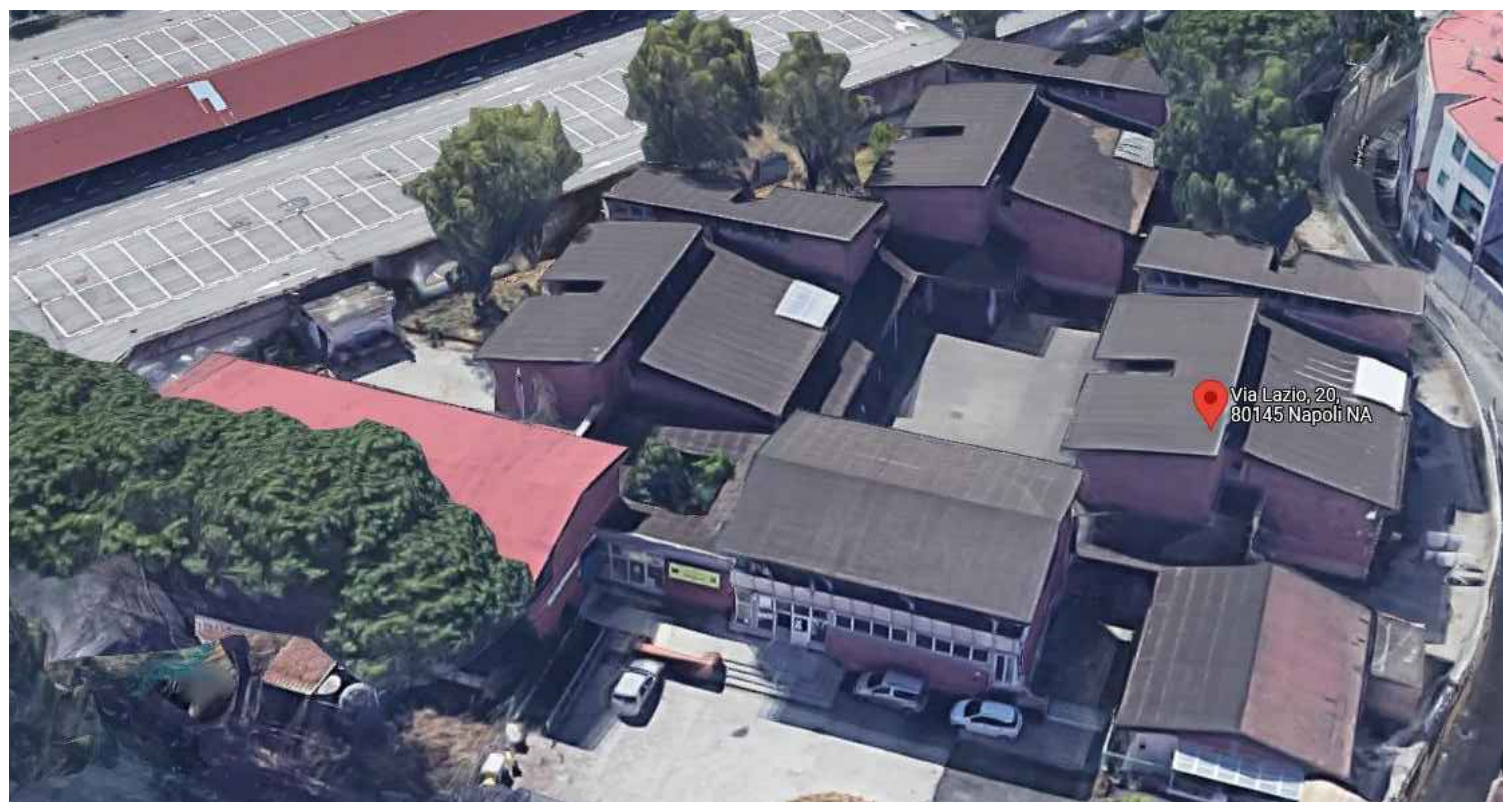


## PIANO NAZIONALE DI RIPRESA E RESILIENZA MISSIONE 4: ISTRUZIONE E RICERCA

Componente 1 – Potenziamento dell'offerta dei servizi di istruzione: dagli asili nido alle Università - Investimento 3.3 “Piano di messa in sicurezza e riqualificazione delle scuole”



## PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICA ED ECONOMICA

*Adeguamento Sismico ed Efficiamento energetico  
dell'I.C. 82 S. D'Acquisto (ex Rosa Taddei) - (Cod. Ares 0630491376)*

Responsabile del Procedimento:

**Arch. Alfonso Ghezzi**

Progettisti:

**Ing. Marianna Vanacore  
Arch. Laura Bellino**

TAVOLA:

**Al.0C**

Descrizione elaborato:

**Allegato C\_Fase2\_RGEOL-T\_01-Relazione geologica e geotecnica**

Scala:

Data:

**MARZO 2022**



## COMUNE DI NAPOLI

Procedura aperta per l'affidamento di servizi professionali finalizzati alle verifiche di vulnerabilità sismica di n. 333 edifici scolastici di proprietà comunale ubicati nel territorio delle dieci municipalità

VII Municipalità

Lotto 7

CIG: B65I17000050001

CUP: 7882655CAD



**I.C. C.D. D'ACQUISTO**  
**Plesso ex Rosa Taddei**  
**Via Lazio 20, Miano**  
**Codice scheda: 7.07.178**

### RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

► **CODICE: 7.07.178** ► **ELABORATO: FASE 2\_RGEOL-T\_01** ► **DATA: 31/01/22** ► **REV: [0]**  
► **OGGETTO: RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

#### ► RTP

##### Capogruppo e coordinatore scientifico:

Ing. Fabio Neri (PROGEN srl)

##### Professionisti responsabili strutturali e della calcolo delle strutture:

Ing. Marco Muratore (TECHNOSIDE srl)  
Ing. Placido Impollonia (PLANIR srl)

##### Professionista responsabile delle attività di predisposizione della relazione geologica:

Geol. Sergio Dolfin

##### Professionisti collaboratori tecnici:

Ing. Filippo Di Mauro (TECHNOSIDE srl)  
Ing. Antonio Principato Trosso (PROGEN srl)

##### Professionisti responsabili della fase dell'esecuzione delle indagini strutturali:

Ing. Andrea De Maio  
Ing. Pierluca Lombardo (TECHNOSIDE srl)

##### Esecuzione indagini strutturali geognostiche:

Ing. Massimiliano Rinaldi (PROGEN srl)  
Ing. Salvatore Ognibene (L&R srl)  
Dott. Filippo Furia (Consorzio LR Laboratori Riuniti)  
Ing. Salvatore Caruso (L&R srl)  
Geol. Sergio Dolfin

##### Professionista responsabile dell'attuazione degli interventi sugli edifici sottoposti a tutela:

Arch. Mario La Guzza (PROGEN srl)

##### Indagini per analisi storico-critica su edifici (inclusi quelli sottoposti a tutela):

Arch. Concetta Borgia (PLANIR srl)

##### Gestione informativa del servizio:

Arch. Annamaria Ciabatta (PLANIR srl)

#### ► STAZIONE APPALTANTE

##### D.E.C.

Ing. Marianna Vanacore

##### R.U.P.

Arch. Alfonso Ghezzi

**I.C. 82 C.D. D'Acquisto**  
**Plesso ex Rosa Taddei**  
**Via Lazio 20, Miano**  
**Codice scheda: 7.07.178**

## **RELAZIONE GEOLOGICA**

### **Indice**

<b>1. PREMESSE .....</b>	<b>4</b>
<b>2. UBICAZIONE DELL'AREA IN ESAME .....</b>	<b>5</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE - GEOMORFOLOGICO.....</b>	<b>5</b>
<b>4. CONDIZIONI GEOLOGICHE LOCALI.....</b>	<b>6</b>
<b>5. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA.....</b>	<b>7</b>
<b>6. COMPORTAMENTO MECCANICO DEI TERRENI.....</b>	<b>8</b>
<b>7. VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE SISMICO DI PROGETTO.....</b>	<b>10</b>
<b>8. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA .....</b>	<b>12</b>
<b>9. ANALISI SISMICA DEL SITO.....</b>	<b>15</b>
<b>10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....</b>	<b>27</b>

## 1. PREMESSE

In riferimento alla Procedura aperta per l'affidamento di servizi professionali finalizzati alle verifiche di vulnerabilità sismica di n.333 edifici scolastici di proprietà comunale ubicati nel territorio delle 10 municipalità, nella presente relazione si espongono i risultati di uno studio geomorfologico e geologico — tecnico a supporto del progetto in argomento che prevede la verifica della vulnerabilità sismica dell'edificio sede del Plesso ex Rosa Taddei I.C. 82 C.D. D'Acquisto sito in Via Lazio 20, Miano – Napoli.

Preliminarmente è stata svolta un'accurata ricerca bibliografica al fine di reperire eventuali campagne di indagini effettuate nell'area di interesse progettuale, poiché tale ricerca ha dato esito negativo, al fine di ottemperare alla normativa sismica vigente ed in particolare alle NTC 2018, è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche e geofisiche che ha consentito, tra le altre cose, di caratterizzare meccanicamente i terreni di sedime e di determinare la categoria sismica del sottosuolo.

L'indagine di campagna si è svolta con i metodi tradizionali del rilevamento geologico e geomorfologico di superficie, il quale è stato opportunamente esteso alle aree circostanti.

Sono state, quindi, realizzate le seguenti indagini:

- N.1 Prove sismiche Active MASW (multichannel analysis of surface waves);
- N.1 Tomografie sismiche 2D;
- N.1 Prove di sismica passiva (HVSr);

Tutti gli accertamenti sono stati effettuati nel rispetto delle "Norme tecniche" contenute nel D.M. 11.3.88 e successive modifiche ed integrazioni, in conformità al D.M. 14/01/2008, in particolare ai sensi del paragrafo 6.2.1 *"la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio"* ed in ottemperanza a quanto prescritto dalla vigente normativa sismica D.M. 17/01/2018 (NTC 2018).

Il lavoro svolto si è articolato come segue:

- ✓ raccolta dei dati bibliografici;



- ✓ inquadramento geologico generale e geomorfologico di stabilità globale del sito;
- ✓ definizione delle condizioni geolitologiche locali;
- ✓ caratterizzazione idrogeologica e fisico - meccanica dei terreni di interesse;
- ✓ comportamento meccanico dei terreni;
- ✓ valutazione delle caratteristiche sismiche dei terreni indagati;
- ✓ determinazione della risposta sismica locale;
- ✓ considerazioni geologico - tecniche conclusive.

Si allegano alla presente:

- Aerofotogrammetria, in scala 1:5.000;
- Ortofoto, in scala 1:5.000;
- Carta Geologica, in scala 1:5.000;
- Stralci PAI vigente, in scala 1:5.000;
- Relazione Indagini;
- Carta Ubicazione Indagini;
- Documentazione Fotografica.

## **2. UBICAZIONE DELL'AREA IN ESAME**

L'area in studio è ubicata nel popoloso quartiere di Miano, Via Lazio 20, un'area densamente urbanizzata, alle coordinate Latitudine 40°53'14.34"N e Longitudine 14°15'12.98"E (riferite all'ellissoide WGS 84). Per i riferimenti topografici rientra nella tavoletta I.G.M.I., 184 - I - SO "Napoli" della Carta d'Italia edita dall'I.G.M..

## **3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE - GEOMORFOLOGICO**

Il territorio comunale di Napoli si sviluppa all'interno di una regione vulcanica costituita ad Ovest dai Campi Flegrei e ad Est dal complesso vulcanico del Somma – Vesuvio.

L'attività dei Campi Flegrei, il cui inizio risale alla fine del Pliocene, viene generalmente suddivisa in 4 cicli (De Lorenzo 1904; Rosi et al. 1983; Di Girolamo et al. 1984):

- Prodotti precedenti l' eruzione dell' Ignimbrite Campana (circa 35.000 anni fa) è caratterizzato da attività subaerea;
- Depositi dell' Ignimbrite Campana (da 35.000 a 30.000 anni fa) e della formazione Piperno-Breccia Museo;
- Prodotti dei Tufi Biancastri, dei Tufi Antichi (18.000 -15.000 anni fa) e del Tufo Giallo Napoletano (12.000 anni fa) dopo questa fase si ha l'individuazione della Caldera Flegrea con la formazione di alti morfologici (Collina del Camaldoli);
- Piroclastiti e tufi di vulcani monogenici Flegrei da 10.000 anni fa all' eruzione del Monte Nuovo avvenuta nel 1538.

Da un punto di vista morfologico il sito di progetto si colloca alla quota topografica di circa 116 m. s.l.m., in un'area sub-pianeggiante. La categoria topografica, secondo la vigente normativa, è **T1**.

Questa piana è in realtà un altopiano che funge da raccordo fra la collina del Camaldoli e la retrostante Piana Campana.

La piana ha una brusca rottura di pendenza verso sud, Mianella, conflueno nel cavone di Miano che funge da separazione con la collina di Capodimonte.

La zona di progetto non è classificata a rischio geomorfologico e a rischio idraulico nel vigente P.A.I.; non sono presenti evidenze di processi morfogenetici generalizzati e profondi in atto e gli edifici esistenti nell'area di interesse non presentano lesioni imputabili a cedimenti differenziali del terreno.

#### **4. CONDIZIONI GEOLOGICHE LOCALI**

Nell'area di interesse progettuale, come visibile nella carta Geologica allegata; affiora il **“Subsintema di Contrada Romano”**: successione di depositi prevalentemente cineritici finemente stratificati con intercalati livelli di lapilli pomicei da caduta. I depositi poggiano su di uno spesso paleosuolo ocraceo ampiamente diffuso sia nei settori interni che esterni alla caldera flegrea, nelle aree circostanti, fino ai contrafforti appenninici o, a luoghi, su depositi marini.

## 5. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA

La regione vesuviana usufruisce di una discreta quantità di piogge, corrispondenti a 845 mm a Torre del Greco, a 1058 mm a Portici ed a 960 mm all'Osservatorio Vesuviano. La quantità assoluta delle piogge é però probabilmente inferiore sul versante del Somma, sul quale l'influenza delle correnti aeree umide meridionali giunge già attenuata. Oltre i due terzi di tali precipitazioni sono concentrate nel semestre autunno-inverno, il resto cade prevalentemente in primavera; i mesi estivi risultano, quindi, molto secchi. Per quanto concerne l'Intensità delle piogge si osserva che sono assai frequenti, specie in primavera, rovesci temporaleschi i quali provocano piene improvvise dei canali e trascinano verso il piano cospicue quantità di fango e detriti. Le precipitazioni nevose assumono Importanza relativa, limitata e da carattere estremamente temporaneo solo nelle zone ipsometricamente più elevate e talvolta si spingono fino all'altezza di 300-400 m s.l.m.

Per quanto riguarda la permeabilità e le caratteristiche idrogeologiche i terreni possono essere suddivisi in:

- ✓ Terreni permeabili per porosità e fratturazione. sono rappresentati dal complesso delle lave, cui appartengono le formazioni laviche e scoriaceo-laviche ad elevato grado di permeabilità. Tale complesso è sede di falde acquifere locali che vanno in gran parte ad alimentare la falda di pianura.
- ✓ Terreni scarsamente permeabili sono rappresentati dal complesso piroclastico, con grado di permeabilità generalmente basso, funzione della granulometria. Infatti tali materiali sciolti o pseudocoerenti, a giacitura, granulometria e grado di cementazione variabile, presentano un grado di permeabilità relativo molto diverso a seconda che si tratti di materiali a matrice cineritica prevalente (permeabilità per porosità bassissima), o di livelli, banchi, tasche e lenti di pomici, scorie, lapilli, sabbie e brecce laviche (permeabilità per porosità elevata).

L'alternanza di litotipi aventi grado di permeabilità medio-alto con altri a permeabilità scarsa fa sì che, nell'unità idrogeologica, la circolazione idrica sotterranea avvenga per falde sovrapposte e, quando le modalità di deposizione dei prodotti piroclastici e lavici lo consentono, tra loro interconnesse.

I terreni di diretto interesse, presentano una permeabilità primaria bassa in corrispondenza della frazione cineritica addensata con un coefficiente di permeabilità K compreso tra  $10^{-5}$  e  $10^{-6}$  cm/sec,

mentre gli strati costituiti da depositi cineritici meno addensati hanno una permeabilità primaria media con un coefficiente di permeabilità  $K$  compreso tra  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$  cm/sec.

In considerazione della permeabilità della formazione affiorante, si potrebbe ipotizzare che la profondità della falda idrica sia tale da non avere influenza ai fini geotecnici, tuttavia i livelli cineritici più addensati, potrebbero limitare la circolazione idrica verticale portando alla formazione di vere e proprie falde sospese con livelli fluttuanti in relazione alla stagionalità.

## 6. COMPORTAMENTO MECCANICO DEI TERRENI

Per la definizione dei parametri geotecnici dei terreni indagati sono stati utilizzati i dati di indagini geognostiche eseguite dallo scrivente in aree limitrofe all'area di interesse progettuale e sui medesimi litotipi, in particolare sono stati utilizzati i dati ottenuti dall'elaborazione di due prove penetrometriche dinamiche leggere continue.

Le indagini in sito sono state condotte mediante l'utilizzo di un penetrometro dinamico di tipo italiano SUNDA DL030 avente le seguenti caratteristiche tecniche:

A – maglio a caduta libera Kg 30;

B – aste di acciaio speciale  $\varnothing = 20$  mm,  $L = 100$  cm,  $P = 2.4$  Kg;

C – punta conica a perdere  $\varnothing = 35.6$  mm,  $\beta = 60^\circ$ ,  $A = 10$  cm<sup>2</sup>;

D – altezza di caduta libera del maglio 20 cm costanti.

La prova è consistita nel misurare il numero di colpi necessari per l'infissione dello scandaglio penetrometrico per tratti continui di 10 cm.

I risultati di dette indagini sono riportati negli allegati diagrammi d'avanzamento nei quali si rappresentano in ascisse il numero di colpi, mentre nelle ordinate le profondità relative.

La caratterizzazione fisico meccanica dei terreni di sedime scaturisce dall'analisi dei diagrammi d'avanzamento delle prove penetrometriche ponendo:

$$N(10) \text{ DL030} = N(30) \text{ SPT}$$

ossia confrontando, a vantaggio della sicurezza, i valori del numero medio di colpi ricavati con le prove anzidette con i valori medi di prove penetrometriche dinamiche in foro di tipo discontinuo effettuate dallo



scrivente, secondo le modalità dello S.P.T. (Standard Penetration Test), su terreni di analoga composizione.

Una valutazione del grado di addensamento medio può essere effettuata ricorrendo alla relazione proposta da Mayerhof (1957), basata sui dati sperimentali di Gibbs e Holtz (1957), che fornisce il valore "stimato" della densità relativa:

$$Dr = 21 \sqrt{N_{SPT} / \sigma' v_0 + 0,7}$$

La resistenza all'infissione dello scandaglio penetrometrico varia in funzione di diversi fattori fra essi concomitanti quali la pressione litostatica efficace, la densità relativa, la presenza d'acqua, la dimensione dei grani.

La profondità della prova influenza il valore di N ottenuto, in quanto al variare della profondità varia la tensione litostatica efficace ( $\sigma' v_0 = \gamma \times h$ ).

A tal proposito Gibbs ed Holtz (1957), introducono un fattore di correzione " $C_n$ ", ricavabile dall'espressione:

$$C_n = 0.77 \log 20/\sigma' v_0$$

al fine di riportare tutti i valori ottenuti ad una tensione litostatica di riferimento pari a 1 Kg/cm<sup>2</sup>.

In presenza dell'acqua, nell'ambito dei materiali incoerenti, il numero N colpi diminuisce. Terzaghi e Peck (1948) ottengono, per le sabbie fini, il valore di N sotto la falda dalla relazione:

$$N_w = 15 + 0.5(N_{SPT} - 15)$$

essendo N il numero di colpi sopra la falda, formula che tiene conto che parte dell'energia di infissione si dissipa in pressione interstiziale.

L'angolo di attrito interno si ottiene utilizzando la seguente formula empirica introdotta dalla Road Bridge Specification:

$$\phi' = \sqrt{N_{SPT} * 15} + 15$$

I parametri geomeccanici che caratterizzano i terreni di interesse progettuale, definiti sulla base dei dati ottenuti dall'elaborazione dei risultati delle prove dirette effettuate dallo scrivente in aree limitrofe e sui

medesimi litotipi (prove penetrometriche dinamiche leggere continue), nonché dal raffronto con quanto presente in un'ampia letteratura specializzata, sono i seguenti:

TIPO DI TERRENO	Angolo di attrito interno - $\phi'$ (°)	Peso di volume $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Coesione drenata $c'$ (t/m <sup>2</sup> )
Depositi cineritici	28°	1.70	0

La coesione si trascura a vantaggio della sicurezza.

## 7. VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE SISMICO DI PROGETTO

La nuova normativa tecnica sulle costruzioni in zona sismica (D.M. 17/01/2018) individua, ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, le seguenti categorie di profili stratigrafici del suolo di fondazione: A, B, C, D ed E.

Questi profili si riferiscono rispettivamente:

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.

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

C - 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.

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

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

Nelle definizioni precedenti  $V_{s,eq}$  è la velocità equivalente di propagazione entro delle onde di taglio, definita dall'espressione:

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

In cui:

$h_i$  = spessore dell'i-esimo strato;

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

N = numero di strati;

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

Per qualsiasi condizione di sottosuolo non classificabile nelle categorie precedenti, è necessario predisporre specifiche analisi di risposta locale per la definizione delle azioni sismiche.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale.

Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione:

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

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

## 8. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Lo spettro di risposta elastico della componente orizzontale è definito dalle seguenti espressioni:

$$\begin{aligned} 0 \leq T < T_B & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[ \frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left( 1 - \frac{T}{T_B} \right) \right] \\ T_B \leq T < T_C & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \\ T_C \leq T < T_D & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C}{T} \right) \\ T_D \leq T & S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left( \frac{T_C T_D}{T^2} \right) \end{aligned}$$

Dove:

$\eta$  = fattore che altera lo spettro elastico;

$S$  = coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la seguente relazione:  $S = S_s \cdot S_T$  Essendo  $S_s$  il coefficiente di amplificazione stratigrafica e  $S_T$  il coefficiente di amplificazione topografica.

$F_0$  = fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima;

$T_C$  = periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro;

$T_B$  = periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante;

$T_D$  = periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro;

$T$  ed  $S_e$  sono rispettivamente periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale.

Categoria sottosuolo	$S_s$	$C_c$
<b>A</b>	1,00	1,00
<b>B</b>	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
<b>C</b>	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
<b>D</b>	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
<b>E</b>	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

*Espressioni di  $S_s$  e  $C_c$*



Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	$S_T$
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

*Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$*

Lo spettro di risposta elastico della componente verticale è definito dalle seguenti espressioni:

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

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

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

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

Dove  $T$  e  $S_{ve}$  sono rispettivamente periodo di vibrazione ed accelerazione verticale  $F_v$  è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima in termini di accelerazione massima del terreno  $a_g$  su un sito di riferimento rigido orizzontale.

Inoltre i valori di  $S_s, T_B, T_C$  e  $T_D$  sono quelli riportati nella seguente tabella:

Categoria sottosuolo	$S_s$	$T_B$	$T_C$	$T_D$
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

*Valori dei parametri dello spettro di risposta elastico della componente verticale*

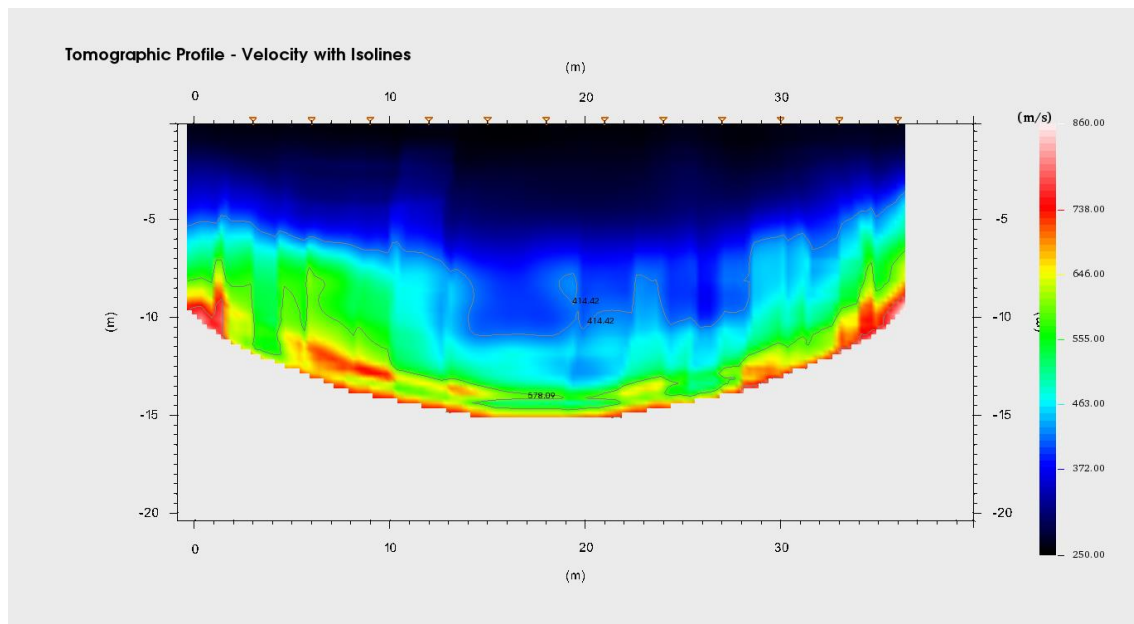
Dai risultati delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite nell'area di sedime, in accordo con quanto riportato in bibliografia i terreni indagati, costituiti da **“Depositi cineritici stratificati afferenti al Subsistema di Contrada Romano”**, sono riconducibili alla **classe C** *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s, avendo misurato la seguente velocità equivalente:

Masw1 :  $V_{seq}$  pari a **246 m/sec.**

Sono state, inoltre, acquisite n.1 misura di sismica a rifrazione con interpretazione tomografica e n.1 prova sismica passiva HVSR.

Il profilo tomografico ottenuto riporta velocità compatibili con la litologia affiorante rappresentata da depositi cineritici.

Si riportano a seguire il profilo sismico ottenuto dalla tomografia ed i risultati dalla prova di sismica passiva HVSR:

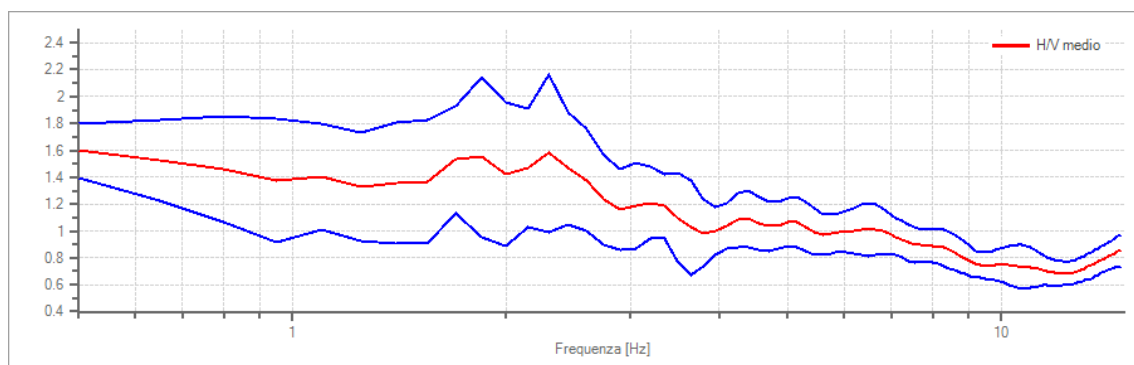


Tomo1

#### Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 0.50 Hz  $\pm 0.13$  Hz

Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

## 9. ANALISI SISMICA DEL SITO

### 9.1 Inquadramento

Le elaborazioni dei dati storici dei terremoti verificatisi in passato, condotte dall'I.N.G.V. (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), ha permesso la creazione di un database relativo alle intensità macrosismiche risentite nei diversi comuni italiani.

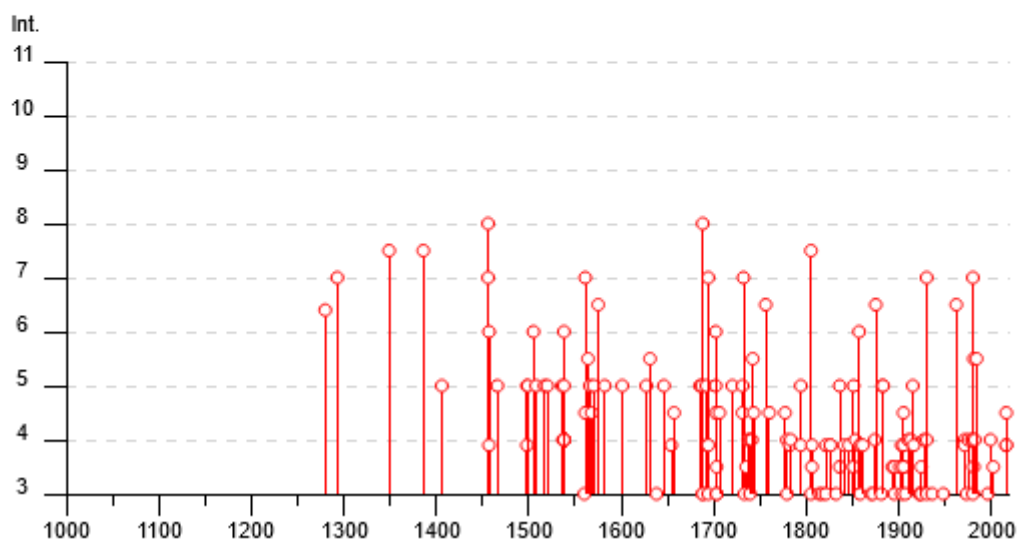
Nella tabella seguente è riassunta la storia sismica di Napoli (I.N.G.V. – Database Macrosismico Italiano 2015 – DBMI15); in essa sono riportati (su 183 osservazioni disponibili) i principali terremoti cui è stato sottoposto il territorio del Comune di Napoli.

Il numero di eventi sismici per classi d'intensità, rilevati nell'area, coperto dal Database Macrosismico Italiano DBMI dell'INGV, è visibile nella seguente immagine:

### Napoli






































PlaceID	IT_60182
Coordinate (lat, lon)	40.849, 14.250
Comune (ISTAT 2015)	Napoli
Provincia	Napoli
Regione	Campania
Numero di eventi riportati	183






































Effetti	In occasione del terremoto del								
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDF	Io Mw
D	1280						Napoli	1	
7	1293	09	04				Sannio-Matese	6	8-9 5.80
7-8	1349	09	09				Lazio-Molise	24	10 6.80
7-8	1386	03	17				Napoli	1	7-8 3.75
5	1406	09	16				Napoli	1	5 3.12
8	1456	12	05				Appennino centro-meridionale	199	11 7.19
7	1456	12	30	08	20		Appennino centro-meridionale	2	
6	1457	01	08				Napoli	1	6 3.37
F	1457	02	10				Capua	2	5-6 4.40
5	1466	01	15	02	25		Irpinia-Basilicata	31	8-9 5.98
5	1498	10	07				Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	5-6 3.25
F	1498	10	20				Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	7 3.63
5	1499	03	18	01	45		Napoli	1	5 3.12
6	1505	05	18	08	55		Campi Flegrei (Agnano)	3	7-8 3.75
5	1508	07	19	08	55		Napoli	1	5 3.12
5	1517	03	29	19			Irpinia	3	7-8 5.33
5	1520	01	28	23	50		Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	6-7 3.50
5	1536	08	07				Napoli	1	5 3.12
4	1537	02	14				Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	6-7 3.50
6	1538	04	20				Campi Flegrei	1	5-6 3.25
4	1538	09	20				Campi Flegrei (Pozzuoli)	3	5-6 3.25
4	1538	09	22				Campi Flegrei (Pozzuoli)	3	5-6 3.25
4	1538	09	23				Campi Flegrei (Pozzuoli)	3	5-6 3.25
4	1538	09	24				Campi Flegrei (Pozzuoli)	3	5-6 3.25
4	1538	09	25				Campi Flegrei (Pozzuoli)	3	5-6 3.25
4	1538	09	26				Campi Flegrei (Pozzuoli)	3	5-6 3.25
4	1538	09	27				Campi Flegrei (Pozzuoli)	3	5-6 3.25
4	1538	09	28	06	00		Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	5-6 3.25
4	1538	09	28	17	30		Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	5-6 3.25
4	1538	09	29	11	00		Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	5-6 3.25
5	1538	09	29	18	30		Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	8 3.88
3	1560	05	11	04	40		Costa pugliese centrale	7	8 5.66
7	1561	07	31	20	10		Penisola sorrentina	5	8 5.56
4-5	1561	08	19	13	50		Vallo di Diano	32	10 6.72
5-6	1564	07					Campi Flegrei	2	5 3.12
5	1566	05	06	22	45		Campi Flegrei	2	5 3.12



4-5	<a href="#">1568</a>	12 27	Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	6 3.37
5	<a href="#">1570</a>	04 30 23 06	Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	6-7 3.50
6-7	<a href="#">1575</a>	06 03 20 30	Napoli	2	5-6 3.25
5	<a href="#">1582</a>	06 03 07 08	Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	8 3.88
5	<a href="#">1601</a>	08 10	Napoli	1	5 3.12
5	<a href="#">1627</a>	07 30 10 50	Capitanata	64	10 6.66
5-6	<a href="#">1631</a>	12	Area Vesuviana	2	5-6 3.25
3	<a href="#">1638</a>	03 27 13 03	Calabria centrale	213	11 7.09
5	<a href="#">1646</a>	03 31	Gargano	35	10 6.72
F	<a href="#">1654</a>	07 24 00 25	Sorano	44	9-10 6.33
4-5	<a href="#">1657</a>	01 29 02	Capitanata	12	8-9 5.96
5	<a href="#">1685</a>	05	Penisola Sorrentina	5	5-6 4.73
5	<a href="#">1687</a>	04 23 00 30	Penisola Sorrentina	2	6 4.63
8	<a href="#">1688</a>	06 03 13 30	Sannio	215	11 7.06
3	<a href="#">1688</a>	07 23	Capitanata	3	7-8 5.33
3	<a href="#">1688</a>	08 14	Beneventano	3	6-7 4.86
5	<a href="#">1692</a>	03 04 22 20	Ispinia	9	8 5.88
F	<a href="#">1693</a>	01 08	Pollino	16	7 5.27
7	<a href="#">1694</a>	09 08 11 40	Ispinia-Basilicata	251	10 6.73
F	<a href="#">1694</a>	10 07 15	Penisola sorrentina	9	5-6 4.71
3	<a href="#">1694</a>	10 09	Avellino	2	5-6 4.40
5	<a href="#">1702</a>	03 14 04 30	Sannio-Ispinia	4	6-7 4.86
6	<a href="#">1702</a>	03 14 05	Sannio-Ispinia	37	10 6.56
4-5	<a href="#">1702</a>	04 02 06 20	Sannio-Ispinia	4	6-7 4.86
3-4	<a href="#">1703</a>	01 14 18	Valnerina	197	11 6.92
3	<a href="#">1703</a>	01 16 13 30	Appennino laziale-abruzzese	22	
3	<a href="#">1703</a>	02 02 11 05	Aquilano	69	10 6.67
4-5	<a href="#">1706</a>	11 03 13	Maiella	99	10-11 6.84
5	<a href="#">1720</a>	08 28	Casinese	2	5-6 4.35
5	<a href="#">1731</a>	03 20 03	Tavoliere delle Puglie	49	9 6.33
4-5	<a href="#">1731</a>	10 17 11	Tavoliere delle Puglie	6	6-7 4.86
7	<a href="#">1732</a>	11 29 07 40	Ispinia	183	10-11 6.75
3	<a href="#">1733</a>	05 15 00 30	Puglia	3	
3-4	<a href="#">1735</a>	01 26	Casertano	3	5 4.16

4		1737 03 31 17 20	Monti di Avella	3	7 5.10
3		1739 02 12 21 30	Tavoliere della Puglia	5	5-6 4.40
4		1739 02 27 04 20	Benevento	3	5-6 4.40
4		1741 08 06 13 30	Irpinia	8	7-8 5.44
5-6		1742 08 17	Napoli	1	5-6 3.25
4-5		1743 02 20	Ionio settentrionale	84	9 6.68
6-7		1756 10 22 14	Napoletano	5	6-7 3.50
4-5		1760 12 23	Area vesuviana	7	6-7 3.50
4-5		1777 06 06 16 15	Tirreno meridionale	9	
4		1779 10 01 00 45	Napoletano	3	6 3.37
3		1779 12 12	Napoletano	5	6 3.37
F		1782 01 11	Benevento	2	5 4.16
NF		1783 02 05 12	Calabria meridionale	356	11 7.10
4		1783 03 28 18 55	Calabria centrale	323	11 7.03
5		1794 06 12 22 30	Irpinia	16	7 5.26
F		1794 06 15	Area vesuviana	3	4 2.87
7-8		1805 07 26 21	Molise	220	10 6.68
3		1805 10 13 22	Pianura Campana	3	7 5.10
F		1806 07 21 09	Casertano	5	5-6 4.40
3-4		1806 08 26 07 35	Colli Albani	35	8 5.61
3		1814 11 25	Beneventano	2	5-6 4.40
3		1817 04 17	Potentino	7	4-5 3.97
F		1821 08 02	Calabria centrale	3	7 5.10
3		1821 11 22 01 15	Costa molisana	9	7-8 5.59
F		1826 02 01 16	Potentino	18	8 5.74
F		1826 10 26 18	Salento	7	6-7 5.22
NF		1828 02 02 09 15	Isola d'Ischia	10	8-9 4.01
3		1832 03 08 18 30	Crotonese	99	10 6.65
3-4		1836 04 25 00 20	Calabria settentrionale	44	9 6.18
5		1836 11 20 07 30	Appennino lucano	17	8 5.86
F		1841 02 21	Gargano	13	6-7 5.17
F		1846 08 08	Potentino	13	6-7 5.18
5		1851 08 14 13 20	Vulture	103	10 6.52
3-4		1851 08 14 14 40	Vulture	10	7-8 5.48
4		1853 04 09 12 45	Irpinia	47	8 5.60

2		1854 02 12 17 50	Cosentino	89	10 6.34
6		1857 12 16 21 13	Basilicata	340	11 7.12
F		1858 03 07 14	Campania meridionale	9	7-8 5.39
F		1858 03 07 19	Vibonati	3	4 3.70
3		1858 05 24 09 20	Tavoliere della Puglia	13	4-5 4.35
F		1861 12 09	Torre del Greco	3	5-6 3.25
2		1867 08 15 23 30	Isola d'Ischia	2	4-5 2.99
3		1870 10 04 16 55	Cosentino	54	9-10 6.24
3		1872 10 08 13 25	Cosentino	6	5 4.72
2		1873 03 12 20 04	Appennino marchigiano	196	8 5.85
2-3		1873 07 12 06 06	Val Comino	61	7-8 5.38
4		1874 12 06 15 50	Val Comino	43	7-8 5.48
NF		1875 03 17 23 51	Costa romagnola	144	8 5.74
6-7		1875 12 06	Gargano	97	8 5.86
NF		1880 07 24 05 40	Isola di Ventotene	5	6 4.63
NF		1881 03 04 12 15	Isola d'Ischia	17	9 4.14
3		1881 09 10 07	Chietino	43	7-8 5.41
5		1882 06 06 05 40	Isarnino	50	7 5.20
5		1883 07 28 20 25	Isola d'Ischia	27	9-10 4.26
2		1885 09 17 09 35	Benevento	22	5 4.26
2		1885 12 26 02	Molise	28	5-6 4.66
NF		1887 12 03 03 45	Calabria settentrionale	142	8 5.55
2		1889 12 08	Gargano	122	7 5.47
3-4		1893 01 25	Valle di Diano	134	7 5.15
3-4		1895 02 01 07 24 35	Monti del Partenio	40	5 4.29
3		1895 08 09 17 38 20	Adriatico centrale	103	6 5.11
3-4		1901 07 31 10 38 30	Sorano	76	7 5.16
F		1903 05 04 03 44	Valle Caudina	78	7 4.69
3		1903 12 07 05 58	Beneventano	9	4-5 4.14
4-5		1905 03 14 19 16	Avellinese	94	6-7 4.90
F		1905 08 25 20 41	Valle Peligna	29	6 5.15
3-4		1905 09 08 01 43	Calabria centrale	895	10-11 6.95
3-4		1905 11 26	Irpinia	122	7-8 5.18
3		1907 12 18 19 21	Monti Picentini	35	5-6 4.32
2		1908 12 28 04 20 27	Stretto di Messina	772	11 7.10












































4		1910 06 07 02 04	Irpinia-Basilicata	376	8	5.76
4		1913 10 04 18 26	Molise	205	7-8	5.35
5		1915 01 13 06 52 43	Marsica	1041	11	7.08
NF		1915 09 23 18 07	Marsica	18	6	5.07
F		1916 07 03 23 21	Isola di Stromboli	18	5-6	4.66
2-3		1919 10 22 06 10	Anzio	142	6-7	5.22
3		1922 12 29 12 22 06	Val Roveto	119	6-7	5.24
3		1923 11 08 12 28	Appennino campano-lucano	28	6	4.73
3		1924 03 26 20 50	Sannio	12	4	4.06
3-4		1924 05 09 05 48	Irpinia	8	4	4.71
2		1925 09 24 13 33 46	Molise occidentale	50	7	5.26
4		1927 05 25 02 50	Sannio	54	6	4.98
NF		1927 12 26 15 06 14	Colli Albani	38	7	4.89
4		1930 04 27 01 46	Salernitano	26	7	4.98
7		1930 07 23 00 08	Irpinia	547	10	6.67
3		1930 10 30 07 13	Sanigallia	268	8	5.83
3		1936 04 03 18 42	Valle Caudina	10	5-6	4.25
3		1948 08 18 21 12 20	Gargano	58	7-8	5.55
2		1956 09 22 03 19 39	Gargano	57	6	4.64
6-7		1962 08 21 18 19	Irpinia	562	9	6.15
NF		1967 12 09 03 09 56	Adriatico centrale	22		4.36
4		1971 05 06 03 45 05	Irpinia	68	6	4.83
F		1971 11 29 18 49 3	Alta Val d'Agrì	17	5	4.50
3		1973 08 08 14 36 26	Appennino campano-lucano	29	5-6	4.75
4		1975 06 19 10 11	Gargano	61	6	5.02
2		1977 07 24 09 55 29	Irpinia	85	5-6	4.37
2		1978 02 08 04 10 29	Irpinia	100	5-6	4.44
4		1979 09 19 21 35 37	Valnerina	694	8-9	5.83
3		1980 06 14 20 56 50	Marsica	69	5-6	4.96
7		1980 11 23 18 34 52	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
4		1980 12 03 23 54 22	Irpinia-Basilicata	11	6	4.83
3-4		1981 01 09 00 12 49	Irpinia-Basilicata	6	5-6	4.36
5-6		1981 02 14 17 27 45	Monti di Avella	85	7-8	4.88
4		1982 03 21 09 44 0	Golfo di Policastro	125	7-8	5.23
NF		1984 04 29 05 02 59	Umbria settentrionale	709	7	5.62
5-6		1984 05 07 17 50	Monti della Meta	911	8	5.86
3		1996 04 03 13 04 3	Irpinia	557	6	4.90
4		1999 10 09 05 41 0	Area vesuviana	38	5	3.24
3-4		2002 11 01 15 09 0	Molise	638	7	5.72
2		2003 06 01 15 45 1	Molise	501	5	4.44
F		2016 08 24 01 36 32	Monti della Laga	221	10	6.18
F		2016 10 26 19 18 0	Valnerina	77		6.07
4-5		2016 10 30 06 40 1	Valnerina	379		6.61

Figura 1 - eventi censiti nel Database Macrosismico Italiano DBMI dell'INGV



Il comune di Napoli viene inserito dall'INGV in una zona, con magnitudo momento massima attesa variabile intorno a **Mw = 5.67**

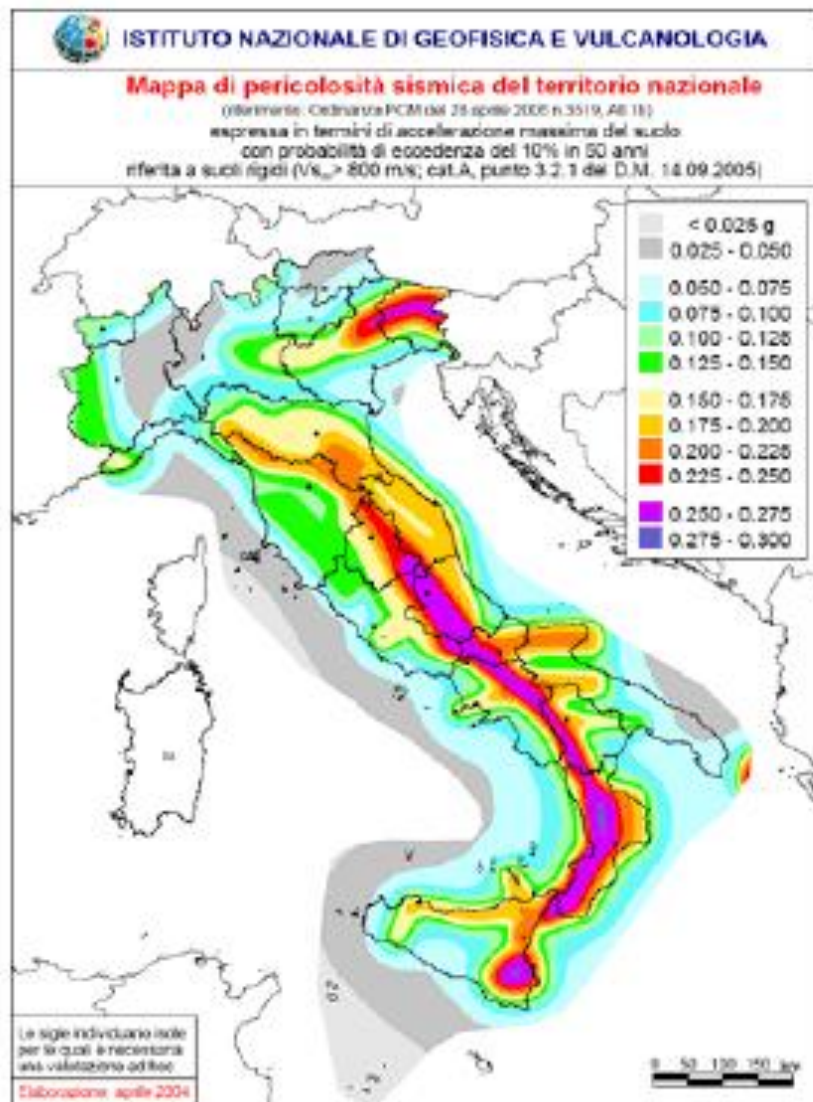
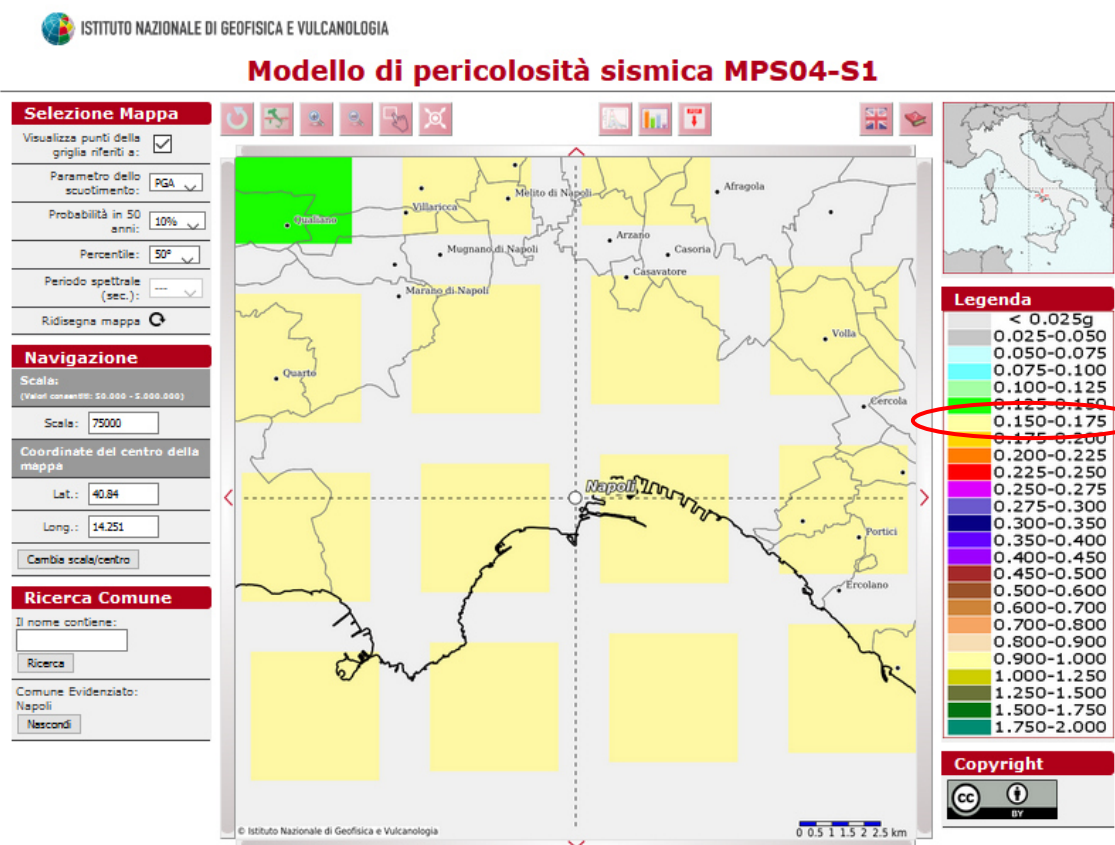


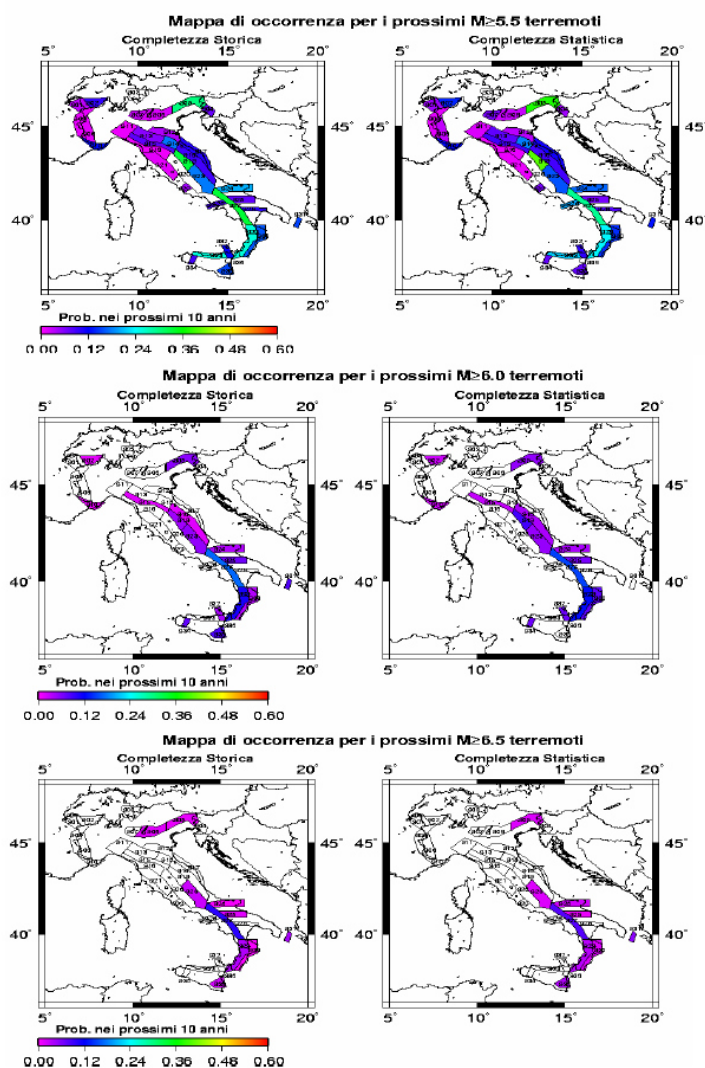
Figura 2 - Mappa della pericolosità sismica - INGV

Sempre l'INGV, nella sua 'Mappa della pericolosità sismica' (fig.2), elaborata con modello probabilistico sismotettonico, comprende il comune di Napoli in una zona con accelerazione orizzontale attesa, con valore compreso nell'intervallo **0.150-0.175 ag/g** (accelerazione su bedrock).



Il modello del clustering spazio-temporale (Faenza et al., 2003, Cinti et al., 2004), basato su analisi statistiche degli eventi storici dal 1600 al 2003, suggerisce che la probabilit  istantanea di occorrenza in ogni area   pi  elevata immediatamente dopo un evento e decresce fino a raggiungere, dopo circa 10 anni, un valore costante che rappresenta la probabilit  media di occorrenza per quella zona, che segue una legge poissoniana. Ci  significa che subito dopo un forte evento sismico nell'area interessata dall'evento stesso la probabilit  che si verifichi un altro forte evento aumenterebbe per i 10 anni circa successivi.

L'istituto INGV di Bologna (insieme all'Institute for Earth Sciences, University of Potsdam, Germany) ha pubblicato delle mappe di probabilit  di occorrenza per i prossimi 10 anni, di terremoti con  $M > 5.5$  per la completezza storica e statistica, di seguito riportate.



Le mappe con probabilità di occorrenza per eventi con  $M > 6.0$  e  $M > 6.5$  mostrano che l'Appennino meridionale ha probabilità relativamente alta, mentre non si osservano più le probabilità elevate in Appennino centrale, nel nord Italia e nell'area dello stretto di Messina. Questo riflette la diversa distribuzione dei terremoti rispetto alla magnitudo fra l'Appennino meridionale e quello centrale.

## 9.2 Risposta sismica locale ed effetti di sito

Per la progettazione e la verifica sismica delle opere d'ingegneria civile, è di fondamentale importanza la previsione delle modificazioni locali del moto sismico, degli spostamenti e delle deformazioni che possono essere indotte nel terreno dal passaggio di onde elastiche. L'esperienza maturata a scala mondiale, ha evidenziato che anche in aree circoscritte e a distanze ravvicinate, il moto del terreno, in seguito ad evento sismico, ha caratteristiche di ampiezza, frequenza e durata molto diverse con conseguenti effetti differenziati. Anche a scala nazionale è stata riscontrata una notevole varietà di

effetti indotti dall'azione sismica in relazione ai rapporti che si stabiliscono tra le caratteristiche del terremoto, le condizioni del sito e le caratteristiche strutturali dell'opera.

La causa di maggiore variabilità spaziale del moto sismico è legata ai fenomeni associati alla propagazione delle onde di taglio nella direzione verticale nei depositi di terreno. Nel passaggio dal substrato rigido (bedrock sismico) alla superficie dei depositi, per effetto delle interazioni tra onde sismiche e terreni si sviluppano fenomeni di risonanza, effetti dissipativi, di incremento e di accumulo di pressioni interstiziali, decadimento della rigidezza e della resistenza, che sono tanto più rilevanti quanto maggiore è lo spessore del deposito.

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalla complessa interazione tra le onde sismiche e le particolari condizioni locali, ossia l'insieme delle caratteristiche morfologiche stratigrafiche dei terreni e delle loro proprietà fisiche e meccaniche.

L'insieme delle modifiche del moto sismico prodotte in relazione alle condizioni geologiche locali, sopra elencate, sono complessivamente indicate come **effetti di sito**. In base al principale fenomeno fisico che influisce principalmente nelle complesse interazioni tra propagazione delle onde e terreno; si distinguono in particolare (Lanzo 2005):

- effetti stratigrafici – le modifiche che il moto sismico subisce derivano da fenomeni di risonanza tra onde sismiche e terreni, in relazione alla loro stratigrafia, alle loro caratteristiche fisico-meccaniche ed al contenuto in frequenza predominante del moto;
- effetti di bordo – le modifiche che il moto sismico subisce dipendono dalla geometria dell'interfaccia substrato-terreno che si presenta bi o tridimensionale nei margini di depositi di valle, dove si manifestano complessi fenomeni di interazioni e generazioni di onde superficiali;
- effetti topografici – le modifiche del moto delle onde, in riferimento a geometrie bi- e tri-dimensionali, sono causate da focalizzazioni delle onde per effetto della configurazione della superficie topografica.

Come conseguenza a quanto fin qui esposto, appare evidente che la scelta dell'azione sismica di progetto deve essere eseguita congruentemente con le condizioni locali presenti nel sito (effetti di sito).

È quindi necessario, definire preliminarmente l'azione sismica in funzione delle caratteristiche generali di sismicità del sito facendo riferimento ad un sottosuolo ideale, successivamente i parametri andranno modificati in funzione delle specifiche condizioni locali, al fine di valutarne le caratteristiche del moto sismico in superficie o alla profondità richiesta.

Come previsto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni (NTC), in mancanza di studi specifici di risposta sismica locale, si può fare riferimento alla definizione della categoria di sottosuolo mediante la caratterizzazione geofisica o geotecnica del profilo stratigrafico, previa definizione della pericolosità di base successivamente descritta.

### 9.3 Pericolosità sismica di base

Con l'entrata in vigore del D.M. 17/01/2018, la stima della pericolosità sismica è definita mediante un approccio sito dipendente e non più mediante un criterio zona dipendente.

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite previsti nelle NTC, si definiscono infatti a partire dalla "pericolosità sismica di base", chiamata d'ora in poi pericolosità sismica del sito. Essa viene espressa in termini di accelerazione orizzontale massima  $a_g$  su suolo rigido con topografia orizzontale di riferimento e costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche.

La pericolosità sismica di sito è definita dalla probabilità che in un certo intervallo di tempo chiamato periodo di riferimento  $T_R$  (espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di intensità almeno pari ad una prefissata. La probabilità in questione è chiamata PVR, probabilità di superamento o di eccedenza nel periodo di riferimento  $T_R$ .

Quindi, ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, dai seguenti parametri, su sito di riferimento rigido orizzontale:

$a_{g0}$  = accelerazione orizzontale massima al sito, espressa in funzione di  $a_g$ ;

$F_0$  = 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.

Nel D.M. 17/01/18 sono forniti i suddetti parametri necessari per la determinazione delle azioni sismiche, per ciascun sito, individuato da una maglia di 4 nodi del reticolo di riferimento.

Come coordinate geografiche mediane (sistema di riferimento WGS 84) del sito si sono considerate quelle del punto mediano dell'area di interesse, di seguito riportate:

- Latitudine: 40°53'14.34"N
- Longitudine: 14°15'12.98"E

Da cui risulta che l'area di progetto rientra nella maglia del reticolo di riferimento del territorio comunale di Napoli, individuato dai 4 nodi aventi i seguenti indici identificativi (ID):

ID nodi	32978	32979	33200	33201
---------	-------	-------	-------	-------

I valori dei parametri sismici (ag, Fo, Tc) del sito dovranno essere scelti tra quelli relativi a ciascuno nodo specificato dal tecnico progettista, cui spetta la scelta finale della classe d'uso dell'opera (con riferimento al suo carattere strategico), la vita nominale dell'opera VN ,da cui consegue il calcolo del periodo di riferimento per l'azione sismica  $TR = VN \times CU$ , in cui CU è un coefficiente relativo alla classe d'uso.

L'azione sismica per il sito in esame è definita sulla base della pericolosità sismica espressa in termini di accelerazione orizzontale massima ag per ciascun stato limite ultimo e di esercizio.

#### **9.4 Categorie di sottosuolo e condizioni topografiche**

Per quanto riguarda la definizione dell'azione sismica di progetto, il terreno di fondazione, in base ai risultati ottenuti dall'elaborazione dei dati dalle indagini MASW eseguite, è classificato nella "Categoria di sottosuolo di tipo C".

Ai fini dell'applicazione delle norme del D.M. 17/01/18, il territorio nazionale viene suddiviso in zone sismiche, ciascuna delle quali contraddistinta da valori di accelerazione orizzontale massima sul suolo, espressi come frazione dell'accelerazione di gravità (ag).

L'area di intervento progettuale rientra nella maglia del reticolo di riferimento del territorio comunale di Napoli (32978), per cui si possono assumere i relativi valori di ag, riportati in tabella 1 allegato A del D.M.. La categoria topografica del sito secondo la normativa vigente è ascrivibile a T1.



## 10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

Quanto fin qui trattato viene sinteticamente riassunto come segue:

- 1) L'area in studio è ubicata nel popoloso quartiere di Miano, Via Lazio 20, un'area densamente urbanizzata, alle coordinate Latitudine 40°53'14.34"N e Longitudine 14°15'12.98"E (riferite all'ellissoide WGS 84). Per i riferimenti topografici rientra nella tavoletta I.G.M.I., 184 - I - SO "Napoli" della Carta d'Italia edita dall'I.G.M...
- 2) Da un punto di vista morfologico il sito di progetto si colloca alla quota topografica di circa 116 m. s.l.m., in un'area sub-pianeggiante densamente urbanizzata. La categoria topografica, secondo la vigente normativa, è **T1**.
- 3) La zona di progetto non è classificata a rischio geomorfologico e a rischio idraulico nel vigente P.A.I.; non sono presenti evidenze di processi morfogenetici generalizzati e profondi in atto e gli edifici esistenti nell'area di interesse non presentano lesioni imputabili a cedimenti differenziali del terreno.
- 4) Nell'area di interesse progettuale, come visibile nella carta Geologica allegata; affiora il **"Subsintema di Contrada Romano"**: successione di depositi prevalentemente cineritici finemente stratificati con intercalati livelli di lapilli pomicei da caduta. I depositi poggiano su di uno spesso paleosuolo ocraceo ampiamente diffuso sia nei settori interni che esterni alla caldera flegrea, nelle aree circostanti, fino ai contrafforti appenninici o, a luoghi, su depositi marini
- 5) Ai fini del calcolo dei parametri sismici di base sono state utilizzate le seguenti coordinate del baricentro dell'area di studio sono Latitudine 40°53'14.34"N e Longitudine 14°15'12.98"E (riferite all'ellissoide WGS 84)
- 6) L'alternanza di litotipi aventi grado di permeabilità medio-alto con altri a permeabilità scarsa fa sì che, nell'unità idrogeologica, la circolazione idrica sotterranea avvenga per falde sovrapposte e, quando le modalità di deposizione dei prodotti piroclastici e lavici lo consentono, tra loro interconnesse.  
  
I terreni di diretto interesse, presentano una permeabilità primaria bassa in corrispondenza della frazione cineritica addensata con un coefficiente di permeabilità K compreso tra  $10^{-5}$  e  $10^{-6}$  cm/sec, mentre gli strati costituiti da depositi cineritici meno addensati hanno una permeabilità primaria media con un coefficiente di permeabilità K compreso tra  $10^{-3}$  e  $10^{-4}$  cm/sec.

- 7) In considerazione della permeabilità della formazione affiorante, si potrebbe ipotizzare che la profondità della falda idrica sia tale da non avere influenza ai fini geotecnici, tuttavia i livelli cineritici più addensati, potrebbero limitare la circolazione idrica verticale portando alla formazione di vere e proprie falde sospese con livelli fluttuanti in relazione alla stagionalità.
- 8) Dai risultati delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite nell'area di sedime, in accordo con quanto riportato in bibliografia i terreni indagati, costituiti da **“Depositi cineritici stratificati afferenti al Subsistema di Contrada Romano”**, sono riconducibili alla **classe C** *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s, avendo misurato la seguente velocità equivalente:  $Masw1 : V_{seq}$  pari a **246 m/sec.**
- 9) Sono state, inoltre, acquisite n.1 misura di sismica a rifrazione con interpretazione tomografica e n.1 prova sismica passiva HVSR. Il profilo tomografico ottenuto riporta velocità compatibili con la litologia affiorante rappresentata da depositi cineritici. La frequenza di picco misurata è :

$$(f_0) = 0.50 \text{ Hz} \pm 0.13 \text{ Hz}$$

- 10) I parametri geomeccanici che caratterizzano i terreni di interesse progettuale, definiti sulla base dei dati ottenuti dall'elaborazione dei risultati delle prove dirette (prove penetrometriche dinamiche leggere continue) effettuate dallo scrivente in aree limitrofe al sito di progetto e sui medesimi litotipi, nonché dal raffronto con quanto presente in un'ampia letteratura specializzata, sono i seguenti:

TIPO DI TERRENO	Angolo di attrito interno - $\varphi'$ (°)	Peso di volume $\gamma$ (t/m <sup>3</sup> )	Coesione drenata $c'$ (t/m <sup>2</sup> )
Depositi cineritici	28°	1.70	0

La coesione si trascura a vantaggio della sicurezza.

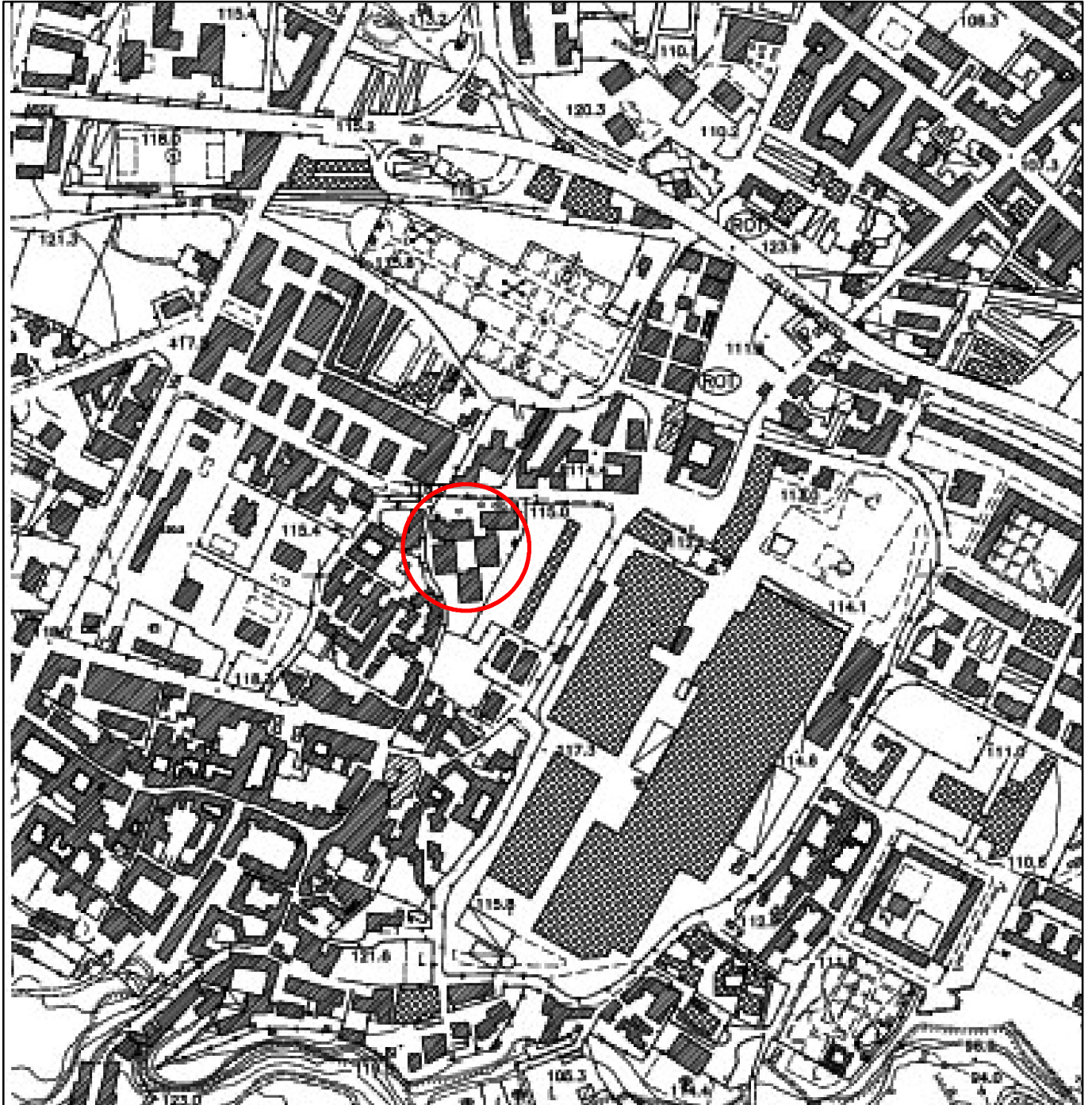
Il Geologo

Dott. Sergio Dolfin





# AEROFOTOGRAMMETRIA



Legenda



Area di progetto

1:5,000





# ORTOFOTO



## Legenda



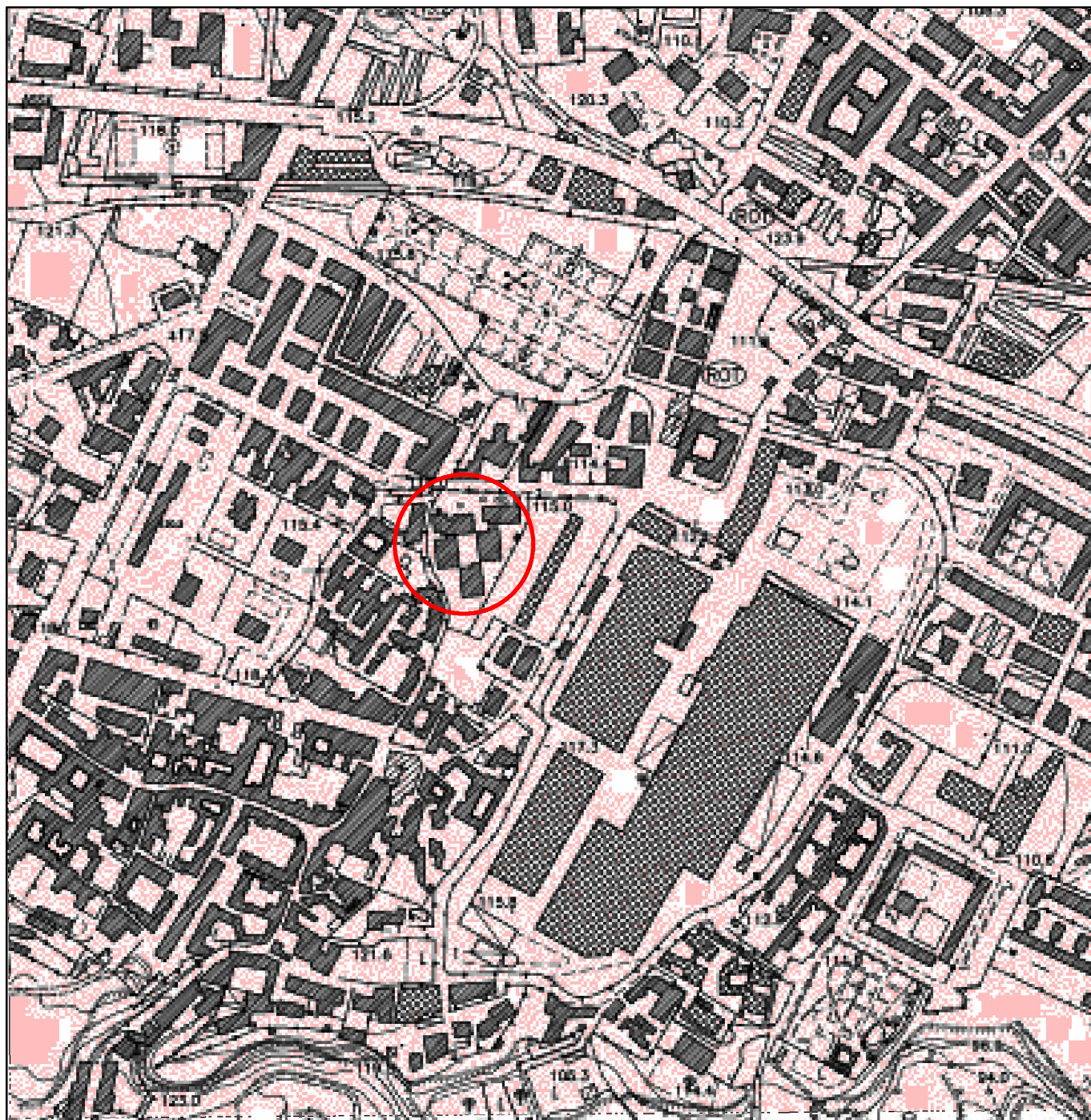
Area di progetto

1:5,000





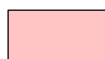
# CARTA GEOLOGICA



## Legenda



Area di progetto



Subsistema di Contrada Romano: successione di depositi prevalentemente cineritici finemente stratificati con intercalati livelli di lapilli pomicei da caduta

1:5,000





## CARTA DELLA PERICOLOSITA' RELATIVA (SUSCETTIBILITA') DA FRANA

### Legenda



Area di progetto



P3 - Area a suscettibilità alta all'innesco, al transito e/o all'invasione da frana



P2 - Area a suscettibilità media all'innesco, al transito e/o all'invasione da frana



P1 - Area a suscettibilità bassa all'innesco, al transito e/o all'invasione da frana



Area interessata da attività estrattiva in cui sono necessari studi di dettaglio mirati alla verifica delle condizioni di stabilità



Limite di bacino



Limite comunale









1:5,000





## CARTA DEL RISCHIO DA FRANA

### Legenda

-  Area di progetto
-  R4 - Rischio molto elevato
-  R3 - Rischio elevato
-  R2 - Rischio medio
-  R1 - Rischio moderato
-  Aree il cui livello di rischio potrà essere definito a seguito di studi e indagini di dettaglio
-  Limite di bacino
-  Limite comunale

1:5,000





















# CARTA PER LA PERICOLOSITA' PER FENOMENI DI ALLAGAMENTO E DA ESONDAZIONE

## Legenda



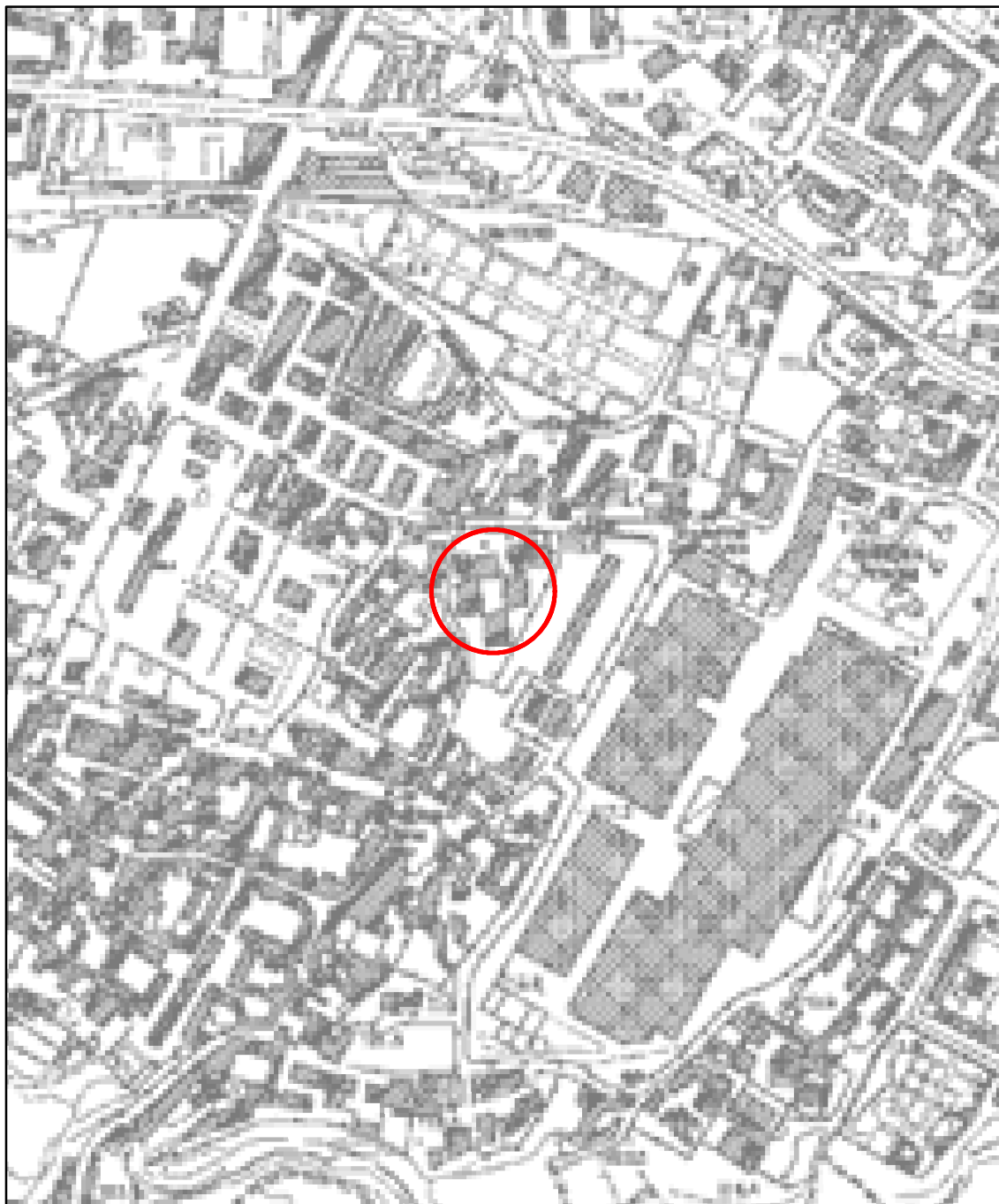
Area di progetto

### Pericolosità per fenomeni di allagamento da esondazione

-  **P4** area a pericolosità molto elevata (  $T=20, 100$  anni;  $h > 100$  cm)
-  **P3** area a pericolosità elevata (20 anni;  $50 < h < 100$  cm)  
area a pericolosità elevata (300 anni;  $h > 100$  cm)
-  **P2** area a pericolosità media (  $T=20$  anni;  $h < 50$  cm)  
area a pericolosità media (  $T=100, 300$  anni;  $50 < h < 100$  cm)
-  **P1** area a pericolosità moderata (  $T=100, 300$  anni;  $h < 50$  cm)
-  **Pa** area a suscettibilità alta per fenomeni di trasporto liquido e trasporto solido da alluvionamento, riconosciuta su base geomorfologica, stratigrafica e da dati storici per la presenza di conoidi attivi a composizione prevalentemente ghiaioso-sabbiosa.
-  **Pa** area di cava a suscettibilità alta per fenomeni di trasporto liquido e trasporto solido da alluvionamento.
-  **Pm** area a suscettibilità media per fenomeni di trasporto liquido e trasporto solido da alluvionamento, riconosciuta su base geomorfologica e stratigrafica per la presenza di settori distali di conoidi attivi a composizione prevalentemente sabbiosa.
-  **Pb** area a suscettibilità bassa di invasione per fenomeni diffusi di trasporto liquido e trasporto solido da alluvionamento di prevalente composizione sabbioso-limoso
-  settore di conoide attualmente non più riattivabile per modificazioni antropiche
-  **Pb** conche endoreiche e zone a falda sub-affiorante
-  punti/fasce di possibile crisi idraulica localizzata/diffusa dovuta a: fitta vegetazione in alveo, presenza di rifiuti solidi, riduzione di sezione, sponde danneggiate
-  area ad elevata suscettibilità di allagamento ubicata al piede di valloni  
N.B. L'estensione e l'intensità effettiva di tali zonedi crisi sarà quantificata a seguito di studi, rilievi ed indagini di dettaglio.  
L'area da indagare potrà essere assunta, in prima approssimazione, come quella racchiusa in una circonferenza di diametro pari a 200m con centro nel punto di inizio dell'acrisi idraulica (casi critici puntuali) ovvero in una fascia di ampiezza pari a 400m in asse all'alveo (casi di crisi diffusa)
-  vasca
-  reticolo idrografico
-  linea di impluvio incerta
-  tratto tombato
-  alveo strada
-  aste montane incise con tratti di possibile crisi per piene repentine / colate detritiche / alluvioni di conoidi
-  limite di bacino
-  limiti comunali

1:5,000





## CARTA DEL RISCHIO IDRAULICO

### Legenda



Area di progetto



**R4** Rischio molto elevato



**R3** Rischio elevato



**R2** Rischio medio



**R1** Rischio moderato



Aree il cui livello di rischio potrà essere definito a seguito di studi e indagini di dettaglio

N.B. L'estensione e l'intensità effettiva di tali zonedi crisi sarà quantificata a seguito di studi, rilievi ed indagini di dettaglio.

L'area da indagare potrà essere assunta, in prima approssimazione, come quella racchiusa in una circonferenza di diametro pari a 200m con centro nel punto di inizio dell'acrisi idraulica (casi critici puntuali) ovvero in una fascia di ampiezza pari a 400m in asse all'alveo (casi di crisi diffusa)



vasca



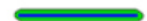
reticolo idrografico



linea di impluvio incerta



tratto tombato



alveo strada



aste montane incise con tratti di possibile crisi per piene repentine / colate detritiche / alluvioni di conoidi



limiti comunali



limite di bacino

1:5,000



**I.C. 82 C.D. D'Acquisto**  
**Plesso ex Rosa Taddei**  
**Via Lazio 20, Miano**

**RELAZIONE INDAGINI GEOFISICHE**

**SOMMARIO**

<b>1. GENERALITA' .....</b>	<b>1</b>
1.1 INTRODUZIONE .....	1
1.2 ELABORATI .....	1
<b>2. CAMPAGNA GEOFISICA.....</b>	<b>2</b>
2.1 INDAGINE GEOFISICA .....	2
2.2 ATTREZZATURA GEOFISICA .....	2
2.3 PROVE SISMICHE "ACTIVE MASW" .....	4
2.4 TOMOGRAFIA SISMICA A RIFRAZIONE .....	10
2.5 PROVE DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (HVSR) .....	15

**ALLEGATO 1\_CARTA UBICAZIONE INDAGINI**

**ALLEGATO 2\_DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA**



## 1. GENERALITA'

### 1.1 Introduzione

La campagna indagini oggetto del presente report è stata eseguita dal 26/07/2021 al 28/07/2021. Il presente lavoro ha lo scopo di illustrare l'attività e i risultati della campagna di indagini geofisiche e geognostiche eseguita a supporto dello studio geologico finalizzato alla verifica della vulnerabilità sismica dell'edificio sede del Plesso ex Rosa Taddei I.C. 82 C.D. D'Acquisto sito in Via Lazio 20, Miano - Napoli.

Lo schema delle indagini eseguite è qui di seguito riportato:

<i>N°1 Prove sismiche Active MASW</i>
<i>N°1 Misure di Sismica a rifrazione con interpretazione tomografica</i>
<i>N°1 Prove Sismica Passiva</i>

### 1.2 Elaborati

Tutti i dati raccolti ed analizzati sono stati utilizzati per la stesura della presente relazione, corredata dai seguenti elaborati, presenti in allegato:

- Planimetria indagini
- Report fotografico

## 2. CAMPAGNA GEOFISICA

### 2.1 Indagine Geofisica

Le indagini sono state eseguite con un sismografo modello Sysmatrack della M.A.E. (molisana apparecchiature elettroniche) a 24 canali ed un geofono 3D da superficie.

### 2.2 Attrezzatura geofisica

#### 2.2.1 Sismografo

Caratteristica principale di questo sismografo   la risoluzione di 24 bit effettivi per ogni singolo canale che si ottiene grazie all'utilizzo della nuova scheda di acquisizione dati MAE 24 bit, che adotta un convertitore digitale A/D 24 bit per ciascuno dei canali di ingresso di cui   dotato il sismografo (tecnologia SST). L'adozione di tale architettura lo rende ideale per tutte le tipologie di prospezione sismica attiva e passiva nonch  per indagini e rilievi strutturali su edifici ed opere infrastrutturali (acquisizione di vibrazioni con accelerometri o sensori sismici a bassa frequenza, etc.). Le procedure automatiche permettono verifiche preacquisizione dalla corretta connessione dei geofoni e dell'analisi della rumorosit  di fondo del sito investigato, inoltre   possibile effettuare una prima analisi dei dati acquisiti, anche per singola onda, direttamente in campagna, visualizzando i dati relativi alle velocit  in ogni singolo punto dell'onda esaminata.



Figura 1 - Strumentazione per indagini sismiche costituita da mazza, piastra, sismografo, batteria e cavi

**Specifiche tecniche:**

- Numero canali: 12, espandibile a 24 (tramite pacchetto espansione)
- Convertitori: risoluzione 24 bit, tecnologia sigma-delta
- Range dinamico: 144 dB (teorico)
- Distorsione massima: +/-0.0010%
- Banda passante: 2Hz-30KHz
- Common mode rejection: 110 dB a 60 Hz
- Diafonia: -120dB a 20 Hz
- Soglia di rumore dell'amplificatore programmabile: 27nV
- Precisione del trigger: 1/30 del tempo di campionatura
- Range massimo segnale in ingresso: +/-5V
- Impedenza di ingresso a 1000 campioni /secondo: 20Mohm
- Livelli di amplificazione: 0 dB, 6 dB, 12 dB, 18 dB, 24 dB, 30 dB, 36 dB impostabili singolarmente per ogni canale per gruppi di canali liberamente organizzabili
- Filtro anti-alias: -3dB, 80% della frequenza di Nyquist, -80dB
- Tempo pre-trigger: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 50, 100, 200, 300, 400, 500ms
- Intervalli di campionamento: 1/30, 1/15, 1/7.5, 1/3.75, 0.5, 1.0, 2.0, 10.0, 20.0 ms; 8.0, 4.0, 2.0 ms in registrazione continua
- Numero di campioni per evento: impostabile da 1024 a 21800 con incrementi di 512
- Interfacce disponibili: USB (richiede un PC di controllo)
- Canali: configurazioni da 12, 24. Possibilità di utilizzare da 1 al numero massimo di canali installati per ogni acquisizione.
- Modalità di acquisizione: con trigger esterno su tutti i canali e a tempo su max 12 canali.
- Auto-calibrazione interna dei convertitori prima di ogni acquisizione.
- Filtri digitali: selezionati automaticamente in base alla frequenza di campionatura

- Test geofoni: verifica automatica per individuare interruzioni dei cavi oppure geofoni rotti o in corto.
- Visualizzazione in tempo reale dei segnali provenienti dai geofoni
- Archiviazione dati: nelle memorie di massa del PC di controllo
- Trigger: positivo, negativo (opzionale a chiusura di contatto) con soglia regolabile da software
- Formato dei dati: SEG-2 standard (32-bit long integer) o ASCII

#### 2.2.2 Sensore 3D da superficie

Il sensore 3D da superficie da 2HZ è un sensore passivo triassiale di lungo periodo con basso rumore, contenente 3 geofoni a bassa frequenza orientati lungo i tre assi. È dotato di piedini di supporto per l'utilizzo su pavimentazione o infissione nel terreno, bolla di livellamento, maniglia di trasporto.

Altezza: 10.00 cm

Diametro: 14.00 cm

Peso: 4 kg



Figura 2 – Sensore 3D da superficie

### 2.3 Prove Sismiche “Active Masw”

Durante la campagna indagini sono state eseguite n° 2 prove MASW di seguito le rispettive interpretazioni.

#### 2.3.1 Software di analisi

L'analisi dei dati avviene utilizzando un software specifico che elabora i dati strumentali di vari formati TXT, SEG2, SG2, DAT, SU, SEGY, SGY, XLS e DRM.

L'inserimento dei dati sperimentali prevede di inserire la distanza tra i ricevitori, il tempo di campionamento, il punto di scoppio e il numero ricevitori/segnali da considerare.

Definito lo spettro f-k si selezionerà il range di frequenza da analizzare definendo la curva di dispersione sperimentale. Sarà definita la stratigrafia del sottosuolo sismico da investigare, il numero di iterazioni.

Un processo di inversione metterà a confronto curva sperimentale ed apparente e curva sperimentale ed effettiva oltre ai modi di Rayleigh. Quindi si definirà un profilo  $V_s$  e relativa curva di taglio verticale. Il processo dati si chiude con la definizione delle unità sismogenetiche e relativi valori di  $V_s$  dai quali con applicazione della formula

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

Si otterrà il valore di  $V_{s,eq}$  che definirà la categoria di suolo di fondazione così come richiesto dal D.M 17 Gennaio 2018 - Norme tecniche per le costruzioni basandosi sulle velocità medie delle onde sismiche trasversali nei primi trenta metri terreno fondazionale per la determinazione dei fattori amplificativi dell'azione sismica.

### 2.3.2 Misura Masw 1

La misura MASW è stata eseguita lungo una linea di **33,00** metri.

Sono stati adoperati 12 geofoni con frequenza di 4,5 Hz collocati nel terreno lungo una linea con interdistanza di **3,00** metri.

Il punto di energizzazione è stato posto a – **3,00** metri di distanza dal geofono n.1 e sullo stesso allineamento.

Nelle immagini seguenti sono riportati i sismogrammi e le schermate prodotte dal software durante il processo di elaborazione.

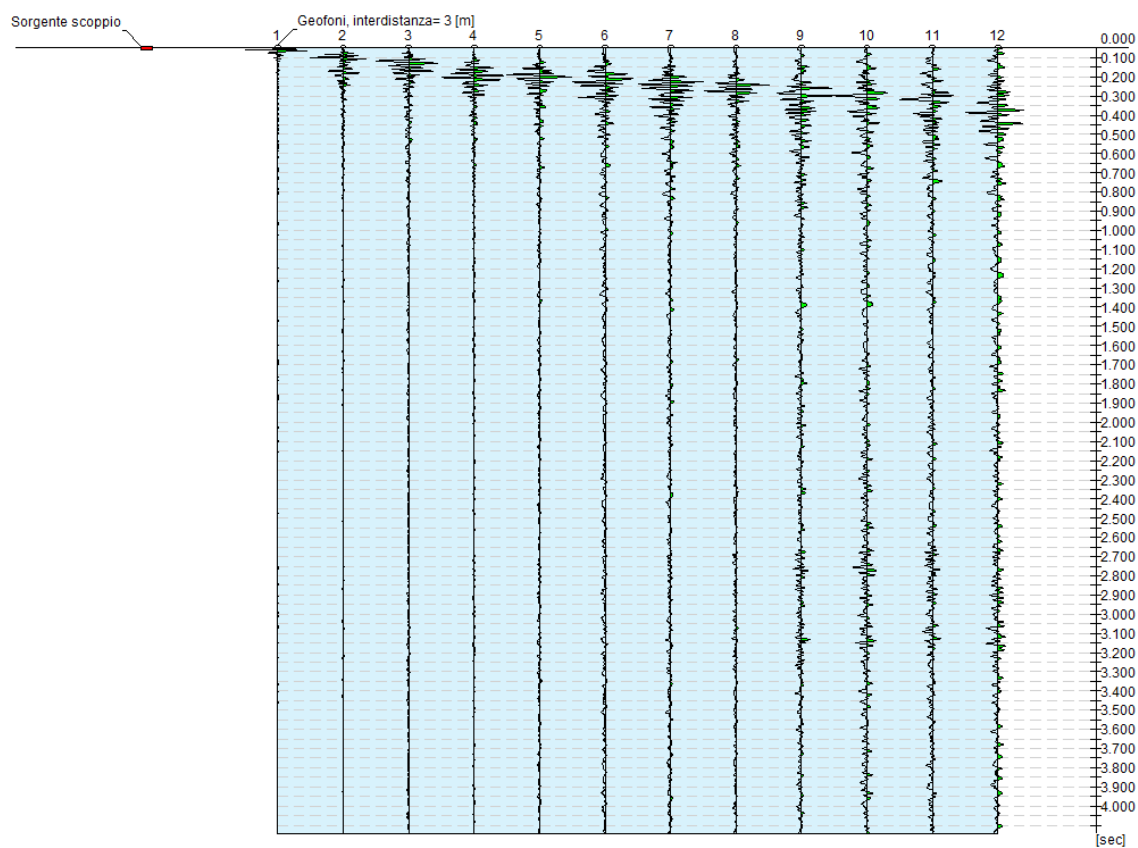


Figura 3 – Tracce sperimentali

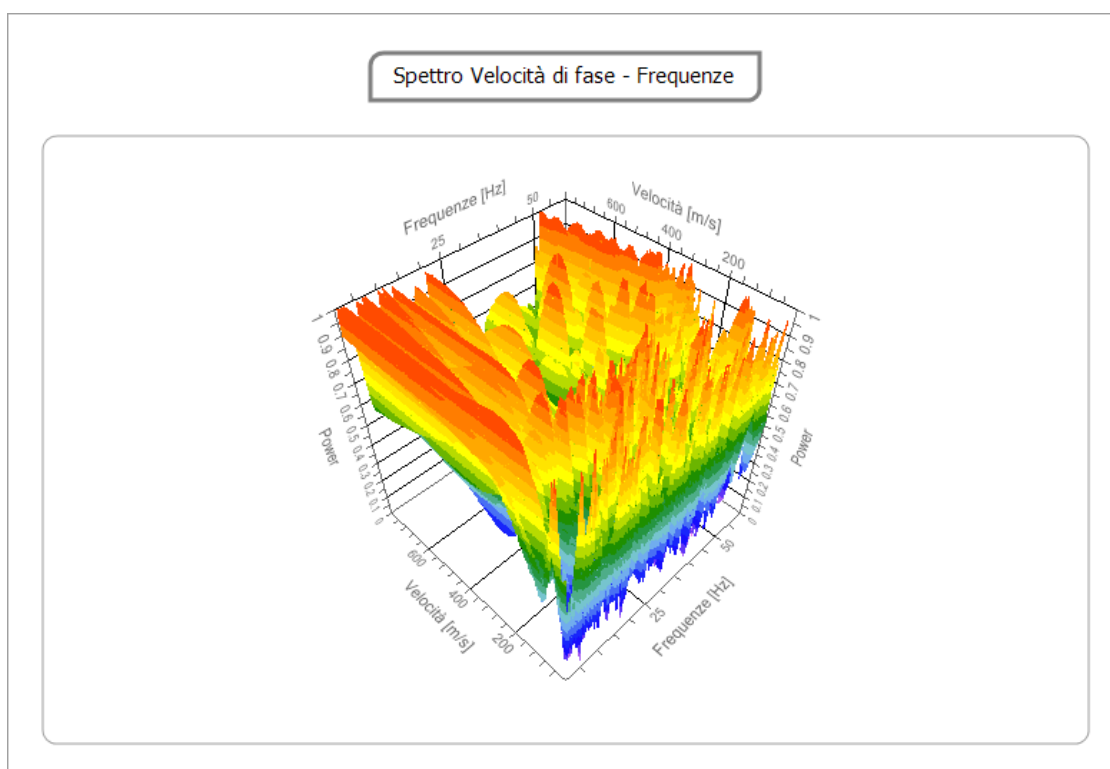


Figura 4 – Spettro Velocità di fase - Frequenze

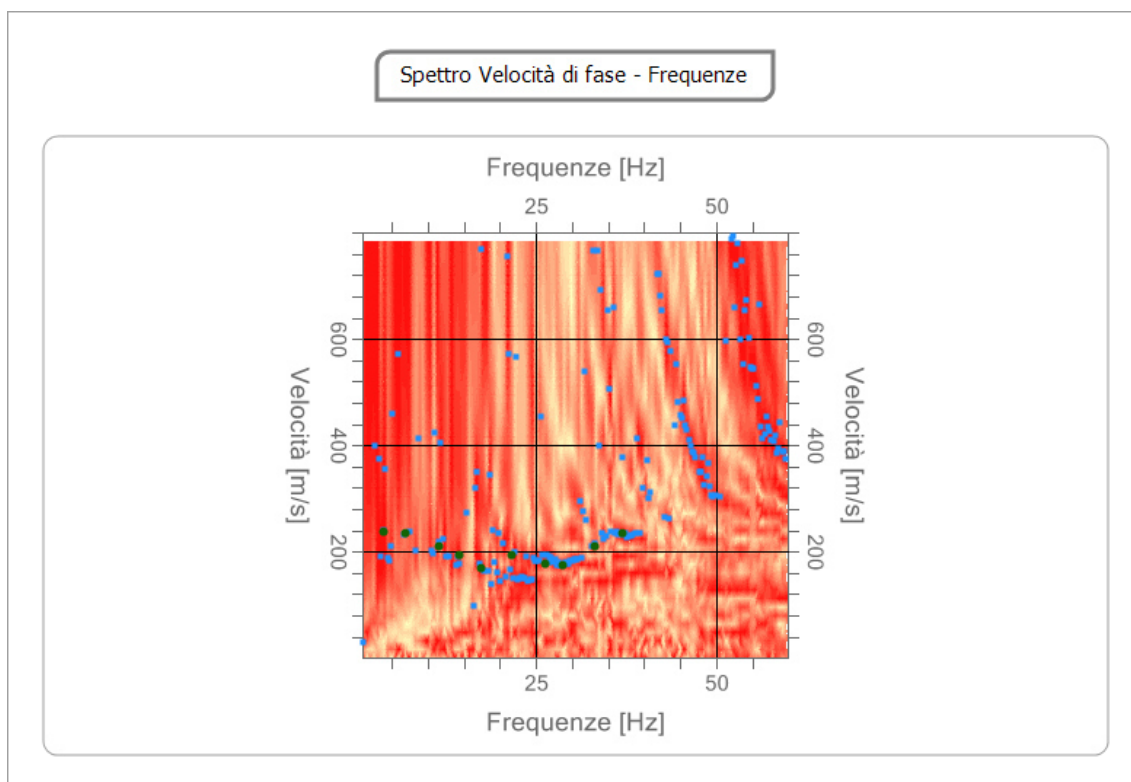


Figura 5 – Curva di dispersione sperimentale

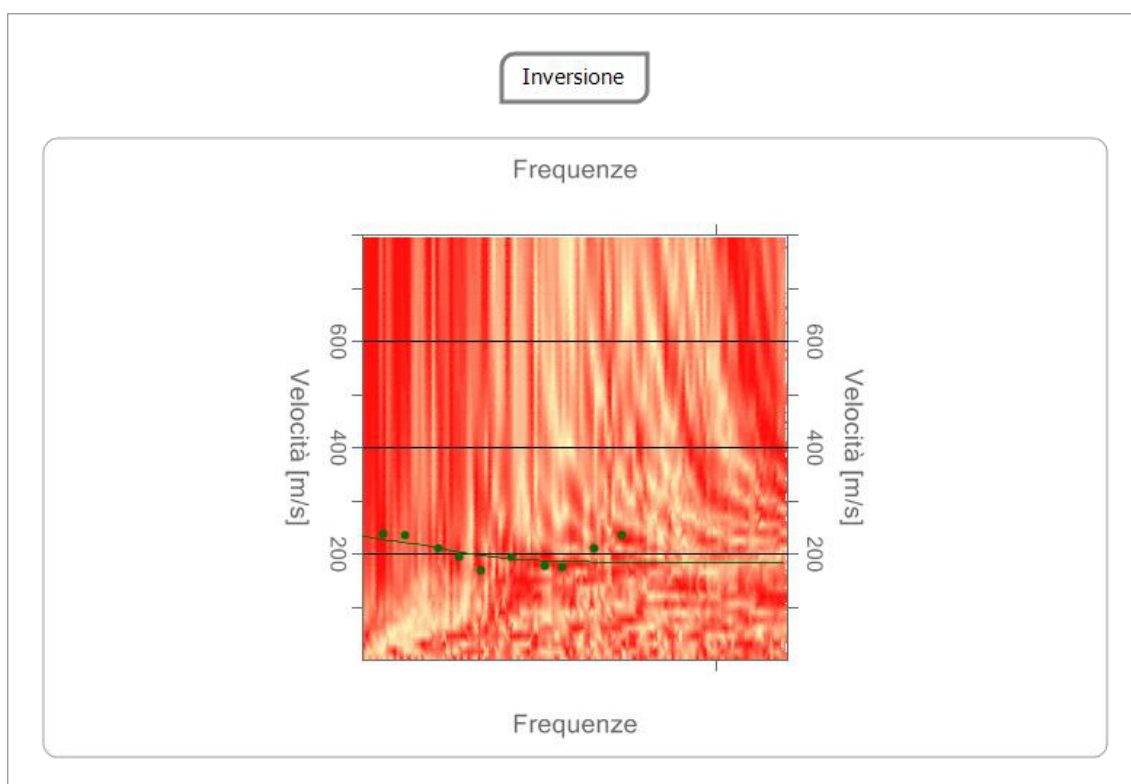


Figura 6 – Inversione

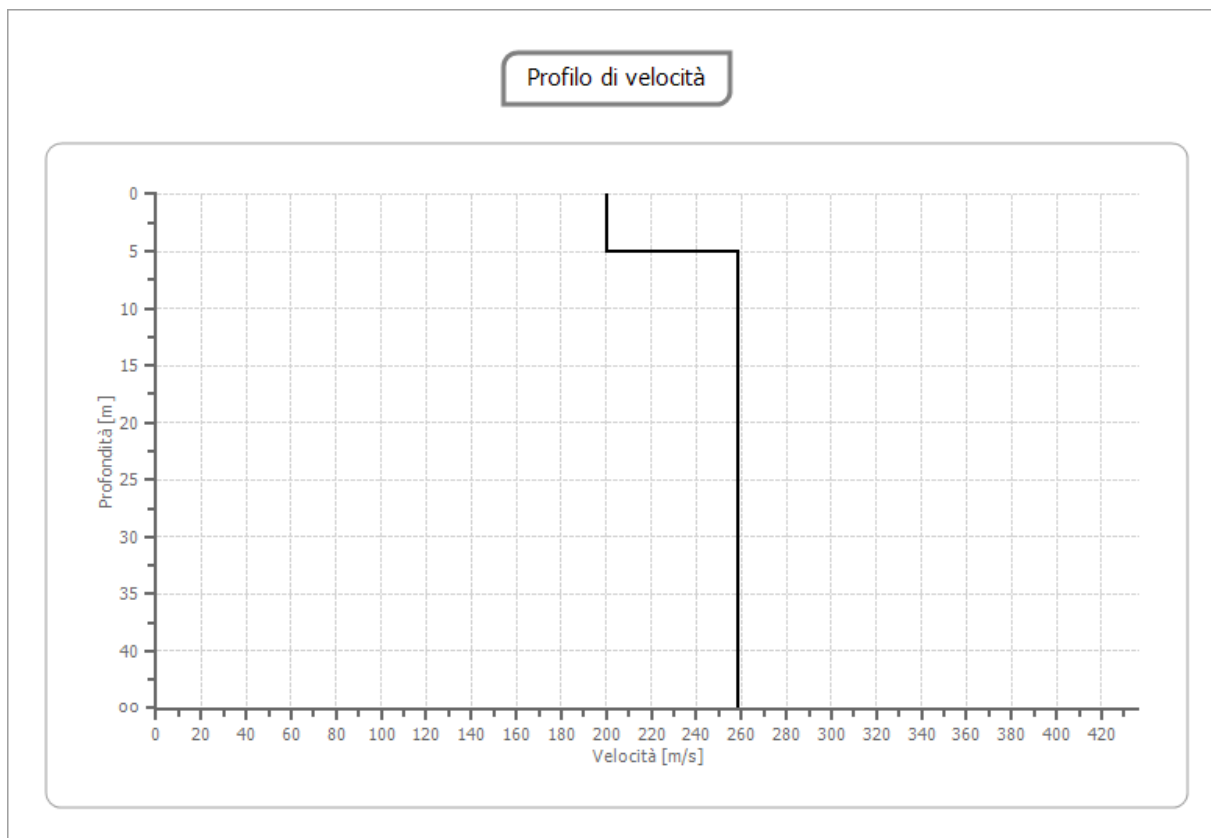


Figura 7 – Profilo di velocità

Il software elabora e definisce il valore medio delle velocità delle onde trasversali  $V_s$  relativo ad uno spessore di 30 metri.

Strato (m)	$V_{s,i}$
0 –5,00	200.39
5,00-∞	258.17



Suolo	Descrizione geotecnica	Vseq(m/s)
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di Vs30 > 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 metri	>800
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	360÷800
C	<b>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.</b>	<b>180÷360</b>
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.	<180
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.	

#### Valori del parametro Vs,eq

Così come previsto dalla vigente normativa è stata calcolata la VS,eq con la seguente espressione:

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

Essendo:

hi = spessore dell'i-esimo strato;

Vs,i = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

N = numero di strati;

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

Il valore calcolato per la misura **MASW1** è:

**Vs,eq = 246 m/sec**

In base al valore di **V<sub>s,eq</sub>** ottenuto la categoria sismica di suolo è **C** - “Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.”

#### *2.4 Tomografia sismica a rifrazione*

Durante la campagna di indagine è stata eseguita 1 misura di sismica a rifrazione con interpretazione tomografica.

L'indagine sismica a rifrazione è un'indagine indiretta che utilizza i contrasti di velocità delle onde sismiche. La velocità delle onde sismiche dipende dalla densità e dalla rigidità del materiale attraversato ovvero da proprietà riconducibili alle caratteristiche litologiche del substrato indagato. La direzione di propagazione delle onde in profondità rispetta la legge di Snell dando origine a fenomeni di rifrazione riflessione e diffrazione. Nelle indagini a rifrazione, come dice il nome stesso, verranno considerate solo le onde rifratte.

Lo svolgimento della prova consiste nel generare un'onda sismica di compressione (e registrarne l'arrivo a dei geofoni disposti in linea ad intervalli noti).

L'interpretazione delle misure registrate si basa sull'analisi del tempo impiegato dall'onda generata a raggiungere ciascun geofono. Per poter ricostruire la variazione di velocità delle onde di compressione nel sottosuolo è necessario eseguire più energizzazioni in posizioni differenti.

Le misure effettuate con la tecnica a rifrazione possono essere elaborate con la procedura tomografica al fine di evidenziare in dettaglio le variazioni locali di velocità.

Nella seguente tabella si riportano i valori di velocità delle onde P ed S dei principali litotipi, riferibili anche al contesto geologico in esame (Fonte: Hearey e Brooks 1991, Bala et al 2005, Corrao e Coco 2006, bibliografia specialistica reperibile in rete).

Tabella 1

Litotipi	Vp [m/s] min-max	Vs [m/s] min-max
<b>TERRENI E ACQUA</b>		
Alluvioni	400 - 2000	200 - 800
Sabbia asciutta	200 - 1000	80 - 400
Sabbia satura (in funzione anche del grado di saturazione)	600 - 2300	250 - 450
Sabbia siltosa	600 - 1900	200 - 600
Sabbia e ghiaia	300 - 1800	300 - 600
Limo	650 - 1250	240 - 480
Argilla	1000 - 2500	300 - 600
Argilla sabbiosa	600 - 2500	200 - 450
Acqua	1450 - 1500	0
<b>ROCCE SEDIMENTARIE</b>		
Argillite	2100 - 4400	550 - 2100
Arenaria	2000 - 6000	950 - 3100
Arenaria fratturate	800 - 2100	360 - 950
Calccare	2000 - 7000	1000 - 3300
Calccare fratturato	750 - 1500	330 - 1000
Calcarenite	1400 - 4400	800 - 2500
Calcarenite fratturata	600 - 1300	330 - 800
Marna	1500 - 2000	300 - 500
<b>ROCCE IGNEE</b>		
Basalto	1800 - 5000	1000 - 3000
Basalto fratturato	950 - 1350	480 - 700
Granitoidi	1600 - 5000	900 - 3000
Granitoidi fratturati	1000 - 1750	500 - 900
Piroclastite coerente	750 - 2500	350 - 1100
Piroclastite incoerente	350 - 1000	160 - 450

#### 2.4.1 Software di analisi

L'analisi dei dati avviene utilizzando un software specifico che elabora i dati strumentali di vari formati TXT, SEG2, SG2, DAT, SU, SEGY, SGY, XLS e DRM.

La tecnica tomografica prevede la creazione di un modello sintetico del sottosuolo e la sua perturbazione alla ricerca del minimo scarto tra le misure effettuate sul terreno e le misure "virtuali" registrate sul modello sintetico attraverso una procedura iterativa che alterna le due seguenti fasi:

- Nella fase "diretta" vengono calcolati sul modello sintetico i tempi di arrivo del impulso sismico (smartTomo è basato sul lavoro di Moser, T. J. "Shortest path calculation of seismic rays." Geophysics 56.1 ( 59 67). Il modello di velocità iniziale è suddiviso in una griglia le cui celle hanno assegnato un valore di velocità iniziale. Sui lati della cella sono presenti più nodi (il numero è scelto dall'utente che costituiscono i nodi della rete di ipotetici raggi sismici che connettono tutte le sorgenti e tutti i ricevitori che sono anche essi dei nodi. Ogni nodo è connesso con i nodi delle celle adiacenti. Aumentando il numero di nodi aumenta il dettaglio e la precisione nel percorso dei raggi sismici ma aumenta anche l'uso di memoria. Il percorso delle onde rifratte

corrisponde al percorso che impiega il minor tempo a percorrere il tragitto tra la sorgente ed il ricevitore.

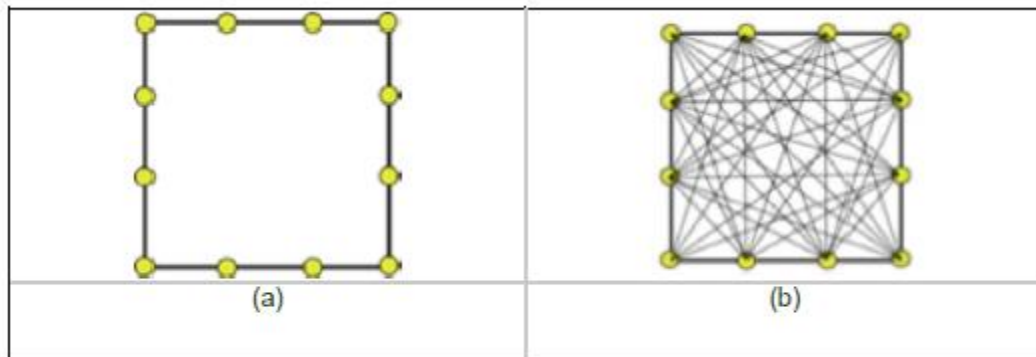


Figura 1 (a) Esempio di cella con 4 nodi; (b) visualizzazione dei possibili raggi sismici che congiungono i nodi della cella.

- Nella fase “inversa” i tempi sintetici calcolati nel passo “diretto” vengono confrontati con i tempi misurati sui sismogrammi le differenze tra i tempi sono usate per aggiornare il modello sintetico (smartTomo impiega un algoritmo riconducibile alla famiglia delle “Simultaneous Iterative Reconstruction Technique Nell’applicazione di questo metodo la velocit  viene sostituita dal suo inverso, la lentezza. Ad esempio considerando un generico raggio sismico  $j$  tra la sorgente ed il ricevitore la lentezza media pu  essere espressa come:

$$S_{ij} = \frac{t_{0j}}{l_{ij}}$$

dove  $t_{0j}$  rappresenta il tempo misurato tra la sorgente ed il ricevitore e  $l_j$  rappresenta la lunghezza del raggio sismico  $j$ -esimo. Pertanto, conoscendo i tempi di percorso misurato  $t_m$  e  $t_c$  per il raggio  $j$ -esimo si pu  calcolare il residuo del tempo di percorso:

$$\Delta t_j = t_{mj} - t_{cj}$$

Il residuo dei tempi di percorso viene proiettato su ciascuna cella  $k$  su cui si calcola anche il fattore di correzione della lentezza:

$$\Delta S_k = \frac{\sum \Delta t_{ik}}{\sum l_{ik}}$$

L'indice  $i$  rappresenta ciascun raggio sismico incidente sulla cella  $k$ -esima. Il fattore di correzione della lentezza verrà utilizzato per aggiornare il modello di velocità alla fine di ogni iterazione del ciclo di risoluzione. Questa procedura consente di ottenere un modello, con variazioni di velocità continue e non necessariamente vincolato alla presenza di rifrattori.

Ad ogni ciclo di aggiornamento segue una fase di smoothing del risultato per rendere più omogeneo il modello aggiornando le celle adiacenti ai raggi sismici che non verrebbero aggiornate e garantendo maggiore stabilità alle procedure di calcolo.

Il funzionamento della procedura è illustrato nella Figura 2 tratta da Reinhard Kirsch "Groundwater Geophysics A Tool for Hydrogeology" Springer 2006

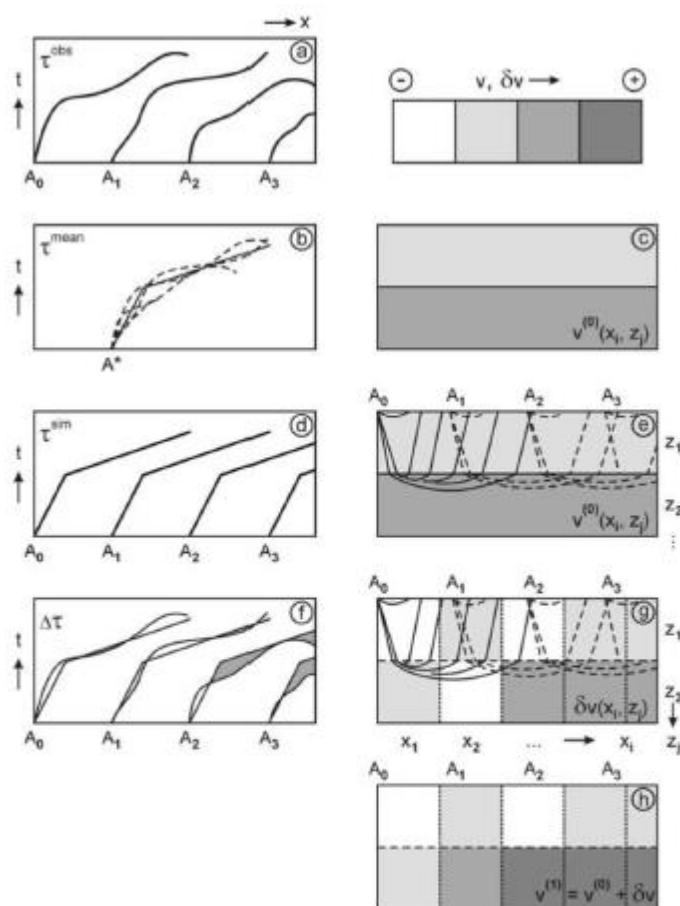


Figura 2 Immagine che illustra il processo di ottimizzazione del risultato da parte della tomografia sismica.  
 (a) Le dromocrone misurate sulle tracce registrate sul terreno sono utilizzate per costruire il modello iniziale (b) e (c).  
 (d) Utilizzando il modello iniziale (e) vengono calcolate le dromocrone simulate.  
 (f) Vengono calcolate le differenze tra le dromocrone misurate e simulate (equazione 2) e vengono calcolati gli aggiornamenti del modello di velocità (g) (equazione 3)  
 (h) Il modello di velocità aggiornato può essere utilizzato come un nuovo modello iniziale in (d) e (e) fino a quando un determinato criterio di stop è stato raggiunto.

## 2.4.2 Tomografia 1

La misura TOMO1 è stata eseguita lungo una linea rettilinea di **33,00 m**. Sono stati adoperati 12 geofoni con frequenza di 4,5 Hz collocati nel terreno lungo una linea rettilinea con interdistanza di **3,00** metri. I punti di energizzazione sono stati posti a -3,00 m; 7,50 m; 13,50 m; 19,50 m; 25,50 m; 37,50 m, 36 m di distanza dal geofono n. 1 e sullo stesso allineamento.

Nelle immagini seguenti sono riportati le schermate prodotte dal software durante il processo di elaborazione.

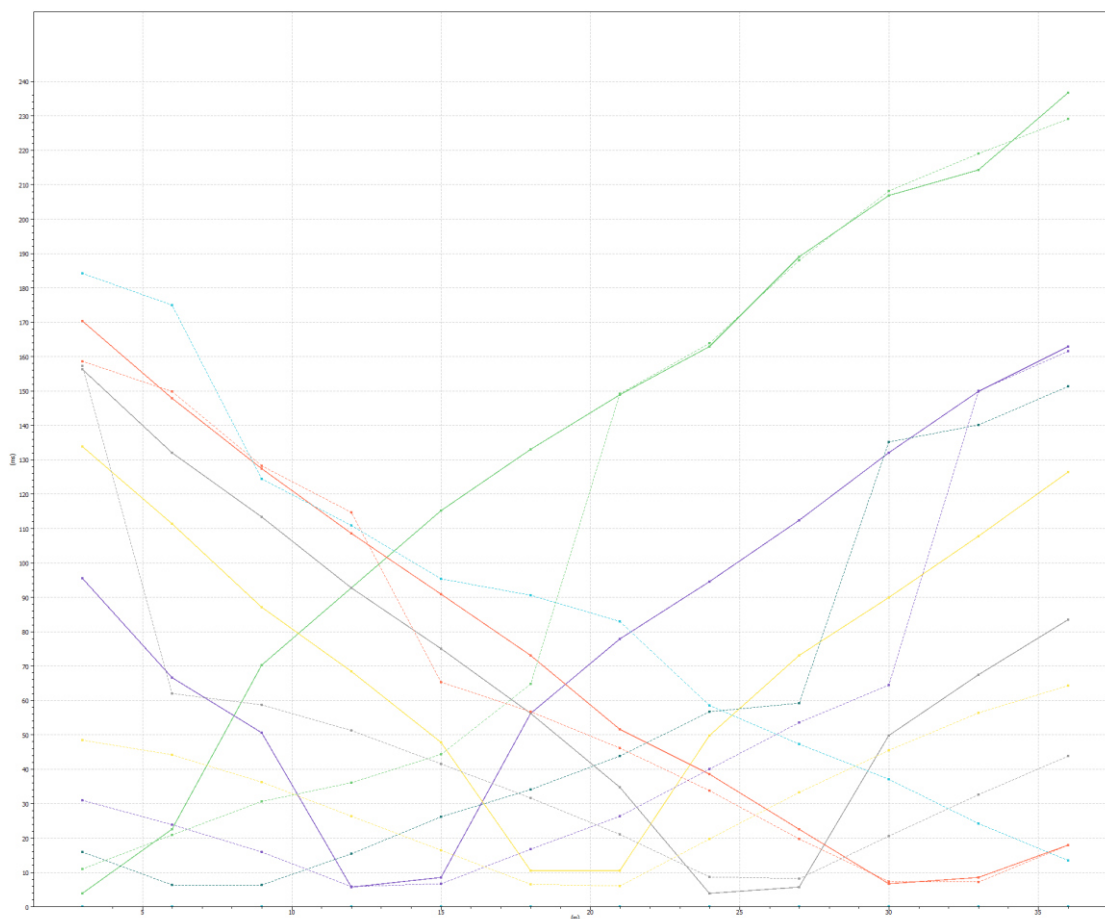


Figura 8 – Dromocrone

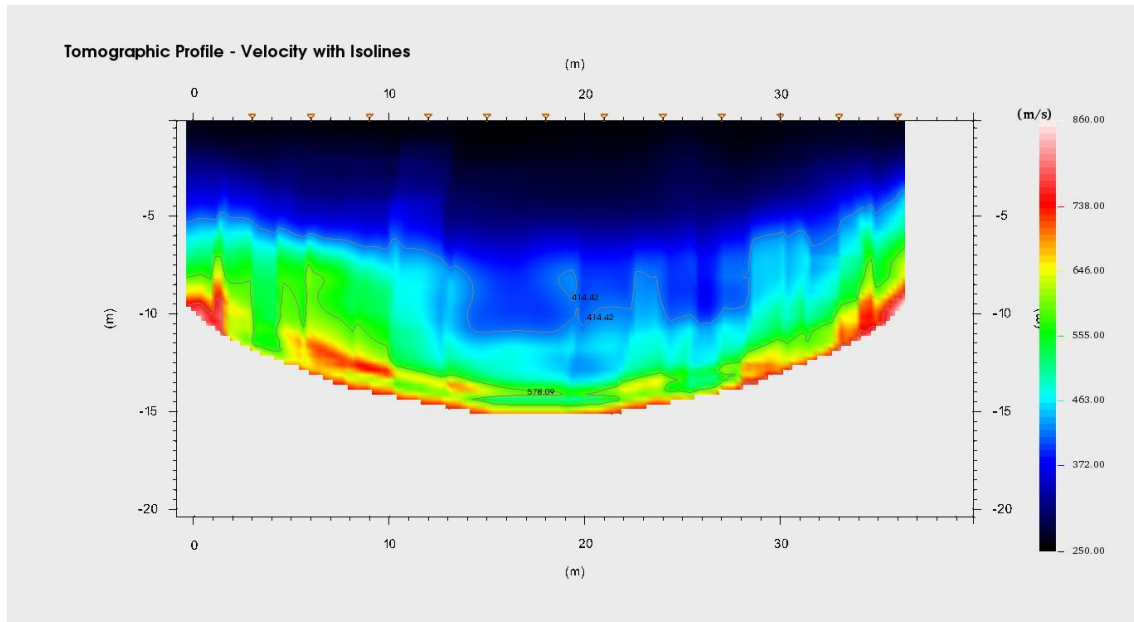


Figura 9 – Profilo tomografico

Il profilo tomografico ottenuto riporta velocità compatibili con la litologia affiorante rappresentata da depositi cineritici.

#### 2.5 Prove Di Sismica Passiva A Stazione Singola (HVSr)

L'indagine sismica passiva "Horizontal to Vertical Spectral Ratio" (Metodo di Nakamura), è una tecnica d'indagine utilizzata per individuare la frequenza caratteristica di risonanza di sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale.

##### 2.5.1 Cenni sulla teoria della tecnica HVSr

La tecnica HVSr può essere suddivisa nelle seguenti fasi:

- registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x, y, z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata, secondo le indicazioni del progetto SESAME, per una durata non inferiore ai 20 minuti.
- tramite appositi software, si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di uguale durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Queste finestre vengono filtrate in base a dei criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione. Per ciascuna delle

finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene calcolata la trasformata di Fourier ed eseguito il lisciamento dello spettro di ampiezza per ridurre la variabilità stocastica nella stima delle ordinate spettrali.

- per ogni finestra temporale, i due spettri di Fourier relativi alle componenti orizzontali sono fusi sommando le componenti in frequenza secondo un dato criterio che può ad esempio essere una media aritmetica.

Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia considerata. Ogni componente in frequenza dello spettro verticale viene usata come denominatore nel calcolo del rapporto H/V. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui è stata suddivisa la registrazione.

Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito.

#### 2.5.2 Misure HVSR

Per la campagna di misure finalizzata alla determinazione della frequenza naturale di vibrazione del sito è stata utilizzata la seguente strumentazione:

- sismografo M.A.E. Sysmatrack a 24 canali;
- sensore sismico 3D da superficie 2 Hz;

Prima di effettuare le misure, il sensore 3D è stato correttamente orientato mediante l'ausilio di una bussola e posizionato sulla superficie da investigare. Successivamente si è verificato il corretto accoppiamento dello strumento con il terreno avendo cura di metterlo in posizione perfettamente orizzontale.

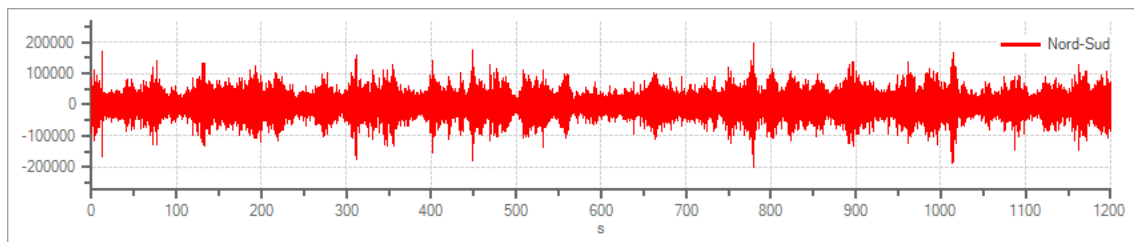
Per la fase di acquisizione è stata impostata, per tutte le misure, una frequenza di campionamento pari a 250 Hz e un tempo di registrazione di 20 minuti.



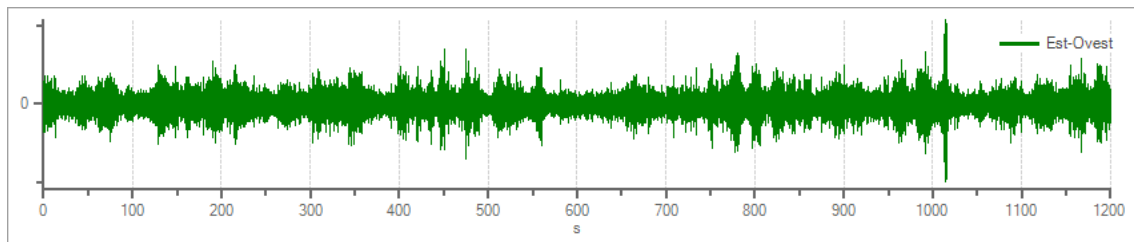
### 2.5.3 Misura HVSR1

#### Dettagli acquisizione

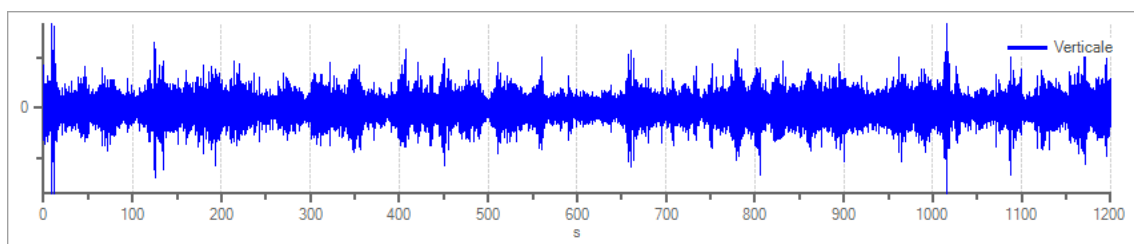
- Numero tracce: 3
- Durata registrazione: 00:20:00
- Frequenza di campionamento: 250,00 Hz
- Coordinate punto di misura: **LAT 40°53'15.61"N; LONG. 14°15'12.81"E** (riferite all'ellissoide WGS 84).



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

#### Elaborazione

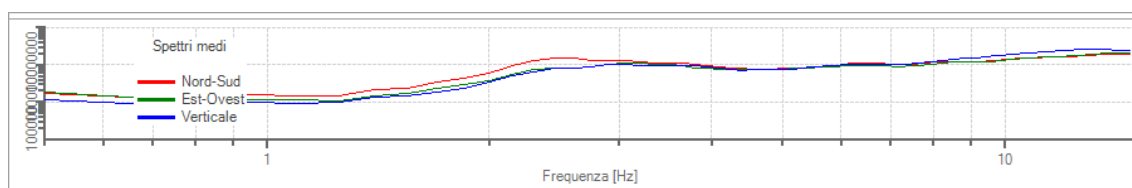
**Frequenza di campionamento:** 250 Hz

**Numero totale di finestre temporali:** 50

**Dimensione temporale finestre:** 20.000 s

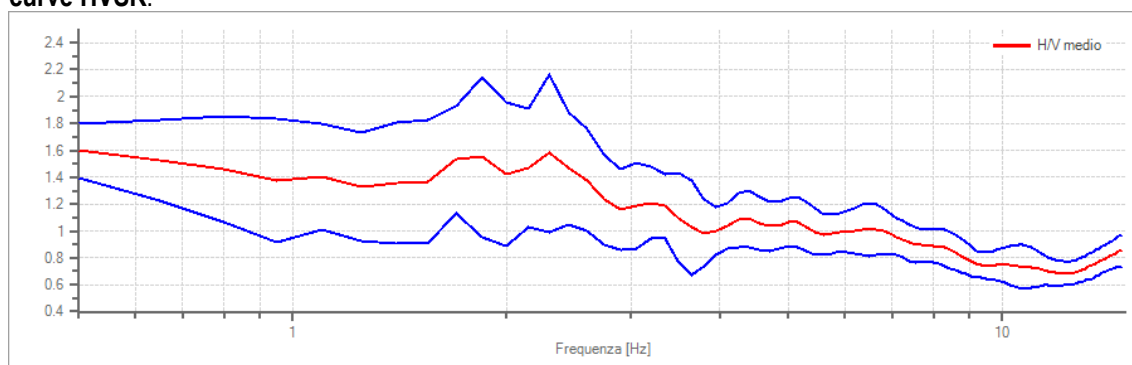
**Intervallo di ricerca:** 0.5 - 20.00 Hz

**Percentuale di lisciamento:** 10.00%



Spettri medi nelle tre direzioni

# **Risultati curve HVSR:**



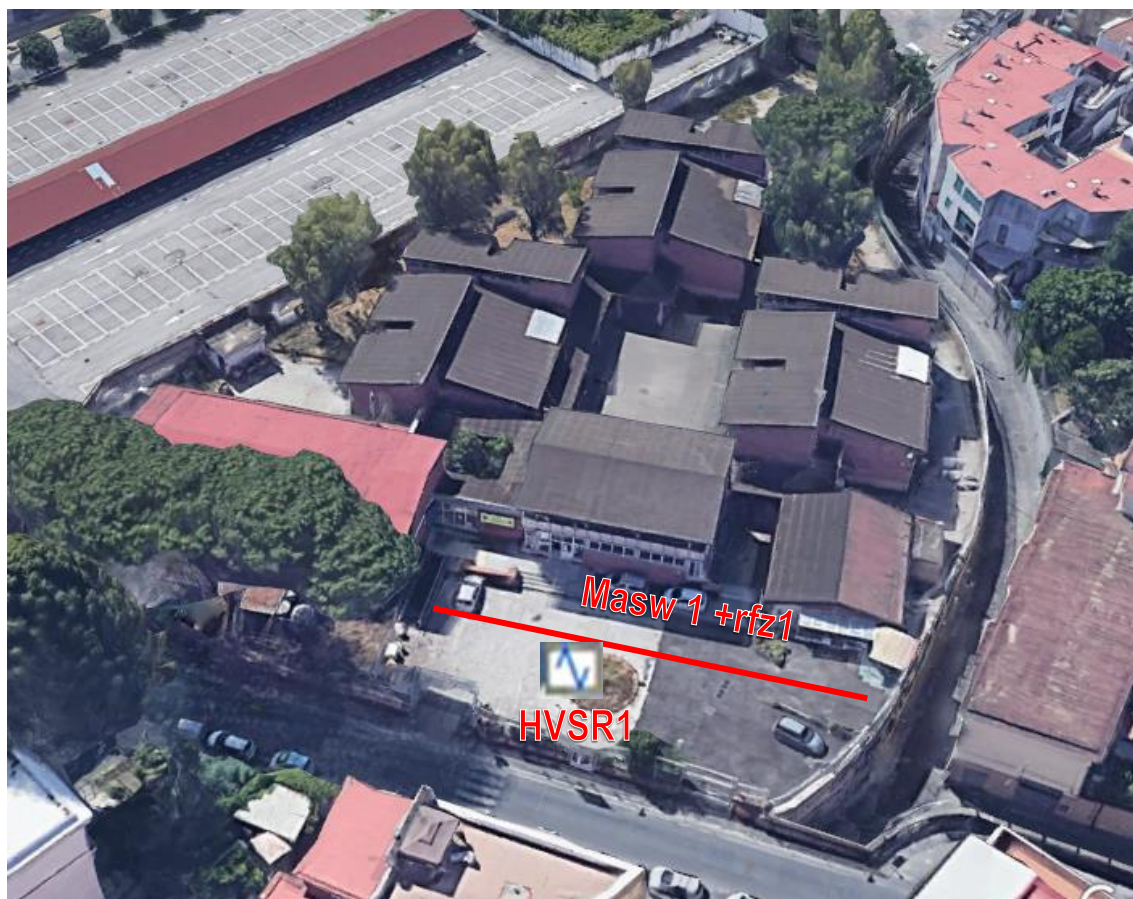
Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

**frequenza di picco (fo): 0.50 Hz ±0.13 Hz**

## Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Non superato
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Non superato
$A_0 > 2$	Non superato
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Non superato
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Non superato
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

## CARTA UBICAZIONE INDAGINI



### Legenda



Sismica passiva (HVSR)



Stendimento sismico di tipo MASW e sismica a rifrazione

## REPORT FOTOGRAFICO



Foto 1 - 2- Prova di sismica passiva HVSr1



Foto 3 - Stendimento sismico MASW 1 – TOMO1

Il Geologo  
Dott. Sergio Dolfin

