COMUNE DI
FANO
SETTORE 5 - LAVORI PUBBLICI

# REALIZZAZIONE DEL 1° STRALCIO – LOTTO N. 2 e N. 3 DEL PARCO URBANO DI FANO

Progettista

StudioSilva Srl
via Mazzini n. 9/2, 40137 Bologna
tel. +39 051 6360417
e-mail:info@studiosilva.it | www.studiosilva.com
Dott. For. Marco Sassatelli

Collaboratori

Arch. Alessandro Pavan

Paesaggista Alessia Zaffaroni


PROGETTO ESECUTIVO

emissione

Novembre 2021

titolo elaborato

## Relazione geologica

codifica elaborato

PE20_70_01G02_GEO

committente

COMUNE DI FANO - Settore 5 - LL.PP.
Via s. Francesco D'Assisi 76, 61032 - Fano (PU)

Responsabile Unico del Procedimento: Arch. Pamela Lisotta

| revisione oggetto | data | controllato |
|---|---|---|
| 1 | | |
| 2 | | |
| 3 | | |

Committente:

# Studio Silva S.r.l

Oggetto:

# Parco urbano campo di aviazione

Ubicazione:

## Fano (PU)

| | | |
|---|---|---|
| Commessa<br>10809 | Descrizione :<br>**Relazione geologica – geomorfologica - idrogeologica** | |
| Relazione<br>0 | | |
| Scala<br>---------- | Nome file :<br>10809 – Relazione Geologica | Data :<br>Maggio 2018 |

Il Progettista:

Redattori della relazione: Geol. Michela lavagnoli (ML)

Geol. Fabrizio Morandi (FM)

| Revisione | Data | Redatta da | Controllata da | Approvata da | Descrizione della revisione |
|---|---|---|---|---|---|
| 0 | maggio 2018 | FM | ML | | Emissione per distribuzione |

INDICE

**1.** PREMESSA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO .....3
**2.** NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....5
**3.** ASPETTI GEOLOGICI GENERALI .....6
**3.1.** ASSETTO GEOLOGICO GENERALE .....6
**3.2.** LITOLOGIA SUPERFICIALE E SUB-SUPERFICIALE DELL'AREA IN ESAME .....10
**3.3.** ASSETTO GEOMORFOLOGICO.....11
**3.4.** ACQUE SUPERFICIALI .....13
**3.5.** ACQUE SOTTERRANEE .....16
**4.** DESCRIZIONE DELLE INDAGINI IN SITO .....20
**5.** PROPRIETÀ FISICHE E MECCANICHE DEI TERRENI.....24
**5.1.** CARATTERISTICHE LITOLOGICHE DEI TERRENI E VALORI INDICATIVI DEI PARAMETRI GEOTECNICI .....24
**6.** SISMICA.....32
**6.1.** PERICOLOSITÀ SISMICA .....32
**7.** CONSIDERAZIONI DI SINTESI .....38

ALLEGATO 1: SONDAGGI GEOGNOSTICI ANALIZZATI
ALLEGATO 2: RELAZIONE GEOFISICA

# 1. PREMESSA E DOCUMENTAZIONE DI RIFERIMENTO

Su incarico della società Studio Silva S.r.l. è stato svolto uno studio finalizzato al riconoscimento delle principali caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geomorfologiche di un area oggetto di variante urbanistica ubicata tra il quartiere Vallato e l'area destinata ad Aeroporto turistico della città di Fano.

L'area è compresa nella Sezione della Carta Tecnica Regionale n. 269130 (Figura 1-1).

La foto aerea tratta da Google Earth con indicata l'area di interesse è riportata in Figura 1-2. Le coordinate geografiche indicative del baricentro dell'area riferite al datum WGS84 sono: Lat. 43.8271°, Long. 13.0198°.

Sull'area è in progetto la realizzazione di un parco pubblico in cui è prevista la ristrutturazione o la nuova realizzazione di edifici adibiti ad attività ricreativa.

Per la caratterizzazione sismica del sito sono state effettuate delle misure HVSR e si è fatto riferimento al materiale bibliografico fornito dalla committenza e pubblicato in rete. Di seguito è riportato l'elenco dei principali documenti e siti internet utilizzati e consultati:

1. Spea autostrade (Maggio 2012) – *Relazione geologia e geomorfologia con elementi di idrogeologia – Autostrada (A14) : Bologna Bari Taranto – Ampliamento della terza corsia del tratto Rimini Nord Pedaso, Tratto Cattolica/Fano –Opere compensative Comune di Fano –Progetto Definitivo*;
2. Spea autostrade (Maggio 2012) – *Relazione geotecnica di progetto – Autostrada (A14): Bologna Bari Taranto – Ampliamento della terza corsia del tratto Rimini Nord Pedaso, Tratto Cattolica-Fano – Opere compensative Comune di Fano – Progetto Definitivo*;
3. Carta geologica d'Italia alla scala 1:50.000 – Foglio 269 Fano e relative note illustrative (http://www.isprambiente.gov.it/Media/carg/marche.html);
4. Regione Marche – Portale cartografico del Regione Marche (http://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Paesaggio-Territorio-Urbanistica) (http://www.regione.marche.it/Regione-Utile/Ambiente);
5. PRG vigente del Comune di Fano adottato il 19/12/2006 con delibera C.C. n.337 – Studio Geologico (www.comune.fano.pu.it);
6. Autorità di Bacino Marche – PAI vigente (Deliberazione di Consiglio Regionale n. 116 del 21/01/2004), PTA Aggiornamento 2016 (DCI n.68 del 08/08/2016);
7. Studio Geologico Maria Vittoria Castellani – Ottobre 2017– Relazione geologica geomorfologica e sismica – *Variante urbanistica al PRG vigente per la realizzazione di una struttura sportiva destinata a centro natatorio in località Strada San Michele*;
8. Studio Geologico Dott. Armando Donini –01-12-2010 - *Relazione geologica geotecnica relativa agli interventi di riqualificazione delle infrastrutture di volo presso l'aeroporto di Fano (LIDF), Via E. Mattei, Comune di Fano (PU)* – Società Areoportuale Fanum Fortunae s.r.l.;

Dato il potenziale rischio bellico segnalato della committenza che ha valutato tale aspetto con l'Amministrazione responsabile del procedimento, per la predisposizione del presente documento non è stato possibile effettuare perforazioni o scavi a scopo geognostico.
Le informazioni bibliografiche raccolte hanno comunque consentito di individuare un modello geologico sufficientemente adeguato agli scopi della presente relazione.
Gli approfondimenti eventualmente necessari alla caratterizzazione geotecnica sono rimandati pertanto ad una fase progettuale successiva.
Facendo riferimento alla normativa sismica vigente, sulla base della quale il territorio comunale di Fano rientra all'interno della zona 2, è stata effettuata una caratterizzazione della pericolosità sismica di base dell'area.

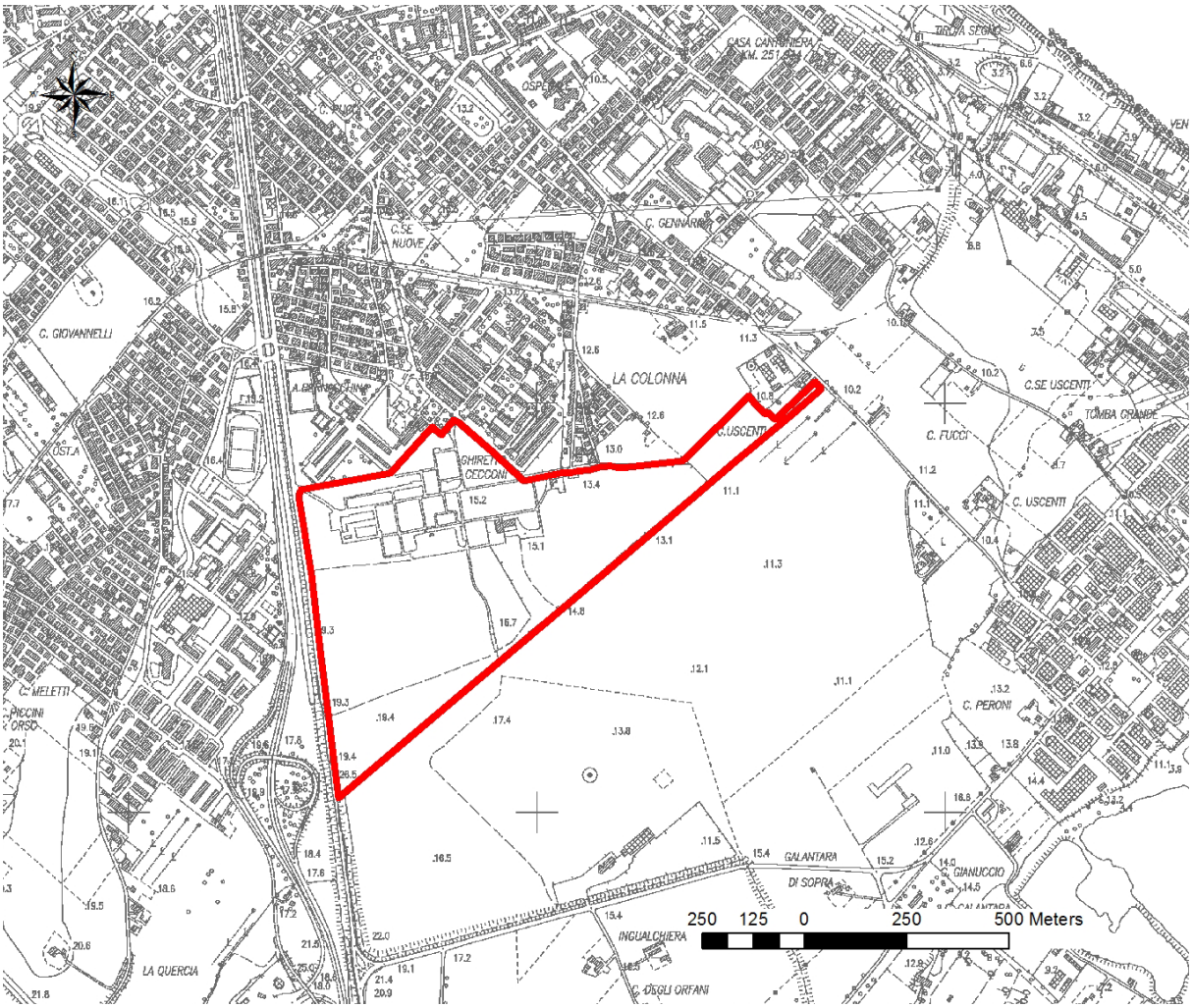



FIGURA 1-1 UBICAZIONE DELL'AREA DI INTERESSE DA CARTA TECNICA REGIONALE SCALA 1:10.000

FIGURA 1-2 –UBICAZIONE DELL'AREA DI INTERESSE (FOTO AEREA TRATTA DA GOOGLE EARTH)

# 2. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

La presente relazione è stata redatta in riferimento alla sotto elencata normativa.

Decreto ministeriale 17/01/2018 - Testo Unitario – Norme Tecniche per le Costruzioni. (Nel testo citato come NTC18)

Consiglio Superiore dei lavori pubblici – Pericolosità sismica e criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale. Allegato al voto n. 36 del 27/07/2007

Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri 20/03/2003 n. 3274 - "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica".

PTCP della Provincia di Pesaro e Urbino – Approvato con Delibera di Consiglio Provinciale n. 109 del 20/07/2000.

PRG del Comune di Fano - Approvato con delibera consiliare n° 34 del 19/02/2009. Con precisazioni introdotte dalla delibera consiliare n° 170 del 21/07/2010.

# 3. ASPETTI GEOLOGICI GENERALI

## 3.1. Assetto geologico generale

I caratteri di inquadramento geologico generale del territorio, di seguito riportati testualmente sono stati tratti dalla relazione citata al punto elenco 1 in premessa:

*"L'area marchigiana è caratterizzata da una notevole complessità geologica, in quanto interessata da formazioni ed unità provenienti da domini paleogeografici e strutturali anche molto diversi; in particolare si individuano due settori principali: l'Appennino Umbro-Marchigiano, in cui affiorano alcune tra le formazioni più antiche che si rinvengono nella catena appenninica e l'Avanfossa Marchigiana.*

*L'Umbro - Marchigiano è un settore paleo-geografico che, a partire dal Giurassico, si è differenziato dalla Piattaforma carbonatica laziale - abruzzese in seguito all'azione di una importante fase tettonica distensiva (entrambi questi domini appartengono all'Appennino centrale).*

*L'Avanfossa invece è suddivisibile in Bacino Marchigiano Interno ed in Bacino Marchigiano Esterno, si è formata in seguito alle prime fasi di corrugamento mioceniche che hanno determinato l'individuazione di bacini di avanfossa orientati in senso appenninico e progressivamente migranti verso est.*

*Le peculiari caratteristiche della fascia di territorio in oggetto consentono di effettuare una distinzione in unità geologico - strutturali sulla base della litostratigrafia e dell'assetto tettonico.*

*Infatti una fase tettonica compressiva, iniziata nel Tortoniano, ha determinato notevoli raccorciamenti ed ispessimenti in corrispondenza della catena appenninica, formando complessi edifici a thrust con vergenza orientale; tali strutture compressive, accompagnate dalla formazione di bacini di avanfossa, si sono progressivamente spostate nel tempo da W verso E ed oggi si ritrovano, sepolte sotto i sedimenti marini, al largo della costa.*

*La fase compressiva termina nel Pliocene inferiore nell'ambito della porzione interna della catena (Calamita et alii, 1990), mentre continua lungo la costa adriatica (Dramis et alii, 2002), seguita a sua volta da una fase tettonica distensiva, che ha determinato lo sviluppo di faglie normali di notevole rigetto, a principale direzione appenninica e ribassanti verso W.*

*Nel Pleistocene inferiore un generale sollevamento ha determinato un forte approfondimento dei sistemi idrografici (Conti et alii, 1983; Gentili & Pambianchi, 1987); infine durante tutto il Quaternario domina la morfogenesi da parte degli agenti esogeni, che si sovrappone ai processi tettonici e sedimentari (Passeri, 1994)."*

Di seguito sono descritte le principali unità dell'Avanfossa Marchigiana riguardanti direttamente l'area di studio, omettendo la descrizione delle unità affioranti ad ovest che caratterizzano l'Appennino Umbro-Marchigiano.

*"L'Avanfossa Marchigiana*

*L'Avanfossa Marchigiana rappresenta un tratto dell'avanfossa appenninica. E' suddivisa in Bacino Marchigiano Interno e Bacino Marchigiano Esterno (o Bacino Periadriatico Auct.); è limitata a SW dalla Catena Appenninica Marchigiana, di cui si è precedentemente parlato, e a NW dalla Colata gravitativa della Val Marecchia (Ruggieri, 1958); quest'ultima è un complesso alloctono costituito in prevalenza da depositi argillitici caotici (Argille scagliose Auct.) formatasi per effetto di fenomeni gravitativi succedutisi da W verso E (Veneri, 1986; AA.VV, 1990).*

*L'Avanfossa Marchigiana è una vasta depressione a forte subsidenza venutasi a creare, unitamente al Bacino Umbro-Romagnolo, in seguito alla migrazione verso E dell'avampaese appenninico (Passeri, 1994). Tale struttura appare in grado di controllare la sedimentazione miocenica (Boccaletti et alii, 1986), determinando la perdita di uniformità del dominio umbro-marchigiano (Calamita et alii, 1986).*

*Dal punto di vista litologico, l'Avanfossa Marchigiana è caratterizzata da una successione terrigena, costituita da sedimenti marnosi e calcareo - siliceo - marnosi, appartenenti alla Formazione del Bisciaro, seguiti da formazioni marnose e marnoso - calcareo - argillose tra loro eteropiche, rappresentate dallo Schlier, dalle Marne con Cerrogna e dalle Marne a Pteropodi (Passeri, 1994). Superiormente tale successione terrigena assume caratteristiche torbiditiche in facies prevalentemente pelitico-arenacea ed arenacea; in particolare il Bacino Marchigiano Esterno è costituito dalla Formazione Marnoso Arenacea "urbinate" e dalla Formazione di S. Donato nella parte settentrionale, e dalla Formazione della Laga nel settore meridionale. Inoltre, sono ben rappresentati anche i depositi evaporitici messiniani appartenenti alla Formazione Gessoso - Solfifera, seguiti da argille e marne con intercalazioni calcaree di origine chimica, appartenenti, invece, alla Formazione delle Argille a Colombacci….*

*..*

*"…I depositi continentali quaternari sono invece principalmente costituiti da depositi alluvionali, da depositi di versante e da coperture pedologiche.*

*I depositi alluvionali contengono anche le ghiaie provenienti dall'entroterra calcareo marchigiano (Fancelli & Radrizzani, 1964), si tratta di ghiaie sabbiose, di sabbie-argillose e talora di argille limose; spesso questi depositi contengono i prodotti di rimaneggiamento dei depositi di versante (Nesci & Savelli, 1986).*

*Si distinguono inoltre alluvioni attuali e terrazzate, queste ultime sono organizzate in diversi ordini di terrazzi poligenici (Passeri, 1994), di cui si osservano numerosi lembi discontinui nei tratti alto-collinari e fasce larghe anche fino a qualche chilometro nei tratti medio collinari e costieri (Coltorti et alii, 1995). I terrazzi sono posti a quote variabili in sinistra idrografica e raggiungendo anche i 200 metri di quota sugli attuali fondovalle (Passeri, 1994); mentre i depositi alluvionali recenti affiorano unicamente in destra idrografica (Cantalamessa et alii, 1986). Il numero dei terrazzi può localmente subire un anomalo incremento, il che evidenzierebbe l'esistenza di intensa attività neotettonica (Dramis & Bisci, 1986; Coltorti & Nanni, 1987).*

*I depositi di versante, derivanti principalmente da movimenti di massa e da coperture eluviocolluviali, bordano i blandi rilievi che si spingono fino alla costa adriatica.*
*Dal punto di vista strutturale, l'Avanfossa Marchigiana è caratterizzata da ampie sinclinali, interessate da movimenti di subsidenza più marcati (Bartolini et alii, 1982), separate fra loro da anticlinali molto strette, orientate NW-SE ed interessate da faglie longitudinali (Carloni et alii, 1971). Il suo assetto morfostrutturale è controllato da un'intensa attività tettonica plioquaternaria che, unitamente alle variazioni climatiche ed eustatiche, ne ha condizionato la sedimentazione, indirizzandola verso ambienti marini o continentali (Bigi et alii, 1997). I depositi marini plio-pleistocenici sono disposti secondo una struttura monoclinalica debolmente immergente verso E, in quanto basculati in seguito al sollevamento regionale estremamente differenziato tra catena appenninica ed area adriatica (Bigi et alii, 1995).*
*L'attività tettonica quaternaria è anche testimoniata dall'andamento del reticolo idrografico, dalla presenza di numerose paleofrane e di deformazioni gravitative profonde, dalla genesi di faccette triangolari e trapezoidali ed infine dalla concentrazione di fluidi gassosi e vulcanelli di fango lungo le dislocazioni tettoniche più recenti (Bigi et alii, 1997)."*

I depositi continentali quaternari, sovrapposti ai sedimenti marini del Plio-Pleistocene rappresentano le formazioni che caratterizzano l'area di interesse.
In Figura 3-1 si riporta uno stralcio del Foglio 269 – "Fano" della Carta geologica d'Italia. In corrispondenza dell'area di interesse sono indicati depositi alluvionali terrazzati costituiti da ghiaie prevalenti appartenenti al Sintema di Matellica. La sezione geologica, la cui traccia è posta immediatamente a sud del Fiume Metauro evidenzia i rapporti stratigrafici caratteristici della zona già descritti sopra, ovvero la presenza in profondità dei depositi marini appartenenti alla formazione delle Argille azzurre a cui si sovrappongono i depositi continentali alluvionali terrazzati.

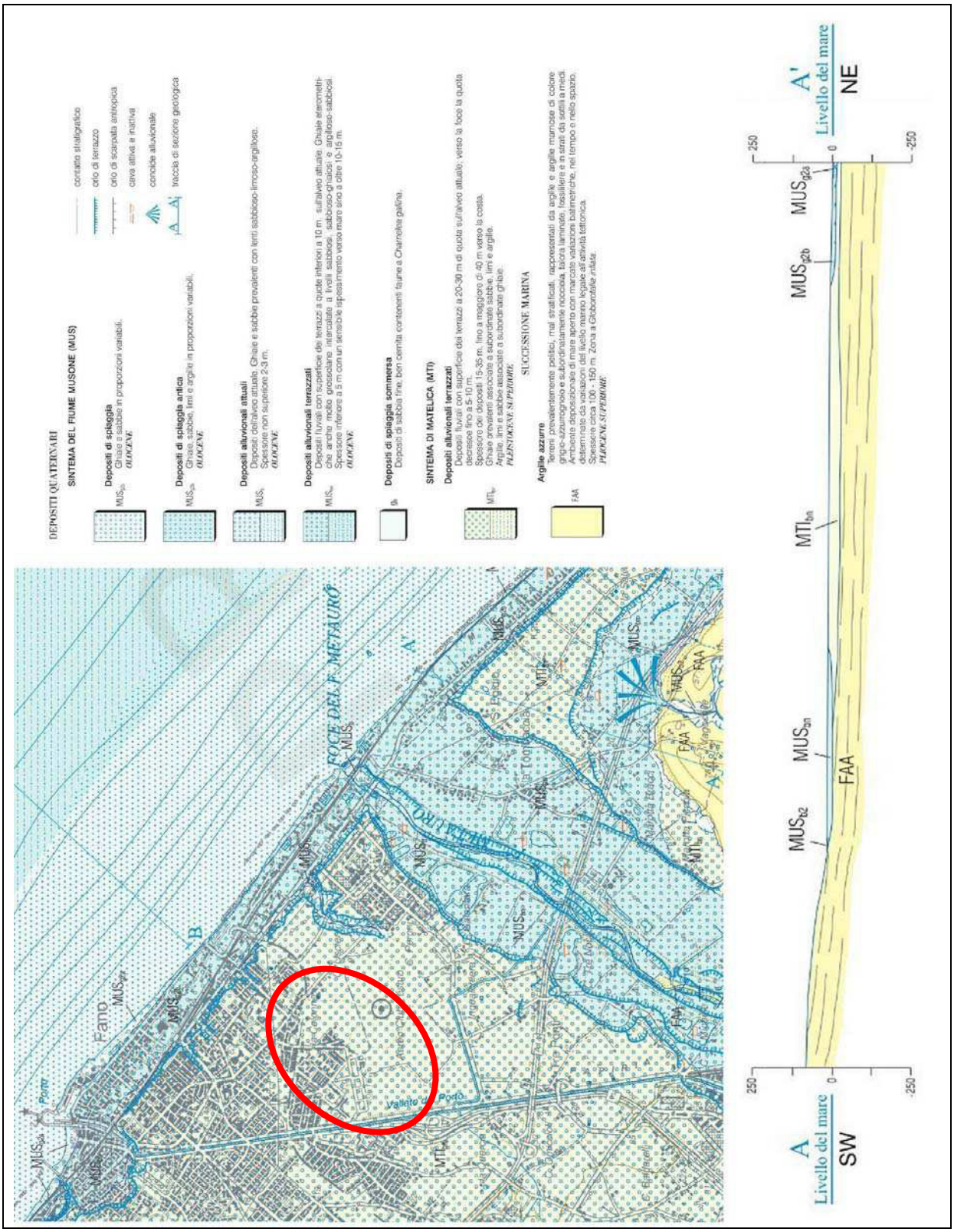



FIGURA 3-1 – STRALCIO DEL FOGLIO 269 FANO DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA (FONTE: HTTP://WWW.ISPRAMBIENTE.GOV.IT/MEDIA/CARG/269_FANO/FOGLIO.HTML)

## 3.2. Litologia superficiale e sub-superficiale dell'area in esame

Come esposto al paragrafo precedente i terreni presenti negli strati più superficiali sono il frutto di eventi geologico-deposizionali di tipo alluvionale, succedutisi in epoche recenti. La distribuzione tessiturale di questi sedimenti risulta quindi in stretta connessione con la dinamica tipica degli ambienti sedimentari fluviali di pianura alluvionale.

In Figura 3-2, è riportato un stralcio della sezione 269130 della carta geologica tratta dal portale cartografico della Regione Marche. I depositi di superficie si riferiscono interamente al sintema di Matelica e in particolare, nell'area di interesse, sono presenti depositi alluvionali terrazzati descritti come ghiaie prevalenti associate a subordinate sabbie, limi ed argille.

**DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI**

**SINTEMA DEL MUSONE**
(OLOCENE)

MUSb2 Depositi eluvio-colluviali

Orlo di terrazzo fluviale

**SINTEMA DI MATELICA**
(PLEISTOCENE SUPERIORE)

a) b)

MTIbn

Depositi alluvionali terrazzati
a) ghiaie prevalenti associate a subordinate sabbie, limi ed argille
b) argille, limi e sabbie associate a subordinate ghiaie

FIGURA 3-2 – STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICA 269130 FANO, (FONTE: HTTP://WWW.REGIONE.MARCHE.IT/REGIONE-UTILE/PAESAGGIO-TERRITORIO-URBANISTICA/CARTOGRAFIA/REPERTORIO/CARTAGEOLOGICAREGIONALE10000)

Nella relazione e nella carta geologica a corredo del PRG del Comune di Fano i depositi dell'area di interesse sono identificati come alluvioni terrazzate del III ordine, costituite da sabbie, ghiaie e limi in alternanza (Figura 3-3).

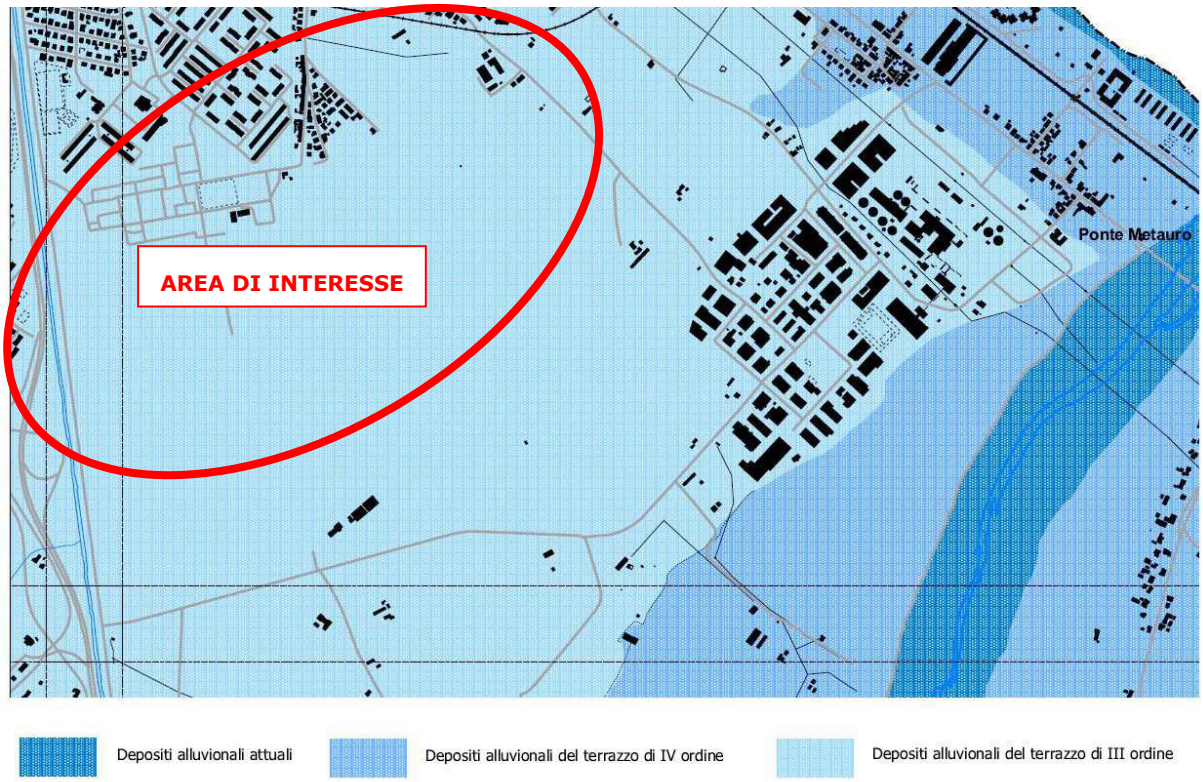



FIGURA 3-3 – STRALCIO DELLA CARTA GEOLOGICA A CORREDO DEL PRG DI FANO (FONTE: HTTPS://WWW.COMUNE.FANO.PU.IT \PIANIFICAZIONE URBANISTICA\PRG2009)

## 3.3. Assetto geomorfologico

L'area in esame occupa una porzione in sinistra idrografica della pianura alluvionale del Fiume Metauro.

La caratterizzazione geomorfologica è strettamente connessa al modello genetico di formazione del territorio. In pianura gli effetti morfologici maggiori e più rilevanti sono quelli legati all'evoluzione del sistema idrografico che a sua volta viene condizionato dai caratteri climatici prevalenti e dalle condizioni geologiche del sottosuolo. Nel corso della storia l'uomo ha poi, attraverso la pratica agricola, l'urbanizzazione e la regimazione dei corsi d'acqua modificato l'assetto naturale del territorio e di conseguenza le corrispondenti morfologie sono oggi alterate.

Nel territorio Marchigiano le pianure alluvionali sono in genere poco sviluppate e anche in prossimità della foce le sezioni trasversali non raggiungono larghezze superiori a qualche km. Altro elemento caratterizzante è che in generale i terrazzi si presentano meglio conservati e ampi in sinistra idrografica.

Come già detto nei dintorni dell'area di interesse sono riconoscibili più ordini di terrazzi alluvionali (Figura 3-3). L'area ricade in corrispondenza di alluvioni del terzo ordine che generalmente si presentano in lembi estesi e continui con spessori fino a 20-30 m.
Questi depositi sono sede di falde acquifere importanti.
In Figura 3-4 è riportato uno stralcio della carta geomorfologica a corredo del PRG di Fano. A sud dell'area di interesse sono indicati orli di scarpata di erosione dovuti all'azione fluviale rispettivamente inattivi e in stato di quiescenza in sinistra e destra idrografica.

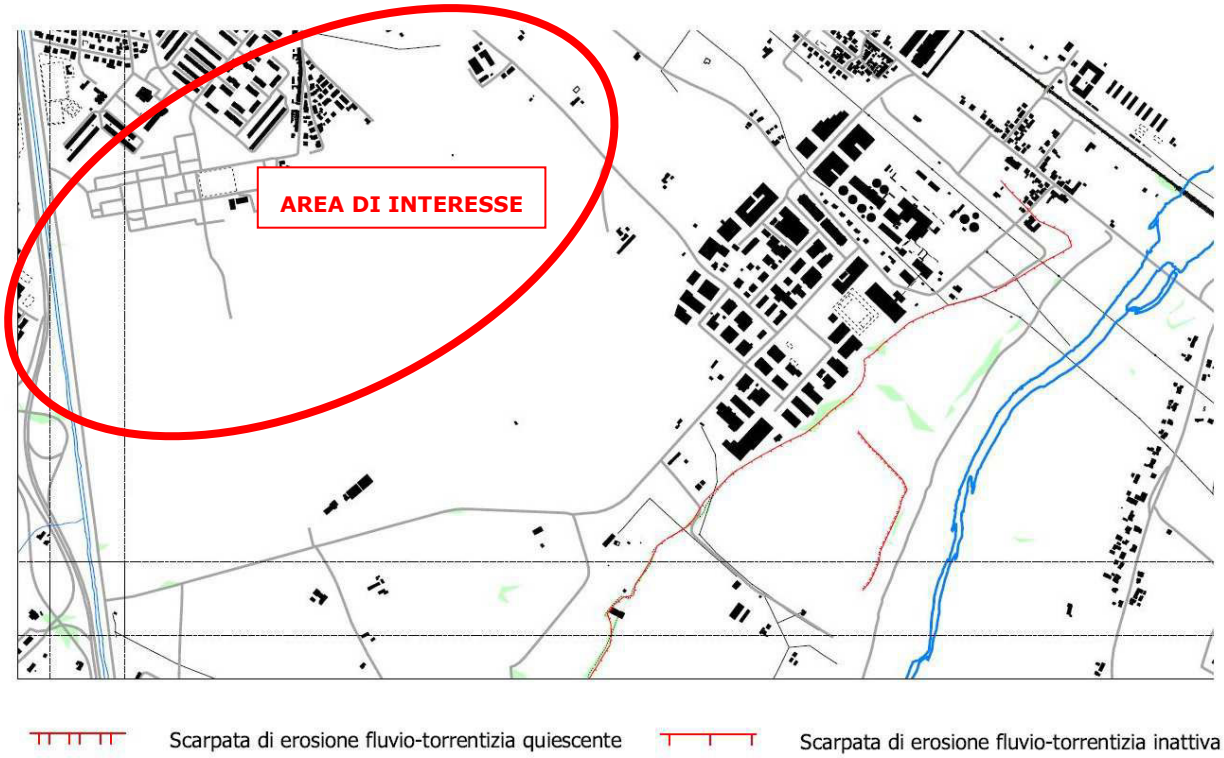



FIGURA 3-4 – STRALCIO DELLA CARTA GEOMORFOLOGICA A CORREDO DEL PRG DI FANO (FONTE: HTTPS://WWW.COMUNE.FANO.PU.IT \PIANIFICAZIONE URBANISTICA\PRG2009)

Uno stralcio del modello altimetrico del territorio tratto dal portale della Regione Marche e derivato dalle CTR regionali è riportato in Figura 3-5. La superficie topografica mostra quote digradanti procedendo dall'entroterra verso la costa, che in corrispondenza dell'area di studio variano da circa 20 m slm a10 m slm.

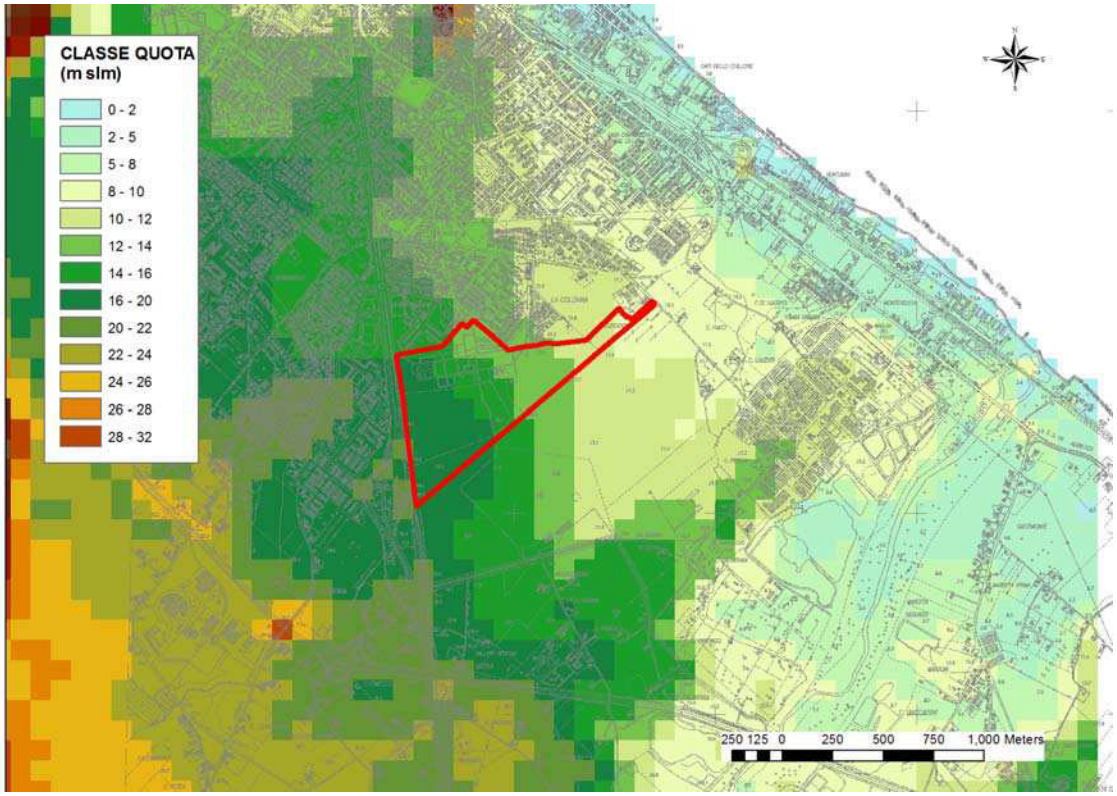



FIGURA 3-5 – STRALCIO DEL MODELLO DIGITALE ALTIMETRICO (HTTP://WWW.REGIONE.MARCHE.IT/REGIONE-UTILE/PAESAGGIO-TERRITORIO-URBANISTICA-GENIO-CIVILE/CARTOGRAFIA-E-INFORMAZIONI-TERRITORIALI/REPERTORIO#DTM)

## 3.4. Acque superficiali

In Figura 3-6 è rappresentato il reticolo idrografico dei dintorni dell'area di interesse tratto dal sito internet del Consorzio di Bonifica delle Marche ente a cui compete la gestione di questa zona.

L'elemento idrografico principale è il fiume Metauro che sfocia come per la prevalenza dei fiumi Marchigiani, nel Mare Adriatico. Sorge nell'appennino Toscano e dopo un percorso di circa 120 km con una pendenza media pari a circa 1.32%, sfocia a sud di Fano ad una distanza di circa 2000 m dall'area di studio che è collocata in sinistra idrografica ad una distanza minima di circa 1600 m dall'alveo. Al confine ovest dell'area scorre inoltre il canale artificiale Vallato del Porto o Canale Albani di derivazione del F. Metauro che alimenta l'impianto idroelettrico della Liscia (http://www.lavalledelmetauro.it/contenuti/beni-storici-artistici/scheda/6934.html). Al confine sud dell'area è posto un altro canale che funge da regolatore dei rapporti idraulici tra il canale Vallato e il Metauro in occasione delle piene.

FIGURA 3-6 – RETICOLO IDROGRAFICO (FONTE: SIT DEL CONSORZIO DI BONIFICA DELLE MARCHE, HTTP://CMS.BONIFICAMARCHE.IT/)

In riferimento al rischio idraulico in Figura 3-7 si riporta uno stralcio della mappa tratta dal Web GIS dell'autorità di Bacino Marche (http://webgispcn.autoritabacino.marche.it/) da cui si evince che l'area di interesse non risulta essere soggetta a rischio derivante da esondazioni.

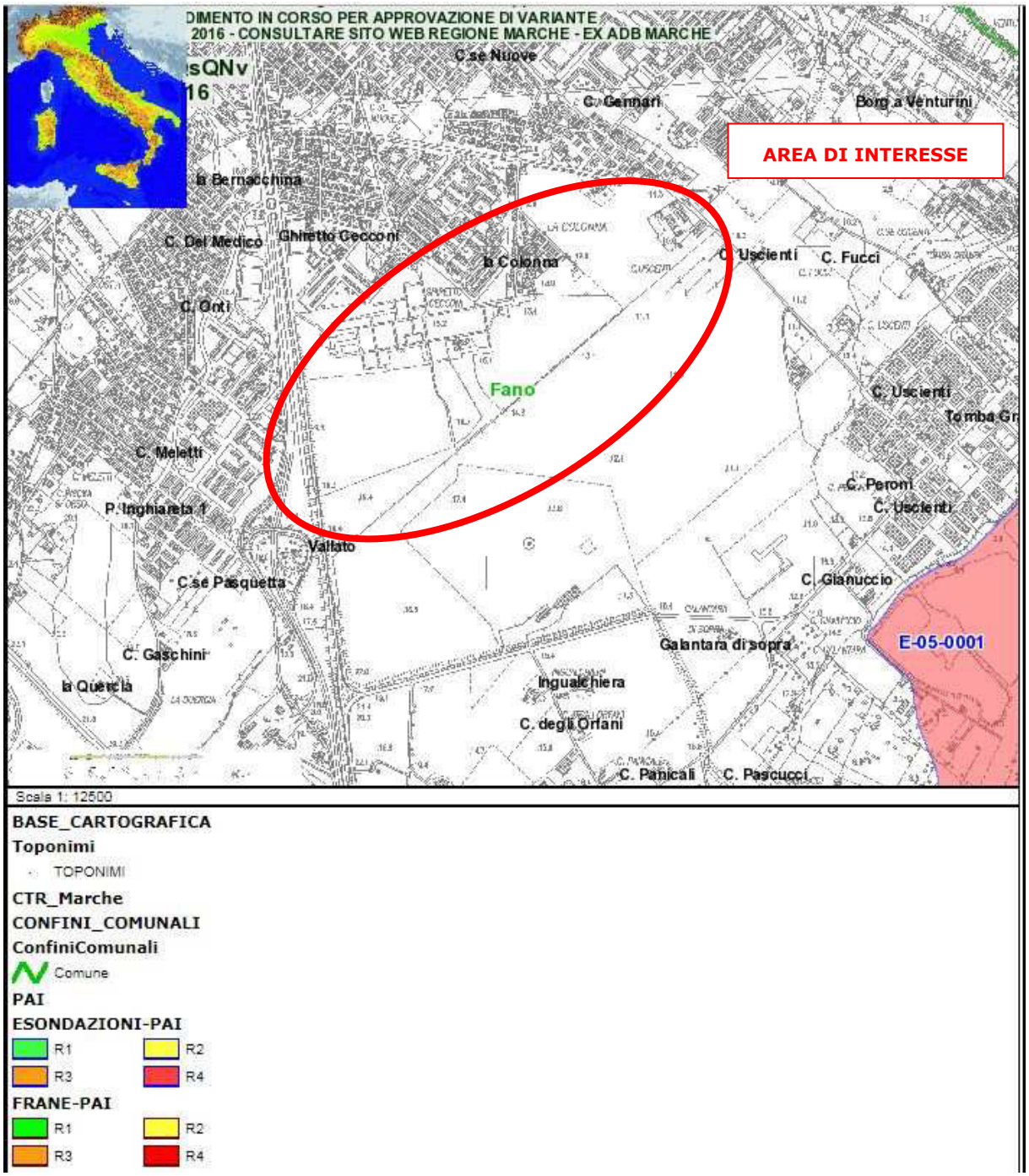



FIGURA 3-7 – STRALCIO MAPPE RISCHIO ESONDAZIONE (FONTE: HTTP://WEBGISPCN.AUTORITABACINO.MARCHE.IT/)

## 3.5. Acque sotterranee

Nello schema stratigrafico e idrostratigrafico della regione Marche, proposto in letteratura, sono individuati due gruppi di complessi idrogeologici principali; quello della sequenza Plio-Plestocenica che interessa le zone più interne e quello delle pianure alluvionali in cui ricade l'area di interesse.

In Figura 3-8 è riportato un estratto dello schema idrogeologico del Bacino del Fiume Metauro tratto dalle tavole allegate al Piano di Tutela delle Acque della Regione Marche. In legenda sono descritte le principali caratteristiche del complesso che caratterizza l'area di interesse ovvero quello denominato 2a costituito da depositi alluvionali terrazzati recenti. Le isopiezometriche indicate in carta denotano una direzione di flusso prevalente orientato da sud-ovest verso nord-est con quote, in corrispondenza dell'area di interesse, comprese tra circa 4 e 1 m slm.

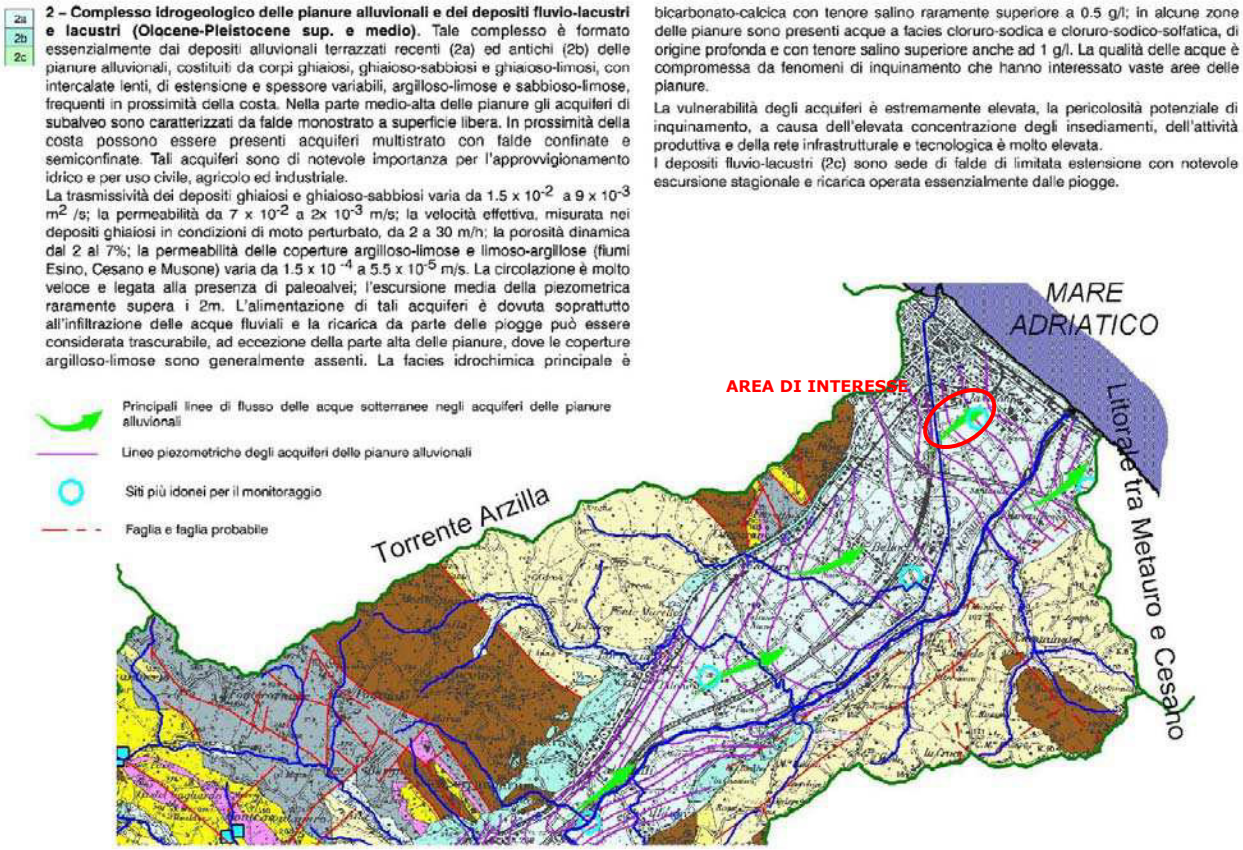



FIGURA 3-8 – STRALCIO DELLO SCHEMA IDROGEOLOGICO DEL BACINO DEL FIUME METAURO (FONTE: HTTP://WWW.REGIONE.MARCHE.IT/REGIONE-UTILE/AMBIENTE/TUTELA-DELLE-ACQUE/PTA#DOCUMENTAZIONE)

Nella già citata relazione a corredo del PRG del Comune di Fano si evidenzia l'importanza e l'interesse che hanno i depositi alluvionali di tutta la pianura del Fiume Metauro in quanto ospitanti una falda acquifera di notevole importanza per l'approvvigionamento idrico locale, sono inoltre sintetizzate, per tratti, le caratteristiche principali dell'acquifero.

Per il tratto occupato dall'area di interesse, ovvero quello tra Bellochi e la linea di costa la relazione riporta testualmente:
*"lo spessore della coltre alluvionale aumenta considerevolmente fino a raggiungere valori dell'ordine di 35-45 m. e, forse, 50 m. in vicinanza della costa;*
*- mantiene la sua individualità il livello argilloso impermeabile intermedio (da 14 a 16 m. di profondità), mentre aumenta la presenza di setti argillosi più profondi, anche abbastanza importanti (da 23 a 26 m. e da 27 a 36 m.);*
*- la profondità del livello statico della falda varia, generalmente, da 8/9 m. a 16/17 m., riducendosi in prossimità della costa fino a valori intorno a 2,00 m.; l'andamento delle isopieze evidenzia una elevata permeabilità dei terreni in tutta la zona centrale della vallata*."
I livelli di profondità della falda indicati nella relazione allegata al PRG sono in linea con quelli indicati nella tavola del PTA, ovvero la falda si trova a profondità comprese tra circa 9÷16 m da p.c.
Nella relazione geotecnica Spea Autostrade (punto elenco 2 in premessa) sono indicati i valori medi di soggiacenza della falda, rilevati nel periodo Dicembre 2008 - Marzo 2009 in corrispondenza dei piezometri; L2-SOC2, L2-SOC3, L2-SOC4, a sud ovest dell'area di interesse (vedi ubicazione in Figura 5-5) che sono rispettivamente pari a metri 11,86, 11,19 e 12.69.
Ancora in riferimento alla profondità della falda in Figura 3-9 è riportato uno stralcio della tavola "Indagine idrogeologica per la determinazione delle zone di rispetto e protezione dei pozzi comunali" a corredo del PRG di Fano, da cui si osserva che le quote freatimetriche sono comprese tra 8 e 3 m slm.
La carta idrogeologica del PRG di Fano (Figura 3-10) indica in corrispondenza dell'area di interesse la presenza di terreni permeabili e di tre pozzi. Indirettamente si deduce inoltre che la profondità della falda si attesta a quote superiori a 5 m dal p.c.
In generale per questo acquifero la ricarica della falda può avvenire per infiltrazione diretta dalla superficie topografica e da eventuali connessione con la rete idrografica superficiale.
Per quanto riguarda la conducibilità idraulica (k) nella relazione della Geol. Vittoria Castellani (punto elenco 7 in premessa) sono indicati valori pari a $2,1 \times 10^{-4}$ m/s e $3,88 \times 10^{-5}$ m/s, ricavati da due prove di permeabilità eseguite rispettivamente nei fori dei sondaggi 1 e 2 la cui ubicazione è indicata in Figura 4-1.

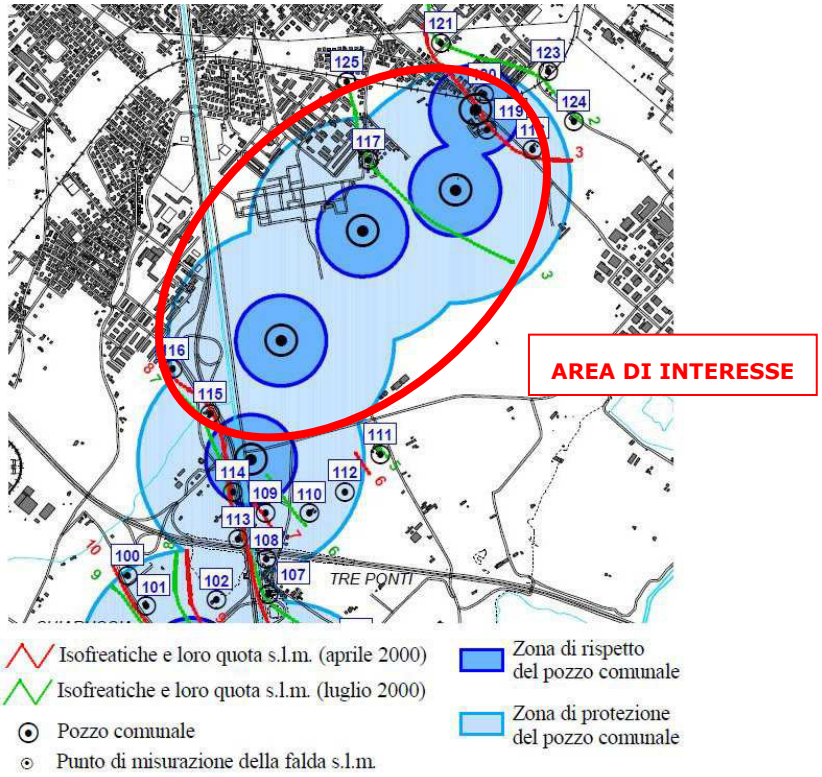



FIGURA 3-9 – STRALCIO DELLA TAVOLA "INDAGINE IDROGEOLOGICA PER LA DETERMINAZIONE DELLE ZONE DI RISPETTO E PROTEZIONE DEI POZZI COMUNALI" DEL PRG DI FANO (FONTE: HTTPS://WWW.COMUNE.FANO.PU.IT \PIANIFICAZIONE URBANISTICA\PRG2009)

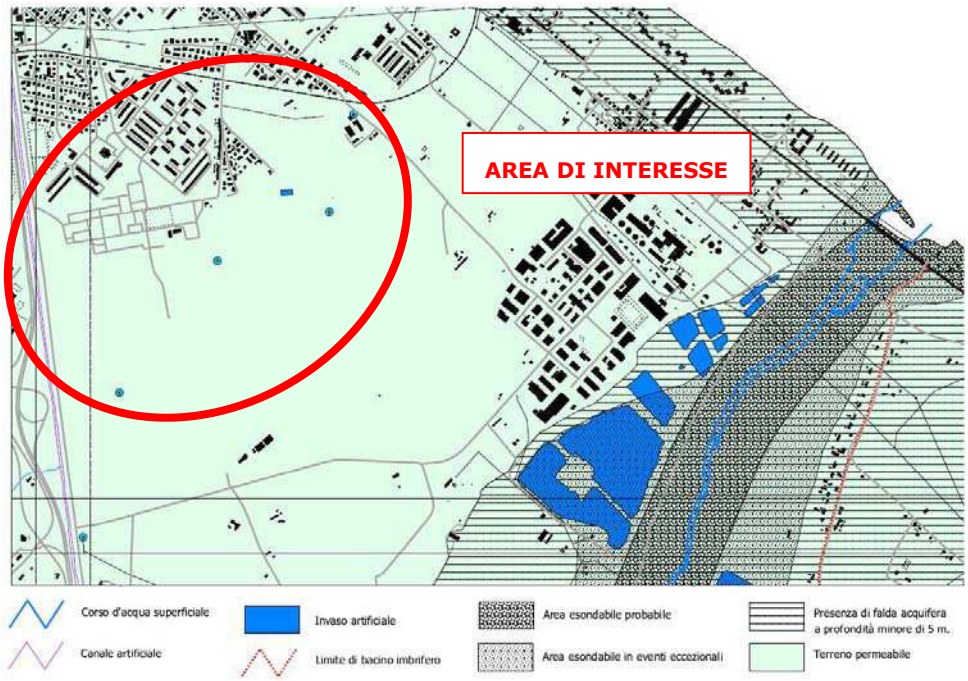



FIGURA 3-10 –STRALCIO DELLA CARTA IDROGEOLOGICA A CORREDO DEL PRG DI FANO (FONTE: HTTPS://WWW.COMUNE.FANO.PU.IT \PIANIFICAZIONE URBANISTICA\PRG2009)

Di seguito si riporta uno stralcio della carta delle pericolosità geologiche del PRG di Fano (Figura 3-11), da cui si osserva che nell'area di interesse sono comprese le zone di rispetto e di protezione dell'acquifero poste al contorno di pozzi. Il PRG di Fano denomina tali aree con la sigla V5 che sono normate ai sensi all'art.82 delle NTA.

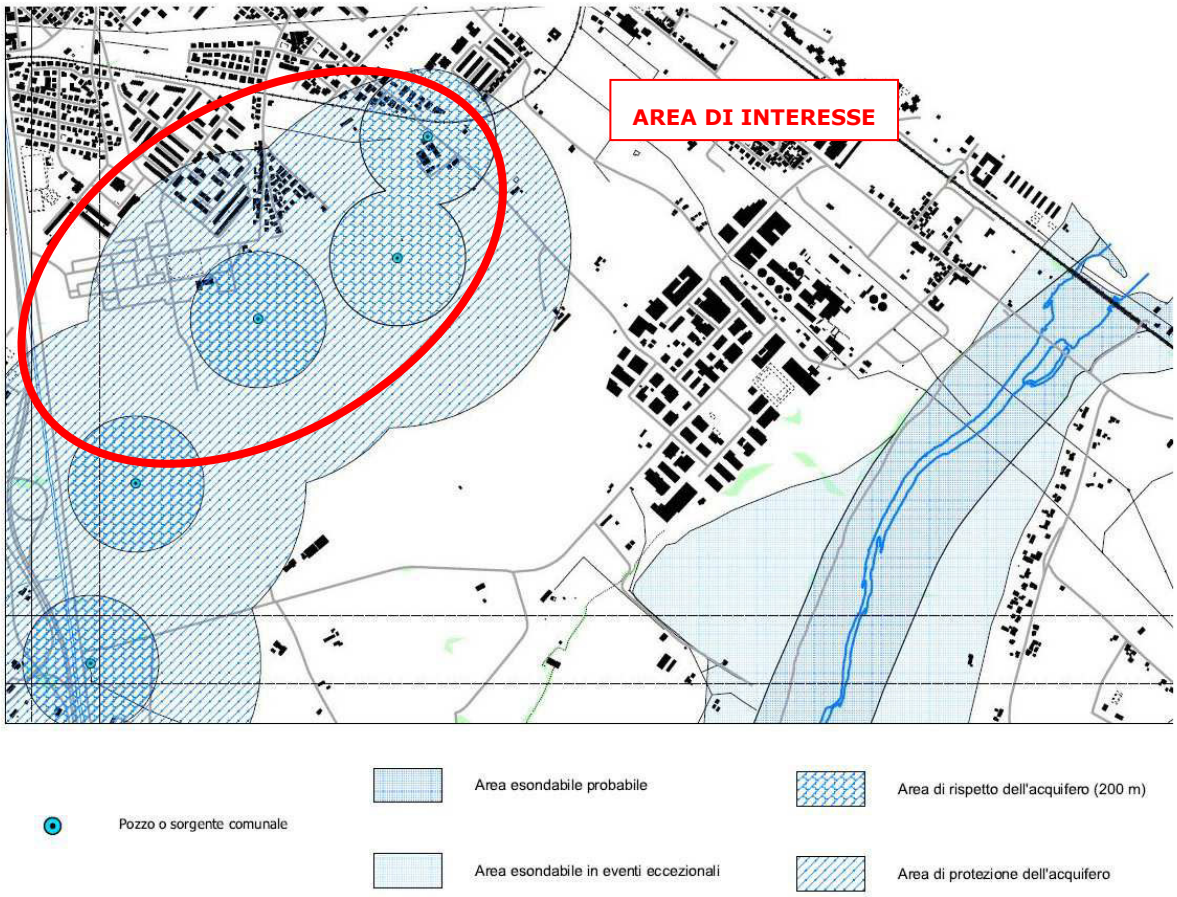



FIGURA 3-11 –STRALCIO DELLA CARTA DELLE PERICOLOSITÀ IDROGEOLOGICHE A CORREDO DEL PRG DI FANO (FONTE: HTTPS://WWW.COMUNE.FANO.PU.IT \PIANIFICAZIONE URBANISTICA\PRG2009)

# 4. DESCRIZIONE DELLE INDAGINI IN SITO

Per la caratterizzazione sismica dell'area interessata dagli interventi è stata effettuata una campagna di misure sismiche HVSR. La caratterizzazione litostratigrafica e delle proprietà litotecniche dei terreni si è basata sull'analisi delle indagini geognostiche tratte dai documenti citati in premessa, ai quali si rimanda per i dettagli circa la strumentazione utilizzata. L'ubicazione delle indagini effettuate e analizzate distinte per tipologia e fonte è indicata in Figura 4-1.

Complessivamente sono state eseguite:

1. n. 5 misure sismiche HVSR mediante tromino;

Inoltre sono state prese in esame le seguenti indagini pregresse:

2. n. 6 sondaggi geognostici;
3. n.1 stendimento sismico MASW;
4. n.2 stendimenti sismici con tomografia per ricostruzione della sismo stratigrafia in onde P e onde S;
5. n.5 trincee esplorative con prelievo di campioni;
6. n. 1 Prova penetrometrica statica;
7. n. 2 Prove penetrometriche dinamiche.

***Tromino***

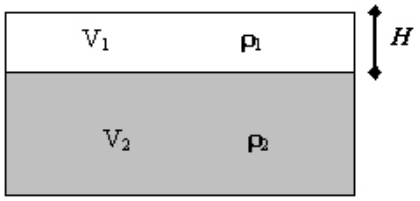
Il Tromino è uno strumento in grado di misurare i microtremori, attraverso il quale è stata effettuata la valutazione della $V_{s,30}$ e dell'amplificazione sismica di risonanza del substrato di interesse. Il tremore sismico, comunemente definito "rumore sismico", esiste ovunque sulla superficie della terra. Esso è principalmente costituito da onde superficiali, ovvero da onde elastiche prodotte dall'interferenza costruttiva di onde P ed S che si propagano negli strati superficiali. Il rumore sismico è prodotto essenzialmente dal vento o dalle onde marine. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali. I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. In essi giocano un ruolo fondamentale le onde superficiali, che hanno velocità prossima a quella delle onde S, il che spiega la dipendenza di tutta la formulazione della velocità di queste ultime.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo da 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 Nogoschi e Igaraschi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo. Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente facili da comprendere in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato. Considerando lo schema della figura sottostante in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ1 e ρ2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V1 e V2). Un'onda così riflessa interferisce con

quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizioni di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (λ) 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 è pari a:

$$fr = \frac{V_{s1}}{4H}$$

Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza 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 dello spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando la sopra riportata equazione.




L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un importante normalizzazione del segnale per a) in contenuto di frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

Un aspetto assai importante è che il rumore sismico agisce come sorgente di eccitazione per la risonanza del sottosuolo e degli edifici più o meno come una luce bianca diffusa illumini gli oggetti eccitando le lunghezze d'onda tipiche di ciascun oggetto e dandogli il suo tipico colore. Questo risulta molto importante a livello ingegneristico perché se un edificio ha frequenze proprie di vibrazione uguali a quelle del substrato su cui è fondato, durante un sisma, si assiste al fenomeno dell'accoppiamento delle vibrazioni. Questo effetto di amplificazione sismica produrrà un grande aumento della sollecitazione sugli edifici.

La calibrazione delle misure dei microtremori è stata eseguita in base alle informazioni e dati reperiti sulla zona in esame. Le misure sono state eseguite dal Dott. Stefano Strocchi il giorno 10/05/18, che ha redatto anche la relazione geofisica allegata alla presente. L'ubicazione e la foto dei punti di misura sono rispettivamente riportate in Figura 4-1, e Figura 4-2.

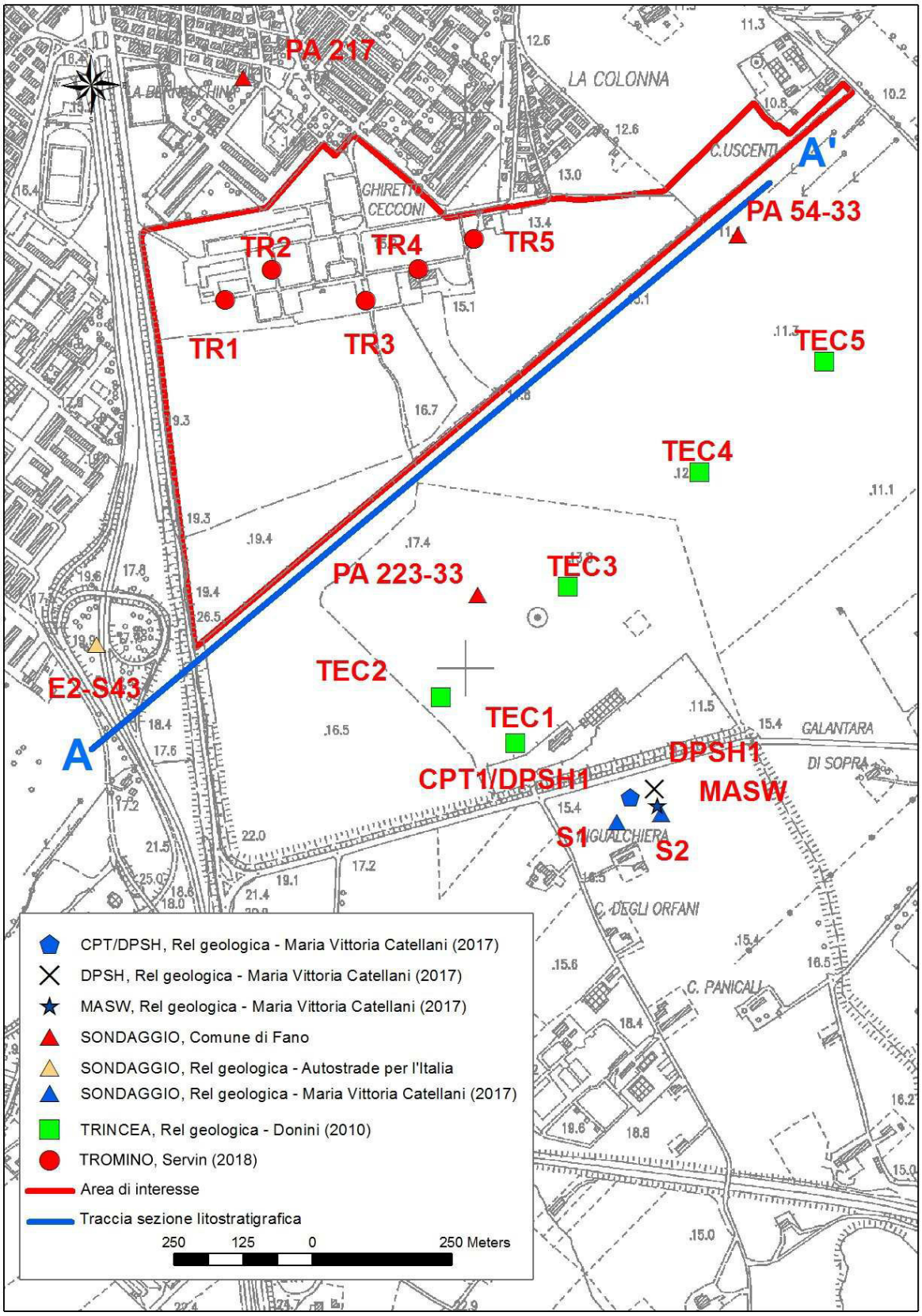



FIGURA 4-1 – UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE E PREGRESSE

FIGURA 4-2 –FOTO DEI PUNTI DI MISURA MEDIANTE TROMINO

# 5. PROPRIETÀ FISICHE E MECCANICHE DEI TERRENI

## 5.1. Caratteristiche litologiche dei terreni e valori indicativi dei parametri geotecnici

I log stratigrafici dei sondaggi geognostici analizzati, ubicati in Figura 4 1, sono riportati in allegato 1. I sondaggi PA 54-33, PA 223-33 e E2-S43, sono stati utilizzati per ricostruire la sezione litostratigrafica interpretativa di Figura 5-1 lungo la traccia riportata in Figura 4-1.

Le unità individuate sono descritte in Tabella 5-1.

| Unità Litostratigrafica | Profondità (m da p.c.) | Descrizione |
|---|---|---|
| 1 | Da 0 a circa 33-35 | Sabbia, ghiaie e ghiaie sabbiose a cui sono alternate lenti di sabbia, sabbia limose, limi sabbiosi e argilla limosa sabbiosa di spessore variabile |
| 2 | Da circa 33 – 35 a fine sondaggio | Argille e argille limose grigio verdastre con intercalazioni di sottili lenti e strati di sabbia |

TABELLA 5-1 – SUCCESSIONE LITOSTRATIGRAFICA

Dal punto di vista litotecnico, nell'unità 1 è individuabile uno strato superficiale di spessore variabile costituito da terreni più fini, sovrastante i depositi prevalentemente granulari che si ritrovano sino al substrato costituito da materiale fine. Oltre ai sondaggi utilizzati per ricostruire la sezione, la schematizzazione sopra descritta è confermata anche dall'analisi dei restanti dati litostratigrafici come evidente da quanto esposto nel seguito del paragrafo.

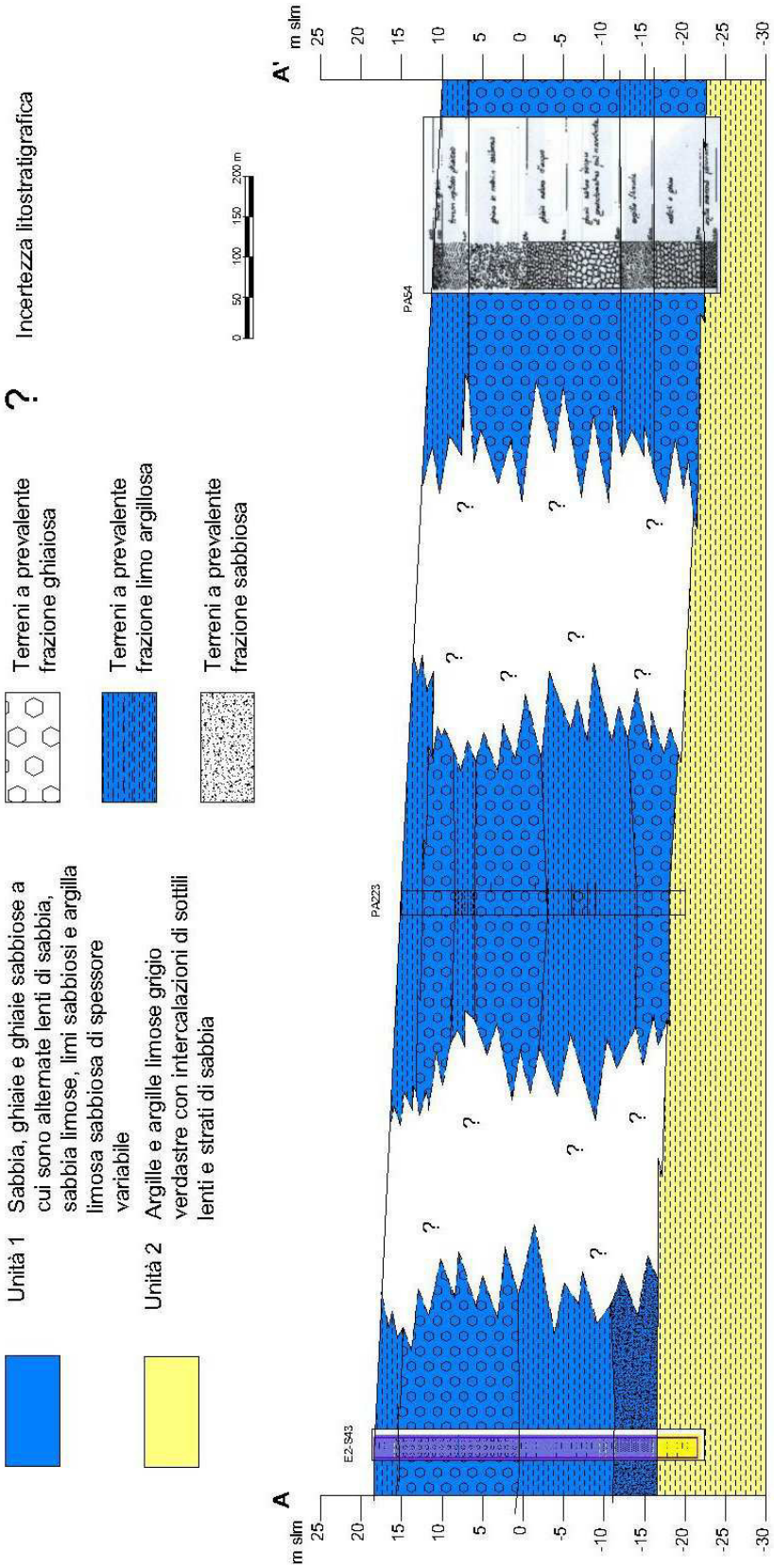



FIGURA 5-1 – SEZIONE LITOSTRATIGRAFICA

Riguardo le caratteristiche litotecniche dei terreni, in Figura 5-2 è riportato uno stralcio della carta litologico-tecnica del PRG di Fano, come già esposto, in superficie sono indicati depositi alluvionali in prevalenza ghiaioso-sabbiosi che nella porzione est dell'area di interesse hanno spessore maggiore di 30 m. Per questi depositi nella relazione geologica del PRG di Fano sono menzionate le buone caratteristiche in termine di idoneità quali terreni di fondazione. Per l'unità di substrato; argille marnose, siltose, talora lievemente sabbiose, con intercalazioni di livelli sabbiosi, sono indicati i parametri geomeccanici di riferimento di Tabella 5-2.

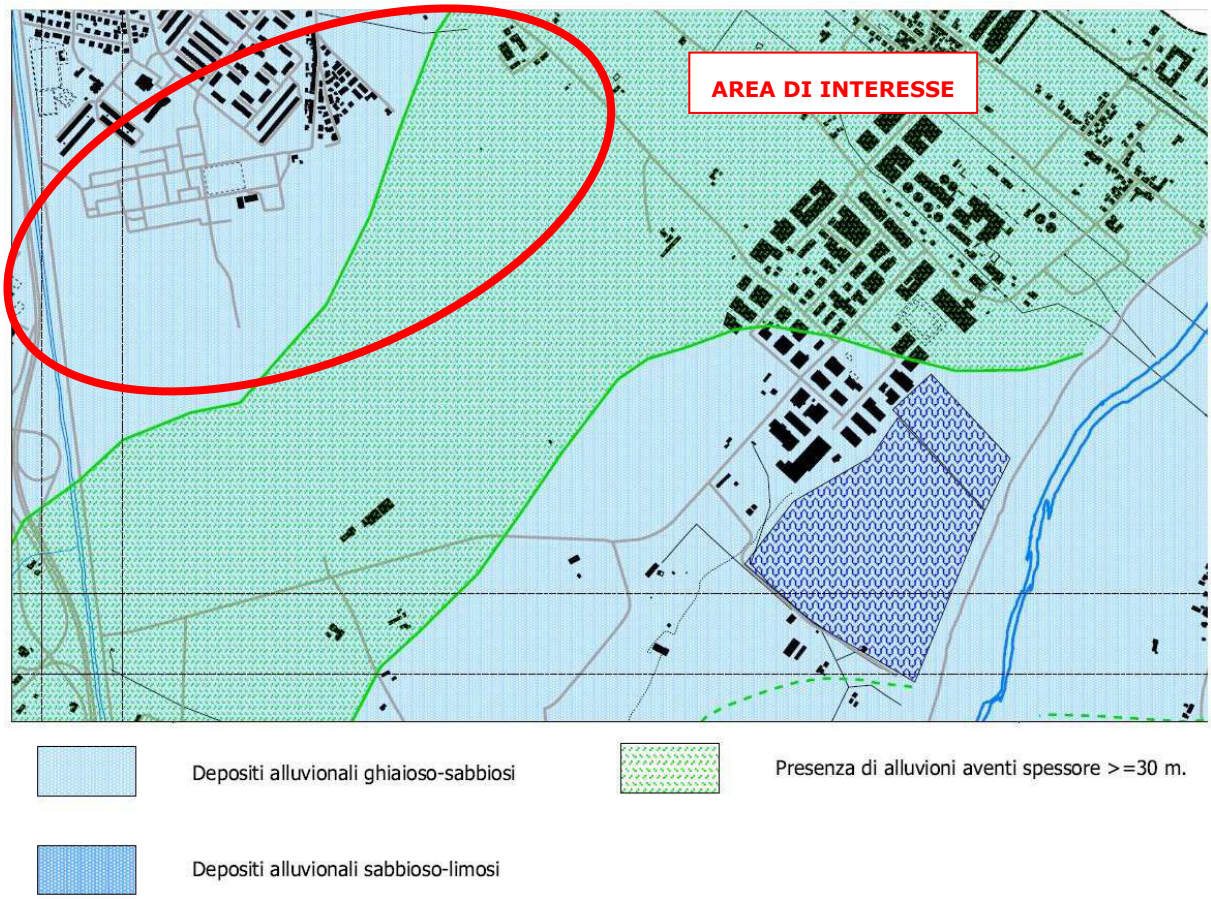



FIGURA 5-2 –STRALCIO DELLA CARTA LITOLOGICO - TECNICA A CORREDO DEL PRG DI FANO (FONTE: HTTPS://WWW.COMUNE.FANO.PU.IT \PIANIFICAZIONE URBANISTICA\PRG2009)

| | γ (t/mc) | ϕ | Cu (t/mq) |
|---|---|---|---|
| Strato eluviale | 1,8/1,9 | 20°-22° | 3-6 |
| Formaz.integra | 2,0/2,1 | 20°-22° | 10-15 |

TABELLA 5-2 – VALORI INDICATIVI DEI PRINCIPALI PARAMETRI GEOMECCANICI DEL SUBSTRATO (FONTE: RELAZIONE GEOLOGICA A CORREDO DEL PRG DI FANO)

Sempre in riferimento alle proprietà geomeccaniche dei terreni al fine di fornire dei valori indicativi, di seguito si riportano i dati tratti dalle relazioni citate ai punti elenco 2, 6 e 7 in premessa.

In particolare nella relazione del Dott. Armando Donini (punto elenco 7) riguardante gli interventi di riqualificazione dell'aeroporto di Fano ubicato al confine dell'area di interesse, sono riportati i dati di prove di caratterizzazione eseguite su campioni prelevati in corrispondenza di trincee (Figura 4-1). In Tabella 5-3 è indicata la profondità dei saggi e di prelievo dei campioni, in Figura 5-2 le sezioni litotecniche e infine, in Tabella 5-4 la sintesi dei parametri geotecnici e geomeccanici rilevati.

| SAGGIO | Profondità saggio (m) | Campione | Profondità prelievo (m) |
|---|---|---|---|
| TEC1 | 2,0 | C1 | 0,9 |
| TEC2 | 1,8 | C2 | 0,8 |
| TEC3 | 2,0 | C3 | 0,5 |
| TEC4 | 2,0 | C4 | 0,5 |
| TEC5 | 0,5 | C5 | 0,5 |

TABELLA 5-3 – PROFONDITÀ DEI SAGGI E DI PRELIEVO DEI CAMPIONI DI TERRENO (DA: REL GEOLOGICA DEL DOTT. ARMANDO DONINI)

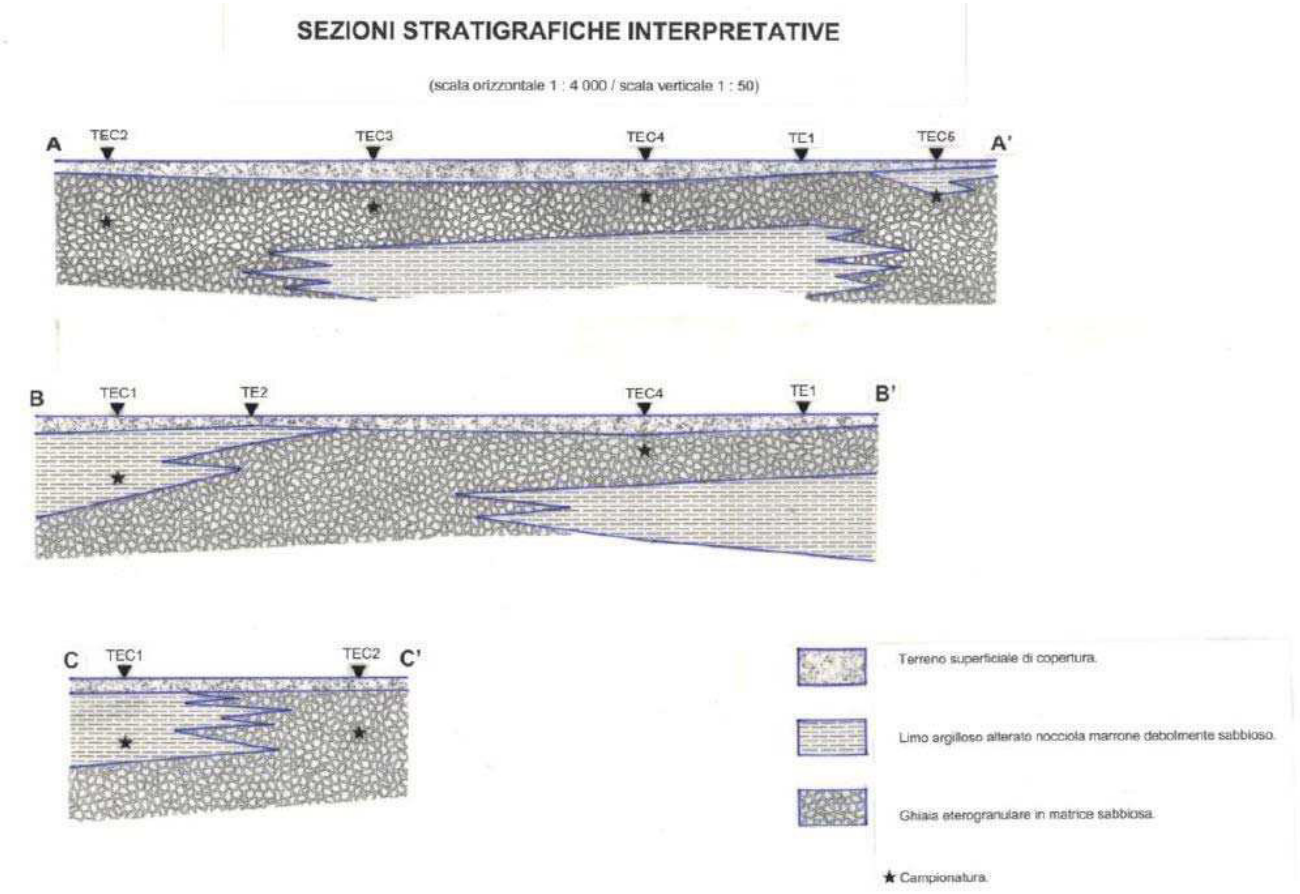



FIGURA 5-3 –SEZIONE LITOTECNICA INTERPRETATIVA (DA: REL GEOLOGICA DEL DOTT. ARMANDO DONINI)

| PROVA / CAMPIONE | | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Contenuto in acqua | % | 20,1 | 15,2 | 7,3 | 6,2 | 16,7 |
| Densità | $Mg/m^3$ | - | 2,01 | - | 1,96 | - |
| Densità secca | $Mg/m^3$ | - | 1,75 | - | 1,85 | - |
| Modulo di deformazione Md | $N/mm^2$ | 8,3 | 7,2 | 37,0 | 46,2 | 9,9 |
| Passante 2,000 mm | % | 98,5 | 63,4 | 33,6 | 70,5 | 46,4 |
| Passante 0,420 mm | % | 92,9 | 59,9 | 31,0 | 66,0 | 45,6 |
| Passante 0,075 mm | % | 80,4 | 50,3 | 21,9 | 54,1 | 37,7 |
| Limite di liquidità | % | 32 | 47 | 40 | 35 | 49 |
| Indice di plasticità | % | 9 | 21 | 15 | 10 | 21 |
| Classificazione UNI 10006 | - | A4 | A7-6 | A2-6 | A4 | A7-6 |
| Contenuto in acqua ottimale | % | - | 12,5 | - | 12,0 | - |
| Densità secca massima | $Mg/m^3$ | - | 1,80 | - | 1,80 | - |
| Indice CBR (insaturo) | % | - | 16 | - | 19 | - |
| Indice CBR (saturo) | % | - | 6 | - | 7 | - |

TABELLA 5-4 – SINTESI DEI PARAMETRI FISICI E GEOMECCANICI (DA: REL GEOLOGICA DEL DOTT. ARMANDO DONINI)

Nella relazione della Dott.sa Maria Vittoria Castellani (Punto elenco 6) che riguarda un area posta a sud dell'aeroporto, sono ricostruite le sezioni litostratigrafiche riportate nella seguente Figura 5-4. Nel relativo modello geologico sono individuate due unità; l'orizzonte A, superficiale e a seguire l'orizzonte B. i parametri geomeccanici ricavati sono sotto elencati:

***ORIZZONTE A***: I imi argilloso sabbiosi – DEPOSITI ALLUVIONALI

*γ = 1,90-2,0 t/mq*

*Cu = 4-7 t/mq C'=0 t/mq*

*φ= 24°-26°*

***ORIZZONTE B*** **:** ghiaia e sabbia ghiaiosa – DEPOSITI ALLUVIONALI

*γ = 1,85-1,95 t/mq*

*φ= 32°-38°*

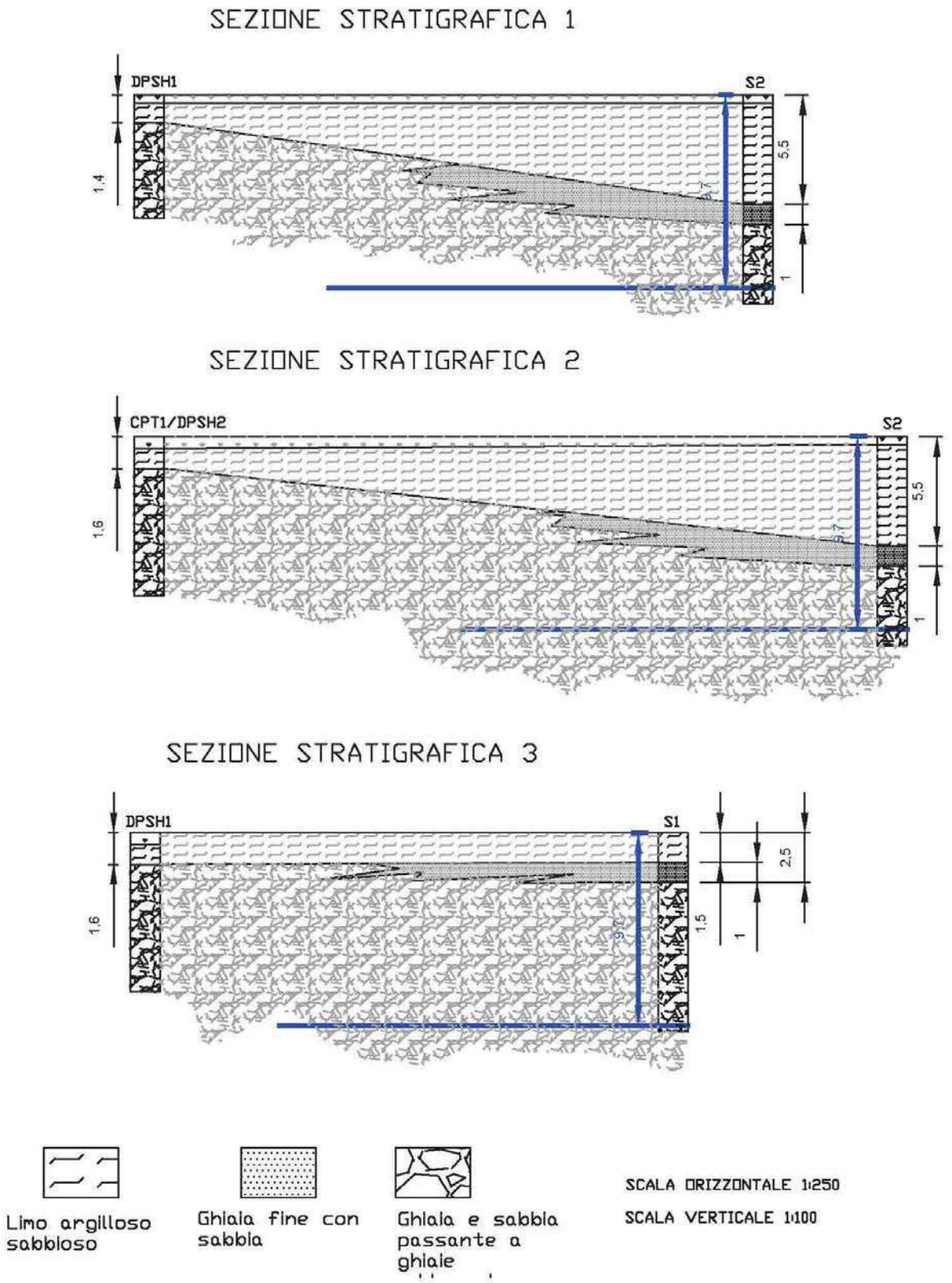



FIGURA 5-4 –SEZIONE LITOTECNICA INTERPRETATIVA (DA: REL GEOLOGICA DEL DOTT.SSA MARIA VITTORIA CASTELLANI)

Infine si riportano i dati litotecnici tratti dalla relazione geotecnica di Spea Autostrade (punto elenco 2) riguardante le opere compensative al progetto di ampliamento della terza corsia dell'autostrada A14 e in particolare quelle dello svincolo "Fano esistente" posto immediatamente a sud ovest dell'area di interesse. Le indagini geognostiche relative a questa zona sono indicate in Figura 5-3.

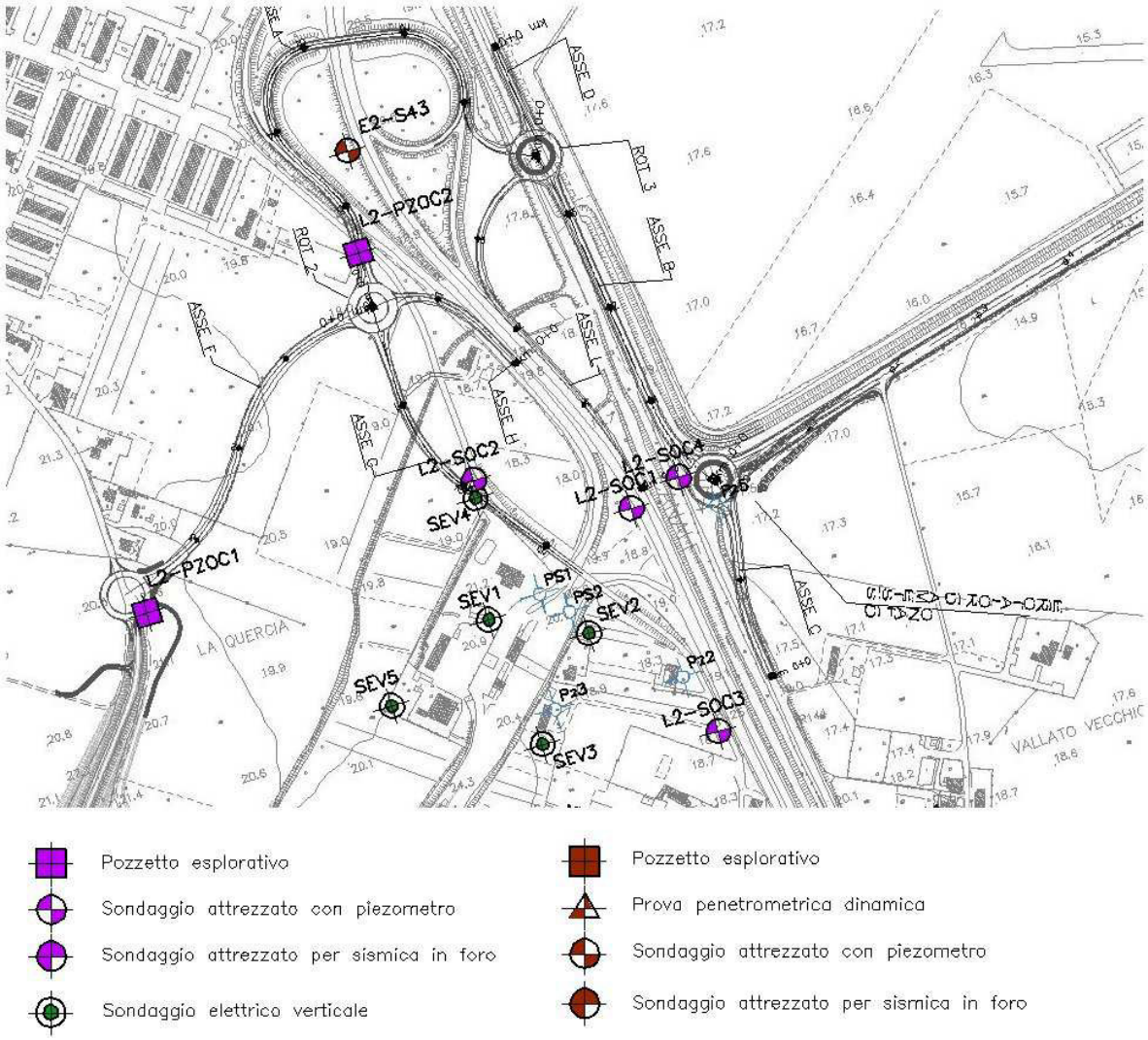



FIGURA 5-5 –STRALCIO DELLA TAVOLA DI UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE (FONTE: SPEA AUTOSTRADE (MAGGIO 2012) – AUTOSTRADA (A14) : BOLOGNA BARI TARANTO – AMPLIAMENTO DELLA TERZA CORSIA DEL TRATTO RIMINI NORD PEDASO, TRATTO CATTOLICA-FANO –OPERE COMPENSATIVE COMUNE DI FANO –PROGETTO DEFINITIVO)

In quest'area è indicata la presenza di depositi alluvionali recenti sovrapposti ad un substrato plio-pleistocenico che nel modello adottato sono distinti come riportato di seguito:

- A1 depositi alluvionali attuali e recenti di natura limoso-argillosa
- A2 depositi alluvionali attuali e recenti di natura sabbioso-ghiaiosa
- P1 depositi plio-pleisoceniici di natura limoso-argillosa
- P2 depositi plio-pleistocenici di natura sabbioso-ghiaiosa

Nella zona dello svincolo le indagini e la stratigrafia di riferimento sono sotto riportate:

***Nuovo sistema di viabilità Svincolo di Fano esistente***

*Indagini di riferimento 2008/2009*:

Sondaggi: L2-SOC1, L2-SOC2, L2-SOC3, L2-SOC4

Pozzetti: L2-PZOC1, L2-PZOC2

*Indagini pregresse*:

Sondaggi a carotaggio continuo: 2-B11, B4-SObis

Prove penetrometriche statiche: 2-P24

*Tabella 8: Svincolo di Fano esistente – Stratigrafia di riferimento*

| Materiale | da (m) | a (m) | Note |
|---|---|---|---|
| A1 | 0.0 | 5.0-7.0 | |
| A2 | 5.0-7.0 | 33.0-34.0 | |
| P1 | 33.0-34.0 | max prof. indagata 35.0 | Sopra il contatto con il substrato plio-pleistocenico è presente una zona di depositi a minore grado di addensamento di circa 4.0-5.0 m di spessore, in cui è stato rinvenuto anche un passaggio torboso |

Il range di variazione dei parametri geotecnici corrispondente ai materiali sopra indicati sono riportati in Tabella 5-5.

| LOTTO 2 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| **Mat.** | **Nspt** | **Dr** | **Peso di Volume $\gamma_n$ (kN/m³)** | **Parametri di resistenza** | | **Parametri di deformabilità** |
| A1 | 5-20 | | 18,0-20,0 | $c_u$=30-60 kPa | | $E_{op}$=5-11 MPa |
| | | | | $c_p'$=2-8kPa<br>$\phi_p'$=26°-27° | $c_r'$=0kPa<br>$\phi_r'$=18°-24° | |
| A2 | 20-75 | 50-80 | 19,0-20,0 | c'=0 kPa, $\phi'$=37°-39° | | $E_0$=200-400 MPa |
| P1 | 30-60 | | 19,5-20,5 | $c_u$≥250 kPa | | $E_{op}$=50 MPa |
| | | | | $c_p'$=10-20 kPa<br>$\phi_p'$=26°-30° | $c_r'$=0 kPa<br>$\phi_r'$=16°-22° | |
| P2 | >40-50 | >60 | 18,0-21,0 | c'=0 kPa, $\phi'$=38°-40° | | $E_0$=300-600 MPa |

Essendo:

| | | |
|---|---|---|
| $\gamma_n$ | = | peso di volume naturale (kN/m³); |
| Nspt | = | numero colpi Nspt / 30 cm; |
| Dr | = | densità relativa; |
| $c_u$ | = | resistenza al taglio non drenata (kPa); |
| c' | = | resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci (kPa); |
| $c_r'$ | = | resistenza al taglio residua in termini di sforzi efficaci (kPa); |
| $\phi'$ | = | angolo d'attrito in termini di sforzi efficaci; |
| $\phi_r'$ | = | angolo d'attrito residuo in termini di sforzi efficaci; |
| $E_{op}$ | = | modulo elastico "operativo"; |
| $E_0$ | = | modulo elastico iniziale. |

TABELLA 5-5 – SINTESI DEI PARAMETRI FISICI E GEOMECCANICI (FONTE: SPEA AUTOSTRADE (MAGGIO 2012) – AUTOSTRADA (A14) : BOLOGNA BARI TARANTO – AMPLIAMENTO DELLA TERZA CORSIA DEL TRATTO RIMINI NORD PEDASO, TRATTO CATTOLICA-FANO –OPERE COMPENSATIVE COMUNE DI FANO –PROGETTO DEFINITIVO)

# 6. SISMICA

## 6.1. Pericolosità sismica

In Figura 6-1 si riporta uno stralcio della mappa della zonazione sismogenetica SZ9 (fonte: http://zonesismiche,mi,ingv,it e *Gruppo di Lavoro (2004)-Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 Marzo 2003, Rapporto Conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp, + 5 appendici*,) e la distribuzione degli epicentri dei terremoti storici (Fonte: Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15).

L'area di interesse ricade in corrispondenza della zona sismogenetica 917 Rimini - Ancona che è caratterizzata da una magnitudo momento massima pari a 6,14.
In Tabella 6-1 sono riportate alcune caratteristiche dei terremoti il cui epicentro ricade in un raggio di circa 20 km dall'area di interesse.

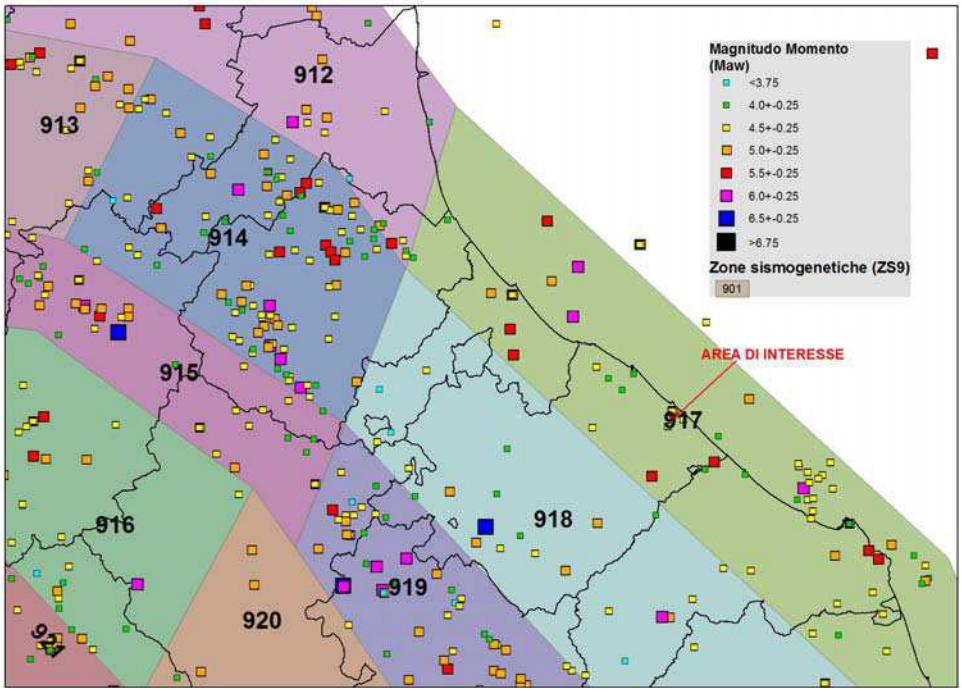



FIGURA 6-1 – ZONE SISMOGENETICHE (INGV) E EPICENTRI DEI TERREMOTI STORICI SUDDIVISI PER CLASSI DI MAGNITUDO (CPTI15)

| Numero d'ordine catalogo | Data | Latitudine epicentro | Longitudine epicentro | Magnitudo Momento (MAW) | Intensità epicentrale (IO) | Zona con i massimi effetti |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 102 | Aprile-1389 | 43.837 | 13.018 | 5.10 | 7 | Fano |
| 496 | 23-10-1692 | 43.837 | 13.018 | 4.16 | 5 | Costa pesarese |
| 578 | 31-3-1717 | 43.91 | 12.91 | 4.16 | 5 | Costa pesarese |
| 674 | 25-5-1744 | 43.82 | 13.05 | 4.59 | 5 | Costa pesarese |
| 714 | 6-10-1756 | 43.899 | 12.84 | 3.93 | 4-5 | Costa pesarese |
| 859 | 18-4-1788 | 43.837 | 13.018 | 4.40 | 5-6 | Costa pesarese |
| 1058 | 23-6-1838 | 43.806 | 13.008 | 4.63 | 6 | Costa pesarese |
| 1609 | 21-9-1897 | 43.706 | 12.966 | 5.40 | 7 | Marche settentrionali |
| 1693 | 25-9-1901 | 43.877 | 12.879 | 4.23 | 5 | Costa pesarese |
| 2053 | 16-8-1916 | 43.8 | 12.8 | 4.60 | 6 | Riminese |
| 2056 | 16-8-1916 | 43.8 | 12.8 | 4.69 | 5 | Riminese |
| 2194 | 2-1-1924 | 43.737 | 13.138 | 5.48 | 7-8 | Senigallia |
| 2267 | 30-5-1928 | 43.865 | 13.228 | 5.02 | 5 | Senigallia |
| 2335 | 25-6-1931 | 43.722 | 13.113 | 4.02 | 4-5 | Senigallia |
| 2421 | 26-11-1937 | 43.789 | 13.147 | 4.16 | 5 | Costa pesarese |
| 2731 | 23-1-1962 | 43.921 | 12.806 | 4.35 | 5 | Costa pesarese |

TABELLA 6-1 – TERREMOTI CON EPICENTRO ALL'INTERNO DI UN AREA DI CIRCA 20 KM DALLA ZONA DI INTERESSE

Dall'ambito della pianificazione urbanistica in Figura 6-2 si riportata un estratto della tavola S2.2 "Carta degli scenari a maggiore pericolosità sismica locale" da cui si osserva che per l'area di interesse non sono indicati elementi di pericolo.

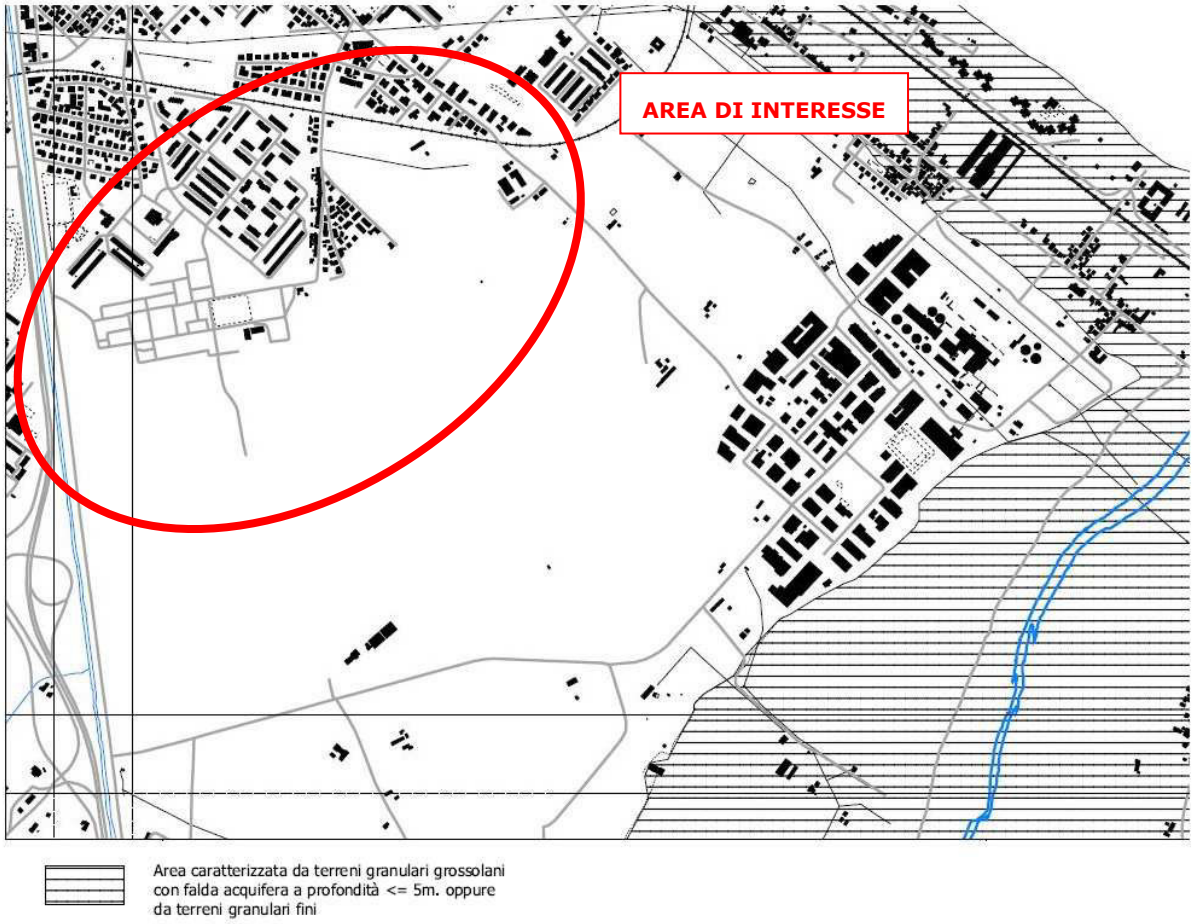



FIGURA 6-2 –STRALCIO DELLA CARTA DEGLI SCENARI A MAGGIORE PERICOLOSITÀ SISMICA LOCALE A CORREDO DEL PRG DI FANO (FONTE: HTTPS://WWW.COMUNE.FANO.PU.IT \PIANIFICAZIONE URBANISTICA\PRG2009)

A partire dal 23/10/05 trova attuazione, in via di prima applicazione, la classificazione sismica stabilita dall'Allegato 1, punto 3 dell'Ordinanza n, 3274 /2003. In base a questa il Comune di Fano risulta classificato "zona 2".

Le azioni sismiche di progetto sono determinate a partire dalla pericolosità sismica di base del sito di costruzione. Secondo le NTC18 la stima della pericolosità sismica, intesa come accelerazione massima orizzontale su suolo rigido (Vs30 >800 m/s) viene effettuata con un approccio "sito dipendente". Le NTC18 fanno riferimento all'allegato A delle NTC08 dove è descritta la procedura per la stima dei parametri spettrali necessari alla definizione dell'azione sismica di progetto che sono calcolati in funzione del reticolo di riferimento (Allegato B delle NTC08):

- $a_g$ = accelerazione massima orizzontale del terreno;

- $F_0$ = valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro;
- $T^*_c$ = periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione.

Note le coordinate geografiche, si ubica il sito in esame all'interno del reticolo di riferimento, i parametri spettrali, per un determinato periodo di ritorno ($T_R$), sono calcolati dalla media pesata, rispetto la distanza, dei valori riferiti ai quattro nodi del reticolo.
Il periodo di ritorno è valutato in funzione del periodo di riferimento ($V_R$) che si ricava, per ciascun tipo di costruzione moltiplicandone la vita nominale ($V_N$) per il coefficiente d'uso ($C_U$).
Nel caso in esame si è assunto:

$V_N \geq 50$ anni;
$C_U = 1$;
Da cui $V_R = 50$ anni

Gli stati limite rispetto ai quali devono essere verificate le prestazioni di un opera o di una parte di essa che possono verificarsi durante la $V_N$ in presenza di azioni sismiche sono:

-Stati limite di esercizio
- Stato Limite di Operatività (SLO),
- Stato Limite di Danno (SLD),

-Stati limite ultimi
- Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV),
- Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC),

La probabilità di superamento nel periodo di riferimento ($Pv_R$) a cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati sono riportati in Tabella 6-2 (Tabella 3,2,1, delle NTC18).

| **Stati Limite** | | **$Pv_R$: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento $V_R$** |
|---|---|---|
| Stati limite di esercizio | SLO | 81 % |
| | SLD | 63 % |
| Stati limite ultimi | SLV | 10% |
| | SLC | 5% |

TABELLA 6-2 – PROBABILITÀ DI SUPERAMENTO $Pv_R$ AL VARIARE DELLO STATO LIMITE CONSIDERATO

In Figura 6-3 è riportata l'ubicazione del sito investigato rispetto ai nodi del reticolo di riferimento che lo circondano; 19862, 19863, 20084 e 20085. Le coordinate geografiche del baricentro approssimativo dell'area di intervento sono: Latitudine 43.8283°, Longitudine 13.01993°.
I valori dei parametri ag, $F_o$ e $T_c^*$ sono riportati in Tabella 6-3.

| Stato limite | $Pv_R$ | $T_R$ (anni) | $a_g$ ($m/s^2$) | Fo | TC* |
|---|---|---|---|---|---|
| Operatività (SLO) | 81% | 30 | 0.047 | 2.424 | 0.277 |
| Danno (SLD) | 63% | 50 | 0.061 | 2.578 | 0.277 |
| Salvaguardia vita (SLV) | 10% | 475 | 0.182 | 2.473 | 0.296 |
| Prevenzione collasso (SLC) | 5% | 975 | 0.237 | 2.516 | 0.31 |

TABELLA 6-3 – VALORE DEI PARAMETRI AG, FO E TC*

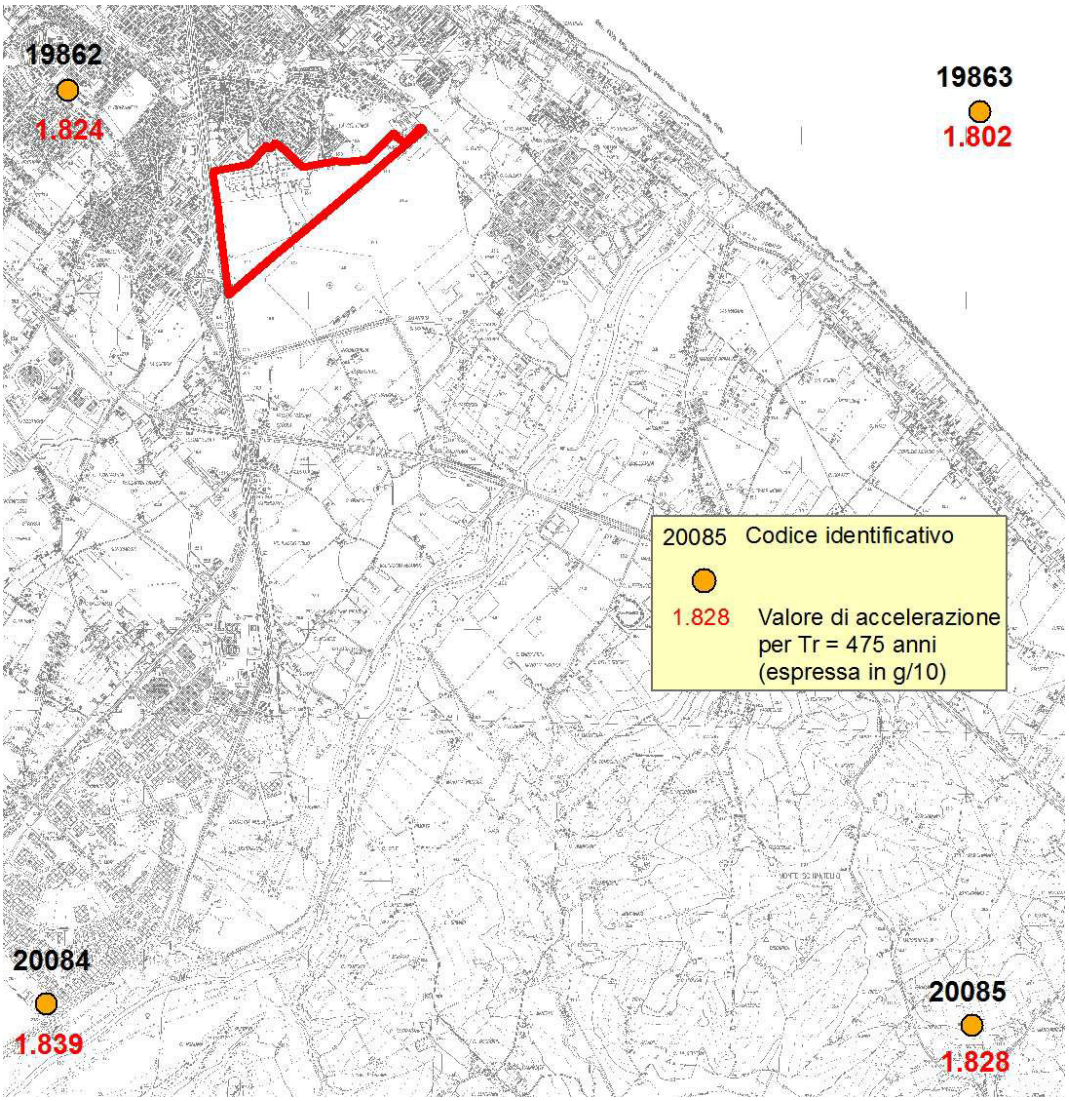



FIGURA 6-3 – UBICAZIONE DELL'AREA DI INTERESSE RISPETTO AL RETICOLO DI RIFERIMENTO

I valori dei parametri spettrali ottenuti in questo modo sono relativi ad una situazione geologica assente da fenomeni locali ovvero con substrato sismico (Vs > 800 m/s) affiorante e assetto morfologico pianeggiante. Nel caso in esame non essendo rispettata la prima condizione occorre valutare secondo quanto riportato nelle NTC18: "*l'effetto*

*della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi, da eseguire con le modalità indicate nel § 7.11.3. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS"*

Per la determinazione della categoria di sottosuolo le NTC18 indicano l'individuazione delle velocità $V_s$ di propagazione delle onde di taglio mediante specifiche prove.
Come già esposto, per questo studio, la valutazione delle $V_s$ è stata effettuata mediante una indagine sismica utilizzando il TROMINO quale strumento di misura.
I risultati delle misure effettuate su cinque punti sono esposte nella relazione geofisica redatta dal Dott. Strocchi riportata in allegato 2.
<u>In base ai valori di $V_{s,30}$ stimati i terreni investigati risultano caratterizzabili all'interno della categoria di sottosuolo B.</u>
A confronto si è inoltre consultata la prova Masw riportata nella relazione della Dott.ssa Castellani dalla quale la $V_{s,30}$ stimata conduce alla medesima classificazione all'interno della categoria B.
<u>Rispetto le condizioni topografiche il sito è caratterizzabile all'interno della categoria T1.</u>

**<u>Considerazioni circa la liquefazione dei terreni</u>**

Secondo le indicazioni delle NTC18 tra gli effetti indotti da un sisma occorre verificare la stabilità dei terreni alla liquefazione che viene così definita: "*fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate".*
Le NTC al riguardo forniscono una lista di circostanze da analizzare per il sito in esame delle quali, se ne risulta verificata almeno una, viene esclusa la necessità di verifica della suscettibilità dei terreni alla liquefazione. Per il sito di interesse la verifica della stabilità alla liquefazione non risulta, sulla base dei dati a disposizione, escludibile a priori poiché nessuna di tali condizioni è in linea qualitativa verificata. Tuttavia a titolo indicativo si osserva che la caratteristiche specifiche del sito non sono tra quelle che possoni in modo particolare predisporre il fenomeno, infatti nei primi 20 m di profondità dal p.c. vi è una componente granulometrica ghiaiosa abbondante e la falda si trova mediamente a profondità compresa tra 9 e 15 m da p.c. Inoltre tra il materiale bibliografico consultato (in particolare le relazioni della Dott.ssa Castellani e Spea Autostrade) per aree vicine al sito di interesse, con condizioni litostratigrafiche, idrogeologiche e sismiche analoghe, le verifiche condotte hanno dimostrato la stabilità nei confronti della liquefazione.
Comunque si suggerisce che le indagini successive siano finalizzate anche alla valutazione della suscettibilità dei terreni alla liquefazione.

# 7. CONSIDERAZIONI DI SINTESI

Su incarico della società Studio Silva S.r.l. è stato svolto uno studio finalizzato al riconoscimento delle principali caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geomorfologiche di un area oggetto di variante urbanistica ubicata tra il quartiere Vallato e l'area destinata ad Aeroporto turistico della città di Fano. Sull'area è in progetto la realizzazione di un parco pubblico in cui è previsto la ristrutturazione o la nuova realizzazione di edifici adibiti ad attività ricreativa.
Per la caratterizzazione sismica del sito sono state effettuate delle misure HVSR e si è fatto riferimento al materiale bibliografico fornito dalla committenza e pubblicato in rete.
Dato il potenziale rischio bellico, segnalato della committenza che ha valutato tale aspetto con l'amministrazione responsabile del procedimento, per la predisposizione del presente documento non è stato possibile effettuare perforazioni o scavi a scopo geognostico. Le informazioni bibliografiche raccolte hanno comunque consentito di individuare un modello geologico sufficientemente adeguato agli scopi della presente relazione. Le indagini approfondimenti eventualmente necessari alla caratterizzazione geotecnica sono rimandati pertanto ad una fase progettuale successiva.

Di seguito sono sintetizzati gli aspetti principali:

L'area di interesse risulta caratterizzata dalla presenza di depositi continentali alluvionali terrazzati appartenenti al sintema di Matelica costituiti da ghiaie prevalenti associate a subordinate sabbie, limi ed argille, sovrapposti a sedimenti marini del Plio-Pleistocene.

L'area in esame occupa una porzione in sinistra idrografica della pianura alluvionale del Fiume Metauro. Gli elementi geomorfologici evidenti, oltre quelli legati all'azione dell'uomo, sono quelli dovuti all'azione fluviale. Sono riconoscibili più ordini di terrazzi alluvionali e l'area ricade in corrispondenza di alluvioni del terzo ordine che generalmente si presentano in lembi estesi e continui con spessori fino a 20-30 m. A sud dell'area, lungo il corso del Metauro sono riconoscibili orli di scarpata di erosione inattivi in sinistra idrografica e in stato di quiescenza in destra. La superficie topografica mostra quote digradanti procedendo dall'entroterra verso la costa e in corrispondenza dell'area di studio variano da circa 20 m slm a 10 m slm.

L'elemento idrografico principale della zona è il fiume Metauro che sfocia a sud di Fano ad una distanza di circa 2000 m dall'area di studio. Al confine ovest scorre inoltre il canale artificiale Vallato del Porto o Canale Albani di derivazione del F. Metauro che alimenta l'impianto idroelettrico della Liscia. Al confine sud si trova un'altro canale che funge da regolatore dei rapporti idraulici tra il canale Vallato e il Metauro in occasione delle piene.

Per quanto riguarda il Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogerologico l'area di interesse risulta esterna ad aree caratterizzate da pericoli o rischi idraulici-idrogeologici.

Il territorio si caratterizza per la presenza di un sistema acquifero contenuto nei depositi continentali alluvionali terrazzati che riveste una notevole importanza per quanto riguarda l'approvvigionamento idrico locale. Il flusso della falda ha una direzione prevalente orientata da sud-ovest verso nord-est con quote comprese tra circa 4 e 1 m slm., che corrispondono a valori di profondità dal piano campagna della superficie piezometrica compresi tra 9 e 16 metri. Sono riferibili a questo acquifero valori indicativi di conducibilità idraulica (k) compresi tra $10^{-4}$ e $10^{-5}$ m/s. La ricarica della falda avviene dalla superficie e da eventuali connessione con la rete idrografica superficiale.

Nella carta delle pericolosità geologiche del PRG di Fano si osserva che all'interno dell'area di interesse sono comprese le zone di rispetto e di protezione dell'acquifero poste al contorno dei pozzi. Per tali aree andranno seguite le prescrizioni dettate dalla normativa vigente e in particolare previste nelle NTA del PRG di Fano all'art.82 (zone V5).

La caratterizzazione litostratigrafica e delle proprietà litotecniche dei terreni si è basata sull'analisi delle indagini geognostiche poste in prossimità dell'area di interesse tratte dal materiale bibliografico recuperato. Nella zona è possibile individuare un modello stratigrafico in cui sono distinte due unità: la prima compresa tra il p.c. e circa 33-35 m da p.c. e costituita da: Sabbia, ghiaie e ghiaie sabbiose a cui sono alternate lenti di sabbia, sabbia limose, limi sabbiosi e argilla limosa sabbiosa di spessore variabile. A seguire sono presenti; Argille e argille limose grigio verdastre con intercalazioni di sottili lenti e strati di sabbia.

Dal punto di vista litotecnico, nell'unità litostratigrafica 1 superficiale è individuabile uno strato superficiale di spessore variabile costituito da terreni più fini, sovrastante i depositi prevalentemente granulari che si ritrovano sino al substrato costituito da materiale fine.
Nelle relazioni consultate per l'unità fine più superficiale sono forniti valori di angolo di attrito compresi tra 24° e 27° e di coesione non drenata tra 0,3-0,7 kPa. Per la sottostante unità granulare valori di angolo di attrito compresi tra 32° e 39°.

In riferimento alla pericolosità sismica il Comune di Fano risulta classificato "zona 2",
Dalla "Carta degli scenari a maggiore pericolosità sismica locale" del PRG di Fano non risulta per l'area di interesse segnalato nessun elemento di pericolo.

La valutazione della Vs,30 e dell'amplificazione sismica di risonanza del substrato di interesse è stata effettuata utilizzando i risultati di cinque misure mediante Tromino eseguite il giorno 10/05/18. In base ai valori di $V_{s,30}$ stimati i terreni investigati risultano

caratterizzabili all'interno della categoria di sottosuolo B, rispetto le condizioni topografiche il sito è classificabile all'interno della categoria T1.

Le valutazioni qualitative effettuabili sulla base dei dati litostratigrafici e idrogeologici in possesso e delle verifiche effettuate in aree poste nell'intorno di quella di interesse tendono ad escludere la possibilità di instabilità dovute al fenomeno della liquefazione dei terreni in occasione di un terremoto. Comunque si suggerisce che le indagini successive siano finalizzate anche alla valutazione della suscettibilità dei terreni alla liquefazione.

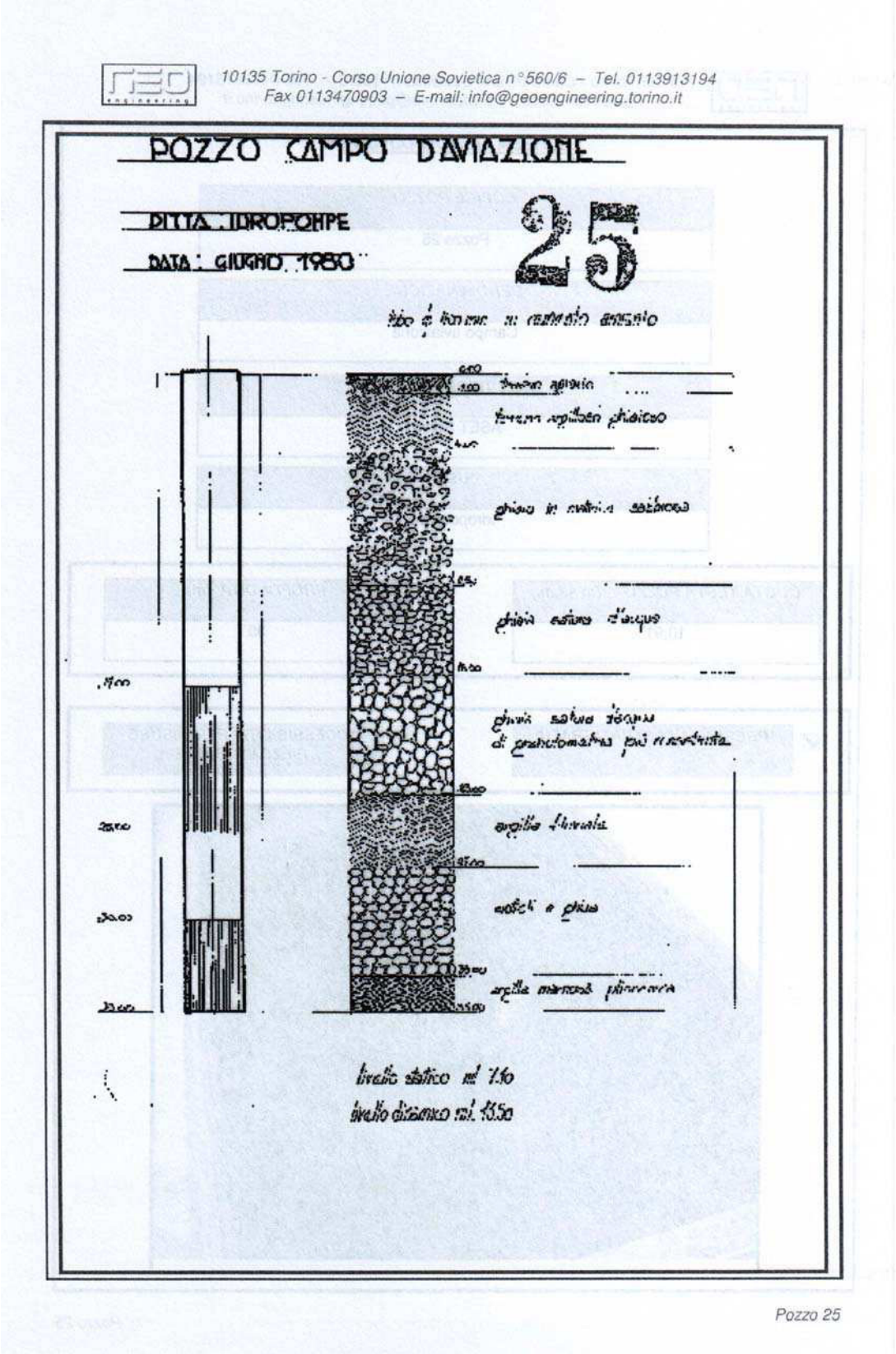
In conclusione in relazione agli scenari di pericolosità idrogeologica e sismica analizzati nel PRG di Fano e del quadro geologico che è stato possibile ricostruire non si evidenziano elementi di criticità in relazione al progetto di variante in esame. Si ribadisce che nella progettazione occorrerà comunque tenere in considerazione le prescrizioni dettate dalle NTA del PRG di Fano per quanto riguarda le zone di rispetto e salvaguardia dei pozzi presenti e che andranno eseguite le opportune indagini specifiche propedeutiche alle fasi di progettazione seguenti e in ogni caso necessarie ad appurare evidenze non riscontrabili al momento della stesura del presente documento.

Ravenna, Maggio 2018

# ALLEGATO 1

## SONDAGGI GEOGNOSTICI ANALIZZATI

## SONDAGGIO PA 54-33



## SONDAGGIO PA 217

COMUNE DI FANO

**POZZO AD USO DOMESTICO**

"A"

Pratica N. 3 1 0 1 / 1 3

Scheda da ritornare al Comune di Fano
Azienda Acquedotto

- Ditta .....
residente a ..... in via ...
- Pozzo ad uso Inaffiamento orti uso familiare in Comune di Fano
Frazione Vallato Località Fano Mapp. N. ...../Fg. .....
- Data di ultimazione della perforazione: 24-2-92
- Ditta perforatrice: TRIVELSONDA di Montesi Fausto & C. snc
- Indicare se esiste l'allaccio all'acquedotto comunale SI NO

**CARATTERISTICHE DEL POZZO**

avampozzo (si o no) .....
diametro interno tubi mm. 200
.....
profondità mt. 29.00
livello statico mt. .....
portata pozzo: lt/sec. .....

**EQUIPAGGIAMENTO**

tipo della pompa. B.B.E.
ELET. SOMMERSA TURBOSOM 75
potenza Cv/Kw 0.75
prevalenza mt. 75 MAX
portata lt/sec. 40 MAX

**USI CUI E' DESTINATA L'ACQUA**

- familiare ☐
- abbeveraggio bestiame ☐
- inaffiamento orto uso familiare ☒
- inaffiamento giardino ☐

| STRATIGRAFIA DEL TERRENO<br>Indicare la natura dei terreni e le falde acquifere attraversati | Falde captate |
|---|---|
| da mt. 0.00 a mt. 5.00<br>argille sabbiose chiare | |
| da mt. 5.00 a mt. 11.00<br>ghiaie varie | |
| da mt. 11.00 a mt. 14.00<br>ghiaie sciolte | |
| da mt. 14.00 a mt. 29.00<br>argille ghiaie sabbiose | |
| da mt. ..... a mt. .....<br>..... | |
| da mt. ..... a mt. .....<br>..... | |
| da mt. ..... a mt. .....<br>..... | |
| da mt. ..... a mt. .....<br>..... | |

La Ditta sottoscritta afferma, sotto la propria responsabilità, che la presente dichiarazione è completa e veritiera.

Data .....
Firma .....

Annotazioni: .....

N.B. 1) Allegare alla presente dichiarazione una planimetria scala 1:2.000 con indicata l'ubicazione del pozzo in oggetto.
2) Qualora la Ditta sia in possesso di referti di analisi dell'acqua del pozzo

# SONDAGGIO PA 223-33

**Scheda indagine**

**Codice:** 164858
**Regione:** MARCHE
**Provincia:** PESARO
**Comune:** FANO
**Tipologia:** PERFORAZIONE
**Uso:** ACQUEDOTTISTICO
**Profondità (m):** 35.00
**Quota pc slm (m):** 16.6
**Anno realizzazione:** 1989
**Numero diametri:** 1
**Presenza acqua:** SI
**Portata massima (l/s):** 25.19
**Portata esercizio (l/s):** ND
**Numero falde:** 3
**Numero filtri:** 2
**Numero piezometrie:** 1
**Stratigrafia:** SI
**Certificazione(*):** ND
**Numero strati:** 12
**Longitudine ED50 (dd):** 13.021389
**Latitudine ED50 (dd):** 43.823887
**Longitudine WGS84 (dd):** 13.020457
**Latitudine WGS84 (dd):** 43.822929

**(*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia**

**Ubicazione indicativa dell'area d'indagine**

DIAMETRI PERFORAZIONE

| Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Lunghezza (m) | Diametro (mm) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 35 | 35 | 500 |

FALDE ACQUIFERE

| Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Lunghezza (m) |
|---|---|---|---|
| 1 | 16.2 | 18 | 1.8 |
| 2 | 21 | 23.5 | 2.5 |
| 3 | 30 | 33.5 | 3.5 |

POSIZIONE FILTRI

| Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Lunghezza (m) | Diametro (mm) |
|---|---|---|---|---|
| 1 | 21.3 | 23.5 | 2.2 | ND |
| 2 | 30 | 33.5 | 3.5 | ND |

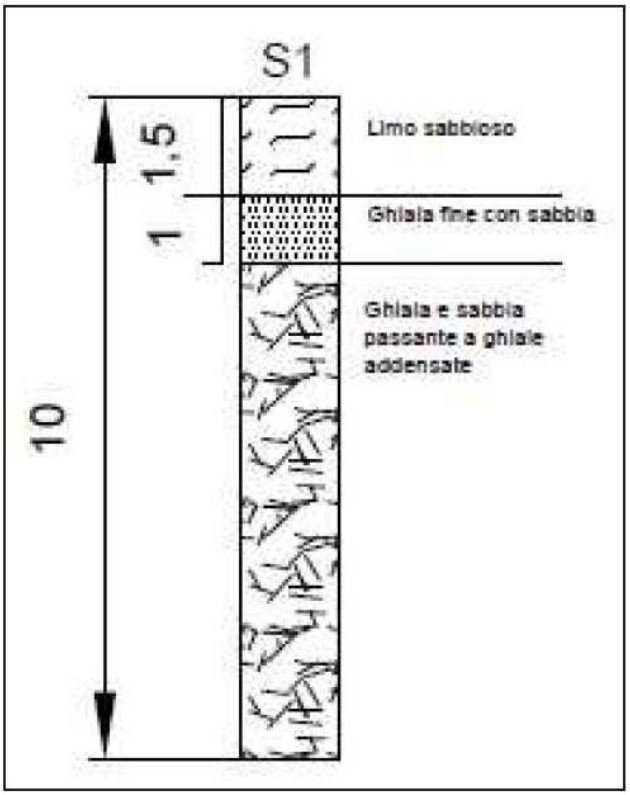
MISURE PIEZOMETRICHE

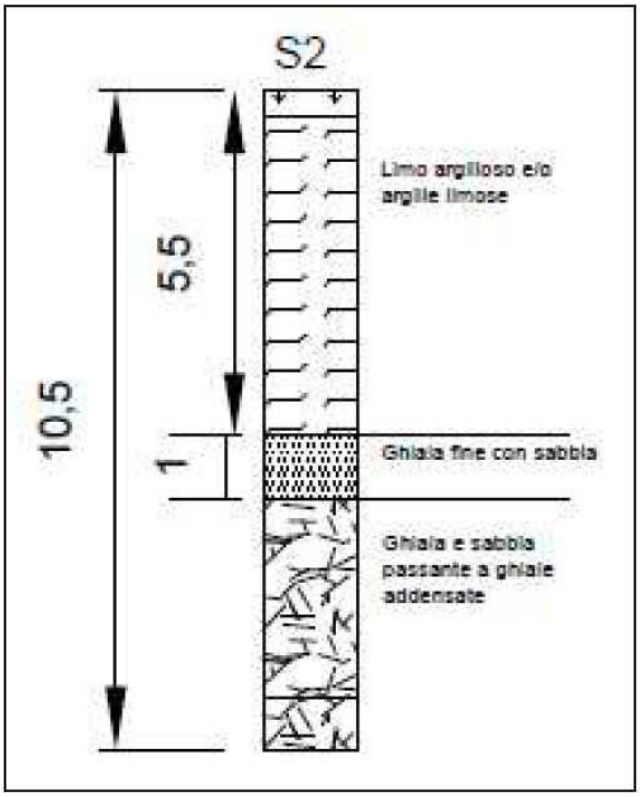
| Data rilevamento | Livello statico (m) | Livello dinamico (m) | Abbassamento (m) | Portata (l/s) |
|---|---|---|---|---|
| SET / 1989 | 14.8 | 15.7 | 0.9 | 25.19 |

STRATIGRAFIA

| Progr | Da profondità (m) | A profondità (m) | Spessore (m) | Età geologica | Descrizione litologica |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 0 | 2.5 | 2.5 | | LIMO SABBIOSO CON ELEMENTI GHIAIOSI |
| 2 | 2.5 | 6.5 | 4.0 | | GHIAIETTO IN MATRICE SABBIOSA |
| 3 | 6.5 | 9 | 2.5 | | LIMO GIALLASTRO |
| 4 | 9 | 11 | 2.0 | | GHIAIETTO IN SABBIA E ARGILLA |
| 5 | 11 | 16.5 | 5.5 | | GHIAIE IN MATRICE SABBIOSO-LIMOSA |
| 6 | 16.5 | 18 | 1.5 | | GHIAIE IN FALDA |
| 7 | 18 | 21 | 3.0 | | LIMO SABBIOSO BLUASTRO |
| 8 | 21 | 23 | 2.0 | | GHIAIA |
| 9 | 23 | 24 | 1.0 | | LIMO SABBIOSO CON ELEMENTI GHIAIOSI |
| 10 | 24 | 29 | 5.0 | | ARGILLA LIMOSA SABBIOSA |
| 11 | 29 | 33 | 4.0 | | GHIAIE IN FALDA (ACQUA IN PRESSIONE) |
| 12 | 33 | 35 | 2.0 | | ARGILLE MARNOSE SILTOSE AZZURRE |

## SONDAGGI S1 E S2



# SAGGIO TEC1

| STUDIO GEOLOGICO DOTT. ARMANDO DONINI<br>Geologia Applicata<br>Idrogeologia<br>Geologia Ambientale | Lavoro: Relazione geologica geotecnica relativa agli interventi di riqualificazione delle infrastrutture di volo presso l'aeroporto di Fano (LIDF), Via E. Mattei, Comune di Fano (PU). | |
|---|---|---|
| Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA | Committente: Società Aeroportuale "FANUM FORTUNAE" s.r.l. | Riferimento: Soc. "FANUM FORTUNAE" s.r.l./2010 |

Committente: Società Aeroportuale "FANUM FORTUNAE" s.r.l.
Località: FANO - Via Mattei
Data: 27/10/2010 SCALA 1 : 50

Sondaggio: TEC 1 | Macchina perforatrice: Escavatore
Quota piano campagna: 0.0 mt | ϕ:

| Spessore | Litologia | Descrizione | PP (Kg/cmq) | TV (Kg/cmq) | $H_2O$ | Campione | SPT | Note |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.2 | | Terreno vegetale superficiale. | | | | | | |
| 1.0 | | Limo argilloso marrone. | | | | ★ C1 | | |
| 0.8 | | Ghiaia sciolta a tratti sabbiosa. | | | | | | |

1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0

Assistenza Tecnica : Dott. Geol. ARMANDO DONINI

# SAGGIO TEC2

| STUDIO GEOLOGICO DOTT. ARMANDO DONINI Geologia Applicata Idrogeologia Geologia Ambientale | Lavoro: Relazione geologica geotecnica relativa agli interventi di riqualificazione delle infrastrutture di volo presso l'aeroporto di Fano (LIDF), Via E. Mattei, Comune di Fano (PU). | |
|---|---|---|
| Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA | Committente: Società Aeroportuale "FANUM FORTUNAE" s.r.l. | Riferimento:Soc. "FANUM FORTUNAE" s.r.l./2010 |

Committente: Società Aeroportuale "FANUM FORTUNAE" s.r.l.
Località: FANO - Via Mattei
Data: 27/10/2010 SCALA 1 : 50

Sondaggio: TEC 2 | Macchina perforatrice: Escavatore
Quota piano campagna: 0.0 mt | ø:

| Spessore | Litologia | Descrizione | PP (Kg/cmq) | TV (Kg/cmq) | $H_2O$ | Campione | SPT | Note |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.2 | | Terreno vegetale superficiale. | | | | | | |
| 1.6 | | Ghiaia sciolta a tratti sabbiosa. | | | | ★C2 | | |

1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0

Assistenza Tecnica : Dott. Geol. ARMANDO DONINI

# SAGGIO TEC3

| STUDIO GEOLOGICO DOTT. ARMANDO DONINI Geologia Applicata Idrogeologia Geologia Ambientale | Lavoro: Relazione geologica geotecnica relativa agli interventi di riqualificazione delle infrastrutture di volo presso l'aeroporto di Fano (LIDF), Via E. Mattei, Comune di Fano (PU). | |
|---|---|---|
| Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA | Committente: Società Aeroportuale "FANUM FORTUNAE" s.r.l. | Riferimento:Soc. "FANUM FORTUNAE" s.r.l./2010 |

Committente: Società Aeroportuale "FANUM FORTUNAE" s.r.l.
Località: FANO - Via Mattei
Data: 27/10/2010 SCALA 1 : 50

Sondaggio: TEC 3 | Macchina perforatrice: Escavatore
Quota piano campagna: 0.0 mt | ϕ:

| Spessore | Litologia | Descrizione | PP (Kg/cmq) | TV (Kg/cmq) | $H_2O$ | Campione | SPT | Note |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.3 | | Terreno vegetale superficiale. | | | | | | |
| 0.9 | | Ghiaia eterogranulare in matrice sabbiosa. | | | | ★C3 | | |
| 0.8 | | Limo argilloso nocciola poco compatto a tratti Sabbioso. | | | | | | |

1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0

Assistenza Tecnica : Dott. Geol. ARMANDO DONINI

# SAGGIO TEC4

| | | |
|---|---|---|
| STUDIO GEOLOGICO<br>DOTT. ARMANDO DONINI<br>Geologia Applicata<br>Idrogeologia<br>Geologia Ambientale | Lavoro: Relazione geologica geotecnica relativa agli interventi di riqualificazione delle infrastrutture di volo presso l'aeroporto di Fano (LIDF), Via E. Mattei, Comune di Fano (PU). | |
| Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA | Committente: Società Aeroportuale "FANUM FORTUNAE" s.r.l. | Riferimento:Soc. "FANUM FORTUNAE" s.r.l./2010 |

Committente: Società Aeroportuale "FANUM FORTUNAE" s.r.l.
Località: FANO - Via Mattei
Data: 27/10/2010 SCALA 1 : 50

Sondaggio: TEC 4 Macchina perforatrice: Escavatore
Quota piano campagna: 0.0 mt ϕ:

| Spessore | Litologia | Descrizione | PP (Kg/cmq) | TV (Kg/cmq) | $H_2O$ | Campione | SPT | Note |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.3 | | Terreno vegetale superficiale. | | | | ★ C4 | | |
| 0.7 | | Ghiaia eterogranulare in matrice sabbiosa. | | | | | | |
| 0.8 | | Limo argilloso nocciola lievemente sabbioso. | | | | | | |

1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0

Assistenza Tecnica : Dott. Geol. ARMANDO DONINI

# SAGGIO TEC5

| STUDIO GEOLOGICO DOTT. ARMANDO DONINI<br>Geologia Applicata<br>Idrogeologia<br>Geologia Ambientale | Lavoro: Relazione geologica geotecnica relativa agli interventi di riqualificazione delle infrastrutture di volo presso l'aeroporto di Fano (LIDF), Via E. Mattei, Comune di Fano (PU). | |
|---|---|---|
| Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA | Committente: Società Aeroportuale "FANUM FORTUNAE" s.r.l. | Riferimento:Soc. "FANUM FORTUNAE" s.r.l./2010 |

Committente: Società Aeroportuale "FANUM FORTUNAE" s.r.l.
Località: FANO - Via Mattei
Data: 27/10/2010 SCALA 1 : 50

Sondaggio: TEC 5 | Macchina perforatrice: Escavatore
Quota piano campagna: 0.0 mt | ϕ:

| Spessore | Litologia | Descrizione | PP (Kg/cmq) | TV (Kg/cmq) | $H_2O$ | Campione | SPT | Note |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.15 | | Terreno vegetale superficiale. | | | | | | |
| 0.35 | | Limo argilloso nocciola talora sabbioso. | | | | ★ C5 | | |
| 1.5 | | Ghiaia sciolta a tratti sabbiosa. | | | | | | |

1.0 2.0 3.0 4.0 5.0 6.0 7.0 8.0 9.0 10.0

Assistenza Tecnica : Dott. Geol. ARMANDO DONINI

# ALLEGATO 2

## RELAZIONE GEOFISICA

*Dott. Geol. Stefano Strocchi*
*Via della Melica 29, S.Romualdo*
*48123 Ravenna (RA)*
*Cell. 3409372344*
*e-mail: stefanostrocchi@libero.it*
*C.F. STRSFN69D23H199E*
*P.IVA: 02380010393*

# PROVINCIA DI PESARO - URBINO

## COMUNE DI FANO

# PROGETTO DI REALIZZAZIONE DEL PARCO URBANO DELL'AEREOPORTO

# RELAZIONE GEOFISICA

## INDAGINE HVSR PER LA STIMA DEL PARAMETRO VS30

**(ai sensi D.M. 17 Gennaio 2018 – D.P.R. 5 Giugno 2001, n. 328)**

Committente: **SERVIZI INTEGRATI GESTIONALI AMBIENTALI Soc. Coop. p.a.**
Via Circonvallazione Piazza d'Armi 130, Ravenna (RA)

*Maggio 2018*

*Dr. Geol. Stefano Strocchi*

# INDICE

1 - PREMESSA……..……..... Pag. 2

2 - RIFERIMENTI NORMATIVI….…….….……..……..... Pag. 2

3 - STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA UTILIZZATA…….…… Pag. 3

3.1 Premessa…….. Pag. 3

3.2 Misura a stazione singola del microtremore sismico……. Pag. 3

4 - INTERPRETAZIONI DELLE MISURE ESEGUITE…..……..…….……..…….. Pag. 6

5 - CONCLUSIONI…….…….…….. Pag. 17

ALLEGATI…….…….…… Pag. 20

## 1. PREMESSA

La presente relazione geofisica finalizzata alla stima del parametro $V_{S30}$ è stata redatta su incarico della Società SERVIZI INTEGRATI GESTIONALI AMBIENTALI, a supporto del progetto di riqualificazione dell'area ex-campo di aviazione per la realizzazione del "Parco Urbano dell'Aeroporto", ubicata nel territorio comunale di Fano (PU).

Lo studio è stato condotto nel rispetto delle normative vigenti in materia, in particolare il D.M. 17.01.2018 (Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni»); in via transitoria, in assenza della relativa circolare esplicativa si potranno seguire le indicazioni riportate nella precedente Circolare (C.S.LL.PP. n° 617/2009) per quanto non in contrasto con quanto riportato nel nuovo DM 17.01.2018.

Per la definizione della pericolosità sismica di base del sito, ai sensi del § 3.2 N.T.C. 2018, sono state esguite indagini geofisiche basate sulla misura del rumore sismico (microtremore) del sottosuolo, mediante l'utilizzo di strumentazione tromografica portatile, finalizzata alla stima della $V_{S30}$, delle frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo e dell'amplificazione sismica del sito mediante il rapporto HVSR.

## 2. RIFERIMENTI NORMATIVI

La realizzazione del presente studio è stata eseguita in ottemperanza alle indicazioni fornite dalla normativa vigente con particolare riferimento alle seguenti norme:

**DECRETO MINISTERIALE 17 GENNAIO 2018**
*Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni".*
**Punto 7.11.3 – Risposta sismica e stabilità del sito**

**CIRCOLARE 2 FEBBRAIO 2009, N. 617** (*in via transitoria*)
"*Istruzioni per l'applicazione delle "Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni".*

**CONSIGLIO SUPERIORE DEI LAVORI PUBBLICI**
*"Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale".*

**D.P.R. 5 GIUGNO 2001, N. 328**
**Articolo 41 – Attività professionali**
"punto c) le indagini geognostiche e l'esplorazione del sottosuolo anche con metodi geofisici; le indagini e consulenze geologiche ai fini della relazione geologica per le opere di ingegneria civile mediante la costruzione del modello geologico-tecnico; la programmazione e progettazione degli interventi geologici e la direzione dei lavori relativi, finalizzati alla redazione della relazione geologica…;".

# 3. STRUMENTAZIONE E METODOLOGIA UTILIZZATA

## 3.1 Premessa

Ai fini del presente studio sono state eseguite le seguenti indagini geofisiche;

- **n. 5 analisi del microtremore passiva (HVSR)** con TROMINO al fine di valutare l'intervallo all'interno del quale risuona il terreno fornendo un intervallo di frequenza di risonanza (fr) e l'andamento delle velocità Vs con la profondità.
  Il tipo di stratigrafia si basa sul concetto di *contrasto di impedenza* dove per *strato* si intende un'unita distinta da quelle sopra e sottostanti per un contrasto di impedenza, ossia per il rapporto tra i prodotti di velocità delle onde sismiche nel mezzo e densità del mezzo stesso.

## 3.2 Misura a stazione singola del microtremore sismico

La tecnica dei rapporti spettrali o HVSR (Horizontal to Verticale 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

- la **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. E' necessario, per affidabilità del risultato, conoscere la profondità di un riflettore noto dalla stratigrafia e riconoscibile nella curva H/V. E' possibile calcolare la Vs30 e la relativa categoria del suolo di fondazione come esplicitamente richiesto dall'aggiornamento delle Norme tecniche per le Costruzioni del 17 Gennaio 2018;

- la **stratigrafia del sottosuolo** con un range di indagine compreso tra 0,5 e 700 metri di profondità anche se il dettaglio maggiore si ha nei primi 100 metri.

Il principio su sui si basa la presente tecnica in termini di stratigrafia del sottosuolo è rappresentato dalla definizione di strato inteso come una unità distinta da quella sopra e sottostanti per un contrasto di 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 microtremori. 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 sorgente s al sito x (attenuazioni, riflessioni, rifrazioni, incanalamenti per guide d'onda);
3. dalla risposta dello strumento.

Il rumore sismico ambientale è generato da 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.

Per l'acquisizione dei dati è stato utilizzato un tromometro digitale modello *Tromino* che rappresenta la nuova generazione di strumenti leggeri e compatti in alta risoluzione adatti a tali misurazioni.

Lo strumento racchiude al suo interno tre velocimetri elettrodinamici ortogonali tra loro 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.

I dati ottenuti sono stati convertiti in file ASCII mediante software "*Grilla*", fornito a supporto dello strumento utilizzato, quindi elaborati per ottenere spettri di velocità in funzione della frequenza.

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 tra 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 esempio 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 Lowe) 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, in qualsiasi intervallo di frequenze e in 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 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 metodo HVSR consiste nello studio del rapporto spettrale tra la componente orizzontale del rumore e quella verticale (H/V spectrum). Il valore di tale rapporto è direttamente correlato con la frequenza di risonanza determinata dal passaggio tra due strati con una differenza significativa del contrasto di impedenza (velocità delle onde e densità del materiale).

Nel presente lavoro si sfrutterà la teoria di Nakamura che relaziona lo spettro di risposta del substrato roccioso (rapporto spettrale H/V) con quello effettivamente misurato in superficie.

Considerando due strati con differente impedenza acustica, la **frequenza di risonanza** (**fr**) è legata allo spessore e alla velocità delle onde di taglio Vs del primo strato dalla seguente relazione:

$$\mathbf{fr = V_{s1} / 4\, h_1}$$

$V_{s1}$ = velocità delle onde S del primo strato;

$h_1$ = spessore primo strato.

Nakamura (1989) ha inoltre dimostrato che i massimi dei rapporti spettrali H/V consentono di individuare correttamente la frequenza e quindi il periodo fondamentale di risonanza per le onde S.

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.

Le registrazioni sono avvenute impostando i seguenti parametri strumentali:

- Frequenza di campionamento 128 Hz;
- Durata 16 minuti;
- Orientamento strumento nord-sud.

Allo scopo di ottenere i dati necessari al calcolo del parametro Vs30 è stato utilizzato un tromografo digitale, “TROMINO ENGY” (Micromed S.p.A.) dotato di 3 canali velocimetrici (N-S, E-W, Up-Down) ad alto guadagno per l’acquisizione del microtremore sismico ambientale (fino a ~1.5 mm/s); il sistema opera nell’intervallo di frequenze 0.1–1024 Hz.

## 4. INTERPRETAZIONE DELLE MISURE ESEGUITE

L'inversione delle curve H/V sperimentali per ottenere un profilo delle onde di taglio S deve potere essere vincolata ad indagini per la ricostruzione della stratigrafia del sito di interesse; a tale scopo ci si è avvalsi di dati recuperati attraverso ricerca bibliografica di cartografia e pubblicazioni, nonché di indagini esistenti eseguite nelle vicinanze (stratigrafie di pozzi, sondaggi, indagini geofisiche, ecc.).

L'interpretazione dei dati ottenuti dal rilievo del rumore sismico consente sia di correlare il valore di picco dello spettro di risposta HVSR con la profondità del substrato litoide inteso come bedrock sismico sia 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 moto fondamentale dell'onda di Rayleigh e i picchi delle componenti orizzontali come contributo delle onde SH, si può ricavare il valore della frequenza caratteristica del sito.

Sapendo che ad ogni picco di frequenza corrisponde una profondità (metri) dell'orizzonte che genera il contrasto di impedenza si è potuto estrapolare una stratigrafia geofisica del sottosuolo. L'ampio range di frequenze acquisite dallo strumento utilizzato (0.1 ÷ 128 Hz) non ha evidenziato contrasti di impedenza attribuibili alla presenza di rifrattori sismici.

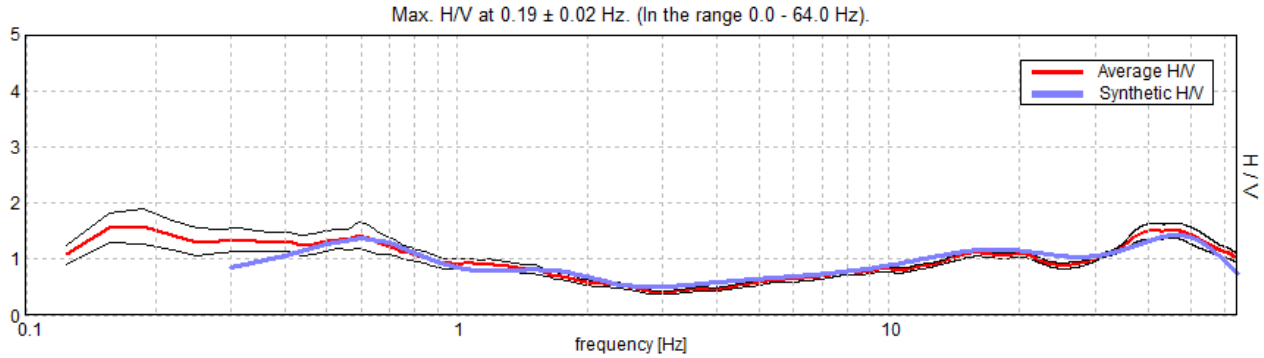
UBICAZIONE INDAGINI GEOFISICHE HVSR

**Punto di indagine TR1**

Il fit della curva H/V ha permesso di ricostruire in modo approssimato il profilo di Vs fino alla profondità di circa 270 metri e la frequenza che presenta il maggiore contrasto di impedenza risulta molto bassa, pari a circa 0,19 Hz.

Nel complesso, in particolare all'interno del range di frequenze di interesse ingegneristico, i picchi sono risultati molto modesti evidenziando l'assenza di forti contrasti di impedenza.

Si riscontra un picco secondario con contrasto di impedenza relativamente significativo (H/V=1,5) a frequenze elevate (circa 40 Hz).




La curva sperimentale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo.

La ricostruzione del modello sismostratigrafico, finalizzato alla stima della $Vs_{30}$, evidenzia una crescita di velocità di propagazione delle onde sismiche correlabile ad un aumento della rigidità del sottosuolo.

**MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO**

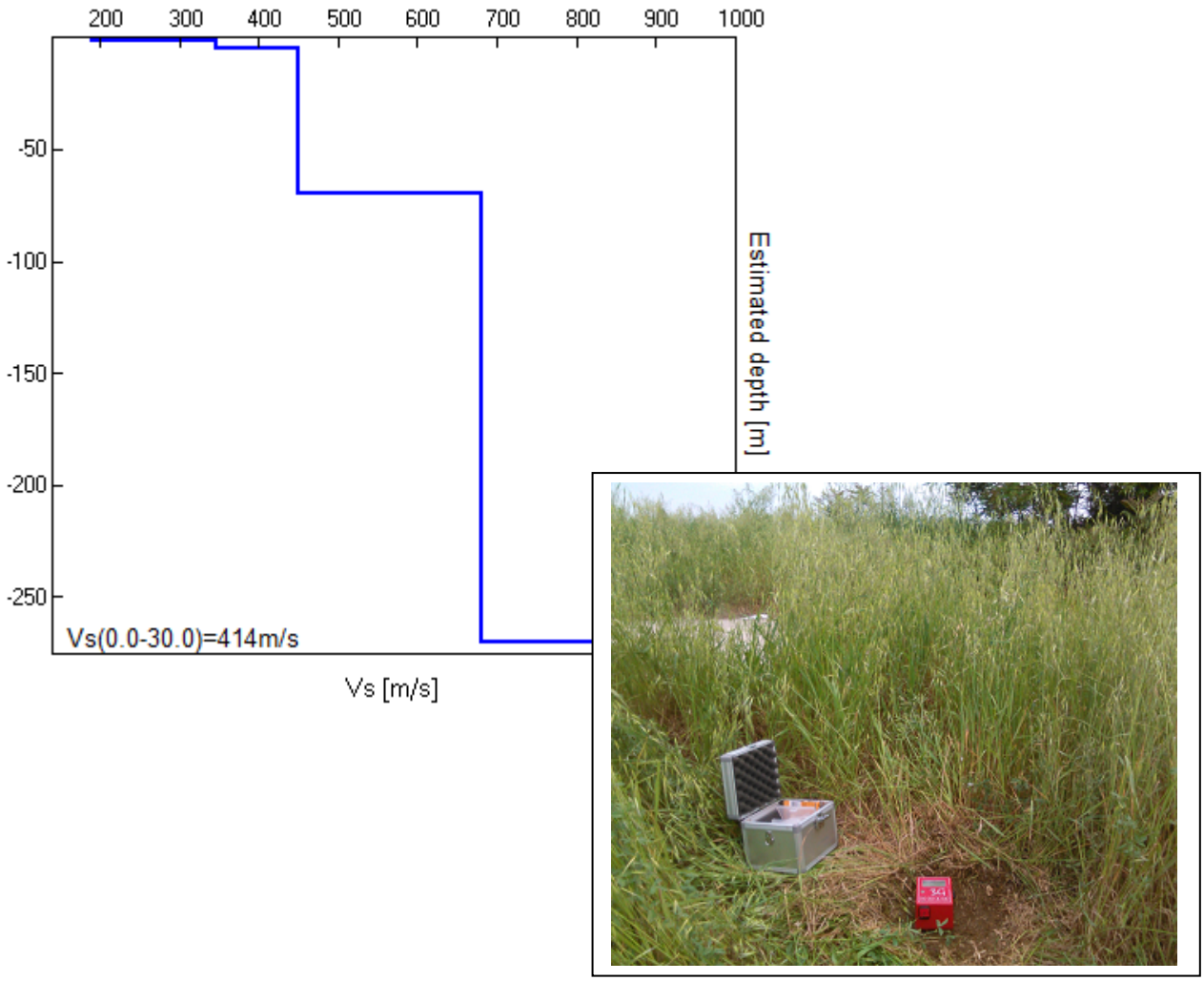
| Profondità (bottom layer) [m] | Spessore sismostrati [m] | Vs [m/s] | Interpretazione stratigrafica |
|---|---|---|---|
| 1.00 | 1.00 | 190 | Copertura soffice |
| 5.00 | 4.00 | 345 | Copertura mediamente rigida |
| 70.00 | 65.00 | 450 | Copertura rigida |
| 270.00 | 200.00 | 680 | Copertura molto rigida |
| >270.00 | / | 950 | Bedrock like |

La stima del parametro $V_{s30}$ è stata effettuata, come esplicitamente richiesto dalle N.T.C. del 17 Gennaio 2018 per l'assegnazione della categoria di sottosuolo. Dall'indagine sismica effettuata e dai modelli sismici ricavati è stato possibile calcolare la velocità di propagazione delle onde di taglio fino a 30 metri dal piano campagna. E' stato quindi possibile stimare, tramite la relazione

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum h_i / V_{Si}}$$

*in cui* $\boldsymbol{h_i}$ *e* $\boldsymbol{V_{Si}}$ *indicano lo spessore espresso in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio* $\gamma < 10^{-6}$*) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori, al di sotto del piano di imposta delle strutture di fondazione,* la velocità delle onde Vs a 30 metri dal piano campagna ($V_{S30}$) come esplicitamente richiesto dalla normativa vigente:

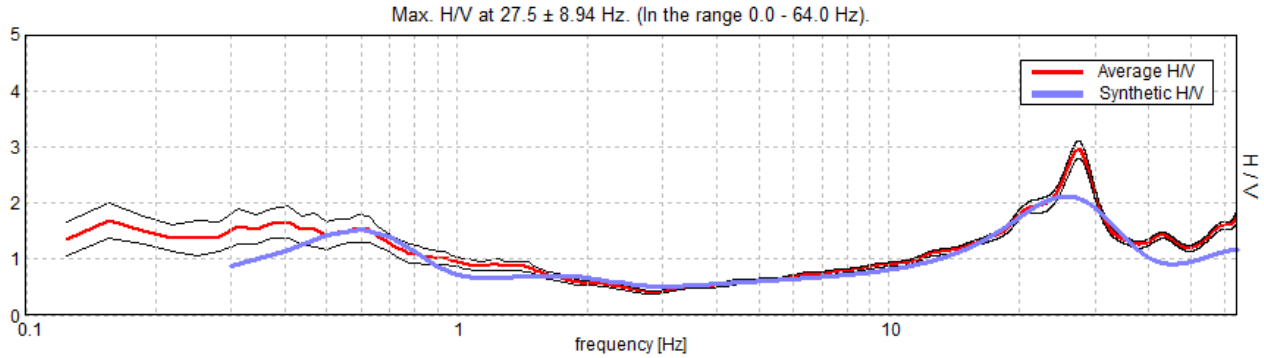
**Punto di indagine TR1 -** $\mathbf{V_{s30}}$ (0.00÷30.00) = **414 m/s.**



**Punto di indagine TR2**

Il fit della curva H/V ha permesso di ricostruire in modo approssimato il profilo di Vs fino alla profondità di circa 262 metri e la frequenza che presenta il maggiore contrasto di impedenza (H/V=3) risulta elevata e pari a circa 27 Hz.

Nel complesso, in particolare all'interno del range di frequenze di interesse ingegneristico, i picchi sono risultati molto modesti evidenziando l'assenza di forti contrasti di impedenza.




La curva sperimentale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo.

La ricostruzione del modello sismostratigrafico, finalizzato alla stima della $Vs_{30}$, evidenzia una crescita di velocità di propagazione delle onde sismiche correlabile ad un aumento della rigidità del sottosuolo.

**MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO**

| Profondità (bottom layer) [m] | Spessore sismostrati [m] | Vs [m/s] | Interpretazione stratigrafica |
|---|---|---|---|
| 0.60 | 0.60 | 160 | Copertura soffice |
| 2.80 | 2.20 | 290 | Copertura mediamente rigida |
| 67.80 | 65.00 | 470 | Copertura rigida |
| 262.80 | 195.00 | 660 | Copertura molto rigida |
| >262.80 | / | 1020 | Bedrock like |

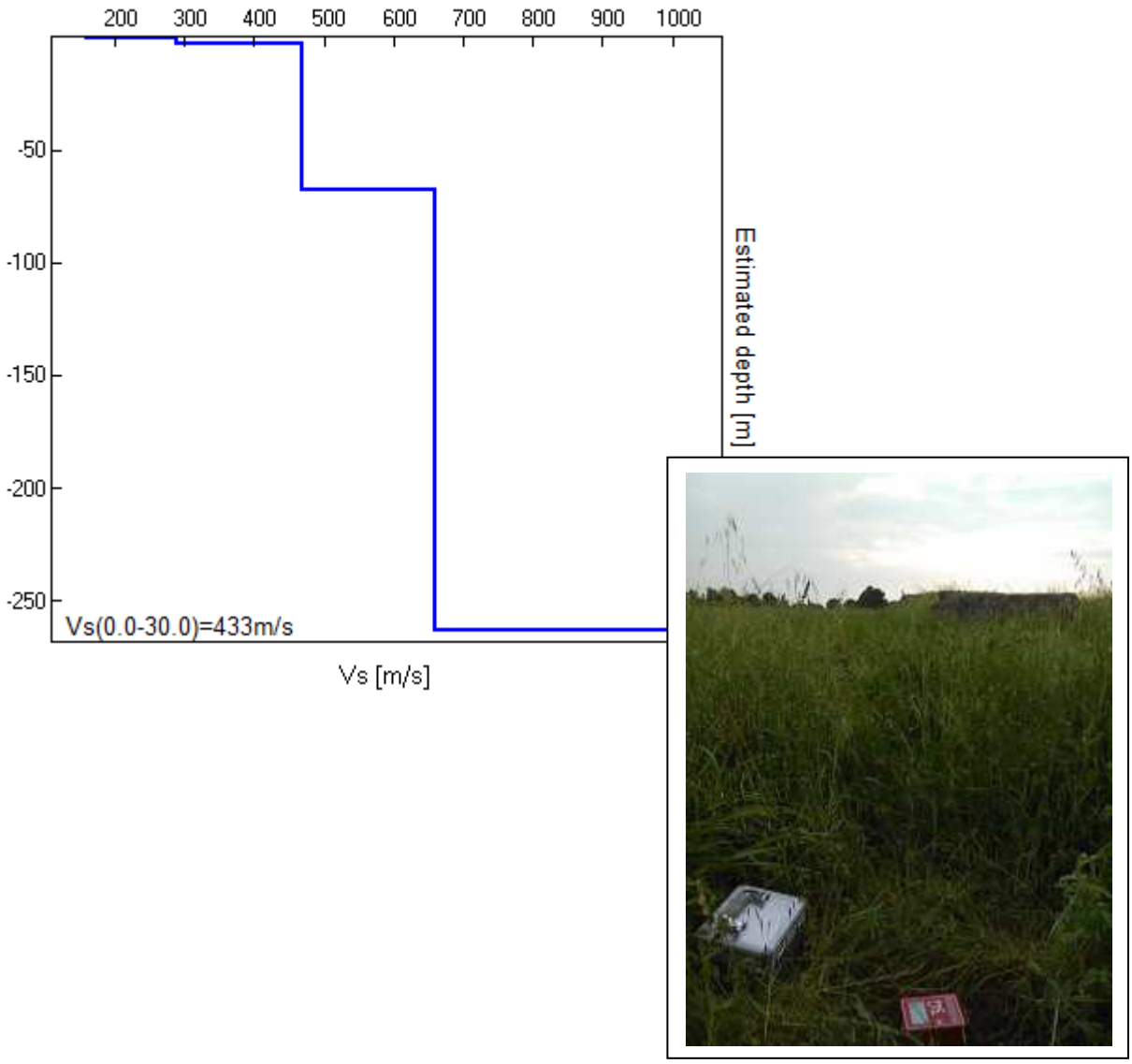
La stima del parametro $V_{s30}$ è stata effettuata, come esplicitamente richiesto dalle N.T.C. del 17 Gennaio 2018 per l'assegnazione della categoria di sottosuolo.

Dall'indagine sismica effettuata e dai modelli sismici ricavati è stato possibile calcolare la velocità di propagazione delle onde di taglio fino a 30 metri dal piano campagna. E' stato quindi possibile stimare, tramite la relazione

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum h_i / V_{Si}}$$

*in cui* $\boldsymbol{h_i}$ *e* $\boldsymbol{V_{Si}}$ *indicano lo spessore espresso in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio* $\gamma < 10^{-6}$*) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori, al di sotto del piano di imposta delle strutture di fondazione,* la velocità delle onde Vs a 30 metri dal piano campagna ($V_{S30}$) come esplicitamente richiesto dalla normativa vigente:

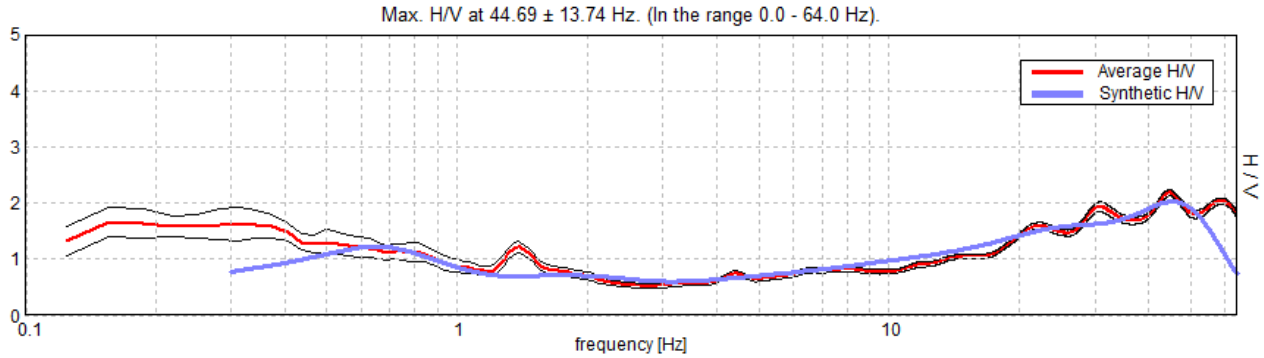
**Punto di indagine TR2 -** $\mathbf{V_{s30}}$ (0.00÷30.00) = **433 m/s.**



**Punto di indagine TR3**

Il fit della curva H/V ha permesso di ricostruire in modo approssimato il profilo di Vs fino alla profondità di circa 211 metri e la frequenza che presenta il maggiore contrasto di impedenza (H/V=2,2) risulta elevata e pari a circa 44 Hz.

Nel complesso, in particolare all'interno del range di frequenze di interesse ingegneristico, i picchi sono risultati molto modesti evidenziando l'assenza di forti contrasti di impedenza.




La curva sperimentale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo.

La ricostruzione del modello sismostratigrafico, finalizzato alla stima della $Vs_{30}$, evidenzia una crescita di velocità di propagazione delle onde sismiche correlabile ad un aumento della rigidità del sottosuolo.

**MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO**

| Profondità (bottom layer) [m] | Spessore sismostrati [m] | Vs [m/s] | Interpretazione stratigrafica |
|---|---|---|---|
| 0.80 | 0.80 | 145 | Copertura soffice |
| 3.60 | 2.80 | 305 | Copertura mediamente rigida |
| 11.60 | 8.00 | 400 | Copertura rigida |
| 61.60 | 50.00 | 440 | Copertura rigida |
| 211.60 | 150.00 | 590 | Copertura molto rigida |
| >211.60 | / | 830 | Bedrock like |

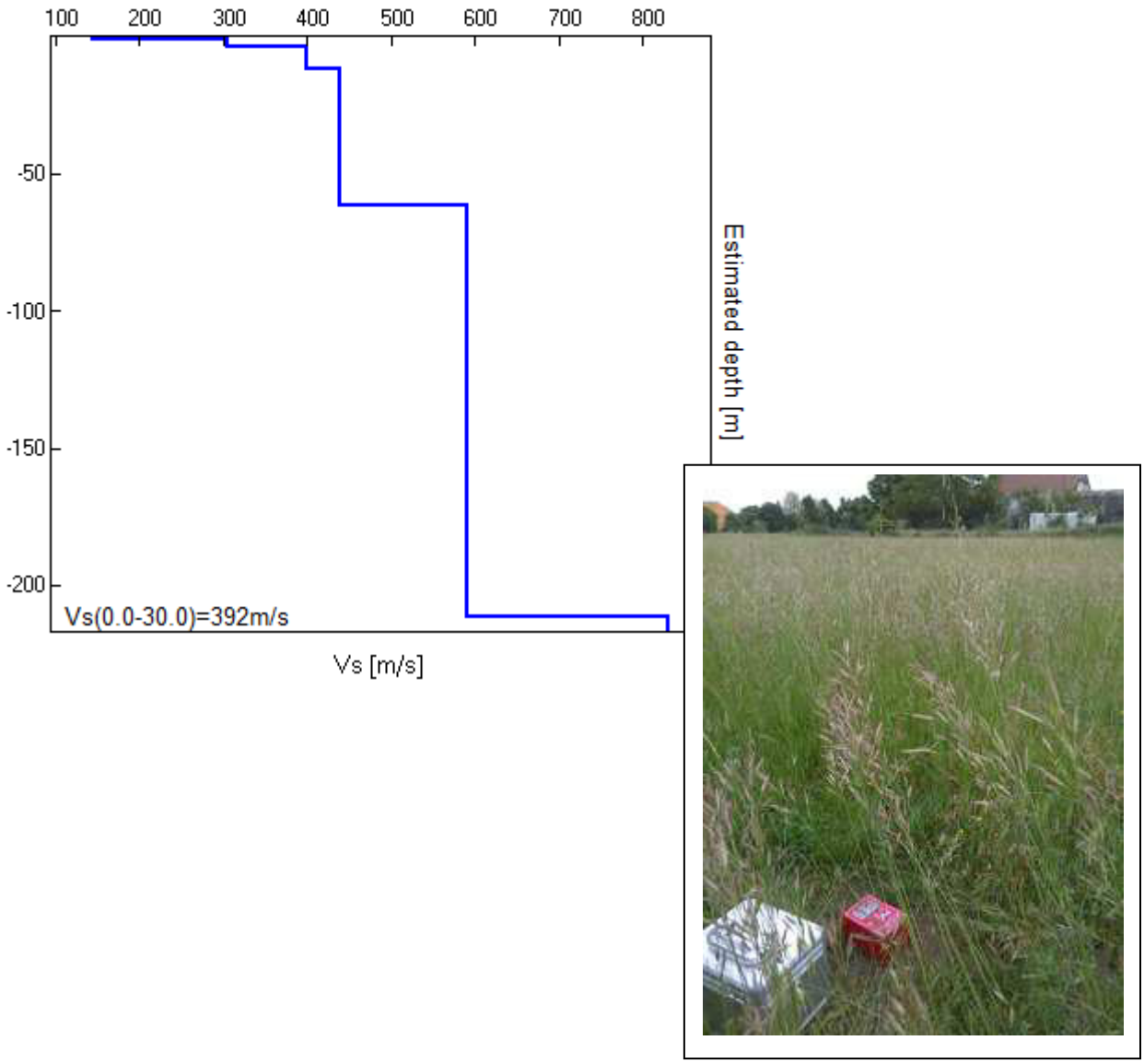
La stima del parametro $V_{s30}$ è stata effettuata, come esplicitamente richiesto dalle N.T.C. del 17 Gennaio 2018 per l'assegnazione della categoria di sottosuolo.

Dall'indagine sismica effettuata e dai modelli sismici ricavati è stato possibile calcolare la velocità di propagazione delle onde di taglio fino a 30 metri dal piano campagna. E' stato quindi possibile stimare, tramite la relazione

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum h_i / V_{Si}}$$

*in cui* $\boldsymbol{h_i}$ *e* $\boldsymbol{V_{Si}}$ *indicano lo spessore espresso in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio* $\gamma < 10^{-6}$*) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori, al di sotto del piano di imposta delle strutture di fondazione,* la velocità delle onde Vs a 30 metri dal piano campagna ($V_{S30}$) come esplicitamente richiesto dalla normativa vigente:

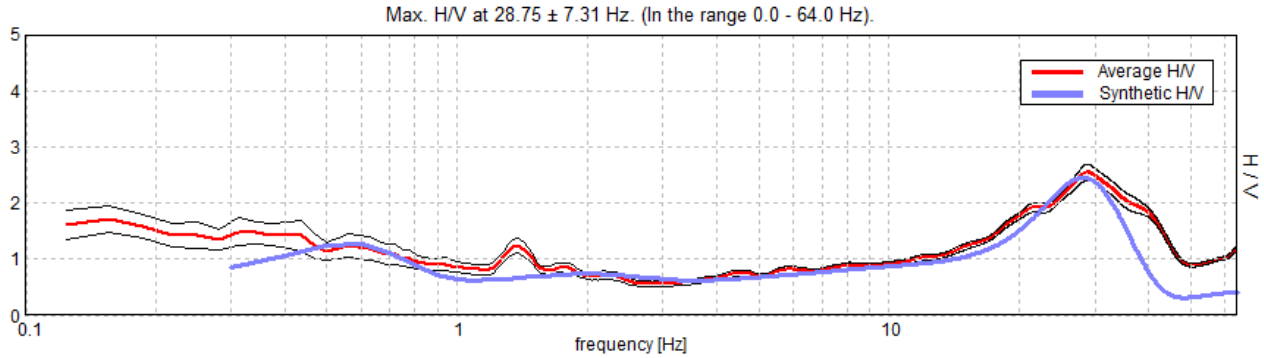
**Punto di indagine TR3 -** $\mathbf{V_{s30}}$ (0.00÷30.00) = **392 m/s.**



**Punto di indagine TR4**

Il fit della curva H/V ha permesso di ricostruire in modo approssimato il profilo di Vs fino alla profondità di circa 245 metri e la frequenza che presenta il maggiore contrasto di impedenza (H/V=2,6) risulta elevata e pari a circa 28 Hz.

Nel complesso, in particolare all'interno del range di frequenze di interesse ingegneristico, i picchi sono risultati molto modesti evidenziando l'assenza di forti contrasti di impedenza.




La curva sperimentale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo.

La ricostruzione del modello sismostratigrafico, finalizzato alla stima della $Vs_{30}$, evidenzia una crescita di velocità di propagazione delle onde sismiche correlabile ad un aumento della rigidità del sottosuolo.

**MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO**

| Profondità (bottom layer) [m] | Spessore sismostrati [m] | Vs [m/s] | Interpretazione stratigrafica |
|---|---|---|---|
| 1.70 | 1.70 | 190 | Copertura soffice |
| 10.70 | 9.00 | 390 | Copertura mediamente rigida |
| 55.70 | 45.00 | 460 | Copertura rigida |
| 245.70 | 190.00 | 590 | Copertura molto rigida |
| >245.70 | / | 880 | Bedrock like |

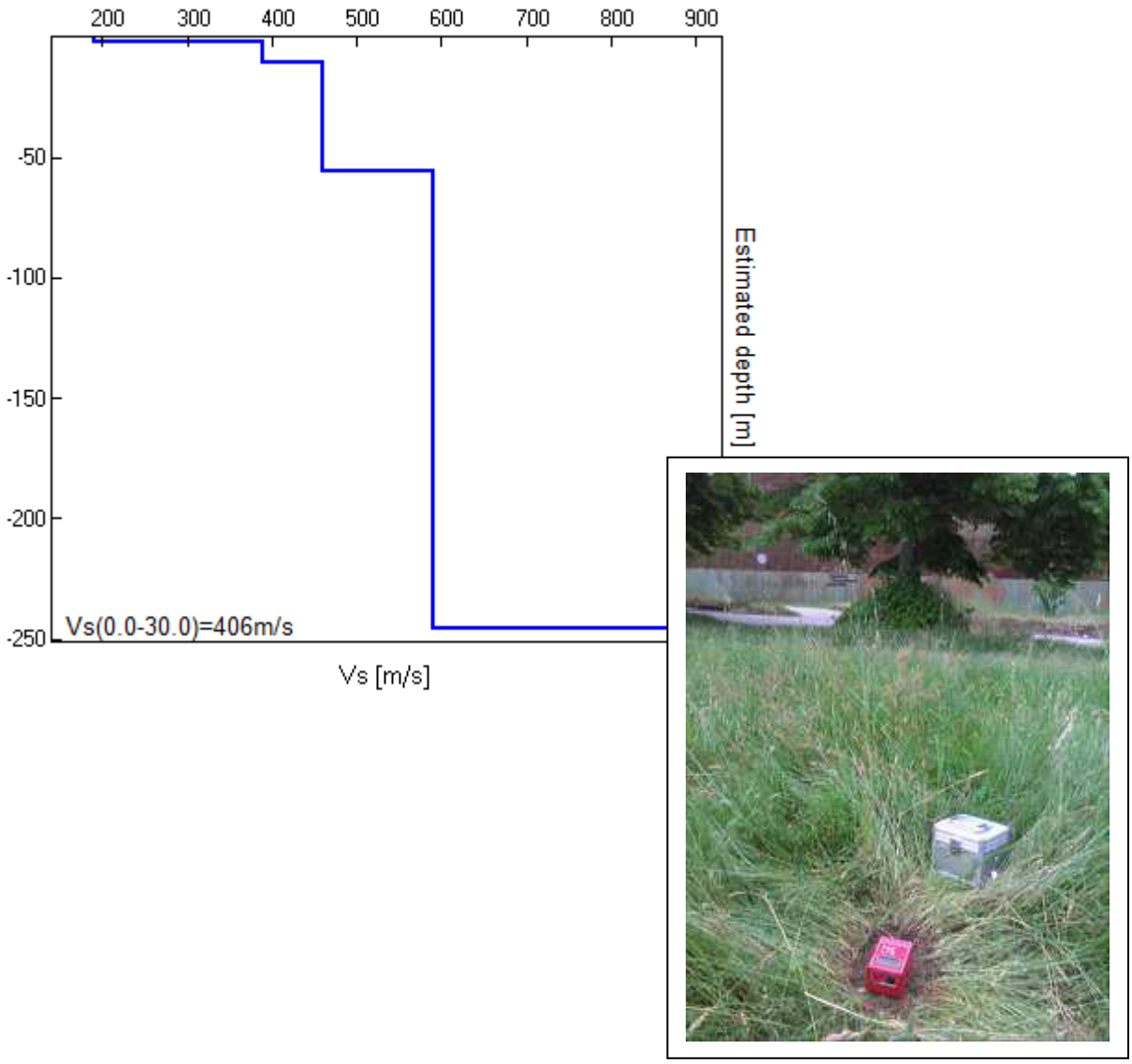
La stima del parametro $V_{s30}$ è stata effettuata, come esplicitamente richiesto dalle N.T.C. del 17 Gennaio 2018 per l'assegnazione della categoria di sottosuolo.

Dall'indagine sismica effettuata e dai modelli sismici ricavati è stato possibile calcolare la velocità di propagazione delle onde di taglio fino a 30 metri dal piano campagna. E' stato quindi possibile stimare, tramite la relazione

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum h_i / V_{Si}}$$

*in cui* $\boldsymbol{h_i}$ *e* $\boldsymbol{V_{Si}}$ *indicano lo spessore espresso in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio* $\gamma < 10^{-6}$*) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori, al di sotto del piano di imposta delle strutture di fondazione,* la velocità delle onde Vs a 30 metri dal piano campagna ($V_{S30}$) come esplicitamente richiesto dalla normativa vigente:

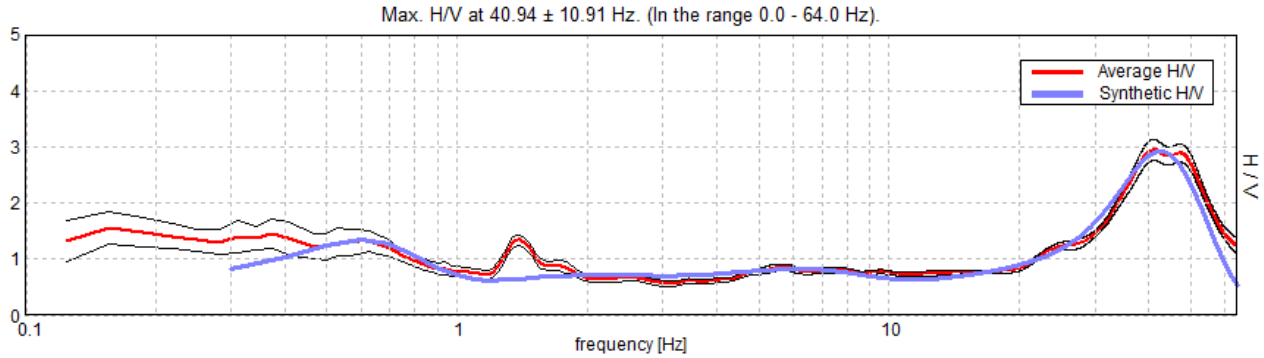
**Punto di indagine TR4 -** $\mathbf{V_{s30}}$ (0.00÷30.00) = **406 m/s.**



**Punto di indagine TR5**

Il fit della curva H/V ha permesso di ricostruire in modo approssimato il profilo di Vs fino alla profondità di circa 228 metri e la frequenza che presenta il maggiore contrasto di impedenza (H/V=3) risulta elevata e pari a circa 40 Hz.

Nel complesso, in particolare all'interno del range di frequenze di interesse ingegneristico, i picchi sono risultati molto modesti evidenziando l'assenza di forti contrasti di impedenza.




La curva sperimentale rossa rappresenta l'andamento sismico registrato in campagna mentre quella blu è la curva sintetica generata dal codice di calcolo.

La ricostruzione del modello sismostratigrafico, finalizzato alla stima della $Vs_{30}$, evidenzia una crescita di velocità di propagazione delle onde sismiche correlabile ad un aumento della rigidità del sottosuolo.

**MODELLO SISMOSTRATIGRAFICO**

| Profondità (bottom layer) [m] | Spessore sismostrati [m] | Vs [m/s] | Interpretazione stratigrafica |
|---|---|---|---|
| 1.00 | 1.00 | 170 | Copertura soffice |
| 13.00 | 12.00 | 360 | Copertura mediamente rigida |
| 68.00 | 55.00 | 495 | Copertura rigida |
| 228.00 | 160.00 | 595 | Copertura molto rigida |
| >228.00 | / | 920 | Bedrock like |

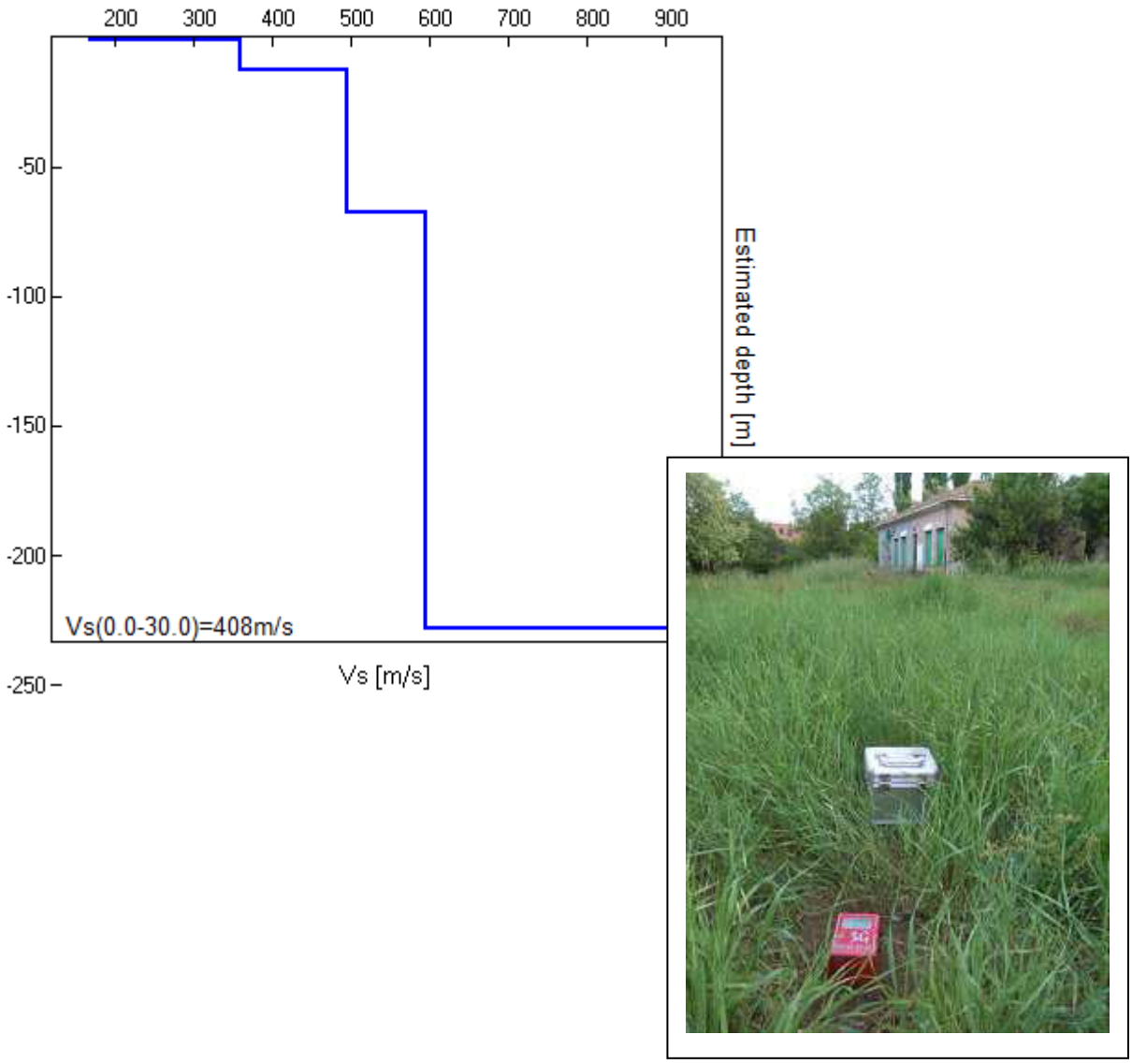
La stima del parametro $V_{s30}$ è stata effettuata, come esplicitamente richiesto dalle N.T.C. del 17 Gennaio 2018 per l'assegnazione della categoria di sottosuolo.

Dall'indagine sismica effettuata e dai modelli sismici ricavati è stato possibile calcolare la velocità di propagazione delle onde di taglio fino a 30 metri dal piano campagna. E' stato quindi possibile stimare, tramite la relazione

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum h_i / V_{Si}}$$

*in cui* $\boldsymbol{h_i}$ *e* $\boldsymbol{V_{Si}}$ *indicano lo spessore espresso in metri e la velocità delle onde di taglio (per deformazioni di taglio* $\gamma < 10^{-6}$*) dello strato i-esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 m superiori, al di sotto del piano di imposta delle strutture di fondazione,* la velocità delle onde Vs a 30 metri dal piano campagna ($V_{S30}$) come esplicitamente richiesto dalla normativa vigente:

**Punto di indagine TR5 -** $\mathbf{V_{s30}}$ (0.00÷30.00) = **408 m/s.**



## 5. CONCLUSIONI

Si riepiloga quanto esposto nella presente relazione riguardante le indagini geofisiche per la definizione del modello sismico del sottosuolo a supporto del progetto di riqualificazione dell'area ex-campo di aviazione per la realizzazione del "Parco Urbano dell'Aeroporto", ubicata nel territorio comunale di Fano (PU).

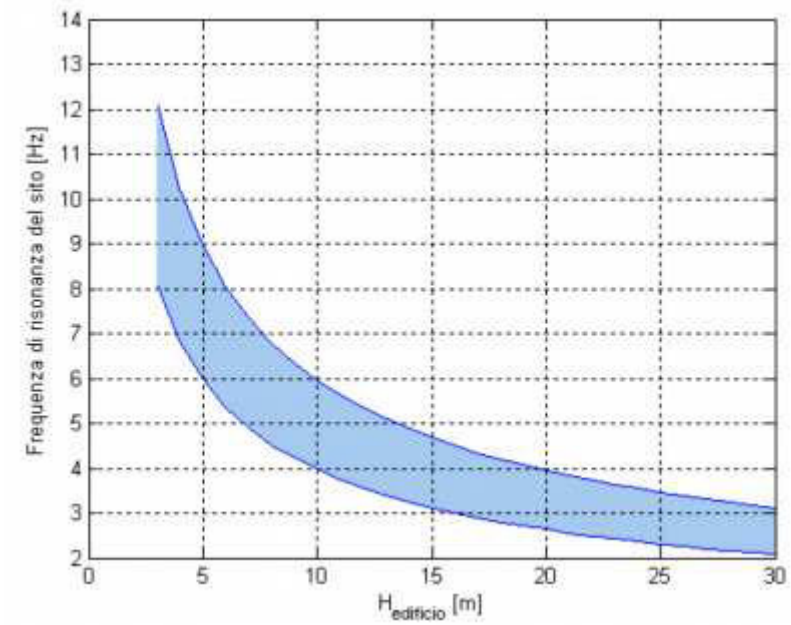
L'inversione delle curve H/V per la ricostruzione dei profili sismo-stratigrafici ha evidenziato una buona omogeneità tra le tracce. Generalmente si sono riscontrati picchi con contrasto di impedenza non molto elevato, con valori massimi di H/V pari a circa 3.

I picchi con maggiore contrasto si concentrano su frequenze elevate ipotizzando la presenza di una sottile coltre di terreni poco consistenti (circa 0,50÷2.00 metri) sovrapposti a sedimenti prevalentemente ghiaiosi molto compatti a cui sono state attribuiti valori di $V_s$ compresi tra circa 300 m/s e 450 m/s.

All'interno del range di frequenze di interesse ingegneristico (tra circa 10 Hz e 1 Hz), le curve H/V si mantengono prossime o inferiori all'unità, mentre sono presenti picchi a basso contrasto di impedenza a frequenze inferiori a 1Hz relative a discontinuità sismostratigrafiche profonde.

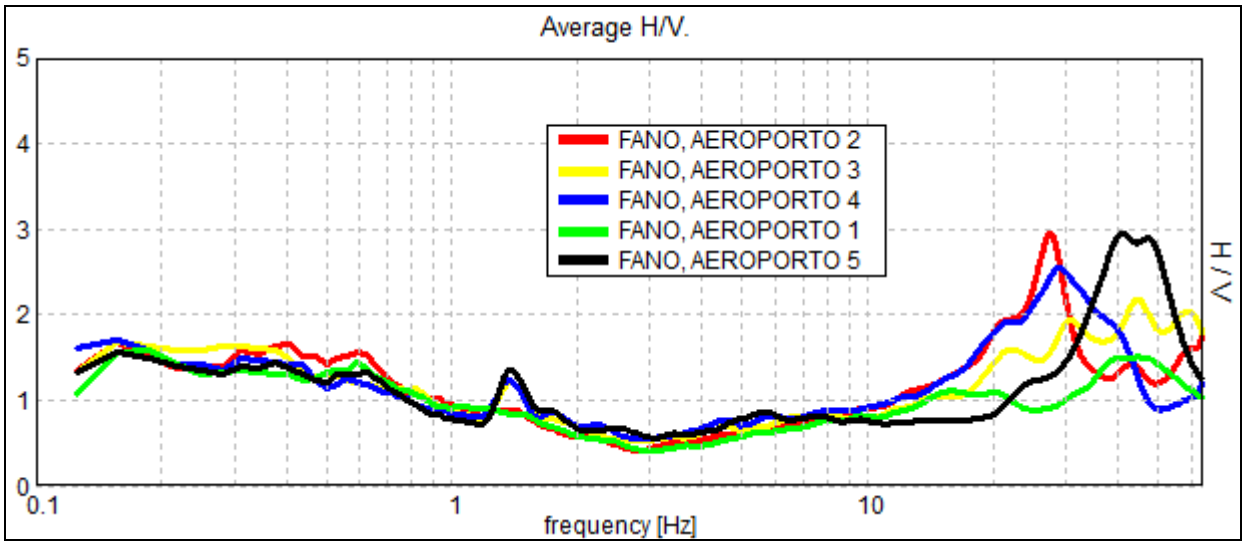
Il picco spettrale aguzzo a circa 1,4 Hz presente in alcune tracce non è di origine stratigrafica, ma è un tipico artefatto in sismologia di origine antropica, riconoscibile per l'assenza di un minimo locale della componente spettrale verticale.

E' oramai consolidata l'ipotesi che le costruzioni subiscono le sollecitazioni sismiche maggiori quando c'è coincidenza tra la frequenza di vibrazione naturale dei terreni investiti da un'onda sismica e quella naturale della struttura; dal punto di vista analitico, la vibrazione di un edificio è governata soprattutto dalla sua altezza ed esiste una relazione empirica che lega la frequenza di vibrazione di un edificio e la sua altezza (f = 10-12/n. piani).




Relazione tra altezza di un edificio in c.a. e frequenza di risonanza del sito investigato

Dalle indagini non sono emerse frequenze che possano indurre importanti effetti di "doppia risonanza" in edifici di altezza ordinaria. Le ricostruzioni sismo stratigrafiche, con tutte le limitazioni di affidabilità intrinseche in questo tipo di misure in funzione della valutazione della $V_s$, sono state spinte fino a profondità comprese tra 210 e 270 metri, a cui sono state attribuite $V_s$ comprese tra 830 e 1020 m/s.




**Classificazione della categoria di sottosuolo secondo quanto previsto nella tabella 3.2.II delle NTC**

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

| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
|---|---|
| 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. |

Riassumendo, i risultati delle inversioni delle curve H/V attraverso la stima delle $V_s$, sono i seguenti:

**Punto di indagine TR1 - $V_{s30}$** (0.00÷30.00) = **414 m/s**

**Punto di indagine TR2 - $V_{s30}$** (0.00÷30.00) = **433 m/s**

**Punto di indagine TR3 - $V_{s30}$** (0.00÷30.00) = **392 m/s**

**Punto di indagine TR4 - $V_{s30}$** (0.00÷30.00) = **406 m/s**

**Punto di indagine TR5 - $V_{s30}$** (0.00÷30.00) = **408 m/s**

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, secondo la classificazione indicata nelle norme tecniche per le costruzioni (D.M 17/01/2018), in base ai risultati delle indagini geofisiche HVSR il suolo di fondazione va classificato all'interno della seguente categoria di sottosuolo:

**Categoria 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.*

Il geologo incaricato, sulla base della conoscenza stratigrafica dell'area derivata dalla sua esperienza professionale e dalle indagini geognostiche condotte nel sito in oggetto, nonché considerando le caratteristiche dell'opera in progetto e la tipologia di fondazioni, è tenuto a validare l'attribuzione alla suddetta categoria o considerare, ai sensi del DM 17/01/2018, un approfondimento mediante uno studio di risposta sismica locale.

GEOLOGO

STEFANO STROCCHI

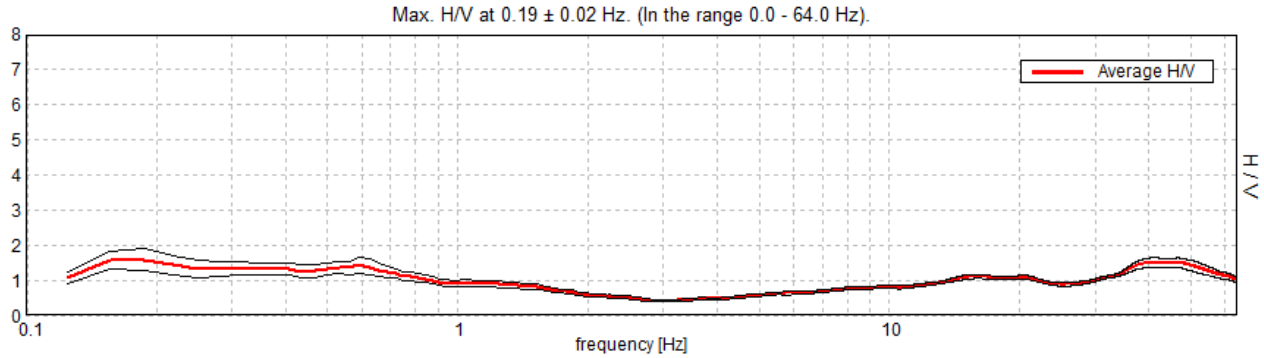
# ALLEGATI

Report Indagini Geofisiche mediante Rilievo dei Microtremori

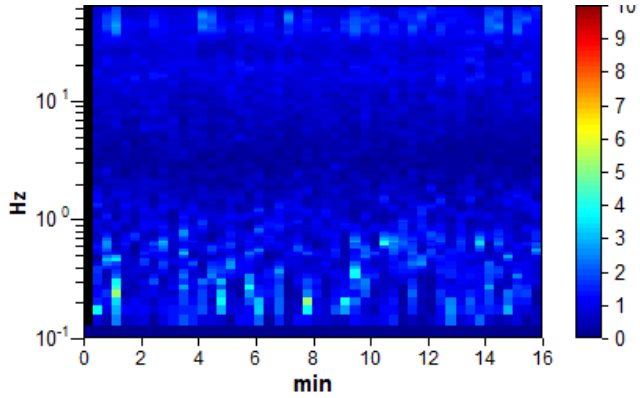
## FANO, AEROPORTO 1

Strumento: TE3-0085/01-14
Formato dati: 32 byte
Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 10/05/18 05:06:37 Fine registrazione: 10/05/18 05:22:38
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; sync sync
Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 98% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

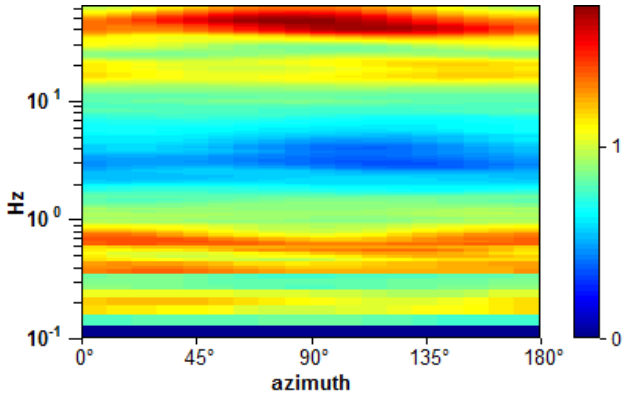
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



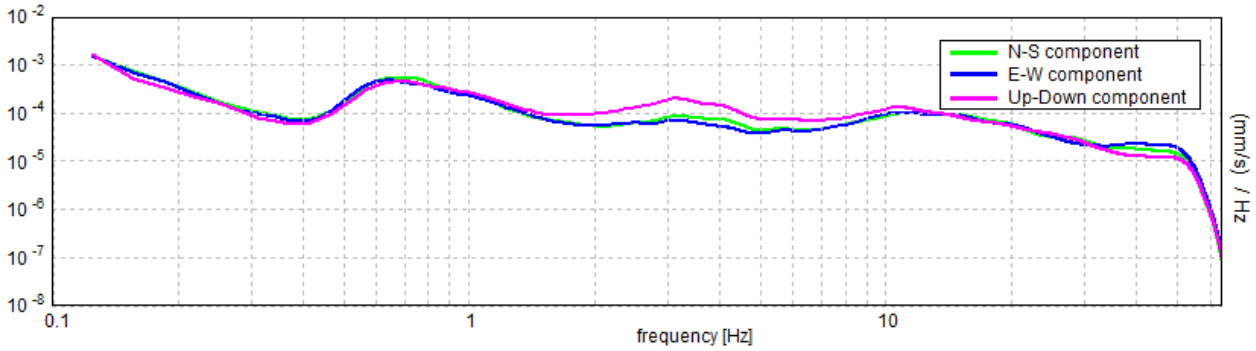

SERIE TEMPORALE H/V



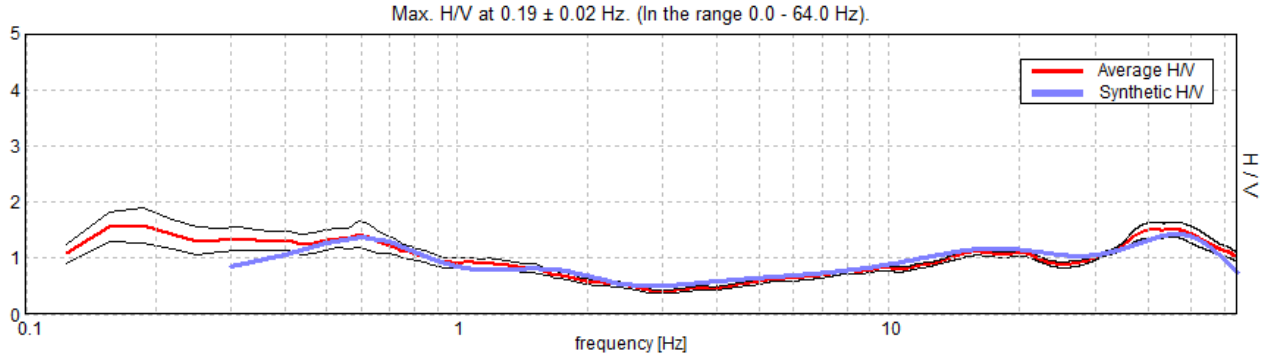

DIREZIONALITA' H/V




SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

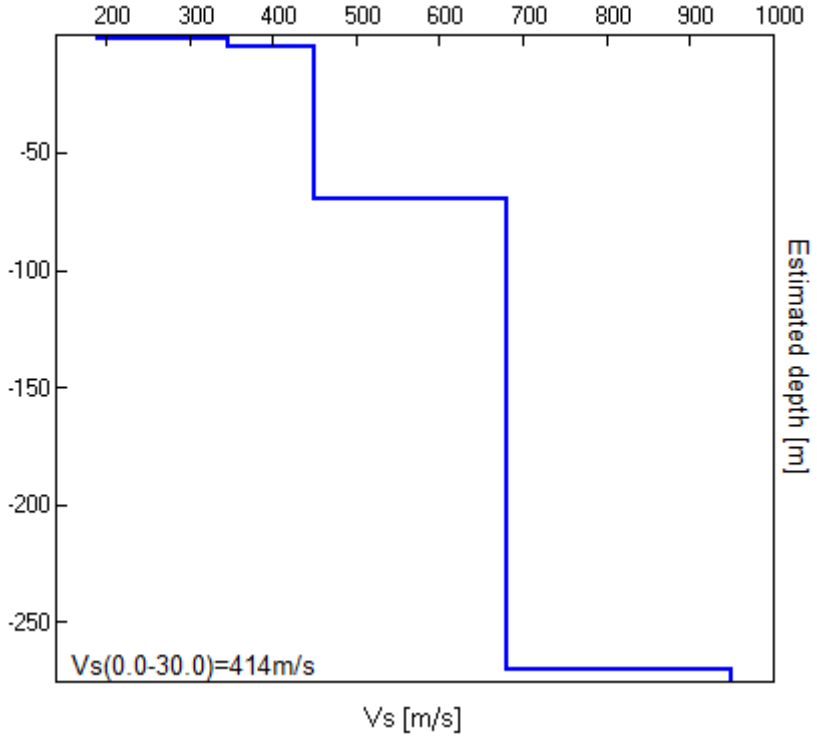


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO




| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Rapporto di Poisson |
|---|---|---|---|
| 1.00 | 1.00 | 190 | 0.42 |
| 5.00 | 4.00 | 345 | 0.42 |
| 70.00 | 65.00 | 450 | 0.42 |
| 270.00 | 200.00 | 680 | 0.42 |
| inf. | inf. | 950 | 0.40 |

Vs(0.0-30.0)=414m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di** *Grilla* **prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a 0.19 ± 0.02 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

| **Criteri per una curva H/V affidabile** [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti] | | | |
|---|---|---|---|
| **$f_0 > 10 / L_w$** | 0.19 > 0.50 | | **NO** |
| **$n_c(f_0) > 200$** | 176.3 > 200 | | **NO** |
| **$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz**<br>**$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz** | Superato 0 volte su 10 | **OK** | |
| **Criteri per un picco H/V chiaro** [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti] | | | |
| **Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$ \| $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$** | 0.094 Hz | **OK** | |
| **Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$ \| $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$** | | | **NO** |
| **$A_0 > 2$** | 1.59 > 2 | | **NO** |
| **$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$** | \|0.12396\| < 0.05 | | **NO** |
| **$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$** | 0.02324 < 0.04688 | **OK** | |
| **$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$** | 0.3068 < 3.0 | **OK** | |

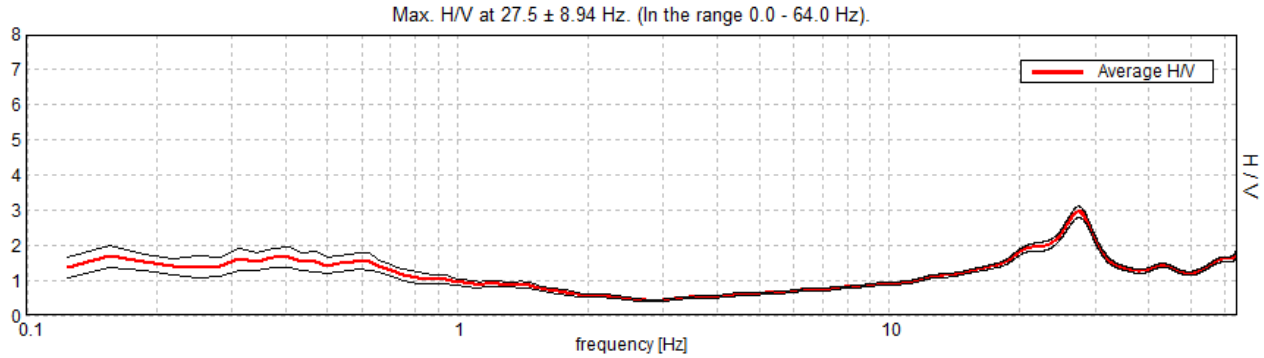
| | |
|---|---|
| $L_w$ | lunghezza della finestra |
| $n_w$ | numero di finestre usate nell'analisi |
| $n_c = L_w n_w f_0$ | numero di cicli significativi |
| $f$ | frequenza attuale |
| $f_0$ | frequenza del picco H/V |
| $\sigma_f$ | deviazione standard della frequenza del picco H/V |
| $\varepsilon(f_0)$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

| Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Intervallo di freq. [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 $f_0$ |
| $\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$ | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.78 | 1.58 |
| log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$ | 0.48 | 0.40 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |

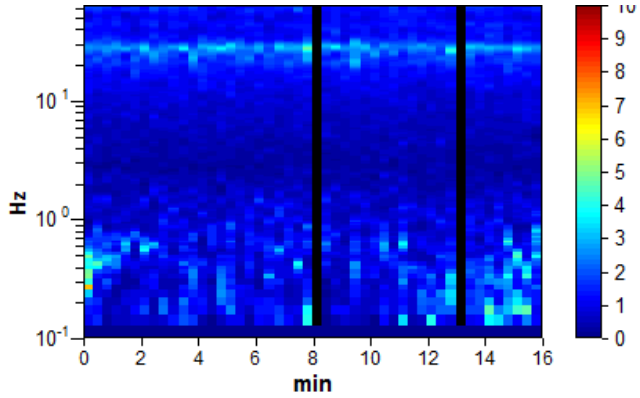
## FANO, AEROPORTO 2

Strumento: TE3-0085/01-14
Formato dati: 32 byte
Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 10/05/18 05:26:27 Fine registrazione: 10/05/18 05:42:28
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; sync sync
Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 96% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

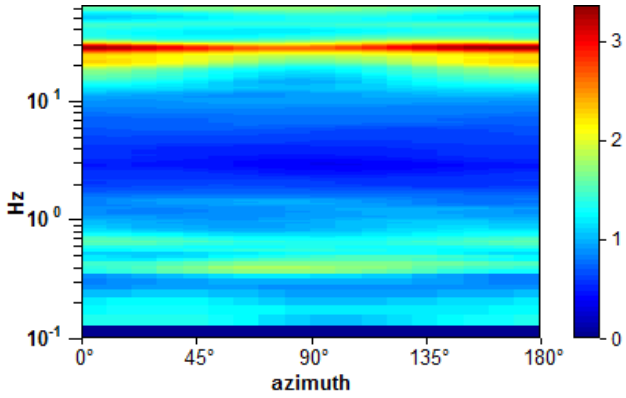
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



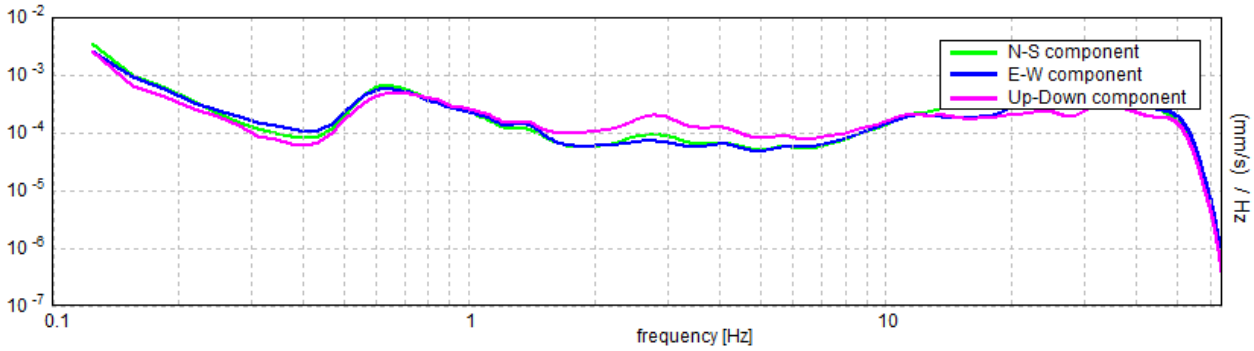

SERIE TEMPORALE H/V



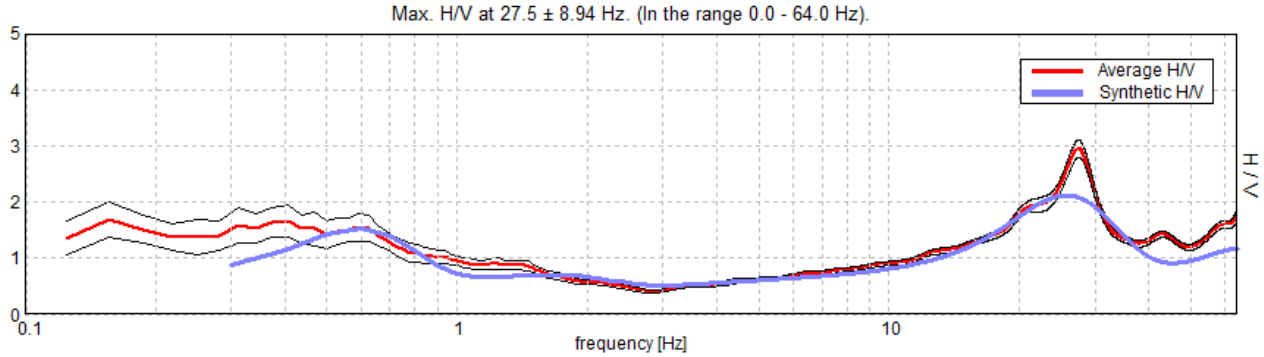

DIREZIONALITA' H/V




SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

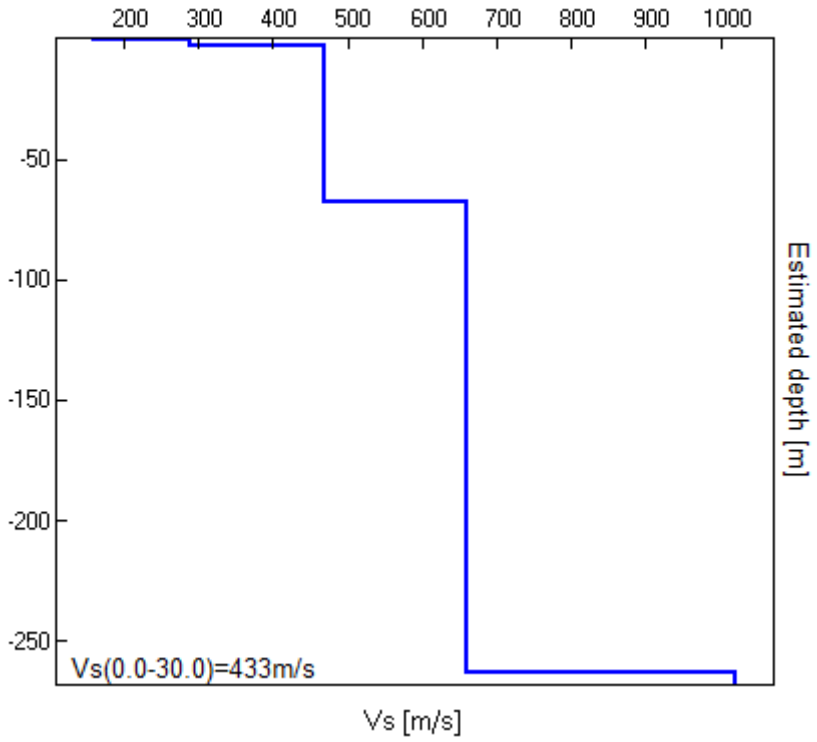


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO




| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Rapporto di Poisson |
|---|---|---|---|
| 0.60 | 0.60 | 160 | 0.40 |
| 2.80 | 2.20 | 290 | 0.40 |
| 67.80 | 65.00 | 470 | 0.40 |
| 262.80 | 195.00 | 660 | 0.40 |
| inf. | inf. | 1020 | 0.40 |

Vs(0.0-30.0)=433m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di** *Grilla* **prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a 27.5 ± 8.94 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

| **Criteri per una curva H/V affidabile** [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti] | | | |
|---|---|---|---|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 27.50 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 25300.0 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz | Superato 0 volte su 1321 | OK | |
| **Criteri per un picco H/V chiaro** [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti] | | | |
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 18.281 Hz | OK | |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 33.0 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 2.95 > 2 | OK | |
| $f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | \|0.32524\| < 0.05 | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 8.94414 < 1.375 | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 0.1587 < 1.58 | OK | |

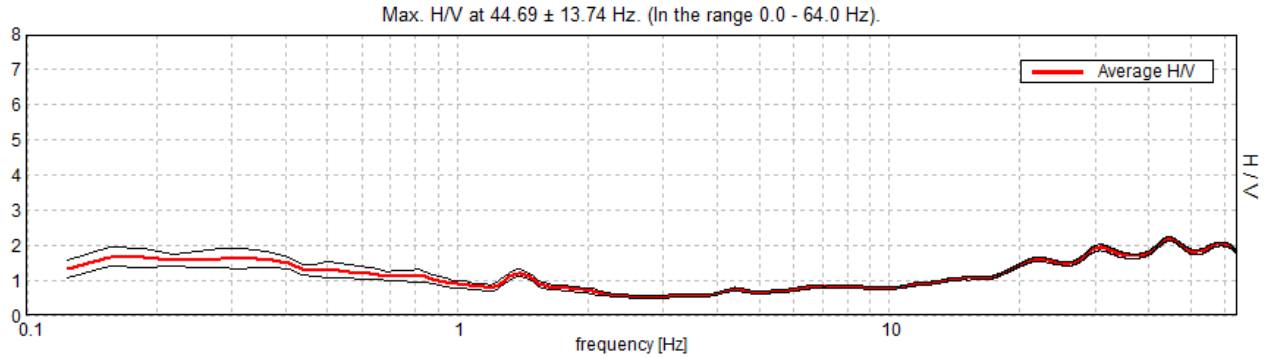
| | |
|---|---|
| $L_w$ | lunghezza della finestra |
| $n_w$ | numero di finestre usate nell'analisi |
| $n_c = L_w n_w f_0$ | numero di cicli significativi |
| $f$ | frequenza attuale |
| $f_0$ | frequenza del picco H/V |
| $\sigma_f$ | deviazione standard della frequenza del picco H/V |
| $\varepsilon(f_0)$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

| Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Intervallo di freq. [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 $f_0$ |
| $\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$ | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.78 | 1.58 |
| log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$ | 0.48 | 0.40 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |

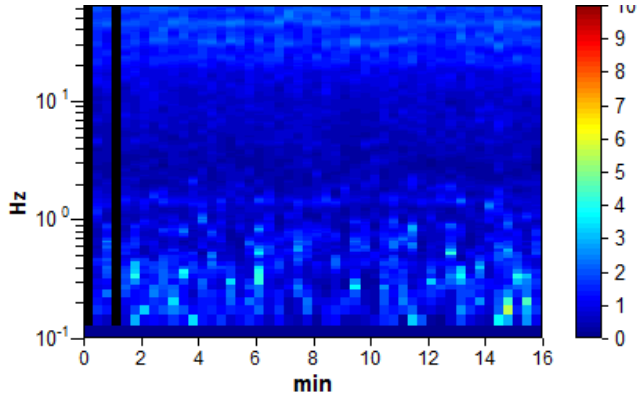
## FANO, AEROPORTO 3

Strumento: TE3-0085/01-14
Formato dati: 32 byte
Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 10/05/18 05:46:21 Fine registrazione: 10/05/18 06:02:22
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; sync sync
Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 96% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

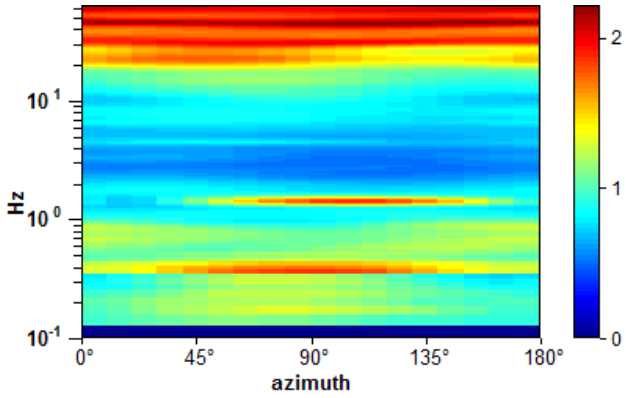
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



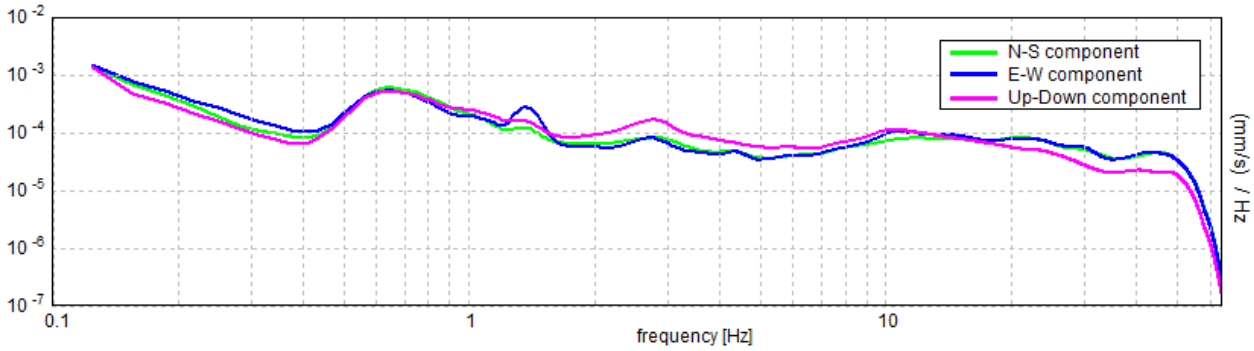

SERIE TEMPORALE H/V



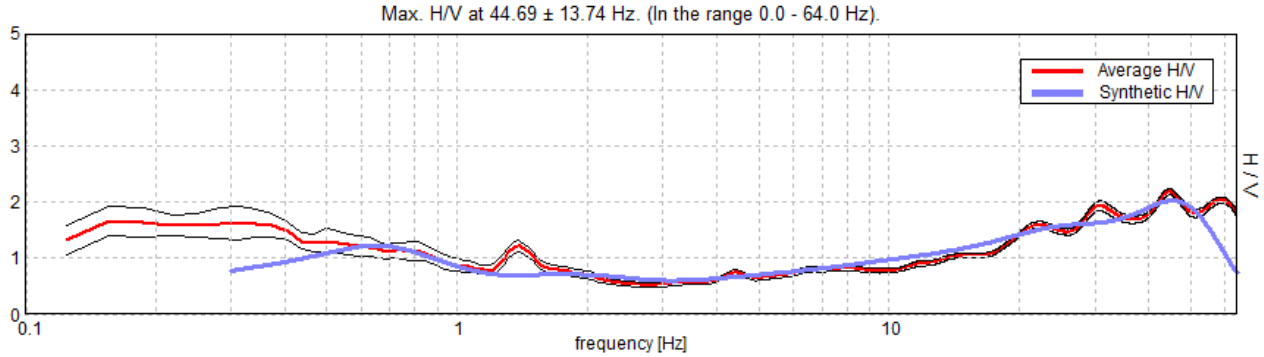

DIREZIONALITA' H/V




SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

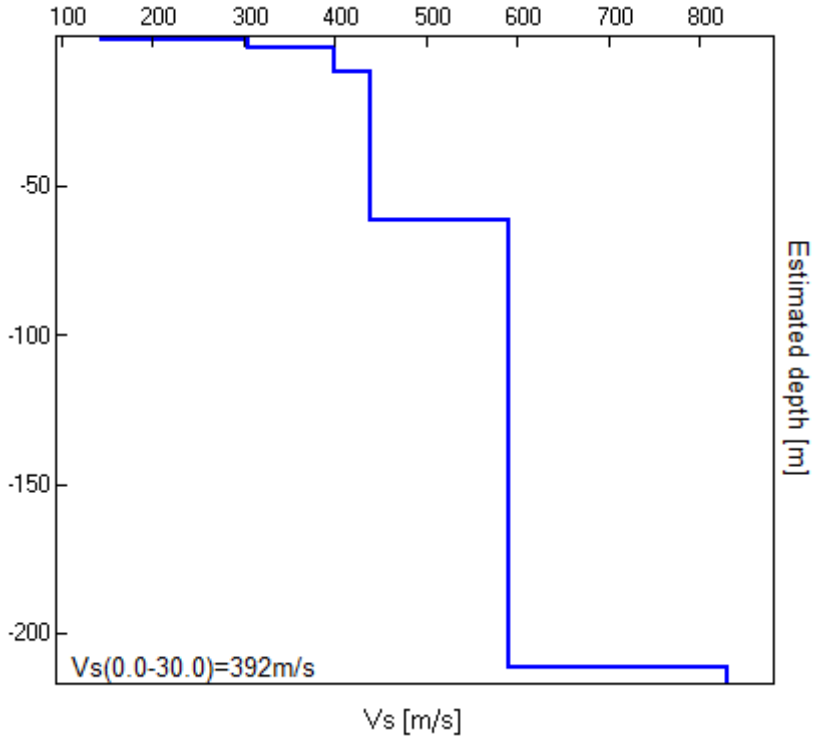


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO




| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Rapporto di Poisson |
|---|---|---|---|
| 0.80 | 0.80 | 145 | 0.42 |
| 3.60 | 2.80 | 305 | 0.42 |
| 11.60 | 8.00 | 400 | 0.42 |
| 61.60 | 50.00 | 440 | 0.40 |
| 211.60 | 150.00 | 590 | 0.40 |
| inf. | inf. | 830 | 0.40 |

Vs(0.0-30.0)=392m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di** *Grilla* **prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a 44.69 ± 13.74 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

| **Criteri per una curva H/V affidabile** [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti] | | | |
|---|---|---|---|
| **$f_0 > 10 / L_w$** | 44.69 > 0.50 | OK | |
| **$n_c(f_0) > 200$** | 41112.5 > 200 | OK | |
| **$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz**<br>**$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz** | Superato 0 volte su 1334 | OK | |
| **Criteri per un picco H/V chiaro** [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti] | | | |
| **Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$ \| $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$** | 17.406 Hz | OK | |
| **Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$ \| $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$** | | | NO |
| **$A_0 > 2$** | 2.18 > 2 | OK | |
| **$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$** | \|0.30754\| < 0.05 | | NO |
| **$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$** | 13.74337 < 2.23438 | | NO |
| **$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$** | 0.0556 < 1.58 | OK | |

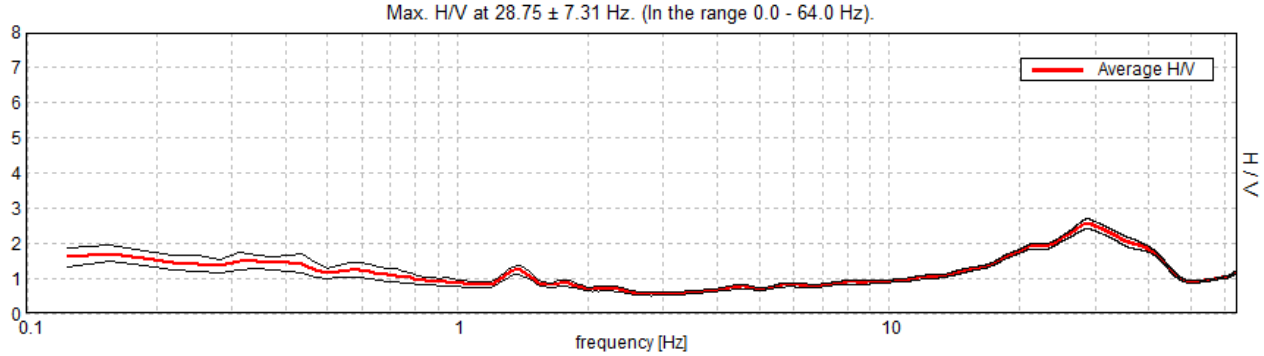
| | |
|---|---|
| $L_w$ | lunghezza della finestra |
| $n_w$ | numero di finestre usate nell'analisi |
| $n_c = L_w n_w f_0$ | numero di cicli significativi |
| $f$ | frequenza attuale |
| $f_0$ | frequenza del picco H/V |
| $\sigma_f$ | deviazione standard della frequenza del picco H/V |
| $\varepsilon(f_0)$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

| Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Intervallo di freq. [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 $f_0$ |
| $\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$ | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.78 | 1.58 |
| log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$ | 0.48 | 0.40 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |

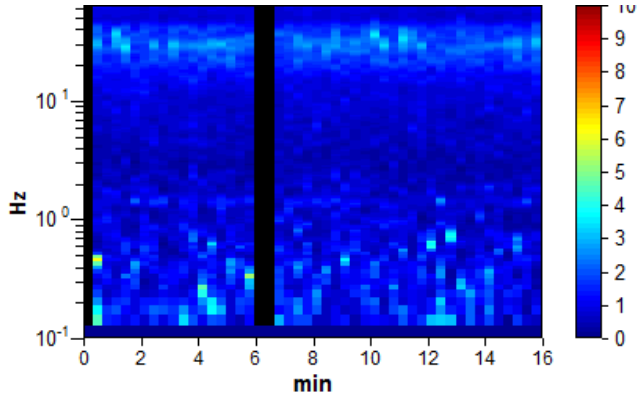
## FANO, AEROPORTO 4

Strumento: TE3-0085/01-14
Formato dati: 32 byte
Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 10/05/18 06:05:42 Fine registrazione: 10/05/18 06:21:43
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; sync sync
Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 94% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

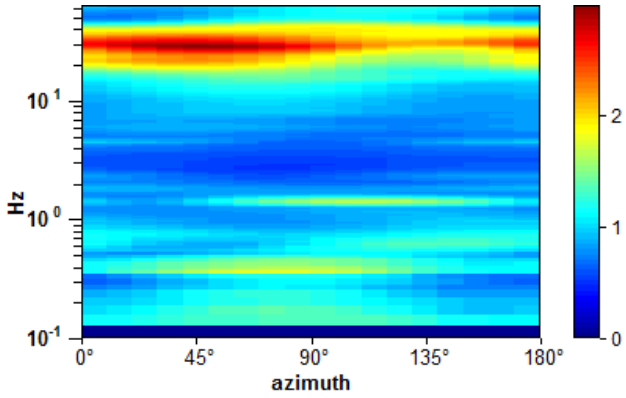
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



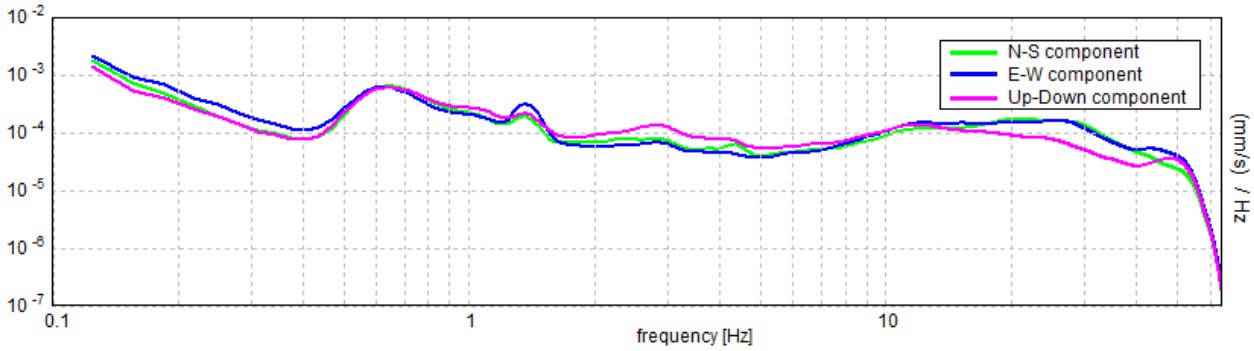

SERIE TEMPORALE H/V



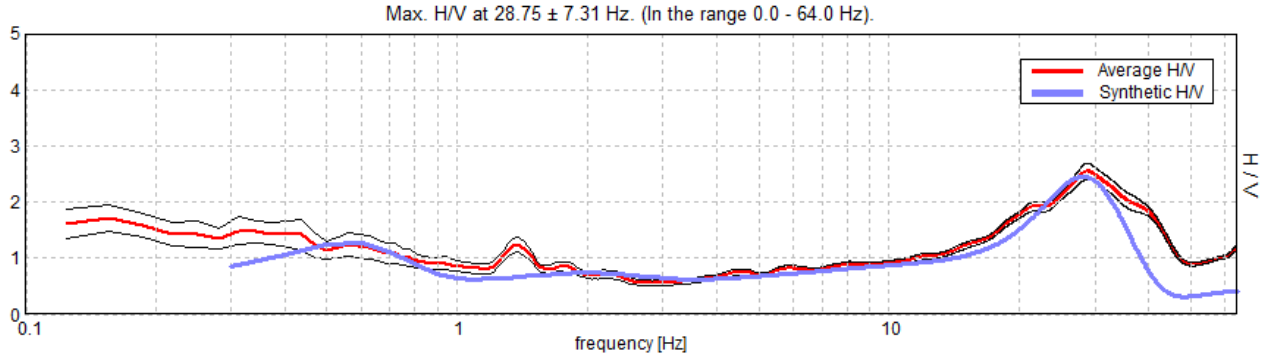

DIREZIONALITA' H/V




SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

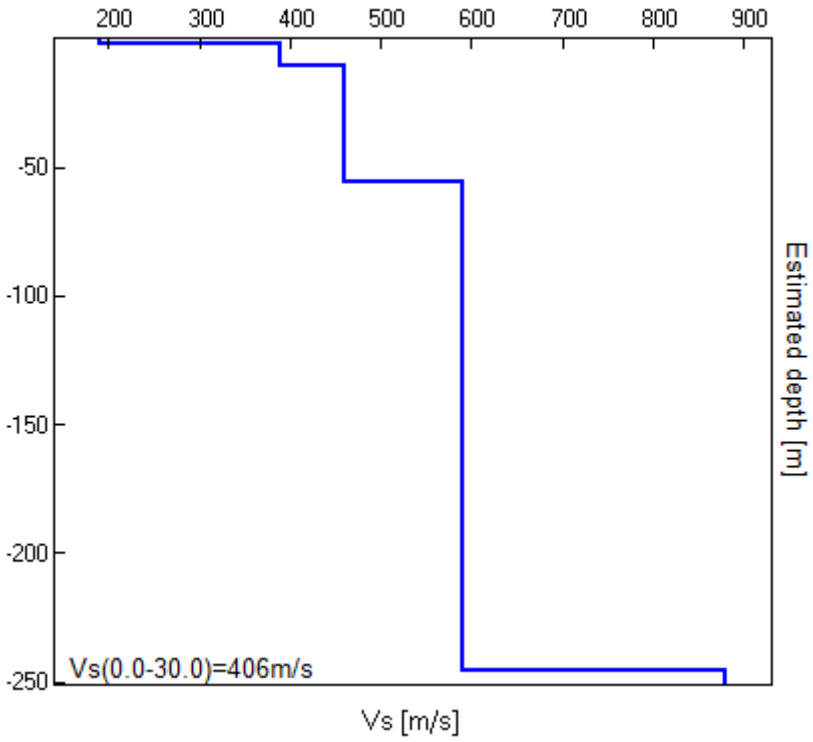


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO




| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Rapporto di Poisson |
|---|---|---|---|
| 1.70 | 1.70 | 190 | 0.40 |
| 10.70 | 9.00 | 390 | 0.40 |
| 55.70 | 45.00 | 460 | 0.40 |
| 245.70 | 190.00 | 590 | 0.40 |
| inf. | inf. | 880 | 0.40 |

Vs(0.0-30.0)=406m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di** *Grilla* **prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a 28.75 ± 7.31 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

| **Criteri per una curva H/V affidabile** [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti] | | | |
|---|---|---|---|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 28.75 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 25875.0 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz | Superato 0 volte su 1381 | OK | |
| **Criteri per un picco H/V chiaro** [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti] | | | |
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 15.781 Hz | OK | |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 44.563 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 2.55 > 2 | OK | |
| $f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | \|0.2543\| < 0.05 | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 7.31105 < 1.4375 | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 0.1416 < 1.58 | OK | |

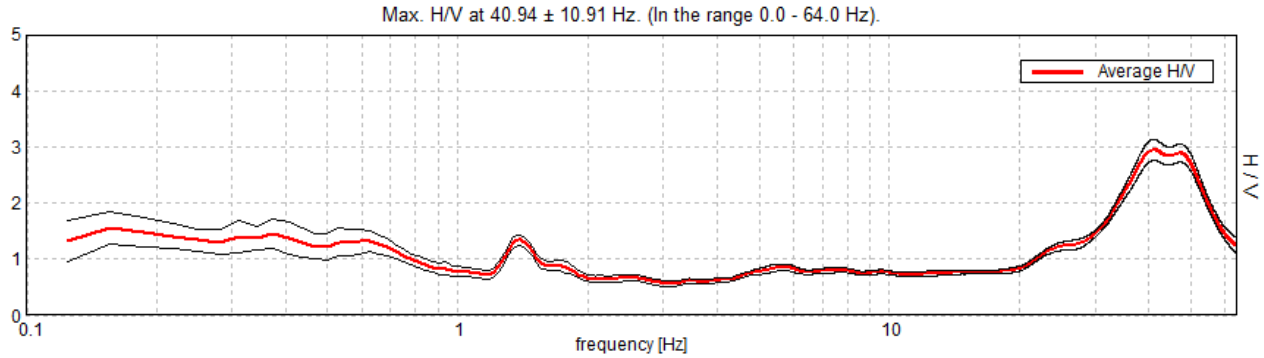
| | |
|---|---|
| $L_w$ | lunghezza della finestra |
| $n_w$ | numero di finestre usate nell'analisi |
| $n_c = L_w n_w f_0$ | numero di cicli significativi |
| $f$ | frequenza attuale |
| $f_0$ | frequenza del picco H/V |
| $\sigma_f$ | deviazione standard della frequenza del picco H/V |
| $\varepsilon(f_0)$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

| Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Intervallo di freq. [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 $f_0$ |
| $\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$ | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.78 | 1.58 |
| log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$ | 0.48 | 0.40 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |

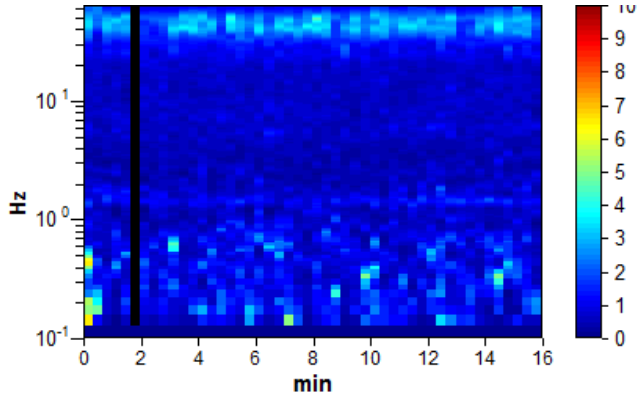
## FANO, AEROPORTO 5

Strumento: TE3-0085/01-14
Formato dati: 32 byte
Fondo scala [mV]: 51
Inizio registrazione: 10/05/18 06:25:13 Fine registrazione: 10/05/18 06:41:14
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN ; sync sync
Durata registrazione: 0h16'00". Analizzato 98% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

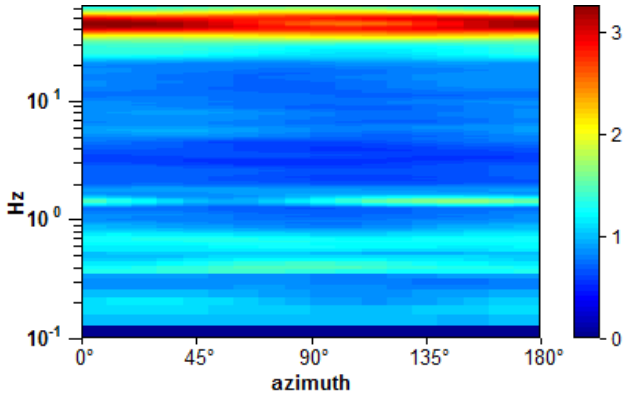
RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



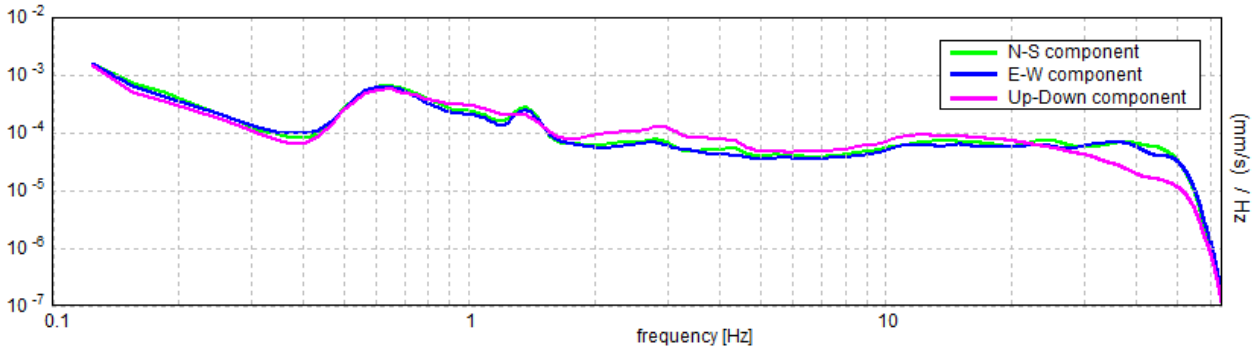

SERIE TEMPORALE H/V



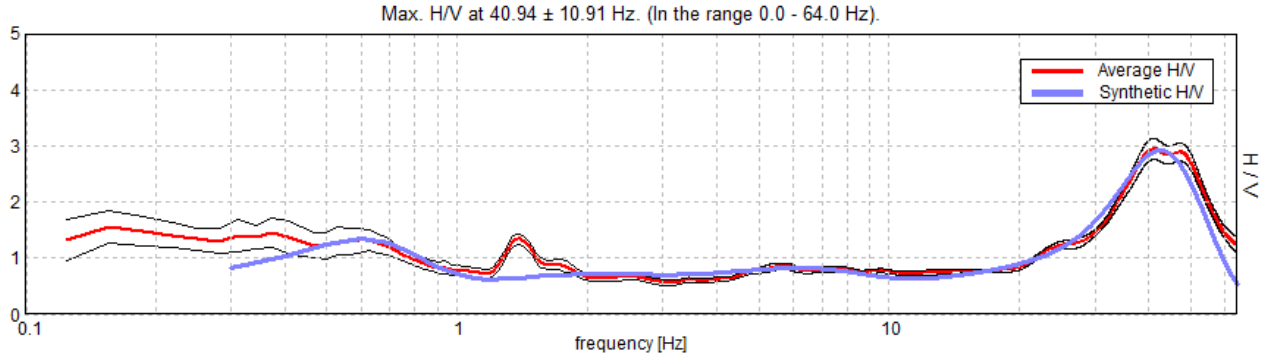

DIREZIONALITA' H/V




SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

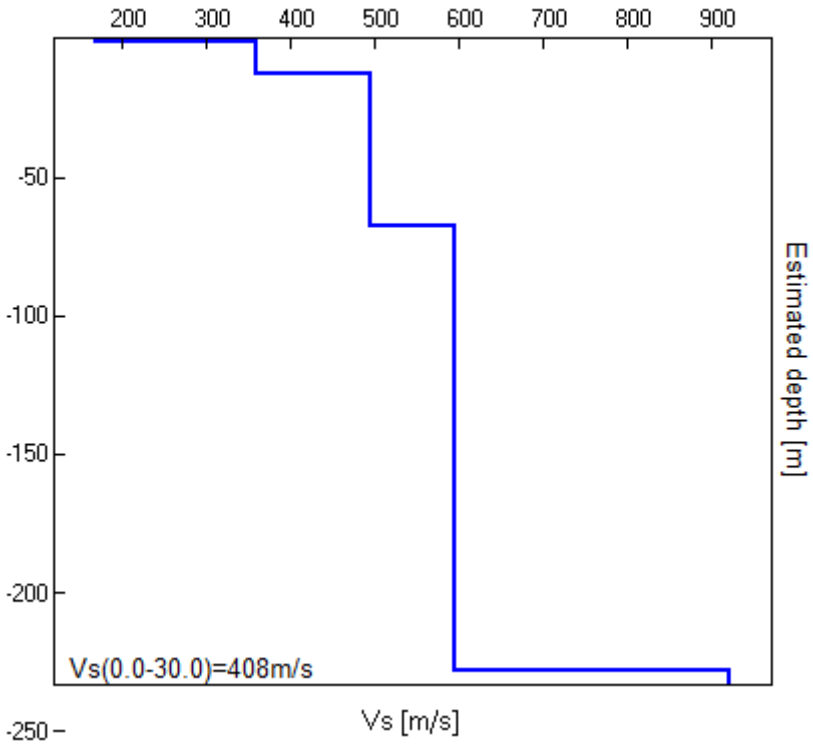


H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO




| Profondità alla base dello strato [m] | Spessore [m] | Vs [m/s] | Rapporto di Poisson |
|---|---|---|---|
| 1.00 | 1.00 | 170 | 0.40 |
| 13.00 | 12.00 | 360 | 0.40 |
| 68.00 | 55.00 | 495 | 0.40 |
| 228.00 | 160.00 | 595 | 0.40 |
| inf. | inf. | 920 | 0.40 |

Vs(0.0-30.0)=408m/s



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di** *Grilla* **prima di interpretare la tabella seguente**].

**Picco H/V a 40.94 ± 10.91 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).**

| **Criteri per una curva H/V affidabile** [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti] | | | |
|---|---|---|---|
| $f_0 > 10 / L_w$ | 40.94 > 0.50 | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | 38481.3 > 200 | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$Hz<br>$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$Hz | Superato 0 volte su 1394 | OK | |
| **Criteri per un picco H/V chiaro** [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti] | | | |
| Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 30.219 Hz | OK | |
| Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 59.656 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | 2.95 > 2 | OK | |
| $f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | \|0.26661\| < 0.05 | | NO |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | 10.91442 < 2.04688 | | NO |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | 0.1896 < 1.58 | OK | |

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

| Valori di soglia per $\sigma_f$ e $\sigma_A(f_0)$ | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Intervallo di freq. [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 $f_0$ |
| $\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$ | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.78 | 1.58 |
| log $\theta(f_0)$ per $\sigma_{logH/V}(f_0)$ | 0.48 | 0.40 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |