

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

Messa in Sicurezza e Riqualificazione mediante intervento di sostituzione edilizia di n. 2 edifici ad uso scolastico – Plesso Piantedosi (Cod. Ares 0630491428) e Plesso Nazario Sauro (Cod. Ares 0630490736) - I.C. 61° SAURO ERICO PASCOLI

Responsabile del Procedimento:

Arch. Alfonso Ghezzi

Progettisti:



Marianna Vanacore
Ing. Marianna Vanacore
Arch. Laura Bellino

TAVOLA:

Al.0C

Descrizione elaborato:

Allegato C_Fase 2_RGEOL_T_01 - Relazione geologica e geotecnica del Plesso Piantedosi (Cod. Ares 0630491428) e Fase 2_RGEOL_T_01 - Relazione geologica e geotecnica del Plesso Nazario Sauro (Cod. Ares 0630490736)

Scala:

-

Data:

MARZO 2023



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



- ▶ ELABORATO: Fase2_RGEOL-T_01
- ▶ OGGETTO: Relazione geologica e geotecnica
- ▶ SCALA:
- ▶ DATA: 30/11/21
- ▶ REV: [0]

▶ RTP

Capogruppo e coordinatore scientifico:

Ing. Fabio Neri (PROGEN srl)

PROGEN s.r.l.
Amministratore unico
Ing. FABIO NERI

Professionisti responsabili strutturali e della calcolazione delle strutture:

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

PLANIR srl
Amministratore unico
Dott. Ing. Placido Impollonia

Professionista responsabile delle attività di predisposizione della relazione geologica:

Geol. Sergio Dolfin

Professionisti collaboratori tecnici:

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

Professionisti responsabili della fase dell'esecuzione delle indagini strutturali:

Ing. Andrea De Maio
Ing. Pierluca Lombardo (TECNHOSIDE 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. 61° Sauro Errico Pascoli, Piantedosi
Via Fratelli Rosselli, 29
Codice Scheda: 7.24.195

RELAZIONE GEOLOGICA

Indice

1. PREMESSE	4
2. UBICAZIONE DELL'AREA IN ESAME	5
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE - GEOMORFOLOGICO.....	5
4. CONDIZIONI GEOLOGICHE LOCALI.....	7
5. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA.....	7
6. COMPORTAMENTO MECCANICO DEI TERRENI.....	8
7. VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE SISMICO DI PROGETTO.....	10
8. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA	12
9. ANALISI SISMICA DEL SITO.....	16
10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	28

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 Piantedosi dell' I.C. 61° Sauro Errico Pascoli, Via Fratelli Rosselli, 29 Secondigliano - 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 Secondigliano in Via Fratelli Rosselli, 29, un'area densamente urbanizzata, alle coordinate Latitudine 40°53'10.26"N e Longitudine 14°16'9.22"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 96 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. Nella zona di Secondigliano la quota altimetrica, media, è intorno ai 110 m s.l.m. e va degradando dolcemente verso nord (piana Campana), e verso est (Capodichino).

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

Nell'area di Secondigliano è molto più esteso il problema delle "tane di lapillo": si tratta di antiche cave di pomici, dette "lapilli". La tecnica estrattiva consisteva nel raggiungere gli strati di pomici, denominati dei sette palmi (circa due metri), generalmente mai al di sotto dei 10 metri dal p.c., con un pozzo dalla base del quale si scavavano dei cunicoli a raggiera da cui si estraeva questo materiale che veniva utilizzato in edilizia per la realizzazione dei solai con la tecnica del "battuto di lapilli". Come è facile immaginare, il lavoro di estrazione doveva essere particolarmente penoso in quanto i cunicoli erano alti al massimo un metro e quindi l'operatore doveva procedere carponi, inoltre era abbastanza frequente il crollo del cunicolo con i rischi connessi.

La pericolosità di queste cavità è dovuta al fatto che erano scavate in materiali incoerenti, inoltre a fine coltivazione la cava veniva abbandonata senza alcuna bonifica con la chiusura del pozzo con una voltina di tufo. Oggi non si ha alcun indizio per poter individuare questi vuoti sotterranei di cui si viene a conoscenza solo quando a causa di infiltrazioni d'acqua cedono dando origine a voragini che interessano o le sedi stradali o le fondazioni degli edifici.

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 **“Subsistema 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 è 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 $\varnothing = 35.6 \text{ mm}$, $\beta = 60^\circ$, $A = 10 \text{ cm}^2$;

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:

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

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/cm².

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:

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

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 - φ' (°)	Peso di volume γ (t/m³)	Coesione drenata c' (t/m²)
Depositi cineritici	28°	1.80	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 - Depositati 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 - Depositati 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:

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

Dove:

η = 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
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_C^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_C^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_C^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_C^*)^{-0,40}$

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	Ss	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

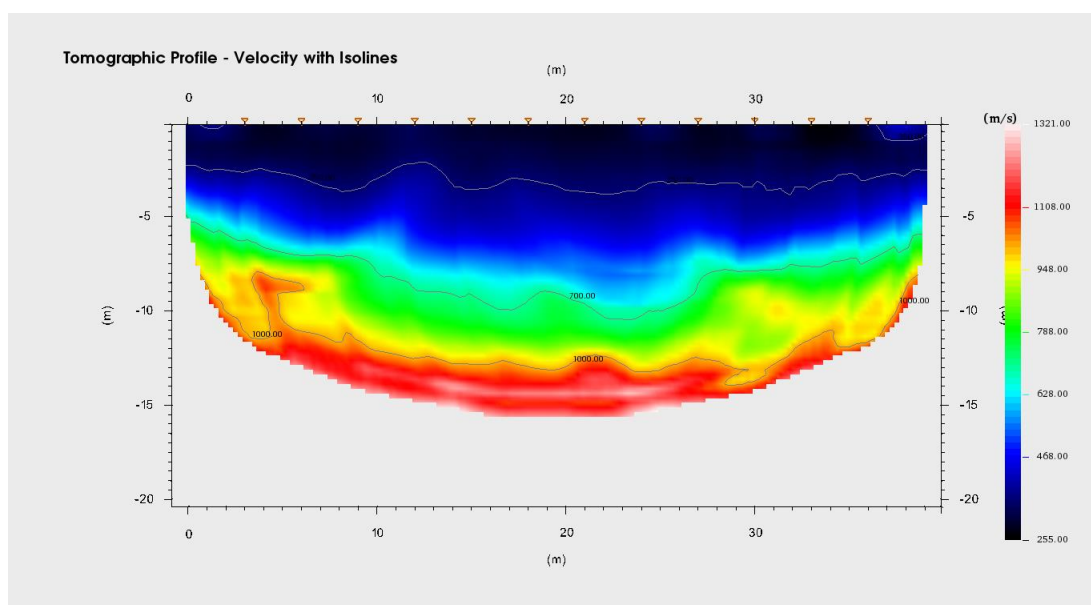
Dai risultati delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite nell'area di sedime, in accordo con quanto riportato in bibliografia i terreni indagati, costituiti da **“Depositi cineritici stratificati afferenti al Subsistema di Contrada Romano”**, sono riconducibili alla **classe C** *Depositi di terreni 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 :Vs_{eq} pari a **298 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:

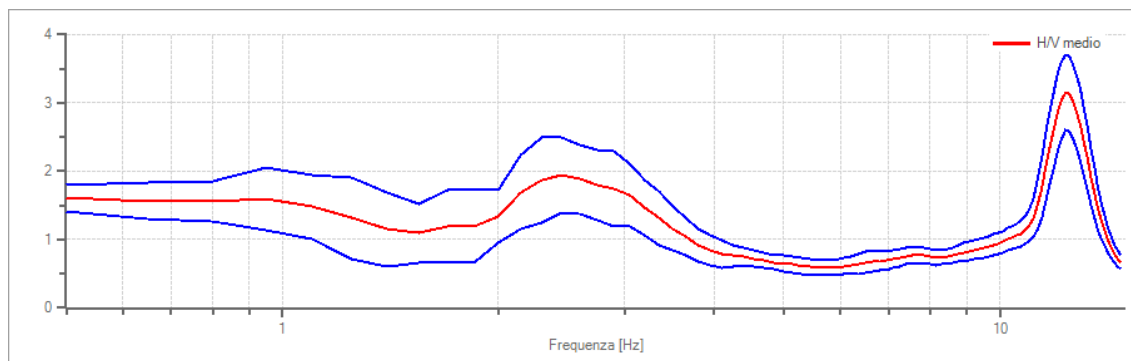


Tomo1

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 12.35 Hz \pm 0.18 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 verificatasi in passato, condotte dall'I.N.G.V. (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia), ha permesso la creazione di un database relativo alle intensit  macrosismiche risentite nei diversi comuni italiani.

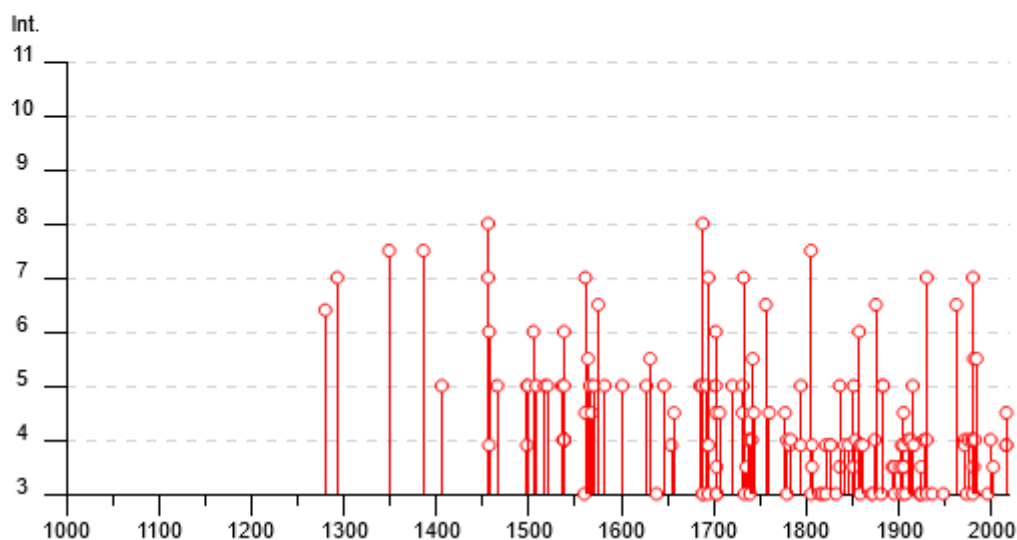
Nella tabella seguente   riassunta la storia sismica di Napoli (I.N.G.V. – Database Macrosismico Italiano 2015 – DBMI15); in essa sono riportati (su 183 osservazioni disponibili) i principali terremoti cui   stato sottoposto il territorio del Comune di Napoli.

Il numero di eventi sismici per classi d'intensit , rilevati nell'area, coperto dal Database Macrosismico Italiano DBMI dell'INGV,   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	15	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	1568	12 27	Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	6 3.37
5	1570	04 30 23 06	Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	6-7 3.50
6-7	1575	06 03 20 30	Napoli	2	5-6 3.25
5	1582	06 03 07 08	Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	8 3.88
5	1601	08 10	Napoli	1	5 3.12
5	1627	07 30 10 50	Capitanata	64	10 6.66
5-6	1631	12	Area Vesuviana	2	5-6 3.25
3	1638	03 27 13 03	Calabria centrale	213	11 7.09
5	1646	03 31	Gargano	35	10 6.72
F	1654	07 24 00 25	Sorano	44	9-10 6.33
4-5	1657	01 29 02	Capitanata	12	8-9 5.96
5	1685	05	Penisola Sorrentina	5	5-6 4.73
5	1687	04 23 00 30	Penisola Sorrentina	2	6 4.63
8	1688	06 03 13 30	Sannio	215	11 7.06
3	1688	07 23	Capitanata	3	7-8 5.33
3	1688	08 14	Beneventano	3	6-7 4.86
5	1692	03 04 22 20	Ispinia	9	8 5.88
F	1693	01 08	Pollino	16	7 5.27
7	1694	09 08 11 40	Ispinia-Basilicata	251	10 6.73
F	1694	10 07 15	Penisola sorrentina	9	5-6 4.71
3	1694	10 09	Avellino	2	5-6 4.40
5	1702	03 14 04 30	Sannio-Ispinia	4	6-7 4.86
6	1702	03 14 05	Sannio-Ispinia	37	10 6.56
4-5	1702	04 02 06 20	Sannio-Ispinia	4	6-7 4.86
3-4	1703	01 14 18	Valnerina	197	11 6.92
3	1703	01 16 13 30	Appennino laziale-abruzzese	22	
3	1703	02 02 11 05	Aquilano	69	10 6.67
4-5	1706	11 03 13	Maiella	99	10-11 6.84
5	1720	08 28	Casinese	2	5-6 4.35
5	1731	03 20 03	Tavoliere delle Puglie	49	9 6.33
4-5	1731	10 17 11	Tavoliere delle Puglie	6	6-7 4.86
7	1732	11 29 07 40	Ispinia	183	10-11 6.75
3	1733	05 15 00 30	Puglia	3	
3-4	1735	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 03 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 03 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 03 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 = 5.69**.

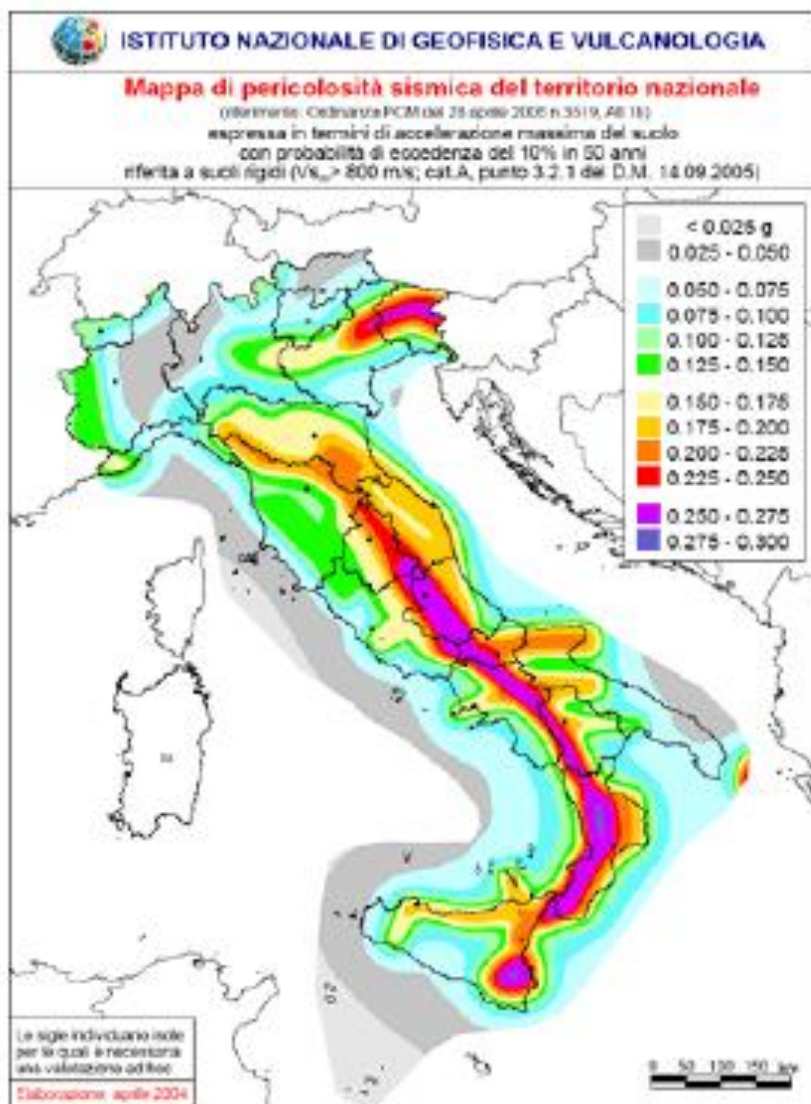
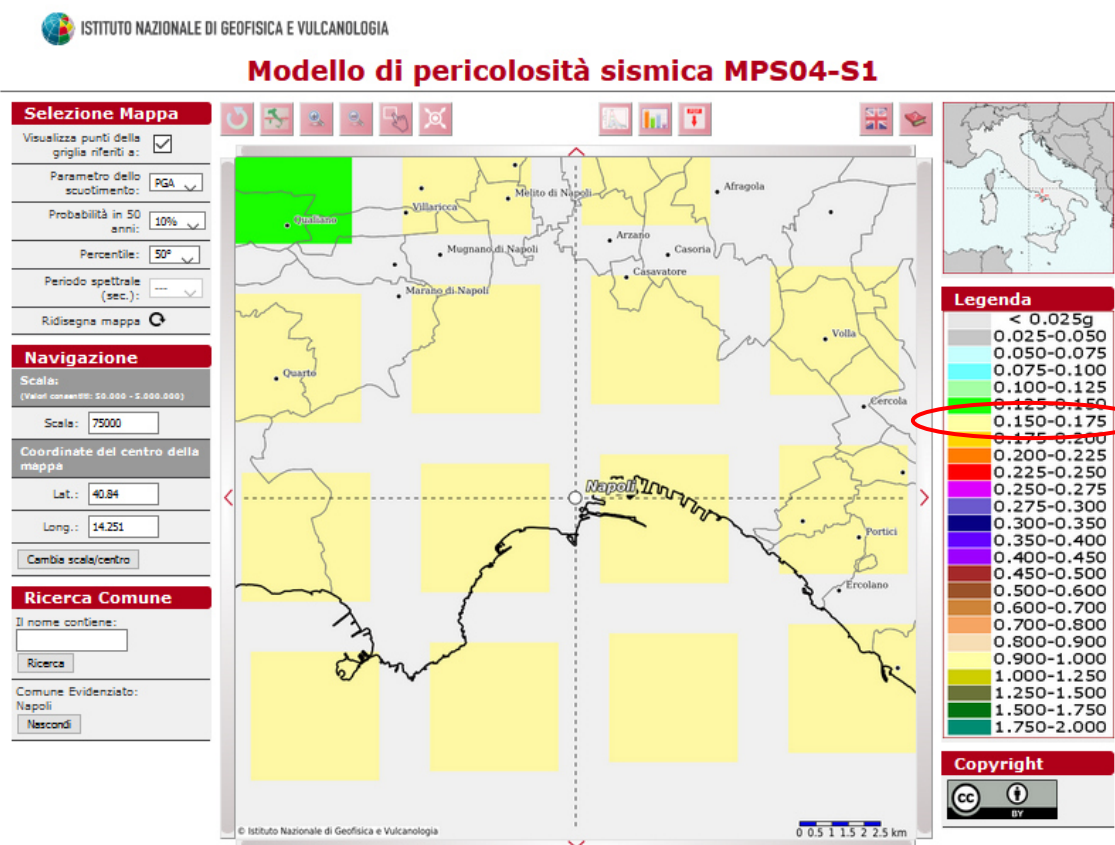


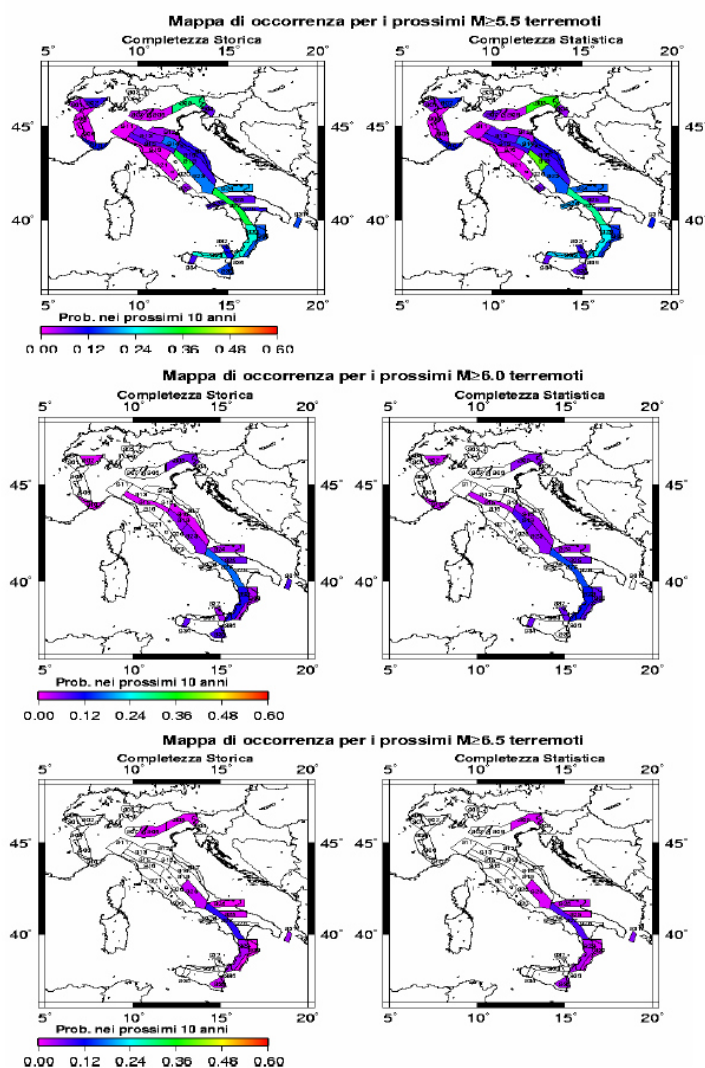
Figura 2 - Mappa della pericolosità sismica - INGV

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.

10.2 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.

10.3 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°53'10.26"N
- Longitudine: 14°16'9.22"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	32979	32978	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.

10.4 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 (32979), 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 Secondigliano in Via Fratelli Rosselli, 29, un'area densamente urbanizzata, alle coordinate Latitudine 40°53'10.26"N e Longitudine 14°16'9.22"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 96 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°53'10.26"N e Longitudine 14°16'9.22"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 **298 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 :
- $$(f_0) = 12.35 \text{ Hz} \pm 0.18 \text{ Hz}$$
- 10) I parametri geomeccanici che caratterizzano i terreni di interesse progettuale, definiti sulla base dei dati ottenuti dall'elaborazione dei risultati delle prove dirette effettuate in situ (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 - $\varphi'(^{\circ})$	Peso di volume $\gamma(t/m^3)$	Coesione drenata $c'(t/m^2)$
Depositi cineritici	28°	1.80	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



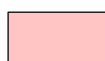
CARTA GEOLOGICA



Legenda



Area di progetto



Subsintema 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. 61° Sauro Errico Pascoli, Piantedosi

Via Fratelli Rosselli, 29

Codice Scheda: 7.24.195

RAPPORTO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

SOMMARIO

1. GENERALITA'	2
1.1 Introduzione.....	2
1.2 Elaborati	2
2. CAMPAGNA GEOFISICA.....	3
2.1 Indagine Geofisica.....	3
2.2 Attrezzatura geofisica	3
2.3 Prove Sismiche “Active Masw”	5
2.4 Tomografia sismica a rifrazione.....	10
2.5 Prove Di Sismica Passiva A Stazione Singola (HVSr)	16

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 Piantedosi dell' I.C. 61° Sauro Errico Pascoli, Via Fratelli Rosselli, 29 Secondigliano - 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:

- 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 è 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 è dotato il sismografo (tecnologia SST). L'adozione di tale architettura lo rende ideale per tutte le tipologie di prospezione sismica attiva e passiva nonché 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 rumorosità di fondo del sito investigato, inoltre è possibile effettuare una prima analisi dei dati acquisiti, anche per singola onda, direttamente in campagna, visualizzando i dati relativi alle velocità 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 Vs e relativa curva di taglio verticale. Il processo dati si chiude con la definizione delle unità sismogenetiche e relativi valori di Vs 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.

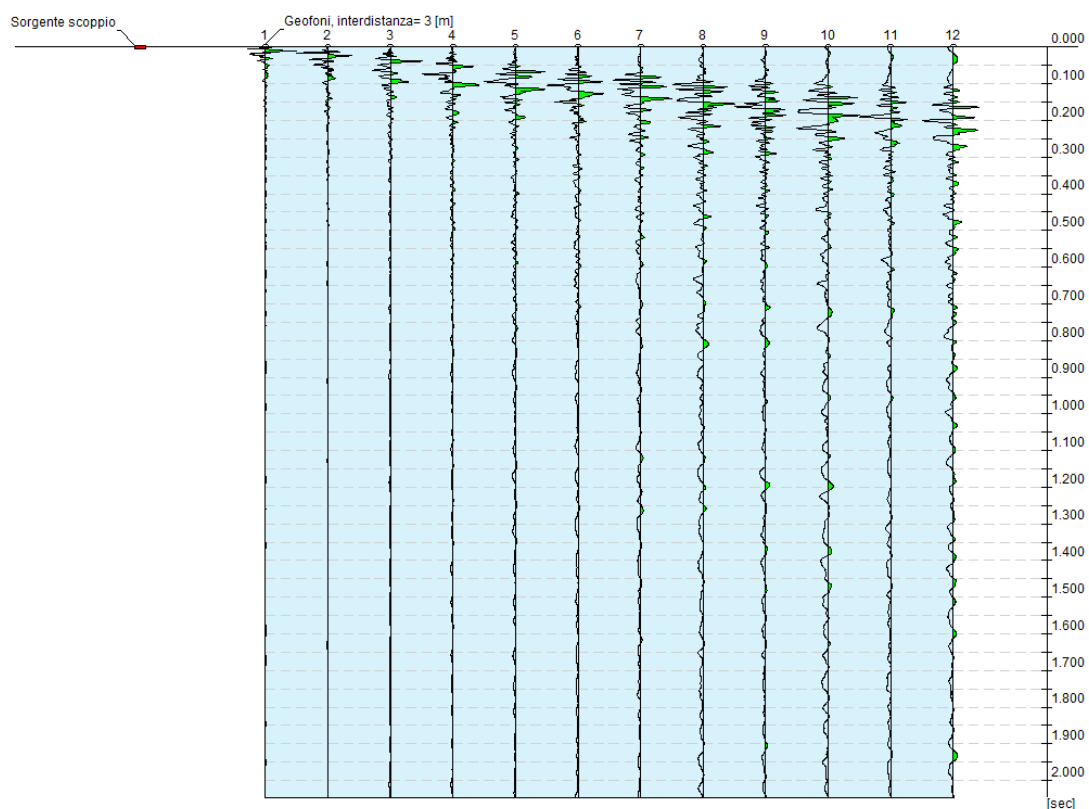


Figura 3 – Tracce sperimentali

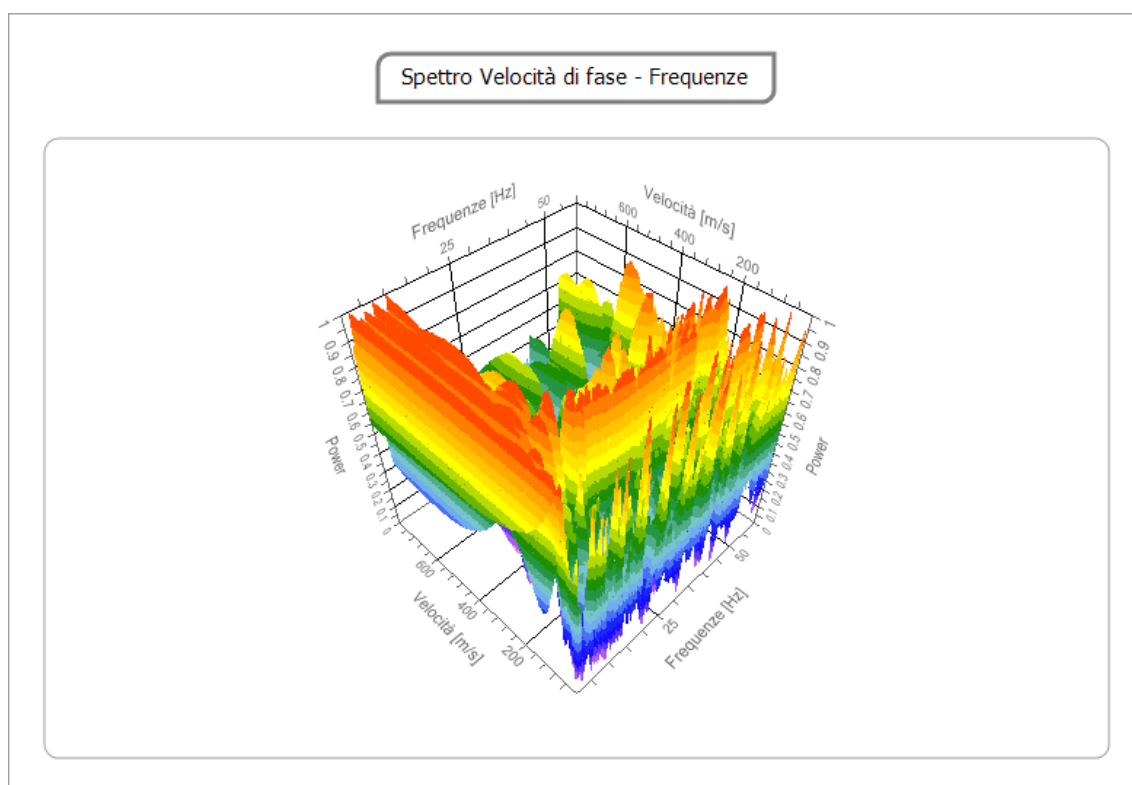


Figura 4 – Spettro Velocità di fase - Frequenze

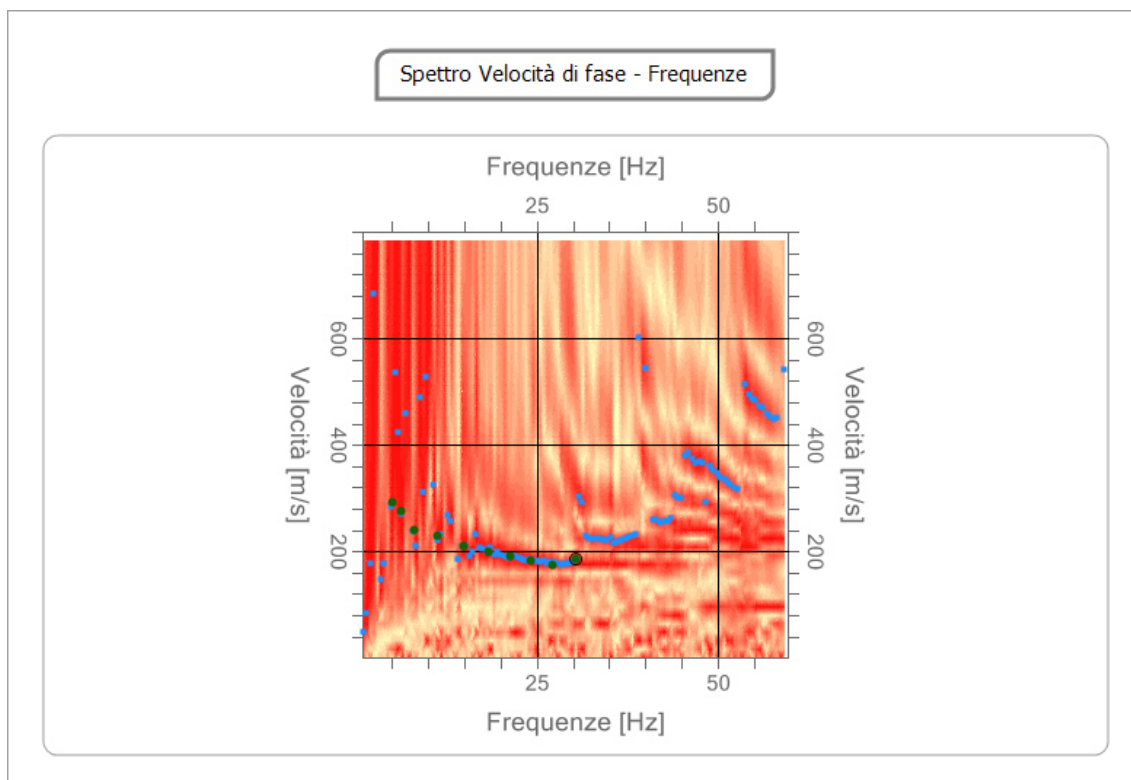


Figura 5 – Curva di dispersione sperimentale

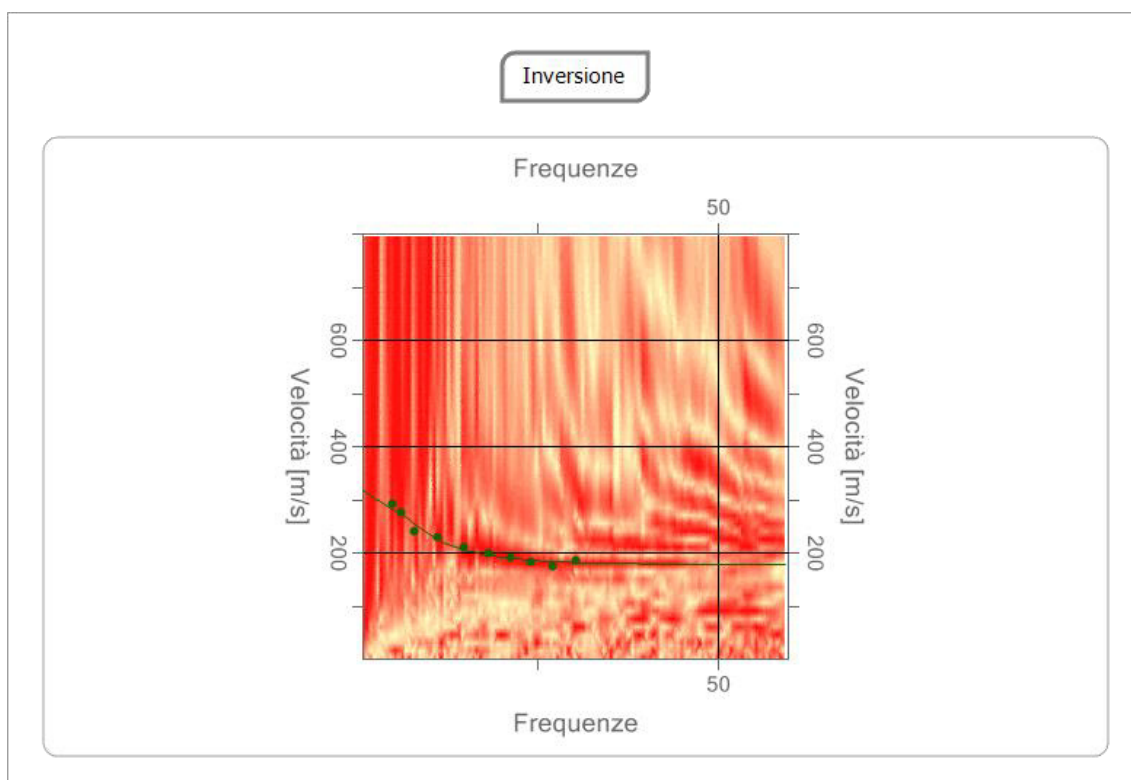


Figura 6 – Inversione

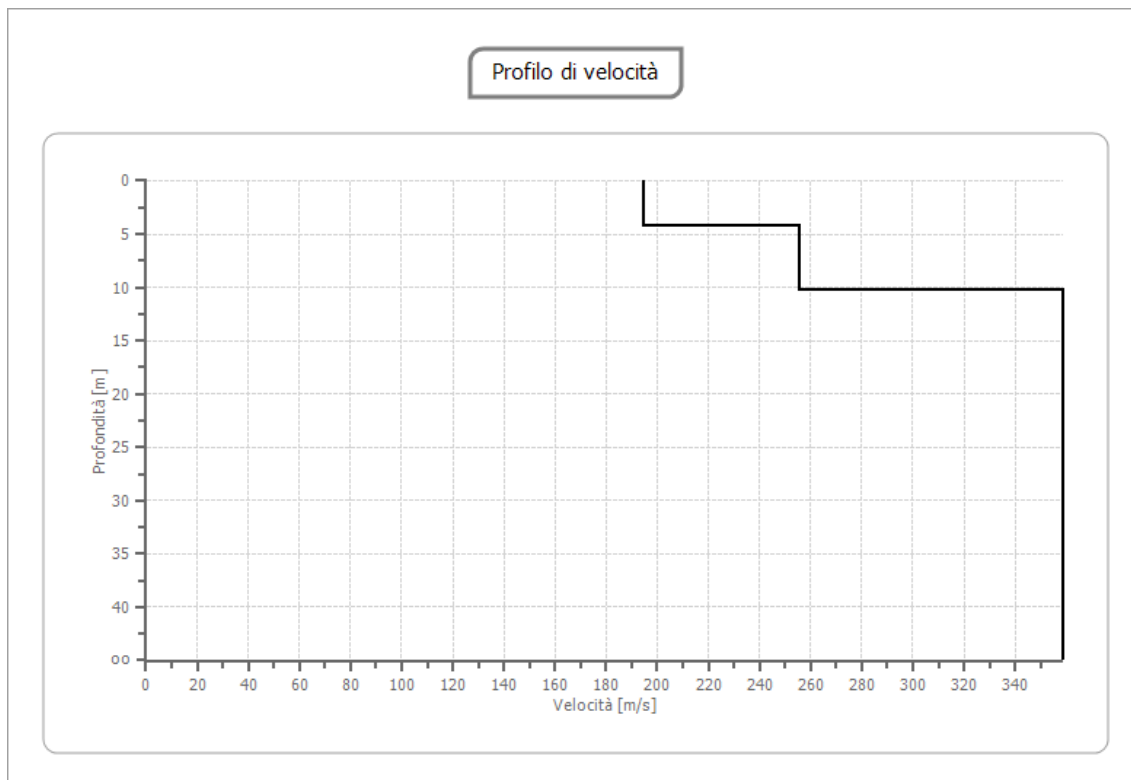


Figura 7 – Profilo di velocità

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	194,80
5,00 – 10,00	255,48
10,00-∞	358,57

Suolo	Descrizione geotecnica	$V_{seq}(m/s)$
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s30} > 800$ 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	$360 \div 800$
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.	$180 \div 360$

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 $V_{s,eq}$

Così come previsto dalla vigente normativa è stata calcolata la $V_{s,eq}$ con la seguente espressione:

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

Essendo:

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 V_S non inferiore a 800 m/s.

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

$V_{s,eq} = 298 \text{ m/sec}$
--

In base al valore di **$V_{s,eq}$** 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 a 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
TERRENI E ACQUA		
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
ROCCE SEDIMENTARIE		
Argillite	2100 - 4400	550 - 2100
Arenaria	2000 - 6000	950 - 3100
Arenaria fratturate	800 - 2100	360 - 950
Calcarea	2000 - 7000	1000 - 3300
Calcarea fratturato	750 - 1500	330 - 1000
Calcarenite	1400 - 4400	800 - 2500
Calcarenite fratturata	600 - 1300	330 - 800
Marna	1500 - 2000	300 - 500
ROCCE IGNEE		
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.

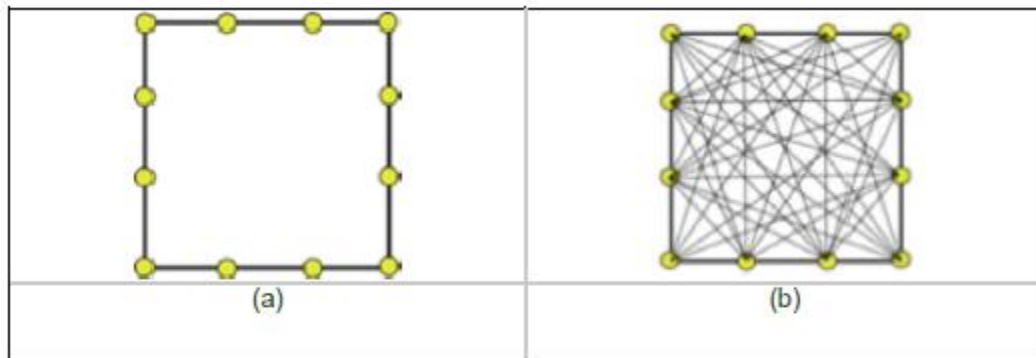


Figura 1 (a) Esempio di cella con 4 nodi; (b) visualizzazione dei possibili raggi sismici che congiungono i nodi della cella.

- 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 velocità viene sostituita dal suo inverso, la lentezza. Ad esempio considerando un generico raggio sismico j tra la sorgente ed il ricevitore la lentezza media può 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 può 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:

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

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

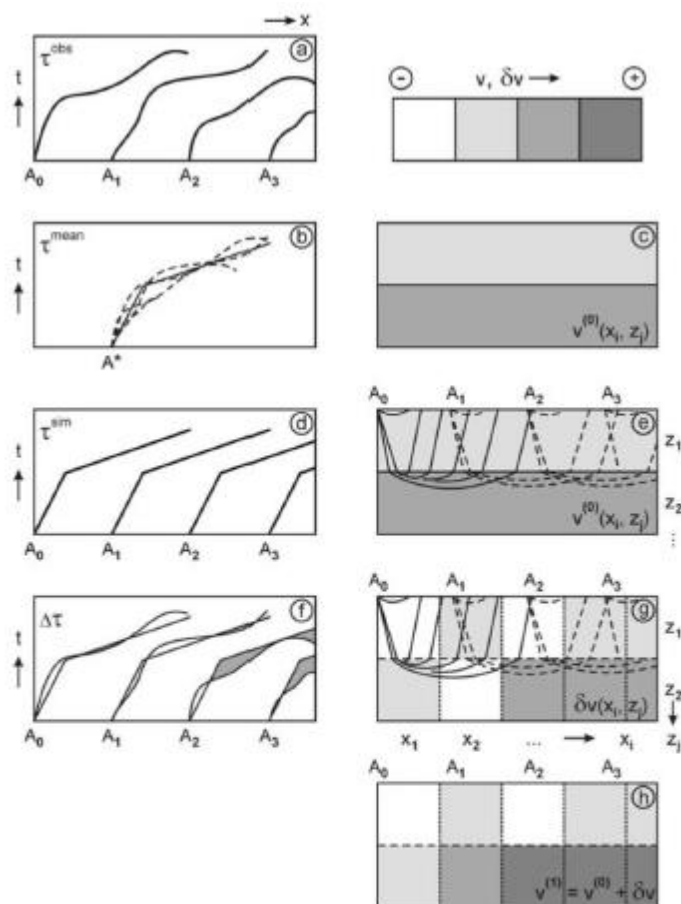


Figura 2 Immagine che illustra il processo di ottimizzazione del risultato da parte della tomografia sismica.
 (a) Le dromocrone misurate sulle tracce registrate sul terreno sono utilizzate per costruire il modello iniziale (b) e (c).
 (d) Utilizzando il modello iniziale (e) vengono calcolate le dromocrone 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.

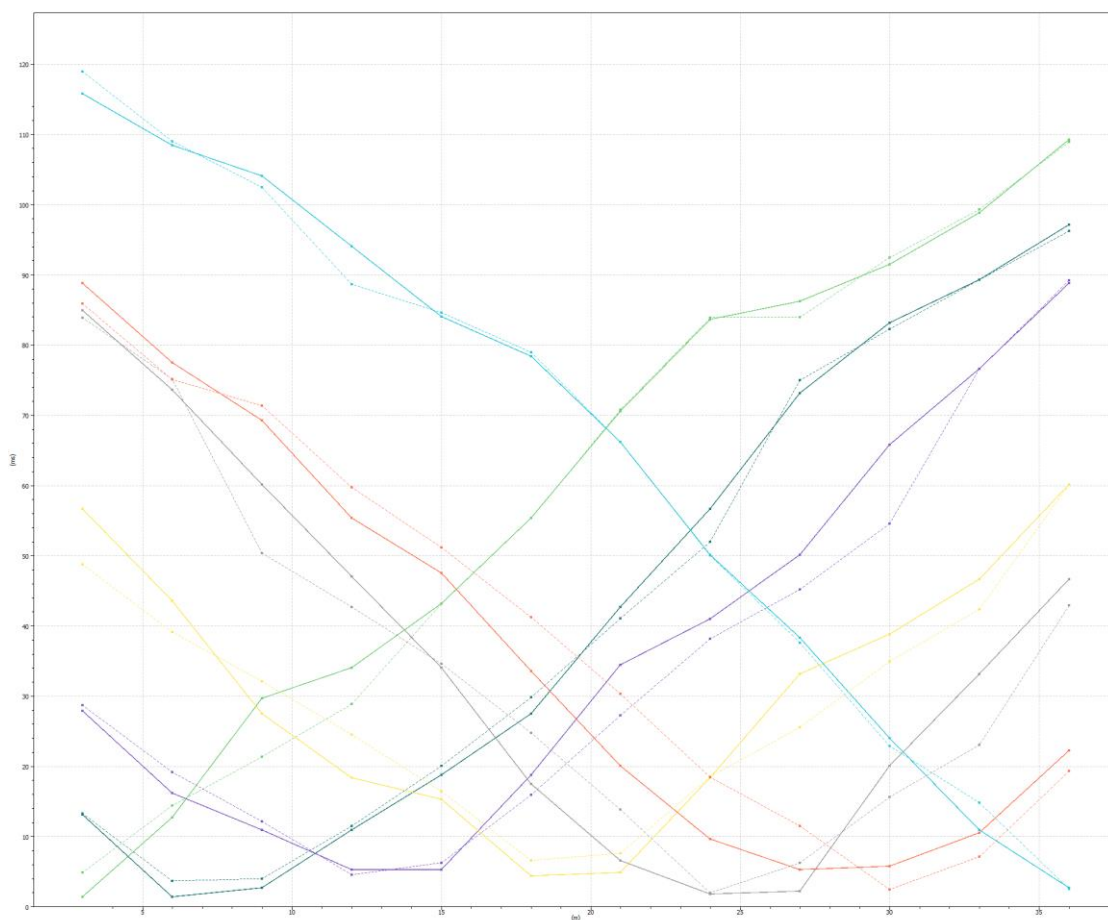


Figura 8 – Dromocrone

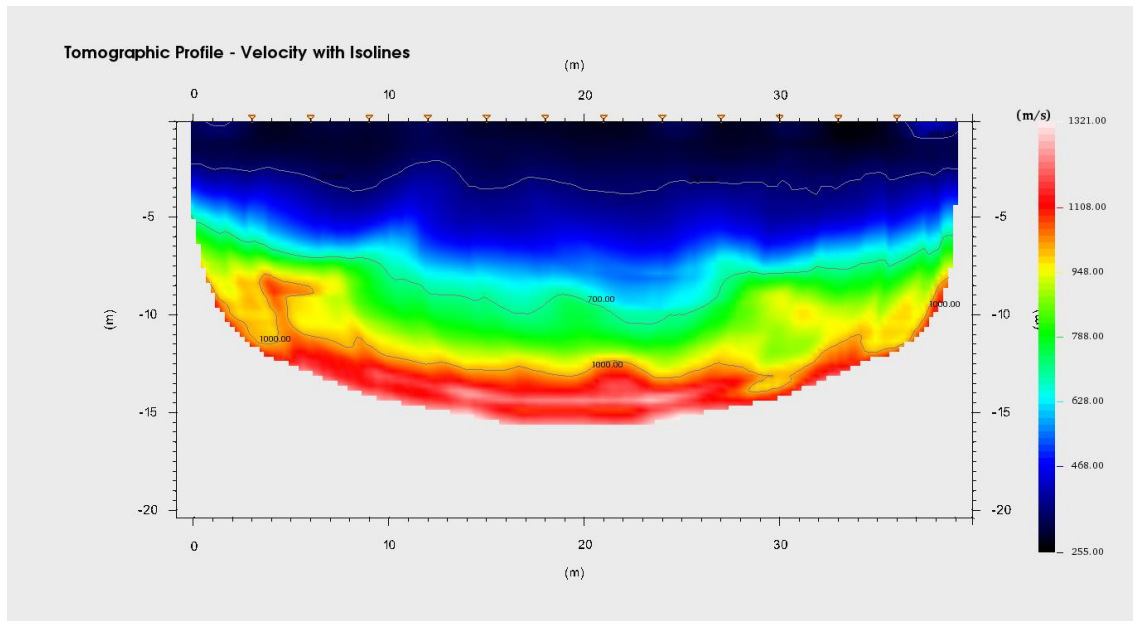


Figura 9 – Profilo tomografico

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 liscio 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;

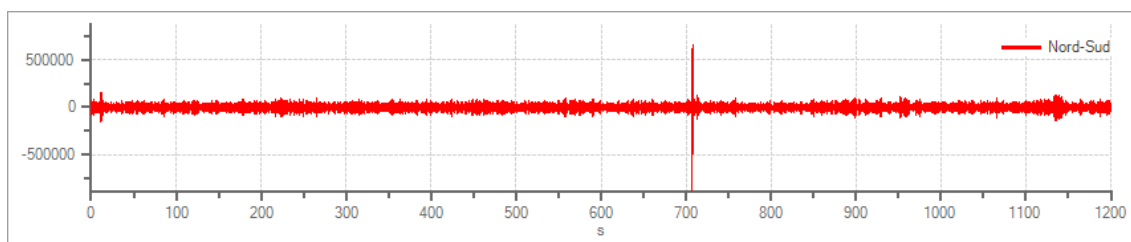
Prima di effettuare le misure, il sensore 3D è stato correttamente orientato mediante l'ausilio di una bussola e posizionato sulla superficie da investigare. Successivamente si è verificato il corretto accoppiamento dello strumento con il terreno avendo cura di metterlo in posizione perfettamente orizzontale.

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.

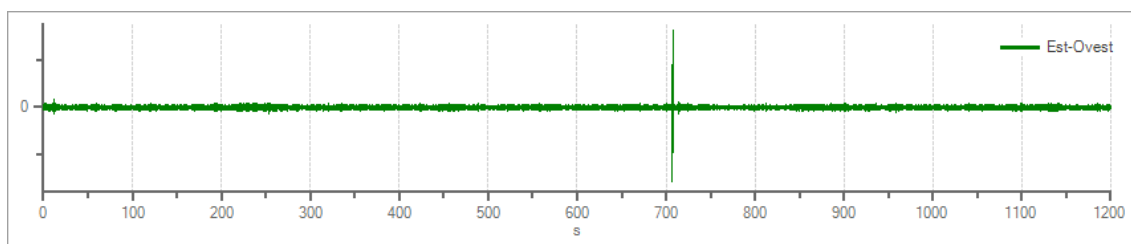
2.5.3 Misura HVSR1

Dettagli acquisizione

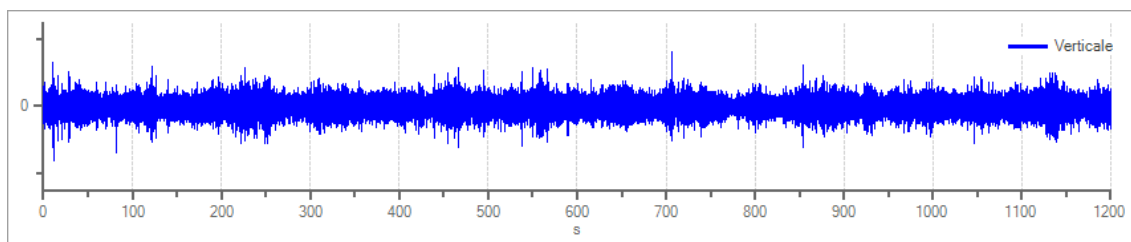
- Numero tracce: 3
- Durata registrazione: 00:20:00
- Frequenza di campionamento: 250,00 Hz
- Coordinate punto di misura: **LAT 40°53'10.29"N; LONG. 14°16'8.60"E** (riferite all'ellissoide WGS 84).



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Elaborazione

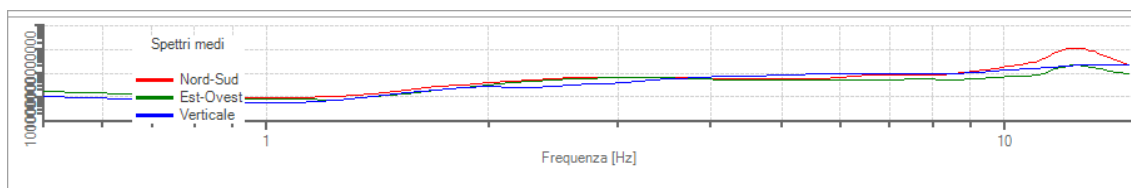
Frequenza di campionamento: 250 Hz

Numero totale di finestre temporali: 52

Dimensione temporale finestre: 20.000 s

Intervallo di ricerca: 0.5 - 20.00 Hz

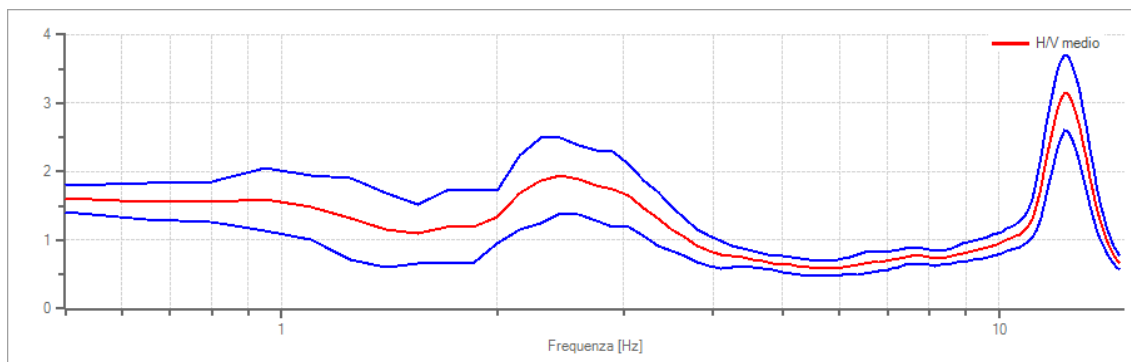
Percentuale di lisciamento: 10.00%



Spettri medi nelle tre direzioni

Risultati

curve HVSR:



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

frequenza di picco (f_0): 12.35 Hz \pm 0.18 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
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

CARTA UBICAZIONE INDAGINI



Legenda



Sismica passiva (HVSr)



Stendimento sismico di tipo MASW e sismica a rifrazione

Report Fotografico



Foto 1- Stendimento sismico MASW 1 – TOMO1

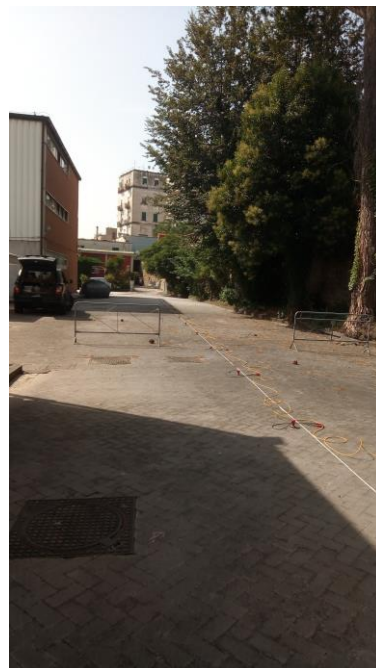


Foto 2- Stendimento sismico MASW 1 – TOMO1



Foto 3- Prova sismica passiva HVSR1

Il Geologo
Dott. Sergio DOLFIN
Geologo
3-7-86
n. 528

REGIONE DEL GEOLOGO
REGIONE DEL GEOLOGO
REGIONE DEL GEOLOGO



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



61° IC Sauro-Errico Pascoli, Nazario Sauro Centrale
Traversa Maglione, 35
Codice scheda: 7.02.173

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

- ELABORATO: Fase2_RGEOL-T_01 ► OGGETTO: Relazione geologica e geotecnica
► SCALA: ► DATA: 03/12/21 ► REV: [0]

► RTP

Capogruppo e coordinatore scientifico:

Ing. Fabio Neri (PROGEN srl)

PROGEN s.r.l.
Amministratore Unico
Ing. FABIO NERI

Professionisti responsabili strutturali e della calcolazione delle strutture:

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

Planir srl
Amministratore Unico
Dott. Ing. Placido Impollonia

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. 61° Sauro Errico Pascoli, Nazario Sauro Centrale
Via Traversa Maglione, 35**

RELAZIONE GEOLOGICA

Indice

1. PREMESSE	4
2. UBICAZIONE DELL'AREA IN ESAME	5
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE - GEOMORFOLOGICO.....	5
4. CONDIZIONI GEOLOGICHE LOCALI.....	7
5. CARATTERIZZAZIONE IDROGEOLOGICA.....	7
6. COMPORTAMENTO MECCANICO DEI TERRENI.....	9
7. VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE SISMICO DI PROGETTO.....	11
8. VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA	12
9. ANALISI SISMICA DEL SITO.....	16
10. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE.....	28

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 dell'istituto Nazario Sauro Centrale I.C. 61° Sauro Errico Pascoli, sito in Via Traversa Maglione, 35 Secondigliano - 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);
- N. 1 prova penetrometrica dinamica continua leggera.

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.
- Report Spt

2. UBICAZIONE DELL'AREA IN ESAME

L'area in studio è ubicata nel popoloso quartiere di Secondigliano in Via Traversa Maglione, 35 un'area densamente urbanizzata, alle coordinate Latitudine 40°53'12.45"N e Longitudine 14°16'8.22"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 96 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. Nella zona di Secondigliano la quota altimetrica, media, è intorno ai 110 m s.l.m. e va degradando dolcemente verso nord (piana Campana), e verso est (Capodichino).

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

Nell'area di Secondigliano è molto più esteso il problema delle "tane di lapillo": si tratta di antiche cave di pomici, dette "lapilli". La tecnica estrattiva consisteva nel raggiungere gli strati di pomici, denominati dei sette palmi (circa due metri), generalmente mai al di sotto dei 10 metri dal p.c., con un pozzo dalla base del quale si scavavano dei cunicoli a raggiera da cui si estraeva questo materiale che veniva utilizzato in edilizia per la realizzazione dei solai con la tecnica del "battuto di lapilli". Come è facile immaginare, il lavoro di estrazione doveva essere particolarmente penoso in quanto i cunicoli erano alti al massimo un metro e quindi l'operatore doveva procedere carponi, inoltre era abbastanza frequente il crollo del cunicolo con i rischi connessi.

La pericolosità di queste cavità è dovuta al fatto che erano scavate in materiali incoerenti, inoltre a fine coltivazione la cava veniva abbandonata senza alcuna bonifica con la chiusura del pozzo con una voltina di tufo. Oggi non si ha alcun indizio per poter individuare questi vuoti sotterranei di cui si viene a conoscenza solo quando a causa di infiltrazioni d'acqua cedono dando origine a voragini che interessano o le sedi stradali o le fondazioni degli edifici.

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 delle indagini geognostiche eseguite nell'area di interesse progettuale, in particolare è stata realizzata una prova penetrometrica dinamica leggera continua.

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 cm²;

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:

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

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/cm².

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:

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

I parametri geomeccanici che caratterizzano i terreni di interesse progettuale, definiti sulla base dei dati ottenuti dall'elaborazione dei risultati delle prove dirette effettuate in situ (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 - φ' (°)	Peso di volume γ (t/m ³)	Coesione drenata c' (t/m ²)
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 - Depositati 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 - Depositati 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;

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.

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:

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

Dove:

η = 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
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T_c^*)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T_c^*)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T_c^*)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T_c^*)^{-0,40}$

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:

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

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

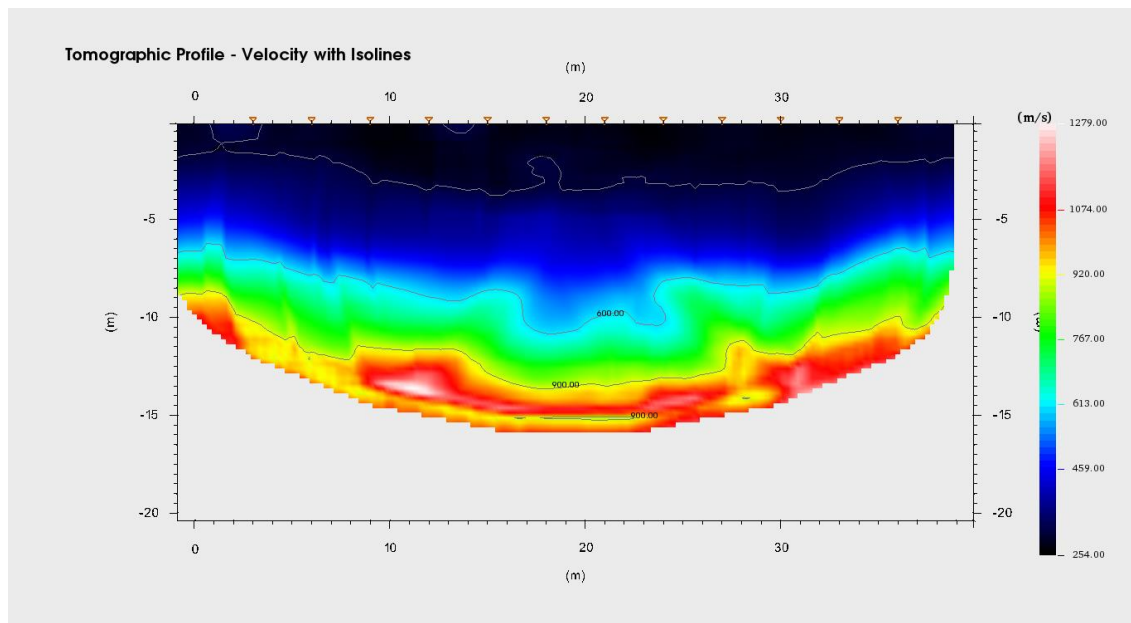
Dai risultati delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite nell'area di sedime, in accordo con quanto riportato in bibliografia i terreni indagati, costituiti da **“Depositi cineritici stratificati afferenti al Subsintema di Contrada Romano”**, sono riconducibili alla **classe C** *Depositi di terreni 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 **304 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:

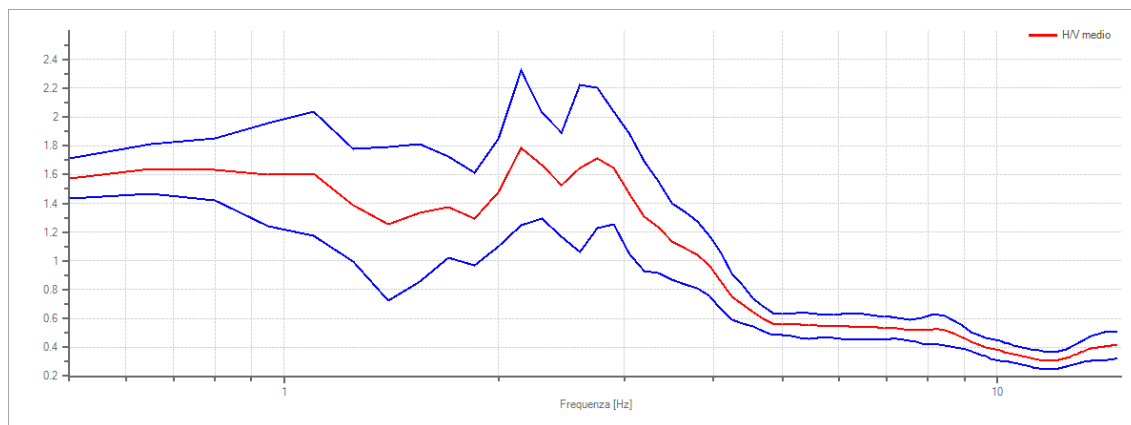


Tomo1

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: $2.15 \text{ Hz} \pm 0.30 \text{ Hz}$

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 verificatasi 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.

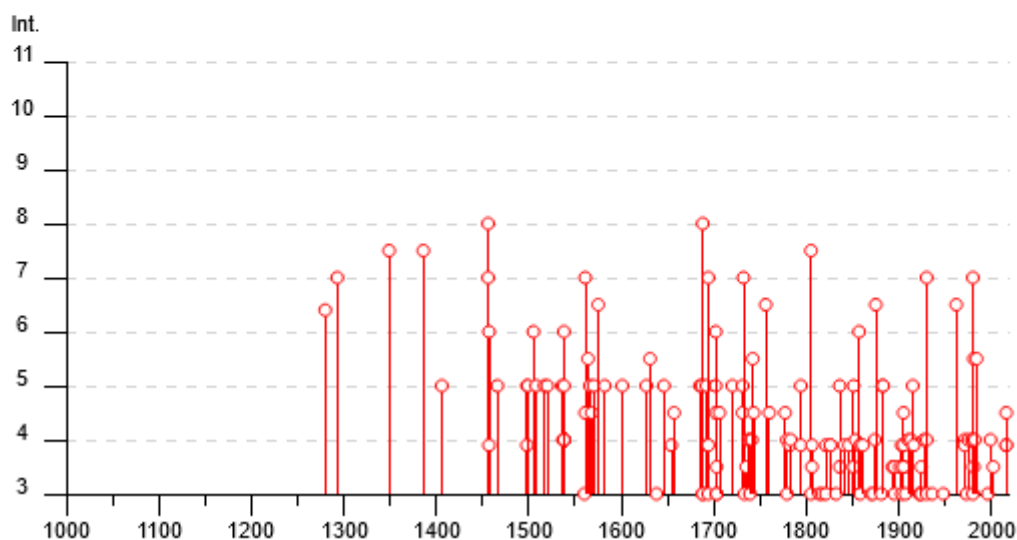
Nella tabella seguente è riassunta la storia sismica di Napoli (I.N.G.V. – Database Macrosismico Italiano 2015 – DBMI15); in essa sono riportati (su 183 osservazioni disponibili) i principali terremoti cui è stato sottoposto il territorio del Comune di Napoli.

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	15	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	1568	12 27	Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	6 3.37
5	1570	04 30 23 06	Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	6-7 3.50
6-7	1575	06 03 20 30	Napoli	2	5-6 3.25
5	1582	06 03 07 08	Campi Flegrei (Pozzuoli)	2	8 3.88
5	1601	08 10	Napoli	1	5 3.12
5	1627	07 30 10 50	Capitanata	64	10 6.66
5-6	1631	12	Area Vesuviana	2	5-6 3.25
3	1638	03 27 13 03	Calabria centrale	213	11 7.09
5	1646	03 31	Gargano	35	10 6.72
F	1654	07 24 00 25	Sorano	44	9-10 6.33
4-5	1657	01 29 02	Capitanata	12	8-9 5.96
5	1685	05	Penisola Sorrentina	5	5-6 4.73
5	1687	04 23 00 30	Penisola Sorrentina	2	6 4.63
8	1688	06 03 13 30	Sannio	215	11 7.06
3	1688	07 23	Capitanata	3	7-8 5.33
3	1688	08 14	Beneventano	3	6-7 4.86
5	1692	03 04 22 20	Ispinia	9	8 5.88
F	1693	01 08	Pollino	16	7 5.27
7	1694	09 08 11 40	Ispinia-Basilicata	251	10 6.73
F	1694	10 07 15	Penisola sorrentina	9	5-6 4.71
3	1694	10 09	Avellino	2	5-6 4.40
5	1702	03 14 04 30	Sannio-Ispinia	4	6-7 4.86
6	1702	03 14 05	Sannio-Ispinia	37	10 6.56
4-5	1702	04 02 06 20	Sannio-Ispinia	4	6-7 4.86
3-4	1703	01 14 18	Valnerina	197	11 6.92
3	1703	01 16 13 30	Appennino laziale-abruzzese	22	
3	1703	02 02 11 05	Aquilano	69	10 6.67
4-5	1706	11 03 13	Maiella	99	10-11 6.84
5	1720	08 28	Casinese	2	5-6 4.35
5	1731	03 20 03	Tavoliere delle Puglie	49	9 6.33
4-5	1731	10 17 11	Tavoliere delle Puglie	6	6-7 4.86
7	1732	11 29 07 40	Ispinia	183	10-11 6.75
3	1733	05 15 00 30	Puglia	3	
3-4	1735	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 03 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 03 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 03 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	Irpina	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 = 5.69**.

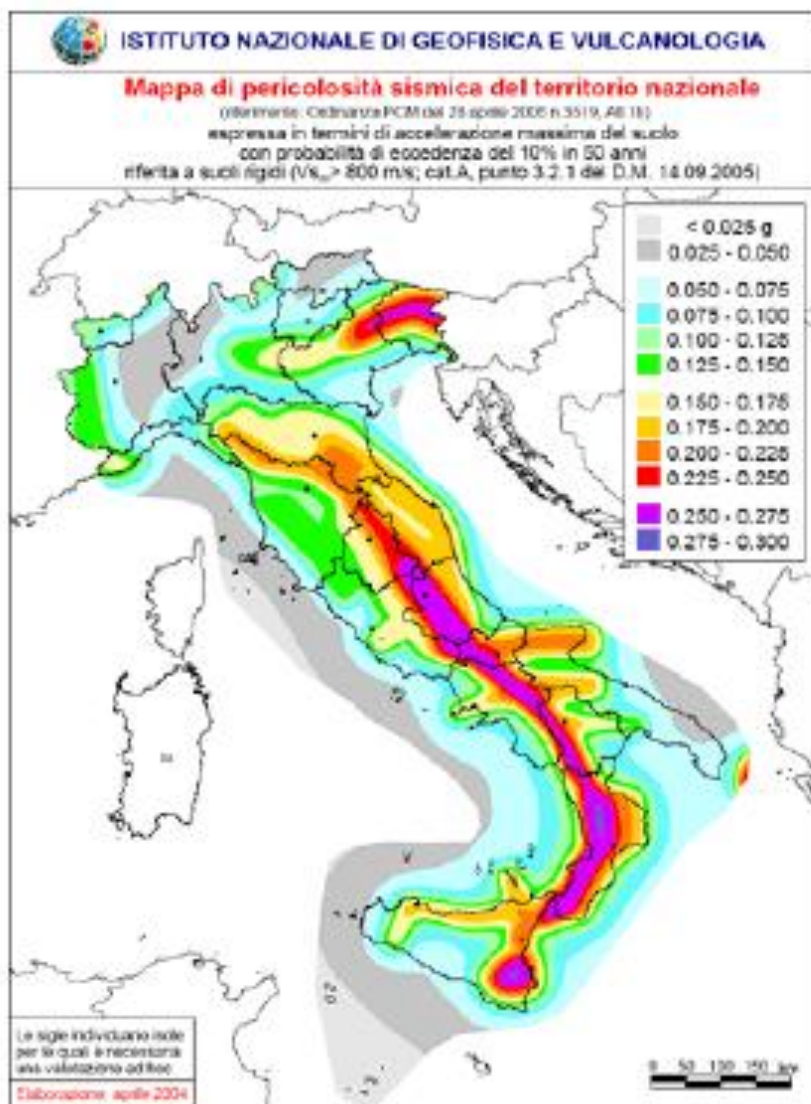
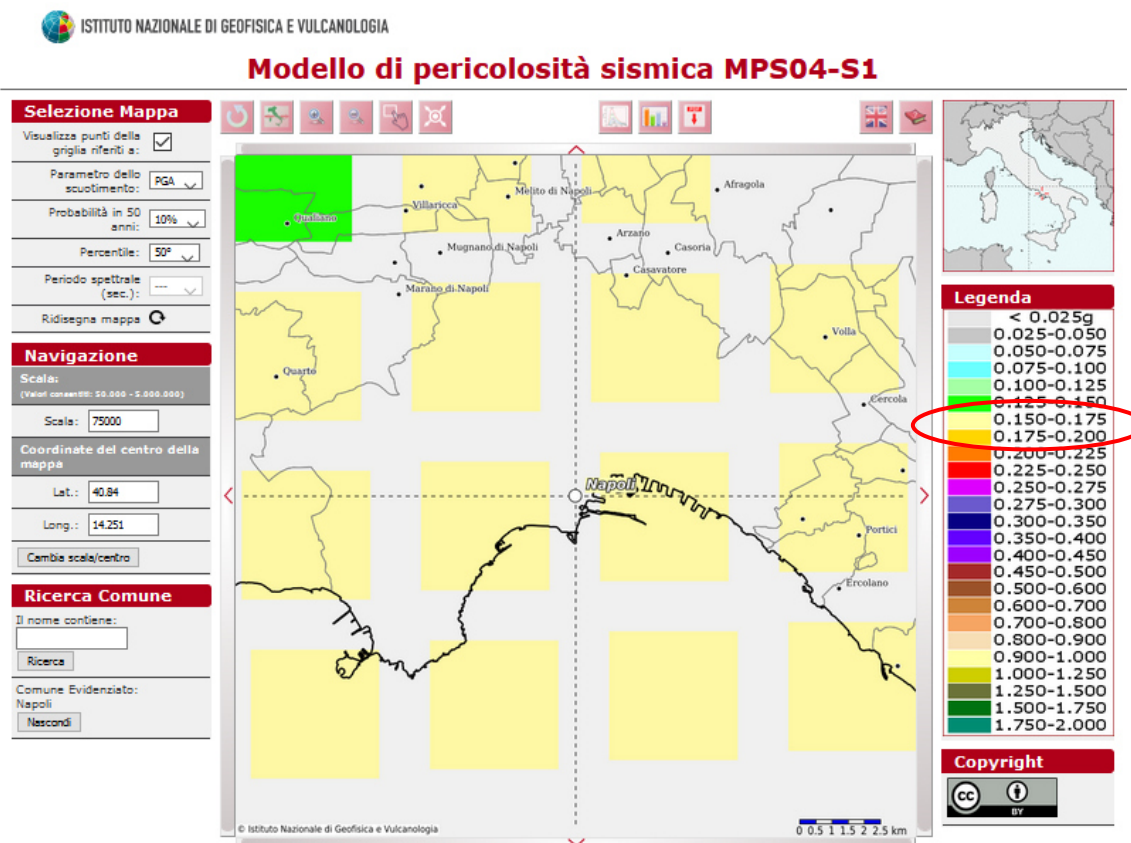


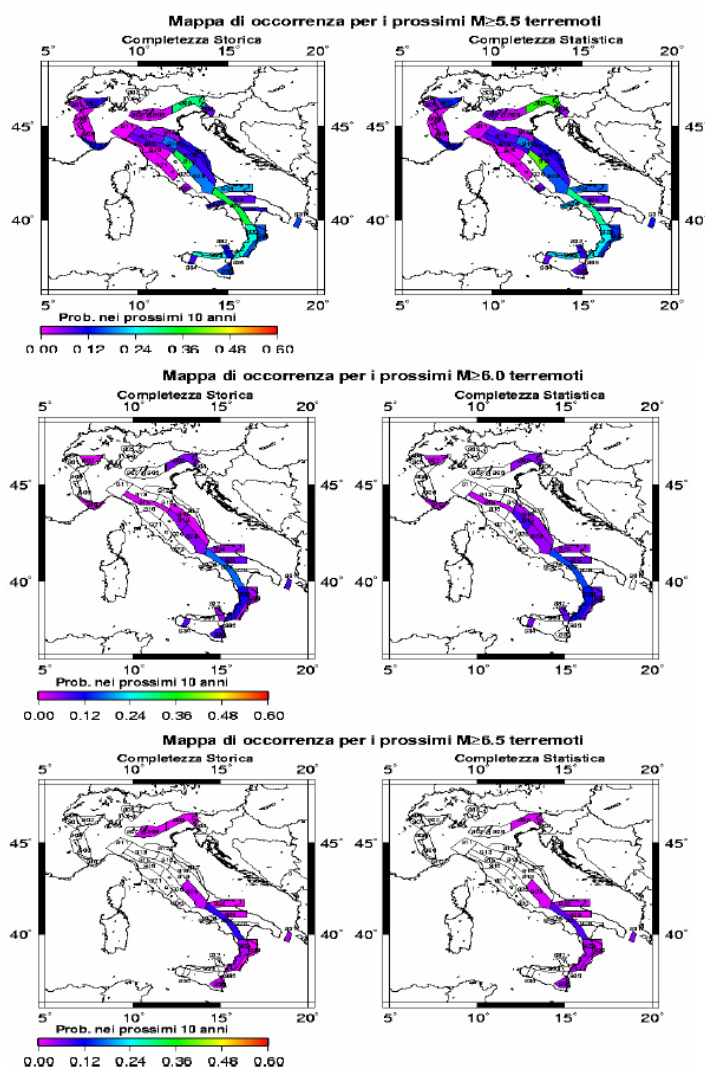
Figura 2 - Mappa della pericolosità sismica - INGV

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 probabilità istantanea di occorrenza in ogni area è più elevata immediatamente dopo un evento e decresce fino a raggiungere, dopo circa 10 anni, un valore costante che rappresenta la probabilità media di occorrenza per quella zona, che segue una legge poissoniana. Ciò significa che subito dopo un forte evento sismico nell'area interessata dall'evento stesso la probabilità 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 probabilità 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.

10.2 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.

10.3 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°53'12.45"N
- Longitudine: 14°16'8.22"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	32979	32978	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.

10.4 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 (32979), 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 Secondigliano in Via Traversa Maglione, 35 un'area densamente urbanizzata, alle coordinate Latitudine 40°53'12.45"N e Longitudine 14°16'8.22"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 96 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°53'12.45"N e Longitudine 14°16'8.22"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 **304 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 :
- $$(f_0) = 2.15 \text{ Hz} \pm 0.30 \text{ Hz}$$
- 10) I parametri geomeccanici che caratterizzano i terreni di interesse progettuale, definiti sulla base dei dati ottenuti dall'elaborazione dei risultati delle prova diretta effettuata in situ (prova penetrometrica dinamica leggera continua), nonché dal raffronto con quanto presente in un'ampia letteratura specializzata, sono i seguenti:

TIPO DI TERRENO	Angolo di attrito interno - $\varphi'(^{\circ})$	Peso di volume $\gamma(t/m^3)$	Coesione drenata $c'(t/m^2)$
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'insacco, al transito e/o all'invasione da frana



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



P1 - Area a suscettibilità bassa all'insacco, 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



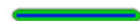
reticolo idrografico



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. 61° Sauro Errico Pascoli, Nazario Sauro Centrale
Via Traversa Maglione, 35**

RAPPORTO DI INDAGINI GEOGNOSTICHE

SOMMARIO

1. GENERALITA'	2
1.1 Introduzione.....	2
1.2 Elaborati	2
2. CAMPAGNA GEOFISICA.....	3
2.1 Indagine Geofisica.....	3
2.2 Attrezzatura geofisica	3
2.3 Prove Sismiche “Active Masw”	5
2.4 Tomografia sismica a rifrazione.....	11
2.5 Prove Di Sismica Passiva A Stazione Singola (HVSr)	16
2.6 Prove penetrometriche dinamiche continue leggere	20

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 Nazario Sauro Centrale dell' I.C. 61° Sauro Errico Pascoli, Via Traversa Maglione, 35 Secondigliano - 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>
<i>N°1 Prova Penetrometrica dinamica continua leggera</i>

1.2 Elaborati

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

- Planimetria indagini
- Report fotografico
- Report elaborazione Prova Penetrometrica dinamica continua leggera.

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 è 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 è dotato il sismografo (tecnologia SST). L'adozione di tale architettura lo rende ideale per tutte le tipologie di prospezione sismica attiva e passiva nonché 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 rumorosità di fondo del sito investigato, inoltre è possibile effettuare una prima analisi dei dati acquisiti, anche per singola onda, direttamente in campagna, visualizzando i dati relativi alle velocità 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 Vs e relativa curva di taglio verticale. Il processo dati si chiude con la definizione delle unità sismogenetiche e relativi valori di Vs 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.

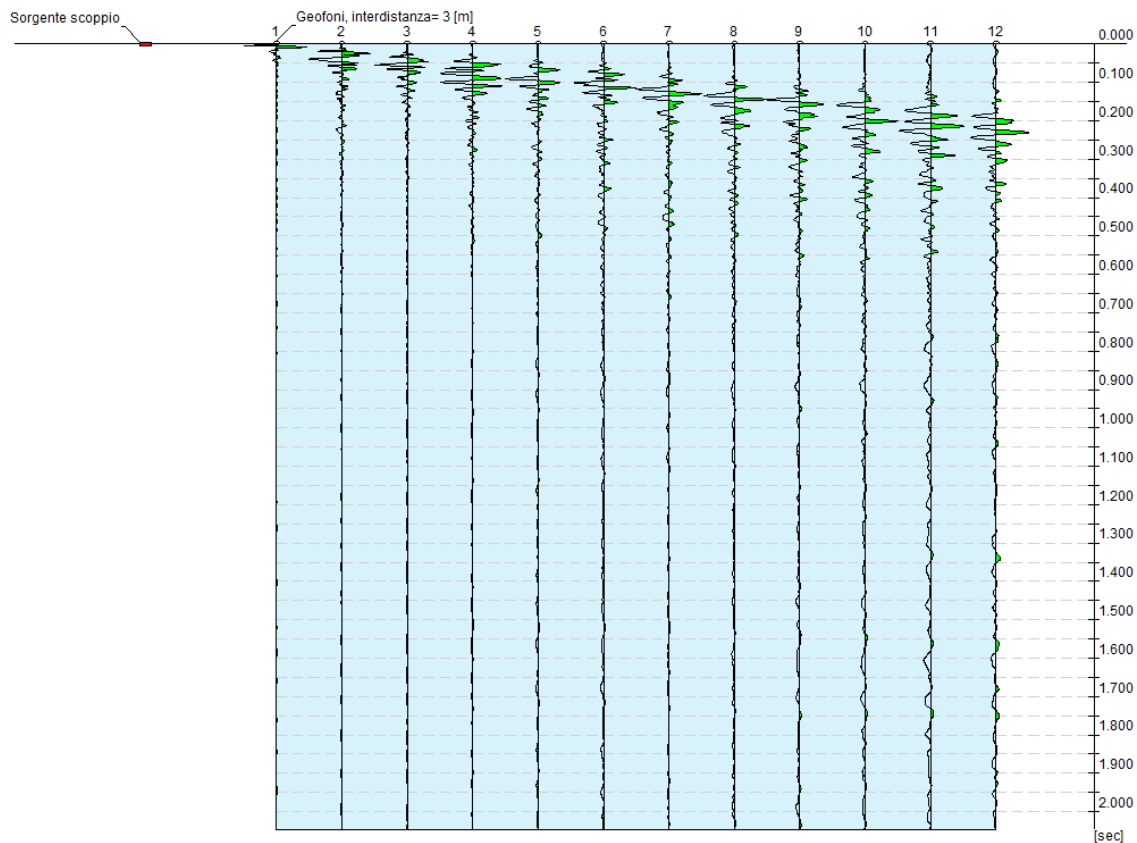


Figura 3 – Tracce sperimentali

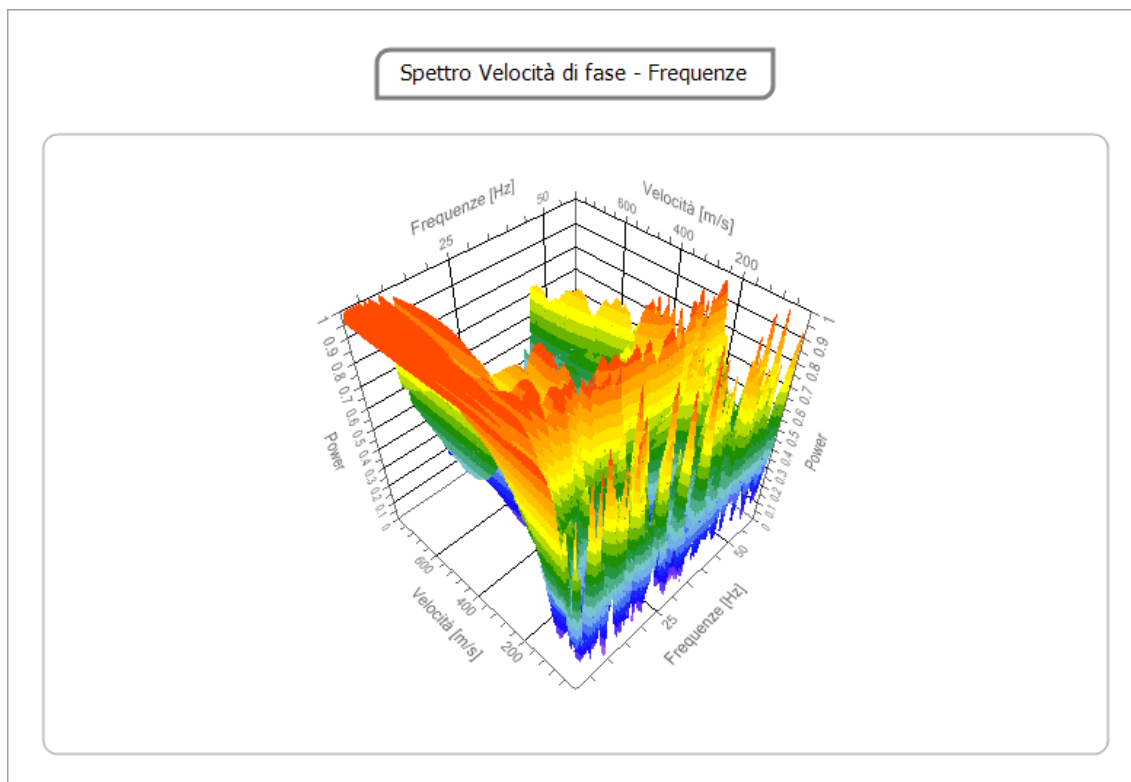


Figura 4 – Spettro Velocità di fase - Frequenze

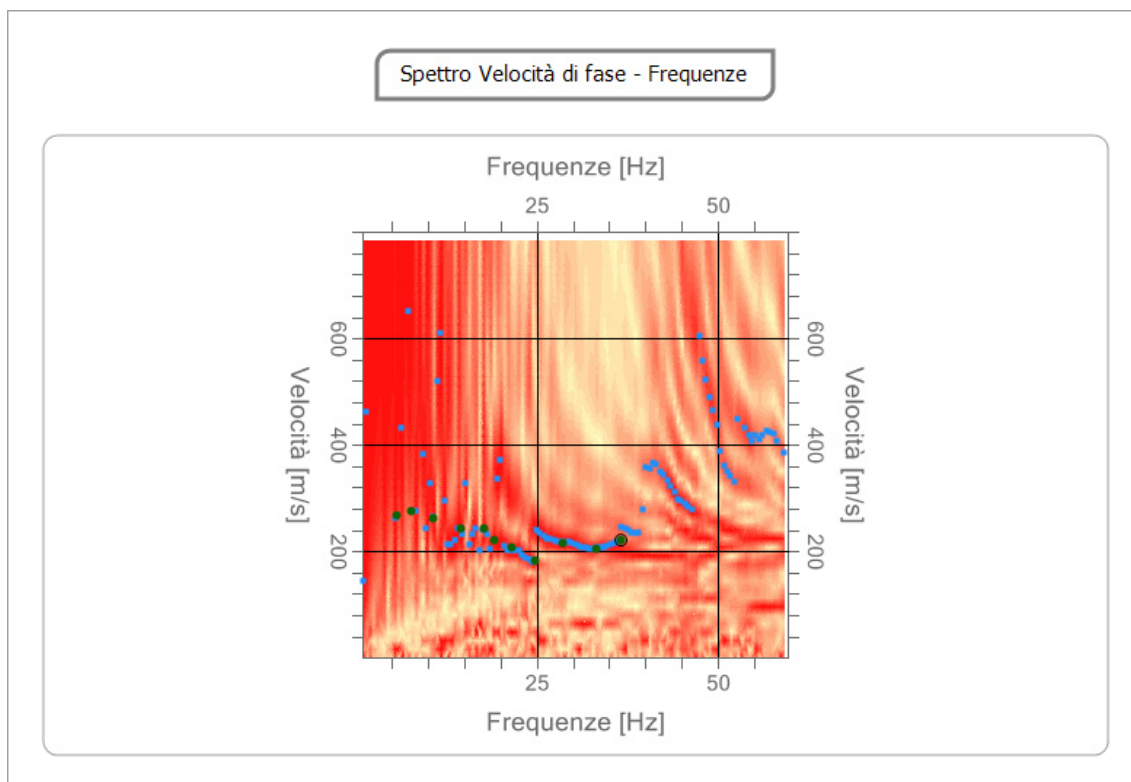


Figura 5 – Curva di dispersione sperimentale

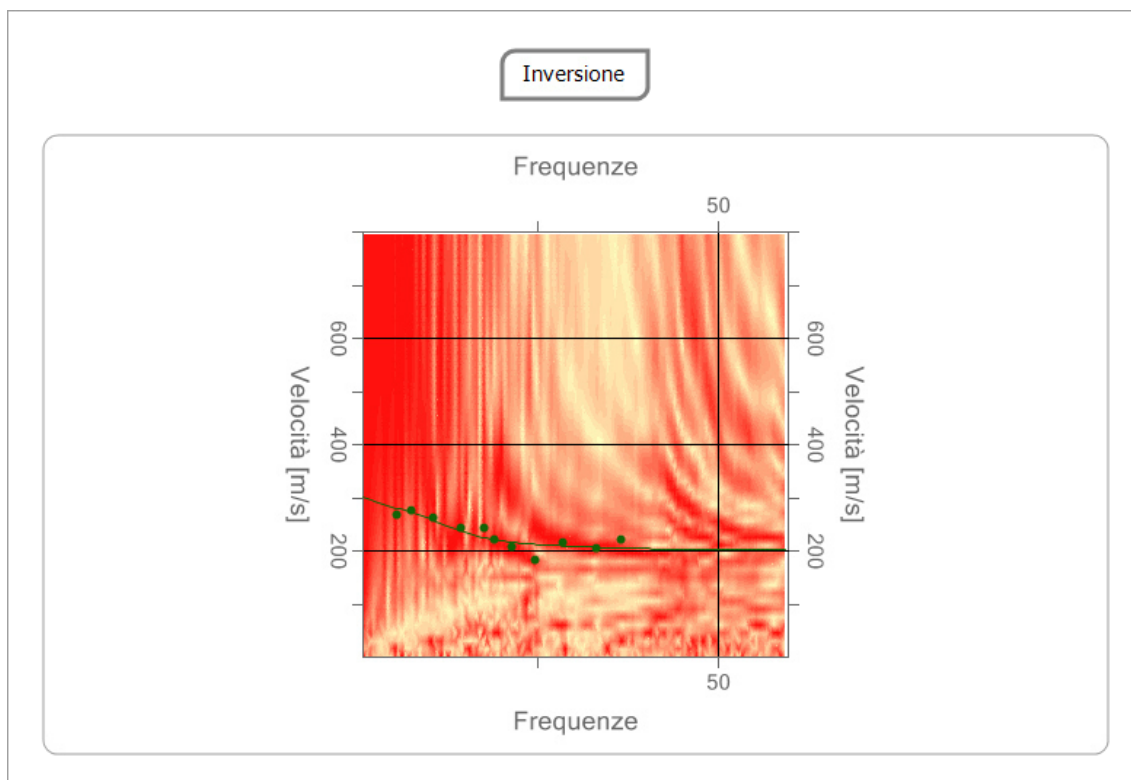


Figura 6 – Inversione

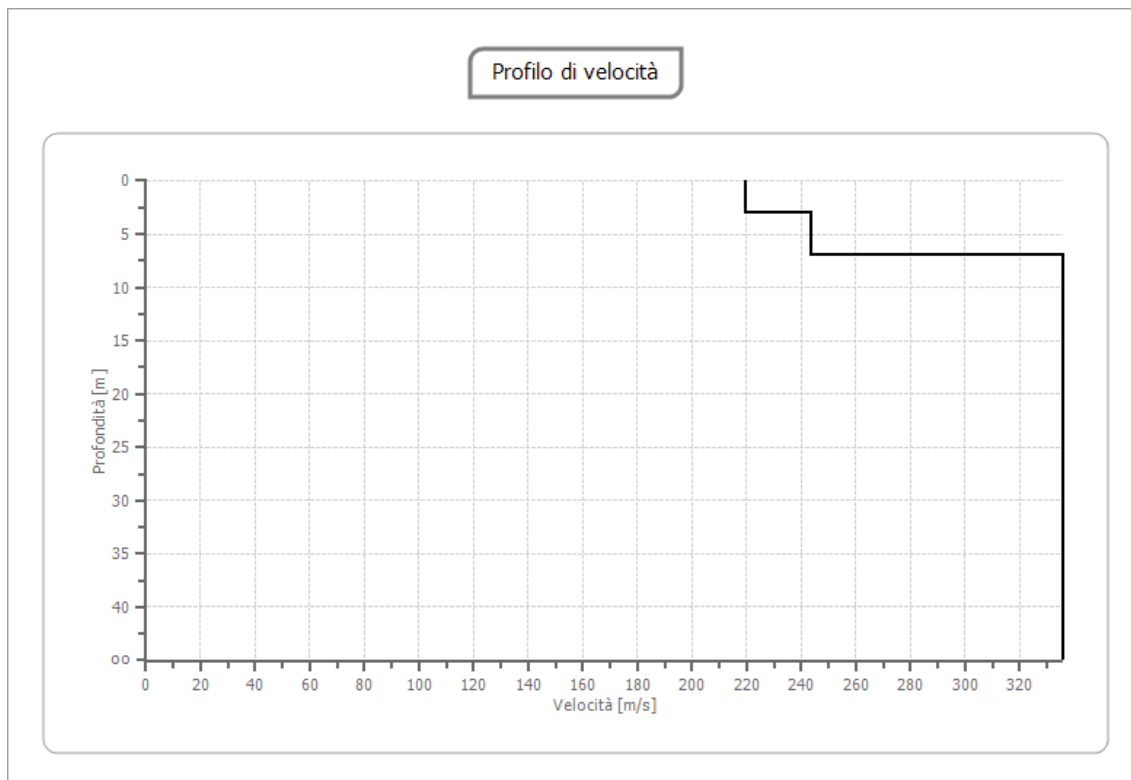


Figura 7 – Profilo di velocit 

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

Strato (m)	$V_{s,i}$
0 – 3,00	358
3,00 – 7,00	397
7,00- ∞	548

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	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.	180÷360
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 = 304 m/sec

In base al valore di **Vs,eq** 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 line a 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
TERRENI E ACQUA		
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
ROCCE SEDIMENTARIE		
Argillite	2100 - 4400	550 - 2100
Arenaria	2000 - 6000	950 - 3100
Arenaria fratturate	800 - 2100	360 - 950
Calcere	2000 - 7000	1000 - 3300
Calcere fratturato	750 - 1500	330 - 1000
Calcarenite	1400 - 4400	800 - 2500
Calcarenite fratturata	600 - 1300	330 - 800
Marna	1500 - 2000	300 - 500
ROCCE IGNEE		
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.

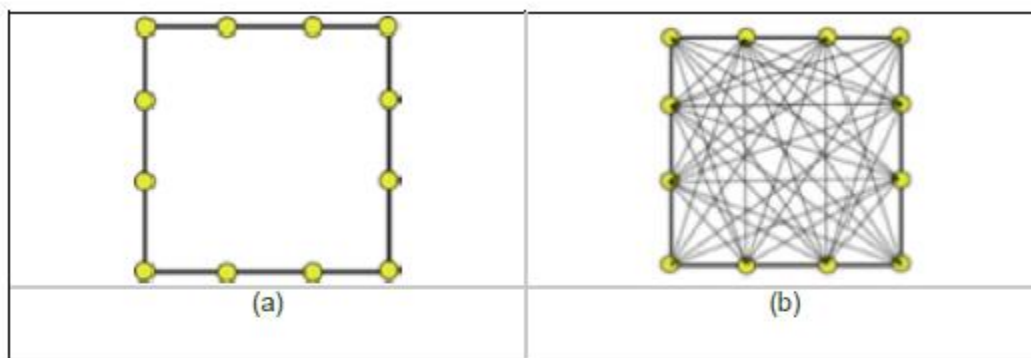


Figura 1 (a) Esempio di cella con 4 nodi; (b) visualizzazione dei possibili raggi sismici che congiungono i nodi della cella.

- 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 velocità viene sostituita dal suo inverso, la lentezza. Ad esempio considerando un generico raggio sismico j tra la sorgente ed il ricevitore la lentezza media può 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 può 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:

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

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

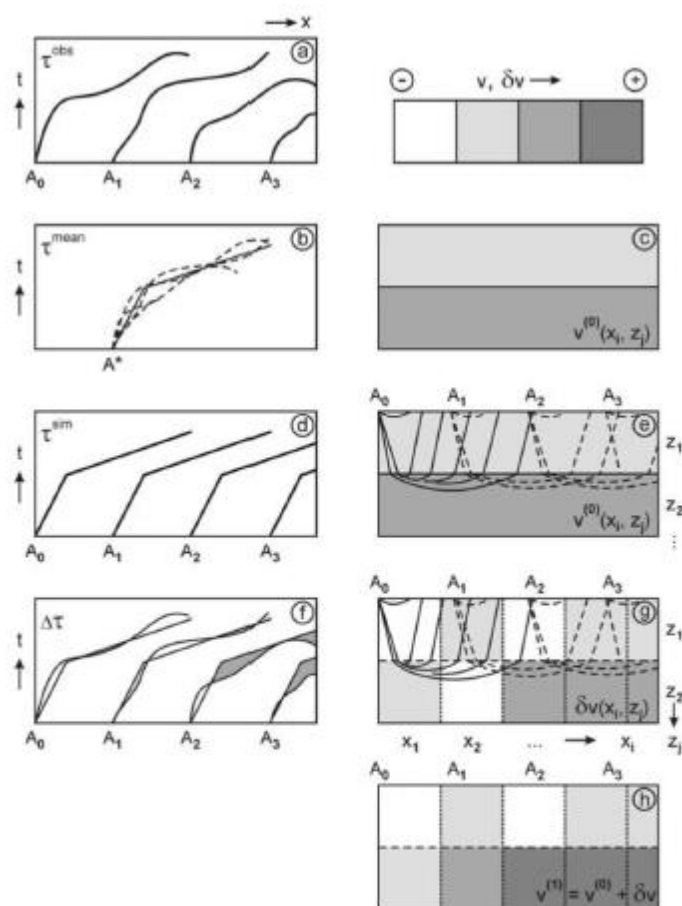


Figura 2 Immagine che illustra il processo di ottimizzazione del risultato da parte della tomografia sismica.
 (a) Le dromocrone misurate sulle tracce registrate sul terreno sono utilizzate per costruire il modello iniziale (b) e (c).
 (d) Utilizzando il modello iniziale (e) vengono calcolate le dromocrone 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.

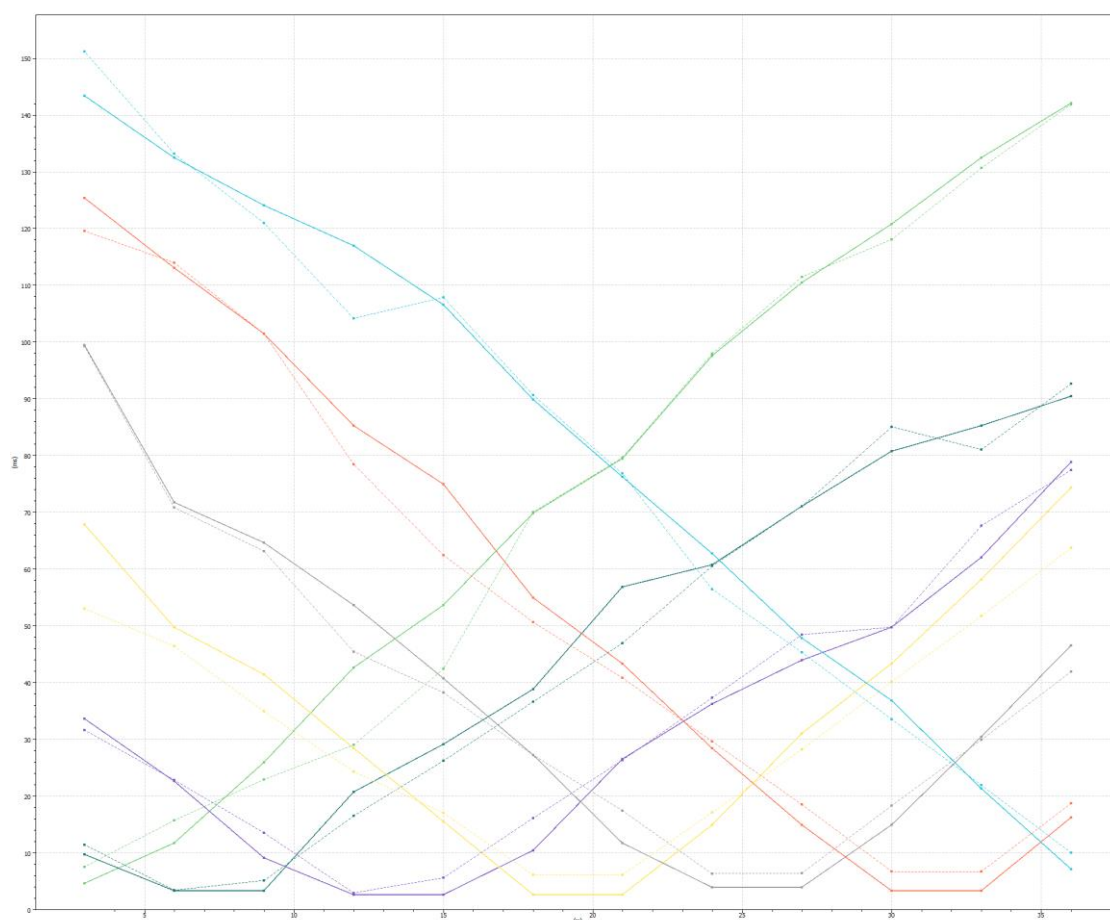


Figura 8 – Dromocrone

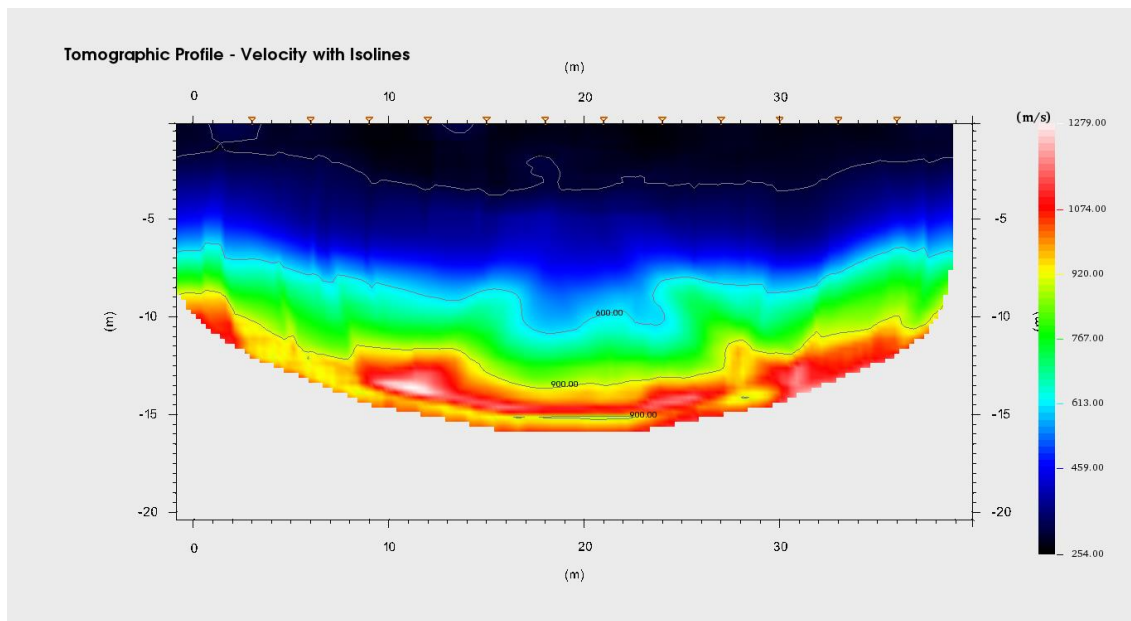


Figura 9 – Profilo tomografico

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 liscio 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;

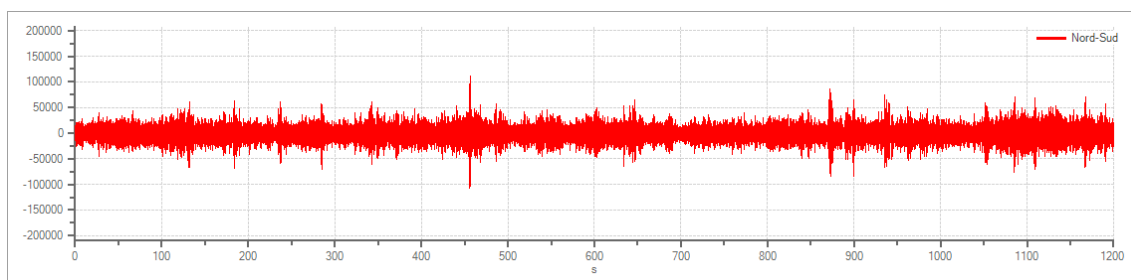
Prima di effettuare le misure, il sensore 3D è stato correttamente orientato mediante l'ausilio di una bussola e posizionato sulla superficie da investigare. Successivamente si è verificato il corretto accoppiamento dello strumento con il terreno avendo cura di metterlo in posizione perfettamente orizzontale.

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.

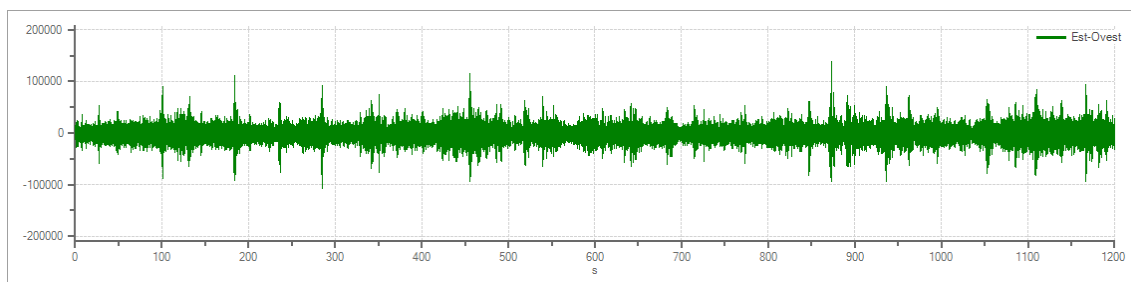
2.5.3 Misura HVSr1

Dettagli acquisizione

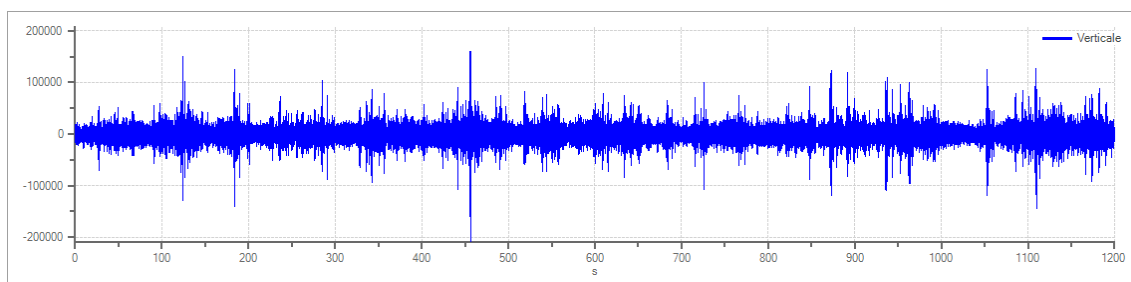
- Numero tracce: 3
- Durata registrazione: 00:20:00
- Frequenza di campionamento: 250,00 Hz
- Coordinate punto di misura: **LAT 40°53'11.81"N; LONG. 14°16'8.92"E** (riferite all'ellissoide WGS 84).



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale

Elaborazione

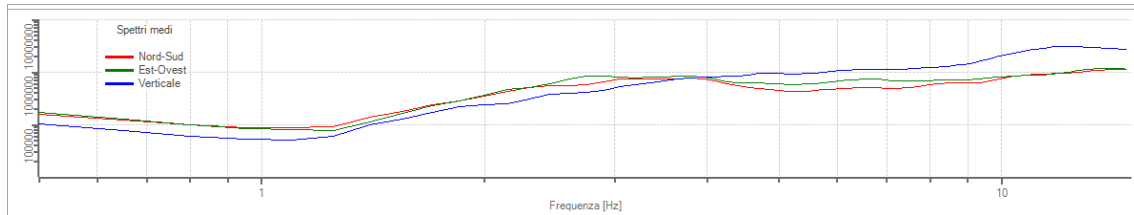
Frequenza di campionamento: 250 Hz

Numero totale di finestre temporali: 50

Dimensione temporale finestre: 20.000 s

Intervallo di ricerca: 0.5 - 20.00 Hz

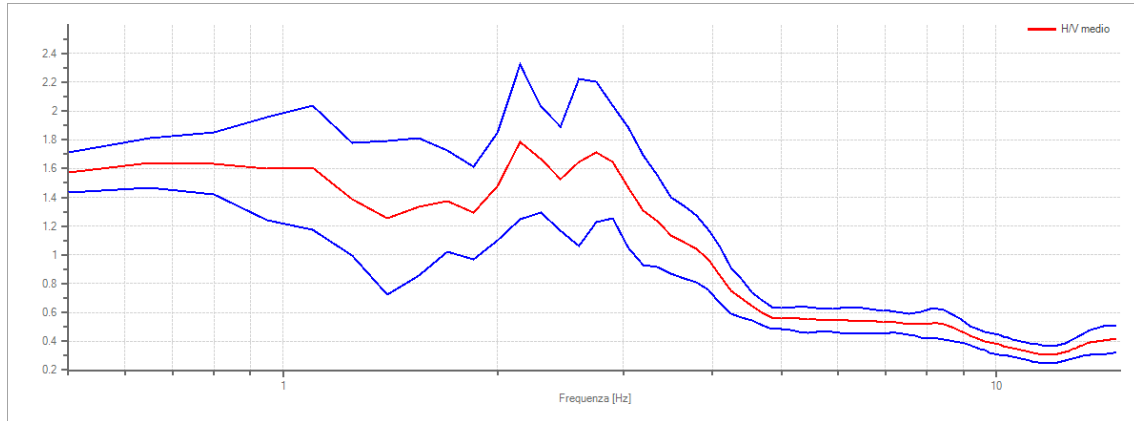
Percentuale di lisciamento: 10.00%



Spettri medi nelle tre direzioni

Risultati

curve HVSR:



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

frequenza di picco (f_0): 2.15 Hz ± 0.30 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
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	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

2.6 Prove penetrometriche dinamiche continue leggere

Durante la campagna di indagini è stata eseguita n°1 prova penetrometrica dinamica continua leggera. 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 cm²;

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

La prova consiste 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:

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

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 ($\sigma'v0 = \gamma \times h$).

A tal proposito GIBBS ed HOLTZ (1957), introducono un fattore di correzione "Cn", ricavabile dall'espressione:

$$Cn = 0.77 \log 20/\sigma'v0$$

al fine di riportare tutti i valori ottenuti ad una tensione litostatica di riferimento pari a 1 Kg/cm².

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:

$$Nw = 15 + 0.5(NSPT - 15)$$

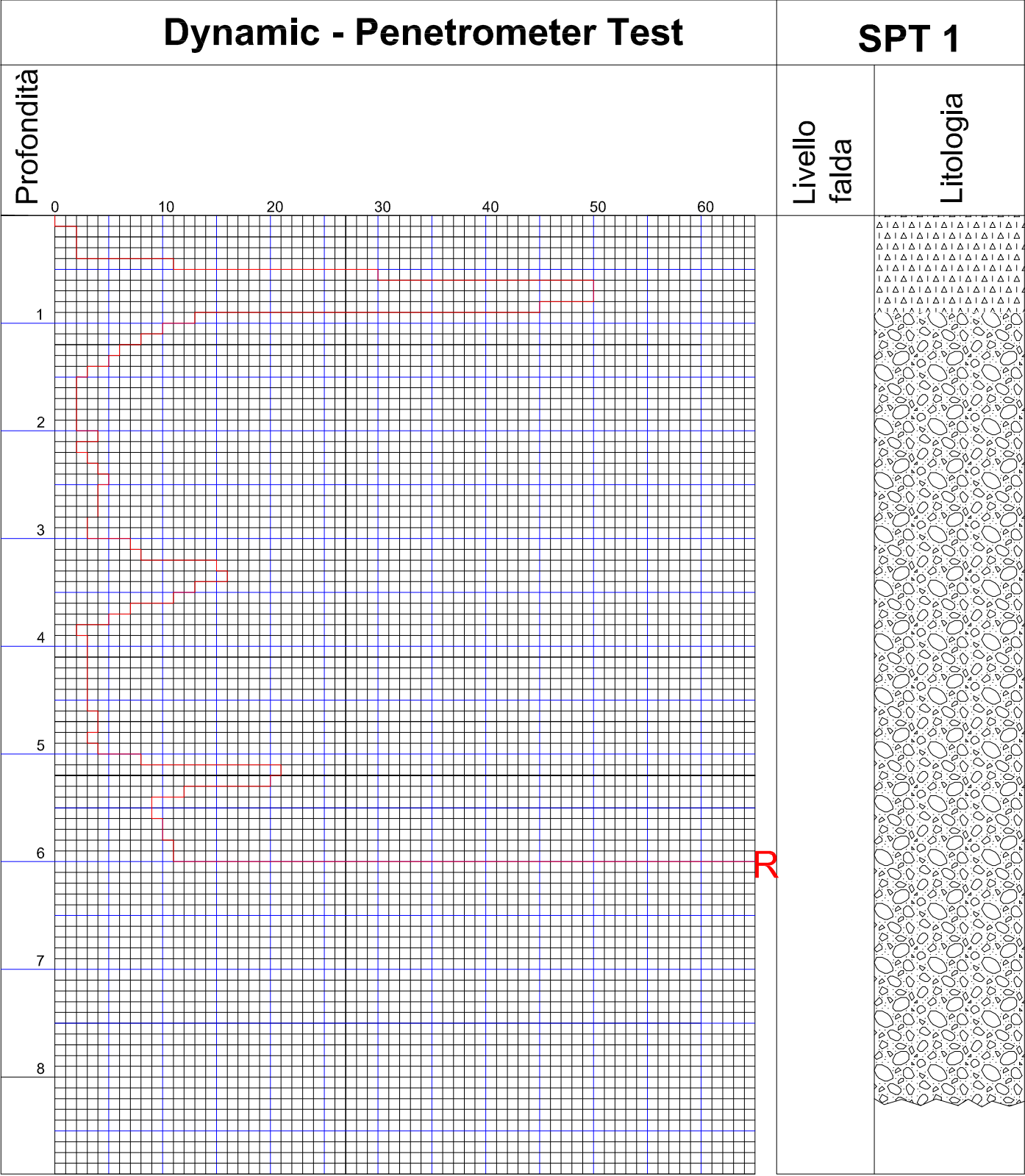
essendo N il numero di colpi sopra la falda, formula che tiene conto che parte dell'energia di in-fissione si dissipa in pressione interstiziale.

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

$$\varphi' = \sqrt{N_{spt} * 15} + 15$$

Si riporta di seguito il diagramma di avanzamento della prova penetrometrica dinamica continua leggera:

Committente	Comune di Napoli	Il Geologo Dott. Dolfin Sergio
Comune di	Napoli	
Località	Secondigliano Traversa Maglione,35	



Descrizione:
da 0,00 m a 0,90 m Terreno vegetale e terreno di riporto
da 0,90 m a 6,00 m Depositi Cineritici con livelli a diverso grado di addensamento

CARTA UBICAZIONE INDAGINI



Legenda



Prova Penetrometrica dinamica continua leggera



Sismica passiva (HVSr)



Stendimento sismico di tipo MASW e sismica a rifrazione

Report Fotografico

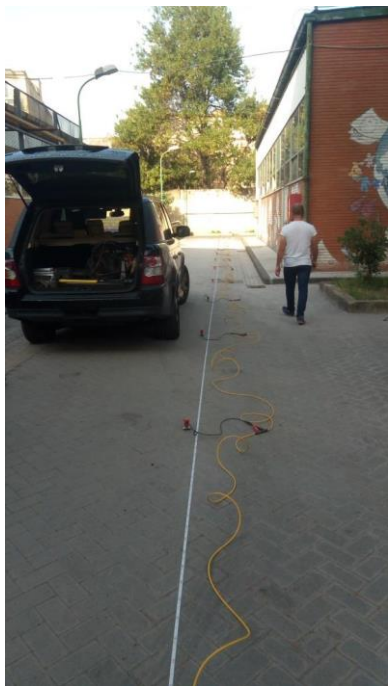


Foto 1- Stendimento sismico MASW 1 – TOMO1

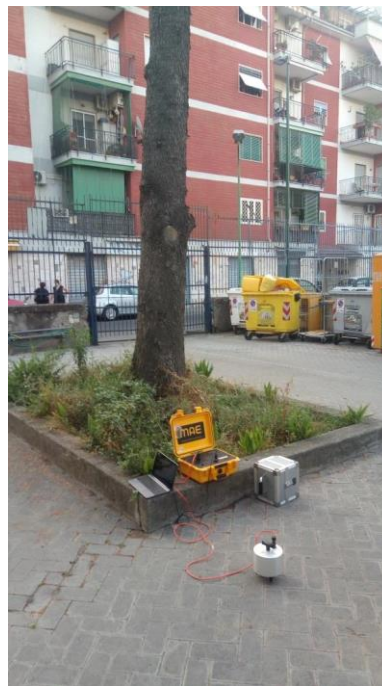


Foto 2- Prova sismica passiva HVSR1



Foto 3- 4 Prova Penetrometrica dinamica continua leggera

Il Geologo
Dott. Saverio Dolfin
Geologo
3-7-86
n. 528

REGIONE DEL GEOLOGO
Dott. Saverio Dolfin
Geologo
3-7-86
n. 528

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA

Committente: Cantiere: Località:	
--	--

Committente: Cantiere: Località:	
--	--

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DL-30 (60°)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	30 Kg
Altezza di caduta libera	0,20 m
Peso sistema di battuta	11 Kg
Diametro punta conica	35,68 mm
Area di base punta	10 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	2,4 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,10 m
Numero colpi per punta	N(10)
Coeff. Correlazione	0,783
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	60 °

Signature 1

Signature 2

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE CONTINUE
(DYNAMIC PROBING)
DPSH – DPM (... *scept* *ecc.*)

Note illustrative - Diverse tipologie di penetrometri dinamici

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infiggere nel terreno una punta conica (per tratti consecutivi δ) misurando il numero di colpi N necessari.

Le Prove Penetrometriche Dinamiche sono molto diffuse ed utilizzate nel territorio da geologi e geotecnici, data la loro semplicità esecutiva, economicità e rapidità di esecuzione.

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di “catalogare e parametrizzare” il suolo attraversato con un'immagine in continuo, che permette anche di avere un raffronto sulle consistenze dei vari livelli attraversati e una correlazione diretta con sondaggi geognostici per la caratterizzazione stratigrafica.

La sonda penetrometrica permette inoltre di riconoscere abbastanza precisamente lo spessore delle coltri sul substrato, la quota di eventuali falde e superfici di rottura sui pendii, e la consistenza in generale del terreno.

L'utilizzo dei dati, ricavati da correlazioni indirette e facendo riferimento a vari autori, dovrà comunque essere trattato con le opportune cautele e, possibilmente, dopo esperienze geologiche acquisite in zona.

Elementi caratteristici del penetrometro dinamico sono i seguenti:

- peso massa battente M
- altezza libera caduta H
- punta conica: diametro base cono D, area base A (angolo di apertura α)
- avanzamento (penetrazione) δ
- presenza o meno del rivestimento esterno (fanghi bentonitici).

Con riferimento alla classificazione ISSMFE (1988) dei diversi tipi di penetrometri dinamici (vedi tabella sotto riportata) si rileva una prima suddivisione in quattro classi (in base al peso M della massa battente) :

- tipo LEGGERO (DPL)
- tipo MEDIO (DPM)
- tipo PESANTE (DPH)
- tipo SUPERPESANTE (DPSH)

Classificazione ISSMFE dei penetrometri dinamici:

Tipo	Sigla di riferimento	peso della massa M (kg)	prof.max indagine battente (m)
Leggero	DPL (Light)	$M \leq 10$	8
Medio	DPM (Medium)	$10 < M < 40$	20-25
Pesante	DPH (Heavy)	$40 \leq M < 60$	25
Super pesante (Super Heavy)	DPSH	$M \geq 60$	25

penetrometri in uso in Italia

In Italia risultano attualmente in uso i seguenti tipi di penetrometri dinamici (non rientranti però nello Standard ISSMFE):

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-30) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
massa battente M = 30 kg, altezza di caduta H = 0.20 m, avanzamento δ = 10 cm, punta conica ($\alpha=60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;

- DINAMICO LEGGERO ITALIANO (DL-20) (MEDIO secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente M = 20 kg, altezza di caduta H=0.20 m, avanzamento $\delta = 10$ cm, punta conica ($\alpha = 60-90^\circ$), diametro D 35.7 mm, area base cono A=10 cm² rivestimento / fango bentonitico : talora previsto;
- DINAMICO PESANTE ITALIANO (SUPERPESANTE secondo la classifica ISSMFE)
 massa battente M = 73 kg, altezza di caduta H=0.75 m, avanzamento $\delta=30$ cm, punta conica ($\alpha = 60^\circ$), diametro D = 50.8 mm, area base cono A=20.27 cm² rivestimento: previsto secondo precise indicazioni;
- DINAMICO SUPERPESANTE (Tipo EMILIA)
 massa battente M=63.5 kg, altezza caduta H=0.75 m, avanzamento $\delta=20-30$ cm, punta conica conica ($\alpha = 60^\circ-90^\circ$) diametro D = 50.5 mm, area base cono A = 20 cm², rivestimento / fango bentonitico : talora previsto.

Correlazione con N_{spt}

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi ed economici per ricavare informazioni dal sottosuolo, la maggior parte delle correlazioni esistenti riguardano i valori del numero di colpi N_{spt} ottenuto con la suddetta prova, pertanto si presenta la necessità di rapportare il numero di colpi di una prova dinamica con N_{spt}. Il passaggio viene dato da:

$$N_{spt} = \beta_t N$$

Dove:

$$\beta_t = \frac{Q}{Q_{SPT}}$$

in cui Q è l'energia specifica per colpo e Q_{spt} è quella riferita alla prova SPT.

L'energia specifica per colpo viene calcolata come segue:

$$Q = \frac{M^2 \cdot H}{A \cdot \delta \cdot (M + M')}$$

in cui

M = peso massa battente;

M' = peso aste;

H = altezza di caduta;

A = area base punta conica;

δ = passo di avanzamento.

Valutazione resistenza dinamica alla punta R_{pd}

Formula Olandesi

$$R_{pd} = \frac{M^2 \cdot H}{[A \cdot e \cdot (M + P)]} = \frac{M^2 \cdot H \cdot N}{[A \cdot \delta \cdot (M + P)]}$$

R_{pd} = resistenza dinamica punta (area A);

e = infissione media per colpo (δ / N);

M = peso massa battente (altezza caduta H);

P = peso totale aste e sistema battuta.

Calcolo di (N₁)₆₀

(N₁)₆₀ è il numero di colpi normalizzato definito come segue:

$$(N_1)_{60} = C_N \times N_{60} \text{ con } C_N = \sqrt{(Pa / \sigma'_{vo})} \quad C_N < 1.7 \quad Pa = 101.32 \text{ kPa (Liao e Whitman 1986)}$$

$$N_{60}=N_{SPT} \times (ER/60) \times C_s \times C_r \times C_d$$

ER/60:Rendimento del sistema di infissione normalizzato al 60%.

C_s : Parametro funzione della controcamicia (1.2 se assente).

C_d : Funzione del diametro del foro (1 se compreso tra 65-115mm).

C_r : Parametro di correzione funzione della lunghezza delle aste.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico Dynamic Probing della *GeoStru Software*.

Il programma calcola il rapporto delle energie trasmesse (coefficiente di correlazione con SPT) tramite le elaborazioni proposte da Pasqualini 1983 - Meyerhof 1956 - Desai 1968 - Borowczyk-Frankowsky 1981.

Permette inoltre di utilizzare i dati ottenuti dall'effettuazione di prove penetrometriche per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono spesso di ottenere dati utili alla progettazione e frequentemente dati maggiormente attendibili di tanti dati bibliografici sulle litologie e di dati geotecnici determinati sulle verticali litologiche da poche prove di laboratorio eseguite come rappresentazione generale di una verticale eterogenea disuniforme e/o complessa.

In particolare consente di ottenere informazioni su:

- l'andamento verticale e orizzontale degli intervalli stratigrafici,
- la caratterizzazione litologica delle unità stratigrafiche,
- i parametri geotecnici suggeriti da vari autori in funzione dei valori del numero dei colpi e delle resistenza alla punta.

Valutazioni statistiche e correlazioni

Elaborazione Statistica

Permette l'elaborazione statistica dei dati numerici di Dynamic Probing, utilizzando nel calcolo dei valori rappresentativi dello strato considerato un valore inferiore o maggiore della media aritmetica dello strato (dato comunque maggiormente utilizzato); i valori possibili in immissione sono :

Media

Media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media minima

Valore statistico inferiore alla media aritmetica dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Massimo

Valore massimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Minimo

Valore minimo dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Scarto quadratico medio

Valore statistico di scarto dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media deviata

Valore statistico di media deviata dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media + s

Media + scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Media - s

Media - scarto (valore statistico) dei valori del numero di colpi sullo strato considerato.

Distribuzione normale R.C.

Il valore di $N_{spt,k}$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, secondo la seguente relazione:

$$N_{spt,k} = N_{spt,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{N_{spt}})$$

dove s_{Nspt} è la deviazione standard di $Nspt$

Distribuzione normale R.N.C.

Il valore di $Nspt,k$ viene calcolato sulla base di una distribuzione normale o gaussiana, fissata una probabilità di non superamento del 5%, trattando i valori medi di $Nspt$ distribuiti normalmente:

$$Nspt_{,k} = Nspt_{,medio} - 1.645 \cdot (\sigma_{Nspt}) / \sqrt{n}$$

dove n è il numero di letture.

Pressione ammissibile

Pressione ammissibile specifica sull'interstrato (con effetto di riduzione energia per svergolamento aste o no) calcolata secondo le note elaborazioni proposte da Herminier, applicando un coefficiente di sicurezza (generalmente = 20-22) che corrisponde ad un coefficiente di sicurezza standard delle fondazioni pari a 4, con una geometria fondale standard di larghezza pari a 1 mt. ed immersione $d = 1$ mt..

Correlazioni geotecniche terreni incoerenti

Liquefazione

Permette di calcolare utilizzando dati $Nspt$ il potenziale di liquefazione dei suoli (prevalentemente sabbiosi).

Attraverso la relazione di *SHI-MING (1982)*, applicabile a terreni sabbiosi, la liquefazione risulta possibile solamente se $Nspt$ dello strato considerato risulta inferiore a $Nspt$ critico calcolato con l'elaborazione di *SHI-MING*.

Correzione $Nspt$ in presenza di falda

$Nspt \text{ corretto} = 15 + 0.5 \times (Nspt - 15)$

$Nspt$ è il valore medio nello strato

La correzione viene applicata in presenza di falda solo se il numero di colpi è maggiore di 15 (la correzione viene eseguita se tutto lo strato è in falda) .

Angolo di Attrito

- Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956 - Correlazione valida per terreni non molli a prof. < 5 mt.; correlazione valida per sabbie e ghiaie rappresenta valori medi. - Correlazione storica molto usata, valevole per prof. < 5 mt. per terreni sopra falda e < 8 mt. per terreni in falda (tensioni $< 8-10$ t/mq)
- Meyerhof 1956 - Correlazioni valide per terreni argillosi ed argillosi-marnosi fessurati, terreni di riporto sciolti e coltri detritiche (da modifica sperimentale di dati).
- Sowers 1961)- Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. < 4 mt. sopra falda e < 7 mt. per terreni in falda) $\sigma > 5$ t/mq.
- De Mello - Correlazione valida per terreni prevalentemente sabbiosi e sabbioso-ghiaiosi (da modifica sperimentale di dati) con angolo di attrito $< 38^\circ$.
- Malcev 1964 - Angolo di attrito in gradi valido per sabbie in genere (cond. ottimali per prof. > 2 m. e per valori di angolo di attrito $< 38^\circ$).
- Schmertmann 1977- Angolo di attrito (gradi) per vari tipi litologici (valori massimi). N.B. valori spesso troppo ottimistici poiché desunti da correlazioni indirette da Dr %.
- Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION) Angolo di attrito in gradi valido per sabbie - sabbie fini o limose e limi siltosi (cond. ottimali per prof. di prova > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $\sigma > 15$ t/mq.
- Shioi-Fukuni 1982 (JAPANESE NATIONALE RAILWAY) Angolo di attrito valido per sabbie medie e grossolane fino a ghiaiose .
- Angolo di attrito in gradi (Owasaki & Iwasaki) valido per sabbie - sabbie medie e grossolane-ghiaiose (cond. ottimali per prof. > 8 mt. sopra falda e > 15 mt. per terreni in falda) $s > 15$ t/mq.
- Meyerhof 1965 - Correlazione valida per terreni per sabbie con % di limo $< 5\%$ a profondità < 5 mt. e con % di limo $> 5\%$ a profondità < 3 mt.
- Mitchell e Katti (1965) - Correlazione valida per sabbie e ghiaie.

Densità relativa (%)

- Gibbs & Holtz (1957) correlazione valida per qualunque pressione efficace, per ghiaie Dr viene sovrastimato, per limi sottostimato.
- Skempton (1986) elaborazione valida per limi e sabbie e sabbie da fini a grossolane NC a qualunque pressione efficace, per ghiaie il valore di Dr % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

- Meyerhof (1957).
- Schultze & Menzenbach (1961) per sabbie fini e ghiaiose NC , metodo valido per qualunque valore di pressione efficace in depositi NC, per ghiaie il valore di D_r % viene sovrastimato, per limi sottostimato.

Modulo Di Young (E_y)

- Terzaghi - elaborazione valida per sabbia pulita e sabbia con ghiaia senza considerare la pressione efficace.
- Schmertmann (1978), correlazione valida per vari tipi litologici .
- Schultze-Menzenbach , correlazione valida per vari tipi litologici.
- D'Appollonia ed altri (1970) , correlazione valida per sabbia, sabbia SC, sabbia NC e ghiaia
- Bowles (1982), correlazione valida per sabbia argillosa, sabbia limosa, limo sabbioso, sabbia media, sabbia e ghiaia.

Modulo Edometrico

- Begemann (1974) elaborazione desunta da esperienze in Grecia, correlazione valida per limo con sabbia, sabbia e ghiaia
- Buismann-Sanglerat , correlazione valida per sabbia e sabbia argillosa.
- Farrent (1963) valida per sabbie, talora anche per sabbie con ghiaia (da modifica sperimentale di dati).
- Menzenbach e Malcev valida per sabbia fine, sabbia ghiaiosa e sabbia e ghiaia.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume Gamma

- Meyerhof ed altri, valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso.

Peso di volume saturo

- Terzaghi-Peck 1948-1967

Modulo di poisson

- Classificazione A.G.I.

Potenziale di liquefazione (Stress Ratio)

- Seed-Idriss 1978-1981 . Tale correlazione è valida solamente per sabbie, ghiaie e limi sabbiosi, rappresenta il rapporto tra lo sforzo dinamico medio τ e la tensione verticale di consolidazione per la valutazione del potenziale di liquefazione delle sabbie e terreni sabbio-ghiaiosi attraverso grafici degli autori.

Velocità onde di taglio V_s (m/sec)

- Tale correlazione è valida solamente per terreni incoerenti sabbiosi e ghiaiosi.

Modulo di deformazione di taglio (G)

- Ohsaki & Iwasaki – elaborazione valida per sabbie con fine plastico e sabbie pulite.
- Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982) elaborazione valida soprattutto per sabbie e per tensioni litostatiche comprese tra 0,5 - 4,0 kg/cmq.

Modulo di reazione (K_o)

- Navfac 1971-1982 - elaborazione valida per sabbie, ghiaie, limo, limo sabbioso .

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c

Correlazioni geotecniche terreni coesivi

Coesione non drenata

- Benassi & Vannelli- correlazioni scaturite da esperienze ditta costruttrice Penetrometri SUNDA 1983.

- Terzaghi-Peck (1948-1967), correlazione valida per argille sabbiose-siltose NC con $N_{spt} < 8$, argille limose-siltose mediamente plastiche, argille marnose alterate-fessurate.
- Terzaghi-Peck (1948). *Cu min-max*.
- Sanglerat, da dati Penetr. Statico per terreni coesivi saturi, tale correlazione non è valida per argille sensitive con sensibilità > 5 , per argille sovraconsolidate fessurate e per i limi a bassa plasticità.
- Sanglerat, (per argille limose-sabbiose poco coerenti), valori validi per resistenze penetrometriche < 10 colpi, per resistenze penetrometriche > 10 l'elaborazione valida è comunque quella delle "argille plastiche" di Sanglerat.
- (U.S.D.M.S.M.) U.S. Design Manual Soil Mechanics Coesione non drenata per argille limose e argille di bassa media ed alta plasticità, (Cu- N_{spt} -grado di plasticità).
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori medi), valida per **argille e limi argillosi** con $N_c=20$ e $Q_c/N_{spt}=2$.
- Schmertmann 1975 Cu (Kg/cmq) (valori minimi), valida per argille NC.
- Fletcher 1965 - (Argilla di Chicago). Coesione non drenata Cu (Kg/cmq), colonna valori validi per argille a medio-bassa plasticità.
- Houston (1960) - argilla di media-alta plasticità.
- Shioi-Fukuni 1982, valida per suoli poco coerenti e plastici, argilla di media-alta plasticità.
- Begemann.
- De Beer.

Resistenza alla punta del Penetrometro Statico (Q_c)

- Robertson 1983 Q_c

Modulo Edometrico-Confinato (Mo)

- Stroud e Butler (1975) - per litotipi a media plasticità, valida per litotipi argillosi a media-medio-alta plasticità - da esperienze su argille glaciali.
- Stroud e Butler (1975), per litotipi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$), valida per litotipi argillosi a medio-bassa plasticità ($IP < 20$) - da esperienze su argille glaciali.
- Vesic (1970) correlazione valida per argille molli (valori minimi e massimi).
- Trofimenkov (1974), Mitchell e Gardner Modulo Confinato - Mo (Eed) (Kg/cmq)-, valida per litotipi argillosi e limosi-argillosi (rapporto $Q_c/N_{spt}=1.5-2.0$).
- Buismann- Sanglerat, valida per argille compatte ($N_{spt} < 30$) medie e molli ($N_{spt} < 4$) e argille sabbiose ($N_{spt}=6-12$).

Modulo Di Young (E_Y)

- Schultze-Menzenbach - (Min. e Max.), correlazione valida per limi coerenti e limi argillosi con I.P. > 15
- D'Appollonia ed altri (1983) - correlazione valida per argille sature-argille fessurate.

Stato di consistenza

- Classificazione A.G.I. 1977

Peso di Volume

- Meyerhof ed altri, valida per argille, argille sabbiose e limose prevalentemente coerenti.

Peso di volume saturo

- Meyerhof ed altri.

PROVA ... Nr.1

Strumento utilizzato...
 Prova eseguita in data
 Profondità prova
 Falda non rilevata

DL-30 (60°)
 29/11/2021
 6,00 mt

Tipo elaborazione Nr. Colpi: Medio

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,10	2	0,857	7,11	8,29	0,36	0,41
0,20	2	0,855	7,09	8,29	0,35	0,41
0,30	3	0,853	10,61	12,44	0,53	0,62
0,40	11	0,851	38,81	45,62	1,94	2,28
0,50	30	0,749	93,18	124,42	4,66	6,22
0,60	50	0,647	134,17	207,37	6,71	10,37
0,70	50	0,645	133,79	207,37	6,69	10,37
0,80	45	0,643	120,07	186,64	6,00	9,33
0,90	13	0,792	40,44	51,09	2,02	2,55
1,00	10	0,840	33,00	39,30	1,65	1,97
1,10	8	0,838	26,35	31,44	1,32	1,57
1,20	6	0,836	19,72	23,58	0,99	1,18
1,30	5	0,835	16,40	19,65	0,82	0,98
1,40	3	0,833	9,82	11,79	0,49	0,59
1,50	2	0,831	6,53	7,86	0,33	0,39
1,60	2	0,830	6,52	7,86	0,33	0,39
1,70	2	0,828	6,51	7,86	0,33	0,39
1,80	2	0,826	6,50	7,86	0,32	0,39
1,90	2	0,825	6,16	7,47	0,31	0,37
2,00	4	0,823	12,30	14,94	0,61	0,75
2,10	2	0,822	6,14	7,47	0,31	0,37
2,20	3	0,820	9,19	11,20	0,46	0,56
2,30	4	0,819	12,23	14,94	0,61	0,75
2,40	5	0,817	15,26	18,67	0,76	0,93
2,50	4	0,816	12,18	14,94	0,61	0,75
2,60	4	0,814	12,16	14,94	0,61	0,75
2,70	4	0,813	12,14	14,94	0,61	0,75
2,80	3	0,811	9,09	11,20	0,45	0,56
2,90	3	0,810	8,64	10,67	0,43	0,53
3,00	7	0,809	20,14	24,90	1,01	1,25
3,10	8	0,807	22,98	28,46	1,15	1,42
3,20	15	0,756	40,34	53,36	2,02	2,67
3,30	16	0,755	42,95	56,92	2,15	2,85
3,40	13	0,753	34,84	46,25	1,74	2,31
3,50	11	0,802	31,39	39,13	1,57	1,96
3,60	7	0,801	19,94	24,90	1,00	1,25
3,70	5	0,800	14,22	17,79	0,71	0,89
3,80	2	0,798	5,68	7,11	0,28	0,36
3,90	3	0,797	8,12	10,19	0,41	0,51
4,00	3	0,796	8,11	10,19	0,41	0,51
4,10	3	0,795	8,10	10,19	0,40	0,51
4,20	3	0,794	8,09	10,19	0,40	0,51
4,30	3	0,793	8,08	10,19	0,40	0,51
4,40	3	0,791	8,06	10,19	0,40	0,51
4,50	3	0,790	8,05	10,19	0,40	0,51
4,60	4	0,789	10,72	13,58	0,54	0,68
4,70	4	0,788	10,71	13,58	0,54	0,68
4,80	3	0,787	8,02	10,19	0,40	0,51
4,90	4	0,786	10,22	13,00	0,51	0,65
5,00	8	0,785	20,40	25,99	1,02	1,30
5,10	21	0,684	46,67	68,23	2,33	3,41
5,20	20	0,733	47,63	64,98	2,38	3,25
5,30	12	0,782	30,49	38,99	1,52	1,95
5,40	9	0,781	22,84	29,24	1,14	1,46

5,50	9	0,780	22,81	29,24	1,14	1,46
5,60	10	0,779	25,31	32,49	1,27	1,62
5,70	10	0,778	25,28	32,49	1,26	1,62
5,80	11	0,777	27,78	35,74	1,39	1,79
5,90	11	0,776	26,60	34,26	1,33	1,71
6,00	50	0,575	89,61	155,71	4,48	7,79

Prof. Strato (m)	NPDM	Rd (Kg/cm ²)	Tipo	Clay Fraction (%)	Peso unità di volume (t/m ³)	Peso unità di volume saturo (t/m ³)	Tensione efficace (Kg/cm ²)	Coeff. di correlaz. con Nspt	Nspt	Descrizione
0,9	22,89	94,62	Incoerente	0	1,93	1,96	0,09	0,78	17,92	terreno vegetale e terreno di riporto
6	6,38	22,22	Incoerente	0	1,3	1,86	0,51	0,78	5	depositi cineritici con livelli a diverso grado di addensamento

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Intestazione NSPT	Prof. Strato (m)	Gibbs & Holtz 1957	Meyerhof 1957	Schultze & Menzenbach (1961)	Skempton 1986
[1] - terreno vegetale e terreno di riporto	17,92	0,90	53,06	100	100	48,01
[2] - depositi cineritici con livelli a diverso grado di addensamento	5	6,00	18,24	42,77	44,18	20,83

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Peck-Hanson-Thornburn-Meyerhof 1956	Meyerhof (1956)	Sowers (1961)	Malcev (1964)	Meyerhof (1965)	Schmertmann (1977) Sabbie	Mitchell & Katti (1981)	Shioi-Fukuni 1982 (ROAD BRIDGE SPECIFICATION)	Japanese National Railway	De Mello	Owasaki & Iwasaki
[1] - terreno vegetale e terreno di riporto	17,92	0,90	17,92	32,12	25,12	33,02	34,98	36,43	42	30-32	31,4	32,38	43,86	33,93
[2] - depositi cineritici con livelli a diverso grado di addensamento	5	6,00	5	28,43	21,43	29,4	29,09	31,67	0	<30	23,66	28,5	31,13	25

Modulo di Young (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Terzaghi	Schmertmann (1978) (Sabbie)	Schultze-Menzenbach (Sabbia ghiaiosa)	D'Appollonia ed altri 1970 (Sabbia)	Bowles (1982) Sabbia Media
[1] - terreno vegetale e terreno di riporto	17,92	0,90	17,92	302,16	143,36	212,16	314,40	164,60
[2] - depositi cineritici con livelli a diverso grado di	5	6,00	5	---	40,00	---	---	---

addensamento							
--------------	--	--	--	--	--	--	--

Modulo Edometrico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Buisman-Sanglerat (sabbie)	Begemann 1974 (Ghiaia con sabbia)	Farrent 1963	Menzenbach e Malcev (Sabbia media)
[1] - terreno vegetale e terreno di riporto	17,92	0,90	17,92	107,52	64,27	127,23	117,92
[2] - depositi cineritici con livelli a diverso grado di addensamento	5	6,00	5	---	37,73	35,50	60,30

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
[1] - terreno vegetale e terreno di riporto	17,92	0,90	17,92	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
[2] - depositi cineritici con livelli a diverso grado di addensamento	5	6,00	5	Classificazione A.G.I. 1977	POCO ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
[1] - terreno vegetale e terreno di riporto	17,92	0,90	17,92	Meyerhof ed altri	1,95
[2] - depositi cineritici con livelli a diverso grado di addensamento	5	6,00	5	Meyerhof ed altri	1,54

Peso unità di volume saturo

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma Saturo (t/m ³)
[1] - terreno vegetale e terreno di riporto	17,92	0,90	17,92	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,97
[2] - depositi cineritici con livelli a diverso grado di addensamento	5	6,00	5	Terzaghi-Peck 1948-1967	1,89

Modulo di Poisson

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Poisson
[1] - terreno vegetale e terreno di riporto	17,92	0,90	17,92	(A.G.I.)	0,32
[2] - depositi cineritici con livelli a diverso grado di addensamento	5	6,00	5	(A.G.I.)	0,34

Modulo di deformazione a taglio dinamico (Kg/cm²)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Ohsaki (Sabbie pulite)	Robertson e Campanella (1983) e Imai & Tonouchi (1982)
[1] - terreno vegetale e terreno di riporto	17,92	0,90	17,92	979,61	728,95
[2] - depositi cineritici con livelli a diverso grado di addensamento	5	6,00	5	295,08	334,18

Velocità onde di taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Velocità onde di taglio (m/s)
[1] - terreno vegetale e terreno di riporto	17,92	0,90	17,92	Ohta & Goto (1978) Limi	96,61
[2] - depositi cineritici con livelli a diverso grado di addensamento	5	6,00	5	Ohta & Goto (1978) Limi	114,77

Liquefazione

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Fs Liquefazione
[1] - terreno vegetale e terreno di riporto	17,92	0,90	17,92	Seed e Idriss (1971)	--
[2] - depositi cineritici con livelli a diverso grado di addensamento	5	6,00	5	Seed e Idriss (1971)	--

Modulo di reazione Ko

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Ko
[1] - terreno vegetale e terreno di riporto	17,92	0,90	17,92		---
[2] - depositi cineritici con livelli a diverso grado di addensamento	5	6,00	5		---

Qc (Resistenza punta Penetrometro Statico)

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Qc (Kg/cm ²)
[1] - terreno vegetale e terreno di riporto	17,92	0,90	17,92		---
[2] - depositi cineritici con livelli a diverso grado di addensamento	5	6,00	5		---