2.7343	0.98	1.3950	2.35	0.5818		
0.23	5.2468	0.51	2.6807	1.00	1.3671	2.40	0.5696		
0.24	5.2468	0.52	2.6291	1.05	1.3020	2.50	0.5469		
0.25	5.2468	0.53	2.5795	1.10	1.2429	2.60	0.5258		
0.26	5.2468	0.54	2.5317	1.15	1.1888	2.70	0.5063		
0.27	5.0635	0.55	2.4857	1.20	1.1393	2.80	0.4883		

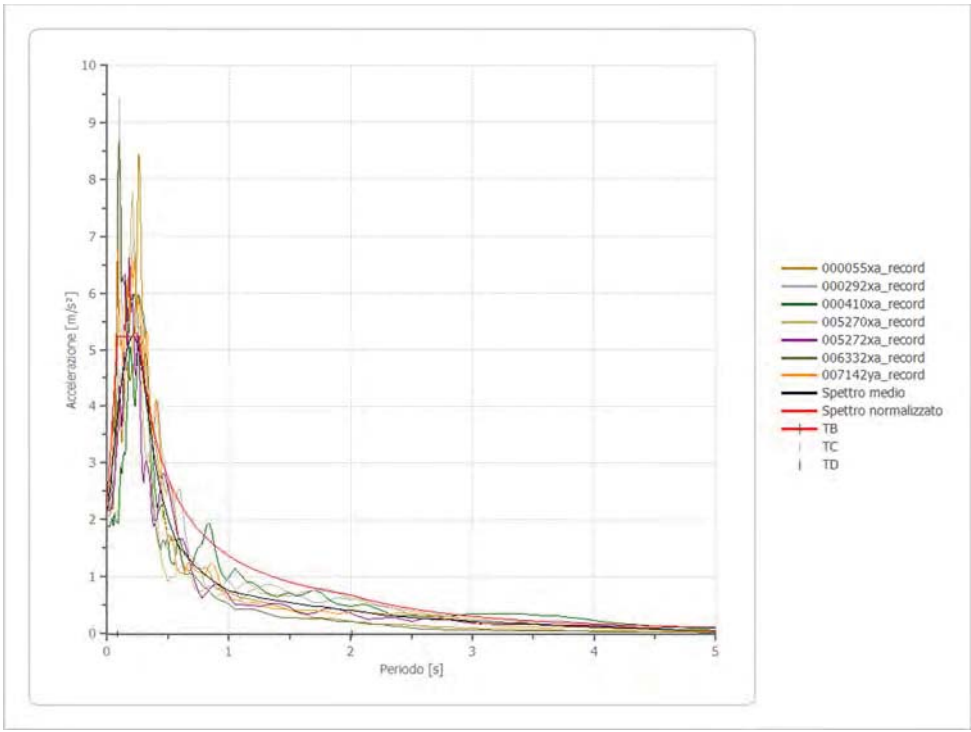


Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s²]	Se(TB) [m/s²]	S
2.273	2.308	--	0.087	0.261	2.012	2.273	5.247	1.000

Confronto tra gli spettri

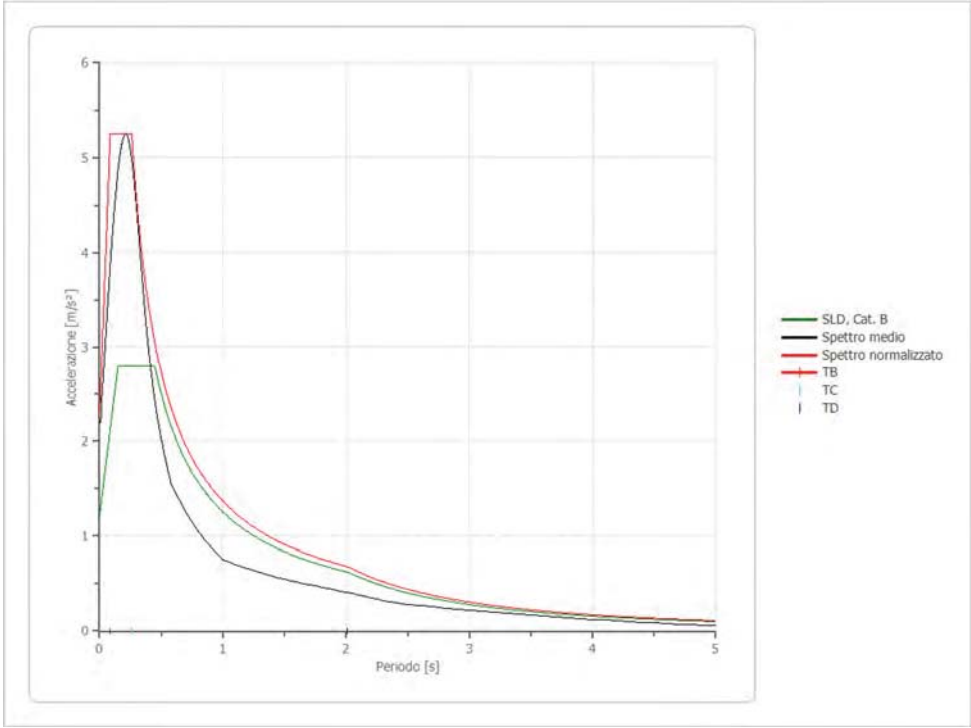


Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

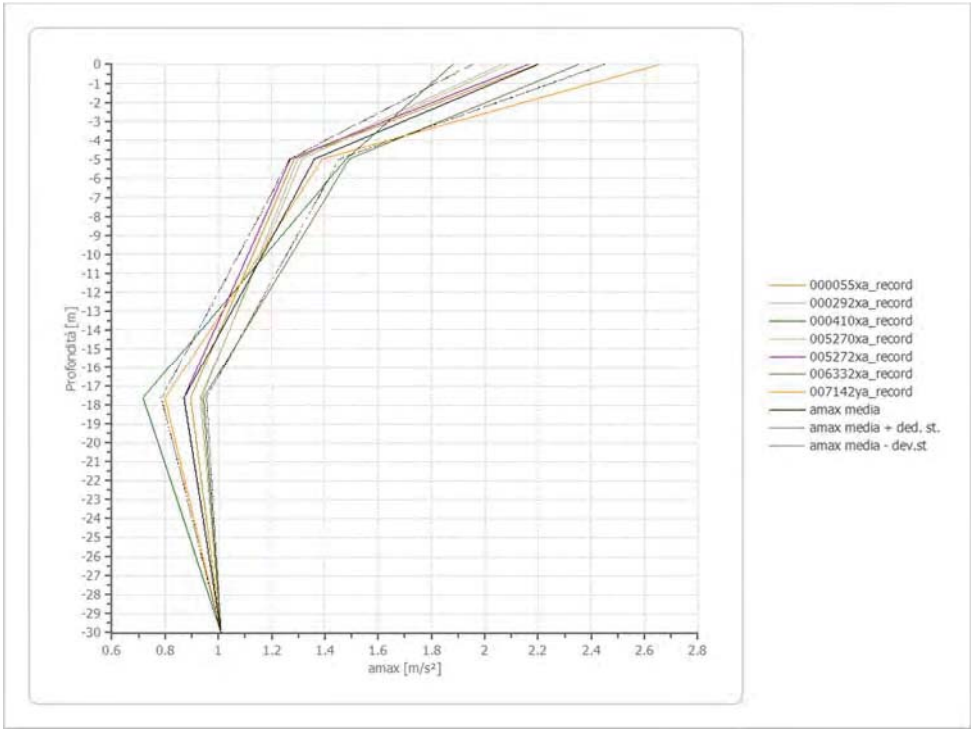
	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	45	75	712	1462
ag [m/s²]	0.775	1.010	2.845	3.777
Fo	2.293	2.308	2.444	2.48
Tc* [s]	0.306	0.325	0.386	0.416
Ss	1.20	1.20	1.12	1.02
St	1.00	1.00	1.00	1.00
Cc	1.39	1.38	1.33	1.31
TB [s]	0.142	0.149	0.171	0.182
TC [s]	0.427	0.448	0.514	0.545
TD [s]	1.916	2.012	2.760	3.140

Se(0) [m/s²]	0.930	1.212	3.176	3.845
Se(TB) [m/s²]	2.132	2.797	7.763	9.536



Profilo a max

	0.0 [m]	5.0 [m]	17.6 [m]	30.0 [m]
000055xa_record [m/s²]	2.196	1.284	0.895	1.010
000292xa_record [m/s²]	2.064	1.298	0.938	1.010
000410xa_record [m/s²]	1.881	1.480	0.717	1.010
005270xa_record [m/s²]	2.088	1.314	0.932	1.010
005272xa_record [m/s²]	2.164	1.270	0.870	1.010
006332xa_record [m/s²]	2.353	1.491	0.945	1.010
007142ya_record [m/s²]	2.657	1.390	0.800	1.010
media [m/s²]	2.200	1.361	0.871	1.010
Dev. St. [m/s²]	0.247	0.093	0.085	0.000


Profondità [m]
amax [m/s²]
000055xa_record
000292xa_record
000410xa_record
005270xa_record
005272xa_record
006332xa_record
007142ya_record
amax media
amax media + ded. st.
amax media - dev.st

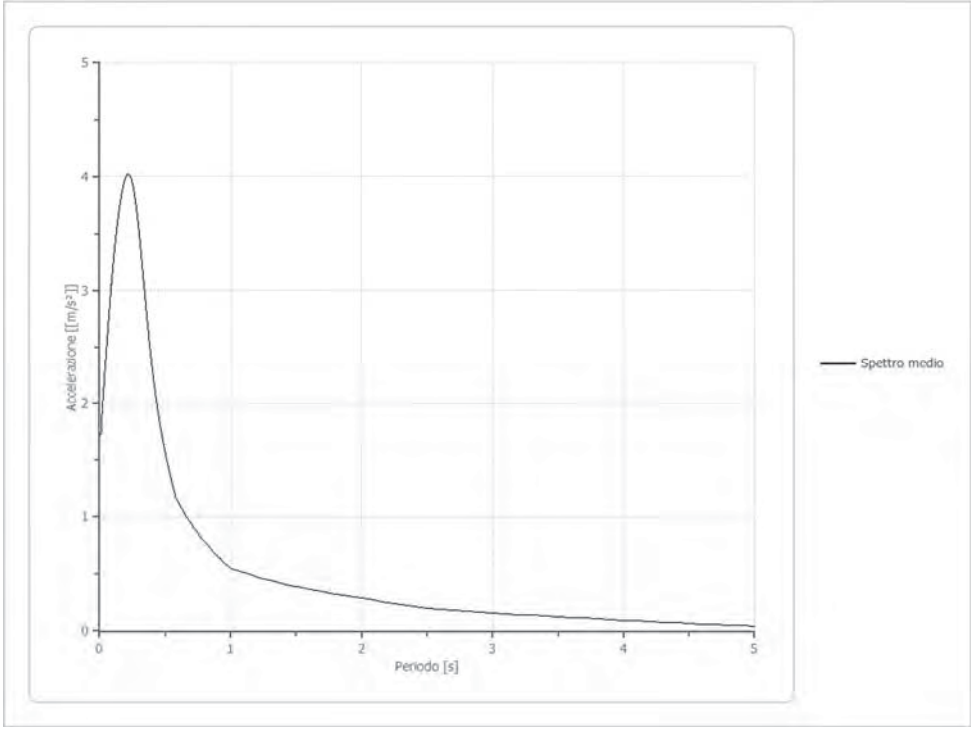
Elaborazione SLO Intervento 2

Numero di iterazioni 40
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza 3.88 E-05

Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	1.7218	0.28	3.7342	0.56	1.2661	1.25	0.4617	2.90	0.1684
0.01	1.7220	0.29	3.6365	0.57	1.2202	1.30	0.4460	3.00	0.1604
0.02	1.9591	0.30	3.5284	0.58	1.1755	1.35	0.4310	3.10	0.1527
0.03	2.1043	0.31	3.4120	0.60	1.1319	1.40	0.4168	3.20	0.1454
0.04	2.2823	0.32	3.2896	0.62	1.0897	1.45	0.4034	3.30	0.1384
0.05	2.4438	0.33	3.1636	0.64	1.0489	1.50	0.3907	3.40	0.1316
0.06	2.6064	0.34	3.0361	0.66	1.0097	1.55	0.3787	3.50	0.1251
0.07	2.7617	0.35	2.9092	0.68	0.9722	1.60	0.3674	3.60	0.1187
0.08	2.9114	0.36	2.7846	0.70	0.9364	1.65	0.3566	3.70	0.1125
0.09	3.0535	0.37	2.6637	0.72	0.9025	1.70	0.3464	3.80	0.1065
0.10	3.1874	0.38	2.5475	0.74	0.8703	1.75	0.3365	3.90	0.1005
0.11	3.3124	0.39	2.4367	0.76	0.8398	1.80	0.3270	4.00	0.0946
0.12	3.4282	0.40	2.3318	0.78	0.8109	1.85	0.3177	4.10	0.0889
0.13	3.5344	0.41	2.2330	0.80	0.7833	1.90	0.3086	4.20	0.0832
0.14	3.6310	0.42	2.1401	0.82	0.7570	1.95	0.2994	4.30	0.0777
0.15	3.7178	0.43	2.0529	0.84	0.7316	2.00	0.2902	4.40	0.0723
0.16	3.7948	0.44	1.9712	0.86	0.7071	2.05	0.2809	4.50	0.0671
0.17	3.8618	0.45	1.8945	0.88	0.6833	2.10	0.2715	4.60	0.0621
0.18	3.9181	0.46	1.8224	0.90	0.6601	2.15	0.2620	4.70	0.0573
0.19	3.9632	0.47	1.7545	0.92	0.6374	2.20	0.2523	4.80	0.0528
0.20	3.9962	0.48	1.6903	0.94	0.6153	2.25	0.2426	4.90	0.0486
0.21	4.0161	0.49	1.6294	0.96	0.5937	2.30	0.2328	5.00	0.0446
0.22	4.0219	0.50	1.5714	0.98	0.5727	2.35	0.2230		
0.23	4.0128	0.51	1.5159	1.00	0.5524	2.40	0.2133		
0.24	3.9880	0.52	1.4627	1.05	0.5328	2.50	0.2038		
0.25	3.9474	0.53	1.4113	1.10	0.5138	2.60	0.1945		
0.26	3.8910	0.54	1.3616	1.15	0.4957	2.70	0.1855		
0.27	3.8196	0.55	1.3132	1.20	0.4783	2.80	0.1768		

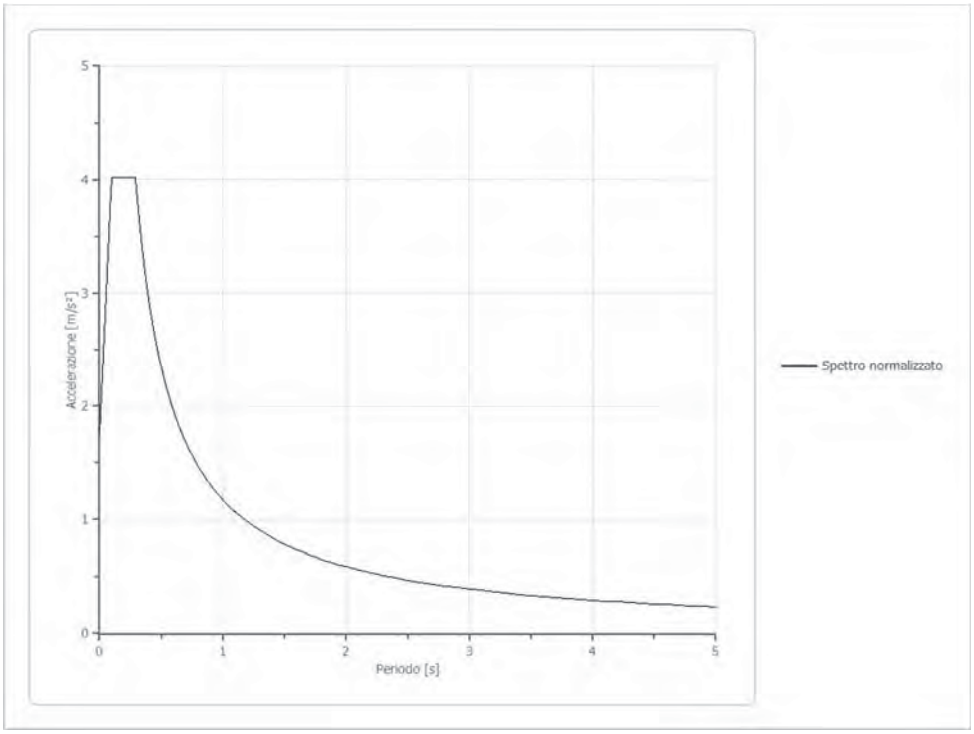
Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).



Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	1.7540	0.28	4.0219	0.56	2.0959	1.25	0.9389	2.90	0.4047
0.01	1.9872	0.29	4.0219	0.57	2.0591	1.30	0.9028	3.00	0.3912
0.02	2.2203	0.30	3.9123	0.58	2.0236	1.35	0.8694	3.10	0.3786
0.03	2.4535	0.31	3.7861	0.60	1.9561	1.40	0.8383	3.20	0.3668
0.04	2.6866	0.32	3.6678	0.62	1.8930	1.45	0.8094	3.30	0.3557
0.05	2.9198	0.33	3.5566	0.64	1.8339	1.50	0.7825	3.40	0.3452
0.06	3.1529	0.34	3.4520	0.66	1.7783	1.55	0.7572	3.50	0.3353
0.07	3.3861	0.35	3.3534	0.68	1.7260	1.60	0.7336	3.60	0.3260
0.08	3.6192	0.36	3.2602	0.70	1.6767	1.65	0.7113	3.70	0.3172
0.09	3.8524	0.37	3.1721	0.72	1.6301	1.70	0.6904	3.80	0.3089
0.10	4.0219	0.38	3.0886	0.74	1.5861	1.75	0.6707	3.90	0.3009
0.11	4.0219	0.39	3.0094	0.76	1.5443	1.80	0.6520	4.00	0.2934
0.12	4.0219	0.40	2.9342	0.78	1.5047	1.85	0.6344	4.10	0.2863
0.13	4.0219	0.41	2.8626	0.80	1.4671	1.90	0.6177	4.20	0.2794
0.14	4.0219	0.42	2.7945	0.82	1.4313	1.95	0.6019	4.30	0.2729
0.15	4.0219	0.43	2.7295	0.84	1.3972	2.00	0.5868	4.40	0.2667
0.16	4.0219	0.44	2.6675	0.86	1.3647	2.05	0.5725	4.50	0.2608
0.17	4.0219	0.45	2.6082	0.88	1.3337	2.10	0.5589	4.60	0.2551
0.18	4.0219	0.46	2.5515	0.90	1.3041	2.15	0.5459	4.70	0.2497
0.19	4.0219	0.47	2.4972	0.92	1.2757	2.20	0.5335	4.80	0.2445

0.20	4.0219	0.48	2.4452	0.94	1.2486	2.25	0.5216	4.90	0.2395
0.21	4.0219	0.49	2.3953	0.96	1.2226	2.30	0.5103	5.00	0.2347
0.22	4.0219	0.50	2.3474	0.98	1.1976	2.35	0.4994		
0.23	4.0219	0.51	2.3013	1.00	1.1737	2.40	0.4890		
0.24	4.0219	0.52	2.2571	1.05	1.1178	2.50	0.4695		
0.25	4.0219	0.53	2.2145	1.10	1.0670	2.60	0.4514		
0.26	4.0219	0.54	2.1735	1.15	1.0206	2.70	0.4347		
0.27	4.0219	0.55	2.1340	1.20	0.9781	2.80	0.4192		

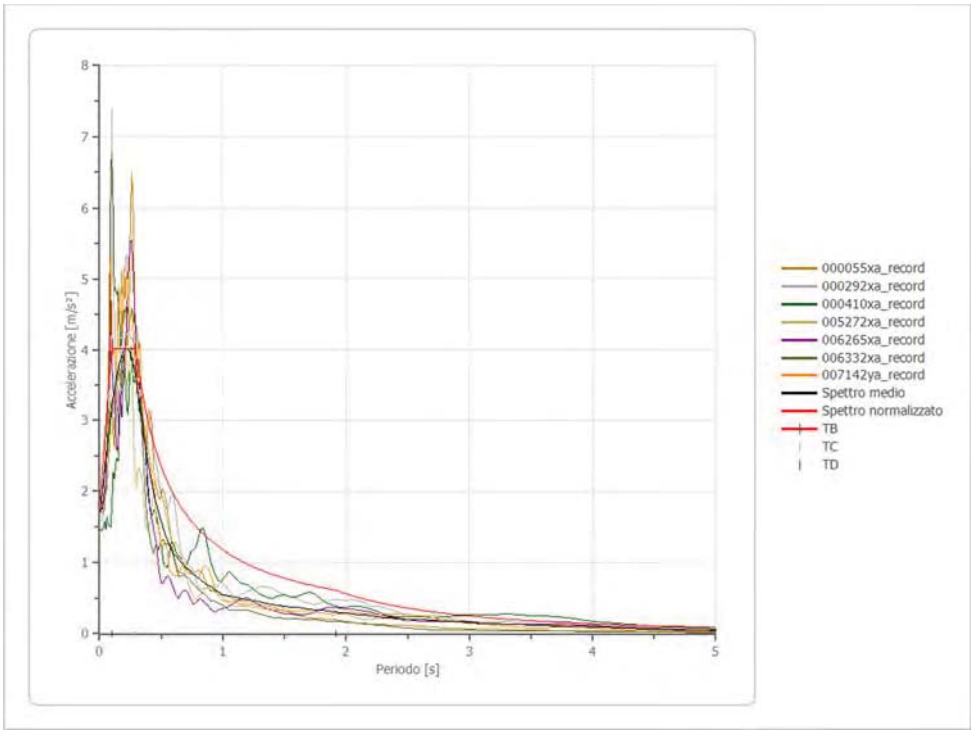


Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s²]	Se(TB) [m/s²]	S
1.754	2.293	--	0.097	0.292	1.916	1.754	4.022	1.000

Confronto tra gli spettri

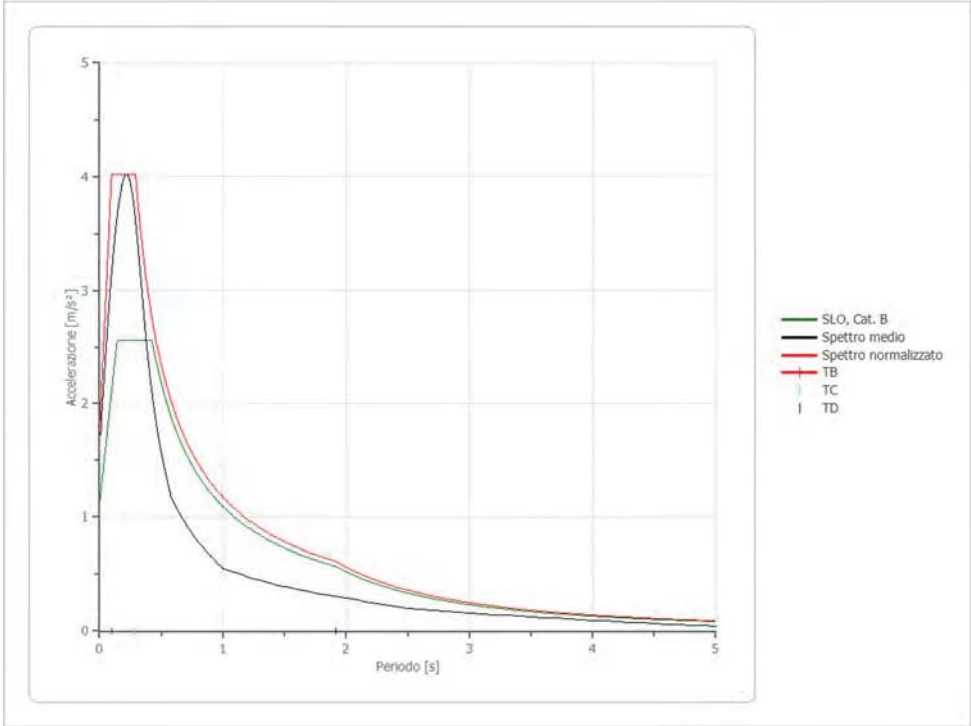


Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	45	75	712	1462
ag [m/s²]	0.775	1.010	2.845	3.777
Fo	2.293	2.308	2.444	2.48
Tc* [s]	0.306	0.325	0.386	0.416
Ss	1.20	1.20	1.12	1.02
St	1.20	1.20	1.20	1.20
Cc	1.39	1.38	1.33	1.31
TB [s]	0.142	0.149	0.171	0.182
TC [s]	0.427	0.448	0.514	0.545
TD [s]	1.916	2.012	2.760	3.140

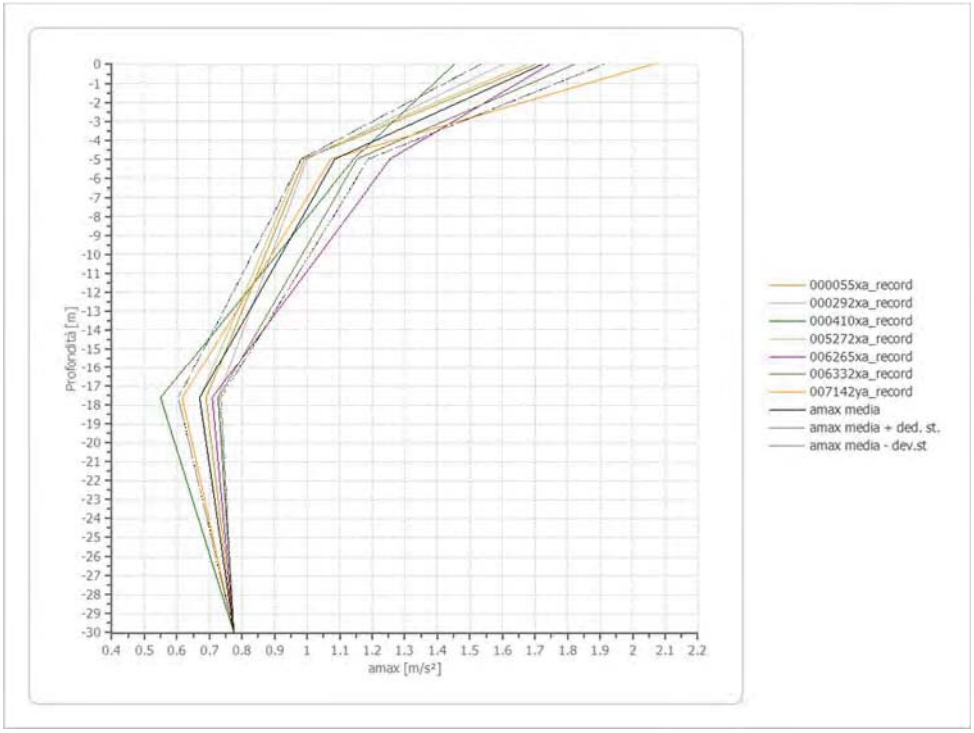
Se(0) [m/s²]	1.116	1.454	3.812	4.614
Se(TB) [m/s²]	2.559	3.357	9.316	11.443



Profilo a max

	0.0 [m]	5.0 [m]	17.6 [m]	30.0 [m]
000055xa_record [m/s²]	1.700	0.992	0.689	0.775
000292xa_record [m/s²]	1.601	0.999	0.725	0.775
000410xa_record [m/s²]	1.451	1.143	0.550	0.775
005272xa_record [m/s²]	1.676	0.982	0.670	0.775
006265xa_record [m/s²]	1.744	1.255	0.708	0.775
006332xa_record [m/s²]	1.821	1.153	0.728	0.775
007142ya_record [m/s²]	2.060	1.073	0.616	0.775
media [m/s²]	1.722	1.085	0.669	0.775
Dev. St. [m/s²]	0.189	0.103	0.065	0.000

Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).



Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

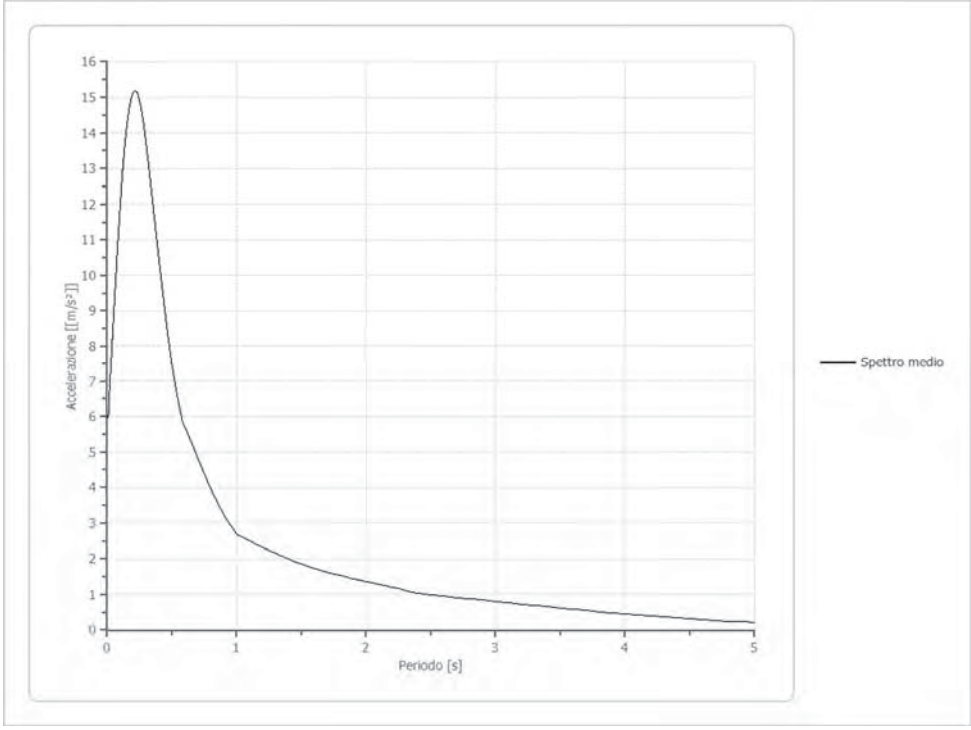
Elaborazione SLV Intervento 2

Numero di iterazioni 40
Rapporto tra deformazione a taglio effettiva e deformazione massima 0.5
Tipo di modulo elastico Shake
Massimo errore percentuale di convergenza 7.76 E-05

Spettro medio di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	5.9525	0.28	14.2891	0.56	6.2369	1.25	2.2277	2.90	0.8399
0.01	5.9534	0.29	14.0184	0.57	6.0572	1.30	2.1473	3.00	0.8013
0.02	6.8959	0.30	13.7261	0.58	5.8808	1.35	2.0702	3.10	0.7633
0.03	7.4765	0.31	13.4174	0.60	5.7061	1.40	1.9965	3.20	0.7258
0.04	8.1909	0.32	13.0972	0.62	5.5317	1.45	1.9264	3.30	0.6890
0.05	8.8460	0.33	12.7697	0.64	5.3567	1.50	1.8598	3.40	0.6529
0.06	9.5108	0.34	12.4383	0.66	5.1809	1.55	1.7968	3.50	0.6175
0.07	10.1526	0.35	12.1056	0.68	5.0043	1.60	1.7374	3.60	0.5829
0.08	10.7766	0.36	11.7732	0.70	4.8274	1.65	1.6813	3.70	0.5491
0.09	11.3732	0.37	11.4422	0.72	4.6510	1.70	1.6284	3.80	0.5163
0.10	11.9382	0.38	11.1130	0.74	4.4762	1.75	1.5785	3.90	0.4843
0.11	12.4659	0.39	10.7858	0.76	4.3040	1.80	1.5310	4.00	0.4534
0.12	12.9522	0.40	10.4605	0.78	4.1356	1.85	1.4858	4.10	0.4235
0.13	13.3939	0.41	10.1374	0.80	3.9720	1.90	1.4422	4.20	0.3948
0.14	13.7886	0.42	9.8169	0.82	3.8141	1.95	1.4001	4.30	0.3672
0.15	14.1350	0.43	9.4996	0.84	3.6624	2.00	1.3589	4.40	0.3409
0.16	14.4325	0.44	9.1869	0.86	3.5174	2.05	1.3183	4.50	0.3159
0.17	14.6807	0.45	8.8802	0.88	3.3792	2.10	1.2782	4.60	0.2922
0.18	14.8798	0.46	8.5811	0.90	3.2478	2.15	1.2382	4.70	0.2699
0.19	15.0298	0.47	8.2915	0.92	3.1231	2.20	1.1982	4.80	0.2490
0.20	15.1308	0.48	8.0129	0.94	3.0046	2.25	1.1582	4.90	0.2295
0.21	15.1830	0.49	7.7469	0.96	2.8918	2.30	1.1182	5.00	0.2113
0.22	15.1867	0.50	7.4941	0.98	2.7844	2.35	1.0780		
0.23	15.1429	0.51	7.2550	1.00	2.6818	2.40	1.0379		
0.24	15.0529	0.52	7.0294	1.05	2.5836	2.50	0.9979		
0.25	14.9190	0.53	6.8163	1.10	2.4893	2.60	0.9580		
0.26	14.7443	0.54	6.6144	1.15	2.3987	2.70	0.9183		
0.27	14.5328	0.55	6.4220	1.20	2.3115	2.80	0.8789		

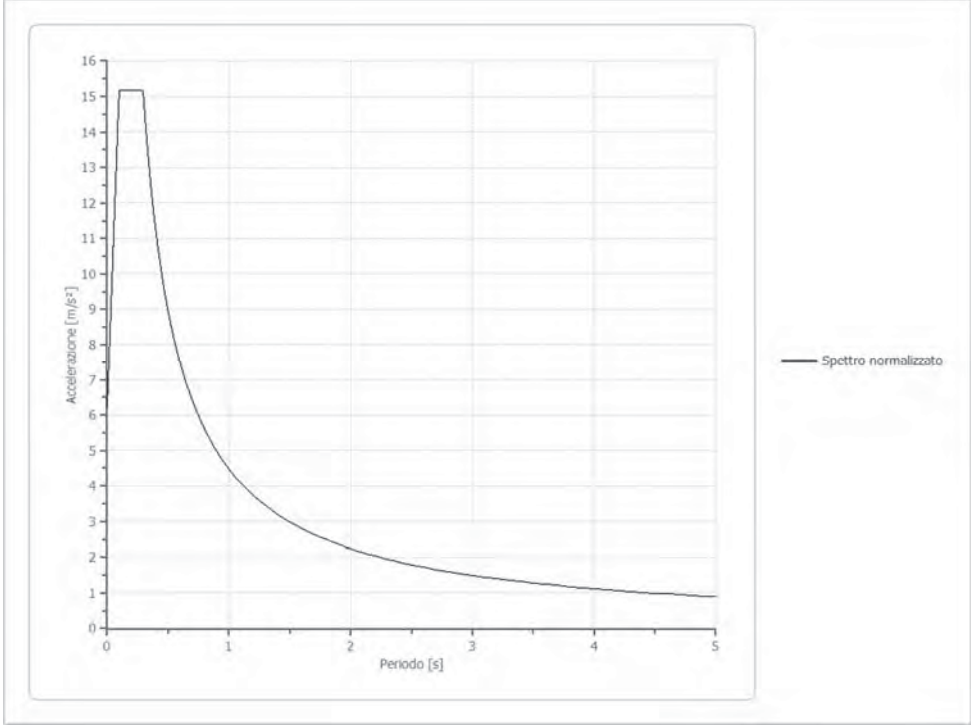
Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).



Spettro normalizzato di risposta elastico

Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]	Periodo [s]	Accelerazione [m/s²]
0.00	6.2139	0.28	15.1867	0.56	8.0094	1.25	3.5882	2.90	1.5466
0.01	7.1253	0.29	15.1867	0.57	7.8689	1.30	3.4502	3.00	1.4951
0.02	8.0367	0.30	14.9509	0.58	7.7332	1.35	3.3224	3.10	1.4469
0.03	8.9482	0.31	14.4686	0.60	7.4755	1.40	3.2038	3.20	1.4017
0.04	9.8596	0.32	14.0165	0.62	7.2343	1.45	3.0933	3.30	1.3592
0.05	10.7711	0.33	13.5918	0.64	7.0082	1.50	2.9902	3.40	1.3192
0.06	11.6825	0.34	13.1920	0.66	6.7959	1.55	2.8937	3.50	1.2815
0.07	12.5939	0.35	12.8151	0.68	6.5960	1.60	2.8033	3.60	1.2459
0.08	13.5054	0.36	12.4591	0.70	6.4075	1.65	2.7184	3.70	1.2122
0.09	14.4168	0.37	12.1224	0.72	6.2296	1.70	2.6384	3.80	1.1803
0.10	15.1867	0.38	11.8034	0.74	6.0612	1.75	2.5630	3.90	1.1501
0.11	15.1867	0.39	11.5007	0.76	5.9017	1.80	2.4918	4.00	1.1213
0.12	15.1867	0.40	11.2132	0.78	5.7504	1.85	2.4245	4.10	1.0940
0.13	15.1867	0.41	10.9397	0.80	5.6066	1.90	2.3607	4.20	1.0679
0.14	15.1867	0.42	10.6792	0.82	5.4699	1.95	2.3001	4.30	1.0431
0.15	15.1867	0.43	10.4309	0.84	5.3396	2.00	2.2426	4.40	1.0194
0.16	15.1867	0.44	10.1938	0.86	5.2154	2.05	2.1879	4.50	0.9967
0.17	15.1867	0.45	9.9673	0.88	5.0969	2.10	2.1358	4.60	0.9751
0.18	15.1867	0.46	9.7506	0.90	4.9836	2.15	2.0862	4.70	0.9543
0.19	15.1867	0.47	9.5431	0.92	4.8753	2.20	2.0388	4.80	0.9344

0.20	15.1867	0.48	9.3443	0.94	4.7716	2.25	1.9935	4.90	0.9154
0.21	15.1867	0.49	9.1536	0.96	4.6722	2.30	1.9501	5.00	0.8971
0.22	15.1867	0.50	8.9706	0.98	4.5768	2.35	1.9086		
0.23	15.1867	0.51	8.7947	1.00	4.4853	2.40	1.8689		
0.24	15.1867	0.52	8.6255	1.05	4.2717	2.50	1.7941		
0.25	15.1867	0.53	8.4628	1.10	4.0775	2.60	1.7251		
0.26	15.1867	0.54	8.3061	1.15	3.9002	2.70	1.6612		
0.27	15.1867	0.55	8.1551	1.20	3.7377	2.80	1.6019		

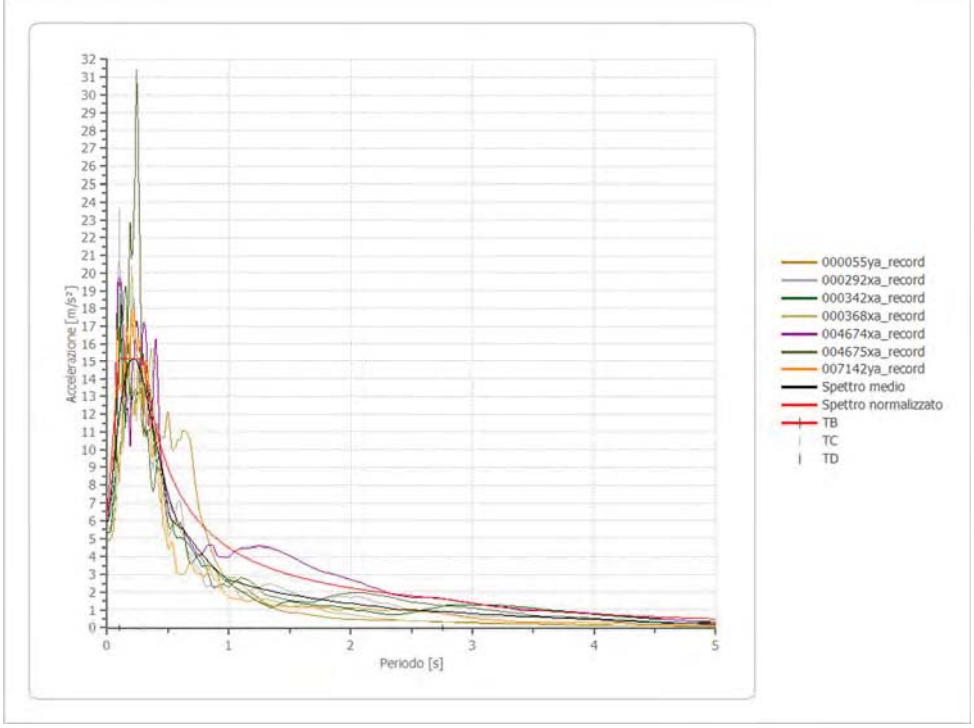


Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).

Parametri spettro normalizzato

Ag [m/s²]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [m/s²]	Se(TB) [m/s²]	S
6.214	2.444	--	0.098	0.295	2.760	6.214	15.187	1.000

Confronto tra gli spettri

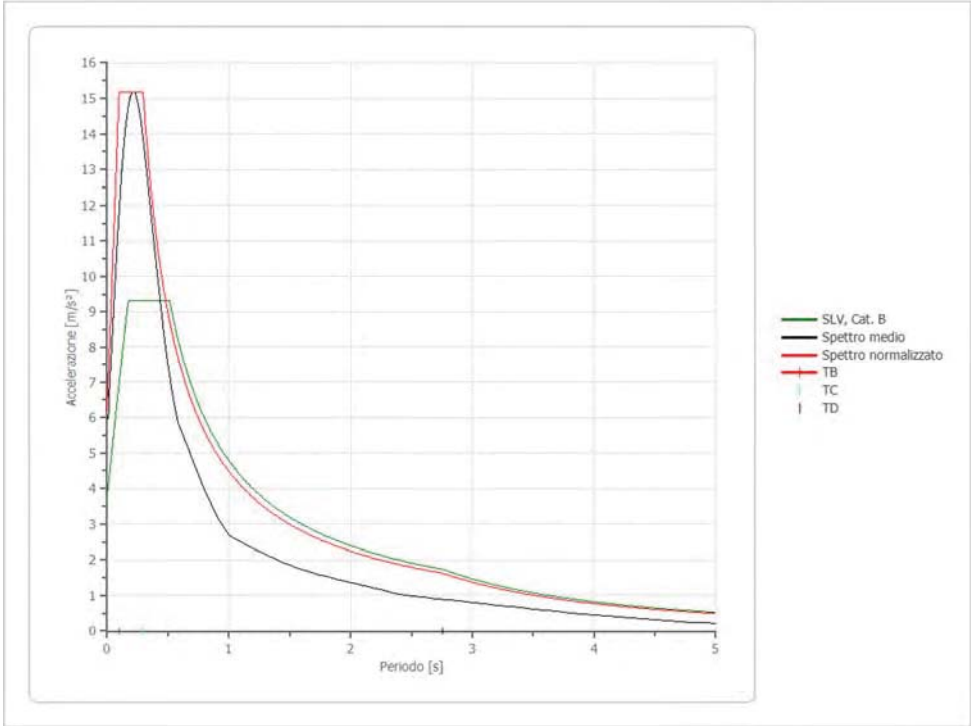


Confronto spettro normativa

Tipo di spettro: Spettro di risposta elastico

	Operatività SLO	Danno SLD	Salvaguardia vita SLV	Prev. collasso SLC
Tr [anni]	45	75	712	1462
ag [m/s²]	0.775	1.010	2.845	3.777
Fo	2.293	2.308	2.444	2.48
Tc* [s]	0.306	0.325	0.386	0.416
Ss	1.20	1.20	1.12	1.02
St	1.20	1.20	1.20	1.20
Cc	1.39	1.38	1.33	1.31
TB [s]	0.142	0.149	0.171	0.182
TC [s]	0.427	0.448	0.514	0.545
TD [s]	1.916	2.012	2.760	3.140

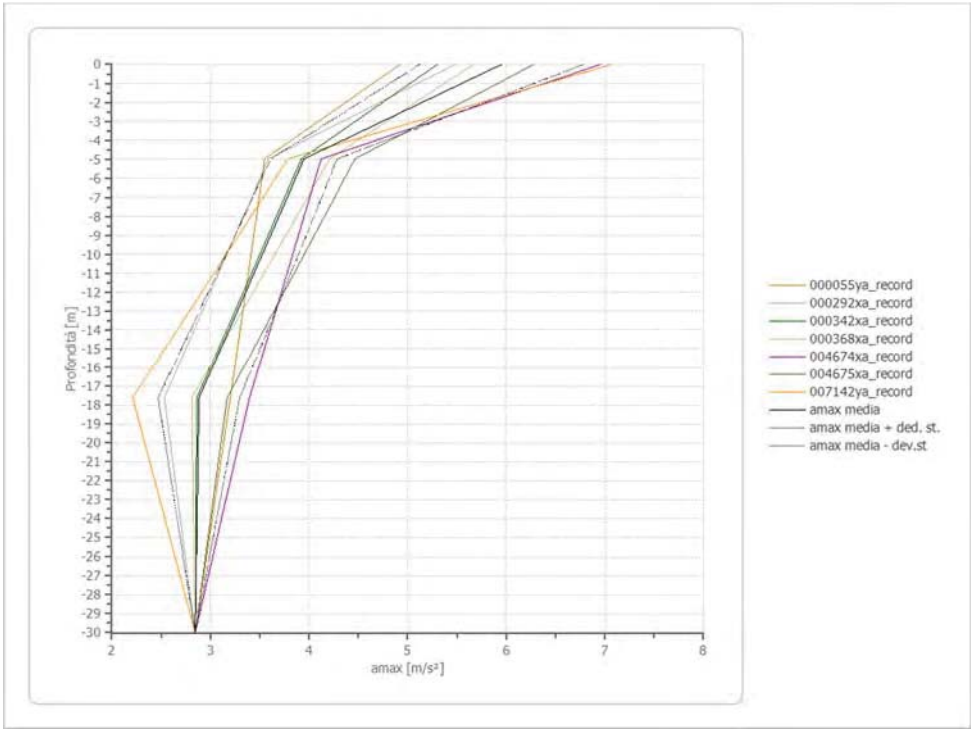
Se(0) [m/s²]	1.116	1.454	3.812	4.614
Se(TB) [m/s²]	2.559	3.357	9.316	11.443



Profilo a max

	0.0 [m]	5.0 [m]	17.6 [m]	30.0 [m]
000055ya_record [m/s²]	4.922	3.550	3.202	2.845
000292xa_record [m/s²]	5.479	3.585	2.532	2.845
000342xa_record [m/s²]	5.302	3.921	2.862	2.845
000368xa_record [m/s²]	5.666	4.207	2.809	2.845
004674xa_record [m/s²]	6.956	4.122	3.396	2.845
004675xa_record [m/s²]	6.277	4.464	3.169	2.845
007142ya_record [m/s²]	7.064	3.784	2.211	2.845
media [m/s²]	5.952	3.948	2.883	2.845
Dev. St. [m/s²]	0.831	0.337	0.414	0.000

Committente: Amministrazione comunale di Montalto Uffugo (CS).



ANALISI DELLA SUSCETTIBILITÀ DEI TERRENI ALLA LIQUEFAZIONE

La circolare C7.11.3.4 "Stabilità nei confronti della liquefazione" contenuta nel Nuovo Testo Unico sulle costruzioni contiene al paragrafo 7.11.3.4.2 un criterio per omettere la verifica alla liquefazione dei terreni; tale verifica può essere omessa quando si manifesta almeno una delle seguenti circostanze:

1) eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2) accelerazioni massime attese al p.c. in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
3) ***profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal p.c., per piano campagna suborizzontale e strutture con fondazioni superficiali;***
4) depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza penetrometrica determinata in prove penetrometriche dinamiche (S.P.T.) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 KPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (C.P.T.) normalizzata alla tensione verticale efficace di 100 KPa;
5) distribuzione granulometrica esterna alle zone dei fusi granulometrici dei terreni suscettibili alla liquefazione indicate rispettivamente nella figure sottostanti nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_C < 3,5$ e per i terreni aventi $U_C > 3,5$:

CONCLUSIONI

La relazione sulla Pericolosità Sismica Locale ha assunto come riferimento l'indagine geognostica e geotecnica in sito effettuate e descritte nel report di prova; le stesse hanno consentito la determinazione dei parametri necessari per ottemperare quanto prescritto nell'art. 2 comma 1 dell'Allegato 3 del Regolamento Regionale per l'applicazione della L.R. relativamente alle attività di competenza del geologo, ossìa i valori di ag, Ss ed St per il calcolo del valore di Amax; in particolare, per la valutazione di Ss, fattore di amplificazione stratigrafica, le indagini hanno permesso l'ottenimento di un valore delle Vs caratteristiche per ogni strato; si rammenta che lo stesso riferimento normativo prevede che le opere oggetto del presente lavoro, secondo l'art. 1, ricadono nella classe d'uso compatibile con l'analisi eseguita.

Allo stesso modo, le analisi di suscettibilità dei terreni alla liquefazione, sono state verificate per un ambito sufficientemente esteso attorno al sito di riferimento.

Cosenza, Aprile 2021

IL GEOLOGO
Dott. Giorgio Canonaco
O.R.G.C. n° 665
(F.to digitalmente)

A L L E G A T O

COMUNE DI MONTALTO UFFUGO

Provincia di Cosenza

INDAGINI GEOFISICHE

Rapporto di Prova



Progetto: Messa in sicurezza di un tratto di strada di S. Maria la Castagna interessato da un movimento franoso.

Località: S. Maria la Castagna - Montalto Uffugo (CS).

Committente: Dr. Geologo Giorgio Canonaco

Approvazioni e depositi:

Il Direttore Tecnico GEOPROSPECTOR:

Dr. Geologo Pedace Luigi Innocenzo

GEOPROSPECTOR
del Dr Geol. Luigi Pedace Innocenzo
Via U. Foscolo, 3
87067 ROSSANO Sc. (CS)
P. I. 02539970786 - C. F. PDCLNN69A03F205G

Data : Marzo 2021

COMUNE DI MONTALTO UFFUGO

Provincia di Cosenza

RAPPORTO DI PROVA

30 Marzo 2021

INDICE

1.	**PREMESSA TOMOGRAFIA SISMICA**	pag. 3
2.	**OBBIETTIVO DEI LAVORI**	pag. 3
3.	**CENNI SULLE METODOLOGIE**	pag. 5
4.	**ANALISI DEI DATI**	pag. 8
5.	**PREMESSA SISMICA MASW**	pag. 9
6.	**OBBIETTIVO DEI LAVORI**	pag. 9
7.	**CENNI SULLA METODOLOGIA**	pag. 10
8.	**ANALISI DEI DATI**	pag. 13

Allegati documentali:

- *TomografiaSismica*
- *Masw*
- *Ubicazione indagini*

1. Premessa Tomografia Sismica

Su incarico del Dr. Geol. Giorgio Canonaco è stato redatto uno studio geofisico al fine di ottenere un modello stratigrafico del sottosuolo, i rilievi sismici a rifrazione sono stati eseguiti il 25/03/2021.

Su specifiche indicazioni della Committenza sono stati eseguiti:

- N° 2 profili Tomografia Simica per un totale di 95 ml. Onde P.

Per quel che riguarda i parametri di acquisizione ci si è attenuti alle specifiche tecniche indicateci, e cioè:
-utilizzo di 24 canali e distanza intergeofonica pari a 2,50 metri per la Tomo1 e 1,50 metri per la Tomo2.
-utilizzo di esplositore a cartucce industriali cal. 8.
-utilizzo di una massa battente da 8 Kg..

2. Obbiettivo dei lavori

Tenendo conto delle caratteristiche geolitologiche dell'area indagata, l'indagine geognostica mediante sismica a rifrazione, utilizzando i parametri su indicati, si rileva particolarmente utile poiché consente di indagare in dettaglio i primi 20 metri dal piano campagna e fornisce utili informazioni a carattere areale sullo spessore e sulla consistenza dei litotipi presenti.

La correlazione con le altre indagini, eseguite nell'ambito della stessa campagna, consente inoltre di definire i rapporti di giacitura, ed i caratteri geotecnica di massima, degli stessi.

SCHEDA TECNICA DEL SISMOGRAFO

Numeri di canali	24 canali
Intervallo di campionamento	*0,296 msec*
Convertitore A/D	*16 bit*
Guadagno	*10 db – 100 db, step 1 db*
Tensione di saturazione	*+/- 2,3 V*
Livello di saturazione	*100 dB*
Distorsione	*0,01%*
Velocità di campionamento	*130 micro/sec*
Tempi di registrazione	25-50-100-200-400-800 millisec
Filtri attivi	High pass – Low Pass – Band Reject
Banda di lavoro	+/- 40 *Kz*

3. Cenni sulle metodologie

La tomografia sismica è una metodologia usata per stimare le proprietà della Terra. Nella comunità sismologica, la tomografia sismica è proprio una parte della visualizzazione sismica (seismic imaging), e di solito ha uno scopo più specifico: quello di valutare proprietà come la velocità di propagazione delle onde compressionali (onde P) e delle onde trasversali (onde S). Può anche essere usata per ottenere il fattore di attenuazione Q. Un'altra branca dell' imaging è la migrazione sismica dove le proprietà che devono essere stimate includono il coefficiente di riflessione o riflessività.

Il più semplice caso di tomografia sismica è quello di valutare la velocità delle onde P. Molti metodi sono stati sviluppati a questo scopo, per esempio...

Tomografia della durata della rifrazione (refraction traveltime [1] tomography)

Tomografia della durata della frequenza circoscritta (finite-frequency traveltime tomography)

Tomografia della durata della riflessione (reflection traveltime tomography)

Tomografia della forma d'onda (waveform tomography)

La tomografia sismica è di solito formulatà in base a un problema inverso. Nella tomografia della durata della rifrazione, i dati osservati sono la durata del primo arrivo t e i parametri del modello sono la velocità v. Il problema avanzato può essere formulato come

$t = Lv$

dove L è l'operatore avanzato che, in questo caso, è la matrice del cammino del raggio (raypath). La tomografia della durata di rifrazione è computazionalmente efficiente, ma può solo fornire una immagine a bassa risoluzione del sottosuolo.

Per ottenere un'immagine ad alta risoluzione si devono abbandonare le approssimazioni di frequenza infinita della teoria del raggio che sono applicabili al tempo

iniziale dell'onda, invece di misurare il numero di tragitti (o ampiezze) sopra una finestra del tempo di qualche lunghezza che usa una correlazione obliqua. La tomografia della frequenza finita prende in considerazione gli effetti della diffrazione dell'onda, la quale aquisisce l' imaging degli oggetti più piccoli o delle anomalie possibili. I percorsi del raggio sono rimpiazzati da nuclei di sensitività volumetrica, spesso detti nuclei a 'banana-ciambella' nella tomografia globale, perché la loro forma può rassomigliare a una banana, laddove la loro sezione trasversale assomiglia a una ciambella, con, almeno per le onde P ed S, sentività zero della durata sul percorso del raggio geometrico. Nella tomografia della frequenza finita, la durata del percorso e le anomalie dell'ampiezza sono dipendenti dalla frequenza che porta ad un incremento nella risoluzione.

Per utilizzare appieno l'informazione di un sismogramma si deve usare la tomografia della forma d'onda. In questo caso, i sismogramni sono i dati osservati. Nell'esplorazione sismica, il modello avanzato è di solito governato dall'equazione dell'onda acustica. Questa è una approssimazione alla propagazione dell'onda elastica. La tomografia della forma dell'onda elastica è molto più difficile della tomografia della forma d'onda acustica. L'equazione dell'onda acustica è numericamente risolta da alcuni schemi numerici come i metodi della differenza finita e degli elementi finiti. Nella tomografia globale il problema inverso per le onde elastiche può essere trattato per mezzo di metodi aggiuntivi.

Il processing dei dati, qui eseguito con il programma RAYFRACT (distribuito dalla Intelligent Resources Inc.), prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d’onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell’equazione che esprime le modalità di propagazione di un’onda in un mezzo isotropo.

3.1 Acquisizione dati sismici

Pel l'esecuzione delle indagini in oggetto è stato impiegato il seguente apparato di acquisizione:

Sismografo a 24 canali - modello Geode della Geometrics;

Computer portatile Acer Treavel Mate 220, Processore da 1.13 Ghz;

N° 2 Cavi Geofonici da 12 Geofoni (OYO Geospace);

Attrezzatura per l'energizzazione in superficie costituito da un esplositore a cartucce industriali cal.8 .

Utilizzo di una massa battente da 8 Kg.

3.2 Elaborazione dati

L'interpretazione dei dati è stata effettuata analiticamente e con calcolo automatico utilizzando un Computer portatile Acer Treavel Mate 220, Processore da 1.13 Ghz. e software ***RAYFRACT*** della ***Intelligent Resources Inc.***.

In allegato sono riportate, le Stratigrafia tomografica e i fronti d'onda.

4. Analisi dei dati

Di seguito sono descritti sinteticamente i risultati della prova eseguita; per un esame dettagliato delle stesse si rimanda in allegato.

TomografiaSismica n° 1:

Nella Tomografiasismica 1 sono stati riconosciuti tre orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici.

In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0 e -3 metri circa e le velocità delle onde sismiche di compressione Vpm = 300-600 m/s..

Al di sotto del su citato livello si incontra un intervallo tra -3 e -11 metri dal p.c. caratterizzato da velocità delle onde sismiche longitudinali Vpm = 600-1500 m/s, a testimonianza di un miglioramento delle caratteristiche elasto-meccaniche.

L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità d'indagine raggiunta, è caratterizzato da velocità delle onde sismiche longitudinali Vpm = 1500-2100 m/s.

TomografiaSismica n° 2:

Nella Tomografiasismica 2 sono stati riconosciuti tre orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici.

In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0 e -4 metri circa e le velocità delle onde sismiche di compressione Vpm = 500-800 m/s..

Al di sotto del su citato livello si incontra un intervallo tra -4 e -11 metri dal p.c. caratterizzato da velocità delle onde sismiche longitudinali Vpm = 800-1700 m/s, a testimonianza di un miglioramento delle caratteristiche elasto-meccaniche.

L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità d'indagine raggiunta, è caratterizzato da velocità delle onde sismiche longitudinali Vpm = 1700-2600 m/s.

5. MASW - Premessa

Su incarico del Dr. Geologo Giorgio Canonaco è stato redatto uno studio geofisico al fine di ottenere un modello stratigrafico del sottosuolo, il rilievo sismico Masw è stato eseguito il 25/03/2021.

Su specifiche indicazioni della Committenza sono stati eseguiti:

- N° 2 profili sismici con metodologia MASW .

Per quel che riguarda i parametri di acquisizione ci si è attenuti alle specifiche tecniche indicateci, e cioè:
-utilizzo di 24 canali e distanza intergeofonica pari a 2,50 metri per la Masw1 e 1,50 metri per la Masw2 e scoppio a 5 mt dal primo ricevitore.
-utilizzo di una massa battente da 8 Kg..

6. Obbiettivo dei lavori

Tenendo conto delle caratteristiche geolitologiche dell'area indagata, l'indagine geognostica mediante sismica MASW, utilizzando i parametri su indicati, si rileva particolarmente utile poiché consente di indagare in dettaglio i primi 30 metri dal piano campagna e fornisce utili informazioni sullo spessore e sulla consistenza dei litotipi presenti.

La correlazione con le altre indagini, eseguite nell'ambito della stessa campagna, consente inoltre di definire i rapporti di giacitura, ed i caratteri geotecnica di massima, degli stessi.

7. Cenni sulle metodologie

Tale indagine si è resa necessaria in ottemperanza alle Nuove norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 Gennaio 2018, che attribuisce alle diverse località del Territorio Nazionale un valore di scuotimento sismico di riferimento espresso in termini di incremento dell'accelerazione al suolo e propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo mediante cinque (A – B – C – D – E) categorie di suolo, sulla base della velocità delle onde di taglio si determina il VS equivalente (VsEq), secondo la formula riportata al cap.3.2.2. delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

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

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s;
hi = spessore dell'i-esimo strato;
VS,i = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato

Per tale ragione nel presente lavoro è stato applicato il metodo di prospezione sismica del tipo M.A.S.W. (Multichannel Analisys of Surface Waves) che attraverso lo studio delle Onde Superficiali registrate in campagna, permette di determinare la Vs nei primi 30 metri di profondità.

7.1 Principi e Metodi per le indagini "MASW"

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle Onde superficiali.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Vs), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

7.2 Acquisizione dati sismici

Pel l'esecuzione delle indagini in oggetto è stato impiegato il seguente apparato di acquisizione:

- Sismografo a 24 canali - Geode della Geometrics;
- Computer portatile Acer Treavel Mate 220, Processore da 1.13 Ghz;
- N.1 Cavo Geofonico a 24 Takes-out con spaziatura 2,5 m;
- N.24 Geofoni verticali a 4,5 hz (OYO Geospace);
- Distanza intergeofonica 2,5 m;
- Utilizzo di una massa battente da 8 Kg.

L'interpretazione dei dati è stata effettuata analiticamente e con calcolo automatico utilizzando un Computer portatile Acer Treavel Mate 220, Processore da 1.13 Ghz. e software **winMASW Academy** della **ELIOSOFT**.
In allegato sono riportate, foto, sismogramma e spettro di velocità, profilo verticale onde S.

8. Analisi dei dati

Di seguito sono descritti sinteticamente i risultati delle prove eseguite; per un esame dettagliato delle stesse si rimanda in allegato.

Masw 1:

Nel profilo sismico **Masw 1** sono stati riconosciuti quattro orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici.

In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0-4,80 metri circa e le velocità delle onde sismiche di taglio Vs = 237,00 m/s.

Nel Sismostrato 2, con uno spessore di 5,50 m, si incontra un intervallo caratterizzatoda onde sismiche di taglio Vs = 431,00 m/s.

Nel Sismostrato 3, con uno spessore di 14,40 m, si incontra un intervallo caratterizzatoda onde sismiche di taglio Vs = 556,00 m/s.

L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità di indagine, è caratterizzato da onde sismiche di taglio Vs = 868,00 m/s.

Masw 2:

Nel profilo sismico **Masw 2** sono stati riconosciuti quattro orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici.

In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0-5,00 metri circa e le velocità delle onde sismiche di taglio Vs = 190,00 m/s.

Nel Sismostrato 2, con uno spessore di 12,60 m, si incontra un intervallo caratterizzatoda onde sismiche di taglio Vs = 402,00 m/s.

Nel Sismostrato 3, con uno spessore di 12,40 m, si incontra un intervallo caratterizzatoda onde sismiche di taglio Vs = 613,00 m/s.

L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità di indagine, è caratterizzato da onde sismiche di taglio Vs = 1028,00 m/s.

Rossano lì, 30 Marzo 2021

Impresa Esecutrice: Geoprospector

del dr. Luigi Pedace Innocenzo

GEOPROSPECTOR
del Dr Geol. Luigi Pedace Innocenzo
Via U. Foscolo, 3
87067 ROSSANO Sc. (CS)
P. I. 02539970786 - C. F. PDCLNN69A03F205G

Allegati

Ubicazione Indagini



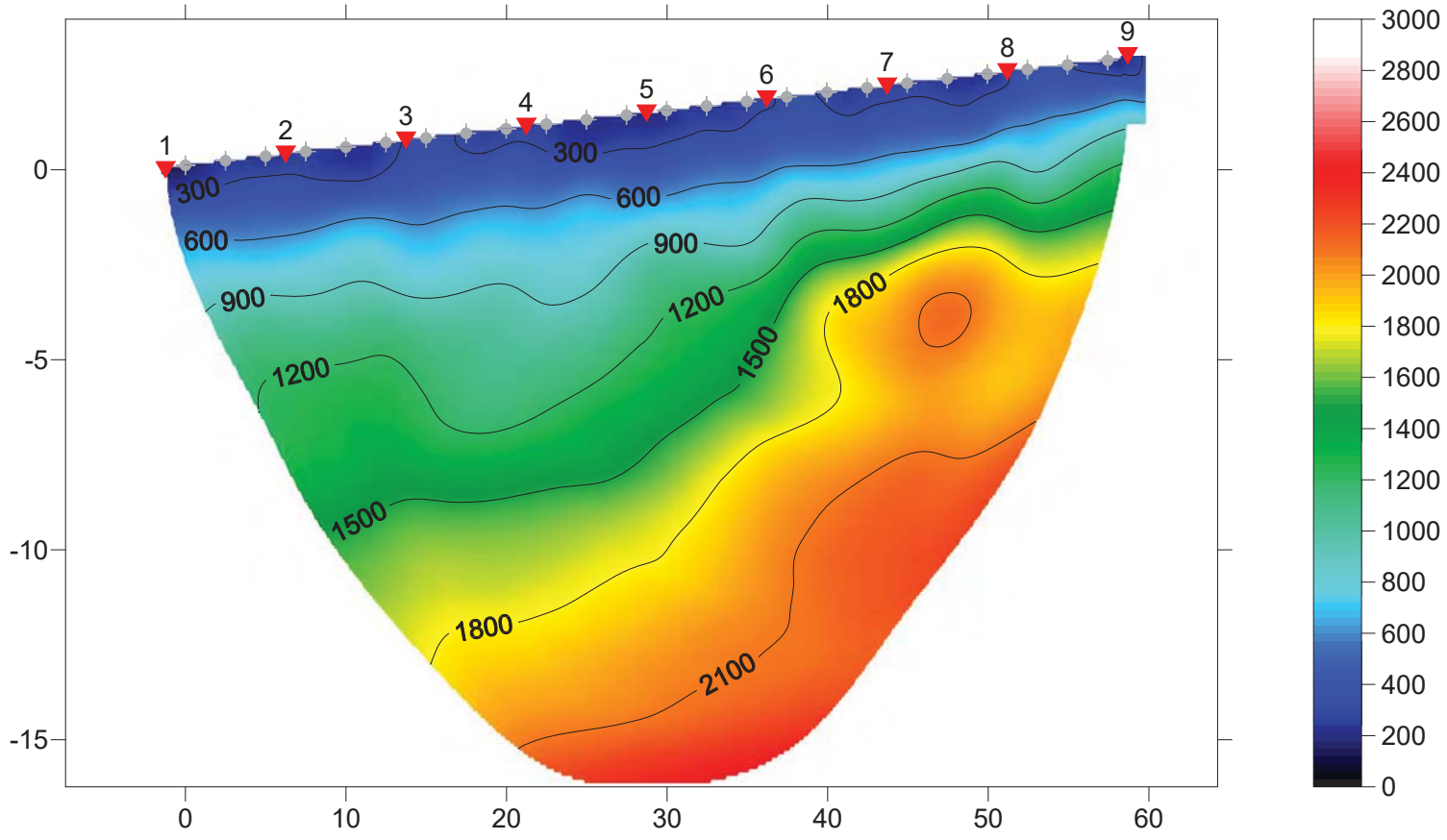
Tomo1 e Masw1



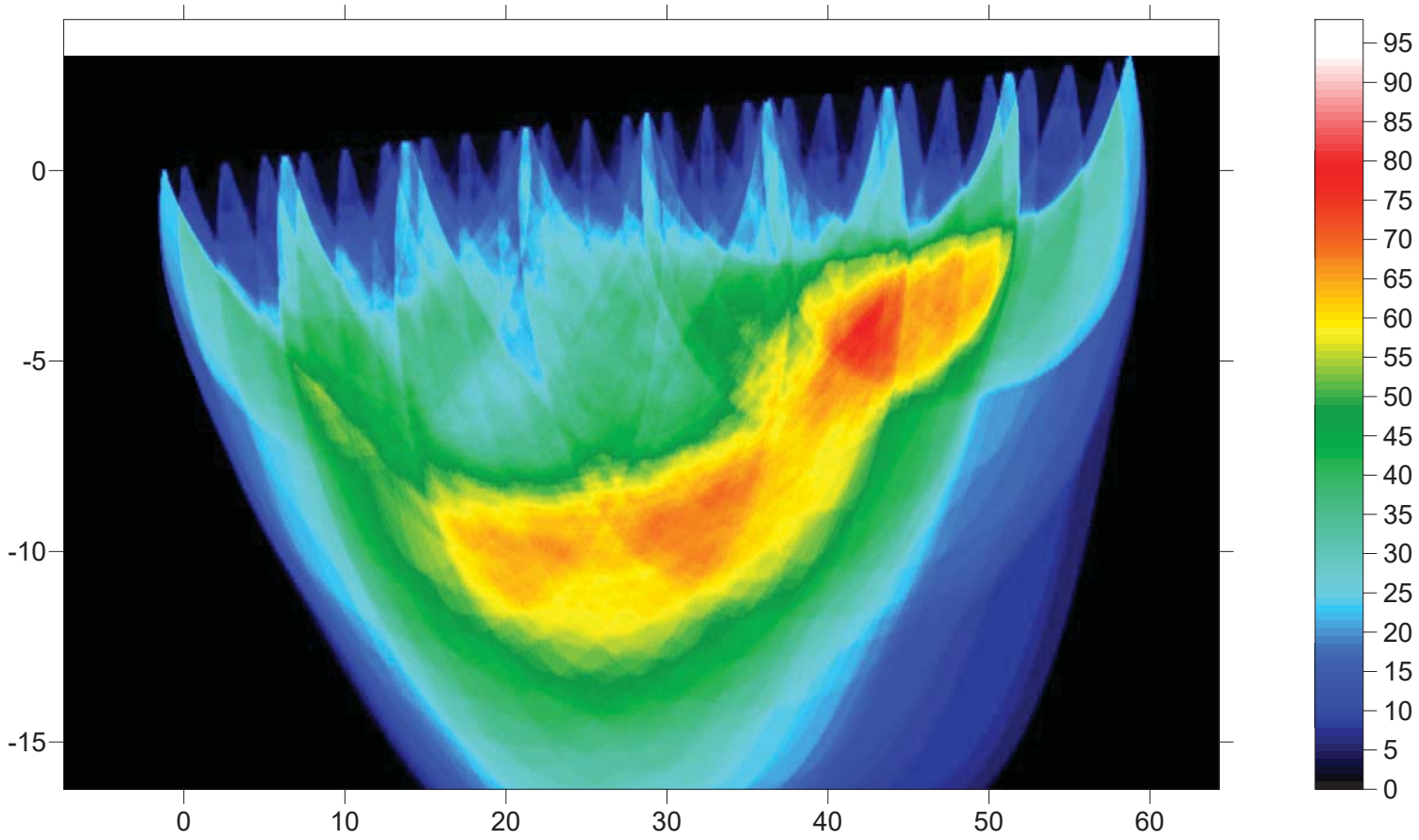
Tomo2 e Masw2



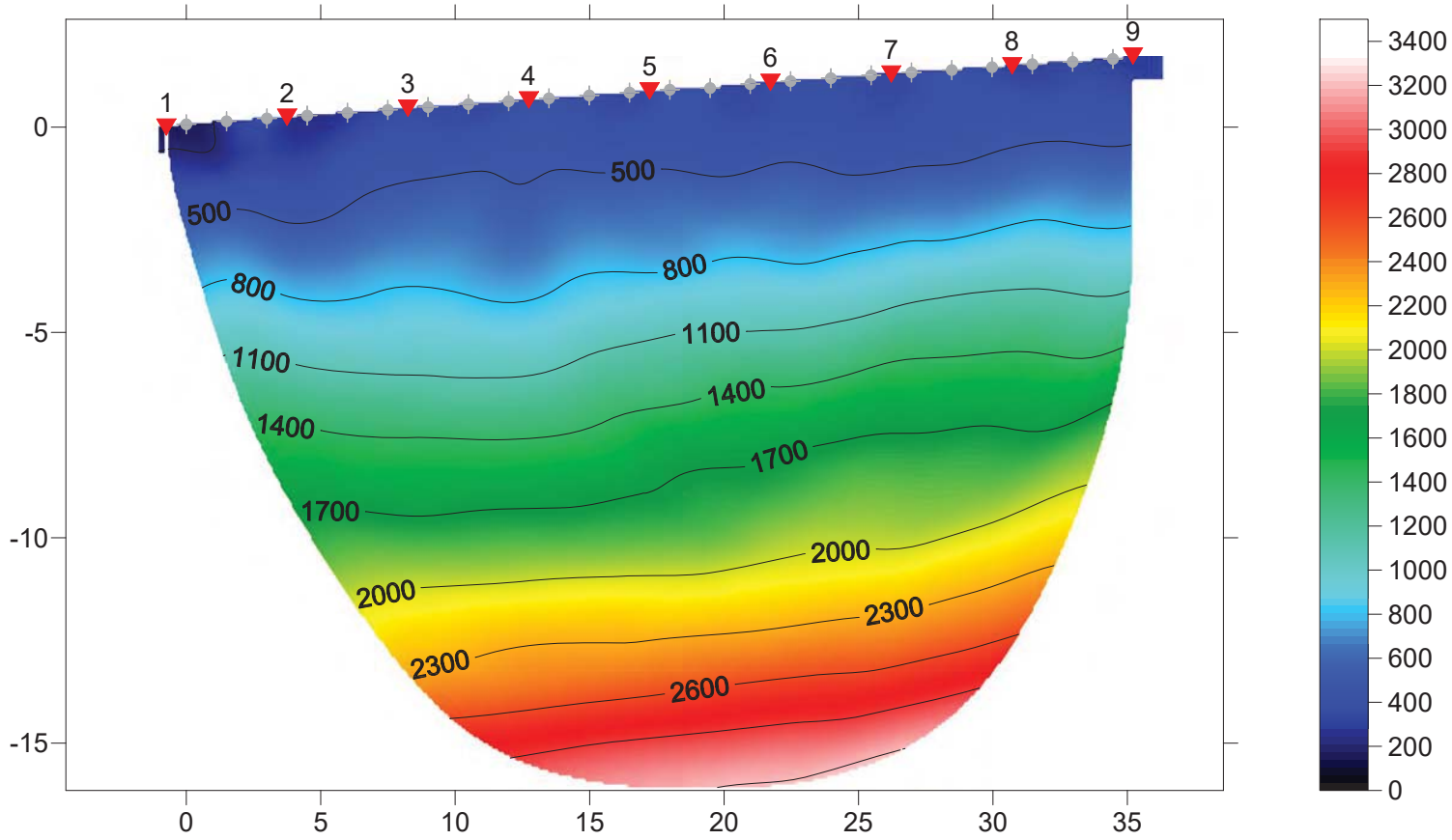
TomografiaSismica 1 RMS error 3.5%=1.02ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.5% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



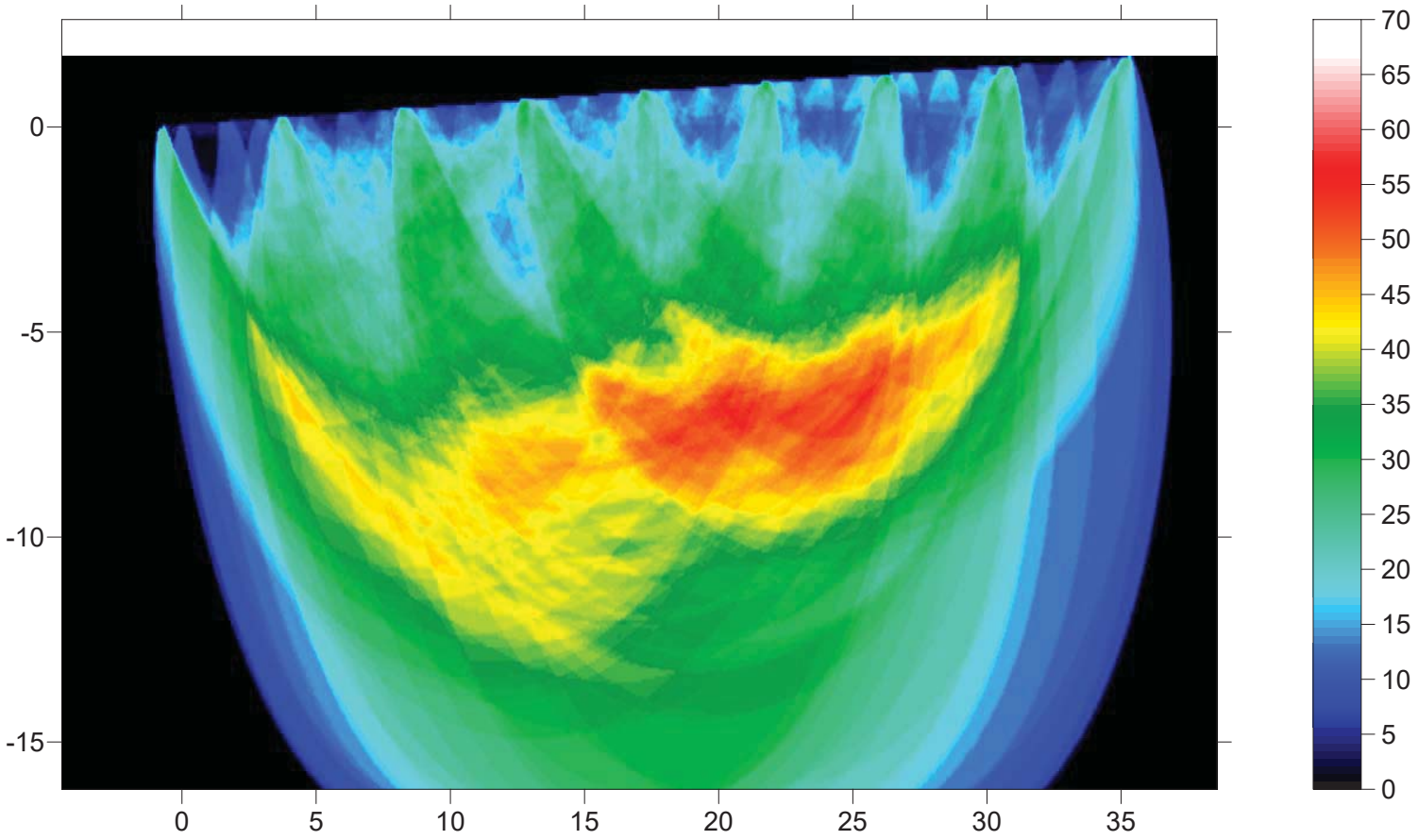
TomografiaSismica 1 RMS error 3.5%=1.02ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.5% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



TomografiaSismica 2 RMS error 4.0%=0.98ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



TomografiaSismica 2 RMS error 4.0%=0.98ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



ALLEGATO

"INDAGINE GEOFISICA"

SISMICA MASW

(Multichannel Analisys of Surface Waves)

MASW 1

SISMOGRAMMA E SPETTRO DI VELOCITA'

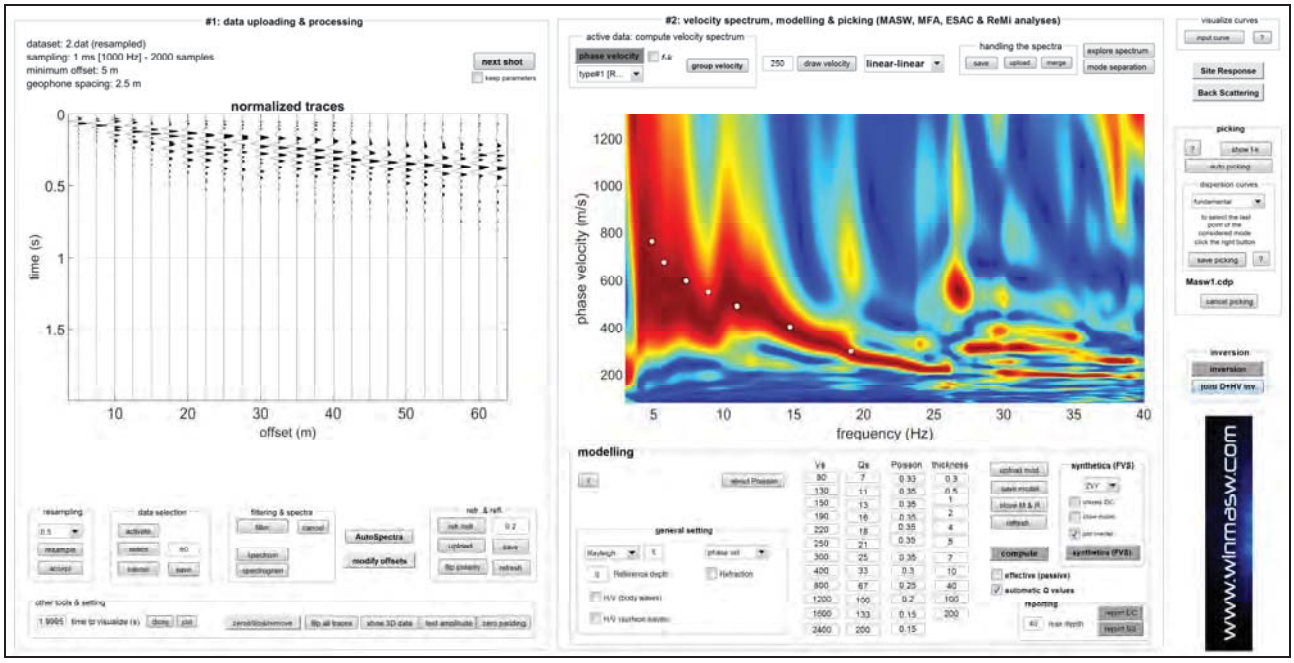


Fig. 1. Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

PICHING E PROFILO ONDE S

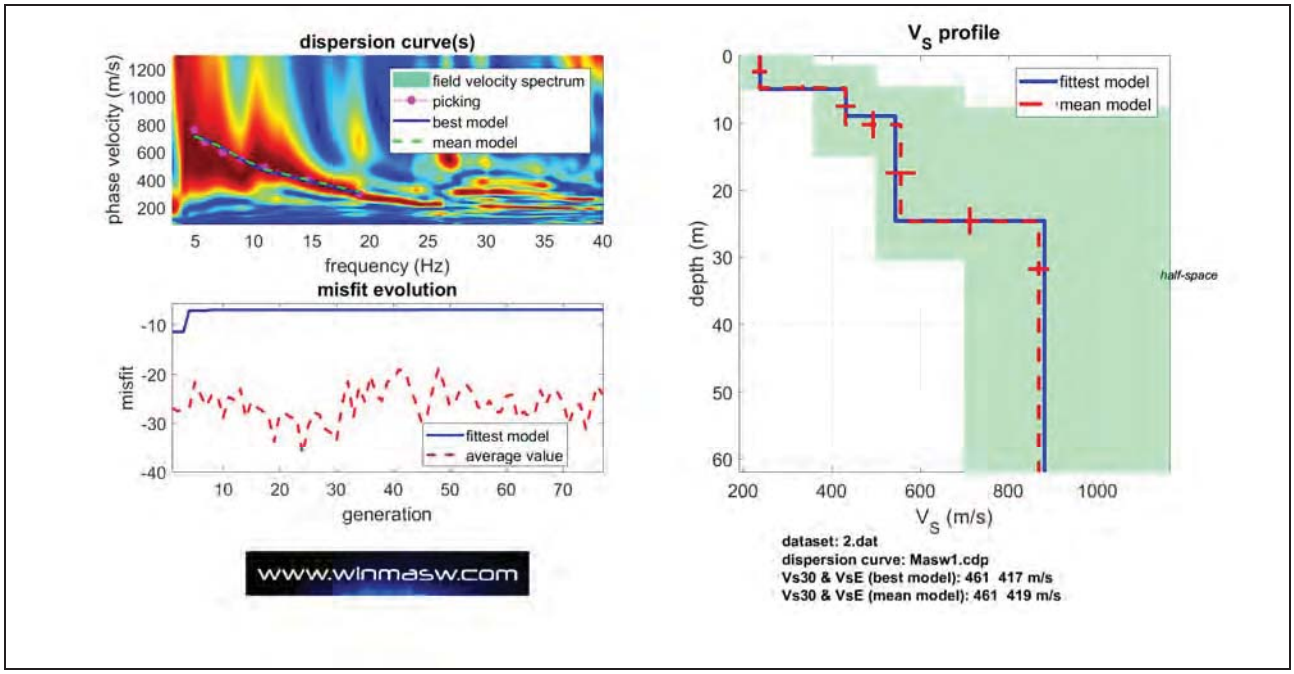
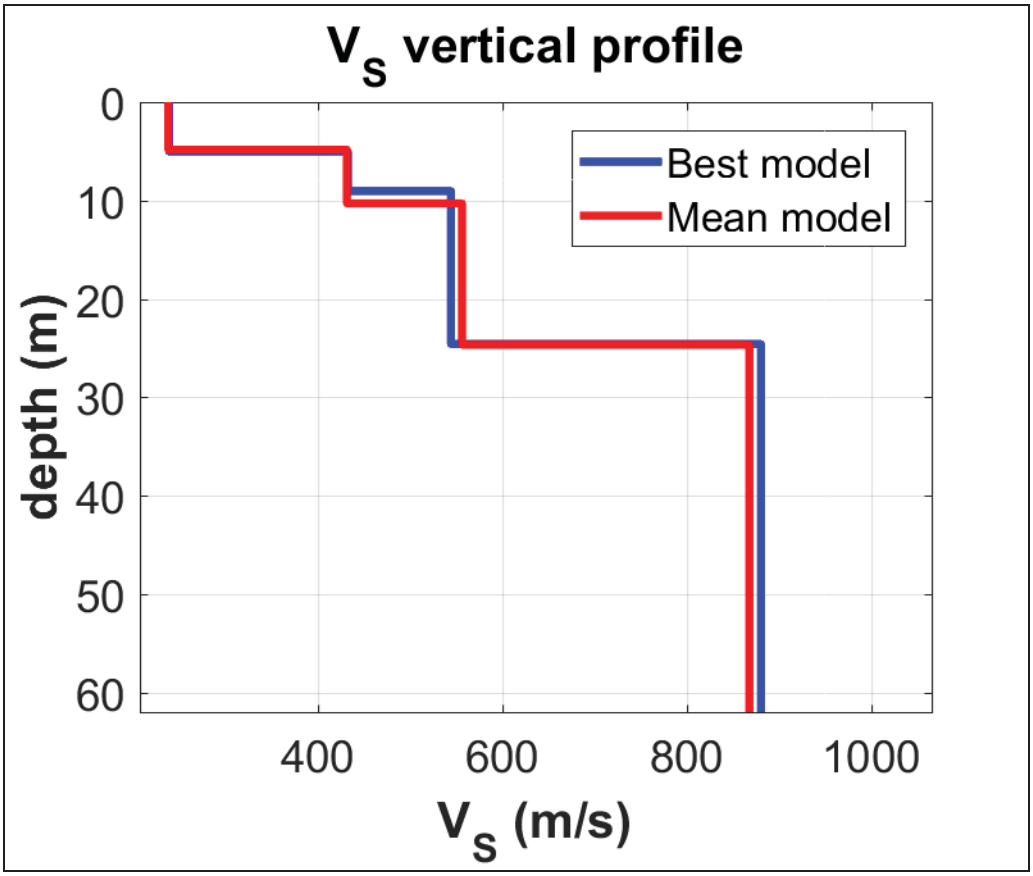


Fig. 2. Risultati dell'elaborazione in alto a sinistra curva di dispersione piccata. A destra il profilo verticale Vs identificato.

Mean model
Vs (m/s): 237, 431, 556, 868
Standard deviations (m/s): 17, 23, 34, 24
Thickness (m): 4.8, 5.5, 14.4
Standard deviations (m/s): 0.4, 2.1, 2.1

STRATIGRAFIA VS



MASW 2

SISMOGRAMMA E SPETTRO DI VELOCITA'

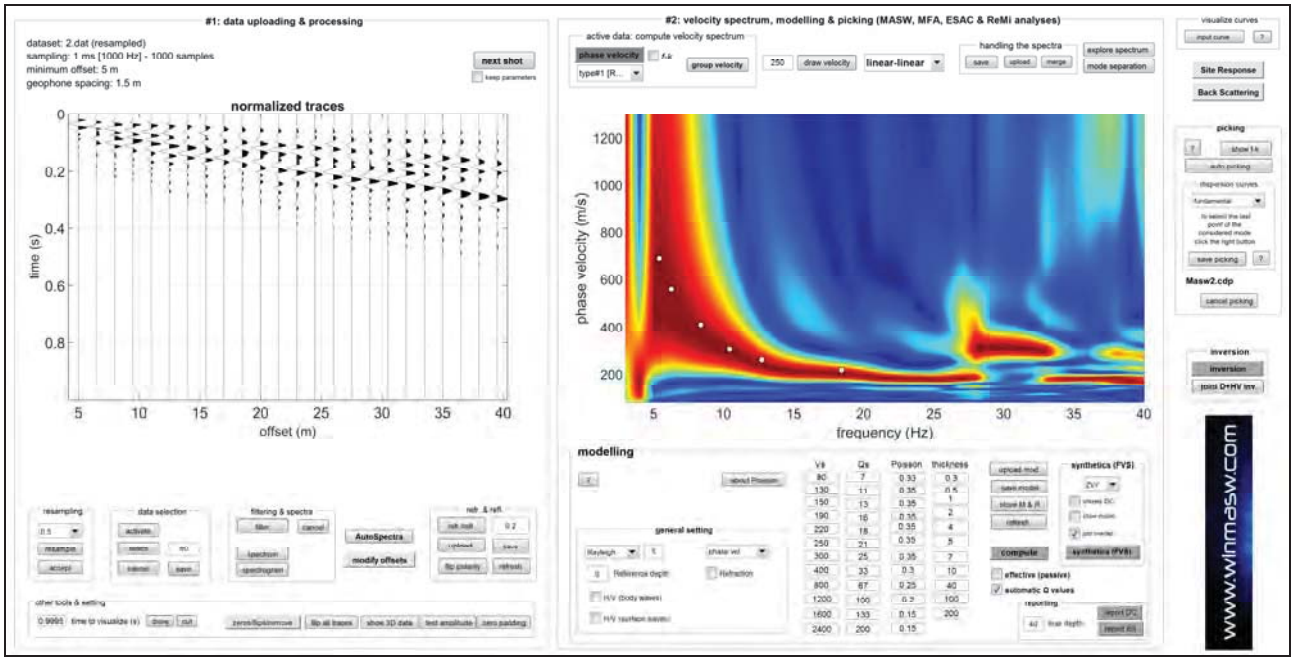


Fig. 1. Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

PICHING E PROFILO ONDE S

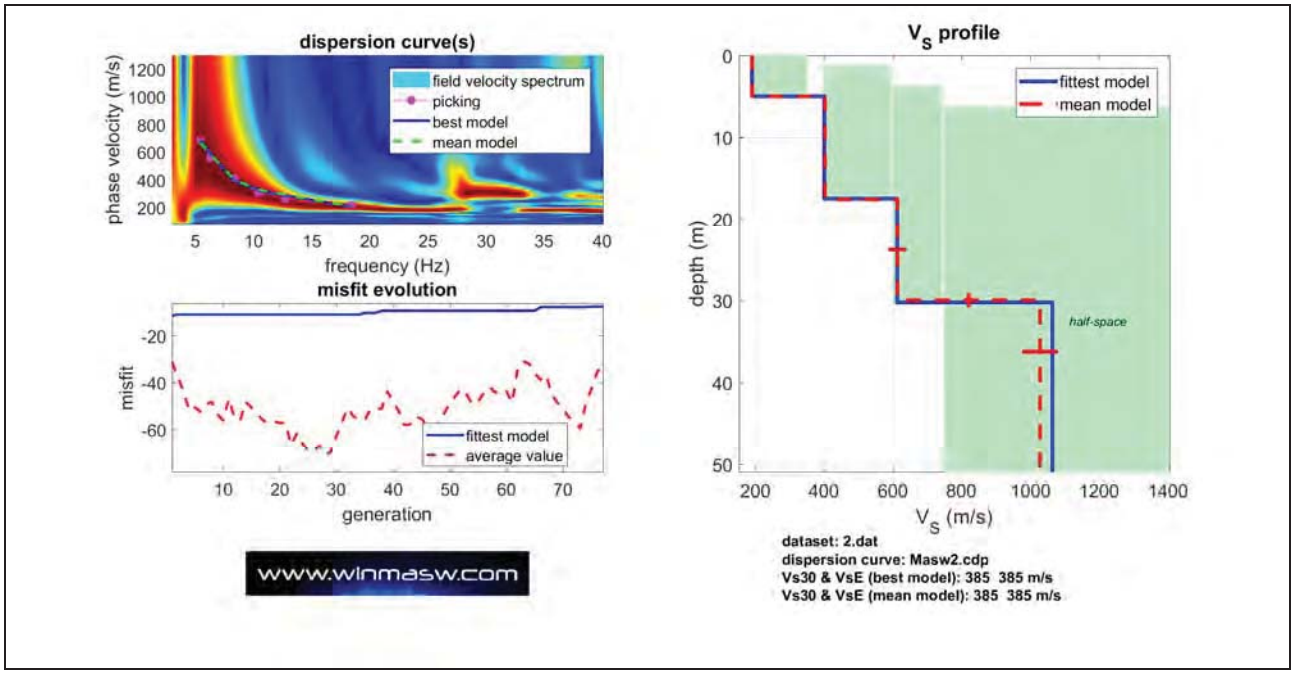
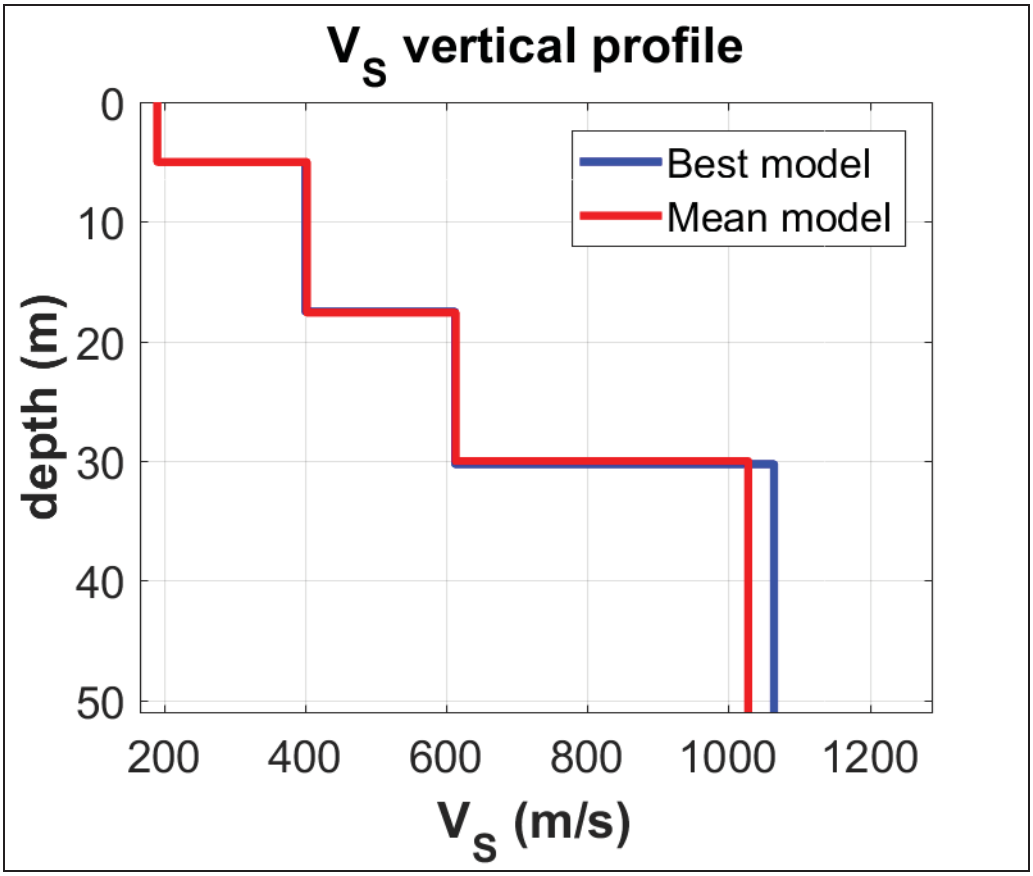


Fig. 2. Risultati dell'elaborazione in alto a sinistra curva di dispersione piccata. A destra il profilo verticale Vs identificato.

Mean model
Vs (m/s): 190, 402, 613, 1028
Standard deviations (m/s): 0, 2, 26, 52
Thickness (m): 5.0, 12.6, 12.4
Standard deviations (m/s): 0.0, 0.2, 0.9

STRATIGRAFIA VS



COMUNE DI MONTALTO UFFUGO

Provincia di Cosenza

INDAGINI GEOFISICHE

Rapporto di Prova



Progetto: Messa in sicurezza di un tratto di strada di S. Maria la Castagna interessato da un movimento franoso.

Località: S. Maria la Castagna - Montalto Uffugo (CS).

Committente: Dr. Geologo Giorgio Canonaco

Approvazioni e depositi:

Il Direttore Tecnico GEOPROSPECTOR:

Dr. Geologo Pedace Luigi Innocenzo

GEOPROSPECTOR
del Dr Geol. Luigi Pedace Innocenzo
Via U. Foscolo, 3
87067 ROSSANO Sc. (CS)
P. I. 02539970786 - C. F. PDCLNN69A03F205G

Data : Marzo 2021

COMUNE DI MONTALTO UFFUGO

Provincia di Cosenza

RAPPORTO DI PROVA

30 Marzo 2021

INDICE

1.	**PREMESSA TOMOGRAFIA SISMICA**	pag. 3
2.	**OBBIETTIVO DEI LAVORI**	pag. 3
3.	**CENNI SULLE METODOLOGIE**	pag. 5
4.	**ANALISI DEI DATI**	pag. 8
5.	**PREMESSA SISMICA MASW**	pag. 9
6.	**OBBIETTIVO DEI LAVORI**	pag. 9
7.	**CENNI SULLA METODOLOGIA**	pag. 10
8.	**ANALISI DEI DATI**	pag. 13

Allegati documentali:

- *TomografiaSismica*
- *Masw*
- *Ubicazione indagini*

1. Premessa Tomografia Sismica

Su incarico del Dr. Geol. Giorgio Canonaco è stato redatto uno studio geofisico al fine di ottenere un modello stratigrafico del sottosuolo, i rilievi sismici a rifrazione sono stati eseguiti il 25/03/2021.

Su specifiche indicazioni della Committenza sono stati eseguiti:

- N° 2 profili Tomografia Simica per un totale di 95 ml. Onde P.

Per quel che riguarda i parametri di acquisizione ci si è attenuti alle specifiche tecniche indicateci, e cioè:
-utilizzo di 24 canali e distanza intergeofonica pari a 2,50 metri per la Tomo1 e 1,50 metri per la Tomo2.
-utilizzo di esplositore a cartucce industriali cal. 8.
-utilizzo di una massa battente da 8 Kg..

2. Obbiettivo dei lavori

Tenendo conto delle caratteristiche geolitologiche dell'area indagata, l'indagine geognostica mediante sismica a rifrazione, utilizzando i parametri su indicati, si rileva particolarmente utile poiché consente di indagare in dettaglio i primi 20 metri dal piano campagna e fornisce utili informazioni a carattere areale sullo spessore e sulla consistenza dei litotipi presenti.

La correlazione con le altre indagini, eseguite nell'ambito della stessa campagna, consente inoltre di definire i rapporti di giacitura, ed i caratteri geotecnica di massima, degli stessi.

SCHEDA TECNICA DEL SISMOGRAFO

Numeri di canali	24 canali
Intervallo di campionamento	*0,296 msec*
Convertitore A/D	*16 bit*
Guadagno	*10 db – 100 db, step 1 db*
Tensione di saturazione	*+/- 2,3 V*
Livello di saturazione	*100 dB*
Distorsione	*0,01%*
Velocità di campionamento	*130 micro/sec*
Tempi di registrazione	25-50-100-200-400-800 millisec
Filtri attivi	High pass – Low Pass – Band Reject
Banda di lavoro	+/- 40 *Kz*

3. Cenni sulle metodologie

La tomografia sismica è una metodologia usata per stimare le proprietà della Terra. Nella comunità sismologica, la tomografia sismica è proprio una parte della visualizzazione sismica (seismic imaging), e di solito ha uno scopo più specifico: quello di valutare proprietà come la velocità di propagazione delle onde compressionali (onde P) e delle onde trasversali (onde S). Può anche essere usata per ottenere il fattore di attenuazione Q. Un'altra branca dell' imaging è la migrazione sismica dove le proprietà che devono essere stimate includono il coefficiente di riflessione o riflessività.

Il più semplice caso di tomografia sismica è quello di valutare la velocità delle onde P. Molti metodi sono stati sviluppati a questo scopo, per esempio...

Tomografia della durata della rifrazione (refraction traveltime [1] tomography)

Tomografia della durata della frequenza circoscritta (finite-frequency traveltime tomography)

Tomografia della durata della riflessione (reflection traveltime tomography)

Tomografia della forma d'onda (waveform tomography)

La tomografia sismica è di solito formulatà in base a un problema inverso. Nella tomografia della durata della rifrazione, i dati osservati sono la durata del primo arrivo t e i parametri del modello sono la velocità v. Il problema avanzato può essere formulato come

$t = Lv$

dove L è l'operatore avanzato che, in questo caso, è la matrice del cammino del raggio (raypath). La tomografia della durata di rifrazione è computazionalmente efficiente, ma può solo fornire una immagine a bassa risoluzione del sottosuolo.

Per ottenere un'immagine ad alta risoluzione si devono abbandonare le approssimazioni di frequenza infinita della teoria del raggio che sono applicabili al tempo

iniziale dell'onda, invece di misurare il numero di tragitti (o ampiezze) sopra una finestra del tempo di qualche lunghezza che usa una correlazione obliqua. La tomografia della frequenza finita prende in considerazione gli effetti della diffrazione dell'onda, la quale aquisisce l' imaging degli oggetti più piccoli o delle anomalie possibili. I percorsi del raggio sono rimpiazzati da nuclei di sensitività volumetrica, spesso detti nuclei a 'banana-ciambella' nella tomografia globale, perché la loro forma può rassomigliare a una banana, laddove la loro sezione trasversale assomiglia a una ciambella, con, almeno per le onde P ed S, sentività zero della durata sul percorso del raggio geometrico. Nella tomografia della frequenza finita, la durata del percorso e le anomalie dell'ampiezza sono dipendenti dalla frequenza che porta ad un incremento nella risoluzione.

Per utilizzare appieno l'informazione di un sismogramma si deve usare la tomografia della forma d'onda. In questo caso, i sismogramni sono i dati osservati. Nell'esplorazione sismica, il modello avanzato è di solito governato dall'equazione dell'onda acustica. Questa è una approssimazione alla propagazione dell'onda elastica. La tomografia della forma dell'onda elastica è molto più difficile della tomografia della forma d'onda acustica. L'equazione dell'onda acustica è numericamente risolta da alcuni schemi numerici come i metodi della differenza finita e degli elementi finiti. Nella tomografia globale il problema inverso per le onde elastiche può essere trattato per mezzo di metodi aggiuntivi.

Il processing dei dati, qui eseguito con il programma RAYFRACT (distribuito dalla Intelligent Resources Inc.), prosegue con la fase di inversione tomografica detta WET (Wavepath Eikonal Traveltime), che permette il calcolo delle traiettorie d’onda (wavepath) attraverso le soluzioni alle differenze finite dell’equazione che esprime le modalità di propagazione di un’onda in un mezzo isotropo.

3.1 Acquisizione dati sismici

Pel l'esecuzione delle indagini in oggetto è stato impiegato il seguente apparato di acquisizione:

Sismografo a 24 canali - modello Geode della Geometrics;

Computer portatile Acer Treavel Mate 220, Processore da 1.13 Ghz;

N° 2 Cavi Geofonici da 12 Geofoni (OYO Geospace);

Attrezzatura per l'energizzazione in superficie costituito da un esplositore a cartucce industriali cal.8 .

Utilizzo di una massa battente da 8 Kg.

3.2 Elaborazione dati

L'interpretazione dei dati è stata effettuata analiticamente e con calcolo automatico utilizzando un Computer portatile Acer Treavel Mate 220, Processore da 1.13 Ghz. e software ***RAYFRACT*** della ***Intelligent Resources Inc.***.

In allegato sono riportate, le Stratigrafia tomografica e i fronti d'onda.

4. Analisi dei dati

Di seguito sono descritti sinteticamente i risultati della prova eseguita; per un esame dettagliato delle stesse si rimanda in allegato.

TomografiaSismica n° 1:

Nella Tomografiasismica 1 sono stati riconosciuti tre orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici.

In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0 e -3 metri circa e le velocità delle onde sismiche di compressione Vpm = 300-600 m/s..

Al di sotto del su citato livello si incontra un intervallo tra -3 e -11 metri dal p.c. caratterizzato da velocità delle onde sismiche longitudinali Vpm = 600-1500 m/s, a testimonianza di un miglioramento delle caratteristiche elasto-meccaniche.

L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità d'indagine raggiunta, è caratterizzato da velocità delle onde sismiche longitudinali Vpm = 1500-2100 m/s.

TomografiaSismica n° 2:

Nella Tomografiasismica 2 sono stati riconosciuti tre orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici.

In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0 e -4 metri circa e le velocità delle onde sismiche di compressione Vpm = 500-800 m/s..

Al di sotto del su citato livello si incontra un intervallo tra -4 e -11 metri dal p.c. caratterizzato da velocità delle onde sismiche longitudinali Vpm = 800-1700 m/s, a testimonianza di un miglioramento delle caratteristiche elasto-meccaniche.

L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità d'indagine raggiunta, è caratterizzato da velocità delle onde sismiche longitudinali Vpm = 1700-2600 m/s.

5. MASW - Premessa

Su incarico del Dr. Geologo Giorgio Canonaco è stato redatto uno studio geofisico al fine di ottenere un modello stratigrafico del sottosuolo, il rilievo sismico Masw è stato eseguito il 25/03/2021.

Su specifiche indicazioni della Committenza sono stati eseguiti:

- N° 2 profili sismici con metodologia MASW .

Per quel che riguarda i parametri di acquisizione ci si è attenuti alle specifiche tecniche indicateci, e cioè:
-utilizzo di 24 canali e distanza intergeofonica pari a 2,50 metri per la Masw1 e 1,50 metri per la Masw2 e scoppio a 5 mt dal primo ricevitore.
-utilizzo di una massa battente da 8 Kg..

6. Obbiettivo dei lavori

Tenendo conto delle caratteristiche geolitologiche dell'area indagata, l'indagine geognostica mediante sismica MASW, utilizzando i parametri su indicati, si rileva particolarmente utile poiché consente di indagare in dettaglio i primi 30 metri dal piano campagna e fornisce utili informazioni sullo spessore e sulla consistenza dei litotipi presenti.

La correlazione con le altre indagini, eseguite nell'ambito della stessa campagna, consente inoltre di definire i rapporti di giacitura, ed i caratteri geotecnica di massima, degli stessi.

7. Cenni sulle metodologie

Tale indagine si è resa necessaria in ottemperanza alle Nuove norme tecniche per le costruzioni D.M. 17 Gennaio 2018, che attribuisce alle diverse località del Territorio Nazionale un valore di scuotimento sismico di riferimento espresso in termini di incremento dell'accelerazione al suolo e propone l'adozione di un sistema di caratterizzazione geofisica e geotecnica del profilo stratigrafico del suolo mediante cinque (A – B – C – D – E) categorie di suolo, sulla base della velocità delle onde di taglio si determina il VS equivalente (VsEq), secondo la formula riportata al cap.3.2.2. delle Norme Tecniche per le Costruzioni 2018.

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

H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da VS non inferiore a 800 m/s;
hi = spessore dell'i-esimo strato;
VS,i = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato

Per tale ragione nel presente lavoro è stato applicato il metodo di prospezione sismica del tipo M.A.S.W. (Multichannel Analisys of Surface Waves) che attraverso lo studio delle Onde Superficiali registrate in campagna, permette di determinare la Vs nei primi 30 metri di profondità.

7.1 Principi e Metodi per le indagini "MASW"

Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle Onde superficiali.

Ipotizzando una variazione di velocità dei terreni in senso verticale, ciascuna componente di frequenza dell'onda superficiale ha una diversa velocità di propagazione (chiamata velocità di fase) che, a sua volta, corrisponde ad una diversa lunghezza d'onda per ciascuna frequenza che si propaga. Questa proprietà si chiama dispersione.

Sebbene le onde superficiali siano considerate rumore per le indagini sismiche che utilizzano le onde di corpo (riflessione e rifrazione), la loro proprietà dispersiva può essere utilizzata per studiare le proprietà elastiche dei terreni superficiali. La costruzione di un profilo verticale di velocità delle onde di taglio (Vs), ottenuto dall'analisi delle onde piane della modalità fondamentale delle onde di Rayleigh è una delle pratiche più comuni per utilizzare le proprietà dispersive delle onde superficiali.

L'intero processo comprende tre passi successivi: L'acquisizione delle onde superficiali (ground roll), la costruzione di una curva di dispersione (il grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza) e l'inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle Vs.

Per ottenere un profilo Vs bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. Una molteplicità di tecniche diverse sono state utilizzate nel tempo per ricavare la curva di dispersione, ciascuna con i suoi vantaggi e svantaggi.

L'inversione della curva di dispersione viene realizzata iterativamente, utilizzando la curva di dispersione misurata come riferimento sia per la modellizzazione diretta che per la procedura ai minimi quadrati.

7.2 Acquisizione dati sismici

Pel l'esecuzione delle indagini in oggetto è stato impiegato il seguente apparato di acquisizione:

- Sismografo a 24 canali - Geode della Geometrics;
- Computer portatile Acer Treavel Mate 220, Processore da 1.13 Ghz;
- N.1 Cavo Geofonico a 24 Takes-out con spaziatura 2,5 m;
- N.24 Geofoni verticali a 4,5 hz (OYO Geospace);
- Distanza intergeofonica 2,5 m;
- Utilizzo di una massa battente da 8 Kg.

L'interpretazione dei dati è stata effettuata analiticamente e con calcolo automatico utilizzando un Computer portatile Acer Treavel Mate 220, Processore da 1.13 Ghz. e software **winMASW Academy** della **ELIOSOFT**.
In allegato sono riportate, foto, sismogramma e spettro di velocità, profilo verticale onde S.

8. Analisi dei dati

Di seguito sono descritti sinteticamente i risultati delle prove eseguite; per un esame dettagliato delle stesse si rimanda in allegato.

Masw 1:

Nel profilo sismico **Masw 1** sono stati riconosciuti quattro orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici.

In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0-4,80 metri circa e le velocità delle onde sismiche di taglio Vs = 237,00 m/s.

Nel Sismostrato 2, con uno spessore di 5,50 m, si incontra un intervallo caratterizzatoda onde sismiche di taglio Vs = 431,00 m/s.

Nel Sismostrato 3, con uno spessore di 14,40 m, si incontra un intervallo caratterizzatoda onde sismiche di taglio Vs = 556,00 m/s.

L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità di indagine, è caratterizzato da onde sismiche di taglio Vs = 868,00 m/s.

Masw 2:

Nel profilo sismico **Masw 2** sono stati riconosciuti quattro orizzonti significativi con differenti caratteristiche elasto-meccanici.

In particolare è stato individuato un orizzonte superficiale di spessore variabile tra 0-5,00 metri circa e le velocità delle onde sismiche di taglio Vs = 190,00 m/s.

Nel Sismostrato 2, con uno spessore di 12,60 m, si incontra un intervallo caratterizzatoda onde sismiche di taglio Vs = 402,00 m/s.

Nel Sismostrato 3, con uno spessore di 12,40 m, si incontra un intervallo caratterizzatoda onde sismiche di taglio Vs = 613,00 m/s.

L'ultimo sismostrato, fino alla massima profondità di indagine, è caratterizzato da onde sismiche di taglio Vs = 1028,00 m/s.

Rossano lì, 30 Marzo 2021

Impresa Esecutrice: Geoprospector

del dr. Luigi Pedace Innocenzo

GEOPROSPECTOR
del Dr Geol. Luigi Pedace Innocenzo
Via U. Foscolo, 3
87067 ROSSANO Sc. (CS)
P. I. 02539970786 - C. F. PDCLNN69A03F205G

Allegati

Ubicazione Indagini



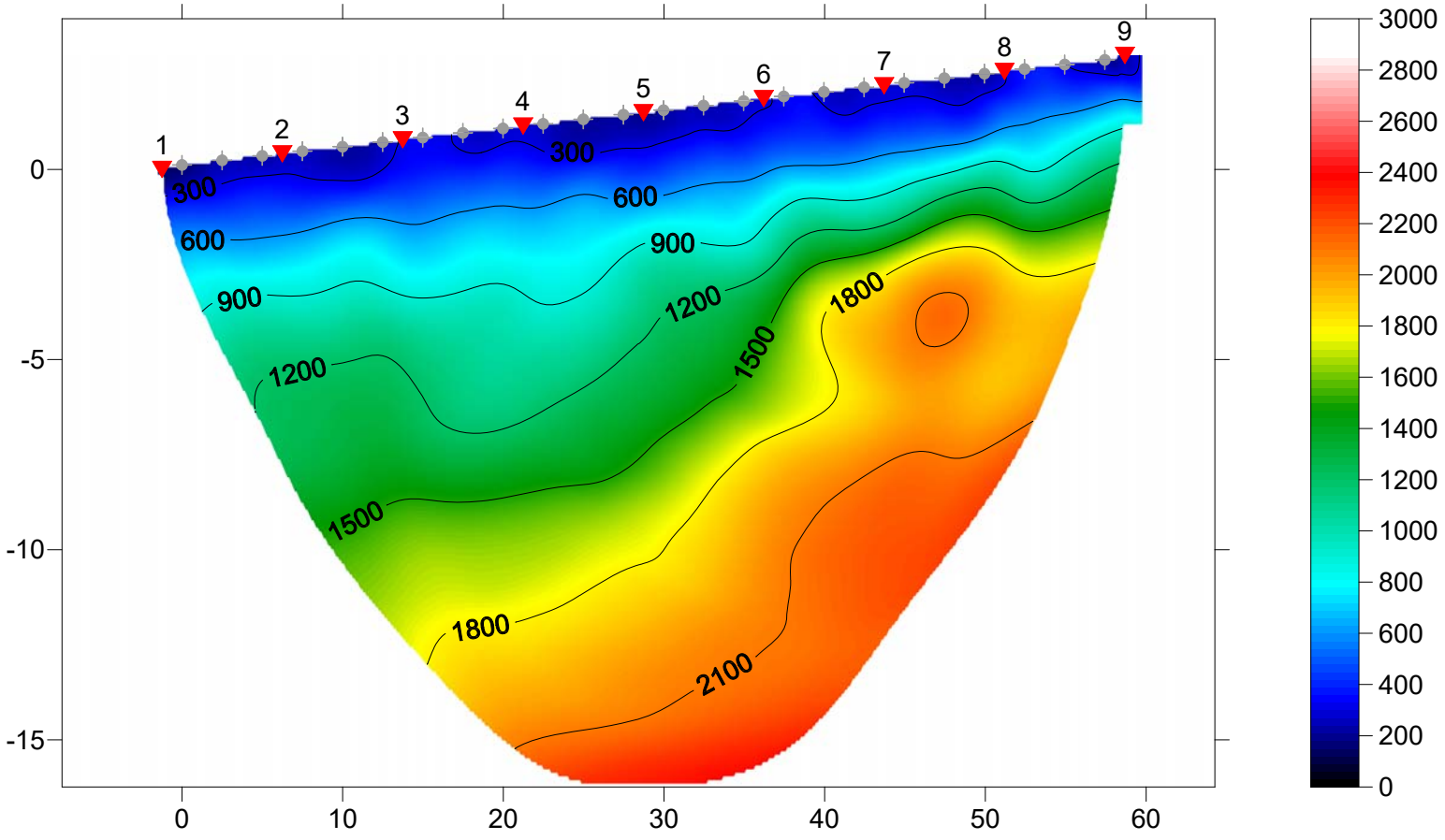
Tomo1 e Masw1



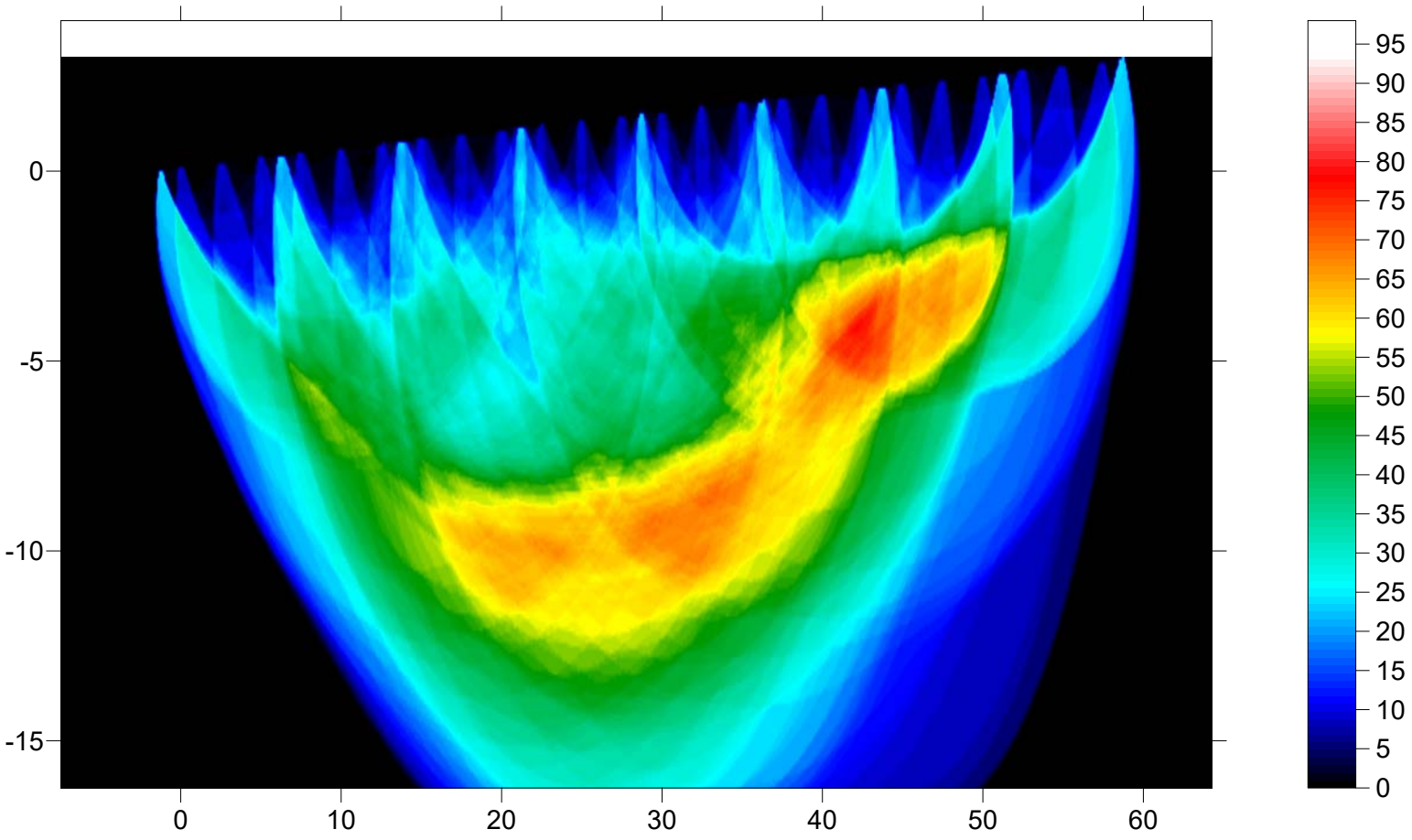
Tomo2 e Masw2



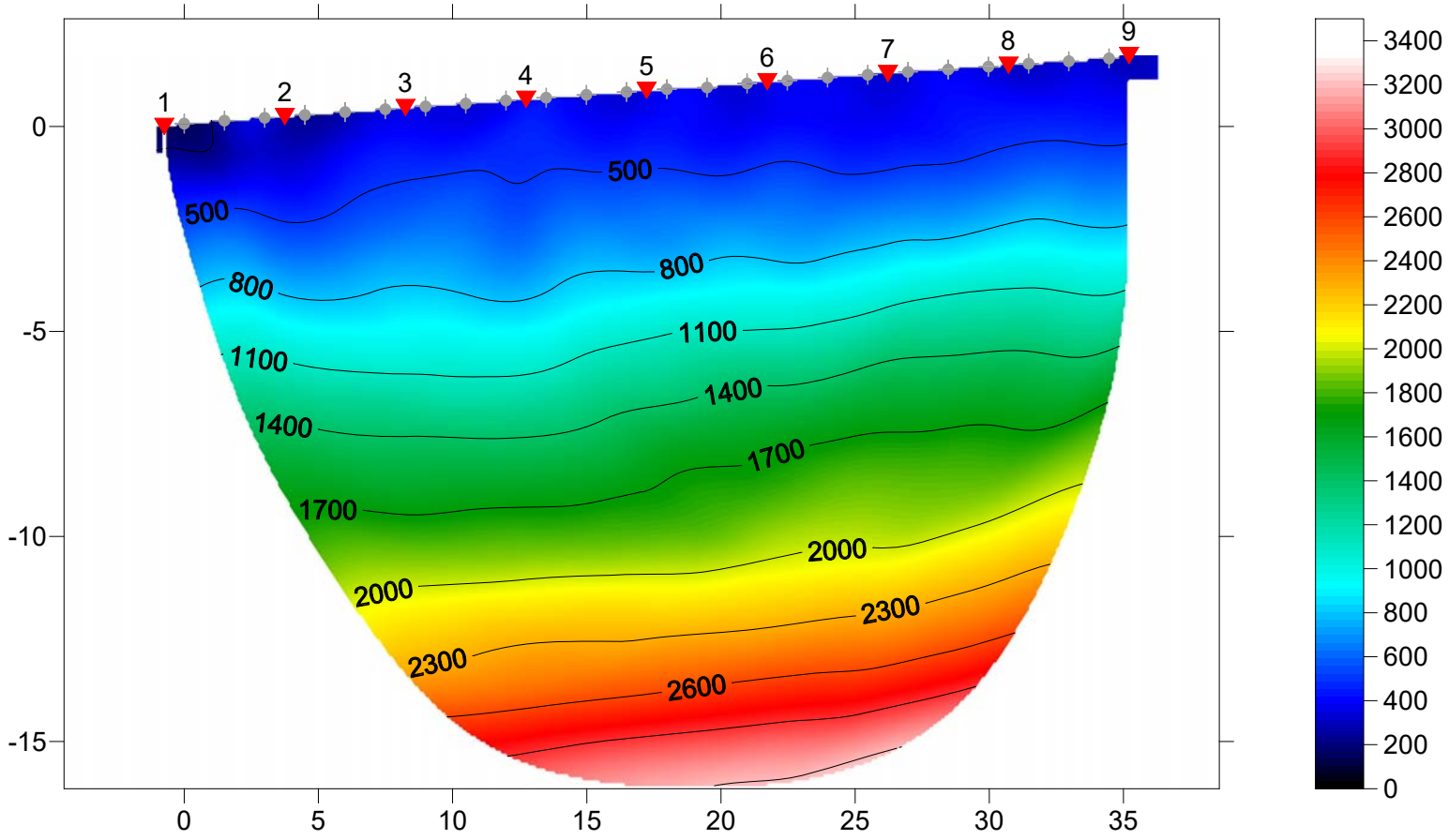
TomografiaSismica 1 RMS error 3.5%=1.02ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.5% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



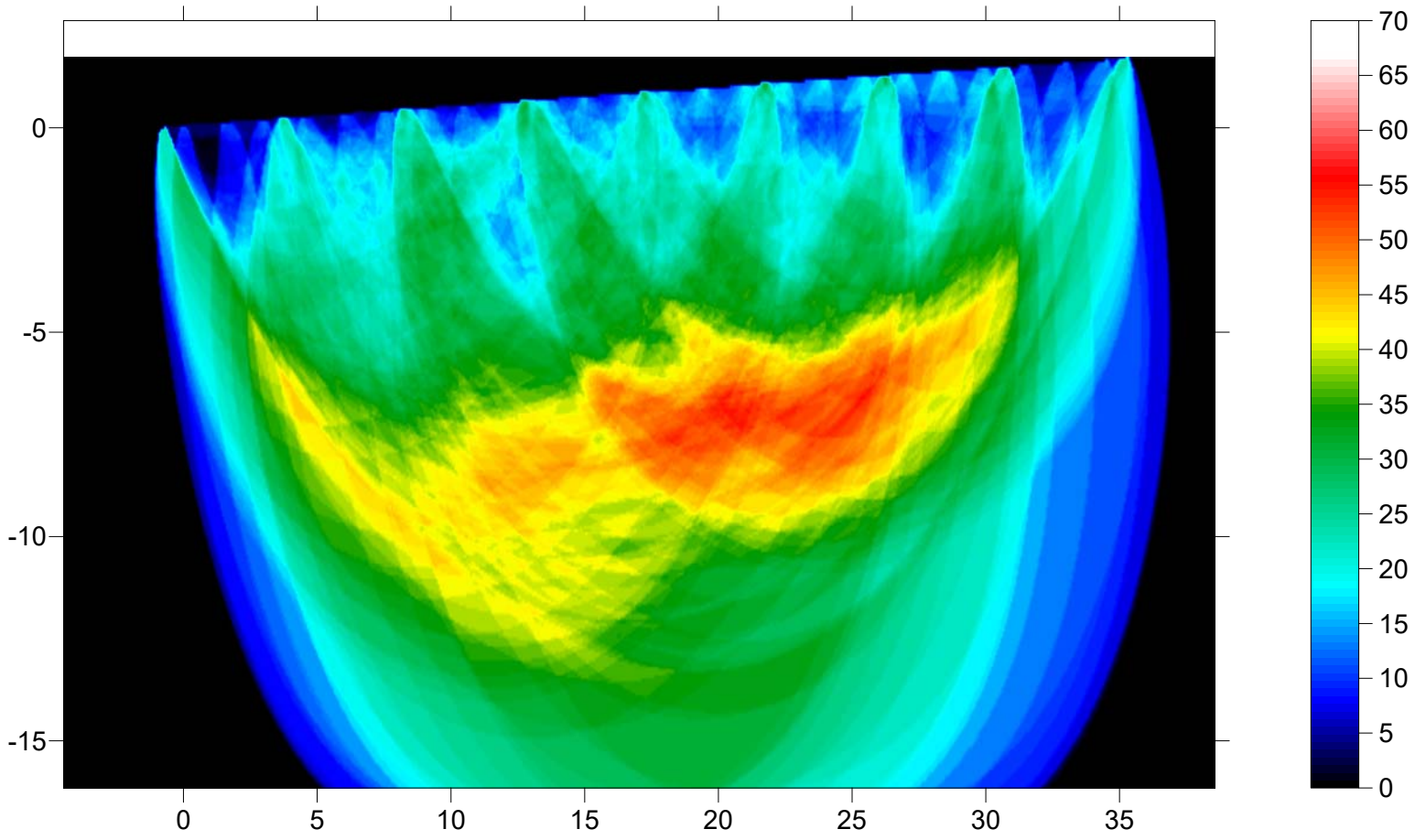
TomografiaSismica 1 RMS error 3.5%=1.02ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.5% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



TomografiaSismica 2 RMS error 4.0%=0.98ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



TomografiaSismica 2 RMS error 4.0%=0.98ms 20 WET itr. 50Hz Width 3.0% initial GRADIENT.GRD v. 4.01



ALLEGATO

"INDAGINE GEOFISICA"

SISMICA MASW

(Multichannel Analisys of Surface Waves)

MASW 1

SISMOGRAMMA E SPETTRO DI VELOCITA'

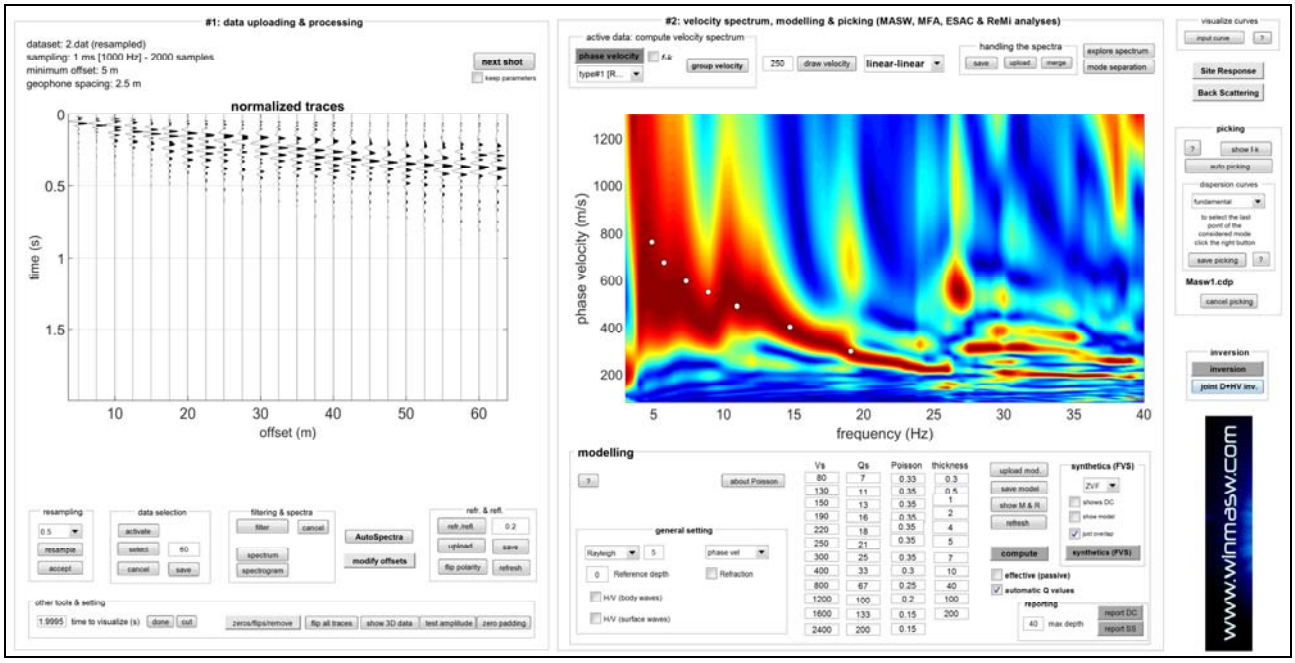


Fig. 1. Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

PICHING E PROFILO ONDE S

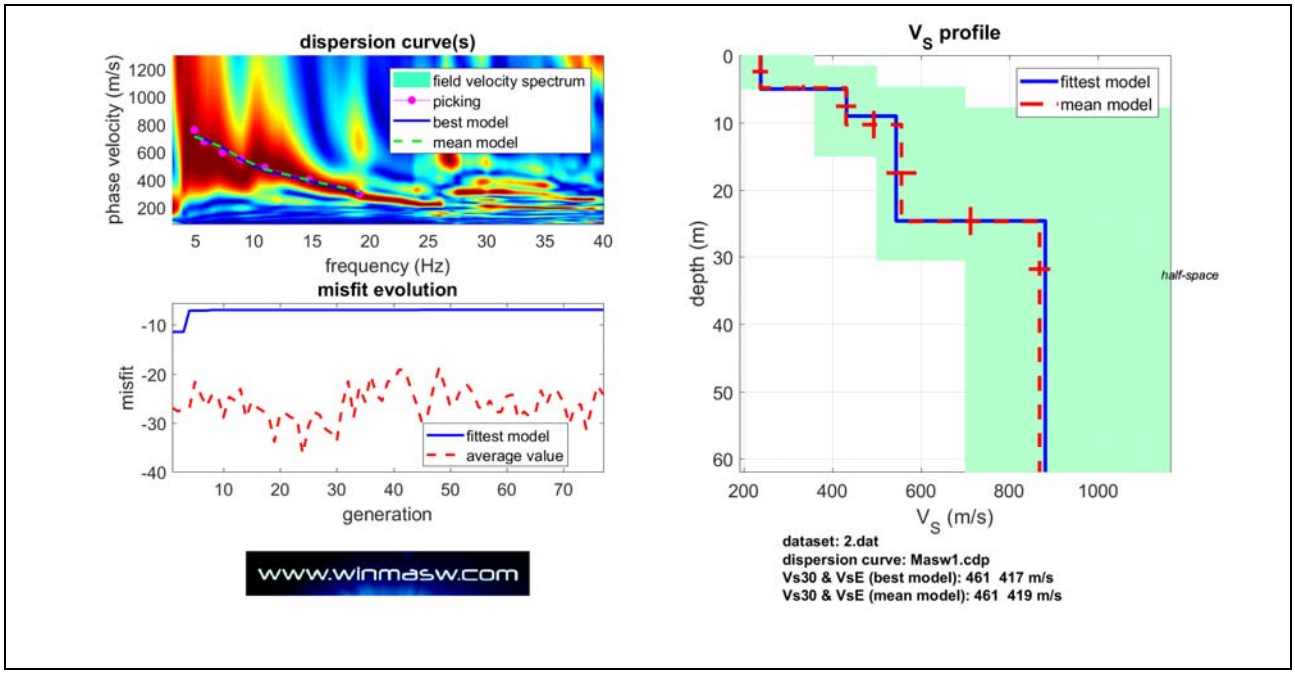
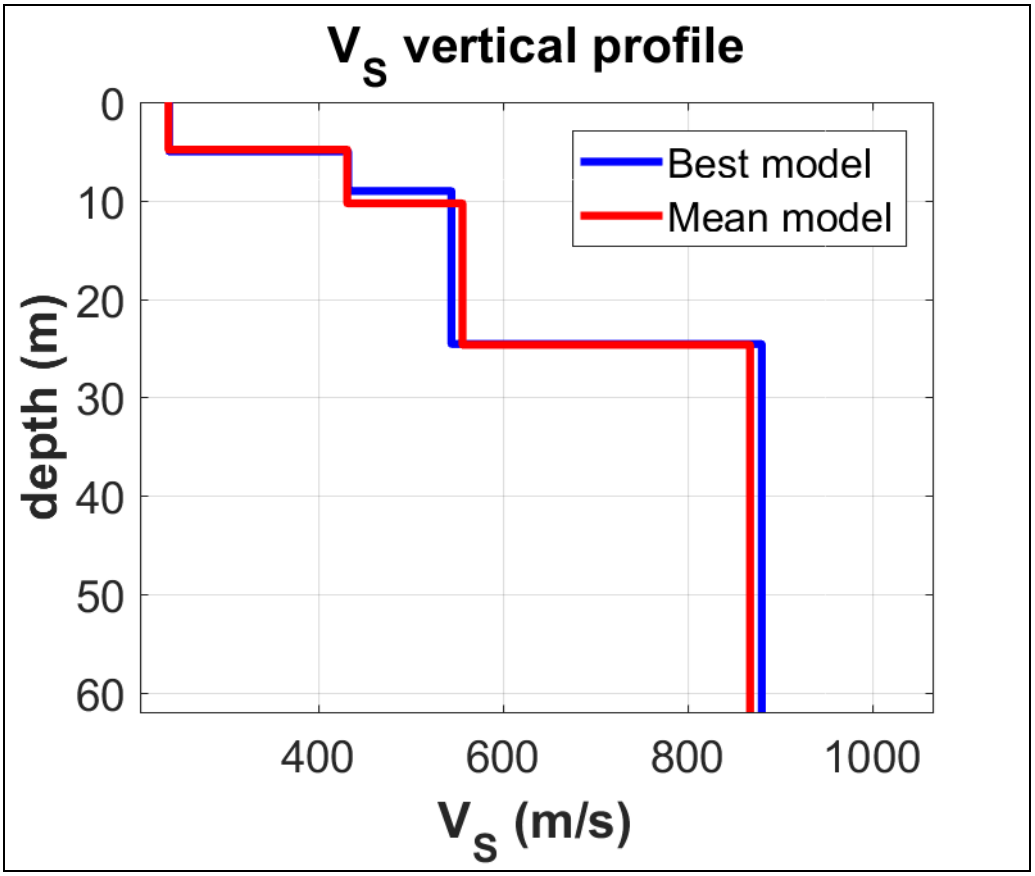


Fig. 2. Risultati dell'elaborazione in alto a sinistra curva di dispersione piccata. A destra il profilo verticale Vs identificato.

Mean model
Vs (m/s): 237, 431, 556, 868
Standard deviations (m/s): 17, 23, 34, 24
Thickness (m): 4.8, 5.5, 14.4
Standard deviations (m/s): 0.4, 2.1, 2.1

STRATIGRAFIA VS



MASW 2

SISMOGRAMMA E SPETTRO DI VELOCITA'

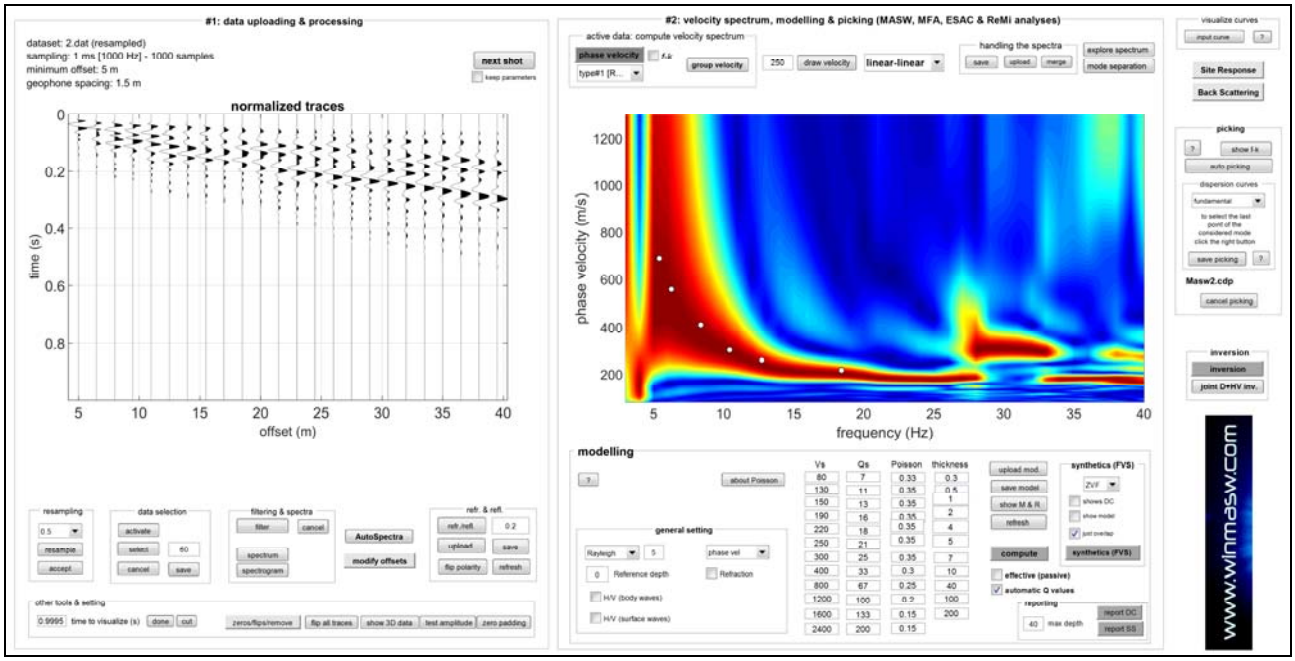


Fig. 1. Sulla sinistra i dati di campagna e, sulla destra, lo spettro di velocità calcolato

PICHING E PROFILO ONDE S

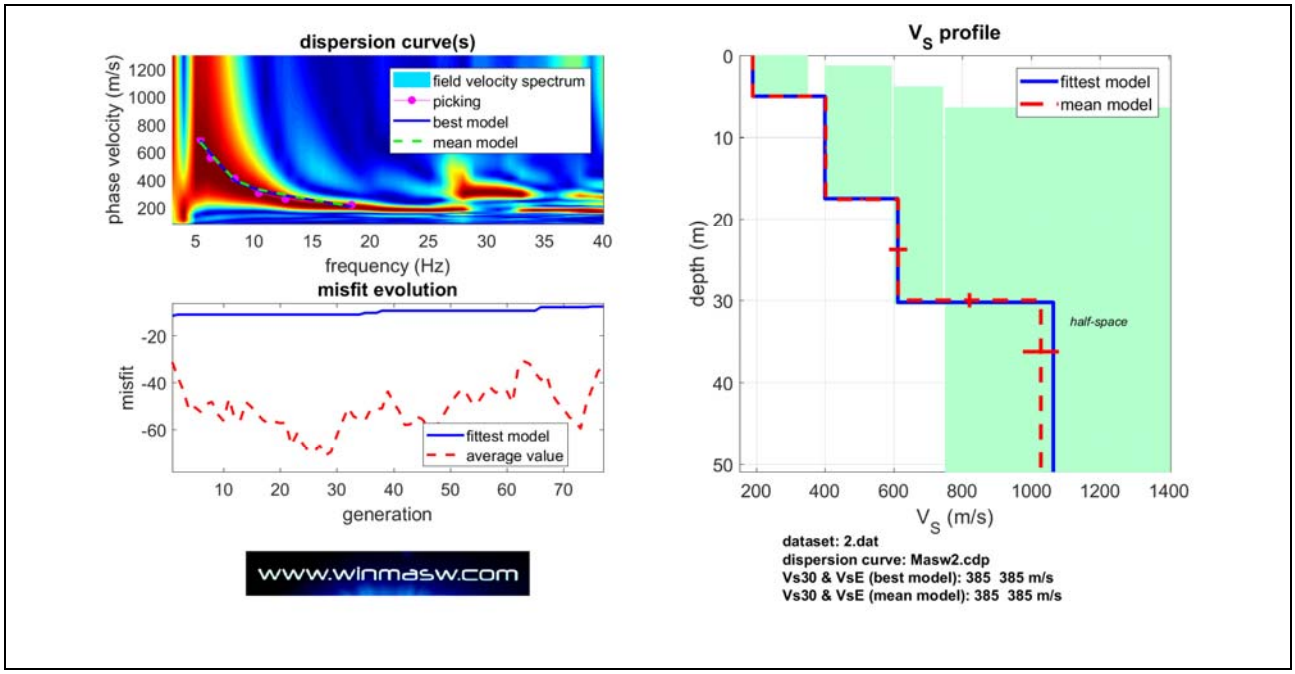


Fig. 2. Risultati dell'elaborazione in alto a sinistra curva di dispersione piccata. A destra il profilo verticale Vs identificato.

Mean model
Vs (m/s): 190, 402, 613, 1028
Standard deviations (m/s): 0, 2, 26, 52
Thickness (m): 5.0, 12.6, 12.4
Standard deviations (m/s): 0.0, 0.2, 0.9

STRATIGRAFIA VS

