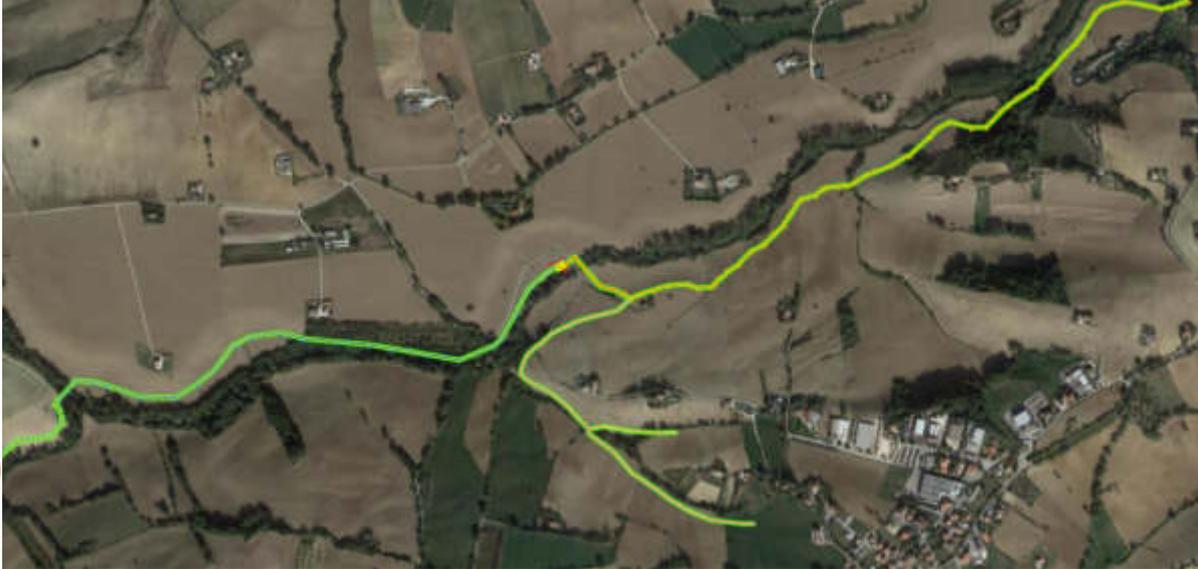




S
T
U
D
I
O

TENNACOLA S.P.A.
RETE DEPURATIVA DEL MEDIO BACINO DELL'ETE MORTO



G
E
O
L
O
G
I
C
O

-- AGGIORNAMENTO --

**RELAZIONE GEOLOGICA CON VALUTAZIONE SISMICA E GEOTECNICA DEI
TERRENI INTERESSATI DALLA VARIAZIONE DI UNA PORZIONE DI TRACCIATO E
REALIZZAZIONE DI MANUFATTI DI PERTINENZA AL COLLETTORE FOGNARIO**

"II STRALCIO II LOTTO"

COMMITTENTE

TENNACOLA SPA



Documento informatico firmato digitalmente ai sensi del D. Lgs. n. 82/2005, mod. ed int. dal D. Lgs. n. 235/2010 e dal DPR n. 445/2000 e succ., il quale sostituisce il documento cartaceo e la firma autografa in originale.

Falerone, 19/05/2022

INDICE

1.	PREMESSA.....	3
2.	INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO – GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO-IDROGEOLOGICO	4
-	2.1. GEOLOGIA	5
-	2.2. GEOMORFOLOGIA - IDROLOGIA	7
3.	MODELLAZIONE LITOLOGICA DI RIFERIMENTO	11
4.	INDICAZIONI GEOLOGICHE REALIZZAZIONE OPERE	12
	4.1 sistema fognario – condotta interrata.....	13
	4.2 Attraversamento Ete Morto - Case Moschini (lotto II).....	16
	4.3 Impianto di sollevamento (lotto II).....	26
	4.4 Attraversamento Ete Morto – impianto sollevamento (lotto II).....	36
	4.5 Condotta sospesa su pali trivellati (lotto II)	46
5.	CONCLUSIONI	56

Il presente elaborato è composto da n° 56 pagine.

Elaborati allegati/ricompresi:

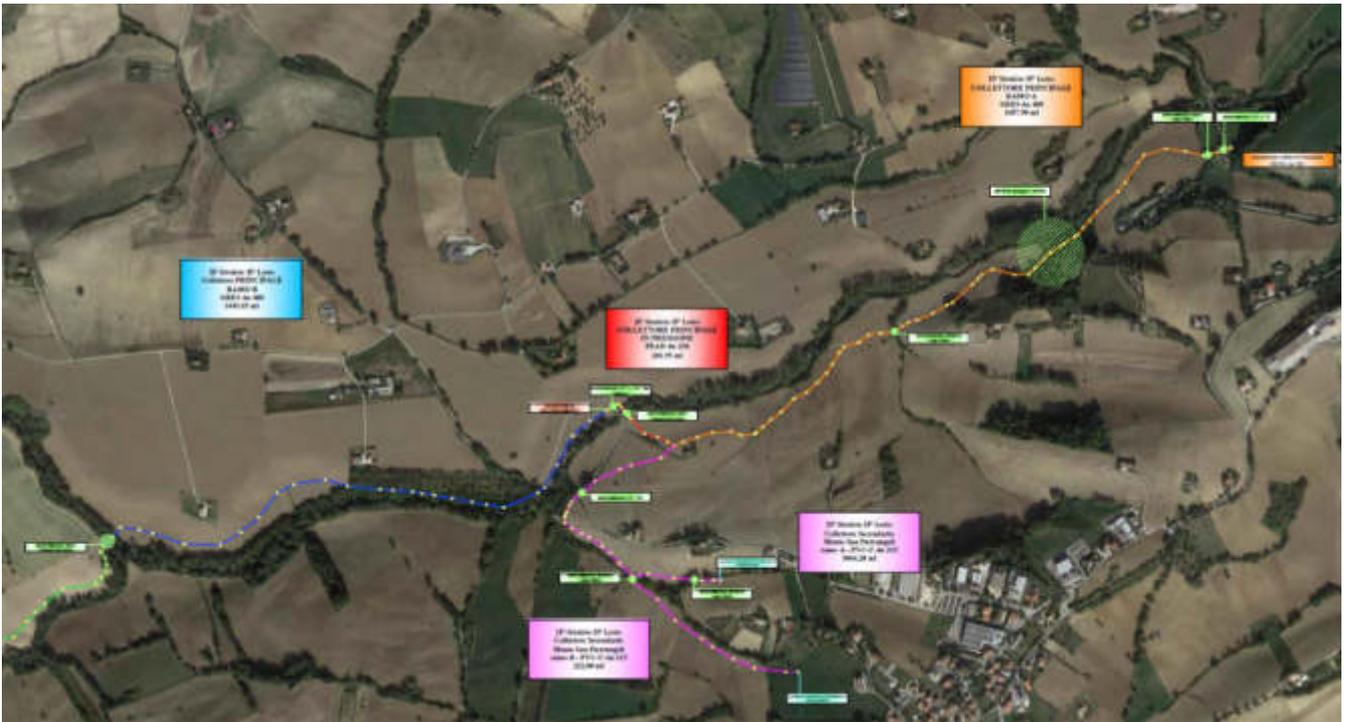
- Estratto cartografia PAI
- Estratto cartografia geologica
- estratto catastale
- estratto satellitare con ubicazione indagini
- planimetrie varie con individuazione interventi;
- sezioni schematiche interventi;
- certificati prove penetrometriche CPT 1-2
- Certificati prove tomografiche HVSR 1-2-3-4

RETE DEPURATIVA DEL MEDIO BACINO DELL'ETE MORTO

II° STRALCIO II° LOTTO

1. PREMESSA

Il sottoscritto Dott. Geologo Gabriele Cutini, su incarico dell'Azienda **TENNACOLA SPA** ha svolto la presente **RELAZIONE GEOLOGICA CON VALUTAZIONE SISMICA E GEOTECNICA DEI TERRENI INTERESSATI DALLA VARIAZIONE DI UNA PORZIONE DI TRACCIATO E REALIZZAZIONE DI MANUFATTI DI PERTINENZA AL COLLETTORE FOGNARIO INERENTE AL "II STRALCIO II LOTTO" DELLA RETE DEPURATIVA DEL MEDIO BACINO DELL'ETE MORTO.**



Nello specifico lo studio è finalizzato all'acquisizione delle informazioni necessarie per la caratterizzazione geotecnica, geologica e modellazione sismica dell'area oggetto di variazione del tracciato e dei siti dove insisteranno le opere necessarie alla rete depurativa.

Nella presente relazione sono contenuti ed esposti i dati e le osservazioni raccolte durante le indagini svolte inerenti l'incarico ricevuto attraverso le seguenti fasi di lavoro:

- fase conoscitiva caratterizzata dalla raccolta dei dati bibliografici esistenti e disponibili, provenienti sia da studi geologici-geomorfologici a più ampia scala (PAI, PRG, ecc.), nonché acquisizione di dati messi a disposizione da Tennacola Spa inerenti "indagine geomorfologia e geologico-geotecnica finalizzata alla costruzione di una vasta rete del collettore fognario e dell'impianto di depurazione biologico - II° stralcio funzionale" redatta dai colleghi Conti-Del Moro in data 11/03/2010; tali dati di carattere generale derivanti da tale lavoro faranno parte integrante del presente elaborato su previa autorizzazione di Tennacola Spa.;

- osservazione e definizione delle principali caratteristiche geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche mediante opportuni sopralluoghi e rilievi di superficie estesi per un "intorno significativo". In particolare l'analisi geomorfologica di dettaglio, espletata attraverso l'osservazione delle forme e gli eventuali depositi ad esse connessi, ha permesso di ricostruire il quadro morfogenetico dell'area in esame e di formulare delle ragionevoli previsioni sulle tendenze evolutive future in relazione sia alle caratteristiche lito- stratigrafiche, che alla dinamica geomorfologica;
- modellazione geotecnica dei siti attraverso l'esecuzione di complessive n° 2 prove penetrometriche statiche CPT e n. 4 prove HVSR realizzate in corrispondenza delle aree in cui sono previste le opere d'arte
- elaborazione e sintesi dei risultati ottenuti dall'indagine effettuata.

La metodologia adottata può essere così definita:

-studio dati esistenti;

-rilevamento geologico-geomorfologico di campagna;

-esecuzione n°2 prove penetrometriche statiche CPT

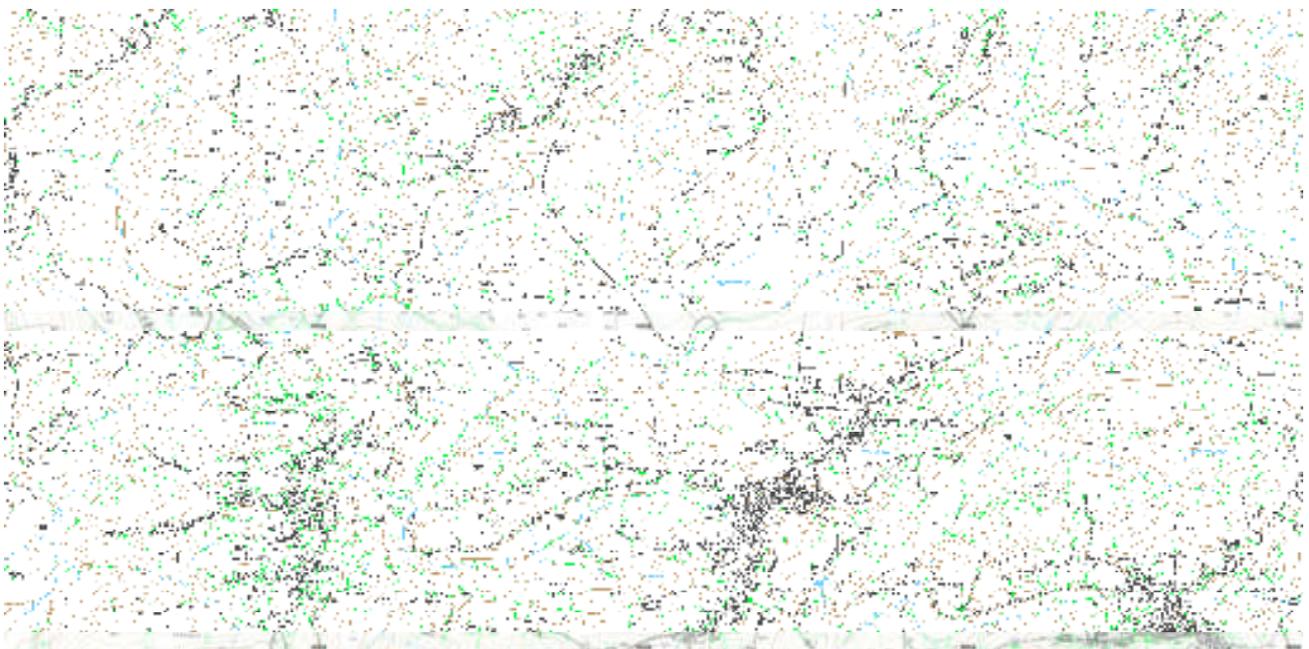
-esecuzione n°4 prove tomografiche HVSR

-valutazione delle caratteristiche geomeccaniche dei litotipi presenti;

-stesura della presente relazione;

2. INQUADRAMENTO TOPOGRAFICO – GEOLOGICO - GEOMORFOLOGICO-IDROGEOLOGICO

Il territorio analizzato rientra quasi nella totalità del comune di Monte Sampietrangeli su cui si ubica il tratto fognario in oggetto; il territorio rientra nel quadrante IV del Foglio 125 "Fermo" alla scala 1:25.000 della Carta Topografica Regionale



Estratto carta CTR



Estratto satellitare dell'area



Estratto catastale dell'area

- **2.1. GEOLOGIA**

Le aree oggetto di studio rientrano nel settore sud-orientale del Bacino Marchigiano Esterno, colmato dai sedimenti terrigeni del ciclo marino Plio-Pleistocenico. In generale la sequenza Plio-pleistocenica inizia con depositi trasgressivi sabbioso- conglomeratici di facies litoranea cui fa seguito una potente successione argillosa nella quale sono intercalati corpi clastici a granulometria

grossolana e fine. Nella porzione del territorio dove ricadono le aree in oggetto, affiorano i termini medio-sommitali della successione.

Sono state distinte le seguenti associazioni litologiche:

a) Associazione pelitica

Costituita da argille siltose grigie, spesso laminate, intercalate da sottilissimi livelli siltoso-sabbiosi. Lo spessore è pari a diverse decine di ml.

b) Associazione politico-arenacea

Costituita in prevalenza da argille siltose grigie, spesso laminate, intercalate da livelli sabbiosi giallastri. Lo spessore complessivo è pari a qualche decina di ml.

c) Associazione sabbioso-arenacea

Composta da sabbie giallognole ben stratificate a cementazione variabile con sottili intercalazioni di argille siltose. Lo spessore complessivo è pari a qualche decina di ml.

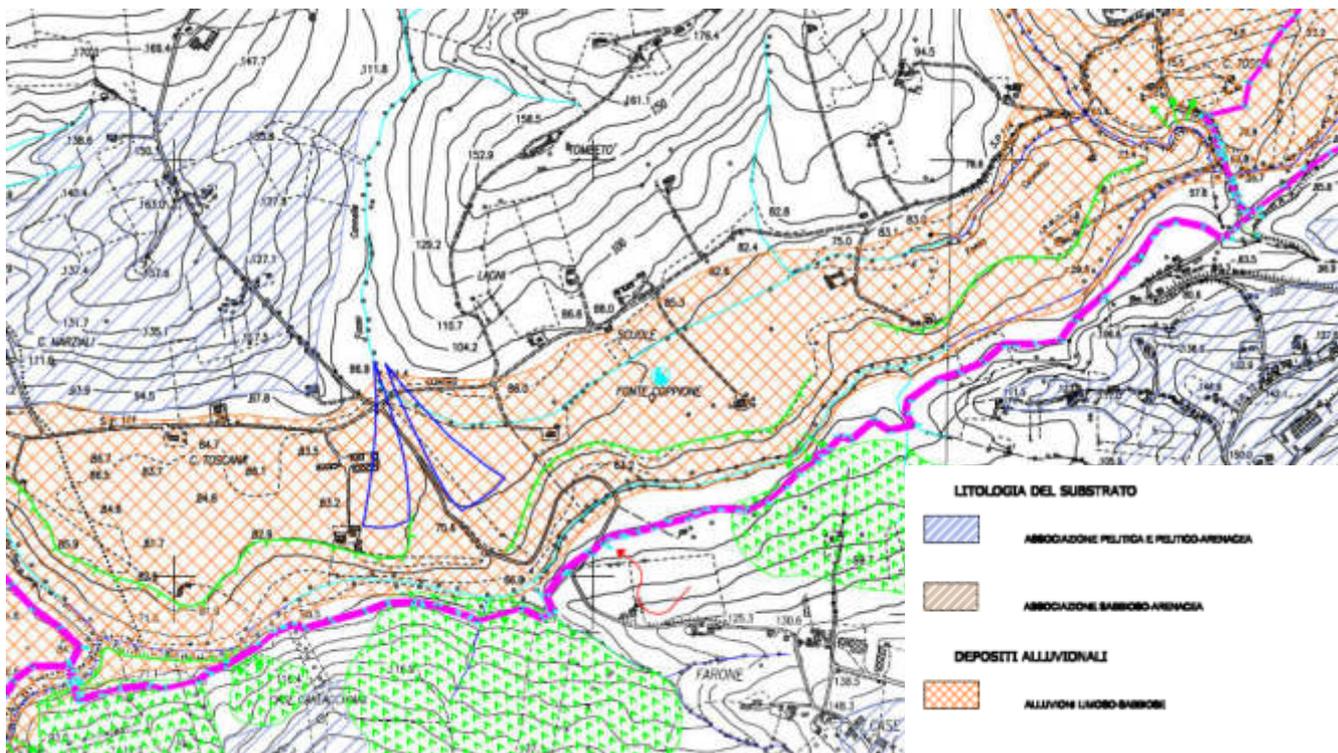
In particolare nell'area in esame le associazioni del substrato sopra descritte affiorano e/o comunque si rinvengono al di sotto di un limitato spessore di terreni della coltre ($h < 2.0$ mt.), principalmente in corrispondenza delle superfici sommitali delle dorsali collinari presenti.

In gran parte delle zone prese in esame i litotipi appartenenti alla formazione marina risultano mascherati generalmente da una coltre detritico-colluviale costituita da sedimenti limoso-sabbiosi e sabbioso-limosi derivante da processi di alterazione che hanno interessato il substrato marino sottostante.

Lungo le valli dei corsi d'acqua principali la coltre è invece costituita da depositi alluvionali in prevalenza sabbiosi e limoso-sabbiosi.

La fascia di territorio presa in esame interessata dal collettore fognario, ricade lungo i versanti posti in sinistra idrografica del Fiume Ete Morto a partire dall'attaversamento di case Moschini sino all'altezza dell'impianto di sollevamento per poi scorrere in destra idrografica del fiume medesimo sino all'impianto di depurazione biologico recentemente realizzato ubicato ad una quota topografica media di 54 m.s.l.m. nel territorio comunale di Monte San Pietrangeli.

- **2.2. GEOMORFOLOGIA - IDROLOGIA**



Estratto da cartografia Conti-Del Moro (Tennacola 2010)



In generale, le aree di versante interessate presentano una discreta pendenza legata alla litologia dei litotipi affioranti. Sotto l'aspetto della stabilità dei versanti le aree interessate dalle opere in progetto non presentano problematiche insuperabili.

Il territorio è caratterizzato da una serie di dorsali collinari allungate dalle lunghezze diverse e secondo direzioni differenti da NE-SW a W-E sulla sommità delle quali sorgono gli abitati di M.S.Pietrangeli, Francavilla d'Ete.

Tutte le dorsali, in sommità, si presentano con superfici sub-pianeggianti debolmente immergenti verso valle (Sud-Est); esse risultano talora molto incise dagli elementi idrografici secondari.

Il rilevamento geomorfologico fornito da Tennacola Spa (studio Conti- Del Moro) dell'area e di un intorno significativo di cui si allega di seguito stralcio di descrizione, la raccolta dei dati esistenti hanno permesso di individuare e quindi cartografare diverse forme e processi morfologici dovuti a:

- *Forme e processi ascrivibili all'azione della gravità*

Lungo diversi versanti che degradano dalla sommità delle dorsali verso il fondovalle si rinvengono delle aree piuttosto circoscritte contraddistinte da forme morfologiche caratteristiche come ondulazioni a medio-ampio raggio, avvallamenti e/o "increspature" riconducibili a fenomeni gravitativi. La natura prevalentemente pelitica della coltre detritico- colluviale, i processi di denudazione che negli ultimi anni hanno interessato gran parte dei rilievi collinari marchigiani, talora l'apprezzabile acclività dei pendii in esame e condizioni idrogeologiche particolari possono essere considerati verosimilmente i fattori predisponenti che innescano i fenomeni gravitativi suddetti. Tali processi, che interessano spessori di terreno differenti, sembrano coinvolgere prevalentemente la coltre detritica-eluviale e/o localmente l'orizzonte "fratturato e talora saturo" (formazione alterata) ubicato a contatto con substrato argilloso plio-pleistocenico marino.

I fenomeni in questione, proprio per la loro natura e tipologia di terreni coinvolti (argille), possono essere ricondotti talora ad una lenta e generale "plasticizzazione" dei sedimenti più superficiali in relazione alla variabilità litologica dei sedimenti interessati. Infatti, la frazione sabbiosa che caratterizza la coltre argillosa detritico-colluviale è costituita spesso da una serie di fitte intercalazioni all'interno di sedimenti quasi esclusivamente argillosi, che determina localmente un comportamento anisotropo sia geomeccanico che idrogeologico.

L'evoluzione cinematica di tali fenomeni risulta alquanto lenta, condizionata dal regime pluviometrico e quindi dalle variazioni delle caratteristiche idrauliche al contorno.

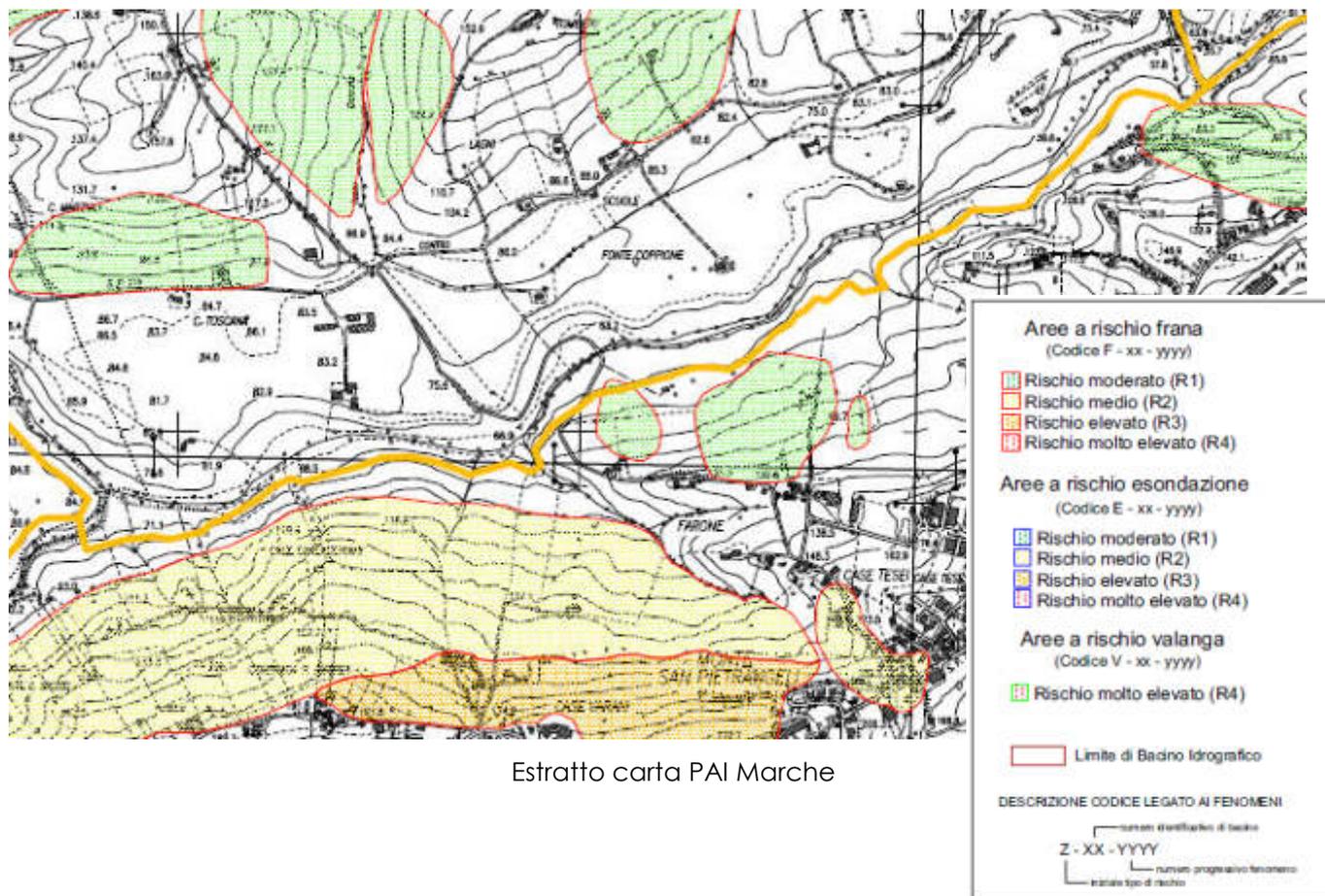
Nel dettaglio tali tipologie di dissesti risultano al momento attuale: attivi o quiescenti, ossia la loro attività risulta legata a condizioni soprattutto idrogeologiche e quindi meteorologiche, oltre che antropiche, come diffusi sono anche movimenti più superficiali dovuti al "soliflusso".

Tutte le forme suddette, caratterizzate da dimensioni medio-piccole, sono verosimilmente da imputare a dei processi riconducibili, vista la natura essenzialmente pelitica dei sedimenti che compongono la coltre, a dei movimenti lenti plastici, che hanno interessato, considerando le dimensioni delle forme, i sedimenti più superficiali della coltre continentale.

Le cause principali dei suddetti processi sono da ricondurre, come detto, alla natura prevalentemente pelitica della coltre detritico-colluviale, ai processi di denudazione che negli ultimi anni hanno interessato gran parte dei rilievi collinari dell'entroterra marchigiano.

Piuttosto diffusi nell'area sono anche movimenti tipo "soliflusso" che possono essere ascrivibili a dei processi di plasticizzazione estremamente lenti che interessano la porzione più superficiale del sottosuolo. Tra i più evidenti ed estesi risultano quelli ubicati lungo la porzione medio-superiore del versante destro del Fosso Pisciaroli, nonché in corrispondenza del versante destro di un piccolo affluente del Fiume Ete Morto posto nel territorio comunale di Monte San Giusto.....omissis

In particolare la rete depurativa in progetto ed oggetto di variante del tratto considerato non sembra intercettare aree interessate da estesi movimenti gravitativi attivi.



Estratto carta PAI Marche

IDROLOGIA SUPERFICIALE

L'evoluzione del sistema idrografico superficiale del tratto di bacino del Fosso Ete Morto in cui ricade l'area, similmente con quanto avvenuto nei maggiori bacini dei fiumi marchigiani, è stato fortemente condizionato dall'azione combinata dei fenomeni neotettonici avvenuti a partire dal Pliocene medio-inferiore e l'erosione lineare delle acque correnti superficiali, che hanno favorito il rapido approfondimento dell'intero sistema idrografico.

Nell'area come detto l'elemento principale di drenaggio delle acque superficiali è rappresentato dall'alveo del Fiume Ete Morto, che in questo tratto risulta caratterizzato da un tracciato marcatamente meandriforme. Il bacino idrografico del Fiume Ete Morto, presenta una rete idrografica composta da una serie di sub-bacini minori che uniti compongono il bacino principale. La valle alluvionale del fiume risulta caratterizzata da un'ampiezza piuttosto limitata e da un fondovalle di larghezza progressivamente crescente da monte verso valle, mentre l'alveo è ubicato spesso a ridosso dei fianchi della valle alluvionale.

Il reticolo idrografico superficiale minore del bacino del Fiume Ete Morto, in questo tratto, risulta mediamente sviluppato in quanto composto da un sistema di fossi e/o torrenti di estensioni differenti, nonché di piccoli rivoli di limitata lunghezza.

IDROLOGIA PROFONDA

In corrispondenza della pianura alluvionale del Fiume Ete Morto, le prove in sito effettuate ed i dati reperiti hanno permesso di testare l'esistenza di una vera e propria falda freatica impostata attualmente ad una profondità variabile compresa tra 6-8 mt. impostata all'interno della porzione basale del deposito alluvionale ghiaioso-sabbioso del fiume Ete Morto delimitate inferiormente dalle argille plio-pleistoceniche che rappresentano il locale "acquiclude" rinvenibili nell'area ad una profondità compresa tra 8-12 m.

Dalle testimonianze raccolte è emerso che l'escursione freaticometrica media annuale è di circa 1.0-1.5 m, ed è in stretta dipendenza con il regime pluviometrico dominante nel bacino imbrifero e in particolare nell'area alluvionale. I minimi livelli freaticometrici si hanno nei mesi autunnali, i massimi in quelli primaverili. Durante i mesi estivi invece si registra un forte abbattimento della tavola d'acqua in esame che è da mettere in relazione sia alle scarse precipitazioni che si sono verificate negli ultimi anni e sia soprattutto ai forti prelievi che si eseguono durante tali periodi per uso irriguo.

PERMEABILITA'

Per la valutazione di massima del grado di permeabilità dei singoli litotipi presenti nell'area ci si è avvalsi, per i materiali incoerenti, dei dati bibliografici esistenti in merito a sedimenti granulometricamente simili, mentre per i terreni coesivi si è fatto riferimento ai valori emersi da prove di laboratorio e/o in sito precedentemente effettuate su litotipi analoghi. In particolare nell'area può essere attribuita una permeabilità medio-elevata ai sedimenti ghiaioso-sabbiosi, a luoghi sabbioso-limosi che costituiscono i depositi alluvionali più recenti ubicati sia lungo l'asta fluviale principale, che in prossimità dei corsi d'acqua minori, mentre può essere assegnata una medio-bassa permeabilità ai terreni superficiali della coltre (argilla limoso sabbiosa) che si rinvencono con spessori differenti sui versanti che bordano le dorsali collinari presenti. Infine può essere attribuita una conducibilità idraulica da bassa a molto bassa ai litotipi che costituiscono la formazione plio-pleistocenica, conducibilità che può essere stimata compresa tra 10^{-9} e 10^{-11} m/sec. Alla luce della natura dei sedimenti presenti nel sottosuolo la permeabilità complessiva dei litotipi alluvionali dal comportamento prevalentemente incoerente, è strettamente dipendente dal quantitativo di materiali più fini presenti, mentre per ciò che riguarda la coltre e il substrato marino alla conducibilità idraulica primaria legata all'esistenza di livelli sabbiosi intercalati, si somma localmente una permeabilità secondaria indotta dalla fessurazione e quindi dal grado di alterazione delle argille.

3. MODELLAZIONE LITOLOGICA DI RIFERIMENTO

La ricostruzione litostratigrafica dei terreni in sito è stata desunta dall'analisi dei dati derivati dall'esecuzione e dal reperimento di prove in sito quali sondaggi geognostici, prove penetrometriche ecc. Da ciò emerge la presenza di terreni di genesi alluvionale, prevalentemente limoso-sabbiosi nella porzione più superficiale, per poi divenire, a partire da una profondità piuttosto modesta, quasi esclusivamente ghiaiosi. La locale successione dei terreni presenti, può essere quindi così schematizzata:

- LIMO sabbioso talora SABBIA limosa (Dep. Alluvionale/colluviale)

litotipo composto da sedimenti limosi in abbondante matrice sabbiosa di colore giallo nocciola, a luoghi prevalente rispetto alla frazione limosa. Terreno dal comportamento prevalentemente coesivo, a luoghi incoerente, in rapporto alla prevalenza o meno dei sedimenti limosi rispetto a quelli sabbiosi. Da mediocri a discrete caratteristiche geomeccaniche del materiale, il quale talora risulta intercalato all'interno delle ghiaie sottostanti e distribuito in sottili orizzonti lenticolari.

- GHIAIA (Dep. Alluvionale)

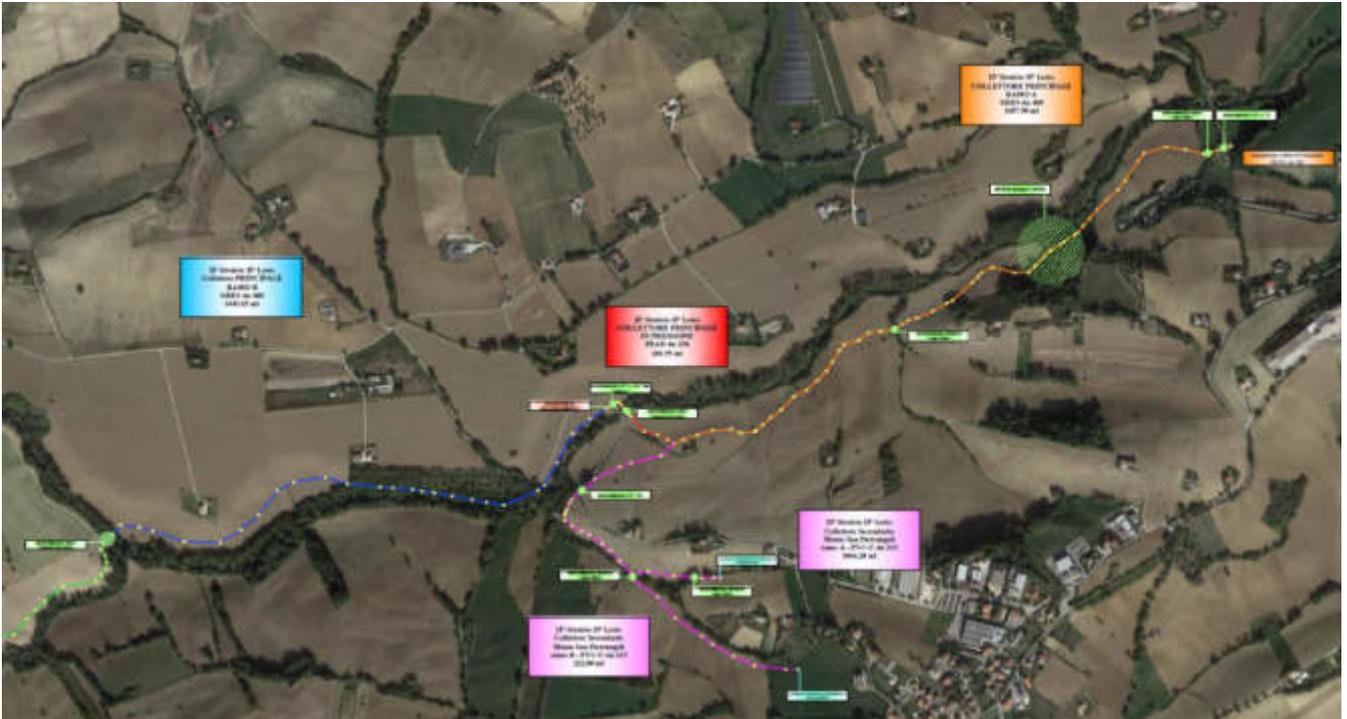
litotipo composto da ciottoli di natura esclusivamente calcarea, ben arrotondati e di piccole-medie dimensioni, talora si riscontrano dei livelli di ghiaia ben classata con ciottoli anche grossolani che risultano immersi in una abbondante matrice sabbiosa. Talora intercalati all'interno del deposito si rinvengono orizzonti limoso-argillosi saturi di limitato spessore e di modesta estensione areale, di medio alta compressibilità. Piuttosto scarsa la densità relativa del deposito in corrispondenza delle zone a matrice limoso/sabbiosa, in cui si registra un contatto tra i clasti non sempre continuo e regolare. Buone le qualità geomeccaniche del litotipo vista la bassa compressibilità complessiva dello stesso.

- ARGILLA stratificata a SABBIA (Formazione Marina)

argille limose dalla colorazione avana-nocciola stratificate a "veli" sabbiosi di colore giallo-rossiccio; il tetto mediamente risulta posto, dai dati raccolti, ad una profondità compresa tra 15/18 m rispetto all'attuale piano campagna. I sedimenti sono distribuiti con dei rapporti di stratificazione argilla/sabbia crescenti con la profondità, all'aumentare della quale la colorazione delle argille, che divengono prevalenti sulle sabbie, tende a divenire azzurrognola. Medio-elevato il grado di sovraconsolidazione del materiale, dalle buone qualità geomeccaniche.

4. INDICAZIONI GEOLOGICHE REALIZZAZIONE OPERE

Il progetto IN VARIANTE in esame prevede la realizzazione di una condotta fognaria completamente interrata per un primo tratto posta in sx idrografica del Ete Morto a partire dalla confluenza nei pressi di case Moschini fino ad intercettare l'impianto di sollevamento previsto per poi procedere in dx idrografica tramite attraversamenti aerei ecc. fino all'attraversamento previsto nei pressi della s.p. rapagnanese.,



Di seguito vengono fornite le indicazioni generali, secondo quanto previsto dalla nuova normativa vigente circa gli scavi da effettuare mentre per ciò che concerne le considerazioni in merito alla realizzazione delle opere d'arte sopramenzionate, si rimanda a quanto contenuto nei paragrafi successivi in cui sono stati riportati in dettaglio i terreni presenti nel sottosuolo, nonché gli spessori e le geometrie dei litotipi stessi.

In particolare sono state formulate per ogni singolo manufatto indicazioni inerenti la fattibilità geologica dell'opera in progetto, le valutazioni analitiche di orientamento in relazione alla costruzione prevista (consigli inerenti la tipologia di fondazione più opportuna in relazione alla natura dei litotipi e alla valutazione costi/benefici dell'intervento, ecc.), unitamente alle prescrizioni atte alla salvaguardia e conservazione delle opere stesse.

4.1 sistema fognario – condotta interrata

Come detto il progetto prevede la costruzione di un sistema fognario a gravità composto da una lunga rete di condotte completamente interrata per la realizzazione della quale sono previsti degli scavi "a cielo aperto" di altezze molto variabili.

La stabilità delle pareti di sbancamento create dall'esecuzione degli scavi, sarà strettamente dipendente dalle caratteristiche litologiche dei diversi litotipi presenti localmente nel sottosuolo, che verranno intercettati nel corso delle operazioni di scavo.

Alla luce delle risultanze delle prove in sito effettuate, considerando le altezze medie degli scavi "a cielo aperto" da realizzare, è presumibile che gli stessi intercettino esclusivamente i sedimenti più superficiali della coltre detritico-colluviale e solo in maniera sporadica il substrato marino sottostante. Vista la temporaneità delle aperture (tempo necessario alla messa in posto delle infrastrutture) è stata fatta una analisi di stabilità di massima delle pareti adottando parametri geotecnici non drenati (verifica a breve termine) minimi scaturiti dai terreni della coltre detritico-colluviale presenti nel sottosuolo (ipotesi più cautelativa) che verranno interessati dagli scavi "a cielo aperto". Per la determinazione puntuale delle altezze di scavo ammissibili risulta indispensabile effettuare in fase esecutiva, per ogni singolo lotto in cui è stata suddivisa la rete di condotta, ulteriori e più approfondite campagne geognostiche attraverso l'esecuzione di prove sia dirette che indirette, nonché prove di laboratorio (ELL, CD, ecc.) al fine di determinare i parametri a breve e lungo termine dei terreni che verranno interessati dagli sbancamenti indispensabili per eseguire delle verifiche di back-analysis per la determinazione degli angoli di riposo propri di ogni singolo litotipo attraversato e quindi la realizzazione di scarpate di scavo compatibili con i litotipi medesimi.

Secondo la nuova normativa vigente le verifiche di sicurezza si intendono soddisfatte se la condizione (6.2.1) delle NTC risulta soddisfatta per tutti i possibili cinematismi di collasso. Bisogna quindi ricercare la condizione di minimo per il rapporto R_d/E_d . Le verifiche di sicurezza dei fronti di scavo devono essere effettuate utilizzando la combinazione dei coefficienti parziali di cui al § 6.8.2 delle NTC: $(A_2+M_2+R_2)$, in cui i coefficienti A_2 (Tabella 6.2.I) sono moltiplicativi delle azioni e i coefficienti M_2 (Tabella 6.2.II) ed R_2 (Tabella 6.8.I) sono rispettivamente riduttivi dei parametri di resistenza e della resistenza globale del sistema. È bene precisare che al peso dell'unità di volume della massa potenzialmente instabile va applicato il coefficiente A_2 riportato nella colonna GEO della Tabella 6.2.I delle NTC ($\gamma_{G1} = 1.0$).

Tabella 6.2.I - Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale γ_F (o γ_E)	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	γ_{G1}	0.9	1.0	1.0
	Sfavorevole		1.1	1.3	1.0
Permanenti non strutturali	Favorevole	γ_{G2}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3
Variabili	Favorevole	γ_{Q1}	0.0	0.0	0.0
	Sfavorevole		1.5	1.5	1.3

Tabella 6.2.II - Coef. parziali per parametri geotecnici del terreno.

Parametro	Grandezza alla quale applicare il coefficiente parziale	Coefficiente parziale g_{\square}	(M1)	(M2)
Tangente angolo resistenza a taglio	$\tan \phi^k$	g_{ϕ}	1.0	1.25
Coesione efficace	c^k	g_c	1.0	1.25
Resistenza non drenata	C_u^k	g_{C_u}	1.0	1.4
Peso dell'unità di volume	g	g_g	1.0	1.0

Tabella 6.8.I - Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo

Coefficiente	R2
γ_R	1.1

Il Testo unitario DM08 richiede di verificare la sicurezza dei fronti di scavo utilizzando l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2).

Per le analisi di sicurezza svolte nelle condizioni di breve termine in tensioni totali, è stata presa in considerazione la soluzione di Taylor (1948) basata sul metodo dell'equilibrio limite globale. In particolare per il calcolo delle rispettive altezze ammissibili degli scavi può essere adottata, per ogni singolo litotipo la seguente relazione:

$$H = \frac{N * C_u}{\gamma * F}$$

dove:

N = fattore di stabilità definito da Taylor (1948)

γ = peso dell'unità di volume del terreno

F = fattore di sicurezza

γ = peso di volume del terreno

C_u = coesione non drenata

H = altezza critica

Applicando, alla formula proposta da Taylor, i coefficienti parziali previsti al punto 6.8, dalle Nuove Norme Tecniche NTC 2018, utilizzando l'Approccio 1 - Combinazione 2 (A2+M2+R2), si ottiene che il margine di sicurezza può essere inteso come rapporto tra la resistenza e l'azione di progetto da cui:

Ed = valore di progetto dell'azione;

Rd = valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

γ_R = coefficiente parziale della resistenza

γ_{Cu} = coefficiente parziale della resistenza non drenata

γ = peso di volume del terreno

C_u = coesione non drenata

H = altezza critica

N = fattore di stabilità definito da Taylor (1948)

La verifica è da ritenersi soddisfatta se è **Rd ≥ Ed**

Adottando la relazione esposta considerando un fattore di sicurezza pari ad 1.3 così come previsto dalla precedente normativa, adottando il parametro minimo della coltre detritico colluviale che verrà intercettata nel corso degli scavi, ossia una C_u pari a 4.0 t/mq, un peso di volume di 1.90 t/mc, prendendo in considerazione i coefficienti parziali si ottiene:

H crit. = 2.73 mt. H amm. = 2.1 mt.

Fermo restando le considerazioni precedentemente riportate in merito alla necessità imprescindibile di effettuare, per ogni singolo lotto, ulteriori indagini geognostiche per la determinazione delle diverse altezze di scavo ammissibili, per cui i valori sopra calcolati, devono essere considerati di "massima". Tenuto conto delle caratteristiche geotecniche dei litotipi più superficiali (terreni prevalentemente pelitici, dall'evidente scadimento geotecnico in seguito ad assunzione idrica), la fattibilità degli sbancamenti è subordinata alla esecuzione degli scavi nei periodi di scarse precipitazioni (estivo). Inoltre, occorrerà evitare qualsiasi sovraccarico sul bordo degli sbancamenti (soste di macchine operatrici e/o deposito di materiali di risulta), ma soprattutto le scarpate dovranno essere lasciate "a cielo aperto" il minor tempo possibile, condizione questa che risulta fondamentale per la salvaguardia della stabilità complessiva dei fronti di scavo.

Nei tratti dove l'altezza degli sbancamenti risulterà superiore a quella ammissibile precedentemente determinata o se verranno ipotizzati dei tempi medio-lunghi per la realizzazione delle infrastrutture in progetto, sarà necessario provvedere ad una protezione dei fronti di scavo attraverso la messa in posto di strutture in grado di sostenere temporaneamente i fronti di scavo stessi (palancolate ecc.....) e/o in alternativa la creazione di fronti di scavo con inclinazioni compatibili con i parametri geotecnici a lungo termine dei sedimenti della coltre.

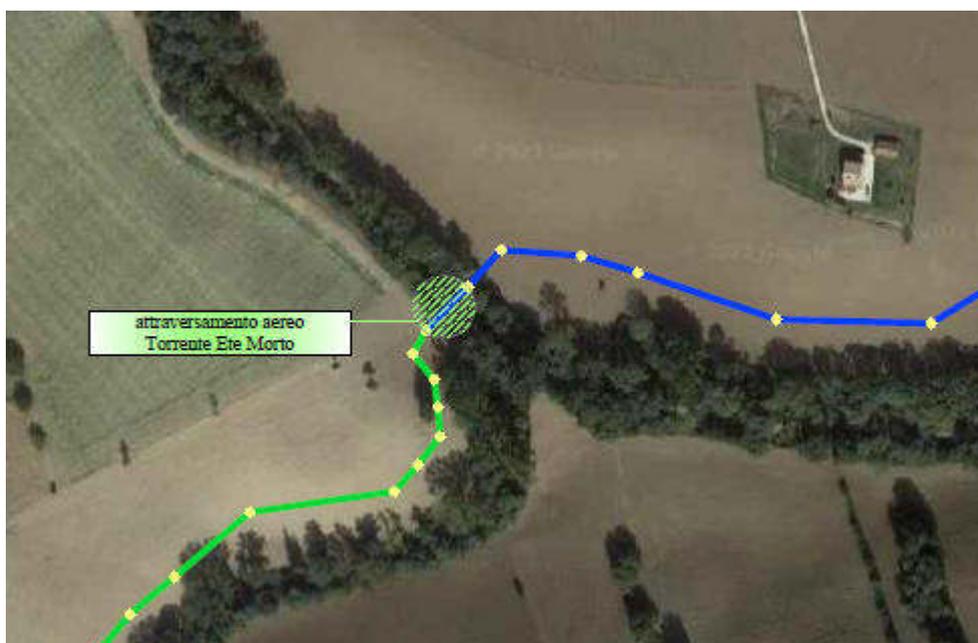
Nel caso di rinvenimento di sedimenti saturi e/o di abbondanti manifestazioni idriche, i valori critici ed ammissibili delle altezze degli scavi calcolati non possono più essere ritenuti validi, per cui risulta necessario provvedere ad una protezione dei fronti di scavo attraverso la messa in posto di strutture in grado di sostenere temporaneamente i fronti di scavo stessi.

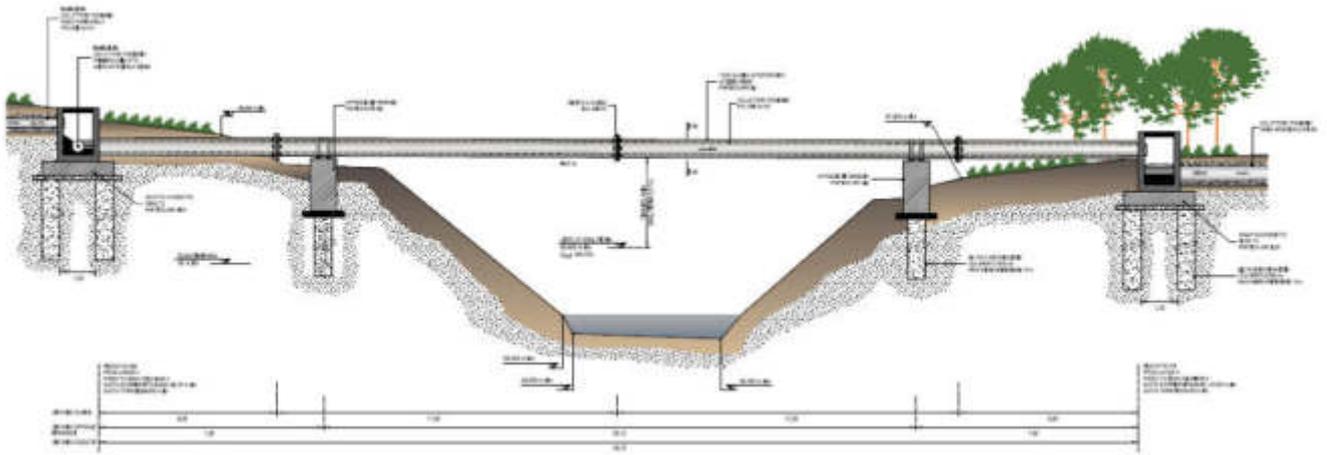
Inoltre per mantenere la naturale stabilità delle pareti di scavo in cui verranno collocate le condotte, di fondamentale importanza sarà il mantenimento delle attuali condizioni idrogeologiche dei singoli siti (assenza di falda) evitando quindi ogni dispersione idrica nel sottosuolo attraverso una corretta regimazione sia delle acque superficiali, acque che dovranno essere di conseguenza adeguatamente convogliate ed allontanate dai tratti di intervento con idonee tubazioni.

Per quanto attiene ai potenziali fenomeni di instabilità dei fronti di scavo, si pone in evidenza che è comunque sempre necessario il rispetto delle norme di sicurezza previste dalla normativa vigente.

4.2 Attraversamento Ete Morto - Case Moschini (lotto II)

La struttura in esame rappresenta un'opera di attraversamento ad una unica campata, che permetterà al tratto di condotta fognaria di superare in sospensione l'alveo dell'ETE MORTO per poi scorrere interrata in sinistra idrografica invece che in destra come il progetto in origine





UBICAZIONE E CARATTERI GEOMORFOLOGICI

L'opera in progetto ricade nel tratto medio-inferiore dell'area di studio, in località Case Moschini, nella zona di confine tra i territori comunali di Monte San Giusto e Monte San Pietrangeli, confine che viene delimitato in questo tratto dall'alveo del fosso medesimo, ad una distanza di circa 1.8 Km, in direzione Nord, dal centro storico cittadino dell'abitato di Monte San Pietrangeli.

Morfologicamente l'opera, posta ad una quota topografica di 73 mt. sopra il livello medio del mare, ricade nel tratto terminale dell'alveo del Fosso La Fusa che in questo settore presenta un tracciato sinuoso sino alla confluenza con l'asta fluviale principale del Fiume Ete Morto.

Per quanto riguarda i processi morfologici in atto, nel corso dei sopralluoghi sono stati rilevati dei processi erosivi in alveo, ed in particolare dei processi di erosione di sponda localizzabili principalmente sulle scarpate esterne dei meandri.

L'area in esame non viene evidenziata dal Piano Assetto Idrogeologico della Regione Marche (PAI), che in questo tratto non individua aree a Rischio Frana.

CARATTERI LITOLOGICI

L'inaccessibilità attuale dell'area dovuta alla mancanza di strade di accesso alla zona di intervento, non ha reso possibile l'esecuzione di prove in sito finalizzate all'individuazione e la caratterizzazione dei litotipi presenti. Sulla base comunque della informazioni emerse dall'esecuzione di prove in sito effettuate su aree morfologicamente e geologicamente simili e confinanti, può essere ipotizzata la presenza, al di sotto di un limitato spessore di terreno vegetale, di un discreto spessore di sedimenti limoso argillosi mediamente consistenti genesi eluvio-colluviale, al di sotto dei quali si rinvengono i sedimenti della successione marina Pliocenica costituiti da un'alternanza stratificata di argille siltose grigio-azzurrognole e sottili livelli sabbiosi caratterizzati da buone qualità geomeccaniche.

CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Per ciò che concerne il quadro idrogeologico dell'area, risulta ipotizzabile nell'area la presenza di una e/o più falde di limitato spessore e di scarsa estensione areale impostate all'interno della porzione medio-basale dei terreni continentali, così è presumibile la presenza di piccoli acquiferi confinati all'interno degli orizzonti sabbiosi intercalati all'interno del substrato.

Verosimilmente la principale fonte di ricarica della falda suddetta rinvenuta nell'area è dovuta all'infiltrazione delle acque provenienti dal versante retrostante, così come non può essere esclusa come fonte di alimentazione le acque correnti superficiali dell'elemento idrografico secondario alla luce della quota di imposta dell'alveo dello stesso.

Considerando lo spessore presunto degli acquiferi presenti, considerando la medio-bassa permeabilità dei terreni continentali in cui risulta impostata, è possibile prevedere complessivamente una modesta produttività degli stessi.

CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE

Alcune caratteristiche geotecniche dei terreni sono stati ottenuti dalla elaborazione e correlazione dei dati sperimentali e dalla prova penetrometrica statica eseguita, secondo le interpretazioni di Sanglerat, Terzaghi, D'Apollonia, Begemann, Schmertmann Gardner ed altri recenti autori.

Inoltre i parametri medi dei termini del substrato Pliocenico non raggiunti nel corso della prova penetrometrica, sono stati desunti dalla bibliografia e/o da studi pregressi reperiti.

Da quanto suddetto, le caratteristiche geomeccaniche di ogni singola unità litotecnica, equiparabili a quelle dei litotipi rinvenuti in corrispondenza dell'attraversamento più vicino, possono essere così riassunte:

PARAMETRI	unità misura	Litotipo "a" argilla limosa sabbioso	Litotipo "b" argilla stratificata a sabbia
γ	(g/cmc)	1,9	2.0
$g_{\square sat.}$	(g/cmc)	2,1	-
$\gamma'k$	(g/cmc)	1.90	2.0
Cu	(Kg/cm ^q)	0.6-1.3	2,7-3,5
Cuk	(Kg/cm ^q)	0,6	2,7
C'	(Kg/cm ^q)	0.0-0.05	0.2-0.4
C'k	(Kg/cm ^q)	0.3	0,3
ϕ'	(gradi)	21-23°	23-26° (34-35°)
$\phi'k$	(gradi)	22°	24° (34°)
Ed	(Kg/cm ^q)	52-80	188-225

Dott. Geol. Gabriele Cufini

Via A. Gentili n° 9 63837 Falerone (FM)

Es	(Kg/cmq)	-	(381-430)
Dr %		-	61-64
V		0,35	0.4
α		0,4	0,4
S _{med ult.}	(Kg/cmq)	-	0,3
Kh	(Kg/cm ²)	0,6-1,0	2,6-3,1

La simbologia usata è la seguente:

γ	= peso di volume;
γ_{sat}	= peso di volume saturo
C_u	= coesione non drenata;
C'	= coesione drenata;
ϕ'	= angolo di attrito drenato;
$\gamma^k, C_u^k, C'^k, \phi'^k$	= parametri caratteristici* del terreno (DM08)
E_d	= modulo edometrico;
E_s	= modulo di elasticità;
D_r	= densità relativa
n	= coefficiente di Poisson;
α	= coefficiente di adesione palo-terreno;
$S_{\text{med ult.}}$	= resistenza media ultima terreni incoerenti;
Kh	= coeff. di rigidezza laterale del terreno (palo del diam. 60 cm)

* I parametri caratteristici sono stati determinati secondo la formula semplificata di Schneider:

$$XK = X_{\text{med}} \left(1 + \frac{\text{COV}}{2} \right)$$

dove COV è il coefficiente di variazione, e Schneider raccomanda i seguenti valori:

Angolo di attrito F	10%
Coesione	40%
Modulo di comprimibilità	40%

CATEGORIE STRATIGRAFICHE, TOPOGRAFICHE ED AZIONI SISMICHE

Sulla base dei risultati al sito può essere attribuito la **categoria "C" di sottosuolo**.

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.

Condizioni topografiche categoria T1, superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media < 15° (Tabella 3.2.IV - Categorie topografiche)

• **Determinazione dell'amplificazione topografica :**

CATEGORIA	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclin. media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Estratto da D.M. 14/01/2008 – Tabella 3.2.IV

• **Determinazione dell'amplificazione stratigrafica :**

CATEGORIA di SOTTOSUOLO	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_c/g \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_c^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot a_c/g \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_c^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot a_c/g \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_c^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot a_c/g \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_c^*)^{-0.40}$

Estratto da D.M. 14/01/2008 – Tabella 3.2.V

Categoria topografica	Inclinazione pendio α	S_s	Ubicazione dell'opera	Altezza >30m
T1	=	1,0	-	
T2 Pendio o rilievi isolati	$\alpha > 15^\circ$	1,2	In corrispondenza della sommità del pendio	
T3 Rilievo con larghezza alla sommità molto inferiore a quella della base	$15^\circ < \alpha < 30^\circ$	1,2	In corrispondenza della cresta del rilievo	
T4	$\alpha > 30^\circ$	1,4	In corrispondenza della cresta del rilievo	

Tab.3.2.IV Categorie topografiche

Per la valutazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si deve valutare la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Secondo il D.M. 14/01/2008, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel

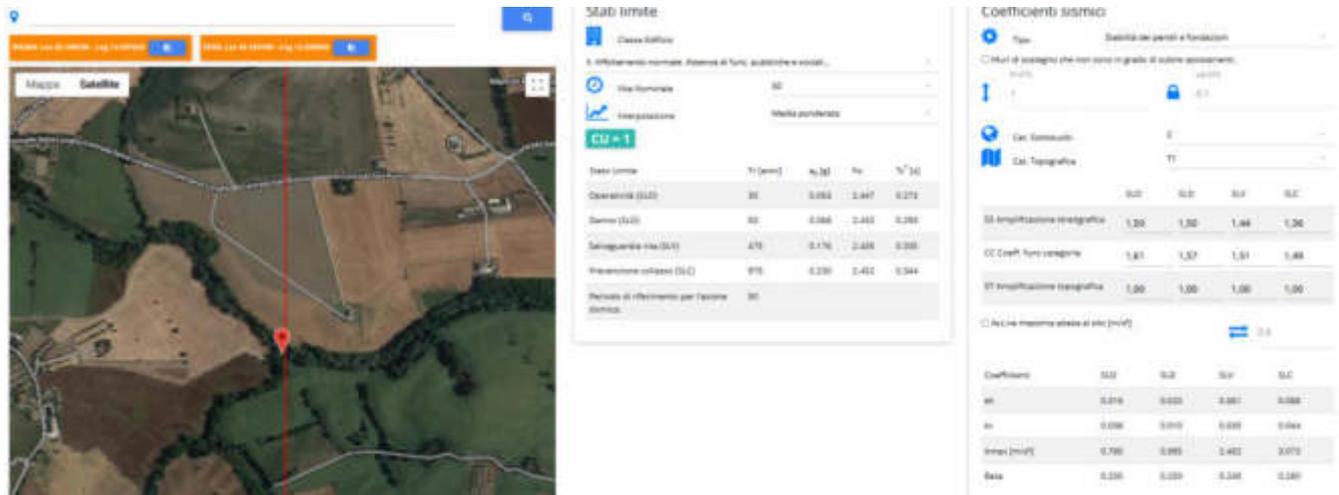
periodo di riferimento PvR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

ag = accelerazione orizzontale massima al sito

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

Tc*= periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

Considerando la posizione del sito, la Classe d'uso II (Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie, ecc.) e una Vita nominale di anni 50 (per opere ordinarie), si ottiene:



Sito in esame.

latitudine: 43,19919
 longitudine: 13,55855
 Classe: 2
 Vita nominale:50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 22755	Lat: 43,1850	Lon: 13,4901	Distanza: 5773,418
Sito 2	ID: 22756	Lat: 43,1849	Lon: 13,5586	Distanza: 1584,545
Sito 3	ID: 22534	Lat: 43,2349	Lon: 13,5587	Distanza: 3975,231
Sito 4	ID: 22533	Lat: 43,2350	Lon: 13,4900	Distanza: 6829,466

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 50anni
 Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 30 [anni]
 ag: 0,053 g
 Fo: 2,447
 Tc*: 0,273 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 50 [anni]
 ag: 0,068 g
 Fo: 2,432

Dott. Geol. Gabriele Cutini

Via A. Gentili n° 9 63837 Falerone (FM)

Tc*: 0,293 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,176 g
Fo: 2,435
Tc*: 0,335 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,230 g
Fo: 2,452
Tc*: 0,344 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,610
St: 1,000
Kh: 0,016
Kv: 0,008
Amax: 0,785
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,570
St: 1,000
Kh: 0,020
Kv: 0,010
Amax: 0,995
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,440
Cc: 1,510
St: 1,000
Kh: 0,061
Kv: 0,030
Amax: 2,482
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,360
Cc: 1,490
St: 1,000
Kh: 0,088
Kv: 0,044
Amax: 3,073
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.198238

longitudine: 13.557629

INDICAZIONI DI CARATTERE GEOLOGICO-TECNICO

Alla luce delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e geomeccaniche dell'area, si esprime parere favorevole circa la fattibilità geologica dell'opera. Per ciò che concerne l'opera, il progetto prevede a sostegno dell'attraversamento da realizzare delle fondazioni profonde

su pali trivellati collegate in testa da un plinto.

Fondazioni

Alla luce delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni presenti, si consiglia di porre a sostegno dell'attraversamento da realizzare delle fondazioni profonde su pali trivellati, ben armati per tutta la lunghezza e fortemente collegati in testa fra loro, intestati all'interno della formazione marina (argilla stratificata a sabbia -litotipo "b").

I pali quindi dovranno essere di una lunghezza tale da addentrarsi sufficientemente (3.5-5 diametri) nella formazione il cui tetto risulta ipotizzato, ad una profondità di 6.0 mt. rispetto all'attuale piano campagna. La lunghezza, diametro ed interasse dei pali dovranno essere scelti in funzione delle sollecitazioni trasmesse dall'insieme terreno-struttura ai pali stessi.

Per il dimensionamento della nuova fondazione, si dovrà far riferimento a quanto stabilito e dalle Nuove Norme Tecniche delle costruzioni (DM 2018), i cui principi e tabelle riassuntive sono stati precedentemente riportati in dettaglio, così come per il calcolo della portanza assiale di un palo trivellato possono essere adottate le relazioni di Terzaghi ed altri precedentemente elencate.

A titolo di esempio si riportano i valori di portanza utile per un palo singolo privo di interazione con gli altri elementi fondali, di diverso diametro, calcolati sulla base dei parametri dati:

Verticale tipo

Approccio 1 -Combinazione 1 - A1+M1+R1

D	L*	<u>Rb</u>	<u>Rs</u>	<u>Rd</u>
0,40	12	30,52	49,59	47,12
0,50	12	47,69	61,98	64,51
0,60	12	68,67	74,38	84,15
0,70	12	93,47	86,78	106,03
0,80	12	122,08	99,17	130,15

Approccio 1 -Combinazione 2 - A2+M1*+R2

D	L*	<u>Rb</u>	<u>Rs</u>	<u>Rd</u>
0,40	12	17,95	37,84	32,82
0,50	12	28,05	46,39	43,79
0,60	12	40,40	54,93	56,08
0,70	12	54,98	63,48	69,69
0,80	12	71,81	72,03	84,62

(*) Circolare n.617 del 02/02/09 del Ministero delle Infrastrutture

Approccio 2 -Combinazione - A1+M1+R3

D	L*	<u>R_b</u>	<u>R_s</u>	<u>R_d</u>
0,40	12	22,61	43,12	38,66
0,50	12	35,33	53,90	52,48
0,60	12	50,87	64,68	67,97
0,70	12	69,24	75,46	85,11
0,80	12	90,43	86,24	103,92

D = diametro del palo (mt);
L = lunghezza (mt);
R_b = portanza di punta (ton);
R_s = sommatoria delle portanze laterali dei singoli tratti (ton);
R_d = portanza totale (ton);

** Alla lunghezza dei pali va detratto e/o aggiunto il valore in metri dell'eventuale differenza di quota tra il piano campagna attuale considerata nei calcoli e quella del piano di progetto reale.*

Si reputa necessario verificare, in fase esecutiva, la profondità reale del tetto del sub-strato in cui dovranno essere necessariamente intestati i pali di fondazione.

Si consiglia pertanto di fare particolare attenzione in occasione della realizzazione dei pali, interrompendo lo scavo degli stessi solo dopo il raggiungimento del substrato marino, considerando che nel calcolo della portanza si è tenuto conto che i pali dovranno essere tutti di una lunghezza tale da addentrarsi per una profondità minima di 4.0 metri nella formazione marina (profondità a cui si riferiscono i calcoli delle portanze sopra riportati).

Nel caso l'interasse dei pali, attualmente non conosciuto, risultasse tale da determinare una sovrapposizione dei bulbi delle pressioni, l'opera andrà dimensionata come una palificata.

Nel caso i carichi di esercizio risultassero superiori a quelli calcolati e tabulati per pali di diverso diametro e lunghezza, si consiglia di optare per un aumento della lunghezza piuttosto che un incremento del diametro dei pali, visto il progressivo accrescimento del grado di sovraconsolidazione e quindi delle caratteristiche geomeccaniche del substrato con la profondità.

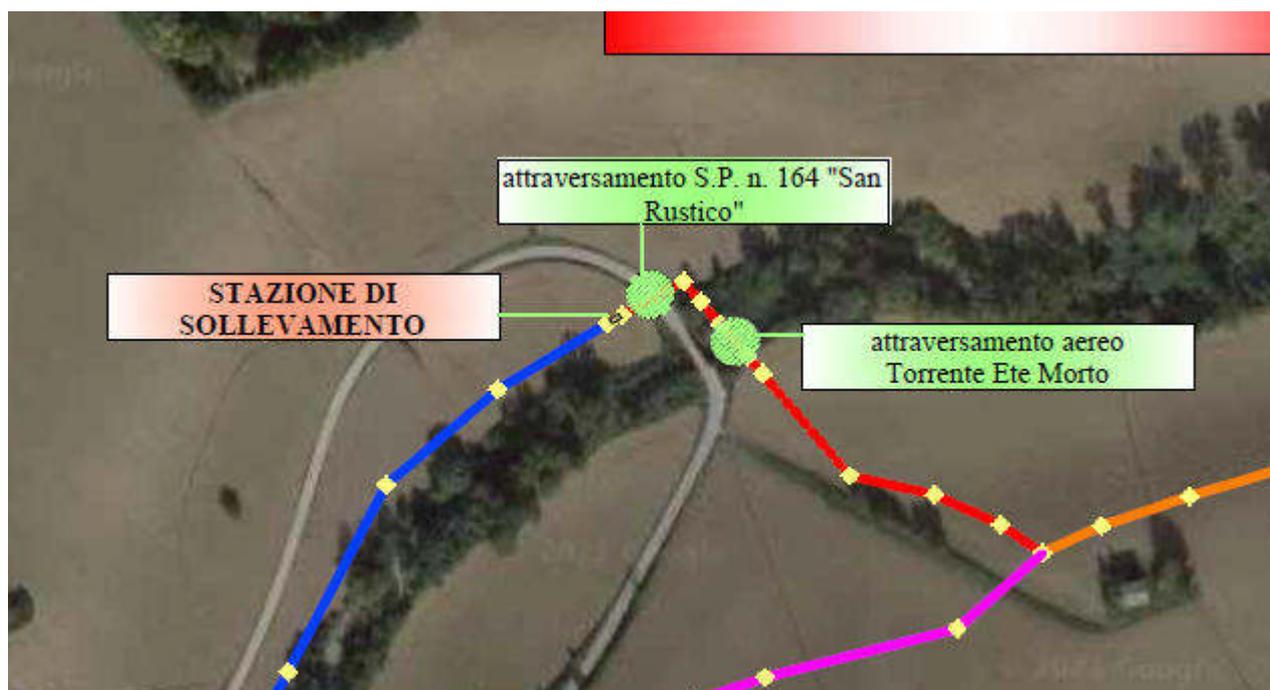
Alla luce del quadro idrogeologico riscontrato nell'area, risulta ipotizzabile la presenza di un falda freatica di limitata potenza impostata alla base del deposito alluvionale, per cui si consiglia di realizzazione le opere fondali nel periodo compreso tra Agosto-Settembre e soprattutto di eseguire il getto dei pali, con estrema celerità, al fine di evitare il crollo delle pareti di scavo a seguito di

abbondanti venute d'acqua in foro che renderebbe necessario l'utilizzo di camicie (ipotesi probabile) per la realizzazione dei pali di fondazione.

Visto il grado di consolidazione del substrato di fondazione, si tralascia il calcolo dei cedimenti, in quanto trascurabili e comunque perfettamente accettabili dalla strutture da realizzare.

4.3 Impianto di sollevamento (lotto II)

La struttura in esame rappresenta un'opera di attraversamento ad una unica campata, che permetterà al tratto di condotta fognaria di superare in sospensione l'alveo dell'ETE MORTO per poi scorrere interrata in sinistra idrografica invece che in destra come il progetto in origine



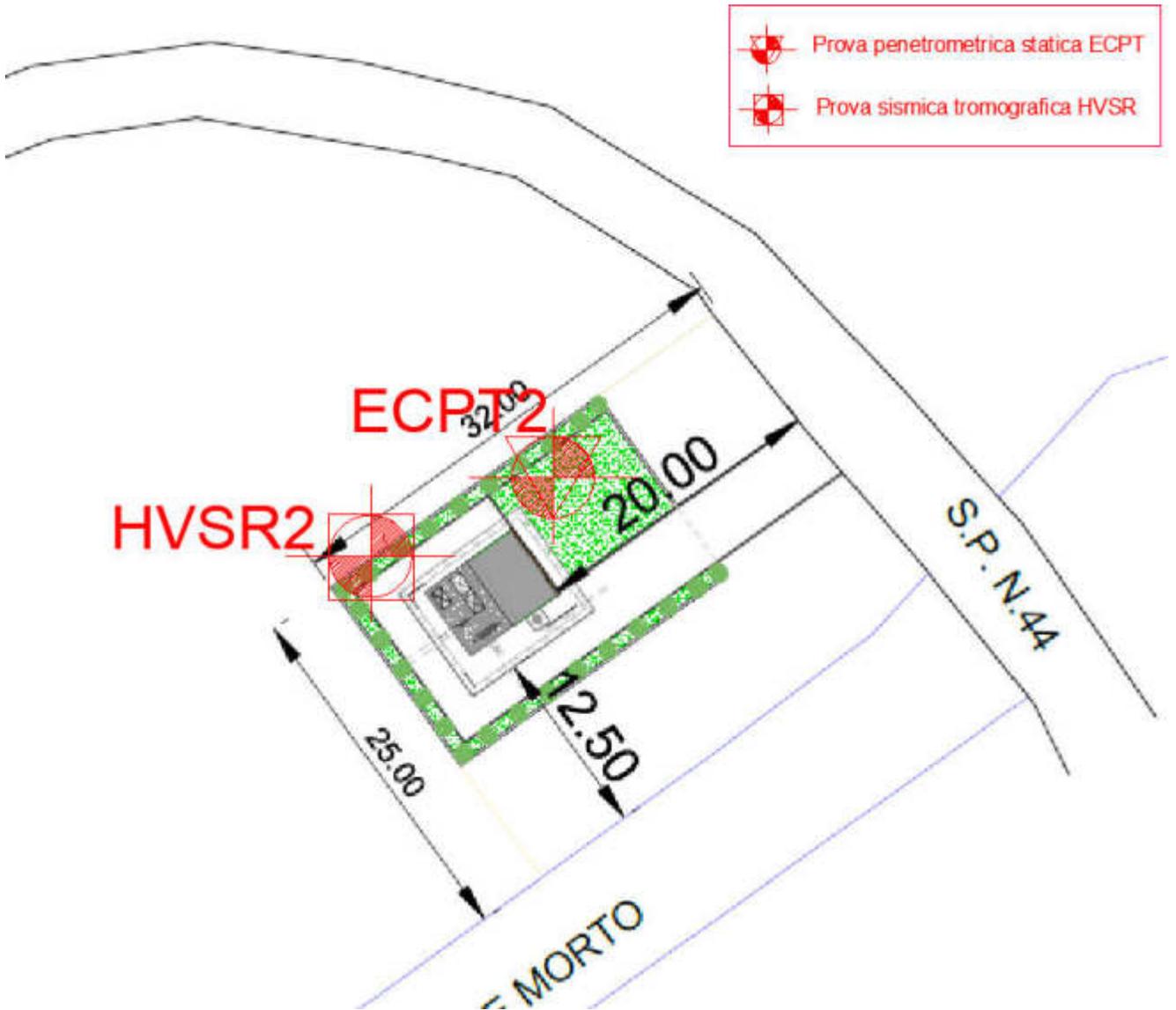
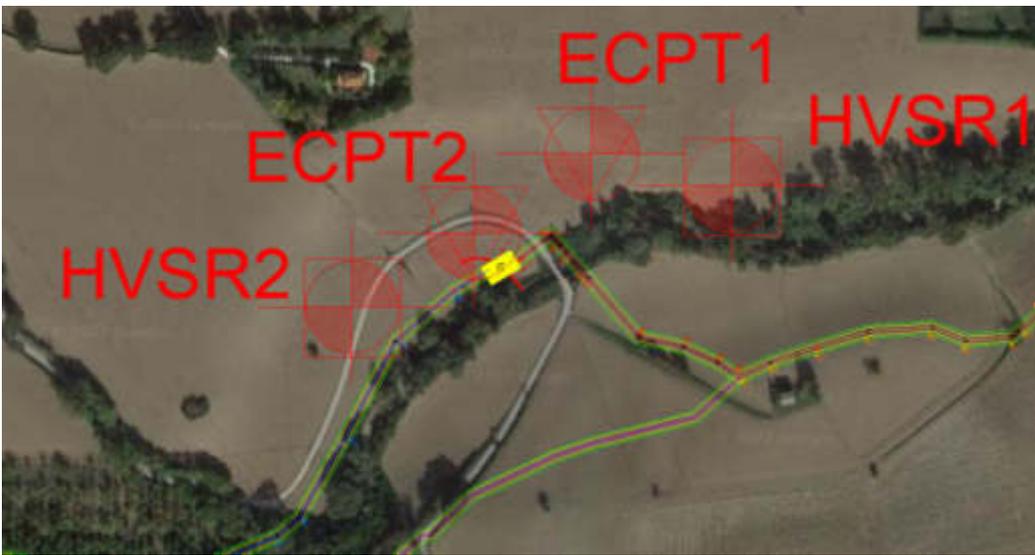
UBICAZIONE E CARATTERI GEOMORFOLOGICI

L'opera in progetto ricade nella zona di Monte San Pietrangeli. Morfologicamente l'opera, ricade nel tratto intermedio considerato dell'asta fluviale principale del Fiume Ete Morto.

Per quanto riguarda i processi morfologici in atto, nel corso dei sopralluoghi non sono stati rilevati dei processi erosivi; l'area in esame non viene evidenziata dal Piano Assetto Idrogeologico della Regione Marche (PAI), che in questo tratto non individua aree a Rischio Frana o per esondazione.

CARATTERI LITOLOGICI e GEOMECCANICI

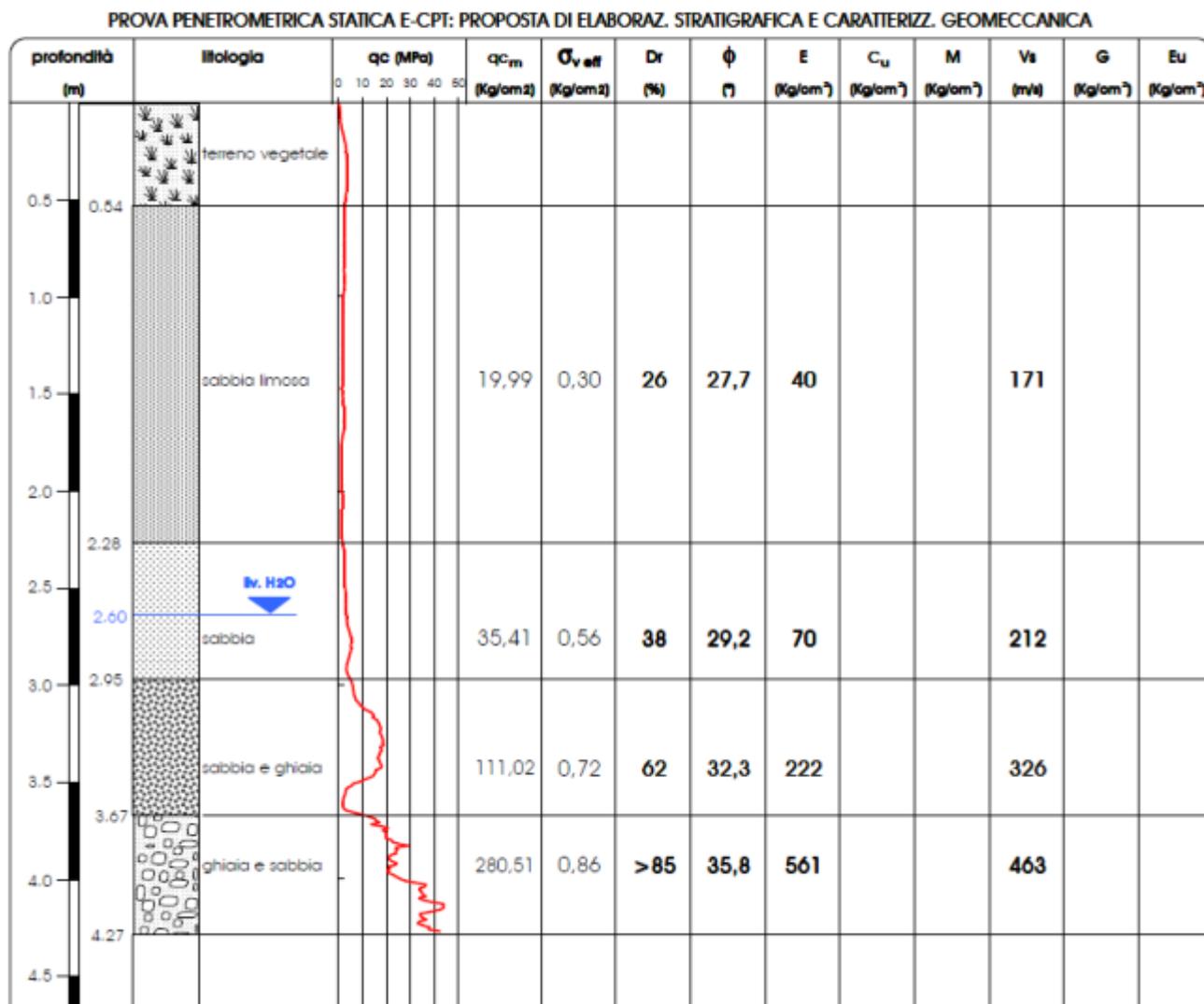
Nel sito in oggetto è stata eseguita una prova CPT2 e HVSR2 finalizzate all'individuazione e la caratterizzazione dei litotipi presenti.



Sulla base delle informazioni emerse dall'esecuzione di prove in sito effettuate, può essere così schematizzata:

PROVA N 2 del 16/05/2022

PROF.: 4,27 m



* I parametri caratteristici possono essere determinati secondo la formula semplificata di Schneider:

$$XK = X_{med} \left(1 + \frac{COV}{2} \right)$$

dove COV è il coefficiente di variazione, e Schneider raccomanda i seguenti

Angolo di attrito F	10%
Coesione	40%
Modulo di comprimibilità	40%

CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Per ciò che concerne il quadro idrogeologico dell'area, risulta ipotizzabile nell'area la presenza di una e/o più falde di limitato spessore e di scarsa estensione areale impostate all'interno della porzione medio-basale dei terreni continentali, così è presumibile la presenza di piccoli acquiferi confinati all'interno degli orizzonti sabbiosi intercalati all'interno del substrato. Verosimilmente la principale fonte di ricarica della falda suddetta rinvenuta nell'area è dovuta all'infiltrazione delle acque provenienti dal versante retrostante, così come non può essere esclusa come fonte di alimentazione le acque correnti superficiali dell'elemento idrografico secondario alla luce della quota di imposta dell'alveo dello stesso. Considerando lo spessore presunto degli acquiferi presenti, considerando la medio-bassa permeabilità dei terreni continentali in cui risulta impostata, è possibile prevedere complessivamente una modesta produttività degli stessi.

CATEGORIE STRATIGRAFICHE, TOPOGRAFICHE ED AZIONI SISMICHE

Sulla base dei risultati al sito può essere attribuito la **categoria "B" di sottosuolo**.

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.

Condizioni topografiche categoria T1, superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $< 15^\circ$ (Tabella 3.2.IV - Categorie topografiche)

- **Determinazione dell'amplificazione topografica :**

CATEGORIA	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclin. media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Estratto da D.M. 14/01/2008 – Tabella 3.2.IV

- **Determinazione dell'amplificazione stratigrafica :**

CATEGORIA di SOTTOSUOLO	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_c^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_c^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_c^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_c^*)^{-0.40}$

Estratto da D.M. 14/01/2008 – Tabella 3.2.V

Categoria topografica	α Inclinazione pendio	S_v	Ubicazione dell'opera	Altezza >30m
T1	=	1,0	-	
T2 Pendio o rilievi isolati	≤ 15	1,2	In corrispondenza della sommità del pendio	
T3 Rilievo con larghezza alla sommità molto inferiore a quella della base	$15 < \alpha \leq 30$	1,2	In corrispondenza della cresta del rilievo	
T4	≥ 30	1,4	In corrispondenza della cresta del rilievo	

Tab.3.2.IV Categorie topografiche

Per la valutazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si deve valutare la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Secondo il D.M. 14/01/2008, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{vR}, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

ag = accelerazione orizzontale massima al sito

F₀= 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

Considerando la posizione del sito, la Classe d'uso II (Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie, ecc.) e una Vita nominale di anni 50 (per opere ordinarie), si ottiene:

Stati limite

Classe Edificio: Classe Edificio

Affollamento normale. Assenza di furti, pubbliche e sociali.

Vita nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	β [m/s]	A_g [g]	F_0	T_c^* [s]
Operatività (SLO)	50	0.052	2.439	0.273
Danno (SLD)	50	0.067	2.429	0.293
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.178	2.448	0.330
Prevenzione collasso (SLC)	975	0.235	2.464	0.357

Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50

Coefficienti sismici

Tipo: Stabilità dei pendii e fondazioni

Fun di sostegno che non siano in grado di sudare spostamenti:

1 (0.0) 0.1 (0.0)

Cal. Sottosuoli: E

Cal. Topografica: T1

	SLD	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,17
CC Coeff. funz. categoria	1,43	1,41	1,37	1,37
ET Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Acc. max attesa al sito [m/s²]: 0.11

Coefficienti	SLD	SLD	SLV	SLC
ks	0.013	0.016	0.061	0.077
kv	0.006	0.008	0.026	0.028
Amas [m/s²]	0.416	0.764	2.069	3.650
Seta	0.200	0.200	0.240	0.280

Sito in esame.

latitudine: 43,203038

longitudine: 13,57432

Classe: 2

Vita nominale:50

Dott. Geol. Gabriele Cutini

Via A. Gentili n° 9 63837 Falerone (FM)

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 22756	Lat: 43,1849	Lon: 13,5586	Distanza: 2380,230
Sito 2	ID: 22757	Lat: 43,1849	Lon: 13,6272	Distanza: 4736,509
Sito 3	ID: 22535	Lat: 43,2349	Lon: 13,6273	Distanza: 5566,134
Sito 4	ID: 22534	Lat: 43,2349	Lon: 13,5587	Distanza: 3767,207

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente cu:	1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	[anni]
ag:	0,052	g
Fo:	2,439	
Tc*:	0,273	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	50	[anni]
ag:	0,067	g
Fo:	2,429	
Tc*:	0,293	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,178	g
Fo:	2,448	
Tc*:	0,329	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,235	g
Fo:	2,464	
Tc*:	0,337	[s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss:	1,200
Cc:	1,430
St:	1,000
Kh:	0,013
Kv:	0,006
Amax:	0,617
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,200
Cc:	1,410
St:	1,000
Kh:	0,016
Kv:	0,008
Amax:	0,784
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,200
-----	-------

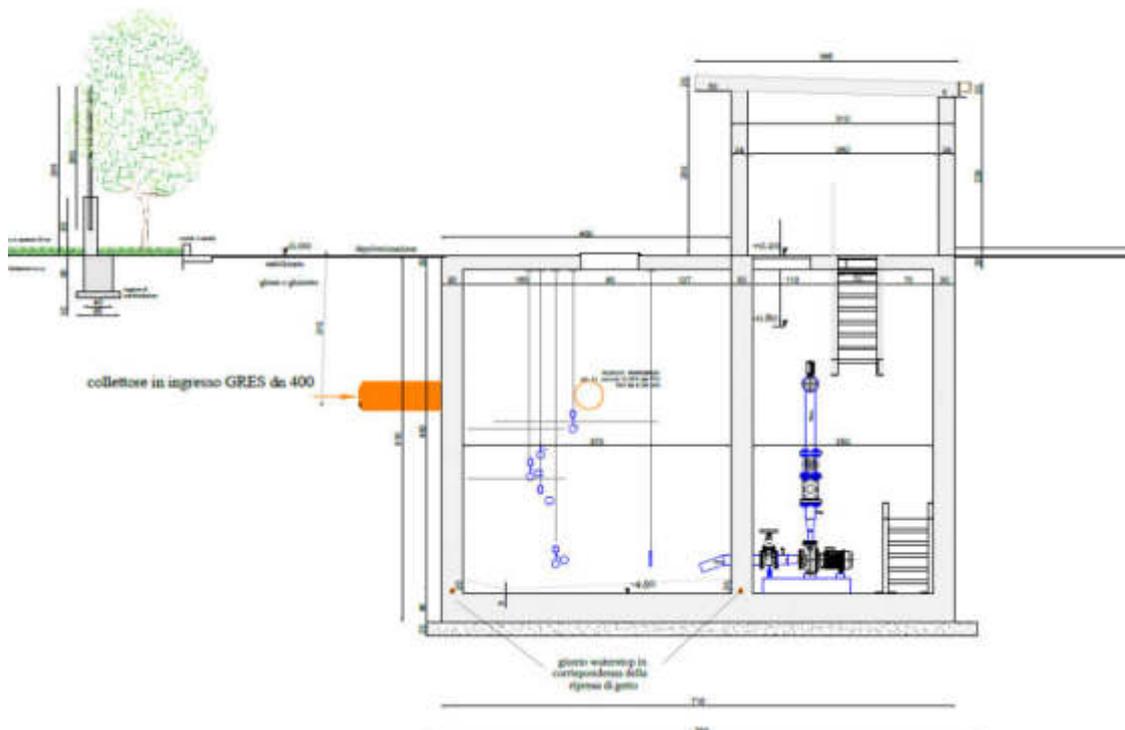
Cc: 1,370
 St: 1,000
 Kh: 0,051
 Kv: 0,026
 Amax: 2,100
 Beta: 0,240
 SLC:
 Ss: 1,170
 Cc: 1,370
 St: 1,000
 Kh: 0,077
 Kv: 0,038
 Amax: 2,695
 Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50
Geostru

Coordinate WGS84
 latitudine: 43.202086
 longitudine: 13.573399

INDICAZIONI DI CARATTERE GEOLOGICO-TECNICO

Alla luce delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e geomeccaniche dell'area, si esprime parere favorevole circa la fattibilità geologica dell'opera. Per ciò che concerne l'opera, il progetto prevede a sostegno dell'attraversamento da realizzare delle fondazioni su platea.



Fondazioni

Alla luce delle caratteristiche geomeccaniche della prova CPT2 e sismiche della prova HVSR2 dei terreni presenti, si consiglia una soluzione fondale superficiale tipo PLATEA per la realizzazione dell'impianto di sollevamento.

Per il dimensionamento della fondazione, sulla base delle *Nuove Norme Tecniche delle Costruzioni* (DM 2018), per ogni stato limite ultimo (SLU) deve essere rispettata la condizione:

$$Ed \leq Rd$$

dove:

E_d - valore di progetto dell'azione; R_d - valore di progetto della resistenza del sistema geotecnico:

$$R_d = \frac{1}{\gamma_R} R(\gamma_{F_k}; \gamma_{G_k}; \gamma_{Q_k}; \gamma_{M_k}; \gamma_{A_k}; \gamma_{S_k})$$

con:

γ_{F_k} = azioni di progetto;

$\gamma_{G_k}, \gamma_{Q_k}$ = parametri di progetto;

γ_{M_k} = geometria di progetto;

γ_R = coeff. di resistenza del sistema specifico per ogni singolo stato.

Il valore di progetto della Resistenza R_d può essere determinato in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici (X_k del terreno, diviso per il coefficiente parziale γ_M specificato nella successiva Tab.6.2.II:

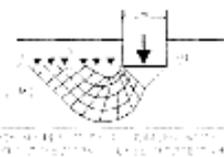
PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	γ_ϕ	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	γ_c	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γ_{cu}	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	γ	γ_γ	1,0	1,0

Infine i coefficienti parziali γ_R che operano direttamente sulla resistenza del sistema sono definiti per fondazioni superficiali nella seguente tabella:

Tabella 6.4.I - Coef. parziali γ_R per le verifiche agli stati limite ultimi di fondazioni superficiali

Verifica	Coefficiente parziale (R1)	Coefficiente parziale (R2)	Coefficiente parziale (R3)
Capacità portante	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,8$	$\gamma_R = 2,3$
Scorrimento	$\gamma_R = 1,0$	$\gamma_R = 1,1$	$\gamma_R = 1,1$

Il carico massimo ammissibile sopportabile dal terreno per fondazioni dirette può essere determinato mediante le seguenti relazioni di Terzaghi ed altri:

$$Q_d = (K_1 C N_c) - (K_2 \gamma D_f^2 N_q) - (K_3 B \gamma N_y)$$


dove:

- Q_d - carico unitario limite ultimo (di rottura);
- D_f - profondità del piano di posa rispetto al piano di sbancamento;
- γ - peso dell'unità di volume del terreno;
- γ' - peso dell'unità di volume del terreno immerso in acqua;
- A, B - dimensioni rispettivamente maggiore e minore della fondazione;
- N_c, N_q, N_y - coefficienti di capacità portante;
- K_1, K_2, K_3 - coefficienti di forma della fondazione (vedi tabella seguente).

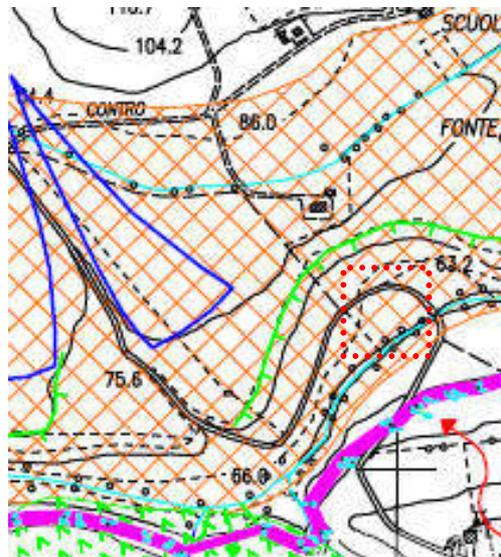
FORMA DELLA FONDAZIONE		coefficiente di forma		
		K1	K2	K3
Nastriforme	B	1	1	1
Quadrata	B=A	1.2	1	0.8
Retangolare	B>A	1+0.2(B/A)	1	1-0.2(B/A)

Alla luce del quadro idrogeologico riscontrato nell'area, risulta ipotizzabile la presenza di un falda freatica di limitata potenza impostata a circa 2.60 m all'interno del deposito alluvionale, per cui si consiglia di realizzazione le opere fondali nel periodo compreso tra Agosto-Settembre

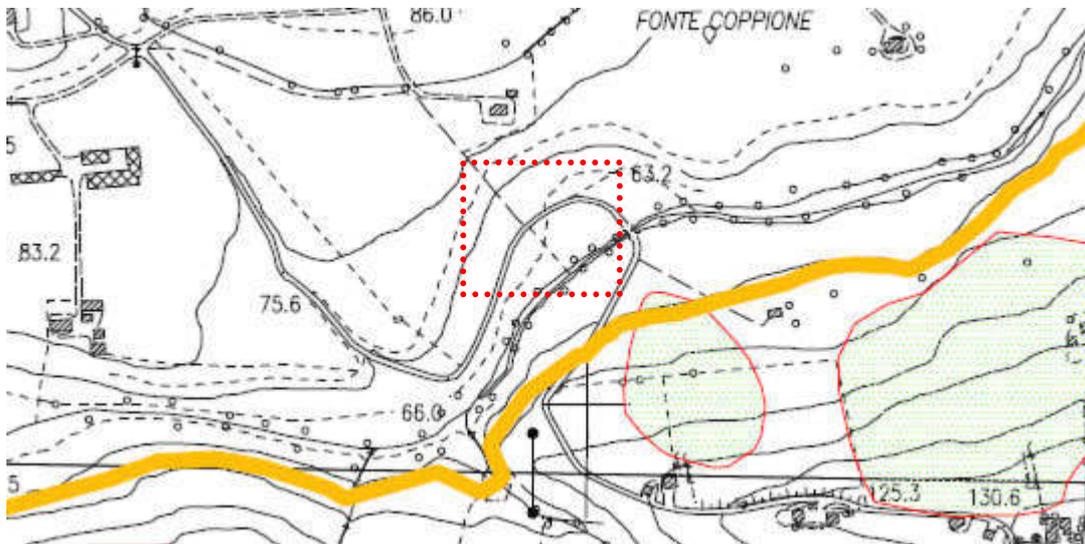
COMPATIBILITA' GEOMORFOLOGICA E IDRAULICA

Alla luce del quadro geomorfologico e idrogeologico riscontrato nell'area, risultano:

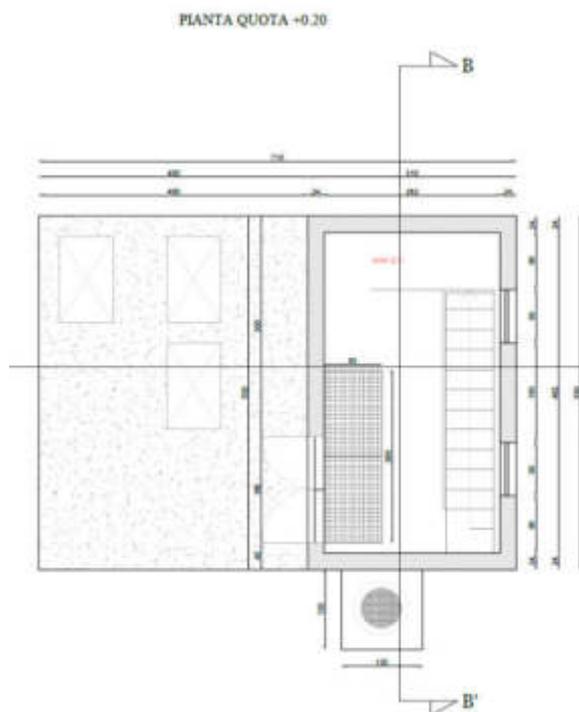
- assenti forme e processi geomorfologici



- l'area in esame non viene evidenziata dal Piano Assetto Idrogeologico della Regione Marche (PAI), che in questo tratto non individua aree a Rischio Frana o per esondazione



- ai fini della compatibilità idraulica nel sito in oggetto verrà realizzata una struttura di sollevamento in c.a. la cui superficie risulta essere inferiore a 100 mq.



Nel rispetto degli obiettivi dell'invarianza idraulica, che impone a chi effettua trasformazioni di uso del suolo l'onere di realizzare azioni compensative al fine di mantenere inalterata la capacità di un bacino di regolare le piene, gli interventi di trasformazione delle superfici vengono classificati, mediante soglie dimensionali, in base alle quali si applicano considerazioni differenziate in relazione all'effetto atteso dall'intervento stesso.

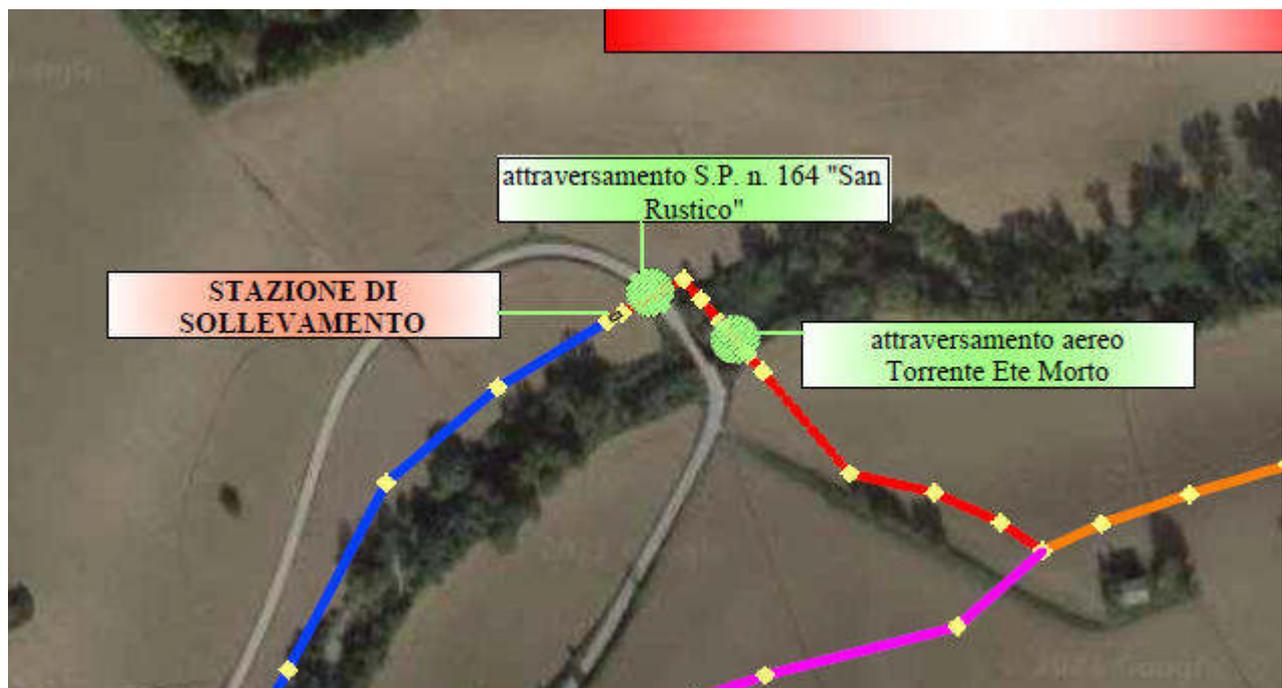
Secondo quanto disposto dal Titolo III della Delibera di Giunta Regionale delle Marche n. 53 del 27/01/2014 si fa riferimento alla seguente tabella:

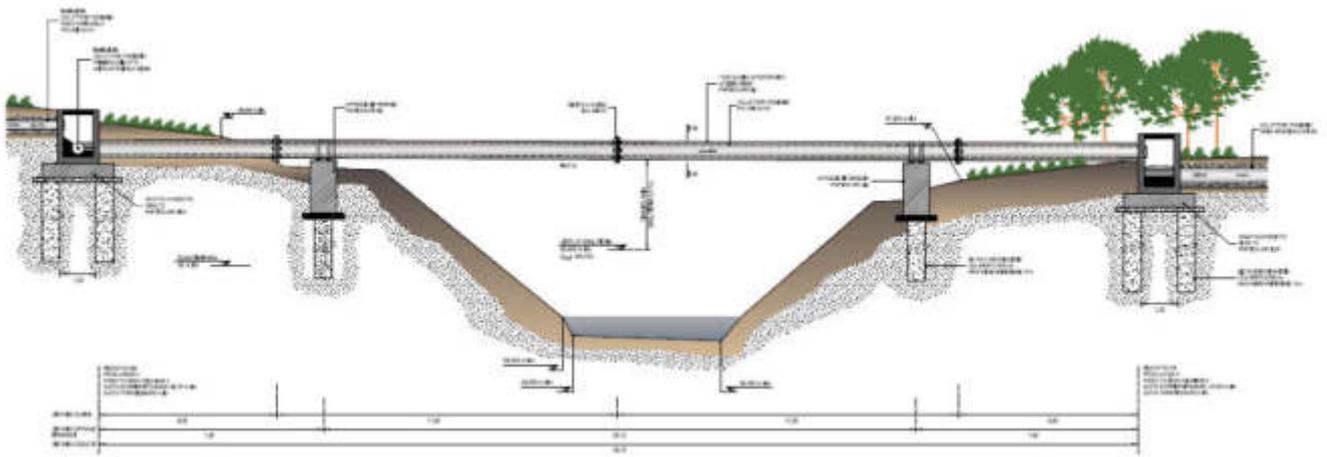
Classe di intervento	Definizione
Trascurabile impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici di estensione inferiore a 0.1 ha
Modesta impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici comprese tra 0.1 e 1.0 ha
Significativa impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici comprese tra 1.0 e 10 ha; interventi su superfici di estensione oltre 10 ha con $Imp < 0.3$
Marcata impermeabilizzazione potenziale	Intervento su superfici superiori a 10 ha con $Imp > 0.3$

Nel sito in oggetto rientriamo nel caso di **trascurabile impermeabilizzazione potenziale**, è sufficiente che i volumi disponibili per la laminazione soddisfino i requisiti dimensionali della formula (1) ad esclusione degli interventi comportanti la realizzazione di impermeabilizzazione per una superficie pari o inferiore a 100 mq; l'invarianza idraulica delle trasformazioni previste da progetto risulta garantita e rientra come classe d'intervento come trascurabile impermeabilizzazione.

4.4 Attraversamento Ete Morto – impianto sollevamento (lotto II)

La struttura in esame rappresenta un'opera di attraversamento ad una unica campata, che permetterà al tratto di condotta fognaria di superare in sospensione l'alveo dell'ETE MORTO per poi scorrere interrata in sinistra idrografica invece che in destra come il progetto in origine





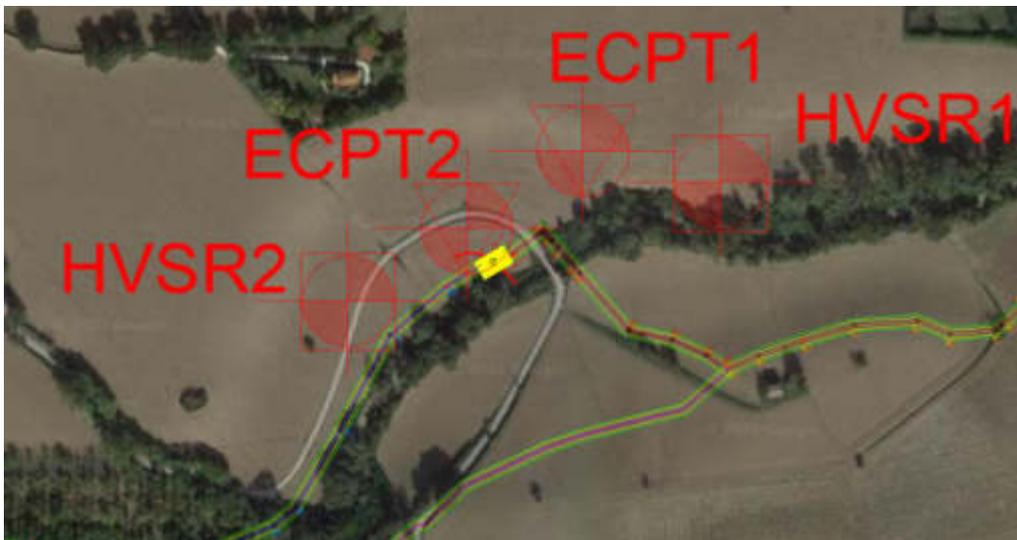
UBICAZIONE E CARATTERI GEOMORFOLOGICI

L'opera in progetto ricade subito a valle dell'impianto di sollevamento nella zona di Monte San Pietrangeli. Morfologicamente l'opera, ricade nel tratto intermedio considerato dell'asta fluviale principale del Fiume Ete Morto.

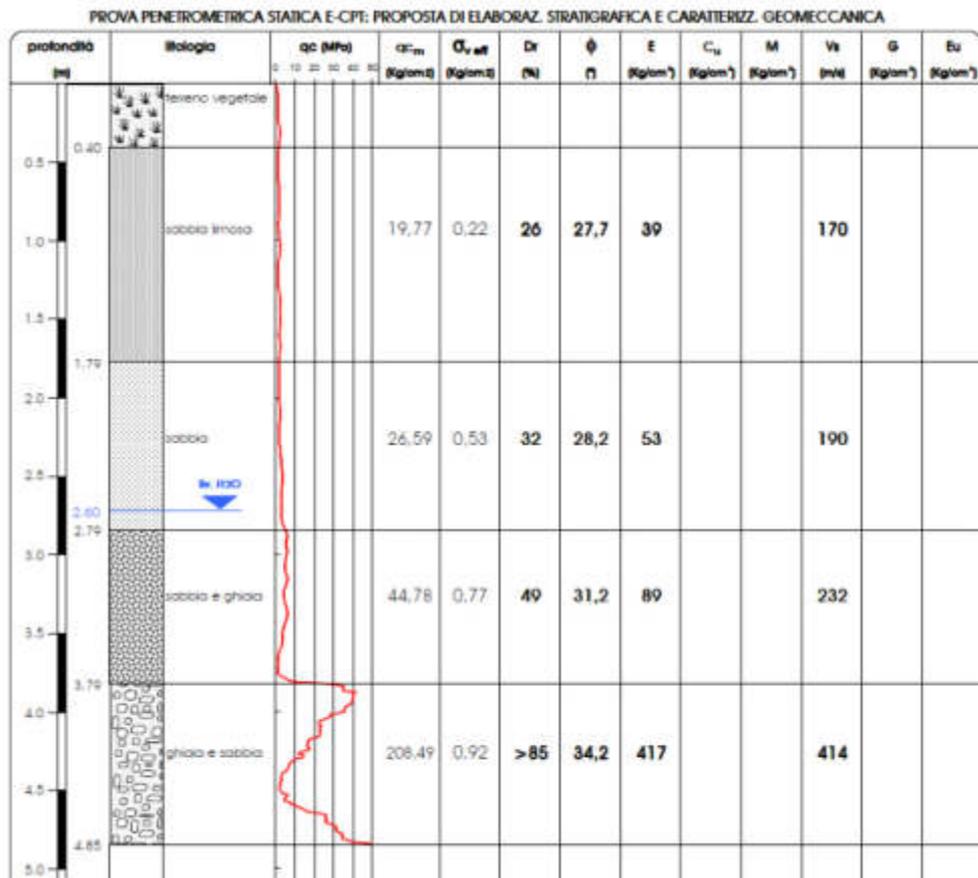
Per quanto riguarda i processi morfologici in atto, nel corso dei sopralluoghi non sono stati rilevati dei processi erosivi; l'area in esame non viene evidenziata dal Piano Assetto Idrogeologico della Regione Marche (PAI), che in questo tratto non individua aree a Rischio Frana o per esondazione.

CARATTERI LITOLOGICI

Nel sito in oggetto è stata eseguita una prova CPT1 e HVSR1 finalizzate all'individuazione e la caratterizzazione dei litotipi presenti.



Sulla base delle informazioni emerse dall'esecuzione di prove in sito effettuate CPT1 e HVSR 1, può essere così schematizzata:



CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Per ciò che concerne il quadro idrogeologico dell'area, risulta ipotizzabile nell'area la presenza di una e/o più falde di limitato spessore e di scarsa estensione areale impostate all'interno della porzione medio-basale dei terreni continentali, così è presumibile la presenza di piccoli acquiferi confinati all'interno degli orizzonti sabbiosi intercalati all'interno del substrato.

Verosimilmente la principale fonte di ricarica della falda suddetta rinvenuta nell'area a circa 2.60 m.

CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE

Alcune caratteristiche geotecniche dei terreni sono stati ottenuti dalla elaborazione e correlazione dei dati sperimentali e dalla prova penetrometrica statica eseguita, secondo le interpretazioni di Sanglerat, Terzaghi, D'Apollonia, Begemann, Schmertmann Gardner ed altri recenti autori.

Inoltre i parametri medi dei termini del substrato Pliocenico non raggiunti nel corso della prova penetrometrica, sono stati desunti dalla bibliografia e/o da studi pregressi reperiti.

Da quanto suddetto, le caratteristiche geomeccaniche di ogni singola unità litotecnica, equiparabili a quelle dei litotipi rinvenuti in corrispondenza dell'attraversamento più vicino, possono essere così riassunte:

PARAMETRI	unità misura	Litotipo "a" argilla limosa sabbioso	Litotipo "b" argilla stratificata a sabbia
γ	(g/cmc)	1,9	2.0
$\gamma_{\text{sat.}}$	(g/cmc)	2,1	-
γ'_k	(g/cmc)	1.90	2.0
Cu	(Kg/cmq)	0.6-1.3	2,7-3,5
C _{uk}	(Kg/cmq)	0,6	2,7
C'	(Kg/cmq)	0.0-0.05	0.2-0.4
C' _k	(Kg/cmq)	0.3	0,3
ϕ'	(gradi)	21-23°	23-26° (34-35°)
ϕ'_k	(gradi)	22°	24° (34°)
Ed	(Kg/cmq)	52-80	188-225
Es	(Kg/cmq)	-	(381-430)
Dr %		-	61-64
v		0,35	0.4
α		0,4	0,4
S _{med ult.}	(Kg/cmq)	-	0,3
Kh	(Kg/cmc)	0,6-1,0	2,6-3,1

La simbologia usata è la seguente:

γ	= peso di volume;
$\gamma_{\text{sat.}}$	= peso di volume saturo
C _u	= coesione non drenata;
C'	= coesione drenata;
ϕ'	= angolo di attrito drenato;
$\gamma'_k, C_{uk}, C'_k, \phi'_k$	= parametri caratteristici* del terreno (DM08)
Ed	= modulo edometrico;
Es	= modulo di elasticità;
Dr	= densità relativa
n	= coefficiente di Poisson;
α	= coefficiente di adesione palo-terreno;
S _{med ult.}	= resistenza media ultima terreni incoerenti;
Kh	= coeff. di rigidità laterale del terreno (palo del diam. 60 cm)

* I parametri caratteristici sono stati determinati secondo la formula semplificata di Schneider:

$$XK = X_{med} \left(1 + \frac{COV}{2} \right)$$

dove COV è il coefficiente di variazione, e Schneider raccomanda i seguenti valori:

Angolo di attrito F	10%
Coesione	40%
Modulo di comprimibilità	40%

CATEGORIE STRATIGRAFICHE, TOPOGRAFICHE ED AZIONI SISMICHE

Sulla base dei risultati al sito può essere attribuito la **categoria "B" di sottosuolo**.

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.

Condizioni topografiche categoria T1, superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media < 15° (Tabella 3.2.IV - Categorie topografiche)

- **Determinazione dell'amplificazione topografica :**

CATEGORIA	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclin. media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Estratto da D.M. 14/01/2008 – Tabella 3.2.IV

- **Determinazione dell'amplificazione stratigrafica :**

CATEGORIA di SOTTOSUOLO	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_c^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_c^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_c^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_c^*)^{-0.40}$

Categoria topografica	α Inclinazione pendio	S_r	Ubicazione dell'opera	Altezza >30m
T1	=	1,0	-	
T2 Pendio o rilievi isolati	≤ 15	1,2	In corrispondenza della sommità del pendio	
T3 Rilievo con larghezza alla sommità molto inferiore a quella della base	$15 < \alpha < 30$	1,2	In corrispondenza della cresta del rilievo	
T4	≥ 30	1,4	In corrispondenza della cresta del rilievo	

Tab.3.2.IV Categorie topografiche

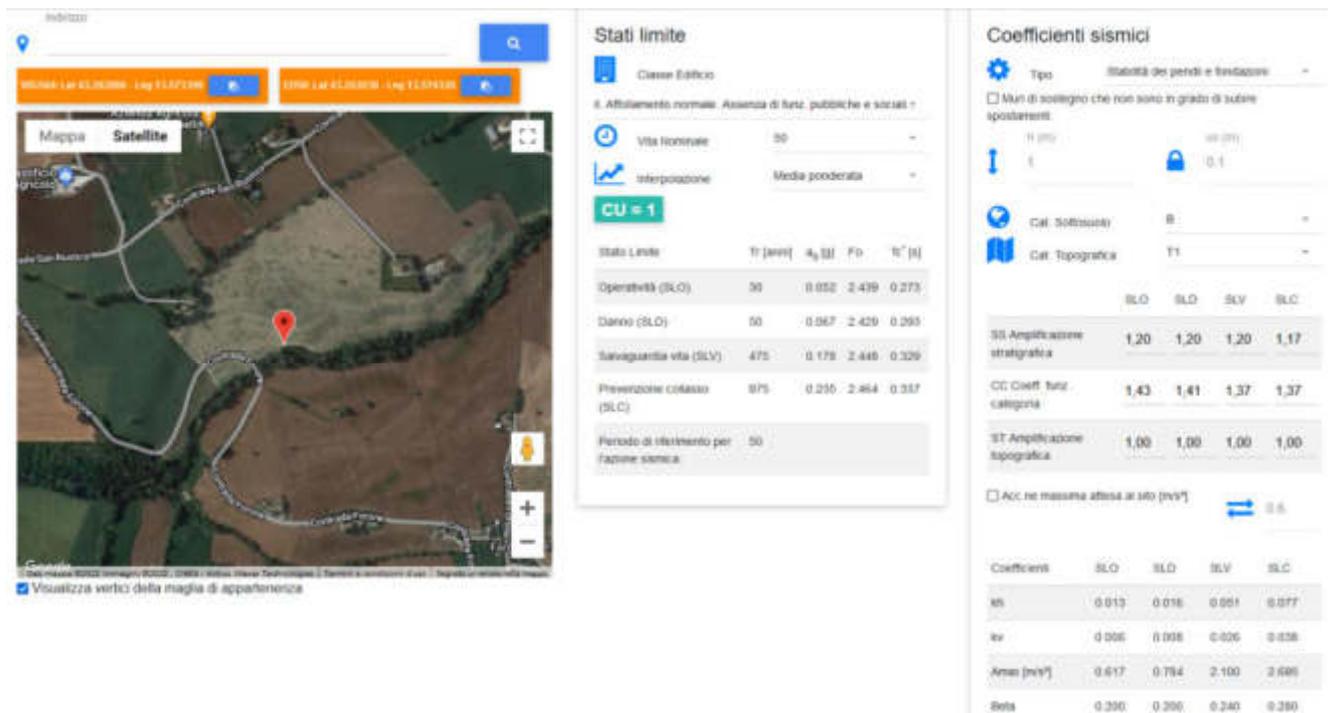
Per la valutazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si deve valutare la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Secondo il D.M. 14/01/2008, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PvR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito

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

Considerando la posizione del sito, la Classe d'uso II (Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie, ecc.) e una Vita nominale di anni 50 (per opere ordinarie), si ottiene:



Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
k_0	0,013	0,016	0,051	0,077
k_v	0,006	0,008	0,026	0,038
A_{max} [m/s ²]	0,617	0,784	2,100	2,686
$S_{0,5}$	0,350	0,390	0,340	0,380

Sito in esame.

latitudine: 43,203038

longitudine: 13,57432

Classe: 2

Vita nominale:50

Dott. Geol. Gabriele Cutini

Via A. Gentili n° 9 63837 Falerone (FM)

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 22756	Lat: 43,1849	Lon: 13,5586	Distanza: 2380,230
Sito 2	ID: 22757	Lat: 43,1849	Lon: 13,6272	Distanza: 4736,509
Sito 3	ID: 22535	Lat: 43,2349	Lon: 13,6273	Distanza: 5566,134
Sito 4	ID: 22534	Lat: 43,2349	Lon: 13,5587	Distanza: 3767,207

Parametri sismici

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1
Periodo di riferimento:	50anni
Coefficiente cu:	1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento:	81	%
Tr:	30	[anni]
ag:	0,052	g
Fo:	2,439	
Tc*:	0,273	[s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento:	63	%
Tr:	50	[anni]
ag:	0,067	g
Fo:	2,429	
Tc*:	0,293	[s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,178	g
Fo:	2,448	
Tc*:	0,329	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,235	g
Fo:	2,464	
Tc*:	0,337	[s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss:	1,200
Cc:	1,430
St:	1,000
Kh:	0,013
Kv:	0,006
Amax:	0,617
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,200
Cc:	1,410
St:	1,000
Kh:	0,016
Kv:	0,008
Amax:	0,784
Beta:	0,200

SLV:

Ss:	1,200
-----	-------

Cc: 1,370
St: 1,000
Kh: 0,051
Kv: 0,026
Amax: 2,100
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,170
Cc: 1,370
St: 1,000
Kh: 0,077
Kv: 0,038
Amax: 2,695
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.202086

longitudine: 13.573399

INDICAZIONI DI CARATTERE GEOLOGICO-TECNICO

Alla luce delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e geomeccaniche dell'area, si esprime parere favorevole circa la fattibilità geologica dell'opera. Per ciò che concerne l'opera, il progetto prevede a sostegno dell'attraversamento da realizzare delle fondazioni profonde su pali trivellati collegate in testa da un plinto.

Fondazioni

Alla luce delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni presenti, si consiglia di porre a sostegno dell'attraversamento da realizzare delle fondazioni profonde su pali trivellati, ben armati per tutta la lunghezza e fortemente collegati in testa fra loro, intestati all'interno della formazione marina (argilla stratificata a sabbia -litotipo "b").

I pali quindi dovranno essere di una lunghezza tale da addentrarsi sufficientemente (3.5-5 diametri) nella formazione il cui tetto risulta ipotizzato, ad una profondità di 6.0 mt. rispetto all'attuale piano campagna. La lunghezza, diametro ed interasse dei pali dovranno essere scelti in funzione delle sollecitazioni trasmesse dall'insieme terreno-struttura ai pali stessi.

Per il dimensionamento della nuova fondazione, si dovrà far riferimento a quanto stabilito e dalle Nuove Norme Tecniche delle costruzioni (DM 2018), i cui principi e tabelle riassuntive sono stati precedentemente riportati in dettaglio, così come per il calcolo della portanza assiale di un palo trivellato possono essere adottate le relazioni di Terzaghi ed altri precedentemente elencate.

A titolo di esempio si riportano i valori di portanza utile per un palo singolo privo di interazione con gli

altri elementi fondali, di diverso diametro, calcolati sulla base dei parametri dati:

Verticale tipo

Approccio 1 -Combinazione 1 - A1+M1+R1

D	L*	<u>Rb</u>	<u>Rs</u>	<u>Rd</u>
0,40	12	30,52	49,59	47,12
0,50	12	47,69	61,98	64,51
0,60	12	68,67	74,38	84,15
0,70	12	93,47	86,78	106,03
0,80	12	122,08	99,17	130,15

Approccio 1 -Combinazione 2 - A2+M1*+R2

D	L*	<u>Rb</u>	<u>Rs</u>	<u>Rd</u>
0,40	12	17,95	37,84	32,82
0,50	12	28,05	46,39	43,79
0,60	12	40,40	54,93	56,08
0,70	12	54,98	63,48	69,69
0,80	12	71,81	72,03	84,62

(*) Circolare n.617 del 02/02/09 del Ministero delle Infrastrutture

Approccio 2 -Combinazione - A1+M1+R3

D	L*	R _b	R _s	R _d
0,40	12	22,61	43,12	38,66
0,50	12	35,33	53,90	52,48
0,60	12	50,87	64,68	67,97
0,70	12	69,24	75,46	85,11
0,80	12	90,43	86,24	103,92

D = diametro del palo (mt);
L = lunghezza (mt);
R_b = portanza di punta (ton);
R_s = sommatoria delle portanze laterali dei singoli tratti (ton);
R_d = portanza totale (ton);

** Alla lunghezza dei pali va detratto e/o aggiunto il valore in metri dell'eventuale differenza di quota tra il piano campagna attuale considerata nei calcoli e quella del piano di progetto reale.*

Si reputa necessario verificare, in fase esecutiva, la profondità reale del tetto del sub-strato in cui dovranno essere necessariamente intestati i pali di fondazione.

Si consiglia pertanto di fare particolare attenzione in occasione della realizzazione dei pali, interrompendo lo scavo degli stessi solo dopo il raggiungimento del substrato marino, considerando che nel calcolo della portanza si è tenuto conto che i pali dovranno essere tutti di una lunghezza tale da addentrarsi per una profondità minima di 4.0 metri nella formazione marina (profondità a cui si riferiscono i calcoli delle portanze sopra riportati).

Nel caso l'interasse dei pali, attualmente non conosciuto, risultasse tale da determinare una sovrapposizione dei bulbi delle pressioni, l'opera andrà dimensionata come una palificata.

Nel caso i carichi di esercizio risultassero superiori a quelli calcolati e tabulati per pali di diverso diametro e lunghezza, si consiglia di optare per un aumento della lunghezza piuttosto che un incremento del diametro dei pali, visto il progressivo accrescimento del grado di sovraconsolidazione e quindi delle caratteristiche geomeccaniche del substrato con la profondità.

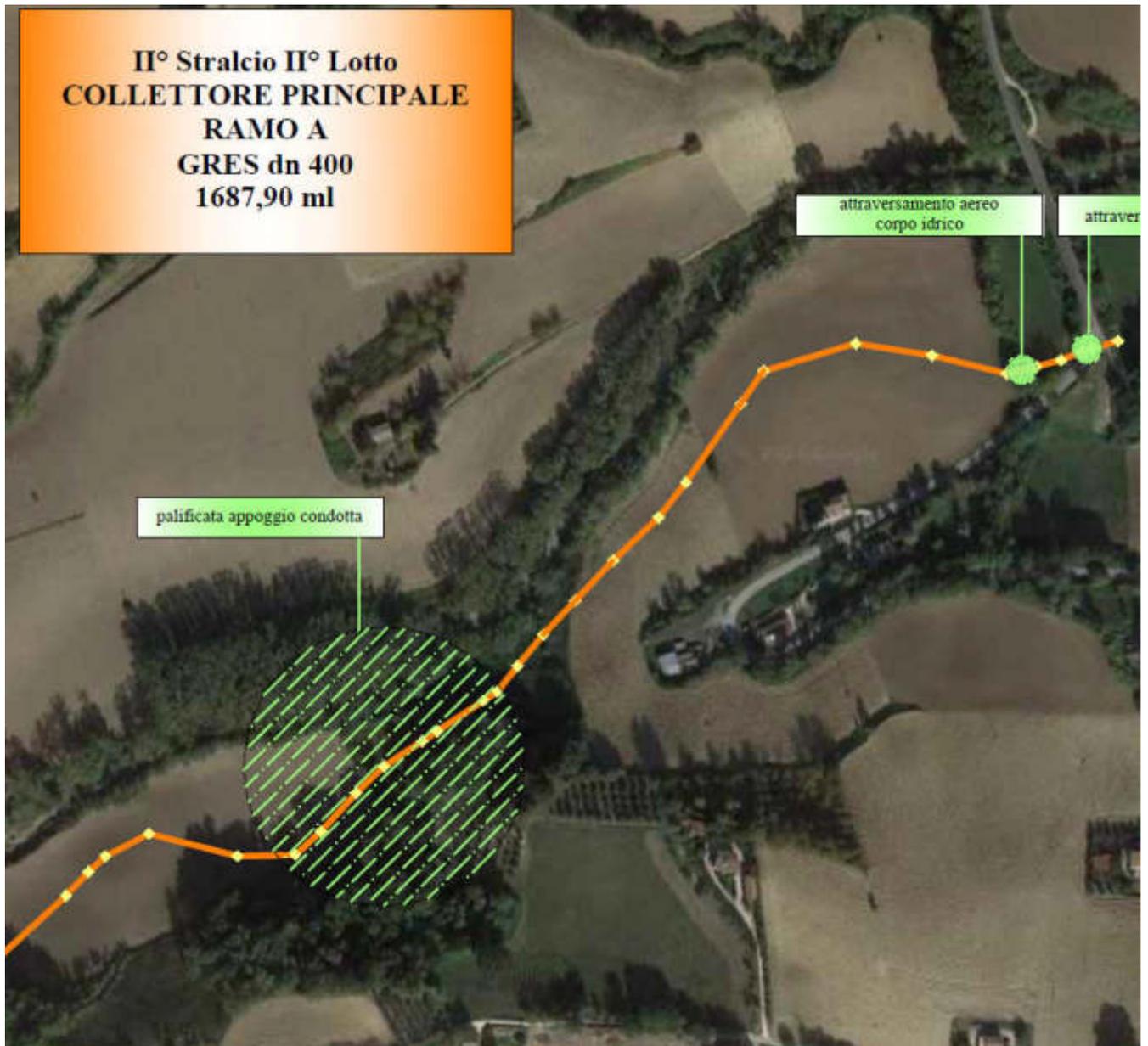
Alla luce del quadro idrogeologico riscontrato nell'area, risulta ipotizzabile la presenza di un falda freatica di limitata potenza impostata alla base del deposito alluvionale, per cui si consiglia di realizzazione le opere fondali nel periodo compreso tra Agosto-Settembre e soprattutto di eseguire il getto dei pali, con estrema celerità, al fine di evitare il crollo delle pareti di scavo a seguito di

abbondanti venute d'acqua in foro che renderebbe necessario l'utilizzo di camicie (ipotesi probabile) per la realizzazione dei pali di fondazione.

Visto il grado di consolidazione del substrato di fondazione, si tralascia il calcolo dei cedimenti, in quanto trascurabili e comunque perfettamente accettabili dalla strutture da realizzare.

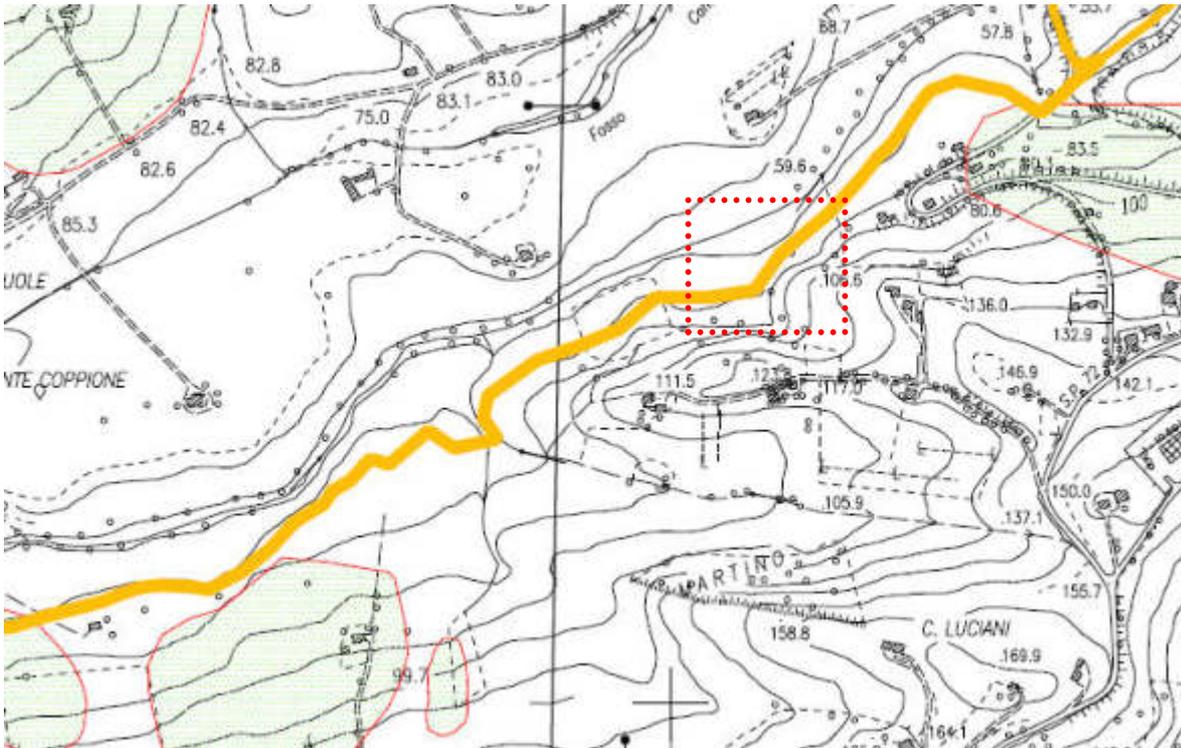
4.5 Condotta sospesa su pali trivellati (lotto II)

La struttura in esame rappresenta un'opera che permetterà al tratto di condotta fognaria di superare in sospensione la zona con dislivello per poi scorrere interrata in sinistra idrografica.



UBICAZIONE E CARATTERI GEOMORFOLOGICI

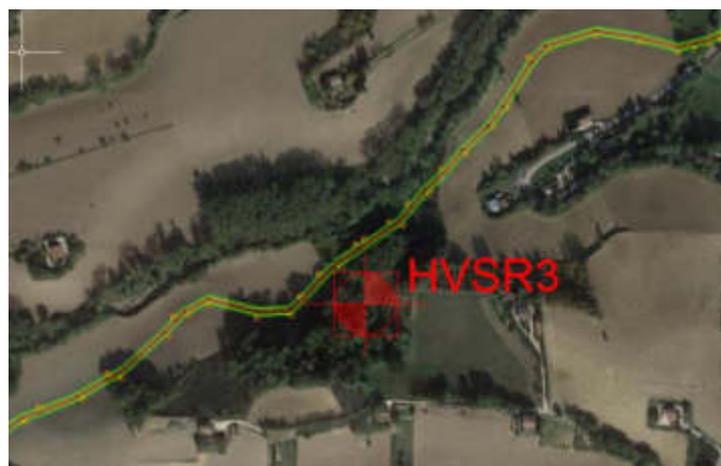
L'opera in progetto ricade subito a valle dell'impianto di sollevamento nella zona di Monte San Pietrangeli. Morfologicamente l'opera, ricade nel tratto intermedio considerato dell'asta fluviale principale del Fiume Ete Morto.



Per quanto riguarda i processi morfologici in atto, nel corso dei sopralluoghi non sono stati rilevati dei processi erosivi; l'area in esame non viene evidenziata dal Piano Assetto Idrogeologico della Regione Marche (PAI), che in questo tratto non individua aree a Rischio Frana o per esondazione.

CARATTERI LITOLOGICI

Nel sito in oggetto è stata eseguita una HVSR3 finalizzata all'individuazione e la caratterizzazione dei litotipi presenti sotto il profilo sismico.



L'inaccessibilità attuale dell'area dovuta alla mancanza di strade di accesso alla zona di intervento,

non ha reso possibile l'esecuzione di prove in sito finalizzate all'individuazione e la caratterizzazione dei litotipi presenti. Sulla base comunque della informazioni emerse dall'esecuzione di prove in sito effettuate su aree morfologicamente e geologicamente simili e confinanti, può essere ipotizzata la presenza, al di sotto di un limitato spessore di terreno vegetale, di un discreto spessore di sedimenti limoso argillosi mediamente consistenti genesi eluvio-colluviale, al di sotto dei quali si rinvencono i sedimenti della successione marina Pliocenica costituiti da un'alternanza stratificata di argille siltose grigio-azzurrognole e sottili livelli sabbiosi caratterizzati da buone qualità geomeccaniche.

CARATTERISTICHE IDROGEOLOGICHE

Per ciò che concerne il quadro idrogeologico dell'area, risulta ipotizzabile nell'area la presenza di una e/o più falde di limitato spessore e di scarsa estensione areale impostate all'interno della porzione medio-basale dei terreni continentali, così è presumibile la presenza di piccoli acquiferi confinati all'interno degli orizzonti sabbiosi intercalati all'interno del substrato.

Verosimilmente la principale fonte di ricarica della falda suddetta rinvenuta nell'area è dovuta all'infiltrazione delle acque provenienti dal versante retrostante, così come non può essere esclusa come fonte di alimentazione le acque correnti superficiali dell'elemento idrografico secondario alla luce della quota di imposta dell'alveo dello stesso.

Considerando lo spessore presunto degli acquiferi presenti, considerando la medio-bassa permeabilità dei terreni continentali in cui risulta impostata, è possibile prevedere complessivamente una modesta produttività degli stessi.

CARATTERISTICHE GEOMECCANICHE

Alcune caratteristiche geotecniche dei terreni sono stati ottenuti dalla elaborazione e correlazione dei dati sperimentali e dalla prova penetrometrica statica eseguita, secondo le interpretazioni di Sanglerat, Terzaghi, D'Apollonia, Begemann, Schmertmann Gardner ed altri recenti autori.

Inoltre i parametri medi dei termini del substrato Pliocenico non raggiunti nel corso della prova penetrometrica, sono stati desunti dalla bibliografia e/o da studi pregressi reperiti.

Da quanto suddetto, le caratteristiche geomeccaniche di ogni singola unità litotecnica, equiparabili a quelle dei litotipi rinvenuti in corrispondenza dell'attraversamento più vicino, possono essere così riassunte:

PARAMETRI	unità misura	Litotipo "a" argilla limosa sabbioso	Litotipo "b" argilla stratificata a sabbia
γ	(g/cmc)	1,9	2.0
$g_{\square sat.}$	(g/cmc)	2,1	-
$\gamma'k$	(g/cmc)	1.90	2.0
Cu	(Kg/cmq)	0.6-1.3	2,7-3,5
Cuk	(Kg/cmq)	0,6	2,7

C'	(Kg/cmq)	0.0-0.05	0.2-0.4
C'k	(Kg/cmq)	0.3	0,3
ϕ'	(gradi)	21-23°	23-26° (34-35°)
ϕ' k	(gradi)	22°	24° (34°)
Ed	(Kg/cmq)	52-80	188-225
Es	(Kg/cmq)	-	(381-430)
Dr %		-	61-64
V		0,35	0.4
α		0,4	0,4
S _{med ult.}	(Kg/cmq)	-	0,3
Kh	(Kg/cm)	0,6-1,0	2,6-3,1

La simbologia usata è la seguente:

γ	= peso di volume;
γ_{sat}	= peso di volume saturo
C_u	= coesione non drenata;
C'	= coesione drenata;
ϕ'	= angolo di attrito drenato;
$\gamma'_k, C'_{uk}, C'_k, \phi'_k$	= parametri caratteristici* del terreno (DM08)
Ed	= modulo edometrico;
Es	= modulo di elasticità;
Dr	= densità relativa
n	= coefficiente di Poisson;
α	= coefficiente di adesione palo-terreno;
S _{med ult.}	= resistenza media ultima terreni incoerenti;
Kh	= coeff. di rigidezza laterale del terreno (palo del diam. 60 cm)

* I parametri caratteristici sono stati determinati secondo la formula semplificata di Schneider:

$$X_k = X_{\text{med}} \left(1 - \frac{\text{COV}}{2} \right)$$

dove COV è il coefficiente di variazione, e Schneider raccomanda i seguenti valori:

Angolo di attrito F	10%
Coesione	40%
Modulo di comprimibilità	40%

Sulla base dei risultati al sito può essere attribuito la **categoria "C" di sottosuolo**.

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.

Condizioni topografiche categoria T2, superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media >15° (Tabella 3.2.IV - Categorie topografiche)

- **Determinazione dell'amplificazione topografica :**

CATEGORIA	Caratteristiche della superficie topografica
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$
T2	Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclin. media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$

Estratto da D.M. 14/01/2008 – Tabella 3.2.IV

- **Determinazione dell'amplificazione stratigrafica :**

CATEGORIA di SOTTOSUOLO	S_s	C_c
A	1.00	1.00
B	$1.00 \leq 1.40 - 0.40 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.20$	$1.10 \cdot (T_c^*)^{-0.20}$
C	$1.00 \leq 1.70 - 0.60 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.50$	$1.05 \cdot (T_c^*)^{-0.33}$
D	$0.90 \leq 2.40 - 1.50 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.80$	$1.25 \cdot (T_c^*)^{-0.50}$
E	$1.00 \leq 2.00 - 1.10 \cdot F_0 \cdot a_g/g \leq 1.60$	$1.15 \cdot (T_c^*)^{-0.40}$

Estratto da D.M. 14/01/2008 – Tabella 3.2.V

Categoria topografica	Inclinazione pendio	S_s	Ubicazione dell'opera	Altezza >30m
T1	$\leq 15^\circ$	1,0	-	$S_s = 1,0$
T2	$> 15^\circ$	1,2	In corrispondenza della sommità del pendio	$S_s = 1,2$
T3	$15^\circ < i < 30^\circ$	1,2	In corrispondenza della cresta del rilievo	$S_s = 1,2$
T4	$> 30^\circ$	1,4	In corrispondenza della cresta del rilievo	$S_s = 1,4$

Tab.3.2.IV Categorie topografiche

Per la valutazione delle azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si deve valutare la "pericolosità sismica di base" del sito di costruzione. Secondo il D.M. 14/01/2008, le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PvR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

a_g = accelerazione orizzontale massima al sito

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

Considerando la posizione del sito, la Classe d'uso II (Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie, ecc.) e una Vita nominale di anni 50 (per opere ordinarie), si ottiene:

Stati limite

Classe Edificio: I. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali.

Vita nominale: 50

Interpolazione: Media ponderata

CU = 1

Stato Limite	T1 [anni]	Ag [g]	F0	Tc* [s]
Operatività (SLO)	30	0.052	2.437	0.274
Danno (SLD)	50	0.066	2.428	0.293
Salvaguardia vita (SLV)	475	0.179	2.452	0.328
Prevenzione collassi (SLC)	875	0.236	2.468	0.359
Periodo di riferimento per l'azione sismica	30			

Coefficienti sismici

Stato Limite: C

Cat. Topografica: T2

	SLO	SLD	SLV	SLC
SS Amplificazione sismologica	1,50	1,50	1,44	1,35
CC Coeff. Auto categoria	1,61	1,57	1,52	1,51
ST Amplificazione topografica	1,20	1,20	1,20	1,20

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
SI	0.019	0.024	0.074	0.107
SI	0.009	0.012	0.037	0.053
Amaz [m/s ²]	0.923	1.172	3.834	3.745
beta	0.200	0.200	0.240	0.280

Sito in esame.

latitudine: 43,206587
 longitudine: 13,587043
 Classe: 2
 Vita nominale:50

Siti di riferimento

Sito	ID	Lat	Lon	Distanza
Sito 1	22756	43,1849	13,5586	3330,923
Sito 2	22757	43,1849	13,6272	4050,527
Sito 3	22535	43,2349	13,6273	4533,284
Sito 4	22534	43,2349	13,5587	3901,958

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C
 Categoria topografica: T2
 Periodo di riferimento: 50anni
 Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):
 Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 30 [anni]

ag: 0,052 g
Fo: 2,437
Tc*: 0,274 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
Tr: 50 [anni]
ag: 0,066 g
Fo: 2,428
Tc*: 0,293 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %
Tr: 475 [anni]
ag: 0,179 g
Fo: 2,452
Tc*: 0,328 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %
Tr: 975 [anni]
ag: 0,236 g
Fo: 2,468
Tc*: 0,335 [s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss: 1,500
Cc: 1,610
St: 1,200
Kh: 0,019
Kv: 0,009
Amax: 0,923
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500
Cc: 1,570
St: 1,200
Kh: 0,024
Kv: 0,012
Amax: 1,172
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,440
Cc: 1,520
St: 1,200
Kh: 0,074
Kv: 0,037
Amax: 3,034
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,350
Cc: 1,510
St: 1,200
Kh: 0,107
Kv: 0,053
Amax: 3,745
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 43.205636 longitudine: 13.586122

Dott. Geol. Gabriele Cufini

Via A. Gentili n° 9 63837 Falerone (FM)

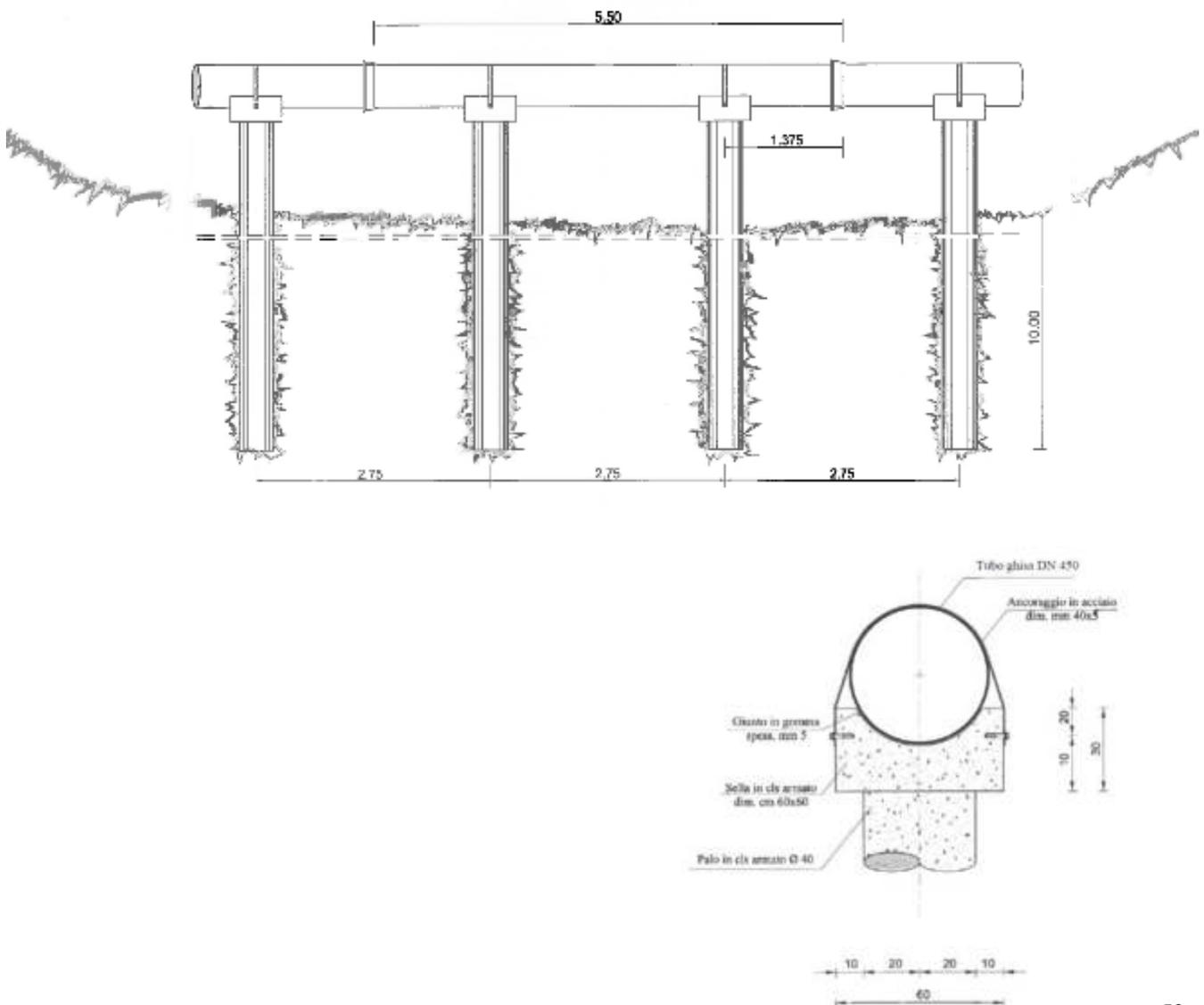
INDICAZIONI DI CARATTERE GEOLOGICO-TECNICO

Alla luce delle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, idrogeologiche e geomeccaniche dell'area, si esprime parere favorevole circa la fattibilità geologica dell'opera. Per ciò che concerne l'opera, il progetto prevede a sostegno della condotta da realizzare delle fondazioni profonde su pali trivellati collegate in testa.

Fondazioni

Alla luce delle caratteristiche geomeccaniche dei terreni presenti, si consiglia di porre a sostegno della condotta da realizzare delle fondazioni profonde su pali trivellati, ben armati per tutta la lunghezza e fortemente collegati in testa fra loro, intestati all'interno della formazione marina (argilla stratificata a sabbia -litotipo "b").

SCHEMA PALI DI FONDAZIONE



I pali quindi dovranno essere di una lunghezza tale da addentrarsi sufficientemente (3.5-5 diametri) nella formazione il cui tetto risulta ipotizzato, ad una profondità di 7.0 mt. rispetto all'attuale piano campagna. La lunghezza, diametro ed interasse dei pali dovranno essere scelti in funzione delle sollecitazioni trasmesse dall'insieme terreno-struttura ai pali stessi.

Per il dimensionamento della nuova fondazione, si dovrà far riferimento a quanto stabilito e dalle Nuove Norme Tecniche delle costruzioni (DM 2018), i cui principi e tabelle riassuntive sono stati precedentemente riportati in dettaglio, così come per il calcolo della portanza assiale di un palo trivellato possono essere adottate le relazioni di Terzaghi ed altri precedentemente elencate.

A titolo di esempio si riportano i valori di portanza utile per un palo singolo privo di interazione con gli altri elementi fondali, di diverso diametro, calcolati sulla base dei parametri dati:

Verticale tipo

Approccio 1 -Combinazione 1 - A1+M1+R1

D	L*	<u>R_b</u>	<u>R_s</u>	<u>R_d</u>
0,40	12	30,52	49,59	47,12
0,50	12	47,69	61,98	64,51
0,60	12	68,67	74,38	84,15
0,70	12	93,47	86,78	106,03
0,80	12	122,08	99,17	130,15

Approccio 1 -Combinazione 2 - A2+M1*+R2

D	L*	<u>R_b</u>	<u>R_s</u>	<u>R_d</u>
0,40	12	17,95	37,84	32,82
0,50	12	28,05	46,39	43,79
0,60	12	40,40	54,93	56,08
0,70	12	54,98	63,48	69,69
0,80	12	71,81	72,03	84,62

(*) Circolare n.617 del 02/02/09 del Ministero delle Infrastrutture

D	L*	<u>R_b</u>	<u>R_s</u>	<u>R_d</u>
0,40	12	22,61	43,12	38,66
0,50	12	35,33	53,90	52,48
0,60	12	50,87	64,68	67,97
0,70	12	69,24	75,46	85,11
0,80	12	90,43	86,24	103,92

D = diametro del palo (mt);
L = lunghezza (mt);
R_b = portanza di punta (ton);
R_s = sommatoria delle portanze laterali dei singoli tratti (ton);
R_d = portanza totale (ton);

* Alla lunghezza dei pali va detratto e/o aggiunto il valore in metri dell'eventuale differenza di quota tra il piano campagna attuale considerata nei calcoli e quella del piano di progetto reale.

Si reputa necessario verificare, in fase esecutiva, la profondità reale del tetto del sub-strato in cui dovranno essere necessariamente intestati i pali di fondazione.

Si consiglia pertanto di fare particolare attenzione in occasione della realizzazione dei pali, interrompendo lo scavo degli stessi solo dopo il raggiungimento del substrato marino, considerando che nel calcolo della portanza si è tenuto conto che i pali dovranno essere tutti di una lunghezza tale da addentrarsi per una profondità minima di 4.0 metri nella formazione marina (profondità a cui si riferiscono i calcoli delle portanze sopra riportati). Nel caso l'interesse dei pali, attualmente non conosciuto, risultasse tale da determinare una sovrapposizione dei bulbi delle pressioni, l'opera andrà dimensionata come una palificata.

Nel caso i carichi di esercizio risultassero superiori a quelli calcolati e tabulati per pali di diverso diametro e lunghezza, si consiglia di optare per un aumento della lunghezza piuttosto che un incremento del diametro dei pali, visto il progressivo accrescimento del grado di sovraconsolidazione e quindi delle caratteristiche geomeccaniche del substrato con la profondità.

Alla luce del quadro idrogeologico riscontrato nell'area, risulta ipotizzabile la presenza di un falda freatica di limitata potenza impostata alla base del deposito alluvionale, per cui si consiglia di realizzazione le opere fondali nel periodo compreso tra Agosto-Settembre e soprattutto di eseguire il getto dei pali, con estrema celerità, al fine di evitare il crollo delle pareti di scavo a seguito di abbondanti venute d'acqua in foro che renderebbe necessario l'utilizzo di camicie (ipotesi probabile) per la realizzazione dei pali di fondazione.

Visto il grado di consolidazione del substrato di fondazione, si tralascia il calcolo dei cedimenti, in quanto trascurabili e comunque perfettamente accettabili dalla strutture da realizzare.

5. CONCLUSIONI

Alla luce dei risultati emersi nel corso del presente studio si esprime complessivamente parere favorevole in merito alla fattibilità dell'opera in esame.

Si ritiene necessaria nel corso dell'esecuzione delle opere fondali, la direzione dei lavori di carattere geologico al fine di valutare immediatamente e correttamente eventuali difformi scenari geologici che dovessero emergere nel corso dell'esecuzione dei lavori.

La presente relazione, a corredo della documentazione progettuale come elaborato integrativo è stata redatta secondo variazioni e/o integrazioni progettuali designate da Tennacola Spa.

Falerone, 19/05/2022

Il Geologo
Dott. Gabriele Cutini
Ordine dei Geologi delle Marche
Geologo Specialista n° 665





Geodrill s.a.s.
Dr. Geol. Valeriano Bassani & C.
SERVIZI GEOLOGICI
Via Dante 9/D - Tel. 0732/677340
60043 Cerreto d'Esi (AN)
P. IVA: 02334920424
E-Mail: a_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, il 17 maggio 2022

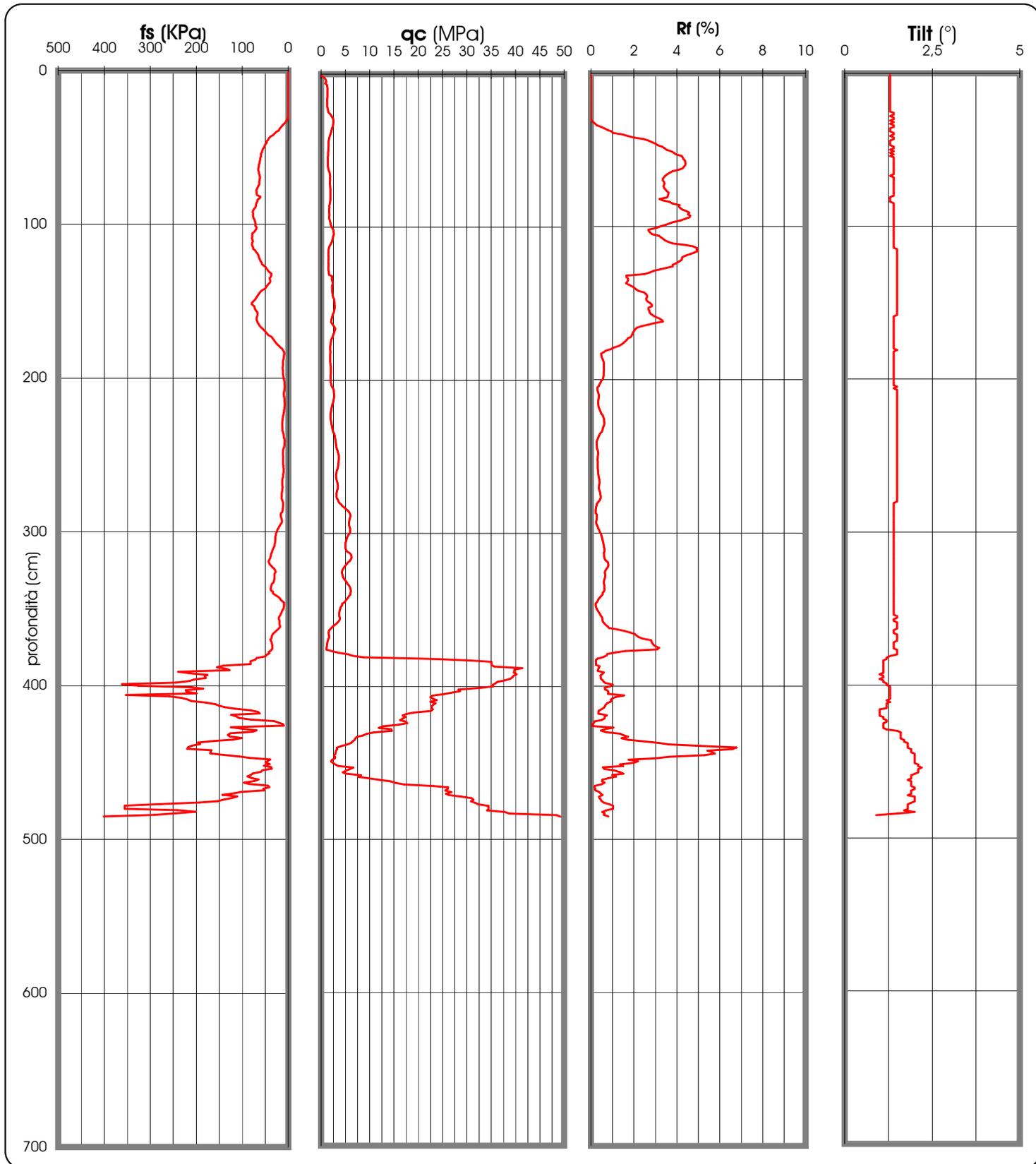
COMMITTENTE: Tennacola SPA

CANTIERE: Collettore Fognario - Medio Bacino Ete Morto

PROVA N 1 del 16/05/2022

PROF.: 4,85 m

PROVA PENETROMETRICA STATICA E-CPT: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA





Geodrill s.a.s.
 Dr. Geol. Valeriano Bassani & C.
SERVIZI GEOLOGICI
 Via Dante 9/D - Tel. 0732/677340
 60043 Cerreto d'Esi (AN)
 P. IVA: 02334920424
 E-Mail: a_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, il 17 maggio 2022

COMMITTENTE: Tennacola SPA

CANTIERE: Collettore Fognario - Medio Bacino Ete Morto

PROVA E-CPT: SCHEDA TECNICA E LEGENDA

caratteristiche tecniche del penetrometro

Tipo di attrezzatura: penetrometro statico PAGANI semovente TG 63-100 standard
 Capacità di spinta: 100 kN

Punta digitale PAGANI

Sensori di misura		Dimensioni	
Resistenza di punta (q_c)	50 Mpa	Apertura cono	60°
Attrito laterale (f_s)	0,5 Mpa	Area punta	cmq. 10
Pressione nei pori (u)	2,5 Mpa	Rapporto delle aree di punta (a)	0,80
		Area manicotto di attrito	cmq. 150
inclinazione	0°-20°	Rapporto delle aree del manicotto (b)	0
		Diametro	mm. 36
		Peso	Kg. 2,1
		Lunghezza totale	mm. 413

legenda per la rappresentazione grafica

f_s = resistenza specifica locale al manicotto
 q_c = resistenza specifica al cono statico
 R_f = rapporto della resistenza (f_s/q_c)
 Tilt = inclinazione

legenda per la caratterizzazione geomeccanica

q_c = resistenza specifica al cono statico
 q_{cm} = resistenza specifica al cono statico media per quel determinato strato
 $\sigma_{v\text{ eff}}$ = pressione verticale efficace (stima)
 D_r = densità relativa (Lancellotta, 1983)
 ϕ = angolo di attrito (Caquot, Koppejan, De Beer, Schmertmann)
 E = modulo di Young (Robertson & Campanella, 1983)
 C_u = coesione non drenata (Terzaghi, $((Q_{cm} - \sigma_{v\text{ eff}})/N_k)$; Lunne, Robertson, Powell 1977)
 M = modulo di deformazione edometrica (metodo generale del modulo edometrico; Buisman)
 V_s = velocità delle onde di taglio (Iyisan, 1996)
 G = modulo di deformazione al taglio (Imai & Tomachi)
 E_u = modulo di deformazione non drenato (Cancelli 1980)

Geodrill s.a.s.
Dr. Geol. Valeriano Bassani & C.
SERVIZI GEOLOGICI
Via Dante 9/D - Tel. 0732/677340
60043 Cerreto d'Esi (AN)
P. IVA: 02334920424
E-Mail: a_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, il 17 maggio 2022

COMMITTENTE: Tennacola SPA
CANTIERE: Collettore Fognario - Medio Bacino Ete Morto

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





Committente: Tennacola SPA
Cantiere: Bacino Ete Morto - Attraversamento

Prova E-CPT PS1
Profondità: m. 4,85 P.C.

Depth [cm]	Qc [MPa]	Fs [kPa]	Rf [%]	Tilt [°]
1	0,09	0	0	1,3
2	0,58	0	0	1,3
3	0,84	0	0	1,3
4	0,98	0	0	1,3
5	1,09	0	0	1,3
6	0,84	0	0	1,3
7	1,22	0	0	1,3
8	1,25	0	0	1,3
9	1,3	0	0	1,3
10	1,31	0	0	1,3
11	1,32	0	0	1,3
12	1,32	0	0	1,3
13	1,29	0	0	1,3
14	1,29	0	0	1,3
15	1,29	0	0	1,3
16	1,28	0	0	1,3
17	1,27	0	0	1,3
18	1,26	0	0	1,3
19	1,26	0	0	1,3
20	1,27	0	0	1,3
21	1,28	0	0	1,3
22	1,33	0	0	1,3
23	1,38	0	0	1,3
24	1,46	0	0	1,3
25	1,55	0	0	1,3
26	1,88	0	0	1,4
27	2,06	0	0	1,4
28	2,23	0,03	0	1,3
29	2,47	0,06	0	1,4
30	2,52	0,29	0,01	1,4
31	2,56	0,99	0,04	1,3
32	2,54	3,02	0,12	1,4
33	2,49	4,91	0,2	1,3
34	2,43	6,9	0,28	1,4
35	2,27	10,94	0,48	1,4
36	2,18	13,83	0,63	1,3
37	2,12	16,53	0,78	1,3
38	2,04	19,32	0,95	1,3
39	1,97	20,51	1,04	1,4
40	1,8	26,77	1,49	1,4
41	1,73	30,07	1,74	1,3
42	1,66	33,66	2,03	1,4
43	1,59	38,9	2,45	1,4
44	1,56	42,04	2,69	1,3
45	1,54	43,93	2,85	1,3
46	1,56	47,11	3,02	1,3
47	1,52	47,4	3,12	1,3

48	1,51	50,16	3,32	1,4
49	1,5	51,48	3,43	1,4
50	1,5	52,92	3,53	1,3
51	1,47	55,23	3,76	1,4
52	1,46	56,68	3,88	1,3
53	1,45	57,35	3,96	1,4
54	1,4	59,05	4,22	1,3
55	1,39	59,56	4,28	1,4
56	1,39	59,85	4,31	1,4
57	1,4	61,36	4,38	1,4
58	1,4	61,42	4,39	1,4
59	1,41	62,03	4,4	1,4
60	1,42	62,36	4,39	1,4
61	1,47	63,64	4,33	1,4
62	1,5	64,15	4,28	1,4
63	1,57	64,44	4,1	1,4
64	1,72	65,34	3,8	1,4
65	1,78	65,18	3,66	1,4
66	1,82	64,41	3,54	1,4
67	1,85	63,74	3,45	1,3
68	1,84	62,52	3,4	1,4
69	1,85	61,71	3,34	1,4
70	1,84	61,59	3,35	1,4
71	1,83	62,45	3,41	1,4
72	1,84	63,13	3,43	1,4
73	1,86	63,22	3,4	1,4
74	1,87	63,41	3,39	1,4
75	1,91	65,24	3,42	1,4
76	1,91	66,53	3,48	1,4
77	1,92	67,94	3,54	1,4
78	1,92	69,54	3,62	1,4
79	1,92	69,12	3,6	1,4
80	1,92	68,98	3,59	1,4
81	1,91	67,56	3,54	1,3
82	1,9	60,75	3,2	1,3
83	1,87	62,39	3,34	1,3
84	1,82	66,88	3,67	1,3
85	1,77	67,23	3,8	1,4
86	1,67	68,93	4,13	1,4
87	1,71	70,31	4,11	1,4
88	1,7	70,64	4,16	1,4
89	1,68	71,41	4,25	1,4
90	1,67	74,55	4,46	1,4
91	1,67	76,48	4,58	1,4
92	1,71	77,31	4,52	1,4
93	1,66	76,64	4,62	1,4
94	1,68	77,18	4,59	1,4
95	1,74	76,35	4,39	1,4
96	1,8	75,32	4,18	1,4
97	1,91	73,49	3,85	1,4
98	1,97	72,37	3,67	1,4
99	2,06	71,5	3,47	1,4
100	2,2	70,86	3,22	1,4
101	2,38	71,79	3,02	1,4
102	2,58	69,22	2,68	1,4
103	2,58	69,74	2,7	1,4

104	2,62	72,24	2,76	1,4
105	2,61	74,33	2,85	1,4
106	2,49	78,69	3,16	1,4
107	2,41	78,53	3,26	1,4
108	2,35	78,63	3,35	1,4
109	2,3	79,08	3,44	1,4
110	2,16	77,82	3,6	1,4
111	2,03	77,12	3,8	1,4
112	1,78	78,5	4,41	1,4
113	1,66	78,92	4,75	1,4
114	1,59	78,4	4,93	1,4
115	1,56	76,7	4,92	1,5
116	1,53	76,06	4,97	1,5
117	1,5	72,05	4,8	1,5
118	1,51	69,93	4,63	1,5
119	1,52	66,98	4,41	1,5
120	1,53	64,96	4,25	1,5
121	1,52	64,38	4,24	1,5
122	1,5	63,03	4,2	1,5
123	1,51	61,81	4,09	1,5
124	1,52	60,33	3,97	1,5
125	1,52	57,96	3,81	1,5
126	1,5	57,19	3,81	1,5
127	1,49	52,21	3,5	1,5
128	1,51	48,75	3,23	1,5
129	1,6	46,79	2,92	1,5
130	1,61	44,19	2,74	1,5
131	1,65	41,24	2,5	1,5
132	2,24	37,07	1,65	1,5
133	2,26	37,2	1,65	1,5
134	2,2	37,84	1,72	1,5
135	2,31	40,28	1,74	1,5
136	2,38	40,12	1,69	1,5
137	2,37	38,9	1,64	1,5
138	2,31	40,56	1,76	1,5
139	2,3	43,93	1,91	1,5
140	2,29	46,37	2,02	1,5
141	2,3	48,56	2,11	1,5
142	2,31	51,25	2,22	1,5
143	2,34	57,86	2,47	1,5
144	2,38	61,01	2,56	1,5
145	2,43	63,45	2,61	1,5
146	2,51	65,4	2,61	1,5
147	2,66	68,36	2,57	1,5
148	2,71	70,03	2,58	1,5
149	2,74	72,5	2,65	1,5
150	2,75	75,83	2,76	1,5
151	2,79	79,17	2,84	1,5
152	2,8	79,43	2,84	1,5
153	2,79	75,19	2,69	1,5
154	2,73	73,27	2,68	1,5
155	2,66	72,56	2,73	1,5
156	2,58	70,35	2,73	1,5
157	2,42	67,52	2,79	1,5
158	2,32	66,85	2,88	1,5
159	2,24	67,33	3,01	1,4

160	2,15	68,36	3,18	1,4
161	2,1	69,32	3,3	1,4
162	2,07	69,32	3,35	1,4
163	2,26	67,68	2,99	1,4
164	2,46	66,4	2,7	1,4
165	2,71	64,28	2,37	1,4
166	2,9	62,29	2,15	1,4
167	2,88	59,27	2,06	1,4
168	2,76	55,74	2,02	1,4
169	2,65	52,31	1,97	1,4
170	2,54	49,33	1,94	1,4
171	2,42	46,28	1,91	1,4
172	2,32	43,2	1,86	1,4
173	2,15	37,03	1,72	1,4
174	2,06	34,44	1,67	1,4
175	2	31,9	1,6	1,4
176	1,95	29,46	1,51	1,4
177	1,9	26,99	1,42	1,4
178	1,87	24,36	1,3	1,4
179	1,87	20,12	1,08	1,4
180	1,87	17,65	0,94	1,4
181	1,9	13,23	0,7	1,5
182	1,91	11,23	0,59	1,4
183	1,89	9,15	0,48	1,4
184	1,87	9,11	0,49	1,4
185	1,86	9,34	0,5	1,4
186	1,87	9,85	0,53	1,4
187	1,87	10,4	0,56	1,4
188	1,88	10,98	0,58	1,4
189	1,93	11,65	0,6	1,4
190	1,97	11,81	0,6	1,4
191	2	11,91	0,6	1,4
192	2,02	12,07	0,6	1,4
193	2,03	12,26	0,6	1,4
194	2,03	12,1	0,6	1,4
195	2,01	11,94	0,59	1,4
196	2	11,84	0,59	1,4
197	1,97	11,62	0,59	1,4
198	1,95	11,36	0,58	1,4
199	1,94	11,1	0,57	1,4
200	1,93	10,4	0,54	1,4
201	1,98	9,4	0,47	1,4
202	2,04	8,99	0,44	1,4
203	2,11	8,5	0,4	1,4
204	2,21	8,15	0,37	1,4
205	2,45	7,7	0,31	1,5
206	2,55	7,83	0,31	1,4
207	2,62	8,18	0,31	1,5
208	2,64	8,73	0,33	1,5
209	2,67	9,34	0,35	1,5
210	2,69	10,08	0,37	1,5
211	2,67	9,88	0,37	1,5
212	2,64	9,44	0,36	1,5
213	2,58	9,11	0,35	1,5
214	2,51	8,63	0,34	1,5
215	2,43	8,22	0,34	1,5

216	2,29	7,7	0,34	1,5
217	2,23	7,73	0,35	1,5
218	2,17	7,86	0,36	1,5
219	2,12	8,22	0,39	1,5
220	2,06	8,73	0,42	1,5
221	2,01	9,15	0,46	1,5
222	1,98	9,53	0,48	1,5
223	1,95	10,56	0,54	1,5
224	1,95	11,07	0,57	1,5
225	1,97	11,68	0,59	1,5
226	2	12,1	0,61	1,5
227	2,04	12,52	0,61	1,5
228	2,09	12,9	0,62	1,5
229	2,17	13,35	0,62	1,5
230	2,22	13,22	0,6	1,5
231	2,28	13,09	0,57	1,5
232	2,35	13	0,55	1,5
233	2,43	13,03	0,54	1,5
234	2,54	12,9	0,51	1,5
235	2,73	11,71	0,43	1,5
236	2,79	10,82	0,39	1,5
237	2,86	10,24	0,36	1,5
238	2,9	9,72	0,34	1,5
239	2,95	9,24	0,31	1,5
240	3,01	8,25	0,27	1,5
241	3,04	8,02	0,26	1,5
242	3,08	8,15	0,26	1,5
243	3,13	8,41	0,27	1,5
244	3,17	8,7	0,27	1,5
245	3,23	9,24	0,29	1,5
246	3,39	10,69	0,32	1,5
247	3,47	11,59	0,33	1,5
248	3,57	11,97	0,34	1,5
249	3,64	11,91	0,33	1,5
250	3,65	11,81	0,32	1,5
251	3,65	11,59	0,32	1,5
252	3,63	11,42	0,31	1,5
253	3,59	11,46	0,32	1,5
254	3,58	11,59	0,32	1,5
255	3,54	11,46	0,32	1,5
256	3,51	11,39	0,32	1,5
257	3,44	11,04	0,32	1,5
258	3,35	10,88	0,32	1,5
259	3,21	10,49	0,33	1,5
260	3,16	10,56	0,33	1,5
261	3,12	10,59	0,34	1,5
262	3,09	10,82	0,35	1,5
263	3,09	11,2	0,36	1,5
264	3,11	11,42	0,37	1,5
265	3,2	12,42	0,39	1,5
266	3,28	12,9	0,39	1,5
267	3,36	13,38	0,4	1,5
268	3,43	13,45	0,39	1,5
269	3,46	13,13	0,38	1,5
270	3,45	12,74	0,37	1,5
271	3,41	12,48	0,37	1,5

272	3,29	12,84	0,39	1,5
273	3,22	13,29	0,41	1,5
274	3,18	13,64	0,43	1,5
275	3,17	14,09	0,44	1,5
276	3,19	14,35	0,45	1,5
277	3,23	14,47	0,45	1,5
278	3,46	14,86	0,43	1,5
279	3,56	13,89	0,39	1,5
280	3,76	12,56	0,33	1,5
281	4,09	11,23	0,27	1,4
282	4,34	11,39	0,26	1,4
283	4,71	11,46	0,24	1,4
284	5,08	11,78	0,23	1,4
285	5,45	12,13	0,22	1,4
286	5,76	12,48	0,22	1,4
287	5,95	13,32	0,22	1,4
288	6,05	16,21	0,27	1,4
289	6,02	16,69	0,28	1,4
290	5,93	16,37	0,28	1,4
291	5,86	15,31	0,26	1,4
292	5,79	14,38	0,25	1,4
293	5,76	13,9	0,24	1,4
294	5,75	14,47	0,25	1,4
295	5,81	16,82	0,29	1,4
296	5,88	18,77	0,32	1,4
297	5,97	20,51	0,34	1,4
298	6	22,5	0,38	1,4
299	5,99	23,97	0,4	1,4
300	5,88	25,8	0,44	1,4
301	5,62	26,73	0,48	1,4
302	5,49	27,18	0,5	1,4
303	5,35	28,08	0,52	1,4
304	5,25	28,02	0,53	1,4
305	5,17	28,24	0,55	1,4
306	5,06	28,66	0,57	1,4
307	5,02	29,2	0,58	1,4
308	4,99	29,43	0,59	1,4
309	5	30,13	0,6	1,4
310	5,06	31,42	0,62	1,4
311	5,17	32,99	0,64	1,4
312	5,37	34,37	0,64	1,4
313	5,92	35,69	0,6	1,4
314	6,15	37,23	0,61	1,4
315	6,26	37,93	0,61	1,4
316	6,25	38,74	0,62	1,4
317	6,13	39,7	0,65	1,4
318	5,94	41,14	0,69	1,4
319	5,5	42,75	0,78	1,4
320	5,26	42,2	0,8	1,4
321	5,02	40,63	0,81	1,4
322	4,76	37,48	0,79	1,4
323	4,56	34,4	0,75	1,4
324	4,39	30,78	0,7	1,4
325	4,3	28,43	0,66	1,4
326	4,28	27,63	0,65	1,4
327	4,41	29,53	0,67	1,4

328	4,5	30,23	0,67	1,4
329	4,58	30,01	0,66	1,4
330	4,79	30,1	0,63	1,4
331	5,04	30,52	0,61	1,4
332	5,27	31,42	0,6	1,4
333	5,43	32,57	0,6	1,4
334	5,76	35,85	0,62	1,4
335	5,92	36,81	0,62	1,4
336	6,04	37,61	0,62	1,4
337	6,12	38,41	0,63	1,4
338	6,14	37,58	0,61	1,4
339	6,05	33,57	0,55	1,4
340	6,05	33,57	0,55	1,4
341	5,77	28,5	0,49	1,4
342	5,54	23,14	0,42	1,4
343	5,3	19	0,36	1,4
344	5,07	16,78	0,33	1,4
345	4,8	14,02	0,29	1,4
346	4,36	9,6	0,22	1,4
347	4,36	9,6	0,22	1,4
348	4,07	9,37	0,23	1,4
349	3,97	10,11	0,25	1,4
350	3,85	11,04	0,29	1,4
351	3,79	12,71	0,34	1,4
352	3,75	14,31	0,38	1,4
353	3,73	15,82	0,42	1,4
354	3,75	17,39	0,46	1,4
355	3,84	19,87	0,52	1,5
356	3,86	20,51	0,53	1,5
357	3,74	20,35	0,54	1,4
358	3,48	19,35	0,56	1,4
359	3,12	19,32	0,62	1,5
360	2,76	19,16	0,69	1,5
361	2,35	18,23	0,78	1,5
362	2,11	18,04	0,85	1,5
363	1,71	21,05	1,23	1,5
364	1,6	25,19	1,57	1,4
365	1,56	28,47	1,83	1,4
366	1,59	32,57	2,05	1,4
367	1,65	35,27	2,14	1,5
368	1,63	36,23	2,22	1,5
369	1,51	36,39	2,41	1,5
370	1,39	38,9	2,8	1,5
371	1,32	37,36	2,83	1,5
372	1,26	36,14	2,87	1,4
373	1,22	35,56	2,91	1,4
374	1,16	35,08	3,02	1,4
375	1,11	35,17	3,17	1,4
376	1,13	34,82	3,08	1,4
377	2,34	37,65	1,61	1,5
378	3,65	42,34	1,16	1,5
379	5,45	41,23	0,76	1,5
380	6,47	47,23	0,73	1,5
381	8,76	50,12	0,57	1,3
382	22,88	69,09	0,3	1,2
383	30,72	71,47	0,23	1,2

384	35,06	81,87	0,23	1,1
385	35,06	81,87	0,23	1,1
386	35,06	81,87	0,23	1,1
387	35,59	141,21	0,4	1,1
388	41,4	155,23	0,37	1,1
389	39,83	134,63	0,34	1,1
390	39,7	127,6	0,32	1,1
391	39,67	239,54	0,6	1,1
392	40,25	212,68	0,53	1,1
393	39,56	175,77	0,44	1
394	39,39	181,84	0,46	1,1
395	38,92	179,62	0,46	1,1
396	37,84	204,2	0,54	1
397	36,24	214,47	0,59	1,1
398	35,86	243,49	0,68	1,1
399	35,32	361,23	1,02	1,2
400	35,4	325,64	0,92	1,2
401	32,54	210,33	0,65	1,3
402	28,26	185,11	0,66	1,3
403	28,6	223,23	0,78	1,3
404	27,11	221,37	0,82	1,3
405	25,33	199,29	0,79	1,3
406	22,89	352,7	1,54	1,3
407	22,48	259,05	1,15	1,3
408	22,93	232,16	1,01	1,3
409	23,77	219,19	0,92	1,3
410	22,48	210,91	0,94	1,2
411	23,56	178,47	0,76	1,3
412	23,05	158,25	0,69	1,2
413	22,78	150,96	0,66	1,2
414	22,75	138,64	0,61	1,2
415	22,97	115,28	0,5	1,2
416	22,55	81,93	0,36	1
417	19,05	66,34	0,35	1
418	17,64	62,36	0,35	1
419	16,79	124,42	0,74	1
420	17,35	113,22	0,65	1
421	16,78	107,64	0,64	1,1
422	16,24	82,16	0,51	1,1
423	17,44	30,74	0,18	1,2
424	17,69	22,14	0,13	1,2
425	15,95	12,23	0,08	1,1
426	12,77	9,79	0,08	1,1
427	11,87	124,68	1,05	1,1
428	14,43	99,74	0,69	1,1
429	14,57	68,93	0,47	1,2
430	10,91	77,47	0,71	1,5
431	9,28	125,9	1,36	1,6
432	8,6	131,13	1,52	1,6
433	7,33	127,12	1,73	1,6
434	7,06	101,28	1,43	1,6
435	6,86	120,06	1,75	1,6
436	6,46	161,23	2,5	1,7
437	6,17	196,25	3,18	1,7
438	5,33	191,94	3,6	1,8
439	4,11	209,85	5,11	1,8

440	3,21	217,65	6,78	1,8
441	3,33	219,51	6,59	1,8
442	3,08	167,36	5,43	1,9
443	2,99	168,71	5,64	1,9
444	2,94	169,61	5,77	1,9
445	2,65	140,37	5,3	2
446	2,88	105,52	3,66	2
447	2,83	84,85	3	2
448	2,25	39,54	1,76	2
449	2,06	45,06	2,19	2
450	2,48	49,45	1,99	2
451	2,99	40,47	1,35	2
452	3,53	52,95	1,5	2,1
453	6,65	37,48	0,56	2,1
454	5,87	36,2	0,62	2,2
455	5,09	56,03	1,1	2,1
456	4,48	59,88	1,34	2,1
457	5,1	77,09	1,51	2,1
458	8,23	81,51	0,99	2
459	7,66	88,96	1,16	1,9
460	9,9	80,26	0,81	1,9
461	12,14	64,47	0,53	1,9
462	14,3	74,33	0,52	1,8
463	15,32	96,47	0,63	1,9
464	17,1	84,66	0,5	1,9
465	23,13	44,64	0,19	1,9
466	26,1	41,66	0,16	1,9
467	26,03	54,14	0,21	2
468	25,56	52,15	0,2	2
469	26,81	102,82	0,38	1,9
470	25,7	116,82	0,45	1,9
471	26,3	143,1	0,54	1,9
472	28,86	110,98	0,38	1,8
473	31,01	122,05	0,39	2
474	31,37	140,34	0,45	2
475	30,85	153,4	0,5	2
476	31,68	193	0,61	2
477	32,29	276,73	0,86	1,9
478	34,42	355,62	1,03	1,8
479	34,42	355,62	1,03	1,8
480	34,42	355,62	1,03	1,8
481	34,15	241,34	0,71	1,8
482	37,74	201,48	0,53	1,7
483	38,7	244,9	0,63	2
484	48,47	291,88	0,6	1,5
485	49,27	401,28	0,81	0,9



Geodrill s.a.s.
 Dr. Geol. Valeriano Bassani & C.
SERVIZI GEOLOGICI
 Via Dante 9/D - Tel. 0732/677340
 60043 Cerreto d'Esi (AN)
 P.IVA: 02334920424
 E-Mail: a_geodrill@libero.it

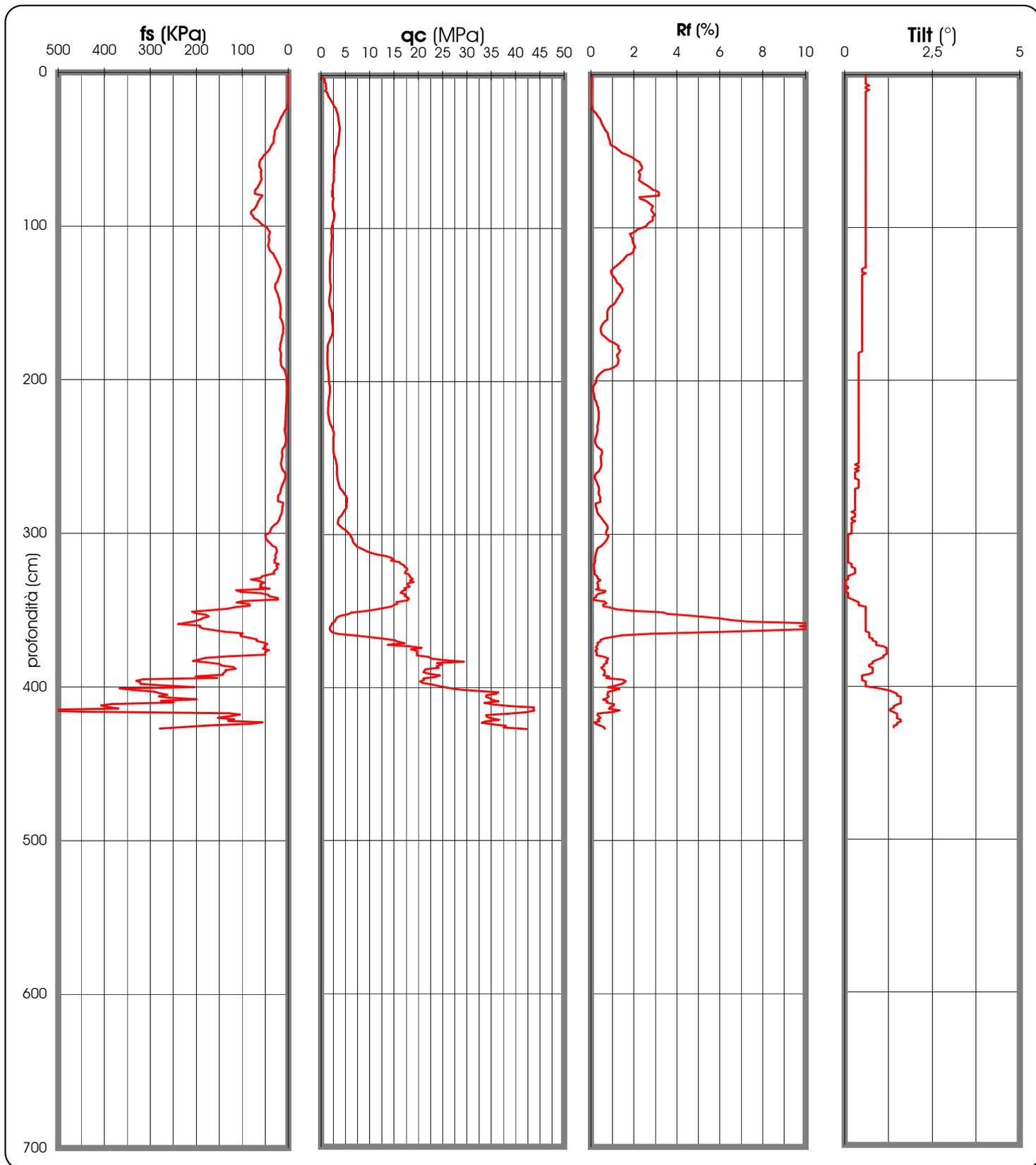
Cerreto d'Esi, il 17 maggio 2022

COMMITTENTE: Tennacola SPA
 CANTIERE: Collettore Fognario - Medio Bacino Ete Morto

PROVA N 2 del 16/05/2022

PROF.: 4,27 m

PROVA PENETROMETRICA STATICA E-CPT: RAPPRESENTAZIONE GRAFICA





Geodrill s.a.s.
 Dr. Geol. Valeriano Bassani & C.
SERVIZI GEOLOGICI
 Via Dante 9/D - Tel. 0732/677340
 60043 Cerreto d'Esi (AN)
 P. IVA: 02334920424
 E-Mail: a_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, il 17 maggio 2022

COMMITTENTE: Tennacola SPA

CANTIERE: Collettore Fognario - Medio Bacino Ete Morto

PROVA E-CPT: SCHEDA TECNICA E LEGENDA

caratteristiche tecniche del penetrometro			
Tipo di attrezzatura: penetrometro statico PAGANI semovente TG 63-100 standard			
Capacità di spinta: 100 kN			
Punta digitale PAGANI			
Sensori di misura		Dimensioni	
Resistenza di punta (q_c)	50 Mpa	Apertura cono	60°
		Area punta	cmq. 10
Attrito laterale (f_s)	0,5 Mpa	Rapporto delle aree di punta (a)	0,80
		Area manicotto di attrito	cmq. 150
Pressione nei pori (u)	2,5 Mpa	Rapporto delle aree del manicotto (b)	0
		Diametro	mm. 36
inclinazione	0°-20°	Peso	Kg. 2,1
		Lunghezza totale	mm. 413

legenda per la rappresentazione grafica

- f_s = resistenza specifica locale al manicotto
- q_c = resistenza specifica al cono statico
- R_f = rapporto della resistenza (f_s/q_c)
- Tilt = inclinazione

legenda per la caratterizzazione geomeccanica

- q_c = resistenza specifica al cono statico
- q_{cm} = resistenza specifica al cono statico media per quel determinato strato
- $\sigma_{v\text{ eff}}$ = pressione verticale efficace (stima)
- D_r = densità relativa (Lancellotta, 1983)
- ϕ = angolo di attrito (Caquot, Koppejan, De Beer, Schmertmann)
- E = modulo di Young (Robertson & Campanella, 1983)
- C_u = coesione non drenata (Terzaghi, $((Q_{cm} - \sigma_{v\text{ eff}})/N_k)$; Lunne, Robertson, Powell 1977)
- M = modulo di deformazione edometrica (metodo generale del modulo edometrico; Buisman)
- V_s = velocità delle onde di taglio (Iyisan, 1996)
- G = modulo di deformazione al taglio (Imai & Tomachi)
- E_u = modulo di deformazione non drenato (Cancelli 1980)



Geodrill s.a.s.
 Dr. Geol. Valeriano Bassani & C.
SERVIZI GEOLOGICI
 Via Dante 9/D - Tel. 0732/677340
 60043 Cerreto d'Esi (AN)
 P. IVA: 02334920424
 E-Mail: a_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, il 17 maggio 2022

COMMITTENTE: Tennacola SPA

CANTIERE: Collettore Fognario - Medio Bacino Ete Morto

PROVA N 2 del 16/05/2022

PROF.: 4,27 m

PROVA PENETROMETRICA STATICA E-CPT: PROPOSTA DI ELABORAZ. STRATIGRAFICA E CARATTERIZZ. GEOMECCANICA

profondità (m)	litologia	qc (MPa)					Dr (%)	ϕ (°)	E (Kg/cm ²)	C _u (Kg/cm ²)	M (Kg/cm ²)	Vs (m/s)	G (Kg/cm ²)	Eu (Kg/cm ²)
		0	10	20	30	40								
0,54	terreno vegetale													
2,28	sabbia limosa						19,99	0,30	26	27,7	40		171	
2,60	liv. H ₂ O													
2,95	sabbia						35,41	0,56	38	29,2	70		212	
3,67	sabbia e ghiaia						111,02	0,72	62	32,3	222		326	
4,27	ghiaia e sabbia						280,51	0,86	>85	35,8	561		463	



Geodrill s.a.s.
Dr. Geol. Valeriano Bassani & C.
SERVIZI GEOLOGICI
Via Dante 9/D - Tel. 0732/677340
60043 Cerreto d'Esi (AN)
P. IVA: 02334920424
E-Mail: a_geodrill@libero.it

Cerreto d'Esi, il 17 maggio 2022

COMMITTENTE: Tennacola SPA
CANTIERE: Collettore Fognario - Medio Bacino Ete Morto

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA





Geodrill s.a.s.
Dr. Geol. Valeriano Bassani & C.
SERVIZI GEOLOGICI
Via Dante 9/D - Tel. 0732/677340
60043 Cerreto d'Esi (AN)
P. IVA: 02334920424
E-Mail: a_geodrill@libero.it

Committente: Tennacola SPA
Cantiere: Bacino Ete Morto - Sollevamento

Prova E-CPT PS2
Profondità: m. 4,27 P.C.

Depth [cm]	Qc [MPa]	Fs [kPa]	Rf [%]	Tilt [°]
1	0,24	0,16	0,07	0,6
2	0,59	0,13	0,02	0,6
3	0,81	0,16	0,02	0,6
4	0,67	0,13	0,02	0,6
5	0,95	0,16	0,02	0,6
6	1	0,16	0,02	0,6
7	1	0,16	0,02	0,7
8	1,04	0,16	0,02	0,6
9	1,07	0,16	0,01	0,6
10	0,79	0,13	0,02	0,7
11	1,26	0,13	0,01	0,6
12	1,34	0,16	0,01	0,6
13	1,44	0,16	0,01	0,6
14	1,55	0,16	0,01	0,6
15	1,84	0,16	0,01	0,6
16	1,99	0,16	0,01	0,6
17	2,16	0,19	0,01	0,6
18	2,33	0,19	0,01	0,6
19	2,5	0,26	0,01	0,6
20	2,66	0,51	0,02	0,6
21	2,95	1,35	0,05	0,6
22	3,07	1,89	0,06	0,6
23	3,18	2,6	0,08	0,6
24	3,28	4,27	0,13	0,6
25	3,42	7,7	0,23	0,6
26	3,45	9,53	0,28	0,6
27	3,49	11,23	0,32	0,6
28	3,54	12,87	0,36	0,6
29	3,61	15,56	0,43	0,6
30	3,65	16,88	0,46	0,6
31	3,69	18,13	0,49	0,6
32	3,73	19,19	0,51	0,6
33	3,79	21,02	0,55	0,6
34	3,82	22,3	0,58	0,6
35	3,82	23,52	0,62	0,6
36	3,81	25,22	0,66	0,6
37	3,79	27,44	0,72	0,6
38	3,76	28,95	0,77	0,6
39	3,73	29,43	0,79	0,6
40	3,7	29,69	0,8	0,6
41	3,66	30,39	0,83	0,6
42	3,64	31,03	0,85	0,6
43	3,61	31,61	0,88	0,6
44	3,58	31,93	0,89	0,6
45	3,55	32,09	0,9	0,6
46	3,49	32,51	0,93	0,6
47	3,27	35,72	1,09	0,6

48	3,18	37,39	1,18	0,6
49	3,09	38,99	1,26	0,6
50	3,02	41,21	1,36	0,6
51	2,97	42,72	1,44	0,6
52	2,88	46,66	1,62	0,6
53	2,82	50	1,77	0,6
54	2,78	53,24	1,92	0,6
55	2,75	55,23	2,01	0,6
56	2,71	57,32	2,12	0,6
57	2,7	61,1	2,26	0,6
58	2,7	61,78	2,29	0,6
59	2,69	62,61	2,33	0,6
60	2,67	63,19	2,37	0,6
61	2,65	63,06	2,38	0,6
62	2,62	61,55	2,35	0,6
63	2,69	59,88	2,23	0,6
64	2,61	58,09	2,23	0,6
65	2,61	60,01	2,3	0,6
66	2,61	59,24	2,27	0,6
67	2,63	59,69	2,27	0,6
68	2,63	59,02	2,24	0,6
69	2,6	58,31	2,24	0,6
70	2,5	58,7	2,35	0,6
71	2,45	59,98	2,45	0,6
72	2,4	61,81	2,58	0,6
73	2,38	63,9	2,68	0,6
74	2,36	65,5	2,78	0,6
75	2,34	66,98	2,86	0,6
76	2,3	70,51	3,07	0,6
77	2,29	72,46	3,16	0,6
78	2,29	72,46	3,16	0,6
79	2,29	72,46	3,16	0,6
80	2,51	56,84	2,26	0,6
81	2,51	57,77	2,3	0,6
82	2,44	61,04	2,5	0,6
83	2,41	63,03	2,62	0,6
84	2,4	65,15	2,71	0,6
85	2,38	66,56	2,8	0,6
86	2,36	68,29	2,89	0,6
87	2,44	69,42	2,85	0,6
88	2,53	71,41	2,82	0,6
89	2,61	73,97	2,83	0,6
90	2,75	79,59	2,89	0,6
91	2,77	81,39	2,94	0,6
92	2,74	80,84	2,95	0,6
93	2,7	77,6	2,87	0,6
94	2,64	75,96	2,88	0,6
95	2,57	73,97	2,88	0,6
96	2,43	67,3	2,77	0,6
97	2,38	63,64	2,67	0,6
98	2,3	60,33	2,62	0,6
99	2,23	57,09	2,56	0,6
100	2,15	51,38	2,39	0,6
101	2,14	46,37	2,17	0,6
102	2,13	44,61	2,09	0,6
103	2,13	42,68	2	0,6

104	2,21	40,21	1,82	0,6
105	2,22	41,01	1,85	0,6
106	2,21	41,85	1,89	0,6
107	2,18	42,23	1,94	0,6
108	2,15	41,75	1,94	0,6
109	2,14	41,69	1,95	0,6
110	2,12	41,82	1,97	0,6
111	2,11	42,49	2,01	0,6
112	2,13	43,39	2,04	0,6
113	2,14	43,87	2,05	0,6
114	2,13	42,43	1,99	0,6
115	2,09	41,69	1,99	0,6
116	2,04	39,99	1,96	0,6
117	2,01	37,2	1,85	0,6
118	1,93	32,51	1,68	0,6
119	1,91	30,91	1,62	0,6
120	1,89	29,56	1,56	0,6
121	1,87	28,21	1,51	0,6
122	1,84	25,9	1,41	0,6
123	1,82	24,49	1,35	0,6
124	1,82	22,88	1,26	0,6
125	1,8	21,08	1,17	0,6
126	1,8	19,35	1,08	0,6
127	1,8	18,13	1,01	0,5
128	1,8	16,94	0,94	0,5
129	1,8	16,94	0,94	0,5
130	1,79	17,27	0,96	0,6
131	1,79	17,75	0,99	0,5
132	1,81	19,32	1,07	0,5
133	1,83	20,41	1,12	0,5
134	1,85	21,53	1,16	0,5
135	1,88	22,63	1,2	0,5
136	1,93	23,68	1,23	0,5
137	2,01	26,89	1,34	0,5
138	2,02	27,89	1,38	0,5
139	2	28,63	1,43	0,5
140	1,97	28,98	1,47	0,5
141	1,9	28,02	1,47	0,5
142	1,85	26,6	1,44	0,5
143	1,81	24,94	1,38	0,5
144	1,77	23,65	1,34	0,5
145	1,74	22,53	1,29	0,5
146	1,72	21,6	1,26	0,5
147	1,69	20,19	1,19	0,5
148	1,69	19,77	1,17	0,5
149	1,71	19,19	1,12	0,5
150	1,75	18,68	1,07	0,5
151	1,89	17,49	0,93	0,5
152	1,98	17,11	0,86	0,5
153	2,07	16,82	0,81	0,5
154	2,14	16,66	0,78	0,5
155	2,22	16,94	0,76	0,5
156	2,24	17,07	0,76	0,5
157	2,26	17,27	0,76	0,5
158	2,28	17,43	0,76	0,5
159	2,29	17,55	0,77	0,5

160	2,29	17,33	0,76	0,5
161	2,31	15,31	0,66	0,5
162	2,32	13,7	0,59	0,5
163	2,34	12,71	0,54	0,5
164	2,36	12	0,51	0,5
165	2,41	11,23	0,47	0,5
166	2,44	11,1	0,45	0,5
167	2,43	11,1	0,46	0,5
168	2,39	11,3	0,47	0,5
169	2,31	11,55	0,5	0,5
170	2,24	12,03	0,54	0,5
171	2,03	13,25	0,65	0,5
172	1,91	13,83	0,72	0,5
173	1,79	14,38	0,8	0,5
174	1,7	15,02	0,88	0,5
175	1,49	15,92	1,07	0,5
176	1,42	16,62	1,17	0,5
177	1,34	17,14	1,28	0,5
178	1,34	17,14	1,28	0,5
179	1,34	17,14	1,28	0,5
180	1,37	18,77	1,37	0,5
181	1,33	17,65	1,33	0,5
182	1,3	16,62	1,28	0,4
183	1,29	15,73	1,22	0,4
184	1,3	15,98	1,23	0,4
185	1,31	16,46	1,26	0,4
186	1,31	16,78	1,28	0,4
187	1,32	16,91	1,28	0,4
188	1,32	16,72	1,27	0,4
189	1,32	16,5	1,25	0,4
190	1,35	16,11	1,19	0,4
191	1,37	14,7	1,07	0,4
192	1,4	12,84	0,92	0,4
193	1,48	9,31	0,63	0,4
194	1,52	8,02	0,53	0,4
195	1,56	6,9	0,44	0,4
196	1,58	5,87	0,37	0,4
197	1,59	5,1	0,32	0,4
198	1,61	4,14	0,26	0,4
199	1,61	3,95	0,25	0,4
200	1,63	3,98	0,24	0,4
201	1,67	3,85	0,23	0,4
202	1,74	3,15	0,18	0,4
203	1,77	2,47	0,14	0,4
204	1,8	1,86	0,1	0,4
205	1,83	1,57	0,09	0,4
206	1,83	1,6	0,09	0,4
207	1,79	2,05	0,11	0,4
208	1,76	2,25	0,13	0,4
209	1,72	2,41	0,14	0,4
210	1,67	2,6	0,16	0,4
211	1,63	2,76	0,17	0,4
212	1,6	2,89	0,18	0,4
213	1,53	3,37	0,22	0,4
214	1,51	3,72	0,25	0,4
215	1,49	4,04	0,27	0,4

216	1,48	4,33	0,29	0,4
217	1,45	4,78	0,33	0,4
218	1,44	4,94	0,34	0,4
219	1,44	5,1	0,35	0,4
220	1,45	5,23	0,36	0,4
221	1,47	5,26	0,36	0,4
222	1,49	5,39	0,36	0,4
223	1,57	5,71	0,36	0,4
224	1,61	5,84	0,36	0,4
225	1,67	6	0,36	0,4
226	1,74	6,1	0,35	0,4
227	1,83	6,19	0,34	0,4
228	1,92	6,32	0,33	0,4
229	2,14	6,64	0,31	0,4
230	2,26	6,93	0,31	0,4
231	2,37	7,35	0,31	0,4
232	2,46	7,77	0,32	0,4
233	2,6	7,83	0,3	0,4
234	2,61	7,57	0,29	0,4
235	2,6	7,03	0,27	0,4
236	2,55	6,07	0,24	0,4
237	2,51	5,46	0,22	0,4
238	2,51	4,97	0,2	0,4
239	2,53	4,69	0,19	0,4
240	2,54	5,04	0,2	0,4
241	2,55	5,68	0,22	0,4
242	2,54	6,71	0,26	0,4
243	2,52	7,93	0,31	0,4
244	2,51	9,53	0,38	0,4
245	2,53	12,52	0,49	0,4
246	2,55	13,25	0,52	0,4
247	2,6	13,58	0,52	0,4
248	2,66	13,58	0,51	0,4
249	2,81	13	0,46	0,4
250	2,9	13,38	0,46	0,4
251	2,99	14,02	0,47	0,4
252	3,07	14,83	0,48	0,4
253	3,14	15,21	0,48	0,4
254	3,18	15,73	0,49	0,4
255	3,26	15,92	0,49	0,3
256	3,27	15,47	0,47	0,4
257	3,27	14,47	0,44	0,4
258	3,26	13,16	0,4	0,3
259	3,24	11,84	0,37	0,4
260	3,27	8,63	0,26	0,3
261	3,3	6,96	0,21	0,3
262	3,33	6,1	0,18	0,3
263	3,38	6,19	0,18	0,3
264	3,41	6,64	0,19	0,3
265	3,51	8,34	0,24	0,4
266	3,57	9,5	0,27	0,4
267	3,64	10,88	0,3	0,4
268	3,73	12,45	0,33	0,4
269	3,85	13,67	0,36	0,4
270	3,98	14,73	0,37	0,4
271	4,32	16,43	0,38	0,3

272	4,51	16,69	0,37	0,3
273	4,74	17,04	0,36	0,3
274	4,91	17,84	0,36	0,3
275	5,17	20,99	0,41	0,3
276	5,27	22,72	0,43	0,3
277	5,34	22,95	0,43	0,3
278	5,34	22,95	0,43	0,3
279	5,34	22,95	0,43	0,3
280	5,21	11,68	0,22	0,3
281	5,28	11,39	0,22	0,3
282	5,24	12,16	0,23	0,3
283	5,15	12,8	0,25	0,3
284	4,85	13,45	0,28	0,3
285	4,67	13,61	0,29	0,3
286	4,48	14,02	0,31	0,2
287	4,28	14,89	0,35	0,3
288	4,07	16,14	0,4	0,3
289	3,69	17,88	0,48	0,3
290	3,58	18,65	0,52	0,2
291	3,49	19,8	0,57	0,2
292	3,45	21,53	0,62	0,3
293	3,48	23,59	0,68	0,2
294	3,8	28,27	0,74	0,2
295	4,12	31,87	0,77	0,2
296	4,55	35,43	0,78	0,2
297	5,01	37,39	0,75	0,2
298	5,35	38,7	0,72	0,2
299	5,62	39,92	0,71	0,2
300	5,99	42,33	0,71	0,2
301	6,13	49,94	0,81	0,1
302	6,27	49,39	0,79	0,1
303	6,43	49,13	0,76	0,1
304	6,51	47,11	0,72	0,1
305	6,64	44,35	0,67	0,1
306	6,88	41,21	0,6	0,1
307	7,16	37,71	0,53	0,1
308	7,41	34,85	0,47	0,1
309	8,21	27,31	0,33	0,1
310	8,9	26,19	0,29	0,1
311	9,54	25,16	0,26	0,1
312	10,3	24,74	0,24	0,1
313	11,44	26,6	0,23	0,1
314	13,31	27,95	0,21	0,1
315	14,34	28,31	0,2	0,1
316	14,89	27,25	0,18	0,1
317	14,37	29,43	0,2	0,1
318	16,1	29,49	0,18	0,1
319	16,37	29,94	0,18	0,1
320	17,11	21,37	0,12	0,2
321	17,2	26,22	0,15	0,2
322	17,67	23,94	0,14	0,2
323	17,7	24,39	0,14	0,3
324	17,37	29,33	0,17	0,3
325	17,24	31,45	0,18	0,3
326	17,98	30,81	0,17	0,3
327	18,22	45,51	0,25	0,2

328	18,39	57,16	0,31	0,1
329	18,82	59,85	0,32	0,1
330	18,27	80,81	0,44	0,1
331	19,03	62,36	0,33	0
332	17,85	52,66	0,3	0
333	17,88	61,17	0,34	0
334	18,22	58,79	0,32	0
335	17,15	61,46	0,36	0,1
336	17,38	41,11	0,24	0,1
337	16,74	113,16	0,68	0
338	16,36	103,02	0,63	0
339	17,33	59,18	0,34	0,1
340	17,18	43,74	0,25	0,1
341	17,76	40,82	0,23	0,1
342	18,04	23,11	0,13	0,1
343	17,78	22,69	0,13	0,2
344	15,56	98,97	0,64	0,3
345	15,69	112,2	0,72	0,4
346	15,07	85,53	0,57	0,4
347	14,52	83,66	0,58	0,4
348	12,86	116,11	0,9	0,6
349	11,06	132,12	1,19	0,6
350	8,96	171,08	1,91	0,6
351	6,24	209,21	3,35	0,6
352	5,63	200,96	3,57	0,6
353	4,05	178,95	4,42	0,6
354	3,31	173,36	5,24	0,6
355	3,08	185,14	6,01	0,6
356	2,93	190,5	6,5	0,6
357	2,76	201,12	7,29	0,6
358	2,26	217,75	9,63	0,6
359	2,14	239,38	11,19	0,6
360	1,97	191,85	9,74	0,6
361	1,83	192,2	10,5	0,6
362	1,83	184,37	10,07	0,6
363	2	161,68	8,08	0,6
364	2,48	139,02	5,61	0,6
365	3,54	99,23	2,8	0,7
366	7,16	104,04	1,45	0,7
367	10,07	102,6	1,02	0,7
368	12,86	84,37	0,66	0,7
369	15,2	68,61	0,45	0,8
370	15,69	68,81	0,44	0,8
371	17,19	53,85	0,31	0,9
372	13,72	45,8	0,33	0,9
373	18,19	51,7	0,28	0,9
374	20,68	49,87	0,24	1,1
375	18,51	55,1	0,3	1,2
376	19,72	41,88	0,21	1,2
377	19,74	50,42	0,26	1,2
378	19,74	50,42	0,26	1,2
379	19,74	50,42	0,26	1,2
380	22,08	128,02	0,58	1,1
381	22,65	178,98	0,79	1,1
382	25,08	193,23	0,77	1
383	29,35	207,54	0,71	0,9

384	23,88	178,08	0,75	0,8
385	24,71	150,19	0,61	0,8
386	23,8	144,9	0,61	0,7
387	24,15	119,42	0,49	0,7
388	21,51	114,73	0,53	0,8
389	21,24	136,71	0,64	0,8
390	21,07	136,84	0,65	0,8
391	22,22	141,37	0,64	0,8
392	24,45	142,39	0,58	0,7
393	23,52	200,87	0,85	0,5
394	21,14	154,91	0,73	0,5
395	21,17	314,99	1,49	0,5
396	20,39	330,01	1,62	0,5
397	21,05	321,79	1,53	0,6
398	22,98	321,05	1,4	0,6
399	24,12	269,19	1,12	0,6
400	25,82	204,33	0,79	0,6
401	27,7	366,17	1,32	0,9
402	31,55	333,99	1,06	1,1
403	36,44	291,75	0,8	1,3
404	36,02	279,69	0,78	1,4
405	34,03	263,25	0,77	1,5
406	33,98	281,26	0,83	1,5
407	34,79	259,11	0,74	1,6
408	35,06	199,36	0,57	1,6
409	36,48	276,86	0,76	1,6
410	33,6	249,94	0,74	1,6
411	35,53	382,93	1,08	1,6
412	38,68	406,61	1,05	1,5
413	43,8	392,75	0,9	1,4
414	43,67	369,29	0,85	1,4
415	43,84	582,12	1,33	1,3
416	42,31	446,05	1,05	1,3
417	38,45	128,34	0,33	1,4
418	33,99	105,07	0,31	1,5
419	34,1	127,63	0,37	1,5
420	34,86	152,79	0,44	1,5
421	36,64	117,81	0,32	1,5
422	33,91	130,78	0,39	1,6
423	33,09	56,39	0,17	1,6
424	35,26	83,5	0,24	1,5
425	38,04	173,17	0,46	1,5
426	37,59	225,19	0,6	1,4
427	42,31	279,36	0,66	1,4



Scopo dell'indagine HVSR, eseguita mediante tomografo digitale, è la determinazione della categoria sismica del suolo per il calcolo dell'azione sismica di progetto in funzione del parametro V_{seq} (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nel rispetto di: *D.M. 17/01/2018 (Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni)*).

L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche individuate dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità. I valori di a_g (convenzionali), si riferiscono all'accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A (Tab.:1), in cui il moto sismico non subisce variazioni sostanziali, contrariamente a ciò che accade nei suoli di tipo B,C,D,E. I fattori che influenzano questo fenomeno sono l'intensità e la frequenza del moto stesso, le caratteristiche geotecniche, sismiche e lo spessore di suolo attraversato dal treno di onde per giungere in superficie.

L'indagine eseguita con tale metodologia MISURA DIRETTAMENTE le frequenze caratteristiche di sito permettendo così di effettuare un'analisi di amplificazione sismica locale al fine di ottenere una valutazione reale e diretta dello spettro di risposta del terreno, elemento di fondamentale importanza nello studio del fenomeno di doppia risonanza edificio-struttura descritto più avanti.

La Normativa, infatti, in assenza di una specifica *analisi di amplificazione sismica locale* introduce un fattore di amplificazione S e periodi T che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%, per ricavare indirettamente quello stesso *parametro che con la presente tecnica andiamo a misurare direttamente*.

Cenni sulla tecnica utilizzata (tecnica dei rapporti spettrali)

La tecnica HVSR, (Horizontal to Vertical Spectral Ratio o tecnica di Nakamura), è una prospezione geofisica non invasiva che attraverso la misura del "rumore sismico", ovunque presente sulla superficie terrestre, fornisce dati sulle frequenze caratteristiche del sito investigato. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte da terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Tale tecnica, essendo una misurazione sismica passiva, non richiede la produzione di impulsi generati ad hoc come nel caso di sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Fig.1, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo di riferimento, mentre la curva verde rappresenta il massimo di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti dalle onde oceaniche sulle coste.

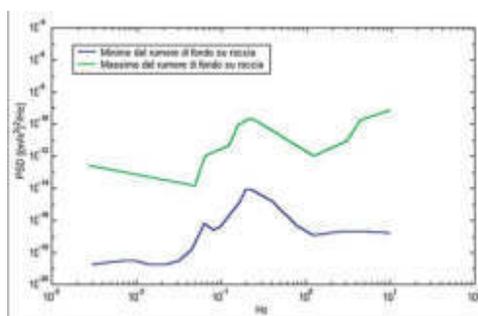


Fig. 1: Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra



Cerreto d'Esse il 17 maggio 2022
Comm.: Tennacola SPA
Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
Indagine HVSR - N°: 1 del: 16/05/2022

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce. 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 dalla velocità di queste ultime.

Strumentazione impiegata

Le misure di microtremore ambientale, della durata minima di 14 minuti, sono effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento Tromino, 10 x 7 x 14 cm per 1,1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Stratigrafia sismica da indagini a stazione singola

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità 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. Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo. Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach et al., 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier et al., 2005). Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

Basi teoriche del metodo H/V

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema di Fig. 2 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

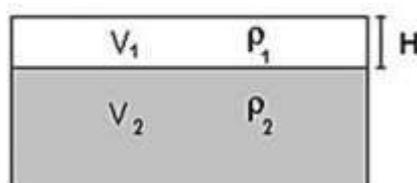


Fig. 2: Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità ρ e velocità di propagazione V

* documento soggetto a diritti di autore (artt.2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso



Cerreto d'Esi il 17 maggio 2022
Comm.: Tennacola SPA
Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
Indagine HVSR - N°: 1 del: 16/05/2022

L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (l) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$(f_r) = V_s l / 4H \quad (f_r) = V_p l / 4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh. Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V , che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per *a*) il contenuto in frequenza, *b*) la risposta strumentale e *c*) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, e nei casi più significativi, le curve HVSR sono state invertite secondo la procedura descritta da Arai e Tokimatsu (2004).

Procedura di analisi dati

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

- le curve HVSR, ottenute col software Grilla in dotazione al tromografo TROMINO, con parametri:
 - ⇒ larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
 - ⇒ lisciamiento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
 - ⇒ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2,
 - ⇒ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
- le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto precedente.

Nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock o bedrock like) le profondità h delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula seguente:

$$H = \left[\frac{V_0(1-a)}{4v_1} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e v la frequenza fondamentale di risonanza. Nei casi più complessi (la maggioranza) si sono invertite le



curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. In questo lavoro per l'inversione delle curve HVSR si sono seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love. Si fa notare che ai fini di questi modelli le V_p e la densità ρ dei mezzi sono quasi ininfluenti pertanto i valori di V_p e ρ che si sono impiegati vanno considerati come puramente indicativi.

La stima della frequenza di risonanza degli edifici

L'applicabilità pratica della semplice formula [1] per il calcolo delle frequenze fondamentali di risonanza dei suoli è stata dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico. Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [2]$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura, espressa dalla relazione seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. naturale coperture} \quad [3]$$

ad essere particolarmente pericolosa, perché dà luogo alla massima amplificazione. La combinazione della [1], [2] e della [3] porta alla

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx V_s / (4H), \quad [4]$$

da cui si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi. Se consideriamo, ad esempio, una fascia di velocità delle onde di taglio tipica dei terreni alluvionali medio-fini (200-300 m/s), possiamo riscrivere la [4] come:

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx 200\text{-}300 \text{ m/s} / (4H). \quad [5]$$

Recenti studi Italiani di Masi et al. (2007) cfr. Figura 3, effettuati su un gran numero di edifici in c.a. mettendo in relazione le frequenze di oscillazione caratteristiche con le altezze, hanno evidenziato alcune deviazioni rispetto alla [5].

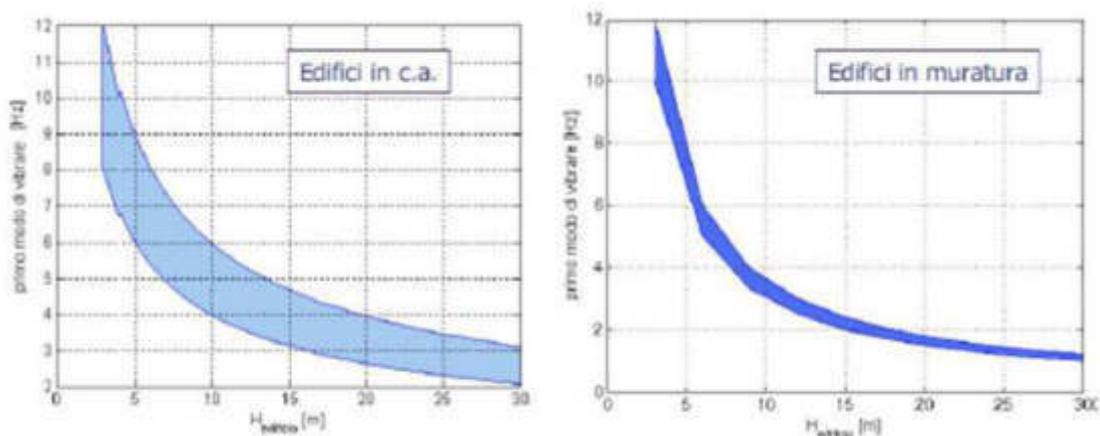


Fig 3:

Castellani e Faccioli (2000) definiscono la risonanza delle strutture tramite la relazione empirica $f_s = \frac{B^{0.5}}{C \times H}$



Cerreto d'Esi il 17 maggio 2022
Comm.: Tennacola SPA
Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
Indagine HVSR - N°: 1 del: 16/05/2022

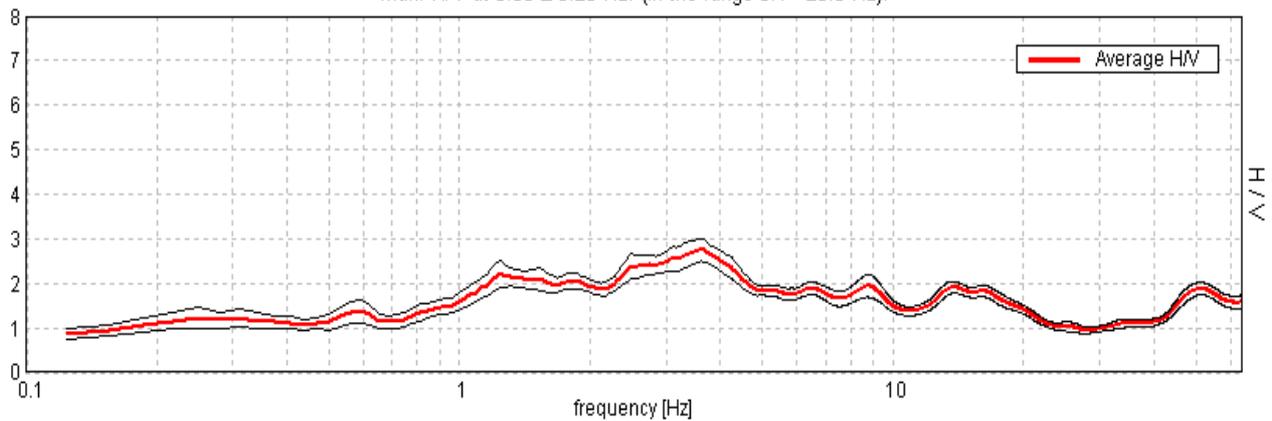
Comm: Tennacola SPA - Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto

Cielo	Sereno	Vento	Assente	Precipitazioni	Assenti	Orientamento	0°N
-------	--------	-------	---------	----------------	---------	--------------	-----

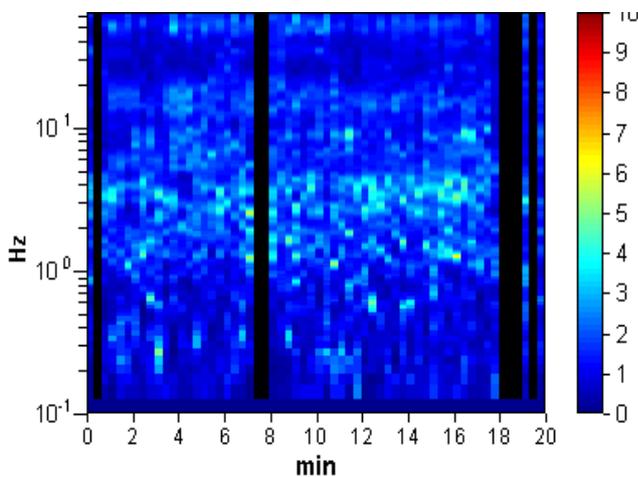
Strumento: TEP-0040/01-09
Inizio registrazione: 16/05/22 08:30:19 Fine registrazione: 16/05/22 08:50:19
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN
Dato GPS non disponibile
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 88% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

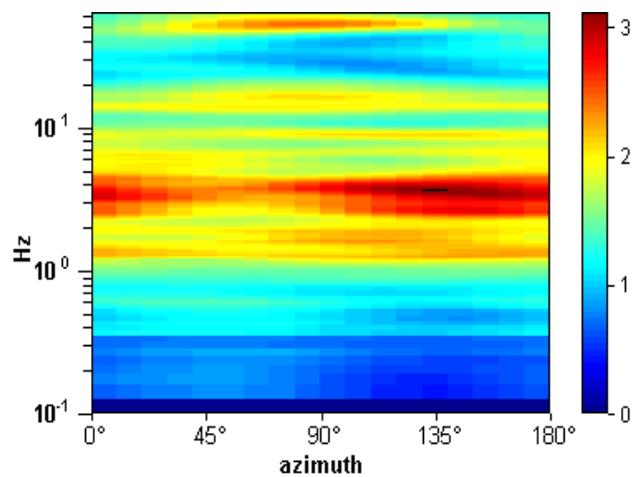
Max. H/V at 3.63 ± 0.25 Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



SERIE TEMPORALE H/V

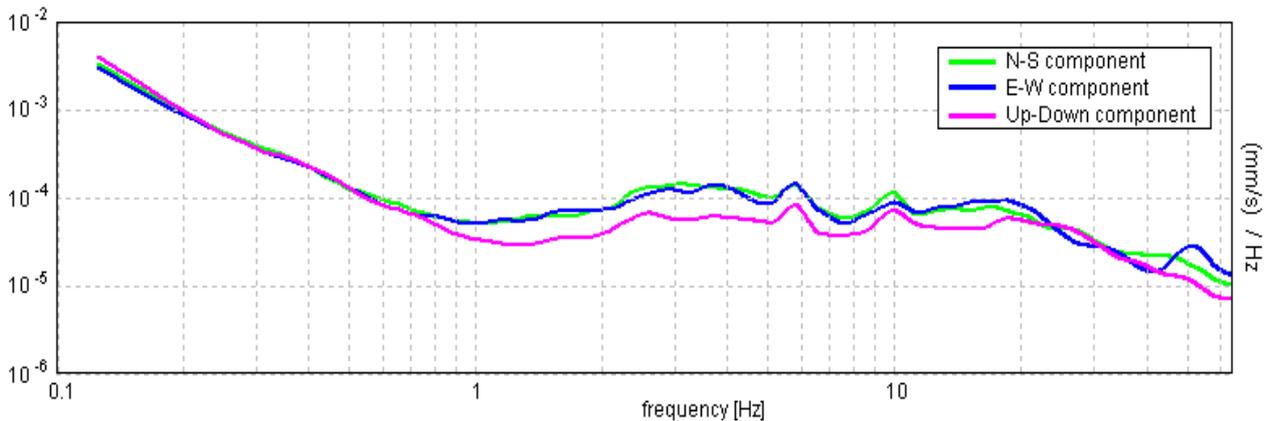


DIREZIONALITA' H/V



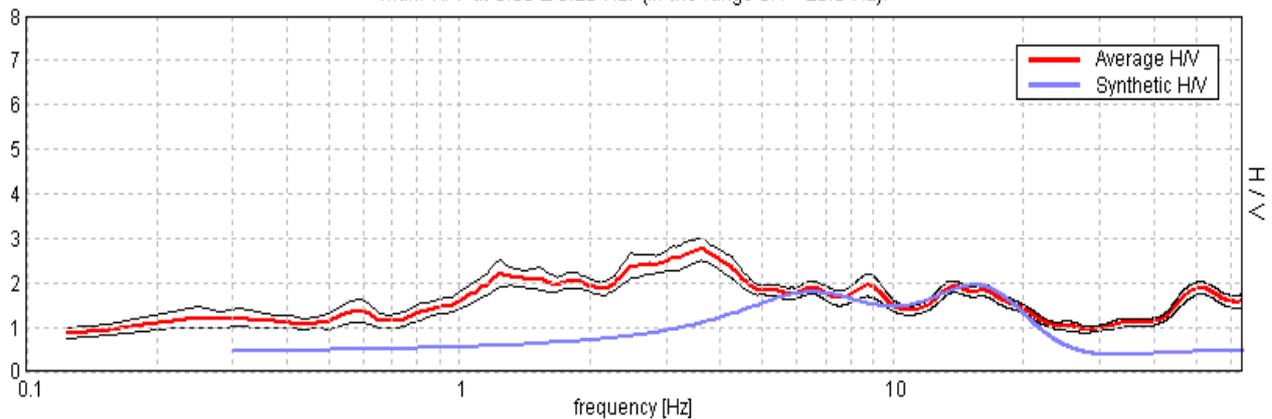


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 3.63 ± 0.25 Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.70	2.70	210	0.40
6.70	4.00	370	0.45
19.70	13.00	470	0.38
inf.	inf.	660	0.38

Per la definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi del nuovo D.M.17 gennaio 2018 integrato, la velocità di propagazione delle onde di taglio V_s , è calcolata con la seguente espressione.

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

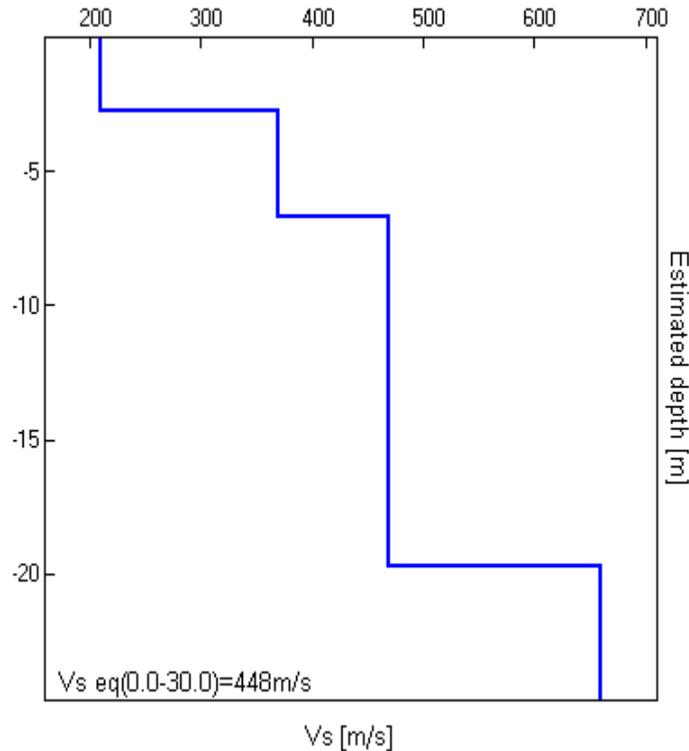
N numero di strati;

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

V_s eq (0.0-30.0)=448 m/s



Cerreto d'Esi il 17 maggio 2022
 Comm.: Tennacola SPA
 Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
 Indagine HVSR - N°: 1 del: 16/05/2022



Categoria	Descrizione
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

NOTA: la categoria di sottosuolo viene stabilita in funzione del valore di V_{eq} calcolato a partire dalla quota del Piano Campagna

Commento sul profilo delle velocità.

L'analisi del profilo delle velocità mostra una successione di terreni caratterizzati da:

sismostrato 1: ha uno spessore complessivo di m.19,70 riconducibile alla copertura alluvionale e alla porzione alterata della formazione.

sismostrato 2: da m. 19,70 correlabile alla formazione che, man mano che ci si approfondisce, manifesta migliori proprietà geofisiche con velocità delle V_s stimata a m/s 660.

Frequenza fondamentale di sito e frequenza di risonanza ai fini progettuali

Ogni sito è caratterizzato da una propria frequenza di risonanza fondamentale che può andare da millesimi di Hz a decine di Hz, in particolare in questo caso si è misurata un'amplificazione massima alla frequenza di Hz $3,63 \pm 0,25$.

L'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico standard è invece 0,5 - 10 Hz (corrispondenti alle frequenze principali di strutture approssimativamente da 30 a 1 piano). Essendo dunque l'intervallo di frequenze del sottosuolo più esteso di quello possibile per le strutture, alcune frequenze del sottosuolo possono essere trascurate ai fini della progettazione in zona sismica in quanto non comportano aggravii particolari per le strutture standard. In quest'ottica ad esempio non verranno segnalate le frequenze superiori a 20 Hz. **Nel caso in esame si evidenzia che l'area, sollecitata da input sismico, amplifica le onde di superficie con un fattore ≥ 2 nei range $1,17 \text{ Hz} \leq f \leq 1,92 \text{ Hz}$ e $2,30 \text{ Hz} \leq f \leq 4,58 \text{ Hz}$ con picchi rispettivamente a 1,23 Hz a 3,63 Hz.** Poiché la coincidenza di risonanze tra suolo e struttura comporta un aggravio nell'ampiezza dell'input sismico, la condizione ideale è che la frequenza della struttura sia inferiore rispetto a quella del sottosuolo, tuttavia quando questa condizione non può essere rispettata, è raccomandabile che la struttura venga progettata con frequenze proprie principali maggiori almeno il 40% dei valori segnalati per il sottosuolo. Qualora almeno una delle condizioni sopra indicate non possa essere rispettata la categoria di sottosuolo dovrà essere declassata alla categoria E.



[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 3.63 ± 0.25 Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.63 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$3842.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 175	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	$2.75 > 2$	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.07023 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.2546 < 0.18125$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2563 < 1.58$	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
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



Cerreto d'Esi il 17 maggio 2022
Comm.: Tennacola SPA
Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
Indagine HVSR - N°: 1 del: 16/05/2022

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E UBICAZIONE





Scopo dell'indagine HVSR, eseguita mediante tromografo digitale, è la determinazione della categoria sismica del suolo per il calcolo dell'azione sismica di progetto in funzione del parametro V_{seq} (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nel rispetto di: *D.M. 17/01/2018 (Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni)*).

L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche individuate dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità. I valori di a_g (convenzionali), si riferiscono all'accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A (Tab.:1), in cui il moto sismico non subisce variazioni sostanziali, contrariamente a ciò che accade nei suoli di tipo B,C,D,E. I fattori che influenzano questo fenomeno sono l'intensità e la frequenza del moto stesso, le caratteristiche geotecniche, sismiche e lo spessore di suolo attraversato dal treno di onde per giungere in superficie.

L'indagine eseguita con tale metodologia MISURA DIRETTAMENTE le frequenze caratteristiche di sito permettendo così di effettuare un'analisi di amplificazione sismica locale al fine di ottenere una valutazione reale e diretta dello spettro di risposta del terreno, elemento di fondamentale importanza nello studio del fenomeno di doppia risonanza edificio-struttura descritto più avanti.

La Normativa, infatti, in assenza di una specifica *analisi di amplificazione sismica locale* introduce un fattore di amplificazione S e periodi T che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%, per ricavare indirettamente quello stesso *parametro che con la presente tecnica andiamo a misurare direttamente*.

Cenni sulla tecnica utilizzata (tecnica dei rapporti spettrali)

La tecnica HVSR, (Horizontal to Vertical Spectral Ratio o tecnica di Nakamura), è una prospezione geofisica non invasiva che attraverso la misura del "rumore sismico", ovunque presente sulla superficie terrestre, fornisce dati sulle frequenze caratteristiche del sito investigato. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte da terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Tale tecnica, essendo una misurazione sismica passiva, non richiede la produzione di impulsi generati ad hoc come nel caso di sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Fig.1, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo di riferimento, mentre la curva verde rappresenta il massimo di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti dalle onde oceaniche sulle coste.

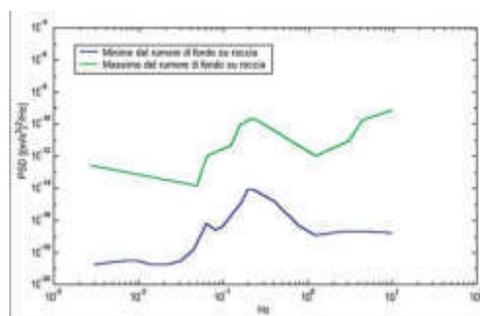


Fig. 1: Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra



Cerreto d'Esi il 17 maggio 2022
Comm.: Tennacola SPA
Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
Indagine HVSR - N°: 2 del: 16/05/2022

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce. 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 dalla velocità di queste ultime.

Strumentazione impiegata

Le misure di microtremore ambientale, della durata minima di 14 minuti, sono effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento Tromino, 10 x 7 x 14 cm per 1,1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Stratigrafia sismica da indagini a stazione singola

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità 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. Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo. Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach et al., 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier et al., 2005). Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

Basi teoriche del metodo H/V

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema di Fig. 2 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

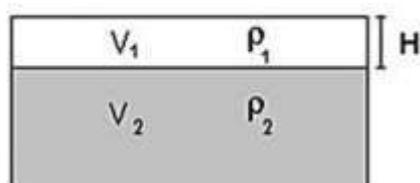


Fig. 2: Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità ρ e velocità di propagazione V



Cerreto d'Esse il 17 maggio 2022
Comm.: Tennacola SPA
Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
Indagine HVSR - N°: 2 del: 16/05/2022

L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (l) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$(f_r) = V_s l / 4H \quad (f_r) = V_p l / 4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh. Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V , che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per *a*) il contenuto in frequenza, *b*) la risposta strumentale e *c*) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, e nei casi più significativi, le curve HVSR sono state invertite secondo la procedura descritta da Arai e Tokimatsu (2004).

Procedura di analisi dati

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

- le curve HVSR, ottenute col software Grilla in dotazione al tromografo TROMINO, con parametri:
 - ⇒ larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
 - ⇒ liscio secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
 - ⇒ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2,
 - ⇒ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
- le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto precedente.

Nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock o bedrock like) le profondità h delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula seguente:

$$H = \left[\frac{V_0(1-a)}{4v_1} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e v la frequenza fondamentale di risonanza. Nei casi più complessi (la maggioranza) si sono invertite le



curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. In questo lavoro per l'inversione delle curve HVSR si sono seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love. Si fa notare che ai fini di questi modelli le V_p e la densità ρ dei mezzi sono quasi ininfluenti pertanto i valori di V_p e ρ che si sono impiegati vanno considerati come puramente indicativi.

La stima della frequenza di risonanza degli edifici

L'applicabilità pratica della semplice formula [1] per il calcolo delle frequenze fondamentali di risonanza dei suoli è stata dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico. Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [2]$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura, espressa dalla relazione seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. naturale coperture} \quad [3]$$

ad essere particolarmente pericolosa, perché dà luogo alla massima amplificazione. La combinazione della [1], [2] e della [3] porta alla

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx V_s / (4H), \quad [4]$$

da cui si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi. Se consideriamo, ad esempio, una fascia di velocità delle onde di taglio tipica dei terreni alluvionali medio-fini (200-300 m/s), possiamo riscrivere la [4] come:

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx 200\text{-}300 \text{ m/s} / (4H). \quad [5]$$

Recenti studi Italiani di Masi et al. (2007) cfr. Figura 3, effettuati su un gran numero di edifici in c.a. mettendo in relazione le frequenze di oscillazione caratteristiche con le altezze, hanno evidenziato alcune deviazioni rispetto alla [5].

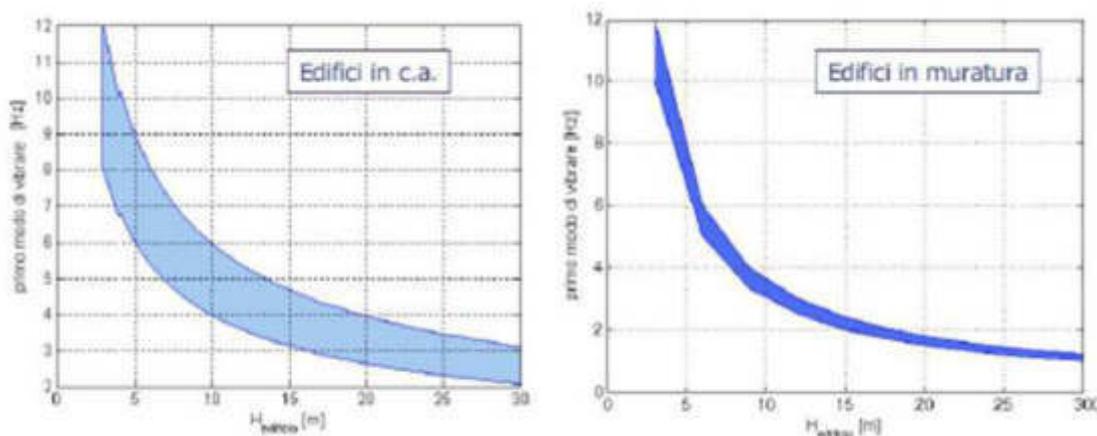


Fig 3:

Castellani e Faccioli (2000) definiscono la risonanza delle strutture tramite la relazione empirica $f_s = \frac{B^{0.5}}{C \times H}$



Cerreto d'Esse il 17 maggio 2022
Comm.: Tennacola SPA
Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
Indagine HVSR - N°: 2 del: 16/05/2022

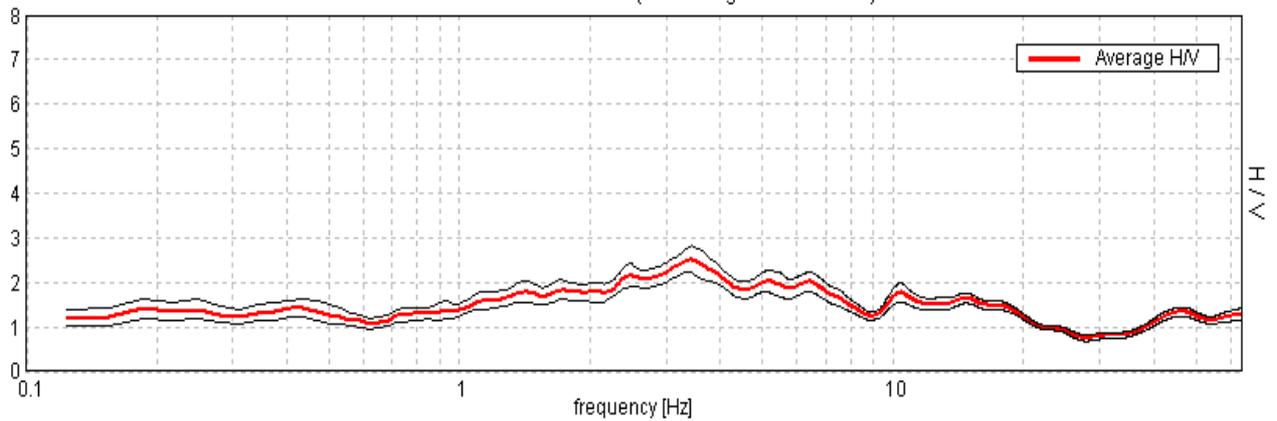
Comm: Tennacola SPA - Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto

Cielo	Sereno	Vento	Assente	Precipitazioni	Assenti	Orientamento	0°N
-------	--------	-------	---------	----------------	---------	--------------	-----

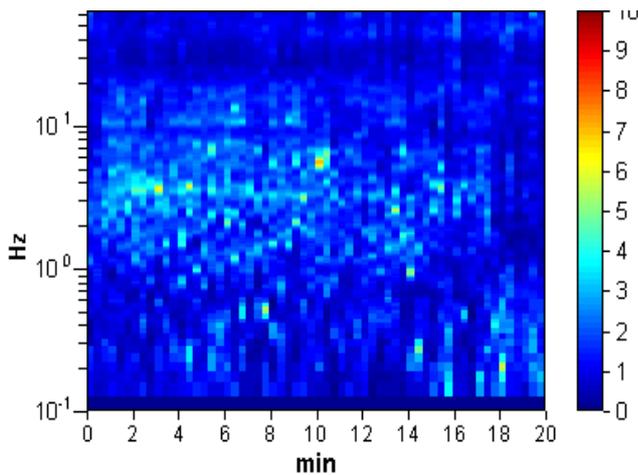
Strumento: TEP-0040/01-09
Inizio registrazione: 16/05/22 08:53:54 Fine registrazione: 16/05/22 09:13:54
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
Dato GPS non disponibile
Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

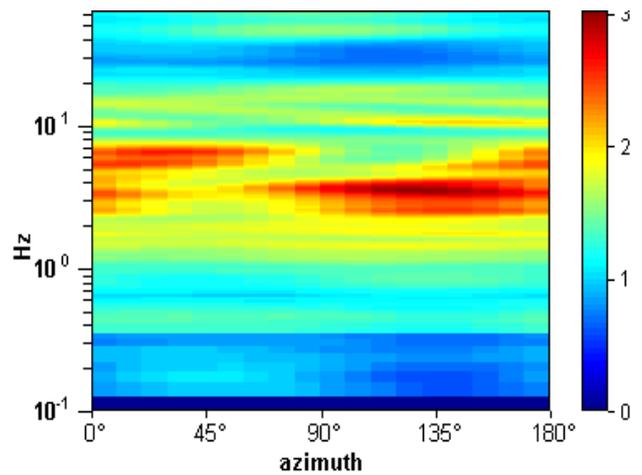
Max. H/V at 3.44 ± 0.4 Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



SERIE TEMPORALE H/V



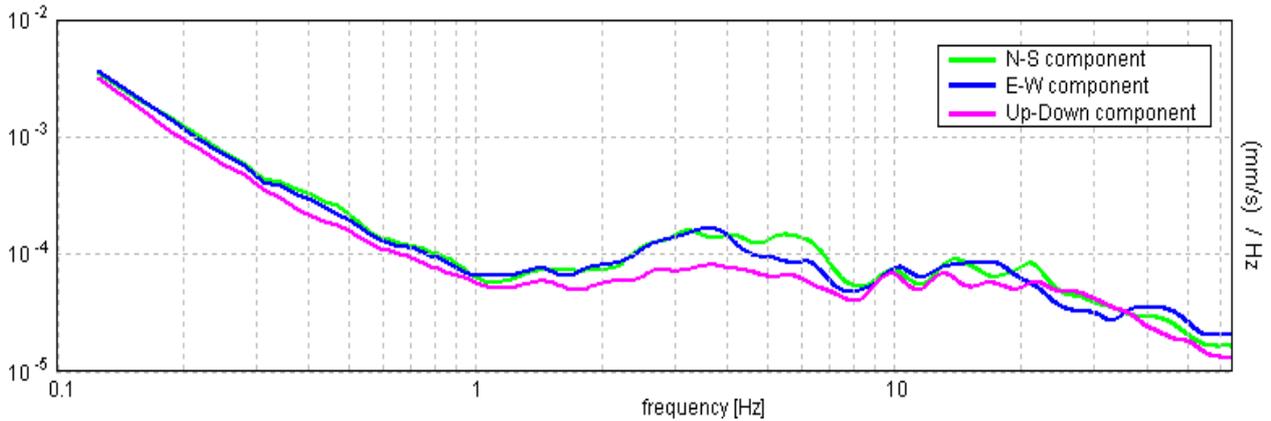
DIREZIONALITA' H/V





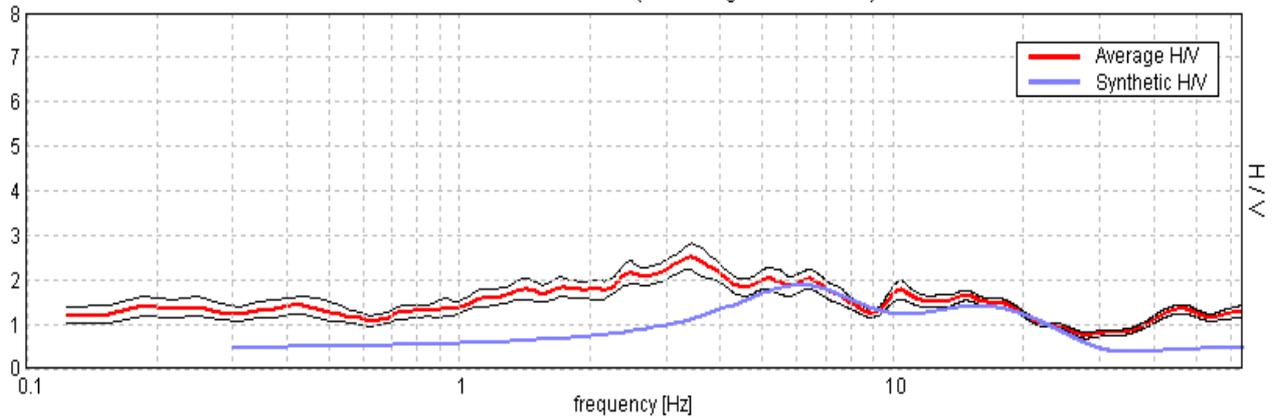
Cerreto d'Esi il 17 maggio 2022
 Comm.: Tennacola SPA
 Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
 Indagine HVSR - N°: 2 del: 16/05/2022

SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 3.44 ± 0.4 Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
2.60	2.60	210	0.40
8.40	5.80	380	0.45
20.40	12.00	470	0.38
inf.	inf.	660	0.38

Per la definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi del nuovo D.M.17 gennaio 2018 integrato, la velocità di propagazione delle onde di taglio V_s , è calcolata con la seguente espressione.

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

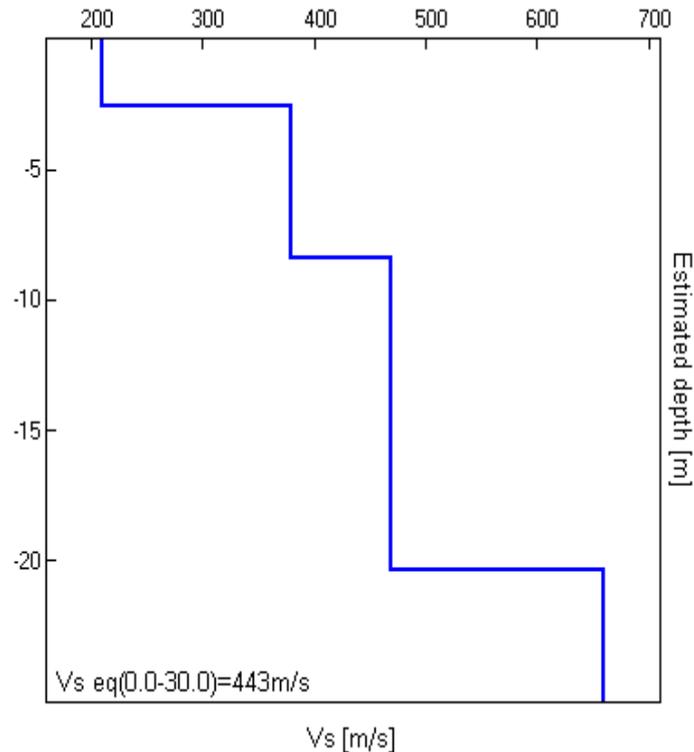
N numero di strati;

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

V_s eq (0.0-30.0)=443 m/s



Cerreto d'Esi il 17 maggio 2022
 Comm.: Tennacola SPA
 Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
 Indagine HVSR - N°: 2 del: 16/05/2022



Categoria	Descrizione
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.

NOTA: la categoria di sottosuolo viene stabilita in funzione del valore di V_{eq} calcolato a partire dalla quota del Piano Campagna

Commento sul profilo delle velocità.

L'analisi del profilo delle velocità mostra una successione di terreni caratterizzati da:

sismostrato 1: ha uno spessore complessivo di m.20,70 riconducibile alla copertura alluvionale e alla porzione alterata della formazione.

sismostrato 2: da m. 20,70 correlabile alla formazione che, man mano che ci si approfondisce, manifesta migliori proprietà geofisiche con velocità delle Vs stimata a m/s 660.

Frequenza fondamentale di sito e frequenza di risonanza ai fini progettuali

Ogni sito è caratterizzato da una propria frequenza di risonanza fondamentale che può andare da millesimi di Hz a decine di Hz, in particolare in questo caso si è misurata un'amplificazione massima alla frequenza di Hz $3,44 \pm 0,40$.

L'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico standard è invece 0,5 - 10 Hz (corrispondenti alle frequenze principali di strutture approssimativamente da 30 a 1 piano). Essendo dunque l'intervallo di frequenze del sottosuolo più esteso di quello possibile per le strutture, alcune frequenze del sottosuolo possono essere trascurate ai fini della progettazione in zona sismica in quanto non comportano aggravii particolari per le strutture standard. In quest'ottica ad esempio non verranno segnalate le frequenze superiori a 20 Hz. **Nel caso in esame si evidenzia che l'area, sollecitata da input sismico, amplifica le onde di superficie con un fattore ≥ 2 nel range $2,38 \text{ Hz} \leq f \leq 4,14 \text{ Hz}$ con picco a 3,44 Hz.** Poiché la coincidenza di risonanze tra suolo e struttura comporta un aggravio nell'ampiezza dell'input sismico, la condizione ideale è che la frequenza della struttura sia inferiore rispetto a quella del sottosuolo, tuttavia quando questa condizione non può essere rispettata, è raccomandabile che la struttura venga progettata con frequenze proprie principali maggiori almeno il 40% dei valori segnalati per il sottosuolo. Qualora almeno una delle condizioni sopra indicate non possa essere rispettata la categoria di sottosuolo dovrà essere declassata alla categoria E.

* documento soggetto a diritti di autore (artt.2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso



[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 3.44 ± 0.4 Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$3.44 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$4125.0 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 166	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	8.75 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.52 > 2$	OK	
$f_{picco}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.11545 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \epsilon(f_0)$	$0.39687 < 0.17188$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.304 < 1.58$	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
σ_f	deviazione standard della frequenza del picco H/V
$\epsilon(f_0)$	valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \epsilon(f_0)$
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 $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$

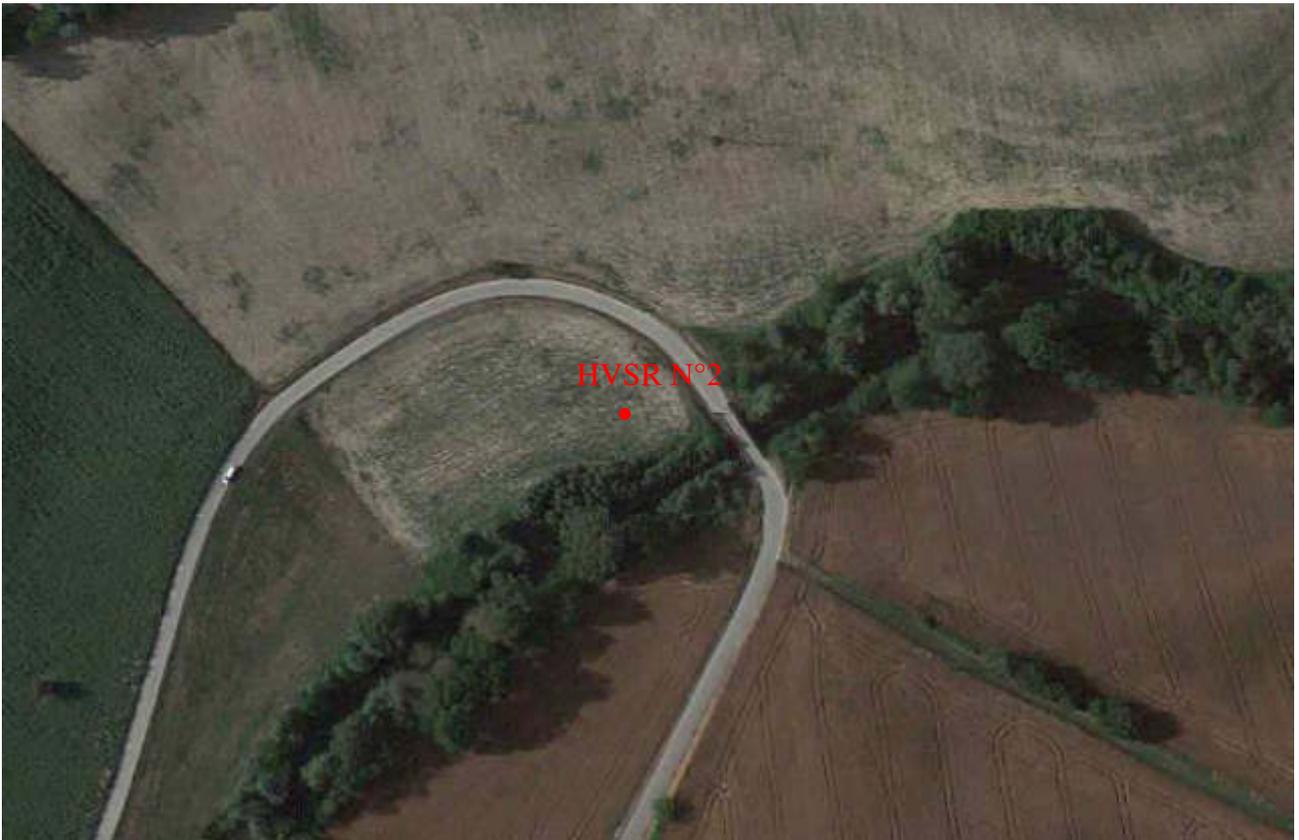
Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

Intervallo di freq. [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\epsilon(f_0)$ [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



Cerreto d'Esi il 17 maggio 2022
Comm.: Tennacola SPA
Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
Indagine HVSR - N°: 2 del: 16/05/2022

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E UBICAZIONE





Scopo dell'indagine HVSR, eseguita mediante tromografo digitale, è la determinazione della categoria sismica del suolo per il calcolo dell'azione sismica di progetto in funzione del parametro V_{seq} (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nel rispetto di: D.M. 17/01/2018 (Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni).

L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche individuate dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità. I valori di a_g (convenzionali), si riferiscono all'accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A (Tab.:1), in cui il moto sismico non subisce variazioni sostanziali, contrariamente a ciò che accade nei suoli di tipo B,C,D,E. I fattori che influenzano questo fenomeno sono l'intensità e la frequenza del moto stesso, le caratteristiche geotecniche, sismiche e lo spessore di suolo attraversato dal treno di onde per giungere in superficie.

L'indagine eseguita con tale metodologia MISURA DIRETTAMENTE le frequenze caratteristiche di sito permettendo così di effettuare un'analisi di amplificazione sismica locale al fine di ottenere una valutazione reale e diretta dello spettro di risposta del terreno, elemento di fondamentale importanza nello studio del fenomeno di doppia risonanza edificio-struttura descritto più avanti.

La Normativa, infatti, in assenza di una specifica analisi di amplificazione sismica locale introduce un fattore di amplificazione S e periodi T che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%, per ricavare indirettamente quello stesso parametro che con la presente tecnica andiamo a misurare direttamente.

Cenni sulla tecnica utilizzata (tecnica dei rapporti spettrali)

La tecnica HVSR, (Horizontal to Vertical Spectral Ratio o tecnica di Nakamura), è una prospezione geofisica non invasiva che attraverso la misura del "rumore sismico", ovunque presente sulla superficie terrestre, fornisce dati sulle frequenze caratteristiche del sito investigato. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte da terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Tale tecnica, essendo una misurazione sismica passiva, non richiede la produzione di impulsi generati ad hoc come nel caso di sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Fig.1, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo di riferimento, mentre la curva verde rappresenta il massimo di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti dalle onde oceaniche sulle coste.

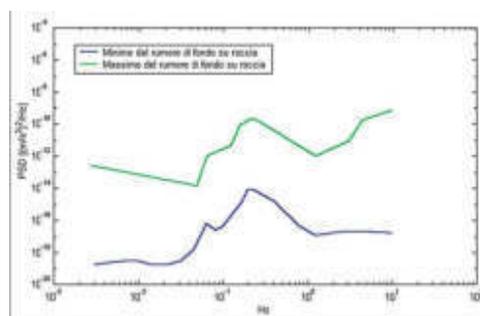


Fig. 1: Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra



Cerreto d'Esi il 17 maggio 2022
Comm.: Tennacola SPA
Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
Indagine HVSR - N°: 3 del: 16/05/2022

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce. 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 dalla velocità di queste ultime.

Strumentazione impiegata

Le misure di microtremore ambientale, della durata minima di 14 minuti, sono effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento Tromino, 10 x 7 x 14 cm per 1,1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Stratigrafia sismica da indagini a stazione singola

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità 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. Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo. Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach et al., 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier et al., 2005). Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

Basi teoriche del metodo H/V

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema di Fig. 2 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

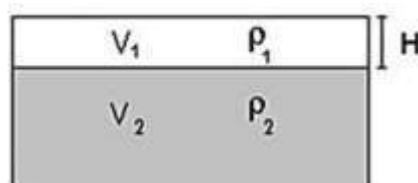


Fig. 2: Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità ρ e velocità di propagazione V



L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (l) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$(f_r) = V_s l / 4H \quad (f_r) = V_p l / 4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh. Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V , che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per *a*) il contenuto in frequenza, *b*) la risposta strumentale e *c*) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, e nei casi più significativi, le curve HVSR sono state invertite secondo la procedura descritta da Arai e Tokimatsu (2004).

Procedura di analisi dati

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

- le curve HVSR, ottenute col software Grilla in dotazione al tromografo TROMINO, con parametri:
 - ⇒ larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
 - ⇒ liscio secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
 - ⇒ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2,
 - ⇒ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
- le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto precedente.

Nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock o bedrock like) le profondità h delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula seguente:

$$H = \left[\frac{V_0(1-a)}{4v_1} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e v la frequenza fondamentale di risonanza. Nei casi più complessi (la maggioranza) si sono invertite le



curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. In questo lavoro per l'inversione delle curve HVSR si sono seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love. Si fa notare che ai fini di questi modelli le V_p e la densità ρ dei mezzi sono quasi ininfluenti pertanto i valori di V_p e ρ che si sono impiegati vanno considerati come puramente indicativi.

La stima della frequenza di risonanza degli edifici

L'applicabilità pratica della semplice formula [1] per il calcolo delle frequenze fondamentali di risonanza dei suoli è stata dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico. Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [2]$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura, espressa dalla relazione seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. naturale coperture} \quad [3]$$

ad essere particolarmente pericolosa, perché dà luogo alla massima amplificazione. La combinazione della [1], [2] e della [3] porta alla

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx V_s / (4H), \quad [4]$$

da cui si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi. Se consideriamo, ad esempio, una fascia di velocità delle onde di taglio tipica dei terreni alluvionali medio-fini (200-300 m/s), possiamo riscrivere la [4] come:

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx 200\text{-}300 \text{ m/s} / (4H). \quad [5]$$

Recenti studi Italiani di Masi et al. (2007) cfr. Figura 3, effettuati su un gran numero di edifici in c.a. mettendo in relazione le frequenze di oscillazione caratteristiche con le altezze, hanno evidenziato alcune deviazioni rispetto alla [5].

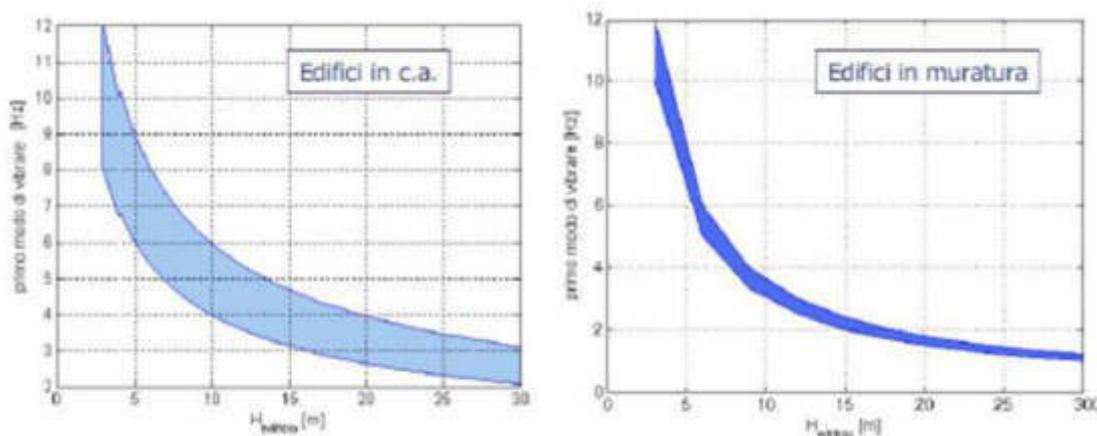


Fig 3:

Castellani e Faccioli (2000) definiscono la risonanza delle strutture tramite la relazione empirica $f_s = \frac{B^{0.5}}{C \times H}$



Cerreto d'Esse il 17 maggio 2022
Comm.: Tennacola SPA
Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
Indagine HVSR - N°: 3 del: 16/05/2022

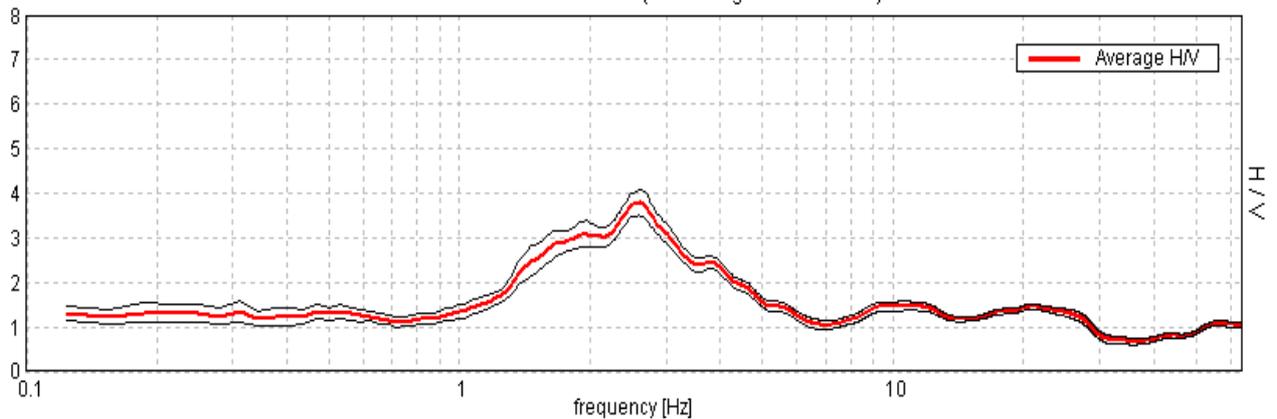
Comm: Tennacola SPA - Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto

Cielo	Sereno	Vento	Assente	Precipitazioni	Assenti	Orientamento	0°N
-------	--------	-------	---------	----------------	---------	--------------	-----

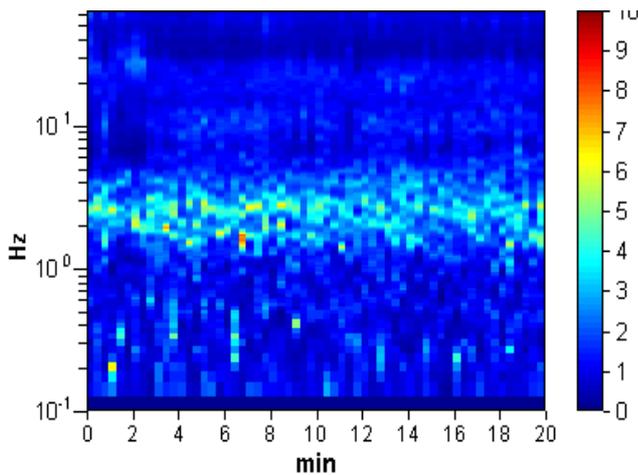
Strumento: TEP-0040/01-09
Inizio registrazione: 16/05/22 09:32:56 Fine registrazione: 16/05/22 09:52:56
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
Dato GPS non disponibile
Durata registrazione: 0h20'00". Analisi effettuata sull'intera traccia.
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di liscio: Triangular window
Liscio: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

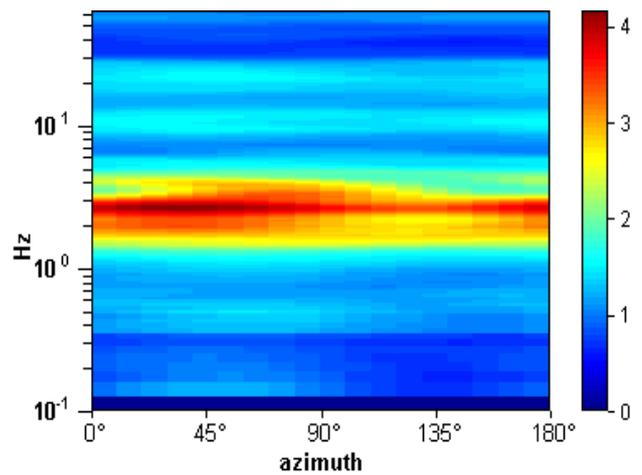
Max. H/V at 2.59 ± 0.06 Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).

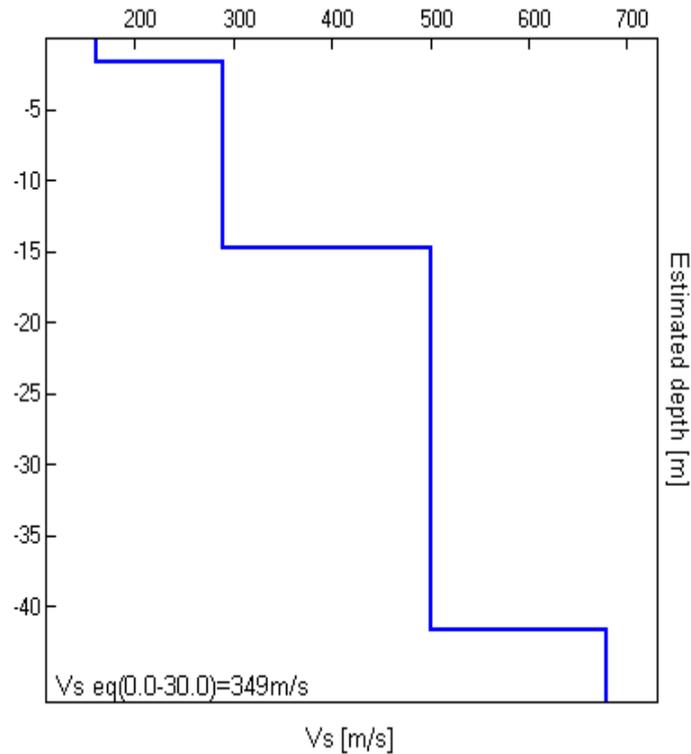


SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V





Categoria	Descrizione
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

NOTA: la categoria di sottosuolo viene stabilita in funzione del valore di V_{eq} calcolato a partire dalla quota del Piano Campagna

Commento sul profilo delle velocità.

L'analisi del profilo delle velocità mostra una successione di terreni caratterizzati da:

sismostrato 1: ha uno spessore complessivo di m.14,70 riconducibile alla copertura alluvionale e alla porzione alterata della formazione.

sismostrato 2: da m. 14,70 correlabile alla formazione che, man mano che ci si approfondisce, manifesta migliori proprietà geofisiche con velocità delle V_s stimata a m/s 680.

Frequenza fondamentale di sito e frequenza di risonanza ai fini progettuali

Ogni sito è caratterizzato da una propria frequenza di risonanza fondamentale che può andare da millesimi di Hz a decine di Hz, in particolare in questo caso si è misurata un'amplificazione massima alla frequenza di Hz $2,59 \pm 0,06$.

L'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico standard è invece 0,5 - 10 Hz (corrispondenti alle frequenze principali di strutture approssimativamente da 30 a 1 piano). Essendo dunque l'intervallo di frequenze del sottosuolo più esteso di quello possibile per le strutture, alcune frequenze del sottosuolo possono essere trascurate ai fini della progettazione in zona sismica in quanto non comportano aggravii particolari per le strutture standard. In quest'ottica ad esempio non verranno segnalate le frequenze superiori a 20 Hz. **Nel caso in esame si evidenzia che l'area, sollecitata da input sismico, amplifica le onde di superficie con un fattore ≥ 2 nel range $1,34 \text{ Hz} \leq f \leq 4,32 \text{ Hz}$ con picco a 2,59 Hz.** Poiché la coincidenza di risonanze tra suolo e struttura comporta un aggravio nell'ampiezza dell'input sismico, la condizione ideale è che la frequenza della struttura sia inferiore rispetto a quella del sottosuolo, tuttavia quando questa condizione non può essere rispettata, è raccomandabile che la struttura venga progettata con frequenze proprie principali maggiori almeno il 40% dei valori segnalati per il sottosuolo. Qualora almeno una delle condizioni sopra indicate non possa essere rispettata la categoria di sottosuolo dovrà essere declassata alla categoria E.



[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 2.59 ± 0.06 Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	$2.59 > 0.50$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$3112.5 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5$ Hz $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5$ Hz	Superato 0 volte su 126	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	1.281 Hz	OK	
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	4.594 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.79 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.0243 < 0.05$	OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.06302 < 0.12969$	OK	
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.2852 < 1.58$	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
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



Cerreto d'Esi il 17 maggio 2022
Comm.: Tennacola SPA
Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
Indagine HVSR - N°: 3 del: 16/05/2022

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E UBICAZIONE





Scopo dell'indagine HVSR, eseguita mediante tromografo digitale, è la determinazione della categoria sismica del suolo per il calcolo dell'azione sismica di progetto in funzione del parametro V_{seq} (velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio nel rispetto di: D.M. 17/01/2018 (Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni).

L'intero territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche individuate dal valore a_g dell'accelerazione di picco al suolo, normalizzata rispetto all'accelerazione di gravità. I valori di a_g (convenzionali), si riferiscono all'accelerazione di picco in superficie per suolo di tipo A (Tab.:1), in cui il moto sismico non subisce variazioni sostanziali, contrariamente a ciò che accade nei suoli di tipo B,C,D,E. I fattori che influenzano questo fenomeno sono l'intensità e la frequenza del moto stesso, le caratteristiche geotecniche, sismiche e lo spessore di suolo attraversato dal treno di onde per giungere in superficie.

L'indagine eseguita con tale metodologia MISURA DIRETTAMENTE le frequenze caratteristiche di sito permettendo così di effettuare un'analisi di amplificazione sismica locale al fine di ottenere una valutazione reale e diretta dello spettro di risposta del terreno, elemento di fondamentale importanza nello studio del fenomeno di doppia risonanza edificio-struttura descritto più avanti.

La Normativa, infatti, in assenza di una specifica analisi di amplificazione sismica locale introduce un fattore di amplificazione S e periodi T che definiscono lo spettro di risposta di un oscillatore semplice con smorzamento pari al 5%, per ricavare indirettamente quello stesso parametro che con la presente tecnica andiamo a misurare direttamente.

Cenni sulla tecnica utilizzata (tecnica dei rapporti spettrali)

La tecnica HVSR, (Horizontal to Vertical Spectral Ratio o tecnica di Nakamura), è una prospezione geofisica non invasiva che attraverso la misura del "rumore sismico", ovunque presente sulla superficie terrestre, fornisce dati sulle frequenze caratteristiche del sito investigato. Si chiama anche microtremore poiché riguarda oscillazioni molto più piccole di quelle indotte da terremoti nel campo prossimo all'epicentro. Tale tecnica, essendo una misurazione sismica passiva, non richiede la produzione di impulsi generati ad hoc come nel caso di sismica attiva.

Nelle zone in cui non è presente alcuna sorgente di rumore locale e in assenza di vento, lo spettro in frequenza del rumore di fondo, in un terreno roccioso e pianeggiante, ha l'andamento illustrato in Fig.1, dove la curva blu rappresenta il rumore di fondo minimo di riferimento, mentre la curva verde rappresenta il massimo di tale rumore, e dove i picchi a 0.14 e 0.07 Hz sono prodotti dalle onde oceaniche sulle coste.

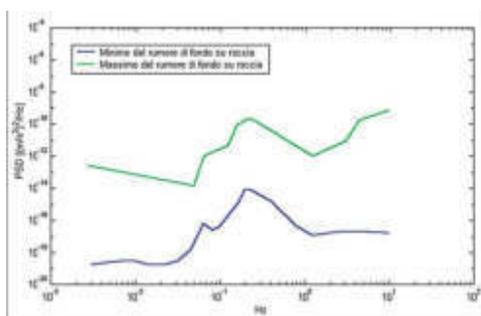


Fig. 1: Modelli standard del rumore sismico massimo (in verde) e minimo (in blu) per la Terra



Cerreto d'Esi il 17 maggio 2022
Comm.: Tennacola SPA
Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
Indagine HVSR - N° 4: del: 16/05/2022

Tali componenti spettrali vengono attenuate relativamente poco anche dopo tragitti di migliaia di chilometri per effetto di guida d'onda. A questo rumore di fondo, che è sempre presente, si sovrappongono le sorgenti locali, antropiche (traffico, industrie ecc.) e naturali, che però si attenuano fortemente a frequenze superiori a 20 Hz, a causa dell'assorbimento anelastico originato dall'attrito interno delle rocce. 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 dalla velocità di queste ultime.

Strumentazione impiegata

Le misure di microtremore ambientale, della durata minima di 14 minuti, sono effettuate con un tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico. Lo strumento Tromino, 10 x 7 x 14 cm per 1,1 kg di peso) è dotato di tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, alimentato da 2 batterie AA da 1.5 V, fornito di GPS interno e senza cavi esterni. I dati di rumore, amplificati e digitalizzati a 24 bit equivalenti, sono stati acquisiti alla frequenza di campionamento di 128 Hz.

Stratigrafia sismica da indagini a stazione singola

Il tipo di stratigrafia che le tecniche di sismica passiva possono restituire si basa sul concetto di *contrasto di impedenza*. Per *strato* si intende cioè un'unità 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. Dai primi studi di Kanai (1957) in poi, diversi metodi sono stati proposti per estrarre l'informazione relativa al sottosuolo dal rumore sismico registrato in un sito. Tra questi, la tecnica che si è maggiormente consolidata nell'uso è quella dei rapporti spettrali tra le componenti del moto orizzontale e quella verticale (Horizontal to Vertical Spectral Ratio, HVSR o H/V), proposta da Nogoshi e Igarashi (1970). La tecnica è universalmente riconosciuta come efficace nel fornire stime affidabili della frequenza fondamentale di risonanza del sottosuolo. Inizialmente, alcuni ricercatori, proposero di utilizzare anche l'ampiezza del picco come indicatore sintetico dell'amplificazione sismica locale, direttamente utilizzabile per la microzonazione.

Studi recenti hanno dimostrato che ulteriori picchi a frequenza maggiori di quelle del bedrock sono riconducibili a contrasti di impedenza interni alla copertura sedimentaria (es. Baumbach et al., 2002) e picchi a frequenze minori di quella del bedrock sono invece riconducibili a contrasti di impedenza interni al bedrock stesso (es. Guillier et al., 2005). Riconosciuta questa capacità e dato che, se è disponibile una stima delle velocità delle onde elastiche, le frequenze di risonanza possono essere convertite in stratigrafia, ne risulta che il metodo HVSR può essere, in linea di principio, usato come strumento stratigrafico.

Basi teoriche del metodo H/V

Le basi teoriche dell'H/V sono relativamente semplici in un mezzo del tipo strato + bedrock (o strato assimilabile al bedrock) in cui i parametri sono costanti in ciascuno strato (1-D). Consideriamo il sistema di Fig. 2 in cui gli strati 1 e 2 si distinguono per le diverse densità (ρ_1 e ρ_2) e le diverse velocità delle onde sismiche (V_1 e V_2). Un'onda che viaggia nel mezzo 1 viene (parzialmente) riflessa dall'interfaccia che separa i due strati.

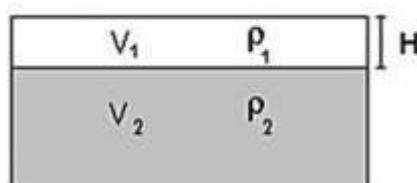


Fig. 2: Mezzo a 2 strati caratterizzati da densità ρ e velocità di propagazione V

* documento soggetto a diritti di autore (artt.2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso



Cerreto d'Esi il 17 maggio 2022
Comm.: Tennacola SPA
Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
Indagine HVSR - N° 4: del: 16/05/2022

L'onda così riflessa interferisce con quelle incidenti, sommandosi e raggiungendo le ampiezze massime (condizione di risonanza) quando la lunghezza dell'onda incidente (l) è 4 volte (o suoi multipli dispari) lo spessore H del primo strato. La frequenza fondamentale di risonanza (f_r) dello strato 1 relativa alle onde S (o P) è pari a:

$$(f_r) = V_s l / 4H \quad (f_r) = V_p l / 4H \quad [1]$$

I microtremori sono solo in parte costituiti da onde di volume P o S, e in misura molto maggiore da onde superficiali, in particolare da onde di Rayleigh. Tuttavia ci si può ricondurre a risonanza delle onde di volume, poiché le onde di superficie sono prodotte da interferenza costruttiva di queste ultime e poiché la velocità dell'onda di Rayleigh è molto prossima a quella delle onde S. Questo effetto è sommabile, anche se non in modo lineare e senza una corrispondenza 1:1. Ciò significa che la curva H/V relativa ad un sistema a più strati contiene l'informazione relativa alle frequenze di risonanza (e quindi allo spessore) di ciascuno di essi, ma non è interpretabile semplicemente applicando l'equazione [1]. L'inversione richiede l'analisi delle singole componenti e del rapporto H/V, che fornisce un'importante normalizzazione del segnale per a) il contenuto in frequenza, b) la risposta strumentale e c) l'ampiezza del segnale quando le registrazioni vengono effettuate in momenti con rumore di fondo più o meno alto.

La situazione, nel caso di un suolo reale, è spesso più complessa. Innanzitutto il modello di strato piano al di sopra del bedrock si applica molto raramente. Poi, la velocità aumenta con la profondità, possono esserci eterogeneità laterali importanti ed infine la topografia può non essere piana. L'inversione delle misure di tremore a fini stratigrafici, nei casi reali, sfrutta quindi la tecnica del confronto degli spettri singoli e dei rapporti H/V misurati con quelli 'sintetici', cioè con quelli calcolati relativamente al campo d'onde completo di un modello 3D. L'interpretazione è tanto più soddisfacente, e il modello tanto più vicino alla realtà, quanto più i dati misurati e quelli sintetici sono vicini. In questo lavoro i segnali sono stati analizzati non solo attraverso i rapporti spettrali H/V ma anche attraverso gli spettri delle singole componenti, e nei casi più significativi, le curve HVSR sono state invertite secondo la procedura descritta da Arai e Tokimatsu (2004).

Procedura di analisi dati

Dalle registrazioni del rumore sismico sono state ricavate e analizzate due serie di dati:

- le curve HVSR, ottenute col software Grilla in dotazione al tromografo TROMINO, con parametri:
 - ⇒ larghezza delle finestre d'analisi 20 s,
 - ⇒ lisciamiento secondo finestra triangolare con ampiezza pari al 10% della frequenza centrale,
 - ⇒ rimozione delle finestre con rapporto STA/LTA (media a breve termine / media a lungo termine) superiore a 2,
 - ⇒ rimozione manuale di eventuali transienti ancora presenti.
- le curve dello spettro di velocità delle tre componenti del moto (ottenute dopo analisi con gli stessi parametri del punto precedente.

Nei casi particolarmente semplici (copertura + bedrock o bedrock like) le profondità h delle discontinuità sismiche sono state ricavate tramite la formula seguente:

$$H = \left[\frac{V_0(1-a)}{4v_1} + 1 \right]^{1/(1-a)} - 1$$

in cui V_0 è la velocità al tetto dello strato, a un fattore che dipende dalle caratteristiche del sedimento (granulometria, coesione ecc.) e v la frequenza fondamentale di risonanza. Nei casi più complessi (la maggioranza) si sono invertite le



curve HVSR creando una serie di modelli teorici da confrontare con quello sperimentale, fino a considerare per buono il modello teorico più vicino alle curve sperimentali. In questo lavoro per l'inversione delle curve HVSR si sono seguite le procedure descritte in Arai e Tokimatsu (2004), usando il modo fondamentale delle onde di Rayleigh e Love. Si fa notare che ai fini di questi modelli le V_p e la densità ρ dei mezzi sono quasi ininfluenti pertanto i valori di V_p e ρ che si sono impiegati vanno considerati come puramente indicativi.

La stima della frequenza di risonanza degli edifici

L'applicabilità pratica della semplice formula [1] per il calcolo delle frequenze fondamentali di risonanza dei suoli è stata dimostrata in molti studi sia nell'ambito della prospezione geofisica che nell'ambito ingegneristico. Dal punto di vista empirico, è noto che la frequenza di risonanza di un edificio è governata principalmente dall'altezza e può essere pertanto calcolata, in prima approssimazione, secondo la formula seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx 10 \text{ Hz} / \text{numero piani.} \quad [2]$$

È la coincidenza di risonanza tra terreno e struttura, espressa dalla relazione seguente:

$$\text{freq. naturale edificio} \approx \text{freq. naturale coperture} \quad [3]$$

ad essere particolarmente pericolosa, perché dà luogo alla massima amplificazione. La combinazione della [1], [2] e della [3] porta alla

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx V_s / (4H), \quad [4]$$

da cui si può ricavare una relazione di prima approssimazione tra il numero di piani dell'edificio e lo spessore delle coperture nel sito dell'edificio stesso che possono determinare situazioni pericolose e devono quindi essere oggetto di studi approfonditi. Se consideriamo, ad esempio, una fascia di velocità delle onde di taglio tipica dei terreni alluvionali medio-fini (200-300 m/s), possiamo riscrivere la [4] come:

$$10 \text{ Hz} / \text{numero piani} \approx 200\text{-}300 \text{ m/s} / (4H). \quad [5]$$

Recenti studi Italiani di Masi et al. (2007) cfr. Figura 3, effettuati su un gran numero di edifici in c.a. mettendo in relazione le frequenze di oscillazione caratteristiche con le altezze, hanno evidenziato alcune deviazioni rispetto alla [5].

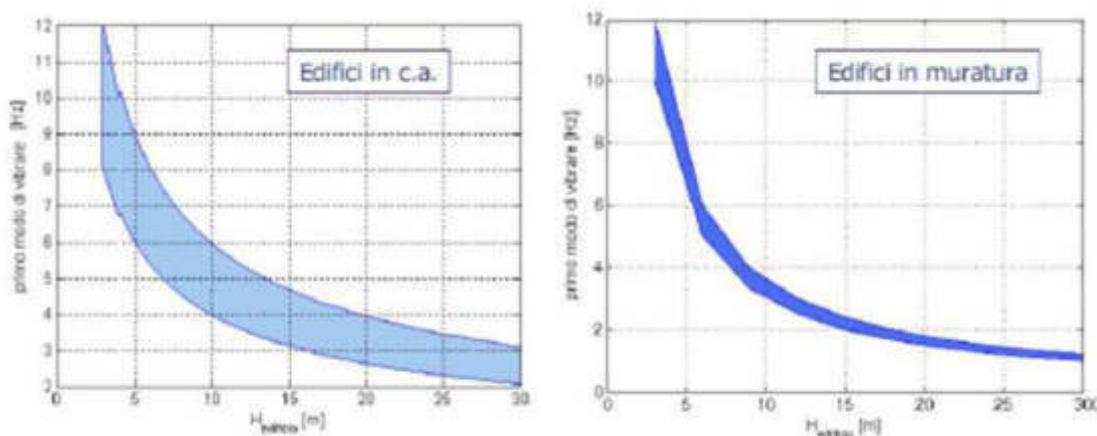


Fig 3:

Castellani e Faccioli (2000) definiscono la risonanza delle strutture tramite la relazione empirica $f_s = \frac{B^{0.5}}{C \times H}$



Cerreto d'Esi il 17 maggio 2022
Comm.: Tennacola SPA
Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
Indagine HVSR - N° 4: del: 16/05/2022

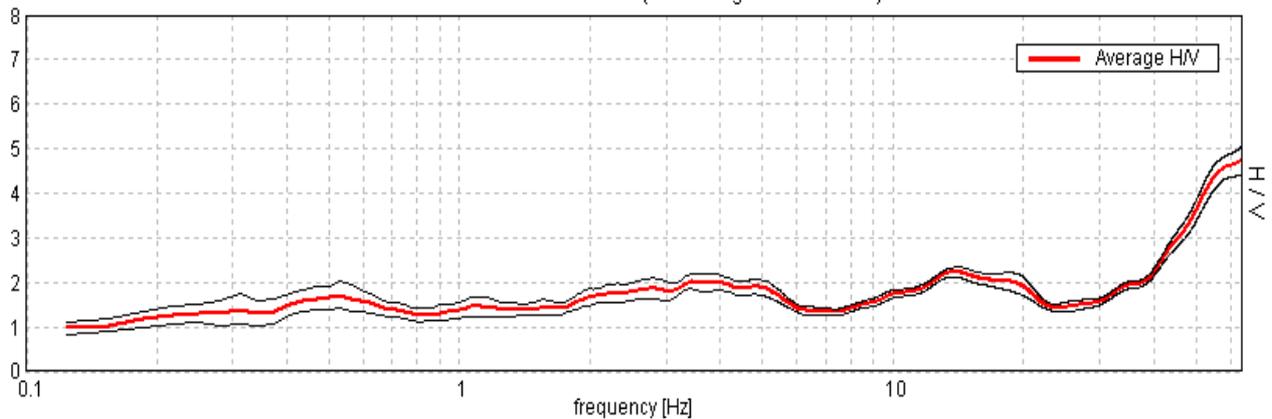
Comm: Tennacola SPA - Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto

Cielo	Sereno	Vento	Assente	Precipitazioni	Assenti	Orientamento	0°N
-------	--------	-------	---------	----------------	---------	--------------	-----

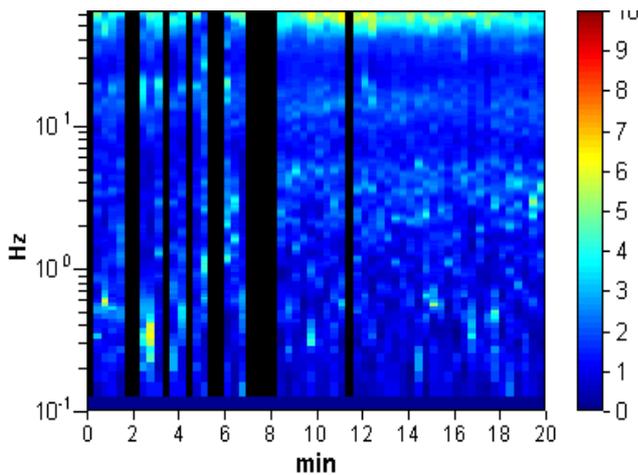
Strumento: TEP-0040/01-09
Inizio registrazione: 16/05/22 10:18:15 Fine registrazione: 16/05/22 10:38:15
Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN
Dato GPS non disponibile
Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 80% tracciato (selezione manuale)
Freq. campionamento: 128 Hz
Lunghezza finestre: 20 s
Tipo di lisciamento: Triangular window
Lisciamento: 10%

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

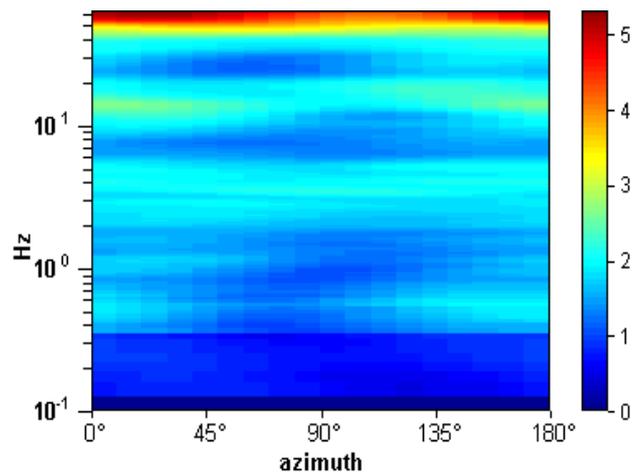
Max. H/V at 14.0 ± 6.34 Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



SERIE TEMPORALE H/V

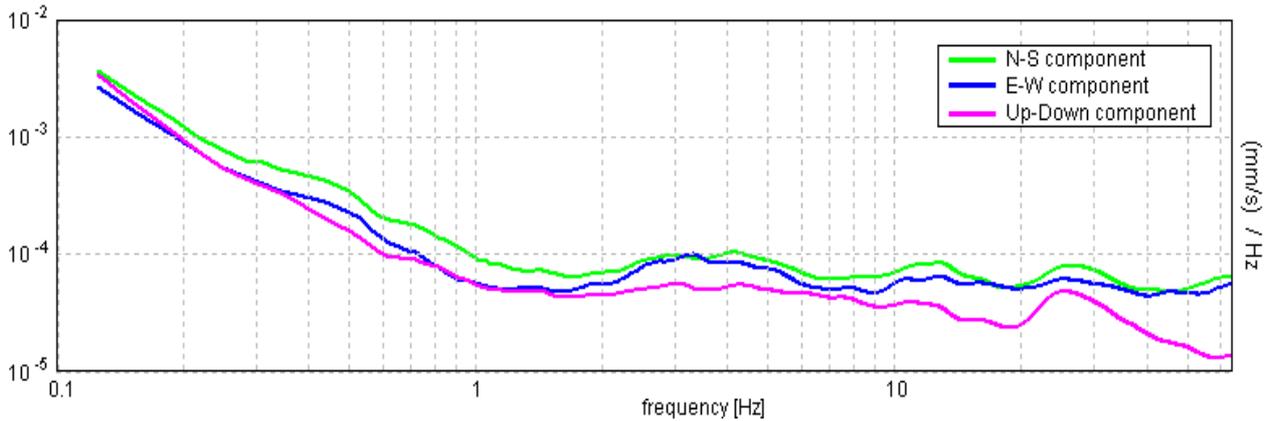


DIREZIONALITA' H/V



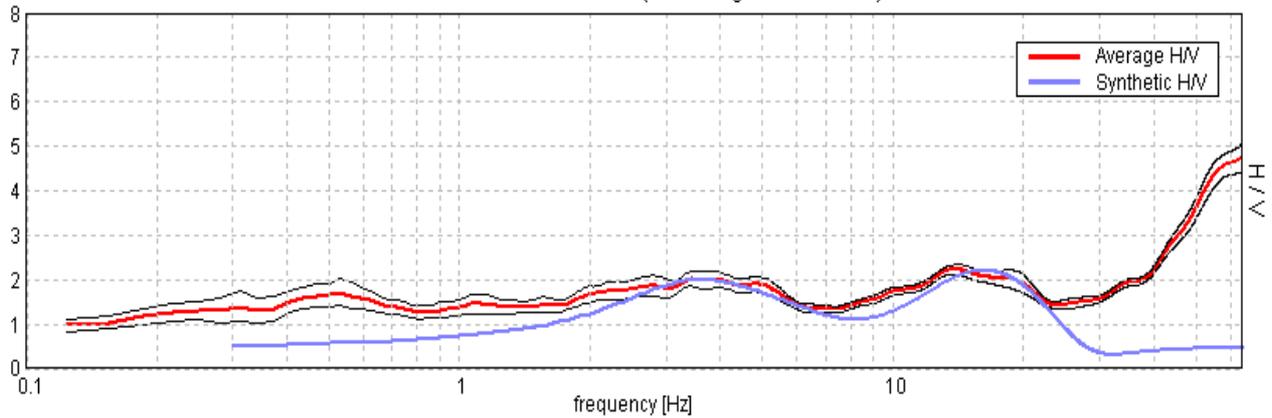


SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



H/V SPERIMENTALE vs. H/V SINTETICO

Max. H/V at 14.0 ± 6.34 Hz. (In the range 0.1 - 20.0 Hz).



Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
1.60	1.60	120	0.40
5.60	4.00	250	0.40
16.60	11.00	320	0.40
41.60	25.00	480	0.38
inf.	inf.	600	0.37

Per la definizione dell'azione sismica di progetto ai sensi del nuovo D.M.17 gennaio 2018 integrato, la velocità di propagazione delle onde di taglio V_s , è calcolata con la seguente espressione.

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

con

h_i spessore dell'i-esimo strato;

$V_{s,i}$ velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;

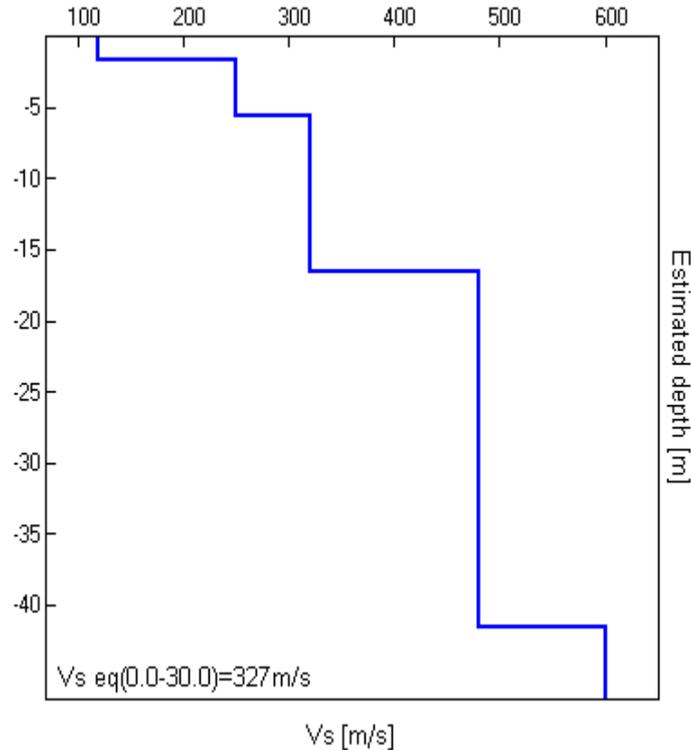
N numero di strati;

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

V_s eq (0.0-30.0)=327 m/s



Cerreto d'Esi il 17 maggio 2022
 Comm.: Tennacola SPA
 Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
 Indagine HVSR - N° 4: del: 16/05/2022



Categoria	Descrizione
C	Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.

NOTA: la categoria di sottosuolo viene stabilita in funzione del valore di V_{eq} calcolato a partire dalla quota del Piano Campagna

Commento sul profilo delle velocità.

L'analisi del profilo delle velocità mostra una successione di terreni caratterizzati da:

sismostrato 1: ha uno spessore complessivo di m.16,60 riconducibile alla copertura alluvionale e alla porzione alterata della formazione.

sismostrato 2: da m. 16,60 correlabile alla formazione che, man mano che ci si approfondisce, manifesta migliori proprietà geofisiche con velocità delle Vs stimata a m/s 600.

Frequenza fondamentale di sito e frequenza di risonanza ai fini progettuali

Ogni sito è caratterizzato da una propria frequenza di risonanza fondamentale che può andare da millesimi di Hz a decine di Hz, in particolare in questo caso si è misurata un'amplificazione massima alla frequenza di Hz $14,00 \pm 6,34$.

L'intervallo di frequenze di interesse ingegneristico standard è invece 0,5 - 10 Hz (corrispondenti alle frequenze principali di strutture approssimativamente da 30 a 1 piano). Essendo dunque l'intervallo di frequenze del sottosuolo più esteso di quello possibile per le strutture, alcune frequenze del sottosuolo possono essere trascurate ai fini della progettazione in zona sismica in quanto non comportano aggravii particolari per le strutture standard. In quest'ottica ad esempio non verranno segnalate le frequenze superiori a 20 Hz. **Nel caso in esame si evidenzia che l'area, sollecitata da input sismico, amplifica le onde di superficie con un fattore ≥ 2 nei range $3,37 \text{ Hz} \leq f \leq 3,60 \text{ Hz}$ e $12,39 \text{ Hz} \leq f \leq 18,91 \text{ Hz}$ con picchi rispettivamente a 3,51 Hz e a 14,00 Hz.** Poiché la coincidenza di risonanze tra suolo e struttura comporta un aggravio nell'ampiezza dell'input sismico, la condizione ideale è che la frequenza della struttura sia inferiore rispetto a quella del sottosuolo, tuttavia quando questa condizione non può essere rispettata, è raccomandabile che la struttura venga progettata con frequenze proprie principali maggiori almeno il 40% dei valori segnalati per il sottosuolo. Qualora almeno una delle condizioni sopra indicate non possa essere rispettata la categoria di sottosuolo dovrà essere declassata alla categoria E.

* documento soggetto a diritti di autore (artt.2575 e seg. C.C.). Vietata la riproduzione senza il preventivo consenso



[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 14.0 ± 6.34 Hz (nell'intervallo 0.1 - 20.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

$f_0 > 10 / L_w$	14.00 > 0.50	OK	
$n_c(f_0) > 200$	13440.0 > 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 673	OK	

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$			NO
$A_0 > 2$	2.24 > 2	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	$ 0.45292 < 0.05$		NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	6.34084 < 0.7		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	0.1103 < 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
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



Cerreto d'Esi il 17 maggio 2022
Comm.: Tennacola SPA
Cant.: Collettore Fognario Medio Bacino Ete Morto
Indagine HVSR - N° 4: del: 16/05/2022

DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA E UBICAZIONE

