

PROPONENTE: **AME ENERGY S.r.l.**

Via Pietro Cossa, 5 20122 Milano (MI) - ameenergysrl@legalmail.it - PIVA 12779110969

REGIONE CAMPANIA
PROVINCIA DI SALERNO
COMUNI DI BUCCINO E SAN GREGORIO MAGNO

Titolo del Progetto:

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO UBICATO NEI COMUNI DI BUCCINO (SA) E SAN GREGORIO MAGNO (SA) IN LOCALITA' "SERRONE", CON POTENZA NOMINALE PARI A 36 MW

Documento:

PROGETTO DEFINITIVO

N° Documento:

BUCEO-T072

ID PROGETTO:	251	DISCIPLINA:	PD	TIPOLOGIA:	D	FORMATO:	A4
--------------	------------	-------------	-----------	------------	----------	----------	-----------

Elaborato:

RELAZIONE SULLE INDAGINI GEOGNOSTICHE PRELIMINARI

FOGLIO:	1 di 148	SCALA:		Nome file:	BUCEO-T072.pdf
---------	-----------------	--------	--	------------	-----------------------

Progettazione:



**Consulenza, Progettazione e Sviluppo Impianti
ad Energia Rinnovabile**

Sede Legale: Via Del Vecchio Politecnico, 9 - 20121 Milano (MI)

P.IVA 11092870960-PEC: i-project@legalmail.it

Sede Operativa: Via Bisceglie n° 17 - 84044 Albanella (SA)

-mail: a.manco@iprojectsrl.com

Cell: 3384117245

Progettista: Arch. Antonio Manco



Tecnico: Geol. Fabio Di Feo



Rev.	Data Revisione	Descrizione Revisione	Redatto	Controllato	Approvato
0	09/10/2023	Prima emissione	Geol. Fabio Di Feo	Arch. Antonio Manco	Arch. Antonio Manco

INDICE

1	PREMESSA	2
2	Programma di indagini geognostiche realizzate	5
3	ALLEGATI	6

• **FASCICOLO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE:**

1. Relazione **Prova Sismica MASW.1**
2. Relazione **Prova Sismica HVSR.2**
3. Relazione **Prova Sismica MASW.3**
4. Relazione **Prova Sismica MASW.4**
5. Relazione **Prova Sismica MASW.5**
6. Relazione **Prova Sismica MASW.6**



Dr. Geologo FABIO DI FEO

Via Olivella 4/A, 84045 Altavilla Silentina (SA)
tel. 0828-986299, cell. 3333655687, C.F. DFIFBA73R25D390V - P.iva 04187580651
email: fabio.difeo@libero.it, PEC: geofabiodifeo@pec.epap.it

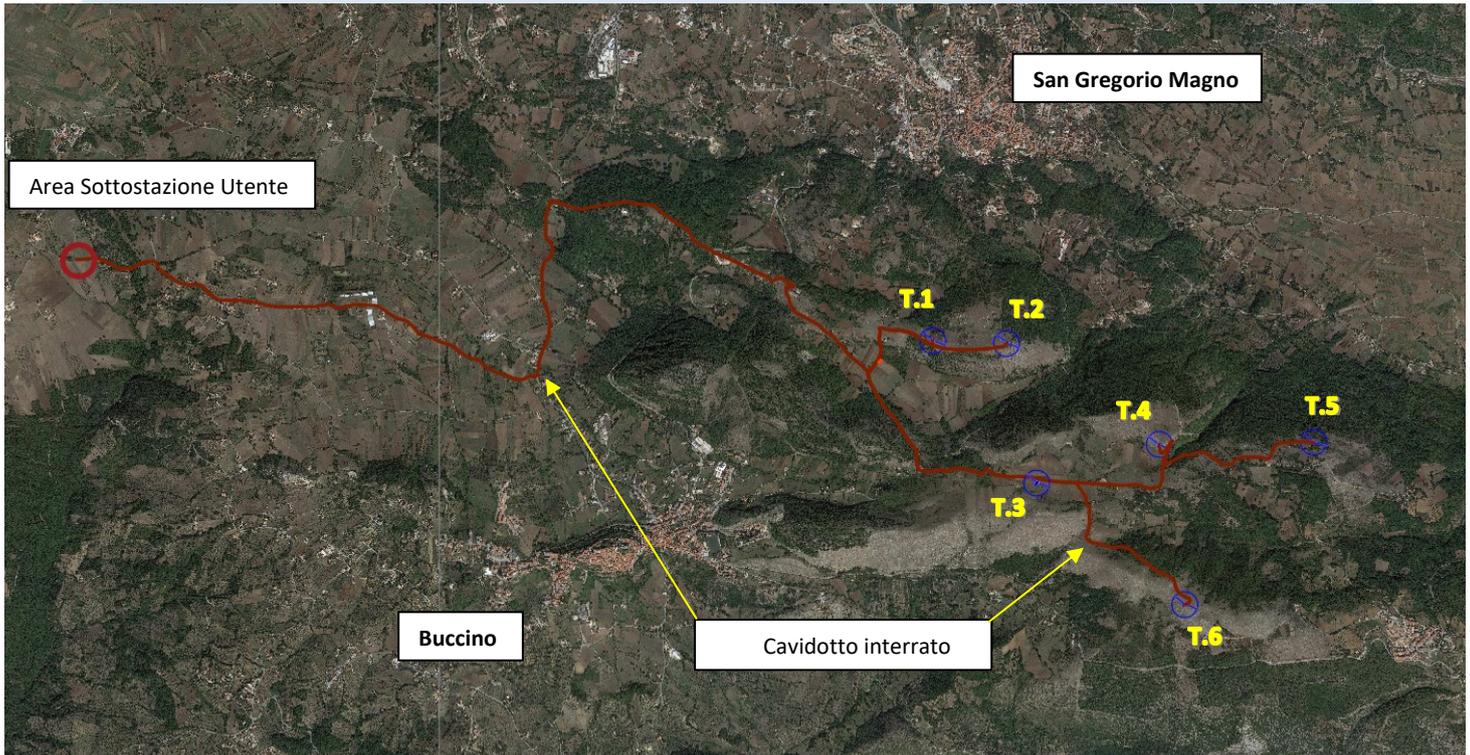
1 PREMESSA

Su incarico ricevuto della società **I-PROJECT S.r.l.** con Sede Legale in Via del Vecchio Politecnico, n°9 MILANO (MI) - P.IVA 1109287960, PEC I-project@legalmail.it, Sede Operativa Via Bisceglie, 17 - 84044 Albanella (SA) e per conto della società **AME ENERGY S.r.l.** con Sede in Via Pietro Cossa n.5, 20122 Milano (MI), il sottoscritto **dr. geologo Fabio Di Feo** residente in Via Olivella 4/A del comune di Altavilla Silentina (SA), iscritto all'ordine dei geologi della Regione Campania al n.2314, ha programmato, diretto ed elaborato delle puntuali Indagini Geognostiche preliminari in situ, al fine di redigere uno studio di compatibilità geologico finalizzato ad attestare le caratteristiche geolitologiche, geomorfologiche, idrogeolitologiche, geotecniche, e sismiche delle aree interessate dal progetto dell'Impianto Eolico ubicate nei Comuni di Buccino (SA) e San Gregorio Magno (SA) con opere connesse ricadenti nel Comune di Buccino (SA).

L'area studio, ricadente nel Comune di Buccino (SA) e nel Comune di San Gregorio Magno (SA), è compresa nel foglio 198 della Carta Geologica d'Italia "Eboli" scala 1:100000, occupando la tavoletta "Muro lucano" elaborata dalla Regione Campania su base I.G.M. in scala 1:50000, nelle tavole aerofotogrammetriche n° 469092, 469093, 469103, 469131,469134, 469144 restituite in scala 1:5000.

Le opere da realizzare, nello specifico, sono costituite da:

- un Impianto Eolico ricadente nei Comuni di Buccino (SA) e di San Gregorio Magno (SA), formato da n°6 **Torri Eoliche**;
- dal **cavidotto interrato** che attraversa i Comuni di Buccino (SA) e di San Gregorio Magno (SA);
- dalla **Stazione Elettrica di Utenza MT-AT** ubicata nel Comune di Buccino (SA).



Ortofoto con ubicazione opere in progetto

La fonte eolica è una fonte rinnovabile ed inesauribile di energia, che non richiede alcun tipo di combustibile ma sfrutta l'energia cinetica del vento, trasformandola prima in energia meccanica e poi in energia elettrica.

Gli aerogeneratori scelti per l'inserimento nel parco eolico sono del tipo Siemens Gamesa SG 6.6 da 6 MW con torri in tubolare di acciaio, trasformatori delle turbine all'interno degli aerogeneratori e rotore a forma tripala ad asse orizzontale, orientazione del rotore automatica in direzione del vento con sistema di controllo di potenza.

Lo studio, redatto ai sensi del Decreto Ministeriale del 11-03-1988 e del D.P.R. 328/01 art. 41 Comma 1, è stato eseguito tramite:

- consultazione della bibliografia esistente;
- accurato rilevamento geologico e geomorfologico di campagna di un'area maggiormente estesa rispetto a quella d'interesse;
- analisi delle carte della pericolosità e del rischio, in scala 1:25000, prodotte **dell'Autorità di Bacino Distretto Appennino Meridionale (ex AdB Regione Campania SUD ed ex AdB**

Interregionale Sele) (Rivisitazione del Piano stralcio dell'Assetto Idrogeologico del bacino del fiume Sele- Giugno 2012 e rimodulazione Giugno 2013 e Testo Unico delle NTA adottato ad agosto 2016);

- ricostruzione della stratigrafia dei terreni di fondazione;
- la realizzazione di **n°6 prove sismiche superficiali (5 MASW e 1 HVSR)** (atte ad effettuare la caratterizzazione sismica del sito in relazione alla nuova normativa D.M. 17/01/2018) (cfr. **Tav. T071 CARTA della UBICAZIONE delle INDAGINI GEOGNOSTICHE PRELIMINARI** e **Tav. T072 Relazione sulle INDAGINI GEOGNOSTICHE PRELIMINARI**),

ha permesso di individuare e caratterizzare i principali litotipi e morfotipi, di definire l'assetto geologico e geomorfologico e di valutare la pericolosità geologica del territorio indagato.

Tutti questi elementi di base sono finalizzati alla verifica della compatibilità delle ipotesi di progetto con quanto previsto dalla normativa vigente.

2 Programma di indagini geognostiche realizzate

Per la caratterizzazione geotecnico-sismica del sito oggetto d'intervento, ai fini di definire la fattibilità dell'intervento in oggetto, sono state realizzate le seguenti indagini geognostiche preliminari (cfr. **Tav. BUCEO-T071 - CARTA della UBICAZIONE delle INDAGINI GEOGNOSTICHE**):

- la realizzazione in prossimità dei punti di ubicazione delle 6 Torri Eoliche di **n°6 prove sismiche** (masw1, HVSR.2, masw3, masw4, masw5, masw6, masw7) (atte ad effettuare la caratterizzazione sismica del sito in relazione alla nuova normativa D.M. 17/01/2018).

In base ai risultati del presente studio **si dichiara che sussiste l'assoluta compatibilità degli interventi a farsi rispetto all'assetto geologico-tecnico e sismico dell'area d'interesse.**

Altavilla Silentina, ottobre 2023



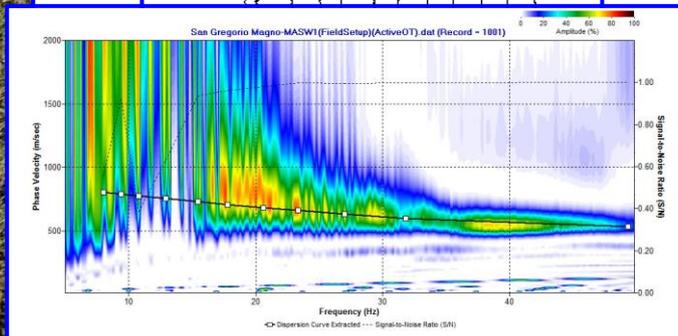
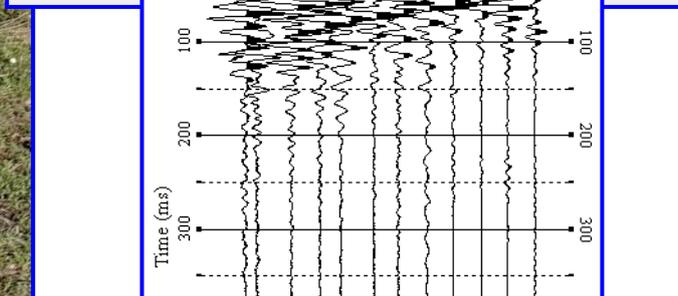
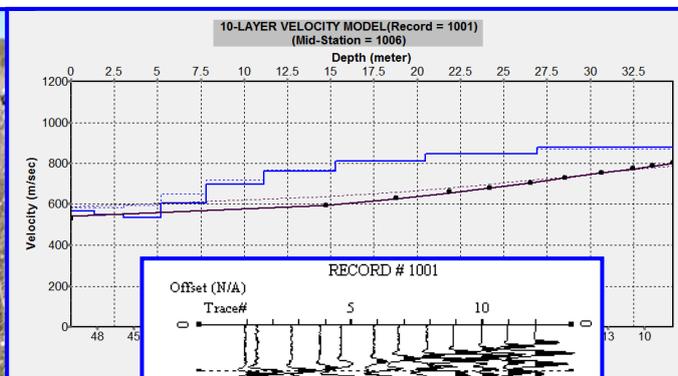
3 ALLEGATI

- **Tav. BUCEO-T071 - CARTA della UBICAZIONE delle INDAGINI GEOGNOSTICHE**

- **FASCICOLO DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE:**
 1. Relazione **Prova Sismica MASW.1**
 2. Relazione **Prova Sismica HVSr.2**
 3. Relazione **Prova Sismica MASW.3**
 4. Relazione **Prova Sismica MASW.4**
 5. Relazione **Prova Sismica MASW.5**
 6. Relazione **Prova Sismica MASW.6**

COMUNE DI SAN GREGORIO MAGNO

PROVINCIA DI SALERNO



RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DI SITO INERENTE AL PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO CON POTENZA NOMINALE PARI A 46.2 MW. TORRE 1

Il Committente

I-PROJECT S.R.L.

Pagani, novembre 2023

Il Tecnico

Dr. Geol. Francesco Cuccurullo

REV. 0



INDICE

1 – PREMESSA	3
2 - INDAGINE ESEGUITA.....	5
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	7
4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI	10
5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	12
6 – CONCLUSIONI	21



1 – PREMESSA

Su incarico di I-PROJECT S.R.L., 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 sulla modellazione sismica di sito inerente al progetto di realizzazione di un impianto eolico con potenza nominale pari a 46.2 MW (coordinate geografiche WSG84 del sito 40.644893° N - 15.398635° E), nel territorio comunale di San Gregorio Magno (SA) (*Figura 1 - Figura 2*), al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il sottosuolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018).

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).



Figura 1 - Prospezione sismica MASW n.1 effettuata in area progettuale.



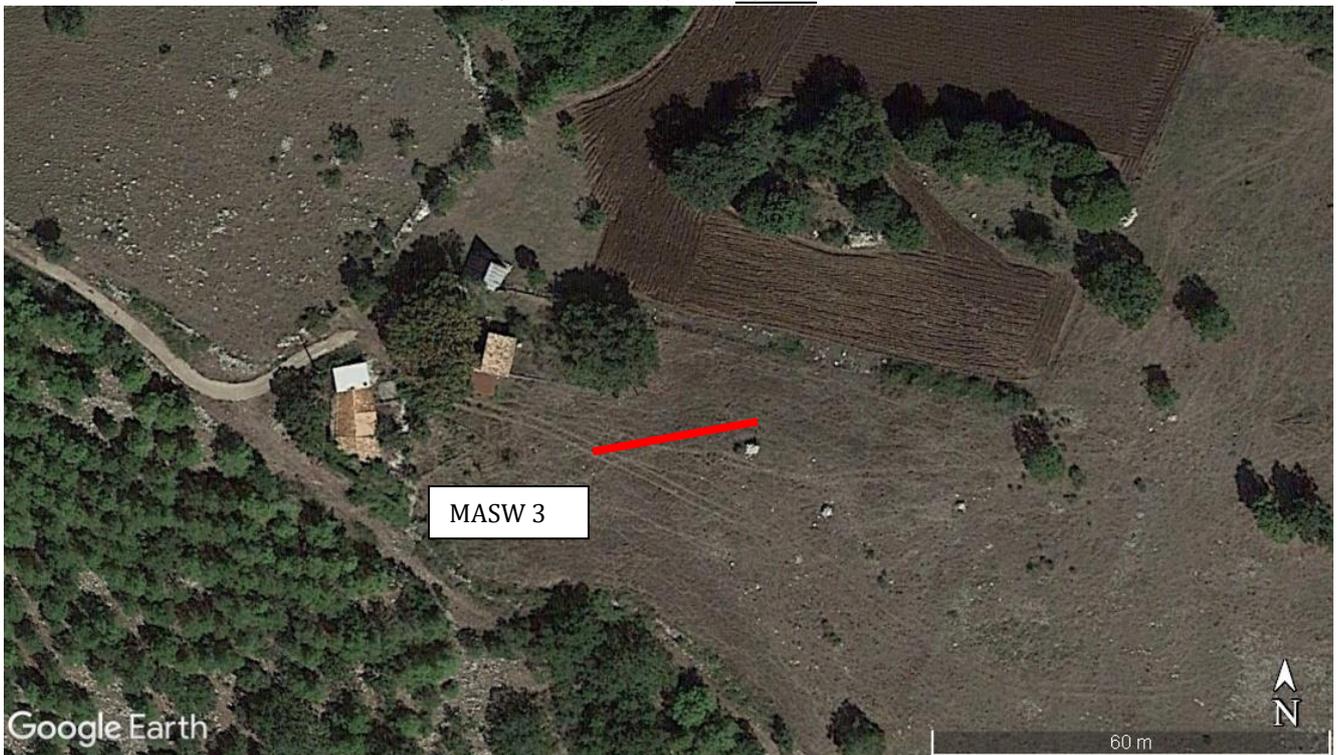


Figura 2 - Ubicazione dello stendimento messo in opera su foto aerea.



2 - INDAGINE ESEGUITA

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

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Lunghezza complessiva dello stendimento (m)</i>	<i>Spacing (m)</i>	<i>Offset (m)</i>
<i>MASW n.1</i>	<i>39.0</i>	<i>3.0</i>	<i>6.0</i>

Tabella 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 (*Figura 3*) 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 dello stendimento geofonico, con offset pari a 6.0m. Le oscillazioni del sottosuolo sono state rilevate da 12 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con spacing pari a 3.0m (*Figura 1; Tabella 1*). La lunghezza complessiva dello stendimento geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 2D dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 34.7m 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.



Figura 3 - 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: $f_{\text{campionamento}}=1/dt=2000Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{\text{Nyquist}}=1/2dt=1000Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{\text{min}}=1/T=0.488Hz$.

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.

Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono di seguito riportati (*Figura 4 - Figura 6*).



RECORD # 1001

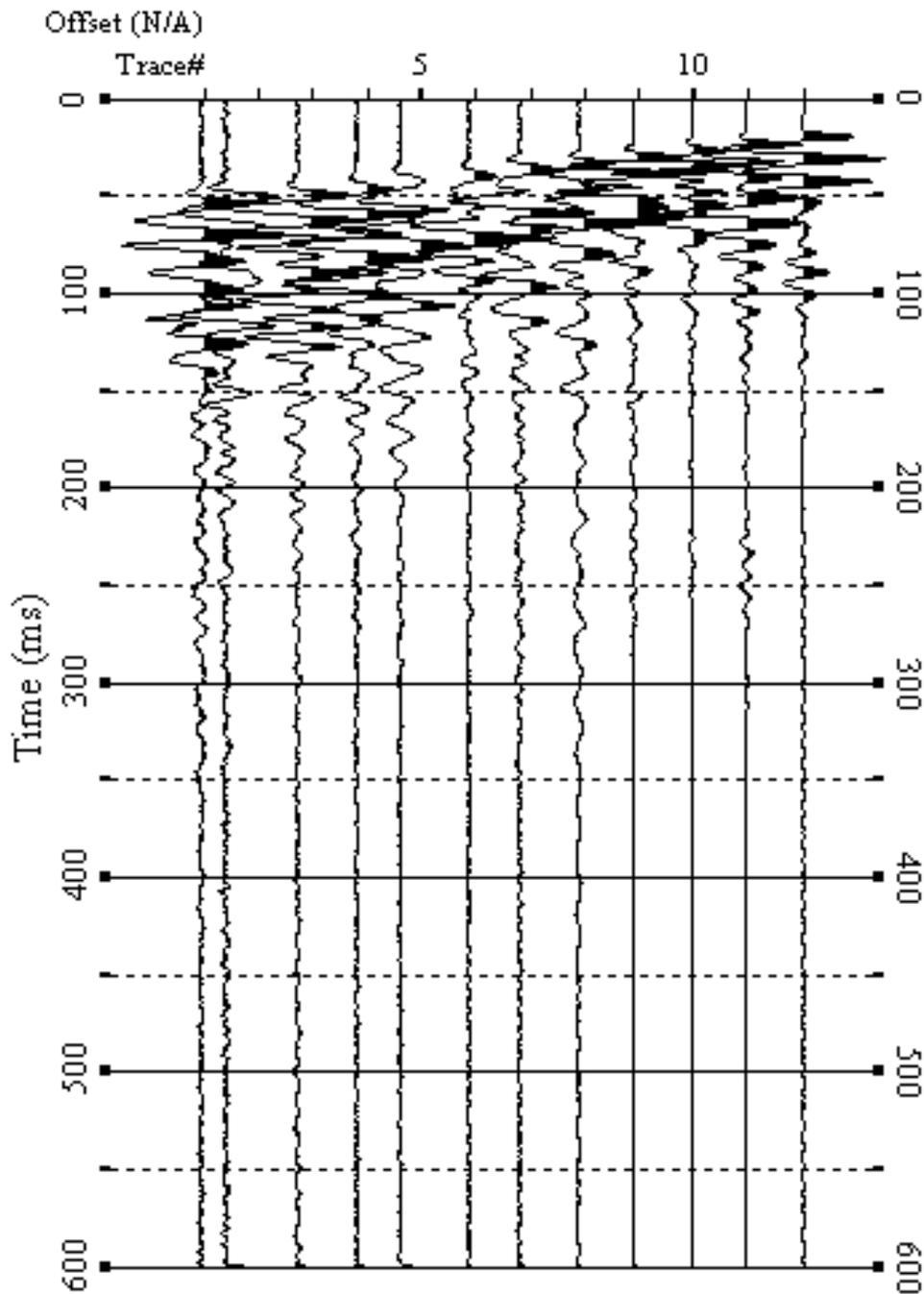


Figura 4 - Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n.1. Finestra temporale [0-600]ms.



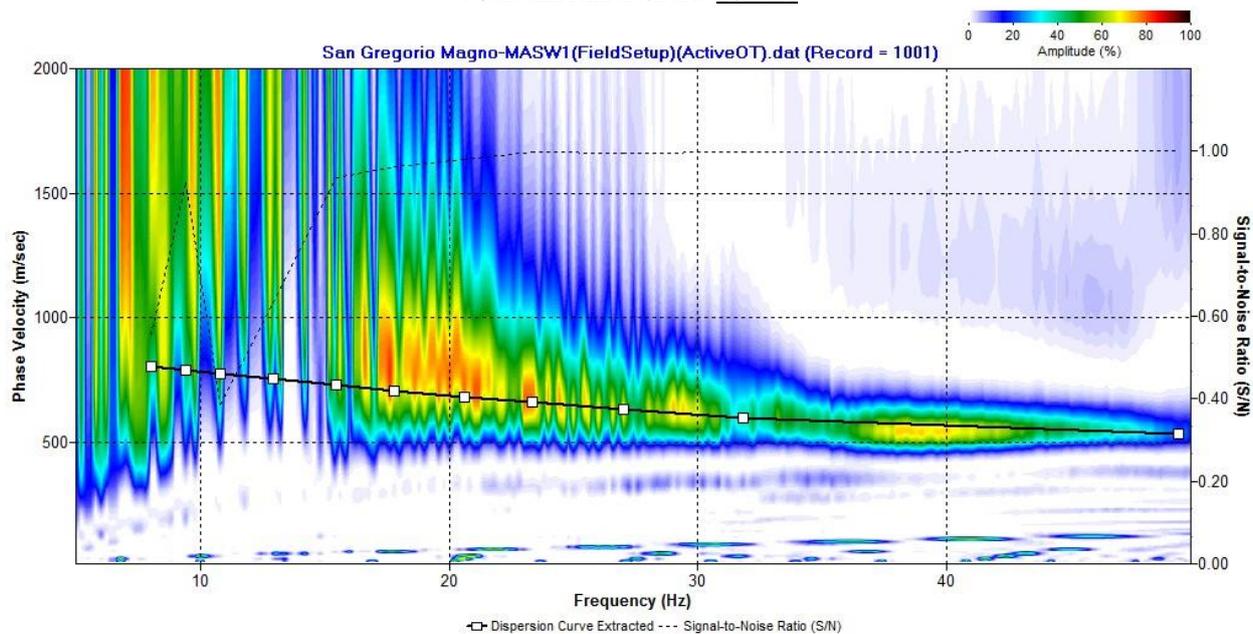


Figura 5 - Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n.1.

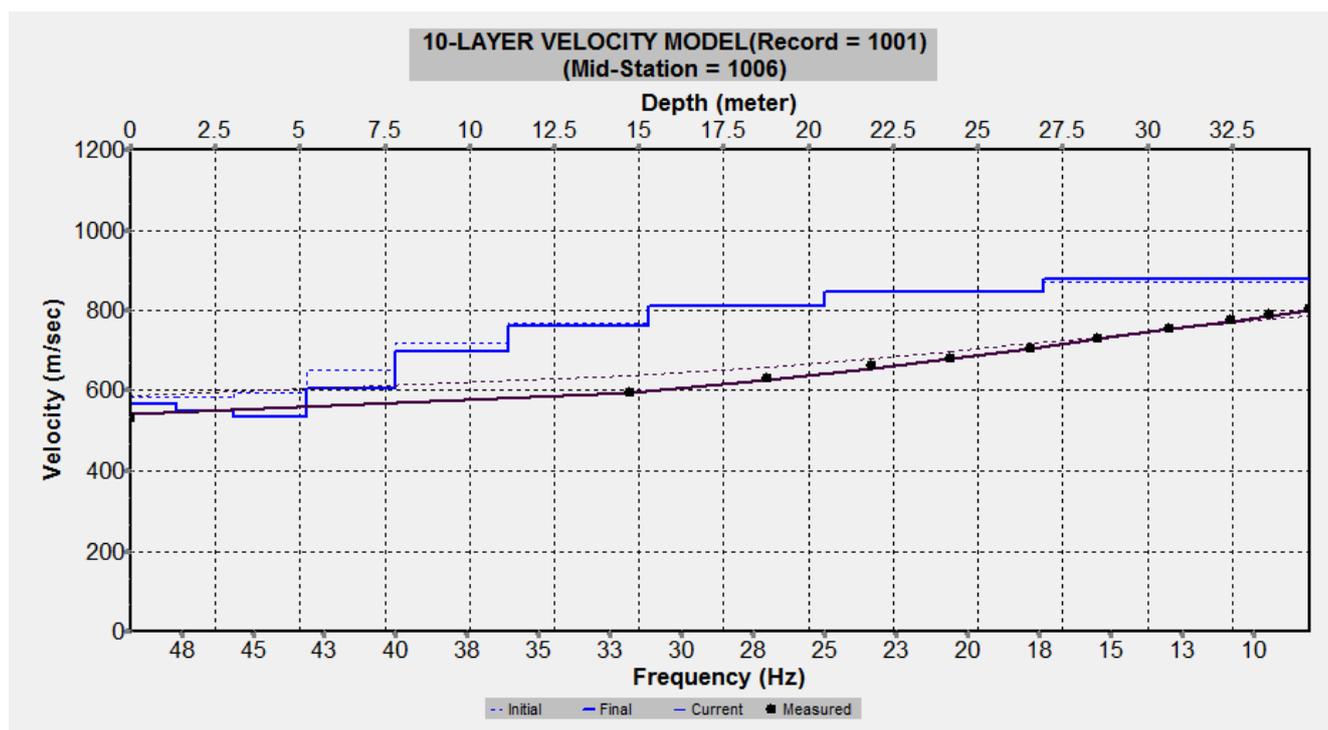


Figura 6 - Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n.1.



4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

L'indagine sismica MASW effettuata, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di 15.3m (0m-15.3m) dal p.c., in quanto è stato raggiunto il bedrock sismico nei primi 15.3 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 (Tabella 2 – Tabella 4). 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.

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30m.

Tabella 2 - Categorie Sottosuoli di fondazione (D.M. 17 gennaio 2018).



<i>Prospezione sismica</i>	$V_{S\ 0-15.3}$ (m/s)	<i>Categoria Sottosuoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)</i>
<i>MASW n.1</i>	[637]	<i>B</i>

Tabella 3 - Categoria Sottosuolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica MASW n.1 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	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T₁	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T₂	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T₃	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T₄	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 4 - Categorie topografiche (D.M. 17 gennaio 2018).

Categoria topografica T2 = Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ($h/H = 1$ dove h = quota sito e H = quota massima del versante).



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 sottosuolo 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 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) (Tabella 5; Figura 7).

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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV) (Tabella 6 - Tabella 9; Figura 8 - Figura 9).

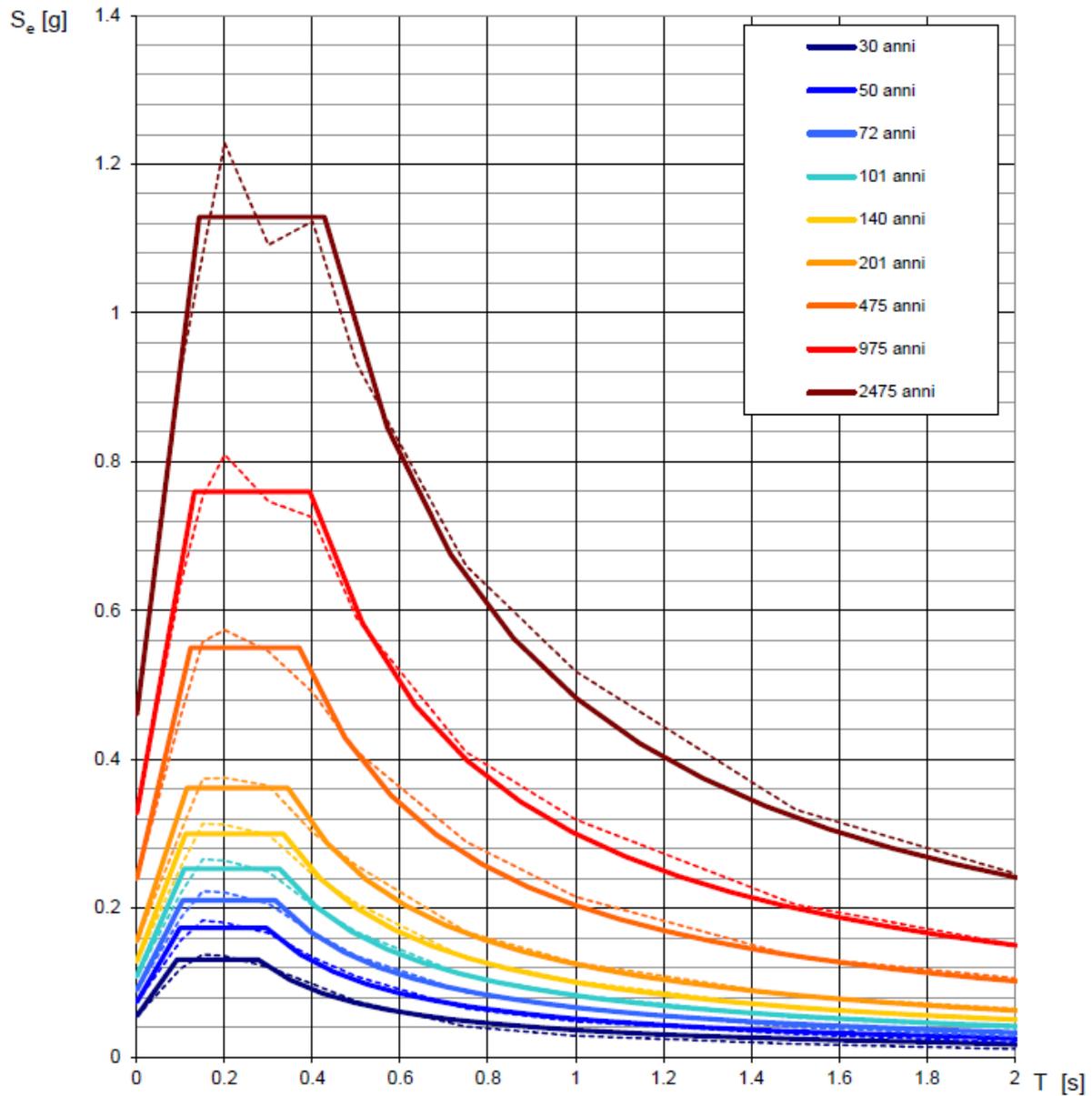
Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito [categoria di sottosuolo **B** – categoria topografica **T2 (h/H=1)**] individuata nell'area oggetto di indagine.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO
PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO A
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.398635 – LAT. 40.644893 (IN GRADI DECIMALI)**

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0.055	2.391	0.276
50	0.074	2.356	0.295
72	0.090	2.344	0.315
101	0.108	2.334	0.326
140	0.129	2.334	0.334
201	0.155	2.329	0.344
475	0.240	2.295	0.370
975	0.327	2.321	0.395
2475	0.461	2.452	0.428

Tabella 5 - 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.





NOTA:

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

Figura 7 - 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 T2 (h/H=1)
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.398635– LAT. 40.644893 (IN GRADI DECIMALI)**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.108 g
F_o	2.334
T_c	0.326 s
S_s	1.200
C_c	1.377
S_T	1.200
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.440
η	1.000
T_B	0.149 s
T_C	0.448 s
T_D	2.033 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

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

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

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

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.156
T_B ←	0.149	0.363
T_C ←	0.448	0.363
	0.524	0.311
	0.599	0.272
	0.675	0.241
	0.750	0.217
	0.825	0.197
	0.901	0.181
	0.976	0.167
	1.052	0.155
	1.127	0.145
	1.203	0.135
	1.278	0.127
	1.354	0.120
	1.429	0.114
	1.504	0.108
	1.580	0.103
	1.655	0.098
	1.731	0.094
	1.806	0.090
	1.882	0.087
	1.957	0.083
T_D ←	2.033	0.080
	2.126	0.073
	2.220	0.067
	2.314	0.062
	2.407	0.057
	2.501	0.053
	2.595	0.049
	2.688	0.046
	2.782	0.043
	2.876	0.040
	2.969	0.038
	3.063	0.035
	3.157	0.033
	3.250	0.031
	3.344	0.030
	3.438	0.028
	3.532	0.027
	3.625	0.025
	3.719	0.024
	3.813	0.023
	3.906	0.022
	4.000	0.021

Tabella 6 - Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gv}	0.048 g
S_S	1.000
S_T	1.200
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.036
S	1.200
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	0.058
$T_B \leftarrow$	0.050	0.090
$T_C \leftarrow$	0.150	0.090
	0.235	0.057
	0.320	0.042
	0.405	0.033
	0.490	0.027
	0.575	0.023
	0.660	0.020
	0.745	0.018
	0.830	0.016
	0.915	0.015
$T_D \leftarrow$	1.000	0.013
	1.094	0.011
	1.188	0.010
	1.281	0.008
	1.375	0.007
	1.469	0.006
	1.563	0.006
	1.656	0.005
	1.750	0.004
	1.844	0.004
	1.938	0.004
	2.031	0.003
	2.125	0.003
	2.219	0.003
	2.313	0.003
	2.406	0.002
	2.500	0.002
	2.594	0.002
	2.688	0.002
	2.781	0.002
	2.875	0.002
	2.969	0.002
	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

Tabella 7 - Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_u = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



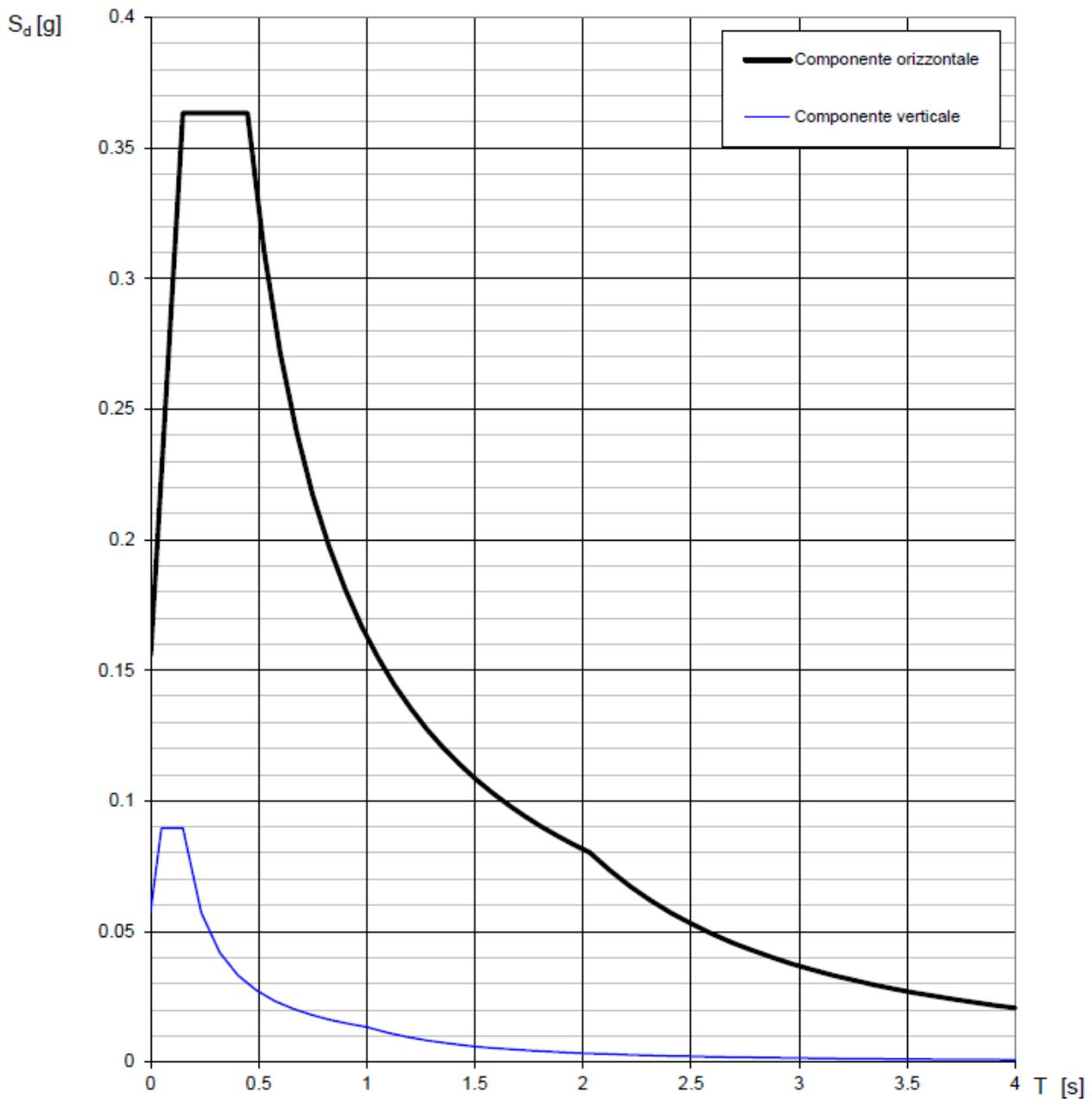


Figura 8 - Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d’uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d’uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.324 g
F_o	2.320
T_c	0.394 s
S_s	1.100
C_c	1.326
S_T	1.200
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.320
η	1.000
T_B	0.174 s
T_C	0.522 s
T_D	2.894 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

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

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

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

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.427
$T_B \leftarrow$	0.174	0.991
$T_C \leftarrow$	0.522	0.991
	0.635	0.814
	0.748	0.691
	0.861	0.600
	0.974	0.531
	1.087	0.476
	1.200	0.431
	1.312	0.394
	1.425	0.363
	1.538	0.336
	1.651	0.313
	1.764	0.293
	1.877	0.275
	1.990	0.260
	2.103	0.246
	2.216	0.233
	2.329	0.222
	2.442	0.212
	2.555	0.202
	2.668	0.194
	2.781	0.186
$T_D \leftarrow$	2.894	0.179
	2.947	0.172
	2.999	0.166
	3.052	0.161
	3.105	0.155
	3.157	0.150
	3.210	0.145
	3.263	0.140
	3.315	0.136
	3.368	0.132
	3.421	0.128
	3.473	0.124
	3.526	0.120
	3.579	0.117
	3.631	0.113
	3.684	0.110
	3.737	0.107
	3.789	0.104
	3.842	0.101
	3.895	0.099
	3.947	0.096
	4.000	0.093

Tabella 8 - Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0.248 g
S_S	1.000
S_T	1.200
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.781
S	1.200
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	0.298
$T_B \leftarrow$	0.050	0.461
$T_C \leftarrow$	0.150	0.461
	0.235	0.294
	0.320	0.216
	0.405	0.171
	0.490	0.141
	0.575	0.120
	0.660	0.105
	0.745	0.093
	0.830	0.083
	0.915	0.076
$T_D \leftarrow$	1.000	0.069
	1.094	0.058
	1.188	0.049
	1.281	0.042
	1.375	0.037
	1.469	0.032
	1.563	0.028
	1.656	0.025
	1.750	0.023
	1.844	0.020
	1.938	0.018
	2.031	0.017
	2.125	0.015
	2.219	0.014
	2.313	0.013
	2.406	0.012
	2.500	0.011
	2.594	0.010
	2.688	0.010
	2.781	0.009
	2.875	0.008
	2.969	0.008
	3.063	0.007
	3.156	0.007
	3.250	0.007
	3.344	0.006
	3.438	0.006
	3.531	0.006
	3.625	0.005
	3.719	0.005
	3.813	0.005
	3.906	0.005
	4.000	0.004

Tabella 9 - Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_u = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



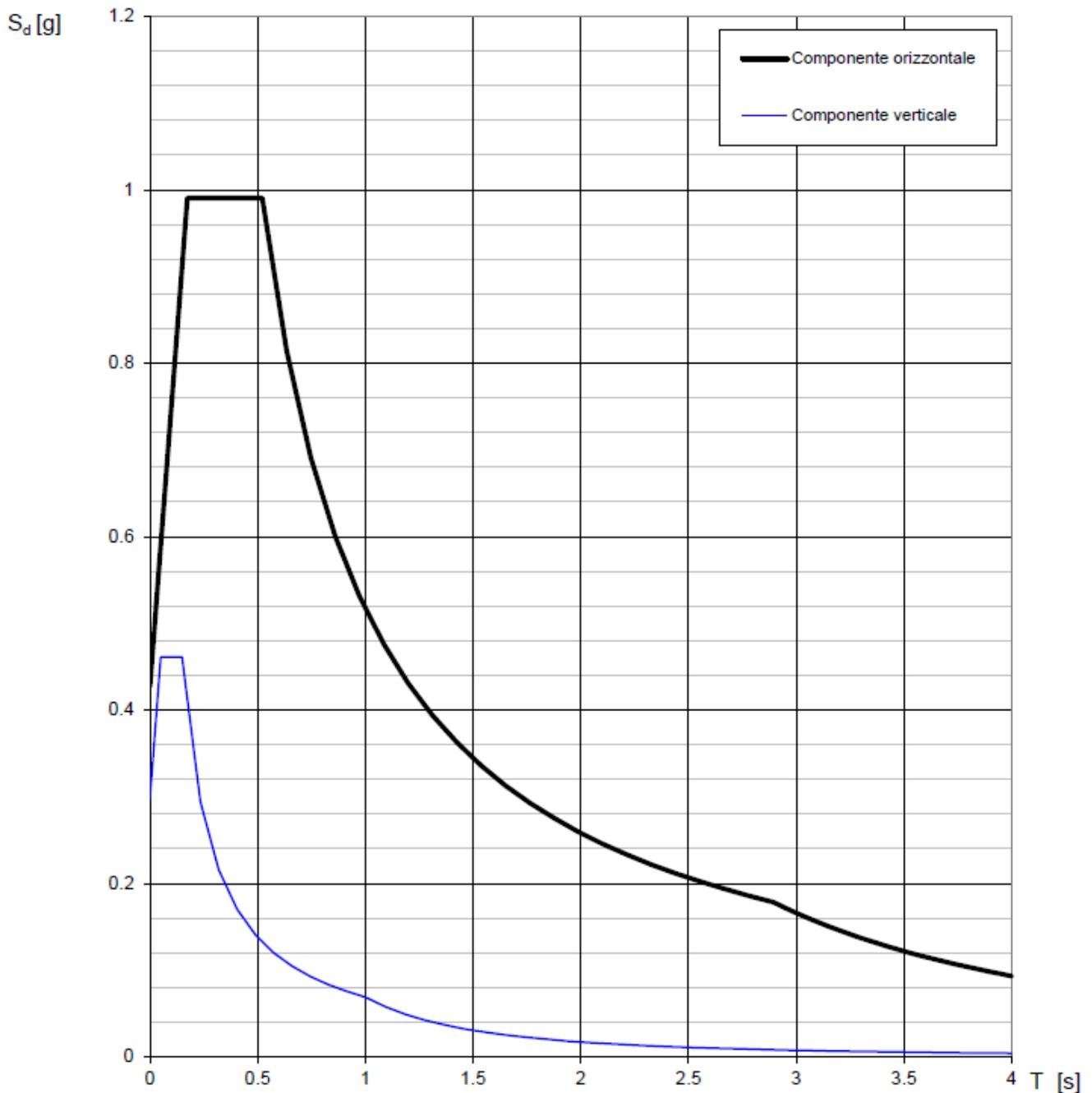


Figura 9 - Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



6 – CONCLUSIONI

Il territorio comunale di San Gregorio Magno (SA), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, è classificato in I categoria - $S=12$ - $a_g=0.35g$ (Figura 10).

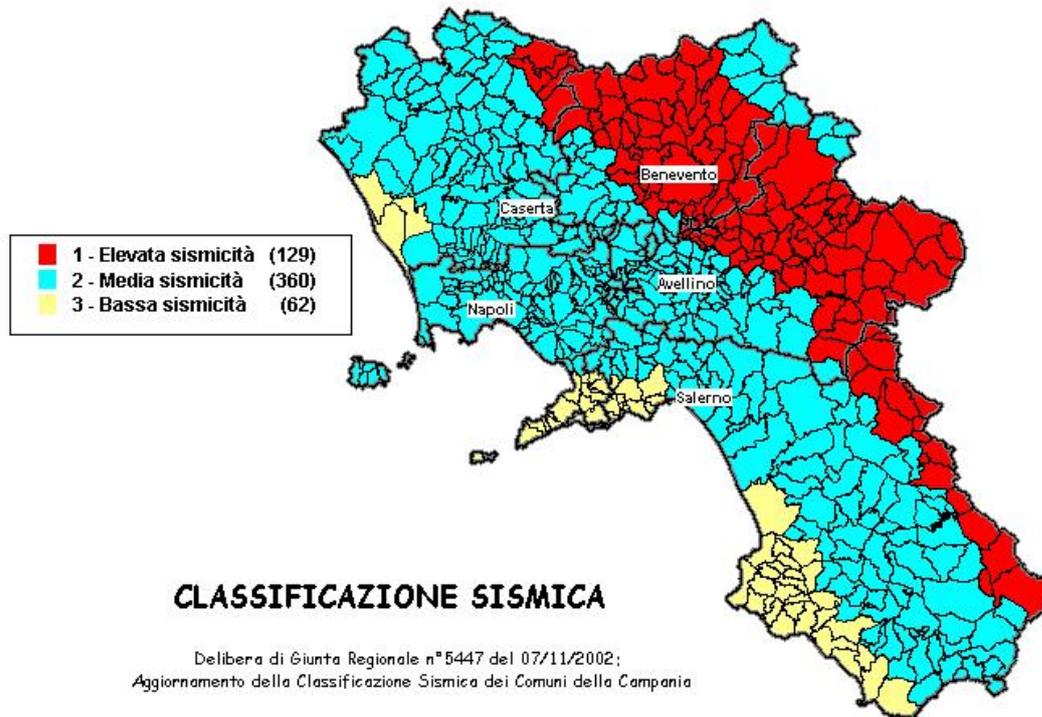


Figura 10 - Classificazione sismica del 2002 dei comuni della regione Campania. Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$.

Inoltre, la mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Figura 11), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di San Gregorio Magno (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.225 e 0.275 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).



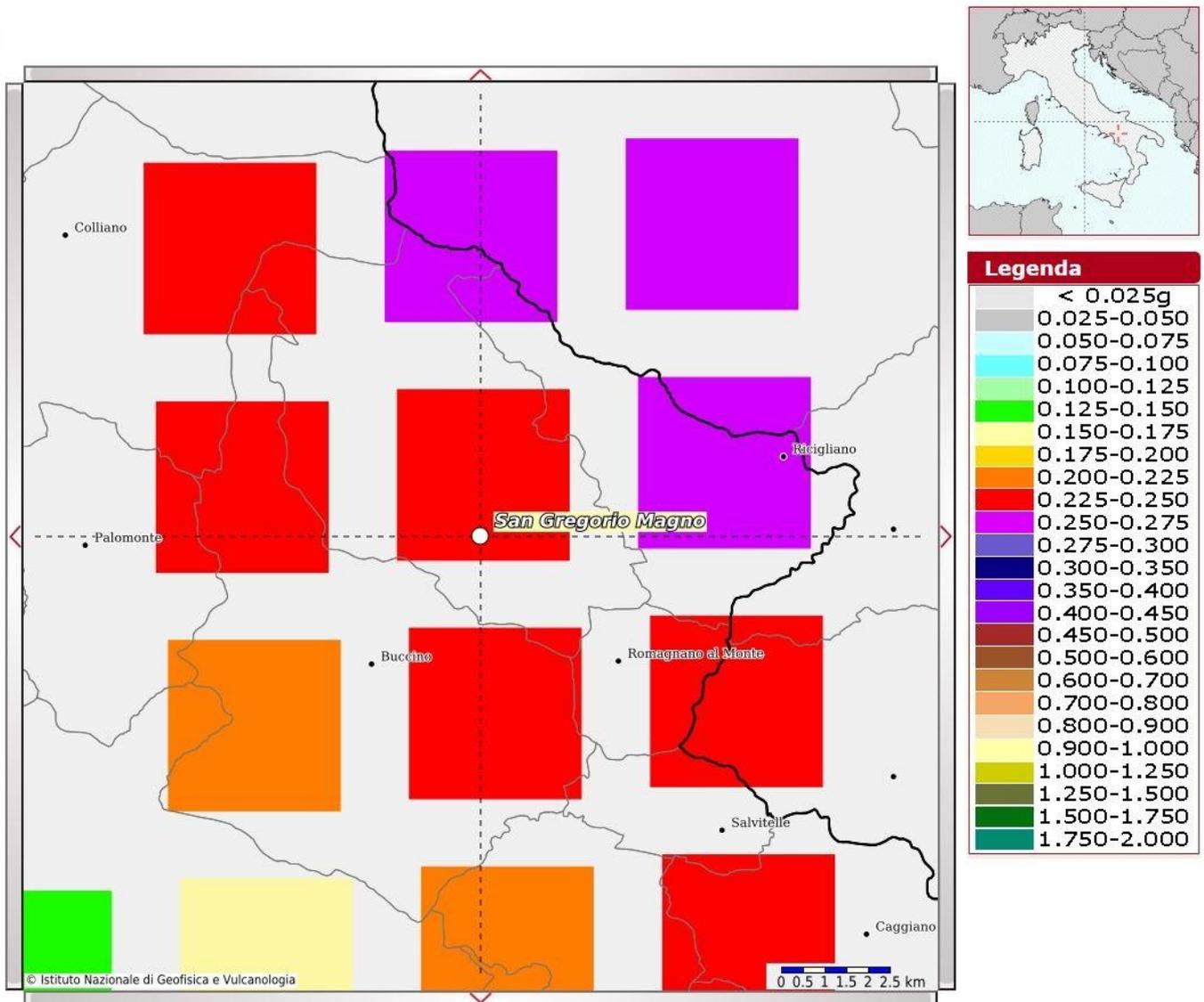


Figura 11 - Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

I risultati forniti dall'indagine sismica MASW effettuata permettono di definire la categoria di sottosuolo del sito, che risulta posto nella categoria **B** (vedi par. 4), con valori di $V_{S,eq}$ calcolati pari a (Tabella 10):

Prospezione sismica	$V_{S0-15.3}$ (m/s)
MASW n.1	[637]

Tabella 10 - Valori di $V_{S,eq}$ calcolati, relativi alla prospezione sismica MASW n.1 effettuata.



Proprio in funzione della categoria di sottosuolo **B** e della categoria topografica **T2 (h/H=1)** 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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al sottosuolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C) (Tabella 6 – Tabella 8 – Tabella 11), 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
[0.108]	[0.324]	[0.363]	[0.991]

Tabella 11 - 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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.

Di seguito si riportano i valori di V_s per i sismostrati riscontrati nella prospezione sismica MASW n.1 (Tabella 12).

Sismostrato	Profondità (m)	V_s (m/s)
S1	0.0 – 5.2	549
S2	5.2 – 7.8	607
S3	7.8 – 11.1	699
S4	11.1 – 15.3	762
S5	15.3 – 34.7	845

Tabella 12 - Prospetto delle determinazioni dei valori di V_s per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica MASW n.1.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

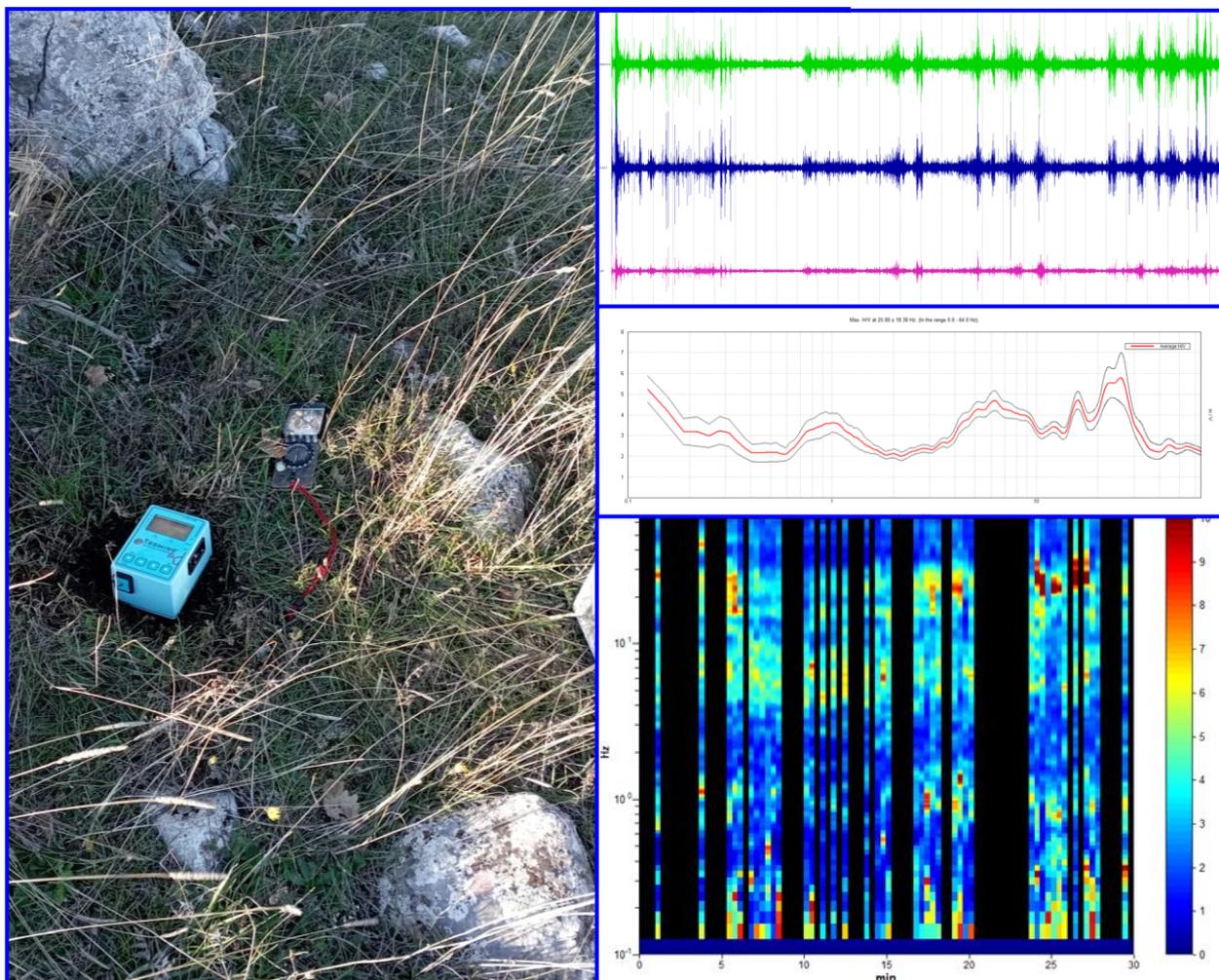
Pagani, novembre 2023

Il tecnico
Dr. Geol. Francesco Cuccurullo



COMUNE DI SAN GREGORIO MAGNO

PROVINCIA DI SALERNO



RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DI SITO INERENTE AL PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO CON POTENZA NOMINALE PARI A 46.2 MW. TORRE 2

Il Committente

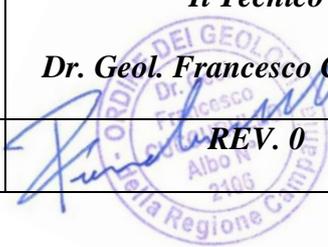
I-PROJECT S.R.L.

Pagani, novembre 2023

Il Tecnico

Dr. Geol. Francesco Cuccurullo

REV. 0



INDICE

1 – PREMESSA	3
2 - INDAGINE ESEGUITA.....	5
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	7
4 – RISULTATI.....	8
5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	14
6 – CONCLUSIONI	23



1 – PREMESSA

Su incarico di I-PROJECT S.R.L., è stata effettuata n°1 indagine di sismica passiva a stazione singola HVSR (microtremore ambientale) per la redazione della relazione sulla modellazione sismica di sito inerente al progetto di realizzazione di un impianto eolico con potenza nominale pari a 46.2 MW (coordinate geografiche WSG84 del sito 40.644727° N - 15.403902° E), nel territorio comunale di San Gregorio Magno (SA) (*Figura 1 - Figura 2*), al fine di fornire una stima affidabile della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo (modo fondamentale e predominante di oscillazione e di valutare la categoria di sottosuolo (stima del parametro $V_{S,eq}$), vincolando l'elaborazione effettuata con la stratigrafia desunta da dati geotecnici dell'area di interesse.

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).



Figura 1 - Prospezione a sismica passiva HVSR n. 2 effettuata sul sito di interesse progettuale.



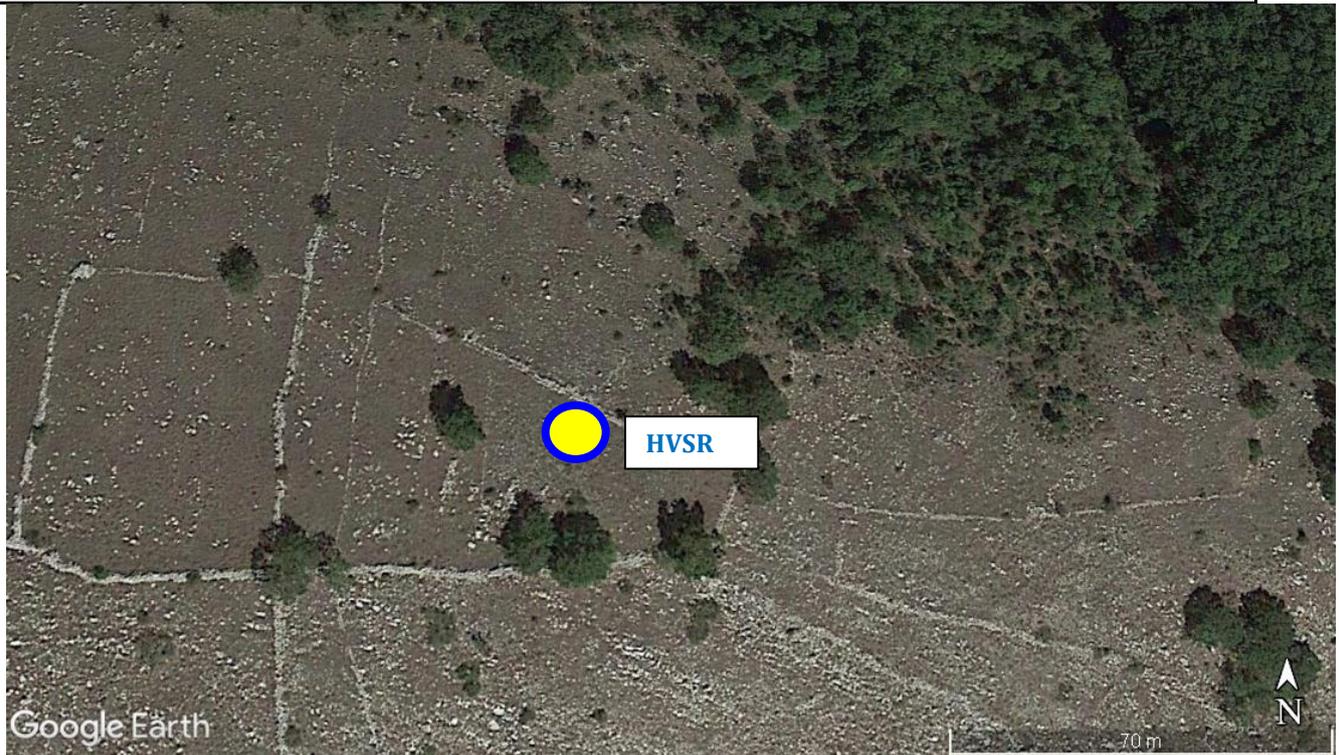


Figura 2 - Ubicazione del punto d'indagine su foto aerea di Google Earth.



2 - INDAGINE ESEGUITA

Al fine di caratterizzare sismicamente il sottosuolo nell'area oggetto di indagine, è stata eseguita n.1 indagine di sismica passiva a stazione singola HVSR (microtremore ambientale) (*Figura 1*), con le seguenti caratteristiche (*Tabella 1*):

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Tempo complessivo di acquisizione (min)</i>
<i>HVSR n.2</i>	<i>30</i>

Tabella 1 – Riepilogo caratteristiche delle fasi di acquisizione.

L'indagine è stata condotta mediante l'utilizzo di TROMINO strumento realmente 'tutto in uno' per la registrazione sismica a stazione singola passiva ed attiva e per il monitoraggio delle vibrazioni.

Il tromometro digitale Tromino (*Figura 1*), si basa su un progetto brevettato che ottimizza la misura del microtremore nell'intervallo di frequenze compreso fra 0.1 e 200 Hz. Il Tromino ottiene questo risultato mantenendo una configurazione ultra-compatta e ultra-leggera e può essere posizionato e messo in opera ovunque in pochi secondi. Le ridotte dimensioni (10 x 14 x 8 cm), la leggerezza (1.1 kg), il bassissimo consumo di energia (funziona con semplici pile), l'assenza totale di cavi esterni e l'alta risoluzione dell'elettronica digitale impiegata, rendono questo strumento quasi tascabile. Inoltre, lascia virtualmente imperturbato il campo d'onda presente nell'ambiente con un potere risolutivo comparabile con quello garantito dai più moderni sistemi sismometrici permanenti attualmente disponibili sul mercato.

Il Tromino è dotato di tre canali velocimetrici elettrodinamici ad alta risoluzione per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale fino a circa ± 1.5 mm/s e, nella versione utilizzata per questo lavoro, di tre canali velocimetrici per la registrazione delle vibrazioni forti fino a ± 5 cm/s e di tre canali accelerometrici. I sensori sono disposti secondo tre direzioni ortogonali (terna x, y e z) e, smorzati criticamente, trasmettono il segnale ad un sistema di acquisizione digitale a basso rumore con risoluzione non inferiore a 23 bit. In più, un canale analogico è predisposto per l'acquisizione dati da ricevitore GPS integrato (sistema ricevitore/antenna) ed un modulo radio permette la sincronizzazione tra diverse unità di lavoro ed eventualmente la trasmissione di allarmi.



Le caratteristiche progettuali del Tromino consentono una accuratezza relativa maggiore di 10^{-4} sulle componenti spettrali al di sopra di 0.1 Hz. Per quanto attiene alle caratteristiche del Tromino che interessano le misure di vibrazione, è da rilevare che lo strumento ha una curva di risposta pressoché piatta nella banda di interesse per la norma DIN4150 [<http://www.inquinamentoacustico.it/vibrazioni.htm>], grazie a sismometri mid-frequency la cui risposta viene digitalizzata a 24 bit A/D con una frequenza di campionamento di 512 Hz. Lo strumento inoltre memorizza i dati in una scheda di memoria interna da 1 Gb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico od elettronico. I dati acquisiti vengono salvati su memoria digitale di tipo Flash e, normalmente, trasferiti al PC o estratti mediante collegamento USB. Esiste un pacchetto software specifico, sviluppato per interfacciarsi al Tromino, utile per il trasferimento delle tracce acquisite ad un PC nonché per la loro archiviazione ed analisi; si tratta del software Grilla. Tale pacchetto software permette inoltre l'esportazione dei dati in formato ASCII o SAF.

Di seguito si riepilogano le caratteristiche della strumentazione utilizzata:

- 3 canali velocimetrici per l'acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ± 1.5 mm/s \sim);
- 3 canali velocimetrici per la registrazione di vibrazioni forti (fino a ± 5 cm/s \sim);
- 3 canali accelerometrici per monitoraggio di vibrazioni;
- 1 canale analogico (es. trigger esterno per MASW/rifrazione) ricevitore GPS integrato, antenna interna e/o esterna per localizzazione e/o sincronizzazione tra diverse unità;
- modulo radio per sincronizzazione tra diverse unità e trasmissione di allarmi (es. superamento di soglie).

Tromino opera nell'intervallo 0.1 - 1024 Hz su tutti canali (fino a 32 kHz su 2 canali) con conversione A/D > 24 bit equivalenti a 128 Hz.

La terna di velocimetri ortogonali tra loro è stata posizionata correttamente (tramite bolla sferica e piedini regolabili) sul piano di calpestio (terreno). La stessa terna è stata orientata con il Nord.

I segnali sismici acquisiti sono stati successivamente elaborati con apposito programma (Grilla) per la determinazione della frequenza di picco.



3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI

Le acquisizioni dei segnali, di lunghezza temporale $T=1800s$, sono state effettuate con passo di campionamento $dt=2.048ms$. La frequenza di campionamento è data da: $f_{campionamento}=1/dt=512Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{Nyquist}=1/2dt=256Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{min}=1/T=0.00055Hz$.

Di seguito si riportano i grafici delle registrazioni del microtremore nelle tre componenti ortogonali tra loro (verticale ed orizzontali) (Figura 3).

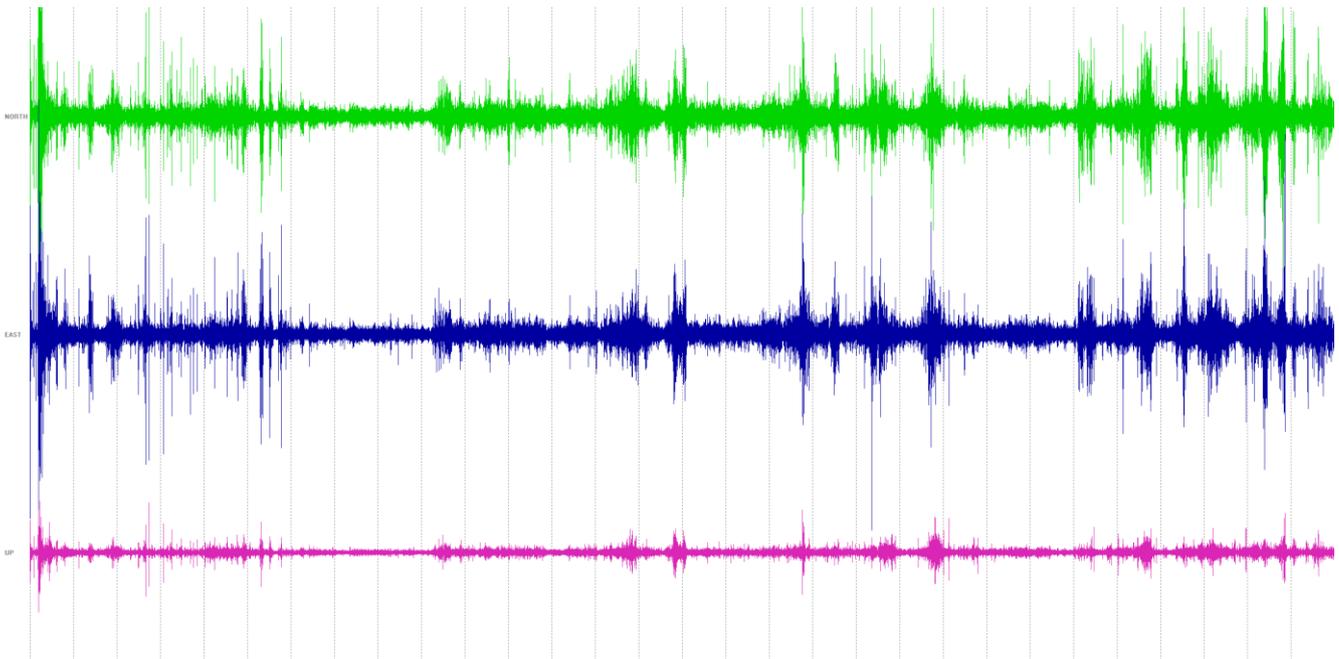


Figura 3 - Segnali sismici del microtremore acquisito nelle tre componenti ortogonali tra loro (verticale ed orizzontali) – HVSr n. 2.



4 – RISULTATI

L'elaborazione del segnale permette di definire una frequenza di picco f_0 pari a 25.88 Hz, con un'ampiezza pari a 5.79.

Di seguito si riportano le curve H/V Spectral Ratio dell'analisi effettuata ed i relativi grafici (Figura 4 - Figura 8) e la valutazione dei criteri del progetto Sesame (Tabella 2).

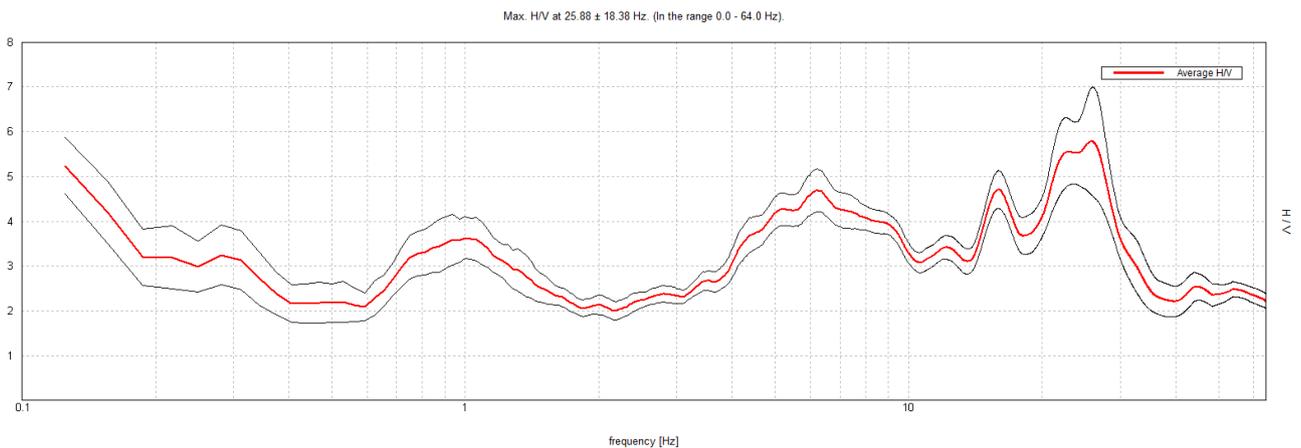


Figura 4 – Andamento del rapporto H/V per il gruppo di registrazioni effettuate – HVSR n.2. Nel grafico la curva rossa rappresenta il rapporto H/V medio, mentre le curve nere, dette “curve di confidenza”, sono il risultato della moltiplicazione (curva superiore) e della divisione (curva inferiore) dei valori del rapporto H/V medio per la deviazione standard.



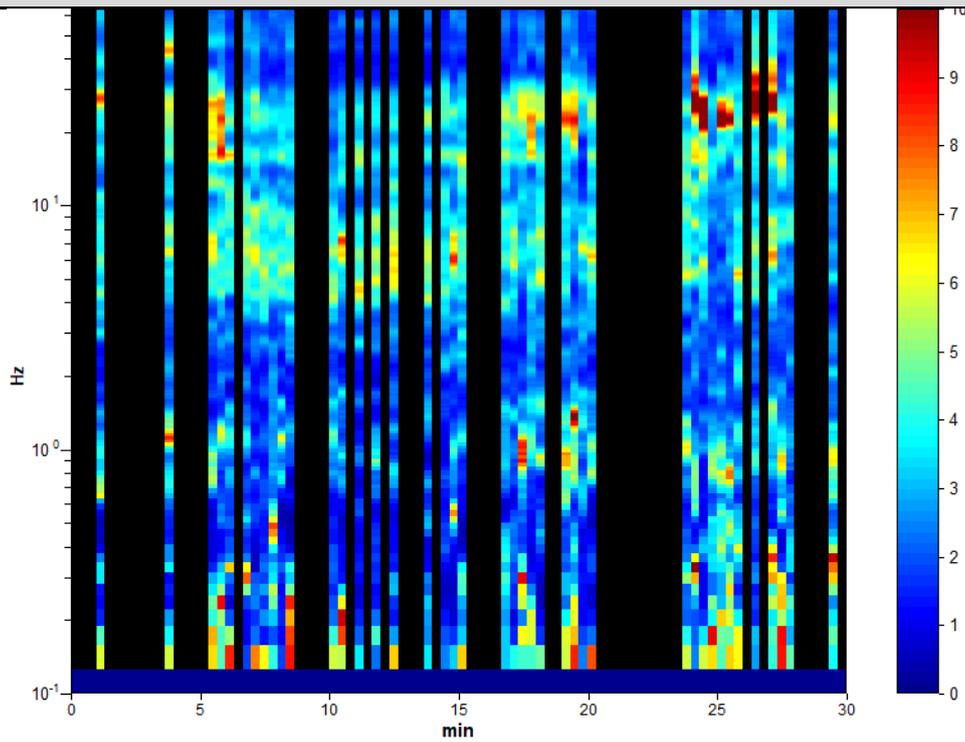


Figura 5 – Grafico del segnale nella serie temporale H/V – HVSR n. 2.

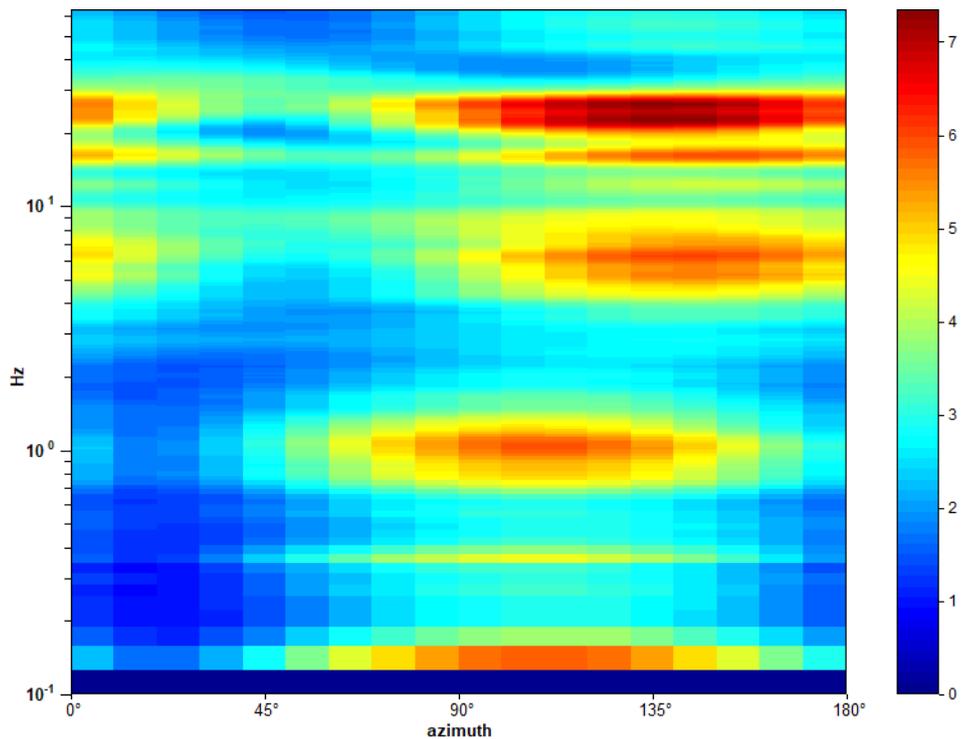


Figura 6 – Grafico di direzionalità della curva HV – Il grafico mostra l'ampiezza del rapporto H/V per ogni 10° di rotazione – HVSR n.2.



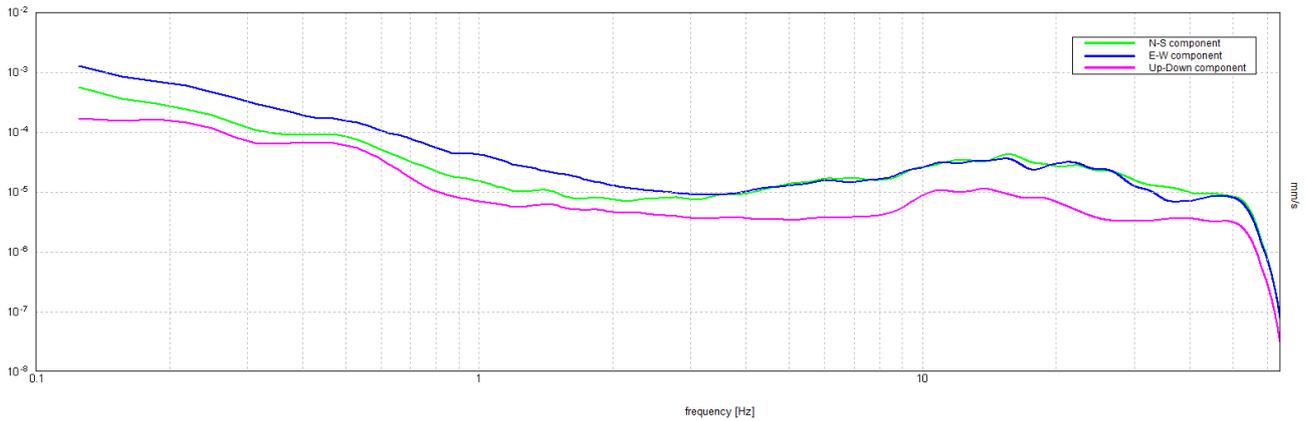


Figura 7 - Diagramma del Rapporto degli Spettri orizzontali (colori verde e blu) su verticale (colore viola) – HVSR n.2.

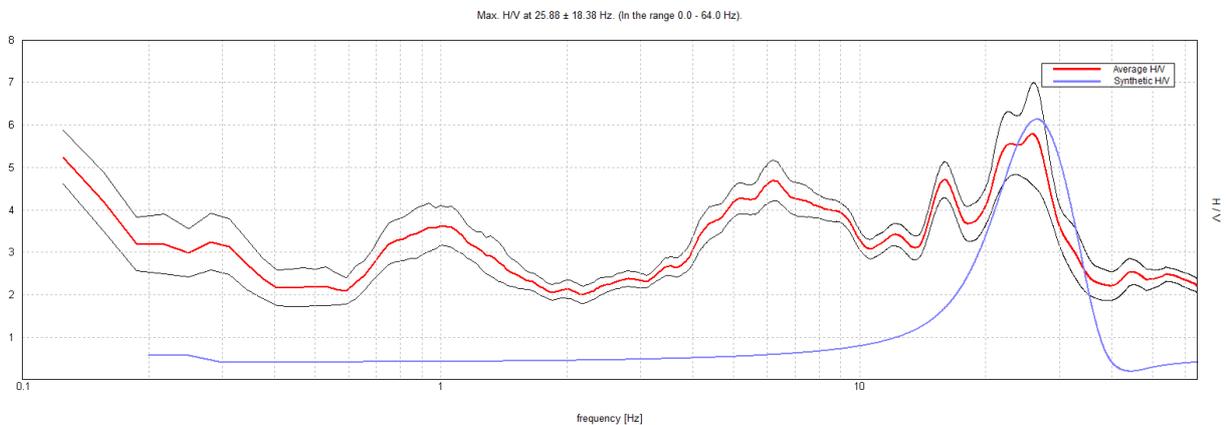


Figura 8 - Andamento del rapporto H/V per il gruppo di registrazioni effettuate. Nel grafico la curva rossa rappresenta il rapporto H/V medio, le curve nere, dette “curve di confidenza”, sono il risultato della moltiplicazione (curva superiore) e della divisione (curva inferiore) dei valori del rapporto H/V medio per la deviazione standard, mentre la linea blu rappresenta il fitting – HVSR n.2.



Max. H/V at 25.88 ± 18.38 Hz (in the range 0.0 - 64.0 Hz).

Criteria for a reliable H/V curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	25.88 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	21217.5 > 200	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 1243 times	OK	

Criteria for a clear H/V peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	33.094 Hz	OK	
$A_0 > 2$	5.79 > 2	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.71017 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	18.37564 < 1.29375		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.2044 < 1.58	OK	

Tabella 2 - Criteri Sesame, 2004 per la valutazione dell'affidabilità statistica della curva HV e della chiarezza dei picchi di risonanza individuati – HVSR n.2.

La stima sismostratigrafia del sito è stata ricostruita a partire dai dati desunti dalla prova penetrometrica dinamica effettuata in situ.

Di seguito si riportano i valori di V_s e di Poisson per i sismostrati riscontrati nella prospezione sismica HVSR n.2 (Tabella 3).

Sismostrato	Profondità (m)	V_s (m/s)	Poisson (-)
S1	0.0 – 4.0	400	0.45
S2	4.0 – inf.	880	0.45

Tabella 3 - Prospetto delle determinazioni dei valori di V_s e di Poisson per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica HVSR n.2.



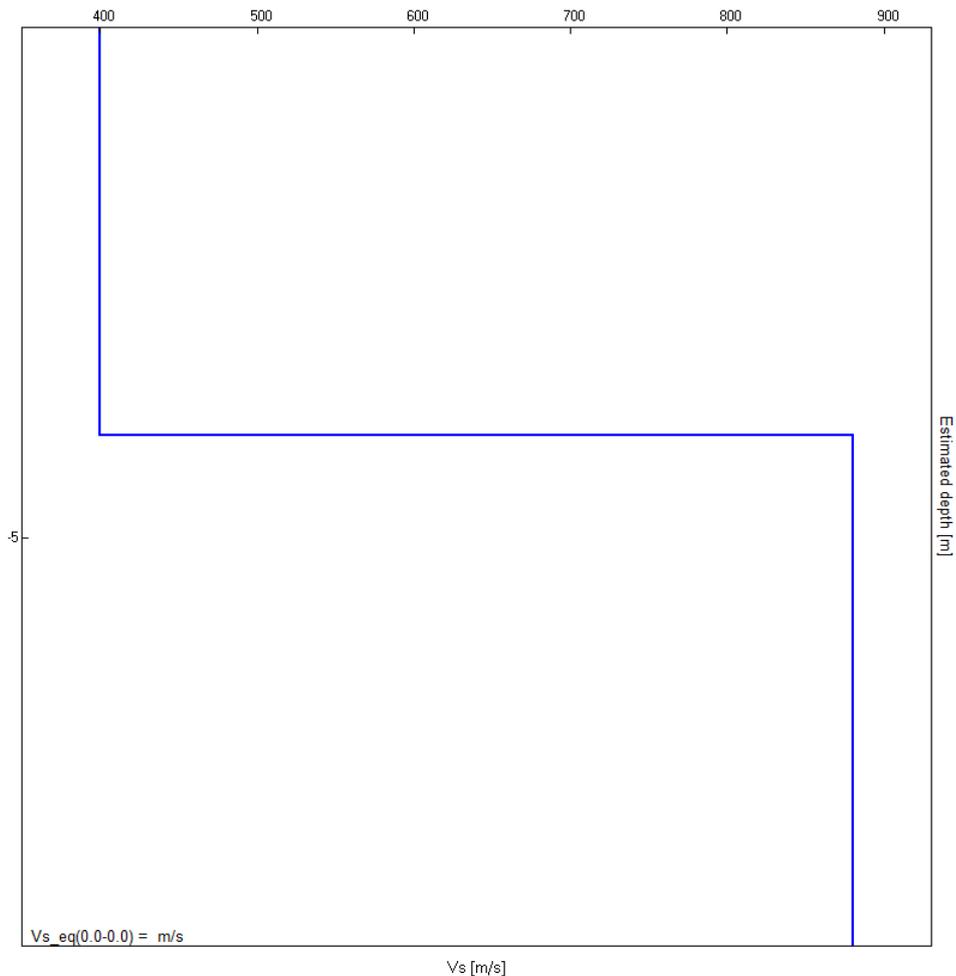


Figura 9 – Modello stratigrafico e profilo Vs.

L'indagine di sismica passiva HVSR, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di 4m (0m-4m) dal p.c., in quanto è stato raggiunto il bedrock sismico nei primi 4 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 (Tabella 4 - Tabella 6).



CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30 m.

Tabella 4 – Categorie Sottosuoli di fondazione (D.M. 17 gennaio 2018).

<i>Prospezione sismica</i>	<i>V_{S 0-4} (m/s)</i>	<i>Categoria Sottosuoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)</i>
<i>HVSR n. 2</i>	<i>[400]</i>	<i>B</i>

Tabella 5 – Categoria Sottosuolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica HVSR n.2 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	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T₁	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T₂	<i>Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$</i>
T₃	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T₄	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 6 – Categorie topografiche (D.M. 17 gennaio 2018).

Categoria topografica T2 = Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ($h/H = 1$ dove h = quota sito e H = quota massima del versante).



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 sottosuolo 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 HVSR precedentemente descritta.

Gli spettri di risposta ottenuti sono relativi allo 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) (Tabella 7; Figura 10).

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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV) (Tabella 8 - Tabella 11; Figura 11 - Figura 12).

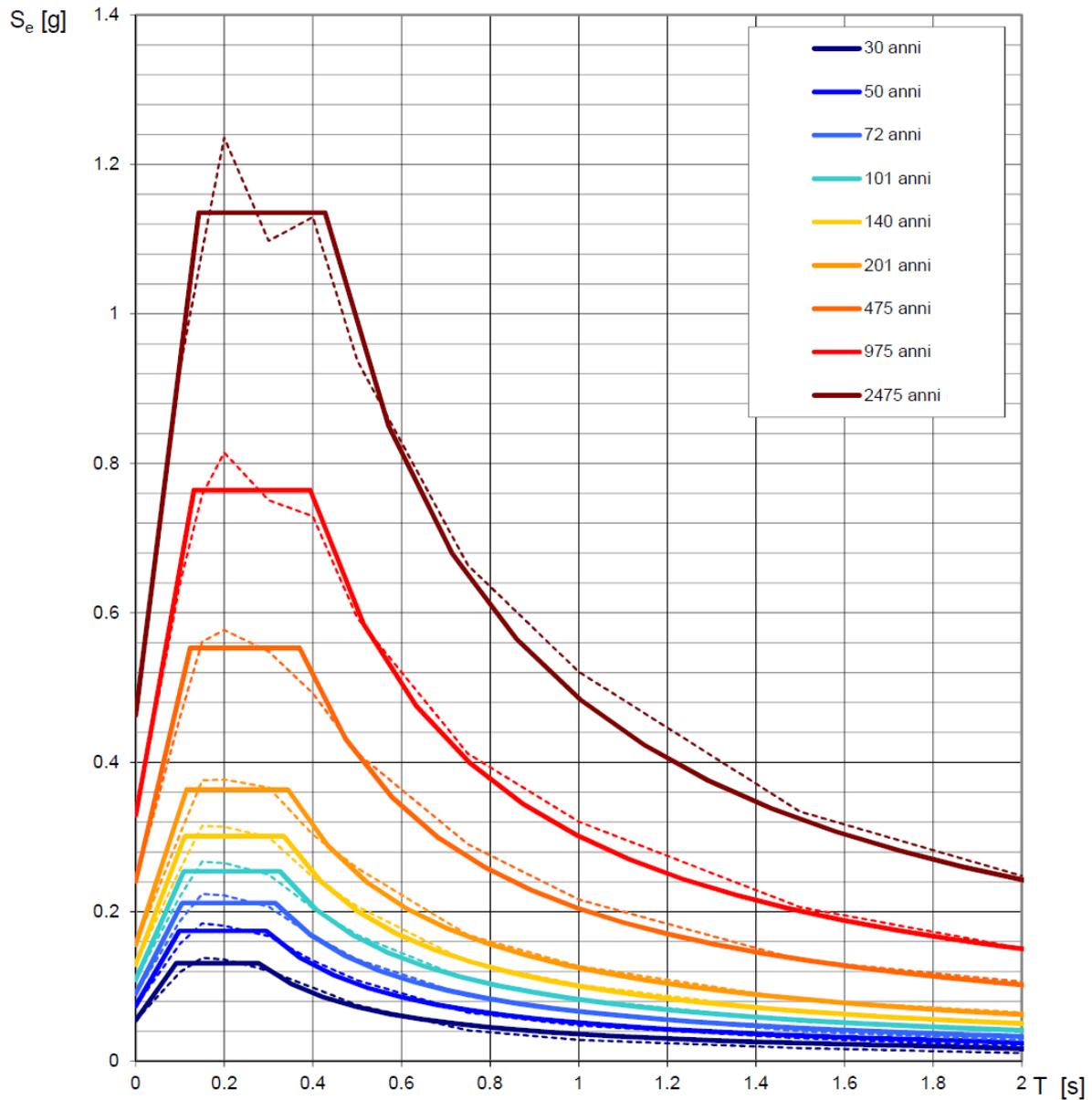
Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito [categoria di sottosuolo **B** – categoria topografica **T2 (h/H=1)**] individuata nell'area oggetto di indagine.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO
PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO A
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.403902 – LAT. 40.644727 (IN GRADI DECIMALI)**

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0.055	2.393	0.276
50	0.074	2.356	0.295
72	0.090	2.343	0.315
101	0.109	2.332	0.325
140	0.129	2.332	0.334
201	0.156	2.328	0.344
475	0.241	2.294	0.369
975	0.329	2.322	0.394
2475	0.463	2.453	0.428

Tabella 7 – 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.





NOTA:

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

Figura 10 - 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 T2 (h/H=1)
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.403902 – LAT. 40.644727 (IN GRADI DECIMALI)**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.109 g
F_0	2.333
T_C	0.325 s
S_S	1.200
C_C	1.377
S_T	1.200
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.440
η	1.000
T_B	0.149 s
T_C	0.448 s
T_D	2.035 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T$$

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

$$T_B = T_C / 3$$

$$T_C = C_C \cdot T_C^*$$

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

Espressioni dello spettro di risposta

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.156
T_B ←	0.149	0.365
T_C ←	0.448	0.365
	0.523	0.312
	0.599	0.273
	0.675	0.242
	0.750	0.218
	0.826	0.198
	0.901	0.181
	0.977	0.167
	1.052	0.155
	1.128	0.145
	1.203	0.136
	1.279	0.128
	1.355	0.121
	1.430	0.114
	1.506	0.109
	1.581	0.103
	1.657	0.099
	1.732	0.094
	1.808	0.090
	1.883	0.087
	1.959	0.083
T_D ←	2.035	0.080
	2.128	0.073
	2.222	0.067
	2.315	0.062
	2.409	0.057
	2.503	0.053
	2.596	0.049
	2.690	0.046
	2.783	0.043
	2.877	0.040
	2.970	0.038
	3.064	0.035
	3.158	0.033
	3.251	0.031
	3.345	0.030
	3.438	0.028
	3.532	0.027
	3.626	0.025
	3.719	0.024
	3.813	0.023
	3.906	0.022
	4.000	0.021

Tabella 8 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gv}	0.048 g
S_S	1.000
S_T	1.200
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.038
S	1.200
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	0.058
$T_B \leftarrow$	0.050	0.090
$T_C \leftarrow$	0.150	0.090
	0.235	0.058
	0.320	0.042
	0.405	0.033
	0.490	0.028
	0.575	0.024
	0.660	0.021
	0.745	0.018
	0.830	0.016
	0.915	0.015
$T_D \leftarrow$	1.000	0.014
	1.094	0.011
	1.188	0.010
	1.281	0.008
	1.375	0.007
	1.469	0.006
	1.563	0.006
	1.656	0.005
	1.750	0.004
	1.844	0.004
	1.938	0.004
	2.031	0.003
	2.125	0.003
	2.219	0.003
	2.313	0.003
	2.406	0.002
	2.500	0.002
	2.594	0.002
	2.688	0.002
	2.781	0.002
	2.875	0.002
	2.969	0.002
	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

Tabella 9 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



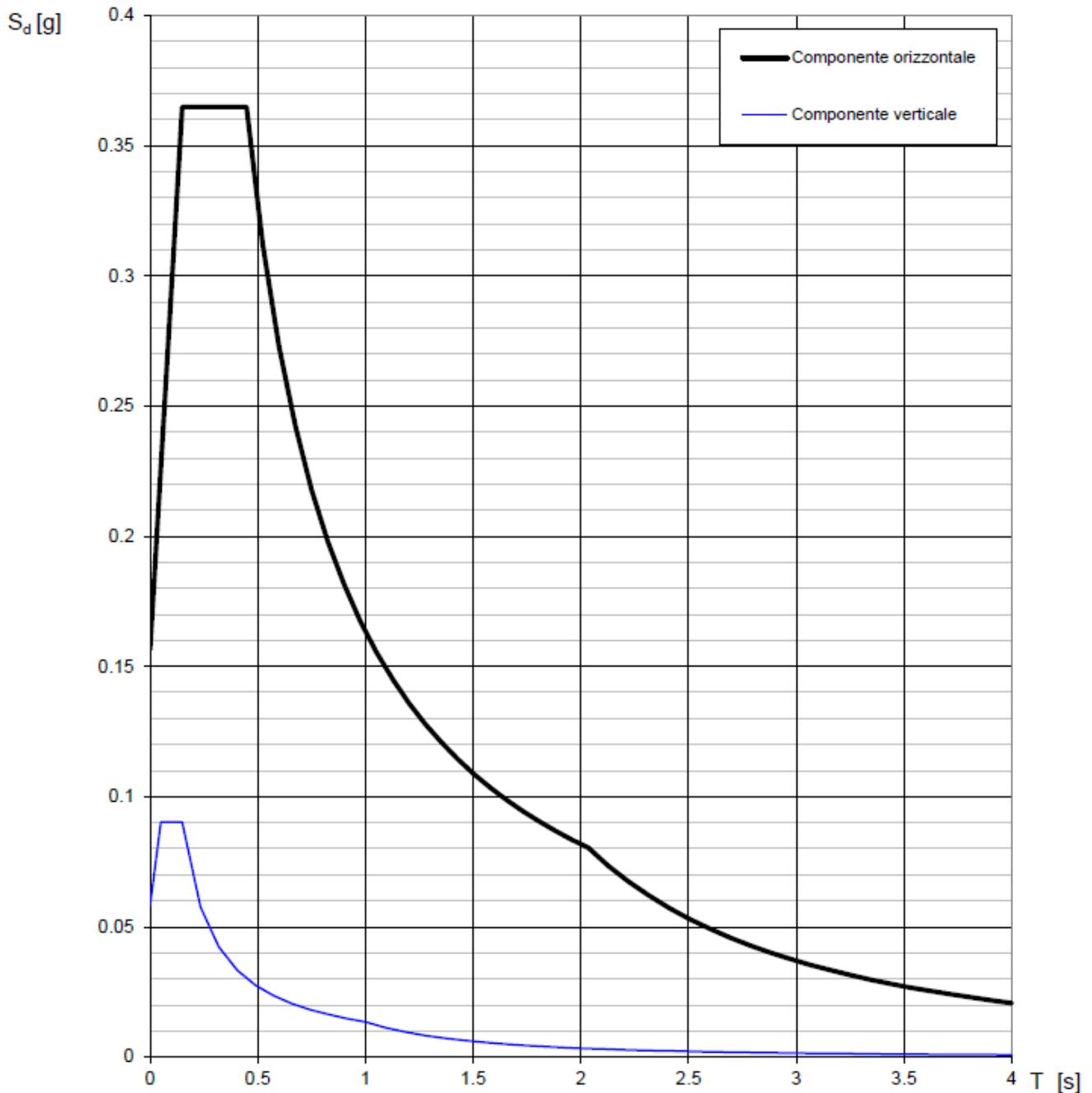


Figura 11 - Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d’uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d’uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.325 g
F_o	2.321
T_c	0.393 s
S_s	1.098
C_c	1.326
S_T	1.200
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.318
η	1.000
T_B	0.174 s
T_C	0.521 s
T_D	2.901 s

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_s \cdot S_T$$

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

$$T_B = T_c / 3$$

$$T_C = C_c \cdot T_c^2$$

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

Espressioni dello spettro di risposta

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

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

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

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.429
T_B ←	0.174	0.995
T_C ←	0.521	0.995
	0.634	0.817
	0.748	0.693
	0.861	0.602
	0.974	0.532
	1.088	0.476
	1.201	0.432
	1.314	0.394
	1.428	0.363
	1.541	0.336
	1.654	0.313
	1.768	0.293
	1.881	0.276
	1.994	0.260
	2.108	0.246
	2.221	0.233
	2.334	0.222
	2.448	0.212
	2.561	0.202
	2.674	0.194
	2.788	0.186
T_D ←	2.901	0.179
	2.953	0.172
	3.006	0.166
	3.058	0.161
	3.110	0.155
	3.163	0.150
	3.215	0.145
	3.267	0.141
	3.320	0.136
	3.372	0.132
	3.424	0.128
	3.477	0.124
	3.529	0.121
	3.581	0.117
	3.634	0.114
	3.686	0.111
	3.738	0.108
	3.791	0.105
	3.843	0.102
	3.895	0.099
	3.948	0.096
	4.000	0.094

Tabella 10 – Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0.250 g
S_S	1.000
S_T	1.200
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.787
S	1.200
η	0.667

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.300
T_B ←	0.050	0.465
T_C ←	0.150	0.465
	0.235	0.297
	0.320	0.218
	0.405	0.172
	0.490	0.142
	0.575	0.121
	0.660	0.106
	0.745	0.094
	0.830	0.084
	0.915	0.076
T_D ←	1.000	0.070
	1.094	0.058
	1.188	0.049
	1.281	0.042
	1.375	0.037
	1.469	0.032
	1.563	0.029
	1.656	0.025
	1.750	0.023
	1.844	0.021
	1.938	0.019
	2.031	0.017
	2.125	0.015
	2.219	0.014
	2.313	0.013
	2.406	0.012
	2.500	0.011
	2.594	0.010
	2.688	0.010
	2.781	0.009
	2.875	0.008
	2.969	0.008
	3.063	0.007
	3.156	0.007
	3.250	0.007
	3.344	0.006
	3.438	0.006
	3.531	0.006
	3.625	0.005
	3.719	0.005
	3.813	0.005
	3.906	0.005
	4.000	0.004

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

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

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

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

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

Tabella 11 – Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



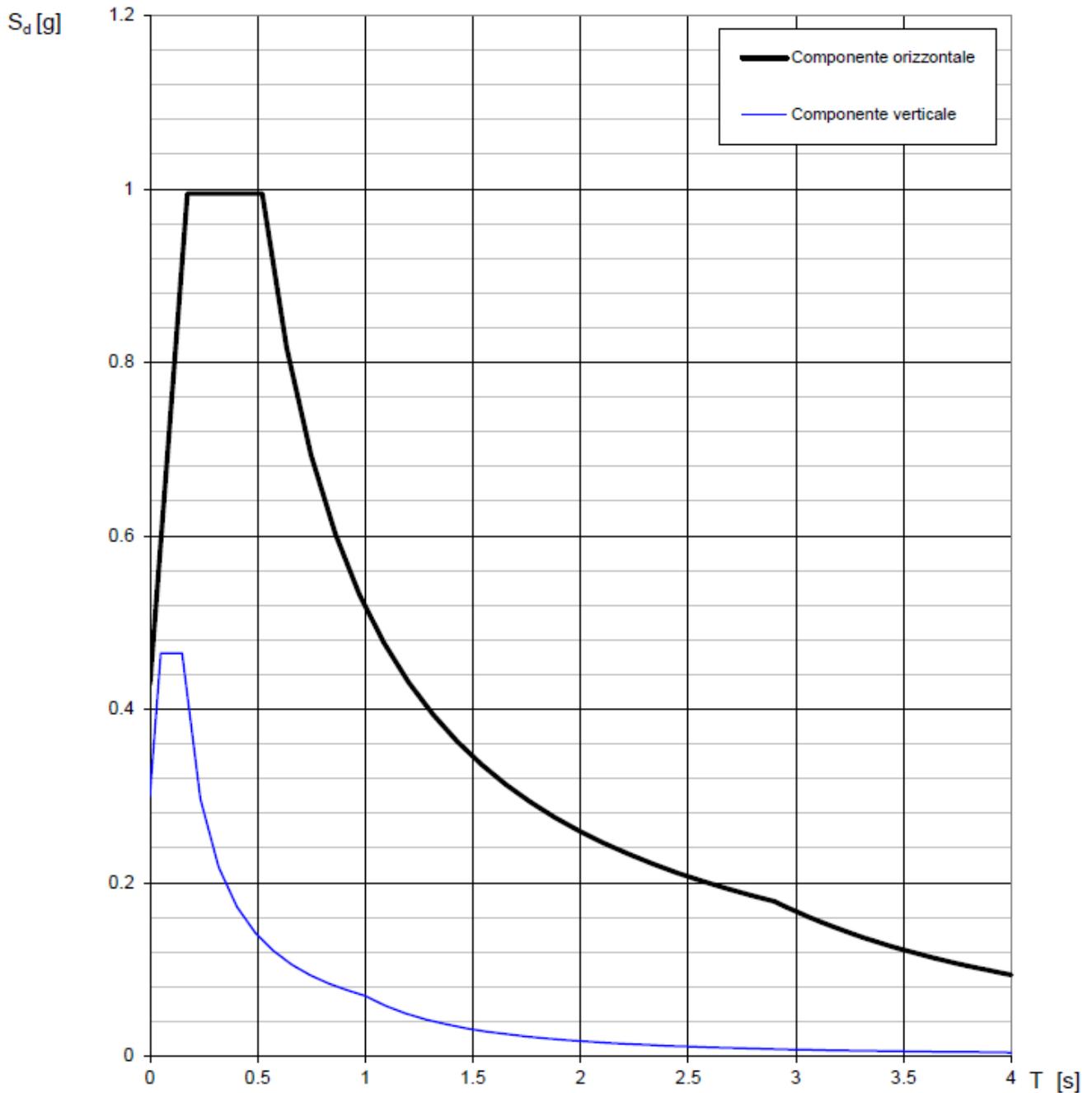


Figura 12 - Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d’uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d’uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



6 – CONCLUSIONI

Il territorio comunale di San Gregorio Magno (SA), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, è classificato in I categoria - $S=12$ - $a_g=0.35g$ (Figura 13).

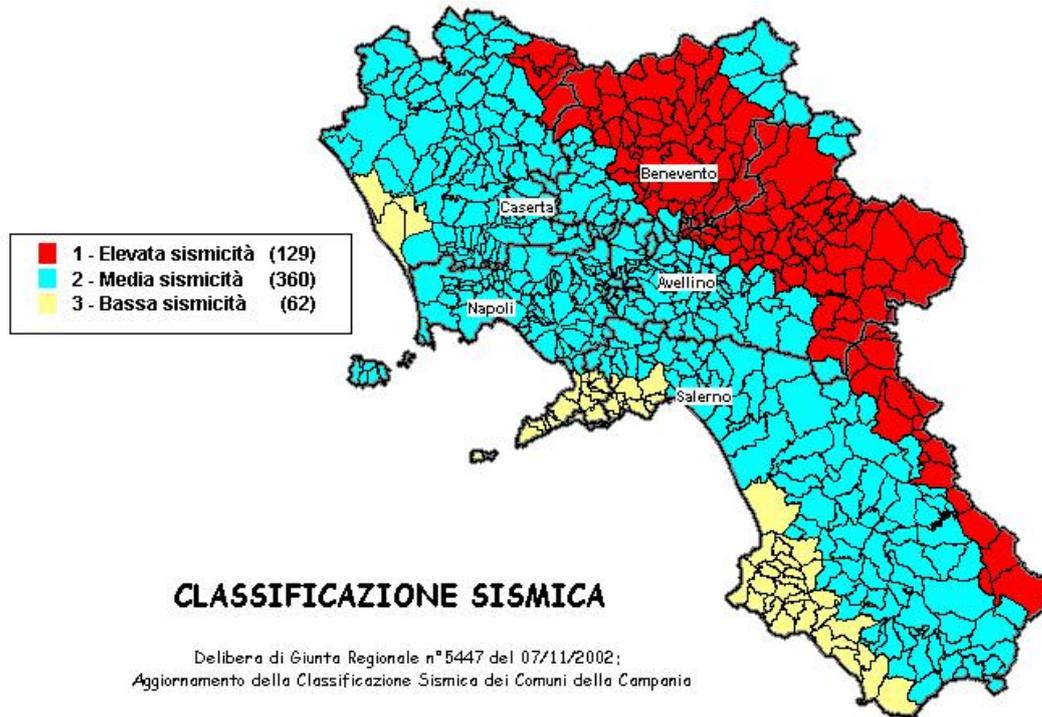


Figura 13 - Classificazione sismica del 2002 dei comuni della regione Campania. Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$.

La mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Figura 14), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di San Gregorio Magno (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.225 e 0.275 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).



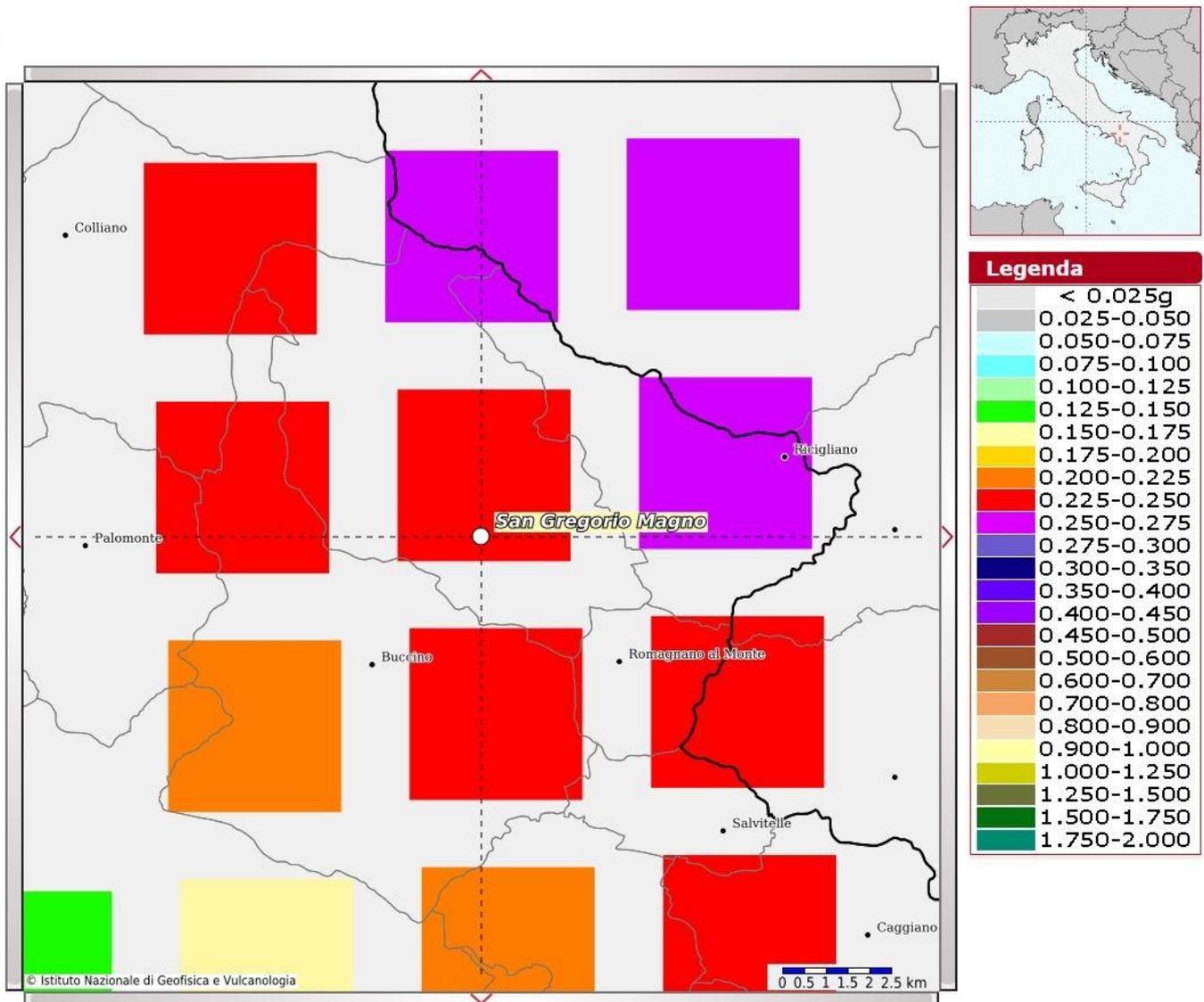


Figura 14 - Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

L'indagine ha consentito di valutare la categoria di sottosuolo del sito, che risulta posto nella categoria **B** (vedi par. 4).

Proprio in funzione della categoria di sottosuolo **B** e della categoria topografica **T2 (h/H=1)** 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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al sottosuolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C) (Tabella 8 - Tabella 10 - Tabella 12), 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
[0.109]	[0.325]	[0.365]	[0.995]

Tabella 12 – 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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.

L'indagine di sismica passiva HVSR effettuata ha permesso di individuare la seguente frequenza di picco (Tabella 13):

Prospezione sismica	f_o (Hz)
HVSR n. 2	[25.88 ± 18.38 Hz]

Tabella 13 – Valore di f_o calcolato, relativo alla prospezione sismica HVSR n.2 effettuata.

F_o (Hz)	h (m)
<1	>100
1-2	50-100
2-3	30-50
3-5	20-30
5-8	10-20
8-20	5-10
>20	<5

Tabella 14 – Relazione tra gli spessori delle coperture (h) ed i valori delle frequenze di risonanza (f_o).

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



dir poco, gravose. Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, dai grafici sottostanti

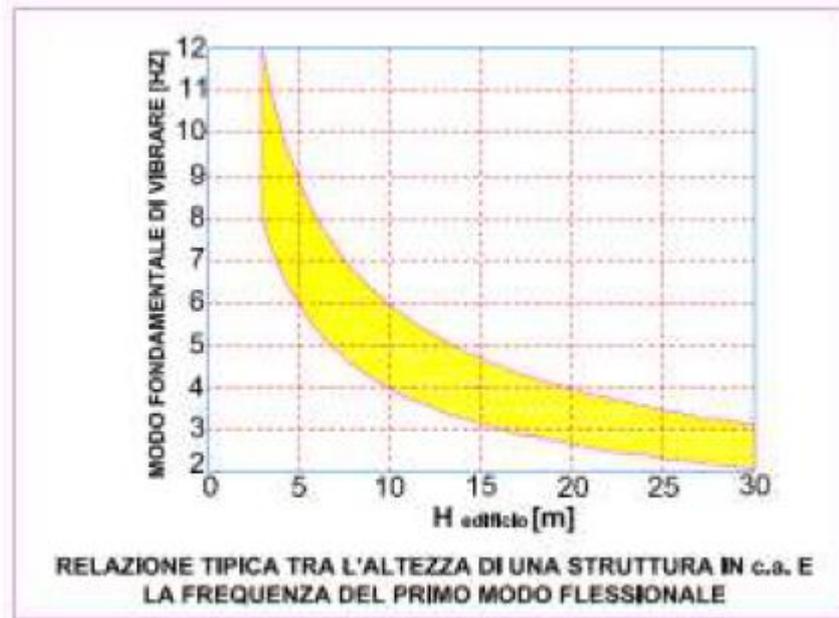


Figura 15 - Relazione tra altezza di una struttura in cemento armato e la frequenza del primo modo flessionale.



Figura 16 - Relazione tra numero di piani e frequenza di vibrazione dell'edificio

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura ad essere particolarmente pericolosa, poiché dà luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

Si consiglia pertanto di tenere in considerazione che i manufatti con frequenze proprie di oscillazione coincidenti con le frequenze di oscillazione dei terreni di interesse progettuale



sono soggetti a fenomeni di risonanza e, quindi, effetti amplificativi delle sollecitazioni strutturali.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

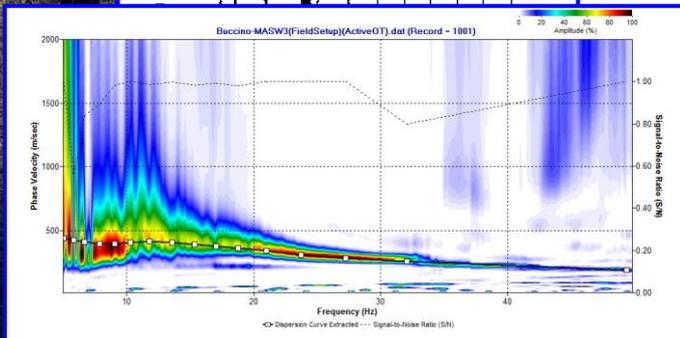
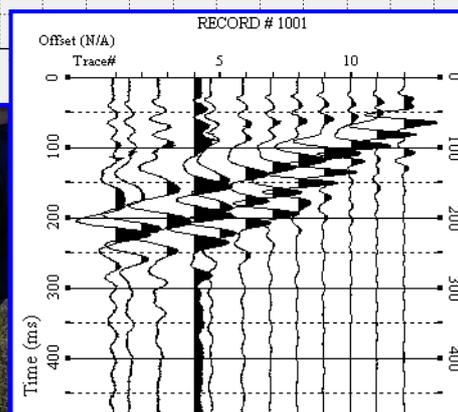
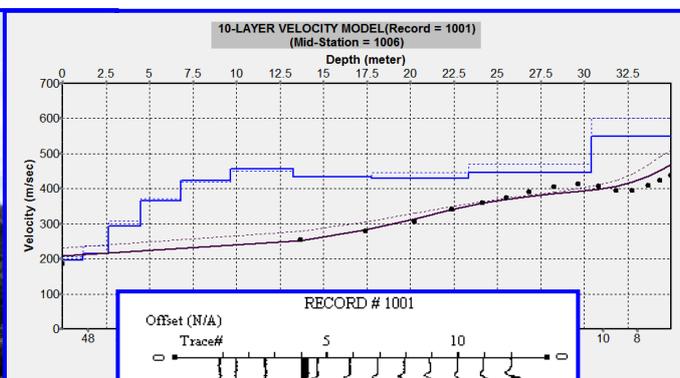
Pagani, novembre 2023

Il tecnico
Dr. Geol. Francesco Cuccurullo



COMUNE DI BUCCINO

PROVINCIA DI SALERNO



RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DI SITO INERENTE AL PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO UBICATO NEL COMUNE DI BUCCINO (SA), CON POTENZA NOMINALE PARI A 46.2 MW. TORRE 3

Il Committente

I-PROJECT S.R.L.

Pagani, novembre 2023

Il Tecnico

Dr. Geol. Francesco Cuccurullo

REV. 0



INDICE

1 – PREMESSA	3
2 - INDAGINE ESEGUITA.....	5
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	7
4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI	10
5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	12
6 – CONCLUSIONI	21



1 – PREMESSA

Su incarico di I-PROJECT S.R.L., 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 sulla modellazione sismica di sito inerente al progetto di realizzazione di un impianto eolico con potenza nominale pari a 46.2 MW (coordinate geografiche WSG84 del sito 40.636395° N - 15.406440° E), nel territorio comunale di Buccino (SA) (Figura 1 - Figura 2), al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il sottosuolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018).

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).



Figura 1 - Prospezione sismica MASW n.3 effettuata in area progettuale.





Figura 2 - Ubicazione dello stendimento messo in opera su foto aerea.



2 - INDAGINE ESEGUITA

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

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Lunghezza complessiva dello stendimento (m)</i>	<i>Spacing (m)</i>	<i>Offset (m)</i>
<i>MASW n.3</i>	<i>39.0</i>	<i>3.0</i>	<i>6.0</i>

Tabella 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 (*Figura 3*) 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 dello stendimento geofonico, con offset pari a 6.0m. Le oscillazioni del sottosuolo sono state rilevate da 12 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con spacing pari a 3.0m (*Figura 1; Tabella 1*). La lunghezza complessiva dello stendimento geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 2D dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 35.0m 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.



Figura 3 - 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: $f_{\text{campionamento}}=1/dt=2000Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{\text{Nyquist}}=1/2dt=1000Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{\text{min}}=1/T=0.488Hz$.

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.

Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono di seguito riportati (*Figura 4 - Figura 6*).



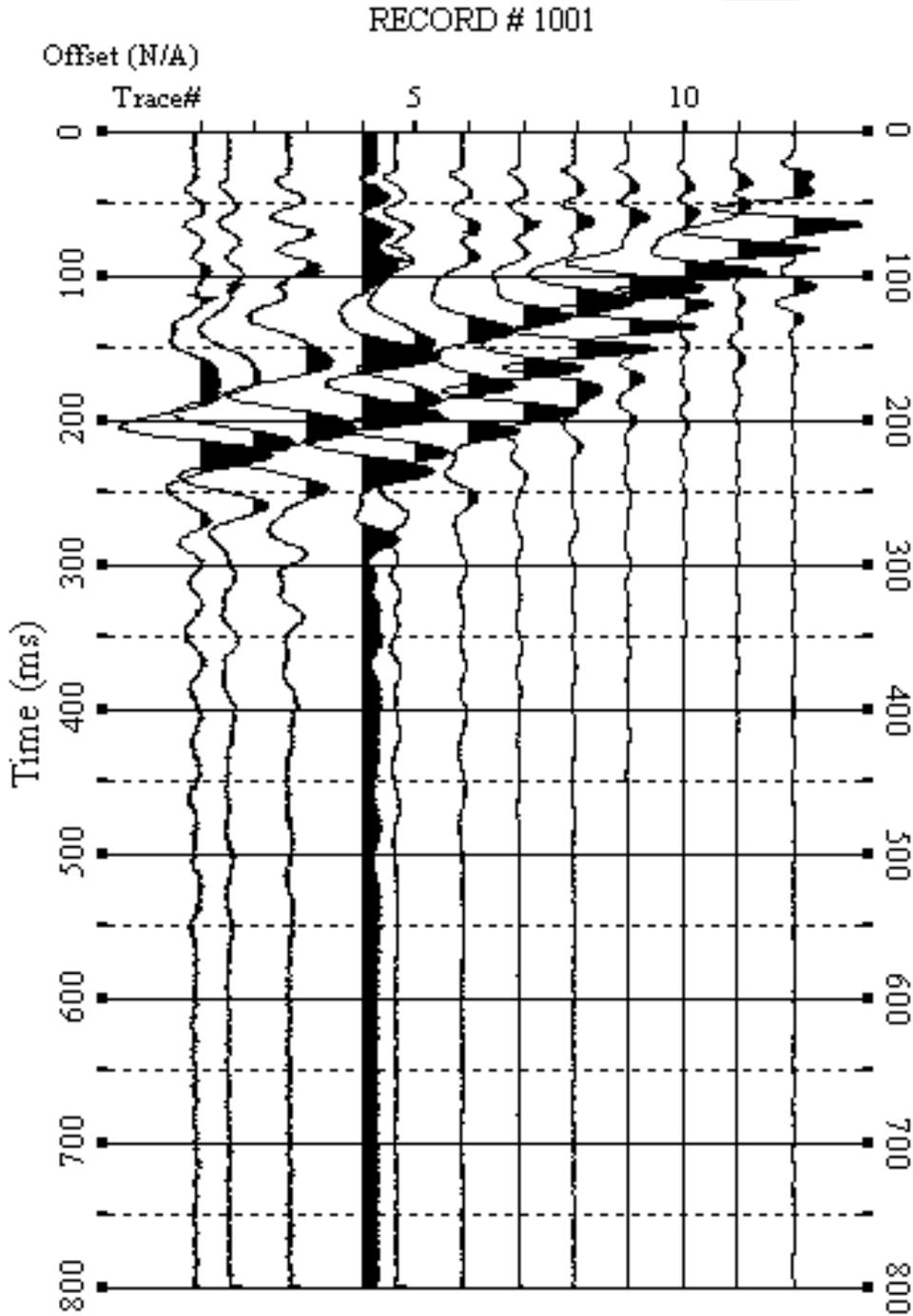


Figura 4 - Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n.3. Finestra temporale [0-800]ms.



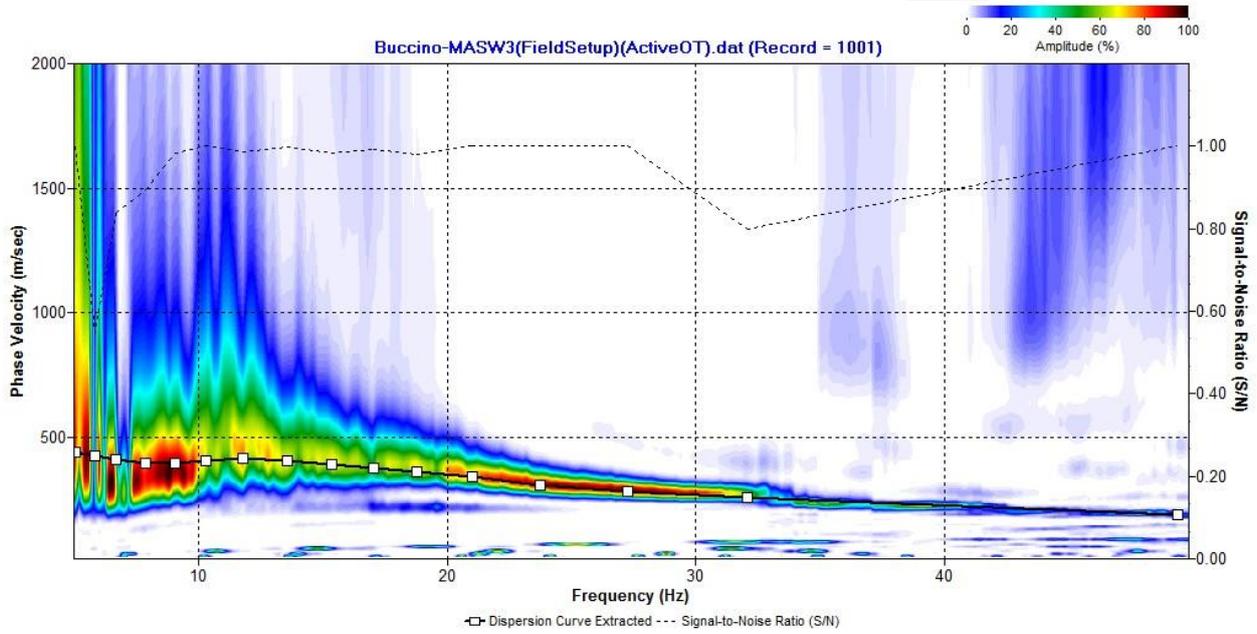


Figura 5 - Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n.3.

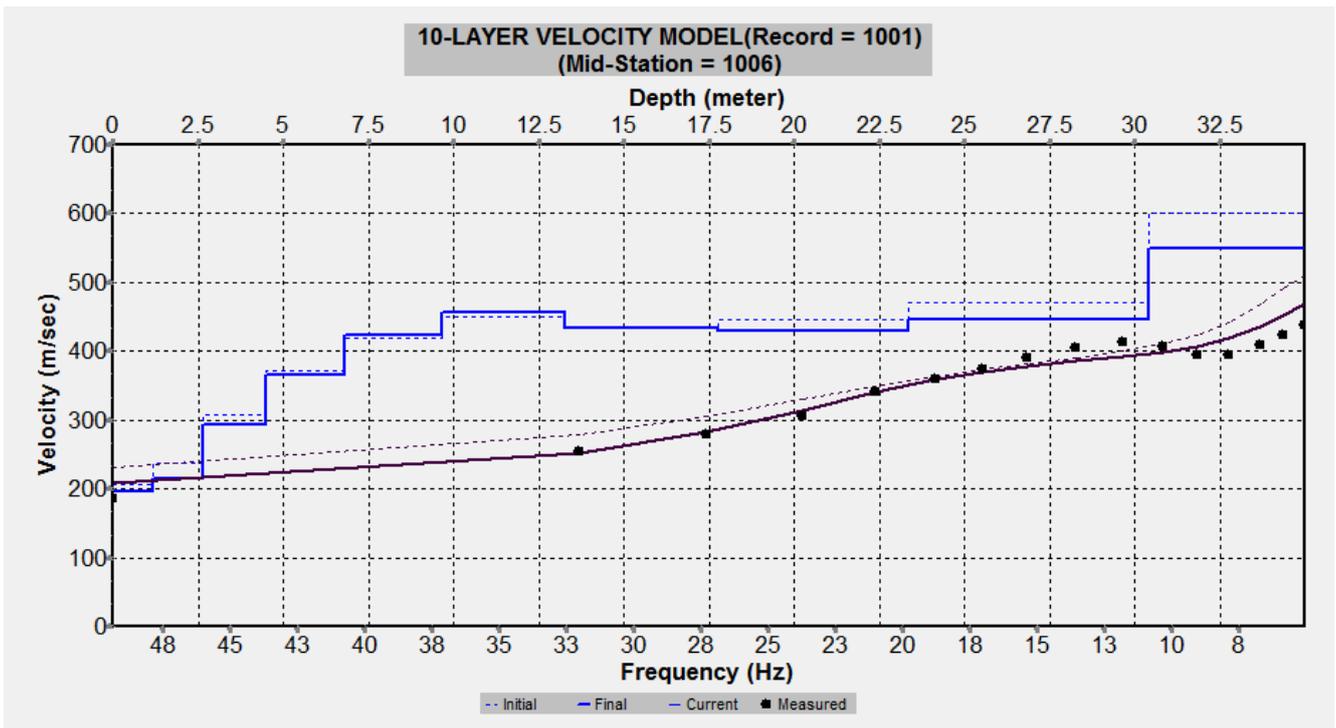


Figura 6 - Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n.3.



4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

L'indagine sismica MASW effettuata, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di 30m (0m-30m) dal p.c., in quanto non è stato raggiunto il bedrock sismico nei primi 30 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 (Tabella 2 – Tabella 4). 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.

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30m.

Tabella 2 - Categorie Sottosuoli di fondazione (D.M. 17 gennaio 2018).



<i>Prospezione sismica</i>	$V_{S\ 0-30}$ (m/s)	<i>Categoria Sottosuoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)</i>
MASW n.3	[383]	B

Tabella 3 - Categoria Sottosuolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica MASW n.3 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	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T₁	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T₂	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T₃	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T₄	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 4 - Categorie topografiche (D.M. 17 gennaio 2018).

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 sottosuolo 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 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) (Tabella 5; Figura 7).

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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV) (Tabella 6 - Tabella 9; Figura 8 - Figura 9).

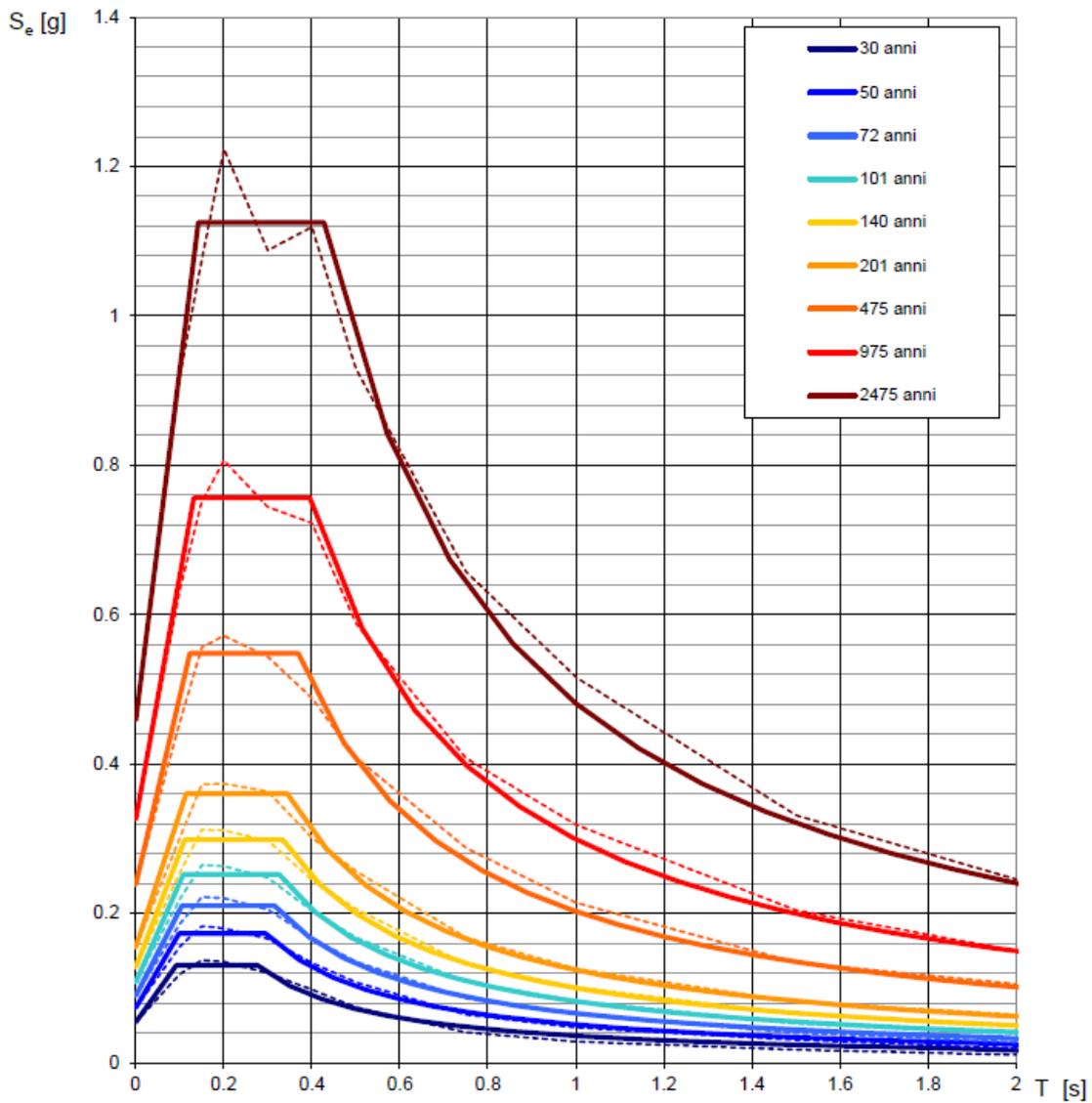
Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito (categoria di sottosuolo **B** – categoria topografica **T1**) individuata nell'area oggetto di indagine.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO
PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO A
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.406440 – LAT. 40.636395 (IN GRADI DECIMALI)**

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C' [s]
30	0.055	2.392	0.276
50	0.073	2.356	0.295
72	0.090	2.345	0.315
101	0.108	2.334	0.326
140	0.128	2.336	0.334
201	0.155	2.330	0.344
475	0.239	2.295	0.369
975	0.326	2.320	0.395
2475	0.459	2.452	0.427

Tabella 5 - 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.





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

Figura 7 - 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. 15.406440 – LAT. 40.636395 (IN GRADI DECIMALI)**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.108 g
F_0	2.334
T_C	0.326 s
S_S	1.200
C_C	1.377
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.200
η	1.000
T_B	0.149 s
T_C	0.448 s
T_D	2.031 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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.129
$T_B \leftarrow$	0.149	0.302
$T_C \leftarrow$	0.448	0.302
	0.524	0.258
	0.599	0.226
	0.675	0.201
	0.750	0.181
	0.825	0.164
	0.901	0.150
	0.976	0.139
	1.051	0.129
	1.127	0.120
	1.202	0.113
	1.277	0.106
	1.353	0.100
	1.428	0.095
	1.503	0.090
	1.579	0.086
	1.654	0.082
	1.730	0.078
	1.805	0.075
	1.880	0.072
	1.956	0.069
$T_D \leftarrow$	2.031	0.067
	2.125	0.061
	2.219	0.056
	2.312	0.051
	2.406	0.047
	2.500	0.044
	2.594	0.041
	2.687	0.038
	2.781	0.036
	2.875	0.033
	2.969	0.031
	3.062	0.029
	3.156	0.028
	3.250	0.026
	3.344	0.025
	3.437	0.023
	3.531	0.022
	3.625	0.021
	3.719	0.020
	3.812	0.019
	3.906	0.018
	4.000	0.017

Tabella 6 - 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 - $C_U = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gv}	0.048 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	1.034
S	1.000
η	0.667

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.048
$T_B \leftarrow$	0.050	0.074
$T_C \leftarrow$	0.150	0.074
	0.235	0.047
	0.320	0.035
	0.405	0.028
	0.490	0.023
	0.575	0.019
	0.660	0.017
	0.745	0.015
	0.830	0.013
	0.915	0.012
$T_D \leftarrow$	1.000	0.011
	1.094	0.009
	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	0.002
	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

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

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

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

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

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

Tabella 7 - 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 - $C_U = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



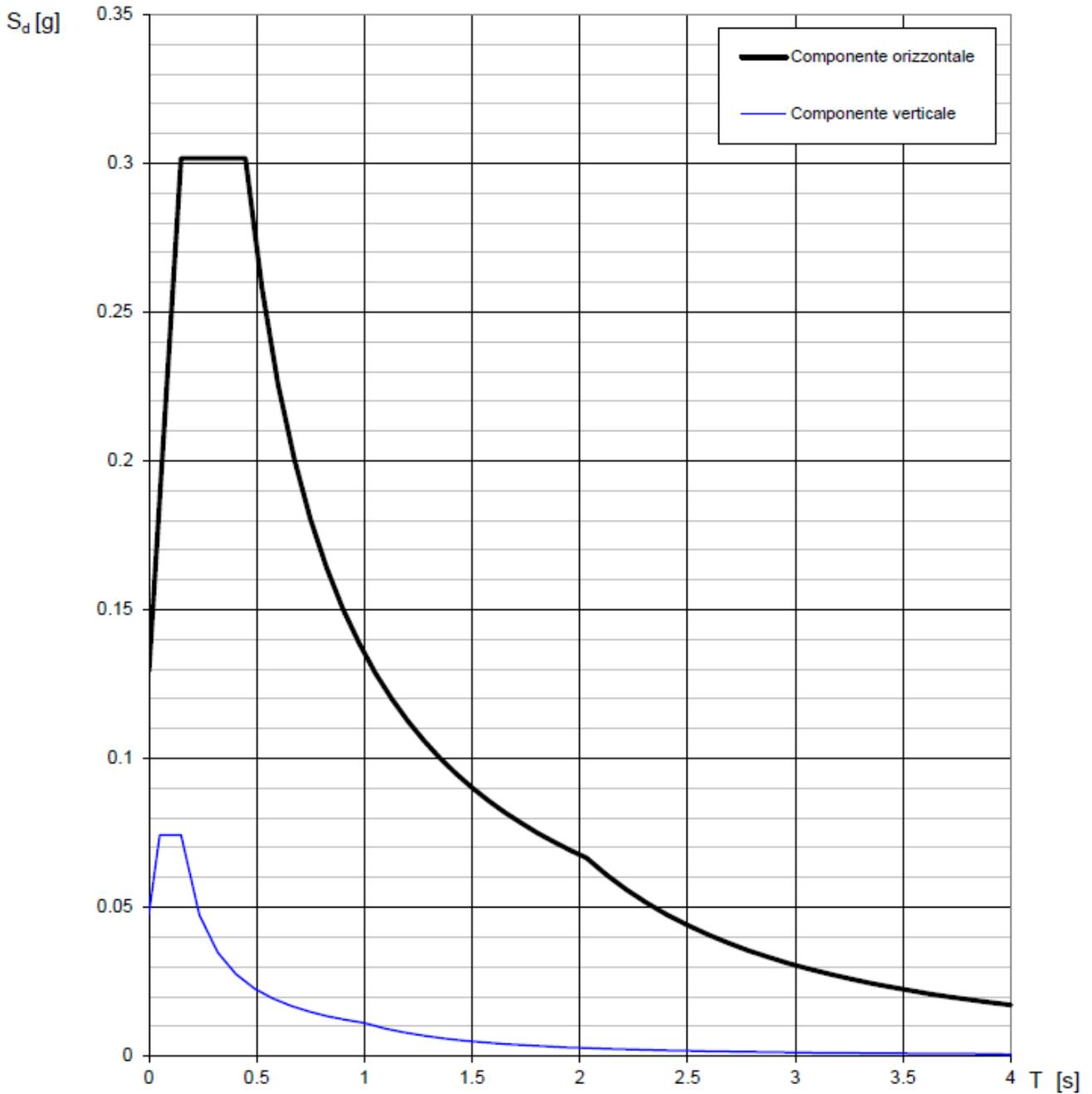


Figura 8 - Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.322 g
F_o	2.319
T_C	0.394 s
S_S	1.101
C_C	1.325
S_T	1.000
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.101
η	1.000
T_B	0.174 s
T_C	0.523 s
T_D	2.889 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

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

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

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

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

Punti dello spettro di risposta

T [s]	Se [g]
0.000	0.355
0.174	0.823
0.523	0.823
0.635	0.677
0.748	0.575
0.861	0.500
0.973	0.442
1.086	0.396
1.199	0.359
1.311	0.328
1.424	0.302
1.537	0.280
1.649	0.261
1.762	0.244
1.875	0.229
1.987	0.216
2.100	0.205
2.213	0.194
2.325	0.185
2.438	0.176
2.551	0.169
2.663	0.161
2.776	0.155
2.889	0.149
2.942	0.144
2.995	0.139
3.048	0.134
3.100	0.129
3.153	0.125
3.206	0.121
3.259	0.117
3.312	0.113
3.365	0.110
3.418	0.106
3.471	0.103
3.524	0.100
3.577	0.097
3.630	0.094
3.683	0.092
3.735	0.089
3.788	0.087
3.841	0.084
3.894	0.082
3.947	0.080
4.000	0.078

Tabella 8 - 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 - $C_U = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0.247 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	1.777
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	0.247
$T_B \leftarrow$	0.050	0.382
$T_C \leftarrow$	0.150	0.382
	0.235	0.244
	0.320	0.179
	0.405	0.141
	0.490	0.117
	0.575	0.100
	0.660	0.087
	0.745	0.077
	0.830	0.069
	0.915	0.063
$T_D \leftarrow$	1.000	0.057
	1.094	0.048
	1.188	0.041
	1.281	0.035
	1.375	0.030
	1.469	0.027
	1.563	0.023
	1.656	0.021
	1.750	0.019
	1.844	0.017
	1.938	0.015
	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	0.007
	2.875	0.007
	2.969	0.006
	3.063	0.006
	3.156	0.006
	3.250	0.005
	3.344	0.005
	3.438	0.005
	3.531	0.005
	3.625	0.004
	3.719	0.004
	3.813	0.004
	3.906	0.004
	4.000	0.004

Tabella 9 - 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 - $C_U = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



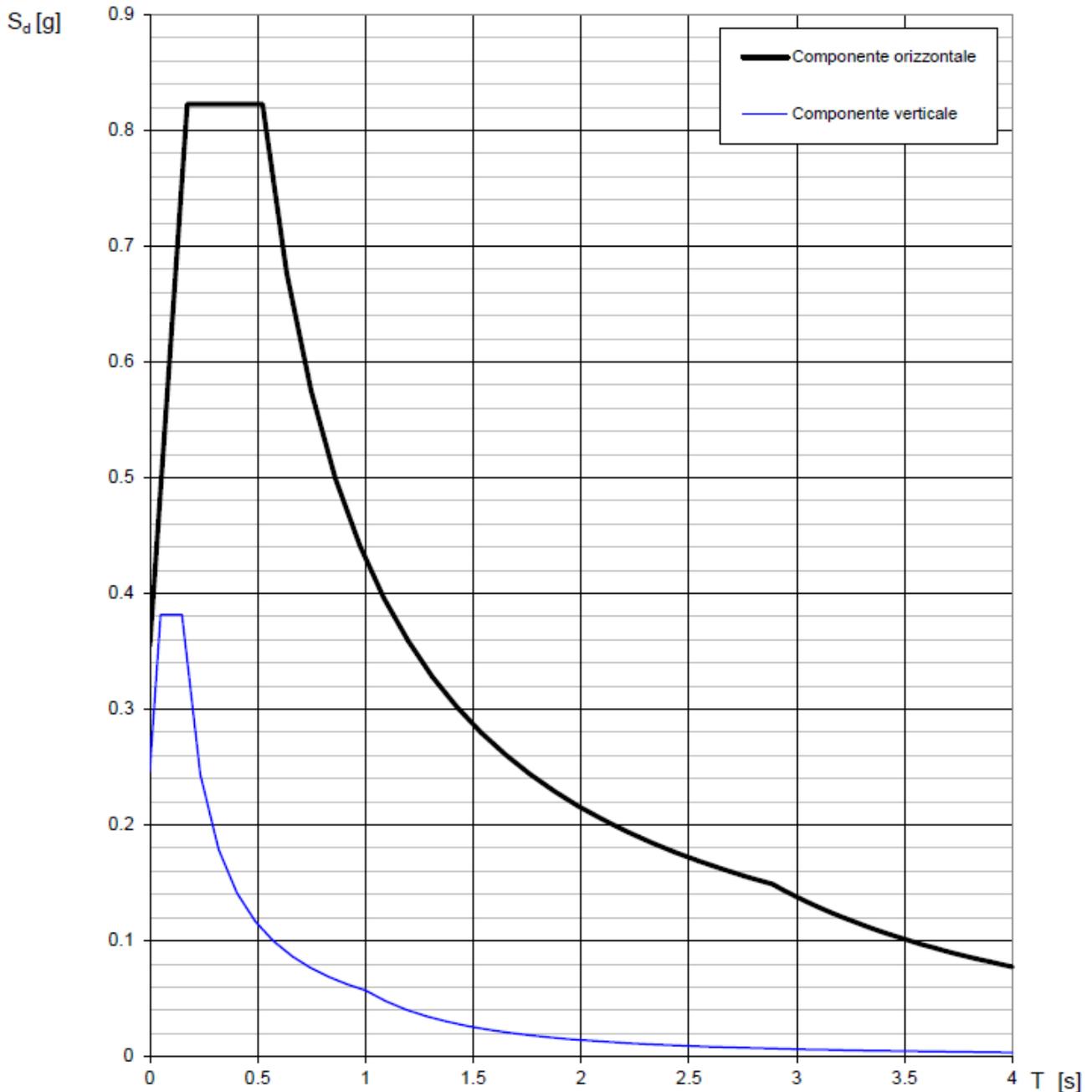


Figura 9 - Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T1. Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d’uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d’uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



6 – CONCLUSIONI

Il territorio comunale di Buccino (SA), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, è classificato in I categoria - $S=12 - a_g=0.35g$ (Figura 10).

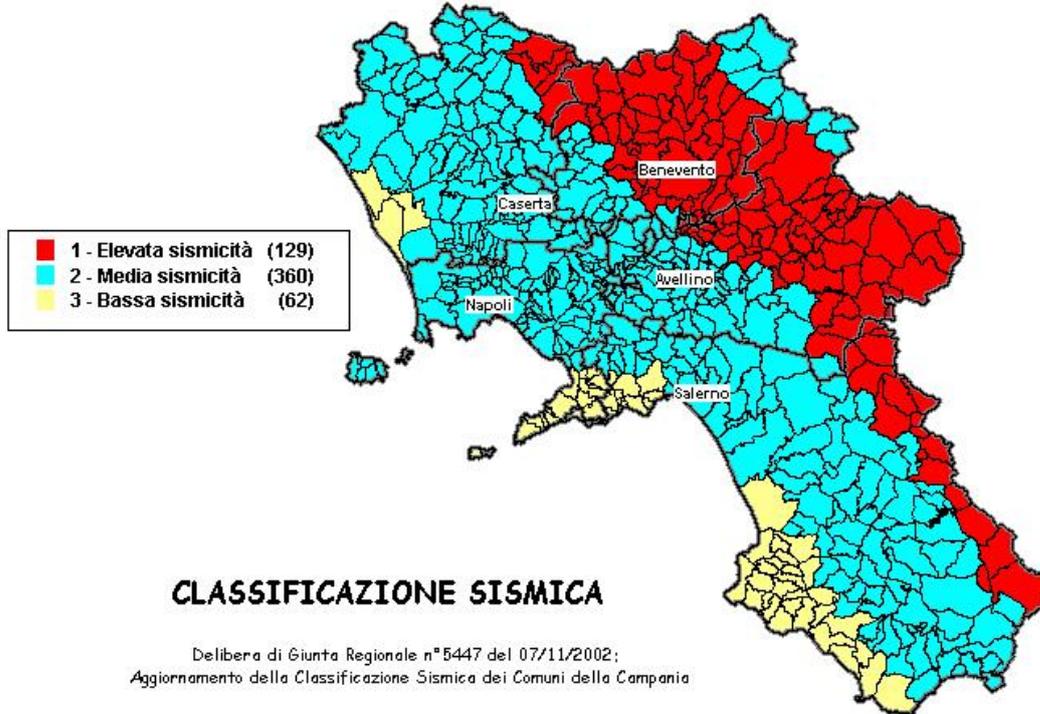


Figura 10 - Classificazione sismica del 2002 dei comuni della regione Campania. Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$.

Inoltre, la mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Figura 11), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di Buccino (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.150 e 0.250 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).



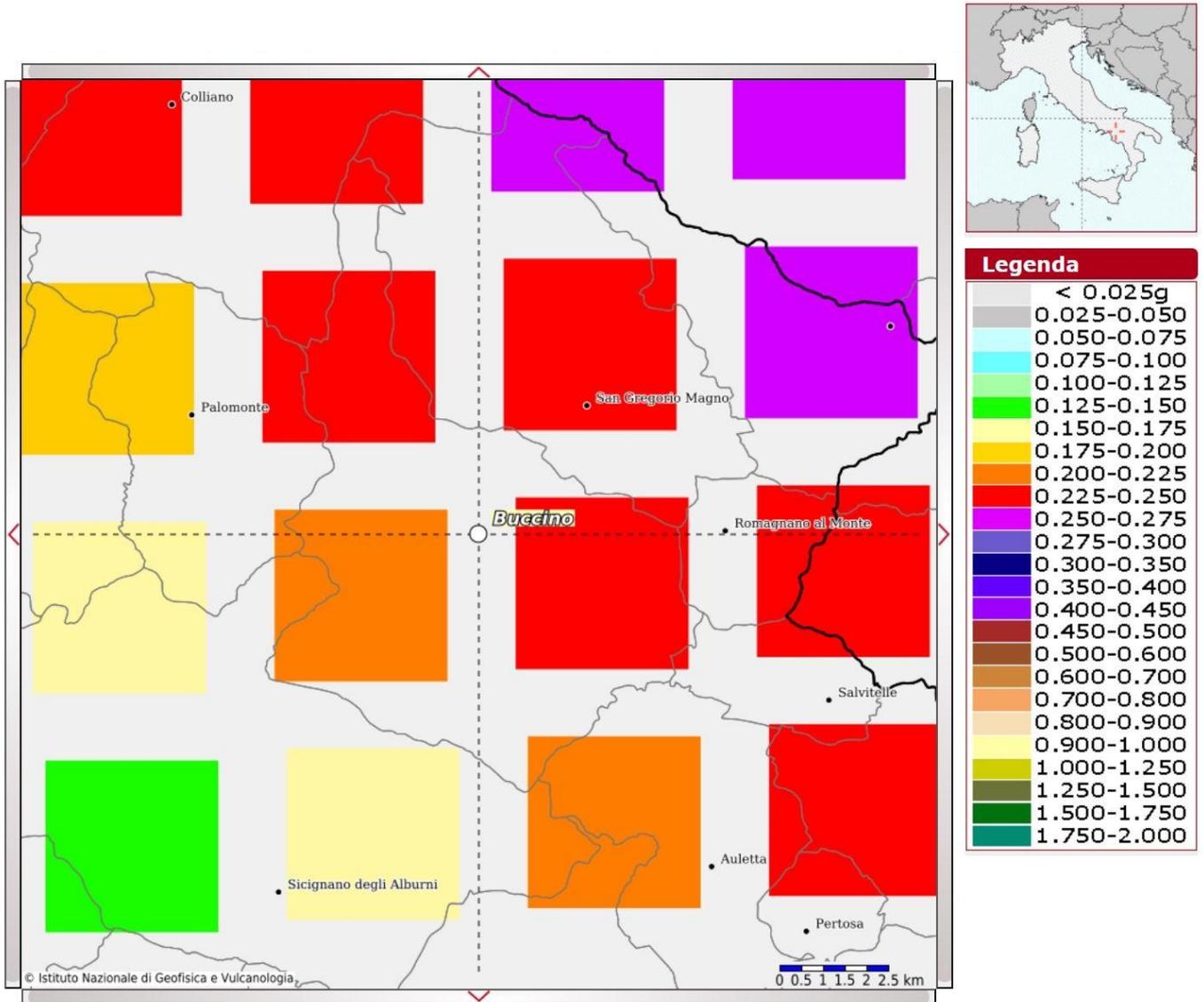


Figura 11 - Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

I risultati forniti dall'indagine sismica MASW effettuata permettono di definire la categoria di sottosuolo del sito, che risulta posto nella categoria **B** (vedi par. 4), con valori di $V_{S,eq}$ calcolati pari a (Tabella 10):

Prospezione sismica	$V_{S\ 0-30}$ (m/s)
MASW n.3	[383]

Tabella 10 - Valori di $V_{S,eq}$ calcolati, relativi alla prospezione sismica MASW n.3 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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al sottosuolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C) (Tabella 6 – Tabella 8 – Tabella 11), 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
[0.108]	[0.322]	[0.302]	[0.823]

Tabella 11 - 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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.

Di seguito si riportano i valori di V_s per i sismostrati riscontrati nella prospezione sismica MASW n.3 (Tabella 12).

Sismostrato	Profondità (m)	V_s (m/s)
S1	0.0 – 2.7	205
S2	2.7 – 4.5	293
S3	4.5 – 6.8	366
S4	6.8 – 30.4	423
S5	30.4 – 35.0	549

Tabella 12 - Prospetto delle determinazioni dei valori di V_s per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica MASW n.3.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

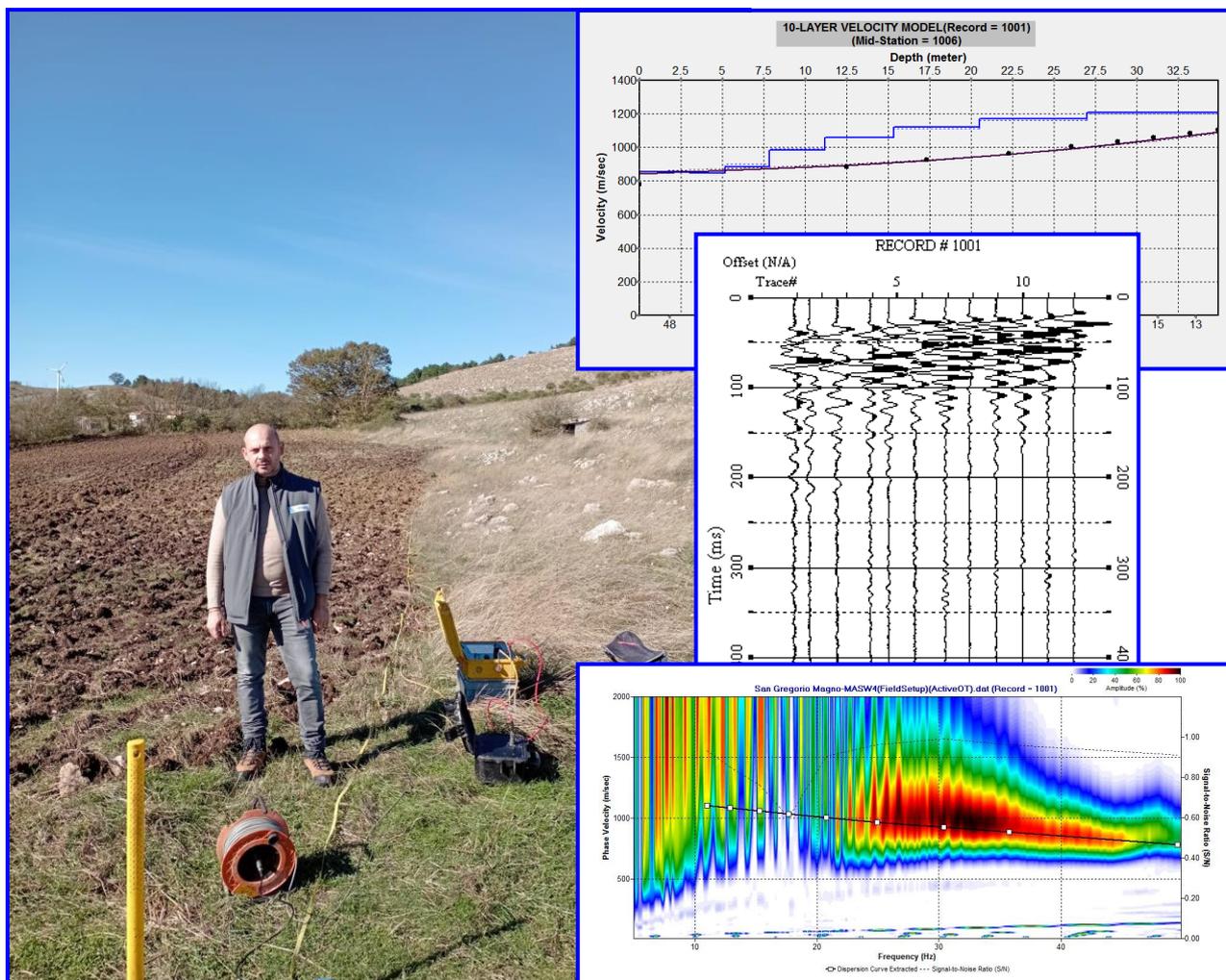
Pagani, novembre 2023

Il tecnico
Dr. Geol./Francesco Cuccurullo



COMUNE DI SAN GREGORIO MAGNO

PROVINCIA DI SALERNO



RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DI SITO INERENTE AL PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO CON POTENZA NOMINALE PARI A 46.2 MW. TORRE 4

Il Committente

I-PROJECT S.R.L.

Pagani, novembre 2023

Il Tecnico

Dr. Geol. Francesco Cuccurullo

REV. 0



INDICE

1 – PREMESSA	3
2 - INDAGINE ESEGUITA.....	5
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	7
4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI	10
5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	12
6 – CONCLUSIONI	21



1 – PREMESSA

Su incarico di I-PROJECT S.R.L., 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 sulla modellazione sismica di sito inerente al progetto di realizzazione di un impianto eolico con potenza nominale pari a 46.2 MW (coordinate geografiche WSG84 del sito 40.638700° N - 15.414976° E), nel territorio comunale di San Gregorio Magno (SA) (*Figura 1 - Figura 2*), al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il sottosuolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018).

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).



Figura 1 - Prospezione sismica MASW n.4 effettuata in area progettuale.





Figura 2 - Ubicazione dello stendimento messo in opera su foto aerea.



2 - INDAGINE ESEGUITA

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

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Lunghezza complessiva dello stendimento (m)</i>	<i>Spacing (m)</i>	<i>Offset (m)</i>
<i>MASW n.4</i>	<i>39.0</i>	<i>3.0</i>	<i>6.0</i>

Tabella 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 (*Figura 3*) 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 dello stendimento geofonico, con offset pari a 6.0m. Le oscillazioni del sottosuolo sono state rilevate da 12 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con spacing pari a 3.0m (*Figura 1; Tabella 1*). La lunghezza complessiva dello stendimento geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 2D dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 34.9m 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.



Figura 3 - 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: $f_{\text{campionamento}}=1/dt=2000Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{\text{Nyquist}}=1/2dt=1000Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{\text{min}}=1/T=0.488Hz$.

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.

Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono di seguito riportati (*Figura 4 - Figura 6*).



RECORD # 1001

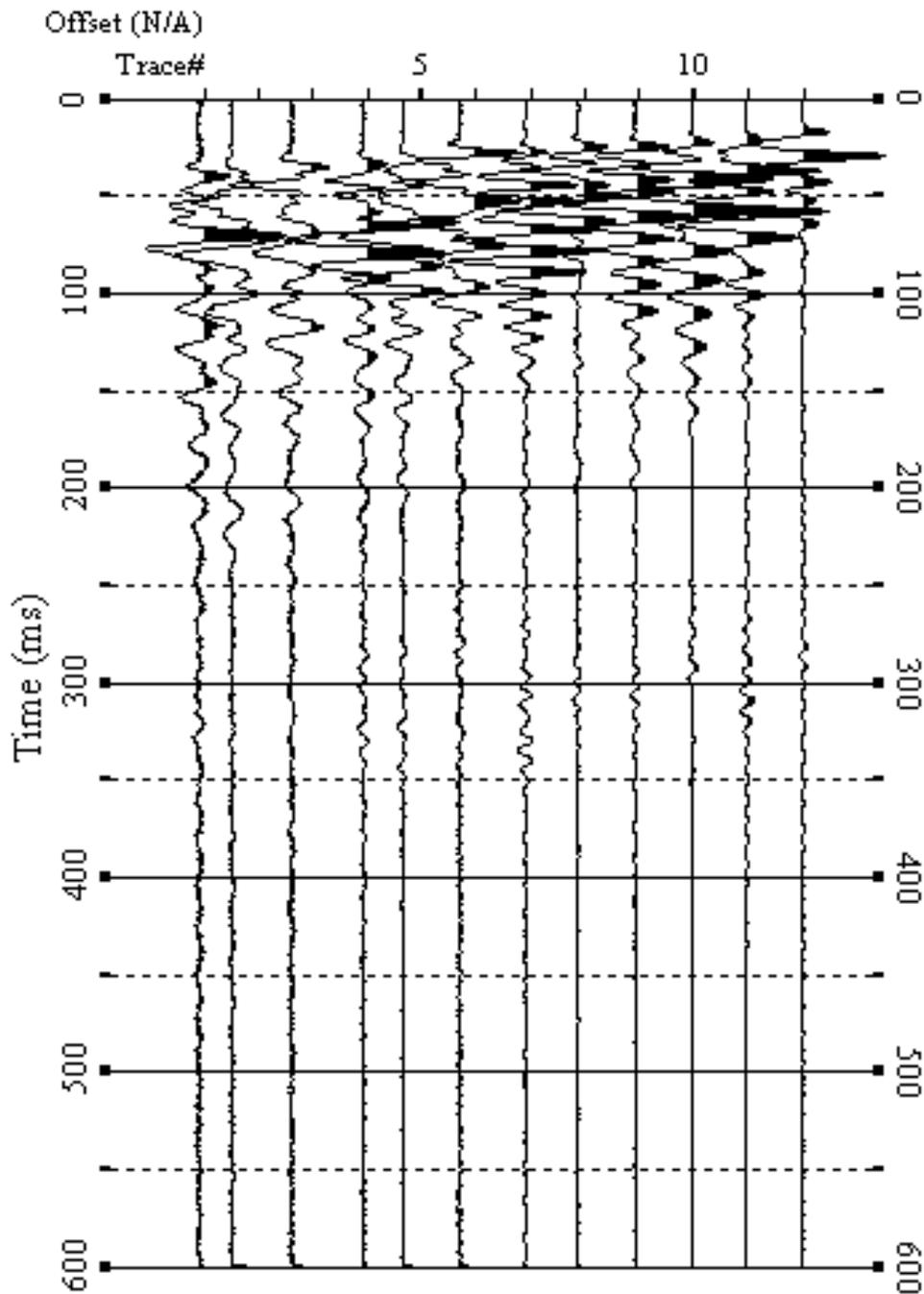


Figura 4 - Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n.4. Finestra temporale [0-600]ms.



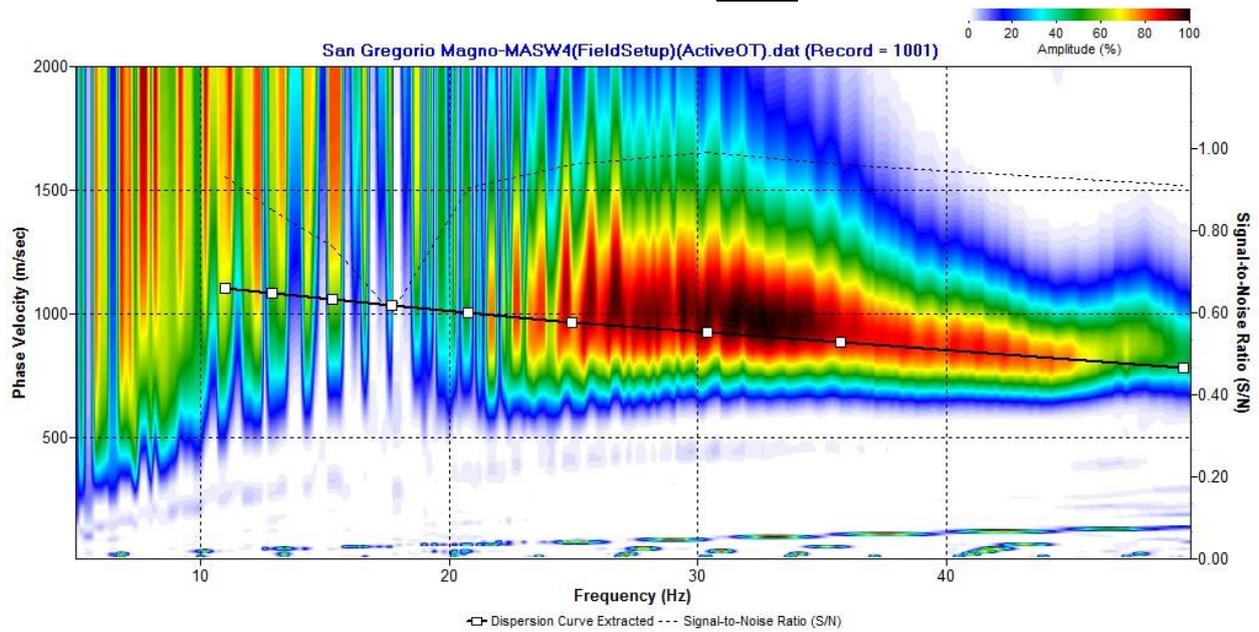


Figura 5 - Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n.4.

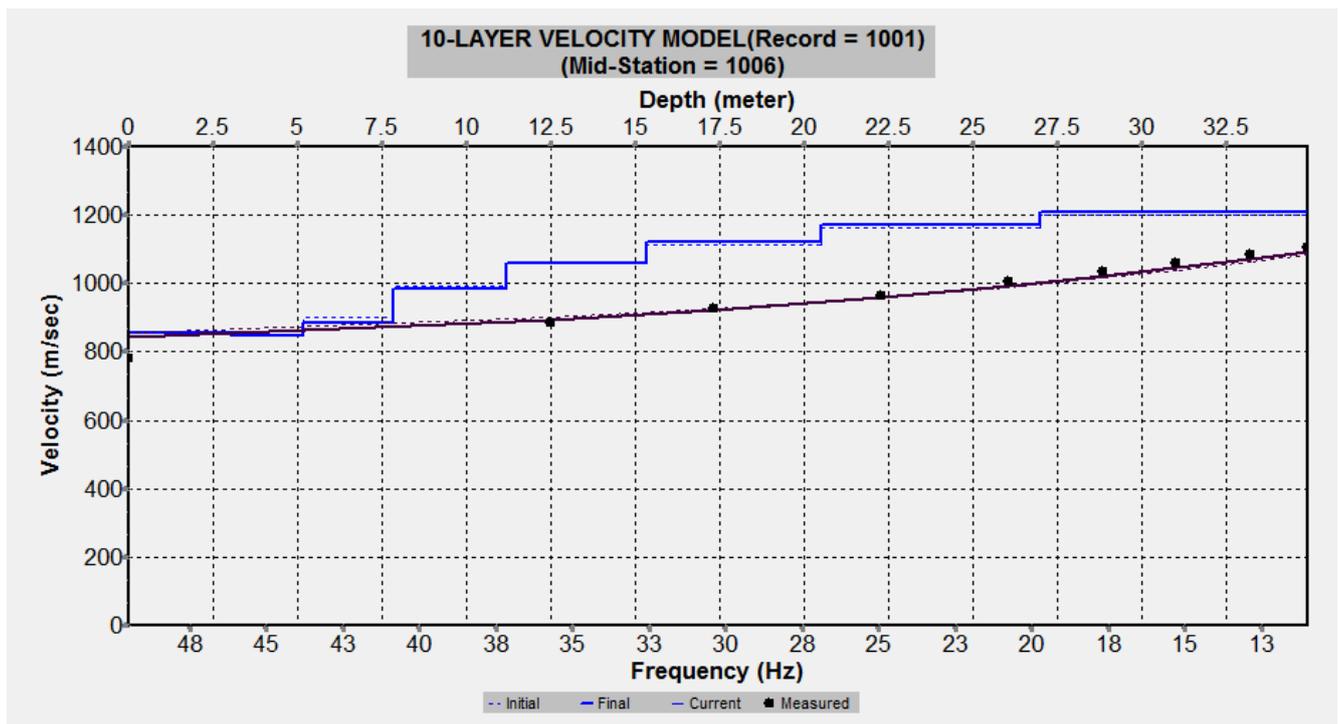


Figura 6 - Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n.4.



4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

L'indagine sismica MASW effettuata, in quanto è stato raggiunto il bedrock sismico nei primi 3 metri di profondità dal p.c., ha fornito risultati che collocano i terreni oggetto d'indagine nella categoria **A** del D.M. 17 gennaio 2018 (Tabella 2 – Tabella 4). 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.

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

Tabella 2 - Categorie Sottosuoli di fondazione (D.M. 17 gennaio 2018).



<i>Prospezione sismica</i>	<i>Categoria Sottosuoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)</i>
<i>MASW n.4</i>	<i>A</i>

Tabella 3 - Categoria Sottosuolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica MASW n.4 effettuata.

Categoria di sottosuolo di fondazione 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	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T₁	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T₂	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T₃	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T₄	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 4 - Categorie topografiche (D.M. 17 gennaio 2018).

Categoria topografica T4 = Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ ($h/H = 1$ dove h = quota sito e H = quota massima del versante).



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 sottosuolo 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 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) (Tabella 5; Figura 7).

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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV) (Tabella 6 - Tabella 9; Figura 8 - Figura 9).

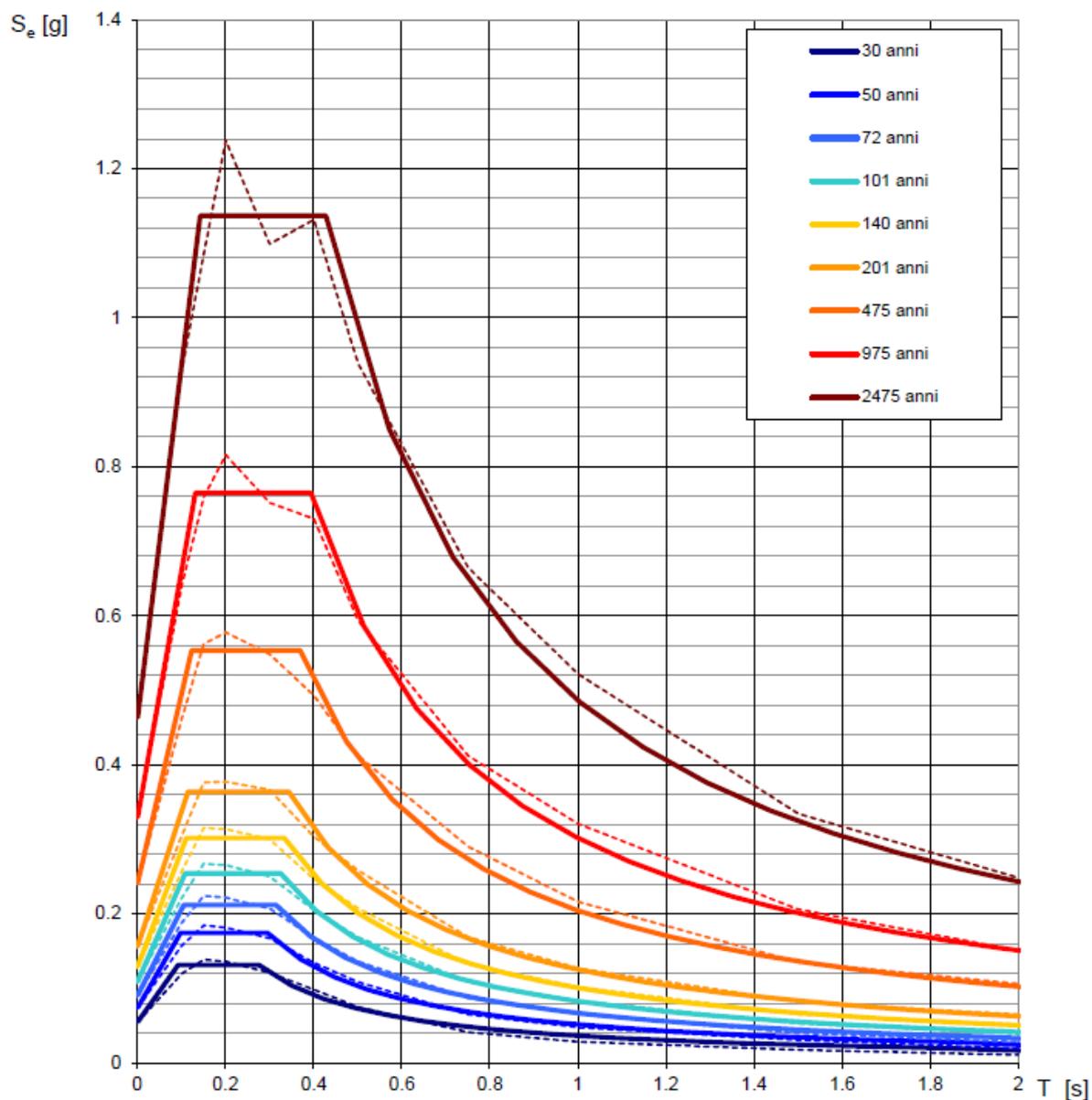
Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito [categoria di sottosuolo A – categoria topografica T4 ($h/H=1$)] individuata nell'area oggetto di indagine.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO
PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO A
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.414976 – LAT. 40.638700 (IN GRADI DECIMALI)**

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0.055	2.393	0.276
50	0.074	2.356	0.295
72	0.090	2.343	0.315
101	0.109	2.332	0.325
140	0.129	2.332	0.334
201	0.156	2.327	0.344
475	0.241	2.294	0.369
975	0.329	2.323	0.394
2475	0.463	2.453	0.428

Tabella 5 - 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.





NOTA:

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

Figura 7 - 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 A
E PER CATEGORIA TOPOGRAFICA T4 (h/H=1)
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.414976– LAT. 40.638700 (IN GRADI DECIMALI)**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.109 g
F_o	2.332
T_c	0.325 s
S_s	1.000
C_c	1.000
S_T	1.400
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.400
η	1.000
T_B	0.108 s
T_C	0.325 s
T_D	2.035 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

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

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

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

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.152
T_B ←	0.108	0.355
T_C ←	0.325	0.355
	0.406	0.284
	0.488	0.237
	0.569	0.203
	0.651	0.177
	0.732	0.158
	0.814	0.142
	0.895	0.129
	0.977	0.118
	1.058	0.109
	1.139	0.101
	1.221	0.095
	1.302	0.089
	1.384	0.083
	1.465	0.079
	1.547	0.075
	1.628	0.071
	1.709	0.068
	1.791	0.064
	1.872	0.062
	1.954	0.059
T_D ←	2.035	0.057
	2.129	0.052
	2.222	0.048
	2.316	0.044
	2.409	0.040
	2.503	0.038
	2.596	0.035
	2.690	0.032
	2.784	0.030
	2.877	0.028
	2.971	0.027
	3.064	0.025
	3.158	0.024
	3.251	0.022
	3.345	0.021
	3.439	0.020
	3.532	0.019
	3.626	0.018
	3.719	0.017
	3.813	0.016
	3.906	0.015
	4.000	0.015

Tabella 6 - Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo A. Categ. topografica T4 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gv}	0.048 g
S_S	1.000
S_T	1.400
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.038
S	1.400
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	0.068
$T_B \leftarrow$	0.050	0.105
$T_C \leftarrow$	0.150	0.105
	0.235	0.067
	0.320	0.049
	0.405	0.039
	0.490	0.032
	0.575	0.028
	0.660	0.024
	0.745	0.021
	0.830	0.019
	0.915	0.017
$T_D \leftarrow$	1.000	0.016
	1.094	0.013
	1.188	0.011
	1.281	0.010
	1.375	0.008
	1.469	0.007
	1.563	0.006
	1.656	0.006
	1.750	0.005
	1.844	0.005
	1.938	0.004
	2.031	0.004
	2.125	0.004
	2.219	0.003
	2.313	0.003
	2.406	0.003
	2.500	0.003
	2.594	0.002
	2.688	0.002
	2.781	0.002
	2.875	0.002
	2.969	0.002
	3.063	0.002
	3.156	0.002
	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

Tabella 7 - Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo A. Categ. topografica T4 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



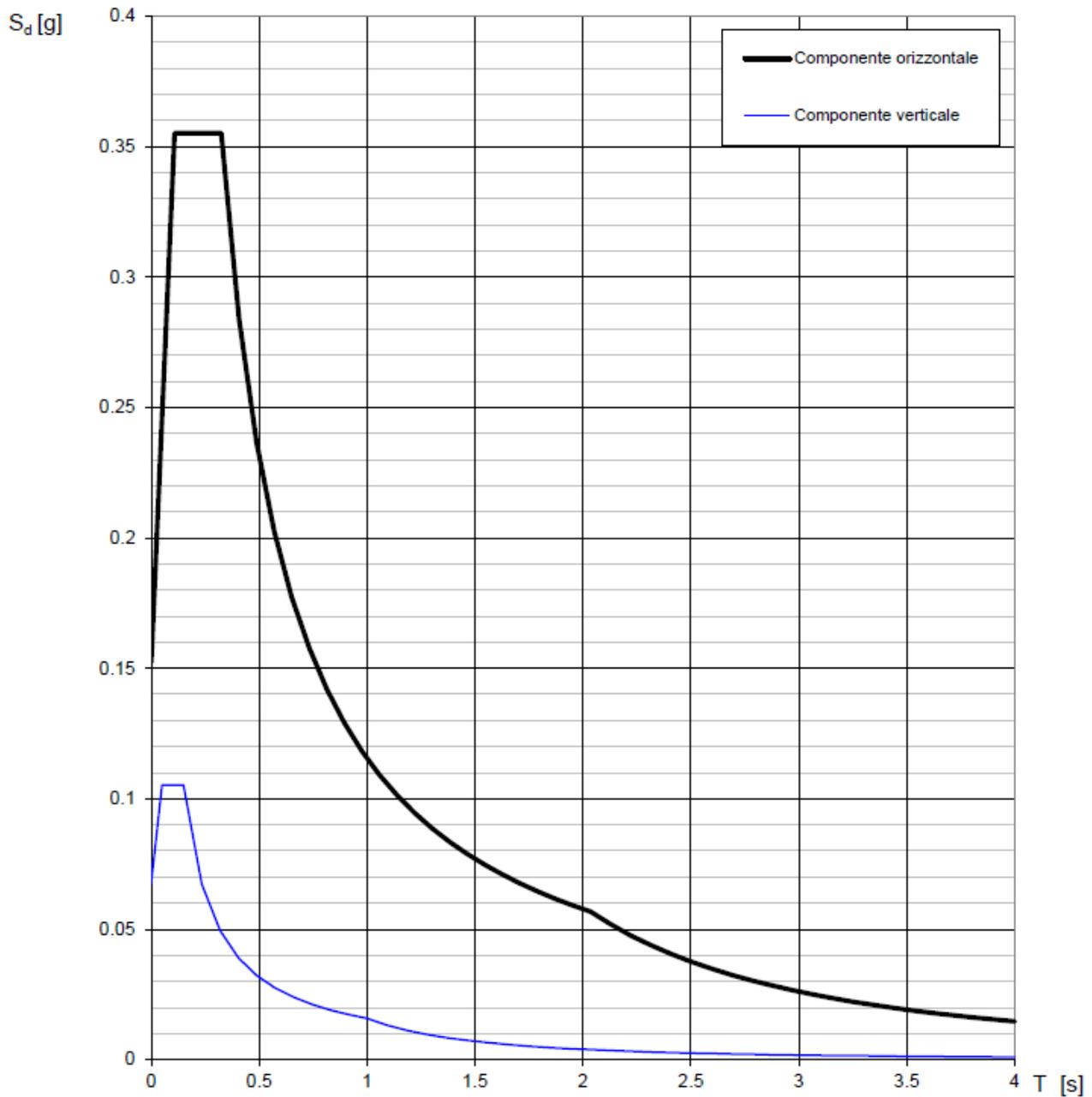


Figura 8 - Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categ. sottosuolo A. Categ. topografica T4 ($h/H=1$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.326 g
F_o	2.322
T_C	0.393 s
S_S	1.000
C_C	1.000
S_T	1.400
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.400
η	1.000
T_B	0.131 s
T_C	0.393 s
T_D	2.903 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

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

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

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

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.456
$T_B \leftarrow$	0.131	1.059
$T_C \leftarrow$	0.393	1.059
	0.512	0.812
	0.632	0.658
	0.751	0.553
	0.871	0.478
	0.990	0.420
	1.110	0.375
	1.229	0.338
	1.349	0.308
	1.469	0.283
	1.588	0.262
	1.708	0.244
	1.827	0.228
	1.947	0.214
	2.066	0.201
	2.186	0.190
	2.305	0.180
	2.425	0.172
	2.544	0.163
	2.664	0.156
	2.783	0.149
$T_D \leftarrow$	2.903	0.143
	2.955	0.138
	3.007	0.133
	3.059	0.129
	3.112	0.125
	3.164	0.121
	3.216	0.117
	3.268	0.113
	3.321	0.109
	3.373	0.106
	3.425	0.103
	3.477	0.100
	3.530	0.097
	3.582	0.094
	3.634	0.091
	3.686	0.089
	3.739	0.086
	3.791	0.084
	3.843	0.082
	3.895	0.080
	3.948	0.077
	4.000	0.075

Tabella 8 - Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo A. Categ. topografica T4 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0.251 g
S_S	1.000
S_T	1.400
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.789
S	1.400
η	0.667

Espressioni dei parametri dipendenti

$$S = S_S \cdot S_T$$

$$\eta = 1/q$$

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

Espressioni dello spettro di risposta

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{\xi}(T) = a_{\xi} \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

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

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.351
T_B ←	0.050	0.544
T_C ←	0.150	0.544
	0.235	0.347
	0.320	0.255
	0.405	0.201
	0.490	0.166
	0.575	0.142
	0.660	0.124
	0.745	0.109
	0.830	0.098
	0.915	0.089
T_D ←	1.000	0.082
	1.094	0.068
	1.188	0.058
	1.281	0.050
	1.375	0.043
	1.469	0.038
	1.563	0.033
	1.656	0.030
	1.750	0.027
	1.844	0.024
	1.938	0.022
	2.031	0.020
	2.125	0.018
	2.219	0.017
	2.313	0.015
	2.406	0.014
	2.500	0.013
	2.594	0.012
	2.688	0.011
	2.781	0.011
	2.875	0.010
	2.969	0.009
	3.063	0.009
	3.156	0.008
	3.250	0.008
	3.344	0.007
	3.438	0.007
	3.531	0.007
	3.625	0.006
	3.719	0.006
	3.813	0.006
	3.906	0.005
	4.000	0.005

Tabella 9 - Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo A. Categ. topografica T4 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_u = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



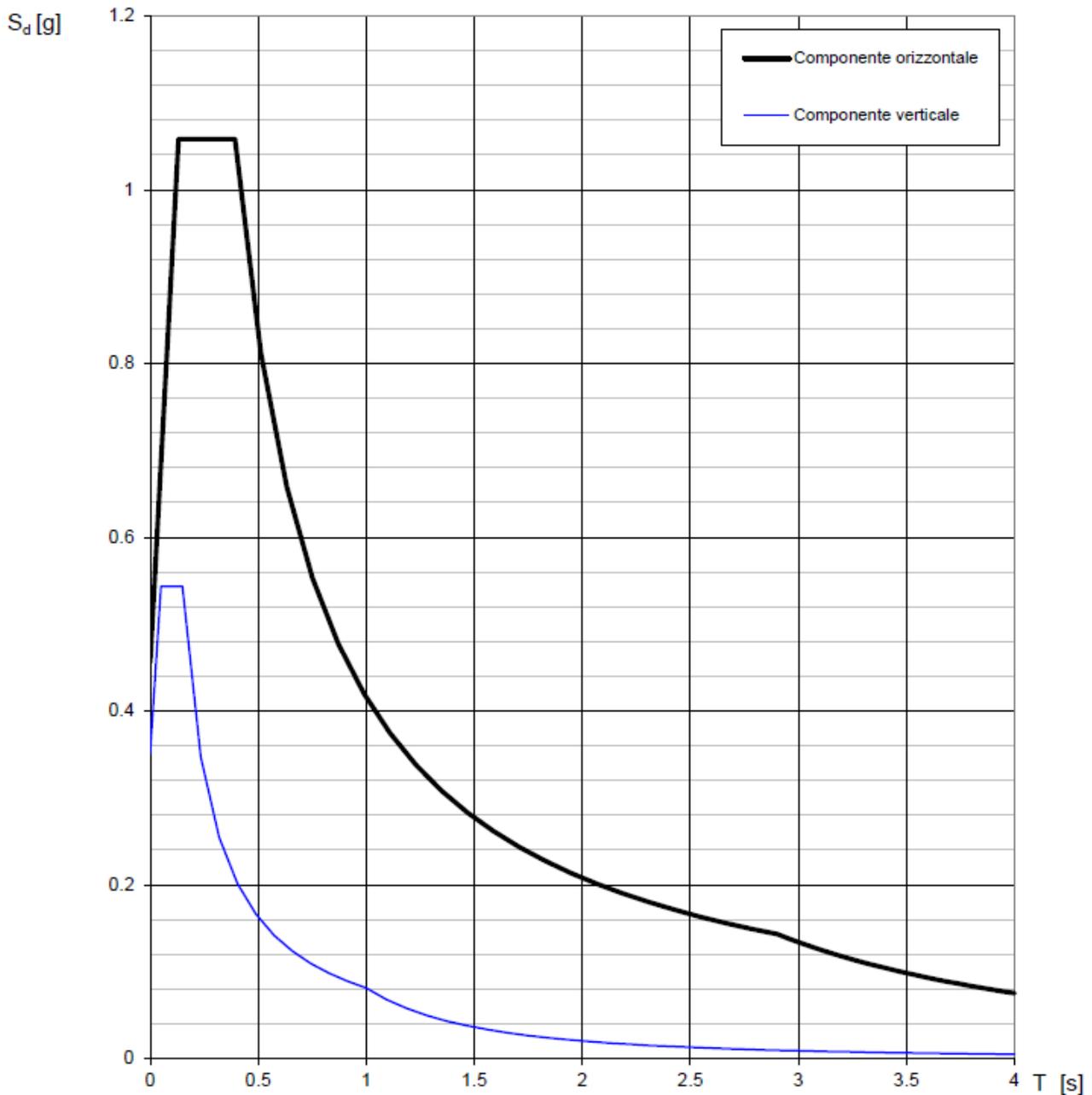


Figura 9 - Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categ. sottosuolo A. Categ. topografica T4 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d’uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d’uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



6 – CONCLUSIONI

Il territorio comunale di San Gregorio Magno (SA), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, è classificato in I categoria - $S=12$ - $a_g=0.35g$ (Figura 10).

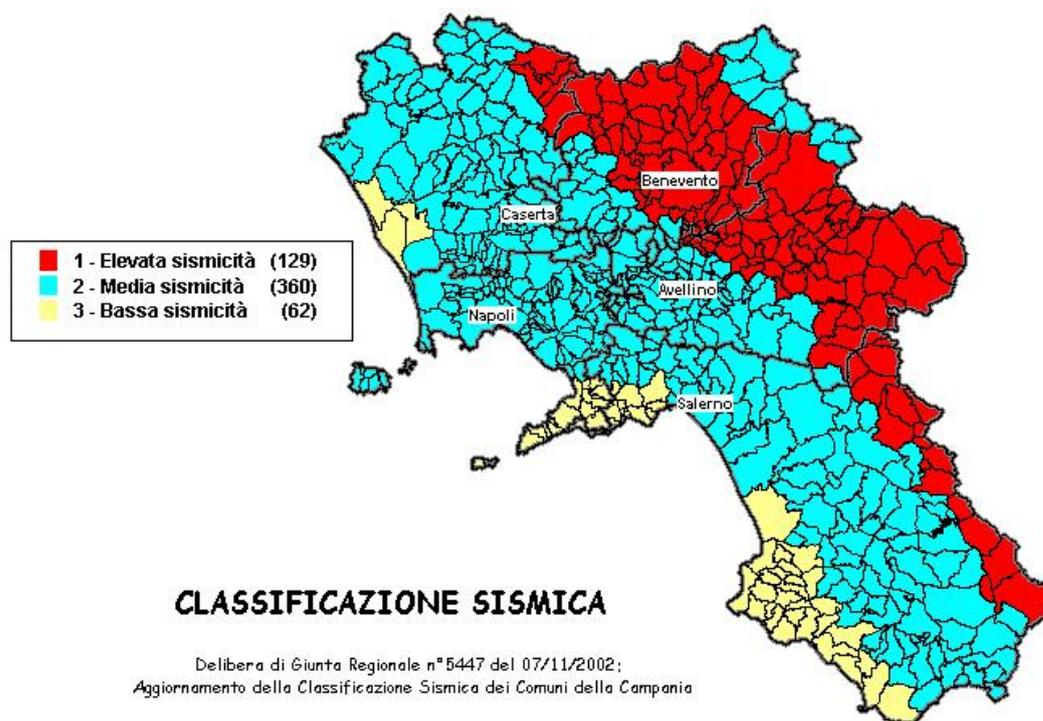


Figura 10 - Classificazione sismica del 2002 dei comuni della regione Campania. Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$.

Inoltre, la mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Figura 11), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di San Gregorio Magno (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.225 e 0.275 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).



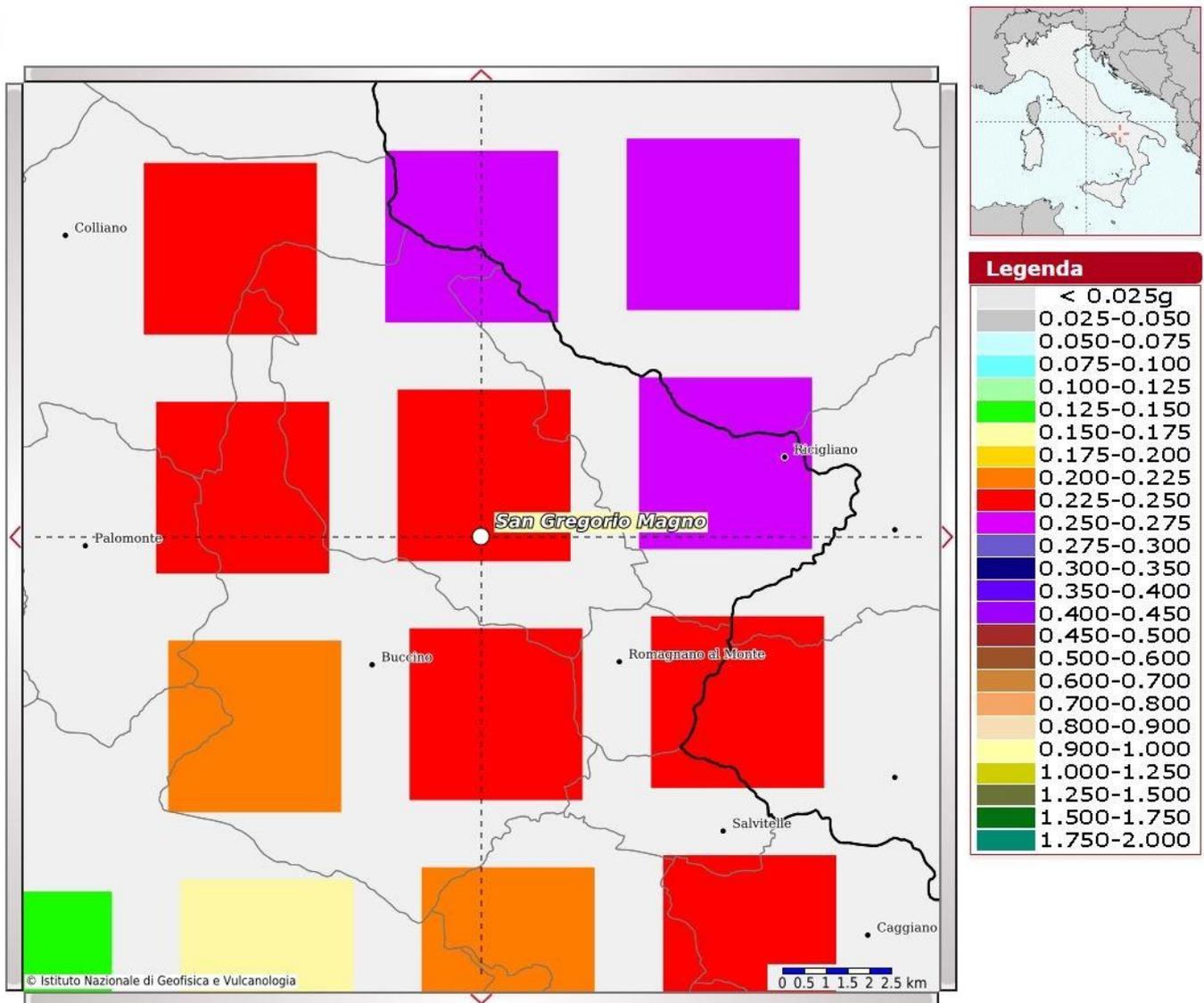


Figura 11 - Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

I risultati forniti dall'indagine sismica MASW effettuata permettono di definire la categoria di sottosuolo del sito, che risulta posto nella categoria A (vedi par. 4),

Proprio in funzione della categoria di sottosuolo A e della categoria topografica T4 ($h/H=1$) 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 - $C_U = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV.



Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al sottosuolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C) (Tabella 6 – Tabella 8 – Tabella 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
[0.109]	[0.326]	[0.355]	[1.059]

Tabella 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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.

Di seguito si riportano i valori di V_S per i sismostrati riscontrati nella prospezione sismica MASW n.4 (Tabella 11).

Sismostrato	Profondità (m)	V_S (m/s)
S1	0.0 – 7.9	861
S2	7.9 – 15.3	1021
S3	15.3 – 34.9	1167

Tabella 11 - Prospetto delle determinazioni dei valori di V_S per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica MASW n.4.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

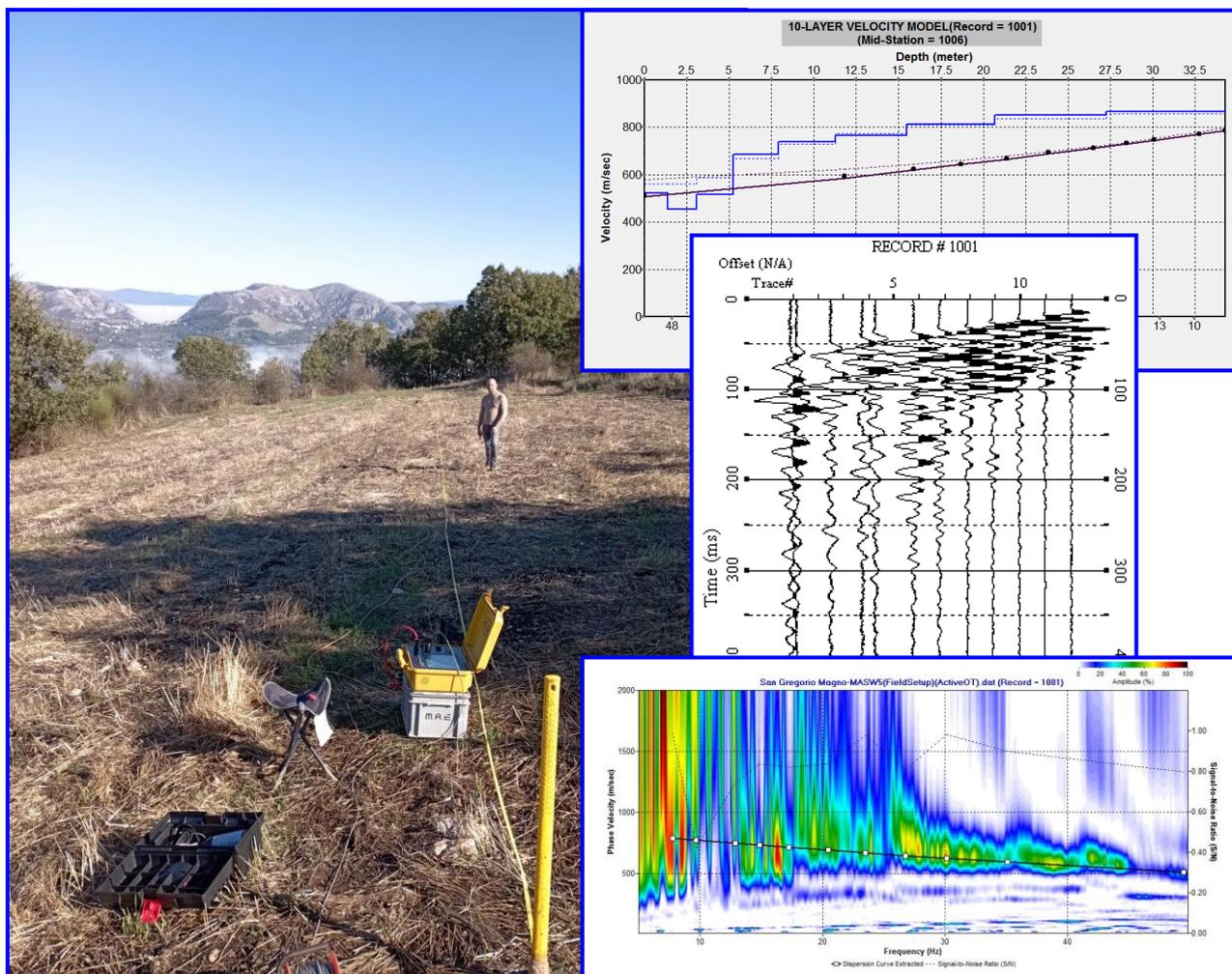
Pagani, novembre 2023

Il tecnico
Dr. Geol. Francesco Cuccurullo



COMUNE DI SAN GREGORIO MAGNO

PROVINCIA DI SALERNO



RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DI SITO INERENTE AL PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO CON POTENZA NOMINALE PARI A 46.2 MW. TORRE 5

Il Committente

I-PROJECT S.R.L.

Pagani, novembre 2023

Il Tecnico

Dr. Geol. Francesco Cuccurullo

REV. 0



INDICE

1 – PREMESSA	3
2 - INDAGINE ESEGUITA.....	5
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	7
4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI	10
5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	12
6 – CONCLUSIONI	21



1 – PREMESSA

Su incarico di I-PROJECT S.R.L., 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 sulla modellazione sismica di sito inerente al progetto di realizzazione di un impianto eolico con potenza nominale pari a 46.2 MW (coordinate geografiche WSG84 del sito 40.639030° N - 15.426402° E), nel territorio comunale di San Gregorio Magno (SA) (*Figura 1 - Figura 2*), al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il sottosuolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018).

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).

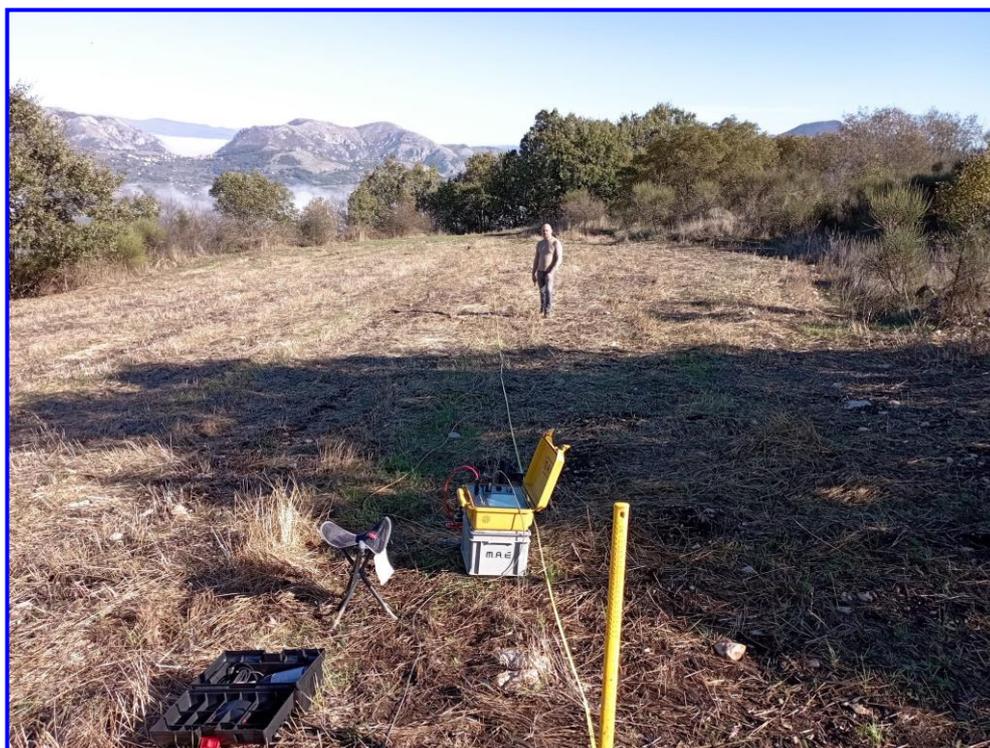


Figura 1 - Prospezione sismica MASW n.5 effettuata in area progettuale.





Figura 2 - Ubicazione dello stendimento messo in opera su foto aerea.



2 - INDAGINE ESEGUITA

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

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Lunghezza complessiva dello stendimento (m)</i>	<i>Spacing (m)</i>	<i>Offset (m)</i>
<i>MASW n.5</i>	<i>39.0</i>	<i>3.0</i>	<i>6.0</i>

Tabella 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 (*Figura 3*) 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 dello stendimento geofonico, con offset pari a 6.0m. Le oscillazioni del sottosuolo sono state rilevate da 12 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con spacing pari a 3.0m (*Figura 1; Tabella 1*). La lunghezza complessiva dello stendimento geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 2D dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 34.4m 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.



Figura 3 - 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: $f_{\text{campionamento}}=1/dt=2000Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{\text{Nyquist}}=1/2dt=1000Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{\text{min}}=1/T=0.488Hz$.

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.

Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono di seguito riportati (*Figura 4 - Figura 6*).



RECORD # 1001

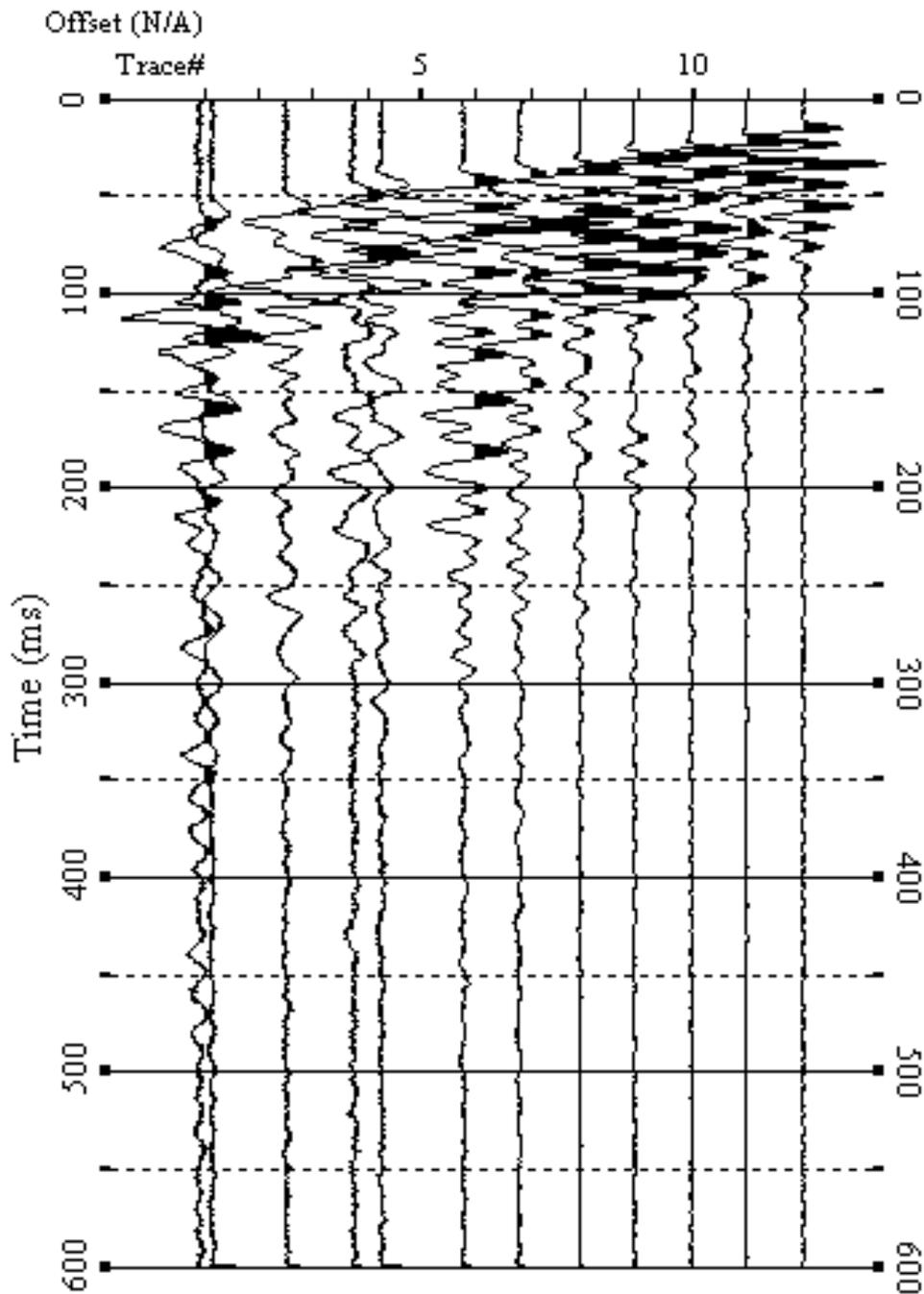


Figura 4 - Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n.5. Finestra temporale [0-600]ms.



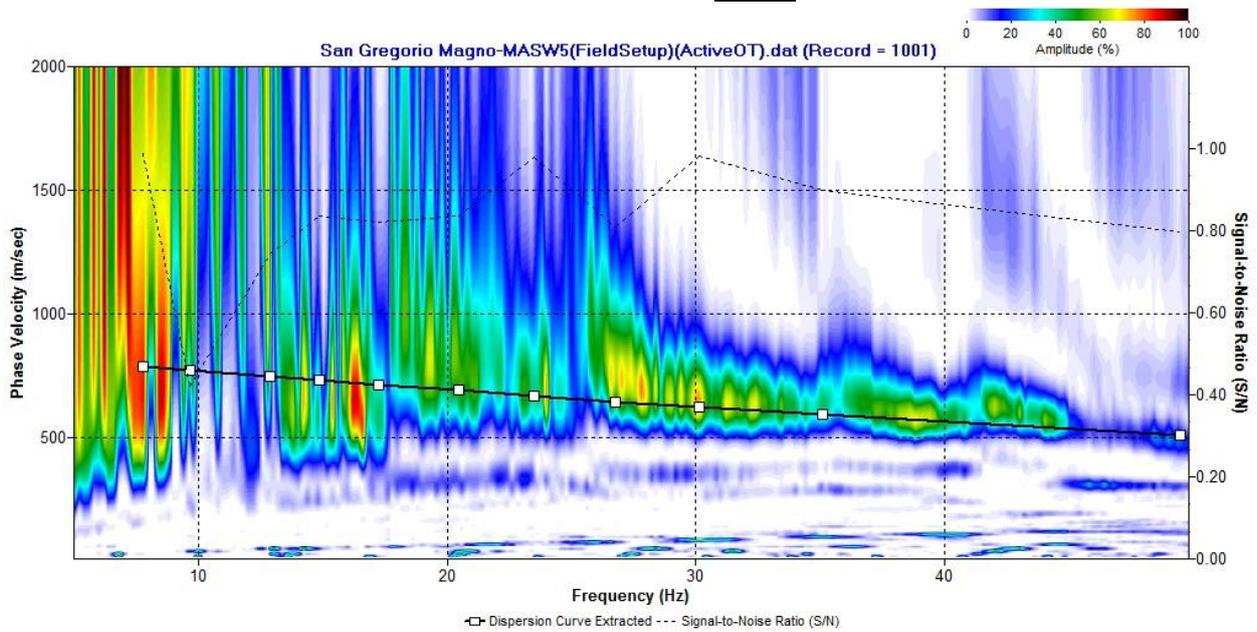


Figura 5 - Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n.5.

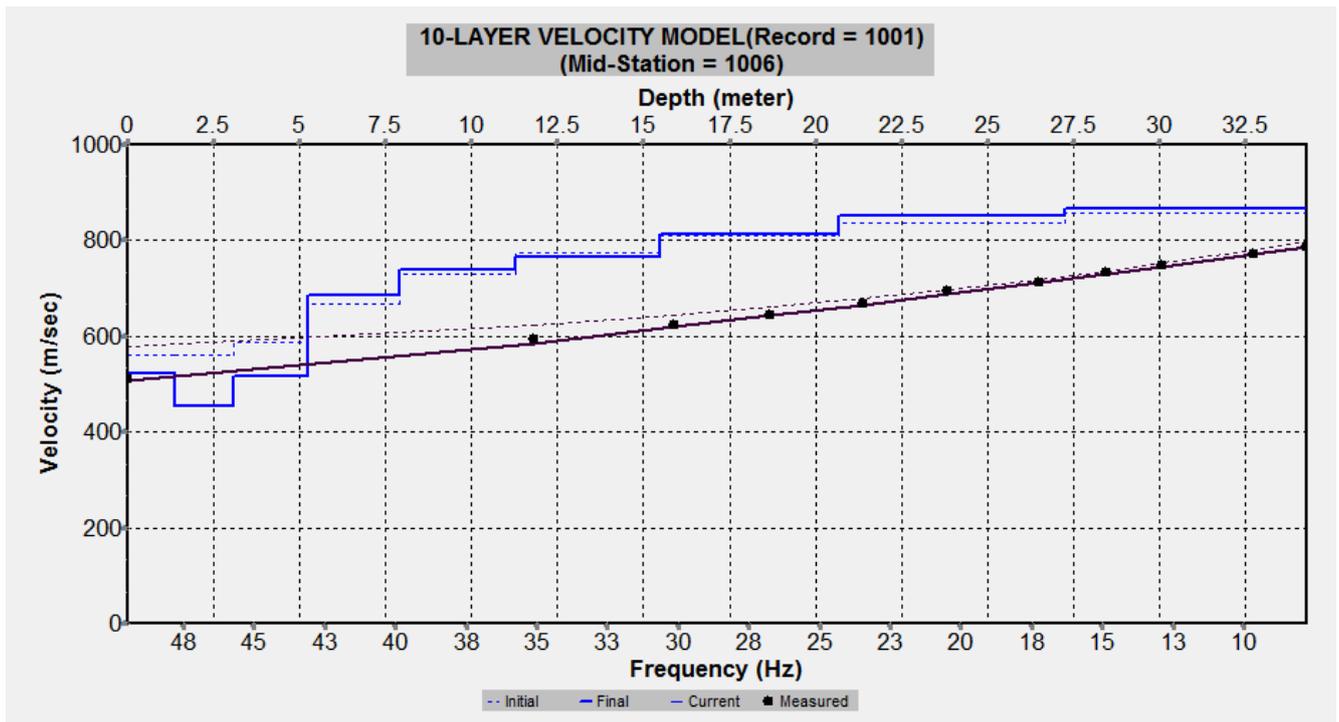


Figura 6 - Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n.5.



4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

L'indagine sismica MASW effettuata, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di 15.5m (0m-15.5m) dal p.c., in quanto è stato raggiunto il bedrock sismico nei primi 15.5 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 (Tabella 2 – Tabella 4). 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.

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30m.

Tabella 2 - Categorie Sottosuoli di fondazione (D.M. 17 gennaio 2018).



<i>Prospezione sismica</i>	$V_{S\ 0-15.5}$ (m/s)	<i>Categoria Sottosuoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)</i>
<i>MASW n.5</i>	<i>[631]</i>	<i>B</i>

Tabella 3 - Categoria Sottosuolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica MASW n.5 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	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T₁	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T₂	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T₃	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T₄	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 4 - Categorie topografiche (D.M. 17 gennaio 2018).

Categoria topografica T2 = Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ($h/H = 1$ dove h = quota sito e H = quota massima del versante).



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 sottosuolo 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 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) (Tabella 5; Figura 7).

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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV) (Tabella 6 - Tabella 9; Figura 8 - Figura 9).

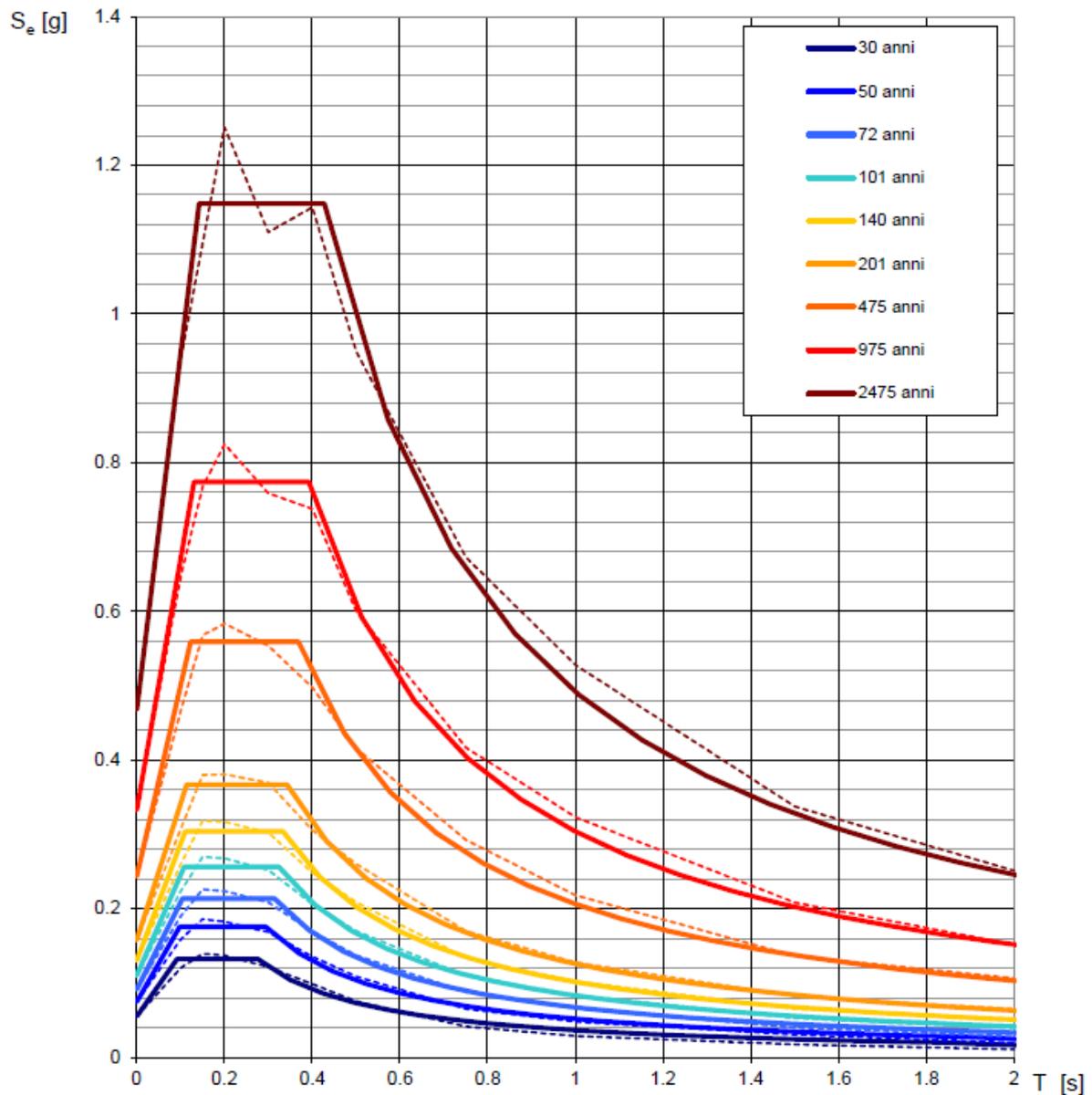
Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito [categoria di sottosuolo **B** – categoria topografica **T2 (h/H=1)**] individuata nell'area oggetto di indagine.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO
PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO A
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.426402 – LAT. 40.639030 (IN GRADI DECIMALI)**

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C^* [s]
30	0.055	2.395	0.276
50	0.075	2.357	0.294
72	0.091	2.341	0.314
101	0.110	2.330	0.325
140	0.131	2.329	0.333
201	0.158	2.324	0.343
475	0.244	2.294	0.369
975	0.333	2.325	0.392
2475	0.468	2.455	0.428

Tabella 5 - 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.





NOTA:

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

Figura 7 - 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 T2 (h/H=1)
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.426402– LAT. 40.639030 (IN GRADI DECIMALI)**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.110 g
F_o	2.330
T_c	0.324 s
S_s	1.200
C_c	1.378
S_T	1.200
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.440
η	1.000
T_B	0.149 s
T_C	0.447 s
T_D	2.039 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

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

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

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

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.158
$T_B \leftarrow$	0.149	0.368
$T_C \leftarrow$	0.447	0.368
	0.523	0.315
	0.599	0.275
	0.674	0.244
	0.750	0.219
	0.826	0.199
	0.902	0.183
	0.978	0.168
	1.053	0.156
	1.129	0.146
	1.205	0.137
	1.281	0.129
	1.357	0.121
	1.433	0.115
	1.508	0.109
	1.584	0.104
	1.660	0.099
	1.736	0.095
	1.812	0.091
	1.887	0.087
	1.963	0.084
$T_D \leftarrow$	2.039	0.081
	2.132	0.074
	2.226	0.068
	2.319	0.062
	2.413	0.058
	2.506	0.053
	2.599	0.050
	2.693	0.046
	2.786	0.043
	2.879	0.040
	2.973	0.038
	3.066	0.036
	3.160	0.034
	3.253	0.032
	3.346	0.030
	3.440	0.028
	3.533	0.027
	3.626	0.026
	3.720	0.024
	3.813	0.023
	3.907	0.022
	4.000	0.021

Tabella 6 - Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gv}	0.049 g
S_S	1.000
S_T	1.200
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.042
S	1.200
η	0.667

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.059
$T_B \leftarrow$	0.050	0.092
$T_C \leftarrow$	0.150	0.092
	0.235	0.058
	0.320	0.043
	0.405	0.034
	0.490	0.028
	0.575	0.024
	0.660	0.021
	0.745	0.018
	0.830	0.017
	0.915	0.015
$T_D \leftarrow$	1.000	0.014
	1.094	0.011
	1.188	0.010
	1.281	0.008
	1.375	0.007
	1.469	0.006
	1.563	0.006
	1.656	0.005
	1.750	0.004
	1.844	0.004
	1.938	0.004
	2.031	0.003
	2.125	0.003
	2.219	0.003
	2.313	0.003
	2.406	0.002
	2.500	0.002
	2.594	0.002
	2.688	0.002
	2.781	0.002
	2.875	0.002
	2.969	0.002
	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

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

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

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

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

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

Tabella 7 - Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



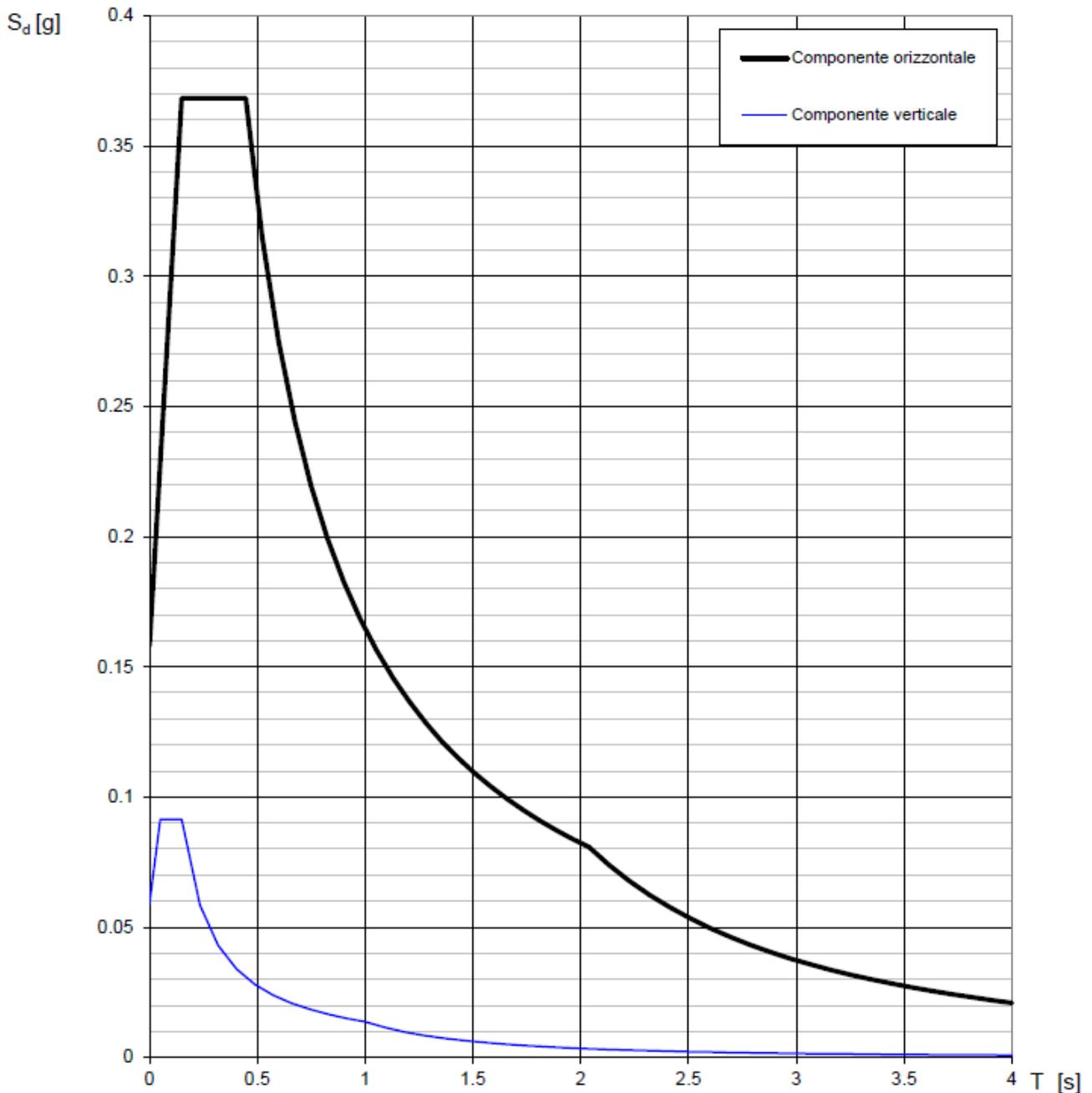


Figura 8 - Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 ($h/H=1$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.329 g
F_o	2.324
T_c	0.391 s
S_s	1.094
C_c	1.327
S_T	1.200
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.313
η	1.000
T_B	0.173 s
T_C	0.519 s
T_D	2.916 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

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

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

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

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.432
$T_B \leftarrow$	0.173	1.004
$T_C \leftarrow$	0.519	1.004
	0.634	0.823
	0.748	0.697
	0.862	0.605
	0.976	0.534
	1.090	0.478
	1.204	0.433
	1.318	0.396
	1.432	0.364
	1.547	0.337
	1.661	0.314
	1.775	0.294
	1.889	0.276
	2.003	0.260
	2.117	0.246
	2.231	0.234
	2.345	0.222
	2.460	0.212
	2.574	0.203
	2.688	0.194
	2.802	0.186
$T_D \leftarrow$	2.916	0.179
	2.968	0.173
	3.019	0.167
	3.071	0.161
	3.123	0.156
	3.174	0.151
	3.226	0.146
	3.277	0.142
	3.329	0.137
	3.381	0.133
	3.432	0.129
	3.484	0.125
	3.535	0.122
	3.587	0.118
	3.639	0.115
	3.690	0.112
	3.742	0.109
	3.794	0.106
	3.845	0.103
	3.897	0.100
	3.948	0.098
	4.000	0.095

Tabella 8 - Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0.255 g
S_S	1.000
S_T	1.200
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.800
S	1.200
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	0.306
0.050	0.474
0.150	0.474
0.235	0.302
0.320	0.222
0.405	0.175
0.490	0.145
0.575	0.124
0.660	0.108
0.745	0.095
0.830	0.086
0.915	0.078
1.000	0.071
1.094	0.059
1.188	0.050
1.281	0.043
1.375	0.038
1.469	0.033
1.563	0.029
1.656	0.026
1.750	0.023
1.844	0.021
1.938	0.019
2.031	0.017
2.125	0.016
2.219	0.014
2.313	0.013
2.406	0.012
2.500	0.011
2.594	0.011
2.688	0.010
2.781	0.009
2.875	0.009
2.969	0.008
3.063	0.008
3.156	0.007
3.250	0.007
3.344	0.006
3.438	0.006
3.531	0.006
3.625	0.005
3.719	0.005
3.813	0.005
3.906	0.005
4.000	0.004

Tabella 9 - Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



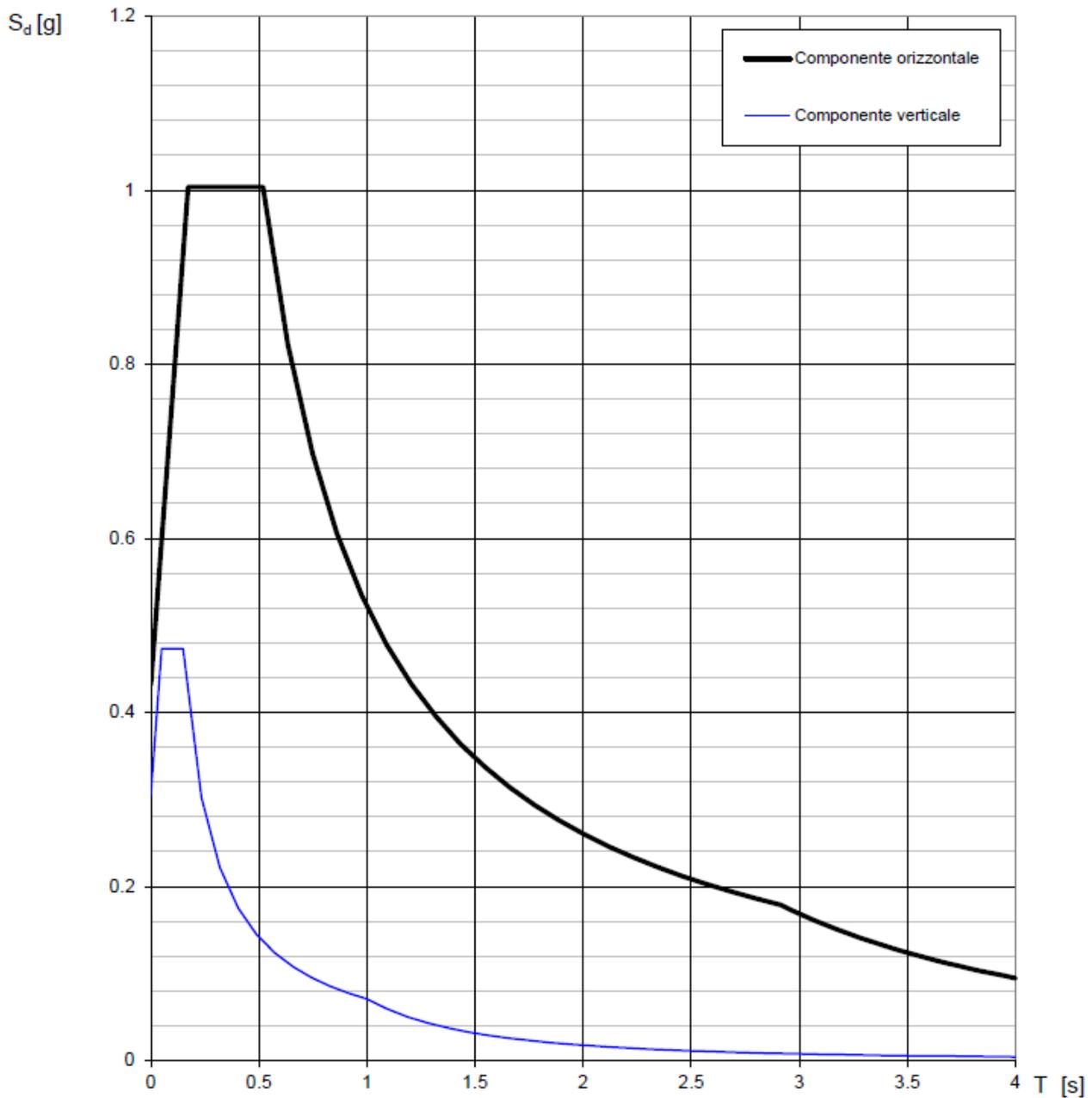


Figura 9 - Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d’uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d’uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



6 – CONCLUSIONI

Il territorio comunale di San Gregorio Magno (SA), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, è classificato in I categoria - $S=12$ - $a_g=0.35g$ (Figura 10).

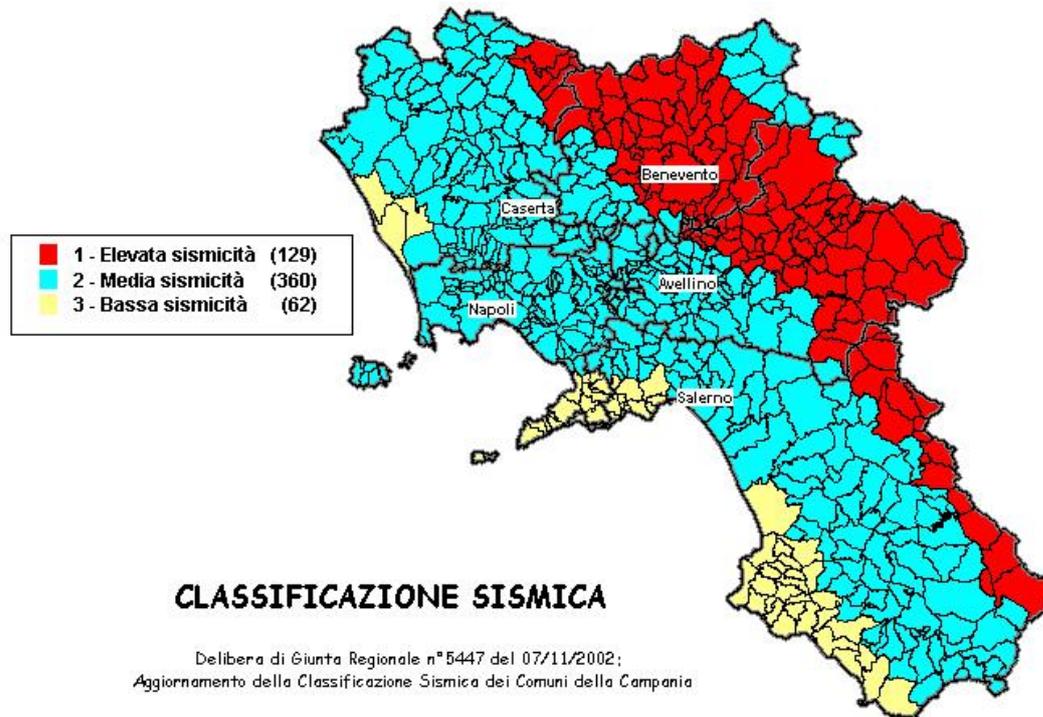


Figura 10 - Classificazione sismica del 2002 dei comuni della regione Campania. Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$.

Inoltre, la mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Figura 11), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di San Gregorio Magno (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.225 e 0.275 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).



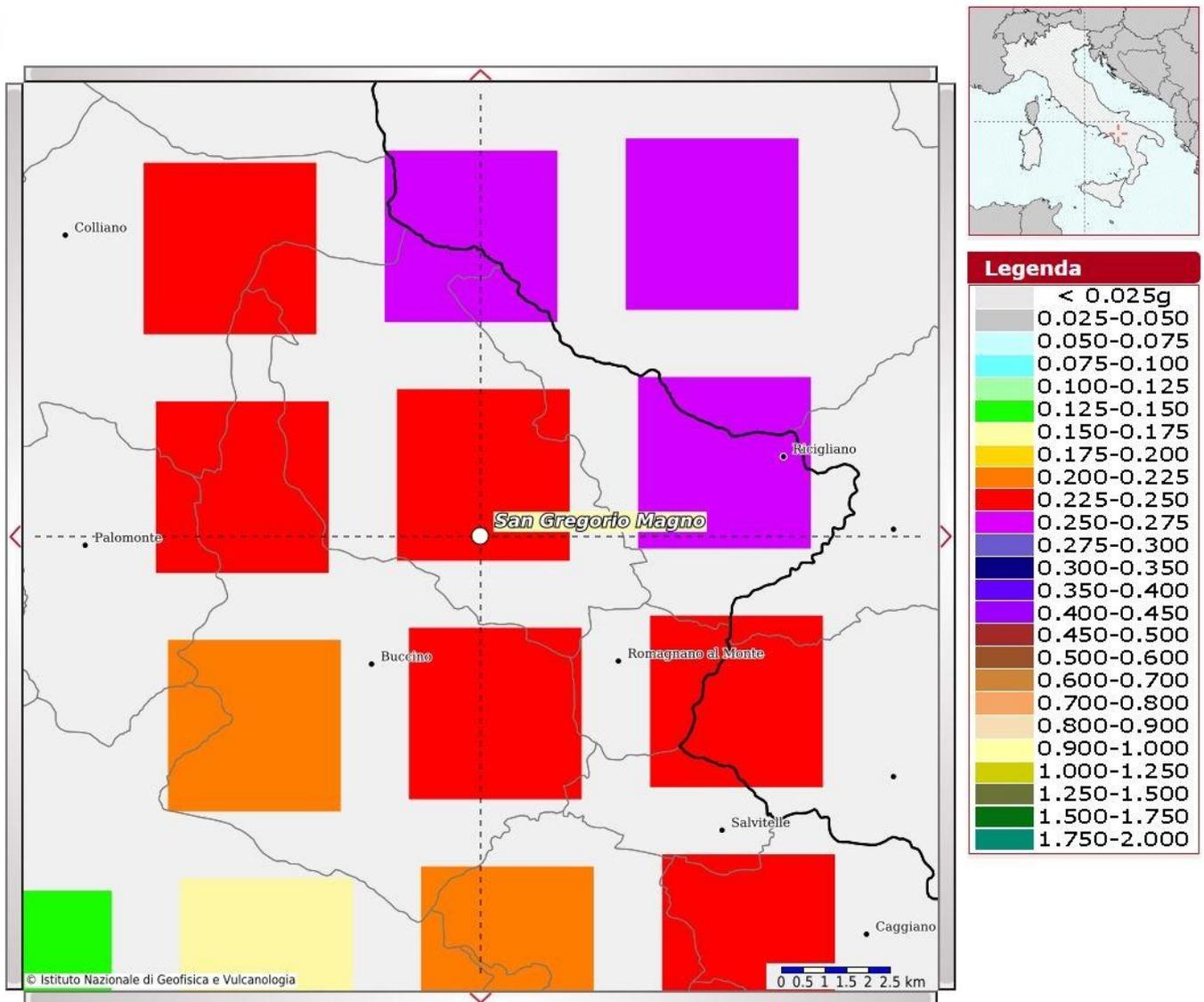


Figura 11 - Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

I risultati forniti dall'indagine sismica MASW effettuata permettono di definire la categoria di sottosuolo del sito, che risulta posto nella categoria **B** (vedi par. 4), con valori di $V_{S,eq}$ calcolati pari a (Tabella 10):

Prospezione sismica	$V_{S0-15.5}$ (m/s)
MASW n.5	[631]

Tabella 10 - Valori di $V_{S,eq}$ calcolati, relativi alla prospezione sismica MASW n.5 effettuata.



Proprio in funzione della categoria di sottosuolo **B** e della categoria topografica **T2 (h/H=1)** 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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al sottosuolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C) (Tabella 6 – Tabella 8 – Tabella 11), 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
[0.110]	[0.329]	[0.368]	[1.004]

Tabella 11 - 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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.

Di seguito si riportano i valori di V_s per i sismostrati riscontrati nella prospezione sismica MASW n.5 (Tabella 12).

Sismostrato	Profondità (m)	V_s (m/s)
S1	0.0 – 5.2	498
S2	5.2 – 7.9	686
S3	7.9 – 15.5	751
S4	15.5 – 34.4	843

Tabella 12 - Prospetto delle determinazioni dei valori di V_s per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica MASW n.5.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

Pagani, novembre 2023

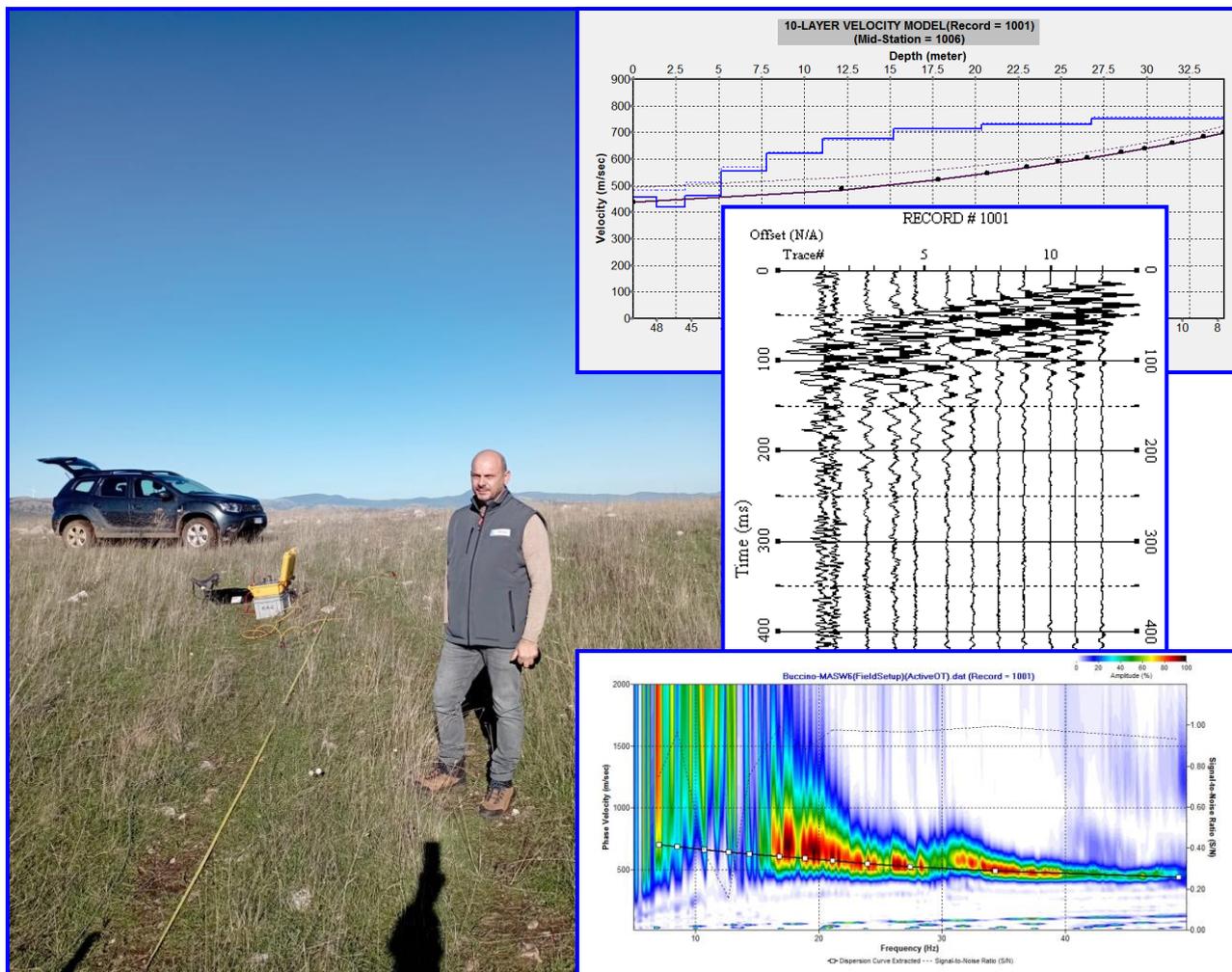
Il tecnico

Dr. Geol. Francesco Cuccurullo



COMUNE DI BUCCINO

PROVINCIA DI SALERNO



**RELAZIONE SULLA MODELLAZIONE SISMICA DI SITO INERENTE AL
PROGETTO DI REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO EOLICO UBICATO
NEL COMUNE DI BUCCINO (SA), CON POTENZA NOMINALE PARI A
46.2 MW. TORRE 6**

<i>Il Committente</i> I-PROJECT S.R.L.	<i>Il Tecnico</i> Dr. Geol. Francesco Cuccurullo
Pagani, novembre 2023	REV. 0

INDICE

1 – PREMESSA	3
2 - INDAGINE ESEGUITA.....	5
3 - ACQUISIZIONE ED ELABORAZIONE DATI	7
4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI	10
5 - RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	12
6 – CONCLUSIONI	21



1 – PREMESSA

Su incarico di I-PROJECT S.R.L., 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 sulla modellazione sismica di sito inerente al progetto di realizzazione di un impianto eolico con potenza nominale pari a 46.2 MW (coordinate geografiche WSG84 del sito 40.629985° N - 15.416978° E), nel territorio comunale di Buccino (SA) (Figura 1 - Figura 2), al fine di definire le caratteristiche sismostratigrafiche dei litotipi e classificare sismicamente il sottosuolo secondo la normativa vigente (D.M. 17 gennaio 2018).

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).



Figura 1 - Prospezione sismica MASW n.6 effettuata in area progettuale.





Figura 2 - Ubicazione dello stendimento messo in opera su foto aerea.



2 - INDAGINE ESEGUITA

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

<i>Prospezione sismica</i>	<i>Lunghezza complessiva dello stendimento (m)</i>	<i>Spacing (m)</i>	<i>Offset (m)</i>
<i>MASW n.6</i>	<i>39.0</i>	<i>3.0</i>	<i>6.0</i>

Tabella 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 (*Figura 3*) 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 dello stendimento geofonico, con offset pari a 6.0m. Le oscillazioni del sottosuolo sono state rilevate da 12 geofoni verticali (Geospace – 4.5Hz) posizionati lungo il profilo di indagine con spacing pari a 3.0m (*Figura 1*; *Tabella 1*). La lunghezza complessiva dello stendimento geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 2D dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 34.5m 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.



Figura 3 - 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: $f_{\text{campionamento}}=1/dt=2000Hz$. La frequenza massima dei segnali, ovvero la frequenza di Nyquist, è data da: $f_{\text{Nyquist}}=1/2dt=1000Hz$. La frequenza minima dei segnali è data da: $f_{\text{min}}=1/T=0.488Hz$.

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.

Gli elaborati relativi alla prova effettuata sono di seguito riportati (*Figura 4 - Figura 6*).



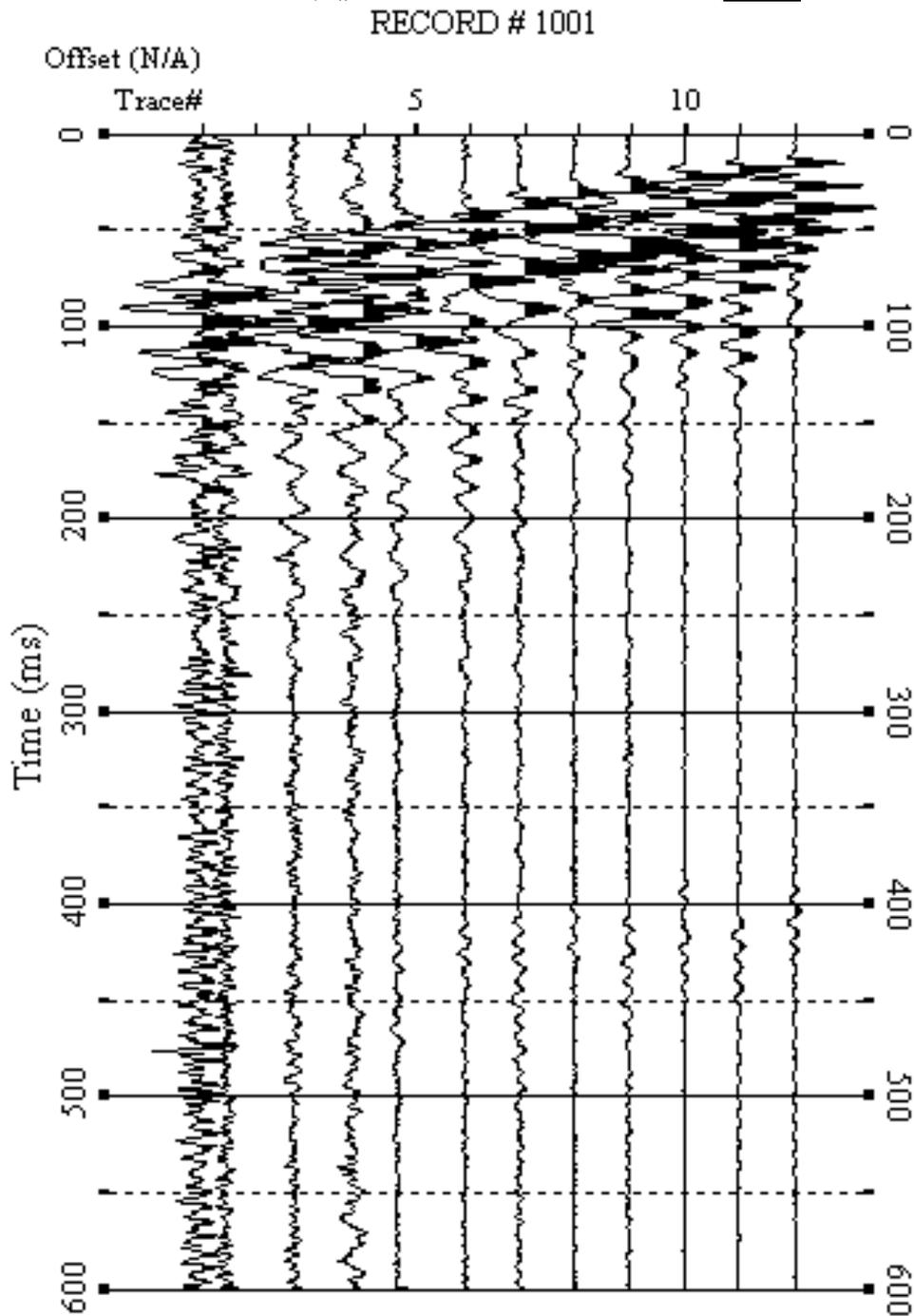


Figura 4 - Sismogrammi relativi all'indagine Sismica MASW n.6. Finestra temporale [0-600]ms.



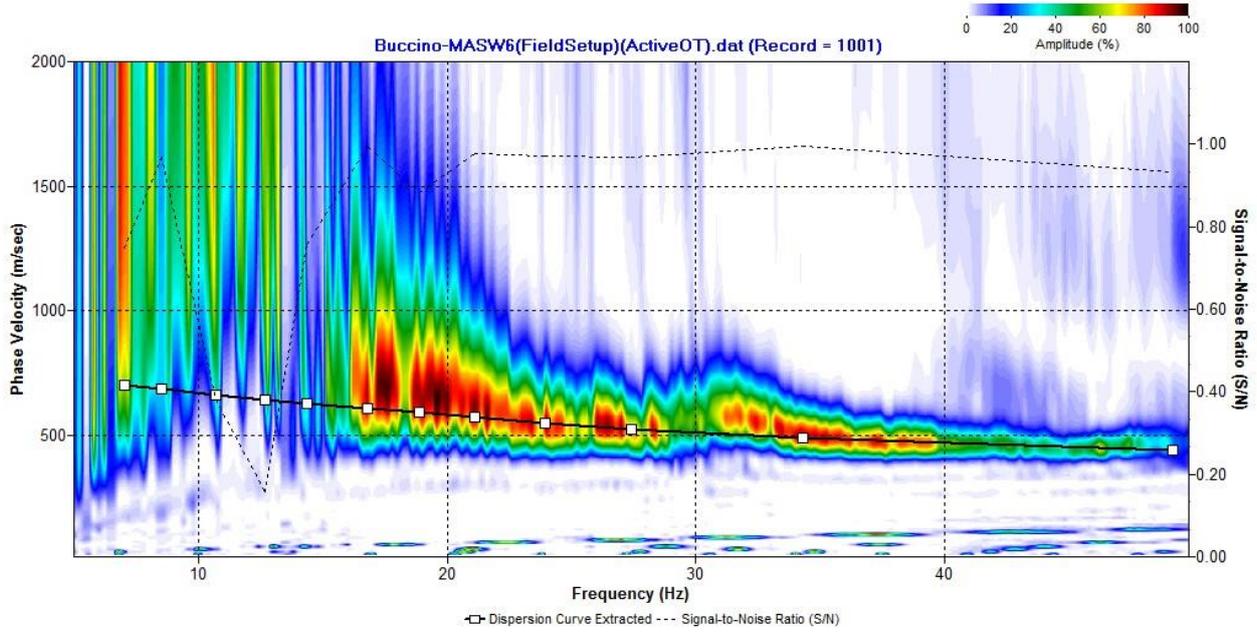


Figura 5 - Curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh ottenuta dall'indagine Sismica MASW n.6.

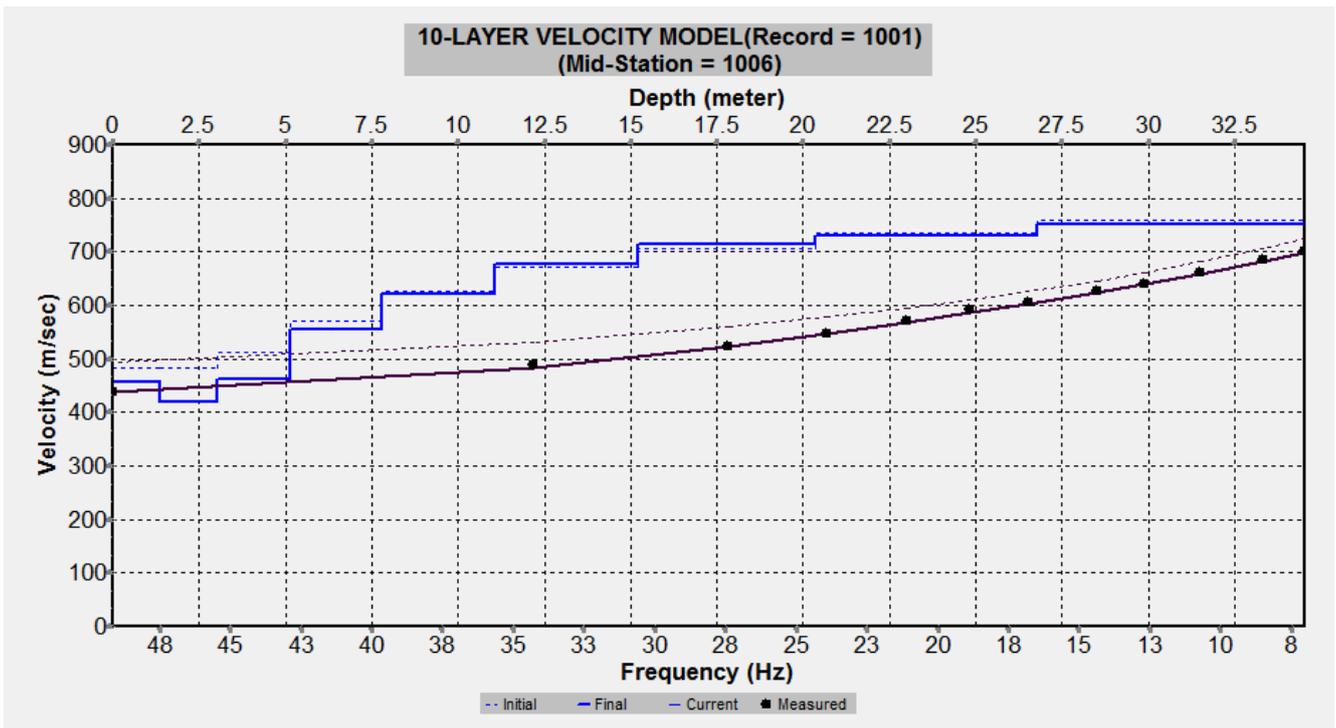


Figura 6 - Profilo verticale 1D delle V_s ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n.6.



4 - INTERPRETAZIONE ED ANALISI DEI DATI

L'indagine sismica MASW effettuata, considerando la sismostratigrafia fino alla profondità di 30m (0m-30m) dal p.c., in quanto non è stato raggiunto il bedrock sismico nei primi 30 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 (Tabella 2 – Tabella 4). 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.

CATEGORIA	DESCRIZIONE
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> 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.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> , caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	<i>Deposit</i> di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	<i>Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D</i> , con profondità del substrato non superiore a 30m.

Tabella 2 - Categorie Sottosuoli di fondazione (D.M. 17 gennaio 2018).



<i>Prospezione sismica</i>	$V_{S\ 0-30}$ (m/s)	<i>Categoria Sottosuoli di Fondazione (D.M. 17/01/2018)</i>
MASW n.6	[625]	B

Tabella 3 - Categoria Sottosuolo di fondazione ottenuta dalla prospezione sismica MASW n.6 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	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T₁	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T₂	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T₃	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T₄	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Tabella 4 - Categorie topografiche (D.M. 17 gennaio 2018).

Categoria topografica T2 = Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ ($h/H = 1$ dove h = quota sito e H = quota massima del versante).



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 sottosuolo 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 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) (Tabella 5; Figura 7).

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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV) ed all'azione di progetto di riferimento (SLD e SLV) (Tabella 6 - Tabella 9; Figura 8 - Figura 9).

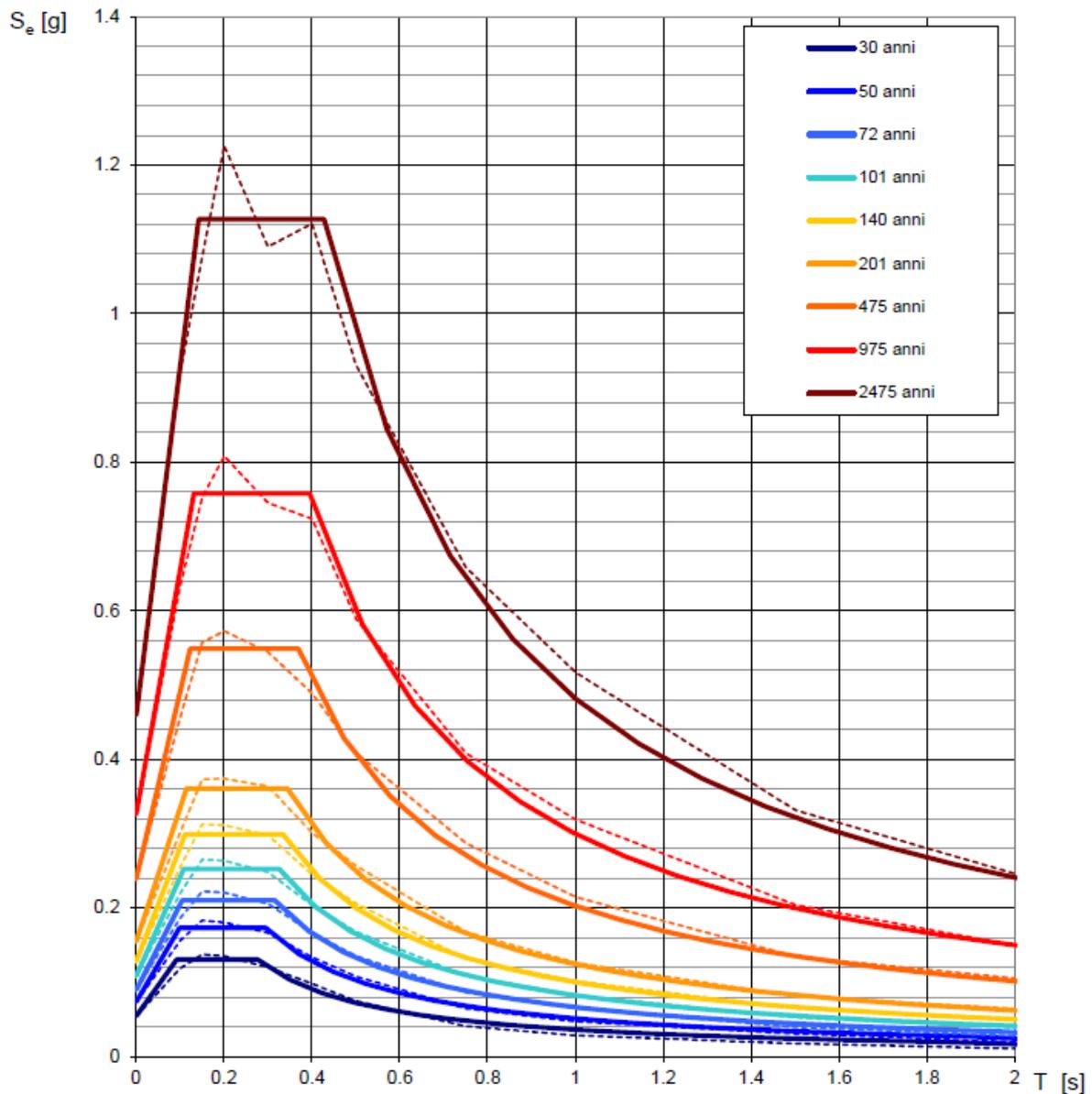
Gli spettri di risposta elastici ottenuti sono rappresentativi delle componenti orizzontale e verticale delle azioni sismiche di progetto per la tipologia di sito [categoria di sottosuolo **B** – categoria topografica **T2 (h/H=1)**] individuata nell'area oggetto di indagine.

**SPETTRI DI RISPOSTA ELASTICI PER PERIODI DI RITORNO DI RIFERIMENTO
PER CATEGORIA DI SOTTOSUOLO A
PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.416978 – LAT. 40.629985 (IN GRADI DECIMALI)**

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C' [s]
30	0.055	2.392	0.276
50	0.074	2.356	0.295
72	0.090	2.345	0.315
101	0.108	2.334	0.326
140	0.128	2.335	0.334
201	0.155	2.329	0.344
475	0.239	2.295	0.369
975	0.326	2.322	0.395
2475	0.460	2.452	0.428

Tabella 5 - 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.





NOTA:

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

Figura 7 - 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 T2 (h/H=1)
 PUNTO DI COORDINATE LONG. 15.416978 – LAT. 40.629985 (IN GRADI DECIMALI)**

Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_g	0.108 g
F_0	2.334
T_C	0.326 s
S_S	1.200
C_C	1.377
S_T	1.200
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.440
η	1.000
T_B	0.149 s
T_C	0.448 s
T_D	2.032 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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.155
T_B ←	0.149	0.363
T_C ←	0.448	0.363
	0.524	0.310
	0.599	0.271
	0.674	0.241
	0.750	0.217
	0.825	0.197
	0.901	0.180
	0.976	0.167
	1.051	0.155
	1.127	0.144
	1.202	0.135
	1.278	0.127
	1.353	0.120
	1.428	0.114
	1.504	0.108
	1.579	0.103
	1.655	0.098
	1.730	0.094
	1.805	0.090
	1.881	0.086
	1.956	0.083
T_D ←	2.032	0.080
	2.125	0.073
	2.219	0.067
	2.313	0.062
	2.407	0.057
	2.500	0.053
	2.594	0.049
	2.688	0.046
	2.781	0.043
	2.875	0.040
	2.969	0.037
	3.063	0.035
	3.156	0.033
	3.250	0.031
	3.344	0.030
	3.438	0.028
	3.531	0.026
	3.625	0.025
	3.719	0.024
	3.813	0.023
	3.906	0.022
	4.000	0.021

Tabella 6 - Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLD
a_{gv}	0.048 g
S_S	1.000
S_T	1.200
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.035
S	1.200
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	0.057
0.050	0.089
0.150	0.089
0.235	0.057
0.320	0.042
0.405	0.033
0.490	0.027
0.575	0.023
0.660	0.020
0.745	0.018
0.830	0.016
0.915	0.015
1.000	0.013
1.094	0.011
1.188	0.010
1.281	0.008
1.375	0.007
1.469	0.006
1.563	0.005
1.656	0.005
1.750	0.004
1.844	0.004
1.938	0.004
2.031	0.003
2.125	0.003
2.219	0.003
2.313	0.003
2.406	0.002
2.500	0.002
2.594	0.002
2.688	0.002
2.781	0.002
2.875	0.002
2.969	0.002
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

Tabella 7 - Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLD. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_u = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



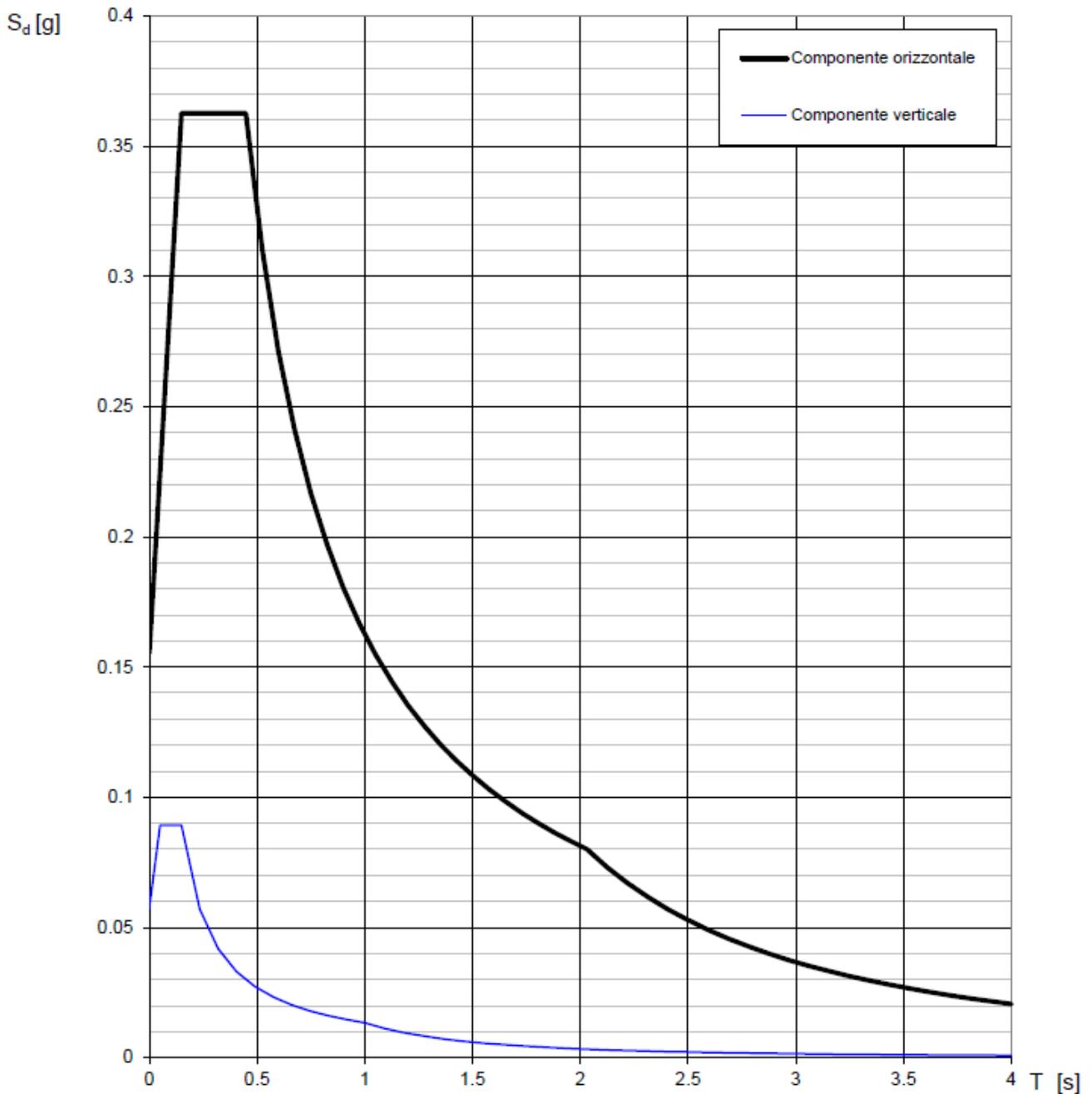


Figura 8 - Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLD – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_g	0.323 g
F_0	2.321
T_C	0.394 s
S_S	1.101
C_C	1.325
S_T	1.200
q	1.000

Parametri dipendenti

S	1.321
η	1.000
T_B	0.174 s
T_C	0.522 s
T_D	2.891 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

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

$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C \cdot T_D}{T^2} \right)$$

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.426
$T_B \leftarrow$	0.174	0.989
$T_C \leftarrow$	0.522	0.989
	0.635	0.813
	0.748	0.691
	0.861	0.600
	0.973	0.531
	1.086	0.476
	1.199	0.431
	1.312	0.394
	1.425	0.363
	1.537	0.336
	1.650	0.313
	1.763	0.293
	1.876	0.275
	1.988	0.260
	2.101	0.246
	2.214	0.233
	2.327	0.222
	2.440	0.212
	2.552	0.202
	2.665	0.194
	2.778	0.186
$T_D \leftarrow$	2.891	0.179
	2.943	0.172
	2.996	0.166
	3.049	0.161
	3.102	0.155
	3.155	0.150
	3.208	0.145
	3.260	0.140
	3.313	0.136
	3.366	0.132
	3.419	0.128
	3.472	0.124
	3.525	0.120
	3.577	0.117
	3.630	0.113
	3.683	0.110
	3.736	0.107
	3.789	0.104
	3.842	0.101
	3.894	0.098
	3.947	0.096
	4.000	0.093

Tabella 8 - Parametri e punti dello spettro di risposta orizzontale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_U = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



Parametri indipendenti

STATO LIMITE	SLV
a_{gv}	0.247 g
S_S	1.000
S_T	1.200
q	1.500
T_B	0.050 s
T_C	0.150 s
T_D	1.000 s

Parametri dipendenti

F_v	1.779
S	1.200
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

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

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

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

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

Punti dello spettro di risposta

	T [s]	Se [g]
	0.000	0.297
T_B ←	0.050	0.459
T_C ←	0.150	0.459
	0.235	0.293
	0.320	0.215
	0.405	0.170
	0.490	0.141
	0.575	0.120
	0.660	0.104
	0.745	0.092
	0.830	0.083
	0.915	0.075
T_D ←	1.000	0.069
	1.094	0.058
	1.188	0.049
	1.281	0.042
	1.375	0.036
	1.469	0.032
	1.563	0.028
	1.656	0.025
	1.750	0.022
	1.844	0.020
	1.938	0.018
	2.031	0.017
	2.125	0.015
	2.219	0.014
	2.313	0.013
	2.406	0.012
	2.500	0.011
	2.594	0.010
	2.688	0.010
	2.781	0.009
	2.875	0.008
	2.969	0.008
	3.063	0.007
	3.156	0.007
	3.250	0.007
	3.344	0.006
	3.438	0.006
	3.531	0.006
	3.625	0.005
	3.719	0.005
	3.813	0.005
	3.906	0.005
	4.000	0.004

Tabella 9 - Parametri e punti dello spettro di risposta verticale per lo stato limite SLV. Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 (h/H=1). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d'uso della costruzione - $C_u = 2$ - Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



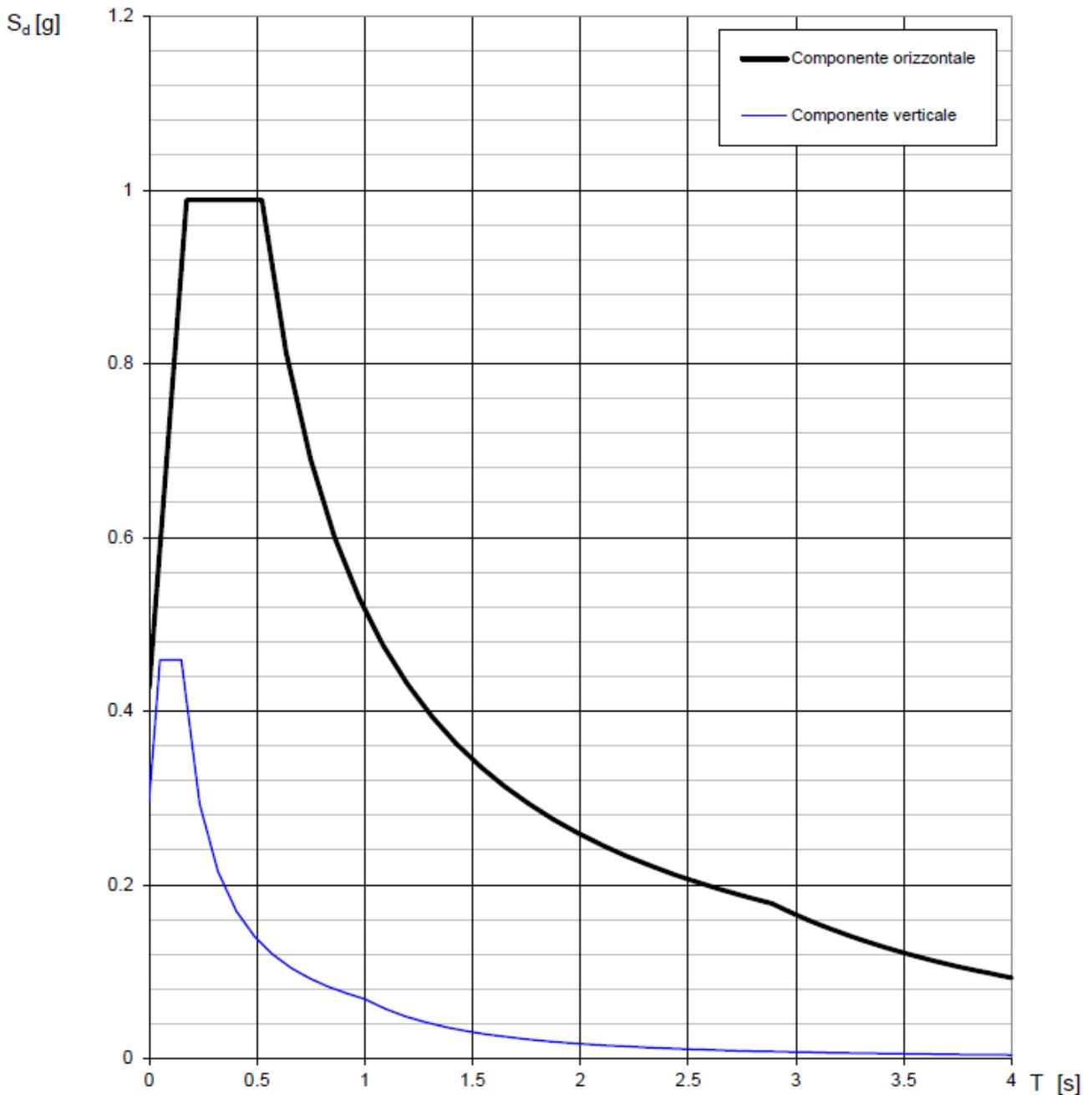


Figura 9 - Spettri di risposta elastici (componenti orizzontale e verticale) per lo stato limite SLV – Categ. sottosuolo B. Categ. topografica T2 ($h/H=1$). Vita nominale della costruzione - $V_N \geq 50$ anni; Coefficiente d’uso della costruzione - $C_U = 2$ – Classe d’uso della costruzione IV; smorzamento 5%.



6 – CONCLUSIONI

Il territorio comunale di Buccino (SA), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, è classificato in I categoria - $S=12 - a_g=0.35g$ (Figura 10).

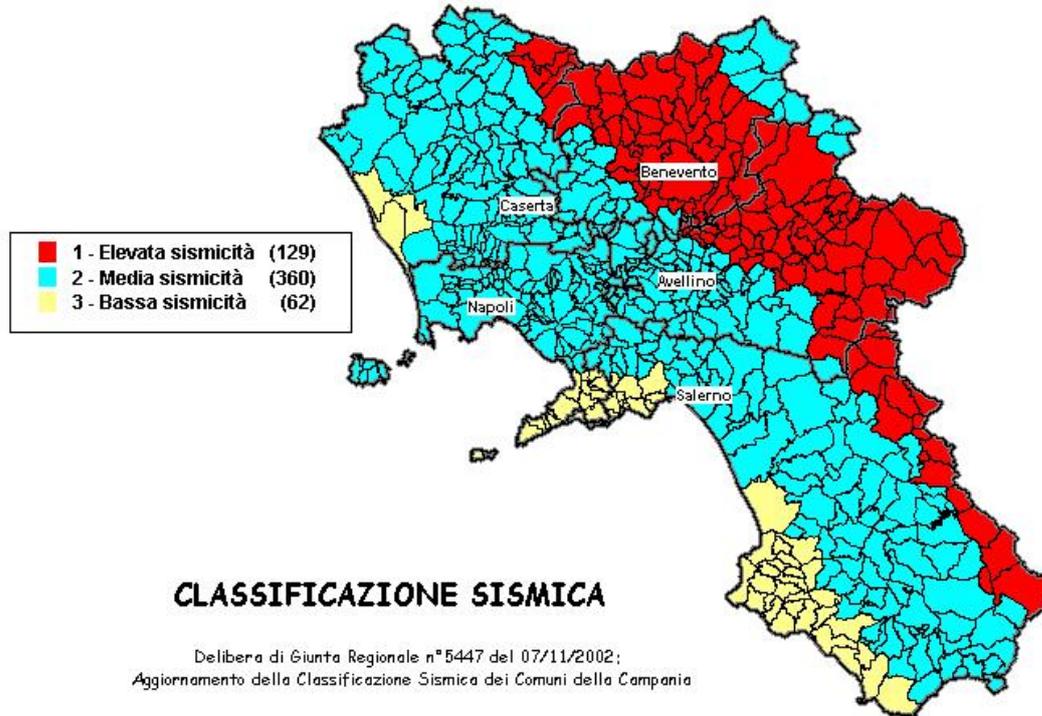


Figura 10 - Classificazione sismica del 2002 dei comuni della regione Campania. Zona 1, valore di $a_g=0.35g$; Zona 2, valore di $a_g=0.25g$; Zona 3, valore di $a_g=0.15g$.

Inoltre, la mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica (Figura 11), disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, indica che il territorio comunale di Buccino (SA) rientra nelle celle contraddistinte da valori di a_g di riferimento compresi tra 0.150 e 0.250 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).



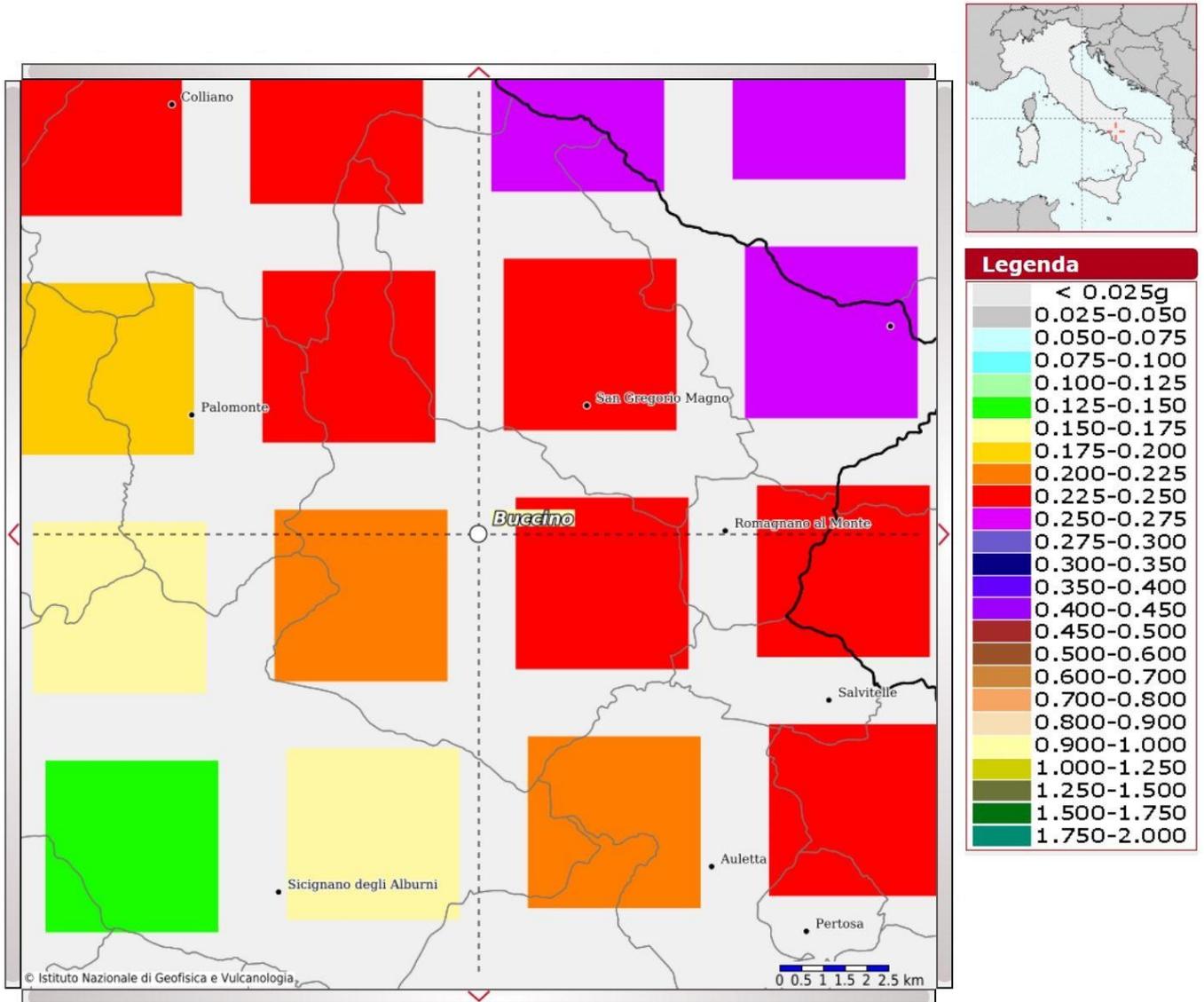


Figura 11 - Mappa di pericolosità sismica redatta a cura dell'INGV di Milano - Punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento a_g ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50.

I risultati forniti dall'indagine sismica MASW effettuata permettono di definire la categoria di sottosuolo del sito, che risulta posto nella categoria **B** (vedi par. 4), con valori di $V_{S,eq}$ calcolati pari a (Tabella 10):

Prospezione sismica	$V_{S\ 0-30}$ (m/s)
MASW n.6	[625]

Tabella 10 - Valori di $V_{S,eq}$ calcolati, relativi alla prospezione sismica MASW n.6 effettuata.



Proprio in funzione della categoria di sottosuolo **B** e della categoria topografica **T2 (h/H=1)** 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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV.

Il computo ha fornito valori massimi di a_g (accelerazione orizzontale massima al sottosuolo) e S_e [g] (accelerazione orizzontale corrispondente ai periodi compresi tra T_B e T_C) (Tabella 6 – Tabella 8 – Tabella 11), 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
[0.108]	[0.323]	[0.363]	[0.989]

Tabella 11 - 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 - $C_U = 2$ – Classe d'uso della costruzione IV; smorzamento 5%.

Di seguito si riportano i valori di V_s per i sismostrati riscontrati nella prospezione sismica MASW n.6 (Tabella 12).

Sismostrato	Profondità (m)	V_s (m/s)
S1	0.0 – 5.1	446
S2	5.1 – 7.8	554
S3	7.8 – 11.1	621
S4	11.1 – 20.3	695
S5	20.3 – 34.5	741

Tabella 12 - Prospetto delle determinazioni dei valori di V_s per i sismostrati riscontrati nell'indagine sismica MASW n.6.

Tanto dovevasi per l'incarico ricevuto.

Pagani, novembre 2023

Il tecnico

Dr. Geol. Francesco Cuccurullo





Scade il 25/10/2025

Diritti segr. 0,26
c.i. 5,16

AU5722612

LPZS s.p.a. - C.C.V. - ROMA



Cognome **DI FEO**

Nome **FABIO**

nato il **25/10/1973**
(atto n. **809** P. **I** A **1973**)

EBOLI (SA)

Cittadinanza **ITALIANA**

Residenza **ALTAVILLA SILENTINA**

Via **CONTRADA OLIVELLA N. 4/A**

Stato civile **CONIUGATO**

Professione **GEOLOGO**

CONNOTATI E CONTRASSEGNI SALIENTI

Statura **m. 1.73**

Capelli **CASTANI**

Occhi **CASTANI**

Segni particolari **NESSUNO**



Firma del titolare *Fabio Di FEO*

ALTAVILLA SILENTINA 29/05/2015

Impronta del dito indice sinistro

Il Sindaco
Giuseppa De Gregorio

