
COMUNE DI SAN GIOVANNI TEATINO PROVINCIA DI CHIETI

REALIZZAZIONE DI UN IMPIANTO DI RECUPERO RIFIUTI NON PERICOLOSI



Richiedente:

PealFire
Via Po, Zona Industriale Val Pescara

RELAZIONE GEOLOGICA

Redazione:

dott. geol. Paolo DI MARCANTONIO

Prot. n. 039D/22
16 dicembre 2022

IL PRESENTE ELABORATO È COSTITUITO DA 21 PAGINE

INDICE

1	PREMESSA.....	3
1.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO.....	3
2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E SISMICO.....	4
2.1	INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO.....	4
2.1.1	INTERAZIONE CON ELEMENTI DI PERICOLOSITÀ GEOMORFOLOGICA DEL PIANO ASSETTO IDROGEOLOGICO.....	5
2.1.2	INTERAZIONE CON ELEMENTI DI PERICOLOSITÀ IDRAULICA DEL PIANO STRALCIO DIFESA ALLUVIONI E CON IL RETICOLO IDROGRAFICO SUPERFICIALE.....	6
2.2	INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE ED ELEMENTI DI PERICOLOSITÀ GEOLOGICA.....	7
2.2.1	ELEMENTI TETTONICI E PRESENZA DI FAGLIE ATTIVE E CAPACI.....	7
2.2.2	POTENZIALE PRESENZA DI CAVITÀ E/O ALTRI ELEMENTI IPOGEI.....	7
2.3	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA - SISMICITÀ STORICA.....	7
2.4	CARATTERIZZAZIONE SISMICA DELL'AREA – MICROZONAZIONE SISMICA.....	8
3	PIANO DELLE INDAGINI.....	9
3.1	INDAGINI SISMICHE.....	10
3.1.1	REGISTRAZIONE DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (HVSR).....	10
4	ANALISI DEI RISULTATI.....	10
4.1	CARATTERIZZAZIONE LITO-STRATIGRAFICA E GEOTECNICA.....	10
4.2	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	11
4.2.1	INTERPRETAZIONE MISURE DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA.....	11
4.2.2	MODELLAZIONE SISMICA – SINTESI DEI RISULTATI.....	12
4.2.3	SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE.....	13
5	MODELLO GEOLOGICO E CONCLUSIONI.....	14
6	ALLEGATI.....	16
6.1	INDAGINE DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA. GENERALITÀ SULLA TECNICA DI NAKAMURA.....	16
7	RAPPORTO D'INDAGINE.....	18

1 PREMESSA

Committente:	PealFire
Località:	Via Po, Zona Industriale Val Pescara, comune di San Giovanni Teatino
Progetto:	Realizzazione di un impianto di recupero rifiuti non pericolosi.
Contenuti della relazione	Caratterizzazione e modellazione geologica del sito di progetto, ovvero ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio. Descrizione del piano delle indagini;
Indagini geognostiche e sismiche	- n.1 Registrazione di sismica passiva a stazione singola (HVSR)

Il sito in studio è ubicato nel Comune di San Giovanni Teatino in località Via Po, Zona Industriale Val Pescara, a quota di circa 17 metri sul livello del mare; cartograficamente è compreso nel quadrante 351 Est della Carta topografica IGM alla scala 1:25.000 e nell'elemento 351153 della Carta Tecnica Regionale alla scala 1:5.000 (figura 1).

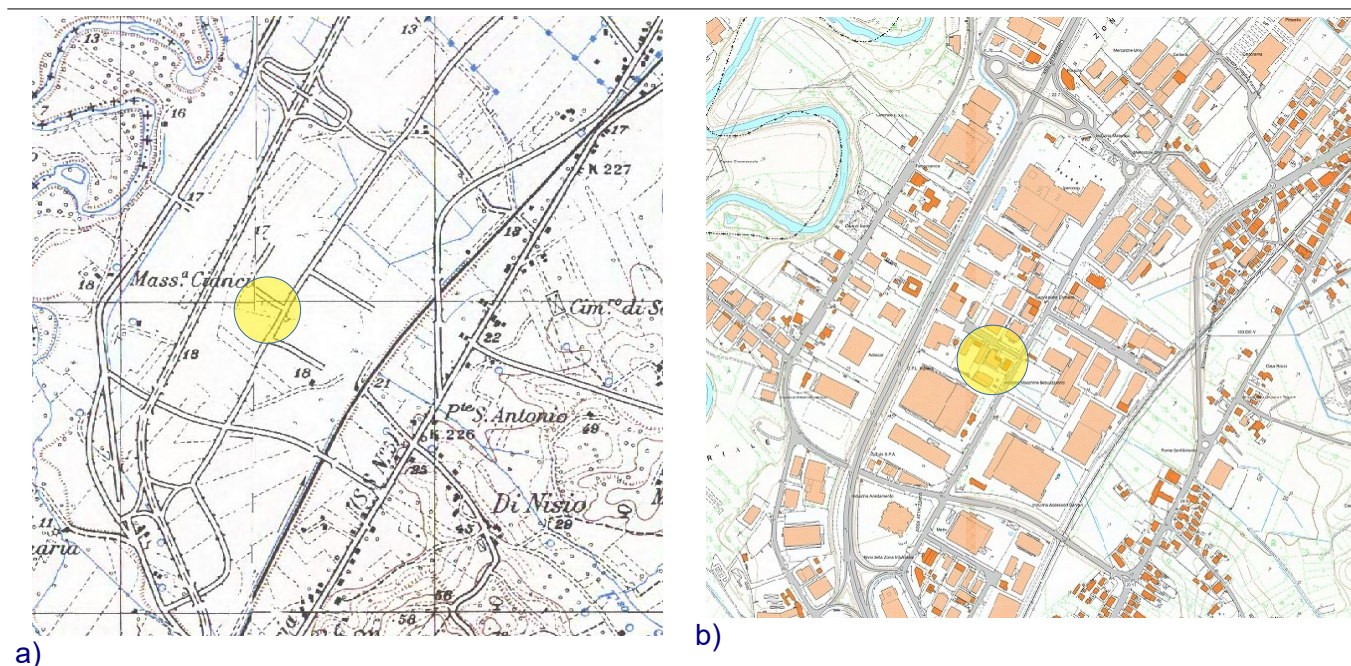


Figura 1: Ubicazione area di progetto. a) Carta topografica IGM, tavoletta 351 Est, b) Carta tecnica regionale, elemento 351153. La carta di destra non è in scala.

1.1 Normativa di riferimento

- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti - Norme Tecniche per le Costruzioni. Approvate con Decreto Ministeriale 17 Gennaio 2018 (Testo aggiornato delle norme tecniche per le costruzioni, di cui alla legge 5 novembre 1971, n. 1086, alla legge 2 febbraio 1974, n. 64, al decreto del Presidente della Repubblica 6 giugno 2001, n. 380, ed al decreto legge 28 maggio 2004, n. 136, convertito, con modificazioni, dalla legge 27 luglio 2004, n. 186.) Sostituiscono quelle approvate con il decreto ministeriale 14 gennaio 2008.
- Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti. Circolare 21 gennaio 2019 n.7 C.S.LL.PP. (G.U. n.35 del 11 febbraio 2019 – S.O. n.5) - Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento del-

le Norme tecniche per le costruzioni” di cui al Decreto Ministeriale 17 gennaio 2018.

– Legge Regionale 11 Agosto 2011, n. 28 – Norme per la riduzione del rischio sismico e modalità di vigilanza e controllo su opere e costruzioni in zone sismiche. (Bollettino Ufficiale Telematico della Regione Abruzzo Ordinario 26-08-2011, n. 51).

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO, GEOMORFOLOGICO E SISMICO

In questo capitolo viene definito l'assetto geologico, geomorfologico e idrogeologico generale dell'area di intervento. Lo studio si basa sulla ricerca bibliografica preliminare, sul rilevamento geologico-geomorfologico e sull'analisi di specifiche indagini geognostiche illustrate in dettaglio nella seconda parte del presente documento.



Figura 2: Immagine tridimensionale dell'area di progetto vista da nord-est, dalla quale si evidenzia la morfologia pianeggiante del terrazzo alluvionale di I ordine in destra idrografica del fiume Pescara. Fonte: GoogleEarth

2.1 Inquadramento geologico e geomorfologico

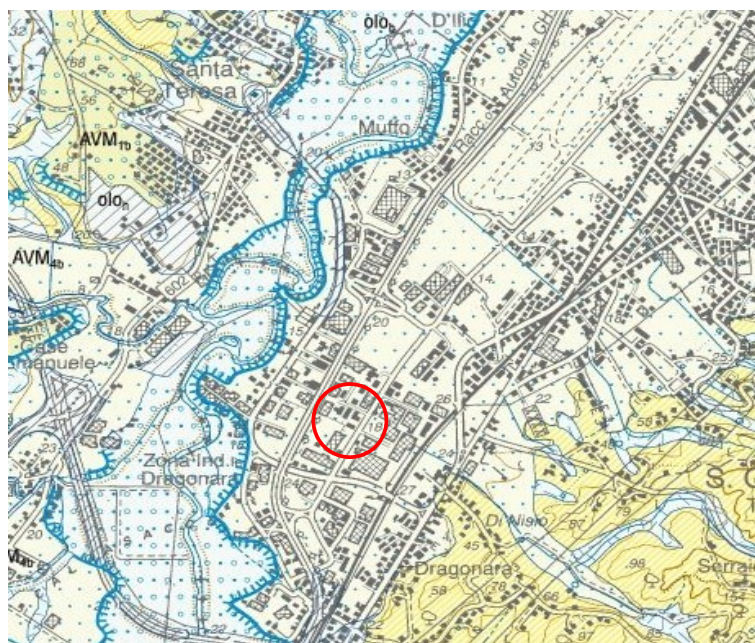
L'area sulla quale si inserisce l'intervento è localizzata nel territorio comunale di San Giovanni Teatino, a quota di circa 17 metri s.l.m., sulla piana alluvionale in destra idrografica del fiume Pescara e ad una distanza lineare di circa 800 m. dal suo alveo.

L'area d'intervento, come si può notare dall'immagine in figura 2, si colloca in un'area pianeggiante fortemente antropizzata e quindi ormai estranea a dinamiche morfo-evolutive naturali. Dal punto vista geologico e geomorfologico, l'area che comprende il sito di studio, è da riferire ad un ambiente *alluvionale*. In superficie affiorano infatti sedimenti continentali appartenenti al terrazzo di primo ordine in destra idrografica del fiume Pescara, elaborati in seguito a cicli di erosione e deposizione legati all'attività idraulica del fiume e alla sua evoluzione nel tempo.

Il riferimento bibliografico per la caratterizzazione geologica del sito è costituito dalla carta geologica del progetto CARG, Foglio 351 - Pescara (figura 3) che individua l'area come interessata da depositi continentali alluvionali (**AVM_{4b}**) sovrapposti al substrato geologico, costituito dalla *formazione di Mutignano (FMT)*, qui rappresentata dall'*associazione pelitico-sabbiosa (FMT_a)*, presente a profondità di circa 40 metri come risulta dalla bibliografia geologica e dai risultati di una campagna di indagini condotte in un sito limitrofo appartenente allo stesso contesto geologico dell'area in esame.

Abbiamo già detto che la morfologia è pianeggiante e, pertanto, la *categoria topografica*, richiesta per la definizione dell'azione sismica di progetto, risulta essere la **T1**, ossia “**Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$** ”.

Il contesto geologico-geomorfologico è tale per cui non sono presenti fenomeni di dissesto gravitativi.



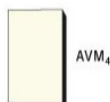
subsystema di Chieti Scalo (AVM₄)

È costituito da depositi alluvionali e da depositi e gneiss mista. Depositati alluvionali - Sabbie, limi e ghiaie, con stratificazione incrociata a basso angolo o pianoparallela, localmente massive, con lenti di argille e torbide; le ghiaie, prevalenti nella parte bassa del deposito, sono ben arrotondate, a clasti poligenici (*arenacei, calcarei e selciferi*), di dimensioni da centimetriche a decimetriche, immerse in una abbondante matrice sabbioso-limosa; sono riferibili ad ambiente fluviale. Le sabbie prevalgono nella parte alta dei depositi e spesso sono in contatto netto con le sottostanti ghiaie. Lo spessore affiorante dei depositi è di 5-15 m. I depositi sono terrazzati a quote comprese tra i 5 e 15 m sul fondovalle attuale (AVM_{4b}). Deposito di origine mista - Ghiaie eterometriche e conglomerati debolmente cementati, con matrice sabbioso limosa da assente ad abbondante, in assetto caotico o con stratificazioni poco evidenti, di origine mista sia di natura alluvionale che legata all'azione della gravità. Affiorano lungo i versanti di fossi minori nell'area di Silvi (AVM₄).

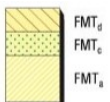
PLEISTOCENE SUPERIORE p.p.

associazione pelitico-sabbiosa (FMT₄)

Argille ed argille marnose di colore grigio con intercalazioni di sottili livelli sabbiosi e sabbioso-limosi fossiliferi; il rapporto sabbia/argilla è nettamente inferiore all'unità. Il contenuto fossilifero, frequente soprattutto in corrispondenza degli orizzonti sabbiosi, è rappresentato da molluschi quali bivalvi, piccoli gasteropodi ed echinodermi che individuano un ambiente di *offshore*. Lo spessore massimo osservato è di circa 400 m. (Zone MNN18-MNN19c a nanofossili calcarei).



AVM₄



FMT₄

FMT₄

FMT₄

Figura 3: Stralcio della Carta Geologica del CARG (Foglio 351 - Pescara)

2.1.1 Interazione con elementi di pericolosità geomorfologica del Piano Assetto Idrogeologico

La verifica della stabilità generale dell'area deriva dalla consultazione della Carta della Pericolosità da frana, Foglio 351 E del Piano Assetto Idrogeologico, PAI (figura 4), dal quale si evince che non sono presenti fenomeni di dissesto gravitativo trattandosi di un'area pianeggiante.



CLASSI DI PERICOLOSITA'

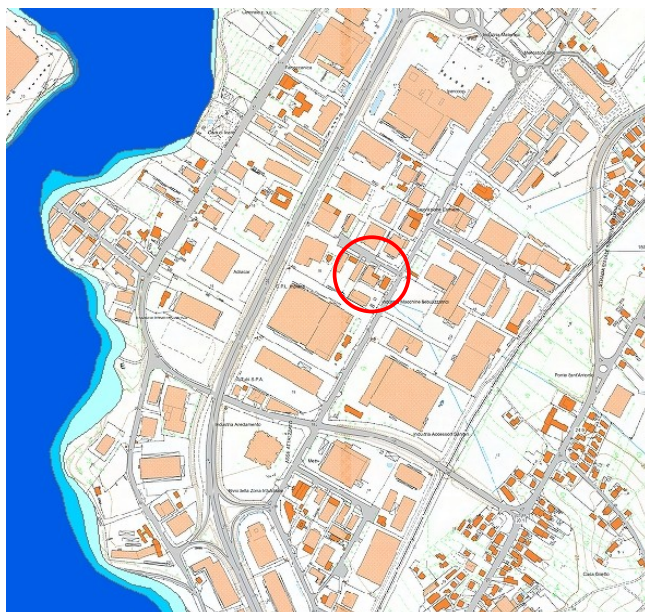
- P1 PERICOLOSITA' MODERATA**
Aree interessate da Dissesti con bassa possibilità di riattivazione.
- P2 PERICOLOSITA' ELEVATA**
Aree interessate da Dissesti con alta possibilità di riattivazione.
- P3 PERICOLOSITA' MOLTO ELEVATA**
Aree interessate da Dissesti in attività o riattivati stagionalmente.
- PS PERICOLOSITA' DA SCARPATA**
Aree interessate da Dissesti generati da Scarpate.

Figura 4: Carta della pericolosità del PAI. Foglio 351 E. Il cerchio rosso indica l'area di progetto.

2.1.2 Interazione con elementi di pericolosità idraulica del Piano Stralcio Difesa Alluvioni e con il reticolo idrografico superficiale

Per quanto riguarda le caratteristiche idrauliche e idrologiche, il sito di progetto non rientra in alcuna perimetrazione di pericolosità idraulica dell'attuale *Piano Stralcio Difesa Alluvioni* (PSDA) della Regione Abruzzo, come si osserva in figura 5.

Relativamente alla presenza di acque sotterranee, si evidenzia una falda freatica a profondità comprese tra 1,20-1,50 m da p.c.



Classi di pericolosità idraulica [Q50 - Q100 - Q200] (*)

Pericolosità molto elevata $h_{50} > 1\text{m}$ $v_{50} > 1\text{m/s}$	Reticolo idrografico
Pericolosità elevata $1\text{m} > h_{50} > 0.5\text{m}$ $h_{100} > 1\text{m}$ $v_{100} > 1\text{m/s}$	
Pericolosità media $h_{100} > 0\text{m}$	
Pericolosità moderata $h_{200} > 0\text{m}$	

Figura 5: Stralcio della Carta di pericolosità PSDA; in rosso l'area di progetto.

2.2 Inquadramento geologico generale ed elementi di pericolosità geologica

2.2.1 Elementi tettonici e presenza di faglie attive e capaci

Per gli aspetti tettonici e, in particolare, la presenza di faglie attive, si fa riferimento alla figura 6, estratta dal webgis del DISS¹, dove sono riportate le sorgenti sismogenetiche che interessano il settore regionale in cui è ubicato il territorio comunale di San Giovanni Teatino.

Come è possibile vedere nella figura, le sorgenti sismogenetiche cartografate sono poste ad una distanza tale da non interessare direttamente il sito in esame.

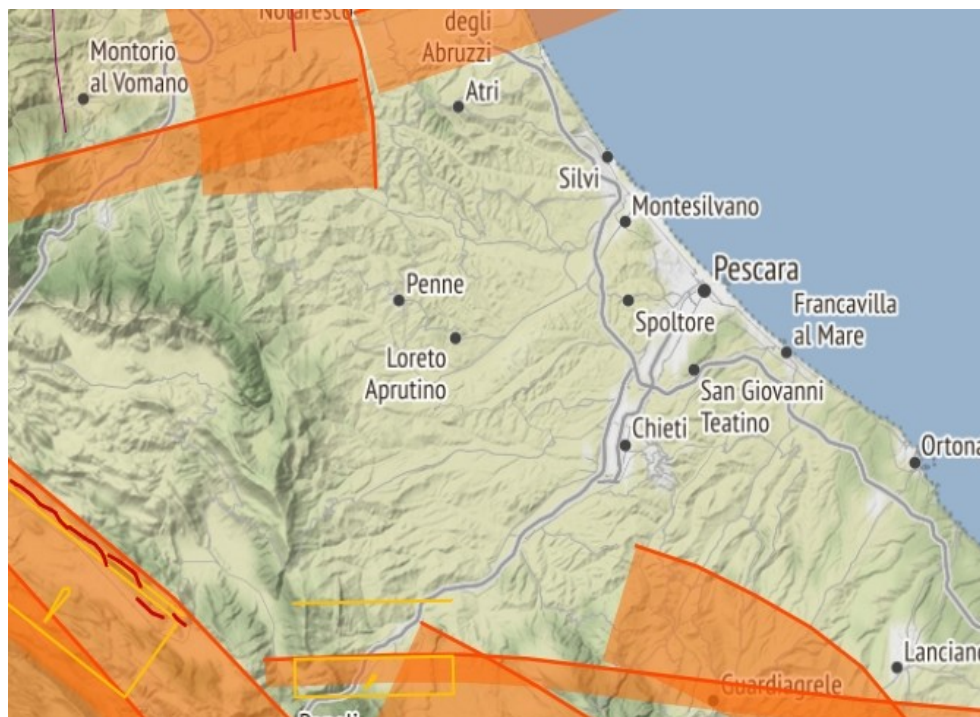


Figura 6: Carta delle sorgenti sismogenetiche censite con il progetto DISS. Il cerchio in rosso indica l'area di progetto.

Per quanto attiene alla presenza di faglie *attive* e *capaci*, ossia faglie non solo attive ma che possono determinare rotture in superficie, è stata analizzata la cartografia del progetto ITHACA² che non riporta elementi di interesse per il territorio di nostro interesse.

2.2.2 Potenziale presenza di cavità e/o altri elementi ipogei

Considerate le caratteristiche litologiche e morfologiche del sottosuolo del sito di progetto, si può escludere la presenza di elementi di pericolosità legati a cavità sotterranee, Sinkholes o altri elementi ipogei.

2.3 Caratterizzazione sismica dell'area - Sismicità storica

I dati di sismicità storica riguardanti l'area in esame sono stati reperiti dall'archivio **DBMI15**³ prodotto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (I.N.G.V.). L'archivio contiene dati di eventi sismici con magnitudo superiore a 4 e intensità superiore a 5, verificatisi in Italia nel periodo 1000 – 2020. Per il comune di San Giovanni Teatino gli eventi sismici più significativi sono stati riportati in forma tabellare e

¹Database of Individual Seismogenic Sources, versione 3, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <http://diss.rm.ingv.it/diss/>

²ISPRa ITHACA (Italy Hazard from Capable faults) database (2000). <http://sgi1.isprambiente.it/geoportal/catalog/content/project/ithaca.page>

³Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P., Antonucci A. (eds), 2022. Italian Parametric Earthquake Catalogue (CPTI15), version 4.0. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.13127/cpti/cpti15.4>

grafica in Tabella 2.1 e Figura 7. Per ogni terremoto sono riportati anche: la data e l'ora di occorrenza, il sito epicentrale e la magnitudo momento (Mw).

Dal catalogo risulta che il territorio del comune di San Giovanni Teatino ha subito danni elevati, pari ad intensità 6 della scala MCS, in occasione del terremoto della Maiella del 1933; danni minori si sono registrati a seguito del più recente terremoto dell'Aquila del 2009. Il catalogo appare tuttavia non del tutto completo nella elencazione degli eventi sismici registrati in quanto, analizzando ad esempio gli eventi relativi alla adiacente e contigua città di Pescara, questi risultano in intensità e soprattutto in numero maggiore ed hanno pertanto sicuramente interessato in passato anche il comune di San Giovanni Teatino. Il territorio comunale di San Giovanni Teatino è classificato in zona sismica 3.

Effects	Reported earthquakes									
Int.	Year	Mo	Da	Ho	Mi	Se	Epicentral area	NMDP	Io	Mw
6		1933	09	26	03	33	2 Maiella	325	9	5.90
5		2009	04	06	01	32	4 Aquilano	316	9-10	6.29
4-5		1984	05	07	17	50	Monti della Meta	911	8	5.86
4-5		1997	09	26	00	33	1 Appennino umbro-marchigiano	760	7-8	5.66
4-5		1997	09	26	09	40	2 Appennino umbro-marchigiano	869	8-9	5.97
4-5		1997	10	14	15	23	1 Valnerina	786		5.62
4		1990	05	05	07	21	2 Potentino	1375		5.77
3		1962	08	21	18	19	Irpinia	562	9	6.15

Tabella 2.1: Storia sismica del comune di San Giovanni Teatino

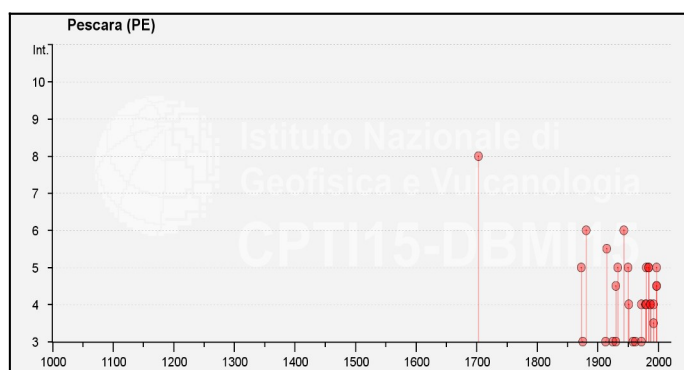


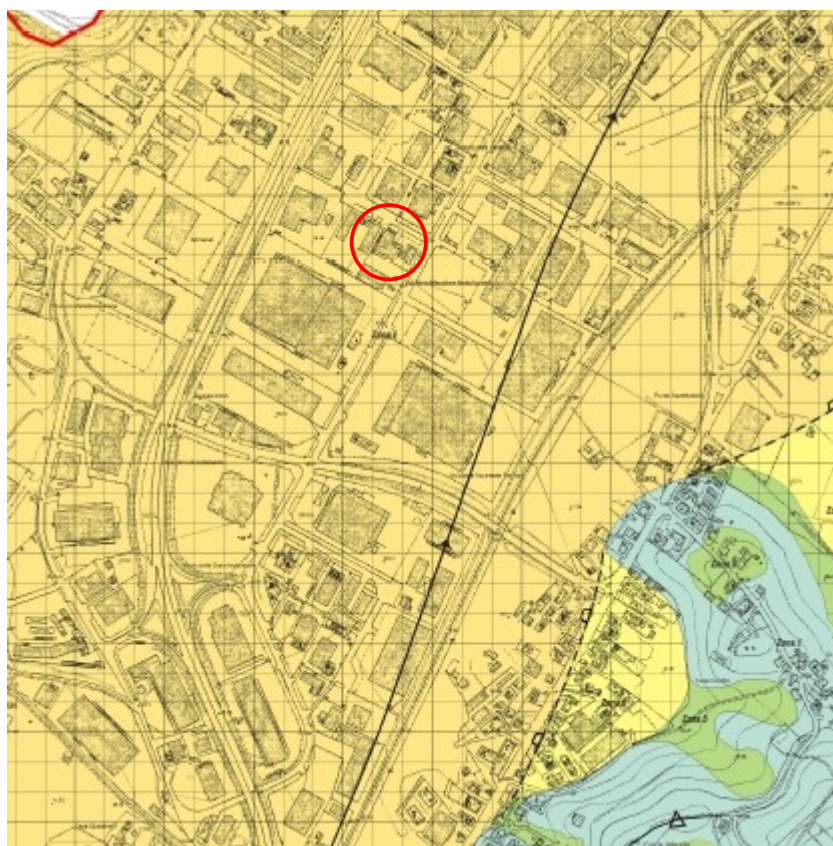
Figura 7: Grafico della storia sismica del comune di San Giovanni Teatino

2.4 Caratterizzazione sismica dell'area – Microzonazione sismica

L'area in studio è stata oggetto di Microzonazione Sismica di livello 1, realizzata a seguito dell'O.P.C.M. 3907 e successive annualità. La carta di Microzonazione Sismica di livello 1 (Carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica, MOPS) relativa al territorio comunale di San Giovanni Teatino, individua il sito di progetto tra le **Zone stabili suscettibili di amplificazioni locali**, più specificatamente nell'area denominata **ZONA 7**. Questa risulta costituita da un'alternanza, di spessore variabile tra 20-25 m e fino a 40 m, di depositi prevalentemente argilloso-limosi e sabbioso-argillosi ad elevata componente organica (torbe), all'interno della quale è possibile il rinvenimento, specie verso la sua base, di lenti o sacche ghiaioso-sabbiose. La successione è complessivamente attribuibile ai sedimenti continentali alluvionali del fiume Pescara (**AVM_{4b}**). Tali depositi si presentano generalmente da poco a moderatamente consistenti per le litologie più sottili, fino ad addensarsi per i livelli ghiaiosi.

I depositi alluvionali poggiano sul substrato coesivo sovraconsolidato e stratificato con V_s minore di 800 metri al secondo (figura 8), costituito principalmente da argille marine grigio-azzurre con presenza di livelli sabbiosi grigi (**FMTa**).

L'area è anche interessata da una **Zona di attenzione per instabilità**, identificata con la sigla **ZA_{LQ1}**, dovuta ad instabilità per liquefazione di tipo 1; in queste aree è necessario procedere con le opportune verifiche secondo le indicazioni delle vigenti Norme Tecniche per le Costruzioni, verifica illustrata nel paragrafo 4.2.3 a pagina 13.



Zone stabili suscettibili di amplificazione locali

Zone di attenzione
per le instabilità

ZONA7



Coperture caratterizzate da
Ghiaie sabbiose, Limi sabbiosi,
Limi, Limi argillosi e Torbe, con
passaggi laterali e intercalazioni.
Spessore da 20-25m fino a 40 m.
Eventuale presenza di depositi
antropici in superficie.



Argille sovraconsolidate
"ZONA 1".



ZAL01 - Zone di attenzione per liquefazione di tipo 1. Area con
possibili importanti variazioni tridimensionali alla scala di sito delle
caratteristiche geotecniche dei materiali fini alluvionali (es. torbe e
argille organiche), che potrebbero determinare fenomeni di
cedimenti e con possibili lenti discontinue di materiale granulare
potenzialmente liquefacibili.

Figura 8: Particolare della Carta di Microzonazione Sismica di livello 1. Il cerchio rosso indica l'area di progetto.

3 PIANO DELLE INDAGINI

Considerati gli obiettivi del presente studio, si è ritenuto sufficiente fornire una caratterizzazione geotecnica di massima dei terreni presenti utilizzando i risultati di indagini pregresse, in particolare quelli scaturiti da una campagna realizzata in un sito limitrofo ed inserito nello stesso contesto geologico dell'area in esame. Per la caratterizzazione sismica si è proceduto all'esecuzione delle seguenti prove in sito:

- n.1 Registrazione di sismica passiva a stazione singola (HVSR)

La prova HVSR è stata eseguita dallo scrivente; l'ubicazione è riportata in figura 9.

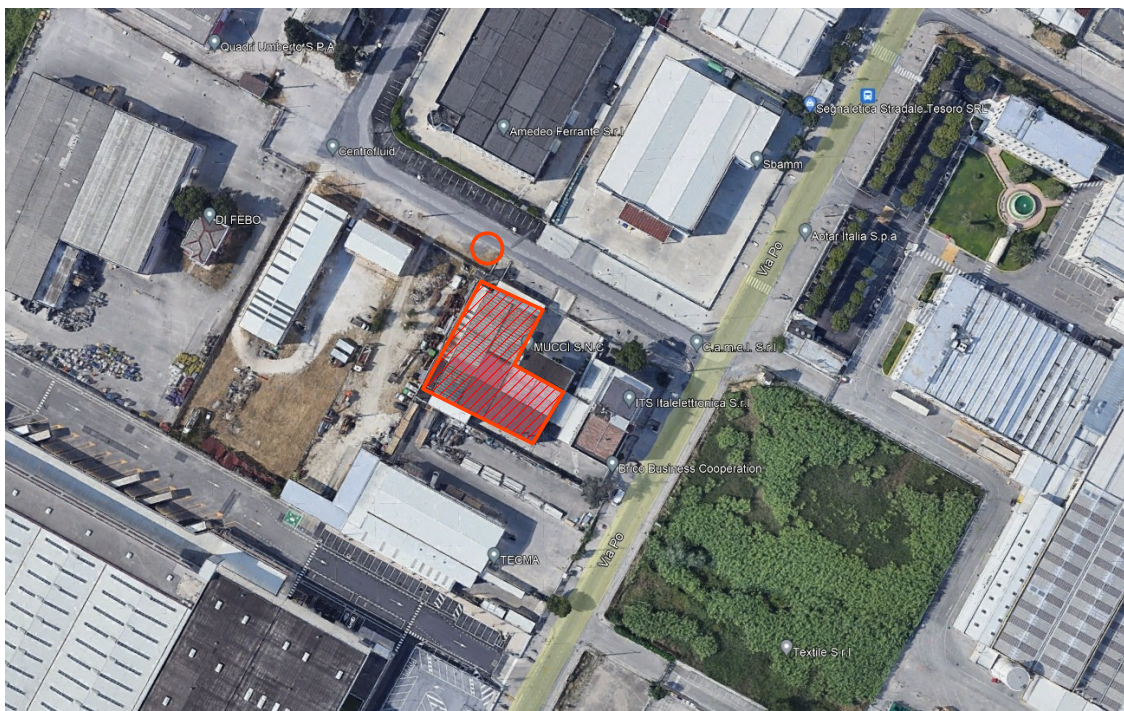


Figura 9: Ubicazione punto di indagine. Il cerchio rosso indica il punto di esecuzione della misura HVSR, il poligono indica l'area interessata

3.1 Indagini sismiche

Vengono illustrati di seguito i principali riferimenti teorici e le modalità esecutive della prova geofisica eseguita.

3.1.1 Registrazione di sismica passiva a stazione singola (HVSR)

La registrazione di sismica passiva a stazione singola (misure di microtremori) è stata condotta in campo libero (free field), allo scopo di:

- a) riconoscere le frequenze fondamentali di risonanza del sottosuolo;
- b) stimare qualitativamente l'amplificazione di sito.
- c) ricostruire, attraverso un processo di inversione, il profilo di velocità in onde s.

I risultati saranno illustrati nel successivo paragrafo.

Dettagli sulla tipologia di indagine sono contenuti nell'allegato 6.1, Indagine di sismica passiva a stazione singola. Generalità sulla tecnica di Nakamura.

4 ANALISI DEI RISULTATI

Nel presente capitolo vengono acquisiti e analizzati i risultati delle indagini geognostiche e geofisiche. In particolare verranno definite:

1. Caratterizzazione lito-stratigrafica e geotecnica.
2. Caratterizzazione sismica.

4.1 Caratterizzazione lito-stratigrafica e geotecnica

Attraverso il rilevamento geologico, la ricerca bibliografica esposta nei paragrafi precedenti e l'analisi di indagini effettuate in contesti geologici simili è possibile definire la caratterizzazione lito-stratigrafica e geomeccanica del sottosuolo di progetto.

Il profilo lito-stratigrafico è descrivibile con la presenza di terreni prevalentemente argilloso-limosi e subordinatamente sabbiosi, a rilevante componente organica che variano da poco a mediamente consistenti/addensati, con presenza di un livello ghiaioso al passaggio stratigrafico con la sottostante unità argillosa di substrato. Ad una profondità di circa 40 metri è presente il substrato geologico, costituito dalla *formazione di Mutignano (FMT)*, qui rappresentata dall'*associazione pelitico-sabbiosa (FMT_a)*.

Dalle indagini di riferimento disponibili ed utilizzando alcune formulazioni empiriche di correlazione con i valori registrati durante la loro esecuzione, è possibile definire i valori nominali dei principali parametri geotecnici, riassunti nella sezione litotecnica riportata nella seguente tabella 4.1:

Descrizione	Profondità p.c. (m)	Peso di volume (kN/m ³)	Tensioni totali Cu (kPa)	Tensioni efficaci c' (kPa)	φ' (°)	Modulo edometrico (kPa)
Unità argilloso-limosa	35-45	19±1,0	60±10	1,0±0,2	21±1	5000±1500
Associazione pelitico-sabbiosa (FMT _a)	indefinita	20±1,2	150±50	6±3	25±2	22000±6100

Tabella 4.1: Parametri geotecnici nominali. Fonte: elaborazione dati indagine di riferimento in sito limitrofo

4.2 Caratterizzazione sismica

4.2.1 Interpretazione misure di sismica passiva a stazione singola

Al fine di caratterizzare il sottosuolo dal punto di vista del profilo di Vs e della risonanza sismica è stata effettuata una registrazione di sismica passiva a stazione singola in campo libero (*free field*), la cui ubicazione è riportata in figura 9. I risultati in forma estesa sono riportati nell'allegato report d'indagine.

Il risultato della prova è esposto nel grafico H/V di figura 10, dal quale si rileva la presenza di un picco principale alla frequenza di circa 1,41 Hz e di ampiezza pari a circa 3 la cui origine è plausibilmente da attribuire al contrasto di impedenza sismica tra la formazione argillosa marina di substrato (argille grigio azzurre sovraconsolidate) e la sovrastante successione alluvionale di origine continentale.

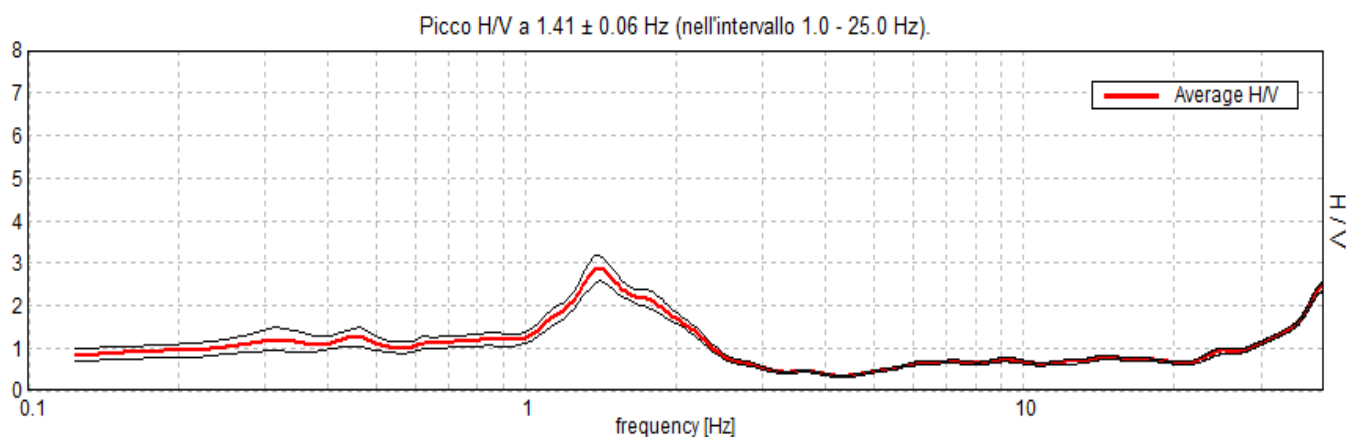


Figura 10: Grafico H/V relativo alla misura di Sismica Passiva a Stazione Singola HVSR.

Utilizzando un apposito software di inversione è stata elaborata la curva sintetica H/V di figura 11, creata applicando i riferimenti teorici esposti nell'allegato 6.1, Indagine di sismica passiva a stazione singola. Generalità sulla tecnica di Nakamura a pagina 16, e le informazioni disponibili di carattere stratigrafico. La sismostratigrafia in onde s (Vs) è riportata in tabella 4.2 e in figura 12.

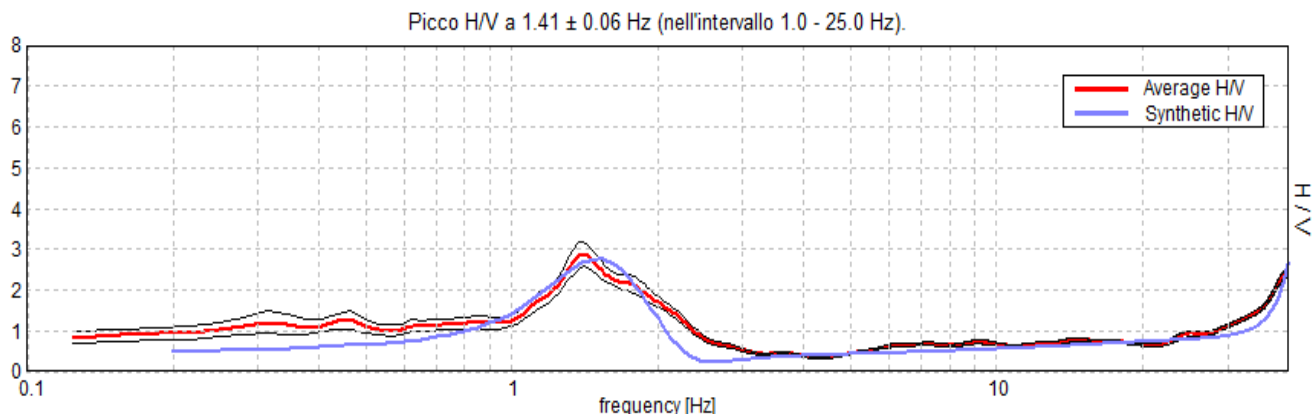


Figura 11: Sovrapposizione curva sintetica – curva reale relativa alla misura HVSR.

Profondità alla base dello strato (m)	Spessore (m)	V_s (m/s)
1,05	1,05	180
6,05	5	340
41,05	35	250
inf	inf	550

Tabella 4.2: Profilo di velocità delle onde s ottenuto dalla misura di sismica passiva a stazione singola (HVSR)

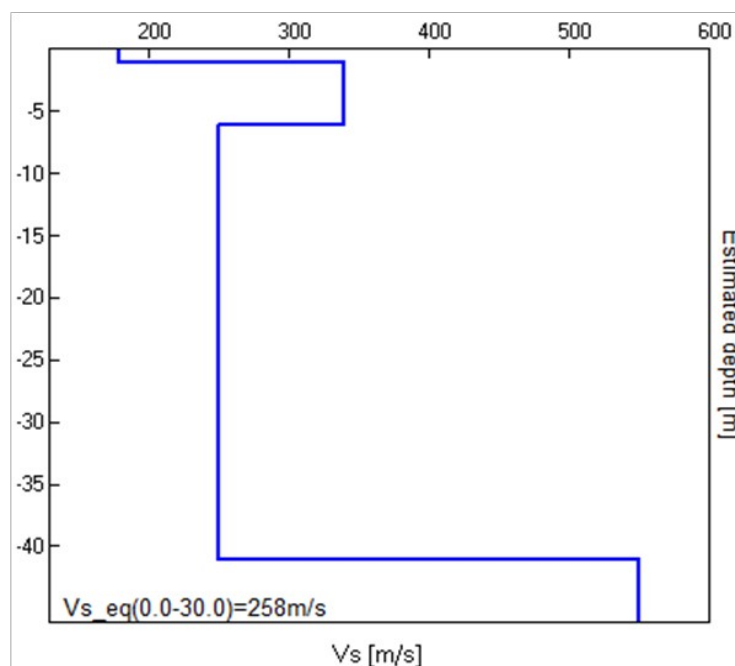


Figura 12: Sismostratigrafia in onde S

4.2.2 Modellazione sismica – Sintesi dei risultati

La modellazione sismica è finalizzata alla definizione dell'Azione Sismica di progetto ai sensi del capitolo 3.2 del D.M.17/01/18 (Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni).

Il contesto sismostratigrafico emerso dalle indagini effettuate mostra un contrasto di impedenza

sismica con un'ampiezza pari a circa 3, che si concretizza in un effetto di amplificazione del moto sismico in superficie. Si ritiene tuttavia che la sollecitazione sismica possa essere compiutamente descritta facendo ricorso all'approccio semplificato di normativa (coefficienti di amplificazione stratigrafica e topografica).

Il parametro $V_{s,eq}$ (V_s equivalente), che in questo caso coincide con il $V_{s,30}$ in quanto il substrato è situato a profondità maggiore di 30 metri, per il profilo sismostratigrafico ottenuto dall'indagine HVSr è pari a **258 m/s**; di conseguenza la categoria di sottosuolo risulta essere la **C**, così definita dalla tabella 3.2.II delle NTC:

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.

Per la completa definizione delle forme spettrali previste dalle nuove NTC occorrono, oltre alla categoria di sottosuolo già definita, i tre parametri per sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g = accelerazione orizzontale massima del terreno;

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

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

I valori di a_g , F_0 e T_c^* del sito di progetto vengono calcolati ai nodi di un reticolo di riferimento (<http://esse1.mi.ingv.it> e tabella 1 delle NTC). Per un qualunque punto del territorio nazionale italiano non ricadente nei nodi del reticolo di riferimento, i valori dei parametri (a_g , F_0 , T_c^*) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici della maglia elementare contenente il punto in esame. L'area in oggetto ha le seguenti coordinate ED50:

42,412560° N, 14,167505° E

Altro parametro necessario per la definizione della forma spettrale di progetto è la categoria topografica che, come risulta dalla relazione geologica, è la **T1**, ossia "Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".

Come sintesi finale i parametri di nostro interesse per la definizione delle forme spettrali di progetto previste dall'aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni (Decreto 17 gennaio 2018), sono:

PARAMETRI PER LA DEFINIZIONE DELL'AZIONE SISMICA DI PROGETTO

Coordinate ED50 del punto medio	42,412560° N(latitudine); 14,167505° E (longitudine);
Categoria di sottosuolo	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.
Categoria topografica	T1 - Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$

Tabella 4.3: Parametri per la definizione dell'azione sismica di progetto

4.2.3 Suscettibilità alla liquefazione

Nel sito di progetto sono presenti le condizioni che possono determinare l'insorgenza di fenomeni di liquefazione (§7.11.3.4.2, NTC 2018); pertanto si è proceduto alla verifica utilizzando il grafico di figura

14, derivato dagli *Indirizzi e Criteri per la Microzonazione Sismica*⁴, parte II-pag.109, nel quale la v_s (velocità delle onde di taglio) va normalizzata rispetto alla pressione atmosferica (V_{s1}). Dal grafico si evince che per una percentuale di fino (FC) minore o uguale al 5% la velocità normalizzata al di sopra della quale non si può avere liquefazione è di circa 210 m/s.

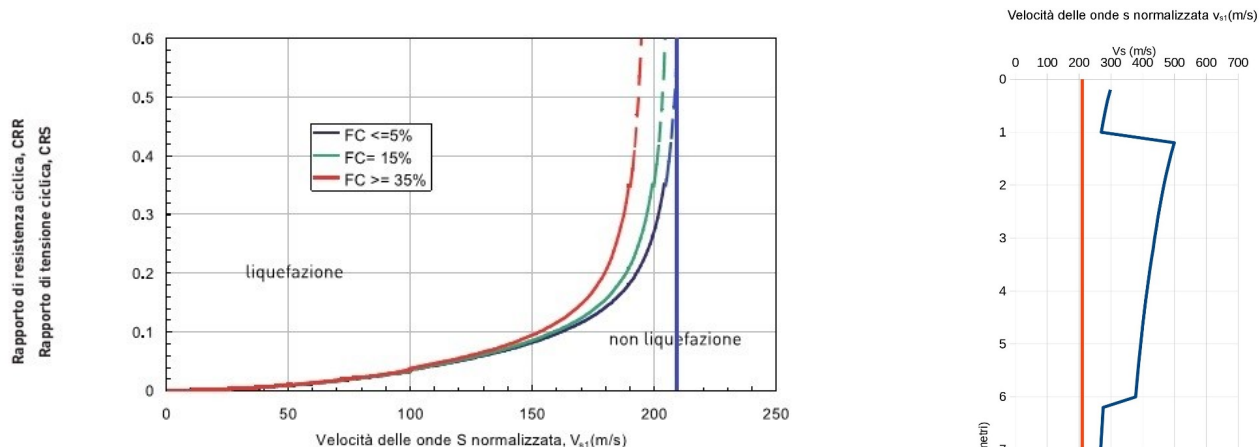


Figura 14: Grafico CRR-CRS/ V_{s1} con indicazione del valore di V_s normalizzato oltre il quale non si possono avere fenomeni di liquefazione

Nella figura 13 è riportato il risultato dell'elaborazione, effettuata utilizzando il profilo di velocità esposto in tabella 4.2 a pagina 12. Il sito di progetto risulta non liquefacibile.

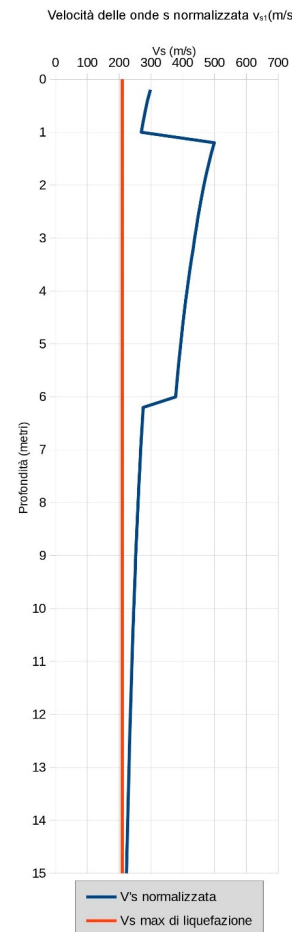


Figura 13: Verifica a liquefazione eseguita utilizzando i valori di V_s

5 MODELLO GEOLOGICO E CONCLUSIONI

Il rilevamento geologico-geomorfologico e la consultazione del materiale cartografico disponibile hanno permesso di delineare i caratteri geologici, geomorfologici ed idrogeologici generali del sito di progetto. Sono state analizzate le cartografie di pericolosità del *Piano Stralcio di Bacino Assetto Idrogeologico – Fenomeni Gravitativi e Processi Erosivi* (PAI) e del *Piano Stralcio Difesa Alluvioni* (PSDA) le quali hanno messo in evidenza l'assenza di qualsiasi fenomeno di pericolosità geomorfologica e idraulica.

È stata esclusa la presenza di altri elementi di pericolosità connessi alle caratteristiche geologiche, geomorfologiche e idrogeologiche dell'area vasta nella quale si inserisce.

È stata valutata la carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica della Microzonazione Sismica di livello 1 del comune di San Giovanni Teatino, che indica la presenza di una *Zona di Attenzione per Liquefazione*.

⁴Gruppo di lavoro MS, 2008. *Indirizzi e criteri per la microzonazione sismica. Conferenza delle Regioni e delle Province autonome - Dipartimento della protezione civile, Roma, 3 vol. e Dvd*

I terreni costituenti il cosiddetto *volume significativo* (ossia la porzione di sottosuolo interessata dalla dissipazione dei carichi di progetto), indagati da:

- n.1 Registrazione di sismica passiva a stazione singola (HVSR)

sono risultati costituiti da depositi di ambiente alluvionale, prevalentemente argillosi, con un livello ghiaioso alla base della sequenza alluvionale al contatto con la formazione di substrato.

Le indagini effettuate hanno rilevato la presenza di una falda acquifera freatica a profondità variabile tra 1,2 e 1,5 metri da piano campagna.

È stata fornita la caratterizzazione geotecnica in termini di *parametri nominali*, sintetizzata in tabella 4.1 a pagina 11 e l'azione sismica di progetto, ritenuta correttamente descritta dall'approccio semplificato delle vigenti NTC, sintetizzata in tabella 4.3 a pagina 13.

È stata verificata la possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione ottenendo esito negativo.

Si rimane a disposizione per ulteriori chiarimenti.

Pescara, 16 dicembre 2022

dott. geol. Paolo Di Marcantonio

6 ALLEGATI

6.1 Indagine di sismica passiva a stazione singola. Generalità sulla tecnica di Nakamura

Il metodo di Nakamura, noto anche come tecnica dei rapporti spettrali (HVSr), si basa sulla misura del rumore sismico ambientale. Quest'ultimo, presente ovunque sulla superficie della Terra, è generato, oltre che dall'attività dinamica del pianeta, dai fenomeni atmosferici (onde oceaniche, vento) e dall'attività antropica. Si chiama anche microtremore in quanto riguarda oscillazioni molto piccole (10^{-15} m/s² in termini di accelerazione), inferiori di diversi ordini di grandezza rispetto a quelle indotte dai terremoti nel campo vicino. I metodi che si basano sulla sua acquisizione si dicono passivi in quanto il rumore non è generato ad hoc, come avviene invece nel caso della sismica attiva (esplosioni).

Lo spettro in frequenza del rumore di fondo in un terreno roccioso pianeggiante presenta dei picchi a 0.14 e 0.07 Hz, comunemente interpretati come originati dalle onde oceaniche. Tali componenti spettrali vengono attenuate molto poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di fenomeni di guida d'onda. A tale andamento generale, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ma anche il semplice passeggiare di una persona) e naturali che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce.

Nel tragitto dalla sorgente al sito le onde elastiche (sia di terremoto che di microtremore) subiscono riflessioni, rifrazioni, intrappolamenti per fenomeni di guida d'onda e attenuazioni che dipendono dalla natura del sottosuolo attraversato. Questo significa che se da un lato l'informazione relativa alla sorgente viene persa e non sono più applicabili le tecniche della sismica classica di ray tracing, è presente comunque una parte debolmente correlata nel segnale che può essere estratta e che contiene le informazioni relative al percorso del segnale ed in particolare relative alla struttura locale vicino al sensore impiegato per la rilevazione del microtremore. Dunque, anche il debole rumore sismico, che tradizionalmente costituisce la parte di segnale scartata dalla sismologia classica, contiene informazione. Questa informazione è però sepolta all'interno del rumore casuale e può essere estratta attraverso tecniche opportune.

Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo a partire dagli spettri del rumore sismico ambientale registrati 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), applicata inizialmente da Nogoshi e Igarashi (1970) e resa popolare principalmente da Nakamura (1989) come strumento per la determinazione dell'amplificazione sismica locale.

Mentre su questo punto non è ancora stato raggiunto consenso, è invece ampiamente riconosciuto che la curva H/V è in grado di fornire stime affidabili delle frequenze principali di risonanza dei sottosuoli (informazione di notevole importanza nell'ingegneria sismica).

La tecnica di Nakamura non richiede l'individuazione di una stazione di riferimento, permettendo così di operare in campagna utilizzando una sola stazione sismica. Il metodo HVSr considera i microtremori come composti principalmente da onde di Rayleigh e presuppone che l'amplificazione relativa agli effetti di sito sia causata dalla presenza di uno strato sedimentario giacente su di un semispazio elastico. In queste condizioni le componenti del moto sismico da analizzare sono quattro:

- quelle orizzontali di superficie (Hs) e quelle orizzontali al bedrock (Hb);
- quelle verticali di superficie (Vs) e quelle verticali al bedrock (Vb).

Secondo Nakamura è inoltre possibile fare una stima della forma spettrale della sorgente dei microtremori $As(\omega)$ (in funzione della frequenza) con la seguente relazione:

$$As(\omega) = Vs(\omega) / Vb(\omega) \quad (1)$$

in cui $Vs(\omega)$ e $Vb(\omega)$ sono le ordinate spettrali delle componenti verticali del moto, rispettivamente in superficie e al tetto del bedrock.

Nakamura definisce poi come effetto di sito il rapporto spettrale $Se(\omega)$:

$$Se(\omega) = Hs(\omega) / Hb(\omega) \quad (2)$$

dove $Hs(\omega)$ e $Hb(\omega)$ sono le ordinate spettrali delle componenti orizzontali del moto, rispettivamente in superficie e al tetto del bedrock.

Per compensare l'effetto di sito $Se(\omega)$ dallo spettro di sorgente $As(\omega)$ viene calcolato il rapporto spettrale modificato $Sm(\omega)$ come:

$$S_m(\omega) = S_e(\omega) / A_s(\omega) = (H_s(\omega)/V_s(\omega)) / (H_b(\omega)/V_b(\omega)) \quad (3)$$

Nakamura assume infine che per tutte le frequenze di interesse $H_b(\omega)/V_b(\omega) = 1$, basandosi su registrazioni, sperimentalmente verificate da lui, di microtremori in pozzo; quindi l'effetto di sito modificato $S_m(\omega)$ è descritto da:

$$S_m(\omega) = S_e(\omega) / A_s(\omega) = H_s(\omega)/V_s(\omega) \quad (4)$$

La frequenza di risonanza è ricercata al primo picco individuato dal rapporto tra la componente orizzontale e quella verticale dei segnali registrati.

Le misure di microtremori vengono anche utilizzate per valutazioni stratigrafiche o, alternativamente, di velocità delle onde di taglio (V_s). Il metodo risulta molto semplice ed intuitivo nell'ipotesi di un sottosuolo stratificato orizzontalmente e i cui parametri variano solo con la profondità (sistema monodimensionale 1D).

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

$$f_r = V_{p1} / (4 h) \quad (5)$$

mentre quella relativa alle onde S è:

$$f_r = V_{s1} / (4 h) \quad (6)$$

Teoricamente questo effetto è sommabile cosicché la curva HVSR mostra come massimi relativi le frequenze di risonanza dei vari strati alle varie profondità. Questo, insieme ad una stima degli spessori degli strati, che è solitamente disponibile almeno a livello di massima, è in grado di fornire previsioni sulle velocità di propagazione delle onde sismiche nel sottosuolo.

Il problema principale di questa visione è che i microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume, P o S. Essi sono costituiti in misura molto maggiore da onde superficiali e in particolare da onde di Rayleigh, tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume poiché le onde di superficie sono prodotte dall'interferenza costruttiva di queste ultime.

Nel 2004, nell'ambito di un progetto europeo denominato SESAME⁵ (Site EffectS assessment using AMBient Excitations), sono state elaborate le linee guida per l'esecuzione e l'interpretazione di misure sismiche di microtremore, creando così le premesse per la standardizzazione di questo tipo di indagine geofisica.

⁵Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations. Measurements, processing and interpretation. SESAME European research project, December 2004

7 RAPPORTO D'INDAGINE

- PAOLO DI MARCANTONIO
 - INDAGINE DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (HVSr)

INDAGINE DI SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA (HVSr)

Comune: San Giovanni Teatino **Località:** Via Po n.37, San Giovanni Teatino (CH)

Committente: PealFire **Data esecuzione:** 6 dicembre 2022

Codice misura: HVSr 1

Esecuzione e interpretazione: dott. geol. Paolo DI MARCANTONIO

Strumento: TRS-0005/00-06

Formato dati: 16 byte

Inizio registrazione: 06/12/22 12:45:15 Fine registrazione: 06/12/22 13:05:16

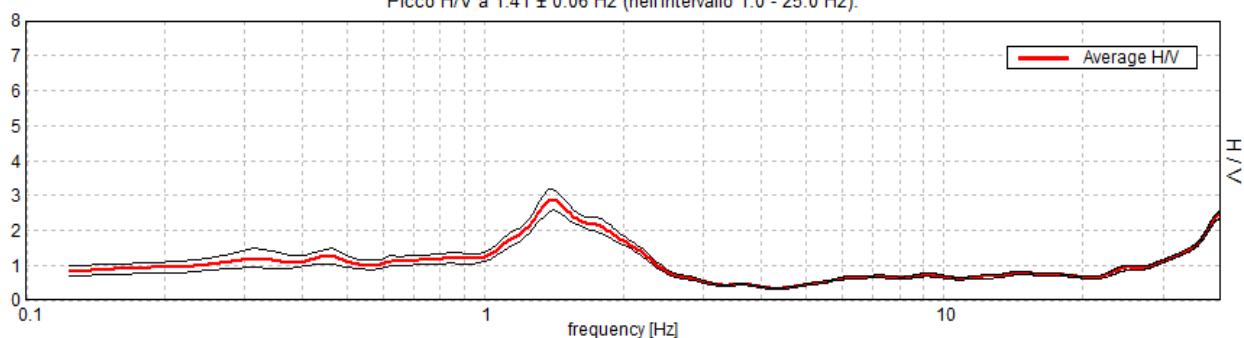
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile, Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.

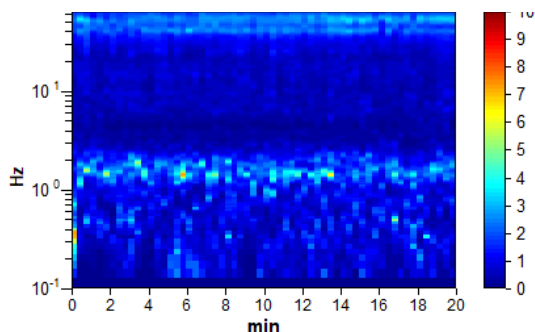
Freq. campionamento: 128 Hz, Lunghezza finestre: 20 s. Tipo di lisciamento: Triangular window, Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

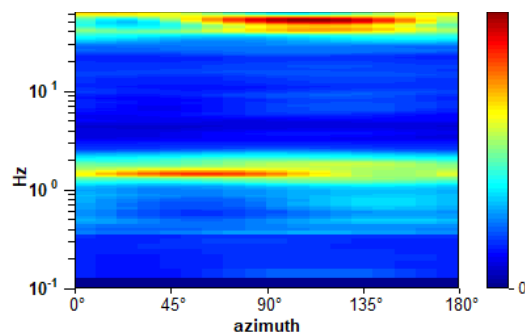
Picco H/V a 1.41 ± 0.06 Hz (nell'intervallo 1.0 - 25.0 Hz).



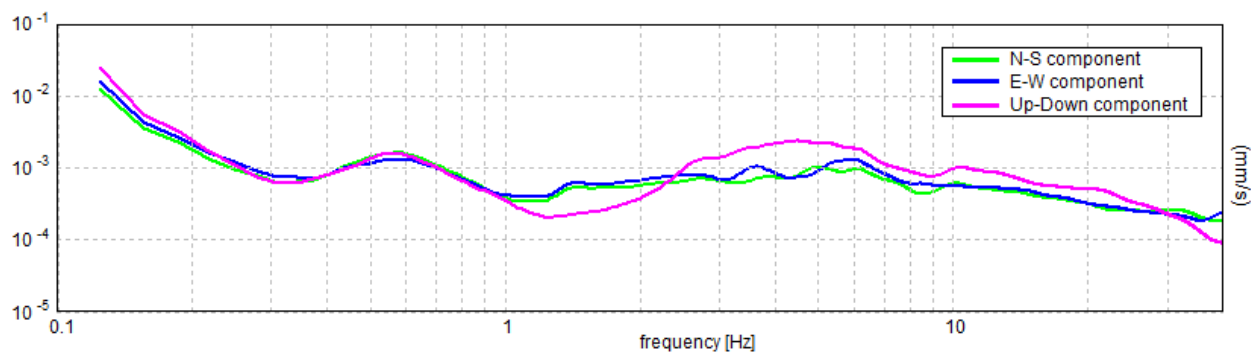
SERIE TEMPORALE H/V



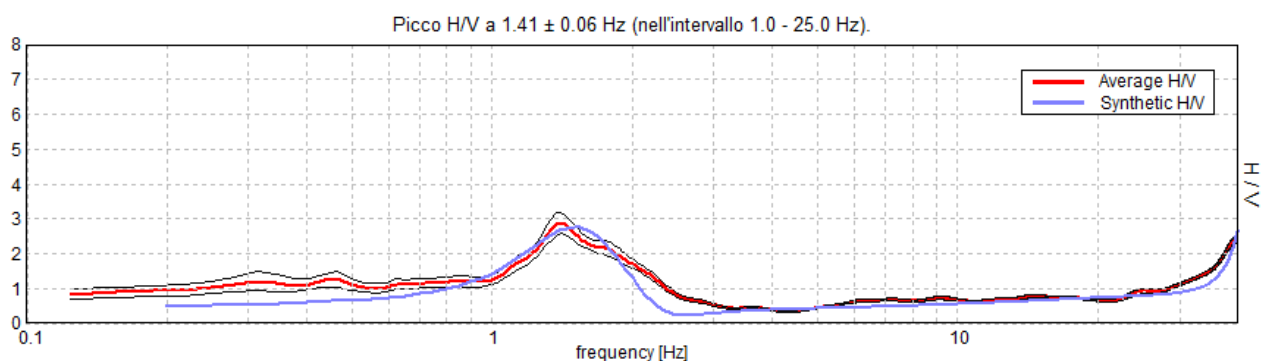
DIREZIONALITA' H/V



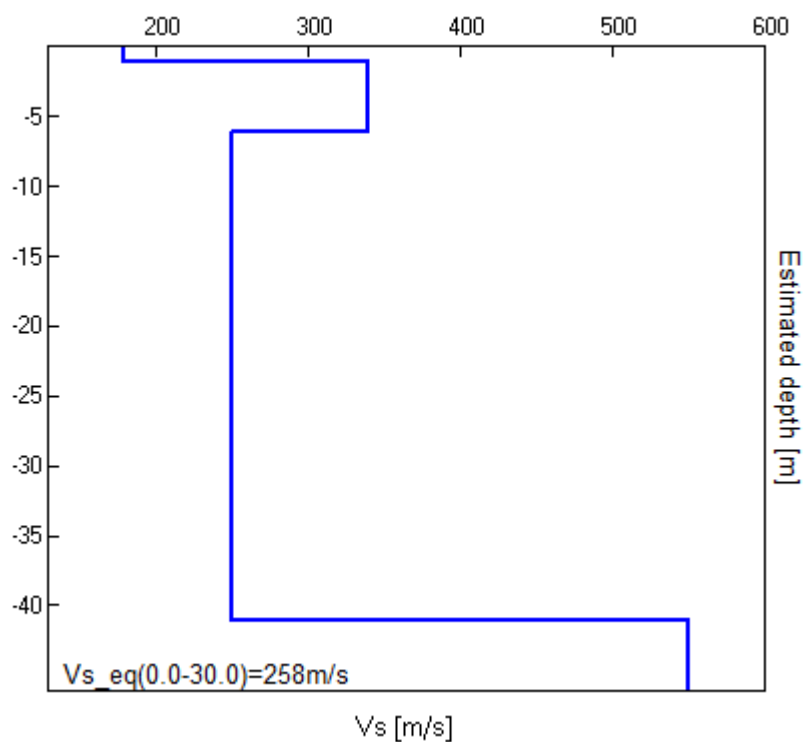
SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]
1.05	1.05	180
6.05	5.00	340
41.05	35.00	250
inf.	inf.	550



Secondo le linee guida SESAME, 2005.

Picco H/V a 1.41 ± 0.06 Hz (nell'intervallo 1.0 - 25.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$1.41 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1687.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Superato 0 volte su 68	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.063 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.156 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.89 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.04275 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.06011 < 0.14063$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2994 < 1.78$	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
σ_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
$\sigma_{\log H/V}(f)$	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 σ_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 $\sigma_{\log H/V}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20