



AGENZIA DEL DEMANIO

DIREZIONE REGIONALE CALABRIA

SERVIZI TECNICI

P.F.T.E. REALIZZAZIONE DELLA NUOVA SEDE
DEL PRESIDIO CISIA DI REGGIO CALABRIA MINISTERO
DELLA GIUSTIZIA - CORTE D'APPELLO
COMUNE DI REGGIO CALABRIA (RC)
SCHEDE RCBP071

PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

PR.04 RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA
DEL SITO E DI PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

IL TECNICO ISTRUTTORE

ING. SALVATORE VIRGILLO



IL RESPONSABILE SERVIZI TECNICI

ING. SALVATORE CONCETTINO



CODICE ELABORATO
R09

SCALA

PROTOCOLLO E DATA
2019/10558/DRCAL/STE del 17/06/2019



**AGENZIA DEL
DEMANIO**

Direzione Regionale Calabria
Via Gioacchino Da Fiore, 34 - 88100 Catanzaro

tel: 0961.778911, fax mail: 06.50516080, e-mail: dre.Calabria@agenzia demanio.it,
PEC: dre_Calabria@pce.agenzia demanio.it

PROGETTO 10
ANALISI CONOSCITIVE E FUNZIONALI
ALLA REALIZZAZIONE DEL P.F.T.E. PER
L'IMMOBILE DEMANIALE SITO IN
VIA PELLICANO REGGIO CALABRIA (RC)
SCHEDA RCBP071

Oggetto:

**RELAZIONE MODELLAZIONE SISMICA
E DI PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE**

Elaborato PR.04

Scala: ---

Data: novembre 2018

Responsabile Unico del Procedimento: Ing. Salvatore Virgillo

R.T.P. CONTE:

Elio Conte
Architetto
(Capogruppo)

STUDIO
PROGETTAZIONI
D'INGEGNERIA - SPI SRL

Francesco CUCCURULLO Lester LONARDO
Geologo
(Mandante)

Archeologo
(Mandante)



Agg.

Agg.

Agg.

Agg.

R.T.P. CONTE

c/o Arch. Elio Conte, Via Carlo de Marco n° 135, 80137 Napoli - Tel./fax 081 7517736, PEC elio.conte@archiworldpec.it

INDICE

1 - PREMESSA.....	3
2 - INDAGINE ESEGUITA.....	4
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	5
4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI	11
5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	13
6 - CONCLUSIONI.....	25

1 - PREMESSA

Su incarico dell'Agencia del Demanio - Direzione Regionale Calabria, è stata effettuata n°1 prospezione sismica M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves ovvero Analisi Multicanale delle onde Superficiali di Rayleigh) per la redazione della relazione geofisica sulla modellazione sismica di sito e di pericolosità sismica di base inerente al Progetto 10 - Analisi conoscitive e funzionali alla realizzazione del P.F.T.E. per l'immobile demaniale sito in via Pellicano Reggio Calabria (RC) SCHEDA RCBP071 (coordinate geografiche WGS84 del sito 38.106543° N - 15.646584° E), nel territorio comunale di Reggio di Calabria (RC) (Fig. 1), al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il sottosuolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018 – Regolamento Regionale n.15 del 2016).

È stata inoltre condotta un'analisi della risposta sismica del sottosuolo fornendo il calcolo degli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto (D.M. 17 gennaio 2018 – Regolamento Regionale n. 15/2016).



Fig. 1 – Prospezione sismica MASW effettuata in area progettuale.

2 - INDAGINE ESEGUITA

Al fine di caratterizzare sismicamente il sottosuolo nell'area oggetto di indagine, è stata eseguita una prospezione sismica MASW (Fig. 1), con le seguenti caratteristiche (Tab. 1):

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Lunghezza complessiva dello stendimento (m)</i>	<i>Offset e spacing (m)</i>	<i>Direzione</i>
<i>MASW n.1</i>	<i>31.25</i>	<i>1.25</i>	<i>N 320° E</i>

Tab. 1 – Riepilogo caratteristiche delle fasi di acquisizione relative allo stendimento geofonico messo in opera.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di sismografo M.A.E. A6000-S 24 bit 24 canali, strumento compatto e versatile progettato e realizzato appositamente per eseguire indagini di prospezione sismica convenzionali (rifrazione, riflessione) e non convenzionali [Re.Mi. (Refraction Microtremor); M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves); S.A.S.W. (Spectral Analysis of Surface Waves)].

L'elevata dinamica (24 bit di risoluzione) unita alla notevole memoria per l'acquisizione, ne consente l'utilizzo per tecniche di indagine di tipo non convenzionale. Tali indagini risultano particolarmente adatte in aree fortemente antropizzate (aree urbane e industriali) con notevole presenza di rumore di fondo (noise).

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni toccando con un pennino gli oggetti interessati direttamente sullo schermo.

L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP embedded.

La sorgente sismica (Fig. 2) è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 6kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz, posto in prossimità della piastra.

Quando la battuta sulla superficie della piastra non risultava netta o veniva colpita due volte erroneamente, la prova veniva ripetuta.

La sorgente è stata posizionata all'inizio e alla fine dello stendimento geofonico, con offset pari a 1.25m, in modo tale da ottenere profili sismici diretti ed inversi. Le oscillazioni del sottosuolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con spacing predefinito (Fig. 1; Tab. 1). La lunghezza complessiva dello stendimento geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 2D dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 32.6m dal p.c.

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey) per la determinazione della sismostratigrafia del sottosuolo.



Fig. 2 – Sorgente energizzante, costituita da massa battente su piastra di alluminio. Come starter/trigger è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14Hz.

3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale $T=2.048s$, sono state effettuate con passo di campionamento $dt=0.5ms$. La frequenza di campionamento è data da: $f_{campionamento}=1/dt=2000Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{Nyquist}=1/2dt=1000Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{min}=1/T=0.488Hz$.

L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh sono state effettuate con il programma SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey che ha permesso di eseguire l'intero processo di elaborazione di n°1 sezione sismostratigrafica 2D delle V_s (Fig. 11).

Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono di seguito riportati (Figg. 3 – 11).

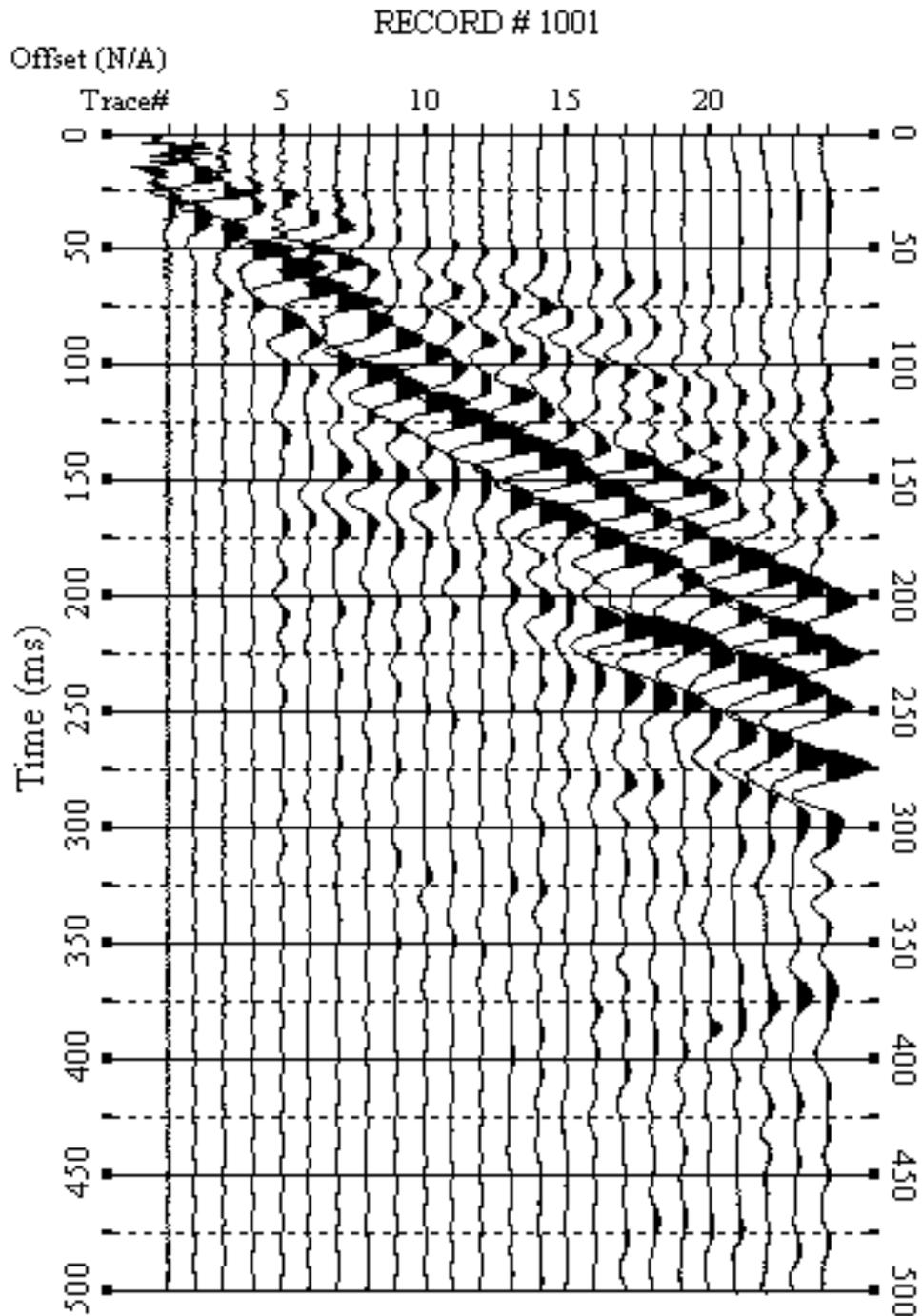


Fig. 3 – Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n. 1: acquisizione n. 1. Finestra temporale [0-500]ms.

RECORD # 1002

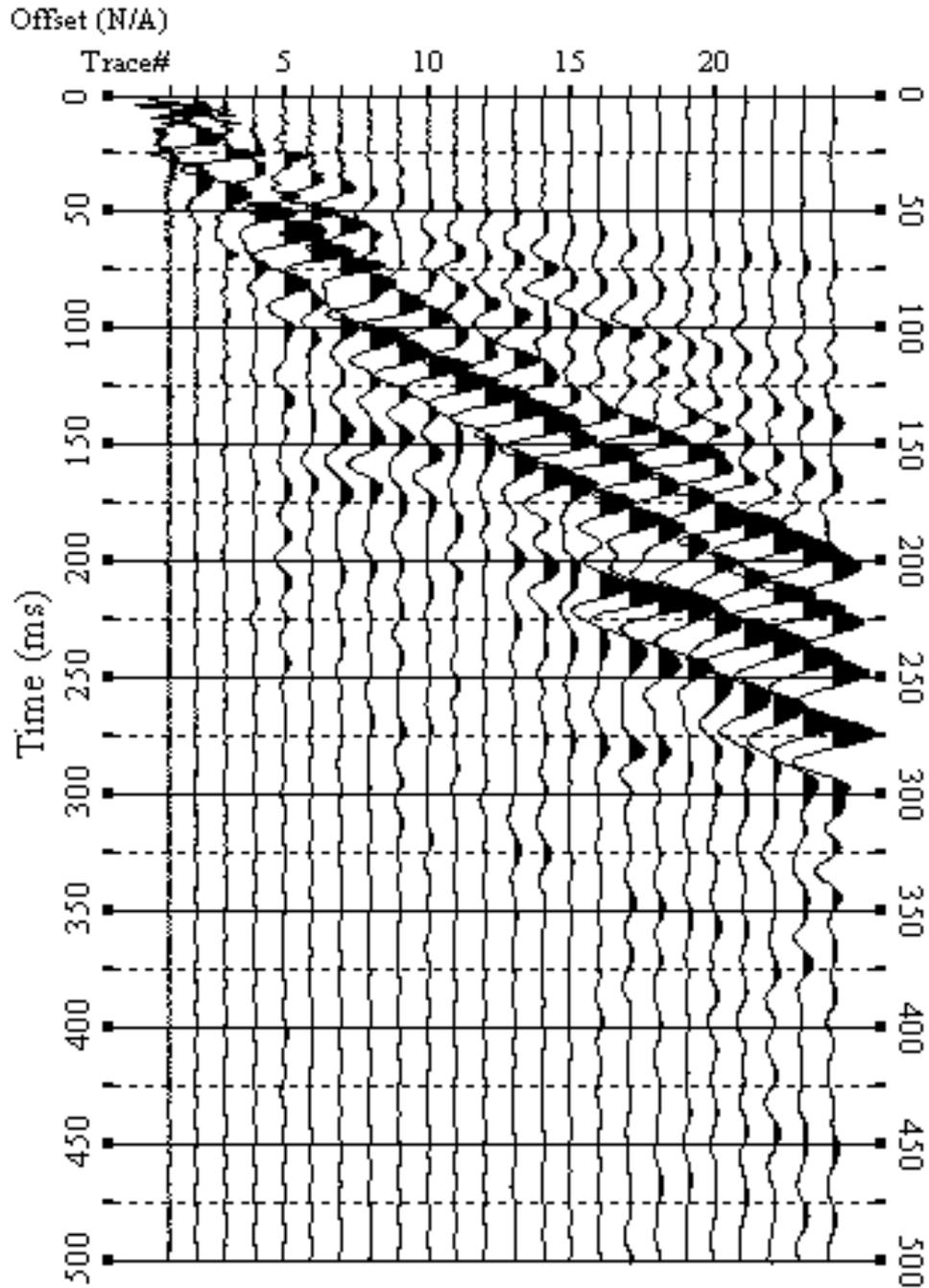


Fig. 4 – Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n. 1: acquisizione n. 2. Finestra temporale [0-500]ms.

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E DI PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE INERENTE AL PROGETTO 10 - ANALISI CONOSCITIVE E FUNZIONALI ALLA REALIZZAZIONE DEL P.F.T.E. PER L'IMMOBILE DEMANIALE SITO IN VIA PELLICANO REGGIO CALABRIA (RC) SCHEDA RCBP071

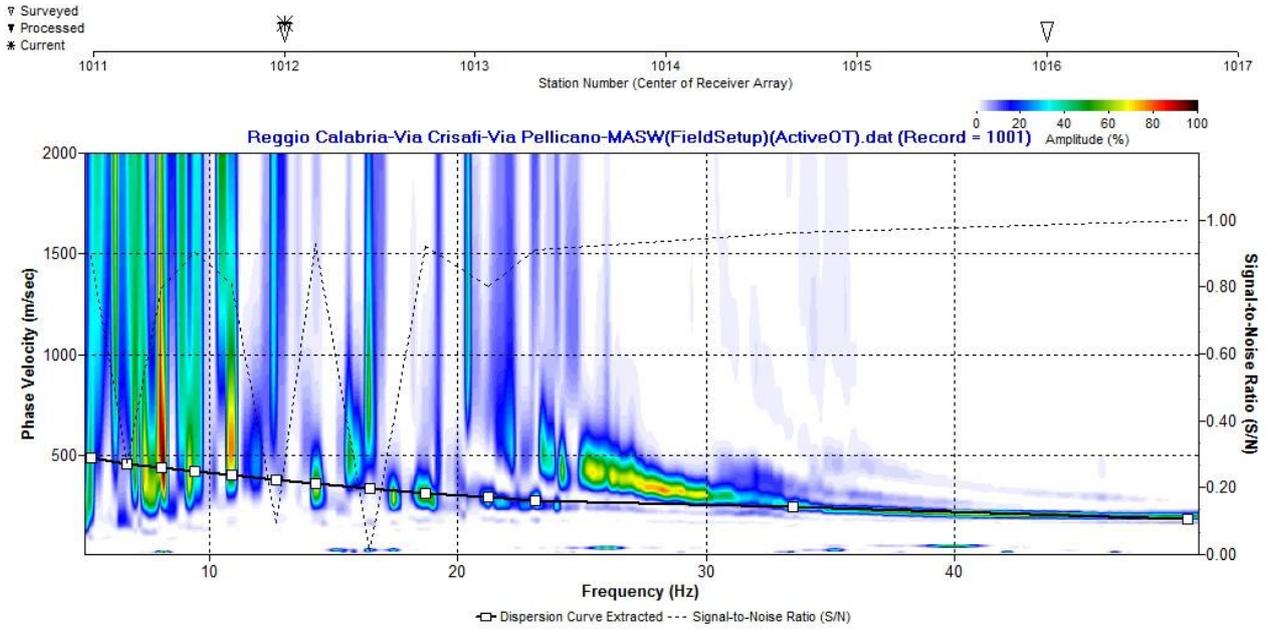


Fig. 5 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n. 1: acquisizione n. 1.

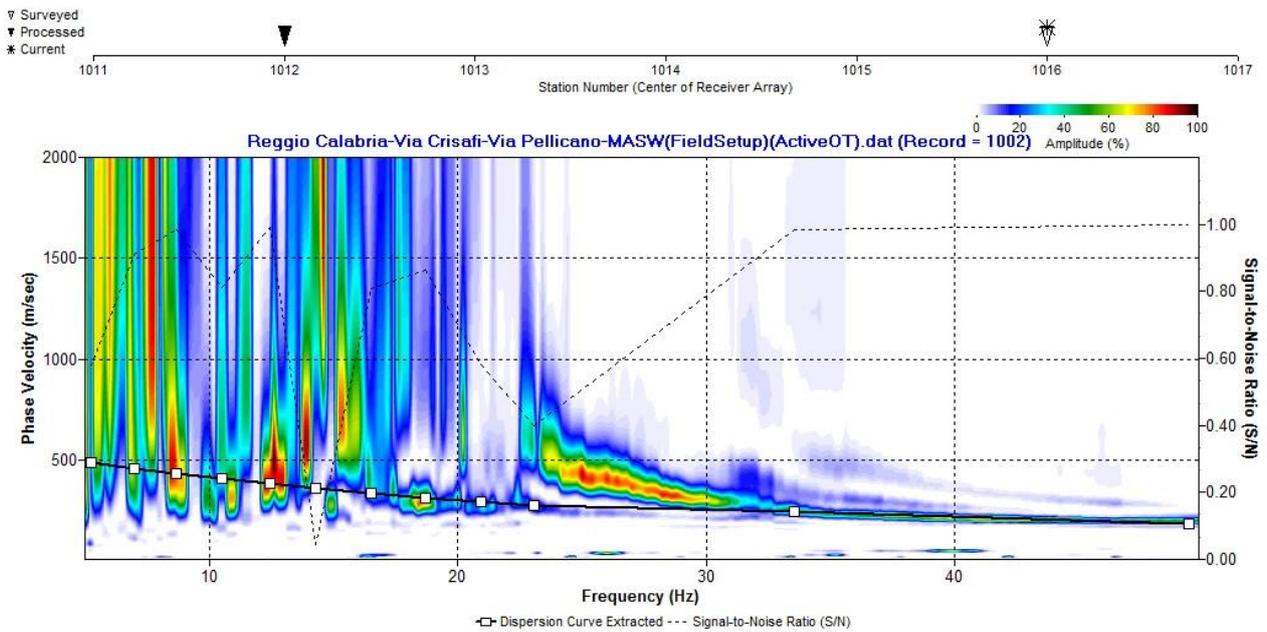


Fig. 6 – Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n. 1: acquisizione n. 2.

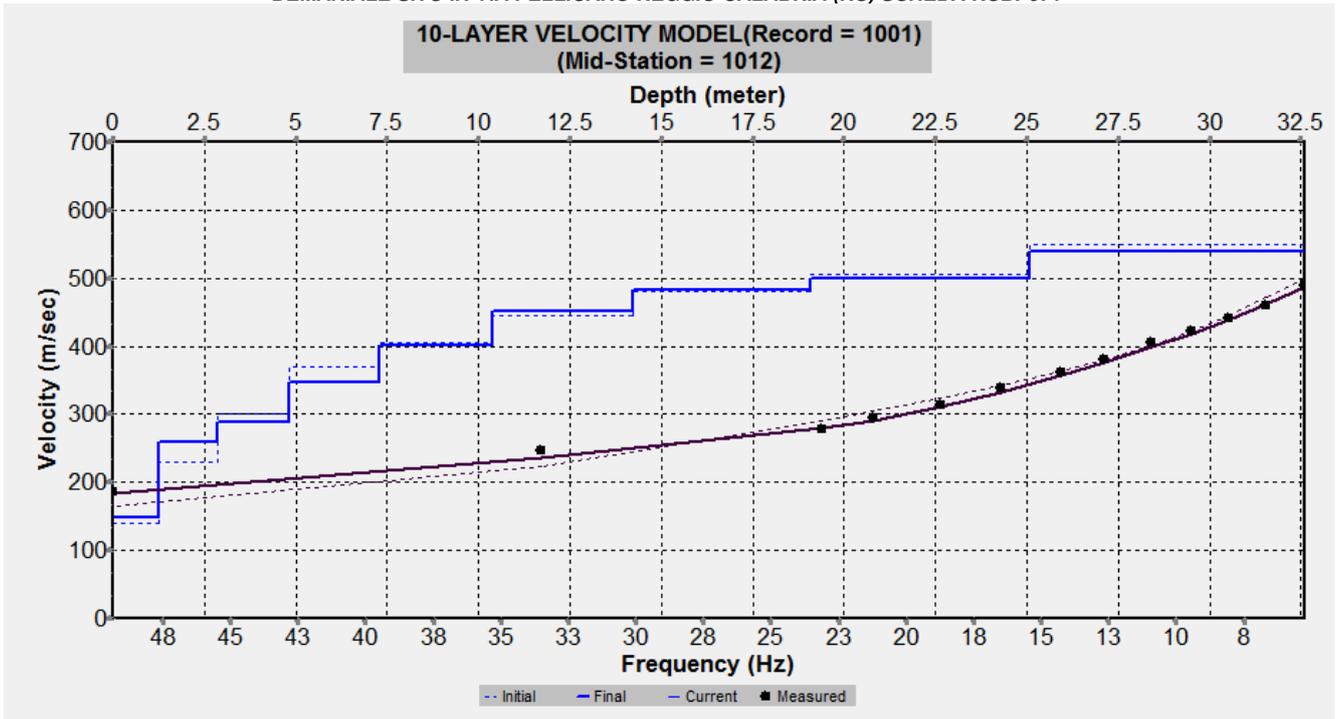


Fig. 7 – Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n. 1 - acquisizione n. 1.

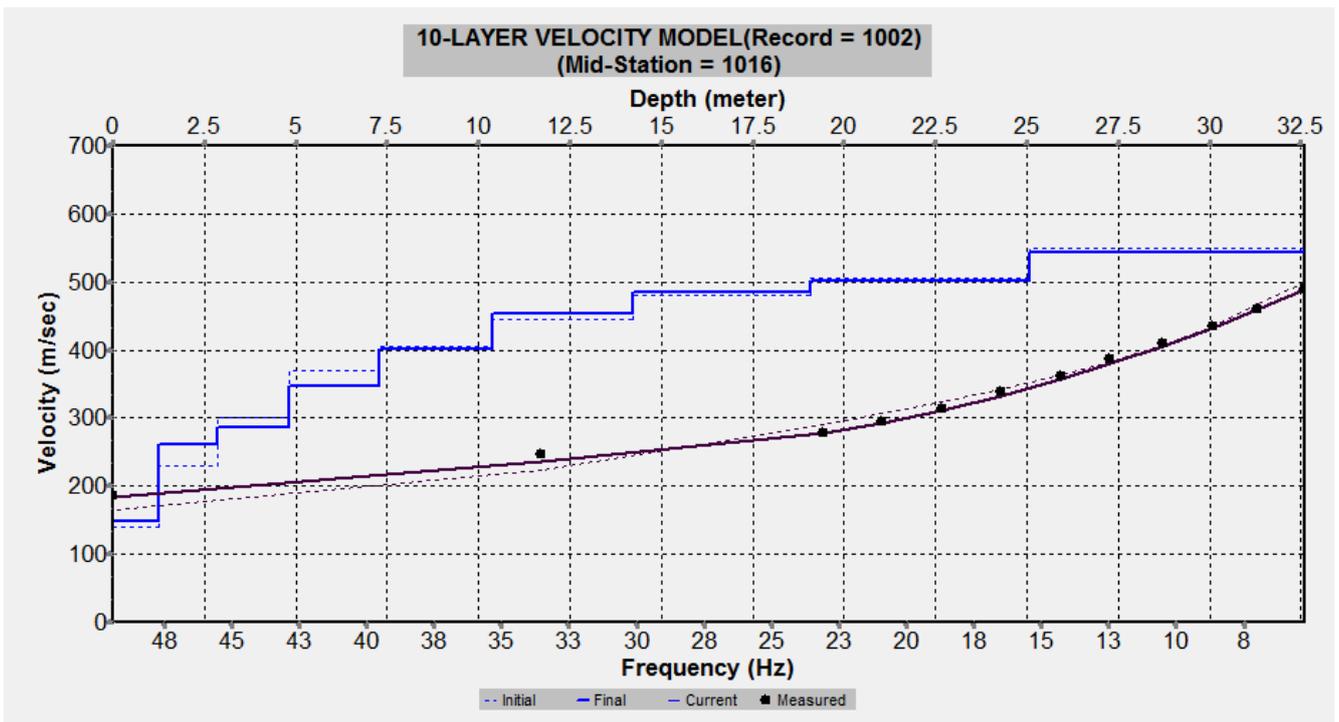


Fig. 8 – Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n. 1 - acquisizione n. 2.

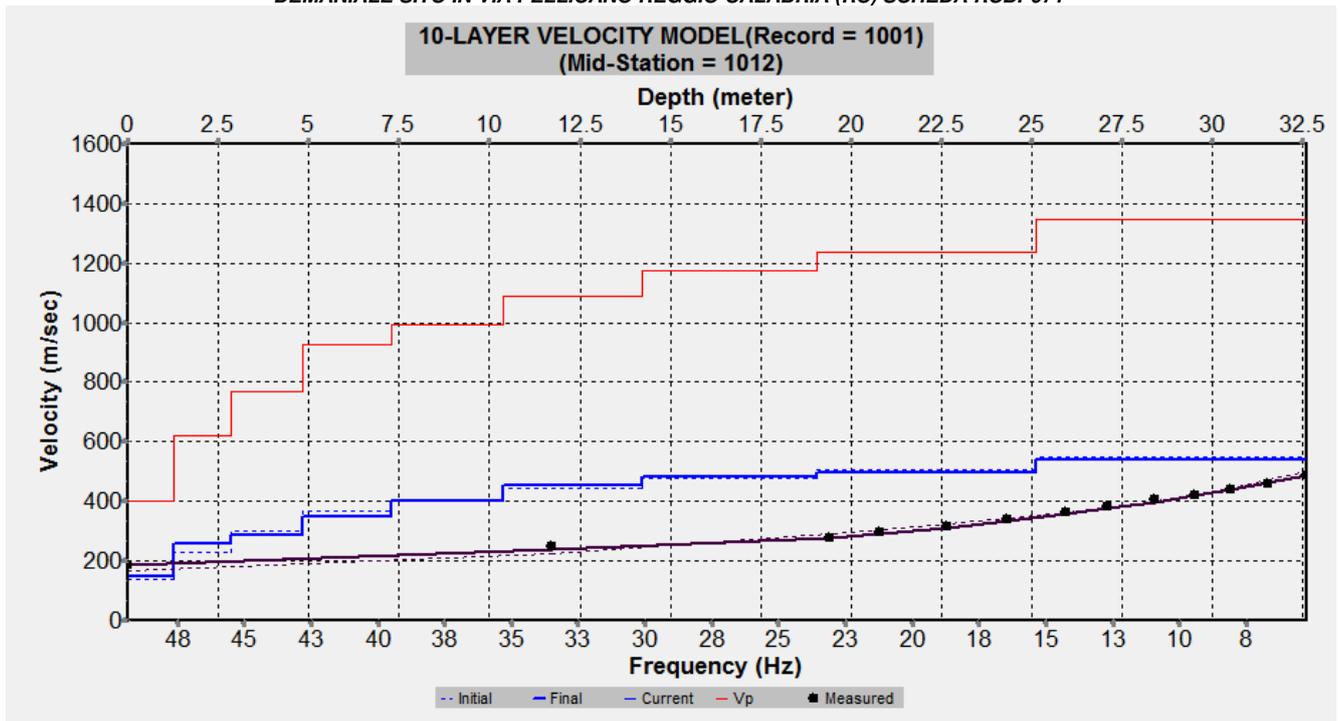


Fig. 9 – Profili verticali 1D delle V_p e delle V_s ottenuti dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n. 1 - acquisizione n. 1.

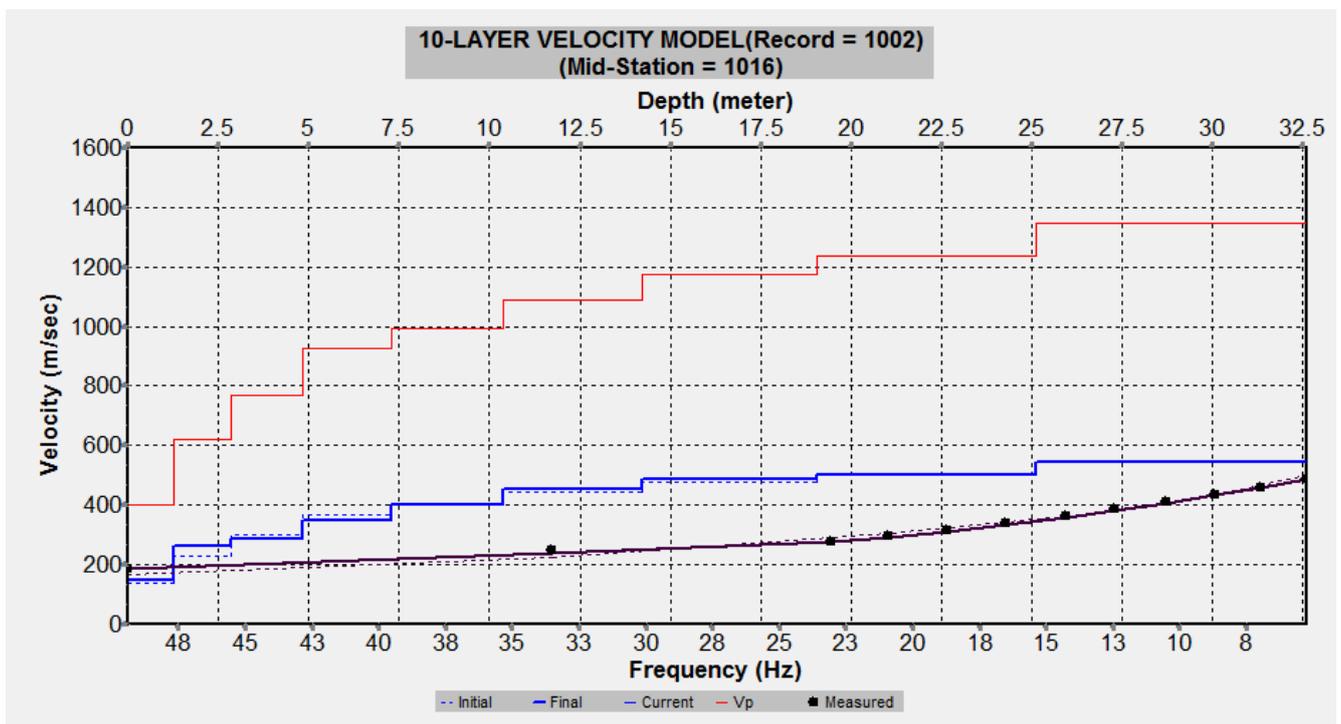


Fig. 10 – Profili verticali 1D delle V_p e delle V_s ottenuti dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n. 1 - acquisizione n. 2.

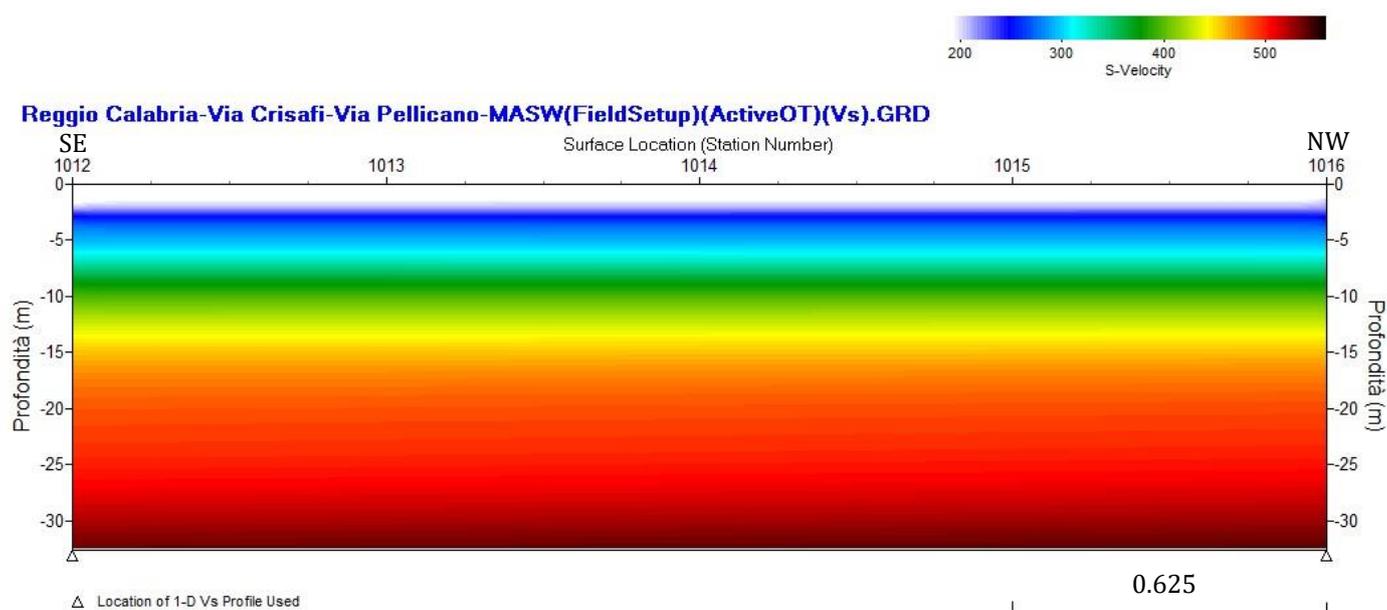


Fig. 11 – Modello sismostratigrafico 2D delle V_s ottenuto dall'indagine Sismica MASW n. 1.

4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

L'indagine sismica MASW effettuata, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di 30m (0m-30m) dal p.c. e fino alla profondità di 32m (2m-32m) dal p.c., in quanto non è stato raggiunto il bedrock sismico nei primi 32 metri di profondità dal p.c. ha fornito risultati che collocano i terreni oggetto d'indagine nella categoria **B** del D.M. 17 gennaio 2018 (Tab. 2; Tab. 3). Questa categoria è stata ricavata, come da normativa, dalla relazione:

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

dove h_i e V_i indicano lo spessore in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio $\gamma < 10^{-6}$) dello strato i-esimo per un totale di N strati presenti fino ad individuare il bedrock sismico o qualora non individuato nei primi 30 metri di profondità al di sotto del piano fondale.

Categorie di sottosuolo

Decreto del 17 gennaio 2018 - Norme Tecniche per le Costruzioni

Categoria A

Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da **valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s**, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.

Categoria B

Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da **valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s**.

Categoria C

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

Categoria D

Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da **valori di velocità equivalente compresi tra 100 m/s e 180 m/s**.

Categoria E

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

Tab. 2 – Categorie sottosuoli di fondazione (D.M. 17 gennaio 2018).

<i>Prospezione sismica</i>	<i>$V_{S\ 0-30}$ (m/s)</i>	<i>$V_{S\ 2-32}$ (m/s)</i>	<i>Categoria Suoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)</i>
<i>MASW n. 1</i>	<i>[394 ÷ 395]</i>	<i>[439 ÷ 440]</i>	<i>B</i>

Tab. 3 – Categoria Sottosuolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica MASW effettuata.

Categoria di sottosuolo di fondazione B = Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

Categoria topografica T1 = Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$.

5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE

È noto da tempo che i danni che si manifestano durante un terremoto possono avere dimensioni molto diverse in località tra loro vicine a causa di una differente risposta sismica locale; ad esempio, per lo stesso sisma registrato da strumenti identici e a breve distanza reciproca, uno posto su di una coltre alluvionale di 200m di spessore, l'altro su rocce cristalline, fu rilevato un rapporto di ampiezza pari a 5 corrispondente a circa 2 unità della scala sismica delle intensità (Carrara et al., 1992). D'altra parte, lo stesso concetto di magnitudo tiene conto di ciò, legando la sua valutazione all'ampiezza del moto del suolo normalizzata sia mediante una funzione di attenuazione con la distanza, sia mediante un coefficiente di stazione e quest'ultimo è legato, appunto, alla diversa risposta dei siti di registrazione ad uno stesso evento sismico.

Questo fenomeno fu notato per la prima volta un secolo fa quando, durante il tristemente noto terremoto di S. Francisco del 1906, edifici praticamente identici per forma, dimensioni e materiali impiegati, subirono danni sensibilmente diversi (alcuni edifici subirono crolli totali mentre altri subirono danni praticamente trascurabili).

È ormai assodato che le caratteristiche con cui si presenta un sisma in un dato sito sono fortemente dipendenti oltre che dalle caratteristiche della sorgente, dalle modalità di emissione dell'energia e dalla distanza ipocentrale, soprattutto da fattori di risposta locale che modificano la composizione spettrale del sisma.

In sostanza la risposta sismica locale è l'azione di filtro e d'amplificatore esercitata localmente dagli strati più superficiali del terreno sovrapposti ad un basamento roccioso; essa è l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo a una formazione rocciosa di base (substrato o bedrock), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti (deposito di copertura) fino alla superficie.

Per una corretta valutazione della risposta sismica locale è quindi indispensabile calcolare gli spettri di risposta elastici delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto.

La valutazione della risposta sismica locale è stata effettuata secondo i dettami del recente D.M. del 17 gennaio 2018, tramite l'utilizzo del software sperimentale SPETTRI NTC 1.0.3 sviluppato a cura del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, ed utilizzando le risultanze della prospezione sismica MASW precedentemente descritta.

Gli spettri di risposta ottenuti sono relativi allo Stato Limite di Esercizio SLO (Stato Limite di Operatività), Stato Limite di Esercizio SLD (Stato Limite di Danno) e allo Stato Limite Ultimo SLV (Stato Limite di Salvaguardia della Vita).

In un primo stadio è stata individuata la pericolosità del sito sulla base dei risultati del progetto S1 dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) (Tab. 4; Fig. 12).

In un secondo momento sono stati calcolati gli spettri di risposta elastici relativi alla strategia di progettazione prescelta (Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ - Classe d'uso della costruzione III) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV) (Tabb. 5 - 7; Figg. 13 - 14).

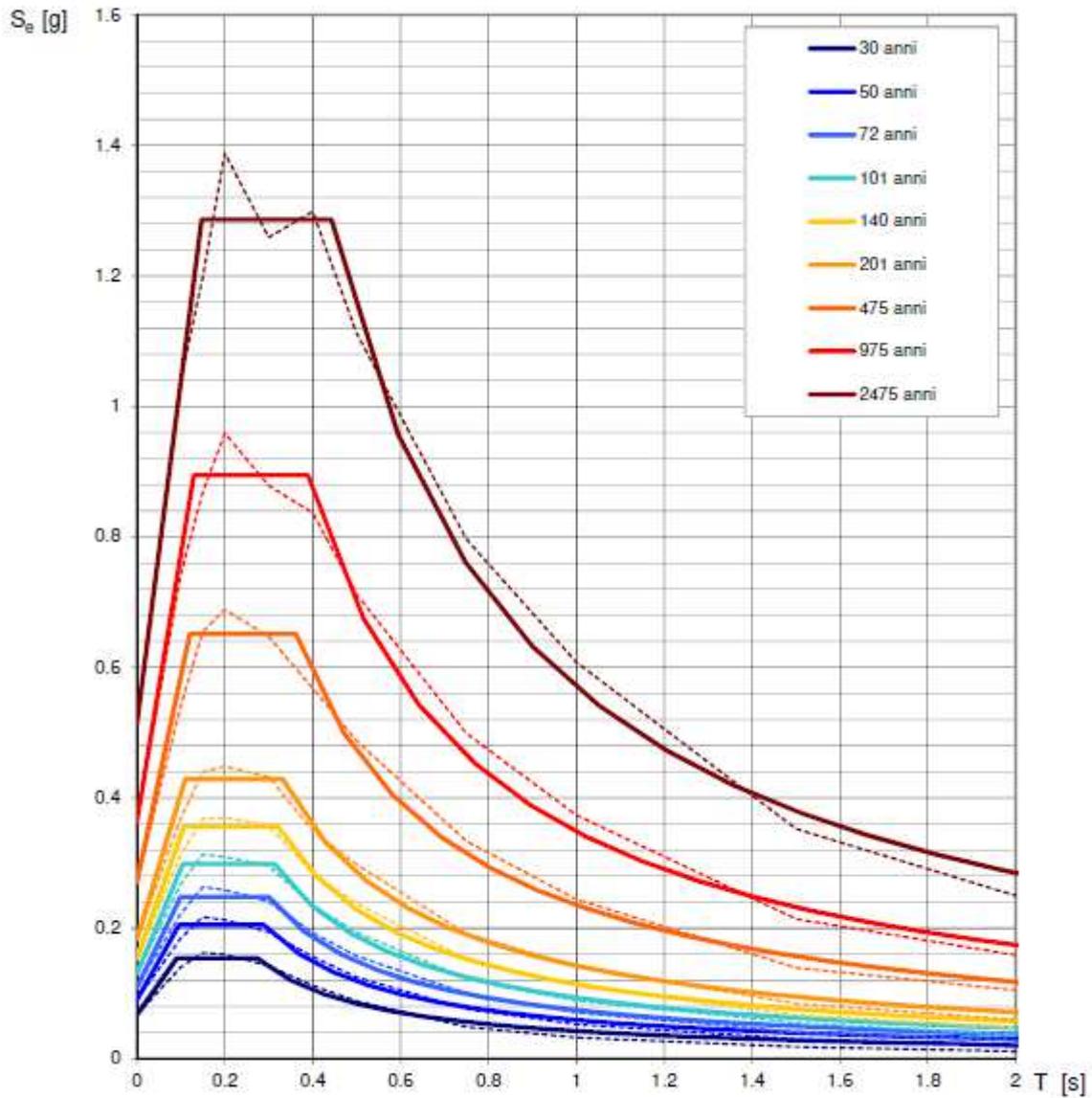
Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito (categoria di sottosuolo **B** - categoria topografica **T1**) individuata nell'area oggetto di indagine.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO
PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO A
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.646584 - LAT. 38.106543 (IN GRADI DECIMALI)**

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0.067	2.305	0.274
50	0.090	2.286	0.289
72	0.109	2.282	0.299
101	0.130	2.301	0.313
140	0.153	2.324	0.321
201	0.183	2.349	0.332
475	0.270	2.413	0.361
975	0.363	2.465	0.389
2475	0.512	2.512	0.442

Tab. 4 - Prospetto dei valori dei parametri a_g , F_0 , T_C per i periodi di ritorno T_R di riferimento. a_g = accelerazione orizzontale massima al sito; F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale; T_C = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E DI PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE INERENTE AL PROGETTO 10 - ANALISI CONOSCITIVE E FUNZIONALI ALLA REALIZZAZIONE DEL P.F.T.E. PER L'IMMOBILE DEMANIALE SITO IN VIA PELLICANO REGGIO CALABRIA (RC) SCHEDA RCBP071



NOTA:

Con linea continua si rappresentano gli spettri di Normativa, con linea tratteggiata gli spettri del progetto S1-INGV da cui sono derivati.

Fig. 12 - Spettri di risposta elastici per i periodi di ritorno T_r di riferimento per categoria di sottosuolo A.

SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO B
E PER CATEGORIA TOPOGRAFICA T1

PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.646584 – LAT. 38.106543 (IN GRADI DECIMALI)

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLO
a_g	0,084 g
F_o	2,290
T_C	0,286 s
S_S	1,200
C_C	1,413
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,200
η	1,000
T_B	0,135 s
T_C	0,404 s
T_D	1,938 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	s	0,101
T_B ←	0,135	0,232
T_C ←	0,404	0,232
	0,477	0,197
	0,550	0,170
	0,623	0,150
	0,696	0,135
	0,769	0,122
	0,842	0,111
	0,915	0,102
	0,988	0,095
	1,061	0,088
	1,134	0,083
	1,207	0,078
	1,280	0,073
	1,354	0,069
	1,427	0,066
	1,500	0,063
	1,573	0,060
	1,646	0,057
	1,719	0,055
	1,792	0,052
	1,865	0,050
T_D ←	1,938	0,048
	2,036	0,044
	2,134	0,040
	2,232	0,036
	2,331	0,033
	2,429	0,031
	2,527	0,028
	2,625	0,026
	2,723	0,024
	2,822	0,023
	2,920	0,021
	3,018	0,020
	3,116	0,019
	3,214	0,018
	3,313	0,017
	3,411	0,016
	3,509	0,015
	3,607	0,014
	3,705	0,013
	3,804	0,013
	3,902	0,012
	4,000	0,011

Tab. 5 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLO. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1,5$ – Classe d'uso della costruzione III; smorzamento 5%.

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E DI PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE INERENTE AL PROGETTO 10 - ANALISI CONOSCITIVE E FUNZIONALI ALLA REALIZZAZIONE DEL P.F.T.E. PER L'IMMOBILE DEMANIALE SITO IN VIA PELLICANO REGGIO CALABRIA (RC) SCHEDA RCBP071

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLO
a_g	0,084 g
F_o	2,290
T_C	0,286 s
S_S	1,200
C_C	1,413
S_T	1,000
q	1,000

Parametri dipendenti

S	1,200
η	1,000
T_B	0,135 s
T_C	0,404 s
T_D	1,938 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.5})$$

$$\eta = \sqrt{10/(5+\xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q \quad (\text{NTC-08 Eq. 3.2.6; §. 3.2.3.5})$$

$$T_B = T_C / 3 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.8})$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^* \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.7})$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6 \quad (\text{NTC-07 Eq. 3.2.9})$$

Espressioni dello spettro di risposta (NTC-08 Eq. 3.2.4)

$$0 \leq T < T_B \quad \left| \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \right.$$

$$T_B \leq T < T_C \quad \left| \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \right.$$

$$T_C \leq T < T_D \quad \left| \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right) \right.$$

$$T_D \leq T \quad \left| \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right) \right.$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura. (NTC-08 § 3.2.3.5)

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	s	0,101
T_B ←	0,135	0,232
T_C ←	0,404	0,232
	0,477	0,197
	0,550	0,170
	0,623	0,150
	0,696	0,135
	0,769	0,122
	0,842	0,111
	0,915	0,102
	0,988	0,095
	1,061	0,088
	1,134	0,083
	1,207	0,078
	1,280	0,073
	1,354	0,069
	1,427	0,066
	1,500	0,063
	1,573	0,060
	1,646	0,057
	1,719	0,055
	1,792	0,052
	1,865	0,050
T_D ←	1,938	0,048
	2,036	0,044
	2,134	0,040
	2,232	0,036
	2,331	0,033
	2,429	0,031
	2,527	0,028
	2,625	0,026
	2,723	0,024
	2,822	0,023
	2,920	0,021
	3,018	0,020
	3,116	0,019
	3,214	0,018
	3,313	0,017
	3,411	0,016
	3,509	0,015
	3,607	0,014
	3,705	0,013
	3,804	0,013
	3,902	0,012
	4,000	0,011

Tab. 6 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLO. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione III; smorzamento 5%.

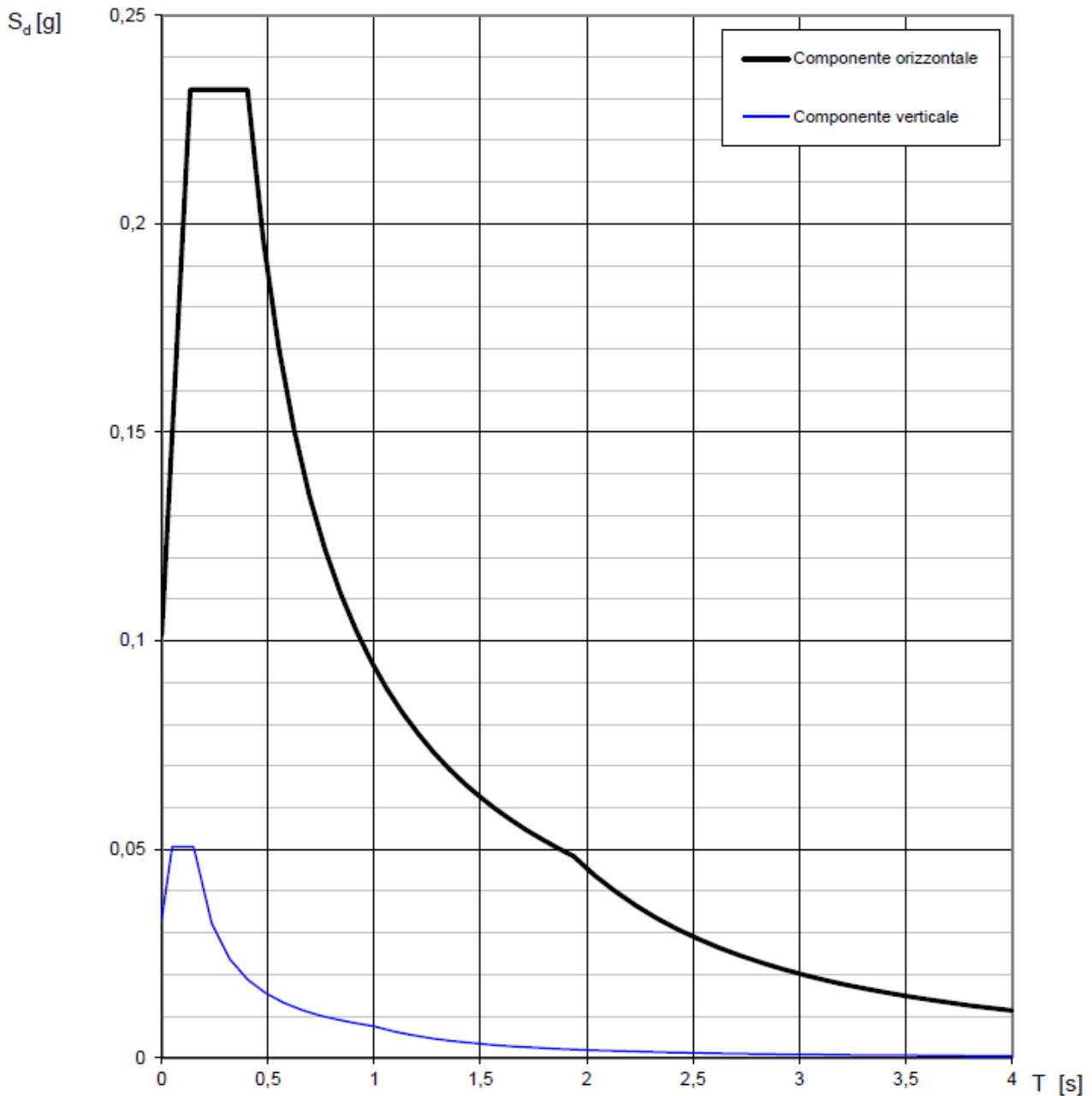


Fig. 13 - Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLO - Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ - Classe d'uso della costruzione III; smorzamento 5%.

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E DI PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE INERENTE AL PROGETTO 10 - ANALISI CONOSCITIVE E FUNZIONALI ALLA REALIZZAZIONE DEL P.F.T.E. PER L'IMMOBILE DEMANIALE SITO IN VIA PELLICANO REGGIO CALABRIA (RC) SCHEDA RCBP071

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.111 g
F_o	2.285
T_c	0.301 s
S_s	1.200
C_c	1.398
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	1.000
T_B	0.140 s
T_C	0.421 s
T_D	2.045 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \quad \eta = 1/q$$

$$T_B = T_c / 3$$

$$T_C = C_c \cdot T_c$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_d(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.134
T_B ←	0.140	0.305
T_C ←	0.421	0.305
	0.498	0.258
	0.576	0.223
	0.653	0.197
	0.730	0.176
	0.808	0.159
	0.885	0.145
	0.962	0.134
	1.040	0.124
	1.117	0.115
	1.194	0.108
	1.272	0.101
	1.349	0.095
	1.427	0.090
	1.504	0.085
	1.581	0.081
	1.659	0.077
	1.736	0.074
	1.813	0.071
	1.891	0.068
	1.968	0.065
T_D ←	2.045	0.063
	2.138	0.057
	2.231	0.053
	2.325	0.049
	2.418	0.045
	2.511	0.042
	2.604	0.039
	2.697	0.036
	2.790	0.034
	2.883	0.032
	2.976	0.030
	3.069	0.028
	3.162	0.026
	3.255	0.025
	3.348	0.023
	3.442	0.022
	3.535	0.021
	3.628	0.020
	3.721	0.019
	3.814	0.018
	3.907	0.017
	4.000	0.016

Tab. 7 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione III; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E DI PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE INERENTE AL PROGETTO 10 - ANALISI CONOSCITIVE E FUNZIONALI ALLA REALIZZAZIONE DEL P.F.T.E. PER L'IMMOBILE DEMANIALE SITO IN VIA PELLICANO REGGIO CALABRIA (RC) SCHEDA RCBP071

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{av}	0.050 g
S_S	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.029
S	1.000
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g}\right)^{0,5}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.050
$T_B \leftarrow$	0.050	0.076
$T_C \leftarrow$	0.150	0.076
	0.235	0.049
	0.320	0.036
	0.405	0.028
	0.490	0.023
	0.575	0.020
	0.660	0.017
	0.745	0.015
	0.830	0.014
	0.915	0.013
$T_D \leftarrow$	1.000	0.011
	1.094	0.010
	1.188	0.008
	1.281	0.007
	1.375	0.006
	1.469	0.005
	1.563	0.005
	1.656	0.004
	1.750	0.004
	1.844	0.003
	1.938	0.003
	2.031	0.003
	2.125	0.003
	2.219	0.002
	2.313	0.002
	2.406	0.002
	2.500	0.002
	2.594	0.002
	2.688	0.002
	2.781	0.001
	2.875	0.001
	2.969	0.001
	3.063	0.001
	3.156	0.001
	3.250	0.001
	3.344	0.001
	3.438	0.001
	3.531	0.001
	3.625	0.001
	3.719	0.001
	3.813	0.001
	3.906	0.001
	4.000	0.001

Tab. 8 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione III; smorzamento 5%.

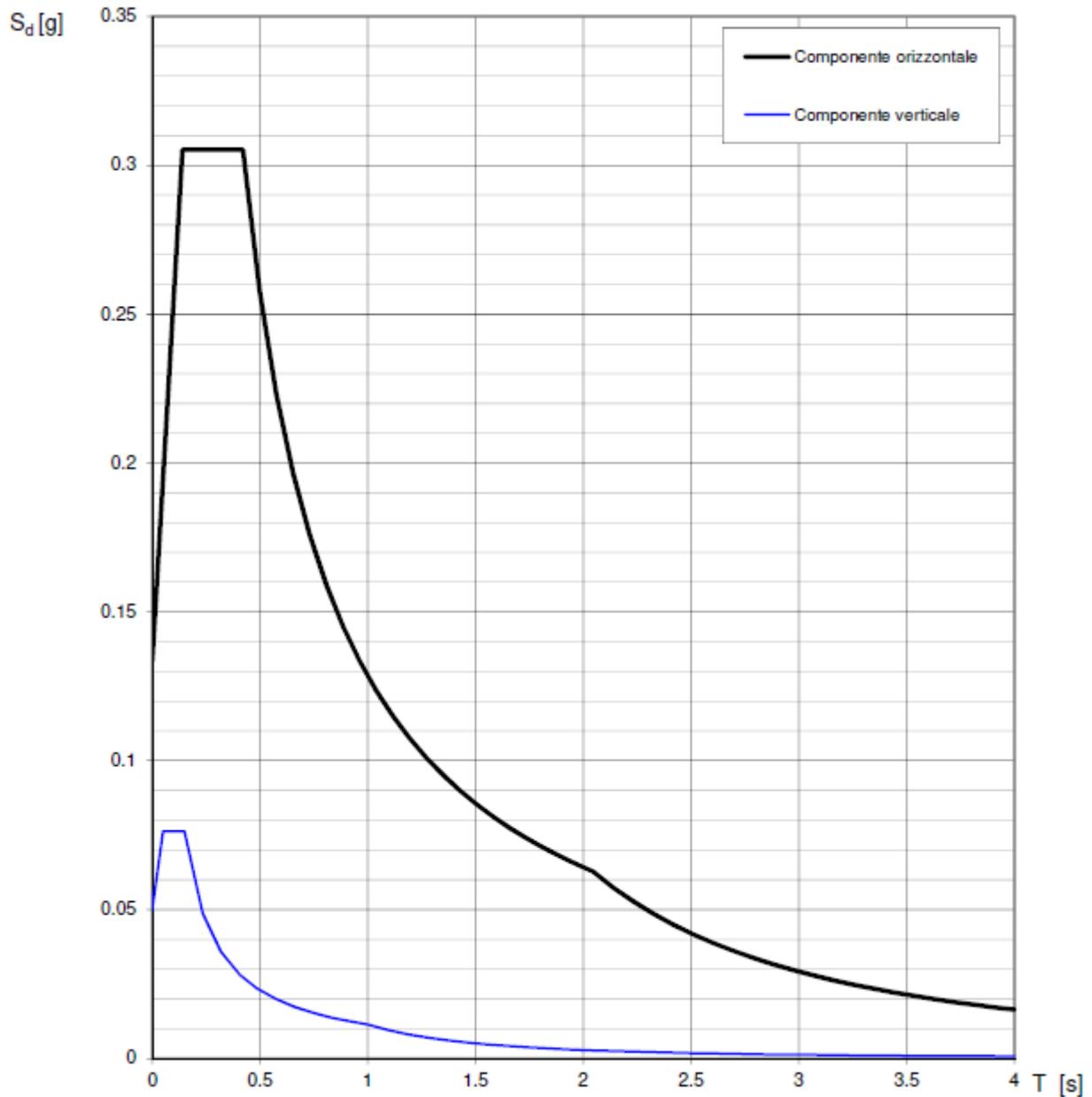


Fig. 14 - Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD - Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ - Classe d'uso della costruzione III; smorzamento 5%.

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E DI PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE INERENTE AL PROGETTO 10 - ANALISI CONOSCITIVE E FUNZIONALI ALLA REALIZZAZIONE DEL P.F.T.E. PER L'IMMOBILE DEMANIALE SITO IN VIA PELLICANO REGGIO CALABRIA (RC) SCHEDA RCBP071

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.319 g
F_o	2.442
T_c	0.377 s
S_s	1.089
C_c	1.337
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.089
η	1.000
T_B	0.168 s
T_c	0.504 s
T_D	2.875 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T$$

$$\eta = \sqrt{10/(5 + \xi)} \geq 0,55; \eta = 1/q$$

$$T_B = T_c / 3$$

$$T_c = C_c \cdot T_c^*$$

$$T_D = 4,0 \cdot a_g / g + 1,6$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_o} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_c \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o$$

$$T_c \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_c}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_o \cdot \left(\frac{T_c \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Lo spettro di progetto $S_e(T)$ per le verifiche agli Stati Limite Ultimi è ottenuto dalle espressioni dello spettro elastico $S_e(T)$ sostituendo η con $1/q$, dove q è il fattore di struttura.

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.347
T_B ←	0.168	0.847
T_c ←	0.504	0.847
	0.617	0.692
	0.730	0.585
	0.842	0.507
	0.955	0.447
	1.068	0.400
	1.181	0.361
	1.294	0.330
	1.407	0.303
	1.520	0.281
	1.633	0.261
	1.746	0.244
	1.859	0.230
	1.971	0.216
	2.084	0.205
	2.197	0.194
	2.310	0.185
	2.423	0.176
	2.536	0.168
	2.649	0.161
	2.762	0.155
T_D ←	2.875	0.148
	2.928	0.143
	2.982	0.138
	3.035	0.133
	3.089	0.129
	3.143	0.124
	3.196	0.120
	3.250	0.116
	3.303	0.112
	3.357	0.109
	3.411	0.105
	3.464	0.102
	3.518	0.099
	3.571	0.096
	3.625	0.093
	3.678	0.091
	3.732	0.088
	3.786	0.086
	3.839	0.083
	3.893	0.081
	3.946	0.079
	4.000	0.077

Tab. 7 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione III; smorzamento 5%.

RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DEL SITO E DI PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE INERENTE AL PROGETTO 10 - ANALISI CONOSCITIVE E FUNZIONALI ALLA REALIZZAZIONE DEL P.F.T.E. PER L'IMMOBILE DEMANIALE SITO IN VIA PELLICANO REGGIO CALABRIA (RC) SCHEDA RCBP071

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{ov}	0.243 g
S_S	1.000
S_T	1.000
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.861
S	1.000
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

$$F_v = 1,35 \cdot F_0 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

Espressioni dello spettro di risposta

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.243
$T_B \leftarrow$	0.050	0.395
$T_C \leftarrow$	0.150	0.395
	0.235	0.252
	0.320	0.185
	0.405	0.146
	0.490	0.121
	0.575	0.103
	0.660	0.090
	0.745	0.080
	0.830	0.071
	0.915	0.065
$T_D \leftarrow$	1.000	0.059
	1.094	0.050
	1.188	0.042
	1.281	0.036
	1.375	0.031
	1.469	0.027
	1.563	0.024
	1.656	0.022
	1.750	0.019
	1.844	0.017
	1.938	0.016
	2.031	0.014
	2.125	0.013
	2.219	0.012
	2.313	0.011
	2.406	0.010
	2.500	0.009
	2.594	0.009
	2.688	0.008
	2.781	0.008
	2.875	0.007
	2.969	0.007
	3.063	0.006
	3.156	0.006
	3.250	0.006
	3.344	0.005
	3.438	0.005
	3.531	0.005
	3.625	0.005
	3.719	0.004
	3.813	0.004
	3.906	0.004
	4.000	0.004

Tab. 8 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione III; smorzamento 5%.

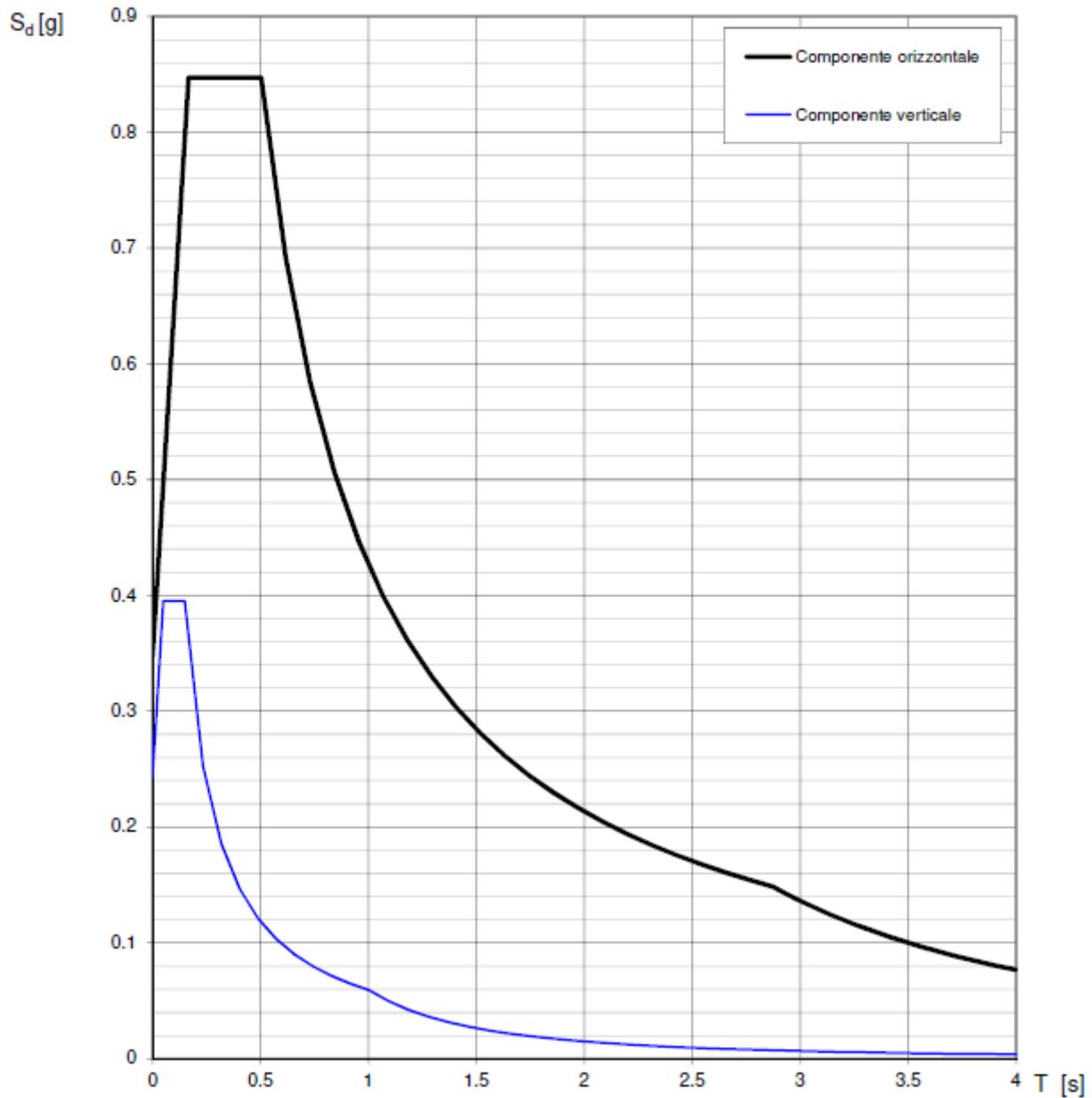


Fig. 15 - Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV - Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ - Classe d'uso della costruzione III; smorzamento 5%.

6 - CONCLUSIONI

La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Fig. 15), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di Reggio di Calabria (RC) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.250 e 0.275 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

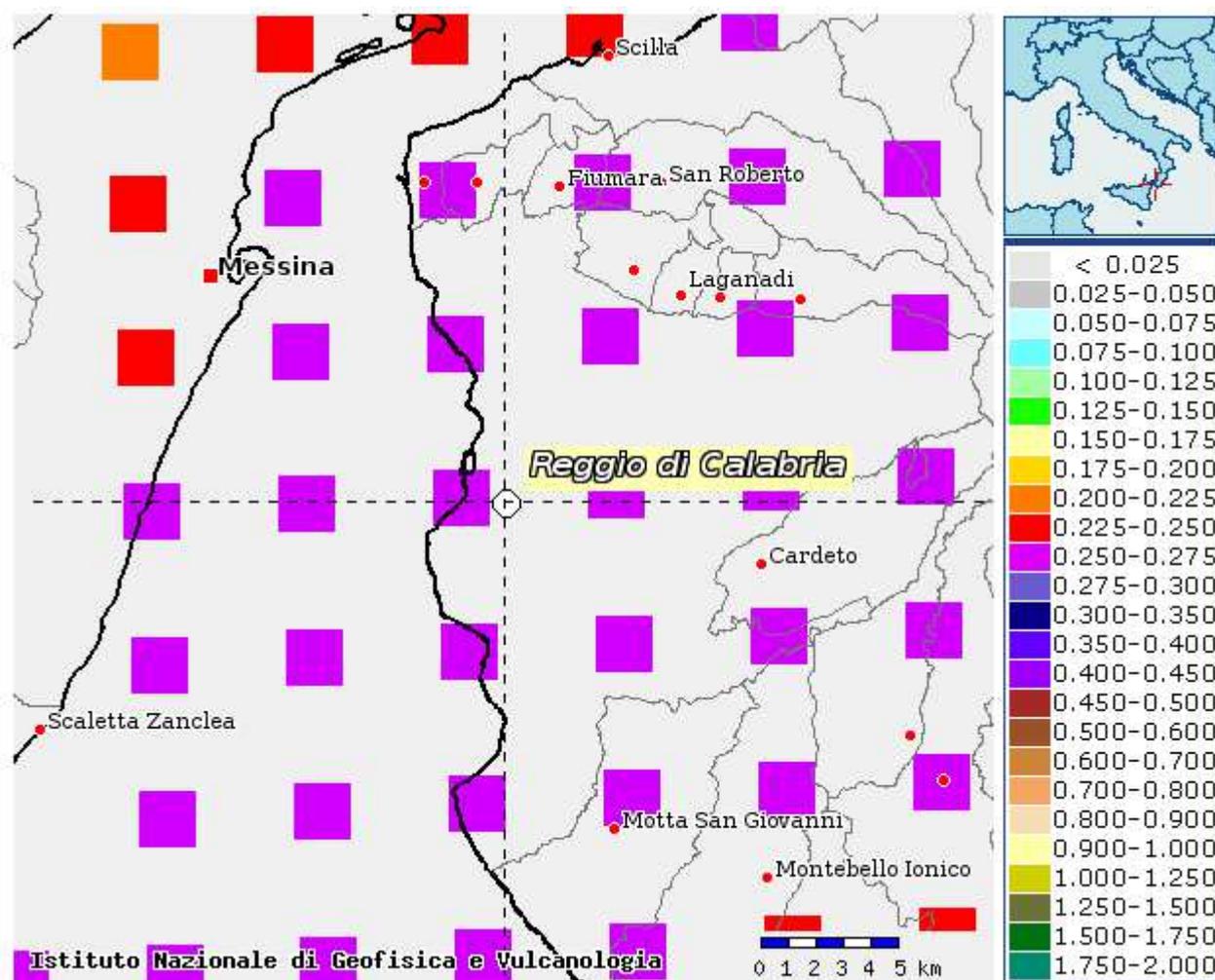


Fig. 15 - Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

I risultati forniti dall'indagine sismica MASW effettuata permettono di definire la categoria di sottosuolo del sito, che risulta posta nella categoria **B** (vedi par. 4), con valori di $V_{S,eq}$ calcolati pari a (Tab. 9):

Prospezione sismica	$V_{S\ 0-30}$ (m/s)	$V_{S\ 2-32}$ (m/s)
MASW n. 1	[394 ÷ 395]	[439 ÷ 440]

Tab. 9 - Valori di $V_{S,eq}$ calcolati, relativi alla prospezione sismica MASW effettuata.

Proprio in funzione della categoria di sottosuolo **B** e della categoria topografica **T1** sono stati ricavati tutti i parametri d'interesse ingegneristico, quali gli spettri di risposta elastici (vedi par. 5).

Il calcolo degli spettri di risposta elastici è stato effettuato con la seguente strategia di progettazione:

- Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni;
- Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione III.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al suolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C) (Tabb. 5 – 7 – 10), relativamente agli stati limite SLD (Stato Limite di Danno) e SLV (Stato Limite di salvaguardia della Vita) pari a:

a_g SLD	a_g SLV	S_e [g] SLD	S_e [g] SLV
[0.111]	[0.319]	[0.305]	[0.847]

Tab. 10 – Valori massimi di a_g e S_e [g] relativamente agli stati limite SLD e SLV – componenti orizzontali degli spettri di risposta elastici. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 1.5$ – Classe d'uso della costruzione III; smorzamento 5%, fattore di struttura $q = 1.5$.

E stata inoltre effettuata un'analisi di Risposta Sismica Locale sulla base delle indagini effettuate e di indagini bibliografiche reperite in prossimità dell'area di interesse progettuale (vedi anche relazione geologica) secondo la vigente normativa regionale (RR 15/2016) che ha fornito valori di a_g a SLV e SLD simili a quelli ottenuti dall'analisi tramite la valutazione degli spettri elastici precedentemente descritta e pertanto i valori riassunti in tabella 10 risultano a vantaggio di sicurezza e possono essere utilizzati nei calcoli strutturali.

Di seguito si riportano i valori di V_S e di V_P per i sismostrati riscontrati nella prospezione sismica MASW (Tab. 11).

Sismostrato	Profondità (m)	V_S (m/s)	V_S (m/s)	V_P (m/s)	V_P (m/s)
		acquisizione n.1	acquisizione n.2	acquisizione n.1	acquisizione n.2
S1	0.0 – 1.3	148	147	399	399
S2	1.3 – 4.8	274	274	693	695
S3	4.8 – 7.3	348	346	926	925
S4	7.3 – 10.4	401	402	992	992
S5	10.4 – 32.6	493	496	1212	1214

Tab. 11 - Prospetto delle determinazioni dei valori di V_S e di V_P per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica MASW.

Le onde di volume P ed S , che attraversano un mezzo omogeneo e isotropo (condizioni ideali) hanno ben definite equazioni di moto. Note le velocità V_P e V_S per i sismostrati riscontrati nella prospezione sismica MASW n.1 (Tab. 11) e attribuiti i valori di densità desunti da dati ricavati da bibliografia, da sondaggi geognostici effettuati in prossimità dell'area di interesse e da rilevamento geologico effettuato in situ, sono state ricavate, per i sismostrati individuati, alcune proprietà meccaniche, quali il modulo di Young o modulo elastico E , il modulo di taglio G o modulo di rigidità μ , il coefficiente di Poisson ν e il modulo di incompressibilità o bulk k (Tab. 12). Le relative equazioni sono le seguenti:

$$\nu = \left(\frac{1}{2}\right) \cdot \left\{ 1 - \left[\frac{V_s^2}{(V_p^2 - V_s^2)} \right] \right\}$$

poiché nei fluidi $V_s=0$, ν risulta uguale a 0.5. Nei solidi, il valore ν varia generalmente da 0.1 a 0.4. Pertanto, valori più elevati di ν possono essere indicativi della presenza di frazioni di liquido nel mezzo attraversato.

$$E = \frac{\rho V_p^2 (1 - 2\nu)(1 + \nu)}{1 - \nu}$$

$$G = \frac{E}{2(1 + \nu)}$$

$$k = \frac{E}{3(1 - 2\nu)}$$

Sismostrato	Profondità (m)	V_P (m/s)	V_S (m/s)	Densità ρ (kg/m ³)	Coefficiente di Poisson ν (-)	Modulo di taglio G (kPa)	Modulo di Young E (kPa)	Modulo di incompressibilità k (kPa)
S1	0.0 – 1.3	399	148	1500	0.42	32856	93326	194994
S2	1.3 – 4.8	694	274	1700	0.41	127629	359319	648609
S3	4.8 – 7.3	926	347	1800	0.42	216736	614802	1254475
S4	7.3 – 10.4	992	402	1900	0.40	307048	860811	1460325
S5	10.4 – 32.6	1213	495	1900	0.40	465548	1303626	2174871

Tab. 12 - Prospetto delle determinazioni dei valori di V_S , V_P e dei moduli dinamici per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica MASW.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto

Il tecnico
Dr. Geol. Francesco Cuccurullo

