



Unione Europea



LAVORI DI RICOSTRUZIONE DEL PLESSO SCOLASTICO DI VIA FORNO - "I.C. BASILE DON MILANI" - CUP: J75E23000090009

PR CAMPANIA FESR 2021-2027 - ASSE 2 - OBIETTIVO SPECIFICO 2.1 AZIONE 2.1.3 E OBIETTIVO SPECIFICO 2.4 AZIONE 2.4.4

ELABORATI GRAFICI

RELAZIONE GEOLOGICA

LIVELLO DI PROGETTAZIONE:

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO-ECONOMICA

TAVOLA

R.G.

REVISIONE:

DATA:

SCALA

COMMITTENTE

AMMINISTRAZIONE COMUNALE DI PARETE

DATA

Febbraio 2025

PROGETTISTA

Ufficio Tecnico Comunale

RESPONSABILE UNICO DEL PROGETTO

Arch. Giuseppe Miraglia

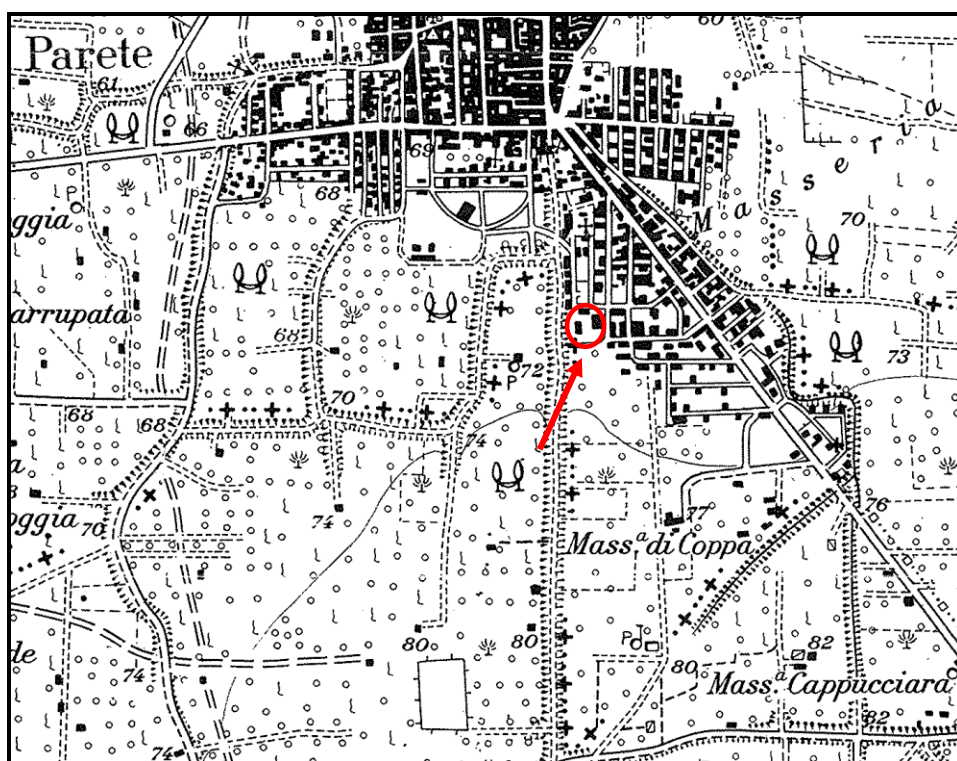


COMUNE DI PARETE (Prov. Caserta)

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA

con **modellazione geologica, geotecnica e sismica**
e dichiarazione di compatibilità geologica

- D.M. 17/01/2018 T.U. Norme tecniche per le costruzioni
- L. R. Campania 7 Gen 1983 n° 9 "Norme per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico"



COMMITTENTE: AMMINISTRAZIONE COMUNALE

OGGETTO: LAVORI DI RICOSTRUZIONE DEL PLESSO
SCOLASTICO DI VIA FORNO - "I.C. BASILE DON MILANI" –
CUP: J75E23000090009

IL GEOLOGO
Dr. V.zo CINOTTI

Casapulla, Febbraio 2025



INDICE

SOMMARIO.....	2
SCOPO DELL'INDAGINE E DESCRIZIONE GENERALE DEL SITO.....	3
INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE E MORFOLOGICO	4
GEOLOGIA LOCALE.....	8
ASPETTI DI IDROGEOLOGIA GENERALE	10
PIANIFICAZIONE DI BACINO: IL PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO.....	12
STIMA DEL VOLUME GEOTECNICO SIGNIFICATIVO.....	13
INDAGINI ESEGUITE ED ACQUISITE.....	14
RISULTATO DELLE INDAGINI	14
IL RILEVAMENTO DI SUPERFICIE.....	14
PROVE PENETROMETRICHE	14
INDAGINE GEOFISICA	14
MODELLO GEOLOGICO E MODELLO GEOTECNICO DEL SITO	15
ZONAZIONE SISMICA.....	16
MACROZONAZIONE E MICROZONAZIONE SISMICA AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018 (NTC) 18	
MACROZONAZIONE: INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE E SPETTRI ELASTICI DEL SITO SPECIFICO	18
MICROZONAZIONE: CATEGORIE TOPOGRAFICHE E CATEGORIE DEL SOTTOSUOLO SECONDO D.M. 17/01/2018.....	22
CARATTERIZZAZIONE SISMICA E CATEGORIA DA ASSEGNARE AL SOTTOSUOLO IN OGGETTO	25
VALIDAZIONE DEL MODELLO SISMICO INDIVIDUATO	26
STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE	30
VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ GEOLOGICA DEL SITO	32
CONCLUSIONI E DICHIARAZIONE DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA	33

In allegato:

- **Report Indagine geotecnica con:**
 - Ubicazione delle Indagini
 - Documentazione Fotografica
 - Stratigrafie Locali correlate alle prove Dinamiche DPM
 - **Modello Geologico e Geotecnico del Sottosuolo**
 - Teoria Indagine Geotecnica
- **Report Indagine Sismica HVSr con:**
 - Informazione sulla stazione sismica
 - Acquisizione del segnale
 - Rapporti spettrali
 - Criteri SESAME
 - Inversione delle curve H/V
 - **Modello Geosismico**
- Dichiarazioni dell'operatore e Certificati di conformità delle strumentazioni utilizzate.



SOMMARIO

Con la presente relazione geologica si è indagato sulle caratteristiche litostratigrafiche e geotecniche del sottosuolo in oggetto.

Dalla geologia regionale, il sito in oggetto è costituito prevalentemente da piroclastici incoerenti (sciolte) a vario grado di addensamento, a ricoprimento di una formazione ignimbratica, a tratti litoide, a cui fa seguito la un deposito cineritico sabbioso-ghiaioso, ed è quella che ospita la falda acquifera; tutti, comunque, prodotti dall'attività vulcanica dei Campi Flegrei e, limitatamente, del Somma-Vesuvio.

Tale assetto è in perfetto accordo con quello delineato per gran parte del territorio comunale da precedenti studi; infatti, le sequenze stratigrafiche sono abbastanza classiche per il l'area in esame, con variazioni locali perfettamente giustificabili col meccanismo di messa in posto di tali depositi.

Per semplicità di esposizione, i terreni attraversati dalle terebrazioni, sono stati distinti in base al loro stato di addensamento, in due formazioni piroclastiche;

- 1) superficiale di tipo sabbioso-pozzolanico (sciolto) fino a max **6-7 m** dal p.c.
- 2) di tipo cineritico sabbioso a tratti pseudolitoide, oltre tale profondità.

Suddivisione che, grossomodo, ci viene suggerita anche dalle risultanze delle indagini indirette (geofisiche).

La morfologia sub-pianeggiante (**72 m s.l.m.**), quasi priva di pendenza, fa escludere fenomeni gravitativi legati a movimenti di massa.

Il livello della falda si rinviene ad una quota di **59 m** dal p.c.

La campagna d'indagine preliminare è consistita nell'acquisizione di prove e sondaggi eseguiti in area limitrofa ed in altre occasioni. Tali informazioni, hanno permesso di programmare e meglio definire le indagini eseguite in sito, che sono da ritenersi proporzionate sia all'importanza e al tipo di opera da eseguire che alle caratteristiche del sottosuolo; in particolare sono state eseguite le seguenti indagini in sito: **tre prove dinamiche di tipo DPM** per determinare le **caratteristiche geotecniche**, e **tre sondaggio sismici**, con tecnica passiva **HVSR**, per la definizione della modellazione e categoria sismica del sottosuolo.

Le risultanze sono analiticamente riportate negli allegati **REPORT**; la sintesi di tale studi ha permesso di ricavare sia il MODELLO GEOLOGICO-TECNICO che SISMICO.

In estrema sintesi gli strati attraversati dalle terebrazioni, a partire da 0.6 m p.c, e tenuto conto dei dati cautelativi, sono risultate:

- **SCADENTI** per profondità comprese tra 0,6 m e 1,5 m dal p.c; deposito da **SCIOLTO** a **MOLTO SCIOLTO**, geotecnicamente caratterizzato da un peso di volume naturale di circa $1,2 \text{ t/m}^3$, da un angolo di attrito medio di 22° , coesione prossima a 0,0.
- **MEDIE** per profondità comprese tra 1,5 m e 2,8 m dal p.c; deposito da **POCO ADDENSATO** a **MEDIAMENTE ADDENSATO**, geotecnicamente caratterizzato da un peso di volume naturale di circa $1,3 \text{ t/m}^3$, da un angolo di attrito medio di 26° , coesione prossima a 0,0.
- **BUONE** per profondità comprese tra 3,3 m e 7,0 m dal p.c; deposito da **MEDIAMENTE ADDENSATO** a **MOLTO ADDENSATO**, geotecnicamente caratterizzato da un peso di volume naturale medio di circa $1,50 \text{ t/m}^3$, da un angolo di attrito medio $> 30^\circ$, coesione prossima a 0,0.
-

Ai sensi del D.M. 14-01-08, al p.c., la categoria da assegnare al sottosuolo è la **C**.

Le funzione di amplificazioni del rapporto H/V prevedono un picco principale (H_0 = frequenza di prima risonanza del terreno) a circa 8,7 Hz in corrispondenza del massimo rapporto H/V (circa 2,3).

Rispetto al rischio di liquefazione, è possibile asserire che tale evento è nullo sia per la profondità della falda che per considerazioni sismogenetiche, ciò, associato all'assenza di indizi di cavità sotterranee, fa ritenere il sito, a **BASSA pericolosità geologica**.



SCOPO DELL'INDAGINE E DESCRIZIONE GENERALE DEL SITO

In ottemperanza alle disposizioni dell'Art. 14 della L.R. n° 9 dello 07/01/83 l'AMMINISTRAZIONE COMUNALE di PARETE (CE), dovendo procedere alla **RICOSTRUZIONE DEL PLESSO SCOLASTICO DI VIA FORNO - "I.C. BASILE DON MILANI"** – CUP: **J75E23000090009**, ha dato incarico allo scrivente, Geologo Vincenzo CINOTTI (ORG 969) da CASAPULLA (CE), di effettuare un'indagine geologico-tecnica, al fine di caratterizzare il sito secondo il D.M. 17/01/18 e la L.R. n° 9/83; in particolare si è proceduto a:

- caratterizzare geologicamente, geolitologicamente ed idrogeologicamente il sito;
- determinare i lineamenti geomorfologici della zona, evidenziando eventuali processi morfogenetici ed i dissesti in atto o potenziali e la loro tendenza evolutiva;
- descrivere la successione litostratigrafica locale con definizione della genesi e della distribuzione spaziale dei litotipi, del loro stato di alterazione e fessurazione e della loro degradabilità;
- evidenziare lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea
- caratterizzare sismicamente il sito;
- caratterizzazione geotecnica del terreno.

Indicazioni che consentiranno allo strutturista di:

- determinare la risposta meccanica del complesso terreno-manufatto sotto l'azione di carichi verticali ed orizzontali
- valutare la profondità di attestazione e la tipologia del sistema fondale di eventuali nuove strutture e programmare interventi di adeguamento a fondazioni esistenti.
- di determinare la idoneità dei terreni a ricevere gli incrementi di carico dovuti alle strutture da realizzare.

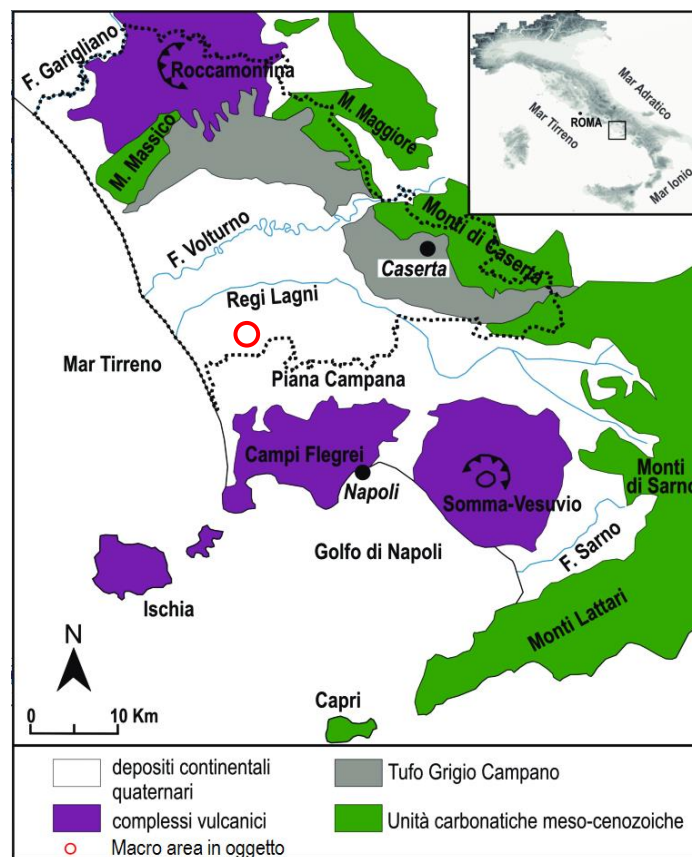
Lo studio è stato articolato, previo consulto del progetto, nelle seguenti fasi:

- Rilevamento delle caratteristiche geomorfologiche e geolitologiche di superficie, integrato dalla lettura della carta geologica d'Italia, **Foglio N° 183-184**, in cui ricade geologicamente l'area in esame.
- Acquisizione di dati da indagini eseguite in zona dallo scrivente, e dei dati ricavati dalle indagini sul territorio del Comune di **PARETE**, eseguite in altre occasioni di studio
- Ricostruzione dei caratteri litostratigrafici locali, entro il volume di terreno investigato e significativo per l'opera da realizzare. L'area oggetto di studio è morfologicamente pianeggiante; la quota media s.l.m. è di circa **71-72** m s.l.m.



INQUADRAMENTO GEOLOGICO STRUTTURALE E MORFOLOGICO

Il tenimento di **PARETE** è compreso nel foglio N° **183-184** della Carta Geologica d'Italia (scala 1:100.000). Tale carta ha costituito la base per un rilevamento generale dell'area in oggetto. Dal punto di vista geografico esso si trova nel settore orientale della Piana Campana che ai margini è bordata da rilievi carbonatici (il Monte Massico a Nord, Monte Maggiore, i Monti Tifatini e Monti di Sarno ad Est e i Monti Lattari a Sud).



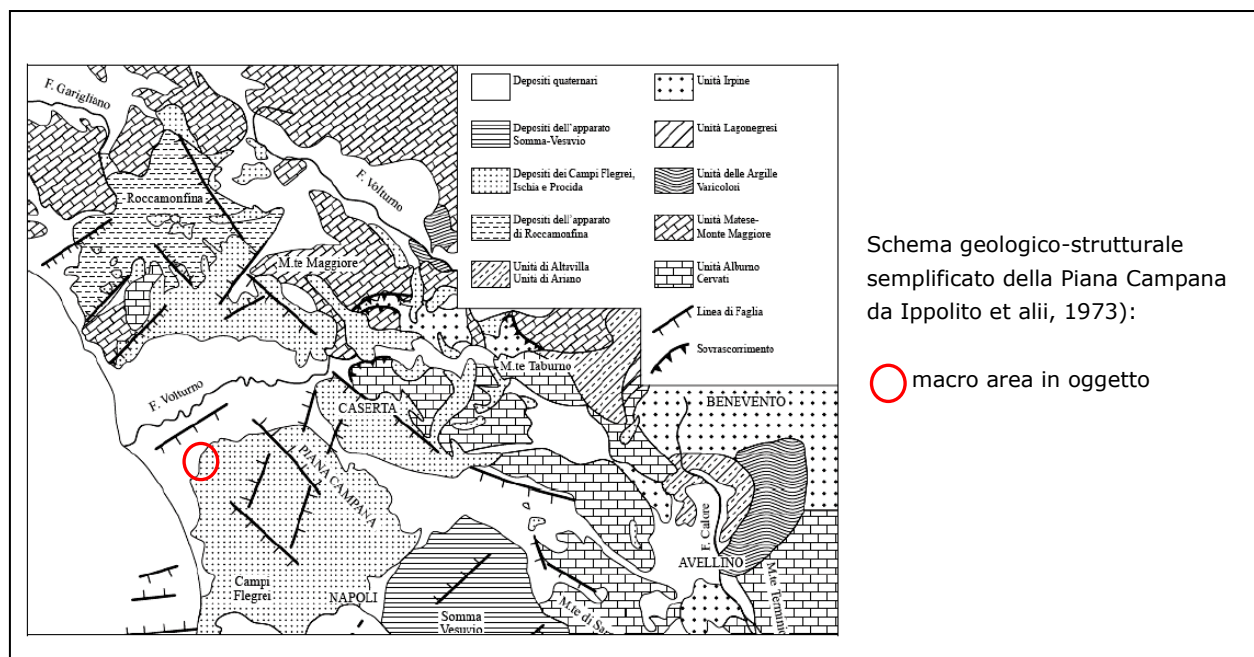
CARTA GEOLOGICA SCHEMATICA DELLA PIANA CAMPANA

L'ossatura di tali montagne montuose è costituita da calcari mesozoici di piattaforma, prevalentemente cretaci riferibili all'unità stratigrafico-strutturale dei Monti Picentini-Taburno. Lungo la fascia pedemontana si rilevano i depositi clastici quaternari, essenzialmente costituiti da colluvioni limo-sabbiose marroni di origine piroclastica e ghiaie di conioide carbonatiche in matrice limo-sabbiosa bruna, che riempiono le valli principali e ricoprono le zone di raccordo tra i versanti calcarei e le piane, nonché depositi torrentizi a clasti carbonatici e matrice limo-sabbiosa. Nella zona di piana si rinvenivano diffusamente i depositi piroclastici ascrivibili all'eruzione esplosiva dell'Ignimbrite Campana, datata 39 mila anni b.p., in facies tufacea da giallastra a prevalentemente grigia, con variabile grado di litificazione, sormontati da alcuni metri di copertura sia eluviale pedogenizzata e/o livelli cineritici grigiastri con pomici che rimaneggiata da fenomeni di trasporto idrico.

La storia geologica dell'area in oggetto, va inquadrata, pertanto, in quella più ampia che ha interessato la Piana Campana, di cui l'apparato vulcanico del Roccamonfina, dei Campi Flegrei e del Somma-Vesuvio ne sono parte integrante.

Alla fine dell'era Cretacea, i rilievi calcarei dell'Italia meridionale, erano ancora una serie di piattaforme calcaree, intervallate dalle acque marine calde, con fondali bassi.

Tra il Pliocene Superiore ed il Quaternario si è verificata la rotazione della penisola italiana verso Est con l'apertura del Mar Tirreno. Tale fase compressiva ha causato lo smembramento delle piattaforme carbonatiche impilandole e sollevandole. Successivamente una fase tettonica distensiva con andamento appenninico ed anti-appenninico, ha generato delle profonde fratture (faglie dirette) generando rigetti di centinaia di metri con conseguente formazione di enormi depressioni. Queste profonde fratture, incrociandosi, sono state successivamente, delle vie preferenziali per la risalita dei prodotti magmatici dal sottostante mantello che insieme ai prodotti derivati dall'erosione dei rilievi circostanti, in breve tempo, hanno colmato e livellato l'enorme bacino, oggi noto, appunto, come Piana Campana. Il primo apparato vulcanico che si formò fu il Roccamonfina, circa un milione di anni fa. Poi l'attività proseguì nell'isola di Ischia con la messa in posto del Tufo verde (c.a. 0.74 m.a. b.p.) e, successivamente, nei Campi Flegrei, da cui si sono irradiati, in periodi diversi, i prodotti "ignimbritici" che hanno definitivamente delineato l'attuale assetto morfologico-strutturale (vedi in seguito).



Attualmente In Campania le aree attive sono i Campi Flegrei ed il Somma-Vesuvio, caratterizzate da prodotti ad alto contenuto di Potassio.

Dal punto di vista strutturale, l'elemento più importante, è dato dalla caldera dei Campi Flegrei; essa costituisce una struttura complessa, risultante da due fasi principali di collasso, connesse alle eruzioni della Ignimbrite Campana e del Tufo Giallo Napoletano; E' ben noto che queste due zone si differenziano nettamente per motivi vulcanologici, petrologici e strutturali.

Il Somma-Vesuvio è un apparato centrale misto che ha emesso nel tempo prodotti sempre più sotto-saturi; esso risulta localizzato all'intersezione di sistemi di frattura orientate in senso appenninico ed anti-appenninico.

I Campi Flegrei con Ischia e Procida rappresentano, invece, un sistema vulcanico complesso formato da un insieme di piccoli apparati piroclastici monogenici, disposti secondo un allineamento est-ovest, che hanno alimentato un'attività caratterizzata da un chimismo potassico ai limiti della saturazione e negli ultimi 37.000 anni, sono stati attivi numerosi di questi centri eruttivi.

La storia geologica dei Campi Flegrei è stata dominata da due grandi eruzioni: l'eruzione dell'**Ignimbrite Campana** (avvenuta 37.000 anni fa) e l'**eruzione del Tufo Giallo Napoletano** (avvenuta 12.000 anni fa). I depositi vulcanici di età maggiore di 37.000 anni dal presente, comprendono le lave che affiorano tra la spiaggia di Acquamorta e Torregaveta, lungo i versanti occidentale e nordoccidentale di Cuma e a Punta Marmolite e depositi piroclastici che affiorano a Monte di Procida (sequenza di Monte Grillo), Soccavo (Tufi di Torre Franco) e Quarto.

L'Ignimbrite Campana (37.000 anni): eruzione e collasso calderico

L'Ignimbrite Campana è il prodotto della maggiore eruzione esplosiva avvenuta nell'area mediterranea negli ultimi 200.000 anni. Tale eruzione è avvenuta da una frattura rettilinea della crosta terrestre (**emissione fissurale**), da cui si è irradiata sotto forma di "nube", un misto di litici, gas e cenere vulcanica che, ad elevate temperature e velocità che in breve ha raggiunto distanze notevoli, anche grazie all'azione fluidificante della fase gassosa Tali prodotti per effetto di processi di trasformazione post-deposizionale (zeolitizzazione), si sono talvolta litificati (TUF).

In genere il flusso piroclastico è costituito da breccie poligeniche con blocchi e scorie di dimensioni fino al metro di diametro, passante lateralmente e verticalmente a una *facies* di colore giallastro, a differente grado di litificazione e contenuto variabile in scorie grigio scure; nella *facies* tufacea sono presenti talora strutture da degassazione. Alla formazione dell'Ignimbrite campana sono associati depositi da flusso piroclastico litoidi a tessitura eutassitica ricchi di scorie nerastre (Piperno) e depositi di breccie costituiti da pomice e scorie e, subordinatamente, frammenti di ossidiana e litici. Durante questa eruzione si formò una caldera che determinò lo sprofondamento di una vasta area che comprende i Campi Flegrei, parte della città di Napoli ed una parte delle baie di Napoli e Pozzuoli. Tali eruzioni sono connesse a due episodi di sprofondamento che, sovrapponendosi, hanno generato una caldera complessa che rappresenta la struttura più evidente del Distretto Vulcanico Flegreo. Quest'ultimo comprende i Campi Flegrei, la città di Napoli, le isole vulcaniche di Procida ed Ischia, e la parte nord-occidentale del Golfo di Napoli.

L'attività vulcanica dei Campi Flegrei successiva a tale evento, viene suddivisa dal De Lorenzo (1904) e da Rittmann (1950) in tre periodi:

Il **primo periodo**, *Vulcanismo tra 37.000 e 12.000 anni* è caratterizzato dalla formazione del Tufo grigio campano, del Piperno e della Breccia Museo;

Le rocce eruttate nel periodo di tempo compreso tra l'eruzione dell'Ignimbrite Campana e quella del Tufo Giallo Napoletano, sono esposte lungo il bordo della caldera dell'Ignimbrite Campana, all'interno della città di Napoli e lungo i versanti nord-occidentale e sud-



occidentale della collina di Posillipo. I centri eruttivi erano ubicati all'interno della caldera dell'Ignimbrite Campana, sia nella parte attualmente emersa, sia nella parte che attualmente si trova sotto il livello del mare nel golfo di Napoli.

Esse comprendono sia depositi da flusso piroclastico (Tufi biancastri stratificati, Tufi antichi della città di Napoli) da incoerenti a semicoerenti a stratificazione incrociata e lamine a basso angolo, che prodotti piroclastici da caduta.

Il **secondo periodo**, datato circa 10.000-12.000 anni, è costituito da piroclastici sia in facies incoerente (pozzolane) che coerente (Tufo giallo zeolitizzato), quest'ultimo noto come formazione del Tufo Giallo Napoletano (TGN). E' un deposito piroclastico di colore giallastro e grigiastro a struttura da massiva a pseudo-stratificata, costituito da pomici, frammenti lavici e tufacei immersi in una matrice cineritica. Nella formazione del TGN si distingue una *facies* litoide e una *facies* incoerente.

Il Tufo Giallo Napoletano (12.000 anni): eruzione e collasso calderico

L'eruzione del Tufo Giallo Napoletano è la seconda eruzione fissurale per importanza nell'area campana. Nel corso dell'eruzione furono emesse, da un centro ubicato nei Campi Flegrei, alcune decine di km³ di magma che ricoprirono un'area di circa 1.000 km². I depositi connessi con l'eruzione del Tufo Giallo Napoletano si rinvenivano nell'area napoletano-flegrea e nella Piana Campana fino ai rilievi dell'Appennino. L'eruzione del Tufo Giallo Napoletano fu accompagnata dalla formazione di una caldera che determinò lo sprofondamento di un'area che comprende parte dei Campi Flegrei e della baia di Pozzuoli.

Il **terzo periodo**, datato 3.000-4.000 anni è caratterizzato dai prodotti vulcanici incoerenti provenienti da Agnano, Solfatara, Montagna Spaccata, Pisani, Astroni ed Averno. L'ultima eruzione è stata quella del Monte Nuovo nel 1538 dopo un periodo di quiescenza durato circa 3.000 anni ed è tra le eruzioni di minore intensità avvenute ai Campi Flegrei. I prodotti del Monte Nuovo sono costituiti da un deposito basale da flusso piroclastico da massivo a debolmente laminato con a tetto, un livello di scorie da caduta e, a chiudere la sequenza sul fianco meridionale del cratere, un deposito grossolano da scoria flow.

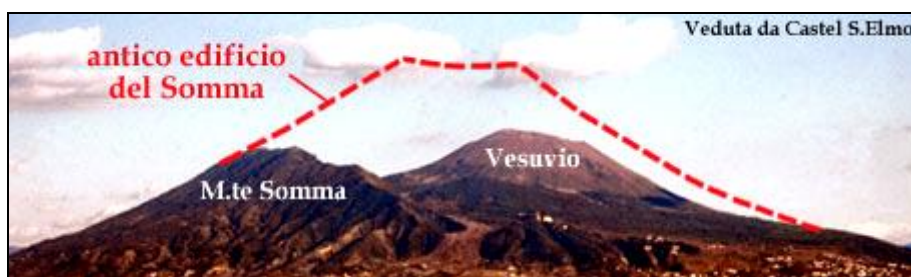


Viste dall'alto del cratere di Monte Nuovo, generatosi durante l'eruzione del 1538.

La serie stratigrafica si chiude con le cineriti recenti del Somma-Vesuvio; esse si presentano incoerenti, stratificate e intercalate da livelli humificati (paleosuoli).

L'attività vulcanica nell'area del Somma-Vesuvio risale, invece, ad almeno 400.000 anni fa, età di alcune lave trovate in perforazioni profonde 1.345 m.

La storia dell'apparato vulcanico Somma-Vesuvio è iniziata circa 25.000 anni fa con l'accrescimento del Somma a seguito di eruzioni prevalentemente effusive e subordinatamente esplosive, di bassa energia. Tale attività è durata fino a circa 19.000 anni fa ed ha determinato la formazione dell'apparato vulcanico del Somma il cui probabile profilo è ricostruito in rosso nell'immagine sottostante. La parte settentrionale di questo edificio più antico è ancora ben conservata ed è rappresentata dall'attuale Monte Somma.



Ricostruzione qualitativa del profilo originario dell'antico vulcano del Somma (in rosso - basato sul lavoro di Cioni et al., 1999). Il M. Somma è ciò che rimane del fianco settentrionale del vecchio edificio.

Con la prima eruzione pliniana delle Pomici di Base, avvenuta 18.300 anni fa, è cominciato il collasso dell'apparato vulcanico del Somma e la formazione della caldera a seguito dello sprofondamento della parte sommitale. Dopo questo evento l'attività vulcanica e le successive fasi di sprofondamento hanno contribuito alla formazione del vulcano più giovane, il Vesuvio. L'attività di questo vulcano, accresciutosi all'interno della caldera del Monte Somma, è stata caratterizzata da una grande variabilità sia del tipo di eruzioni che della composizione chimica dei magmi emessi.

E' ben noto che queste due zone, pur geograficamente vicine, si differenziano nettamente per motivi vulcanologici, petrologici e strutturali.



Il Somma-Vesuvio localizzato all'intersezione di sistemi di frattura orientate in senso appenninico ed anti-appenninico è, infatti, un apparato centrale misto che ha emesso nel tempo prodotti sempre più sotto-saturi; i Campi Flegrei con Ischia e Procida rappresentano invece un sistema vulcanico complesso formato da un insieme di piccoli apparati piroclastici monogenici, disposti secondo un allineamento est-ovest, che hanno alimentato un'attività caratterizzata da un chimismo potassico ai limiti della saturazione.

Da quanto detto sulle emissioni ignimbritiche, si può spiegare sia l'ampia diffusione di tali prodotti sia la morfologia sub-pianeggiante che la Piana Campana ha assunto dopo tali eruzioni, in quanto il meccanismo di propagazione, tende ad livellare le depressioni preesistenti.

Schematicamente, i prodotti del vulcanismo sopra descritto, nell'ambito della Piana Campana, sono così distribuiti:

- a) Nella **zona settentrionale** si rinvencono, prevalentemente, terreni costituiti fondamentalmente da Tufo Grigio Campano (età circa 33.000 anni).
- b) Nella **zona centrale**, da una serie di terreni appartenenti alle alluvioni del Volturno, e alle successive colmate di bonifica dello stesso Volturno. In questa zona si rinvencono, infatti, forti spessori di materiale limo-argilloso (anche 80 m), depositatisi sia in seguito alle continue inondazioni del Volturno nella piana circostante, che alla migrazione del corso fluviale stesso nella piana. Essi sono interdigitati a formazioni pomicee, e a depositi marini ghiaiosi.
- c) Mentre nella **zona meridionale** si rinvencono in affioramento tufi lapilli appartenenti alle varie fasi eruttive dei Campi Flegrei (Tufo Giallo Napoletano età 10.000 anni).

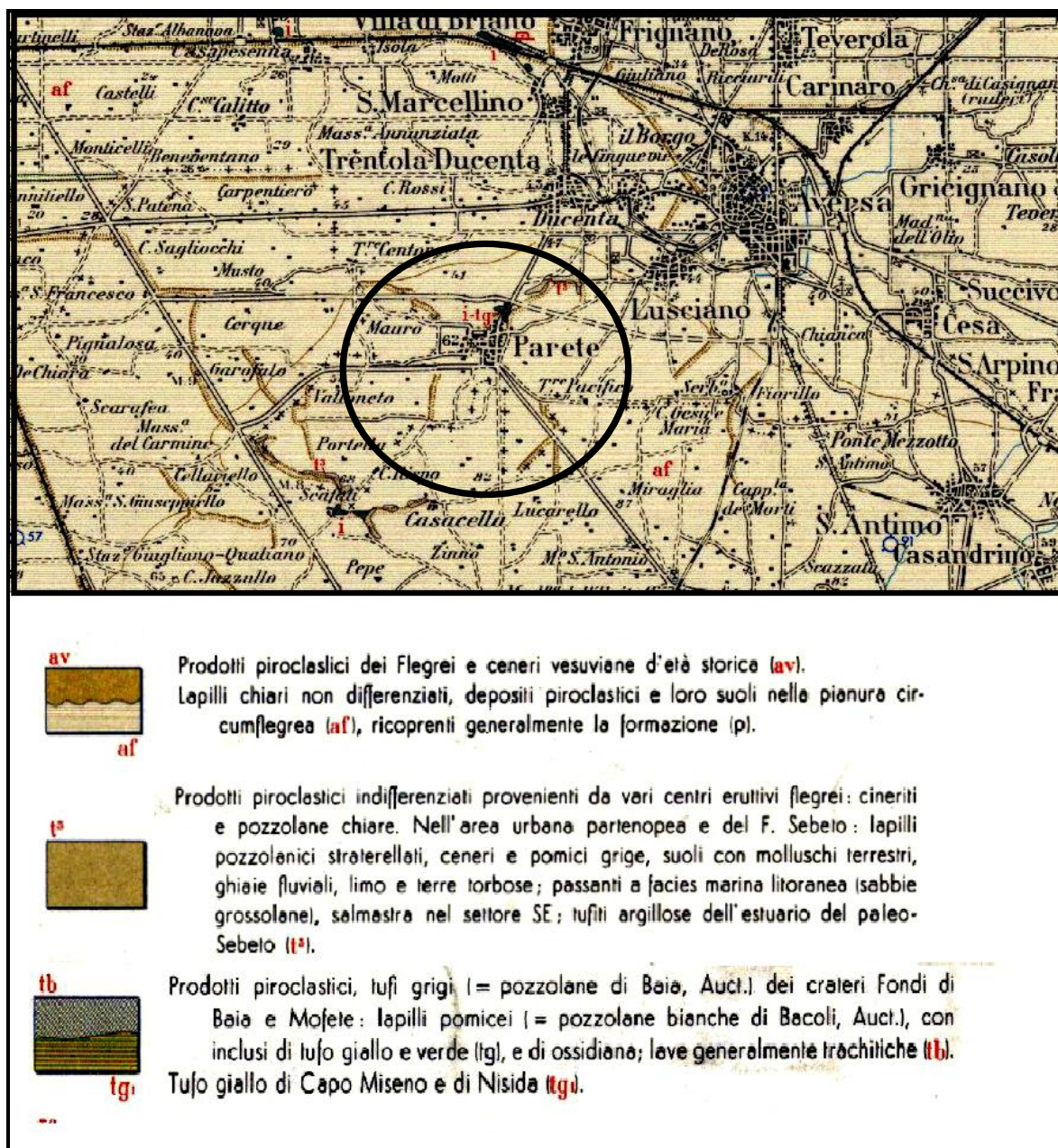
Un paleosuolo poco sviluppato separa la formazione del tufo grigio da quella sovrastante del tufo giallo, che nella parte prossima al centro di emissione presenta fenomeni di autometamorfismo (zeolitizzazione), che oblitera le caratteristiche originarie.

Il substrato su cui poggiano tali prodotti appartiene alla citata piattaforma calcarea, che si rinviene a profondità maggiori, man mano che ci si allontana dai rilievi calcarei (nella piana centrale si rinvencono a circa 8.000 m).



GEOLOGIA LOCALE

In affioramento, sul sito in oggetto, si rinvencono depositi quaternari piroclastici (**vulcanici**) noti col nome di **IGNIMBRITE CAMPANA**, di natura trachifonolitica come evidenziato nella carta geologica di seguito riportata.



STRALCIO CARTA GEOLOGICA D'ITALIA N. 183-184

Dall'analisi dei dati stratigrafici dei sondaggi recuperati, effettuati sul territorio comunale, i terreni costituenti il sottosuolo dell'area in oggetto possono essere distinti nei seguenti complessi a partire da quelli più recenti dall'alto verso il basso:

A. **Suolo agrario**: limi sabbiosi con cineriti (prodotti piroclastici del II periodo flegreo), di colore marrone scuro tendente al giallastro verso il basso, (spessore 50-200 cm).

B. **Piroclastiti stratificate** del II periodo flegreo (m 5.00): costituiti da straterelli alternati di ceneri e pomici ad andamento regolare detti "Tassi" (Olocene).

C. **Paleosuolo** (spessore cm 50 -150): costituito da sedimenti limo sabbiosi con humus di origine piroclastica.



D. **Tufo giallo** o materiale “tufizzato” rossastro: varietà locale del tufo grigio campano (spessore circa 5 m).

E. **Ignimbrite Campana** “tufo grigio campano”: stratificato per autometamorfismo dall’alto verso il basso (spessore 20-40 metri) caratterizzato nella parte sommitale da materiale sabbioso ghiaioso a luoghi limoso grigio cinereo a tratti violaceo ben addensato con incluse scorie e lapilli centimetrici e decimetrici; a profondità maggiori di 25 m a luoghi il materiale si rinviene semi-litoide e litoide (pleistocene I periodo flegreo).

Premesso ciò, per semplicità di esposizione, i terreni attraversati dalle terebrazioni, sono stati distinte solo in base al stato di addensamento, essendo tutti della stessa natura litologica (POIROCLASTITI).

La distribuzione areale di tali depositi, si mantiene pressoché costante, tanto da riconoscerli anche nel seguente modello geologico ricostruito per il sito in oggetto.

Il sottosuolo dell’area in oggetto, in base ai sondaggi effettuati ed acquisiti, risulta, pertanto, in perfetto accordo con la geologia generale dell’area, precedentemente descritta; cioè i litotipi prevalenti sono essenzialmente prodotti piroclastici ascrivibili ad attività vulcanica degli apparati dei Campi Flegrei e limitatamente del Somma-Vesuvio.

Premesso ciò, per semplicità di esposizione, i terreni attraversati dalle terebrazioni, sono stati distinte in base alla loro natura, in DUE formazioni piroclastiche;

- 1) superficiale di tipo sabbioso-pozzolanico (sciolto) fino a c.a. 6-7 m dal p.c.
- 2) di tipo cineritico sabbioso a tratti pseudolitoide, oltre tale profondità.



ASPETTI DI IDROGEOLOGIA GENERALE

La idrogeologia di un sito dipende essenzialmente dalla litologia dei depositi presenti sul territorio e dal reciproco rapporto giaciturale sia in senso verticale che orizzontale.

Nel nostro caso la idrogeologia locale è influenzata dalla presenza di due grandi **Complessi Idrogeologici** (ossia un insieme di terreni a medesimo comportamento idrogeologico non necessariamente simili dal punto di vista litologico) aventi una comprovata unità spaziale e giaciturale, uno stesso tipo di permeabilità prevalente ed un grado di permeabilità relativo contenuto in un campo di variabilità piuttosto ristretto.

Trattasi del "**complesso carbonatico-dolomitico**" caratterizzato da un alto grado di permeabilità per fratturazione e carsismo, interessato da una circolazione idrica sotterranea che avviene preferenzialmente in "rete" e trova recapito nelle note sorgenti di TRIFLISCO e PILA; e del "**complesso dei materiali piroclastici**", più rappresentativo dell'area in studio, che raggruppa terreni che hanno in comune, l'origine vulcanica-detritica ed il grado di permeabilità relativa, generalmente basso tranne che per qualche livello, peraltro discontinuo.

Sono quindi, nel complesso, scarsamente permeabili per porosità e risultano sede di una circolazione idrica sotterranea più o meno lenta.

Come si può dedurre, gli elementi che costituiscono i depositi dell'area in oggetto, hanno un fuso granulometrico molto eterogeneo (da ghiaia a limo), inoltre essi si interdigitano (anastomatizzazione), ciò ha dei riflessi sensibili in campo idrogeologico in quanto la permeabilità (capacità di farsi attraversare dall'acqua) varia sia in senso verticale che orizzontale, determinando così una circolazione idrica per **falde sovrapposte**, tre le quali esistono comunque rapporti di interscambio dovuti principalmente a fenomeni di drenanza, derivati dal fatto che ogni falda ha un diverso carico idraulico in funzione dell'estensione dell'area alimentante. L'area che alimenta tali falde, oltre ad essere quella direttamente sovrastante le stesse (**complesso dei materiali piroclastici**), è senz'altro quella dei massicci carbonatici che bordano ad oriente la Piana Campana (**complesso carbonatico-dolomitico**).

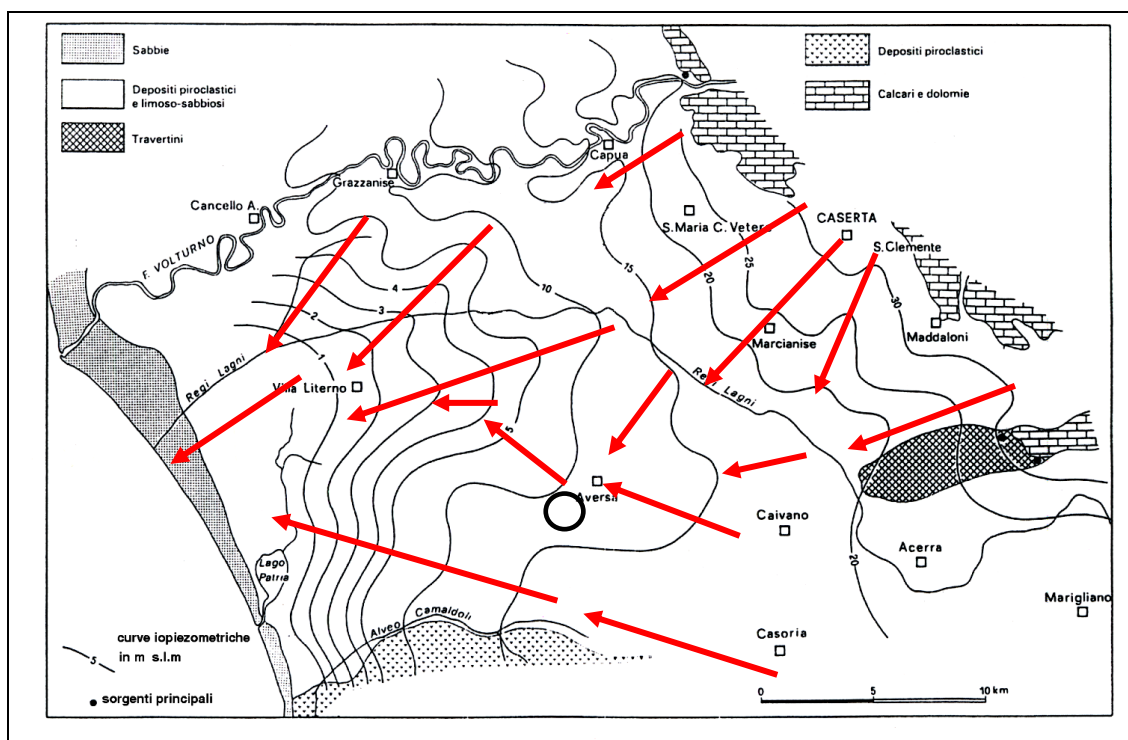
Tali rilievi, per la loro storia geologica, hanno un elevato grado di permeabilità per fratturazione, mentre i depositi sovrastanti le falde hanno una permeabilità per porosità, pertanto potremo definire tali tipi di acquiferi a **permeabilità mista**.

Nell'ambito delle indagini possono essere riscontrati, per i primi metri di terebrazione, dei **livelli di saturazione temporanea**, causati dalla parte più fine del deposito di copertura (bassa permeabilità), mentre **il pelo libero della falda è a circa 59 m dal piano campagna, ossia a circa 12.5 m s.l.m., essendo il sito a quota di circa 71-72 m s.l.m.** (vedi fig. succ.).



Tale livello, che per le caratteristiche locali del complesso ignim-britico assume carattere confinato, è comunque soggetto ad oscillazioni dovute principalmente ad apporti di acqua proveniente dai complessi carbonatici dell'Appennino Campano, i quali non essendo tamponati alla base da materiali impermeabili, riversano i loro accumuli idrici nel complesso dei sedimenti alluvionali e piroclastici della Piana Campana per poi defluire verso il mare.

A condizionare il livello della falda acquifera, contribuiscono anche gli apporti idrici dovuti alle precipitazioni meteoriche stagionali (fattore di ricarica) ed i grossi depauperamenti per emungimenti operati sia nelle aree urbane sia nelle vicine aree industriali.



Carta delle isofreatiche



Direzione del flusso sotterraneo



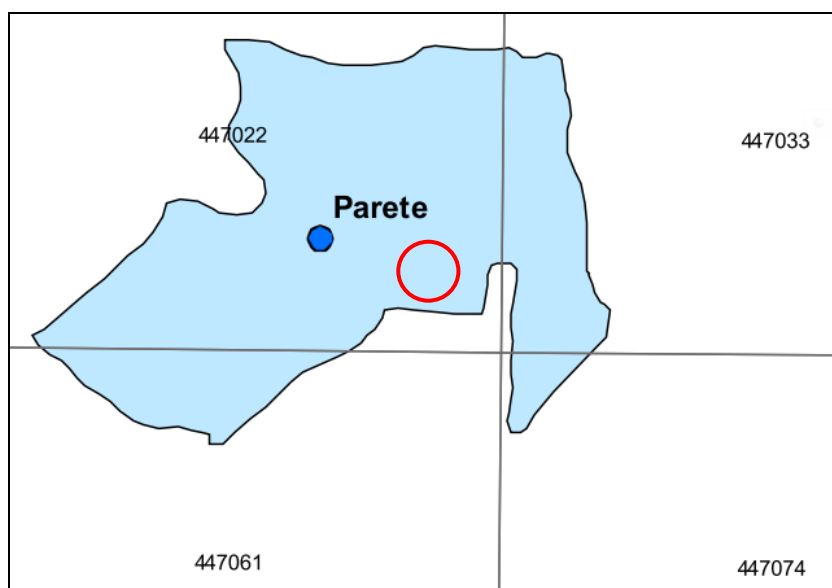
macro area in oggetto



PIANIFICAZIONE DI BACINO: IL PIANO PER L'ASSETTO IDROGEOLOGICO

I gradienti morfologici del sito sono praticamente nulli, tanto da far escludere il verificarsi di fenomeni di frana, inoltre la lontananza da aste di drenaggio e bacini idrografici, fa escludere anche i rischi idraulici da alluvioni (si ricorda che la “sommatoria” dei rischi da frana e da alluvioni determina il rischio idrogeologico), pertanto il sito in oggetto (**LAT. = 40,9534N – LONG. = 014,1665E**) non ricade né in aree a Rischio Frane né a Rischio Idraulico, ossia è a **rischio idrogeologico nullo**.

Tali circostanze sono evidentemente riscontrabili nella cartografia del rischio redatta per l'area di studio dall'allora competente **ex Autorità Di Bacino Regionale Della Campania Centrale** (nata dall'accorpamento delle autorità di bacino Nord-Occidentale e Sarno in applicazione della legge regionale 27 gennaio 2012, n. 1 e sancita dal D.P.G.R.C. 143/2012), oggi confluita **nell'Autorità di Bacino Distrettuale dell'Appennino Meridionale** (<https://www.distrettoappenninomeridionale.it/>).





STIMA DEL VOLUME GEOTECNICO SIGNIFICATIVO

Volume significativo

Lo scopo delle indagini da eseguire *in situ* è quello di prendere in esame uno spessore “utile” di terreno, per affrontare le problematiche legate all’intervento. Tale spessore è definito come **volume significativo**. Esso rappresenta la parte di sottosuolo influenzata, direttamente o indirettamente dalla tipologia e dalle caratteristiche dell’opera in progetto; per tale motivo esso va parametrizzato e quantizzato caso per caso.

Ed è, quindi, proprio nella fase della programmazione delle indagini che l’intervento del geologo è insostituibile, in quanto rappresenta l’unica figura professionale in grado di ricostruire in maniera attendibile il quadro litostratigrafico locale e la prevedibile evoluzione morfogenetica dei luoghi d’intervento.

Dalla letteratura specifica e dalla normativa vigente, si evince che il **“volume significativo” si distingue in “volume geotecnico significativo” e “volume sismico significativo”**.

Il **Volume geotecnico significativo** può essere ricondotto alla porzione di sottosuolo in cui l’incremento di pressione indotto dall’intervento, è maggiore del 10% della pressione lito statica efficace.

Indicazioni sulla estensione verticale delle indagini sono riportate nelle Raccomandazioni A.G.I. (1977) e nella tabella successiva tratta dalle Normative Europee (EC7), anche se, nel caso della presenza di un substrato lapideo o estremamente addensato (incomprimibile), ad alta resistenza, situato al di sotto una coltre di terreni sciolti superficiali, può essere sufficiente caratterizzare i terreni fino a tale quota, viceversa, nel caso di costruzioni in pendio, potrà essere necessario approfondire le prospezioni ove si supponga la presenza di livelli di deboli resistenza al taglio che possano costituire superficie di scorrimento di fenomeni gravitativi.

Fondazione	Profondità
Plinti isolati	$(1 \div 3) \cdot B$
Travi rovesce	
Platea	$\geq B$
Palo	$\sim L + 5 \cdot d$
Gruppo di pali	$> L + B'$
Rilevati e rinterri	Alla profondità in cui $w \leq 10\% \cdot w_f$

Profondità delle indagini. Con B è indicata la larghezza caratteristica della fondazione, con L la lunghezza del palo di diametro d, con B' la larghezza minore del rettangolo che circonda il gruppo di pali; con w il generico cedimento e con w_f il cedimento finale.

Il **Volume sismico significativo** è invece definito dalle Normative vigenti in materia, attraverso lo spessore di terreno H che poggia su un substrato (bed-rock) caratterizzato da una velocità delle onde S, non inferiore a 800 m/s, nel caso in cui tale substrato dovesse trovarsi a profondità maggiori di 30 m, si assume H pari a 30, ossia si valuta il Vs30. La Normativa, infatti, prevede di caratterizzare il terreno con una delle 5 “*categorie di suolo di fondazione*” (vedi paragrafi successivi).

Il programma e l’ampiezza delle indagini è stato formulato sia tenendo conto delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e strutturali del sito, che della costituzione del sottosuolo, oltre alle caratteristiche, dimensioni, ed importanza dell’intervento di progetto.



INDAGINI ESEGUITE ED ACQUISITE

Indagini Acquisite

Nella fase preliminare di indagine, si sono raccolti ed acquisiti tutti i dati concernenti il sottosuolo di zone limitrofe; in particolare si è fatto riferimento a:

- Carta Geologica d'Italia (F.lo172)
- Sondaggi profondi riportati nello studio - **Ortolani F & Aprile F. (1978)** - *"Nuovi dati sulla struttura profonda della Piana Campana a Sud Est del fiume Volturno"* - Boll. Soc. Geol. It., 97 (1978), 591-608, 13ff.

Indagini Eseguite

Nell'area in esame, per raggiungere lo scopo prefissoci, sono state eseguite le seguenti prove:

- **N° 3 prova penetrometriche MEDIO PESANTE (DPM)**
- **N° 3 sondaggi sismici di tipo passivo con tecnica HVSr**

Metodologia Delle indagini eseguite

Per un maggior approfondimento delle tecniche di indagine, si rimanda al **REPORT** delle indagini in allegato, dove è riportata, un'ampia sezione sulle metodologie utilizzate e qui solo delineate.

Le prove penetrometriche hanno lo scopo di caratterizzare in continuo i terreni attraversati; esse permettono di discriminare i terreni sia dal punto di vista qualitativo che quantitativo, attraverso correlazioni con i parametri geotecnici, universalmente accertate.

Le indagini sismiche permettono, invece, la determinazione della categoria sismica del terreno, ed altri parametri di interesse geotecnico; inoltre, servendosi delle prime come "taratura", consentono di estendere la validità delle prove sia in senso orizzontale che verticale, cioè ampliano notevolmente il campo di validità delle prove penetrometriche o, in alternativa, di ci suggeriscono di integrazione le stesse, qualora non vi sia convergenza tra di esse.

RISULTATO DELLE INDAGINI

Il rilevamento di superficie

Il rilevamento geologico di superficie ha evidenziato la presenza di piroclastiti autoctone, talvolta argillificate.

La pendenza è quasi nulla, tanto da far escludere pericolosi movimenti gravitativi di masse di terreno. L'assenza di cavità è stata evidenziata sia dalle indagini dirette che dalla conoscenza geologica dell'area.

Prove penetrometriche

La prova penetrometrica dinamica DPM, è stata spinta fino a **circa 5-6 m** dal p.c., registrando in continuo, la presenza di piroclastiti a vario grado di addensamento (vedi anche indagine sismica), fino al rifiuto strumentale; l'assenza di attrito laterale sulle aste è sintomatico di terreni granulari.

La omogeneità del sottosuolo è messa in evidenza dall'ampia correlabilità tra il profilo penetrometrico e le conoscenze geologiche della zona. Nell'allegato **REPORT** indagine geotecnica, si riporta una dettagliata stratigrafica locale in cui sono descritti, per ogni strato;

- la natura litologica
- la geometria
- gli spessori degli strati individuati e le reciproche giaciture

Indagine geofisica

L'indagine geofisica, eseguita in sito e il cui rapporto è riportato in allegato, è in perfetto accordo con la geologia locale, infatti, sostanzialmente, si sono individuati tutti i riflettori, in corrispondenza di evidenti cambi litologici (vedi **REPORT** indagine sismica in allegato).



MODELLO GEOLOGICO E MODELLO GEOTECNICO DEL SITO

La definizione del MODELLO GEOLOGICO e la elaborazione del MODELLO GEOTECNICO di un sito, assumono un ruolo di fondamentale importanza sia per la valutazione della pericolosità geologica, che per l'analisi quantitativa di uno specifico problema geotecnico, entrambi influiscono, poi sulle modalità costruttive. Pertanto Modello Geologico e Modello Geotecnico sono strettamente collegati e, spesso, dai confini sfumati. Il primo scaturisce dalla conoscenza della geologia regionale e locale, il secondo dall'analisi critica delle indagini geotecniche finalizzate alla conoscenza dei **parametri geotecnici caratteristici**, la cui valutazione è avvenuta attraverso l'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche DPM, rapportate alle prove dinamiche S.P.T., a cui fanno riferimento i diversi autori, per la correlazione ai parametri geotecnici. Di seguito si riporta sia la modellazione geologica che la caratterizzazione geotecnica, come sintesi di quanto restituito in allegato; l'ammasso di terreno interessato è stato suddiviso in unità (stratigrafiche e geotecniche) ritenute a comportamento meccanico omogeneo e, ad ognuna di esse, sono stati attribuiti dei parametri geotecnici utili per l'analisi delle interazioni tra l'opera di progetto e il terreno stesso (per la legenda e le correlazioni usate, vedi **REPORT** indagine geotecnica in allegato).

MODELLO GEOLOGICO e MODELLO GEOTECNICO (terreno granulari)

ELABORATO DALLA PROVA PENETROMETRICA STATISTICAMENTE RAPPRESENTATIVA

Descrizione litologica	Prof. m	Spess. m	N DPM	Nspt	Dr (%)	Grado di Addensamento	Φ (°)	Yn t/m³	Ys t/m³	Y Kg/cm²	Ed Kg/cm²	G Kg/cm²	μ	Kv Kg/cm³	Ko Kg/cm³
[1] - Piroclastite sabbiosa molto sciolta	0.6	0.6	2	4	18	SCIOLTO	23	1.21	1.34	20	25	248	0.35	0.8	0.2
[2] - Piroclastite Argillificata	1.5	0.9	1	1	10	MOLTO SCIOLTO	20	1.15	1.27	5	8	128	0.36	0.3	0.0
[3] - Piroclastite sabbiosa sciolta	2.0	0.5	3	5	23	POCO ADDENSATO	25	1.25	1.39	32	39	343	0.35	1.1	0.4
[4] - Piroclastite sabbiosa moderatamente addensata	2.8	0.8	5	8	30	MEDIAMENTE ADDENSATO	27	1.32	1.46	51	60	489	0.34	1.5	0.6
[5] - Piroclastite sabbiosa mediamente addensata	3.3	0.5	9	14	41	MEDIAMENTE ADDENSATO	30	1.43	1.58	88	102	785	0.32	2.4	1.1
[6] - Piroclastite sabbiosa addensata	3.8	0.5	12	18	46	MEDIAMENTE ADDENSATO	32	1.49	1.65	111	128	969	0.32	3.4	1.3
[7] - Piroclastite sabbiosa addensata	4.9	1.1	15	21	51	MEDIAMENTE ADDENSATO	33	1.53	1.70	130	150	1122	0.31	4.5	1.5
[8] - Piroclastite sabbiosa molto addensata (Cappellaccio tufaceo)	5.3	0.4	20	28	60	ADDENSATO	36	1.61	1.79	176	202	1484	0.29	9.3	1.9
[9] - Piroclastite sabbiosa estremamente addensata (Tufo o Tufite)	5.7 (*)	0.4 (*)	33	46	79	MOLTO ADDENSATO	42	1.60	1.77	285	326	2350	0.26	39.1	2.5

(*) vedi indagine sismica

- N.B. Falda non intercetta entro il volume significativo dell'opera (>>15.0 m dal p.c. - NO rischio di liquefazione)



ZONAZIONE SISMICA

La zonazione sismica è un insieme di studi di carattere geologico che prevedono più fasi successe, da cui il termine “**Zonazione Sismica a più livelli**”. Lo scopo è quello di valutare e quantificare il livello dell'**Azione Sismica Attesa** al sito specifico.

Si parte, dunque, dalla delimitazione a grande scala (scala regionale) di aree sismogenetiche attive, e questo sulla base di analisi statistiche correlate a terremoti avvenuti in età storica e dei quali si sono potuti valutare i parametri sismici; successivamente, in funzione della distanza dalla zona sismogenetica, ad ogni Comune, si è assegnato una delle quattro zone sismiche in cui è stato suddiviso il territorio Nazionale, (**Macrozonazione Sismica** del Territorio Nazionale o Zonazione di Primo Grado (Ini. Geot. Ass, TC4, 1999)).

Ogni Zona è contraddistinta da pericolosità sismica decrescente, individuata dapprima con differenti intervalli di valori dell'accelerazione orizzontale (a_g) attesa al suolo (**PGA**), con probabilità di accadimento del 10% in 50 anni e, successivamente, da un unico valore di PGA, corrispondente al limite superiore dell'intervallo, come riportato nell'**O.P.C.M. 3274/2003** aggiornata con la D.G.R. Campania n. 5447 del 7.11.2002, e nel **D.M. 17/01/18**.

La fase successiva è la **Microzonazione Sismica** o Zonazione di Secondo Grado (Int.Geot.Ass.,TC4,1999), essa è una operazione scientifica che ha lo scopo di riconoscere, ad una scala sufficientemente piccola (scala comunale o sub comunale), le condizioni geologiche, geomorfologiche e geotecniche locali dell'immediato sottosuolo, che possono alterare più o meno sensibilmente le caratteristiche del movimento sismico atteso, generando amplificazioni del moto sismico e/o deformazioni permanenti. In altri termini tale analisi ha l'obiettivo di individuare eventuali effetti di sito che si possono verificare in seguito ad un sisma su di un'area relativamente ancora vasta, quale potrebbe essere un territorio comunale. Momento finale è la successiva valutazione della **Risposta Sismica di Sito** (Zonazione di terzo Grado - Int.Geot.Ass.,TC4,1999) che ha lo scopo di definire, ormai in tutti i suoi dettagli, quali sono le modifiche, che il moto sismico subisce nell'immediato sottosuolo a causa delle condizioni geologiche, morfologiche e geotecniche locali, e quali sono le frequenze che amplificano tale moto. Tale studio può essere condotto in modo semplificato o, per situazioni particolari, in modo rigoroso in modo da fornire i valori accurati dei parametri necessari per definire gli spettri di risposta in accelerazione per il sito della costruzione.

Di seguito si riporta uno schema in cui per ogni zona è indicata l'intervallo di variazione del **PGA** ed il valore fissato per legge.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a_g/g]	Accelerazione orizzontale fissata per legge (Norme Tecniche) [a_g/g]
1	$0.25g < PGA \leq 0.35g$	0,35
2	$0.15g < PGA \leq 0.25g$	0,25
3	$0.05g < PGA \leq 0.15g$	0,15
4	$PGA \leq 0.05g$	0,05



La conoscenza del **PGA**, è il primo passo nella costruzione dello spettro di risposta elastico di una struttura. In sostanza lo spettro ci dice su quali frequenze di vibrazione la sollecitazione sulle strutture, risulta massima e su quali frequenze sono possibili fenomeni di risonanza, che potrebbero determinarne il collasso.

In uno spettro di risposta elastico, il **PGA coincide con il valore dell'accelerazione spettrale $S_e(T)$** quando il periodo proprio di oscillazione dell'oscillatore elementare di riferimento è pari a $T=0$ poiché in questo caso l'oscillatore è infinitamente rigido e pertanto ha la stessa accelerazione del terreno.

In basso è riportata la zona sismica in cui in base alla citata Ordinanza, ricade il territorio di **PARETE**.

Zona sismica	Fenomeni riscontrati	Accelerazione con probabilità di superamento del 10% in 50 anni	Accelerazione orizzontale fissata per legge (Norme Tecniche)
2	Zona con pericolosità sismica media dove possono verificarsi terremoti abbastanza forti	$0.15g < PGA \leq 0.25g$	0,25

Ormai la zona sismica assegnata per legge ad un comune per classificarlo sismicamente, ha solo un valore amministrativo, utile per la gestione della pianificazione dell'emergenza e delle attività di prevenzione e per il controllo del territorio da parte degli enti preposti (Regione, Genio civile, ecc.), e non ha più influenza sulla progettazione.

Infatti, attualmente, **le nuove Norme Tecniche impongono di definire l'azione sismica per ogni sito**, in base alle sue coordinate geografiche e alla "vita nominale" dell'opera, e ad alcuni parametri morfologici e sismici, come meglio specificato nei paragrafi successivi.



MACROZONAZIONE E MICROZONAZIONE SISMICA AI SENSI DEL D.M. 17/01/2018 (NTC)

Macrozonazione: Individuazione della pericolosità sismica di base e spettri elastici del sito specifico

La **Pericolosità sismica di base** è una componente della pericolosità sismica e dipende dalle caratteristiche sismologiche di una certa regione “geologica” (tipo, dimensioni e profondità delle sorgenti sismiche, energia e frequenza dei terremoti).

Lo studio metodologico della pericolosità sismica di base, valuta in maniera probabilistica (Cornell, 1968), ed in un determinato intervallo di tempo (periodo di ritorno (**TR**), il superamento di prefissate soglie (eccedenza) dei parametri (come la velocità, accelerazione, intensità, ordinate spettrali) descrittivi dello scuotimento del suolo prodotto da un terremoto in un'area caratterizzata da assenza di costruzione, da un comportamento rigido e senza irregolarità morfologiche (**terremoto di riferimento**).

La valutazione della pericolosità sismica di base di un sito costituisce, dunque, l'elemento primario per la determinazione delle **azioni sismiche di progetto**, in base alle quali valutare la sicurezza nei confronti dei diversi stati limite, intesi come le condizioni, superate le quali, l'opera non soddisfa più le esigenze per la quale è stata progettata.

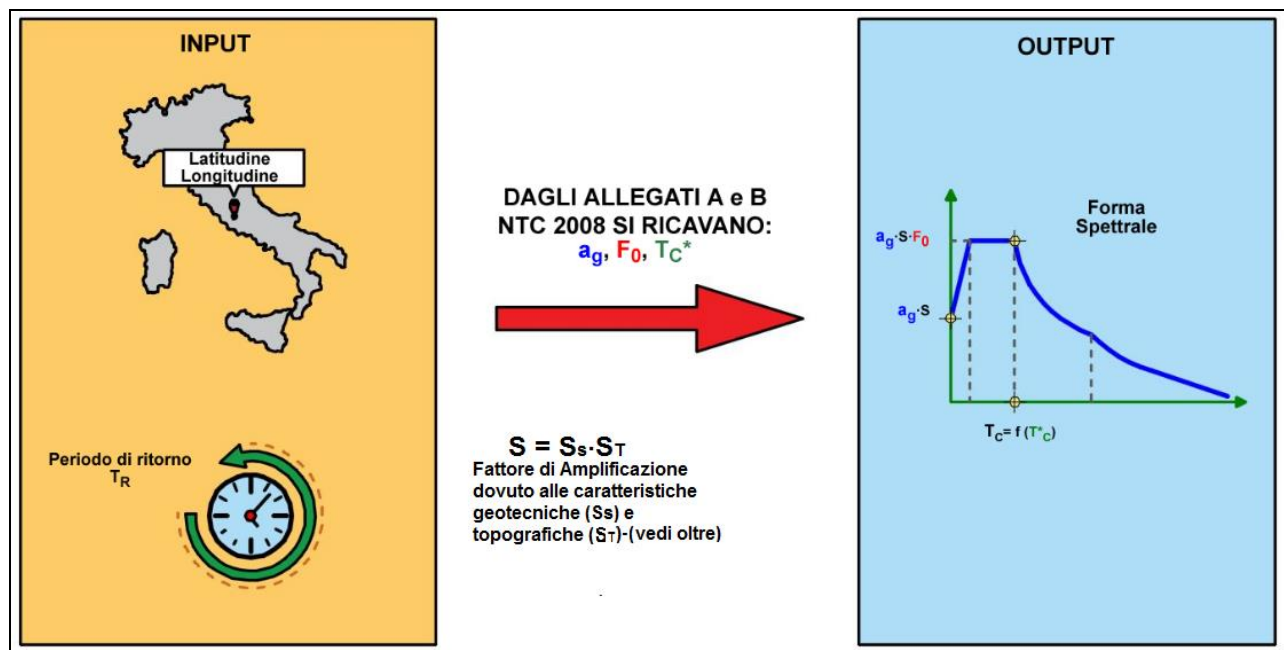
Nel D.M. 17.01.2018 “Approvazione nuove norme tecniche per le costruzioni”, la pericolosità sismica di base di un sito, è espressa attraverso delle forme spettrali, definite a partire dai seguenti tre parametri:

- **a_g** : accelerazione orizzontale massima del terreno;
- **F_o** : 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,

Per i valori di **a_g** , **F_o** e **T^*c** si fa riferimento agli **Allegati A e B al Decreto del Ministro delle Infrastrutture 14 gennaio 2008**, basati sui risultati forniti dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV, vedi Progetto S1) in corrispondenza di un fitto reticolo di **10751 punti** individuati tramite le coordinate di **Latitudine** e **Longitudine**, in cui il territorio nazionale è stato diviso.

In questa fase (**FASE 1**) il sito in oggetto è considerato, come già detto, a comportamento rigido (di **categoria A**), con superficie orizzontale (**Categoria Topografica T1**) e senza manufatti sul terreno (condizioni di **campo libero - free field**);

Una volta individuata la maglia all'interno della quale ricade il sito in oggetto, i valori di **a_g** e **F_o** , del sito specifico, vengono valutati attraverso delle medie ponderali.



Per il sito in oggetto (LAT. = 40.95338N – LONG. = 014.16903E) è stata individuata la seguente pericolosità sismica di base:

Individuazione della pericolosità			
Selezionare la Regione, la Provincia ed il Comune interessato per identificare il sito di proprio interesse. Si precisa inoltre che la ricerca viene eseguita su coordinate ISTAT del Comune e che per tanto, all'interno del proprio territorio comunale le azioni sismiche possono essere anche significativamente diverse.	REGIONE Campania ▼	PROVINCIA Caserta ▼	COMUNE Parete ▼
☐ Ricerca per Comuni: ☒ Ricerca per coordinate	LONGITUDINE 14.15781	LATITUDINE 40.95044	MERIDIANO DI RIFER.: Greenwich
Elaborazioni: Spettri di risposta Campi di Variabilità dei parametri Tabella dei parametri	Reticolo di riferimento: Selezionare il comando posto a fianco della descrizione, presente nel riquadro "Elaborazioni" per avviare l'applicazione.		
Interpolazione reticolare: 	Metodo applicato media ponderata ▼ Nota Importante: I casi al di fuori del reticolo non sono previsti. (il reticolo è rappresentato da 4 punti collegati da una linea a tratti.		
● Per quanto possibile il posizionamento è nel complesso accettabile, tuttavia potrebbero verificarsi erronei posizionamenti.			

Pericolosità sismica di base

L'interpolazione spaziale tra la maglia di riferimento, fornisce i seguenti valori:



Tabella dei campi di variabilità dei parametri

*"Norme Tecniche per le Costruzioni" - D.M. del 14/01/2008,
 pubblicate sulla G. U. n. 29 del 04/02/2008 con Supp. Ord. n. 30*

T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_C^* [s]
30	0.042	2.383	0.284
50	0.054	2.346	0.317
72	0.064	2.378	0.328
101	0.075	2.385	0.340
140	0.086	2.399	0.345
201	0.100	2.410	0.353
475	0.139	2.438	0.363
975	0.176	2.476	0.377
2475	0.231	2.566	0.383

Legenda:

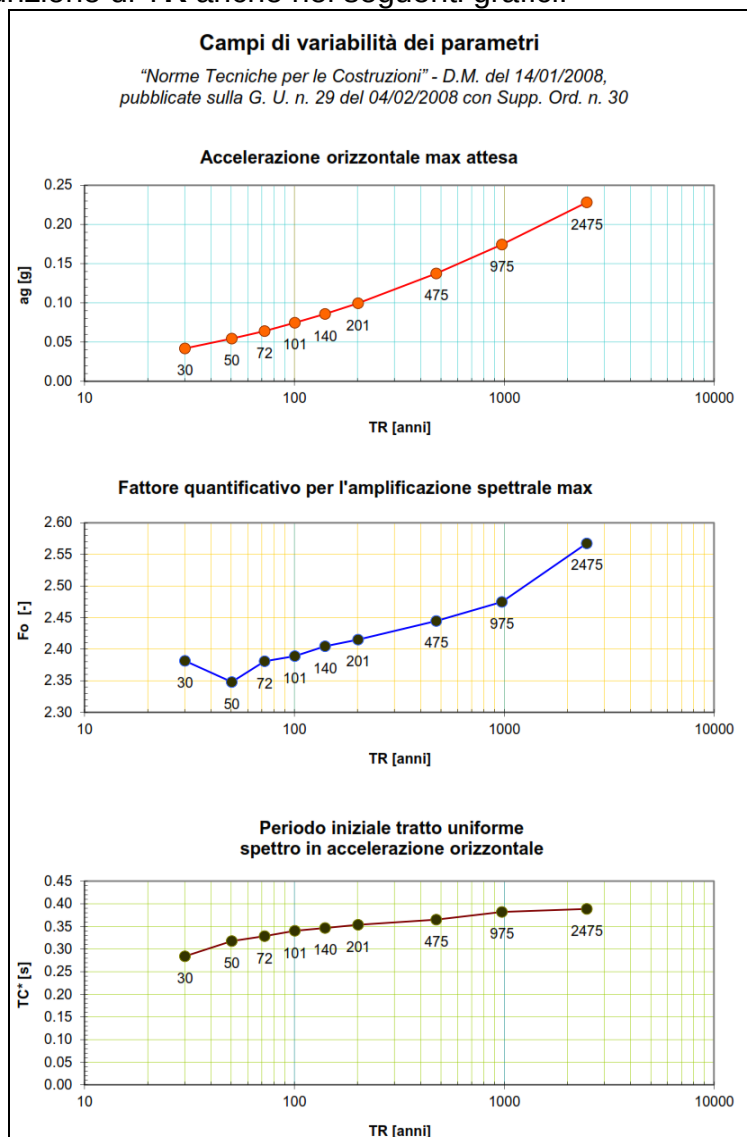
a_g : accelerazione orizzontale massima attesa;

F_o : fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima;

T_C^* : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

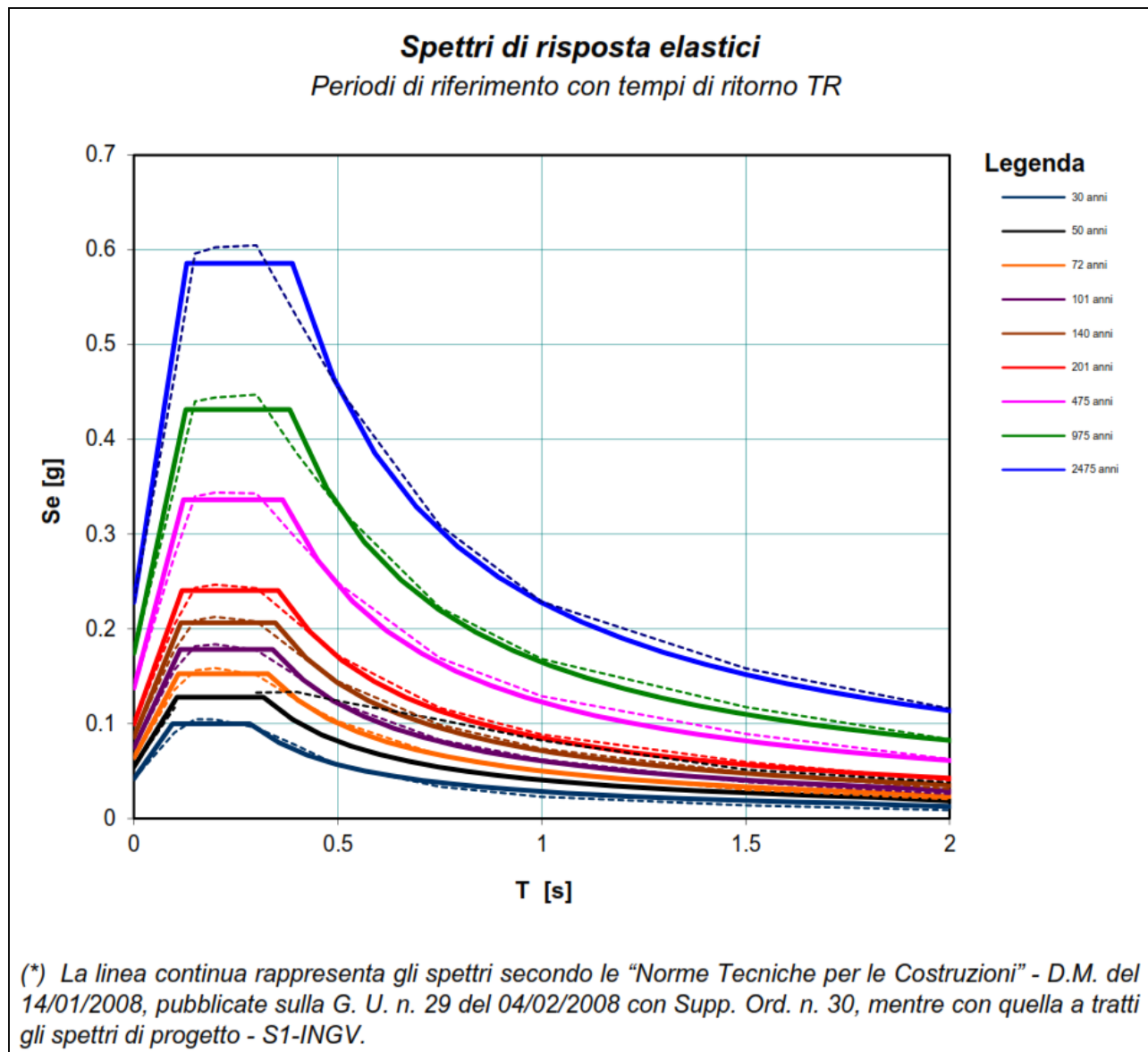
T_R : periodi di ritorno di riferimento.

Valori riportati in funzione di T_R anche nei seguenti grafici:





Da cui è possibile ricavare i seguenti spettri di risposta elastici che fanno riferimento ad un sito con sottosuolo di **categoria A** ($V_{seq} \geq 800$ m/sec - vedi oltre).



Tali Spettri di risposta, come già detto, fanno riferimento ad un sito con sottosuolo di categoria A e, pertanto, non tengono in considerazione i possibili effetti locali di amplificazione, dovuti al passaggio del moto sismico attraverso la copertura sedimentaria superficiale, dunque essi, se non opportunamente modulati, possono risultare inadatti a rappresentare anche le situazioni locali.

Per cui, attraverso fasi successive (vedi oltre) vengono presi in considerazione altri aspetti della struttura, come il suo utilizzo e i requisiti di sicurezza che deve soddisfare (**FASE 2: scelta della strategia progettuale**) e, successivamente, vengono prese in considerazione le stesse caratteristiche geologiche e morfologiche sulle quali essa insiste (**FASE3: azione sismica di progetto**).



Microzonazione: Categorie Topografiche e Categorie del Sottosuolo Secondo D.M. 17/01/2018

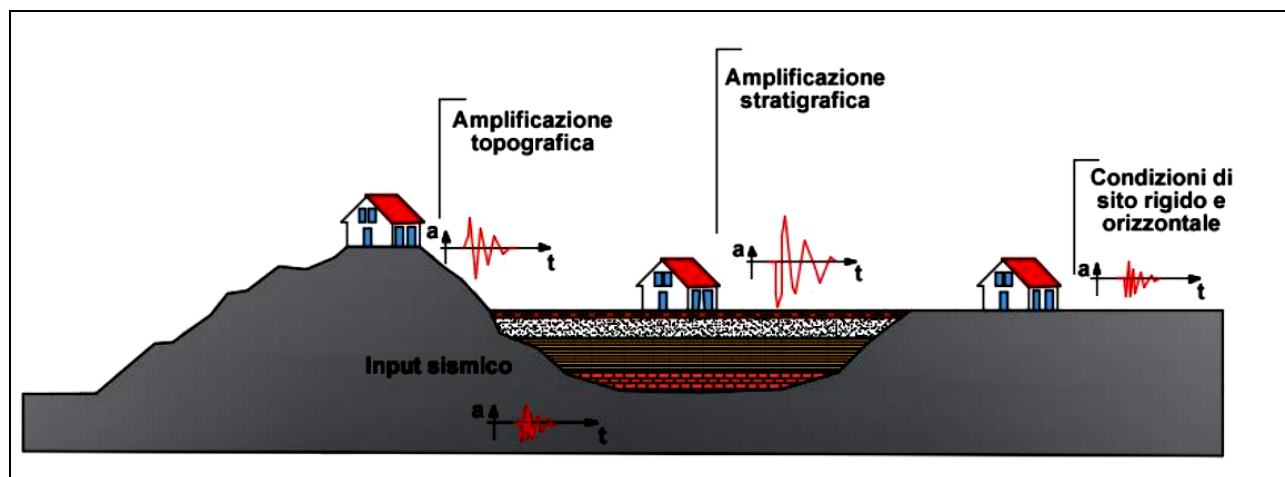
I dati in uscita dalla precedente **FASE 1**, come detto, consentono la **scelta della strategia progettuale (FASE 2)**, in cui vanno presi in considerazione i dati specifici relativi alla futura costruzione, come la vita nominale V_n di un edificio e la sua classe d'uso C_u (cfr. §§ 2.4.1 e 2.4.3 NTC). In base a tali valori viene determinato il periodo di riferimento V_r e, quindi, i valori dei periodi di ritorno **TR** corrispondenti alle probabilità di superamento per i **quattro stati di sicurezza limite (SLO, SLD, SLV, SLC)**, previsti dalle NTC 2018. A questo punto si può passare alla **FASE 3** dove viene determinata l'**azione sismica di progetto**, ossia si passa a determinare gli spettri di risposta sismica sia in funzione della regolarità strutturale che in base alle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche, il tutto per ciascuno Stato Limite a cui un manufatto si intenda che debba resistere. Nel caso in cui le condizioni morfologiche e stratigrafiche sono riconducibili a categorie standardizzate, ossia non sono particolarmente impattanti sulla struttura e/o la stessa non abbia una specifica rilevanza strategica (classe d'uso), tale fase, nota pure come **Risposta Sismica Locale**, può essere valutata anche con un **Approccio Semplificato**, dove i parametri geologici necessari da assegnare alla procedura, sono la *Categoria Topografica* e la *Categoria di Sottosuolo*, appresso meglio definite. La Categoria Topografica funzione della morfologia del sito e il seguente prospetto ne consente l'individuazione a partire da semplici configurazioni superficiali (Tab.3.2.III del § 3.2.2 NTC).

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 $i > 30^\circ$

Apposite tabelle, fornite dalla normativa, permettono passare dalla categoria topografica al coefficiente di amplificazione topografica S_T (Tab. 3.2.V del § 3.2.3.2.1 NTC) e dalla categoria di sottosuolo al coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s (Tab. 3.2.IV del § 3.2.3.2.1 NTC) e, quindi, ad un'unica amplificazione attraverso l'espressione $S=S_s \cdot S_T$, parametro correttivo che consente di passare dalle condizioni ideali alle condizioni reali.



Infatti, in assenza di analisi specifiche della risposta sismica locale, l'accelerazione massima attesa al sito specifico, viene valutata con l'espressione $a_{max} = S \cdot a_g = (S_s \cdot S_T) \cdot a_g$
 Che nello spettro di risposta in accelerazione rappresenta $S_e(T_0)$, ossia S_e quando $T=0$.



Risposta sismica locale (Approccio Semplificato)
Effetto dell'amplificazione stratigrafica e topografica sull'azione sismica

Per quanto concerne la **C.T.** per il sito in oggetto, dato che presenta una superficie pianeggiante con inclinazione $< 15^\circ$, è possibile assegnare una **categoria T1**.

Nel paragrafo successivo si affronta la valutazione della **Categoria da assegnare al sottosuolo specifico**; essa è necessaria per individuare il coefficiente di amplificazione stratigrafica S_s , nonché il coefficiente C_c che, a sua volta, modifica il periodo T_c e di conseguenza gli altri periodi notevoli dello spettro (NTC 2018, §3.2.2-3), il decreto (Tab.3.2.II) propone di suddividere il sottosuolo in più categorie, facendo riferimento al profilo stratigrafico e sismo-stratigrafico del suolo di fondazione. Le categorie previste sono così definite:

- A** - *Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi* caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
- B** - *Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti*, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
- C** - *Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti* con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
- D** - *Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti*, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
- E** - *Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.*



Nelle definizioni precedenti la **velocità equivalente** ⁽¹⁾ V_{Seq} in (m/s) è definita dalla seguente espressione (**media armonica ponderata sullo spessore**):

$$V_{S, eq} = H / \sum (h_i/V_{S,i})$$

Dove:

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

h_i = spessore dello strato i-esimo

$V_{S,i}$ = velocità onde S relative allo strato i-esimo

$\sum$ = sommatoria dei rapporti **$h_i/V_{S,i}$** degli N strati presenti.

- (1) la **velocità equivalente** è ottenuta imponendo l'equivalenza tra i tempi di arrivo delle onde di taglio in un terreno omogeneo, di spessore pari a H m, e il terreno stratificato in esame, di spessore complessivo anch'esso pari a H m. Lo scopo della formulazione adottata è quello di privilegiare il contributo degli strati più deformabili di limitato spessore, che in una media delle velocità, anche se pesata sui singoli spessori, non avrebbero la stessa considerazione, in quanto il comportamento dell'intero deposito è maggiormente influenzato dagli strati soffici.

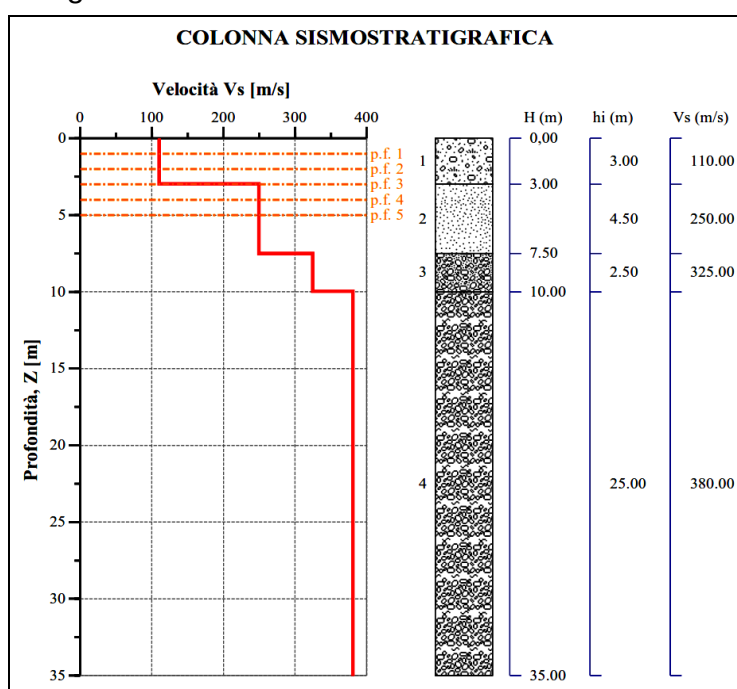
Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio **V_{Seq}** è definita dal parametro **$V_{S,30}$** , ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.



Caratterizzazione sismica e Categoria da assegnare al sottosuolo in oggetto

Come visto la categoria di sottosuolo, dipende dalla caratterizzazione sismica e, poiché l'esame delle registrazioni di moti vibratori superficiali dei passati terremoti, ha evidenziato che le onde di taglio "S" sono quelle che per energia e contenuto in frequenza procurano maggiore danno alle strutture, la caratterizzazione sismica di un sito, a sua volta, richiede necessariamente la conoscenza del profilo di velocità delle onde di taglio degli strati di terreno sottostanti il sito.

L'ampia correlazione dei profili dei rapporti H/V riportati nell'allegato "**REPORT**" ha messo in evidenza il comportamento sismicamente omogeneo dell'area, per tale motivo, al fine di ricavare la successione sismo-stratigrafica, si è elaborata la sola prova HVSR3, che ha messo in evidenza il seguente modello Geosismico



Successione sismo stratigrafica da cui il relativo modello Geosismico

Dai cui i seguenti **sismo-strati** principali: secondo le indicazioni riportate in normativa.

Nr.	H (m)	hi (m)	Vs (m/s)
1	3.00	3.00	110.00
2	7.50	4.50	250.00
3	10.00	2.50	325.00
4	35.00	25.00	380.00

Nr = numero progressivo per ciascun sismostrato, H = profondità, hi = spessori, Vs = velocità onde di taglio.

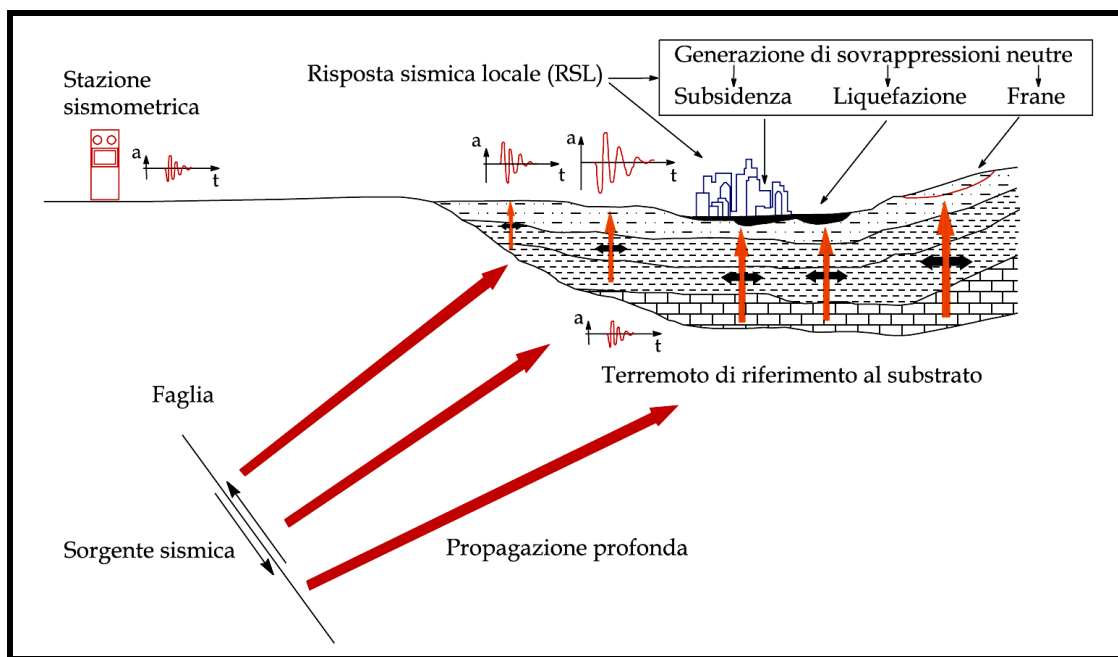
N _i	Z _{pf} (m)	V _{S,eq} (m/s)	Categoria
1	---	284	C
2	1.00	303	C
3	2.00	324	C
4	3.00	348	C
5	4.00	354	C
6	5.00	359	C

Risultati finali: N_i = livello, Z_{pf} = profondità del livello di fondazione.



VALIDAZIONE DEL MODELLO SISMICO INDIVIDUATO

Come è noto, la composizione spettrale di un evento sismico subisce una prima modificazione nel percorso tra il punto focale ed il top del basamento rigido (**funzione di attenuazione**) ed una seconda modifica nel percorso attraverso i materiali non rigidi presenti tra il basamento e la superficie (**funzione di amplificazione o di trasferimento**), come semplificato in figura.



Risposta sismica locale (Approccio Rigoroso)
Effetto dell'attenuazione anelastica e amplificazione locale

Dal questa figura si evince che, fin quando il segnale sismico si propaga in materiali omogenei ed isotropi (tali possono essere considerate in prima approssimazione le rocce presenti in profondità), le modificazioni nella forma ed ampiezza del segnale sismico dipendono soltanto dalle caratteristiche della sorgente sismica (energia liberata, meccanismo di rottura, ecc.) e dalla distanza di propagazione tra sorgente e sito (ossia il segnale subisce solo un'**attenuazione anelastica** esprimibile attraverso una **funzione di attenuazione**. Quando il segnale passa poi nei depositi eterogenei presenti in prossimità della superficie, il moto sismico, a causa delle caratteristiche geologiche del sito, subisce ulteriori modificazioni dovuti a fenomeni di riflessioni multiple, rifrazioni e trasformazione delle onde di volume in onde superficiali; l'effetto di filtraggio a cui è sottoposto l'input sismico nell'attraversare depositi non rigidi fino a raggiungere la superficie, porta, dunque, ad una ridistribuzione dell'energia e ad una modificazioni, in ampiezza, durata e contenuto in frequenze, con l'effetto di amplificare il moto vibratorio in corrispondenza ad alcune frequenze, provocando quello che in letteratura è noto come **effetto di amplificazione locale** valutabile attraverso la **funzione di amplificazione**, nota anche come **funzione di trasferimento**.



La **RISPOSTA SISMICA LOCALE** consiste, appunto, nel determinare tali modificazioni in funzione dei terreni attraversati.

Il rapporto tra l'ampiezza massima (misurata in termini di spostamento, velocità o accelerazione) in superficie, rispetto a quella misurabile su un basamento rigido è definito **Fattore di Amplificazione Dinamico (F.A.D.)**.

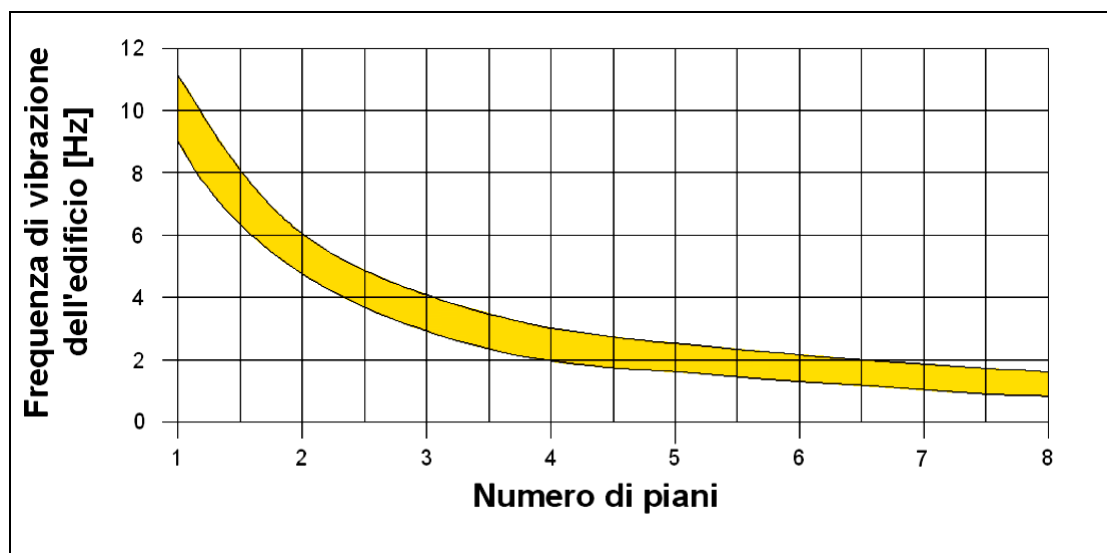
Nel dominio delle frequenze, quando l'amplificazione viene calcolata, per ogni frequenza, si costruisce, per punti, la “**funzione di amplificazione o di trasferimento**”, che è in grado di fornire informazioni sui campi di frequenze in cui è lecito attendersi significativi fenomeni di amplificazione, individuando, le frequenze amplificate dai terreni, quelle smorzate, proprio come se il terreno agisse sul moto sismico, da “filtro”. Al valore massimo (F.A.D.) corrisponde la **frequenza caratteristica del sito**, detta anche **frequenza di prima vibrazione** o fondamentale. Essa è responsabile dei pericolosi fenomeni di **doppia risonanza** tra il sottosuolo e le strutture sovrastanti; infatti qualora le strutture avessero una frequenza propria, prossima a quella di prima risonanza del sito libero, si verificherebbero dei danni, anche per scuotimenti di bassa intensità.

Si ricorda che l'intervallo tra 2.0 e 10 Hz, ricadono le strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.6 e 2.0 quelle più alte e flessibili.

Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula (cfr. Es. Pratt):

$$\text{freq. Naturale edificio} = 10 \text{ Hz} / \text{numero piani}$$

e mostrata nel seguente grafico:



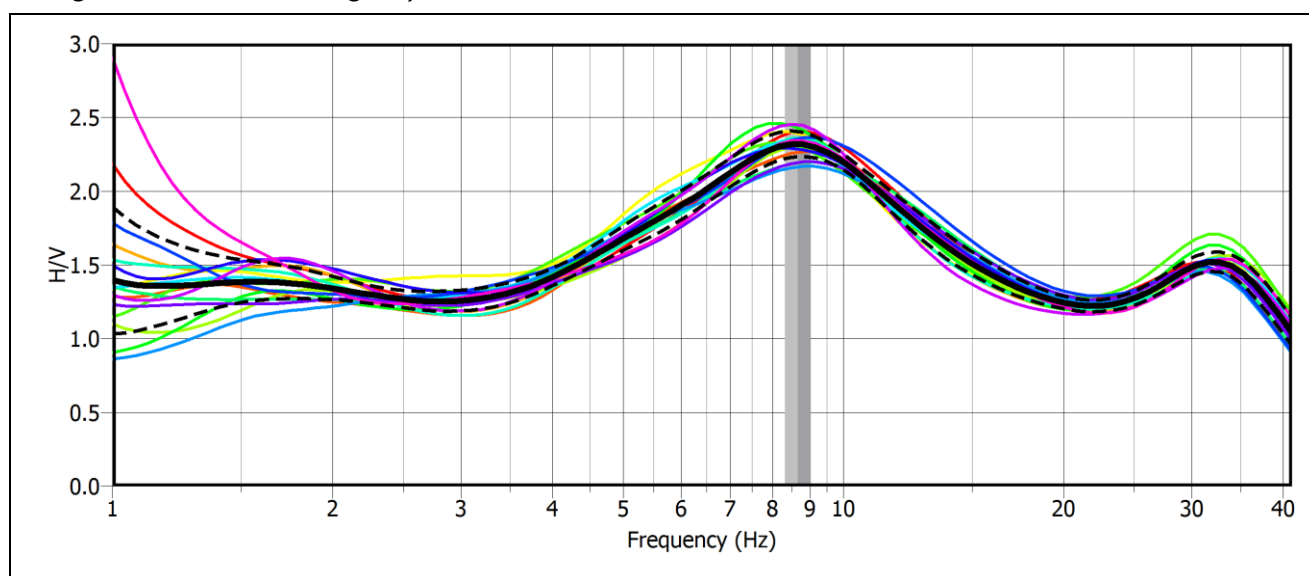
Frequenza di vibrazione di un edificio in funzione del n° dei piani (Pratt).

La funzione di trasferimento è una caratteristica peculiare del sito ossia dipende quasi esclusivamente dalle caratteristiche sismiche e morfologiche di un sito ed è poco influenzata dall'input sismico. Pertanto, note le caratteristiche sismo-stratigrafiche, è possibile ricavare teoricamente la funzione di trasferimento e confrontarla con quella ottenuta in sito attraverso indagini dirette, come per esempio l'indagine H.V.S.R.



A tale proposito, gli studiosi Lermo e Chavez-Garcia (1993), basandosi sul lavoro di Nakamura (1989), suggeriscono che **lo spettro H/V, ricavato proprio da indagini di tipo HVSR, possa essere visto a tutti gli effetti, come indicativo della funzione di trasferimento del moto sismico dal bed-rock alla superficie**. Infatti, sempre secondo questi Autori, le ampiezze dei picchi stratigrafici nello spettro H/V possono essere collegate solo in prima approssimazione ai fattori di amplificazione, mentre la frequenza che si ricava in corrispondenza del picco massimo del rapporto H/V è, senz'altro, espressione della **frequenza proprio del sito (F_0)**, ovviamente se esso è dovuto alla sola componente stratigrafica.

Di seguito si riporta il grafico dei rapporti spettrali H/V vs Hz, ottenuto dall'analisi dei micro-tremori registrati in sito e analizzati secondo la tecnica di Nakamura (vedi **REPORT** delle indagini sismiche in allegato).



CURVA H/V vs Hz - Analizzata in un ampio campo di frequenze di interesse geotecnico

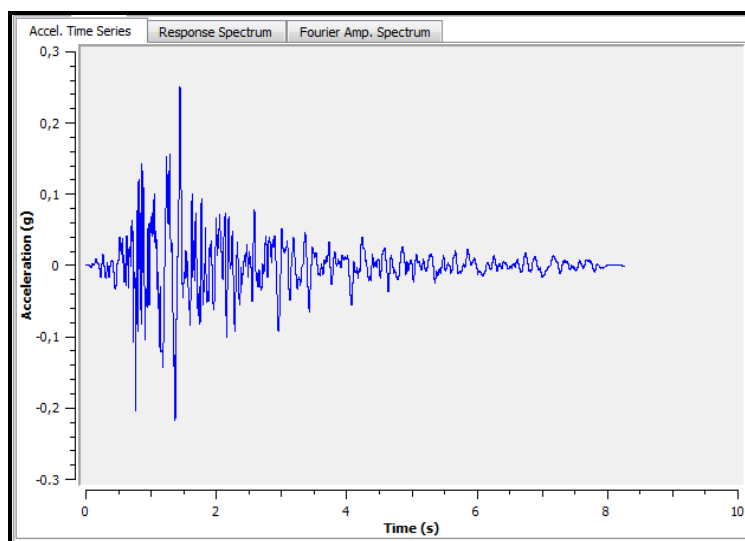
Dall'analisi della funzione H/V vs Hz, emerge che la conformazione litologica del sito, è tale da creare un rilevante picco di frequenza fondamentale a circa **8,7 Hz (frequenza fondamentale di risonanza F_0 dei terreni superficiali sciolti, a contattato con quelli profondi e più addensati (tufo e tufiti)**, in corrispondenza del massimo rapporto H/V.

Per avere una validazione del profilo sismo-stratigrafico individuato, possiamo confrontare la precedente curva con la curva di trasferimento implementata teoricamente con il codice di calcolo **STRATA** rilasciato sotto GNU Public License (GPL) scritto da Alebert Kottke in collaborazione con Ellen Rathje all'Università del Texas ad Austin, che lavora sotto condizioni stratigrafiche monodimensionali (1D) ossia, in presenza di terreno uniforme con stratificazione orizzontale e giacente su substrato rigido, anch'esso orizzontale, e con effetti topografici trascurabili, ossia con siti aventi una topografia al contorno pianeggiante o sub-pianeggiante.

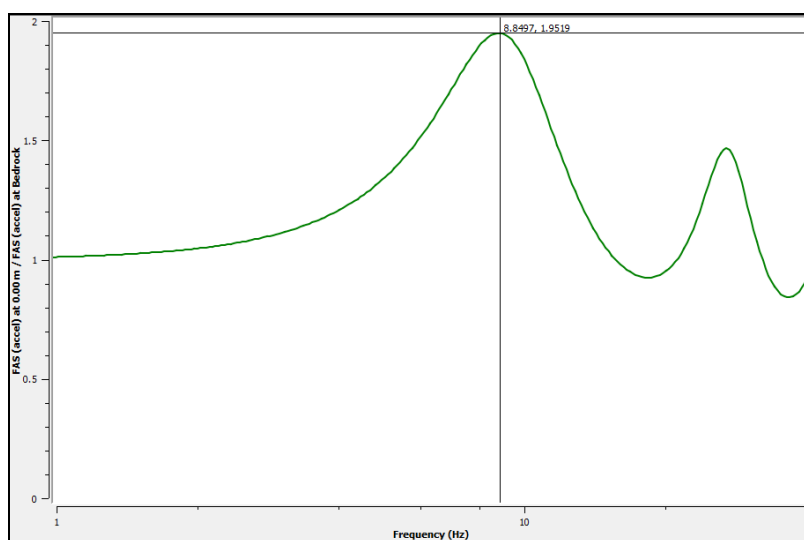
I dati di input in Strata devono essere quelli del profilo geo-sismico equivalente determinato nel **REPORT** delle indagini, fino al bed-rock, mentre il segnale sismico di input



considerato è quello registrato in IRPINIA (BAGNOLI IRPINO), in data 11/23/80 alle 19:35, opportunamente scalato per avere il valore **PGA** della normativa pari a **0.25** al bed-rock. Il **metodo** scelto è quello **Lineare elastico** (modulo di rigidità G e smorzamenti D entrambi costanti).



Segnale sismico IRPINIA (BAGNOLI IRPINO) opportunamente scalato



Funzione di trasferimento o di amplificazione

La funzione di trasferimento, valutata teoricamente, prevede un netto picco di amplificazione, a circa **8,8 Hz** [frequenza fondamentale di risonanza F_0 , dei terreni superficiali sciolti, a contattato con quelli profondi e più addensati (tufo e tufiti)], ed un fattore di amplificazione dinamico **FAD $\approx$ 1,9**.

Valori compatibili con l'indagine in sito HVSR; come previsto dalla teoria, la tecnica HVSR si mostra generalmente efficace nella previsione della frequenza fondamentale del sito (**8,3Hz**), mentre il valore massimo del rapporto H/V fornisce solo una stima approssimata del fattore di amplificazione; tale scostamento si riduce in presenza di stratificazioni orizzontali e in assenza di significative variazioni di quote topografiche. Quando si verifica anche la corrispondenza tra H/V e F.A.D., si ha un'ulteriore validazione del modello geologico-morfologico individuato.



STABILITÀ NEI CONFRONTI DELLA LIQUEFAZIONE

Il sito presso il quale è ubicato il manufatto deve essere stabile nei confronti della liquefazione.

Per liquefazione s'intende il totale annullamento della resistenza al taglio del terreno con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi.

Se si esprime la resistenza al taglio attraverso la relazione di Coulomb:

$$\tau = c + (\sigma_{v0} - u) \tan \varphi$$

con:

c = coesione del terreno

σ_{v0} = pressione litostatica totale agente alla profondità d'indagine

u = pressione interstiziale dell'acqua

φ = angolo di resistenza al taglio del terreno,

È evidente che la grandezza “ τ ” si può annullare solo nel caso in cui siano verificate le condizioni:

a) c = 0;

b) $(\sigma_{v0} - u) = 0$;

(il caso $\varphi = 0$ non ha importanza pratica, perché può verificarsi solo in terreni coesivi in condizioni non drenate, dove però la condizione $c=0$ non può ovviamente verificarsi).

La condizione a) vieta che il fenomeno della liquefazione possa verificarsi in terreni coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica.

La condizione b) si verifica, quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata ad una data profondità dalla colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie ($\sigma_{v0} = u$). In definitiva il fenomeno della liquefazione si può manifestare preferibilmente in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda, in seguito ad eventi che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche (sisma) che agiscono in condizioni non drenate.

Durante una sollecitazione sismica, infatti, vengono indotte nel terreno delle sollecitazioni cicliche di taglio (sforzi tangenziali che cambiano ripetutamente verso ed ampiezza), dovute alla propagazione delle onde sismiche verso la superficie, mentre la pressione litostatica resta costante.

Nel terreno si possono generare fenomeni di liquefazione se la scossa sismica produce un numero di cicli tale da far sì che la pressione interstiziale uguagli la pressione di confinamento.

Nei depositi, la pressione di sconfinamento, aumenta con la profondità, mentre l'ampiezza dello sforzo di taglio indotto dal sisma diminuisce. La resistenza alla liquefazione quindi è maggiore con la profondità.

In tutto questo una parte importante la svolge le caratteristiche dell'evento sismico atteso; maggiore è la durata di un terremoto, anche se è di magnitudo bassa, più alta è la possibilità che si arrivi alla liquefazione per maggior numero di cicli. Un terremoto di elevata magnitudo, anche se di breve durata, invece genera ampiezze di vibrazione e deformazione maggiori, per cui possono bastare anche un minore numero di cicli per giungere la liquefazione.

Pertanto una elevata magnitudo del sisma (maggiore intensità degli sforzi di taglio applicati al terreno) e una lunga durata dello stesso (maggiore numero di cicli di carico) rendono molto più probabile l'iniziarsi della liquefazione in un deposito sabbioso saturo.



In sintesi il fenomeno della liquefazione è, dunque, legata alla presenza simultanea di tre fattori:

- presenza di terreni incoerenti,
- presenza della falda,
- esistenza di una sollecitazione sismica.

Per inteso che la riunione di questi tre condizioni, non conduce necessariamente al fenomeno della liquefazione, infatti, la natura della costituzione della sabbia, la storia geologica del deposito, nonché una struttura più compatta ed una certa aggregazione dei grani, contribuiscono notevolmente a scongiurare tale fenomeno.

I depositi più suscettibili alla liquefazione sono quelli di origini fluviali di età olocenica, con falda posizionata nei primi 5 metri dal piano campagna, mentre poco probabile è la liquefazione per sabbie immerse in una falda profonda oltre i 15 m dal p.c., in quanto a tali profondità si raggiungono addensamenti che escludono il verificarsi del fenomeno.

In particolare sono sede di liquefazione le zone a contatto tra le alluvioni recenti e quelle più antiche, il cui passaggio avviene lungo piccole scarpate. È da notare che in livelli sabbiosi già sottoposti in passato a liquefazione lo scheletro solido assume configurazioni meno vulnerabili (cresce in pratica il grado di addensamento), che rendono meno probabile il ripresentarsi del fenomeno.

Trovandoci in presenza di falda oltre i 20 m dal p.c. la verifica alla suscettibilità di liquefazione dei terreni, non è dovuta.



VALUTAZIONE DELLA PERICOLOSITA' GEOLOGICA DEL SITO

La pericolosità geologica è legata alle caratteristiche geomorfologiche, idrogeologiche, idrauliche e di resistenza di un sito, e di come eventualmente l'intervento antropico possa compromettere l'equilibrio esistente.

L'analisi critica dei dati ottenuti in fase di indagine diretta, insieme ai dati acquisiti, ha permesso la definizione della maggiore o minore pericolosità dell'area rispetto agli eventi naturali, potendo infatti verificare che:

Nella successiva tabella In definitiva, si riportano i criteri per la definizione della pericolosità geologica, ed in base ad essi, il sito in oggetto, è da definire a **"PERICOLOSITA' GEOLOGICA BASSA"**,

Pericolosità Geologica del Sito	
Contesto del sito	Area poco urbanizzata
Unità geologica principale	Depositi piroclastici a vario grado di addensamento.
Stato di addensamento e/o consistenza	Da sciolto in superficie, a molto addensato in profondità
Idrologia	Deflusso in direzione dei canali di displuvio (cunette di raccolta) delle acque meteoriche e le condizioni di deflusso superficiale sono tali da evitare il ristagno delle acque meteoriche e fenomeni di ruscellamento diffuso e/o concentrato in occasioni di eventi non eccezionali;
Idrogeologia	Falda di tipo freatico con profondità dal p.c. 59 m.
Rischio di liquefazione	Nulla
Rischio dispersione Inquinante	Alto per la natura porosa dei depositi del sottosuolo
Pericolosità geomorfologica	Area stabile; le condizioni giaciture, strutturali e di acclività sono favorevoli alla stabilità - i processi geomorfologici e le caratteristiche litologiche, giaciture non costituiscono fattori predisponenti al verificarsi di processi morfo-evolutivi – non si evidenziano indizi di presenza di cavità sotterranee.
Pericolosità idraulica	Area Individuata dal PAI, come area senza pericolosità critica.
Categoria Topografica	T1; Pendenza < 1%
Pericolosità sismica	Basso grado di pericolosità, determinata e valutata sia in termini macrosismiche che di risposta sismica locale – è stata definita la frequenza di risonanza del suolo ("free field") ed il fattore di amplificazione dinamica (F.A.D).
Affidabilità del Modello geologico e geotecnico	Buono , secondo la scala di attendibilità che ha cinque valori (1= scarso; 2= mediocre; 3= sufficiente; 4= buono; 5= ottimo).



CONCLUSIONI E DICHIARAZIONE DI COMPATIBILITÀ GEOLOGICA

La fase di indagine diretta, proporzionata all'importanza dell'opera, ha consentito di definire la natura e le caratteristiche dei terreni presenti nell'area esaminata; in particolare sono presenti depositi naturali incoerenti a differente grado di addensamento; i terreni sono stati caratterizzati sia dal punto di vista "meccanico" che sismico, individuandone sia parametri geotecnici che sismici.

Tali parametri, consentono di verificare la stabilità e l'interazione terreno-opere di fondazioni anche in condizioni dinamiche; pertanto, sulla base delle considerazioni svolte nei paragrafi precedenti di carattere geologico, geomorfologico, idrogeologico, sismico e delle indagini realizzate nell'area in oggetto, il progetto in oggetto è da ritenersi:

- **COMPATIBILE**, con le caratteristiche geologiche, morfologiche, geotecniche, idrogeologiche e sismiche di studi geologici noti dalla bibliografia tecnica
- **CONFORME** alle indagini geologiche acquisite ed eseguite.

Con il rispetto delle prescrizioni di legge e delle indicazioni progettuali, le analisi fin qui condotte, portano a concludere che **è verificata la compatibilità dell'intervento con l'assetto geologico, geotecnico ed idrogeologico del sito**, in quanto l'opera è di modesto rilievo in rapporto alla stabilità globale, non incrementa assolutamente il livello di rischio, non impatta sulla morfologia del territorio, né è fonte di potenziale inquinamento per gli acquiferi sotterranei, infatti l'area interessata, è esente da RISCHIO FRANE e RISCHIO IDRAULICO (Rischio Idrogeologico nullo).

Qualora, in fase esecutiva, si ravvisassero delle "sorpresa geologiche", la committenza e/o la DDLL, si farà carico di consultare tempestivamente lo scrivente, in modo da verificarne la profondità e la consistenza, per poi, eventualmente, di adattare il progetto alle condizioni riscontrate. Solo allora i parametri forniti in allegato possono essere utilizzati pienamente.

Tanto dovevasi all'incarico conferitomi.

CASAPULLA
Febbraio 2025

IL GEOLOGO
(Dr V.zo CINOTTI)

segue come allegato

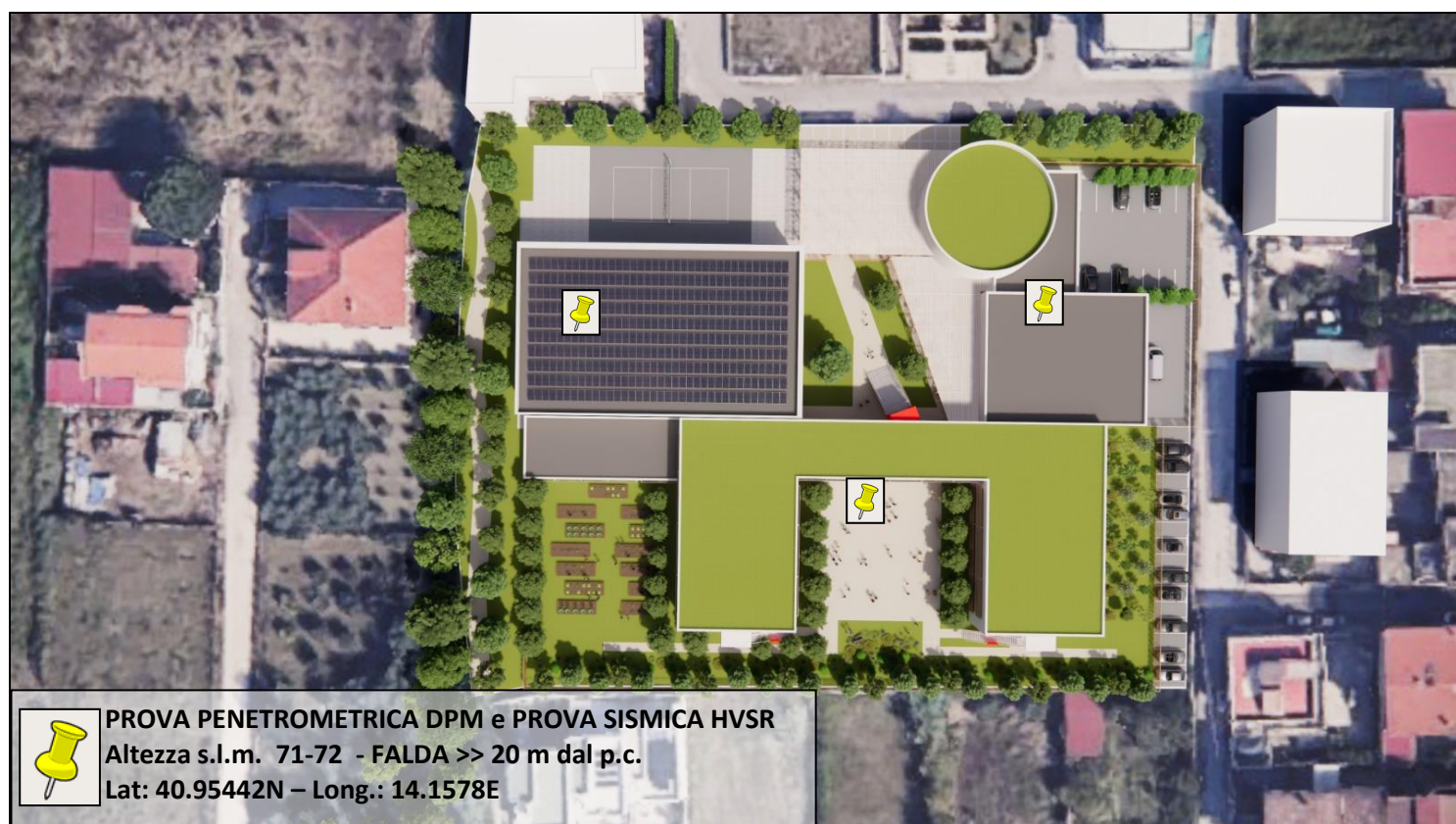


In allegato:

- **Report Indagine geotecnica** con:
 - Ubicazione delle Indagini
 - Documentazione Fotografica
 - Stratigrafie Locali correlata alle prove Dinamiche DPM
 - **Modello Geologico e Geotecnico del Sottosuolo**
 - Teoria Indagine Geotecnica
- **Report Indagine Sismica HVSR** con:
 - Informazione sulla stazione sismica
 - Acquisizione del segnale
 - Rapporti spettrali
 - Criteri SESAME
 - Inversione delle curve H/V
 - **Modello Geosismico**
- Dichiarazioni dell'operatore e Certificati di conformità delle strumentazioni utilizzate.



INQUADRAMENTO TERRITORIALE E UBICAZIONE INDAGINI





DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA



DPM1



DPM2



DPM3

REPORT INDAGINE GEOTECNICA

Lavori Di Ricostruzione Del Plesso Scolastico Di via Forno "I.C. Basile Don Milani" - CUP J75E23000090009 - Comm.te Amministrazione Comunale di Parete (CE)



HVSR 1



HVSR 2



HVSR3

Comune di Parete Prot. N.0003578 del 03-03-2025 - arrivo

REPORT INDAGINE GEOTECNICA

Lavori Di Ricostruzione Del Plesso Scolastico Di via Forno "I.C. Basile Don Milani" - CUP J75E23000090009 - Comm.te Amministrazione Comunale di Parete (CE)



GRAFICO PROVA DPM 1 E STRATIGRAFIA CORRELATA



Studio di Geologia Applicata del Dr Vincenzo CINOTTI
via Pizzetti 10 - 81020 - Casapulla (ce)
- info. 3388182895 - contatto: vincenzo.cinotti@tim.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1

Strumento utilizzato... DPM UNI EN ISO 22476-2:2005

Committente:

Amministrazione comunale di Parete (CE)

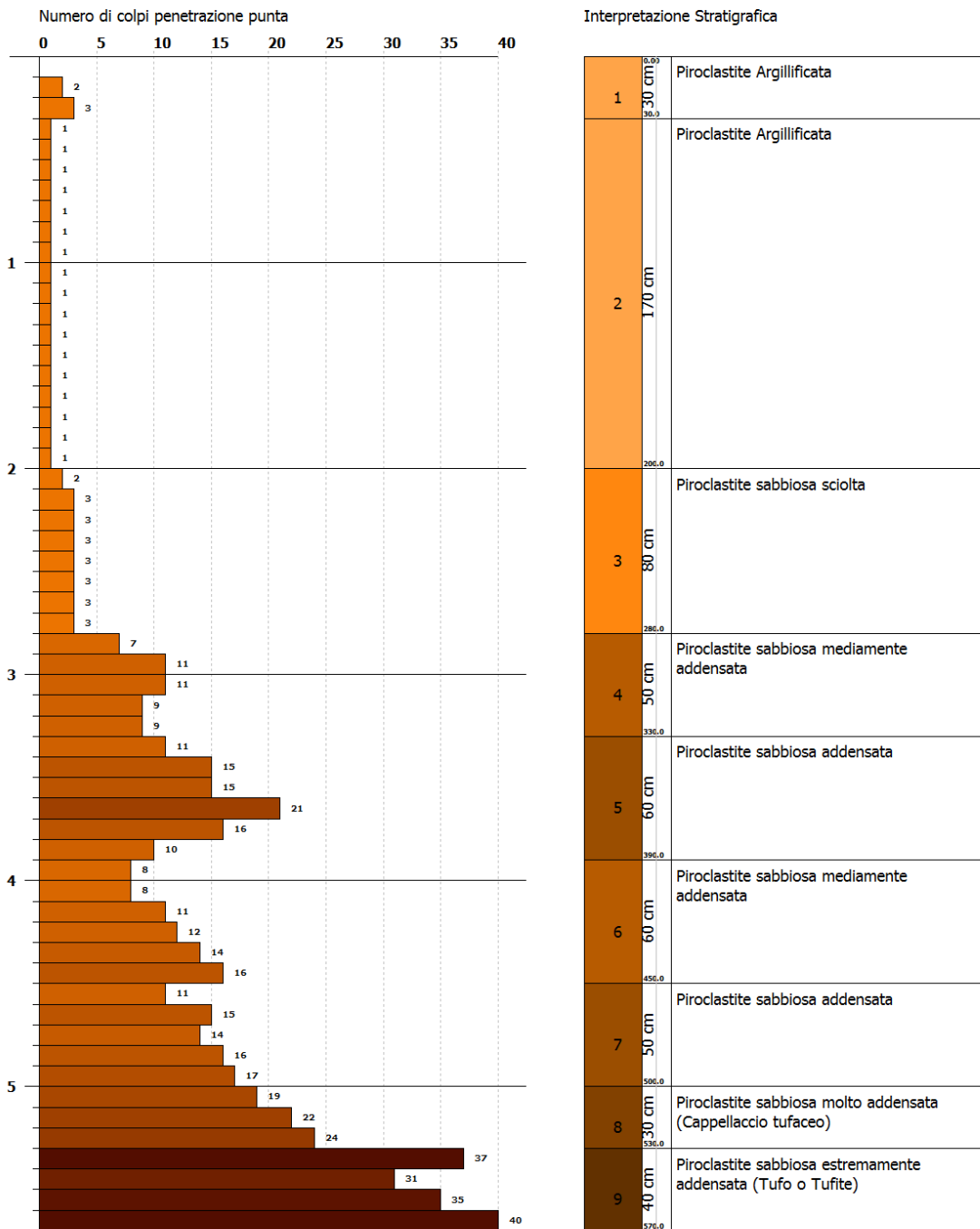
Data: 26/02/2025

Cantiere:

Realizzazione di un plesso scolastico

Località:

Via Forno



DPM 1

REPORT INDAGINE GEOTECNICA

Lavori Di Ricostruzione Del Plesso Scolastico Di via Forno "I.C. Basile Don Milani" - CUP J75E23000090009 - Comm.te Amministrazione Comunale di Parete (CE)



GRAFICO PROVA DPM 2 E STRATIGRAFIA CORRELATA



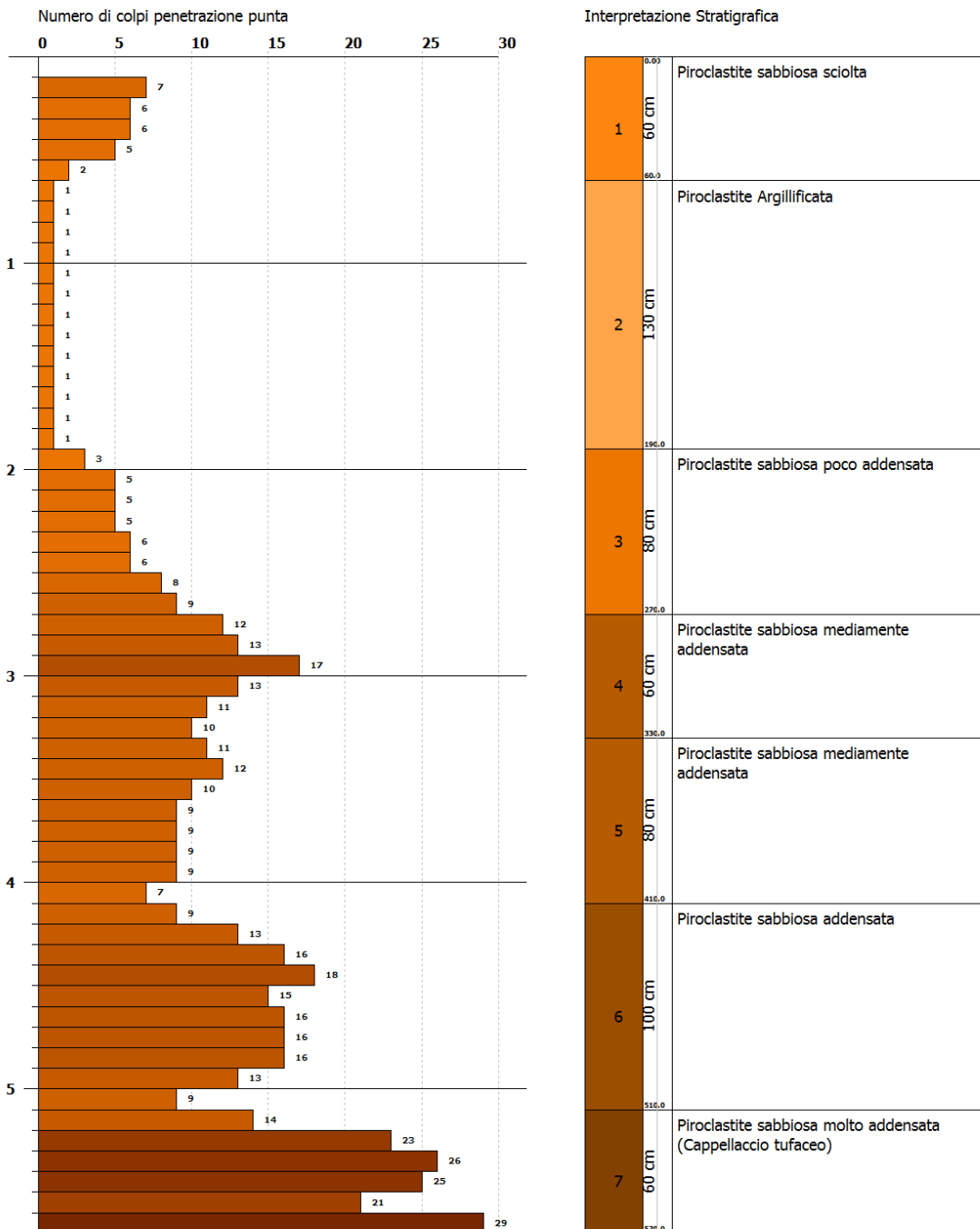
Studio di Geologia Applicata del Dr Vincenzo CINOTTI
via Pizzetti 10 - 81020 - Casapulla (ce)
- info. 3388182895 - contatto: vincenzo.cinotti@tim.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.2
Strumento utilizzato... DPM UNI EN ISO 22476-2:2005

Committente:
Cantiere:
Località:

Amministrazione comunale di Parete (CE)
Realizzazione di un plesso scolastico
Via Forno

Data: 26/02/2025



DPM 2

REPORT INDAGINE GEOTECNICA

Lavori Di Ricostruzione Del Plesso Scolastico Di via Forno "I.C. Basile Don Milani" - CUP J75E23000090009 - Comm.te Amministrazione Comunale di Parete (CE)



GRAFICO PROVA DPM 3 E STRATIGRAFIA CORRELATA



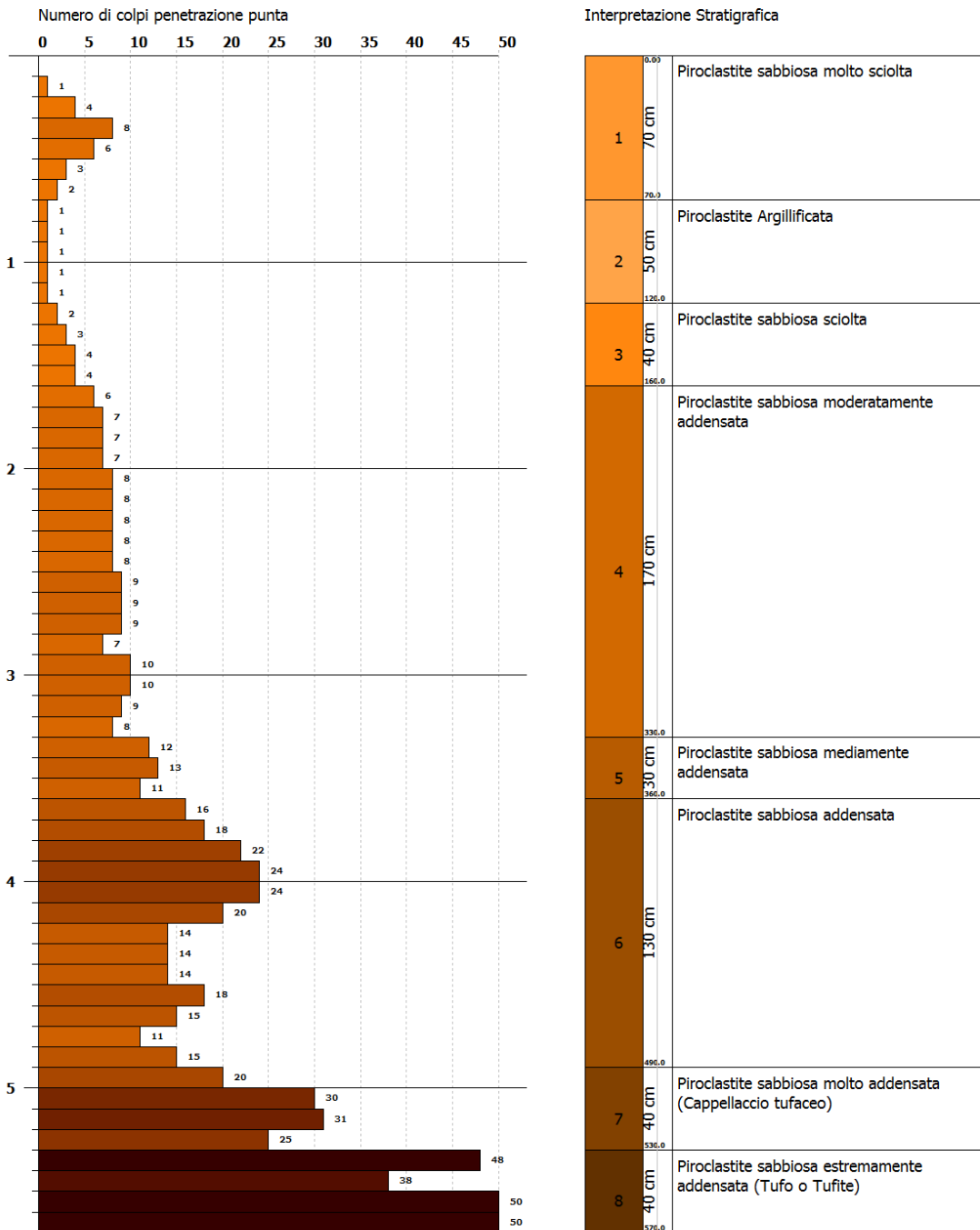
Studio di Geologia Applicata del Dr Vincenzo CINOTTI
via Pizzetti 10 - 81020 - Casapulla (ce)
- info. 3388182895 - contatto: vincenzo.cinotti@tim.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.3
Strumento utilizzato... DPM UNI EN ISO 22476-2:2005

Committente:
Cantiere:
Località:

Amministrazione comunale di Parete (CE)
Realizzazione di un plesso scolastico
Via Forno

Data: 26/02/2025



DPM 3

REPORT INDAGINE GEOTECNICA

Lavori Di Ricostruzione Del Plesso Scolastico Di via Forno "I.C. Basile Don Milani" - CUP J75E23000090009 - Comm.te Amministrazione Comunale di Parete (CE)



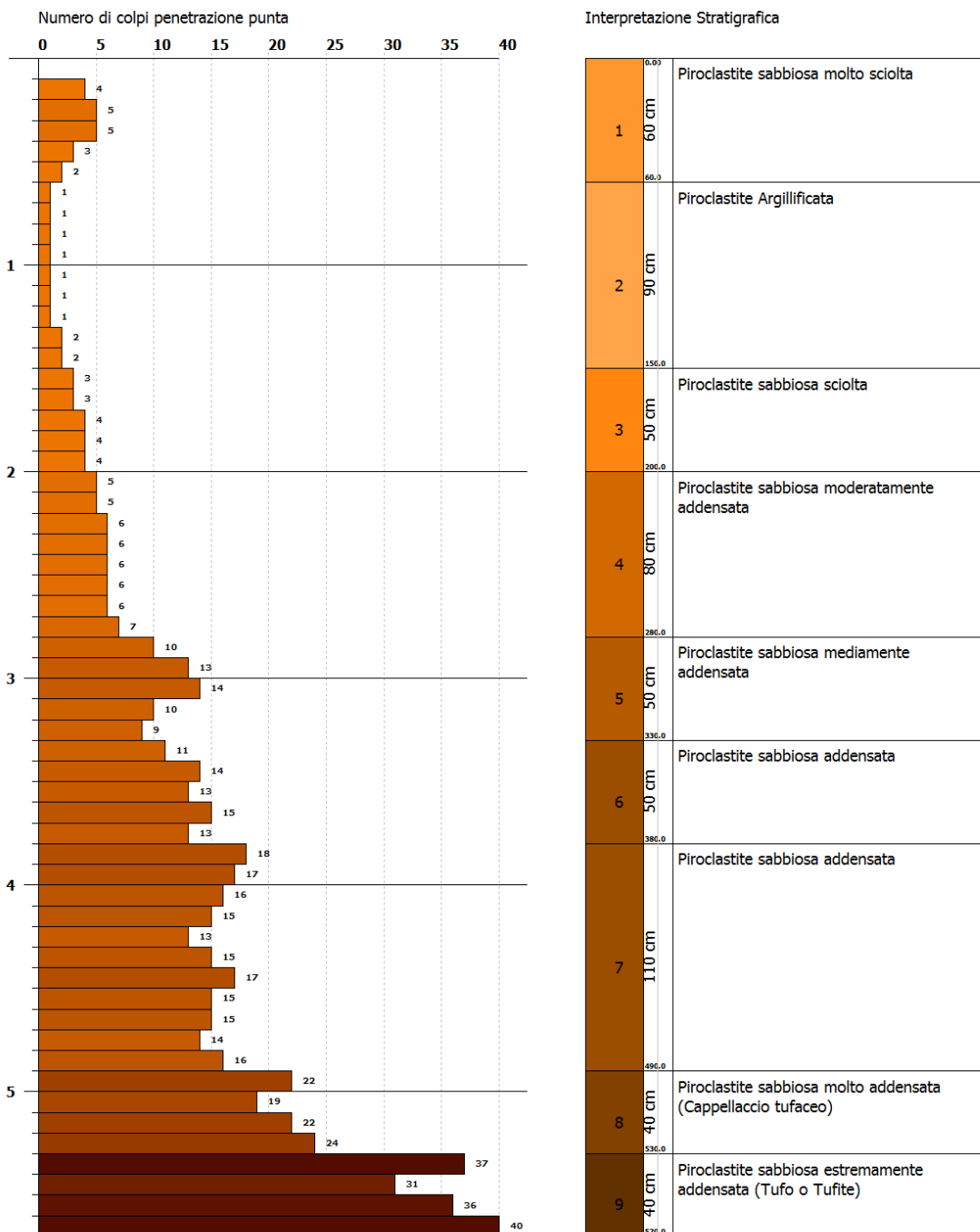
PROVA DPM STATISTICAMENTE RAPPRESENTATIVA E STRATIGRAFIA CORRELATA



Studio di Geologia Applicata del Dr. Vincenzo CINOTTI
via Pizzetti 10 - 81020 - Casapulla (ce)
- info. 3388182895 - contatto: vincenzo.cinotti@tim.it

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA PROVA STATISTICAMENTE RAPPRESENTATIVA
Strumento utilizzato... DPM UNI EN ISO 22476-2:2005

Committente: Amministrazione comunale di Parete (CE)
Cantiere: Realizzazione di un plesso scolastico
Località: Via Forno



Comune di Parete Prot. N.0003578 del 03-03-2025 - arrivo

REPORT INDAGINE GEOTECNICA

Lavori Di Ricostruzione Del Plesso Scolastico Di via Forno "I.C. Basile Don Milani" - CUP J75E23000090009 - Comm.te Amministrazione Comunale di Parete (CE)



MODELLO GEOLOGICO e MODELLO GEOTECNICO

(terreno granulari)

ELABORATO DALLA PROVA PENETROMETRICA STATISTICAMENTE RAPPRESENTATIVA

Descrizione litologica	Prof. m	Spess. m	N DPM	Nspt	Dr (%)	Grado di Addensamento	Φ (°)	γ_n t/m ³	γ_s t/m ³	γ Kg/cm ²	E_d Kg/cm ²	G Kg/cm ²	μ	K_v Kg/cm ³	K_o Kg/cm ³
[1] - Piroclastite sabbiosa molto sciolta	0.6	0.6	2	4	18	SCIOLTO	23	1.21	1.34	20	25	248	0.35	0.8	0.2
[2] - Piroclastite Argillificata	1.5	0.9	1	1	10	MOLTO SCIOLTO	20	1.15	1.27	5	8	128	0.36	0.3	0.0
[3] - Piroclastite sabbiosa sciolta	2.0	0.5	3	5	23	POCO ADDENSATO	25	1.25	1.39	32	39	343	0.35	1.1	0.4
[4] - Piroclastite sabbiosa moderatamente addensata	2.8	0.8	5	8	30	MEDIAMENTE ADDENSATO	27	1.32	1.46	51	60	489	0.34	1.5	0.6
[5] - Piroclastite sabbiosa mediamente addensata	3.3	0.5	9	14	41	MEDIAMENTE ADDENSATO	30	1.43	1.58	88	102	785	0.32	2.4	1.1
[6] - Piroclastite sabbiosa addensata	3.8	0.5	12	18	46	MEDIAMENTE ADDENSATO	32	1.49	1.65	111	128	969	0.32	3.4	1.3
[7] - Piroclastite sabbiosa addensata	4.9	1.1	15	21	51	MEDIAMENTE ADDENSATO	33	1.53	1.70	130	150	1122	0.31	4.5	1.5
[8] - Piroclastite sabbiosa molto addensata (Cappellaccio tufaceo)	5.3	0.4	20	28	60	ADDENSATO	36	1.61	1.79	176	202	1484	0.29	9.3	1.9
[9] - Piroclastite sabbiosa estremamente addensata (Tufo o Tufite)	5.7 (*)	0.4 (*)	33	46	79	MOLTO ADDENSATO	42	1.60	1.77	285	326	2350	0.26	39.1	2.5

(*) vedi indagine sismica

- N.B. Falda non intercetta entro il volume significativo dell'opera (>>15.0 m dal p.c. - NO rischio di liquefazione)

Tabella di conversione	Esempio
da g/cm ³ (= t/m ³) a N/m ³ moltiplicare x 9806,65	1.3 g/cm ³ = 12748,645 N/m ³
da Kg/cm ³ a N/cm ³ moltiplicare x 9,80665	1.3 Kg/cm ³ = 12,748645 N/cm ³
da Kg/cm ² a N/mm ² moltiplicare x 0,0980665	100 Kg/cm ² = 9,80665 N/mm ²



LEGENDA DEI PARAMETRI CARATTERISTICI

NDPM = numero colpi medio all'interno dello strato relativo allo strumento utilizzato

Nspt = numero di colpi SPT caratteristico e rappresentativo dello strato considerato (noto anche come **Nspt,k**), ed è correlato a **NDPM**. Esso consente di ricavare le caratteristiche geotecniche di un strato di terreno.

Il valore di **Nspt** è stato valutato statisticamente sulla base di una **Distribuzione normale (o gaussiana) R.C.** che fornisce i valori prossimi al medio di **Nspt (Nsptmedio)**, una volta fissata una probabilità di non superamento dello stesso del 5%.

Nspt,k si ottiene dalla seguente formula:

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

dove **n** è il numero di letture all'interno dello strato e $\sigma_{N_{spt}}$ è la deviazione standard di **Nspt**

(Dr) = **Densità relativa** definisce lo stato di addensamento di un terreno granulare c.u. Classificazione A.G.I. 1977

(°) = **Angolo d'attrito interno** o angolo di resistenza al taglio (**rs** = **residuo**), rappresenta un importante mezzo per conoscere le caratteristiche meccaniche dei terreni, c.u. Meyerhof (1965)

Yn = **Peso di volume Naturale** c.u. Meyerhof ed altri

Ys = **Peso di volume Saturo** c.u. Terzaghi-Peck 1948-1967

Y = **Modulo di Young** modulo elastico che esprime il rapporto tra deformazione e tensione, ossia tra trazione e allungamento relativo, c.u. Schmertmann (1978)

Ed = **Modulo Edometrico** modulo elastico atto a determinare la comprimibilità di un particolare tipo di terreno attraverso una compressione meccanica senza deformazione laterale (cedimento), c.u. Farrent (1963)

G = **Modulo di taglio** detto anche modulo di scorrimento, di rigidità o di elasticità tangenziale, è una costante di Lamé che esprime il rapporto sforzo-deformazione tangenziali, c.u. Ohsaki

μ = **Coeff. Poisson** detto anche coefficiente di contrazione trasversale, misura il grado in cui il campione di materiale si restringe o si dilata trasversalmente in presenza di una sollecitazione monodirezionale longitudinale, c.u. A.G.I.

Ko = **Modulo di reazione orizzontale** e **Kv** = **Modulo di reazione verticale** o coefficiente di reazione del terreno, o coefficiente di Winkler, è una relazione lineare fra il cedimento di un punto (s) e la pressione di contatto (p) nello stesso punto: **p = K s**, c.u. Terzaghi (1955).

Per quanto concerne il **modulo di reazione K** del terreno, esso rappresenta una misura della rigidità del terreno stesso ed, in mancanza di prove di carico su piastra, si può fare riferimento ai valori di **Kv** indicati nella seguente tabella valida per terreni argillosi n.c. da dove sono stati ricavati per interpolazione, i valori sopra riportati.

Sabbie	Poco addensate	Mediamente addensate	Molto addensate
Kv (Kg/cmc)	0.7÷2.1	2.1÷10.8	10.8÷36.0

Il valore di **Kv** è relativo ad una piastra di lato uguale a 30 cm; per "adattarlo" ad una fondazione in cui **B** è la dimensione minima in pianta, il modulo di reazione diventa:

$$KB \text{ (kg/cmc)} = Kv \times [(B + 30)/(2 \times B)]^2 \text{ (Terzaghi)}$$

All'aumentare di **B**, **KB** tende ad un valore limite:

$$KB = 0,25 Kv$$

Per analizzare, invece, il comportamento di una fondazione caricata anche ortogonalmente all'asse in condizioni di esercizio, il modello usato è quello di Winkler (con molle orizzontali), dove si ipotizza che esista una proporzione diretta tra la pressione esercitata dal terreno e lo spostamento; il coefficiente di proporzionalità è detto coefficiente di sottofondo orizzontale, noto anche come coefficiente di piastra unitario verticale e si indica con **Ko**. Esso consente di calcolare la rigidità relativa del sistema fondazione-terreno, ossia **KoD**, dove **D** è la dimensione minima in pianta della fondazione "annegata" nel terreno, attraverso la seguente relazione

$$KoD = Ko \cdot (z/D) \text{ (Reese e Matlock (1956))}$$

dove **z** = profondità inferiore dello strato considerato in m (per fondazioni su pali, **D** = diametro del palo espresso in m; nel caso di platee consultare la bibliografia del caso, nella scelta della dimensione da introdurre nella relazione).

Di seguito si riporta una tabella (TERZAGHI 1955) con i valori orientativi del coefficiente **Ko** (piastra di lato uguale a 30 cm), da dove sono stati ricavati, sempre per interpolazione, i valori sopra riportati.

Sabbie	Poco addensate	Mediamente addensate	Molto addensate
Ko (Kg/cmc)	0.25	0.75	≥ 2.0



TEORIA INDAGINE GEOTECNICA

Prova Penetrometrica Dinamica Continua

La prova penetrometrica dinamica consiste nell'infingere continuamente, nel terreno una punta conica misurando il numero di colpi N necessari per un avanzamento δ .

La loro elaborazione, interpretazione e visualizzazione grafica consente di "catalogare e parametrizzare" il suolo attraversato con un'immagine in continuo.

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).

La prova penetrometrica dinamica è stata eseguita con attrezzatura omologata e codificata internazionalmente secondo gli standard ISSMFE (1988), ora anche in **EN ISO 22476-2:2005**, a loro volta in linea con le Norme tecniche e dell'**EUROCODICE 7 (UNI ENV 1977-3:2002)**, in particolare si è utilizzata una **Sonda**, con le seguenti caratteristiche:

Rif. Norme	DIN 4094 e UNI EN ISO 22476-2:2005
• Peso Massa battente	30 Kg
• Altezza di caduta libera	0.50 m
• Peso sistema di battuta	18 Kg
• Diametro punta conica	35.7mm
• Area di base punta	10 cm ²
• Lunghezza delle aste	1 m
• Peso aste a metro	6 Kg/m
• Profondità giunzione prima asta	0.70 m
• Avanzamento punta	0.10 m
• Numero colpi per punta	N(10)
• $\beta_t = E_{DPM} / E_{SPT} = (12,5 / 8,043) = 1.55$. da cui $NSPT = 1.5 NDPM$	
• Coeff. Correlazione	1.7 a 1.0m di prof. - 1.27 a 20 m di prof.
• Rivestimento/fanghi	No
• Angolo di apertura punta	90 °

Correlazione con Nspt

Poiché la prova penetrometrica standard (SPT) rappresenta, ad oggi, uno dei mezzi più diffusi 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.

Metodologia di Elaborazione.

Le elaborazioni sono state effettuate mediante un programma di calcolo automatico.

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 per estrapolare utili informazioni geotecniche e geologiche.

Una vasta esperienza acquisita, unitamente ad una buona interpretazione e correlazione, permettono di ottenere dati geotecnici utili alla progettazione.

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 e della profondità.



DICHIARAZIONE DELL'OPERATORE E CONFORMITA' DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Il dr. Geol. CINOTTI Vincenzo (CNTVCN65H21B935S),

DICHIARA

- che ha eseguito, come operatore responsabile, N.3 prove penetrometriche di tipo **DPM** nel Comune di **PARETE (CE) in Via FORNO** su committenza dell' **AMMINISTRATORE COMUNALE**
- che per le indagini dirette, è stato utilizzato un penetrometro dinamico DPM costruito dalla ditta "**PMG srl**", di proprietà del dichiarante, le cui dimensioni e masse rispettano la tipologia di apparecchiatura per sondaggio dinamico riportate nelle norme tecniche dell'EUROCODICE 7 (UNI ENV 1997-3:2002) e UNI EN ISO 22476-2:2005.

Si allega una copia del certificato di conformità del penetrometro.

	PMG																																									
	Sede legale: S.S. Appia Km. 199, Contrada Molinella, 2 - 81050 Vitulazio (CE) Ufficio e Stab.to: Via Fabbri, 1 - 81020 S. Marco Evangelista (CE)																																									
Cap. soc. Euro 10.000 i.v. Cod. Fisc. e P. IVA 02685540615 R. E. A. di Caserta Nr. 190480		Tel. & Fax +39 0823 454189 Web site: http://www.pmg srl eu e-mail: pmgsrl@fastwebnet.it																																								
S. Marco Evangelista, lì 10 maggio 2010																																										
DICHIARAZIONE di CONFORMITÀ ALLE NORME TECNICHE UNI EN ISO 22476-2:2005																																										
Il sottoscritto Di Maria Angelo in qualità di responsabile tecnico della ditta PMG srl con sede legale in Vitulazio (CE), con P.IVA:02685540615																																										
DICHIARA e CERTIFICA																																										
Che il PENETROMETRO DINAMICO DPM avente matricola 01/2010, commissionato dallo Studio di GEOLOGIA APPLICATA del Dr VINCENZO CINOTTI con sede in CASAPULLA (CE) alla VIA PIZZETTI n° 10, P.IVA 02027240619, è un dispositivo che:																																										
☐ infinge nel suolo un'asta dotata di una punta consentendo la registrazione della resistenza alla penetrazione																																										
☐ è stato costruito utilizzando dimensioni e masse che rispettano la tipologia di apparecchiatura per sondaggio dinamico riportate nelle norme tecniche dell'EUROCODICE 7 - UNI ENV 1997-3:2002 e UNI EN ISO 22476-2:2005 , di seguito riassunte																																										
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Descrizione dell'apparecchiatura di sondaggio dinamico denominato: DPM (medio)</th> </tr> <tr> <td>Dispositivo di infissione</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Martello: massa m (kg)</td> <td>$30 \pm 0,3$</td> </tr> <tr> <td>altezza di caduta h (mm)</td> <td>500 ± 10</td> </tr> <tr> <td>rapporto lunghezza/diametro (Dh)</td> <td>$1 \leq L/D \leq 2$</td> </tr> <tr> <td>Incudine</td> <td></td> </tr> <tr> <td>diametro, d, (mm)</td> <td>$100 < d < 0,5 Dh$</td> </tr> <tr> <td>massa (kg) (max.) (incluso asta guida)</td> <td>18</td> </tr> <tr> <td>Cono 90°</td> <td></td> </tr> <tr> <td>area base nominale A (cm²)</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>diametro base (D) nuovo (mm)</td> <td>$35,7 \pm 0,3$</td> </tr> <tr> <td>diametro base, logorato (mm) (min.)</td> <td>34</td> </tr> <tr> <td>lunghezza mantello (altezza cilindro di base del cono) (mm)</td> <td>$35,7 \pm 1$</td> </tr> <tr> <td>angolo filettato superiore (rastremazione) (gradi)</td> <td>11</td> </tr> <tr> <td>lunghezza punta del cono (altezza parte conica) (mm)</td> <td>$17,9 \pm 0,1$</td> </tr> <tr> <td>Aste di infissione</td> <td></td> </tr> <tr> <td>massa (kg/m) (max.)</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>diametro OD (mm) (max.)</td> <td>32</td> </tr> <tr> <td>Operazioni specifiche per colpo</td> <td></td> </tr> <tr> <td>(mgh/A) in kJ/m²</td> <td>150</td> </tr> </table>			Descrizione dell'apparecchiatura di sondaggio dinamico denominato: DPM (medio)		Dispositivo di infissione		Martello: massa m (kg)	$30 \pm 0,3$	altezza di caduta h (mm)	500 ± 10	rapporto lunghezza/diametro (Dh)	$1 \leq L/D \leq 2$	Incudine		diametro, d , (mm)	$100 < d < 0,5 Dh$	massa (kg) (max.) (incluso asta guida)	18	Cono 90°		area base nominale A (cm ²)	10	diametro base (D) nuovo (mm)	$35,7 \pm 0,3$	diametro base, logorato (mm) (min.)	34	lunghezza mantello (altezza cilindro di base del cono) (mm)	$35,7 \pm 1$	angolo filettato superiore (rastremazione) (gradi)	11	lunghezza punta del cono (altezza parte conica) (mm)	$17,9 \pm 0,1$	Aste di infissione		massa (kg/m) (max.)	6	diametro OD (mm) (max.)	32	Operazioni specifiche per colpo		(mgh/A) in kJ/m ²	150
Descrizione dell'apparecchiatura di sondaggio dinamico denominato: DPM (medio)																																										
Dispositivo di infissione																																										
Martello: massa m (kg)	$30 \pm 0,3$																																									
altezza di caduta h (mm)	500 ± 10																																									
rapporto lunghezza/diametro (Dh)	$1 \leq L/D \leq 2$																																									
Incudine																																										
diametro, d , (mm)	$100 < d < 0,5 Dh$																																									
massa (kg) (max.) (incluso asta guida)	18																																									
Cono 90°																																										
area base nominale A (cm ²)	10																																									
diametro base (D) nuovo (mm)	$35,7 \pm 0,3$																																									
diametro base, logorato (mm) (min.)	34																																									
lunghezza mantello (altezza cilindro di base del cono) (mm)	$35,7 \pm 1$																																									
angolo filettato superiore (rastremazione) (gradi)	11																																									
lunghezza punta del cono (altezza parte conica) (mm)	$17,9 \pm 0,1$																																									
Aste di infissione																																										
massa (kg/m) (max.)	6																																									
diametro OD (mm) (max.)	32																																									
Operazioni specifiche per colpo																																										
(mgh/A) in kJ/m ²	150																																									
☐ può eseguire, nel rispetto delle norme tecniche, indagini e prove geotecniche in sito del tipo a penetrazione dinamica, e campionamenti indisturbati ad infissione, ossia mediante impatto dinamico su un campionario cilindrico a pareti sottili tipo "Shelby" (un tubo dotato di una estremità affilata e tagliente nella parte inferiore) ottenendo un campionamento di categoria A (con disturbo leggero).																																										
P. M. G. s.r.l. Sede Legale: S.S. Appia Km. 199 Contr. Molinella, 2 - 81050 VITULAZIO (CE) Ufficio e Stab.to: Via Fabbri, 1 81020 S. MARCO EVANGELISTA (CE) P.IVA n° 02685540615		Timbro e firma																																								
NASTRI TRASPORTATORI - RULLIERE - MONTACARICHI - IMPIANTI AUTOMAZIONE - MANUTENZIONE INDUSTRIALE																																										

REPORT INDAGINE SISMICA HVSR

Lavori Di Ricostruzione Del Plesso Scolastico Di via Forno "I.C. Basile Don Milani" - CUP J75E23000090009 - Comm.te Amministrazione Comunale di Parete (CE)



N.B. È stata elaborata solo la prova sismica n.3, le 1 e la 2 hanno rapporti spettrali H/V simili (vedi pag. IV e V) a dimostrazione della omogeneità sismica areale del sottosuolo.

INFORMAZIONE SULLA STAZIONE		UBICAZIONE	DOC.NE	FOTOGRAFICA
Stazione	3			
Strumento	Geobox SR04HS			
Matricola	0493			
Data acquisizione	26/02/24			
Coordinate Lat.	40.95434N			
Coordinate Long.	014.1665E			
Durata registrazione:	20 minuti			
Freq. campionamento	300 Hz			
Orientamento	0°N			
Terreno di misura	Terreno vegetale			
Altezza s.l.m.	72 m			

ACQUISIZIONE IN CONTINUO DEL MICROTREMORE E "FINESTRATURA"	ANALISI HVSR (STAZIONARIETÀ)	
	Lunghezza finestre:	52 s
	Numero di finestre analizzate	16 (69 % del tracciato)
	Tipo di liscio:	Konno & Ohmachi
	Liscio:	10%

RAPPORTO SPETTRALE H/V	SPETTRI MEDI DELLE SINGOLE COMPONENTI (PLAUSIBILITÀ)
1Frequenza del picco H/V (f_0)= 8,7 Hz$\pm$0,35 Hz	
Valore del Picco H/V (A_0)=2,3	
Z N E	

POLARIZZAZIONE DEL RUMORE (DISTURBI)	DIREZIONALITA' H/V (ISOTROPIA)	

REPORT INDAGINE SISMICA HVSR

Lavori Di Ricostruzione Del Plesso Scolastico Di via Forno "I.C. Basile Don Milani" - CUP J75E23000090009 - Comm.te Amministrazione Comunale di Parete (CE)



CRITERI SESAME

Valore del Picco H/V a $8,7 \pm 0,35$ Hz = 2,3 (tra 1 - 41 Hz)

CRITERI SESAME PER UNA CURVA H/V AFFIDABILE

tutti e tre dovrebbero essere soddisfatti

$f_0 > 10/L_w$	8.67119	>	0.192307692	SI
$n_c(f_0) > 200$	7214.43008	>	200	SI
$\sigma_A(f) < 2$ per $0,5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0,5$	$\sigma_A(f)$	<	2	SI
$\sigma_A(f) < 3$ per $0,5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0,5$	per tutto l'intervallo di frequenze			

CRITERI SESAME PER UN PICCO H/V CHIARO

almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti

Esiste f- in [f0/4, f0] AH/V (f-) < A0/2	verificato alla f=	0.000		NO
Esiste f+ in [4*f0, f0] AH/V (f+) < A0/2	verificato alla f=	0.000		NO
A0>2	A0=	2.31724		SI
fpicco [AH/V(f) ± σA (f)] = f0 ± 5%				SI
σf < ε(f0)	0.35559	<	0.4335595	SI
σA(f0) < θ(f0)	0.0868	<	1.58	SI

L_w
 n_w
 $n_c = L_w n_w f_0$
 f
 f_0
 σ_f
 $\varepsilon(f_0)$
 A_0
 $A_{H/V}(f)$
 f^-
 f^+
 $\sigma_A(f)$
 $\sigma_{\log H/V}(f)$
 $\theta(f_0)$

lunghezza della finestra
numero di finestre usate nell'analisi
numero di cicli significativi
frequenza attuale
frequenza del picco H/V
deviazione standard della frequenza del picco H/V
valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0
ampiezza della curva H/V alla frequenza f
frequenza tra $f_0/4$ e f alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa
deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$
valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$ (per le condizioni di stabilità)

Intervallo di frequenza [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

CLASSIFICAZIONE PROPOSTA da Albarello et alii

DURATA	Durata registrazione (min) =	20	SI
STAZIONARIETA'	$\%(\sum L_w / \text{Durata registrazione}) =$	52.0%	SI
ISOTROPIA			SI
ASSENZA DISTURBI			SI
PLAUSIBILITA' FISICA			SI
ROBUSTEZZA STATISTICA	Tutti e tre i criteri SESAME per una curva affidabile sono verificati		SI

QUALITÀ DELLA CURVA H/V

CLASSE

A

TIPO

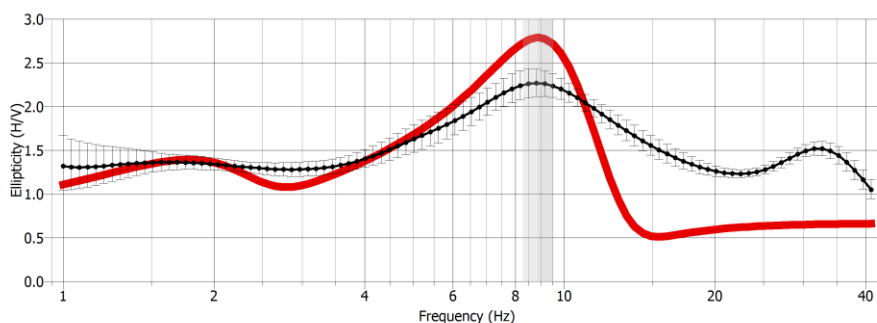
1

Vedi pag. VI e VII



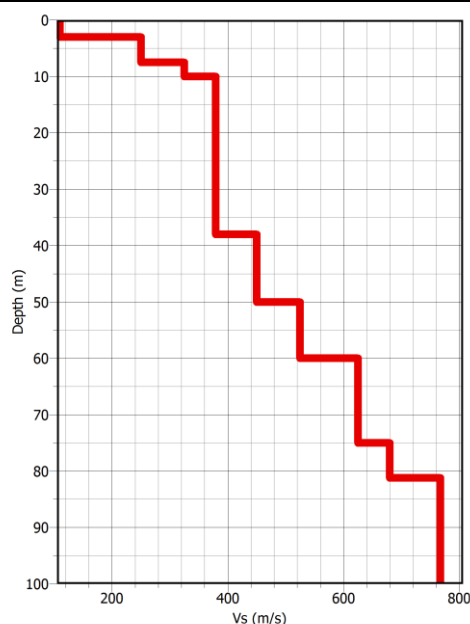
INVERSIONE DELLA CURVA H/V

METODO DI INVERSIONE: Curva di ellitticità delle onde di Raleigh e Picchi di frequenza

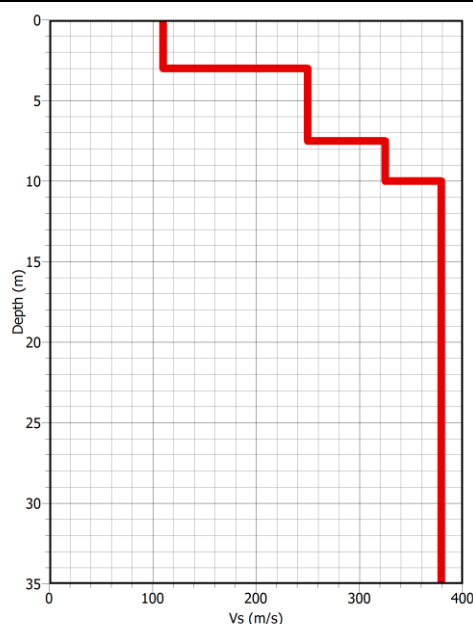


— = curva sperimentale
 — = curva teorica: usata per l'inversione
 — = intervallo di fiducia (deviazione standard)
 Scostamento **4,3**

PROFILO GEOSISMICO



Bed-Rock a c.a. 80 m dal p.c.



Spessore di interesse geotecnico

MODELLO GEOSISMICO

MODELLO GEOSISMICO DEL TERRENO DA HVSR1

z Prof.	h Spess.	Vsi	h/Vsi dal p.c.	Vseq (*)
m	m	m/sec	sec	m/sec
3.0	3.0	110	0.0273	284 'C'
7.5	4.5	250	0.0180	
10.0	2.5	325	0.0077	
15.0	5.0	380	0.0132	
20.0	5.0	380	0.0132	
25.0	5.0	380	0.0132	
>=30,0	5.0	380	0.0132	
Σ			0.1056	

(*) La velocità equivalente è ottenuta imponendo l'equivalenza tra i tempi di arrivo delle onde di taglio in un terreno omogeneo, di spessore pari a H m, e il terreno stratificato in esame, di spessore complessivo anch'esso pari a H m. Lo scopo della formulazione adottata è quello di privilegiare il contributo degli strati più deformabili di limitato spessore, che in una semplice media delle velocità, anche se pesata sui singoli spessori, non avrebbero la stessa "considerazione". Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio VSeq è definita dal parametro VS,30, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Per fondazioni poste a:

A 1.0 m p.c. Vseq = 303 m/s: CATEGORIA DI SOTTOSUOLO: **C** (180 m/s <VSeq< 360 m/s)
 A 2.0 m p.c. Vseq = 324 m/s: CATEGORIA DI SOTTOSUOLO: **C** (180 m/s <VSeq< 360 m/s)
 A 3.0 m p.c. Vseq = 348 m/s: CATEGORIA DI SOTTOSUOLO: **C** (180 m/s <VSeq< 360 m/s)
 A 4.0 m p.c. Vseq = 354 m/s: CATEGORIA DI SOTTOSUOLO: **C** (180 m/s <VSeq< 360 m/s)

REPORT INDAGINE SISMICA HVSR

Lavori Di Ricostruzione Del Plesso Scolastico Di via Forno "I.C. Basile Don Milani" - CUP J75E23000090009 - Comm.te Amministrazione Comunale di Parete (CE)



INFORMAZIONE SULLA STAZIONE		UBICAZIONE	DOC.NE FOTOGRAFICA
Stazione	1		
Strumento	Geobox SR04HS		
Matricola	0493		
Data acquisizione	30/10/24		
Coordinate Lat.	40.95434N		
Coordinate Long.	014.1673E		
Durata registrazione:	20 minuti		
Freq. campionamento	300 Hz		
Orientamento	0°N		
Terreno di misura	Terreno vegetale		
Altezza s.l.m.	72 m		

ACQUISIZIONE IN CONTINUO DEL MICROTREMORE E "FINESTRATURA"	ANALISI HVSR (STAZIONARIETÀ)	
	Lunghezza finestre:	52 s
	Numero di finestre analizzate	9 (39 % del tracciato)
	Tipo di lisciamento:	Konno & Ohmachi
	Lisciamento:	10%

RAPPORTO SPETTRALE H/V	SPETTRI MEDI DELLE SINGOLE COMPONENTI (PLAUSIBILITÀ)
Frequenza del picco H/V (f_0)= 8,5 Hz $\pm$ 0.6 Hz	
Valore del Picco H/V (A_0)=2,3	

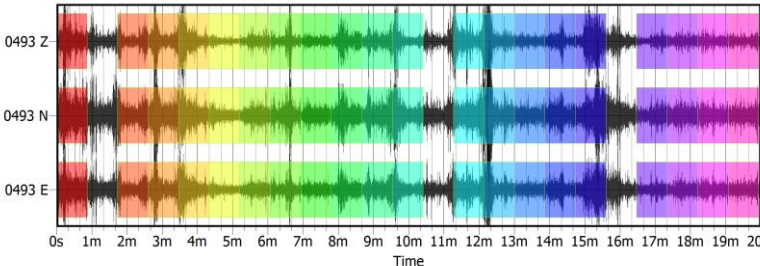
POLARIZZAZIONE DEL RUMORE (DISTURBI)	DIREZIONALITA' H/V (ISOTROPIA)

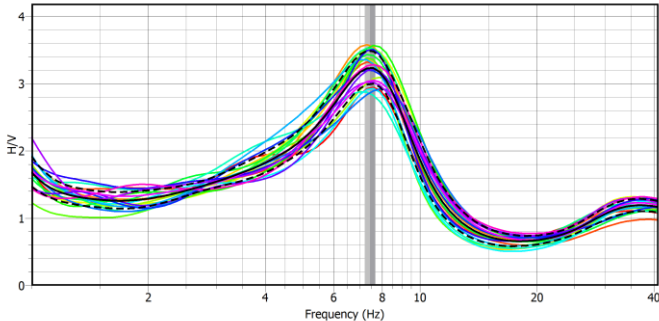
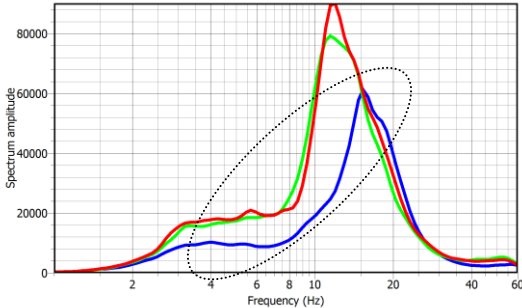
REPORT INDAGINE SISMICA HVSR

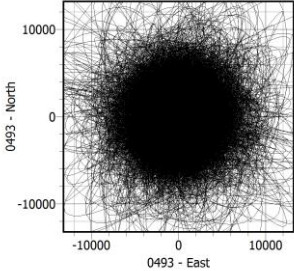
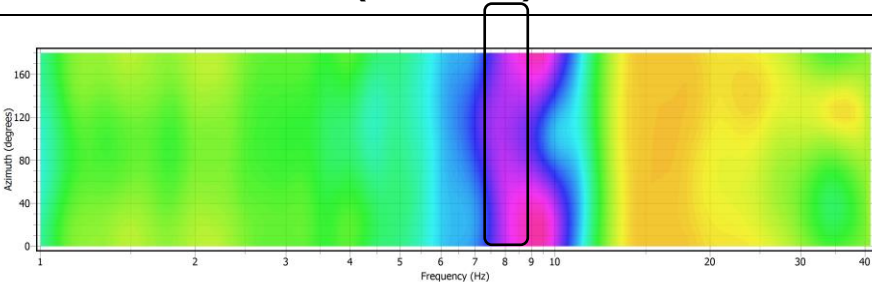
Lavori Di Ricostruzione Del Plesso Scolastico Di via Forno "I.C. Basile Don Milani" - CUP J75E23000090009 - Comm.te Amministrazione Comunale di Parete (CE)



INFORMAZIONE SULLA STAZIONE		UBICAZIONE	DOC.NE FOTOGRAFICA
Stazione	2		
Strumento	Geobox SR04HS		
Matricola	0493		
Data acquisizione	30/10/24		
Coordinate Lat.	40.95316N		
Coordinate Long.	014.1669E		
Durata registrazione:	20 minuti		
Freq. campionamento	300 Hz		
Orientamento	0°N		
Terreno di misura	Terreno vegetale		
Altezza s.l.m.	72m		

ACQUISIZIONE IN CONTINUO DEL MICROTREMORE E "FINESTRATURA"	ANALISI HVSR (STAZIONARIETÀ)	
	Lunghezza finestre:	52 s
	Numero di finestre analizzate	20 (87 % del tracciato)
	Tipo di lisciamiento:	Konno & Ohmachi
	Lisciamiento:	10%

RAPPORTO SPETTRALE H/V	SPETTRI MEDI DELLE SINGOLE COMPONENTI (PLAUSIBILITÀ)
	
Frequenza del picco H/V (f_0)= 7,5 Hz±0,23 Hz	
Valore del Picco H/V (A_0)=3,2	

POLARIZZAZIONE DEL RUMORE (DISTURBI)	DIREZIONALITA' H/V (ISOTROPIA)
	
	



TEORIA INDAGINE SISMICA

Cenni Teorici Del Metodo HVSR (Rapporti Spettrali)

Il metodo **HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)**, noto anche come “il metodo dei Rapporti spettrali H/V”, è stato introdotto nei primi anni '70 da scienziati giapponesi tra cui Nogoshi e Igarashi (1971) e Shiono et al. (1979) e poi ripreso, perfezionato e pubblicato nel 1989 da Nakamura (**metodo di Nakamura**). Esso consiste nell'acquisire in continuo per 15-20 minuti, il “rumore” sismico (**sismica passiva**) che è costantemente presente sulla superficie terrestre, in quanto è generato dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento, temporali, ecc.) e dalle attività antropica. Questi microtremiti provocano spostamenti del suolo dell'ordine di $10^{-4} \div 10^{-2}$ mm, decisamente al di sotto della soglia di percezione umana e avvertiti solo da geofoni molto sensibili di cui sono dotati gli acquisitori del segnale. I geofoni sono tre geofoni ed orientati secondo le direzioni dello spazio (X, Y Z).

Inizialmente il metodo venne sviluppato come tecnica speditiva per determinare i picchi di frequenza che sono responsabili delle amplificazioni delle onde sismiche dovute ai contrasti di impedenza che si originano in corrispondenza di discontinuità litologiche. Il metodo, dunque, si presta molto bene per valutare la **risposta sismica locale di un sito (effetti di sito)**. Il metodo HVSR consente di determinare:

- la **frequenza caratteristica di risonanza del sito (“free field”)**, parametro fondamentale per scongiurare il pericoloso effetto di “doppia risonanza” sugli edifici
- la **frequenza fondamentale di risonanza di un edificio** e i relativi modi di vibrare, se l'indagine viene fatta all'interno delle strutture. Tale tecnica di recente viene sempre più impiegata anche in campo geotecnico-ingegneristico.

Conoscendo, poi, i dati geologici-stratigrafici dall'analisi HVSR (vincolata), si può anche ricavare la **sismo-stratigrafia del sito** e, quindi, la **velocità equivalente V_{seq}** (vedi di seguito), di grande interesse ingegneristico. Quest'ultima, infatti, è adottata nella legislazione antisismica di molti paesi, come parametro fondamentale per la stima degli **effetti di sito**. Si ricorda che la velocità equivalente è ottenuta imponendo l'equivalenza tra i tempi di arrivo delle onde di taglio in un terreno omogeneo di spessore pari alla profondità del substrato (o pari a 30 m se il substrato non è individuabile nei primi 30 m) e i tempi di arrivo nel terreno realmente stratificato (punto C.3.2.2 DM 17/01/18). Essa assume, quindi, valori differenti da quelli ottenuti dalla media delle velocità pesate sugli spessori dei singoli strati. Lo scopo della **V_{seq}** , così definita, è quello di privilegiare il contributo degli strati più deformabili, anche di limitato spessore.

Procedure operative

Dopo l'acquisizione del segnale sismico esso viene sottoposto ad una prima elaborazione, viene cioè diviso in finestre temporali (in genere di 25/50 secondi) per ricercare le fasi stazionarie del segnale (ossia quelle prive di rumore di fondo, di disturbi elettromagnetici, industriali e meteorologici).

A tale proposito, **SESAME** (Site Effects Assessment Using Ambient Excitations - 2004), propone la rimozione nella serie temporale di quelle finestre in cui la deviazione standard del segnale STA (media a breve termine) è maggiore della media a lungo termine (LTA). Si tratta quindi dell'eliminazione di quelle finestre in cui è evidente la presenza di segnali di disturbo temporanei o di fenomeni di saturazione (detti transienti).

Per ciascuna delle finestre rimanenti, si applica una funzione di *tapering* (per diminuire gradatamente il segnale), poi si procede all'analisi spettrale, applicando in successione, una funzione di tipo cosinusoidale al 5%, la FFT (Trasformata di Fourier veloce) e lo smoothing dello spettro, mediante delle tecniche di lisciamento degli spettri (Konno & Ohmachi, Triangolare costante, Triangolare proporzionale). In seguito si procede, per ogni frequenza, al calcolo della media di valori delle componenti orizzontali (H) ed, infine, si esegue il rapporto tra quest'ultima media ed il valore della componente verticale; tale rapporto, in funzione della frequenza, genera la curva dei rapporti spettrali H/V nota anche come **curva di dispersione o di trasferimento H/V**, dove il massimo rapporto HVSR è la Frequenza di risonanza **f_0 ($H/V > 3$ Alto contrasto, $2 < H/V < 3$ Basso Contrasto)**. A questo punto la curva H/V è pronta per essere “interpretata”, viene sottoposta, cioè, alla **procedura d'inversione dei rapporti spettrali** al fine di convertire le frequenze di risonanza in stratigrafia. Essa necessita dei seguenti passaggi:



1. identificazione di un orizzonte stratigrafico superficiale (di solito ad alcuni metri di profondità, indipendentemente noto dalle indagini geotecniche, per evitare fenomeni di **equivalenza**),
2. identificazione del marker HVSR corrispondente,
3. fit, per approssimazioni successive, della curva HV teorica alla curva sperimentale, utilizzando 1) e 2) come vincoli.

L'elaborazione ed il filtraggio del segnale sismico è stata effettuata con software GEOPSY , dal quale si ottiene la curva di risposta del sito in termini di frequenza e di rapporto spettrale H/V, mentre l'"adattamento" della curva sperimentale con la curva teorica e la relativa inversione, è stata ottenuta con il modulo "DINVER" dello stesso software.

Criteri SESAME e Classificazione delle Curva H/V (Albarelli e Alii)

Per la fase interpretativa, la curva H/V deve essere statisticamente significativa, ovvero deve avere una ridotta deviazione standard sia in ampiezza che in frequenza, in gergo si dice che deve possedere, requisiti di "**affidabilità**" e di "**chiarezza del picco**".

Secondo **SESAME**, l'**affidabilità della curva** si ottiene soddisfacendo i seguenti requisiti:

- 1- $f_0 > 10/l_w$, ovvero che alla frequenza di interesse devono trovarsi almeno 10 cicli significativi nella finestra selezionata.; l_w è la lunghezza in secondi della finestra.
- 2- $n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0 > 200$, ossia che il numero di cicli significativi sia maggiore di 200; n_w è il numero di finestre selezionate per condurre l'analisi.
- 3- un basso livello di dispersione ("scattering") tra le finestre. Deviazioni standard troppo elevate sono riportabili a situazioni di scarsa stazionarietà ed alta perturbazione del segnale, quindi ad una bassa rappresentatività. In particolare la deviazione standard deve essere minore di 2 (se $f_0 > 0.5$) nell'intervallo $0.5f_0 < f < 2f_0$ e minore di 3 (se $f_0 < 0.5$) sempre nel solito intervallo.

Sempre secondo **SESAME** la **chiarezza del picco A_0** si ottiene soddisfacendo i criteri di **ampiezza e stabilità**.

In termini di ampiezza devono essere soddisfatte le seguenti condizioni:

- 1- esistenza di una frequenza f^- tra $f_0/4$ ed f_0 tale che $A_0 / A_{H/V}(f^-) > 2$; dove A_0 rappresenta l'ampiezza media del picco e $A_{H/V}(f^-)$ l'ampiezza della frequenza f^- .
- 2- esistenza di un'altra frequenza f^+ , compresa tra f_0 e $4f_0$, tale che $A_0 / A_{H/V}(f^+) > 2$;
- 3- A_0 , in corrispondenza di f_0 , deve essere > 2 .

Le condizioni 1) e 2) confermano che il picco sia sufficientemente isolato sia a sinistra (condizione 1), sia a destra (condizione 2) del picco. La condizione 3) assicura che il picco sia sufficientemente elevato e questo dipende dall'entità del contrasto di rigidità tra gli strati.

Per le **condizioni di stabilità** si deve tener conto delle deviazioni standard relative ed assolute del picco e sono che:

- 1- Per ogni curva il picco di frequenza dovrebbe comparire alla stessa frequenza della curva media H/V, o, al massimo, entro l'intervallo di frequenza delimitato dalla somma e differenza della deviazione standard (σ_f), con una percentuale di $\pm 5\%$;
- 2- la deviazione standard del picco in frequenza σ_f , deve essere inferiore ad una soglia massima $\varepsilon(f_0)$; le soglie sono indicate nell'apposita tabella sotto riportata;
- 3- la deviazione standard del picco in ampiezza $\sigma_A(f_0)$, deve essere inferiore ad una soglia massima $\theta(f_0)$; Il valore $\sigma_A(f_0)$ rappresenta il numero con cui moltiplicare e dividere la curva media HV per ottenere le curve relative alla deviazione standard. Le soglie sono indicate sempre nell'apposita tabella sotto riportata.



Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.20 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ per	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Tabella dei valori massimi accettabili per le deviazioni standard a diversi "range" di frequenza del picco

Quindi se la curva H/V, per un dato sito, soddisfa almeno 5 di queste 6 condizioni, il valore di f_0 è da considerarsi rappresentativo della frequenza fondamentale; se l'ampiezza di picco A_0 è maggiore di 4 o 5, si può affermare con certezza che esiste una discontinuità ed un contrasto di velocità ad una qualche profondità.

Accanto ai precedenti criteri SESAME, Albarello et alii, 2010 e Albarello & Castellaro, 2011, hanno proposto una classificazione per fornire una indicazione immediata circa la qualità delle singole misure H/V, tenendo presente:

- La stazionarietà della curva H/V;** ossia la stabilità del rapporto H/V lungo tutta la durata dell'indagine: i singoli rapporti H/V correlati ciascuno ad una finestra temporale dovrebbero essere più simili possibile, specie per quanto riguarda la frequenza a cui si manifesta il picco, o i picchi, di ampiezza del rapporto H/V.
- La plausibilità fisica della curva H/V;** in condizioni normali (omogeneità litologica) le tre componenti hanno ampiezze simili per cui il rapporto H/V ≈ 1 , mentre dove sussistono contrasti di impedenza sismica (cambiamenti litologici), la componente verticale tende a diminuire e, pertanto, il rapporto H/V tende ad aumentare, proprio in corrispondenza della frequenza di risonanza del terreno. Graficamente la componente verticale (V) tende ad un minimo, mentre le componenti orizzontali (E,W) tendono al massimo, determinando così una forma a "occhio" o ad "ogiva". I picchi non dovuti alla diminuzione della componente verticale, non sono attribuibili a cause stratigrafiche. In definitiva la curva H/V deve essere sempre osservata insieme agli spettri di ciascuna componente in modo da poter discriminare i picchi di natura stratigrafica da quelli dovuti ai "rumori" di origine antropica.
- L'isotropia azimutale** dell'ampiezza del rapporto H/V che deve mantenersi uniforme al variare dell'angolo formato dalla direzione di registrazione ed il sistema di riferimento (la **direzionalità**). Questo serve a dimostrare l'isotropia della registrazione, ovvero l'assenza di una sorgente sismica inquinante con direzione preferenziale che inficerebbe la validità della registrazione.
- L'assenza di rumore.** Se nella zona dell'indagine si è in presenza di strade, aeroporto, ferrovie, zone industriali e, magari, anche in condizioni meteo non ideali, si osserveranno rumori generalizzati random dalla direzione di provenienza delle fonti di inquinamento sismico che potrebbero alterare il segnale. Per evidenziare ciò, si registrano nel tempo gli spostamenti del geofono che è solidale al terreno. Se il segnale non presenta assi di direzionalità del segnale, la "rosa" della provenienza delle vibrazioni sarà quasi circolare; in presenza di disturbi, essa tende, invece, ad ovalizzarsi, nella direzione principale della provenienza del disturbo e ad alterare fortemente anche l'ampiezza del moto verticale.
- La durata della misura,** che deve essere di almeno 15-20 minuti.
- La robustezza statistica** della curva H/V che vuole che siano verificati tutti e tre i primi criteri SESAME per una curva H/V attendibile.

In base a ciò, la classificazione delle curve H/V prevede le seguenti tre classi di qualità:

Classe A (curva H/V affidabile, può essere utilizzata anche da sola)

- 1)-La forma dell'H/V nell'intervallo di frequenze di interesse rimane stazionaria per almeno il 30% della durata della misura;
- 2)-le variazioni azimutali di ampiezza non superano il 30% del massimo;
- 3)-assenza di disturbi elettromagnetici nella banda di frequenza di interesse;
- 4)-i massimi sono caratterizzati da una diminuzione localizzata dello spettro della componente verticale;
- 5)-i primi 3 criteri SESAME per una curva H/V attendibile sono verificati;
- 6)-durata della misura di almeno 15-20 minuti.

Eccezione: nel caso di assenza di contrasti di impedenza sufficientemente marcati (misure effettuate su roccia integra affiorante o in zone alluvionali fini con basamento sismico molto profondo (tipicamente > 1 km)), la condizione 5) non sarà soddisfatta anche se la misura è di fatto attendibile (H/V tipo 2, v. sotto). In questo solo



caso la misura può ricadere nella classe A, ma si consiglia di ripetere la misura per confermare l'effettiva assenza di massimi significativi.

Classe B (H/V da "interpretare": va utilizzata con cautela e solo se coerente con altre misure vicine)

Almeno una delle condizioni della classe A non è soddisfatta (a meno che non si rientri nell'eccezione citata per la classe A)

Classe C (H/V scadente e di difficile interpretazione: non va utilizzata)

1)-Misura di tipo B con curva H/V che mostra ampiezza crescente al diminuire della frequenza (deriva) indice di movimento dello strumento durante la misura;

2)-misura di tipo B con presenza di rumore elettromagnetico nell'intervallo di frequenze di interesse.

Per le classi A e B si possono inoltre definire le seguenti due sottoclassi:

Tipo 1: H/V con almeno un picco "chiaro" secondo i criteri SESAME (possibile risonanza)

Tipo 2: H/V senza picchi "chiari" nell'intervallo di frequenze di interesse (ampiezza della curva circa uguali ad 1: assenza di risonanza).

Relazione tra profondità e frequenza di risonanza

Nel caso ideale di un sottosuolo formato da due soli strati (la copertura (1) ed il bedrock (2), separati da una superficie orizzontale e distinguibili per un diverso valore di impedenza sismica, ovvero per differenti densità e/o velocità delle onde sismiche, un'onda che viaggia nel mezzo (1) viene parzialmente riflessa dall'orizzonte che separa i due strati. L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le massime ampiezze di oscillazione (condizione di risonanza), quando la sua lunghezza d'onda λ è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore h del primo strato. In altre parole la frequenza fondamentale di risonanza f_r della copertura (mezzo (1)), relativa alle onde P è pari a:

$$f_r = V_{P1} / (4 h)$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$f_r = V_{S1} / (4 h)$$

Teoricamente questo effetto è sommabile, studi recenti hanno, infatti, dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach et al., 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bed-rock stesso (es. Guillier et al., 2005), cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati alle varie profondità. Questo, insieme ad una stima degli spessori degli strati, che è solitamente disponibile almeno a livello massima, è in grado di fornire previsioni sulle velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

Strumentazione Utilizzata per l'acquisizione del Micro-tremore

Per la registrazione in continuo dei micro-tremori ambientali, la strumentazione adottata, è un Sismografo triassiale della SARA ELETTRONICA, collegato ad un personal computer per il controllo dello strumento e la registrazione dei dati.



MODELLO SARA SR04HS (Geobox) MATRICOLA 0493

- Digitalizzatore sismico (sismografo) a 24 bit a 3 canali - sensori ortogonali (triassiale) da 4,5 Hz (verticale, Est-Ovest e Nord-Sud)
- convertitore A/D 24 bit
- localizzatore e sincronizzatore GPS.
- I dati sono registrati nel PC ricevendoli tramite una porta seriale (RS232).
- Frequenze di campionamenti: da 200 Hz. a 600 Hz.
- Alimentazione: 10-16Vdc 180mA(max) @ 12V
- Consumo: $0.75 < W < 0.5$



DICHIARAZIONE DELL'OPERATORE E CONFORMITA' DELLA STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

Il dr. Geol. CINOTTI VINCENZO (CNTVCN65H21B935S),

DICHIARA

- che ha eseguito, come operatore responsabile, N. 3 prove sismiche a stazione singola di tipo **HVSR** nel Comune di **PARETE (CE) in Via FORNO** su committenza dell' **AMMINISTRATORE COMUNALE**
- che per l'indagine sismica è stato utilizzato un Sismografo triassiale della "SARA ELETTRONICA", di proprietà del dichiarante,

Si allega una copia dell'attestato di funzionalità dello strumento.

	SARA electronic instruments s.r.l. 06129 - Perugia - Via A. Mercuri, 4 - ITALY Tel. +39 075 5051014 Fax +39 075 5006315 cap.soc 100.000,00€ i.v.	Reg. Trib. Perugia N-5718 - C.C.I.A.A. 109864 C.F. e P.iva 00380320549 N.Reg. RAEE: IT08020000001128
---	--	--

Perugia 7 giugno 2010

Egr. Dott. Geol. Vincenzo Cinotti Via Pizzetti 10 - 81020 CASAPULLA CASERTA

OGGETTO: Attestato di funzionalità strumentale

Egr. Professionista,

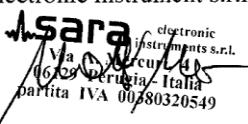
con la presente certifichiamo che lo strumento SR04MT matricola 493 prodotto in data 7 giugno 2010 ha funzionalità sufficienti alla esecuzione delle seguenti prove:

- Sismometria e Vibrometria in genere
- Esecuzione di prove HVSR (Rapporti spettrali, Metodo di Nakamura)
- Misura delle frequenze proprie di oscillazione del suolo e degli edifici

pertanto, con l'utilizzo di appropriati software di calcolo e nei limiti imposti dalla conoscenza scientifica attuale, le applicazioni conseguenti possono risultare in:

- Microzonazione sismica
- Applicazioni geotecniche
- Stima della potenza dei corpi franosi
- Stima dello spessore di coltri detritiche
- Stima della profondità dei bedrock
- Stima delle Vs30
- Applicazioni archeologiche

In fede
SARA electronic instrument s.r.l.


SARA electronic instruments s.r.l.
Via A. Mercuri, 4 - 06129 Perugia - Italia
partita IVA 00380320549