

**STUDIO GEOLOGICO-GEOTECNICO
DOTT.VINCENZO LA PEGNA
VIA C. ALBERTO N.283
VITTORIA**

Variante al PRG vigente ai sensi dell'art. 26 comma 3 L.R. n. 19 del 13.08.2020, per la ritipizzazione urbanistica di un'area, per decadenza dei vincoli urbanistici preordinati all'espropriazione del vigente PRG, ubicata in Vittoria C/da Anguilla, in catasto al foglio 152 particelle 190-192-193-497 in parte

Ditta: AZIENDA AGRICOLA GANGAROSSA S.R.L.

RELAZIONE GEOMORFOLOGICA

(D.A. N. 120 DEL 14/07/2021 dell'Assessorato Regionale Territorio e Ambiente)

FASE DI DETTAGLIO (B2)

Vittoria, lì 2025

**il geologo
(dott. Vincenzo La Pegna)**

1. PREMESSA

Su incarico della Ditta AZIENDA AGRICOLA GANGAROSSA S.R.L. è stato effettuato lo studio geologico dell'area interessata alla "Variante al PRG vigente ai sensi dell'art. 26 comma 3 L.R. n. 19 del 13.08.2020, per la ritipizzazione urbanistica di un'area, per decadenza dei vincoli urbanistici preordinati all'espropriazione del vigente PRG, ubicata in Vittoria C/da Anguilla, in catasto al foglio 152 particelle 190-192-193-497 in parte.

Lo studio tiene conto delle direttive emanate dall'Assessorato Regionale T.A. con D.A. n. 120 del 14/07/2021, che impongono particolari attenzioni riguardo alle problematiche di pericolosità sismica e geologica.

Il D.A. n. 120 del 14/07/2021 dell'Assessorato Regionale T.A. ha fornito l'indirizzo per un nuovo schema di lavoro aggiornando gli strumenti legislativi alle metodologie utilizzate in campo scientifico per quanto riguarda la gestione delle pericolosità geologiche e sismiche.

La metodologia suggerita dal D.A. traccia uno schema di lavoro al quale il presente studio si è attenuto.

Per la **FASE DI DETTAGLIO (B2)** la metodologia usata è quella di circoscrivere le indagini e gli studi alla di nuova urbanizzazione e agli ambiti morfologici a monte e a valle della zona in esame. In particolare sono state redatte le seguenti carte di analisi:

INDAGINE (B2a)

- indagine, scala, 1:2.000

CARTOGRAFIE DI ANALISI (B2b)

- Carta geologica – idrogeologica - geomorfologica, scala 1: 2.000
- Carta geologica, scala 1:2.000 (stralcio P.R.G.)
- Carta litotecnica scala, 1:2.000

CARTOGRAFIE DI SINTESI (B2c)

- Carta della pericolosità geologica, scala 1:2.000
- Carta della suscettività del territorio scala, 1:2.000
- Carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica scala, 1:2.000
- Carta delle prescrizioni ed indicazioni esecutive, scala, 1:2.000

2. AREA DI INDAGINE

Il lotto si trova in C/da Anguilla lungo la Strada per Resinè, Foglio 152 Particelle 190-192-193-497.

Le coordinate del sito ED50 sono le seguenti:

36.907743

14.458614

Tutto ciò è stato rilevato dal progetto messo a disposizione dal tecnico.

3. CARTA DELLE INDAGINI

Nel sito oggetto di intervento sono state individuate le seguenti indagini:

INDAGINE	COORDINATE ED50	
1PROVA SISMICA PASSIVA	36.907777	14.458227

Il suddetto programma di indagini risulta essere adeguato e sufficiente per l'esecuzione degli interventi in progetto, in relazione anche alla rilevanza dell'intervento e alle condizioni geologiche e geotecniche osservate.

4. GEOMORFOLOGIA DELL'AREA DI PROGETTO

L'area di intervento ricade interamente in territorio del Comune di Vittoria riportata nella Carta d'Italia dell'I.G.M. nella tavoletta "Donnafugata" Quadrante IV S.O. del foglio 276.

Nei paragrafi che seguono verranno illustrati i lineamenti della zona.

Sulla base della documentazione che è stata acquisita è stato possibile descrivere l'inquadramento geologico strutturale nonché la litologia e le caratteristiche litotecniche dei terreni di sedime interessate dall'insediamento in progetto. La zona in studio, altimetricamente compresa tra le isoipse 89,00 ÷ 90,00 mt. s.l.m., si presenta come un'area sub-pianeggiante. In particolare, nella zona in cui è previsto l'intervento, non si riscontrano processi di dissesto in atto e/o potenziali proprio per la blanda morfologia dell'area precedentemente descritta. La conoscenza della situazione geologica e l'individuazione della successione litologica è avvenuta dopo aver effettuato un esame cartografico e un approfondito rilevamento geologico di superficie. I litotipi individuati conducono a quella che è la situazione più generale, caratterizzata da estesi e potenti orizzonti di natura alluvionale legati a processi di deiezione pedemontana.

6. SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA

Lo studio e l'indagine geognostica eseguita nella zona ha permesso la seguente ricostruzione stratigrafica:

m. 0.0	- m. 1.0	Terreno agrario
m. 1.0	- m.10.0	Sabbia con livelli calcarenitici

- **Sabbia con livelli calcarenitici:** Terreno sabbioso-limoso colore giallastro. Spessore 2.00m circa. Si possono osservare orizzonti di natura sabbiosa, più o meno cementati, alternanti o passanti a livelli più compatti depositatisi nel Quaternario. Litologicamente possono essere definite come un'alternanza di termini sabbiosi a granulometria generalmente uniforme, con termini debolmente o mediamente cementati dello stesso materiale con ciottoli. La giacitura sub-orizzontale.

Non si notano stati di alterazione e fratturazioni e di degradabilità di particolare importanza.

Questi depositi trasgressivi sui Trubi, sono di ambiente marino e rappresentano il riempimento di un bacino la cui emersione risale alla regressione pleistocenica.

Dal punto di vista idrogeologico possiamo evidenziare l'assenza di acque superficiali dovuta ad una sufficiente permeabilità dei terreni in affioramento.

La zona non presenta faglie né in atto né potenziali, anche se è ben nota l'attività tettonica distensiva dell'area.

7. SISMICITA' DELL'AREA E RISCHIO SISMICO

Per procedere all'analisi del rischio sismico di una zona, bisogna innanzitutto eseguire un'analisi approfondita della sismicità della regione di cui quest'area fa parte.

La Sicilia è una delle regioni d'Italia in cui si ha la maggiore probabilità di terremoti ad elevata magnitudo ($M = 7,3$ nella scala Richter è stata stimata per il terremoto del 1.693).

Il quadro complessivo della sismicità storica della zona è stato ricostruito attraverso la consultazione del catalogo dei terremoti del C.N.R. e l'esame della Carta degli epicentri di cui detto catalogo è corredato.

In sintesi, da quanto emerso dallo studio, risulta che la sismicità dell'area è da ricollegare principalmente a strutture tettoniche localizzate nell'area iblea, in particolare in corrispondenza del sistema di faglie Scicli-Ragusa-Giarratana-Monte lauro, sismicamente attivo anche in tempi recenti.

L'energia sismica liberata in quest'area sismogenetica avviene generalmente tramite singoli eventi con modesta magnitudo ($M=4,5$) inferiore a quella relativa ai terremoti registrati storicamente in altre zone dell'area iblea.

La profondità focale è compresa tra 5-25 Km, i tempi di ritorno sono valutabili intorno ai 100 anni.

Gli effetti macrosismici nel territorio del Comune di Vittoria mediamente sono stimabili intorno al V-VI grado della scala M.S.K.

Rilevanti effetti di scuotibilità nell'area di interesse sono altresì da ricollegare ad aree sismogenetiche più lontane (vedi ad esempio gli eventi sismici storici aventi come area epicentrale il basso Ionio), ma caratterizzate da eventi in cui si hanno elevati rilasci di energia (terremoti del 1.169 e 1.693 con $M=7,3$) che si verificano in tempi brevissimi se comparati ai tempi di accumulo.

In particolare, l'elaborazione statistica degli eventi sismici storici, avvenuti tra l'anno 1000 ed i nostri giorni, evidenzia che:

- la sismicità dell'area iblea sembra caratterizzata da elevati rilasci di energia, coincidenti con i terremoti distruttivi del 1.169 e 1.693 di magnitudo $M=7,1$, intervallati da lunghi periodi di ridotta attività sismica;

- la distribuzione di epicentri a bassa magnitudo ($M_{max} = 5,6$) è più addensata verso il margine nord-occidentale del plateau ibleo ed è contrapposta a quella di terremoti di elevata magnitudo ($M_{max} = 7,1$) che hanno epicentri ricadenti lungo la costa jonica o in mare (1.169, 1.693), a largo della stessa, tra Catania ed Augusta.

La causa della persistente sismicità è da ricercare nell'assetto strutturale degli Iblei, con ipocentri superficiali per il settore nord occidentale e probabilmente, per quanto attiene gli eventi più violenti, orientali, in una sorgente sismica profonda 25-30 Km, forse legata a collassi della Scarpata ibleo-maltese.

Il quadro sismico quale è stato descritto mostra quanto opportuno sia stata l'inclusione dell'area, con O.P.C.M. 3274/2003, recepita dalla Regione Sicilia, tra le località sismiche di II° categoria.

8. CARATTERIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE DEL SITO

OGGETTO DELL'INTERVENTO

La pericolosità sismica di base costituisce l'elemento di conoscenza primario per la determinazione delle azioni sismiche, con i seguenti risultati:

CATEGORIA DI SUOLO

Dovendo stimare la categoria del suolo dei terreni interessati dalle opere in progetto, considerando i risultati ottenuti con la prova sismica passiva ottenendo una **Vs equivalente = 387 m/s**, è possibile inserirlo in categoria “**B**” come da allegata tabella

Tab. 3.2.II – *Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato.*

Categoria	Descrizione
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.

CATEGORIA E AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Il sito si trova in una area pianeggiante, pertanto lo si può classificare in Categoria T1, con coefficiente di amplificazione topografica $S_t = 1,0$

Tab. 3.2.III – *Categorie topografiche*

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 $i > 30^\circ$

Tab. 3.2.V – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_t*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_t
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media minore o uguale a 30°	1,2
T4	In corrispondenza della cresta di un rilievo con pendenza media maggiore di 30°	1,4

1. **Altri parametri di input definiti nel paragrafo 3 delle NTC:** i seguenti parametri di input per la determinazione delle forme spettrali sono caratterizzati dai valori elencati:

a. **Coordinate geografiche della località in esame:**

Latitudine: ϕ_{ED50} **36.907743**

Longitudine: λ_{ED50} **14.458614**

b. **Vita nominale della struttura, V_N : 50 anni**

Classe d'uso della struttura, C_U : II (*"costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali"*) **$C_U = 1,0$**

9. PARAMETRI DI PERICOLOSITA' SISMICA

I parametri di pericolosità sismica ottenuti possono essere così riportate:

STATO LIMITE	Tr	ag	Fo	Tc
Operatività (SLO)	30	0.026	2.424	0.208
Danno (SLD)	50	0.035	2.532	0.254
Salvag. Vita (SLV)	475	0.128	2.369	0.429
Collasso (SLC)	975	0.190	2.358	0.492

10. ACCELERAZIONE MASSIMA ATTESA IN SUPERFICIE

Anche i più recenti dannosi eventi sismici del 1990, avvenuti nella Sicilia sudorientale (magnitudo $M = 5,1$ pari al VII MCS nell'area epicentrale ubicata nella penisola di Augusta), hanno messo in evidenza come gli effetti lontani (nelle zone di Lentini e Carlentini), a volte, siano più dannosi di quelli vicini alla sorgente, se esistono condizioni nel territorio che possono portare a fenomeni di maggiore amplificazione locale.

Le osservazioni portano a concludere che la risposta sismica locale di un sito può essere influenzata da:

- variabili geofisiche, alcune di difficile e costosa determinazione strumentale, legate ad esempio agli effetti di non linearità delle rocce, all'energia ed al contenuto spettrale del terremoto di eccitazione, alle modalità di radiazione, etc.;

- tipologie e caratteristiche costruttive dei manufatti;
- caratteristiche lito-geosismiche dei siti (rigidità sismica locale);
- alcune situazioni “tipo” più facilmente rilevabili in quanto di solito connesse ad elementi topografici, geomorfologici e strutturali che, per rifrazioni, diffrazioni e riflessioni multiple, possono contribuire ad amplificare ed ad accentuare gli effetti al suolo.

Coefficienti Sismici

SLO						
Ss:	Cc:	St:	Kh:	Kv:	Amax:	Beta:
1,200	1,510	1,000	0,006	0,003	0,311	0,180
SLD:						
Ss:	Cc:	St:	Kh:	Kv:	Amax:	Beta:
1,200	1,450	1,000	0,008	0,004	0,412	0,180
SLV:						
Ss:	Cc:	St:	Kh:	Kv:	Amax:	Beta:
1,200	1,300	1,000	0,037	0,018	1,509	0,240
SLC:						
Ss:	Cc:	St:	Kh:	Kv:	Amax:	Beta:
1,200	1,270	1,000	0,055	0,027	2,231	0,240

Per tenere conto della sismicità dell'area è stato imputato il valore dell'accelerazione massima orizzontale per un periodo di ritorno di 475 anni ricavato dall'espressione:

$$a_{\max} = S \cdot a_g$$

dove:

a_g = l'accelerazione massima su sito di riferimento rigido

$S = S_s \cdot S_t$

S_s = coefficiente di amplificazione stratigrafica

S_t = coefficiente di amplificazione topografica

La profondità di ammorsamento della fondazione pari ad almeno 1,00 mt dal p.c. garantisce l'appoggio della fondazione sul litotipo non alterato secondo una scelta giustificata in relazione alle caratteristiche ed alle prestazioni della struttura in fondazione ed in elevazione, alle caratteristiche del sottosuolo e alle condizioni ambientali.

Il piano di fondazione è situato sotto la coltre di terreno vegetale nonché sotto lo strato interessato dal gelo e da significative variazioni stagionali del contenuto d'acqua. Non sussistono situazioni nelle quali sono possibili fenomeni di erosione o di scalzamento

da parte di acque di scorrimento superficiale.

In particolare:

- Vita di riferimento, $V_R = 50$ anni
- Tempo di ritorno SLV, $Tr = 475$ anni
- Tempo di ritorno SLD, $Tr = 50$ anni
- $S_s = 1,200$
- $St = 1.0$
- Accelerazione orizzontale massima attesa nel sito,

$$A_{max} = 0,1536$$

11. CLIMATOLOGIA

Dal punto di vista idrogeologico inoltre possiamo evidenziare l'assenza di acque superficiali dovuta ad una sufficiente permeabilità dei terreni in affioramento.

Facendo riferimento ai dati meteorologici dedotti dal sito Osservatorio delle acque della stazione Vittoria periodo 1990 – 2002 dati pluviometrici e periodo 1990- 2011 dati termometrici di seguito riportati si calcola che la temperatura media annua è di $17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ e la precipitazione annuale è pari a $436,4\text{ mm}$.

STAZIONI	VITTORIA	VITTORIA
VALORI	P (mm/a)	T($^{\circ}\text{C}$)
PERIODO	1990-2002	1990-2011
GENNAIO	54,7	10,3
FEBBRAIO	34,2	10,4
MARZO	23,4	12,0
APRILE	24,5	14,9
MAGGIO	12,9	19,3
GIUGNO	4,2	23,5
LUGLIO	3,9	25,4
AGOSTO	10,2	26,1
SETTEMBRE	43,5	23,0

OTTOBRE	70,5	19,4
NOVEMBRE	70,7	14,9
DICEMBRE	83,9	11,1
ANNO	436,4	17,5
ti		12,7

12. CARATTERISTICHE LITOTECNICHE

La formazione che caratterizza l'area di progetto può esser raggruppata in un complesso litotecnico in base ai differenti parametri di natura tecnica che maggiormente condizionano il comportamento dei terreni.

In particolare è stato individuato il gruppo delle Rocce incoerenti rappresentato dalle sabbie con ciottoli.

. Le valutazioni di carattere geotecnico riguardanti i differenti tipi di terreno scaturiscono sia da esperienze dirette di lavoro, che da bibliografia.

Rocce incoerenti

In questo complesso vengono raggruppati le sabbie con ciottoli.

Litologicamente possono essere definite come un'alternanza di termini sabbiosi a granulometria generalmente uniforme, con termini debolmente o mediamente cementati.

Possiedono una permeabilità per porosità media una discreta resistenza all'erosione.

In genere si tratta di terreni stabili, salvo che nelle aree particolarmente acclivi interessate da erosioni originate da deflussi superficiali.

Le valutazioni di carattere geotecnico riguardanti i differenti tipi di terreno scaturiscono sia da esperienze dirette di lavoro, che da bibliografia.

13. PERMEABILITA'

Come carta di base è stata utilizzata la carta geologica in scala 1:10.000, nella quale i

terreni affioranti sono stati suddivisi in classi di permeabilità in funzione delle caratteristiche granulometriche, idrauliche e del loro grado di cementazione e di fratturazione e quindi della loro capacità di infiltrazione e percolazione nel sottosuolo.

Successivamente sulla base dei censimenti dei punti d'acqua sono stati individuati e differenziati i corpi acquiferi superficiali e profondi, la cui geometria, condizioni idrostatiche ed idrodinamiche sono state rappresentate su cartografia mediante la costruzione di isopiezometriche.

6.1 Permeabilità

Il litotipo affiorante è stato inserito in un'unica classe di permeabilità con tipologia primaria (permeabilità per porosità).

a) litotipi per porosità:

a questo gruppo appartengono le sabbie con livelli calcarenitici.

Il grado di permeabilità varia in funzione della granulometria e dello stato di addensamento, ne consegue una discreta variabilità delle potenzialità degli acquiferi che in essi hanno sede.

6.2 Classi di permeabilità

Le due classi nelle quali sono stati raggruppati i litotipi presenti nel lotto sono, in ordine decrescente di permeabilità, le seguenti:

ALTA

Appartengono a questa classe i terreni sia a permeabilità primaria che mista.

I primi comprendono le sabbie fini giallo-rossastre mediopleistoceniche contenenti livelli conglomeratici alla base.

Si tratta di depositi prevalentemente sciolti, a grana medio-fine, di media densità, localmente a debole cementazione carbonatica; la permeabilità presenta valori compresi tra 10^{-3} e 10^{-1} m/sec. I terreni a permeabilità mista sono costituiti dalle sabbie con livelli

calcarenitici dei terrazzi marini. Il litotipo prevalente è caratterizzato da granulometria variabile dalle sabbie fini a quelle grossolane e grado di cementazione discreto in corrispondenza dei livelli calcarenitici; la permeabilità varia tra 10^{-3} e 10^{-2} m/sec.

14. PERICOLOSITA' RISCHIO IDROGEOLOGICO (P.A.I.)

L'area non è soggetta a rischio idrogeologico.

15. PRESCRIZIONI E INDICAZIONI ESECUTIVE

Il presente lavoro, redatto in conformità alle linee guida della circolare n. 3 del 20.06.2014, ha consentito di elaborare una serie di cartografie allegate che ha permesso di poter affermare quanto segue:

successione stratigrafica è rappresentata da:

m. 0.0 - m. 1.0 Terreno agrario

m. 1.0 - m.10.0 Sabbia con livelli calcarenitici

pericolosità rischio idrogeologico (p.a.i.) l'area non è soggetta a rischio idrogeologico.

geomorfologia non si riscontrano processi di dissesto in atto e/o potenziali proprio per la blanda morfologia.

litotecnica i terreni presenti, considerate le caratteristiche conosciute si possono inserire in unità litotecniche del:

“substrato”

H1 – Limi argillosi od argille

“copertura”

G1c – Sabbie con livelli calcarenitici

sismicità vista la classificazione sismica recepita con Delibera di Giunta Regionale n. 81 del 24/02/2022 il Comune di Vittoria rientra in **zona 2**

carta della pericolosità geologica non evidenzia fenomeni di pericolosità geologica

carta delle microzone omogenee in prospettiva sismica discrete caratteristiche della

risposta sismica

carta delle prescrizioni ed indicazioni esecutive discrete caratteristiche geomeccaniche delle calcareniti, il materiale di riporto deve essere completamente eliminato.

Dalla sintesi delle suddette carte è stata elaborata la

carta della suscettività del territorio dove si evidenzia che la zona è idonea alla edificazione.

Le falde superficiali sono ad una profondità a circa m. 3,00 dal piano campagna dato ottenuto dai sondaggi eseguiti in aree limitrofe.

Si dichiara che in relazione ai litotipi riscontrati in fase d'indagine si possono escludere fenomeni di liquefazioni. Come prescrizione e indicazione esecutiva si indica che al momento di realizzazione di immobili e infrastrutture si deve realizzare una opportuna indagine geognostica secondo quanto previsto dalla Normativa vigente (NTC2008 e successive modifiche).

Vittoria,

il geologo
(dott. Vincenzo La Pegna)

ALLEGATI

UBICAZIONE INDAGINE

B2a



= UBICAZIONE TROMINO



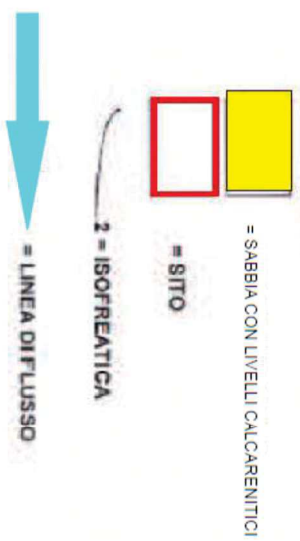
STRALCIO DEL FOGLIO 152 DI VITTORIA CON INDIVIDUATE LE PARTICELLE
190-192-193-497 SCALA 1:2000

CARTA GEOLOGICA - IDROGEOLOGICA - GEOMORFOLOGICA

SCALA 1: 10.000

B2b

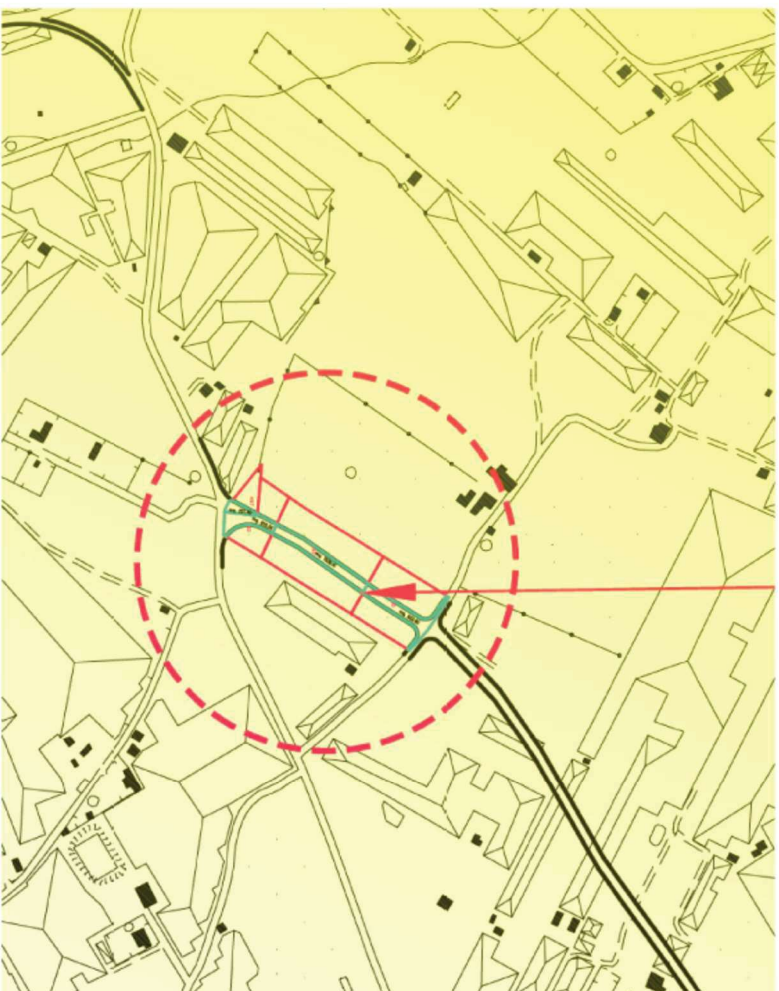
SITO



CARTA GEOLOGICA

(SCALA 1:2.000)

SITO



Terrazzi marini, sabbie giallastre con livelli arenifici (PLEISTOCENE MEDIO)

STRALCIO STUDIO GEOLOGICO P.R.G.

CARTA LITOTECNICA

SCALA 1:2.000

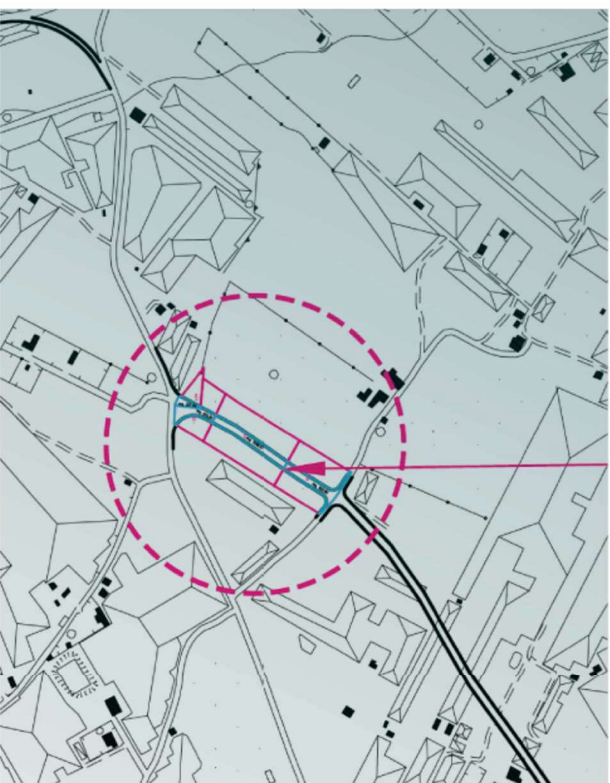


COPERTURA

B2b

G1c .- SABBIE CON LIVELLI CALCARENITICI

SITO



CARTA DELLA PERICOLOSITÀ' GEOLOGICA

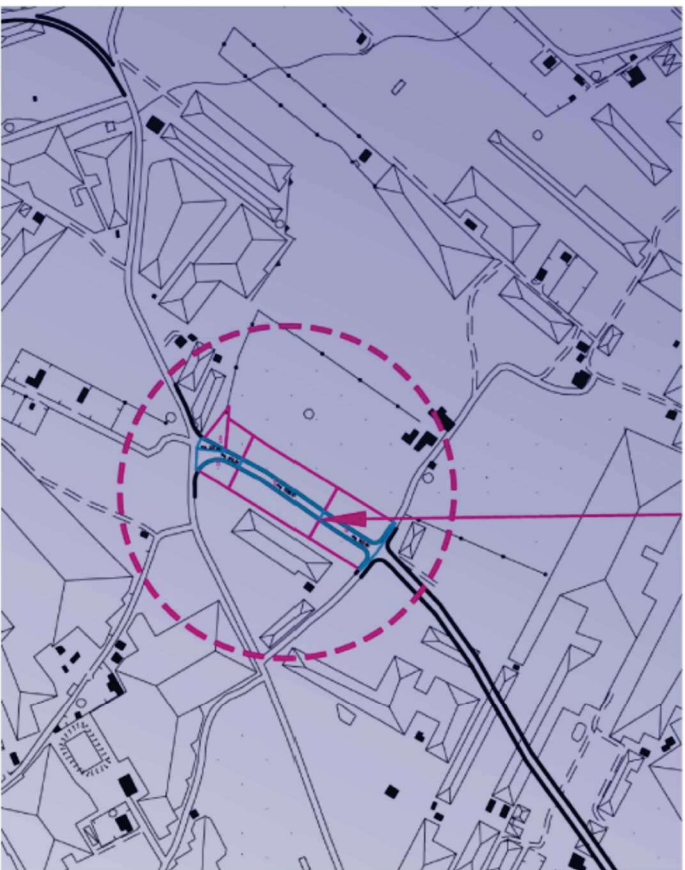
SCALA 1:2.000



= ZONA DOVE NON E' STATA RISCOINTRATA FENOMENI
DI PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

B2c

SITO



CARTA DELLA SUSCETTIVITÀ DEL TERRITORIO

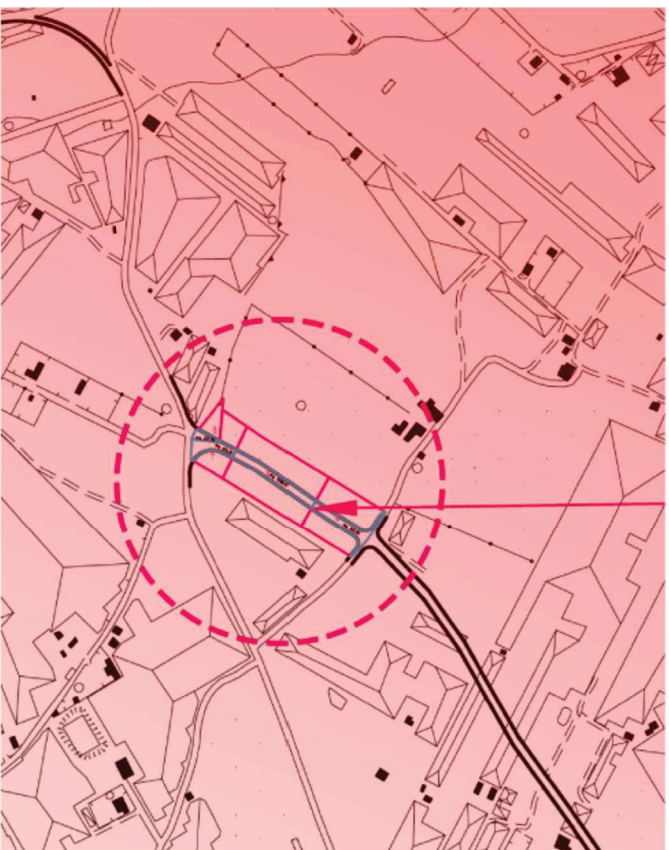
SCALA 1:2.000



= ZONA IDONEA ALLA EDIFICAZIONE

B2c

SITO



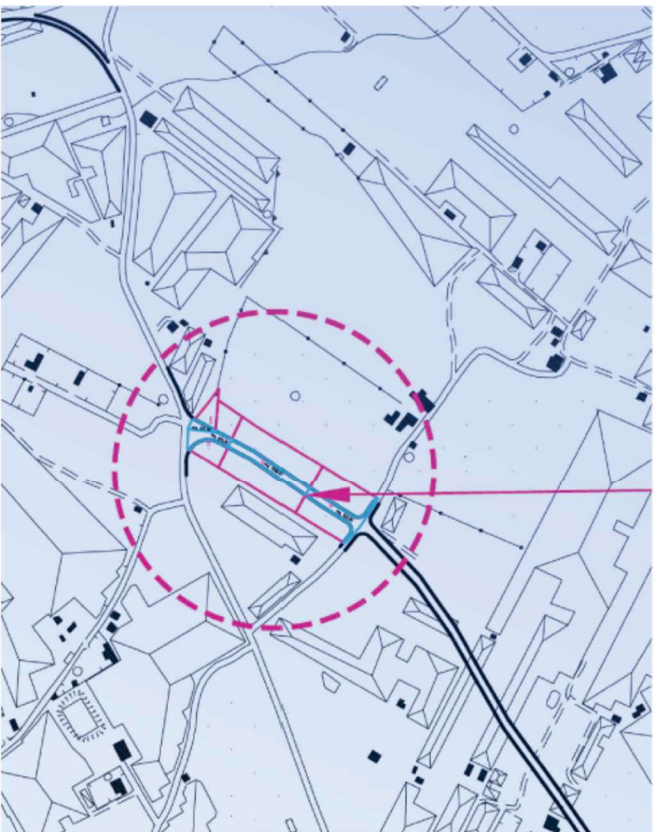
CARTA DELLE MICROZONE OMOGENEE IN PROSPETTIVA SISMICA

SCALA 1:2.000

 = ZONA CON DISCRETE CARATTERISTICHE DELLA
RISPOSTA SISMICA

B2c

SITO



CARTA DELLE PRESCRIZIONI ED INDICAZIONI ESECUTIVE

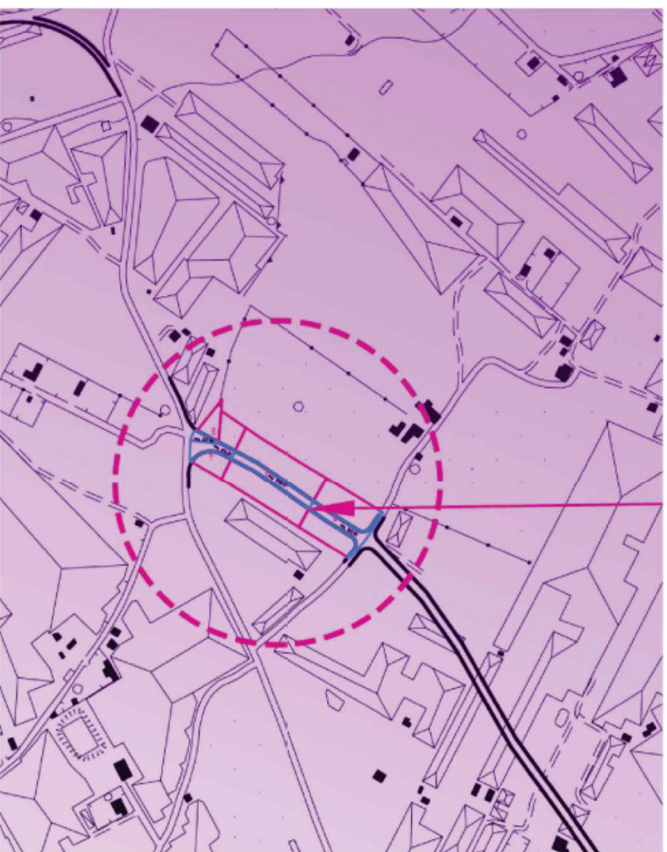
SCALA 1:2.000



= ZONA CON DISCRETA CARATTERISTICA GEO-MECCANICA

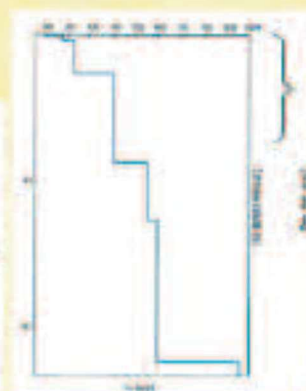
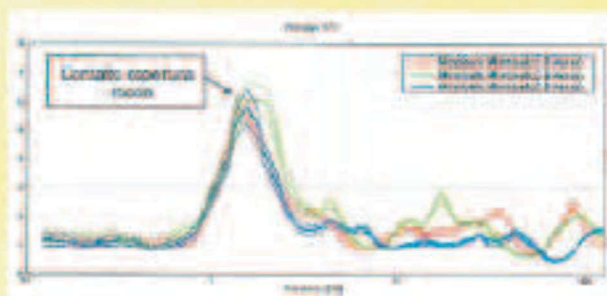
B2c

SITO



INDAGINE GEOFISICA CON METODO DEI MICROTREMORI

TECNICA DEI RAPPORTI SPETTRALI HVSR DI NAKAMURA



APPARECCHIATURA: *TROMINO*® MICROMED s.p.a. matricola n. TRZ-0046/01-09
SOFTWARE ELABORAZIONE *GRILLI*® MICROMED licenza n. 022446-061311

Il responsabile della prova
Dott. Geol. Vincenzo La Ragna



INDAGINE GEOFISICA MEDIANTE TECNICA DEI RAPPORTI SPETTRALI O HVSR (METODO DI NAKAMURA)

Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo e, in particolare, l'individuazione delle discontinuità sismiche nonché la profondità della formazione rocciosa compatta (bedrock geofisico). Con tale metodo viene stimata la velocità di propagazione delle onde di taglio come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018.

L'indagine geofisica proposta si avvale della metodologia basata sulla tecnica di Nakamura e sul rapporto spettrale H/V.

1. Cenni teorici

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è totalmente non invasiva, molto rapida, si può applicare ovunque e non necessita di nessun tipo di perforazione, né di stendimenti di cavi, né di energizzazione esterne diverse dal rumore ambientale che in natura esiste ovunque. I risultati che si possono ottenere da una registrazione di questo tipo sono:

- la frequenza caratteristica di risonanza del sito che rappresenta un parametro fondamentale per il corretto dimensionamento degli edifici in termini di risposta sismica locale in quanto si dovranno adottare adeguate precauzioni nell'edificare edifici aventi la stessa frequenza di vibrazione del terreno per evitare l'effetto di "doppia risonanza" estremamente pericolosi per la stabilità degli stessi;
- a frequenza fondamentale di risonanza di un edificio, qualora la misura venga effettuata all'interno dello stesso. In seguito sarà possibile confrontarla con quella caratteristica del sito e capire se in caso di sisma la struttura potrà essere o meno a rischio;
- la velocità media delle onde di taglio Vs calcolata tramite un apposito codice di calcolo. È necessario, per l'affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia (prova penetrometrica, sondaggio, ecc.) e riconoscibile nella curva H/V. E' possibile calcolare la Vs equivalente e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018.
- la stratigrafia del sottosuolo con un range di indagine compreso tra 0.5 e 700 m di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri. Il principio su cui si basa la presente tecnica, in termini di stratigrafia del sottosuolo, è rappresentato dalla definizione di strato inteso come unità distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto d'impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso;

Le basi teoriche della tecnica HVSR si rifanno in parte alla sismica tradizionale (riflessione, rifrazione, diffrazione) e in parte alla teoria dei microtremiti. La forma di un'onda registrata in un sito x da uno strumento dipende:

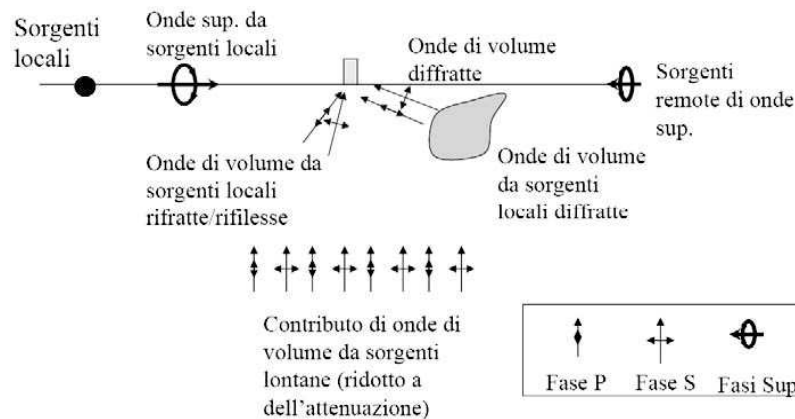
1. dalla forma dell'onda prodotta dalla sorgente s,
2. dal percorso dell'onda dalla sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda),
3. dalla risposta dello strumento.

Possiamo scrivere questo come:

segnale registrazione al sito x = sorgente * effetti di percorso * funzione trasferimento strumento.

Il rumore sismico ambientale, presente ovunque sulla superficie terrestre, è generato dai

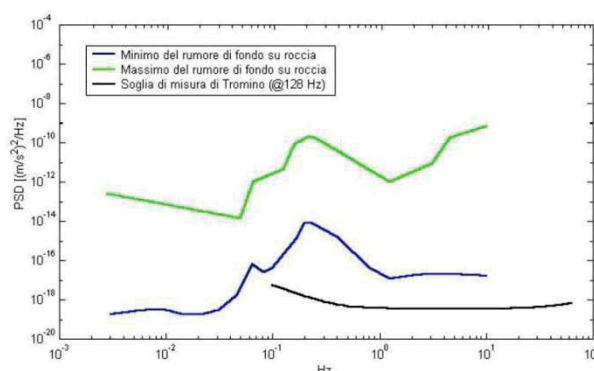
fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica oltre che, ovviamente, dall'attività dinamica terrestre. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto piccole, molto più piccole di quelle indotte dai terremoti. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come ad esempio le esplosioni della sismica attiva.



Nel tragitto dalla sorgente s al sito x le onde elastiche (sia di terremoto che microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda, attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartate dalla sismologia classica, contiene informazioni. Questa informazione è però "sepolta" all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune. Una di queste tecniche è la teoria dei rapporti spettrali o, semplicemente, HVSr che è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali dei sottosuoli; informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica.

2. Strumentazione e metodologia

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello "Tromino" che rappresenta la nuova generazione di strumenti ultra-leggeri e ultra-compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni. Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro ad alta definizione con intervallo di frequenza compreso tra 0.1 e 256 Hz. I dati vengono memorizzati in una scheda di memoria interna da 512 Mb, evitando così la presenza di qualsiasi cavo che possa introdurre rumore meccanico ed elettronico. Nella figura seguente si riporta la curva di rumore di "Tromino" a confronto con i modelli standard di rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra. Gli spettri di potenza sono espressi in termini di accelerazione e sono relativi alla componente verticale del moto.



I dati sono stati convertiti in file ASCII mediante il software "Grilla", fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza. Per evitare di introdurre basse frequenze spurie i dati sono stati corretti per offset e trend ma non filtrati così come raccomandato dalla norma DIN 4150-3.

In fase operativa si sono seguite le seguenti operazioni:

1. il rumore sismico è stato registrato nelle sue tre componenti per un intervallo di tempo dell'ordine delle decine di minuti (circa 20 minuti),
2. la registrazione è stata suddivisa in intervalli della durata di qualche decina di secondi ciascuno,
3. per ogni segmento viene eseguita un'analisi spettrale del segmento nelle sue tre componenti,
4. per ciascun segmento si calcolano i rapporti spettrali fra le componenti del moto sui piani orizzontale e verticale,
5. vengono calcolati i rapporti spettrali medi su tutti i segmenti.

Per considerare la misura ottenuta come una stima dell'ellitticità delle onde di Rayleigh è necessario che:

1. i rapporti H/V ottenuti sperimentalmente siano "stabili" ovvero frutto di un campionamento statistico adeguato,
2. gli effetti di sorgente siano stati effettivamente mediati ovvero non ci siano state sorgenti "dominanti",
3. la misura non contenga errori sistematici (per es. dovuti ad un cattivo accoppiamento dello strumento con il terreno)

Per la determinazione delle velocità delle onde di taglio si utilizza un codice di calcolo appositamente creato per interpretare i rapporti spettrali (HVSr) basati sulla simulazione del campo di onde di superficie (Rayleigh e Love) in sistemi multistrato a strati piani e paralleli secondo la teoria descritta in AKI (1964) e Ben-Menahem e Singh (1981). Il codice può elaborare modelli con qualsiasi numero di strati (limitati a 50 nella tabella d'input), in qualsiasi intervallo di frequenze e in un qualsiasi numero di modi (fondamentale e superiori). Operativamente si costruisce un modello teorico HVSr avente tante discontinuità sismiche quante sono le discontinuità evidenziate dalla registrazione eseguita. Successivamente, tramite uno specifico algoritmo, si cercherà di adattare la curva teorica a quella sperimentale; in questo modo si otterranno gli spessori dei sismostrati con la relativa velocità delle onde Vs.

Il complesso delle nuove norme tecniche per le costruzioni in zona sismica è stato varato con ordinanza n. 3274 del presidente del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 ed è stato pubblicato sulla Gazzetta Ufficiale l'8 maggio e successivamente ripreso dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018. Le nuove norme si compongono di quattro argomenti e in particolare in n°2 evidenzia le norme tecniche per il progetto, la valutazione e l'adeguamento sismico degli edifici. Come si legge nel documento esplicativo, la principale finalità del corpo delle nuove norme è quella di rinnovare profondamente le norme tecniche per le zone sismiche adottando, in modo omogeneo per tutto il paese, soluzioni coerenti con il sistema di norme già definito a livello europeo (Eurocodice 8). Per comprendere pienamente il significato della nuova normativa è necessario rifarsi al concetto di risposta sismica locale. Dal punto di vista strettamente fisico, per effetto di sito (risposta sismica locale) si intende l'insieme delle modifiche in ampiezza, durata e contenuto in frequenza che un moto sismico, relativo ad una formazione rocciosa di base (R), subisce attraversando gli strati di terreno sovrastanti fino alla superficie (S). Nel presente lavoro si sfrutterà la teoria di Nakamura che relazione lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale $H / V = 1$) con quello effettivamente misurato in superficie. La rappresentazione di un moto sismico può essere espressa sia nel campo del tempo che delle frequenze. Per capire la procedura per il calcolo del moto sismico in superficie analizziamo un caso semplificato di un deposito di

terreno omogeneo di spessore H , poggiante su un basamento roccioso soggetto ad onde di taglio con direzione di propagazione verticale. Se le onde di taglio verticali incidenti sono sinusoidali di frequenza f , l'accelerazione sull'affioramento rigido è una sinusoidale di frequenza f e ampiezza a_{maxr} mentre la corrispondente accelerazione alla superficie del deposito, anch'essa sinusoidale di frequenza f , ha ampiezza paria ad a_{maxs} . Il rapporto a_{maxr}/a_{maxs} prende il nome di fattore di amplificazione, A , e dipende dalla frequenza dell'eccitazione armonica, dal fattore di smorzamento del terreno e dal rapporto $I = (bV_b) / (sV_s)$ tra l'impedenza sismica della roccia di base bV_b e quella del deposito sV_s . La variazione del fattore di amplificazione con la frequenza definisce la funzione di amplificazione $A(f)$ del deposito. Il moto sismico è amplificato in corrispondenza di determinate frequenze, che corrispondono alle **frequenze naturali f_n** di vibrazione del deposito:

$$f_n = 1/T_n = (V_s \cdot (2n-1)) / (4 \cdot H) \quad \text{con } n=1,2,\dots,$$

[3.1] mentre risulta ridotto di amplificazione alle frequenze elevate a causa dello smorzamento del terreno. Di particolare importanza è la prima frequenza naturale di vibrazione del deposito f_1 , denominata **frequenza fondamentale di risonanza**:

$$f_1 = 1 / T_1 = V_s / 4H \quad [3.2]$$

E' quindi necessario porre estrema attenzione a fenomeni di "doppia risonanza", cioè la corrispondenza tra le frequenze fondamentali del segnale sismico così come trasmesso in superficie e quelle dei manufatti ivi edificati in quanto le azioni sismiche su di essi sarebbero, a dir poco, gravose.

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

$$\text{freq. Naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \quad [3.3]$$

E' la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura:

freq. naturale edificio $\approx$ freq. fondamentale di risonanza del sito [3.4] ad essere particolarmente pericolosa, poiché da luogo alla massima amplificazione e deve quindi essere oggetto di studi approfonditi.

Negli ultimi anni un progetto europeo denominato SESAME (Site Effects Assessment using AMBient Excitations) si è occupato di stabilire delle linee guida per la corretta esecuzione delle misure di microtremore ambientale in stazione singola e array. Esso ha anche fornito dei criteri per valutare la bontà delle curve HVSR e la significatività dei picchi H/V eventualmente trovati. In un'apposita tabella verranno evidenziati i risultati di detti criteri.

Per una corretta ricostruzione sismica del sottosuolo e una buona stima delle onde V_s è necessario adottare una modellizzazione numerica che può essere rappresentata dalla seguente equazione:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{j=2}^N \frac{h_j}{V_{s,j}}} = \frac{\sum_{j=1}^N h_j}{\sum_{j=1}^N \frac{h_j}{V_{s,j}}}$$

[3.5] dove:

- ✓ V_s = valore di velocità delle onde di taglio [m/s]
- ✓ H = profondità alla quale si desidera stimare V_s [m] (equivalente)
- ✓ h_i = spessore dello strato i -esimo [m]

In via puramente indicativa, al fine di correlare le velocità delle onde di taglio ad un tipo di suolo, si riportano una serie d'esempi di classificazioni fatte sulla base di semplici misure H/V a stazione singola. In tutti i siti descritti, la stratigrafia è nota da sondaggi e prove penetrometriche e il profilo V_s è ricavato anche con metodi alternativi.

TIPO DI SUOLO	Vs min [m/s]	Vs media [m/s]	Vs max [m/s]
ROCCE MOLTO DURE (es. rocce metamorfiche molto - poco fratturate)	1400	1620	-
ROCCE DURE (es. graniti, rocce ignee, conglomerati, arenarie e argilliti, da mediamente a poco fratturate).	700	1050	1400
SUOLI GHIAIOSI e ROCCE DA TENERE A DURE (es. rocce sedimentarie ignee tenere, arenarie, argilliti, ghiaie e suoli con > 20% di ghiaia).	375	540	700
ARGILLE COMPATTE e SUOLI SABBIOSI - GHIAIOSI (es. ghiaie e suoli con < 20% di ghiaia, sabbie da sciolte a molto compatte, limi e argille sabbiose, argille da medie a compatte e argille limose).	200	290	375
TERRENI TENERI (es. terreni di riempimento sotto falda, argille da tenere a molto tenere).	100	150	200

3. Interpretazione delle misure eseguite

L'interpretazione consente di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del substrato roccioso compatto (bedrock geofisico) e di individuare una corrispondenza tra i valori di frequenza relativi alle discontinuità sismiche e i cambi litologici presenti nell'immediato sottosuolo.

Interpretando i minimi della componente verticale come risonanza del modo fondamentale dell' onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si possono ricavare il valore di frequenza caratteristica del sito. Sapendo che ad ogni picco in frequenza corrisponde una profondità [m] dell'orizzonte che genera il contrasto d'impedenza si può estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo.

La frequenza caratteristica di risonanza del sito risulta generata dalla discontinuità sismica localizzata alle medie frequenze (circa 1,5 Hz) e associabile a contatto copertura - roccia. La sovrapposizione degli spettri sismici acquisiti (figura a seguire) mostra un andamento monodimensionale del substrato roccioso mentre per frequenze maggiori (minori profondità) si osservano sostanziali diversità.

DITTA: AZIENDA AGRICOLA GANGAROSSA S.R.L. C/DA ANGUILLA - VITTORIA

Instrument: TRZ-0046/01-09

Start recording: 05/06/25 10:05:59 End recording: 05/06/26 10:25:59

Channel labels: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

GPS data not available

Trace length: 0h16'00". Analyzed 75% trace (manual window selection)

Sampling frequency: 128 Hz

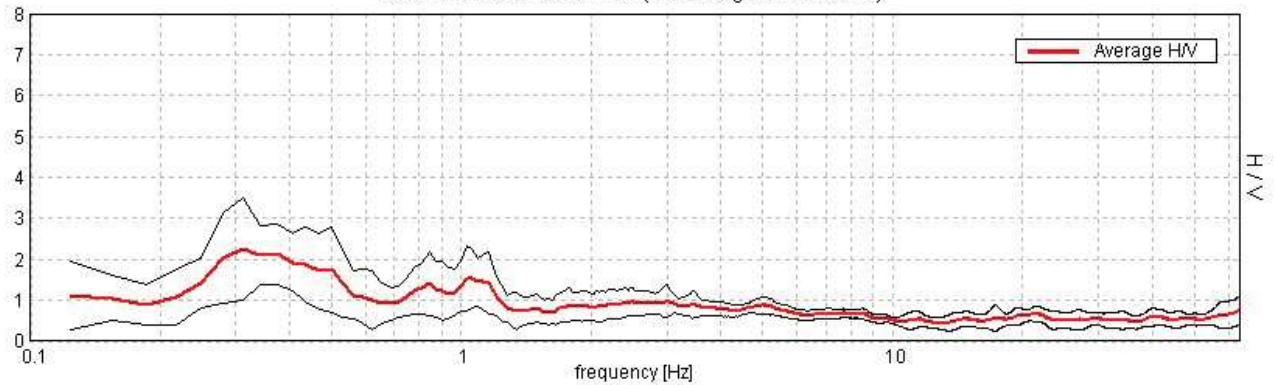
Window size: 20 s

Smoothing window: Triangular window

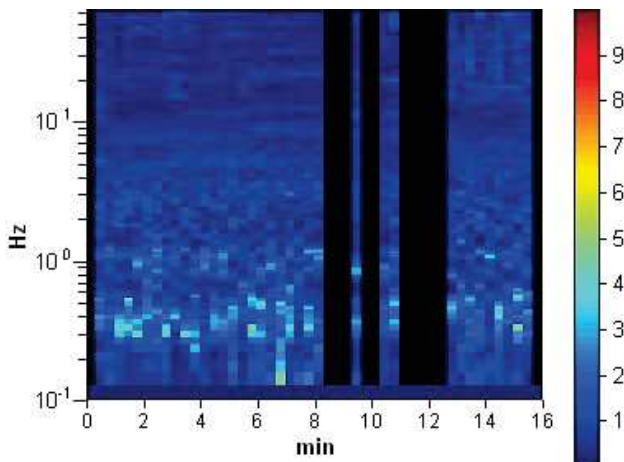
Smoothing: 5%

HORIZONTAL TO VERTICAL SPECTRAL RATIO

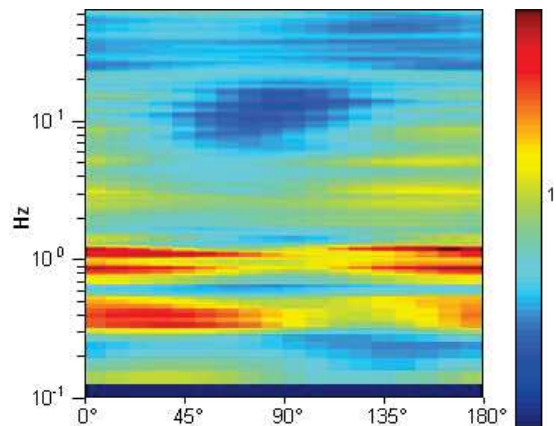
Max. H/V at 0.31 ± 0.01 Hz. (In the range 0.0 - 32.0 Hz).



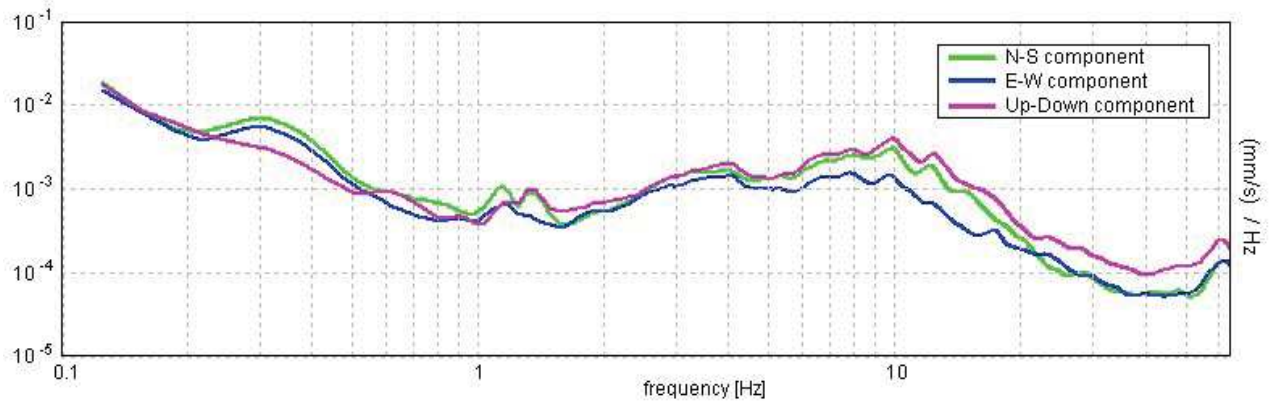
H/V TIME HISTORY



DIRECTIONAL H/V

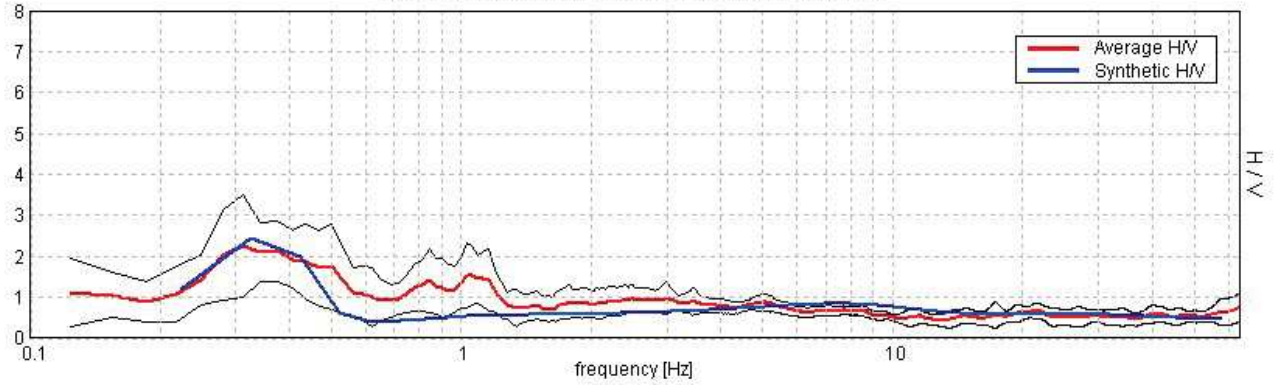


SINGLE COMPONENT SPECTRA



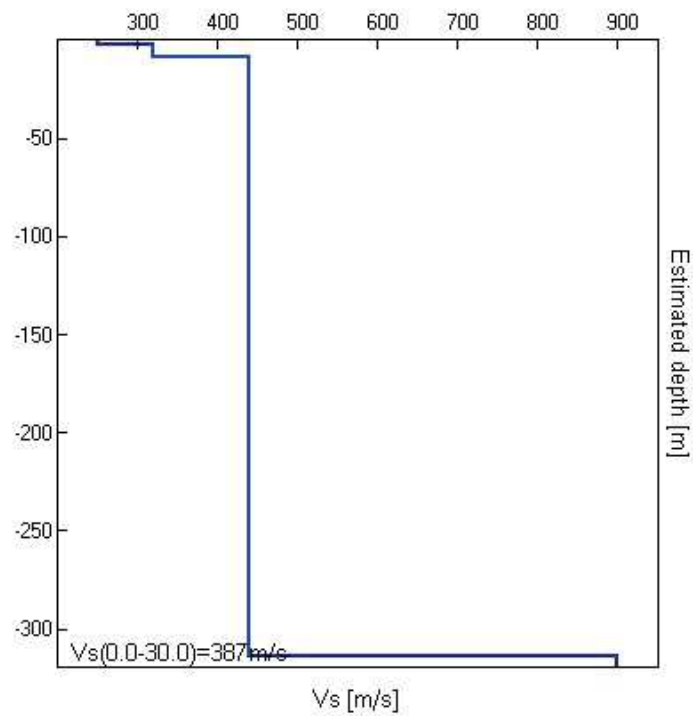
EXPERIMENTAL VS. SYNTHETIC H/V

Max. H/V at 0.31 ± 0.01 Hz. (In the range 0.0 - 32.0 Hz).



Depth at the bottom of the layer [m]	Thickness [m]	Vs [m/s]	Poisson ratio
1.00	1.00	250	0.35
9.00	7.00	320	0.35
314.00	305.00	440	0.35
inf.	inf.	900	0.35

$V_s(0.0-30.0)=387\text{m/s}$



È stato quindi possibile stimare, tramite la formula [3.5], la velocità delle onde Vs equivalente dal p.c. (Vs equivalente) come esplicitamente richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni del 17 gennaio 2018: **Vs equivalente $\approx$ 387 m/s.**

Nella tabella seguente, s'illustra la qualità del segnale acquisito in base al progetto SESAME (Linee guida 2005). Per l'affidabilità della curva HVSR devono essere positivi i primi tre parametri mentre per avere un chiaro e pulito segnale del picco massimo devono essere soddisfatti almeno cinque dei sei criteri successivi.

Max. H/V at 0.31 ± 0.01 Hz (in the range 0.0 - 32.0 Hz).

Criteria for a reliable HVSR curve

[All 3 should be fulfilled]

$f_0 > 10 / L_w$	$0.31 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$225.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Exceeded 0 out of 16 times	OK	

Criteria for a clear HVSR peak

[At least 5 out of 6 should be fulfilled]

Exists f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.219 Hz	OK	
Exists f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	0.563 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.26 > 2$	OK	
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.01039 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.00325 < 0.0625$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.6042 < 2.5$	OK	

L_w	window length
n_w	number of windows used in the analysis
$n_c = L_w n_w f_0$	number of significant cycles
f	current frequency
f_0	H/V peak frequency
σ_f	standard deviation of H/V peak frequency
$\varepsilon(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$
A_0	H/V peak amplitude at frequency f_0
$A_{H/V}(f)$	H/V curve amplitude at frequency f
f^-	frequency between $f_0/4$ and f_0 for which $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$
f^+	frequency between f_0 and $4f_0$ for which $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$
$\sigma_A(f)$	standard deviation of $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ is the factor by which the mean $A_{H/V}(f)$ curve should be multiplied or divided
$\sigma_{\log H/V}(f)$	standard deviation of $\log A_{H/V}(f)$ curve
$\theta(f_0)$	threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

Threshold values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$

Freq.range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	$0.25 f_0$	$0.2 f_0$	$0.15 f_0$	$0.10 f_0$	$0.05 f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
Log $\theta(f_0)$ for $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

4. Modello sismico locale

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di fondazione (Tab. 3.2.II - D.M. 17 gennaio 2018):

Categoria	Descrizione
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 grani fine 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 fine 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 fine 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.

Dalla ricostruzione del quadro geofisico emerso dal seguente studio, si ritiene opportuno inserire il sito in oggetto di studio nella **Categoria B Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grani fine 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.