

STUDIO DI GEOLOGIA

di Antonio VALERIO -

REGIONE PUGLIA

COMUNE DI BARLETTA

*REALIZZAZIONE DI ALLOGGI PER UTENZE DIFFERENZIATE NELL'AREA EX DISTILLERIA
NELL'AMBITO DEL CONTRATTO DI QUARTIERE II*

PROGETTO ESECUTIVO

RELAZIONE GEOLOGICA

COMMITTENTE

COMUNE DI BARLETTA

Geologo.

Antonio VALERIO

FEBBRAIO 2019

STUDIO DI GEOLOGIA

*Geol. Antonio VALERIO Via Dante Alighieri 31 - 70033 Corato (BA)-tel. 0809141858- cell. 3400957625 Ordine dei Geologi
di Basilicata n° 297-Email: toninoval@gmail.com -PEC: toninoval@epap.sicurezza postale.it - P.IVA: 01478660762*

Sommario

1.	Normativa di riferimento	3
2.	Premessa	3
3.	Analisi dei vincoli gravanti sull'area d'intervento.....	4
4.	Inquadramento geologico - stratigrafico.....	5
5.	Quadro geomorfologico ed idrogeologico	7
6.	Contenuto delle indagini	9
6.1.	Prove geofisiche	10
6.1.1.	MASW	10
6.1.2.	REMI.....	11
6.1.3.	HVSR.....	12
7.	Caratterizzazione geotecnica.....	15
8.	Modello geologico del sottosuolo.....	16
9.	Considerazioni sismiche	18
9.1.	Stima della pericolosità sismica di base.....	22
9.2.	Pericolosità sismica di sito	23
9.3.	Azione sismica.....	24
10.	Pericolosità geologica.....	27
11.	Conclusioni	27

Indice delle Figure

<i>Figura 1: Ubicazione area d'intervento.....</i>	<i>3</i>
<i>Figura 2: Carta geologica schematica regione Puglia.....</i>	<i>6</i>
<i>Figura 3: curva di dispersione MASW.....</i>	<i>11</i>
<i>Figura 4: curva di dispersione REMI.....</i>	<i>12</i>
<i>Figura 5: grafici del rapporto H/V.....</i>	<i>13</i>
<i>Figura 6: valori Vs30.....</i>	<i>14</i>
<i>Figura 7: modello geologico.....</i>	<i>17</i>
<i>Figura 8: zone sismogenetiche.....</i>	<i>18</i>
<i>Figura 9: Localizzazione del territorio comunale rispetto alla sorgente sismogenetica locale.....</i>	<i>19</i>
<i>Figura 10: storia sismica comune di Barletta.....</i>	<i>21</i>
<i>Figura 11 : valori di pericolosità sismica del comune di Barletta.....</i>	<i>22</i>

Indice delle Tabelle

<i>Tabella 1: dati eventi sismici per la città di Barletta.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabella 2: Coordinate nodi maglia.....</i>	<i>23</i>
<i>Tabella 3: Parametri spettrali caratteristici punto di interesse.....</i>	<i>24</i>

1. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Decreto ministeriale 14.01.08 - Testo Unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni

Consiglio superiore Lavori Pubblici: Istruzioni per l'applicazione delle “Norme Tecniche per le costruzioni” di cui al D.M. 14 gennaio 2008 Circolare 2 febbraio 2009.

Consiglio superiore Lavori Pubblici. Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.

Leggi Regionali in materiali pianificazione e di vincolo idrogeologico

Ordinanze Autorità di bacino nazionale, regionale o interregionali

2. PREMESSA

Il caso trattato riguarda la realizzazione di 16 alloggi della superficie dai 47 ai 59 mq circa netti ciascuno e di circa 500 mq di strutture di supporto per la collettività al piano terra. Il complesso si articola in un corpo principale (già edificio E del PdR, di altezza effettiva pari a 11,50 mt. alla gronda, 14,40 mt. al colmo), piano terra, primo piano e secondo piano.

Nella figura sottostante è indicata l'ubicazione dell'area interessata al progetto



Figura 1: Ubicazione area d'intervento

Il lavoro è stato condotto per incarico del comune di Barletta determinazione dirigenziale n.1409 del 05.10.2018, al fine di definire, secondo quanto prescritto dalla vigente normativa: i lineamenti geomorfologici della zona, gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto o potenziali e la loro tendenza evolutiva, la successione litostratigrafica locale, con la descrizione della natura e della distribuzione spaziale dei litotipi, del loro stato di alterazione e fratturazione e della loro degradabilità.

Il presente lavoro illustra i caratteri geostrutturali generali, la geometria e le caratteristiche delle superfici di discontinuità e fornisce lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea, inoltre definisce i lineamenti sismici dell'intera area.

Tutto ciò per esprimersi sulla fattibilità dell'intervento e pervenire ad una ricostruzione geologica di dettaglio per esprimersi sulla pericolosità geologica del sito.

Viste le caratteristiche dei terreni affioranti, per pervenire ad una ricostruzione geologica di dettaglio, per poter stabilire i lineamenti geomorfologici, il loro grado di evoluzione sono stati presi in considerazione le indagini:

- ✓ Rilevamento e studio geologico della zona;
- ✓ Esame della cartografia esistente e consultazione di pubblicazioni, dati riguardanti la zona ed aree limitrofe;

A corredo della relazione geologica sono presentati i seguenti elaborati:

- ✓ Ubicazione dell'area in studio con corografia in scala 1:10.000;
- ✓ Carta geomorfologia in scala 1:10.000;
- ✓ Stralcio carta ADB Puglia in scala 1:10.000;
- ✓ Stralcio PPTR in scala 1:10.000;
- ✓ Ubicazioni indagini in scala 1:2.000;

In allegato alla presente relazione:

- ✓ Indagini geofisiche.

3. ANALISI DEI VINCOLI GRAVANTI SULL'AREA D'INTERVENTO

In questo paragrafo sono presi in considerazione i vincoli paesaggisti, ambientali, vincoli naturalistici etc del PPTR, i vincoli idrogeologici.

Per ciò che riguarda il Piano Paesaggistico Territoriale Regionale (PPTR), il sito interessato dal progetto non risulta interessato da vincoli di sorta alcuna in riferimento al Sistema delle Tutele previste dal Piano per le singole componenti: geomorfologiche, idrologiche, botanico-vegetazionali,

aree protette e dei valori percettivi; rientrando soltanto negli ulteriori contesti delle componenti culturali e insediative, e precisamente in "città consolidata".

Per quanto riguarda il PAI l'area non ricade in aree a rischio perimetrate dall'autorità di Bacino della Puglia.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO - STRATIGRAFICO

Il territorio di Barletta (BT) ricade nel foglio 176 "Barletta" della carta geologica d'Italia, in tale foglio affiorano termini della successione calcareo-dolomitica cretacea delle Murge e su di essi poggiano in trasgressione i depositi Pleistocenici marini; sul fondo dei solchi erosivi si osservano depositi alluvionali recenti.

L'area di Barletta può essere considerata una zona di transizione fra due importanti domini paleogeografici e strutturali: quello dell'Avampaese Apulo (Piattaforma Carbonatica Apula p.p.) a SSE e quello dell'Avanfossa Appenninica (Fossa Bradanica s.s.) a NNO e SSE. Per tali ragioni l'area estesa in cui ricade la zona in esame è stata interessata da sedimentazione sia terrigena sia carbonatica con movimenti tettonici recenti (Olocene) fino a poco tempo fa del tutto sconosciuti (Caldara M. et al, 1996 e 2005).

In generale, nel sottosuolo di Barletta, sulle unità più antiche della piattaforma carbonatica apula ("Calcare di Bari", Cretaceo, Valanginiano-Hauteriviano), poggiano i depositi del primo ciclo trasgressivo della Fossa Bradanica, in zone riferibili al Pleistocene inferiore, rappresentati dalle "Calcareniti di Gravina" e dalle "Argille Subappennine".

Al di sopra si rinvengono, sia in affioramento sia in perforazioni profonde (pozzi idrologici Acquedotto Pugliese, Ente Irrigazione di Bari, Consorzio di Bonifica Apulo-Lucano, ecc.), sedimenti appartenenti a più cicli sedimentari marini che rappresentano il risultato combinato dei movimenti tettonici verticali, cominciati all'inizio del Pleistocene Medio e delle oscillazioni glacio-eustatiche del livello marino. Tali sedimenti appartengono alle numerose unità litostratigrafiche riferibili ai Depositi Marini Terrazzati costituiti da sabbie fini, calcareniti, silt ed argille in facies di spiaggia.

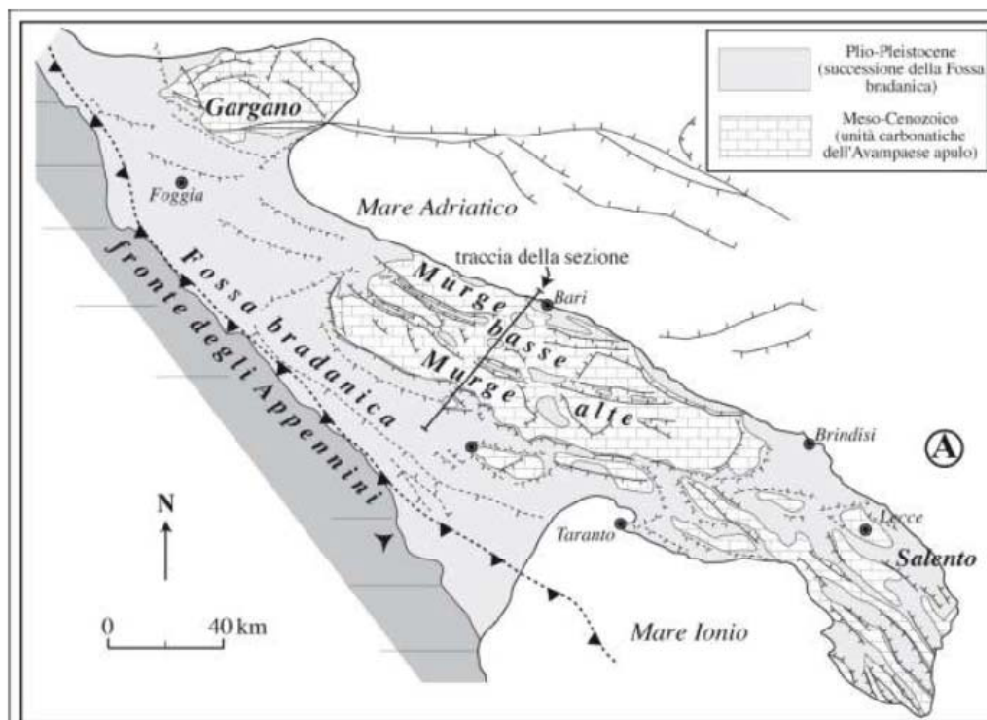


Figura 2: Carta geologica schematica regione Puglia

Il territorio di Barletta risulta caratterizzato, dal punto di vista geologico, come detto, dalla presenza di una successione di depositi marini ascrivibili al Plio-Pleistocene e depositi alluvionali ascrivibili all'Olocene (si veda stralcio della Cartografia Geologica allegato) al di sopra dei quali si osserva affiorare uno strato di materiale di riporto dello spessore variabile tra 0,5 e 3 metri di profondità dal piano campagna (non riportato in cartografia).

I depositi marini del Plio-Pleistocene (complesso sabbioso-siltoso-argilloso) si presentano con giacitura sub-orizzontale, con lieve inclinazione, generalmente inferiore a 10° , data dal normale degrado verso la linea di costa, posta a nord. Precedenti studi condotti sui depositi quaternari affioranti nella Tavoletta F. 176 1° N-0 Barletta consentono di ritenere i terreni in esame come sedimenti marini di paleolaguna o comunque di bacini chiusi in parte sovrapposti, giustapposti o sottostanti a depositi di facies prevalentemente terrigene eluviali ed alluvionali.

Morfologicamente la zona studiata, compresa tra il IV ed il V ordine di terrazzo, si configura con una tipica depressione strutturale del substrato, in gran parte ricolmata dai depositi post-pliocenici ed olocenici. Non sono evidenziabili riprese dei fenomeni dislocativi in epoca recente ma è tuttavia da presumere una lenta azione di sollevamento, accompagnata da una maggiore attività erosiva e dal graduale spostamento del paleo alveo (vedi contrada "Barbarisco") verso sud.

La morfologia del "pacchetto" pleistocenico, come detto, è quella tipica dei terrazzi marini costieri, ossia bassi ripiani con andamento parallelo alla linea di costa, che si raccordano alle spiagge attuali a mezzo di gradini o scarpate, di altezza non superiore ai 3-4 metri.

I depositi alluvionali dell'Olocene, invece, sono di costituzione recente e sono dati da detriti sciolti di ciottolame calcareo inglobati in matrice sabbiosa e/o argillosa, derivanti dalle sedimentazioni fluvio-lacustri e dallo smantellamento del "pacchetto" plio-pleistocenico.

Questi terreni sciolti hanno una potenza variabile, a seconda della giacitura ed inclinazione del substrato, ma in generale crescente da ovest verso est.

I ciottoli risultano poco arrotondati e poco appiattiti, con dimensioni via via decrescenti dall'alto verso il basso; si hanno intervallati frequenti lenti sabbiose e rare lenti argillose; la stratificazione è irregolare e poco inclinata; la composizione si presenta eterogenea ed il colore è spesso ocrao o rossastro.

La caratterizzazione geologica più importante è data dalle successioni stratigrafiche di terreni del ciclo sedimentario regressivo plio-pleistocenico che si evidenziano con la presenza di strati di sabbie limose, intercalate da livelli di argille ossidate grigio-verdi, a volte tendenti al marrone, e livelli di calcarenite grossolana poco cementata.

Tale formazione, prevalentemente siltosa, ha spesso come copertura una crosta calcarea molto fratturata, di spessore variabile tra i 30 ed i 40 centimetri. La formazione presenta uno spessore complessivo tra i 3,00 ed i 4,00 metri.

Questi terreni, dati da sabbie quarzose e calcaree, spesso cementate, di colore giallastro e di spessore variabile giacciono a mò di copertura sulle argille sottostanti.

I contatti o limiti geologici del passaggio fra le formazioni plio-pleistoceniche (sabbie) e i depositi alluvionali olocenici sono di difficile individuazione con il semplice rilevamento di campagna, per la presenza di fitta vegetazione che riveste la superficie di questi terreni e di urbanizzazioni lungo gli orli di terrazzo.

5. QUADRO GEOMORFOLOGICO ED IDROGEOLOGICO

L'aspetto topografico dominante dell'area estesa in cui ricade la zona in studio è quello tipico dei terrazzi marini affacciatisi lungo la linea di costa ubicata a circa 1.800 metri di distanza in direzione nord.

Il territorio, verso mare, è caratterizzato da numerose zone pianeggianti, talvolta di notevoli estensioni, che costituiscono gli ultimi lembi residui dell'azione marina in fase di colmamen-

to (regressione). Tali pianori possono essere talvolta fittamente incisi da solchi erosivi non sempre perpendicolari alla linea di costa.

Verso monte l'agro del Comune di Barletta è caratterizzato da rilievi collinari, con altezza media di 40 - 50 m s. l. m., con morfologia mammellonata, solcati da incisioni paleotorrentizie (lame) orientate verso nord-ovest, con tendenza verso il fiume Ofanto, o in direzione nord-est, cioè verso la linea di costa.

I rilievi degradano verso il mare, raccordandosi alle spiagge attuali a mezzo di piani, dati da vecchi terrazzi marini che assumono un orientamento SE-NW, ossia paralleli alla linea di costa, mentre il raccordo fra le strutture morfologiche dei pianori e delle spiagge attuali avviene con un cambio repentino di pendenza, con un salto di pochi metri.

Le forme topografiche del territorio sono condizionate in maniera determinante dalla natura delle rocce clastiche e l'acclività, più o meno accentuata, risulta strettamente legata allo stato di aggregazione ed all'assetto dei litotipi affioranti.

I materiali presenti sono, in generale, facile preda degli agenti erosivi e pertanto le forme del territorio sono in continua evoluzione: tale caratteristica accentua l'intensità di alcune zone in pendio, specie di quelle in cui compaiono litotipi scarsamente cementati a grana fine.

Nel comprensorio comunale di Barletta si individua la presenza di due falde idriche sotterranee, nettamente separate tra loro e distinte per tipologia, ubicazione e geometria degli acquiferi che le contengono. La prima è parte integrante della cosiddetta *falda idrica profonda pugliese auct.*; la seconda, dalle portate invero esigue se raffrontata alla precedente, viene definita in questa sede *falda idrica superficiale*.

La *falda idrica profonda auct.*, altrimenti nota con il termine di «falda carsica», ha l'acquifero che coincide con i tipi calcareo-dolomitici mesozoici del basamento apulo e le sue principali caratteristiche idrodinamiche dipendono dal grado di fessurazione e carsismo di quest'ultimo ma, soprattutto, dalle strutture plicative e disgiuntive, preplioceniche e neotettoniche, affioranti o sepolte della Piattaforma Carbonatica Apula

In posizione superiore alla falda profonda carsica e da questa separata tramite l'interposizione della gran parte della successione tipo del margine esterno dell'avanfossa, la falda idrica superficiale è ubicata nelle litofacie pleistocenico-oloceniche descritte per i depositi «marini terrazzati» e per quelli «fluvio-lacustri ed alluvionali».

La peculiarità predominante della falda in questione coincide con quella del suo acquifero che può definirsi semi-confinato, in stretta relazione con le numerose eteropie di facies individuate (Salvemini, 1984) tra tipi epiclastici caratterizzati da classi notevolmente differenti di permeabilità

primaria. Trattasi quindi di un sistema idrogeologico a ricarica essenzialmente stagionale ed in cui, per definizione, la superficie piezometrica può rinvenirsi ora a pelo libero ora in pressione, in funzione naturalmente delle quantità di acque di infiltrazione efficace.

Il limite inferiore della falda idrica superficiale è rappresentato dagli strati più profondi e praticamente impermeabili delle argille grigio-verdastre («argille a quadretti»); queste, essendo parte dei terreni ascritti alle coperture pleistocenico-oloceniche, non ne possono superare lo spessore massimo ricostruito ($H_{max} = 25$ m).

Essa si rinviene nei primi metri di profondità, è separata dalla falda profonda dalla presenza dei sedimenti pelitici presenti nel margine esterno dell' Avanfossa Subappenninica descritta in precedenza, il suo letto si trova localizzato nell'abitato ad una profondità di circa 10,00 metri dal piano campagna. A causa della presenza d'intervalli pelitici di notevole consistenza, la falda può rimanere confinata entro tale profondità, all'interno dei sedimenti argillosi saturi, o risalire per stabilizzarsi ad una quota tra 5 e 6 metri.

6. CONTENUTO DELLE INDAGINI

Le indagini geologiche e sismiche sono finalizzate alla ricostruzione del modello geologico del sottosuolo oltre a verificare la pericolosità del territorio sotto il profilo geolitologico sulla base delle caratteristiche dei terreni, della stabilità dei pendii, nonché sotto il profilo idraulico ed infine per valutare gli effetti locali e di sito in relazione alla valutazione del rischio sismico.

Dato la conoscenza dei luoghi, gli studi del passato per la definizione del modello geologico si sono eseguite le seguenti indagini¹:

- ✓ N° 2 indagine sismica passiva “Horizontal to Vertical Spectral Ratio – Metodo di Nakamura”
- ✓ N° 1 MASW per valutare V_s eseguita per lo studio del parcheggio interrato nell'area della ex distilleria;
- ✓ N° 1 REMI per valutare V_s eseguita per lo studio del parcheggio interrato nell'area della ex distilleria;
- ✓ N° 1 HVSR eseguita per lo studio del parcheggio interrato nell'area ex distilleria.

¹ Vedere tavola ubicazione indagini per la loro ubicazione

6.1. PROVE GEOFISICHE

Ricordiamo che la legge fisica a cui, occorre fare riferimento, per l'analisi della propagazione delle Onde, è:

$$V = \lambda f = \lambda/T$$

Pertanto per l'analisi degli spettri e curve di dispersione occorre fare riferimento alla sopra citata relazione, ricordando che V, rappresenta la Velocità delle onde di Rayleigh.

Occorre adesso fare un cenno sulla massima profondità di esplorazione delle tecniche in "array". In presenza di forti contrasti di impedenza sismica, l'analisi della curva di dispersione al di sopra della frequenza di risonanza, fornisce informazioni sul profilo di velocità delle onde S al di sopra del basamento risonante, in assenza di grandi contrasti di impedenza, la profondità di esplorazione, dipende da tre elementi:

- ✓ La frequenza di risonanza dei geofoni
- ✓ La dimensione dello stendimento
- ✓ Dalla presenza di segnale in bassa frequenza

Simulazioni numeriche e l'esperienza di campagna hanno dimostrato che in presenza di un segnale intenso, è possibile determinare differenze di fase fino a frequenze pari alla metà circa della frequenza propria dei sensori (f_0). In generale, però, questa frequenza è la minima raggiungibile.

Dato che la profondità di esplorazione è circa dell'ordine della metà della lunghezza d'onda ne risulta che la profondità di esplorazione è, dell'ordine di grandezza della dimensione dello stendimento.

6.1.1.MASW

Per valutare la velocità delle onde di taglio (V_s) con la profondità, a partire dal piano campagna è stata impiegata la tecnica che utilizza le onde superficiali, ovvero la tecnica MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves).

Nella tecnica di tipo indiretto – attivo MASW la generazione delle onde superficiali si ottiene con l'energizzazione in superficie con sistemi impulsivi, attraverso una mazza battente, conseguentemente si ha la formazione nel terreno di un treno di onde complesso comprendente onde di Rayleigh. La tecnica MASW similmente a quanto avviene per la sismica a rifrazione, si basa sulla registrazione dei primi arrivi delle onde superficiali prodotte, in corrispondenza di una catena di geofoni. Il risultato è quello di ottenere per lo stendimento geofisico, un profilo verticale del valore della velocità delle onde di taglio.

La profondità di indagine raggiunta con il rilievo MASW, è pari a circa: $\lambda/2,5$ dove la lunghezza d'onda λ è pari a $\lambda = V/f, = 270/9 = 30,00$ m. Profondità max = $\lambda/2,5 = 12$ m.

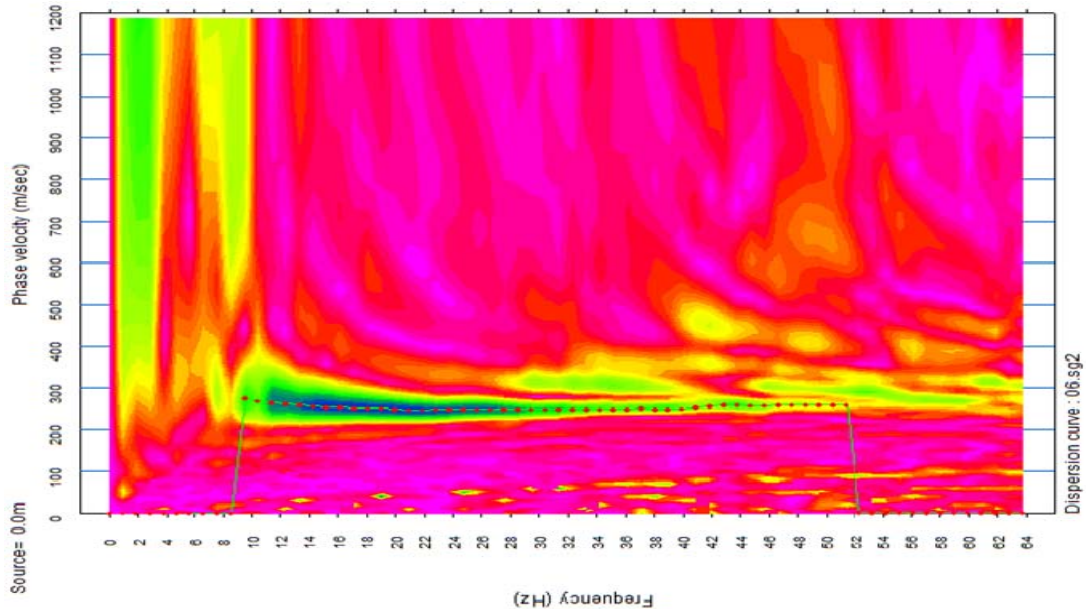


Figura 3: curva di dispersione MASW

6.1.2.REMI

Per valutare la velocità delle onde di taglio (V_s) con la profondità, a partire dal piano campagna è stata impiegata la tecnica che utilizza le onde superficiali, ovvero la tecnica “Re.Mi”.

L'indagine sismica passiva con metodologia “Re.Mi” permette di valutare la velocità media delle onde S. Questo metodo si fonda sull'analisi delle onde superficiali di Rayleigh, l'analisi dei microtremori prodotti dal rumore ambientale permette di discriminare con buona approssimazione le onde di Rayleigh dagli altri tipi di onde sismiche. Il segnale acquisito in campagna dopo essere stato elaborato viene rappresentato tramite un grafico lentezza-frequenza sul quale si esegue un picking, i cui valori vengono successivamente distribuiti su un diagramma Periodo-Velocità di fase. Maggiori dettagli si trovano nell'allegato alla presente relazione

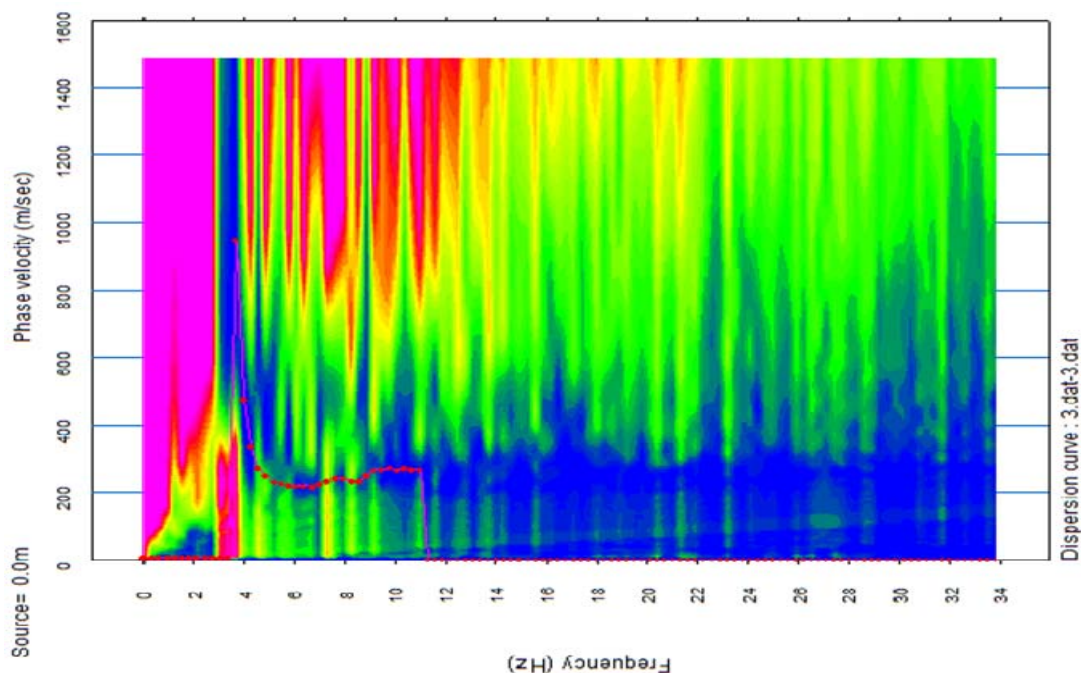


Figura 4: curva di dispersione REMI

Attraverso la procedura REMI, e quindi la Curva di dispersione sperimentale del Sito, “ben definita nell’intervallo tra 11 e 4 Hz, si è potuto caratterizzare porzioni di sottosuolo più Profonde, rispettivamente: Profondità Max = $\lambda/2.5$ $\lambda = V/f = 500/4 = 125$ m Profondità Max = $125/2.5 = 50$ m.

Il metodo REMI consente di definire la cosiddetta curva di dispersione sperimentale “effettiva” che rappresenta una combinazione delle diverse curve modali “pesate” in base al loro specifico contenuto energetico nel sito.

6.1.3.HVSR

L’indagine HSVR è stata eseguita con lo scopo di misurare la frequenza caratteristiche del sito per verificare la presenza di eventuali amplificazioni sismiche.

Il metodo dei rapporti spettrali (H/V o HVSR o anche “metodo di Nakamura”) nasce da studi condotti in Giappone attorno al 1950. Il metodo è basato sullo studio dei rapporti di ampiezza che nelle diverse frequenze di vibrazione (rapporti spettrali) esistono fra il rumore sismico misurato sul piano orizzontale (H) e quello misurato lungo la componente verticale (V). L’idea che sta alla base della procedura è quella secondo cui il rapporto H/V consente di eliminare il ruolo della sor-

gente isolando gli effetti delle modalità di propagazione delle onde sismiche. In particolare, si osserva che l'andamento dei rapporti spettrali in funzione della frequenza di vibrazione (funzione H/V) mostra dei massimi in corrispondenza delle frequenze di risonanza per le onde S generate da forti variazioni di velocità delle onde S presenti nel sottosuolo. Il riconoscimento delle frequenze di risonanza principali del sito permettono di indicare le tipologie edilizie che potranno subire la massima amplificazione del moto del suolo per effetto della doppia risonanza. Dall'analisi dei rapporti spettrali H/V, in un intervallo compreso tra 0,5 e 100 Hz si è individuata un picco elevato di frequenza del rapporto H/V (maggiore di 3) al valore di meno di 1,5 Hz, precisamente a 1,42 Hz.

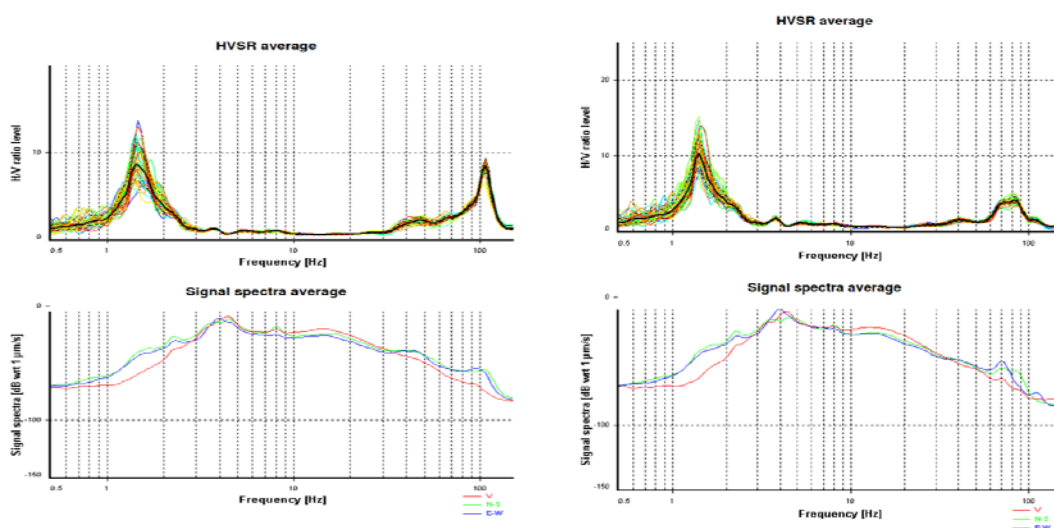


Figura 5: grafici del rapporto H/V

La curva HVS presenta diversi picchi quello maggiore è a circa 1,42 Hz. Inoltre ci sono delle discontinuità che rappresentano comunque delle variazioni brusche di velocità delle onde con la profondità. Lo scopo di questa indagine è la caratterizzazione sismica del sottosuolo ed in particolare l'individuazione di discontinuità sismiche nonché la profondità della formazione rocciosa compatta (bedrock geofisico).

La curva HVS presenta un picco netto a circa 1,42 Hz, corrispondente ad oltre 50 metri di profondità, dove si rinviene il tetto del substrato calcareo

In questa fase si è realizzato un modello di sottosuolo, che rispetti entrambi i fenomeni fisici, ossia, la dispersione delle onde di superficie per le MASW/REMI e i picchi di risonanza della curva H/V per HVS.

Questa operazione dà la possibilità di migliorare e raffinare notevolmente il modello in quanto le tre tecniche vanno a vincolarsi e a compensarsi a vicenda, ossia:

- ✓ La MASW caratterizza meglio le alte frequenze, ossia gli strati più superficiali.
- ✓ La REMI caratterizza meglio le medie - basse frequenze ossia gli strati a media profondità.
- ✓ La HVSR misura i contrasti di impedenza sismica.

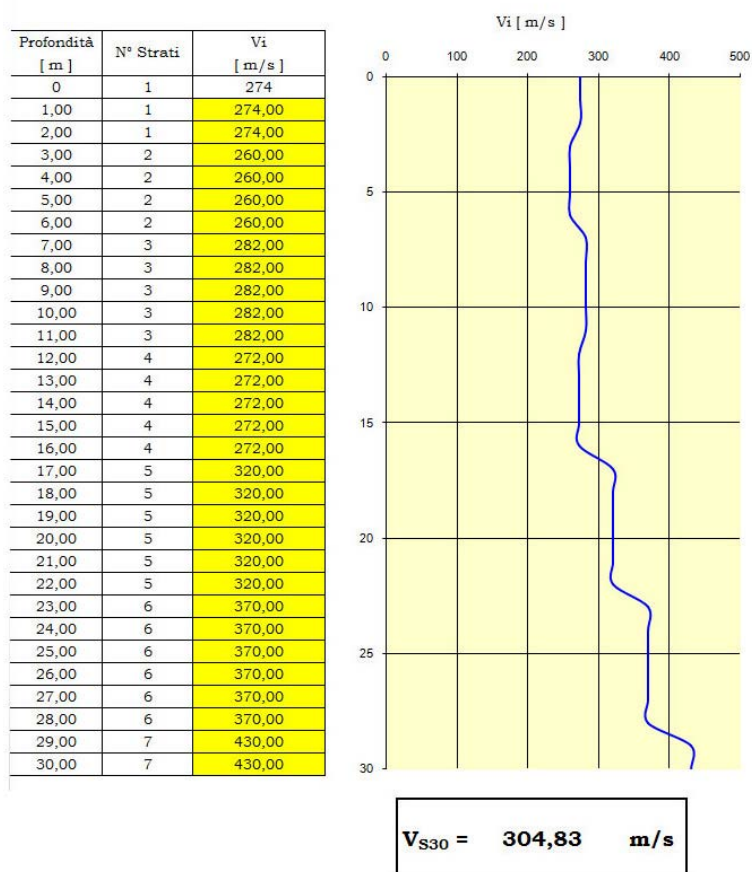


Figura 6: valori V_{S30}

Le indagini svolte hanno messo in evidenza delle velocità delle Vs di poco inferiori a 300 m/s fino a circa 16 metri fino ad arrivare a circa 430 m/s ai 30 metri di profondità²

Dalla combinazione delle indagini svolte è stato possibile determinare la velocità delle Vs ottenendo un valore di V_{S30} di circa 305 m/s compatibile con una categoria di sottosuolo di tipo C.

² Il piano di posa delle fondazioni è stato supposto a circa 1,50 dal piano campagna.

Le prove HVSR ha messo in evidenza un forte contrasto di impedenza ad una frequenza di circa 1,42 Hz, che rappresenta la frequenza fondamentale del terreno, dovuto alla diversa competenza tra il substrato calcareo e copertura sedimentaria.

7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

Non avendo ricevuto incarico per la modellazione geotecnica il sottoscritto ha deciso di inserire i seguenti parametri geotecnici che rappresentano dei valori medi su indagini svolte su terreni simili. I dati non rappresentano i valori reali del sito, le caratteristiche fisiche, vedi più sotto, sono puramente indicativi e non esprimono i valori caratteristici dei parametri geotecnici. Si ricorda che la scelta dei valori caratteristici deve derivare da una scelta cautelativa del valore del parametro appropriato per lo stato limite considerato.

Si rammenta che i valori che seguono non rappresentano i valori del sito oggetto di intervento ma si riferiscono a valori medi, si consiglia un opportuno approfondimento nella modellazione geotecnica del sito.

In particolare sono stati presi in considerazione i saggi e le prove penetrometriche eseguite sempre nella stessa area (ex distilleria) relative al progetto per la costruzione di un centro per alloggi per anziani e del progetto dell'orto botanico. La prova penetrometrica per gli alloggi anziani è stata eseguita su un preforo di 1,60 metri e si è spinta fino 7,60 m raggiungendo una profondità di 9,20 m.

Dall'analisi dei dati in possesso dello scrivente, dalla consultazione di studi precedenti è stato possibile caratterizzare la stratigrafia dell'area che è schematizzabile nel seguente modo:

- ✓ **Materiale detritico vegetale** avente uno spessore di circa 1,80 m;

$$\text{peso di volume del terreno} \quad \gamma = 18 \text{ Kg/cm}^3;$$

$$\text{angolo di attrito interno} \quad \varphi = 16^\circ;$$

$$\text{coesione} \quad c = 0 \text{ Kg/cm}^2$$

- ✓ **Sabbia limosa** con passaggio graduale ad sabbia argillosa verso il basso, che raggiunge 3,8 m metri al cui interno è presente **crosta calcarea** eterogenea nella composizione e nella giacitura avente spessore di 30-50 cm, le cui caratteristiche sono le seguenti:

$$\text{peso di volume del terreno} \quad \gamma = 19 \text{ Kg/cm}^3;$$

$$\text{angolo di attrito interno} \quad \varphi = 30^\circ;$$

$$\text{coesione} \quad c = 0 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\text{Modulo edometrico} \quad E_d = 110 \text{ Kg/cm}^2$$

- ✓ **argille fossilifere di colore grigio verde con presenza di noduli carbonatici** che raggiungono una profondità di circa 9-10 metri; , le cui caratteristiche sono le seguenti:

<i>peso di volume del terreno</i>	γ	= 19 -20 KN/m ³ ;
<i>angolo di attrito interno</i>	φ	= 24-27°;
<i>coesione</i>	c_u	= 0,37-0,66 Kg/cm ²
<i>Modulo edometrico</i>	E_d	= 30-60 Kg/cm ²

- ✓ **sabbie fine sciolte di colore rossastro** oltre i 10 metri; , le cui caratteristiche sono le seguenti:

- ✓ **la falda superficiale** è presente a circa 10 metri dal piano campagna, ma può essere presente anche a 5-6 metri di profondità.

8. MODELLO GEOLOGICO DEL SOTTOSUOLO

Lo studio geologico è stato esteso ad una zona significativamente estesa, considerando il tipo di opera ed il contesto geologico in cui si colloca. Si è proceduto ad rilevamento geologico che ha permesso di ricostruire una stratigrafia abbastanza di dettaglio.

Il territorio comunale di Barletta, a pochi chilometri dalla foce del Fiume Ofanto, è parte integrante della zona di transizione di due fra i domini paleogeografici e strutturali di prim'ordine concordemente riconosciuti da più studiosi nell'Italia Meridionale: la Piattaforma Carbonatica Apula a SSE e l'Avanfossa Sudappenninica a NNO e SSE.

La presenza di numerose perforazioni di pozzi ha permesso di determinare un modello geologico attendibile. Il territorio di Barletta presenta un substrato calcareo che è dislocato a diverse altezze a causa di faglie dirette che hanno abbassato porzioni di territorio, in particolare, sono state riconosciute due lineazioni bordiere delle Murge Basse Andriesi, normali tra loro, l'una ad andamento NNE-SSO grosso modo lungo il canale Camaggi (direttrice tirrenica da taluni indicata come «faglia sepolta di Barletta») e l'altra ONO- ESE , allineamento Casino Cafiero Madonna dello Sperpeto (coincidente pressappoco con l'asse di allungamento di una paleolaguna situata tra il IV ed il V ordine di terrazzi presenti nell'area).

Nell'area di interesse il tetto del substrato calcareo è posto oltre i 50 metri di profondità, dato rilevabile dal picco della prova HVSR e dai dati dei pozzi presenti in zona. Il tutto è ricoperto dalle coperture pliocenico e quaternarie che sono rappresentati dalla Calcarenite di Gravine, dalle Argille subappennine, che hanno uno spessore maggiori di 30 metri.

Al di sopra ci sono i depositi terrazzati e fluvio lacustri che raggiungono anche 20 metri di spessore. Questi depositi sono un'alternanza aperiodica di sabbie più o meno limose, argille sabbiose, sabbie argillose sino a non meno di 15 - 20 m di profondità, con lembi residui di crosta al tetto. All'interno di questi sedimenti è presente una falda freatica superficiale, il cui letto si trova localizzato nell'abitato ad una profondità di circa 10,00 metri dal piano campagna. A causa della presenza d'intervalli pelitici di notevole consistenza, la falda può rimanere confinata entro tale profondità, all'interno dei sedimenti argillosi saturi, o risalire per stabilizzarsi ad una quota tra 5 e 6 metri.

Questa relazione, pertanto, seguendo i dettami della norma vigente e dello stato dell'arte ha realizzato la costruzione del modello geologico, mettendone in evidenza le problematiche geologiche ed alcune incertezze che devono essere sviluppate nella redazione del successivo modello geotecnico, facente parte della relazione geotecnica.

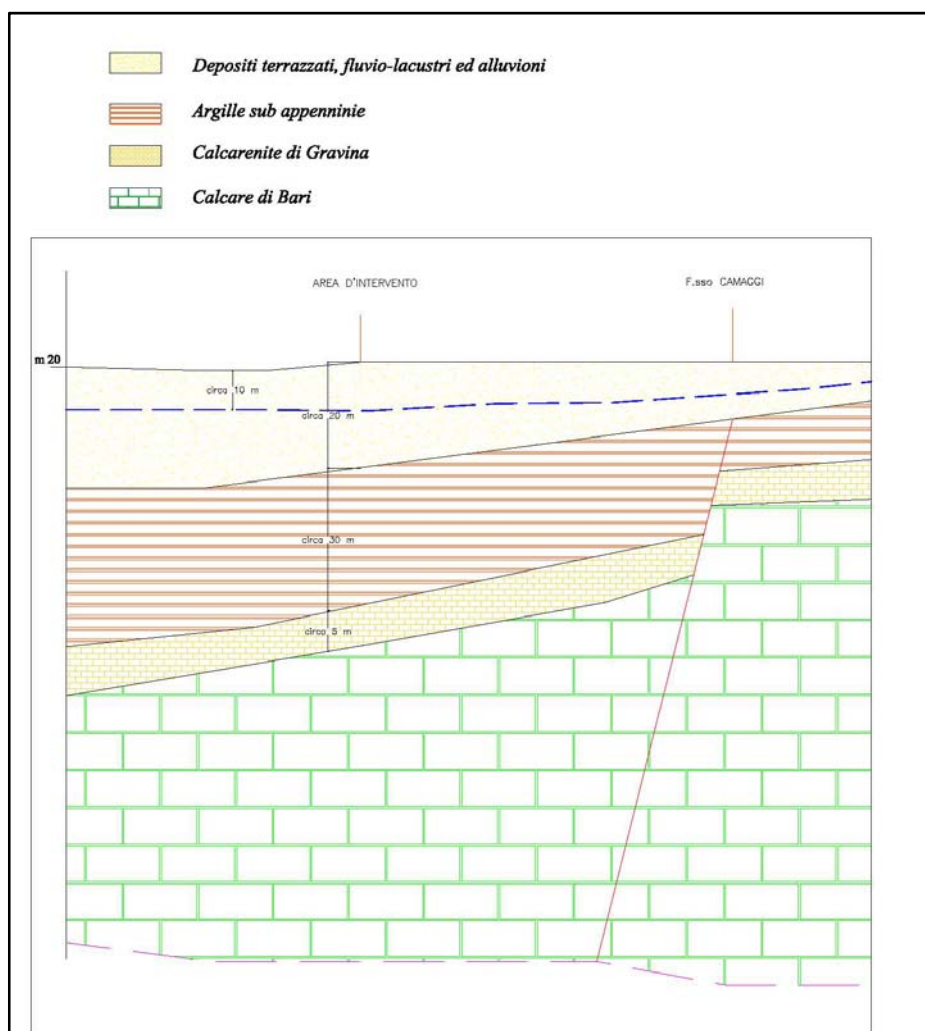


Figura 7: modello geologico

9. CONSIDERAZIONI SISMICHE

L'analisi della sismicità, intesa come distribuzione spazio-temporale dei terremoti in una determinata area, costituisce il primo tassello per gli studi di valutazione della pericolosità sismica di base.

Trattandosi di modelli probabilistici, infatti, le caratteristiche sismotettoniche e le modalità di rilascio dell'energia sismica pregressa consentono la messa a punto di modelli previsionali dell'attività sismica attraverso una quantificazione dei livelli di accelerazione attesi.

La zona sismica di pertinenza del territorio di Barletta rientra nella zona sismogenetica 925 (zonazione ZS9), sottolineando la presenza di strutture geologiche in grado di generare terremoti (le cosiddette "faglie capaci"). Per definire queste zone sono state utilizzate molte fonti quali le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane del DISS (Database of the Individual Sismogenetic Sources). L'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia mette in rete, nell'ambito del Progetto DISS3, le informazioni (<http://diss.rm.ingv.it>) riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismico-tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche presenti sul territorio nazionale.

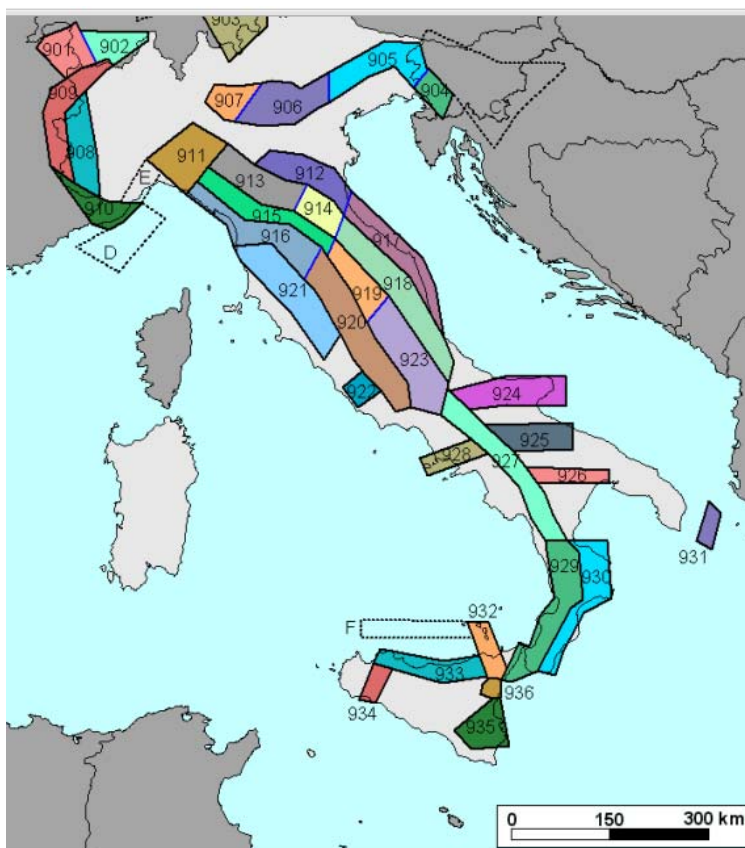


Figura 8: zone sismogenetiche

Il territorio di Barletta risulta compreso nella sorgente sismogenetica composta classificata come ITCS004: Castelluccio dei Sauri-Trani

L'area di intervento dista circa 10 km dal limite della zona sismogenetica 925.

Per definire queste zone sono stati utilizzate molte fonti quali le informazioni sulle sorgenti sismogenetiche italiane del DISS (Database of the Individual Sismogenetic Sources).

L'Istituto Nazionale di Geofisica e di Vulcanologia mette in rete, nell'ambito del Progetto DISS3, le informazioni (<http://diss.rm.ingv.it>) riguardanti la distribuzione spaziale e le caratteristiche sismico-tettoniche delle Sorgenti Sismogenetiche presenti sul territorio nazionale.

Il territorio di Barletta risulta compreso nella sorgente sismogenetica composta classificata come ITCS004: Castelluccio dei Sauri-Trani

Il sito oggetto d'intervento è situato nell'abitato di Barletta e dista circa 10 km dal limite della zona sismogenetica 925.

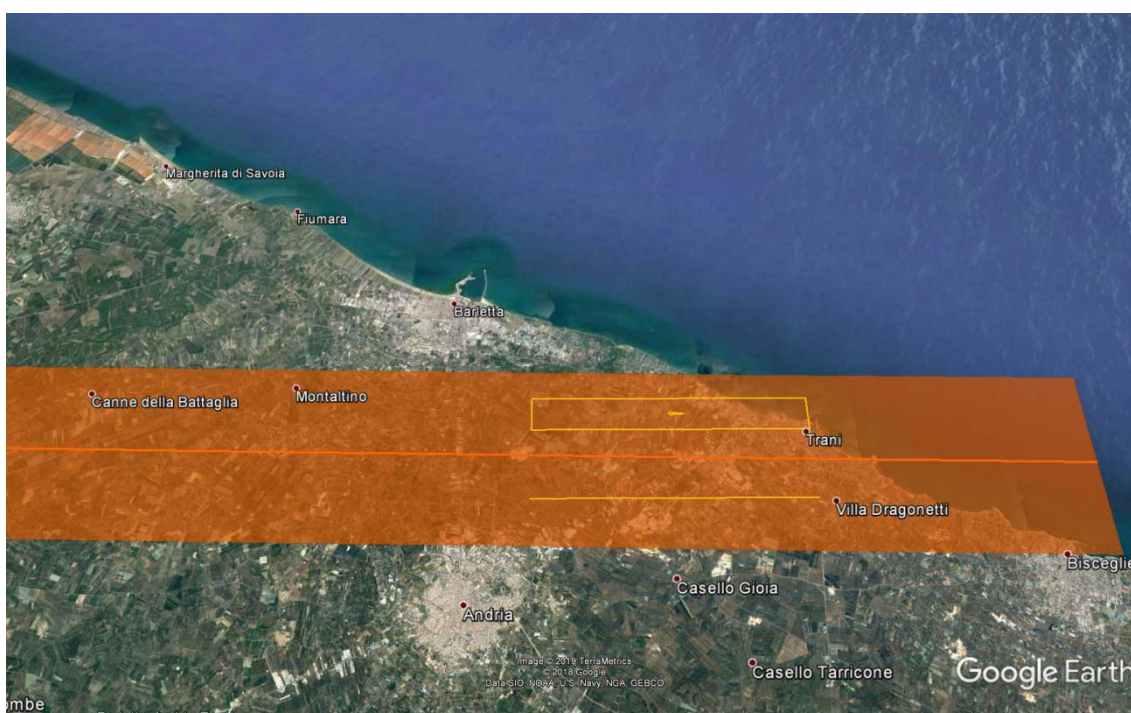


Figura 9: Localizzazione del territorio comunale rispetto alla sorgente sismogenetica locale

La versione 2015 del Database delle Osservazioni Macrosismiche Italiane (a cura Locati M., al.(2016). DBMI15, the 2015 version of the Italian Macro seismic Database. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi: <http://doi.org/10.6092/INGV.IT-DBMI15i>, 2016. DBMI15, <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI15>.) riporta la storia sismica di Barletta.

Dalla consultazione dei cataloghi sismici redatti dall'Istituto di Geofisica e Vulcanologia per gli studi di pericolosità risulta che:

- ✓ l'area comunale è caratterizzata da eventi sismici non frequenti e di intensità massima rilevata dell'ordine del 7-8° grado della scala Mercalli;
- ✓ le località epicentrali per gli eventi che hanno prodotto i maggiori risentimenti/danni (osservazioni macrosismiche) provengono da zone appartenenti ad aree limitrofe Gargano, dell'appennino lucano e delle regioni limitrofe.

Tabella 1: dati eventi sismici per la città di Barletta

PlaceID	IT_62301
Coordinate (lat, lon)	41.319, 16.279
Comune (ISTAT 2015)	Barletta
Provincia	BT
Regione	Puglia
Numero di eventi riportati	43

Effetti	In occasione del terremoto del						NMDP	Io	Mw	
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale			
6	1456	12	05				Appennino centro-meridionale	199	11	7.19
8	1560	05	11	04	40		Costa pugliese centrale	7	8	5.66
6-7	1689	09	21				Costa pugliese centrale	3	6-7	4.86
6	1694	09	08	11	40		Irpinia-Basilicata	251	10	6.73
6-7	1720	06	07				Tavoliere delle Puglie	7	6-7	5.22
7-8	1731	03	20	03			Tavoliere delle Puglie	49	9	6.33
5	1731	05	10	05	20		Costa pugliese centrale	3	5-6	4.40
6-7	1731	10	17	11			Tavoliere delle Puglie	6	6-7	4.86
7	1743	02	20				Ionio settentrionale	84	9	6.68
6-7	1851	08	14	13	20		Vulture	103	10	6.52
F	1851	08	14	14	40		Vulture	10	7-8	5.48
5-6	1856	05	12	01	45		Barese	5	5-6	4.40
6-7	1857	12	16	21	15		Basilicata	340	11	7.12
4	1858	05	24	09	20		Tavoliere delle Puglie	13	4-5	4.35
7	1875	12	06				Gargano	97	8	5.86
3	1905	08	18	04	07		Tavoliere delle Puglie	41	5	4.61
NF	1905	11	26				Irpinia	122	7-8	5.18
5	1910	06	07	02	04		Irpinia-Basilicata	376	8	5.76
2-3	1912	07	02	07	34		Tavoliere delle Puglie	49	5	4.55

Effetti	In occasione del terremoto del									
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
3	1913	10	04	18	26		Molise	205	7-8	5.35
NF	1915	01	13	06	52	4	Marsica	1041	11	7.08
3	1919	10	21	00	24		Gargano	24	5-6	5.03
4	1925	08	25	05	10		Gargano	14	5	4.92
5-6	1930	07	23	00	08		Irpinia	547	10	6.67
3	1931	12	03	09	32		Tavoliere delle Puglie	12	6	4.59
4	1951	01	16	01	11		Gargano	73	7	5.22
NF	1956	09	22	03	19	3	Gargano	57	6	4.64
NF	1963	02	13	12	45		Potentino	31	7	5.19
3	1967	12	09	03	09	5	Adriatico centrale	22		4.36
2-3	1973	08	08	14	36	2	Appennino campano-lucano	29	5-6	4.75
5	1975	06	19	10	11		Gargano	61	6	5.02
F	1978	09	24	08	07	4	Materano	121	6	4.75
5	1980	11	23	18	34	5	Irpinia-Basilicata	1394	10	6.81
NF	1984	04	29	05	02	5	Umbria settentrionale	709	7	5.62
3-4	1988	04	26	00	53	4	Adriatico centrale	78		5.36
NF	1990	02	18	20	10	4	Adriatico centrale	46		4.24
4-5	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
3-4	1991	05	26	12	25	5	Potentino	597	7	5.08
4-5	1995	09	30	10	14	3	Gargano	145	6	5.15
NF	1996	04	03	13	04	3	Irpinia	557	6	4.90
4	2006	05	29	02	20	0	Gargano	384		4.64
NF	2006	10	04	17	34	2	Adriatico centrale	98	4-5	4.30
2	2006	12	10	11	03	4	Adriatico centrale	54		4.48

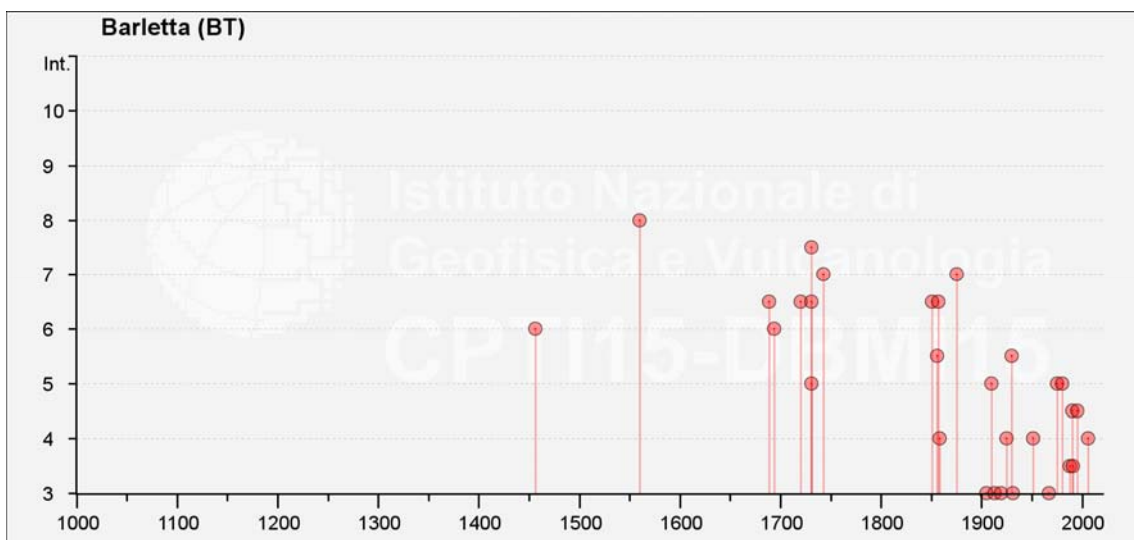


Figura 10: storia sismica comune di Barletta

9.1. STIMA DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DI BASE

La pericolosità sismica di base, cioè le caratteristiche del moto sismico atteso al sito di interesse, nelle NTC08, per una determinata probabilità di superamento, si può ritenere definita quando vengono designati un'accelerazione orizzontale massima (a_g) ed il corrispondente spettro di risposta elastico in accelerazione, riferiti ad un suolo rigido e ad una superficie topografica orizzontale.

Per poter definire la pericolosità sismica di base le NTC08 si rifanno ad una procedura basata sui risultati disponibili anche sul sito web dell'INGV <http://esse1-gis.mi.ingv.it/>, nella sezione "Mappe interattive della pericolosità sismica".

I dati di pericolosità sismica del territorio del comune di Corato hanno valori di accelerazione massima al suolo compresi tra 0,15 e 0,20 g (vedi figura sotto).

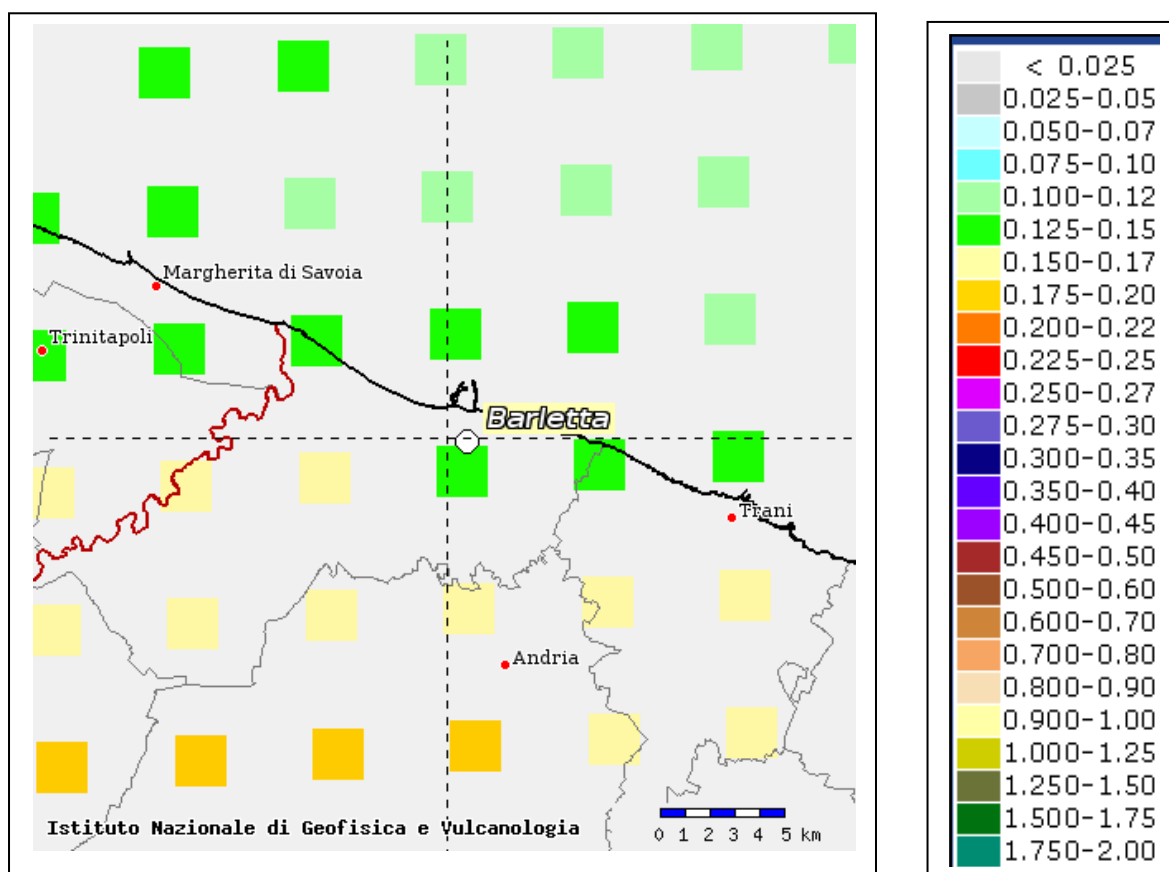


Figura 11 : valori di pericolosità sismica del comune di Barletta

Secondo le NTC18 le forme spettrali sono definite per 9 differenti periodi di ritorno TR (30, 50, 72, 101, 140, 201, 475, 975 e 2475 anni) a partire dai valori dei seguenti parametri riferiti a terreno rigido orizzontale, cioè valutati in condizioni ideali di sito, definiti nell'Allegato A alle NTC18:

a_g = accelerazione orizzontale massima;

F_0 = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;

TC^* = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

I tre parametri si ricavano per il 50° percentile ed attribuendo a:

a_g , il valore previsto dalla pericolosità sismica S1

F_0 e TC^* i valori ottenuti imponendo che le forme spettrali in accelerazione, velocità e spostamento previste dalle NTC08 scartino al minimo dalle corrispondenti forme spettrali previste dalla pericolosità sismica S1 (il minimo è ottenuto ai minimi quadrati, su valori normalizzati).

9.2. PERICOLOSITÀ SISMICA DI SITO

Il moto generato da un terremoto in un sito dipende dalle particolari condizioni locali, cioè dalle caratteristiche topografiche e stratigrafiche dei depositi di terreno e degli ammassi rocciosi e dalle proprietà fisiche e meccaniche dei materiali che li costituiscono. Per la singola opera o per il singolo sistema geotecnico la risposta sismica locale consente di definire le modifiche che un segnale sismico subisce, a causa dei fattori anzidetti, rispetto a quello di un sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (sottosuolo di categoria A).

Il sito di interesse ricade nella maglia con i seguenti nodi.

Tabella 2: Coordinate nodi maglia

Punto	ID	Latitudine (ED50) [°]	Longitudine (ED50) [°]	Distanza [m]
1	31010	41,3023	16,2192	5213,995
2	31011	41,3007	16,2857	1554,909
3	30789	41,3507	16,2879	4143,029
4	30788	41,3523	16,2214	6474,446

Ad ognuno di questi nodi sono associati dei parametri di pericolosità sismica in termini di a_g , F_0 e C . Per interpolazione sulla base delle coordinate del sito si ottengono, per i quattro stati limite indicati dalla sopracitata NCT/08, i parametri spettrali caratteristici (a_g , F_0 , TC^*) per il calcolo dell'azione sismica di progetto di seguito riportati.

Le coordinate del sito sono: Latitudine (ED50): 41,313942° Longitudine (ED50): 16,279689°

Parametri di pericolosità sismica per TR diversi da quelli previsti nelle NTC08, per il sito di riferimento sono:

Tabella 3: Parametri spettrali caratteristici punto di interesse

Stato limite	Tr [anni]	ag [g]	F0 [-]	Tc* [s]
SLO	30	0,038	2,517	0,268
SLD	50	0,048	2,562	0,294
SLV	475	0,143	2,570	0,378
SLC	975	0,198	2,473	0,410

9.3. AZIONE SISMICA

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi, come indicato nel § 7.11.5 delle NTC-08. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento a un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento (Tab. 3.2.II delle NTC-08) e valutando le condizioni topografiche.

Categorie di sottosuolo (§ 3.2.2 NTC-08)

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, 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 con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).
D	Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina).
E	Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s).

In aggiunta a queste categorie ce ne sono altre per le quali sono richiesti studi speciali per la definizione dell'azione sismica:

- ✓ S1 – Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità ($IP > 40$) e contenuto di acqua, caratterizzati da valori di $VS_{30} < 100$ m/s ($10 < c_u < 20$ kPa).
- ✓ S2 – Depositi di terreni soggetti a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti.

Condizioni topografiche (§ 3.2.2 NTC-08)

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.IV delle NTC-08):

Condizioni topografiche (§ 3.2.2 NTC-08)

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 $i > 30^\circ$

La valutazione della categoria di suolo e della quota del sito rispetto alla quota della sommità del pendio permettono di determinare l'amplificazione stratigrafica e topografica.

Amplificazione stratigrafica (§ 3.2.3.2.1 NTC-08)

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti SS e CC valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B,C,D ed E i coefficienti SS e CC possono essere calcolati, in funzione dei valori di a_g , F_0 e T_C^* relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella Tab. 3.2.V delle NTC-08, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.

Tabella 3.2.V NTC-08 – Espressioni di SS e di CC

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

Amplificazione topografica (§ 3.2.3.2.1 NTC-08)

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella Tab. 3.2.VI delle NTC-08, in funzione delle categorie topografiche e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

Tabella 3.2.VI NTC-08 – Valori del coefficiente di amplificazione topografica S_T

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
$T1$	-	1,00
$T2$	In corrispondenza della sommità del pendio	1,20
$T3$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,20
$T4$	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,40

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità fino alla base dove S_T assume valore unitario.

V_{S30} è la velocità media di propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio (S) e viene calcolata con la seguente espressione:

$$V_{S30} = 30 / \sum H_i / V_i$$

Il valore di V_{S30} si può calcolare in più modi:

Con misure dirette di V_S (da prove down hole per es.);

Con misure indirette di V_S (mediante la V_P di indagini sismiche di superficie, previa conoscenza del Modulo di Poisson per gli strati investigati, ciò al fine di determinare la V_S);

Con indagini SPT o comunque prove penetrometriche correlabili alle SPT, mediante la correlazione di Ohta e Goto (1978) tra N_{SPT} e V_S ;

La valutazione dell'azione sismica trattandosi di un'opera pubblica già avviata prima dell'entrata in vigore delle NTC 2018 è stata fatta tramite la precedente normativa NTC 2008.

Dalla combinazione delle tre indagini svolte è stato possibile determinare la velocità delle V_S ottenendo un valore di V_{S30} di circa 305 m/s compatibile con una categoria di sottosuolo di tipo C.

Inoltre la prova HVSR segnala la presenza di un notevole picco di amplificazione a circa 1,42 Hz, che rappresenta il frequenza fondamentale del terreno.

Il pendio su cui sorge il fabbricato presenta pendenze inferiori a 15 gradi, quindi ascrivibile alla categoria topografica $T1$ con $S_T = 1$.

10. PERICOLOSITÀ GEOLOGICA

Secondo il Piano Stralcio per la difesa dal rischio idrogeologico dell'Autorità di bacino della Puglia, aggiornamento del febbraio 2017, l'area oggetto intervento non ricade in aree soggette a rischio idrogeologico.

Si elenca di seguito tutto quanto può essere un utile riferimento decisionale per il progettista per valutare gli approfondimenti da fare nel modello geotecnico del sottosuolo:

- **Rischio idrogeologico:**
 - Rischio frana attuale: assente
 - Rischio frana potenziale: assente
 - Rischio di esondazione: assente
 - Rischio di erosione concentrata o accelerata attuale: non presente
 - Rischio di erosione concentrata o accelerata potenziale: improbabile
 - Rischio liquefazione: presente
 - Rischio risalita falda: presente
- Rischio sismico: medio-elevato causa della vicinanza di varie strutture sismogenetiche, e della probabile amplificazione dovuta alla copertura ed il substrato calcareo come testimonia la prova HVSR
- Rischio cavità: basso.

11. CONCLUSIONI

L'area che accoglierà l'intervento ricade nel quartiere Borgovilla - Patalini, precisamente nell'area dell'ex distillerie italiane nel comune di Barletta.

In base al rilevamento geologico e geomorfologico di superficie si evince che i luoghi esaminati ed interessati dal progetto non presentano, al momento, evidenze di fenomeni di dissesto in atto, quindi non esistono particolari problemi di natura tecnica circa la realizzazione del progetto in oggetto. Inoltre, l'area oggetto di studio non ricade in nessuna delle zone a rischio idrogeologico perimetrate dall'Autorità di Bacino della Puglia.

La pericolosità sismica del sito è stata fatta sulla base dei risultati del progetto S1 dell'INGV e sono riferiti a condizioni di suolo rigido. Il calcolo del V_{S30} , tramite il metodo semplificato, considerando il piano di fondazione a circa 1,5 metri dal piano campagna, ha dato una velocità di circa 305 m/s compatibile una categoria di sottosuolo di tipo C.

Tramite la prova HVSR è stata messa in evidenza la frequenza fondamentale del terreno, 1,42 Hz, che non deve coincidere con quella della struttura per evitare fenomeni di doppia risonanza.

za. Occorre evitare che la frequenza di vibrazione della struttura degli alloggi coincida o sia vicina alla frequenza fondamentale di sito. In virtù di tutto questo il sottoscritto ritiene che sarebbe opportuno eseguire uno studio di risposta sismica per definire meglio l'azione sismica.

Il modello geologico di Barletta presenta un substrato calcareo che è dislocato a diverse altezze a causa di faglie dirette che hanno abbassato porzioni di territorio, in particolare, sono state riconosciute due lineazioni bordiere delle Murge Basse Andriesi, normali tra loro, l'una ad andamento NNE-SSO grosso modo lungo il canale Camaggi (direttrice tirrenica da taluni indicata come «faglia sepolta di Barletta») e l'altra ONO- ESE , allineamento Casino Cafiero Madonna dello Sperpeto (coincidente pressappoco con l'asse di allungamento di una paleolaguna situata tra il IV ed il V ordine di terrazzi presenti nell'area).

Nell'area di interesse il tetto del substrato calcareo è posto oltre i 50 metri di profondità, dato rilevabile dal picco della prova HVSR e dai dati dei pozzi presenti in zona. Il tutto è ricoperto dalle coperture pliocenico e quaternarie che sono rappresentati dalla Calcarenite di Gravine, dalle Argille subappennine, che hanno uno spessore maggiori di 30 metri. Al di sopra ci sono i depositi terrazzati e fluvio lacustri che raggiungono anche 20 metri di spessore. All'interno di questi sedimenti è presente una falda freatica superficiale, il cui letto si trova localizzato nell'abitato ad una profondità di circa 10,00 metri dal piano campagna. A causa della presenza d'intervalli pelitici di notevole consistenza, la falda può rimanere confinata entro tale profondità, all'interno dei sedimenti argillosi saturi, o risalire per stabilizzarsi ad una quota tra 5 e 6 metri.

La presente relazione è pervenuta, quindi, ad un inquadramento geologico e geomorfologico dell'area, evidenziando le varie problematiche e definendo le pericolosità geologiche, geomorfologiche e sismiche fornendo al progettista elementi utili per un eventuale ulteriore approfondimento per la caratterizzazione e modellazione geotecnica del sottosuolo.

Corato, febbraio 2019

Geologo
Antonio Valerio

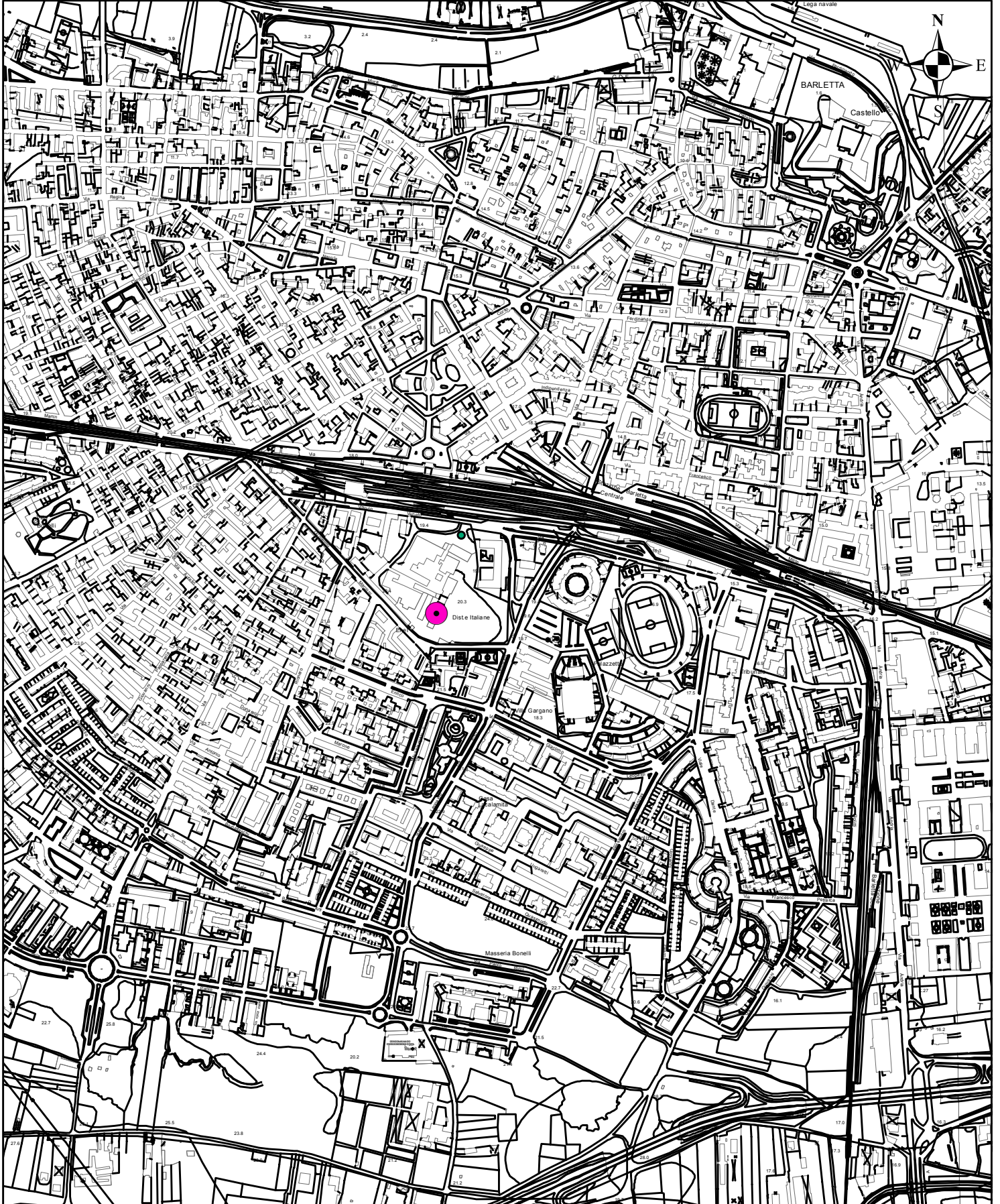
CARTA UBICAZIONE AREA D'INTERVENTO

1:10.000



AREA D'INTERVENTO

0 Meters 150 300



CARTA GEOMORFOLOGICA

1:10.000

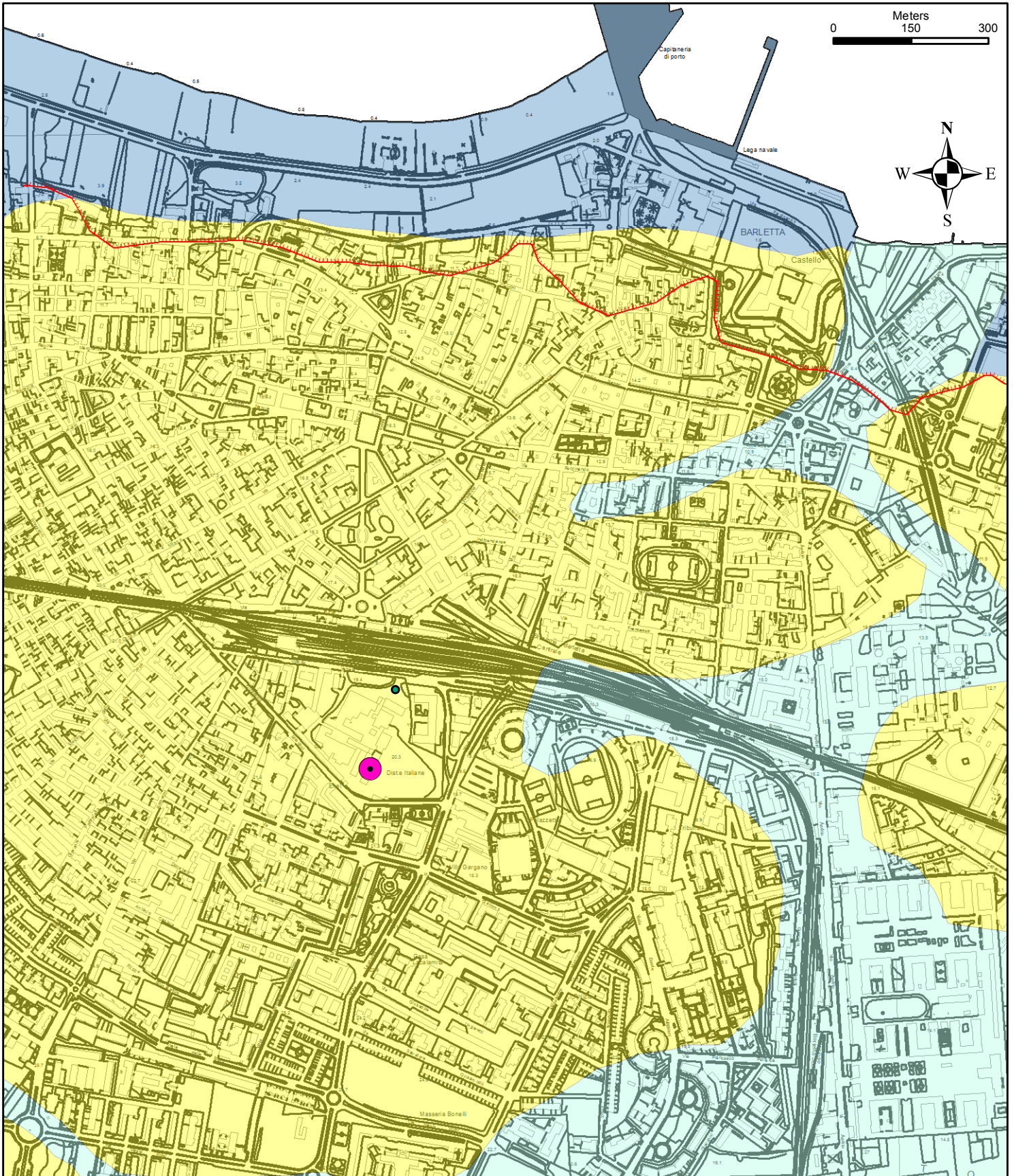
Unità a prevalente componente siltoso-sabbiosa e/o arenitica

Orli_terrazzo_morfologico

Depositi sciolti a prevalente componente sabbioso-ghiaiosa

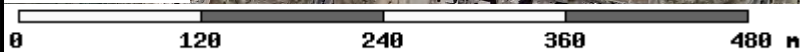
Depositi sciolti a prevalente componente pelitica

AREA D'INTERVENTO







Scala 1: 10000



Pericolosità e Rischio

Peric. Idraulica

 bassa (BP)

 alta (AP)


 media (MP)

Cartografia di base


STRALCIO PPTR

1:10.000


Componenti culturali ed insediative


 UCP_citta consolidata

Componenti valori percettivi

 UCP_strade valenza paesaggistica

Componenti idrologiche

 BP_142_A_300m

 Area di intervento

0 150 300
Meters



CARTA UBICAZIONE INDAGINI

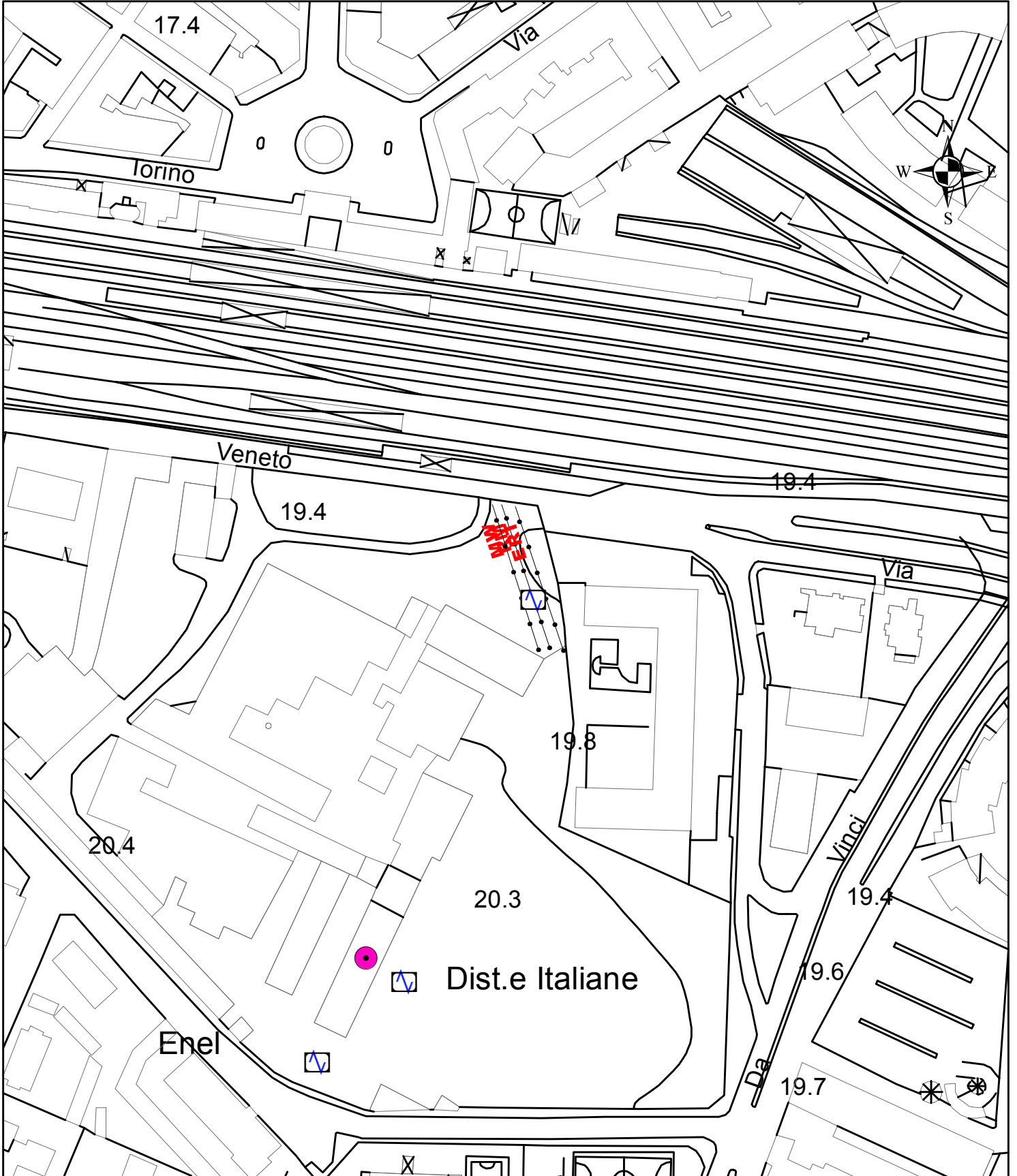
1:2.000

- ERT** TOMOGRAFIA ELETTRICA
- MW** MASW
- RM** REMI

 HVSR

 AREA D'INTERVENTO

0 Meters 50 100





PROVINCIA BAT COMUNE DI BARLETTA

COMMITTENTE:

Spett.le
Dott. Geol. ANTONIO VALERIO

Via Dante Alighieri n. 31 int. 13 - 70033
Corato (BA)

PROGETTO:

REALIZZAZIONE DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX DISTILLERIA
NELL'AMBITO DEL CONTRATTO DI QUARTIERE II



Relazione Tecnica

**Acquisizione, Processing,
Interpretazione eseguite da:**

Dott. Pierpaolo Moretti
Phd in Geofisica Applicata

Dott. Davide de Palma
Geofisico

1. INTRODUZIONE E RIFERIMENTI TECNICO-OPERATIVI

La presente relazione tecnica riferisce sui risultati della campagna di indagine geofisica eseguita in data 03/09/2018 riguardante l'esecuzione di indagini geofisiche mediante tecnica *HVSR* per il progetto di **"REALIZZAZIONE DI ALLOGGI PER UTENZE DIFFERENZIATE NELL'AREA EX DISTILLERIA NELL'AMBITO DEL CONTRATTO DI QUARTIERE II"**.

Tali indagini sono state eseguite in un'area a *Sud* della stazione ferroviaria, nel centro abitato di *Barletta (BT)*.

Lo studio, come da piano di indagine, ha seguito il seguente sviluppo:

- n°2 prospezioni *Horizontal Vertical Spectral Ratio (HVSR)*
- elaborazione dei dati raccolti.

Risultati attesi dalla prospezione *HVSR*

Lo scopo delle indagini *HVSR* è quello di stimare la frequenza fondamentale (o di risonanza) del sito dovuta ad effetti stratigrafici

- **progetto SESAME**

2. UBICAZIONE INDAGINI

Le indagini geofisiche sono state eseguite in un'area ubicata nei pressi di *viale Marconi*, alle spalle della stazione ferroviaria, nel centro dell'abitato di *Barletta (BT)*, come indicato in fig.1.

	E (m)	N (m)
HVSR01	16,278532	41,312483
HVSR02	16,278983	41,312761

Tab. 1 – Coordinate delle indagini *HVSR* e delle misure *HVSR*

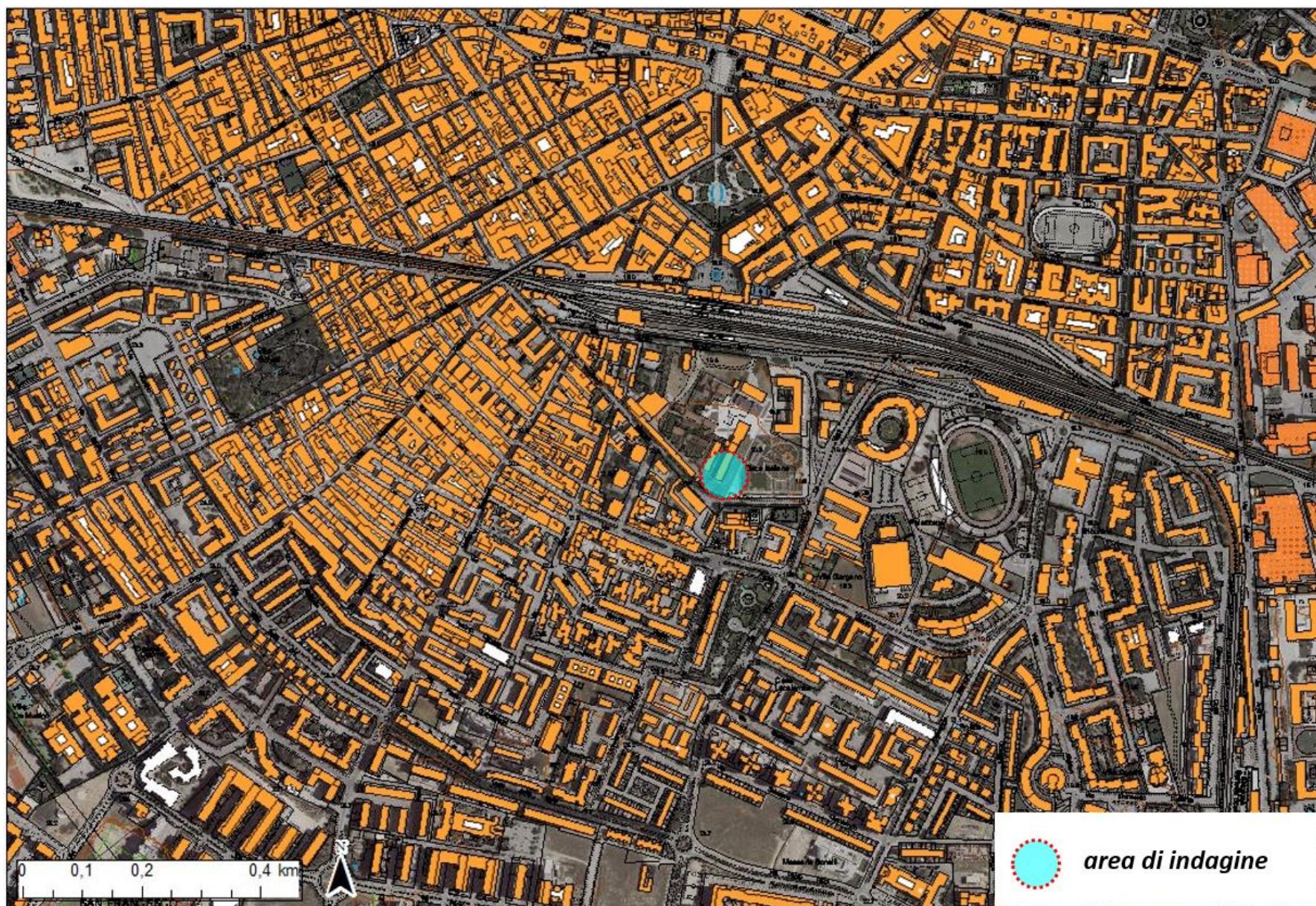


Fig. 1 – ubicazione area di indagine (© SIT - Puglia)



Fig. 2 – ubicazione indagini HVSr (© Google Earth)

3. DESCRIZIONE DEL METODO HVSR

Dai primi studi di *Kanai (1957)* in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito.

Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V*), proposta da *Nogoshi e Igarashi (1970)*.

La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo.

Inoltre, attraverso alcune metodologie (*FK, SPAC*) con l'impiego di opportuni algoritmi (es. *Neighbourhood algorithm - Sambridge 1999*), è possibile ottenere l'inversione delle curve dei rapporti *H/V* finalizzata alla determinazione dei profili di velocità delle onde *S* nel sottosuolo e quindi delle *Vs30* richiesta dalle *NTC*.

Le basi teoriche dell'*H/V* sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al *bedrock*) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (*1-D*).

Consideriamo un sistema semplice in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (*r1* e *r2*) e le diverse velocità delle onde sismiche (*V1* e *V2*). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati. Così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (*l*) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore *H* del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (*fr*) dello strato 1 relativa alle onde *S* (o *P*) è pari a:

$$fr = Vs1/4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume *P* o *S*, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di *Rayleigh*. Tuttavia, ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di *Rayleigh* è molto prossima a quella delle onde *S*.

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva *H/V* relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1].

L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto *H/V*, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per:

- a) il contenuto in frequenza,
- b) la risposta strumentale
- c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

Utilizzando questo strumento, le frequenze di risonanza possono tentativamente essere convertite in spessori permettendo una identificazione preliminare delle interfacce risonanti (fig.3).

In questo lavoro le misure *HVSR* non sono state utilizzate per scopi sismostratigrafici bensì esclusivamente per la determinazione della frequenza di risonanza di sito.

f_0 (Hz)	h (m)	
< 1	> 100	Centinaia di metri
1 – 2	50 – 100	
2 – 3	30 – 50	
3 – 5	20 – 30	Decine di metri
5 – 8	10 – 20	
8 – 20	5 – 10	
> 20	< 5	Qualche metro

Fig. 3 – correlazione frequenza / profondità interfacce risonanti

3. STRUMENTAZIONE UTILIZZATA

La strumentazione utilizzata per gli scopi suddetti, è costituita da 3 terne geofoniche **SR04 - Digitizer 3 canali 24 bit** (© Sa.Ra) (Geobox1425 / Geobox1426) da 4.5 Hz dotate di 3 sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, con banda utile 0.2-100 Hz, progettate specificatamente per l'acquisizione di rumore sismico.

Gli strumenti (Geobox14254 / Geobox1425) sono alimentati da batteria e GPS integrati collegati a Notebook dotati di opportuno software di acquisizione.

L'SR04 (Fig. 4) è uno strumento ad alte prestazioni in grado di digitalizzare il segnale vibrazionale e fornire un flusso continuo di dati campionati a velocità selezionabili.



Questo strumento è caratterizzato da un'elevata risoluzione ed elevato rapporto *Signal/Noise* per frequenze inferiori a 10Hz; esso è basato sul convertitore sismico SADC20 progettato specificamente per raggiungere le elevate prestazioni in abbinamento a sensori elettrodinamici (geofoni).

Fig. 4 – Geobox SR04 (© Sa.Ra)

Alimentazione:	10-16Vdc
Consumo di energia	< 1 W
Numero canali:	3, 24 bit (SD) (A richiesta 3+3 canali HR e altri 8 LR)
Range dinamico	124dB @ 100SPS
Campionamento	simultaneo sui tre canali
Sampling rates	10,20,25,50,100,200, 300,400,480,600
Impedenza d'ingresso	> 100Kohm per sensori passivi, 8.2Kohm
Fondo scala	2Vpp per sensori passivi, 4 Vpp per sensori attivi
Real Time Clock	+/-10ppm (-20/+50°C)
Sincron. Real Time Clock	da GPS via PPS modulato
Precisione rispetto a UTC:	<50ms
Antenna GPS	amplificata con 10mt di cavo e connettore BNC
Interfaccia dati sismici	RS232 (Ethernet opzionale), cavo USB in dotazione
Formato dati	protocollo binario SADC20HS
Velocità di comunicazione	115200 baud
Interfaccia dati GPS	RS232; NMEA; 4800 baud, n,8,1
Connett. sensor	MIL-C 10 o MIL-C 18 (per sensori broad-band)
Contenitore	Alluminio pressofuso IP66 (su richiesta fino a IP68)
Temperatura	-20/+50°C (funzionale)
Dimensioni	nale) Dimensioni: 205x170x45 mm
Conformità	CE

Tab. II - specifiche tecniche *Geobox SR04*

5. ACQUISIZIONE

Entrambe le misure (HVSR01 e HVSR02) sono state effettuate contemporaneamente mediante i seguenti parametri di acquisizione.

<i>f campionamento</i>	<i>300 Hz</i>
<i>durata</i>	<i>2400 s</i>
<i>start (UTC)</i>	<i>9.45 - 03/09/2018</i>
<i>end (UTC)</i>	<i>10.25 - 03/09/2018</i>

Tab. III - parametri di acquisizione

È stata scelta una durata di acquisizione pari a 40 *min*, considerando la forte urbanizzazione del sito su cui sono state effettuate le misure, in maniera tale da assicurare un numero sufficiente di finestre per la trasformazione del dominio temporale a quello delle frequenze e per poter indagare opportunamente le basse frequenze. Inoltre, è stata posta particolare attenzione al posizionamento dei tromografi al fine di favorire un ottimale accoppiamento tra strumento ed il sottosuolo oggetto di indagine orientando verso N il canale N-S (2).

6. ELABORAZIONE

L'elaborazione dei dati è stata condotta mediante i seguenti parametri.

durata totale analizzata	2400 s
durata finestre	40 s
n° finestre	26(HVSR01) - 21(HVSR02)
overlap	5%
smoothing type	Konno % Omhachi
smoothing constant	60
Intervallo di frequenza	0.5 Hz – 60 Hz

Tab. IV - specifiche tecniche Geobox

La metodologia HVSR sfrutta il rumore ambientale, il quale per definizione deve avere carattere stocastico; si rendono quindi necessari dei criteri che assicurino che quello che si misura è un segnale casuale non influenzato da transienti o cause locali. Da questo punto di vista si può fare una valutazione precisa della bontà e della rappresentatività delle curve usando i criteri esposti dal progetto SESAME; tale progetto è stato finanziato da UE e NATO e definisce le linee guida da applicare durante l'acquisizione, il processing e l'interpretazione di misure di rumore ambientale. I criteri SESAME sono nove (Fig. 5) e si possono dividere in due gruppi: i primi tre definiscono l'affidabilità della curva misurata gli altri sei definiscono la chiarezza del picco.

<p>Criteria for a reliable H/V curve</p> <p>i) $f_0 > 10 / l_w$ and</p> <p>ii) $n_c(f_0) > 200$ and</p> <p>iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$</p>	<ul style="list-style-type: none"> • l_w = window length • n_w = number of windows selected for the average H/V curve • $n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0$ = number of significant cycles • f = current frequency • f_{sensor} = sensor cut-off frequency • f_0 = H/V peak frequency • σ_f = standard deviation of H/V peak frequency ($f_0 \pm \sigma_f$) • $\varepsilon(f_0)$ = 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 the $\log A_{H/V}(f)$ curve, $\sigma_{\log H/V}(f)$ is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean $\log A_{H/V}(f)$ curve • $\theta(f_0)$ = threshold value for the stability condition $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ • $V_{s,av}$ = average S-wave velocity of the total deposits • $V_{s,surf}$ = S-wave velocity of the surface layer • h = depth to bedrock • h_{\min} = lower-bound estimate of h
<p>Criteria for a clear H/V peak (at least 5 out of 6 criteria fulfilled)</p> <p>i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$</p> <p>ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$</p> <p>iii) $A_0 > 2$</p> <p>iv) $f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$</p> <p>v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$</p> <p>vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$</p>	

Threshold Values for σ_f and $\sigma_A(f_0)$					
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
$\theta(f_0)$ 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

Fig. 5 – criteri SESAME.

Altre osservazioni importanti sulla bontà della misura possono essere fatte osservando la direzionalità del segnale ovvero come varia il rapporto H/V con l'angolo azimutale e la stazionarietà del rapporto H/V nel tempo.

In linea generale il processing effettuato sulle singole misure è composto da un *tapering*, che consiste nell'applicazione di un filtro che "addolcisce" gli estremi del sismogramma misurato per evitare la creazione di artefatti nello spettro di Fourier; successivamente si divide il sismogramma in finestre di lunghezza uniforme; per ogni finestra si determina il rapporto degli spettri di Fourier della risultante delle componenti orizzontali (H) e verticali (V); prima della determinazione del rapporto H/V si applica, in ogni finestra, lo *smoothing* di *Konno-Ohmachi* ed in certi casi un filtro passa-alto: alla fine si fa un'operazione di media sulle curve H/V di ogni finestra, per determinare la curva di H/V finale. La parte di *processing* sulle curve è stata svolta con il software *GeoExplorer HVSR 2.2.1* (©Sa.Ra) e con il software *GEOPSY* (©Marc Wathelet - ISTERRE, Grenoble)

7. RISULTATI

7.5.1 HVSR – HVSR01

L'indagine *HVSR01* (fig.6) ha evidenziato una serie di picchi di origine stratigrafica.

In particolare, risultano evidenti tre frequenze di risonanza di sito (fig. 7.13) dovute a contrasti piuttosto elevati in quanto $H/V > 4$ ovvero il picco a 1.42 Hz (f_0) con A_0 pari a 8.350 HV ed i picchi a 1.64 Hz e 1.86 Hz. Inoltre, è presente un ulteriore picco stimato a 47.27 Hz con A_0 pari a 1.568 HV ovvero dovuto ad un contrasto di impedenza piuttosto basso.

Degne di nota appaiono le frequenze 4.33 Hz e 13.68-18.46 Hz in cui si assiste ad un rapporto $0 < H/V < 1$. Nella seguente tabella vengono riportate le frequenze prevalenti; in rosso viene evidenziata la frequenza di risonanza di sito (f_0). In All. I vengono riportati gli elaborati grafici relativi alla presente indagine.

Il campo d'onda che ha generato i picchi principali risulta isotropo e stazionario (fig.7).

Dal punto di vista statistico la curva soddisfa i criteri SESAME. Dall'analisi statistica (ALL.I) si vede che i tre picchi principali sono validi in quanto risultano soddisfatti rispettivamente 9 criteri su 9 (1.42 Hz) e 8 criteri su 9 (1.64 Hz, 1.86 Hz) .

f (Hz)	A_0 Amplitude	error
1.42	8.350	0.112
1.64	6.971	0.112
1.86	4.960	0.112
4.33	0.581	0.362
13.68	0.574	3.239
18.46	0.547	1.298
47.27	1.568	3.341

Tab. V - principali picchi di risonanza individuati mediante l'indagine HVSR01

HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 60)

Instrumental correction: Enabled

HVSR average

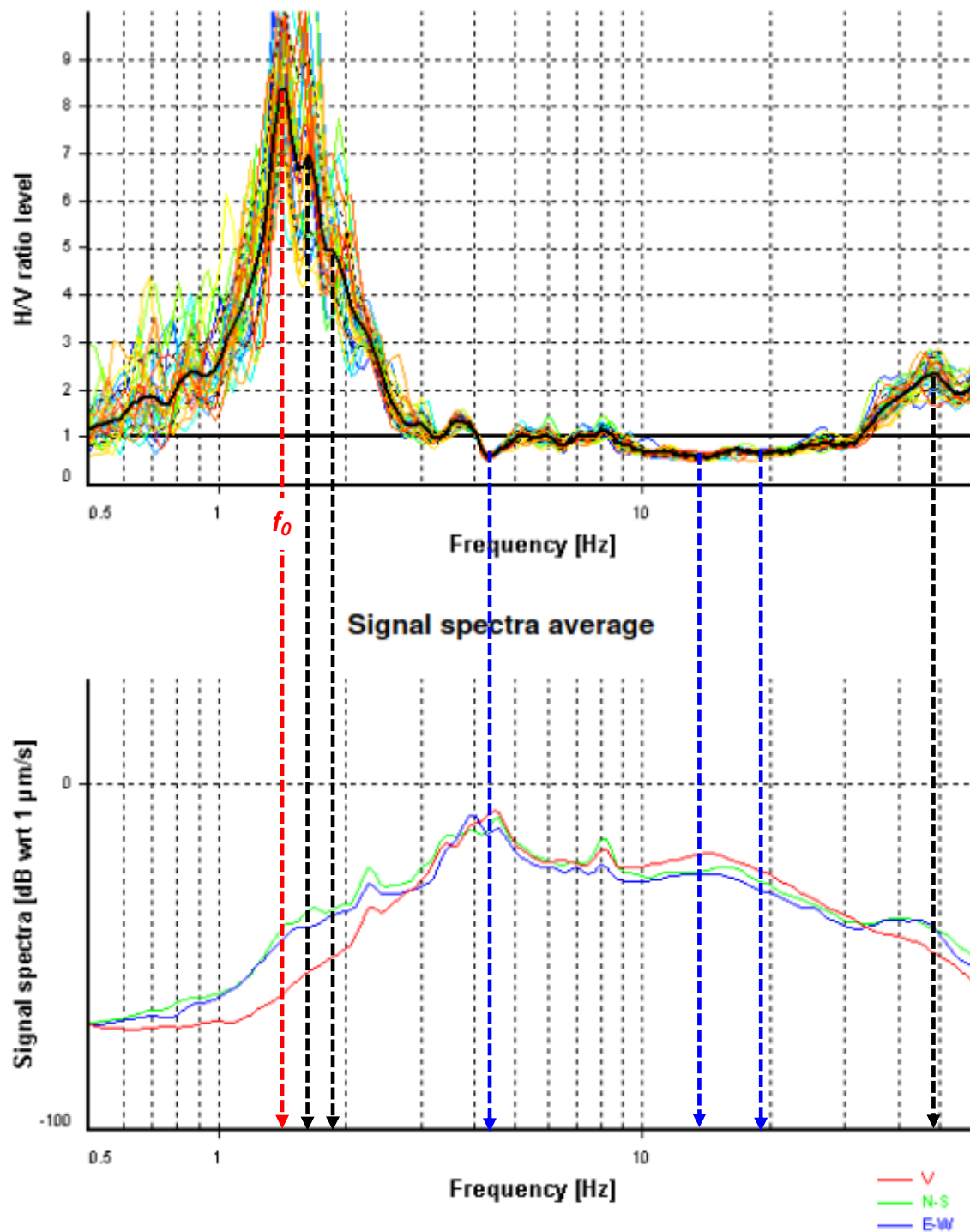


Fig. 6 – HV01 - a) valore HVSR medio, b) valore medio dello spettro del segnale per le tre componenti.

Il campo d'onda che ha generato i picchi risulta isotropo e stazionario essendo facilmente individuabili sui diagrammi rappresentanti l'analisi HVSR frequenza - tempo e l'analisi HVSR direzionale (fig.7).

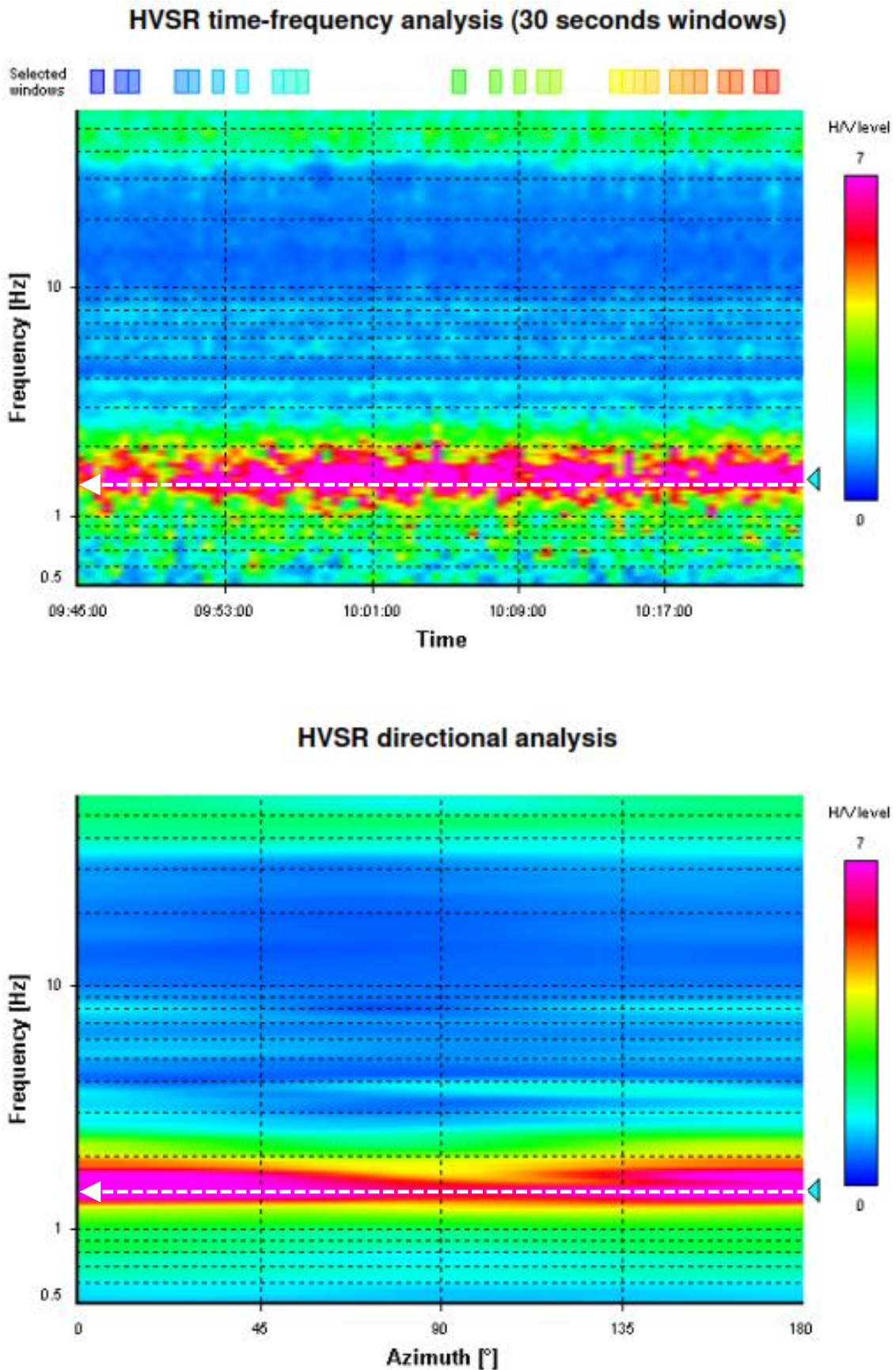


Fig. 7 – HV01 – a) analisi tempo frequenza, b) analisi direzionale.

7.5.2 HVSR – HVSR02

L'indagine *HVSR02* (fig.8) suggerisce la presenza di una serie di picchi di origine stratigrafica del tutto assimilabile a quella evidenziata mediante l'indagine *HVSR01*.

In particolare, risultano evidenti tre frequenze di risonanza di sito (fig. 7.13) dovute a contrasti piuttosto elevati ($H/V > 4$) ovvero il picco a 1.42 Hz (f_0) con A_0 pari a 9.536 HV ed i picchi a 1.64 Hz e 1.90 Hz. Inoltre, è presente un ulteriore picco stimato a 40.45 Hz con A_0 pari a 1.534 HV ovvero dovuto ad un contrasto di impedenza piuttosto basso.

Degne di nota appaiono le frequenze 4.37 Hz e 13.64-18.87 Hz in cui si assiste ad un rapporto $0 < H/V < 1$, ovvero per tali frequenze ad una netta esaltazione del canale verticale V rispetto a quelli orizzontale (N-S ed E-W). Tali caratteri sono notoriamente interpretati come inversioni di velocità. Nella seguente tabella vengono riportate le frequenze prevalenti; in rosso viene evidenziata la frequenza di risonanza di sito (f_0). In All. I vengono riportati gli elaborati grafici relativi alla presente indagine.

Anche in questo caso, il campo d'onda che ha generato i picchi principali risulta isotropo e stazionario (fig.9).

Dal punto di vista statistico la curva soddisfa i criteri SESAME. Dall'analisi statistica (ALL.I) si vede che entrambi i tre picchi principali sono validi in quanto risultano soddisfatti rispettivamente 9 criteri su 9 (1.42 Hz) e 8 criteri su 9 (1.64 Hz, 1.90 Hz) .

f (Hz)	A_0 Amplitude	error
$f_0 \rightarrow$ 1.42	9.536	0.090
1.64	6.103	0.090
1.90	5.194	0.090
4.37	3.791	0.027
13.64	0.562	3.115
18.87	0.551	1.265
40.45	1.534	3.924

Tab. VI - principali picchi di risonanza individuati mediante l'indagine *HVSR02*

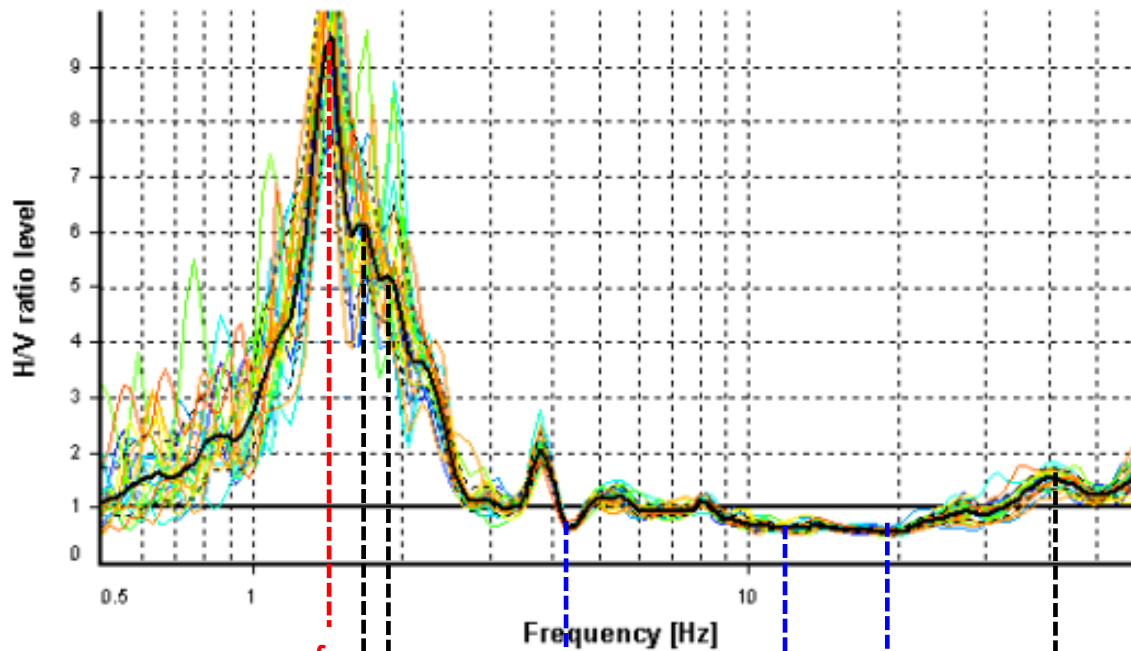
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 60)

Instrumental correction: Enabled

HVSR average



Signal spectra average

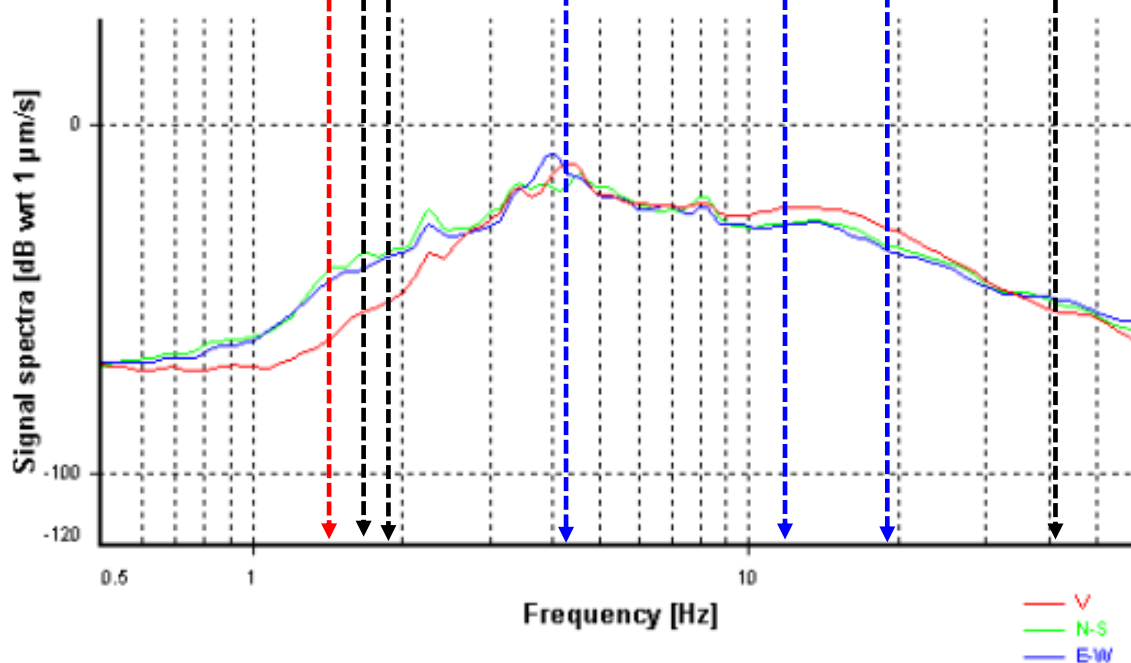


Fig. 8 – HV01 - a) valore HVSR medio, b) valore medio dello spettro del segnale per le tre componenti.

L'analisi tempo-frequenza e l'analisi direzionale (fig. 9) confermano la stabilità temporale e direzionale del picco di risonanza individuato (1.42 Hz).

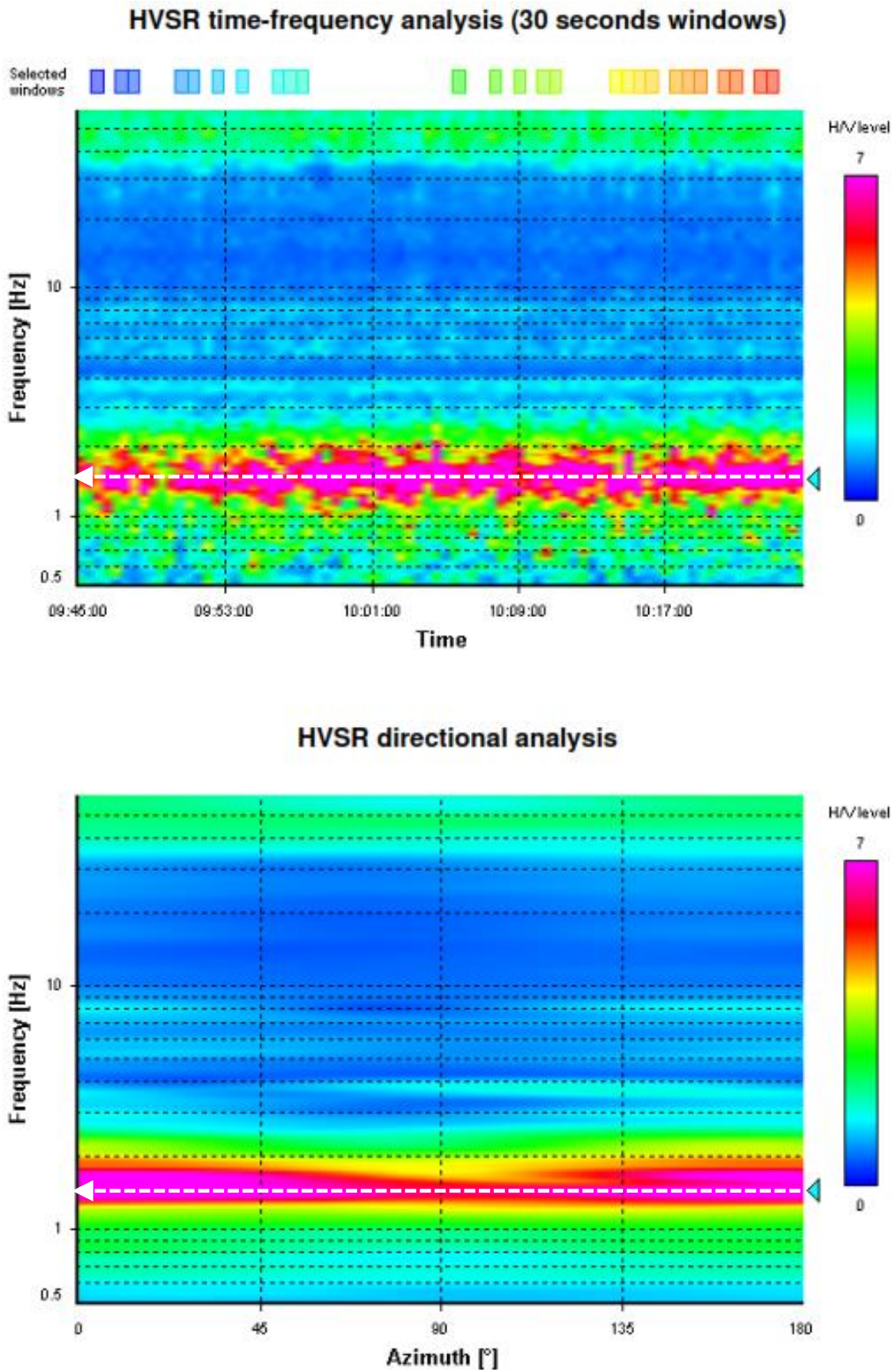


Fig. 9 – HV01 – a) analisi tempo frequenza, b) analisi direzionale.

8. CONCLUSIONI E ASSOCIAZIONI LITOSTRATIGRAFICHE

8.2 HVSR

Le indagini HVSR hanno individuato le frequenze di risonanza in due punti entro l'area indagata in modo tale da verificare la stabilità del dato rilevato. Le due curve H/V stimate presentano i medesimi picchi di risonanza (fig.10), oltre i 4 Hz con piccolissime variazioni. In particolare, tra i picchi diagnosticati mediante i criteri SESAME come stratigrafici, si evidenzia principalmente la frequenza di risonanza di sito stimata in entrambi i casi pari a 1.42 Hz dovuta ad un forte contrasto di impedenza a profondità stimate a decine di metri da p.c. (fig.3).

	f_0 (Hz)	A_0 Amplitude (HV)	error (f_0)
HVSR01	1.42	8.350	0.112
HVSR02	1.42	9.536	0.090

Tab. VII -Tabella rappresentativa delle frequenze di risonanza misurati mediante le indagini HVSR01, HVSR02 e HVSR03

Altri picchi stratigrafici degni di nota appaiono quelli individuati a 1.64 Hz e 1.86-1.90 Hz ($4 < HV < 7$) in ogni caso dovuti a contrasti elevati. La differenza nei picchi a 40.45 Hz e 47.27 Hz risulta imputabile ad una variazione di Vs nella porzione più superficiale del sottosuolo indagato.

Inoltre le indagini mostrano la presenza di due range di frequenza (4.33-4.37 Hz, 13.64-18.87 Hz) in cui $0 < HV < 1$. Per i caratteri diagnosticati tali range di frequenza risulta fortemente indicativo di inversioni di Vs nella porzione superficiale della colonna sismostratigrafica.

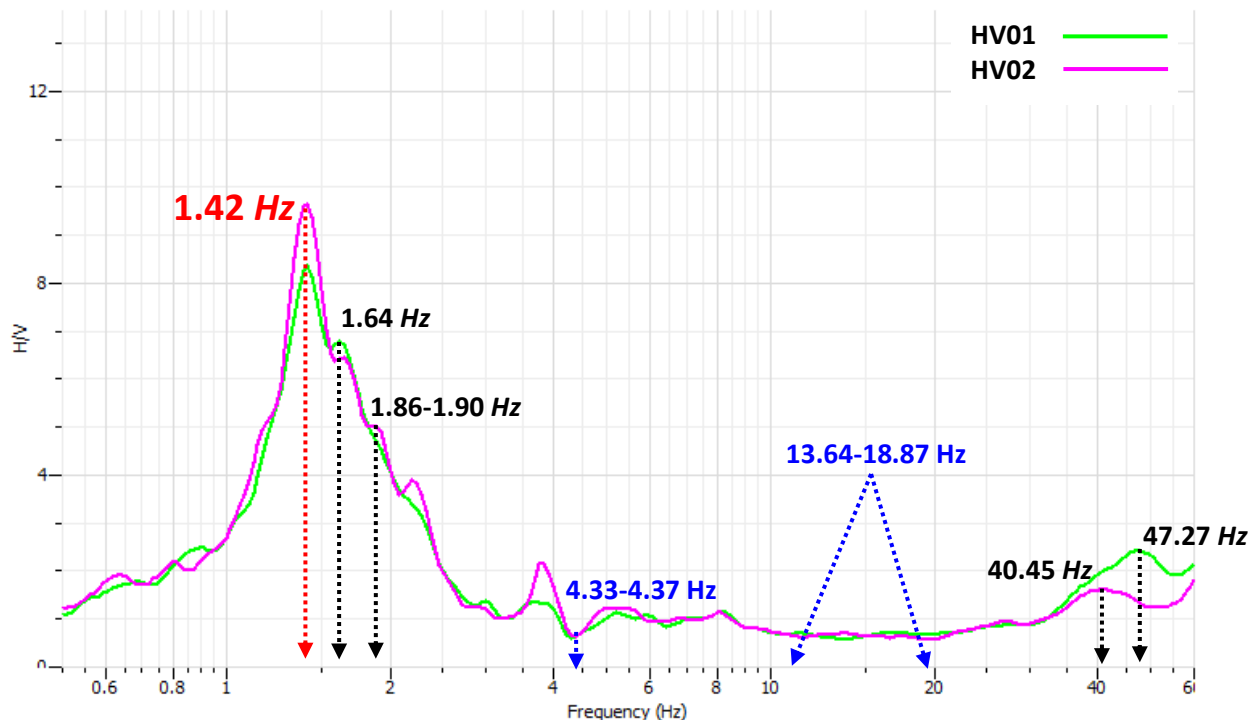


Fig. 10 – spettri HVSR delle indagini HVSR01 e HVSR02 sovrapposti e relative frequenze di risonanza

9. BIBLIOGRAFIA

Castellaro, S., Mulargia, F. (2009) - *The effect of velocity inversions on H/V*. Pure and Applied Geophysics, 166(4). 567-592

Lombardo, G., Rigano, R., Panzera, F., (2012). *Effetti di sito in faglie, cavità e rilievi topografici. In: Tecniche speditive per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici. Studi teorici ed applicazioni professionali.* p. 73-121, Roma:Aracne, ISBN: 978-88-548-4495-7, doi: 10.4399/9788854844957

Moretti, A., Ferrini, G., Mari, A.M., (2014) - *Applicazione del rilevamento del microtremore sismico per la ricerca di cavità urbane: il caso degli insediamenti trogloditi di picenze (L'Aquila, Abruzzo)* - GNGTS 2014

Mucciarelli, M., (2012) - *Tecniche semplificate per la stima dell'amplificazione sismica e della dinamica degli edifici* - Aracne editrice - ISBN: 978-88-548-4495-7

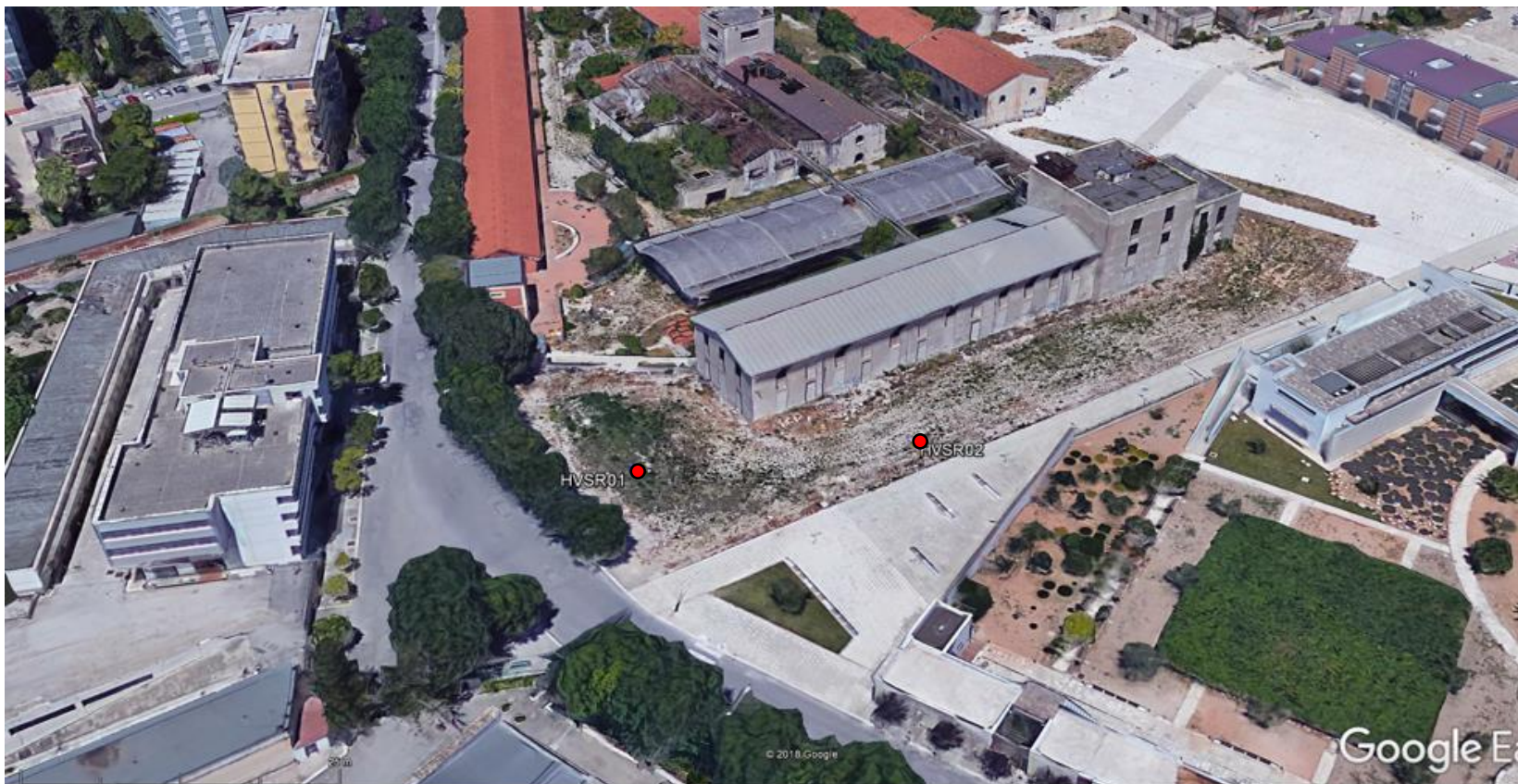
Mucciarelli, M., & Gallipoli, M. R. (2001) - *A critical review of 10 years of microtremor HVSR technique*. Bollettino di Geofisica Teorica ed Applicata 42, 255–266

Nakamura, Y., (1989) – *A method for dynamic characteristic estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*. Quarterly Report of Japanese Railway Technical Research Institute (RTRI), 30(1), 25-33.

ALLEGATO I
Elaborati Indagini geofisiche



	<i>E (m)</i>	<i>N (m)</i>
HVSR01	16,278532	41,312483
HVSR02	16,278983	41,312761



Google Earth

● HVSR



Progetto: REALIZZAZIONE
DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX
DISTILLERIA NELL'AMBITO
DEL CONTRATTO DI
QUARTIERE II

Indagine:
HVSR01-HVSR02
Data esecuzione:
03/09/2018

Tavola I:
ubicazione indagine
HVSR01-HVSR02

SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

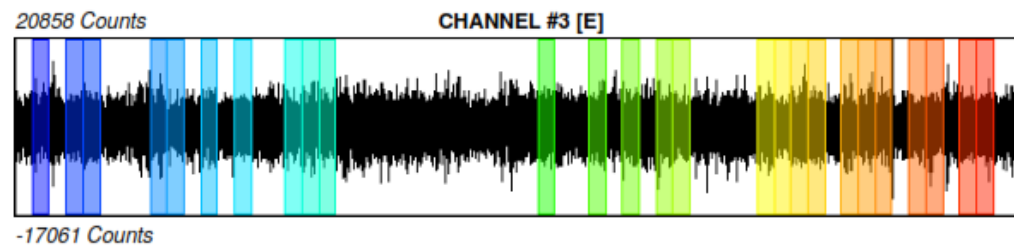
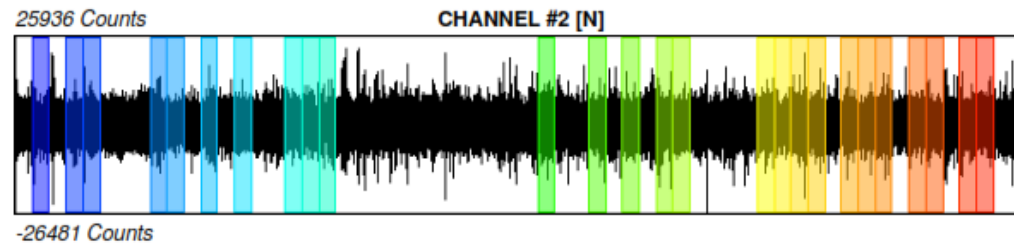
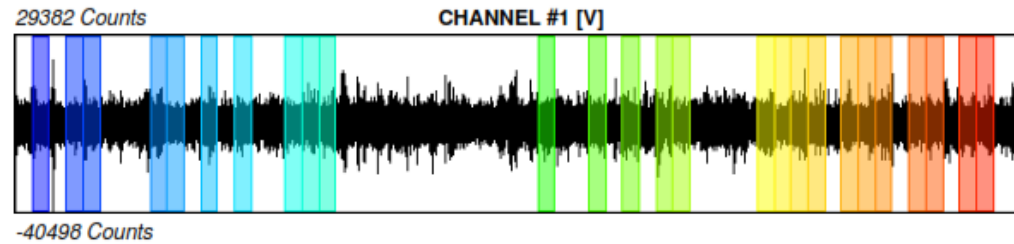
Recording start time: 2018/09/03 09:45:00

Recording length: 40 min

Windows count: 26

Average windows length: 40

Signal coverage: 43.33%



Progetto: REALIZZAZIONE
DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX
DISTILLERIA NELL'AMBITO DEL
CONTRATTO DI QUARTIERE II

Indagine:
HVSR01
Data esecuzione:
03/09/2018

Tavola II:
Dati sperimentali
per le singole
componenti e
windowing

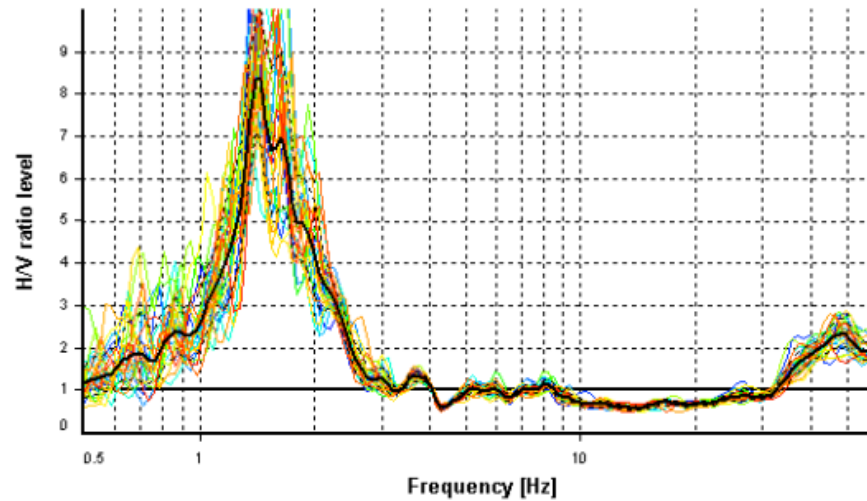
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

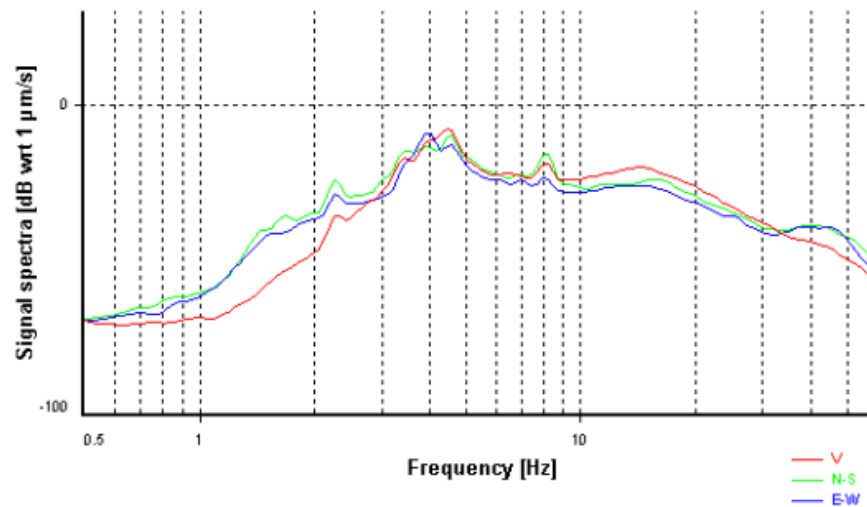
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 60)

Instrumental correction: Enabled

HVSR average



Signal spectra average

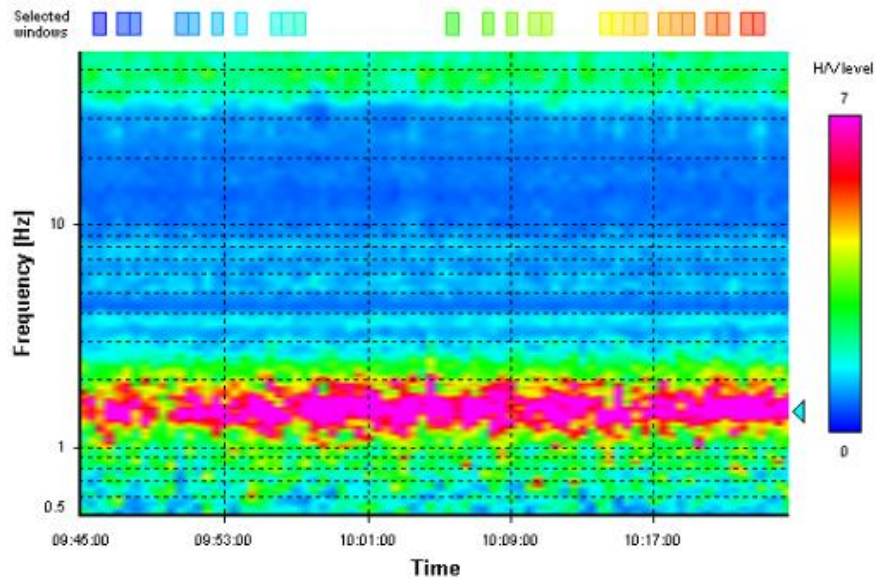


Progetto: REALIZZAZIONE
DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX
DISTILLERIA NELL'AMBITO
DEL CONTRATTO DI
QUARTIERE II

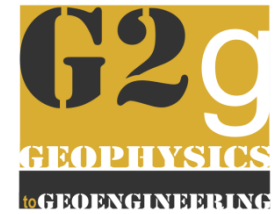
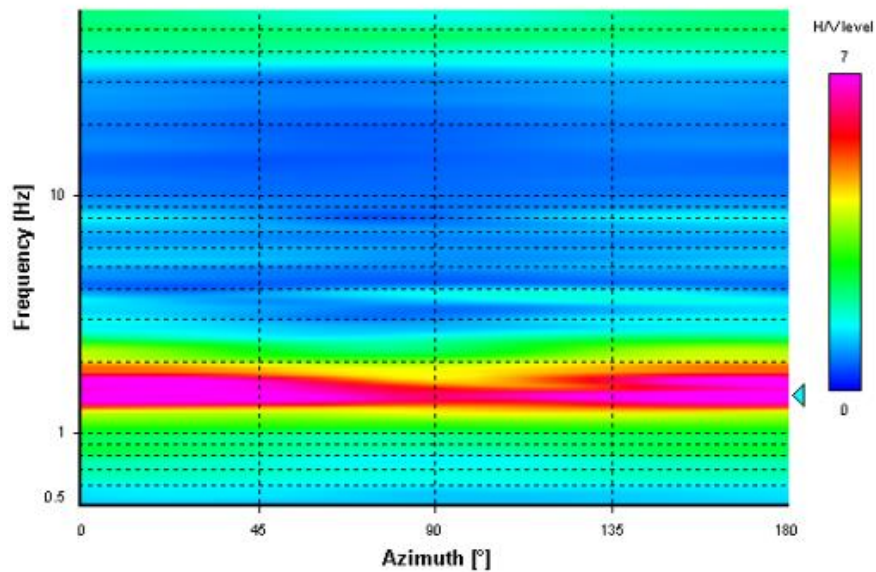
Indagine:
HVSR01
Data esecuzione:
03/09/2018

Tavola III:
a) curva HVSR
b) spettri delle singole
componenti

HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



Progetto: REALIZZAZIONE
DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX
DISTILLERIA NELL'AMBITO
DEL CONTRATTO DI
QUARTIERE II

Indagine:
HVSR01
Data esecuzione:
03/09/2018

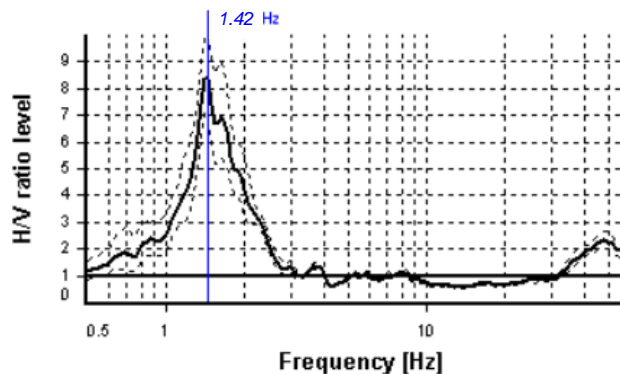
Tavola IV:
a) Analisi HVSR
frequenza - tempo
b) Analisi HVSR
direzionale

Selected f_0 frequency

1.42 Hz

A_0 amplitude = 8.350

Average f_0 = 1.42 ± 0.112



HVSR curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	26 valid windows (length > 6.93 s) out of 26	OK
$n_c(f_0) > 200$	1501.39 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 43	OK
HVSR peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	1.15287 Hz	OK
$\exists f^*$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^*) < A_0/2$	2.05568 Hz	OK
$A_0 > 2$	8.35 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	3.16% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.1123 < 0.14436	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.20554 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Progetto: REALIZZAZIONE
DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX
DISTILLERIA NELL'AMBITO
DEL CONTRATTO DI
QUARTIERE II

Indagine:

HVSR01

Data esecuzione:

03/09/2018

Tavola V:

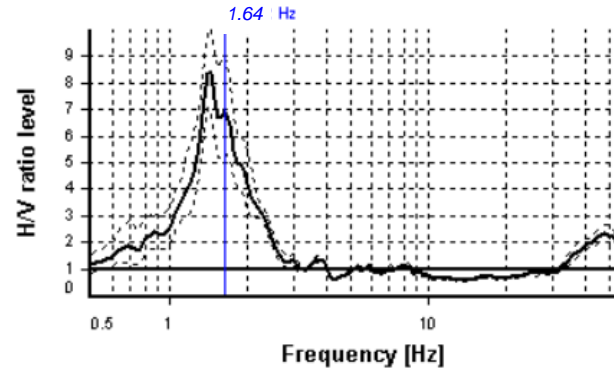
PicK I

Selected f_0 frequency

1.64 Hz

A_0 amplitude = 6.971

Average $f_0 = 1.64 \pm 0.112$



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	26 valid windows (length > 6.09 s) out of 26	OK
$n_c(f_0) > 200$	1707.3 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 43	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	1.08111 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	2.19212 Hz	OK
$A_0 > 2$	6.97 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	14.84% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.1123 < 0.16416	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.29388 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Progetto: REALIZZAZIONE
DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX
DISTILLERIA NELL'AMBITO
DEL CONTRATTO DI
QUARTIERE II

Indagine:
HVSr01
Data esecuzione:
03/09/2018

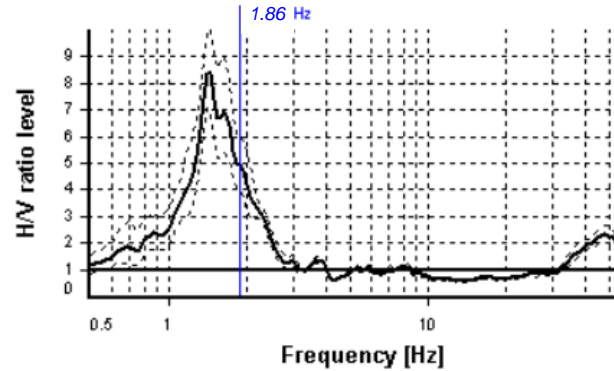
Tavola VI:
Pick II

Selected f_0 frequency

1.86 Hz

A_0 amplitude = 4.960

Average $f_0 = 1.86 \pm 0.112$



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	26 valid windows (length > 5.36 s) out of 26	OK
$n_c(f_0) > 200$	1941.45 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 43	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.98177 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	2.41395 Hz	OK
$A_0 > 2$	4.96 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	25.11% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.1123 < 0.18668	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.22581 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		OK



Progetto: REALIZZAZIONE
DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX
DISTILLERIA NELL'AMBITO
DEL CONTRATTO DI
QUARTIERE II

Indagine:
HVSr01
Data esecuzione:
03/09/2018

Tavola VII:
Pick III

SIGNAL AND WINDOWING

Sampling frequency: 300 Hz

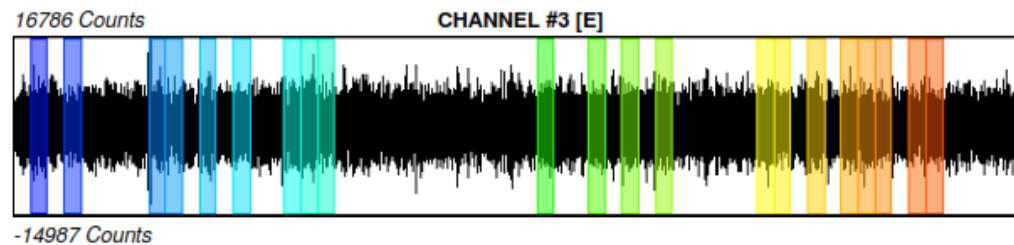
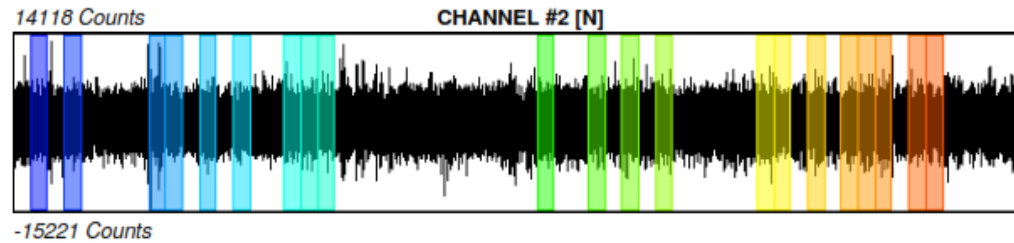
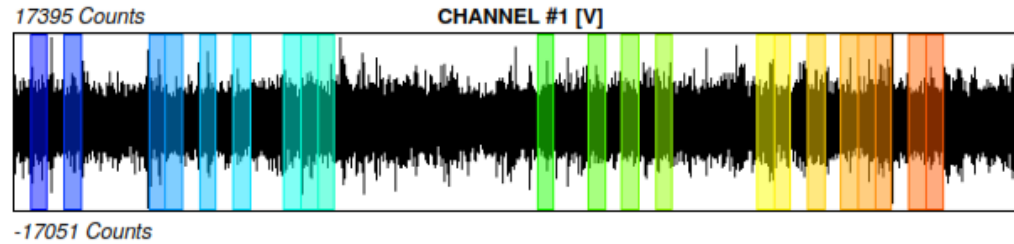
Recording start time: 2018/09/03 09:45:00

Recording length: 40 min

Windows count: 21

Average windows length: 40

Signal coverage: 35%



Progetto: REALIZZAZIONE
DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX
DISTILLERIA NELL'AMBITO DEL
CONTRATTO DI QUARTIERE II

Indagine:
HVSR02
Data esecuzione:
03/09/2018

Tavola VIII:
Dati sperimentali
per le singole
componenti e
windowing

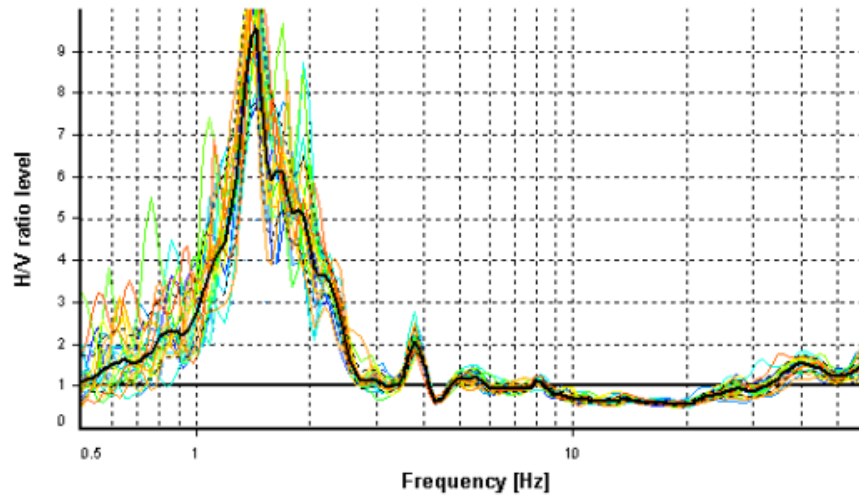
HVSR ANALYSIS

Tapering: Enabled (Bandwidth = 5%)

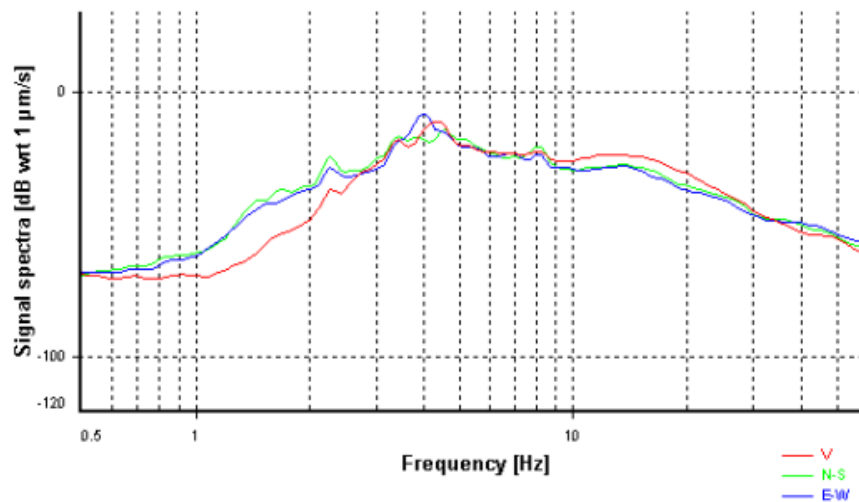
Smoothing: Konno-Ohmachi (Bandwidth coefficient = 60)

Instrumental correction: Enabled

HVSR average



Signal spectra average

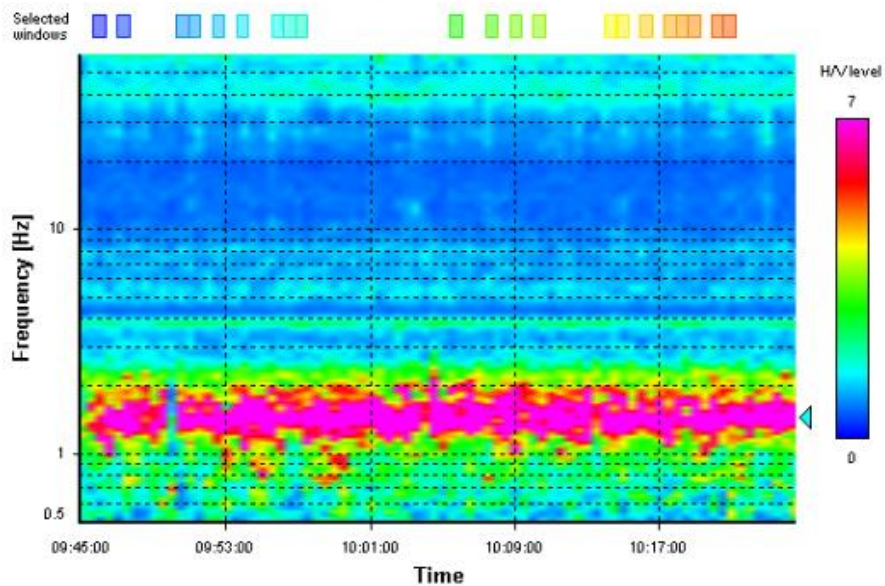


Progetto: REALIZZAZIONE
DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX
DISTILLERIA NELL'AMBITO DEL
CONTRATTO DI QUARTIERE II

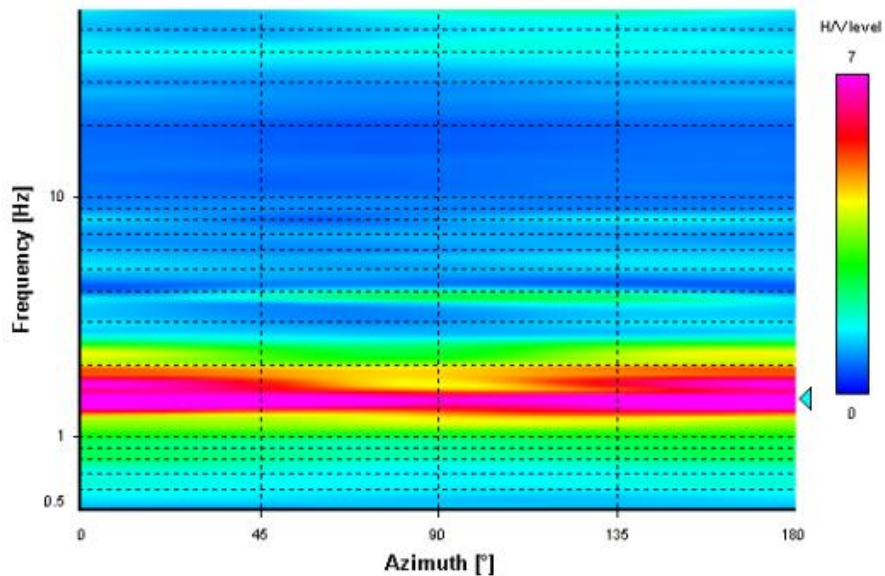
Indagine:
HVSR02
Data esecuzione:
03/09/2018

Tavola IX:
a) curva HVSR
b) spettri delle singole
componenti

HVSR time-frequency analysis (30 seconds windows)



HVSR directional analysis



Progetto: REALIZZAZIONE
DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX
DISTILLERIA NELL'AMBITO DEL
CONTRATTO DI QUARTIERE II

Indagine:
HVSR02
Data esecuzione:
03/09/2018

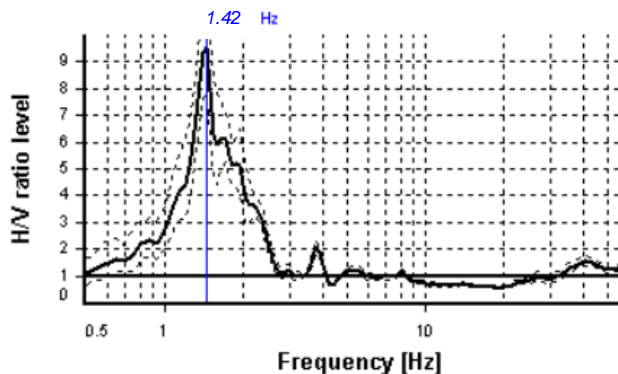
Tavola X:
a) Analisi HVSR
frequenza - tempo
b) Analisi HVSR
direzionale

Selected f_0 frequency

1.42 Hz

A_0 amplitude = 9.536

Average f_0 = 1.42 ± 0.090



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	21 valid windows (length > 6.93 s) out of 21	OK
$n_c(f_0) > 200$	1212.66 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 43	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	1.19051 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	1.99068 Hz	OK
$A_0 > 2$	9.54 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	0% <= 5%	OK
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.08979 < 0.14436	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.22516 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Progetto: REALIZZAZIONE
DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX
DISTILLERIA NELL'AMBITO
DEL CONTRATTO DI
QUARTIERE II

Indagine:
HVSr02
Data esecuzione:
03/09/2018

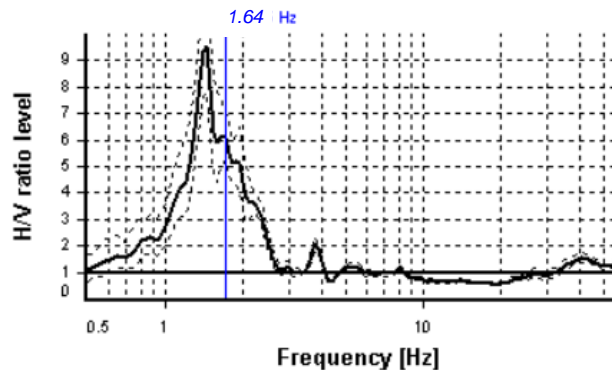
Tavola XI:
PicK I

Selected f_0 frequency

1.64 Hz

A_0 amplitude = 6.103

Average f_0 = 1.64 ± 0.090



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	21 valid windows (length > 5.9 s) out of 21	OK
$n_c(f_0) > 200$	1424 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 43	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	1.01383 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	2.41395 Hz	OK
$A_0 > 2$	6.1 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	14.84% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.08979 < 0.16952	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.16467 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		OK

Progetto: REALIZZAZIONE
DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX
DISTILLERIA NELL'AMBITO
DEL CONTRATTO DI
QUARTIERE II

Indagine:
HVSr02
Data esecuzione:
03/09/2018

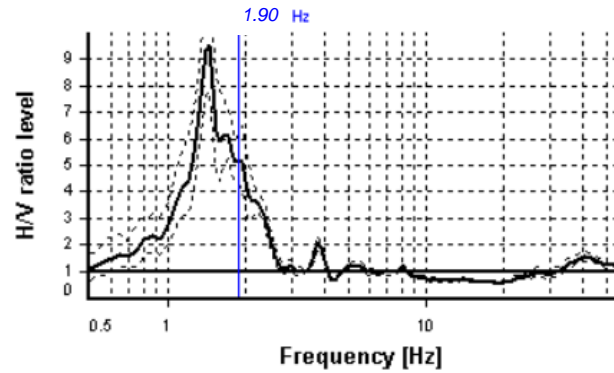
Tavola XII:
Pick II

Selected f_0 frequency

1.90 Hz

A_0 amplitude = 5.194

Average f_0 = 1.90 ± 0.090



HVSr curve reliability criteria		
$f_0 > 10 / L_w$	21 valid windows (length > 5.36 s) out of 21	OK
$n_c(f_0) > 200$	1568.1 > 200	OK
$\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$	Exceeded 0 times in 43	OK
HVSr peak clarity criteria		
$\exists f$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f) < A_0/2$	0.98177 Hz	OK
$\exists f'$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f') < A_0/2$	2.41395 Hz	OK
$A_0 > 2$	5.19 > 2	OK
$f_{\text{peak}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	22.67% > 5%	NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	0.08979 < 0.18668	OK
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	1.18601 < 1.78	OK
Overall criteria fulfillment		OK

ALLEGATO II

Documentazione fotografica





Progetto: REALIZZAZIONE
DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX
DISTILLERIA NELL'AMBITO
DEL CONTRATTO DI
QUARTIERE II

Indagine:

HVSR01

Data esecuzione:

03/09/2018

Tavola I:

Foto indagine

HVSR01



Progetto: REALIZZAZIONE
DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX
DISTILLERIA NELL'AMBITO
DEL CONTRATTO DI
QUARTIERE II

Indagine:
HVSRO1
Data esecuzione:
03/09/2018

Tavola II:
Foto indagine
HVSRO1



Progetto: *REALIZZAZIONE
DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX
DISTILLERIA NELL'AMBITO
DEL CONTRATTO DI
QUARTIERE II*

Indagine:

HVSR02

Data esecuzione:

03/09/2018

Tavola III:

Foto indagine

HVSR02



Progetto: REALIZZAZIONE
DI ALLOGGI PER UTENZE
DIFFERENZIATE NELL'AREA EX
DISTILLERIA NELL'AMBITO
DEL CONTRATTO DI
QUARTIERE II

Indagine:
HVSRO2
Data esecuzione:
03/09/2018

Tavola IV:
Foto indagine
HVSRO2