



# *Comune di Avellino*

Assessorato ai Lavori Pubblici  
Settore Lavori Pubblici

## LAVORI DI RIQUALIFICAZIONE DELLA STRADA COMUNALE ARCHI - FONTANATETTA COMPLETAMENTO

Maggio 2018

**PROGETTO ESECUTIVO**

Scala

Elaborato  
N°2

**PROGETTISTI:**

Arch. Anna Freda

Geom. Giuseppe De Vito

Elaborato

**RELAZIONE SUI MATERIALI E  
SULLA MODELLAZIONE  
SISMICA DEL SITO**

---

## Sommario

1.	Premessa .....	2
2.	Zonazione sismica del territorio .....	3
3.	Caratterizzazione sismica del sito di interesse .....	4
3.1	Tecniche di indagine utilizzate .....	4
3.2	Acquisizione ed elaborazione dati: Strumentazione impiegata.....	6
3.3	Elaborazione prova MASW – interpretazione dei risultati.....	7
4.	Valutazione dell'azione sismica .....	10
5.	Materiali strutturali .....	11
5.1	Calcestruzzo armato – Muri di contenimento .....	11

---

## ***1. Premessa***

La presente relazione contiene un'analisi della sismicità delle aree interessate dalla realizzazione delle opere in progetto, in particolare con la definizione dello studio della pericolosità sismica locale ai sensi delle NTC 2008. Quanto relazionato in merito, è stato elaborato sulla base della campagna di indagini geognostiche e prospezioni geofisiche dettagliatamente riportate nella relazione geologica (v. Elaborato 2), a firma del dott. Geol. Giuseppe Parlato, a cui si rimanda. Le indagini hanno consentito di individuare la categoria di suolo di fondazione (D.M. 17/01/2018), mediante la misura delle  $V_{S30}$ , ed in base a questi dati è stato possibile eseguire una valutazione delle azioni sismiche sulle strutture in progetto.

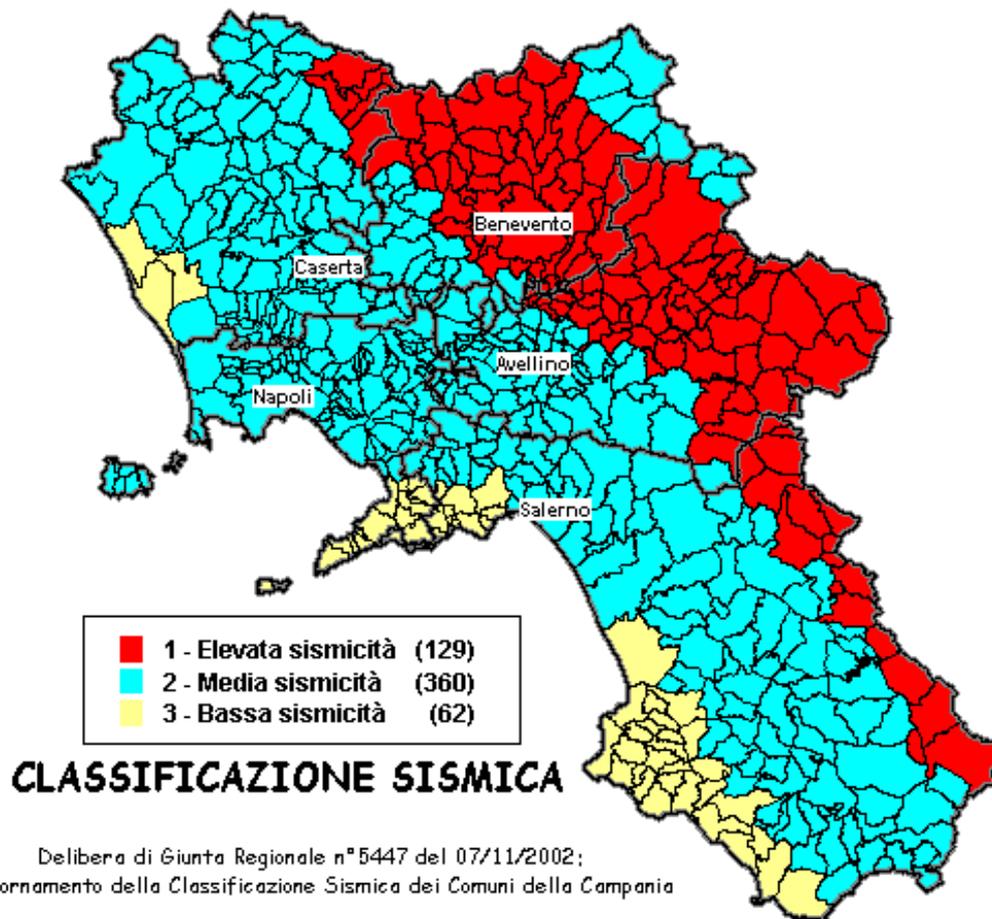
Nel presente elaborato si descrivono, anche, le qualità e le caratteristiche dei materiali strutturali da utilizzare per la realizzazione delle opere in progetto. Tutti i materiali e i prodotti per uso strutturale devono essere prodotti e forniti secondo le modalità indicate nel capitolo 11 delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" approvate con D.M. 17 gennaio 2018 e nel rispetto delle normative vigenti.

---

## 2. Zonazione sismica del territorio

Per zonazione sismica di un territorio si intende l'insieme di criteri geologici, geofisici ed ingegneristici atti ad individuare e a delimitare aree a risposta omogenea rispetto agli eventi sismici.

Il territorio comunale di Avellino (AV), a seguito della riclassificazione sismica del 2002 effettuata dalla Regione Campania, è classificato in II categoria -  $S=9$  -  $ag=0.25g$



Inoltre, la mappa del territorio nazionale per la pericolosità sismica, disponibile on-line sul sito dell'INGV di Milano, redatta secondo le Norme Tecniche per le Costruzioni (D.M. 14/01/2008), indica che il territorio comunale di Avellino (AV) rientra nelle celle contraddistinte da valori di  $ag$  di riferimento compresi tra 0.175 e 0.225 (punti della griglia riferiti a: parametro dello scuotimento  $ag$ ; probabilità in 50 anni 10%; percentile 50).

---

### 3. Caratterizzazione sismica del sito di interesse

#### 3.1 Tecniche di indagine utilizzate

Al fine di caratterizzare sismicamente il suolo nell'area oggetto di indagine, sono state eseguite n.2 prospezioni sismiche MASW, con le seguenti caratteristiche:

Prospezione sismica	Lunghezza complessiva dello stendimento (m)	Offset e spacing (m)	Direzione	Coordinate Geografiche WGS84	
				N	E
MASW n.1	50.00	2.00	N 35° E	40.926707°	14.804855°
MASW n.2	31.25	1.25	N 78° E	40.926722°	14.811000°

#### Prospezioni sismiche M.A.S.W. (Multichannel Analysis of Surface Waves)

La necessità sempre più frequente di esplorare il sottosuolo e definirne le caratteristiche fisiche e meccaniche per scopi ingegneristici, ha sempre più orientato la ricerca nella direzione di tecniche di ricognizione non invasive e speditive. Molto spesso queste derivano dall'evoluzione di procedure di rilevamento consolidate nel settore delle prospezioni sismiche applicate all'osservazione di componenti dello spettro sismico (onde S) che fino ad ora erano difficili da analizzare per la necessità di complesse trattazioni matematiche. Il progresso dei sistemi di calcolo automatico ha reso tali procedure agevoli ed ha consentito, quindi, l'analisi delle onde S o di taglio alla portata di applicazioni speditive come quelle nel settore dei servizi professionali.

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

#### Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- P-Longitudinale : onda profonda di compressione;
- S-Trasversale: onda profonda di taglio;
- L-Love: onda di superficie, composta da onde P e S;
- R-Rayleigh: onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

#### Onde di Rayleigh - "R"

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

#### Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche.

---

L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

#### Modello

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda * \nu$$

Modificando i parametri del modello geotecnica sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

#### Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate

#### Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

---

### ***3.2 Acquisizione ed elaborazione dati: Strumentazione impiegata***

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

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

La gestione dell'apparecchiatura è notevolmente semplificata dall'interfaccia grafica e dall'interazione con essa tramite il sistema di puntamento touch-screen, che consente di eseguire tutte le operazioni toccando con un pennino gli oggetti interessati direttamente sullo schermo. L'ambiente operativo dello strumento è quello di Microsoft Windows XP embedded. La sorgente sismica (Fig. 3) è costituita da un impatto transiente verticale (maglio dal peso di 6 kg che batte su una piastra circolare in alluminio). Come trigger/starter è stato utilizzato un geofono verticale Geospace a 14 Hz, 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 ed alla fine di ogni stendimento geofonico, con offset variabili, in modo tale da ottenere profili sismici diretti ed inversi. Le oscillazioni del suolo sono state rilevate da 24 geofoni verticali (Geospace – 4.5 Hz) posizionati lungo i profili di indagine con spacing predefinito (Figg. 1 – 2; Tab. 1). La lunghezza complessiva di ogni stendimento geofonico è stata sufficiente a determinare la sismostratigrafia 2D dei terreni nel sito prescelto fino alla profondità di 34.9 m dal p.c..

Le prospezioni sono eseguite con sismografo M.A.E. A6000S, apparecchiatura computerizzata modulare per sismica a rifrazione, riflessione, tomografia sismica, misure down-hole e cross-hole. 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.

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

L'elaborazione dei dati e l'inversione delle curve di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh sono state effettuate con il programma SurfSeis 2.05 della Kansas Geological Survey che ha permesso di eseguire l'intero processo di elaborazione di n°2 sezioni sismostratigrafiche 2D delle VS.

I risultati di campagna, e la loro interpretazione in chiave sismica, sono riportati in allegato alla relazione geologica.

### 3.3 Elaborazione prova MASW – interpretazione dei risultati

Di seguito si riportano alcuni grafici fondamentali di elaborazione dei dati, desunti dalle prove MASW eseguite. Il fine ultimo è quello di stabilire la categoria di suolo in accordo alle NTC2008.

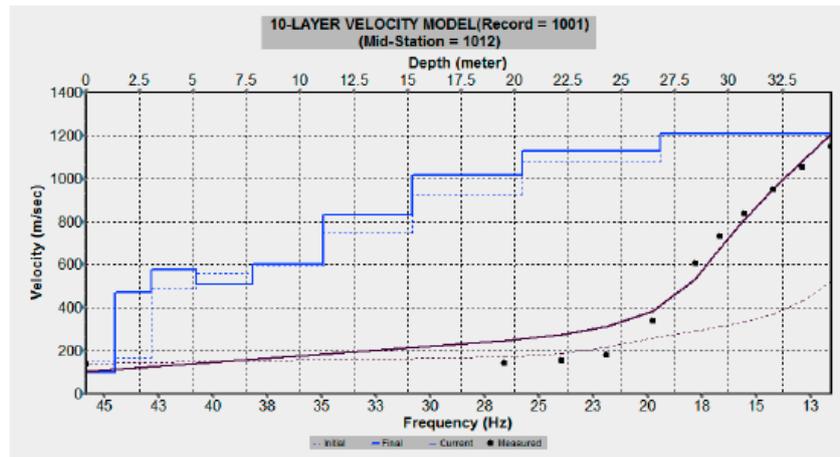


Fig. 8 – Profilo verticale 1D delle  $V_s$  ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n. 1 - acquisizione n. 1.

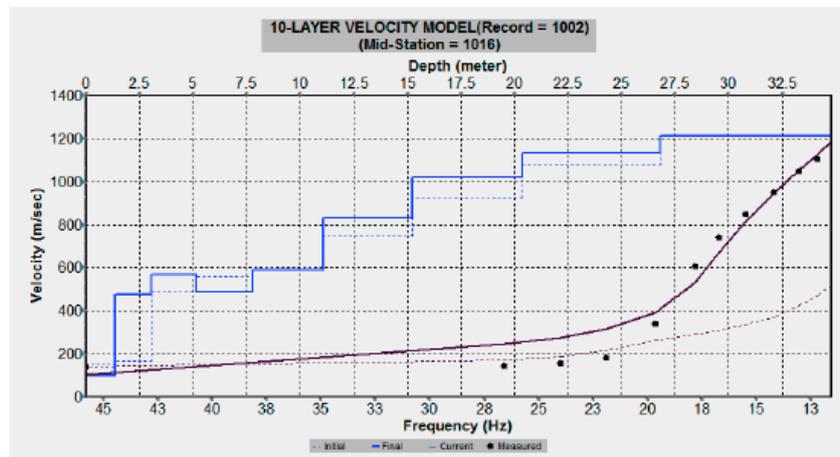


Fig. 9 – Profilo verticale 1D delle  $V_s$  ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n. 1 - acquisizione n. 2.

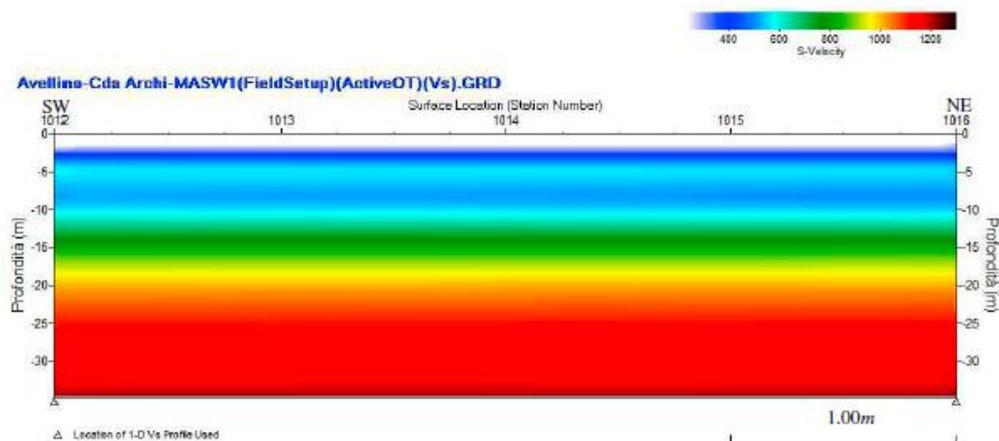


Fig. 10 – Modello sismostratigrafico 2D delle  $V_s$  ottenuto dall'indagine Sismica MASW n. 1.

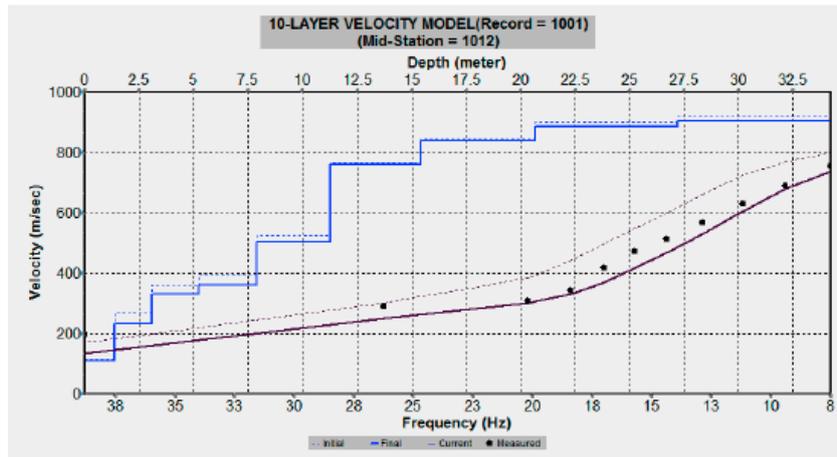


Fig. 15 – Profilo verticale 1D delle  $V_s$  ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n. 2 - acquisizione n. 1.

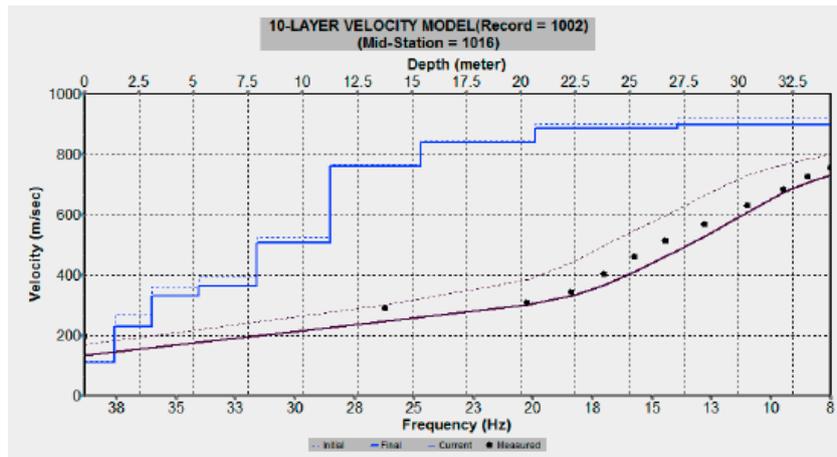


Fig. 16 – Profilo verticale 1D delle  $V_s$  ottenuto dall'inversione della curva di dispersione della velocità di fase delle onde superficiali di Rayleigh: MASW n. 2 - acquisizione n. 2.

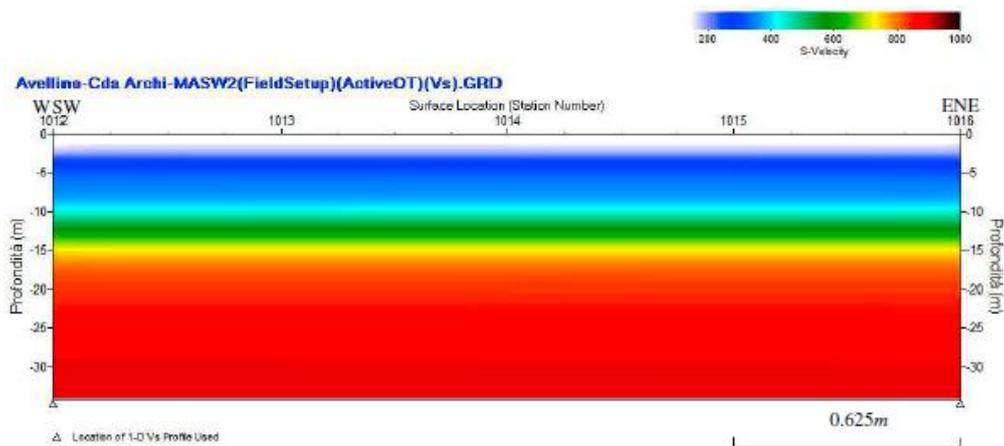


Fig. 17 – Modello sismostratigrafico 2D delle  $V_s$  ottenuto dall'indagine Sismica MASW n. 2.

Per identificare la categoria del suolo viene calcolato il parametro Vs30 secondo il seguente algoritmo:

$$V_{s30} = 30 / (\sum h_i / V_{si})$$

Con "i" variabile da 1 a n che rappresenta il numero degli strati presenti, "h" lo spessore di ciascuno degli iesimi strati e "Vs" la velocità dell'onda di taglio di tutti gli iesimi strati.

<i>Prospezione sismica</i>	<i>V<sub>s0-30</sub> (m/s)</i>	<i>V<sub>s1-31</sub> (m/s)</i>	<i>Categoria Suoli di Fondazione (D.M. 14/01/2008)</i>
<i>MASW n. 1</i>	<i>[601 ÷ 604]</i>	<i>[734 ÷ 739]</i>	<i>B</i>
<i>MASW n. 2</i>	<i>[480 ÷ 482]</i>	<i>[550 ÷ 551]</i>	<i>B</i>

Tabella 3.2.II – *Categorie di sottosuolo*

<b>Categoria</b>	<b>Descrizione</b>
<b>A</b>	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di V<sub>s,30</sub> superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.</i>
<b>B</b>	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V<sub>s,30</sub> compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero N<sub>SPT,30</sub> &gt; 50 nei terreni a grana grossa e c<sub>u,30</sub> &gt; 250 kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>C</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V<sub>s,30</sub> compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 &lt; N<sub>SPT,30</sub> &lt; 50 nei terreni a grana grossa e 70 &lt; c<sub>u,30</sub> &lt; 250 kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>D</b>	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V<sub>s,30</sub> inferiori a 180 m/s (ovvero N<sub>SPT,30</sub> &lt; 15 nei terreni a grana grossa e c<sub>u,30</sub> &lt; 70 kPa nei terreni a grana fina).</i>
<b>E</b>	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con V<sub>s</sub> &gt; 800 m/s).</i>

In definitiva, le prospezioni geofisiche hanno permesso di stabilire quanto segue:

**Categoria di suolo di fondazione B** = *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di VS30 compresi tra 360m/s e 800m/s (ovvero NSPT.30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu30 > 250kPa nei terreni a grana fina).*

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

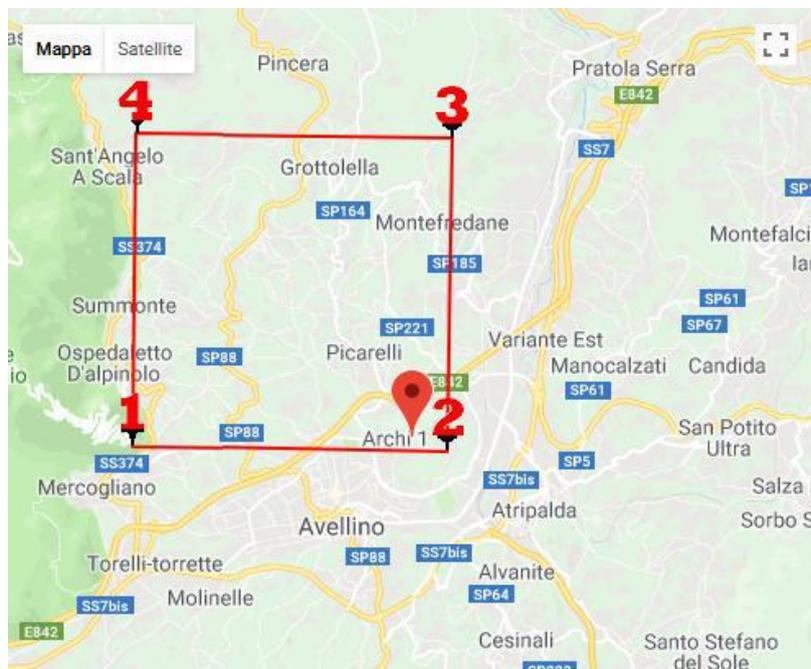
## 4. Valutazione dell'azione sismica

L'azione sismica è stata valutata in conformità alle indicazioni riportate al capitolo 3.2 del D.M. 14 gennaio 2008 "Norme tecniche per le Costruzioni".

I parametri d'interesse ingegneristico vengono determinati in funzione di:

- Categoria di suolo **B**
- Categoria topografica **T1**
- Vita nominale della costruzione - **VN = 50 anni**
- Coefficiente d'uso della costruzione - **CU = III**

Latitudine	Longitudine
[°]	[°]
40.928202	14.805399



Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]
Operatività (SLO)	45	0.068	2.316	0.303
Danno (SLD)	75	0.089	2.322	0.325
Salvaguardia vita (SLV)	712	0.237	2.397	0.373
Prevenzione collasso (SLC)	1462	0.300	2.454	0.391
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	75			

---

## **Parametri Sismici – Opere di sostegno (muri)**

### **Combinazioni SLU**

Accelerazione al suolo $a_g$	2.25 [m/s <sup>2</sup> ]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.18
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione ( $\beta_m$ )	0.31
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 8.40$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 4.20$

### **Combinazioni SLE**

Accelerazione al suolo $a_g$	0.85 [m/s <sup>2</sup> ]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S)	1.20
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione ( $\beta_m$ )	0.18
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)	$k_h=(a_g/g*\beta_m*St*S) = 1.88$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v=0.50 * k_h = 0.94$

## **5. Materiali strutturali**

Nei successivi paragrafi si descrivono le qualità e le caratteristiche dei materiali strutturali da utilizzare per la realizzazione delle opere in progetto. Tutti i materiali e i prodotti per uso strutturale devono essere prodotti e forniti secondo le modalità indicate nel capitolo 11 delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" approvate con D.M. 14 gennaio 2008 e nel rispetto delle normative vigenti.

Il progetto inerente ai "**Lavori di riqualificazione della strada comunale Archi-Fontanatetta completamento**", sulla base dell'orografia della zona e di specifiche predisposizioni, prevede la realizzazione di muri di contenimento in c.a. in diversi tratti dell'asse viario.

Si individuano tre tipologie di muri, suddivise per altezze dei paramenti , in particolare:

- Muro tipo 1: altezza del paramento pari a 1.8 m, dalla sezione 1 fino in prossimità della sezione 6;
- Muro tipo 2: altezza del paramento fino a 3 m, dalla sezione 22 fino in prossimità della sezione 34;
- Muro tipo 3 (sottoscarpa): altezza del paramento pari a 2.2 m, tra le sezioni 16 e 18.

### **5.1 Calcestruzzo armato – Muri di contenimento**

I muri di contenimento vengono realizzati in calcestruzzo armato.

#### **Calcestruzzo**

In sede di progettazione si assumono i seguenti valori nominali delle proprietà del calcestruzzo:

- Classe di consistenza: S4;
- Classe di esposizione: XC2;
- Massimo rapporto A/C: 0.6;
- Minimo contenuto in cemento: 300 kg/mc;
- Dimensione massima dell'aggregato: 20 mm;
- Classe di resistenza: C25/30;
- Resistenza a compressione:  $R_{ck} = 30$  N/mm<sup>2</sup>;

Il calcestruzzo va prodotto in regime di controllo di qualità, con lo scopo di garantire che rispetti le prescrizioni definite in sede di progetto.

### **Acciaio per barre di armatura**

Per le armature delle strutture in c.a. è previsto l'impiego di acciaio B450C controllato in stabilimento, sotto forma di barre ad aderenza migliorata, aventi le caratteristiche meccaniche e tecnologiche richieste dalla normativa. I requisiti sono di seguito riportati:

<b>Tensioni nominali di rottura e snervamento</b>	
$f_{y,nom}$	450 N/mm <sup>2</sup>
$f_{t,nom}$	540 N/mm <sup>2</sup>

<b>CARATTERISTICHE</b>	<b>REQUISITI</b>	<b>FRATTILE (%)</b>
Tensione caratteristica di snervamento $f_{yk}$		5
Tensione caratteristica di rottura $f_{tk}$		5
$(f_t/f_y)_k$	$\geq 1.15$	10
	$< 1.35$	
$(f_y/f_{ynom})_k$	$\leq 1.25$	10
Allungamento $(A_{gt})_k$	$\geq 7.5 \%$	10
Diametro del mandrino per prove di piegamento a 90° e successivo raddrizzamento senza cricche		
$\phi < 12 \text{ mm}$	4 $\phi$	
$12 \leq \phi \leq 16 \text{ mm}$	5 $\phi$	
$16 < \phi \leq 25 \text{ mm}$	8 $\phi$	
$25 < \phi \leq 40 \text{ mm}$	10 $\phi$	