



COMUNE DI FANO

(Provincia di Pesaro e Urbino)

VARIANTE URBANISTICA AL PRG VIGENTE PER LA REALIZZAZIONE DI UNA STRUTTURA SPORTIVA DESTINATA A CENTRO NATATORIO IN LOCALITA' STRADA SAN MICHELE

RELAZIONE GEOLOGICA
GEOMORFOLOGICA E SISMICA

A2

Ottobre 2017

PROGETTO

PROGETTO URBANISTICO:

STUDIO D'ARCHITETTURA
ARCH. M. AMADEI - F. CAVERNI - A. GORI
ING. EDILE ARCH. F. AMADEI
Via Alavollini n. 6 - 61032 FANO (PU) - Tel. 0721/1920810 - E-mail: amadelcavernigori@gmail.com

RELAZIONE GEOLOGICA:

STUDIO GEOLOGICO DOTT. SSA MARIA VITTORIA CASTELLANI
Via Il Glugno 16 - 61032 Fano (PU)

INDICE

1. P R E M E S S A	3
Inquadramento Geografico	4
Topografia	5
2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO – GEOLOGICO - IDROGEOLOGICO	9
Geologia e Geomorfologia	9
Analisi del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)	19
Inquadramento climatico	15
Idrogeologia	19
3. RICOSTRUZIONE DEL MODELLO STRATIGRAFICO	23
Tipologia delle indagini	23
Prove Penetrometriche	23
Prova Masw	31
Prova HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)	33
Descrizione delle sezioni stratigrafiche interpretative	35
Caratterizzazione geomeccanica	35
4. CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITA' DEL PROGETTO	36
Azione sismica	36
Verifica del potenziale di liquefazione	39
Valutazioni del rischio idrogeologico	39
5. CONCLUSIONI	43

1. PREMESSA

In conformità alle normative tecniche dettate dal D.M. 14/01/2008, è stata redatta una relazione geologica per la variante in oggetto nel Comune di Fano tra Via Mattei, Strada San Michele e la nuova strada di collegamento prevista dal PRG e dal progetto delle Opere Compensative della Società Autostrade.

La normativa di riferimento è, sinteticamente, la seguente:

- OPCM n. 3274 del 20/03/2003 "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- OPCM n. 3519 del 28/04/2006 "Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone" ;
- D.M. 14/01/2008 – Testo unitario "Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica";
- Circolare n. 617 del 02/02/2009 "Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14/01/2008" ;
- Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici-Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione del territorio nazionale;
- Ordinanze Autorità di Bacino nazionale, regionale o interregionale.
- Legge Regionale 23 novembre 2012, n. 22
- DGR 53/2014

Lo scopo della presente relazione è quello di fornire un adeguato modello geologico del sito e valutare la stratigrafia dei terreni presenti ricostruendo il loro andamento tramite metodologie proprie del rilievo diretto in campagna ed indagini geognostiche, finalizzato alla redazione di una Variante al PRG del Comune di Fano, con la quale, un'area destinata ad Attrezzature Collettive verrà destinata ad Attrezzature Sportive.

Dopo un sopralluogo nell'area in studio, si è ritenuto di posizionare:

- n. 2 indagini penetrometriche CPT/DPSH;
- n. 1 estendimento sismico per metodologia MASW;
- n. 1 prova HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio):
- n. 2 Sondaggi a rotazione per prove di permeabilità.

L'indagine è stata inoltre integrata con prove geognostiche eseguite in aree limitrofe.

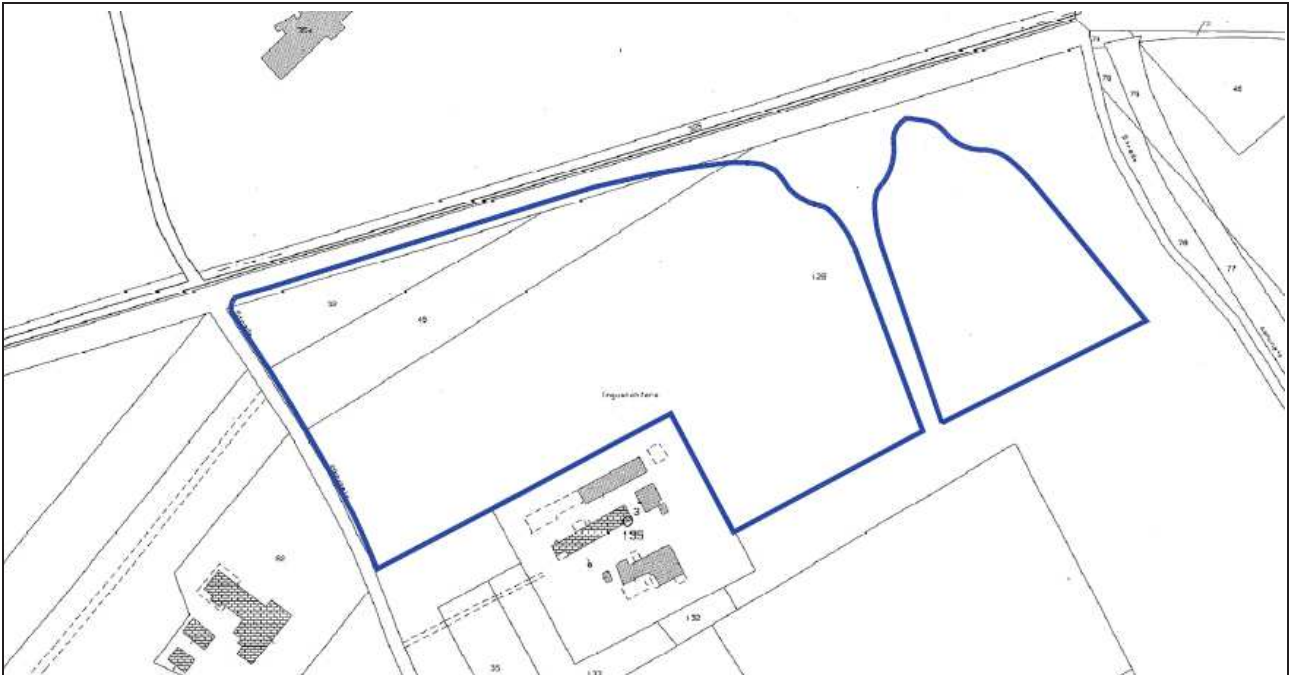
Tutte le indagini, sia quelle eseguite direttamente sull'area di intervento che quelle eseguite in aree limitrofe sono rappresentate in una planimetria allegata alla relazione (Allegato 1).

Inquadramento Geografico

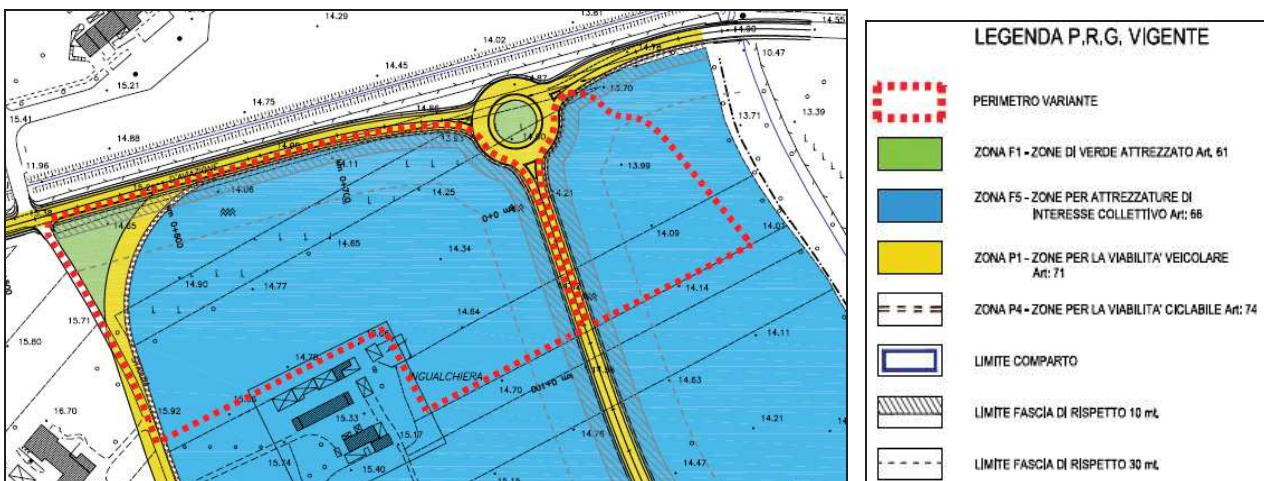


L'opera, oggetto di studio, ricade all'interno del territorio comunale di Fano, tra l'Aeroporto, l'Autostrada e il fiume Metauro.



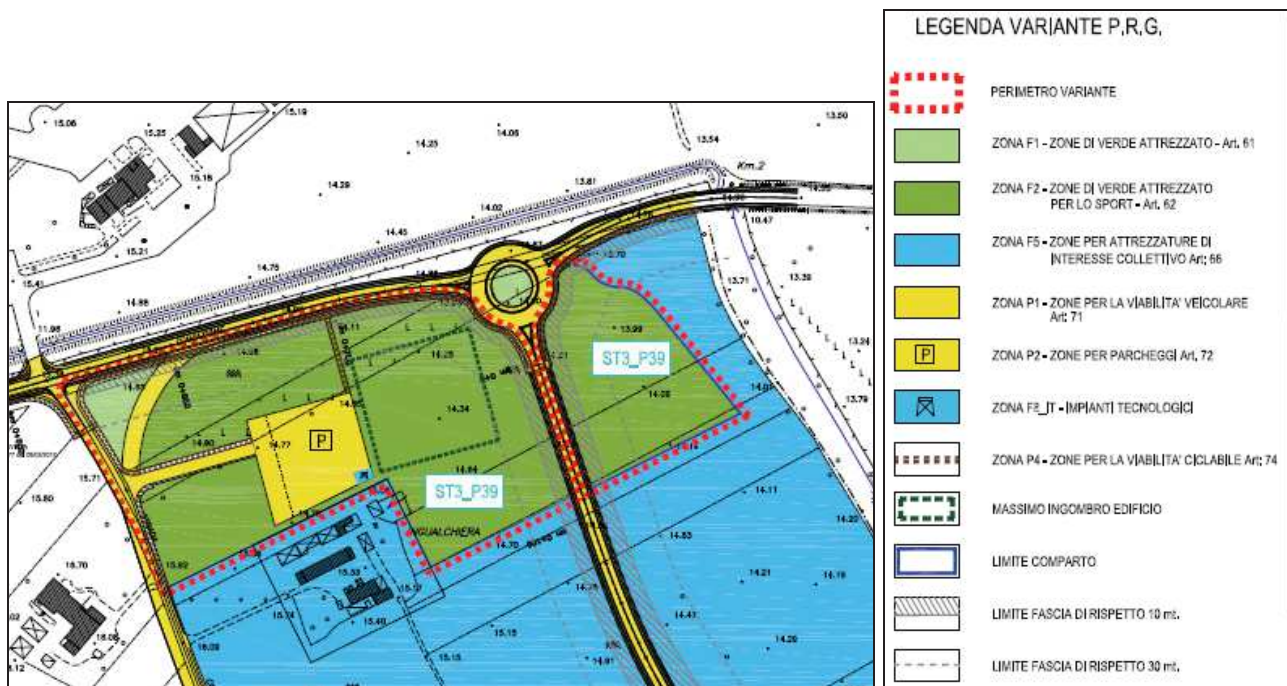


STRALCIO CATASTALE – FOGLIO N. 64
 MAPPALI: 32-49-129/p



STRALCIO PRG VIGENTE

La Variante al PRG prevede il cambio di destinazione da "F5 – Zone per attrezzature di interesse collettivo" di cui all' art. 66 delle NTA del PRG vigente in "Zone F2 – Zone di verde attrezzato per lo sport" di cui all' art. 62 delle NTA come da stralcio Variante PRG seguente.



STRALCIO VARIANTE PRG

La Variante al P.R.G. riguarda la trasformazione urbanistica di un'area che sviluppa una superficie complessiva di mq 38.218,00 suddivisa in due ambiti territoriali separati dalla nuova strada di progetto in corso di realizzazione da parte della Società Autostrade..

Tale tracciato recepisce quanto scaturito dal progetto delle Opere Compensative elaborate dalla Società Autostrade e fatte proprie dal Consiglio Comunale di Fano.

Il nuovo comparto denominato "Zona sportiva per centro natatorio definito dalla scheda tecnica ST3_P39" individua l' area destinata alla realizzazione del nuovo centro natatorio e quelle relative alle strade e ai parcheggi.

Il nuovo centro natatorio è un edificio a carattere sportivo/ricreativo/sanitario che ha al centro delle proprie attività quelle legate alla pratica delle attività natatorie e delle altre attività motorie, comprese quelle riabilitative, connesse all'uso dell'acqua.

All'interno dell'area non sono presenti edifici, dal sopralluogo eseguito l'area è risultata coltivata (erba medica) come da documentazione fotografica seguente. Attualmente è parzialmente interessata dai cantieri della Società Autostrade per le Opere Compensative dell'Ampliamento dell'Autostrada A14.



Fotografia 1



Fotografia 2



Fotografia 3



Fotografia 4

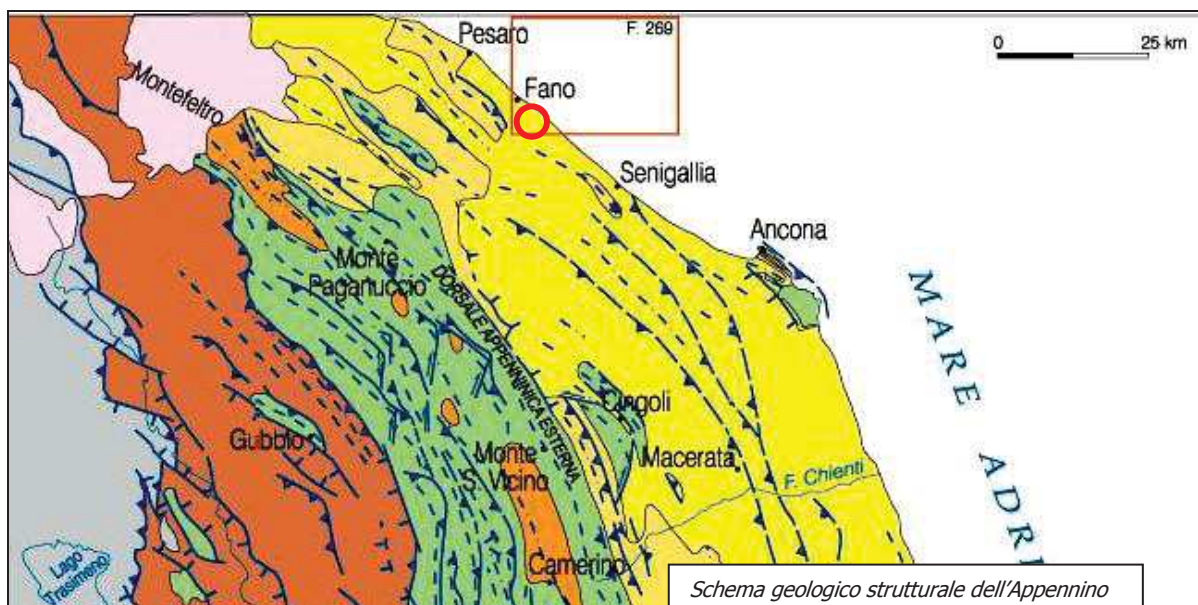
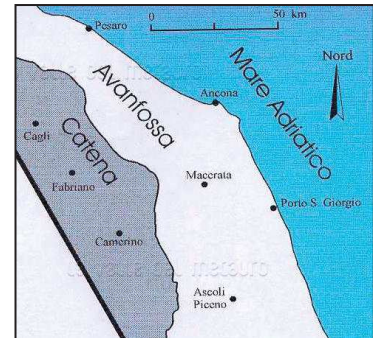
2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO – GEOLOGICO - IDROGEOLOGICO

Geologia e Geomorfologia

L'area è situata nel settore settentrionale della regione Marche, tettonicamente caratterizzato da ampie sinclinali separate da anticlinali per lo più molto strette, talora pseudodiapiriche, con orientamento NW-SE e spesso interessate da faglie longitudinali.

L'area oggetto di studio è ubicata nel settore del bacino marchigiano esterno, all'interno dell'Avanfossa, una unità geologica occupata dai terreni prevalentemente argillosi e subordinatamente

sabbioso - arenacei della Successione plio - pleistocenica peri - Adriatica (come da Figura seguente), la stessa a SW è delimitata dai rilievi mesozoici della catena appenninica, costituita da terreni di età giurassica e cretacea, prevalentemente di natura calcarea e/o marnoso-calcarea che gli conferisce una notevole resistenza all'erosione da parte degli agenti esogeni.



Schema geologico strutturale dell'Appennino Umbro - Marchigiano (Mazzoli et al., 2002) estratto dal Foglio Geologico 269 Fano (Progetto CARG).

1	Unità Monte Falterona-Trasimeno
2	Successione calcarea, calcareo-marnosa e marnosa Umbro-Marchigiana (Lias-Miocene)
3a	Depositi torbiditici silicoclastici Umbro-Marchigiani:
3b	a) Area interna (Pre-Appennino) (Burdigaliano-Tortoniano);
3c	b) Bacini Intra-Appenninici (Tortoniano-Messiniano);
	c) Area pedappenninica (Messiniano)
4	Successione plio-pleistocenica peri-Adriatica
5	Unità Luguridi e Subluguridi

	sovrascorimenti affioranti
	sovrascorimenti sepolti
	faglie a prevalente spostamento orizzontale
	faglie normali
	anticlinali
	sinclinali

La litologica delle strutture tettoniche ha una differente composizione che si riflette nelle tre aree comprese tra i rilievi appenninici ed il mare; le fasce orografiche che si succedono dalla linea di costa verso l'interno con direzione NW-SE, sono le seguenti:

- 1) fascia costiera - pianeggiante con una limitata estensione;
- 2) fascia collinare - morfologia dolce con una larghezza di ca. 30 km;
- 3) fascia montuosa - morfologia montuosa e coincidente con la dorsale appenninica.

Le strutture tettoniche vengono tagliate trasversalmente dal reticolo idrografico, che incide gole profonde in corrispondenza dei terreni più consistenti della dorsale e pianure alluvionali allungate in direzione SW-NE nel tratto che va dalla fascia collinare fino alla costa.

L'area in studio si trova sulla piana alluvionale in sinistra idraulica del fiume Metauro.

Il substrato della piana alluvionale è caratterizzato dalle **Argille Azzurre**; si tratta di una formazione marina rappresentata da una successione di terreni prevalentemente pelitici; risulta costituita da tipiche argille marnose grigio-azzurrognole, talora laminate, fossilifere e in strati da sottili a medi. Sono mal stratificate, a frattura concoide, con patine di ossidazione rossastre e, localmente, presentano addensamenti di frammenti organogeni e noduli diagenetici giallo rossastri di diametro centimetrico formati da ossidi di ferro e solfuri.

Sono talora presenti rari livelli di silt e/o sabbia fine e medio fine di colore nocciola, talora gradate e laminate (laminazione piano-parallela e a volte incrociata).

Sono assenti le intercalazioni più grossolane rappresentate da corpi pelitico-arenitici e arenitico-conglomeratici.

Lo spessore affiorante è di circa 100/150 metri.

Lo stile della sedimentazione che ha caratterizzato i bacini marini plio-pleistocenici del settore esterno dell' Avanfossa Adriatica è stato condizionato sia dalle interazioni tra subsidenza, eustatismo e tasso di sedimentazione, sia dalla cinematica legata allo sviluppo dei thrusts appenninici, con i relativi riflessi sulla paleotopografia.

Rappresentano il locale riempimento delle aree deposizionali marine che caratterizzavano l'evoluzione del Bacino Marchigiano Esterno su cui poggiano i depositi quaternari del ciclo sovrastante.

L'età delle Argille Azzurre è riferibile al Pliocene superiore.

La successione stratigrafica prosegue con i depositi continentali di origine alluvionale, depositati nel Quaternario dal fiume Metauro al di sopra del substrato pliocenico di base che costituiscono un ciclo deposizionale a se stante.

Nella carta geologica allegata (Progetto CARG) questi depositi alluvionali seguono i criteri delle UBSU e sono attribuibili ai sintemi di Matelica e del Fiume Musone.

Il Sintema di Matelica comprende i depositi alluvionali terrazzati del fiume Metauro.

Il limite inferiore corrisponde con la superficie d'erosione che separa i depositi alluvionali dal substrato roccioso e che, nei pressi della linea di riva, si approfondisce a oltre 20 metri al disotto dell'odierno livello marino evidenziando la presenza di valli sovraescavate.

Lungo il fiume Metauro i depositi alluvionali sono parzialmente ricoperti dal Sintema del Fiume Musone.

Sintema di Matelica (MTI bn) (3° ordine dei terrazzi)

Sulla base di correlazioni morfologico - stratigrafiche, i depositi di questo sintema sono attribuibili al Pleistocene superiore - Olocene p.p. In particolare, da un lato per l'impossibilità di appoggiare sul terreno in modo univoco il limite Pleistocene superiore-Olocene a una unconformity (discordanza, discontinuità, superficie di separazione tra due unità litologiche, rappresenta un'interruzione significativa nella sedimentazione) chiara e seguibile e, dall'altro, per la continuità fisica di molte superfici di terrazzamento, i depositi di questo sintema vengono a includere anche sedimenti dell'Olocene più antico.

L'età dei depositi del Sintema di Matelica è quindi sostanzialmente riferibile al Pleistocene superiore senza tuttavia escludere la presenza di intervalli dell'Olocene più antico.

Comprende i depositi alluvionali terrazzati del tradizionale "3° ordine" a 15-20 m sull'alveo attuale. La presenza della "conoide costiera", attraversata nella sua parte mediana dal corso dell'attuale Metauro conferisce alla superficie terrazzata una caratteristica convessità (*Calderoni et al 2007*)

Lungo il tratto terminale del Metauro, la presenza del "sovraccumulo" relativo al ventaglio deposizionale, giustifica la progressiva diminuzione di altezza, verso monte, dei gradini che separano localmente i depositi di questo sintema dai più giovani depositi alluvionali del Sintema del Fiume Musone (*Nesci et al 2008*).

Lo spessore del corpo alluvionale, ricavato da dati di superficie e da perforazioni e prospezioni geofisiche, compresa la conoide raggiunge i 75 metri (*Nesci et al 2008*).

Questi depositi alluvionali sono prevalentemente ghiaiosi, con corpi limoso - sabbiosi o sabbioso - ghiaiosi intercalati in genere con maggior più frequenza e spessore verso l'alto.

Le ghiaie, ben arrotondate e in genere piuttosto appiattite, sono alimentate in prevalenza dai termini carbonatico - selciferi giurassico - cretacici affioranti nei settori più interni del bacino.

Le ghiaie sono caratterizzate da una prevalente e marcata stratificazione a "festoni", indicativa di deposizione a opera di canali fluviali intrecciati, e del tipo "epsilon" indicativa di deposizione in anse fluviali.

Nell'insieme, l'ambiente deposizionale del corpo alluvionale sembra dominato da canali multipli intrecciati nei quali singoli tratti possono presentare una apprezzabile sinuosità, formando piccole barre laterali (*Calderoni et al 2007 -Nesci et al 2008*).

Lo spessore di questi depositi è variabile e può essere considerato tra 15 - 25 m fino ad un massimo di 30 - 35 metri.

Sintema del Fiume Musone (MUS)

E rappresentato dai depositi alluvionali del Fiume Metauro, Torrente Arzilla, alcuni corsi d'acqua minori, depositi di spiaggia e coltri eluvio colluviali.

Comprende un insieme eterogeneo e complesso di eventi di aggradazione e terrazzamento minori distribuiti a quote molto basse sull'alveo attivo; include i depositi degli alvei di magra e dei letti di piena ordinaria e le aree golenali. Particolarmente significativa è la presenza a sud della foce del Metauro di un antico tracciato fluviale, riferibile all'Olocene antico, che corre in direzione NW - SE al piede delle colline plioceniche, a ridosso dell'attuale autostrada, e testimonia un'antica foce ubicata a sud - est di Torrette.

Il limite inferiore del sintema corrisponde con la superficie di erosione che separa i depositi eluvio - colluviali, i sedimenti costieri e i corpi alluvionali dal substrato roccioso e/o dai depositi alluvionali del Sintema di Matelica.

Sulla base di considerazioni morfologico stratigrafiche i depositi alluvionali del sintema in oggetto possono essere riferiti all'Olocene.

MUSbn Depositi alluvionali terrazzati (4° ordine dei terrazzi)

Al Sintema del Fiume Musone (Olocene) appartengono i sedimenti alluvionali che costituiscono le recenti pianure di fondovalle del Fiume Metauro, incastrate nei depositi alluvionali del Pleistocene superiore - inizio Olocene. La superficie dei depositi alluvionale, in parte blandamente terrazzati, in parte coincidenti con aree esondabili, si trova a quote inferiori ai 10 metri sull'alveo attivo. Questi depositi vengono a essere rappresentati dai depositi alluvionali tradizionalmente attribuiti al 4° ordine dei terrazzi. Appartengono a questo sintema anche i depositi che costituiscono il riempimento dell'antico tracciato del Fiume Metauro e che bordava il margine meridionale della "conoide costiera".

Tali depositi sono stati inseriti per differenziarli da quelli della conoide stessa, dai quali sono separati da una netta scarpata. Tuttavia, conoide e attività del tracciato con ogni probabilità coesistono tra le fasi finali di formazione della conoide stessa e l'inizio del suo smantellamento (*Nesci et al 2008*).

Le alluvioni sono rappresentate da ghiaie, anche molto grossolane e piuttosto eterometriche, intercalate a livelli sabbiosi, sabbioso - ghiaiosi o argilloso - sabbiosi, questi ultimi più frequenti verso l'alto.

Lo spessore complessivo di questi depositi da dati di affioramento mostrano spessori sempre inferiori ai 5 metri, dati di letteratura indicano un ispessimento verso mare e la possibilità che si possa raggiungere i 10 - 15 metri di spessore.

MUSb Depositi alluvionali attuali

Si tratta di depositi alluvionali compresi nel letto di magra del Fiume Metauro, sono rappresentati lungo il corso del fiume prevalentemente da ghiaie e sabbie con lenti sabbioso - limoso - argillose. Lo spessore è sempre piuttosto esiguo, non superiore ai 2 - 3 metri.

L'area oggetto di studio ricade sui depositi alluvionali del Sintema di Matelica MTIbn ("*3° ordine*") come da stralcio carta geologica seguente.

CARTA GEOLOGICA REGIONALE - EDIZIONE CTR

SEZIONE 269130 FANO



DEPOSITI CONTINENTALI QUATERNARI

SISTEMA DEL MUSONE

(OLOCENE)

- | | | |
|--|---------------|---|
| | MUSa1 | Frane in evoluzione |
| | MUSb2 | Depositi eluvio-colluviali |
| | MUSb | Depositi alluvionali attuali
a) ghiaie e sabbie prevalenti con lenti sabbioso- limoso- argillose
b) sabbie limi e argille con subordinate lenti ghiaiose |
| | MUSbn | Depositi alluvionali terrazzati
a) ghiaie prevalenti associate a subordinate sabbie, limi ed argille
b) argille, limi e sabbie associate a subordinate ghiaie |
| | MUSg2a | Depositi di spiaggia attuale
ghiaie e sabbie in proporzioni variabili |
| | MUSg2b | Depositi di spiaggia antica
ghiaie, sabbie, limi e argille in proporzioni variabili |

AREA IN STUDIO

SISTEMA DI MATELICA

(PLEISTOCENE SUPERIORE)

- | | | |
|--|--------------|--|
| | MTIbn | Depositi alluvionali terrazzati
a) <u>ghiaie prevalenti associate a subordinate sabbie, limi ed argille</u>
b) argille, limi e sabbie associate a subordinate ghiaie |
|--|--------------|--|

Inquadramento climatico

L'area è collocata nel bacino idrografico del Fiume Metauro. Sulla base del sistema di classificazione dei climi proposto da Wladimir Köppen, che è certamente il più condiviso dai climatologi moderni, il clima della zona rientra nella classe C (clima temperato), che comprende i climi con temperature medie annue inferiori a 20°, nei quali la temperatura del mese più caldo supera i 10° e quella del più freddo è compresa fra 18° e -3°.

La classe C, individuata dal Köppen sulla base di criteri termici, si suddivide in tre gruppi, indicati dalle lettere s, w e f, in base a precise caratteristiche pluviometriche, il gruppo d'interesse è:

- "f" (iniziale della parola tedesca fehlt = manca) indica la mancanza di un mese arido.

In questo terzo gruppo il nostro sito (Cf), in cui in nessun periodo dell'anno si registra un elevato grado di aridità.

Una ulteriore specificazione del clima sulla base della temperatura del mese più caldo ci porta ad aggiungere alla sigla precedente (Cf) la lettera "a", se questa è superiore a 22° o la lettera "b" se è inferiore a 22°, ma almeno cinque mesi hanno una temperatura media superiore a 10°.

Pertanto il clima della zona è identificabile con la sigla Cfa.

In dettaglio il clima Cfa è caratterizzato da una temperatura media annua intorno ai 14°- 13°, da un'escursione termica moderata (circa 6°-7°) e da precipitazioni annue comprese fra i 737 mm di Fano ed i 988 di Fossombrone.

I dati relativi ai caratteri climatici ed idrologici dell'area oggetto di studio sono stati ripresi da "Ambiente Fisico Delle Marche".

"Il regime pluviometrico è di tipo sublitoraneo appenninico con influenza marittima, è caratterizzato da due massimi e due minimi.

Il massimo assoluto si registra nei mesi di Settembre Ottobre e Novembre; quello relativo nel mese di Maggio.

Il minimo assoluto di precipitazioni viene registrato ad Agosto/Luglio quello relativo ad Aprile.

L'andamento termometrico risulta caratterizzato da massimi di temperatura estiva nel mese di Luglio e minimi in Gennaio; l'escursione annuale media è di circa 19°C.

Dall'elaborazione del bilancio idrologico risulta che il periodo "secco" in cui l'evapo- traspirazione è superiore alle precipitazioni ed il suolo tende a perdere il suo contenuto di acqua si verifica nei mesi di Luglio ed Agosto.

Il regime idrologico dominante nella zona è pertanto caratterizzato da precipitazioni intense nel periodo tardo-estivo ed autunnale che fanno seguito al periodo secco estivo."

Si riporta di seguito l'andamento climatico dell'anno 2016 e le precipitazioni dell'anno 2017 da Servizio Agrometeo Regionale "Assam".

Stazione di Fano	
Codice	st98
Indirizzo	loc. Madonna del Ponte, 23
Longitudine	13°1'58.948"
Latitudine	43°49'1.794"
Altitudine	11 m s.l.m.
Periodo dati disponibili	
Inizio	01/01/1999
Fine	21/03/2017



ANNO 2016

Temperatura

In base ai dati rilevati dalla rete agrometeo ASSAM, il 2016 ha fatto registrare una lieve flessione della temperatura media regionale, anche se il valore di 14,3°C risulta essere al terzo posto nella classifica delle medie annuali dal 1961 con il 1997, 2007, 2012. L'anomalia rispetto alla media 1981-2010 è stata di +0,7°C. Sono ormai sei anni consecutivi più caldi della norma (l'ultimo anno più freddo, il 2010, -0,3°C rispetto al trentennio).

Le statistiche dicono anche che, dall'anno 2000, 13 anni su 17 hanno avuto una temperatura media più elevata della norma.

Si conferma così il progressivo riscaldamento che la nostra regione sta subendo da qualche decennio a questa parte così come dimostra anche l'andamento crescente delle temperature trentennali a partire dal 1961 (Tabella seguente).

Trentennio	Media (°C)	Anomalia (°C)
1961-1990	13,1	-
1971-2000	13,3	0,2
1981-2010	13,6	0,5
1987-2016	13,8	0,7

Temperatura media trentennale e anomalia rispetto al trentennio iniziale (°C)

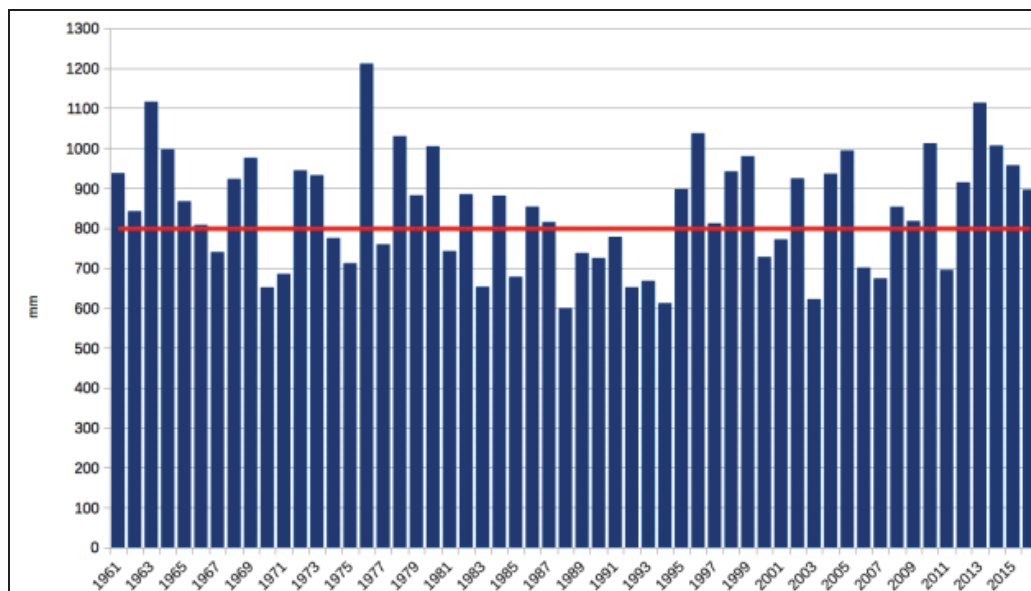
A livello mensile, tutti i mesi tranne maggio, agosto e ottobre hanno fatto registrare temperature in eccesso. Importanti sono state comunque le magnitudo delle anomalie, ben più importanti per i mesi in surplus. Basti osservare che la maggiore anomalia negativa si è avuta per il mese di ottobre, pari a 1°C, scarto decisamente inferiore rispetto ai +3,7°C relativo al mese di febbraio (quello del 2016 è stato il terzo mese di febbraio più caldo per le Marche dal 1961). Tutte le stagioni del 2016 si sono rilevate più calde della norma (Vedi Tabella seguente) con forti anomalie positive nella prima parte dell'anno: l'inverno con +2,1°C rispetto al 1981-2010 (quarto inverno più caldo per le Marche dal 1961), la primavera con +0,8°C (nono valore record per la primavera dal 1961); poi le anomalie sono andate riducendosi nel proseguo dell'anno

Stagione	Temperatura media (°C)		
	2016	1981-2010	Anomalia
Inverno (dic 2015 – feb 2016)	7,6	5,5	2,1
Primavera (mar - mag)	13,1	12,3	0,8
Estate (giu – ago)	22,5	22,2	0,3
Autunno (set – nov)	14,5	14,3	0,2

Temperatura media stagionale e anomalia rispetto al 1981-2010 (°C)

Precipitazione

Va riducendosi, ma resta comunque positiva, l'anomalia della precipitazione totale annua, a conferma di un periodo particolarmente piovoso che dura ormai dal 2012 (Figura seguente).



Precipitazione totale media annua 1961-2016 (mm). La linea rossa indica la media 1981- 2010 (mm).

Nel 2016, la pioggia media caduta in regione è stata di 896 mm con una differenza di +97 mm rispetto al trentennio di riferimento. Sempre dall'anno 2000, 11 anni su 17 sono stati più piovosi della norma. A differenza delle temperature, la precipitazione in questi ultimi anni sembra subire un assestamento dopo una graduale tendenza alla diminuzione (Tabella seguente).

Trentennio	Totale (mm)	Anomalia (mm)
1961-1990	845	-
1971-2000	820	-25
1981-2010	799	-46
1987-2016	829	-16

Precipitazione totale media trentennale e anomalia rispetto al trentennio iniziale (mm)

Nel dettaglio mensile il primo trimestre dell'anno è stato più piovoso della norma; marzo in particolare, è stato il mese più piovoso del 2016, con un totale medio regionale di pioggia caduta pari a 125 mm corrispondente ad un +60 mm rispetto alla media 1981-2010, ottavo valore record per marzo dal 1961. Piovoso anche il trimestre maggio-luglio con il picco di 107 mm del mese di giugno, settimo valore record per il mese dal 1961. C'è stata poi, nell'ultima parte dell'anno, una tendenza alla riduzione delle precipitazioni, con il mese di dicembre che ha ripetuto il disastroso record negativo del 2015 e cioè una quasi totale assenza di piogge con appena 4 mm di media regionale. A fronte di un inverno più arido della norma, la primavera e l'estate hanno fatto registrare invece differenze positive: +97 mm rispetto sempre al 1981-2010 per la primavera, +58 mm per l'estate. Quella del 2016, è stata la nona primavera più piovosa per le Marche dal 1961.

Stagione	Precipitazione totale (mm)		
	2016	1981-2010	Anomalia
Inverno (dic 2015 – feb 2016)	147	192	-45
Primavera (mar - mag)	289	192	97
Estate (giu – ago)	222	164	58
Autunno (set – nov)	237	246	-9

Precipitazione totale stagionale e anomalia rispetto al 1981-2010 (mm)

ANNO 2017

Precipitazione

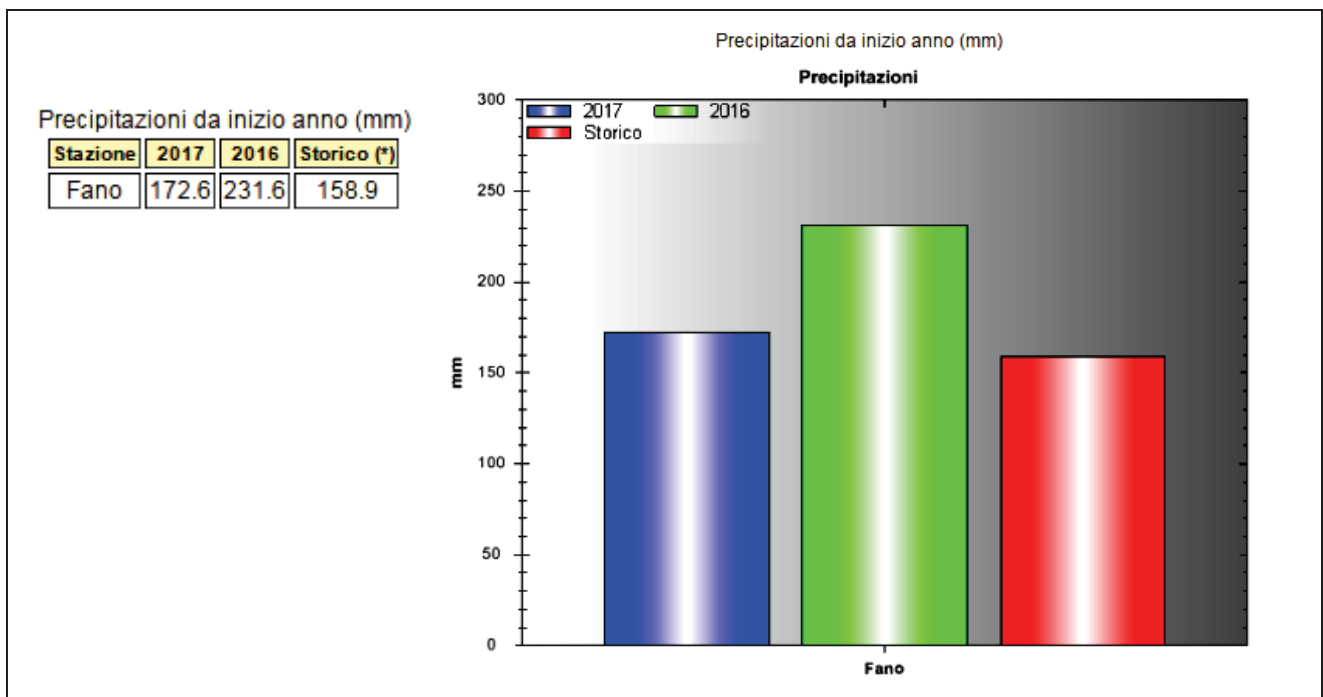
gennaio 2017

Da record le precipitazioni, seconde solo a quelle di gennaio 1963 (150 mm): 139 mm il totale medio regionale di pioggia caduta, +88 mm rispetto al 1981-2010. Con il 2017, salgono a cinque gli anni consecutivi in cui il mese di gennaio è più piovoso della norma.

febbraio 2017

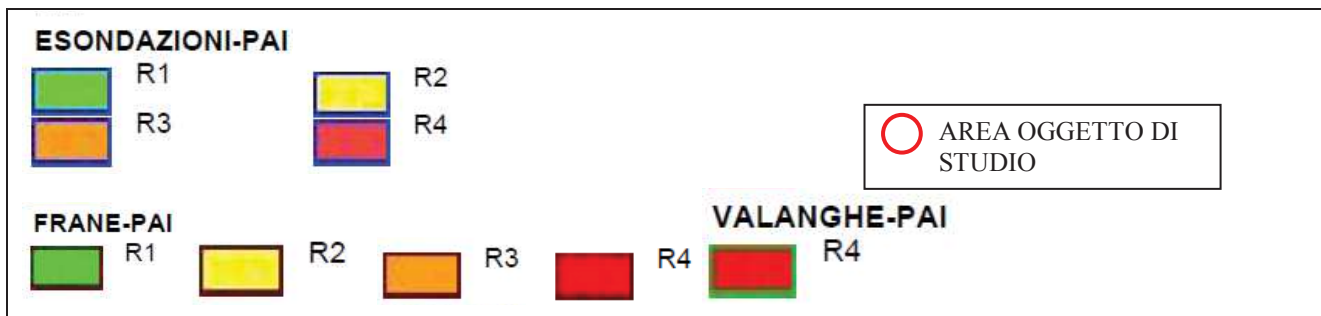
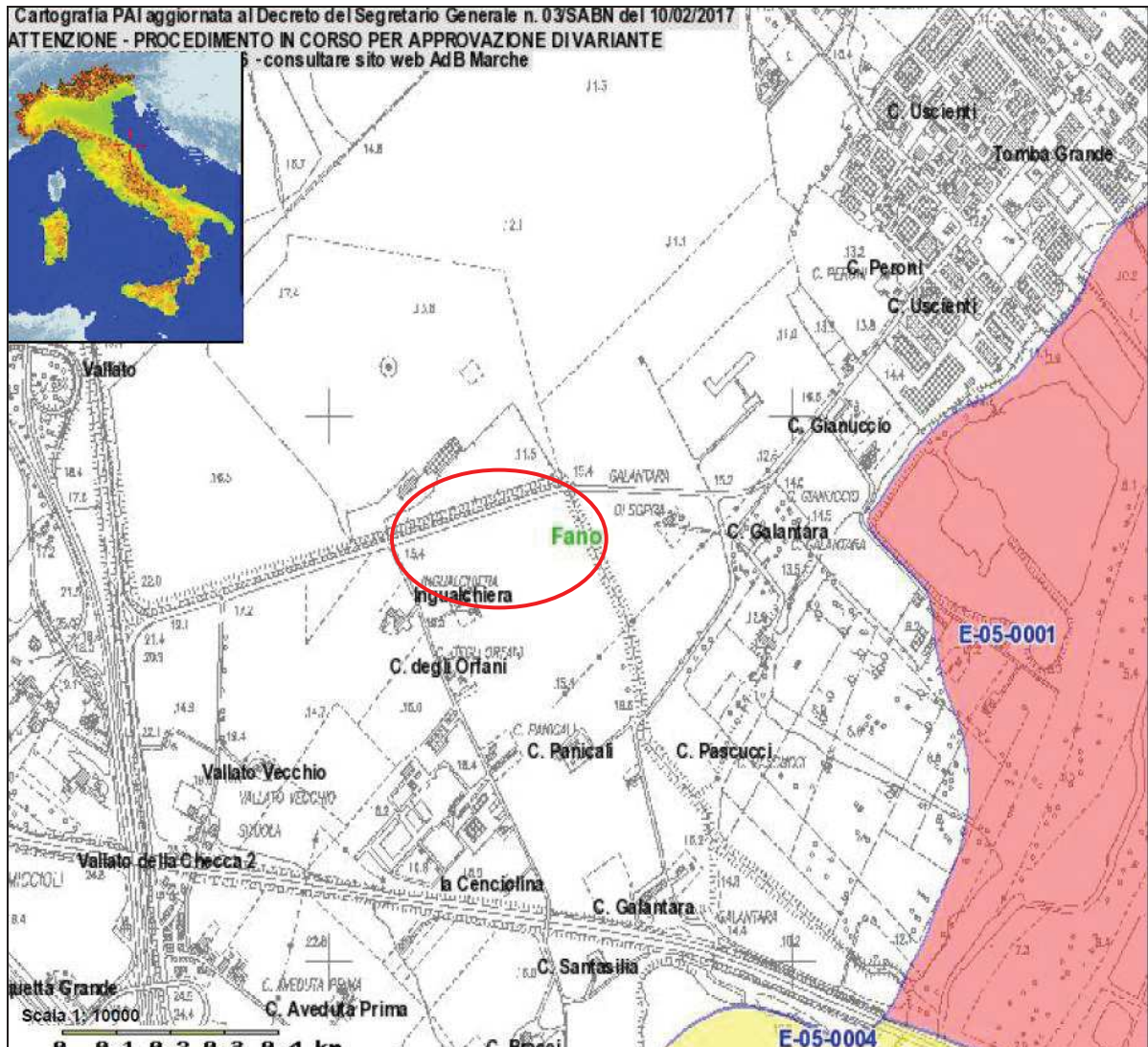
Per il sesto anno consecutivo, il mese di febbraio è stato più piovoso della norma: 101mm il totale medio regionale di pioggia caduta, +49mm rispetto al 1981-2010, ottavo valore record per il mese dal 1961.

Le precipitazioni da inizio anno sono risultate superiori al dato storico e inferiori rispetto al 2016.



Analisi del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)

Il Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Marche non individua nell'area in oggetto dissesti in atto o potenziali o aree sottoposte a rischio esondazione.



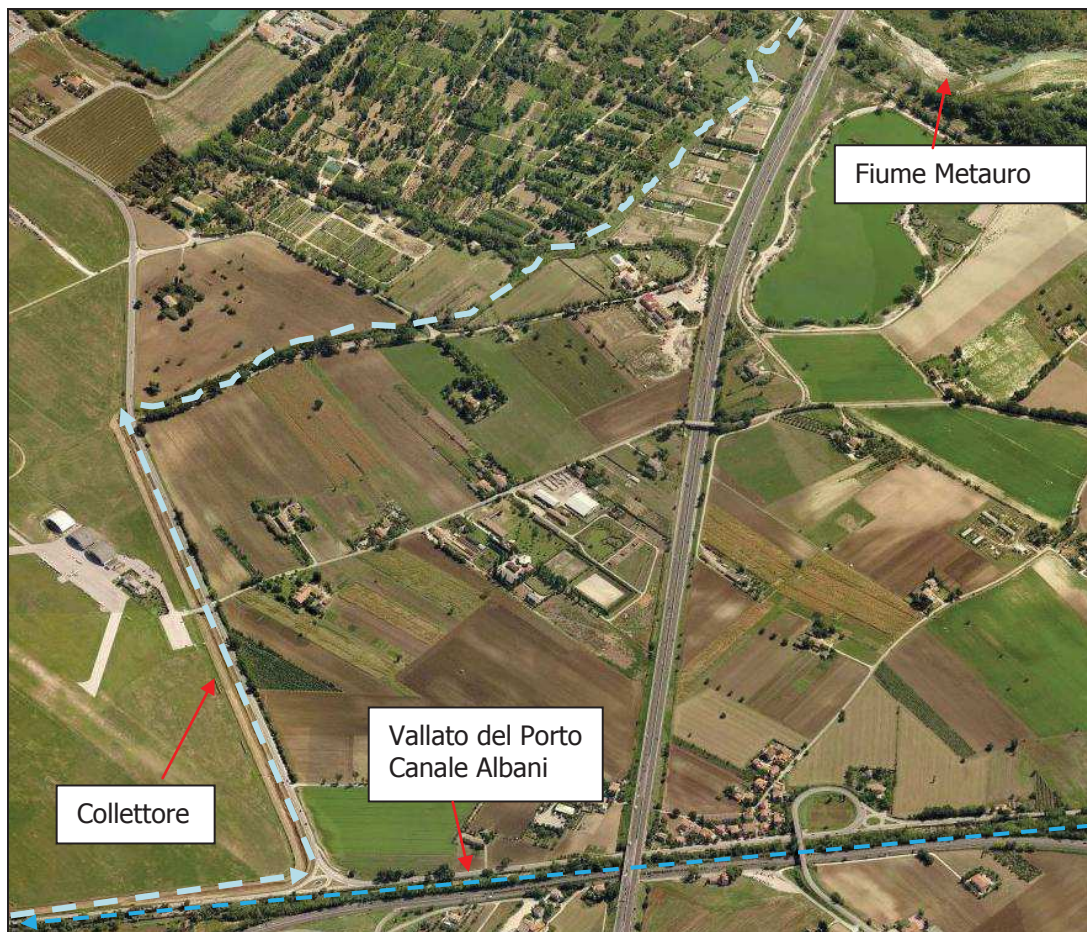
Idrogeologia

L'elemento idrografico più significativo, situato in prossimità dell'area, è il Fiume Metauro, che costituisce l'elemento idrografico principale e scorre in direzione SW - NE, ad una distanza di circa 1300 m.

L'idrogeologia superficiale della zona è rappresentata inoltre, in direzione W da un corso d'acqua artificiale di derivazione del F. Metauro e denominato Vallato del Porto (attuale Canale Albani) che è impiegato nella sua parte terminale come collettore alimentatore della Centrale Idroelettrica gestita da ENEL.

Un altro corpo idrico superficiale senza nome, ma di dimensioni minori, è situato in adiacenza all'area aeroportuale, in direzione W-E, che funge da "by-pass" del Vallato del Porto in occasione di piena.

Tale collettore, nei mesi autunnali ed invernali di massima piovosità, è solitamente interessato da una circolazione idrica di scarsa considerazione con altezza d'acqua massima che oscilla tra 0.4 – 0.5 m; le sue acque infine vengono convogliate in sinistra idrografica all'interno del F. Metauro.



Il complesso idrogeologico della piana alluvionale è formato essenzialmente dai depositi alluvionali attuali e terrazzati recenti e antichi, costituiti da corpi ghiaiosi, ghiaioso - sabbiosi e ghiaioso limosi, con intercalate lenti, con estensione e spessore variabili di argille-limose e sabbioso-limose. Nella parte medio-alta delle pianure gli acquiferi di subalveo sono caratterizzati da falde monostrato a superficie libera.

Tali acquiferi sono di notevole importanza per l'approvvigionamento idrico e per uso civile, agricolo ed industriale; la circolazione è molto veloce e legata alla presenza di paleoalvei.

L'alimentazione di tali acquiferi è dovuta, soprattutto, all'infiltrazione delle acque fluviali e la ricarica da parte delle piogge può essere considerata trascurabile, ad eccezione della parte alta delle pianure, dove le coperture argilloso-limose sono generalmente assenti.

Nell'area oggetto di studio, la situazione idrogeologica è da ritenersi piuttosto semplice e dipendente dalla diversa permeabilità dei terreni presenti (ghiaia, sabbie, limi e argille limose).

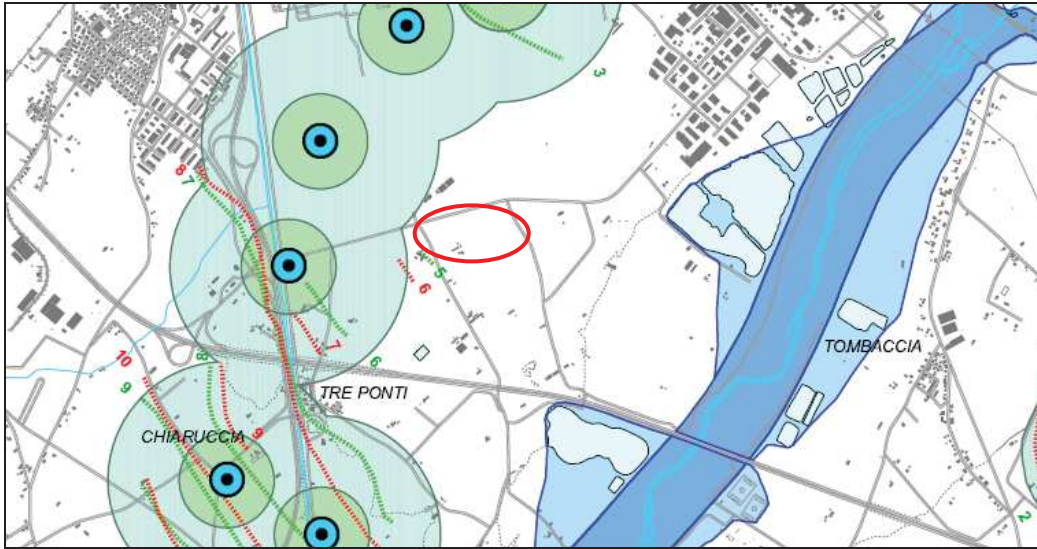
La natura alluvionale dei litotipi presenti favorisce l'infiltrazione delle acque meteoriche ed il deflusso, secondo linee preferenziali legate alla permeabilità.

Le alluvioni terrazzate su cui insiste l'area in studio sono interessate dalla presenza di una estesa falda idrica il cui livello statico è situato alla profondità di 9 - 10 m. dal p.c., in corrispondenza di zone dove il substrato argilloso presenta un avvallamento (paleoalveo) la profondità può essere più profonda.

La permeabilità dei depositi alluvionali è generalmente buona e la zona riveste una certa importanza da un punto di vista idrologico, infatti in aree limitrofe sono ubicati alcuni pozzi comunali.

Per determinare la permeabilità dei terreni presenti sono state eseguite in due fori di sondaggio due prove di permeabilità i cui risultati sono riportati di seguito.

Dallo stralcio della Carta Zone di Rispetto e Protezione Pozzi Comunali, riportata di seguito, l'area non risulta interessata dalle loro fasce di rispetto e di protezione.



Si riporta di seguito lo stralcio della carta idrogeologica a corredo del P.R.G. del Comune di Fano che classifica tali terreni come permeabili.



3. RICOSTRUZIONE DEL MODELLO STRATIGRAFICO

Tipologia delle indagini

Nell' Allegato 1 è riportata l'ubicazione delle prove:

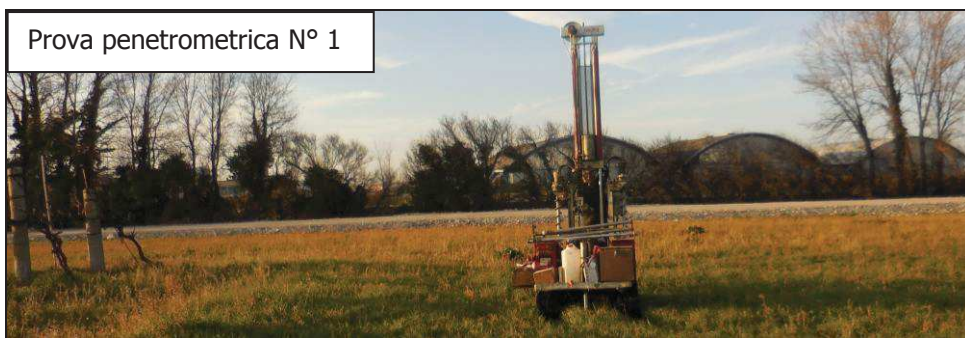
- n. 2 indagini penetrometriche CPT/DPSH;
- n. 1 estendimento sismico per metodologia MASW;
- n. 1 prova HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio):
- n. 2 Sondaggi a rotazione per prove di permeabilità.

Prove Penetrometriche

La ricostruzione della situazione stratigrafica è stata resa possibile, oltre che da un rilievo topografico di superficie e da un rilievo geologico, dall'esecuzione di indagini geognostiche rappresentate da n. 2 penetrometrie DPSH effettuate con sonda penetrometrica Pagani TG73 200KN2

Le caratteristiche strumentali della sonda utilizzata sono di seguito elencate :

- Punta meccanica tipo Begemann: angolo di apertura del cono 60°; diametro di base del cono 35.7 mm; area di base del cono 10 cm²; superficie laterale del manicotto 150 cm²;
- Velocità di avanzamento della punta 2 cm/sec;
- I valori di resistenza della punta e del manicotto sono misurati su ogni tratto di 20 cm;

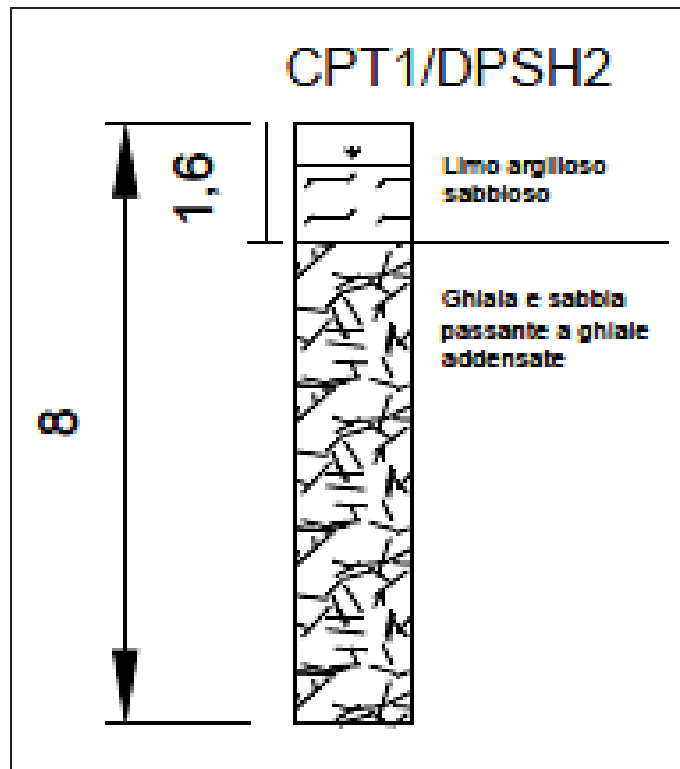
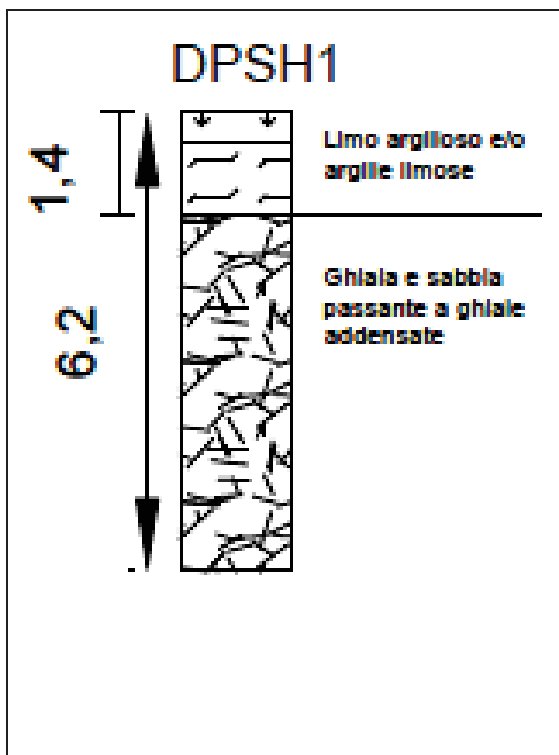


La prova penetrometrica N° 2 è stata eseguita come statica (CPT 1) per la parte più superficiale e come dinamica (DPSH 2) per la parte più profonda.

Si riportano in allegato (Allegato 3) i risultati delle prove penetrometriche e di seguito la ricostruzione stratigrafica delle due verticali di indagine.

PROVA PENETROMETRICA 1

PROVA PENETROMETRICA 2

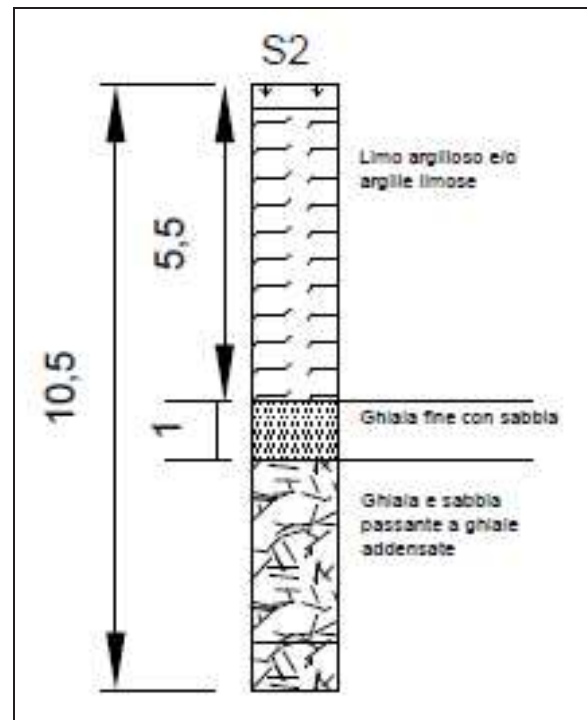
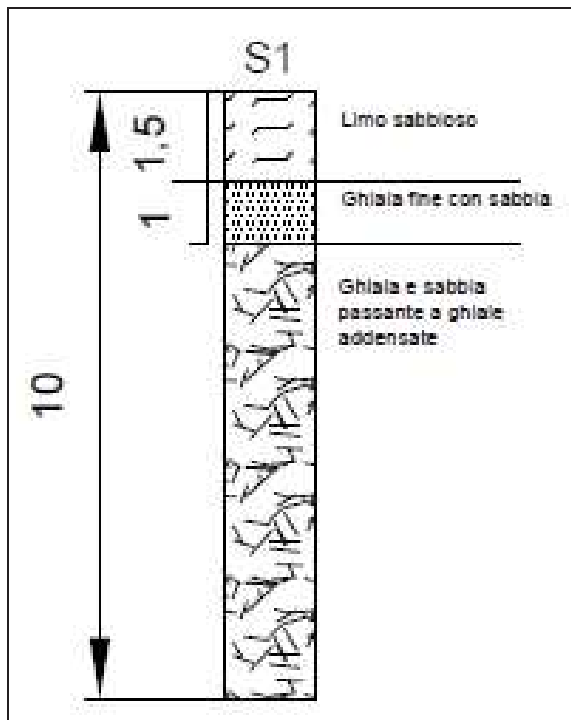


Sondaggi

I sondaggi sono stati eseguiti mediante trivella a rotazione continua e distruzione di nucleo con un carotiere Φ 80 cm, all'interno del foro sono state eseguite le prove di permeabilità riportate di seguito.

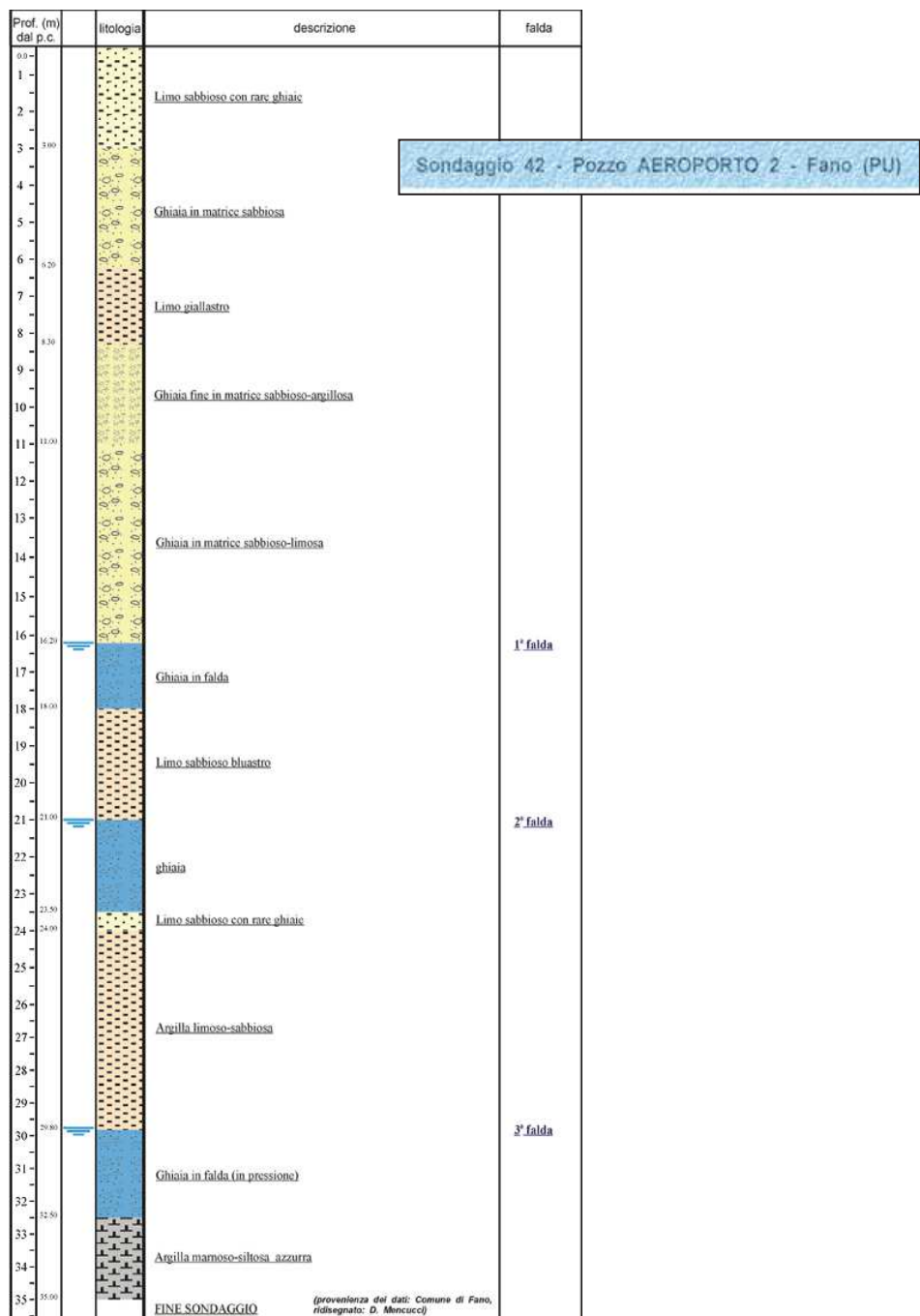


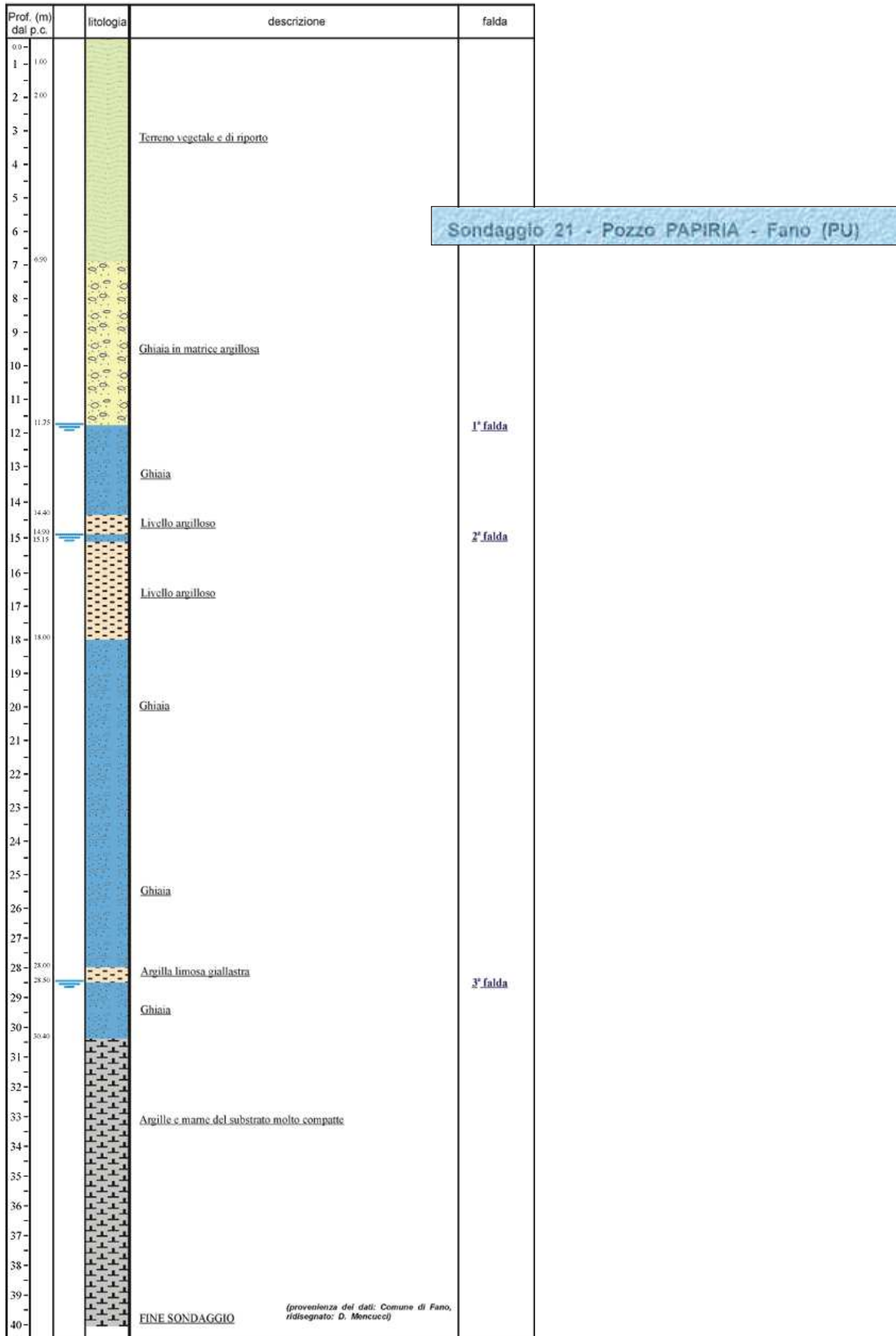
Le stratigrafie rilevate sono le seguenti.



Sono stati inoltre esaminati alcuni sondaggi eseguiti in aree limitrofe e riportati di seguito.

Le stratigrafie esaminate ci confermano la non omogeneità delle alluvioni terrazzate su cui insiste l'area e la presenza di paleoalvei, infatti le prove penetrometriche eseguite attestano il livello delle ghiaie ad una quota di circa 1,40/1,60 metri, confermata anche dal sondaggio 1, mentre nel sondaggio 2 il livello delle ghiaie è alla quota di 6,50 metri, dato rilevato anche sui sondaggi esaminati e ubicati verso il corso del Fiume Metauro (Via Papiria - Autostrada - Pozzo Casa Alzaimer - Centro Itaca) che hanno i primi metri caratterizzati da un apporto fine; la stratigrafia del Pozzo dell'aeroporto attesta le ghiaie ad una quota più superficiale, correlabile con le prime prove eseguite .



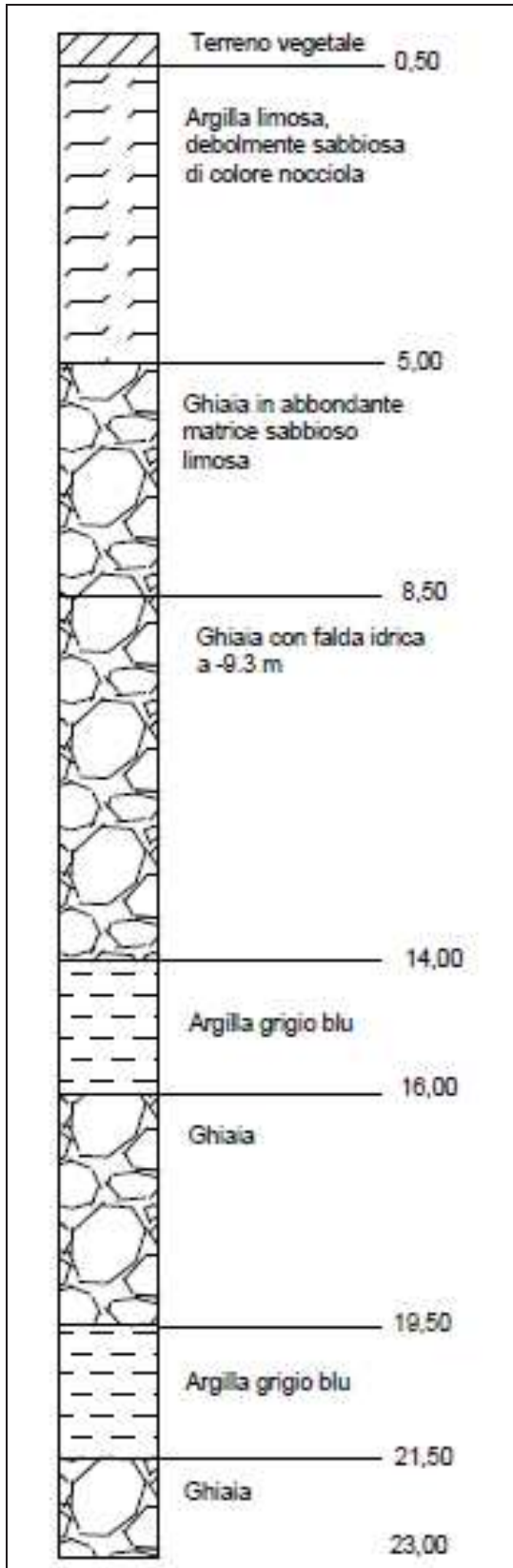


Scala 1:100	Profondità*	Potenza	Stratigrafia	Descrizione	Falda	Rivestimento	Campioni indisturbati	Campioni Rlm. in sacchetto	Vane Test [Kg/cmq]	Pocket [Kg/cmq]	SPT
	0.60	0.60		Terreno di riporto costituito da limo sabbioso con inclusi ghiaiosi calcarei.							
1	0.70	0.10		Ghiaia calcarea eterometrica.							
2		3.00		Ghiaia calcarea eterometrica arrotondata (diametro dei clasti variabile da qualche millimetro ad un massimo di 6 cm) in abbondante matrice sabbioso-limosa, di colore nocciola, mediamente addensata, grado di umidità variabile da basso a medio.			3.00 R1				3.00 19-30-R.10 cm
3							3.40				3.40
4	3.70								0.4	1.0	
5		2.10		Limo sabbioso-argilloso di colore avana con sfumature ocre e grigie, poco consistente; presenza di concrezioni carbonatiche. Da 5.00 a 5.40 m colorazione più scura con presenza di patine d'alterazione.			5.00 CRS1		0.4	1.2	
6	5.80						5.50		1.2	2.2	
7							6.00 R2		1.3	1.6	6.00 15-20-28
8							6.45				6.45
9											
10											
11											
12											
13		19.20		Ghiaia calcarea eterometrica (diametro dei clasti variabile da qualche millimetro ad un massimo di 5 cm) in abbondante matrice limo-sabbiosa, di colore avana e, per tratti decimetrici, di colore nocciola, addensata; sporadica presenza di selce in scaglie di colore rosso mattone.			12.20 R4				12.20 13-40-45
14					13.50		12.65				12.65
15											
16											
17											
18							17.50 R5				17.50 24-R.13 cm
19							17.78				17.78
20											
21											
22						22.5	21.00 R6				21.00 35-41-42
23		19.20		Ghiaia calcarea eterometrica (diametro dei clasti variabile da qualche millimetro ad un massimo di 5 cm) in abbondante matrice limo-sabbiosa, di colore avana e, per tratti decimetrici, di colore nocciola, addensata; sporadica presenza di selce in scaglie di colore rosso mattone.			21.45				21.45
24											
25											
26	25.00										

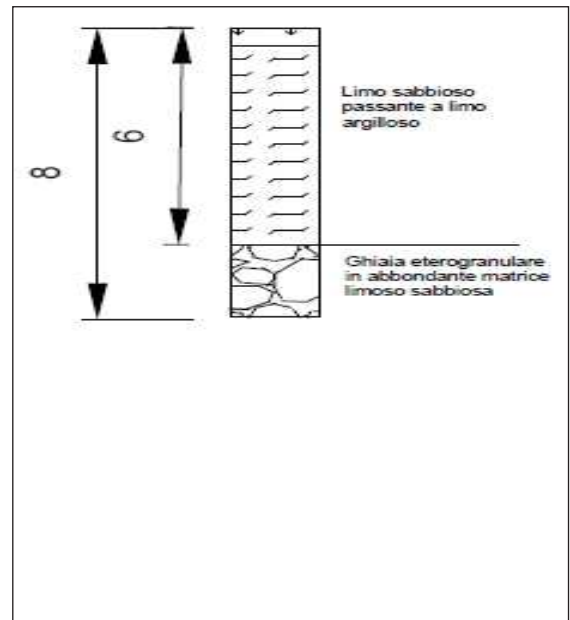
**AMPLIAMENTO ALLA TERZA CORSIA
 DEL TRATTO RIMINI NORD-PEDASO
 OPERE COMPENSATIVE COMUNE DI FANO**

SONDAGGIO
 2B11

Pozzo CENTRO ALZAIMER



sondaggio CENTRO ITACA



Prova di permeabilità

I sondaggi eseguiti sono stati interrotti all'inizio dello strato ghiaioso ed opportunamente attrezzati, al fine di poter determinare la permeabilità dei terreni presenti rappresentati dalle ghiaie.

Il sondaggio 1 ha raggiunto l'orizzonte ghiaioso alla profondità di circa 1,60 metri, approfondito fino a 3,00 metri, nel sondaggio 2 le ghiaie sono presenti ad una quota inferiore, 6,00 metri.

La prova è stata eseguita anche nell'ottica di valutare progettualmente la realizzazione di vasche di laminazione con fondo drenante.



In data 01/03 /2017 è stata valutata tramite l'esecuzione di una prova di permeabilità la capacità di assorbimento delle ghiaie all'interno del foro dei due sondaggi.

Sono state eseguite prove di permeabilità dette a carico variabile durante le quali si misura la velocità di abbassamento, all'interno del pozzetto circolare realizzato, dell'acqua immessa.

Per il calcolo del coefficiente di permeabilità si è utilizzata la seguente formula:

$$K = d (h_2 - h_1) / 32 (t_2 - t_1) \times h_m$$

h_m = altezza media dell'acqua nel pozzetto ($h_m > d/4$);

d = diametro del pozzetto;

$t_2 - t_1$ = intervallo di tempo;

$h_2 - h_1$ = variazione di livello dell'acqua nell'intervallo $t_2 - t_1$

Considerando i dati misurati in campagna si sono calcolati i seguenti valori del coefficiente di permeabilità:

$K = 2,1 \cdot 10^{-4}$ m/s per il sondaggio 1

$K = 3,88 \cdot 10^{-5}$ m/s per il sondaggio 2

Prova Masw

Per la ricostruzione del modello geofisico del sito è stata fatta eseguire un'indagine geofisica che è consistita nell'esecuzione di n°1 stendimento sismico con metodologia MASW per la determinazione del profilo verticale delle onde di taglio e del valore Vs30 necessario per la classificazione dei terreni nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2008 "D.M. 14/01/2008".

Nell'area oggetto di indagine è stata inoltre eseguita n°1 registrazione dei microtremori con un simografo triassiale per la determinazione della frequenza di risonanza dei terreni costituenti la locale successione stratigrafica.

L'indagine sismica di tipo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) si basa sulla propagazione delle onde di superficie rayleigh. Si utilizza uno stendimento lineare di geofoni ed il terreno viene energizzato attivamente attraverso una massa battente del peso di 8 Kg su piastra metallica.

Le caratteristiche degli strumenti utilizzati, la metodologia e l'acquisizione dei dati sono riportati in maniera esaustiva nel rapporto di indagine allegato alla presente relazione di cui fa parte integrante. (Allegato 4)

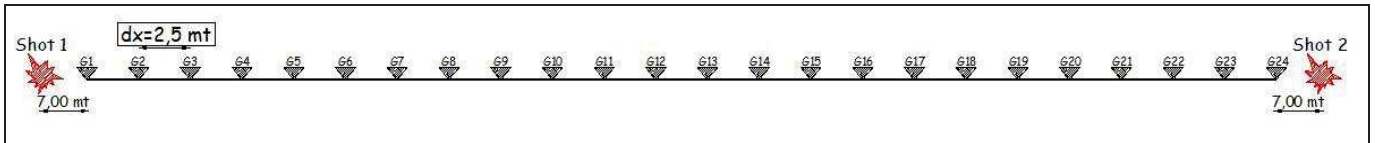
L'interpretazione geofisica individua il modello geofisico dell'area distinguendo le unità geofisiche, a cui si associano intervalli di valore di Vp e Vs e dei relativi parametri elastici.

La velocità delle onde di massa dipende dai parametri elastici dei mezzi attraversati che sono a loro volta influenzati da numerosi fattori quali la compattezza o il grado di litificazione, la porosità, la tessitura, il grado di alterazione e/o fratturazione, la composizione mineralogica, il contenuto di fluidi, ecc.. Una corretta determinazione della velocità delle onde di massa (Vp e Vs) consente quindi di ricavare i moduli elastici dinamici che caratterizzano il mezzo in cui si propaga la perturbazione ed ottenere informazioni circa la sua natura e il tipo di risposta alle sollecitazioni dinamiche.

I risultati forniti dall'indagine sismica MASW effettuata permettono di caratterizzare al meglio l'area d'indagine. Gli stessi definiscono la categoria di suolo del sito, in base ai valori di VS30 calcolati a partire dal p.c. fino a 30 m di profondità. Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, ai sensi del TU sulle Costruzioni D.M. 14/01/2008 (paragrafo 3.2.2 Categorie di sottosuolo), deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie.

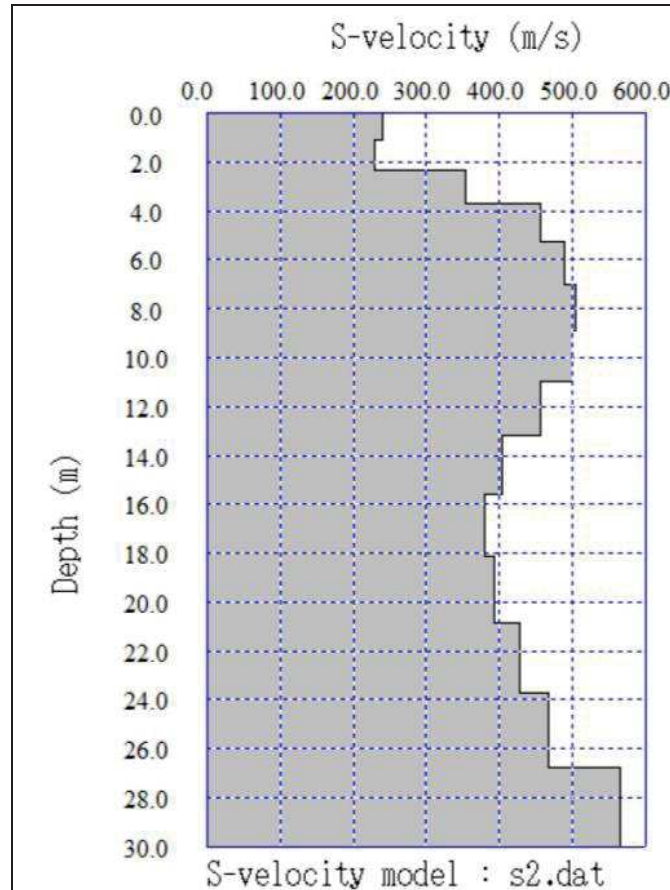
L'area interessata all'indagine sismica in oggetto risulta completamente pianeggiante.

La base sismica con metodologia MASW è stata eseguita con 2 punti di scoppio coniugati secondo lo schema di seguito riportato.



Sulla base della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi trenta metri di profondità, i terreni di sedime del sito oggetto di indagine risultano attribuibili alla **categoria di sottosuolo B**. Dall'osservazione del profilo verticale monodimensionale delle Vs di seguito riportato, è possibile osservare, nell'intervallo di profondità compreso tra 11÷18 mt circa dal p.c., un progressivo decremento della velocità di propagazione delle onde di taglio (501 m/s • 456 m/s • 404 m/s 380 m/s), di entità tali comunque da non poter essere considerati delle inversioni di velocità significative.

Profilo verticale delle onde di taglio - Shot 2



Prova HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio)



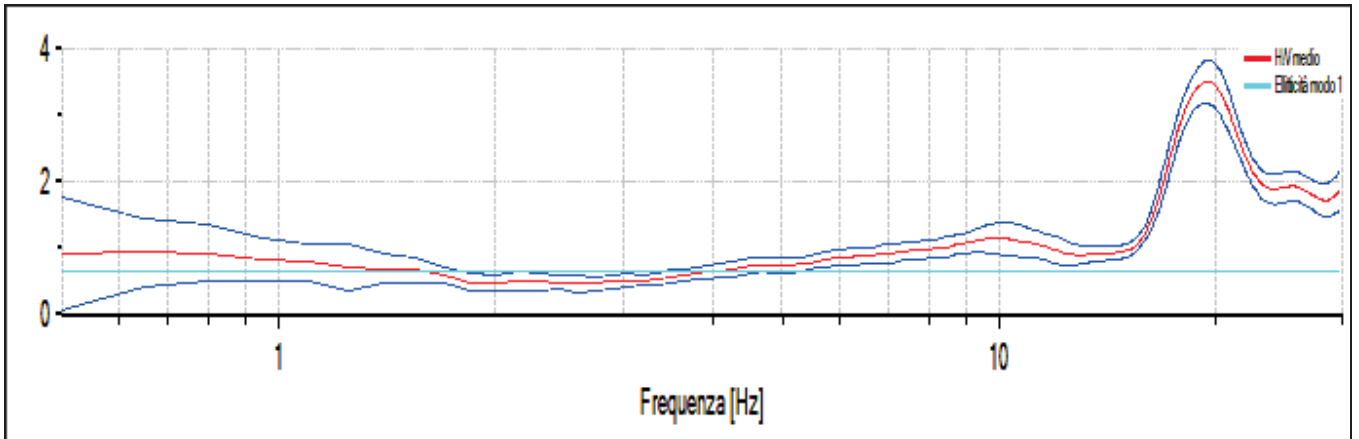
E' stata inoltre realizzata all'interno dell'area in studio una prova sismica passiva con il metodo dei rapporti spettrali HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) il cui rapporto è allegato alla presente relazione. (Allegato 4)

Tale metodo permette una valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti.

Per questo motivo la prova assume anche la denominazione di prova HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o prova HVNSR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio) o prova "di Nakamura". Considerando che il rumore è caratterizzato da lunghezze d'onda anche molto grandi (decine o centinaia di metri), confrontabili con quelle tipiche dei fenomeni sismici, tale tecnica di sismica passiva trova una ideale applicazione negli studi della risposta sismica locale. In particolare, essa permette di individuare situazioni sismostratigrafiche potenzialmente responsabili di fenomeni di risonanza sismica, consentendo una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni, la determinazione dei periodi di risonanza delle coperture sedimentarie e la determinazione del profilo di velocità delle onde S fino a profondità dell'ordine di diverse decine di metri. In particolare, la prova effettua una valutazione sperimentale dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti. .

L'esito di questa prova è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura.

La frequenza di risonanza sarà tanto più precisa quanto maggiore è il contrasto di impedenza sismica responsabile del fenomeno, ovvero dove sono maggiori gli effetti potenzialmente pericolosi.



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di un discreto fenomeno amplificativo (contrasto di impedenza sismica), con picco H/V dell'ordine di 3,5 circa, rilevabile ad una frequenza di 19,40 Hz, al di fuori comunque del campo delle frequenze di interesse ingegneristico (0,5÷10 Hz). Tale contrasto, rilevabile nella porzione più superficiale della locale successione stratigrafica ($f_0=8\div 20 \text{ Hz} \cdot h \cdot 5\div 10 \text{ mt}$), è presumibilmente connesso al passaggio stratigrafico tra i terreni alluvionali fini e quelli sottostanti prettamente ghiaiosi. All'interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico non sono invece rilevabili fenomeni amplificativi significativi.

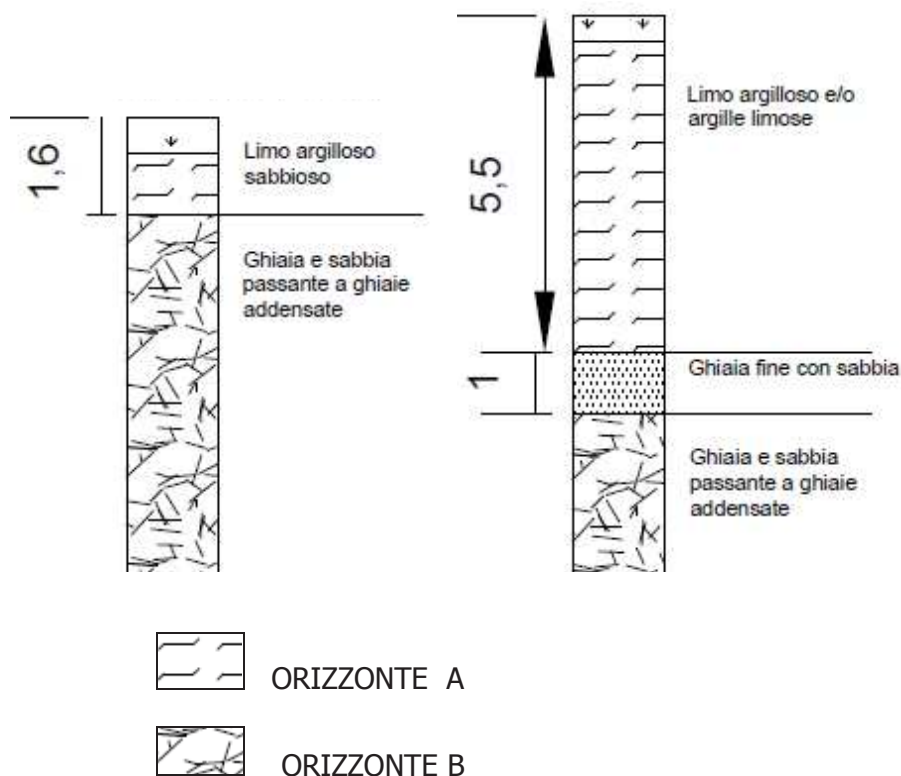
Descrizione delle sezioni stratigrafiche interpretative

Le sezioni ricostruite riportano le stratigrafie individuate durante l'esecuzione delle indagini. Dalle sezioni emerge che i terreni presenti sono rappresentati da terreni alluvionali inizialmente limoso sabbiosi passanti a ghiaie in matrice variabile con aumento della densità in profondità. Il lato più prossimo a Via Mattei presenta i livelli ghiaiosi più in superficie rispetto alla zona verso il fiume Metauro dato confermato anche dalle indagini esaminate ed eseguite in aree limitrofe. La non uniformità delle ghiaie è dovuto al fatto che con ogni probabilità il corso del fiume Metauro ha migrato verso il corso attuale (paleoalvei).

Si riporta in allegato la planimetria con l'ubicazione delle sezioni (Allegato 2) e le tre sezioni stratigrafiche (Allegato 5).

Caratterizzazione geomeccanica

Sulla base dei dati ricavati dalle indagini effettuate è stato ricostruito il modello geologico del sito che fornisce indicazioni circa gli spessori nonché l'andamento spaziale dei litotipi riscontrati.



Il terreno oggetto di studio risulta quindi costituito da un primo livello di copertura limoso-argilloso, seguito dalla litologia uniforme costituita da ghiaie eterogranulari in matrice limoso sabbiosa.

Pertanto, esclusa la parte di copertura vegetale superficiale, si può ricostruire il seguente modello geologico del sito:

ORIZZONTE A: limi argilloso sabbiosi – DEPOSITI ALLUVIONALI

$$\gamma = 1,90-2,0 \text{ t/mq}$$

$$C_u = 4-7 \text{ t/mq } C'=0 \text{ t/mq}$$

$$\varphi = 24^\circ-26^\circ$$

ORIZZONTE B: ghiaia e sabbia ghiaiosa – DEPOSITI ALLUVIONALI

$$\gamma = 1,85-1,95 \text{ t/mq}$$

$$\varphi = 32^\circ-38^\circ$$

4. CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITA' DEL PROGETTO

Azione sismica

In riferimento al *D.M. 14/09/2005 - Norme Tecniche per le Costruzioni* e alla *O.P.C.M. 3274* in base alle quali il territorio nazionale è stato suddiviso in 4 zone sismiche ciascuna caratterizzata da un diverso valore di accelerazione orizzontale massima al suolo (a_g) riferita a *suolo rigido* come riassunto nella sottostante tabella:

ZONA SISMICA	a_g
1	0.35
2	0.25
3	0.15
4	0.05

L'area di studio ricade in Zona Sismica 2 con valori convenzionali $a_g = 0.25$

Ai fini della definizione della azione sismica di progetto, ai sensi del TU sulle Costruzioni D.M. 14/01/2008 (paragrafo 3.2.2 Categorie di sottosuolo), deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie. Tale classificazione è basata sui risultati della prova MASW descritta nei paragrafi precedenti.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

Categoria	Descrizione
A	<i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di Vs,30 superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.
B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero NSPT,30 > 50 nei terreni a grana grossa e cu,30 > 250 kPa nei terreni a grana fina).
C	<i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero 15 < NSPT,30 < 50 nei terreni a grana grossa e 70 < cu,30 < 250 kPa nei terreni a grana fina).
D	<i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs,30 inferiori a 180 m/s (ovvero NSPT,30 < 15 nei terreni a grana grossa e cu,30 < 70 kPa nei terreni a grana fina).
E	<i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con Vs > 800 m/s).

Il profilo verticale delle onde di taglio e il valore Vs30 necessario per la classificazione dei terreni di fondazione dell'area di interesse nelle categorie di suolo sono riassunti nella tabella di seguito riportata.

Profondità (mt)	hi (mt)	Vi (m/s)	hi/Vi	Vs₃₀ (m/s)
0,00 ÷ 1,07	1,07	240	0,0045	Vs₃₀ = 416 m/s
1,07 ÷ 2,31	1,24	231	0,0054	
2,31 ÷ 3,71	1,40	353	0,0040	
3,71 ÷ 5,27	1,57	456	0,0034	
5,27 ÷ 7,01	1,73	489	0,0035	
7,01 ÷ 8,90	1,90	505	0,0038	
8,90 ÷ 10,96	2,06	501	0,0041	
10,96 ÷ 13,19	2,23	456	0,0049	
13,19 ÷ 15,58	2,39	404	0,0059	
15,58 ÷ 18,13	2,55	380	0,0067	
18,13 ÷ 20,85	2,72	393	0,0069	
20,85 ÷ 23,74	2,88	428	0,0067	
23,74 ÷ 26,79	3,05	467	0,0065	
26,79 ÷ 30,00	3,21	565	0,0057	
Σhi/Vi = 0,0720				

Il valore equivalente della velocità delle onde di taglio Vs30 ricavato dalla prova simica MASW sull'area è risultato:

$V_{s30} = 416 \text{ m/sec}$

Si può pertanto preliminarmente stimare che l'area rientri nella seguente categoria di sottosuolo:

Categoria di sottosuolo	V_{s30} (NTC/2008)
B	416 m/sec

Per quanto concerne eventuali influenze dell'assetto topografico sull'azione sismica le NTC distinguono le categorie sotto riportate.

Tabella 3.2.IV – *Categorie topografiche*

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

La zona esaminata appartiene ad una CATEGORIA TOPOGRAFICA T1.

Per tener conto delle condizioni topografiche le NTC forniscono valori variabili del coefficiente S_T come riportato nella tabella sottostante.

Tabella 3.2.VI – *Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T*

Categoria topografica	Ubicazione dell'opera o dell'intervento	S_T
T1	-	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

Per la zona indagata **S_T RISULTA PARI A 1,0.**

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base dl sito.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa ag in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale,

nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate possibilità di eccedenza PVR.

Le forme spettrali sono definite per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento, a partire dai valori dei seguenti parametri:

Valori dei parametri a_g , F_0 , T_C per i periodi di ritorno T_R di riferimento (Elaborazioni effettuate con "Spettri NTC ver.1.0.2" – Consigli Superiore dei Lavori Pubblici)

T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C [s]
30	0,047	2,429	0,276
50	0,061	2,582	0,276
72	0,075	2,483	0,282
101	0,092	2,438	0,282
140	0,107	2,467	0,284
201	0,128	2,444	0,286
475	0,181	2,470	0,296
975	0,236	2,512	0,309
2475	0,331	2,497	0,320

Assegnando all'edificio una vita nominale ≥ 50 anni ed una classe d'uso IV i valori dei parametri a_g , F_0 e T_C per i periodi di ritorno T_R associati a ciascun stato limite sono i seguenti:

STATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_0 [-]	T_C [s]
SLO	30	0,047	2,430	0,276
SLD	50	0,061	2,581	0,277
SLV	475	0,181	2,470	0,296
SLC	975	0,236	2,512	0,309

Verifica del potenziale di liquefazione

Ai sensi del D.M. 14/01/2008 si vuole prendere in analisi il problema della liquefazione dei terreni. Secondo la definizione data nell'Eurocodice 8, la liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidità causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non coesivo durante lo scuotimento sismico, tale da generare deformazioni permanenti significative o persino all'annullamento degli sforzi efficaci nel terreno.

Essa dipende essenzialmente dal grado di addensamento, dalla granulometria e dalla profondità della falda (che deve essere prossima al piano campagna). I terreni in posto sono caratterizzati da spessori variabili di limi sabbiosi e depositi ghiaiosi con intercalazioni sabbiose, la falda freatica è stimata a - 9/10 m circa dal piano campagna.

Non rientrando in nessuna delle eventualità indicate al capitolo 7 paragrafo 7.11.3.4.2 del D.M. 14/01/2008 che permettono l'esclusione della verifica alla liquefazione si è proceduto ad una verifica a 3,0 m dal piano campagna secondo la metodologia di Andrus e Stokoe modificata (1997) che calcola il F_s a partire dalla velocità di propagazione delle onde sismiche.

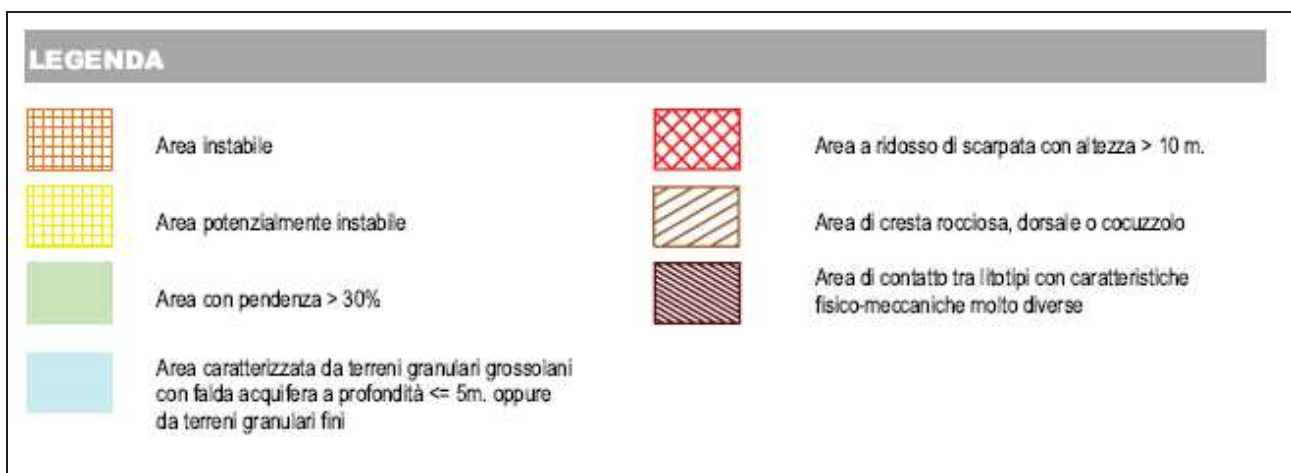
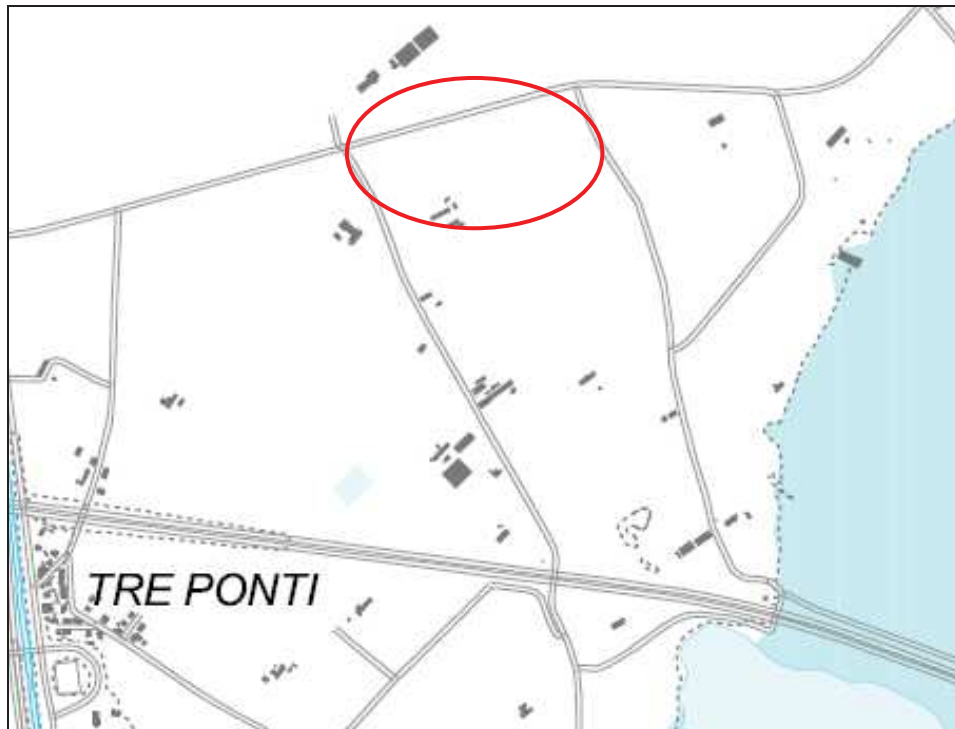
Il calcolo effettuato, con le limitazioni proprie di una simulazione numerica, porta a un coefficiente di sicurezza che esclude il rischio liquefazione alla quota indicata. Di seguito tabulato di calcolo.

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE (da prove sismiche a rifrazione)																																															
Metodo semplificato																																															
Metodo di Andrus e Stokoe (1997) modificato																																															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;">PARAMETRI:</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>γ</td> <td>= 1.9 g/cm^3</td> </tr> <tr> <td>ρ_{v1}</td> <td>= 0.57 kg/cm^3</td> </tr> <tr> <td>ρ_{v2}</td> <td>= 1.17 kg/cm^3</td> </tr> <tr> <td>profondità dello strato considerato</td> <td>= 300 cm</td> </tr> <tr> <td>profondità falda</td> <td>= 900 cm</td> </tr> <tr> <td>T_{1110}</td> <td>= 1 g/cm^2</td> </tr> <tr> <td>Pressione neutra</td> <td>= -0.6 kg/cm^2</td> </tr> <tr> <td>α</td> <td>= 3°</td> </tr> <tr> <td>V_s</td> <td>= 353 m/s</td> </tr> <tr> <td>V_{sFC}</td> <td>= 200 m/s</td> </tr> <tr> <td>V_{sR}</td> <td>= 339.41 m/s</td> </tr> <tr> <td>M</td> <td>= 6.0</td> </tr> <tr> <td>MSF</td> <td>= 2.09 se Ms7.5 = 1.77 se Ms7.5</td> </tr> </table>	PARAMETRI:		γ	= 1.9 g/cm^3	ρ_{v1}	= 0.57 kg/cm^3	ρ_{v2}	= 1.17 kg/cm^3	profondità dello strato considerato	= 300 cm	profondità falda	= 900 cm	T_{1110}	= 1 g/cm^2	Pressione neutra	= -0.6 kg/cm^2	α	= 3°	V_s	= 353 m/s	V_{sFC}	= 200 m/s	V_{sR}	= 339.41 m/s	M	= 6.0	MSF	= 2.09 se Ms7.5 = 1.77 se Ms7.5	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 50%;"></td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>R_L</td> <td>Resistenza al taglio in cellista</td> </tr> <tr> <td>T_L</td> <td>Storzo di taglio indotto dal sisma</td> </tr> <tr> <td>FC_{20}</td> <td>Frazione di lime (%) contenuta nella sabbia</td> </tr> <tr> <td>V_S</td> <td>Velocità sismica di taglio S</td> </tr> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 33%;"></td> <td style="width: 33%; text-align: center;">FC=5%</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">FC=20%</td> <td style="width: 33%; text-align: center;">FC=35%</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">220</td> <td style="text-align: center;">210</td> <td style="text-align: center;">210</td> <td style="text-align: center;">200</td> </tr> </table>			R_L	Resistenza al taglio in cellista	T_L	Storzo di taglio indotto dal sisma	FC_{20}	Frazione di lime (%) contenuta nella sabbia	V_S	Velocità sismica di taglio S		FC=5%	FC=20%	FC=35%	220	210	210	200
PARAMETRI:																																															
γ	= 1.9 g/cm^3																																														
ρ_{v1}	= 0.57 kg/cm^3																																														
ρ_{v2}	= 1.17 kg/cm^3																																														
profondità dello strato considerato	= 300 cm																																														
profondità falda	= 900 cm																																														
T_{1110}	= 1 g/cm^2																																														
Pressione neutra	= -0.6 kg/cm^2																																														
α	= 3°																																														
V_s	= 353 m/s																																														
V_{sFC}	= 200 m/s																																														
V_{sR}	= 339.41 m/s																																														
M	= 6.0																																														
MSF	= 2.09 se Ms7.5 = 1.77 se Ms7.5																																														
R_L	Resistenza al taglio in cellista																																														
T_L	Storzo di taglio indotto dal sisma																																														
FC_{20}	Frazione di lime (%) contenuta nella sabbia																																														
V_S	Velocità sismica di taglio S																																														
	FC=5%	FC=20%	FC=35%																																												
220	210	210	200																																												
FORMULE:																																															
$V_{sR} = V_{s1}(V_{s2}/V_{s1})^{0.75}$																																															
$R = 0.03 \cdot (V_{sR}/100)^3 + (0.9/V_{sR}) \cdot V_{s0} \cdot (0.9V_{s0})$																																															
$T = 0.657 \cdot (a_{max}/g) \cdot (V_{s0}/V_{sR}) \cdot r_d \cdot 1/MSF$																																															
$a_{max}/g = 0.25$																																															
$r_d = 0.97705$																																															
$F_s = R/T > 1$																																															
RISULTATI:																																															
V_{sR}	= 339.41	V_{s1}																																													
R	= 0.334647536	R																																													
T	= 0.037036732	$T_{Ms7.5}$																																													
		$T_{Ms7.5}$																																													
$F_s = R/T$	= 9.035070105	Verificato F_s																																													
	= 7.65704647	Verificato F_s																																													

Software elaborato e distribuito da geotop.it
 Studio Geologico Dott. Sebastiano Giovanni Monaco
 Via Torricelli Trapani n.13 - MESSINA (ME) - 98121 -
 E-mail: geotop@geotop.it - Tel. 0943.31.91.20

Pericolosità sismica

Nella figura seguente viene riportata la carta delle pericolosità sismiche dell'area.



Carta delle Pericolosità sismiche PRG Comune di Fano , stralcio

Compatibilità idrogeologica

Il rischio idraulico e, più in generale, i fattori della pericolosità idrogeologica si possono riferire ai seguenti aspetti:

- Pericolosità connessa al dissesto per fenomeni franosi
- Pericolosità connessa all'esondazione fluviale

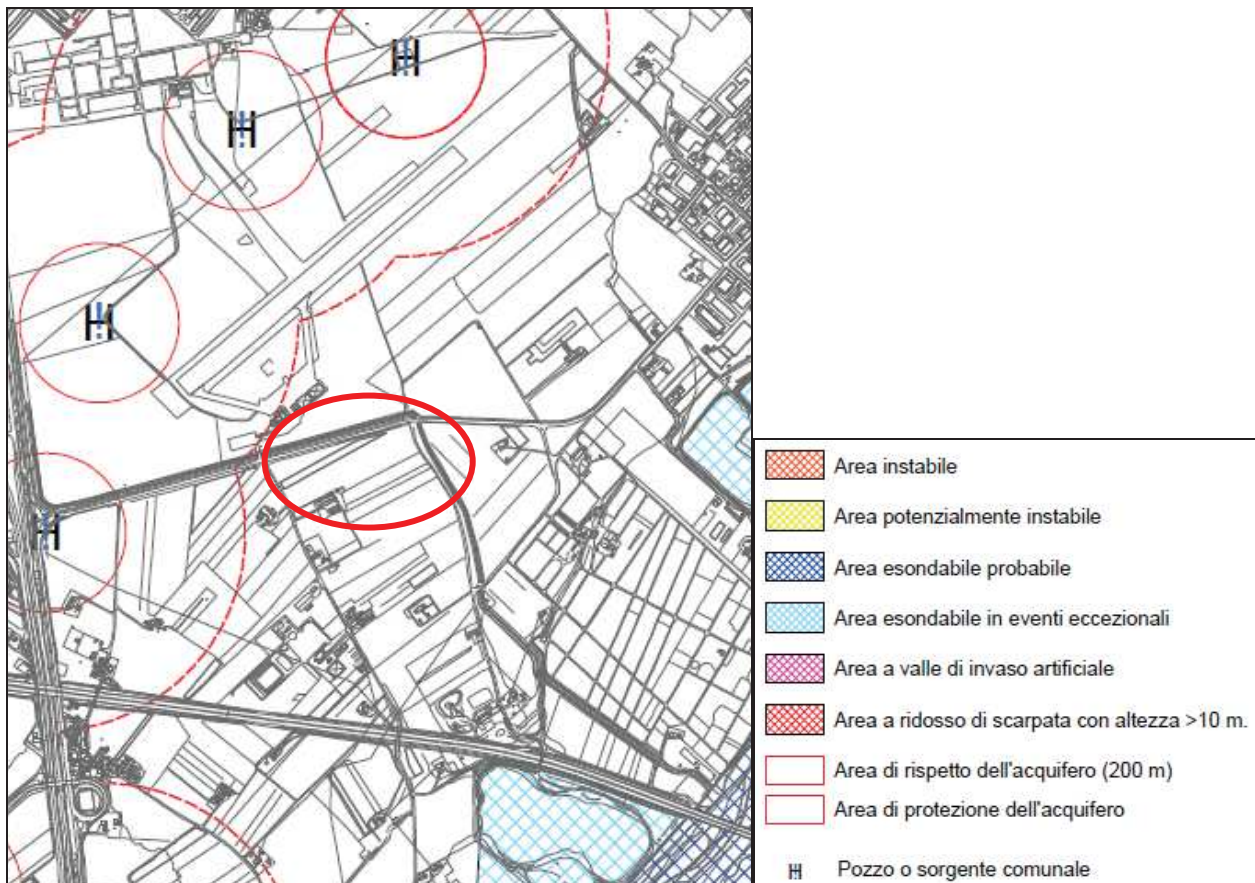
L'assetto idrogeologico del sito è dominato dal fenomeno di infiltrazione delle acque piovane nei terreni superficiali.

Come emerge dal paragrafo che ha descritto l'idrogeologia e la geomorfologia del sito mancano nell'area elementi ideologici di rilievo.

La falda è stimata a profondità di circa 9/10 m dall'attuale piano campagna.

Dalle indagini effettuate e dallo studio delle carte geologiche dell'area non viene segnalata pertanto la presenza di alcun rischio geologico.

Di seguito si riportano stralcio cartografico di PRG relativo alla pericolosità geologica.



5. CONCLUSIONI

La Variante al P.R.G. riguarda la trasformazione urbanistica di un'area che sviluppa una superficie complessiva di mq 38.218,00 suddivisa in due ambiti territoriali separati dalla nuova strada di progetto in corso di realizzazione da parte della Società Autostrade. Il nuovo comparto denominato "Zona sportiva per centro natatorio" è definito dalla scheda tecnica ST3_P39 che individua l'area destinata alla realizzazione del nuovo centro natatorio e quelle relative alle strade e ai parcheggi.

Come stabilito dal D.M. 14/01/08 NTC si è proceduto, per la caratterizzazione geologica del sito, all'esecuzione di n. 2 penetrometrie DPSH e n. 2 Sondaggi, mentre per la classificazione sismica del sottosuolo si è effettuata una valutazione della V_{s30} tramite indagine sismica di tipo MASW e una prova HVSR.

In relazione ai dati emersi nel corso dell'elaborazione dei risultati ottenuti dal rilievo diretto di campagna, dalle indagini penetrometriche, dai sondaggi e dalle indagini sismiche eseguite non è stata individuata alcuna pericolosità geologica e sismica ai fini della Variante in oggetto.

Geologicamente la zona è caratterizzata dalle alluvioni terrazzate limo argillo sabbiose e ghiaiose sul substrato rappresentato dalla Formazione delle Argille Azzurre. La copertura alluvionale non è perfettamente omogenea su tutta l'area ma presenta spessori diversi: nell'area più prossima a Via Mattei, le ghiaie risultano ubicate ad una quota più superficiale rispetto alla zona verso il fiume Metauro, ciò è dovuto al fatto che, con ogni probabilità, il corso del fiume Metauro ha migrato verso il corso attuale (paleovalvei).

La falda idrica è situata alla profondità di 9 - 10 m. dal p.c. salvo fluttuazioni stagionali. E' stata eseguita una verifica a liquefazione sul terreno potenzialmente liquefacibile la quale restituisce un fattore di sicurezza superiore al limite.

Per quanto riguarda il Piano Stralcio del Bacino per l'Assetto Idrogeologico (PAI) l'area non risulta interessata da pericolosità o rischi idraulico idrogeologici.

La velocità media delle onde di taglio V_{s30} è risultata pari a 416 m/s pertanto i terreni di fondazione rientrano nella categoria "B".

La frequenza fondamentale di risonanza del sito è H/V : 19,40 Hz \pm 0,09 Hz.

Va precisato che, in base al D.M. 14/01/2008 "Nuove norme tecniche per le costruzioni", per la fase esecutiva di ogni singolo progetto, sarà necessaria la relazione geologica geomorfologica e sismica.

Questo studio resta a disposizione per qualsiasi chiarimento voglia essere richiesto in merito a quanto sopra esposto.

II TECNICO

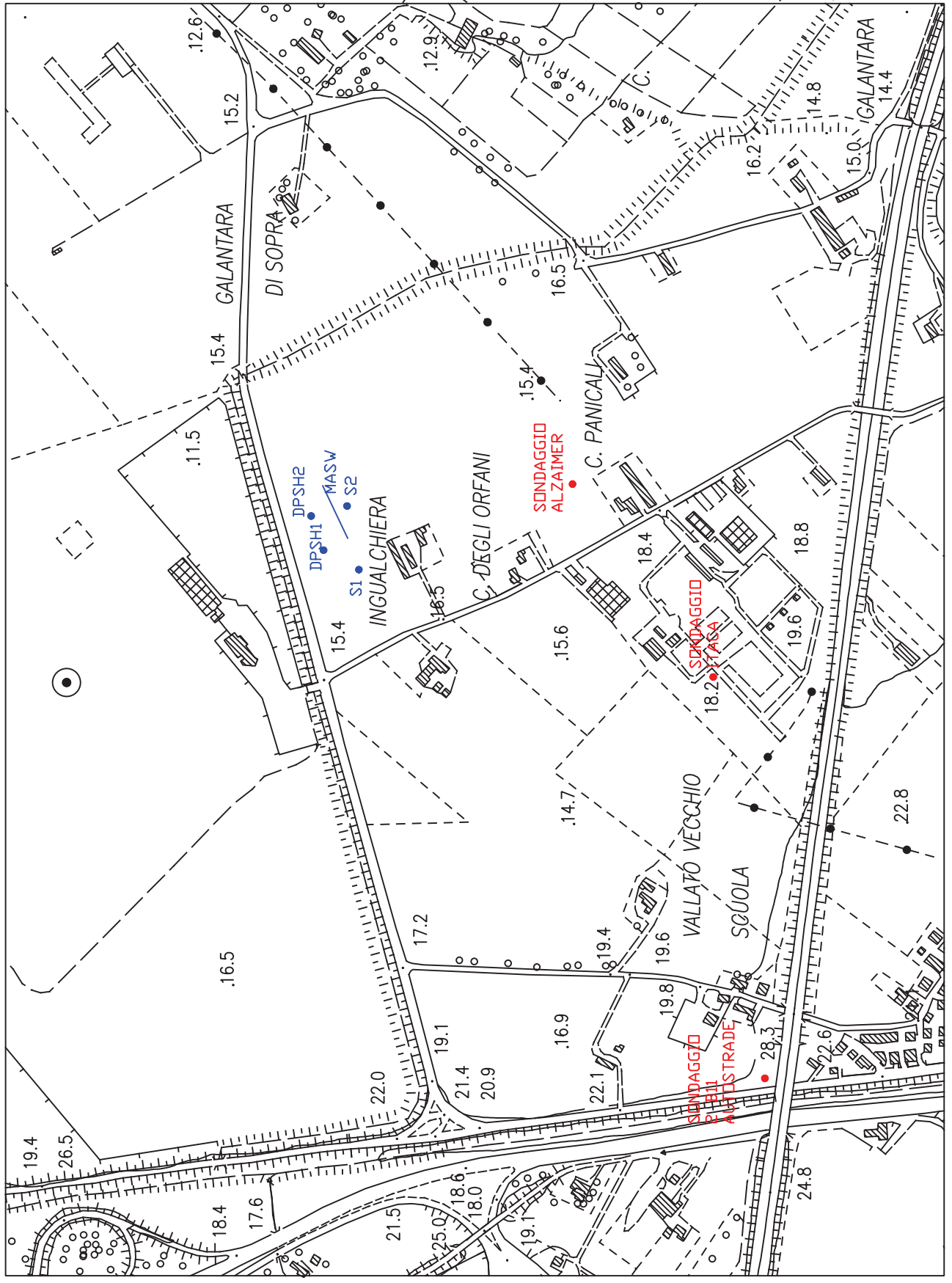
Dott.ssa Geologo Maria Vittoria Castellani

Fano, Ottobre 2017

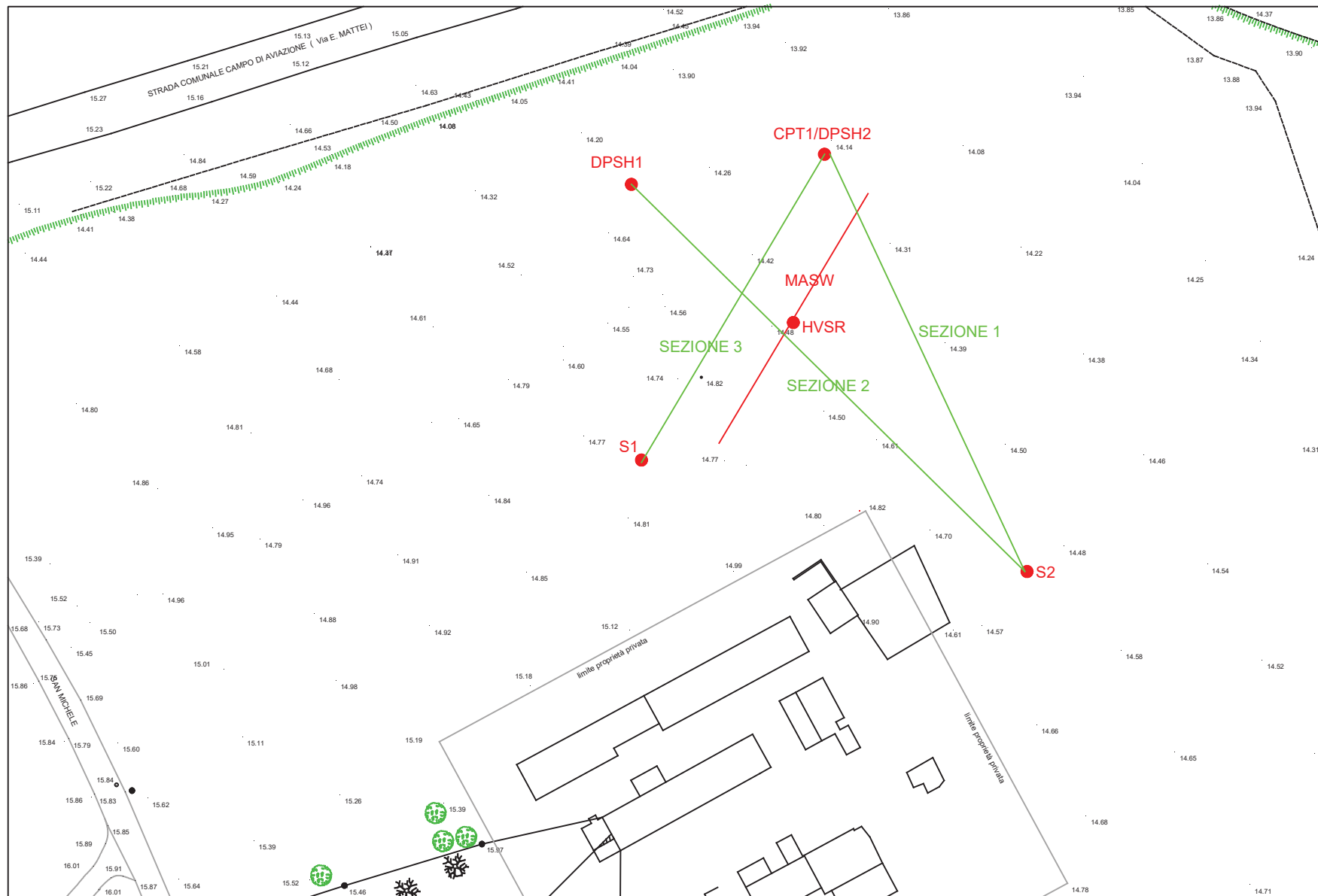
ALLEGATI:

- ALLEGATO 1 - Planimetria con ubicazione prove eseguite e consultate
- ALLEGATO 2 - Planimetria con ubicazione prove e sezioni
- ALLEGATO 3 - Prove penetrometriche
- ALLEGATO 4 - Relazione Sismica
- ALLEGATO 5 - Sezioni stratigrafiche

ALLEGATO 1: UBICAZIONE INDAGINI



ALLEGATO 2: UBICAZIONE INDAGINI E SEZIONI STRATIGRAFICHE



ALLEGATO 3:
PROVE PENETROMETRICHE

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT-1

Committente: GEOL. MARIA VITTORIA CASTELLANI
 Cantiere: VIA MATTEI/VIA SAN MICHELE
 Località: FANO (PU)

Caratteristiche Strumentali PAGANI TG 63 (200 kN)

Rif. Norme	ASTM D3441-86
Diametro Punta conica meccanica (mm)	35,7
Angolo di apertura punta (°)	60
Area punta	10
Superficie manicotto	150
Passo letture (cm)	20
Costante di trasformazione Ct	10

PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT-1

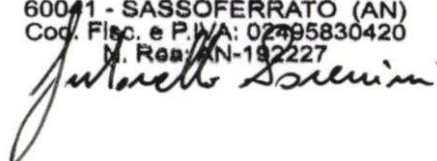
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)
 Prova eseguita in data 23/02/2017
 Profondità prova 1,80 mt

Profondità (m)	Lettura punta (Kg/cm ²)	Lettura laterale (Kg/cm ²)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	qc/fs Begemann	fs/qcx100 (Schmertmann)
0,20	0,0	0,0	0,0	0,0		
0,40	0,0	0,0	0,0	1,07	0,0	
0,60	15,0	31,0	15,0	0,4	37,5	2,67
0,80	24,0	30,0	24,0	0,87	27,59	3,63
1,00	14,0	27,0	14,0	1,13	12,39	8,07
1,20	26,0	43,0	26,0	3,0	8,67	11,54
1,40	111,0	156,0	111,0	1,2	92,5	1,08
1,60	172,0	190,0	172,0	2,2	78,18	1,28
1,80	188,0	221,0	188,0	0,0		0,0

Profondità (m)	Valutazione litologica secondo: Schmertmann 1978
0,20	Stima non eseguibile
0,40	Stima non eseguibile
0,60	Terre Limo sabbiose - Sabbie Arg. - Limi
0,80	Argille sabbiose e limose
1,00	Argille organiche e terreni misti
1,20	Argilla inorganica molto compatta
1,40	Sabbie addensate o cementate
1,60	Sabbie addensate o cementate
1,80	Sabbie addensate o cementate

Sassoferrato, 13 marzo 2017

SERVIZI SISMICI S.n.c.
 di Donnini A. & Mantoni F.
 Via Piano di Frassineta, 109
 60041 - SASSOFERRATO (AN)
 Cod. Fisc. e P.IVA: 02795830420
 M. Rea/AN-192227

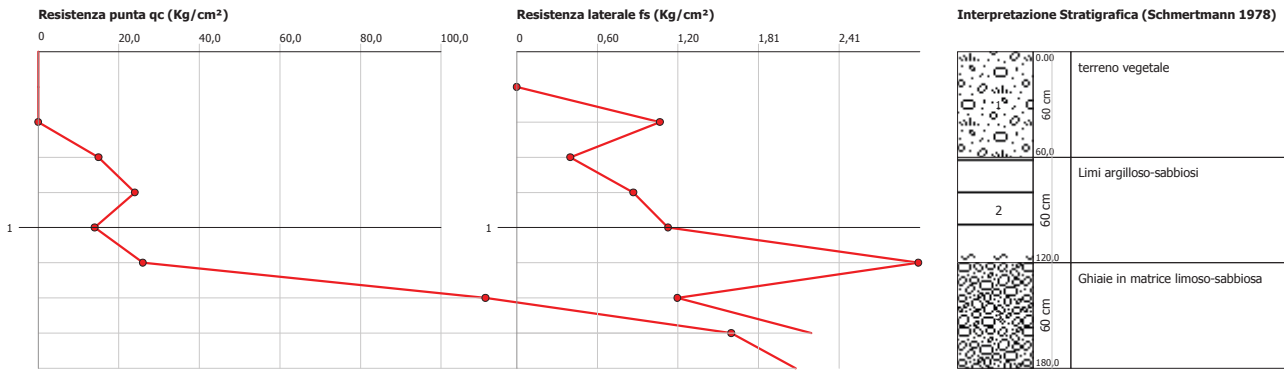


Probe CPT - Cone Penetration CPT-1
Strumento utilizzato... PAGANI TG 63 (200 kN)
Diagramma Resistenze qc fs

Committente : GEOL. MARIA VITTORIA CASTELLANI
 Cantiere : VIA MATTEI/VIA SAN MICHELE
 Località : FANO (PU)

Data :23/02/2017

Scala 1:43



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI – PROVA PENETROMETRICA STATICA CPT-1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 1	0,60	5,0	0,49	0,02	0,02	Baligh ed altri 1980 Nk=21	0,24
Strato 2	1,20	21,33	1,67	0,1	0,1		1,01

Modulo Edometrico

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 1	0,60	5,0	0,49	0,02	0,02	Metodo generale del modulo Edometrico	27,41
Strato 2	1,20	21,33	1,67	0,1	0,1		42,66

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	0,60	5,0	0,49	0,02	0,02	Meyerhof	1,74
Strato 2	1,20	21,33	1,67	0,1	0,1		1,98

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 3	1,80	157,0	1,13	0,22	0,22	Jamiolkowski 1985	100,0

Angolo di resistenza al taglio

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 3	1,80	157,0	1,13	0,22	0,22	De Beer	37,24

Modulo di Young

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato 3	1,80	157,0	1,13	0,22	0,22	Schmertmann	204,1

Peso unità di volume

	Prof. Strato (m)	qc (Kg/cm ²)	fs (Kg/cm ²)	Tensione litostatica totale (Kg/cm ²)	Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 3	1,80	157,0	1,13	0,22	0,22	Meyerhof	1,9

PROVE PENETROMETRICHE DINAMICHE DPSH-1 – DPSH-2

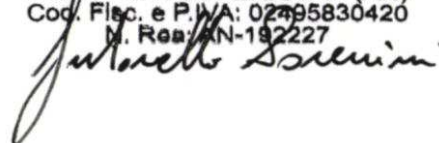
Committente: GEOL. MARIA VITTORIA CASTELLANI
Cantiere: VIA MATTEI/VIA SAN MICHELE
Località: FANO (PU)

Caratteristiche Tecniche-Strumentali Sonda: DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)

Rif. Norme	DIN 4094
Peso Massa battente	63,5 Kg
Altezza di caduta libera	0,75 m
Peso sistema di battuta	8 Kg
Diametro punta conica	50,46 mm
Area di base punta	20 cm ²
Lunghezza delle aste	1 m
Peso aste a metro	6,3 Kg/m
Profondità giunzione prima asta	0,80 m
Avanzamento punta	0,20 m
Numero colpi per punta	N(20)
Coeff. Correlazione	1,504
Rivestimento/fanghi	No
Angolo di apertura punta	90 °

Sassoferrato, 13 marzo 2017

SERVIZI SISMICI S.n.c.
di Donnini A. & Mantoni F.
Via Piano di Frassineta, 109
60041 - SASSOFERRATO (AN)
Cod. Fisc. e P.IVA: 02295830420
M. Reg. AN-19/2227



PROVA DPSH-1

Strumento utilizzato
Prova eseguita in data
Profondità prova
Falda non rilevata

DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)
23/02/2017
6,20 mt

Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	1	0,851	8,27	9,72	0,41	0,49
0,60	3	0,847	24,69	29,15	1,23	1,46
0,80	4	0,843	32,78	38,87	1,64	1,94
1,00	2	0,840	15,10	17,98	0,75	0,90
1,20	3	0,836	22,55	26,97	1,13	1,35
1,40	3	0,833	22,46	26,97	1,12	1,35
1,60	12	0,830	89,49	107,88	4,47	5,39
1,80	21	0,726	137,12	188,79	6,86	9,44
2,00	19	0,773	122,86	158,90	6,14	7,95
2,20	12	0,820	82,31	100,36	4,12	5,02
2,40	14	0,767	89,82	117,09	4,49	5,85
2,60	17	0,764	108,66	142,18	5,43	7,11
2,80	20	0,761	127,36	167,27	6,37	8,36
3,00	13	0,759	77,11	101,64	3,86	5,08
3,20	18	0,756	106,39	140,73	5,32	7,04
3,40	33	0,653	168,58	258,01	8,43	12,90
3,60	39	0,601	183,22	304,92	9,16	15,25
3,80	44	0,598	205,86	344,01	10,29	17,20
4,00	49	0,596	214,37	359,67	10,72	17,98
4,20	37	0,644	174,82	271,59	8,74	13,58
4,40	33	0,641	155,37	242,23	7,77	12,11
4,60	29	0,689	146,72	212,87	7,34	10,64
4,80	24	0,687	121,04	176,17	6,05	8,81
5,00	24	0,685	113,72	166,01	5,69	8,30
5,20	24	0,683	113,39	166,01	5,67	8,30
5,40	26	0,681	122,48	179,85	6,12	8,99
5,60	20	0,729	100,87	138,34	5,04	6,92
5,80	25	0,677	117,12	172,93	5,86	8,65
6,00	25	0,675	110,44	163,50	5,52	8,18
6,20	23	0,674	101,34	150,42	5,07	7,52

PROVA DPSH-2

Strumento utilizzato DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)
Prova eseguita in data 23/02/2017
Profondità prova 8,00 mt
Quota 4,00 mt
Falda non rilevata

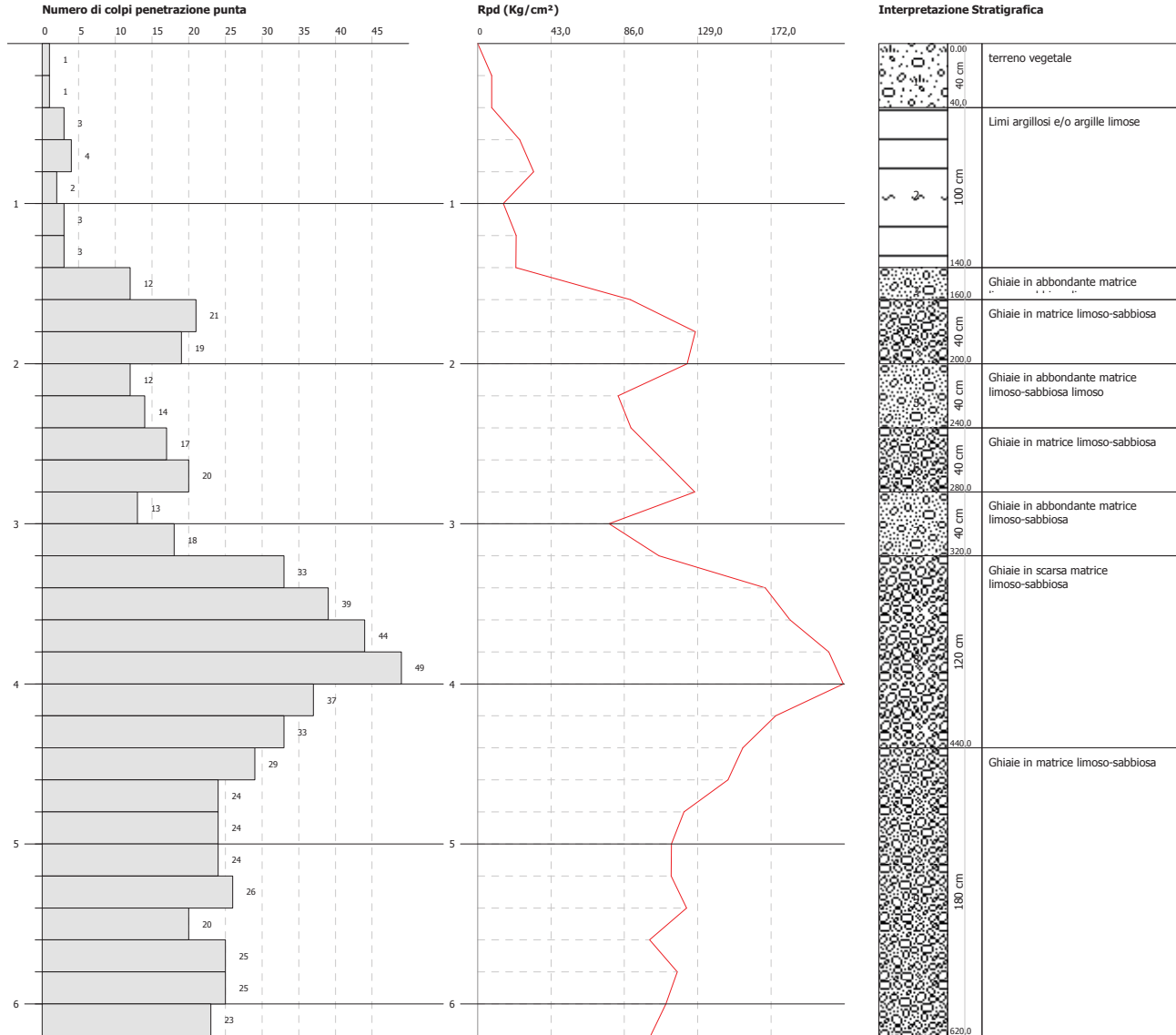
Profondità (m)	Nr. Colpi	Calcolo coeff. riduzione sonda Chi	Res. dinamica ridotta (Kg/cm ²)	Res. dinamica (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile con riduzione Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)	Pres. ammissibile Herminier - Olandesi (Kg/cm ²)
0,20	1	0,855	8,31	9,72	0,42	0,49
0,40	1	0,851	8,27	9,72	0,41	0,49
0,60	1	0,847	8,23	9,72	0,41	0,49
0,80	1	0,843	8,20	9,72	0,41	0,49
1,00	1	0,840	7,55	8,99	0,38	0,45
1,20	1	0,836	7,52	8,99	0,38	0,45
1,40	1	0,833	7,49	8,99	0,37	0,45
1,60	1	0,830	7,46	8,99	0,37	0,45
1,80	1	0,826	7,43	8,99	0,37	0,45
2,00	13	0,773	84,06	108,72	4,20	5,44
2,20	16	0,770	103,05	133,81	5,15	6,69
2,40	14	0,767	89,82	117,09	4,49	5,85
2,60	17	0,764	108,66	142,18	5,43	7,11
2,80	18	0,761	114,62	150,54	5,73	7,53
3,00	22	0,709	121,90	172,01	6,09	8,60
3,20	24	0,706	132,48	187,64	6,62	9,38
3,40	24	0,703	131,99	187,64	6,60	9,38
3,60	26	0,701	142,47	203,28	7,12	10,16
3,80	23	0,698	125,59	179,83	6,28	8,99
4,00	19	0,746	104,04	139,47	5,20	6,97
4,20	23	0,694	117,11	168,83	5,86	8,44
4,40	25	0,691	126,88	183,51	6,34	9,18
4,60	19	0,739	103,10	139,47	5,15	6,97
4,80	20	0,737	108,21	146,81	5,41	7,34
5,00	23	0,685	108,98	159,10	5,45	7,95
5,20	25	0,683	118,11	172,93	5,91	8,65
5,40	29	0,681	136,62	200,60	6,83	10,03
5,60	31	0,629	134,91	214,43	6,75	10,72
5,80	32	0,627	138,85	221,35	6,94	11,07
6,00	38	0,625	155,45	248,53	7,77	12,43
6,20	34	0,624	138,69	222,37	6,93	11,12
6,40	41	0,572	153,39	268,15	7,67	13,41
6,60	24	0,670	105,22	156,96	5,26	7,85
6,80	43	0,569	159,95	281,23	8,00	14,06
7,00	29	0,667	120,00	179,86	6,00	8,99
7,20	26	0,666	107,34	161,26	5,37	8,06
7,40	30	0,664	123,58	186,07	6,18	9,30
7,60	24	0,663	98,65	148,85	4,93	7,44
7,80	22	0,661	90,23	136,45	4,51	6,82
8,00	31	0,610	111,50	182,82	5,58	9,14

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH-1
Strumento utilizzato... DPSH (Dynamic Probing Super Heavy)
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Committente : GEOL. MARIA VITTORIA CASTELLANI
 Cantiere : VIA MATTEI/VIA SAN MICHELE
 Località : FANO (PU)

Data :23/02/2017

Scala 1:43



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI - PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH-1

TERRENI COESIVI

Coesione non drenata

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Cu (Kg/cm ²)
Strato 1	1,5	0,40	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	0,29
Strato 2	4,51	1,40	SUNDA (1983) Benassi e Vannelli	0,84

Modulo Edometrico

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Eed (Kg/cm ²)
Strato 1	1,5	0,40	Stroud e Butler (1975)	6,88
Strato 2	4,51	1,40	Stroud e Butler (1975)	20,69

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Classificazione
Strato 1	1,5	0,40	Classificaz. A.G.I. (1977)	PRIVO DI CONSISTENZA
Strato 2	4,51	1,40	Classificaz. A.G.I. (1977)	MODERAT. CONSISTENTE

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Correlazione	Peso unità di volume (t/m ³)
Strato 1	1,5	0,40	Meyerhof ed altri	1,52
Strato 2	4,51	1,40	Meyerhof ed altri	1,73

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 3	18,05	1,60	18,05	Meyerhof 1957	91,38
Strato 4	30,08	2,00	30,08	Meyerhof 1957	100
Strato 5	19,55	2,40	19,55	Meyerhof 1957	88,61
Strato 6	27,82	2,80	27,82	Meyerhof 1957	100
Strato 7	23,31	3,20	23,31	Meyerhof 1957	90,22
Strato 8	58,91	4,40	58,91	Meyerhof 1957	100
Strato 9	36,76	6,20	36,76	Meyerhof 1957	95,58

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 3	18,05	1,60	18,05	Meyerhof (1965)	32,03
Strato 4	30,08	2,00	30,08	Meyerhof (1965)	35,42
Strato 5	19,55	2,40	19,55	Meyerhof (1965)	32,55
Strato 6	27,82	2,80	27,82	Meyerhof (1965)	34,91
Strato 7	23,31	3,20	23,31	Meyerhof (1965)	33,73
Strato 8	58,91	4,40	58,91	Meyerhof (1965)	36,46
Strato 9	36,76	6,20	36,76	Meyerhof (1965)	36,55

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato 3	18,05	1,60	18,05	Schmertmann (1978)	144,40
Strato 4	30,08	2,00	30,08		240,64
Strato 5	19,55	2,40	19,55		156,40
Strato 6	27,82	2,80	27,82		222,56
Strato 7	23,31	3,20	23,31		186,48
Strato 8	58,91	4,40	58,91		471,28
Strato 9	36,76	6,20	36,76		294,08

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 3	18,05	1,60	18,05	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 4	30,08	2,00	30,08	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO
Strato 5	19,55	2,40	19,55	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 6	27,82	2,80	27,82	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 7	23,31	3,20	23,31	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 8	58,91	4,40	58,91	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO
Strato 9	36,76	6,20	36,76	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

Peso unità di volume

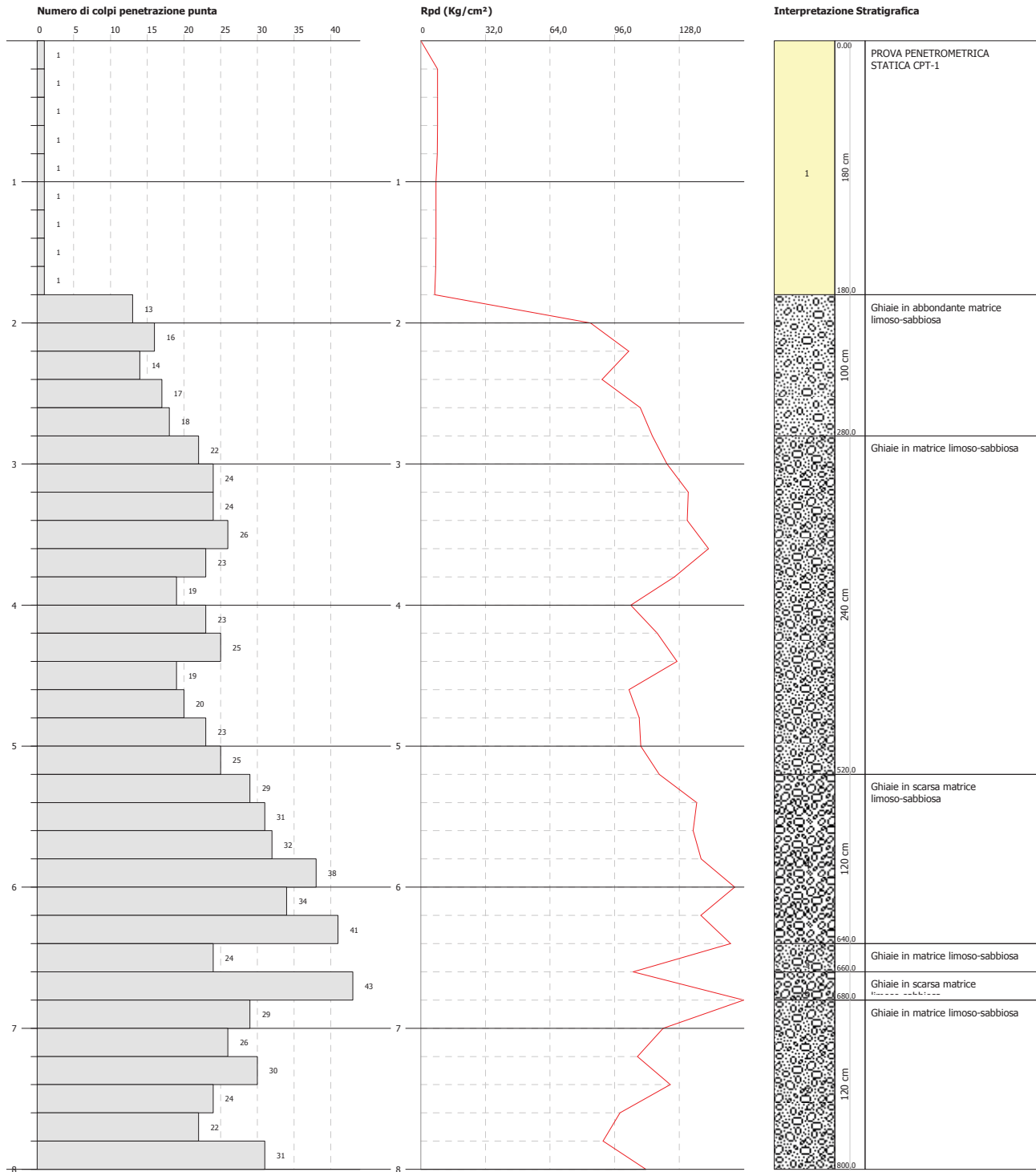
	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
Strato 3	18,05	1,60	18,05	Meyerhof ed altri	1,95
Strato 4	30,08	2,00	30,08	Meyerhof ed altri	2,14
Strato 5	19,55	2,40	19,55	Meyerhof ed altri	1,98
Strato 6	27,82	2,80	27,82	Meyerhof ed altri	2,11
Strato 7	23,31	3,20	23,31	Meyerhof ed altri	2,05
Strato 8	58,91	4,40	58,91	Meyerhof ed altri	2,28
Strato 9	36,76	6,20	36,76	Meyerhof ed altri	2,19

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH-2
Strumento utilizzato... DPSH (Dinamic Probing Super Heavy)
DIAGRAMMA NUMERO COLPI PUNTA-Rpd

Committente : GEOL. MARIA VITTORIA CASTELLANI
 Cantiere : VIA MATTEI/VIA SAN MICHELE
 Località : FANO (PU)

Data :23/02/2017

Scala 1:43



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI - PROVA PENETROMETRICA DINAMICA DPSH-2

TERRENI INCOERENTI

Densità relativa

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Densità relativa (%)
Strato 2	23,46	2,80	23,46	Meyerhof 1957	100
Strato 3	34,22	5,20	34,22	Meyerhof 1957	100
Strato 4	51,39	6,40	51,39	Meyerhof 1957	100
Strato 5	36,1	6,60	36,1	Meyerhof 1957	96,31
Strato 6	64,67	6,80	64,67	Meyerhof 1957	100
Strato 7	40,61	8,00	40,61	Meyerhof 1957	96,66

Angolo di resistenza al taglio

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Angolo d'attrito (°)
Strato 2	23,46	2,80	23,46	Meyerhof (1965)	33,77
Strato 3	34,22	5,20	34,22	Meyerhof (1965)	36,18
Strato 4	51,39	6,40	51,39	Meyerhof (1965)	37,15
Strato 5	36,1	6,60	36,1	Meyerhof (1965)	36,46
Strato 6	64,67	6,80	64,67	Meyerhof (1965)	35,47
Strato 7	40,61	8,00	40,61	Meyerhof (1965)	36,95

Modulo di Young

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Modulo di Young (Kg/cm ²)
Strato 2	23,46	2,80	23,46	Schmertmann (1978) (Sabbie)	187,68
Strato 3	34,22	5,20	34,22	Schmertmann (1978) (Sabbie)	273,76
Strato 4	51,39	6,40	51,39	Schmertmann (1978) (Sabbie)	411,12
Strato 5	36,1	6,60	36,1	Schmertmann (1978) (Sabbie)	288,80
Strato 6	64,67	6,80	64,67	Schmertmann (1978) (Sabbie)	517,36
Strato 7	40,61	8,00	40,61	Schmertmann (1978) (Sabbie)	324,88

Classificazione AGI

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Classificazione AGI
Strato 2	23,46	2,80	23,46	Classificazione A.G.I. 1977	MODERATAMENTE ADDENSATO
Strato 3	34,22	5,20	34,22	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO
Strato 4	51,39	6,40	51,39	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO
Strato 5	36,1	6,60	36,1	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO
Strato 6	64,67	6,80	64,67	Classificazione A.G.I. 1977	MOLTO ADDENSATO
Strato 7	40,61	8,00	40,61	Classificazione A.G.I. 1977	ADDENSATO

Peso unità di volume

	Nspt	Prof. Strato (m)	Nspt corretto per presenza falda	Correlazione	Gamma (t/m ³)
Strato 2	23,46	2,80	23,46	Meyerhof ed altri	2,05
Strato 3	34,22	5,20	34,22	Meyerhof ed altri	2,17
Strato 4	51,39	6,40	51,39	Meyerhof ed altri	2,24
Strato 5	36,1	6,60	36,1	Meyerhof ed altri	2,18
Strato 6	64,67	6,80	64,67	Meyerhof ed altri	2,33
Strato 7	40,61	8,00	40,61	Meyerhof ed altri	2,20

ALLEGATO 4:
RELAZIONE SISMICA

**REGIONE MARCHE
PROVINCIA DI PESARO-URBINO
COMUNE DI FANO**

COMMITTENTE: GEOL. MARIA VITTORIA CASTELLANI

**Indagini geofisiche eseguite a corredo del progetto
di costruzione di un nuovo impianto natatorio in
via E. Mattei/via San Michele nel Comune di Fano (PU)**



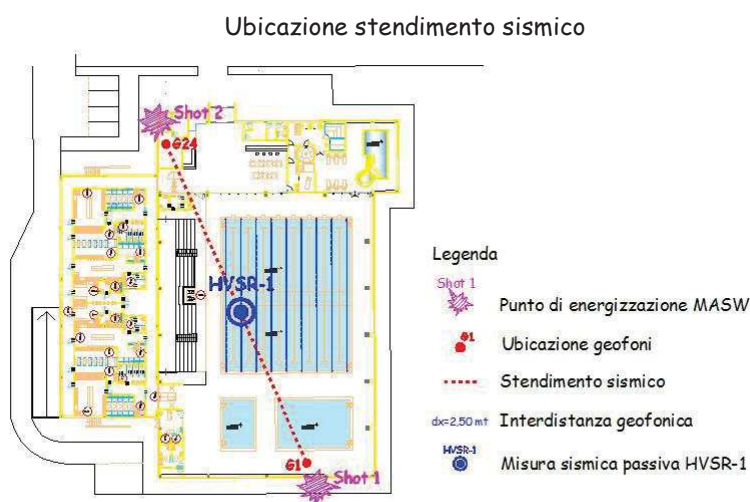
Sassoferrato, 20 marzo 2017

SERVIZI SISMICI S.n.c.
di Donnini A. & Mantoni F.
Via Piano di Frassineta, 109
60041 - SASSOFERRATO (AN)
Cod. Fisc. e P.IVA: 02495830420
R. Rea: AN-192227

Antonello Scerifini

1 PREMESSA

Su incarico ricevuto dal Geol. Maria Vittoria Castellani è stata eseguita un'indagine geofisica nell'area interessata dal progetto del nuovo impianto natatorio da realizzarsi in via E. Mattei/via San Michele nel Comune di Fano (PU). L'indagine è consistita nell'esecuzione di n°1 stendimento sismico con metodologia MASW per la determinazione del profilo verticale delle onde di taglio e del valore V_{s30} necessario per la classificazione dei terreni di fondazione degli interventi in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2008 "D.M. 14/01/2008". Nell'area oggetto di indagine è stata inoltre eseguita n°1 registrazione dei microtremori con un simografo triassiale per la determinazione della frequenza di risonanza dei terreni costituenti la locale successione stratigrafica.



2 INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

2.1 Analisi multicanale delle onde superficiali

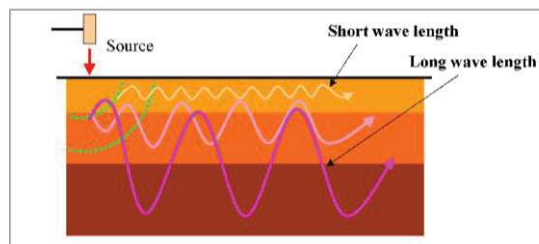
Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Le onde di Rayleigh sono generate dall'interazione tra le onde di pressione e le onde di taglio verticali ogni qualvolta esiste una superficie libera in un mezzo omogeneo ed isotropo. Alla superficie libera hanno un moto ellittico retrogrado (antiorario) che si inverte ad una profondità di $\lambda/2\pi$. In un semispazio elastico, omogeneo ed isotropo, la velocità di propagazione delle onde di Rayleigh è indipendente dalla frequenza e il moto indotto dalla propagazione si smorza rapidamente sino ad estinguersi ad una profondità pari circa ad una lunghezza d'onda. Ciò vuol dire che la profondità raggiunta dipende dalla lunghezza d'onda, e che, a diverse lunghezze d'onda corrispondende la stessa velocità di fase. In un mezzo verticalmente eterogeneo, costituito cioè da strati aventi proprietà meccaniche differenti, le onde superficiali presentano un comportamento dispersivo,



ossia a frequenza diverse corrispondono diverse velocità di fase. Ciò vuol dire che lunghezze d'onda diverse interessano strati differenti ai quali sono associate proprietà meccaniche diverse: ogni lunghezza d'onda si propaga ad una velocità di fase che dipende dalle caratteristiche dello strato interessato dalla propagazione. Per ottenere un profilo V_s bisogna produrre un treno d'onde superficiali a banda larga e registrarlo minimizzando il rumore. I dati acquisiti vengono sottoposti ad una fase di *processing* che consente di stimare la curva di dispersione caratteristica del sito in oggetto, ovvero la velocità di fase delle onde di Rayleigh in funzione della frequenza. Esistono diverse tecniche per estrarre dai sismogrammi acquisiti le caratteristiche dispersive del sito. La metodologia più diffusa è l'analisi spettrale nel dominio f-k (frequenza-numero d'onda). I dati sismici registrati vengono sottoposti ad una doppia trasformata di Fourier che consente di passare dal dominio x-t (spazio-tempo) al dominio f-k. Lo spettro f-k del segnale consente di ottenere una curva di dispersione per le onde di Rayleigh, nell'ipotesi che nell'intervallo di frequenze analizzato le onde che si propagano con il maggior contenuto di energia siano proprio le onde di Rayleigh e che le caratteristiche del sito siano tali da consentire la propagazione delle onde superficiali e un comportamento dispersivo delle stesse. La velocità delle onde di Rayleigh è infatti associata ai massimi dello spettro f-k; si può così ottenere una curva di dispersione individuando ad ogni frequenza un picco spettrale al quale è associato un numero d'onda k e quindi una velocità delle onde di Rayleigh V_r determinabile in base alla teoria delle onde dalla relazione:

$$V_r(f) = 2\pi f/k$$

Riportando le coppie di valori V_r -f in un grafico si ottiene la curva di dispersione utilizzabile nella successiva fase di inversione. La fase di inversione deve essere preceduta da una parametrizzazione del sottosuolo, che viene di norma schematizzato come un mezzo visco - elastico a strati piano paralleli, omogenei ed isotropi, nel quale l'eterogeneità è rappresentata dalla differenziazione delle caratteristiche meccaniche degli strati. Il processo di inversione è iterativo: a partire da un profilo di primo tentativo, costruito sulla base di metodi semplificati, il problema diretto viene risolto diverse volte variando i parametri che definiscono il modello. Il processo termina quando viene individuato quel set di parametri di modello che minimizza la differenza tra il set di dati sperimentali (curva di dispersione misurata) e il set di dati calcolati (curva di dispersione sintetica). Il processo di inversione si basa su algoritmi di minimizzazione ai minimi quadrati che consentono di automatizzare la procedura.



L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da

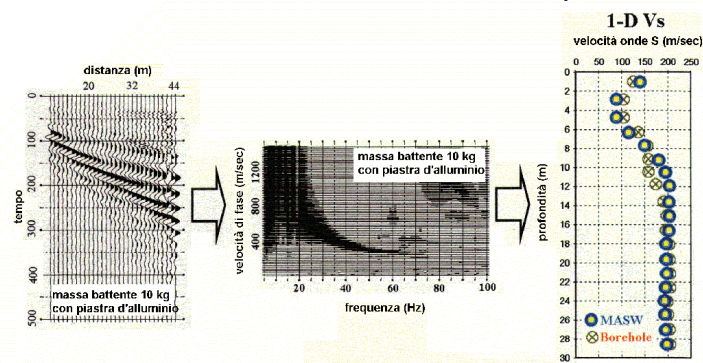


forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte) hanno meno energia e una penetrazione superficiale. Grazie a queste proprietà, una metodologia che utilizzi le onde superficiali può fornire informazioni sulle variazioni delle proprietà elastiche dei materiali prossimi alla superficie al variare della profondità. La velocità delle onde S (V_s) è il fattore dominante che governa le caratteristiche della dispersione.

2.2 Descrizione generale della procedura MASW

La procedura MASW comprende tre passi successivi:

- 1 acquisizione delle onde superficiali (ground roll);
- 2 estrazione della curva di dispersione caratteristica del sito (grafico della velocità di fase rispetto alla frequenza);
- 3 inversione della curva di dispersione per ottenere il profilo verticale delle V_s (profilo 1-D) che descrive la variazione di V_s con la profondità.



2.3 Strumentazione e metodologia di indagine

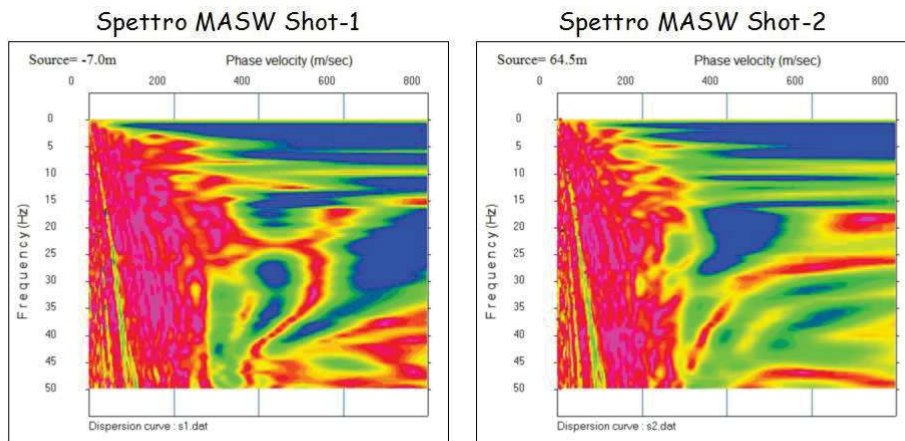
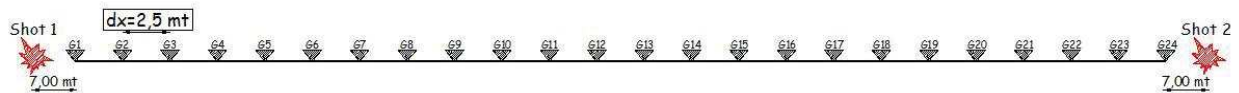
La prospezione sismica con metodologia MASW è stata eseguita utilizzando un sismografo multicanale a trasmissione digitale della Sara Electronic Instruments dotato di memoria indipendente per ogni canale in grado di memorizzazione oltre 30.000 campioni. Gli intervalli di campionamento sono programmabili da 5 a 0.05 millisecondi, corrispondenti a frequenze di campionamento da 200 a 20000 Hz. La durata del campionamento è selezionabile fra 0.1 e 60 secondi. Elevata dinamica (96dB al convertitore, 155dB totale). Impedenza d'ingresso: $>100k\Omega$. La trasmissione digitale dei dati consente un'elevata silenziosità e immunità ai rumori. Per la presente indagine si è adottata una frequenza di campionamento pari a 2000 Hz e una durata del campionamento di 1 secondo. Per l'acquisizione delle onde di superficie i sensori sono costituiti da una catena di 24 geofoni verticali Geo-space GS-11D da 4.5Hz 4000 ohms equispaziati con interdistanza geofonica di 2,50 mt.

I fondamenti teorici della metodologia MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali; pertanto una limitazione alla sua



applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 15° - 20° sia della topografia che delle diverse discontinuità elastiche. Per valutare la validità di monodimensionalità (strati piano paralleli) e la stabilità della curva di dispersione caratteristica del sito, durante la fase di acquisizione si sono eseguiti due shots coniugati posti alle estremità opposte dello stendimento. Per ciascun punto di scoppio si sono eseguite più energizzazioni con le tracce che sono state poi sommate al fine di evidenziare il segnale sismico (stack) rispetto ai rumori ambientali presenti.

La base sismica con metodologia MASW è stata eseguita con 2 punti di scoppio coniugati secondo lo schema di seguito riportato.



Le curve di dispersione così ottenute, riportate nella precedente figura, risultano fra loro simili confermando quindi l'applicabilità delle metodologie basate sulla registrazione delle onde sismiche superficiali; il processo di inversione è stato eseguito sulla curva di dispersione ottenuta dallo Shot 2, posto ad una distanza di 7,00 mt dal geofono G22, meglio definita nell'intervallo di frequenze utilizzato e caratterizzata dal miglior rapporto segnale/rumore e dal minore errore sul fitting con la curva di dispersione sperimentale apparente.

La generazione della perturbazione sismica è avvenuta mediante mazza battente del peso di 8 Kg su piastra metallica. L'istante di tempo zero (segnale di inizio registrazione) viene inviato allo strumento da un sensore di contatto posto all'estremità della stessa mazza di energizzazione. L'area interessata dall'indagine sismica in oggetto risultava completa pianeggiante.



3 RISULTATI E CONCLUSIONI

3.1 Classificazione dei terreni di fondazione (Vs30)

L'esecuzione dell'indagine sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) consente di classificare i terreni di fondazione degli interventi in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2008 "D.D.L. 14/01/2008".

La metodologia MASW presenta rispetto ad altre tecniche sismiche il vantaggio di non essere limitata dalla presenza di inversioni di velocità, consentendo pertanto l'individuazione di strati soffici compresi tra strati più rigidi o di strati più rigidi compresi tra strati più soffici. Il metodo MASW consente quindi di individuare il profilo di velocità V_s anche in presenza di contrasti di rigidità tra gli strati del suolo. Tale prova fornisce un profilo di velocità V_s monodimensionale. La velocità di propagazione delle onde di taglio dipende dalle proprietà elastiche dei mezzi attraversati e il parametro geofisico V_{s30} è quello che meglio rappresenta la condizione geotecnica media dei materiali geologici del sottosuolo dei primi 30 metri. Infatti la velocità di propagazione delle onde trasversali dipende dalle proprietà elastiche del mezzo attraversato, come si evince dalla seguente relazione:

$$V_s = \sqrt{\frac{\mu}{\gamma}}$$

dove γ rappresenta la densità del corpo e μ il modulo di rigidità o modulo di taglio che indica la resistenza di un corpo alle variazioni di forma. Le proprietà elastiche del mezzo sono a loro volta influenzate da numerosi fattori quali la compattezza o il grado di litificazione, la porosità, la tessitura, il grado alterazione e/o fratturazione, la composizione mineralogica, il contenuto di fluidi, la profondità, ecc.

Con V_{s30} si definisce la velocità media di propagazione nei primi 30 metri di profondità delle onde di taglio, il cui calcolo viene effettuato utilizzando la seguente espressione:

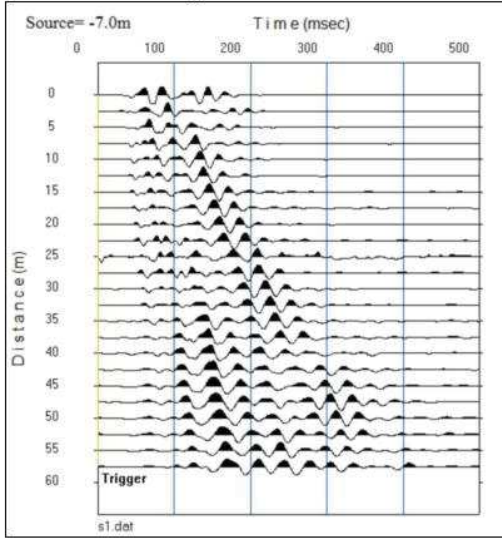
$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Dove h_i e V_i indicano lo spessore (in metri) e la velocità delle onde di taglio dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nei 30 metri superiori.

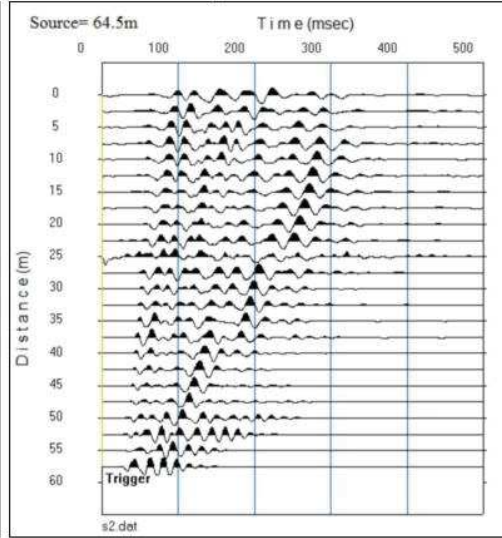
Le diverse fasi di acquisizione ed elaborazione dei dati sismici hanno portato ai seguenti elaborati:



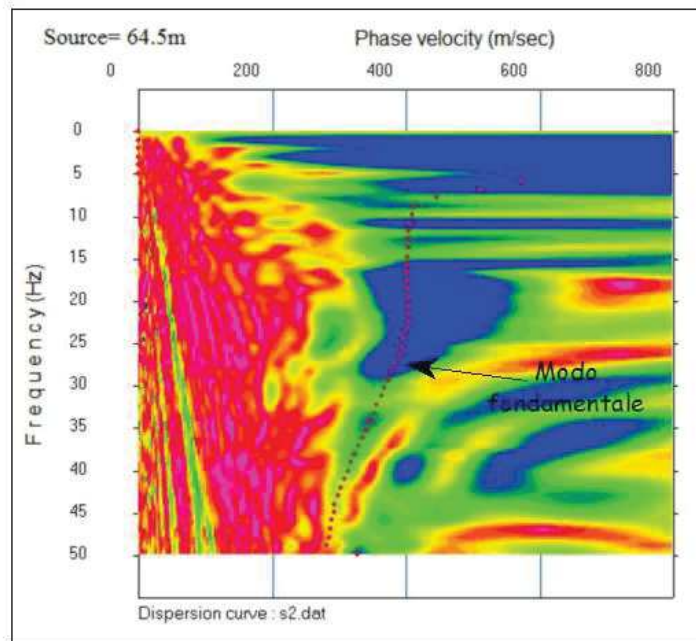
Sismogramma Shot 1



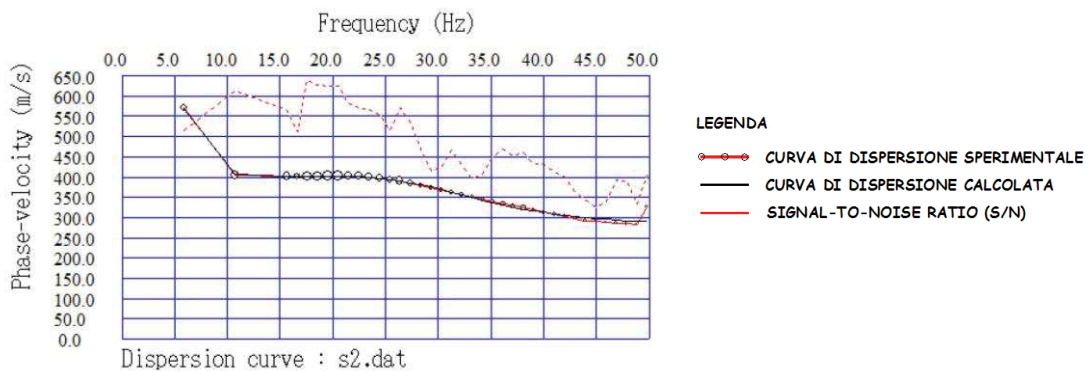
Sismogramma Shot 2



Spettro di velocità e curva di dispersione misurata - Shot 2



Curva di dispersione sperimentale e calcolata - Shot 2





Il profilo verticale delle onde di taglio e il valore V_{s30} necessario per la classificazione dei terreni di fondazione dell'area di interesse nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2008 sono riassunti nella tabella di seguito riportata.

Profondità (mt)	h_i (mt)	V_i (m/s)	h_i/V_i	V_{s30} (m/s)
0,00 ÷ 1,07	1,07	240	0,0045	$V_{s30} = 416$ m/s
1,07 ÷ 2,31	1,24	231	0,0054	
2,31 ÷ 3,71	1,40	353	0,0040	
3,71 ÷ 5,27	1,57	456	0,0034	
5,27 ÷ 7,01	1,73	489	0,0035	
7,01 ÷ 8,90	1,90	505	0,0038	
8,90 ÷ 10,96	2,06	501	0,0041	
10,96 ÷ 13,19	2,23	456	0,0049	
13,19 ÷ 15,58	2,39	404	0,0059	
15,58 ÷ 18,13	2,55	380	0,0067	
18,13 ÷ 20,85	2,72	393	0,0069	
20,85 ÷ 23,74	2,88	428	0,0067	
23,74 ÷ 26,79	3,05	467	0,0065	
26,79 ÷ 30,00	3,21	565	0,0057	

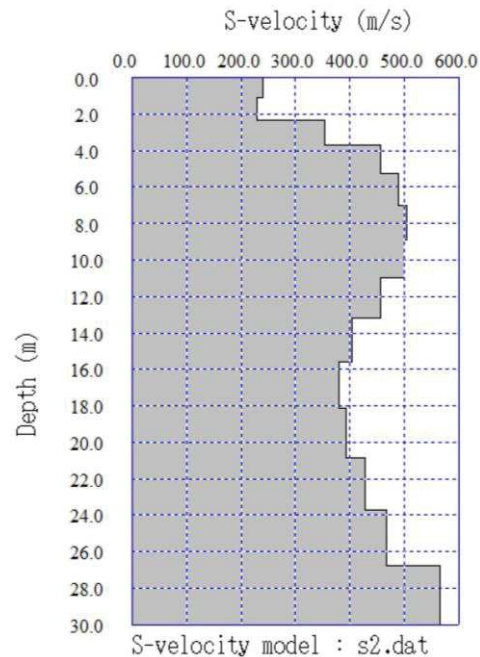
$$\sum h_i/V_i = 0,0720$$

Sulla base della velocità di propagazione delle onde di taglio nei primi trenta metri di profondità, i terreni di sedime del sito oggetto di indagine risultano attribuibili alla categoria di sottosuolo B, come si evince dalla tabella 3.2.II delle N.T.C. 2008 di seguito riportata. Dall'osservazione del profilo verticale monodimensionale delle V_s di seguito riportato, è possibile osservare, nell'intervallo di profondità compreso tra 11÷18 mt circa dal p.c., un progressivo decremento della velocità di propagazione delle onde di taglio ($501 \text{ m/s} \Rightarrow 456 \text{ m/s} \Rightarrow 404 \text{ m/s} \Rightarrow 380 \text{ m/s}$), di entità tali comunque da non poter essere considerati delle inversioni di velocità significative, come si evince anche dalla normativa tecnica della Regione Lazio che esponde l'argomento in maniera alquanto esaustiva. Pertanto è possibile attribuire tali terreni alla suddetta categoria di sottosuolo.

B	<i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina).</i>
----------	--



Profilo verticale delle onde di taglio - Shot 2



4 INDAGINI SISMICHE PASSIVE HVSR

4.1 CENNI SULLA TEORIA DELLA TECNICA HVSR

La prova HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) o prova HVNSR (Horizontal to Vertical Spectral Noise Ratio) o prova "di Nakamura", è una tecnica di sismica passiva che si basa sull'analisi del campo delle vibrazioni ambientali (microtremore sismico ambientale è un campo d'onde costituito prevalentemente da onde di superficie) finalizzata alla determinazione delle caratteristiche del sottosuolo al di sotto del punto di osservazione. Dato che le vibrazioni ambientali sono costituite da onde che attraversano porzioni significative del sottosuolo, la struttura del segnale che si registra in superficie è potenzialmente in grado di fornire informazioni sul mezzo attraversato dalle onde.

Considerando che il rumore è caratterizzato da lunghezze d'onda anche molto grandi (decine o centinaia di metri), confrontabili con quelle tipiche dei fenomeni sismici, tale tecnica di sismica passiva trova una ideale applicazione negli studi della risposta sismica locale. In particolare, essa permette di individuare situazioni sismostratigrafiche potenzialmente responsabili di fenomeni di risonanza sismica, consentendo una stima delle frequenze alle quali il moto del terreno può risultare amplificato a causa di questi fenomeni, la determinazione dei periodi di risonanza delle coperture sedimentarie e la determinazione del profilo di velocità delle onde S fino a profondità dell'ordine di diverse decine di metri. In particolare, la prova effettua una valutazione sperimentale



dei rapporti di ampiezza spettrale fra le componenti orizzontali (H) e la componente verticale (V) delle vibrazioni ambientali sulla superficie del terreno misurati in un punto con un apposito sismometro a tre componenti.

Il risultato di questa prova è una curva sperimentale che rappresenta il valore del rapporto fra le ampiezze spettrali medie delle vibrazioni ambientali in funzione della frequenza di vibrazione. Le frequenze alla quali la curva H/V mostra dei massimi sono legate alle frequenze di risonanza del terreno al di sotto del punto di misura. La frequenza di risonanza sarà tanto più precisa quanto maggiore è il contrasto di impedenza sismica responsabile del fenomeno, ovvero dove sono maggiori gli effetti potenzialmente pericolosi.

In assenza di contrasti di impedenza alla base della copertura, il rapporto H/V sarà all'incirca unitario. I criteri SESAME (2004) considerano significativi solo picchi con ampiezza H/V superiore a 2. Questo criterio ha carattere puramente empirico. Tuttavia va tenuto presente che massimi H/V di ampiezza inferiore a 2 indicano bassi contrasti di impedenza e, in questo caso, la frequenza corrispondente al massimo della curva H/V potrebbe fornire una indicazione meno precisa della frequenza di risonanza delle onde S.

Le ipotesi alla base della tecnica sono: una concentrazione del contenuto in frequenza localizzato maggiormente in quelle basse (tipicamente al di sotto dei 20 Hz); assenza di sorgenti periodiche e/o con contenuto in alte frequenze; le sorgenti di rumore sono uniformemente distribuite intorno alla stazione di registrazione. Se queste sono soddisfatte, la tecnica può essere suddivisa nelle fasi che vengono di seguito illustrate. Si esegue una registrazione del rumore ambientale lungo tre direzioni ortogonali tra loro (x,y,z) con una singola stazione. Tale registrazione deve essere effettuata per una durata non inferiore ai 15-20 minuti. Si esegue un'operazione detta di windowing, in cui le tre tracce registrate vengono suddivise in finestre temporali di prefissata durata. Secondo le indicazioni del succitato progetto SESAME tale dimensione, detta Long Period, deve essere almeno pari ai 20 secondi. Si ottiene così un insieme di finestre "long", che sono sincronizzate fra le tracce. Queste finestre vengono filtrate in base a criteri che permettono di individuare l'eventuale presenza di transienti (disturbi temporanei con grandi contributi nelle frequenze alte) o di fenomeni di saturazione. Per ciascuna delle finestre rimanenti, quindi ritenute valide, viene valutato lo spettro di Fourier. Quest'ultimo viene sottoposto a tapering e/o lisciamiento secondo una delle varie tecniche note in letteratura e ritenute all'uopo idonee. Successivamente si prendono in considerazione gli spettri delle finestre relative alle tracce orizzontali in coppia. Ovvero, ogni spettro di una finestra per esempio della direzione X, ha il suo corrispettivo per le finestre nella direzione Y, vale a dire che sono relative a finestre temporali sincrone. Per ognuna di queste coppie viene eseguita una somma tra le componenti in frequenza secondo un determinato criterio che può essere, ad esempio,



una semplice media aritmetica o una somma euclidea. Per ciascuna coppia di cui sopra, esiste lo spettro nella direzione verticale Z, ovvero relativo alla finestra temporale sincrona a quelle della coppia. Ogni componente in frequenza di questo spettro viene usato come denominatore nel rapporto con quello della suddetta coppia. Questo permette quindi di ottenere il ricercato rapporto spettrale H/V per tutti gli intervalli temporali in cui viene suddivisa la registrazione durante l'operazione di windowing. Eseguendo per ciascuna frequenza di tali rapporti spettrali una media sulle varie finestre, si ottiene il rapporto spettrale H/V medio, la cui frequenza di picco (frequenza in cui è localizzato il massimo valore assunto dal rapporto medio stesso) rappresenta la deducibile stima della frequenza naturale di vibrazione del sito. L'ulteriore ipotesi che questo rapporto spettrale possa ritenersi una buona approssimazione dell'ellitticità del modo fondamentale della propagazione delle onde di Rayleigh, permette di confrontare questi due al fine di ottenere una stima del profilo stratigrafico. Tale procedura, detta di inversione, consente di definire il profilo sostanzialmente in termini di spessore e velocità delle onde di taglio. Avendo quindi una stima del profilo della velocità delle onde di taglio, è possibile stimare indicativamente il parametro normativo V_{s30} .

4.2 REGISTRAZIONI ED ELABORAZIONI DEI DATI ACQUISITI

Dati generali

Committente: Geol. Maria Vittoria Castellani

Cantiere: Via Mattei/Via San Michele

Località: Fano (PU)

Operatore: Servizi Sismici snc

Data: 23/02/2017



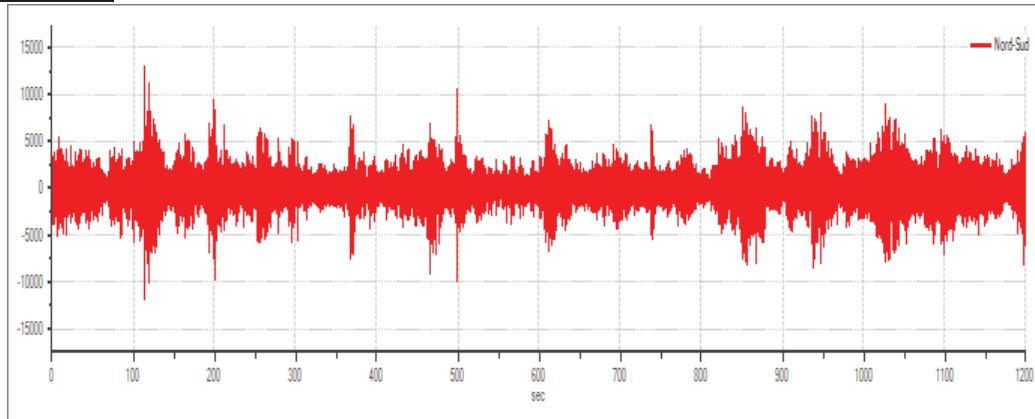


Tracce in input

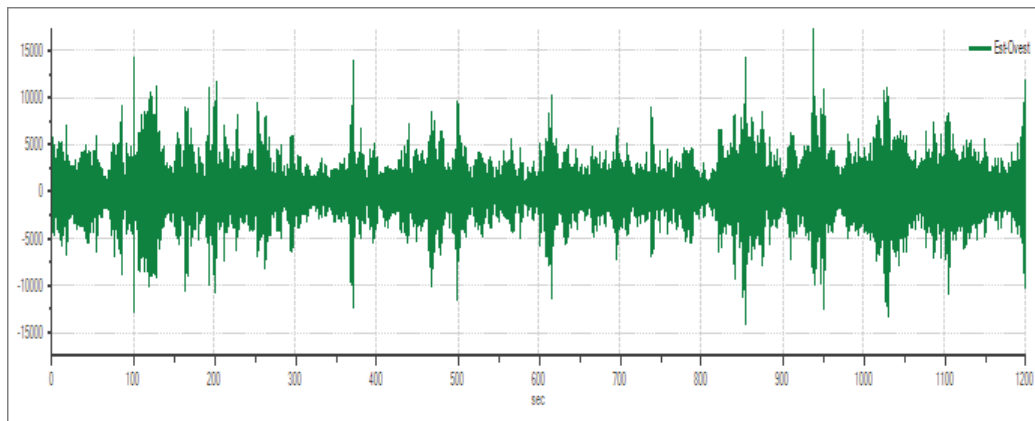
Dati riepilogativi:

Numero tracce: 3
Durata registrazione: 1200 s
Frequenza di campionamento: 300,00 Hz
Numero campioni: 360000
Direzioni tracce: Nord-Sud; Est-Ovest; Verticale.

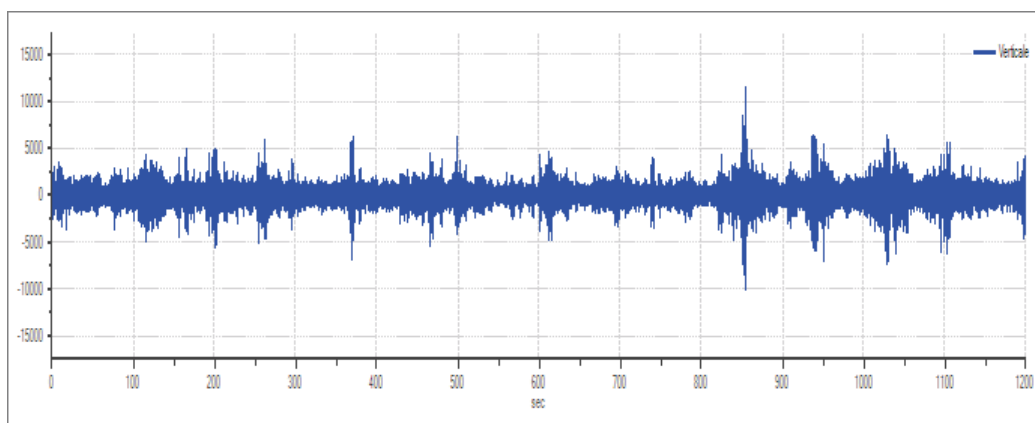
Grafici tracce:



Traccia in direzione Nord-Sud



Traccia in direzione Est-Ovest



Traccia in direzione Verticale



Finestre selezionate

Dati riepilogativi:

Numero totale finestre selezionate: 40
Numero finestre incluse nel calcolo: 40
Dimensione temporale finestre: 27,307 s
Tipo di lisciamiento: Triangolo proporzionale
Percentuale di lisciamiento: 10,00 %

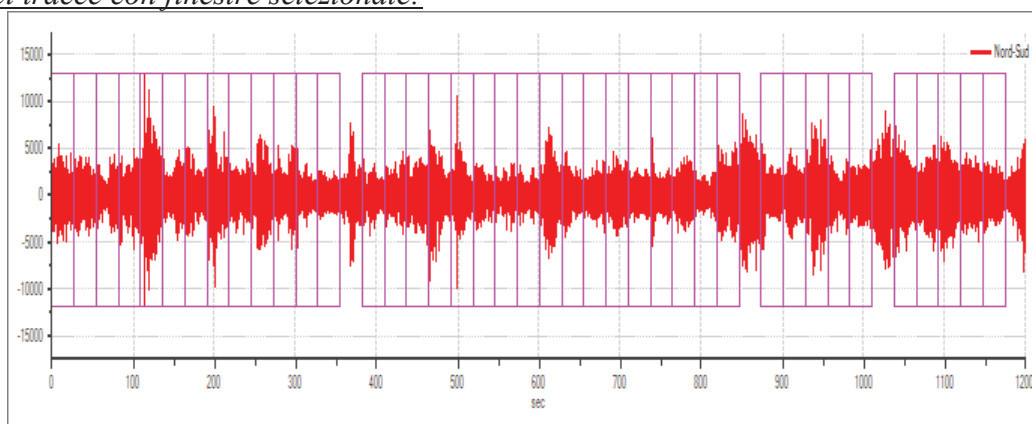
Tabella finestre:

Numero finestra	Istante iniziale	Istante finale	Selezione
1	0	27,307	Inclusa
2	27,307	54,613	Inclusa
3	54,613	81,92	Inclusa
4	81,92	109,227	Inclusa
5	109,227	136,533	Inclusa
6	136,533	163,84	Inclusa
7	163,84	191,147	Inclusa
8	191,147	218,453	Inclusa
9	218,453	245,76	Inclusa
10	245,76	273,067	Inclusa
11	273,067	300,373	Inclusa
12	300,373	327,68	Inclusa
13	327,68	354,987	Inclusa
14	382,293	409,6	Inclusa
15	409,6	436,907	Inclusa
16	436,907	464,213	Inclusa
17	464,213	491,52	Inclusa
18	491,52	518,827	Inclusa
19	518,827	546,133	Inclusa
20	546,133	573,44	Inclusa
21	573,44	600,747	Inclusa
22	600,747	628,053	Inclusa
23	628,053	655,36	Inclusa
24	655,36	682,667	Inclusa
25	682,667	709,973	Inclusa
26	709,973	737,28	Inclusa
27	737,28	764,587	Inclusa
28	764,587	791,893	Inclusa
29	791,893	819,2	Inclusa
30	819,2	846,507	Inclusa
31	873,813	901,12	Inclusa
32	901,12	928,427	Inclusa
33	928,427	955,733	Inclusa
34	955,733	983,04	Inclusa
35	983,04	1010,347	Inclusa

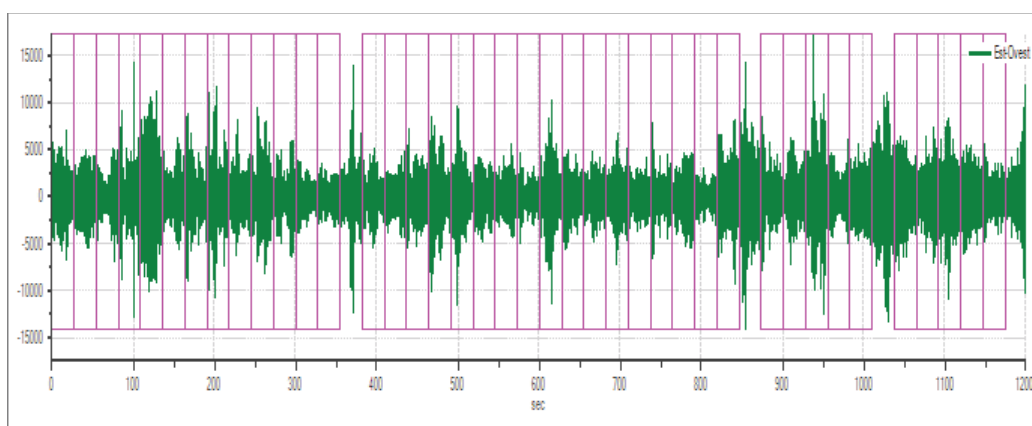


36	1037,653	1064,96	Inclusa
37	1064,96	1092,267	Inclusa
38	1092,267	1119,573	Inclusa
39	1119,573	1146,88	Inclusa
40	1146,88	1174,187	Inclusa

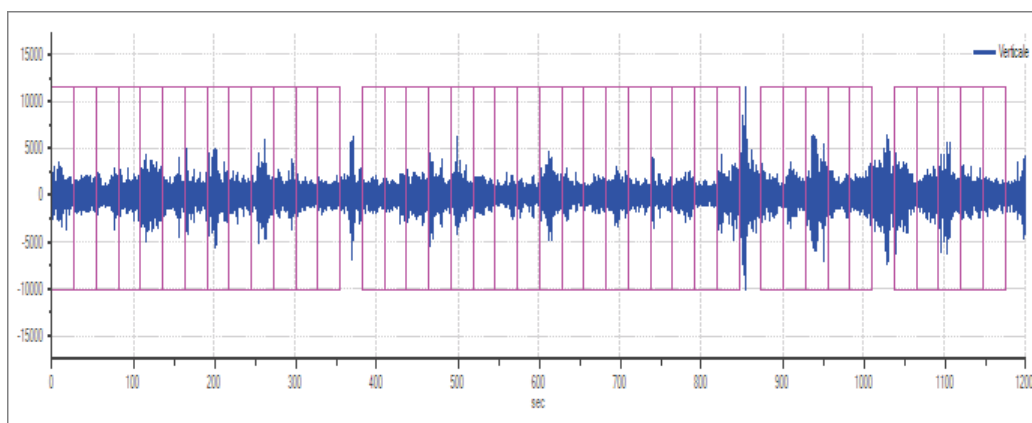
Grafici tracce con finestre selezionate:



Traccia e finestre selezionate in direzione Nord-Sud



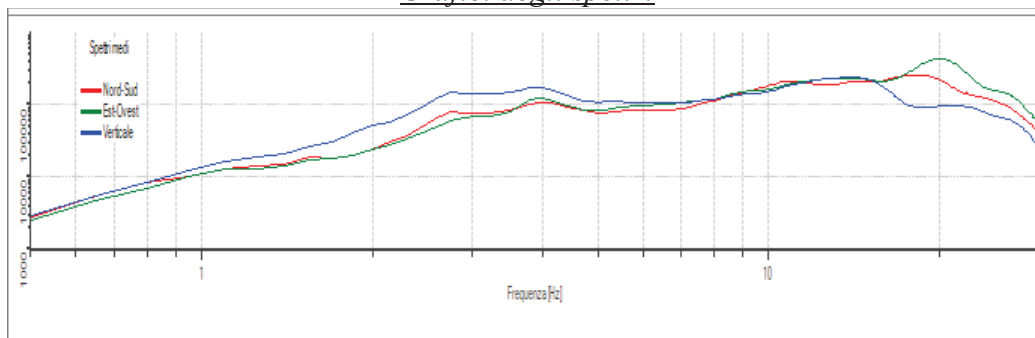
Traccia e finestre selezionate in direzione Est-Ovest



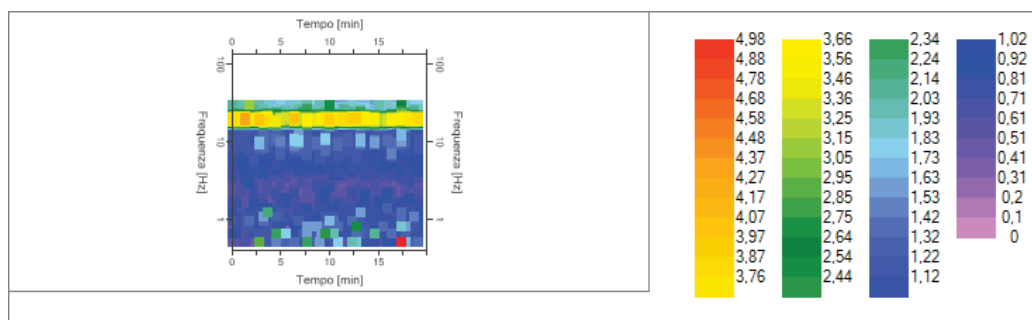
Traccia e finestre selezionate in direzione Verticale



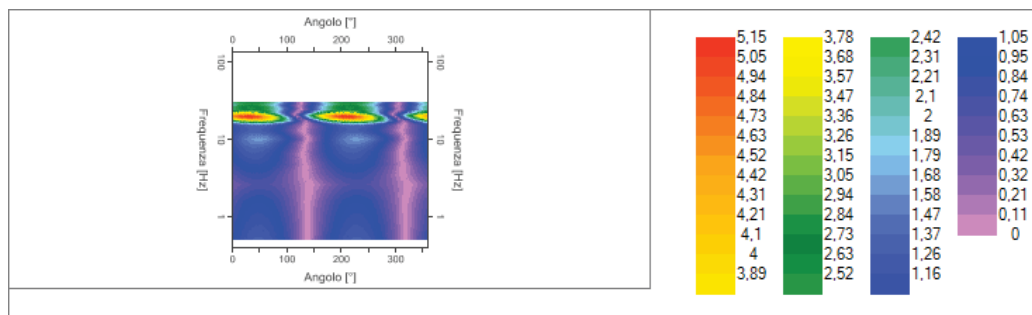
Grafici degli spettri



Spettri medi nelle tre direzioni



Mappa della stazionarietà degli spettri



Mappa della direzionalità degli spettri

Rapporto spettrale H/V

Dati riepilogativi:

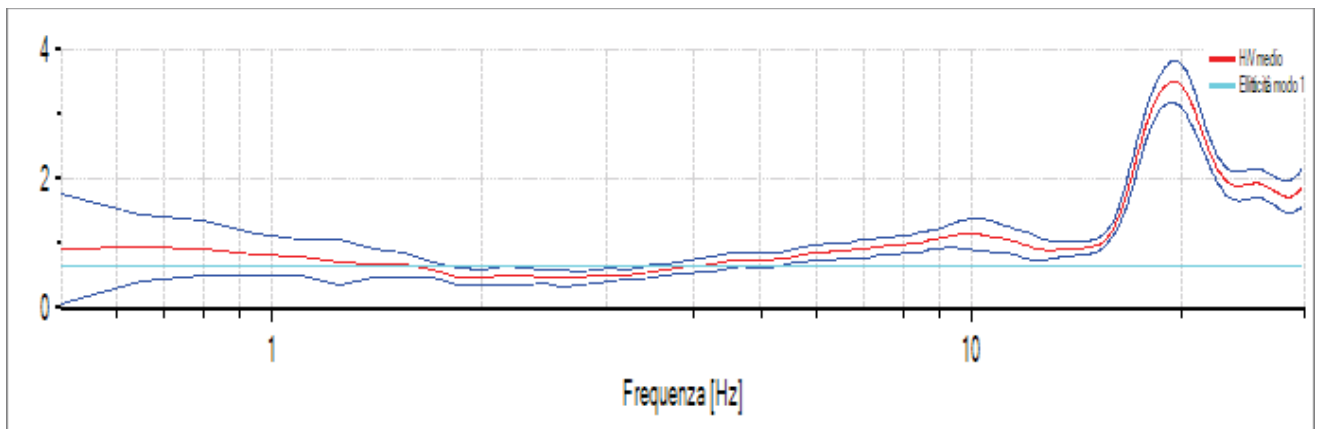
Frequenza massima:	30,00 Hz
Frequenza minima:	0,50 Hz
Passo frequenze:	0,15 Hz
Tipo lisciamento::	Triangolare proporzionale
Percentuale di lisciamento:	10,00 %
Tipo di somma direzionale:	Media aritmetica

Risultati:

Frequenza del picco del rapporto H/V: 19,40 Hz \pm 0,09 Hz



Grafico rapporto spettrale H/V



Rapporto spettrale H/V e suo intervallo di fiducia

Dall'analisi della curva dei rapporti spettrali H/V sopra riportata si evince la presenza di un discreto fenomeno amplificativo (contrasto di impedenza sismica), con picco H/V dell'ordine di 3,5 circa, rilevabile ad una frequenza di 19,40 Hz, al di fuori comunque del campo delle frequenze di interesse ingegneristico (0,5÷10 Hz). Tale contrasto, rilevabile nella porzione più superficiale della locale successione stratigrafica ($f_0=8\div 20$ Hz \Rightarrow $h \cong 5\div 10$ mt), è presumibilmente connesso al passaggio stratigrafico tra i terreni alluvionali fini e quelli sottostanti prettamente ghiaiosi. All'interno del campo delle frequenze di interesse ingegneristico non sono invece rilevabili fenomeni amplificativi significativi.

Verifiche SESAME:

Verifica	Esito
$f_0 > 10/l_w$	Ok
$n_c(f_0) > 200$	Ok
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$	Ok
$\sigma_A(f) < 3$ per $0.5 \cdot f_0 < f < 2 \cdot f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$	Ok
$\exists f^- \in [f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0/2$	Ok
$\exists f^+ \in [f_0, 4 \cdot f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0/2$	Ok
$A_0 > 2$	Ok
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$	Ok
$\sigma_f < \varepsilon(f)$	Ok
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	Ok

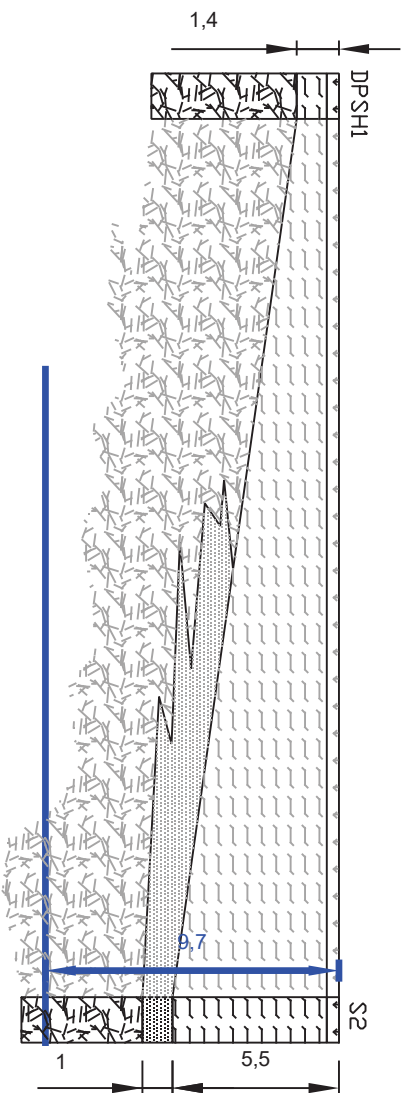
Il progetto SESAME ha definito una serie di criteri di tipo statistico sulla stabilità della curva e sulle modalità di campionamento. Tali criteri non permettono di valutare la qualità "fisica" della misura, che deve essere invece valutata sulla base della sua ripetibilità, confrontando misure condotte in posizioni vicine o in condizioni ambientali differenti. Per una curva H/V attendibile i primi 3 criteri del progetto SESAME devono essere verificati (robustezza statistica).

Sassoferrato, 20 marzo 2017

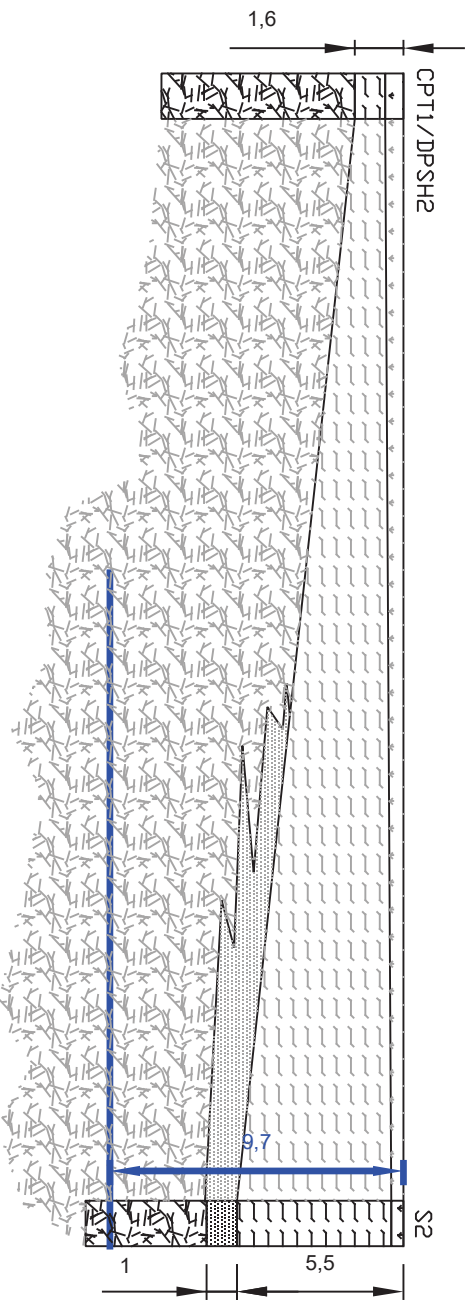
SERVIZI SISMICI S.n.c.
 di Donnini A. & Mantoni F.
 Via Piano di Frassineta, 109
 60041 - SASSOFERRATO (AN)
 Cod. Fisc. e P.IVA: 02295830420
 M. Rea/AN-192227

ALLEGATO 5: SEZIONI STRATIGRAFICHE

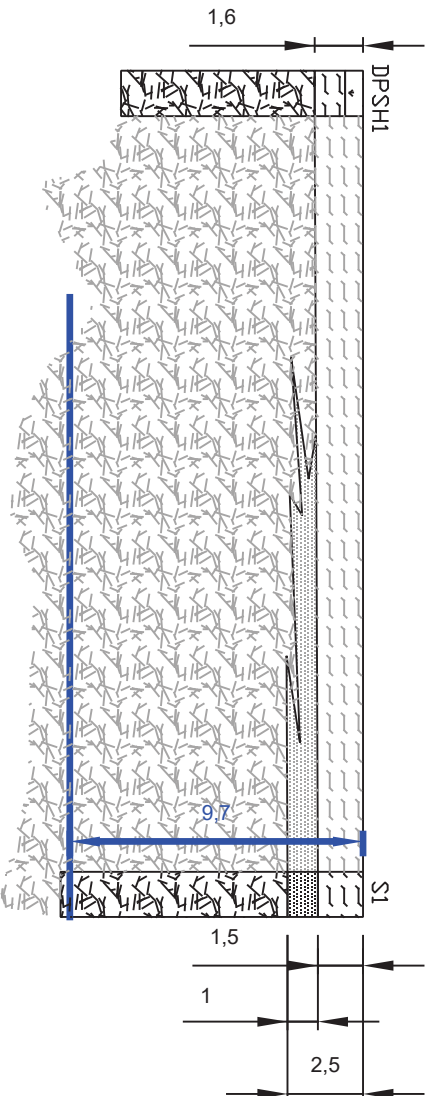
SEZIONE STRATIGRAFICA 1



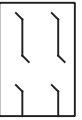
SEZIONE STRATIGRAFICA 2



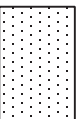
SEZIONE STRATIGRAFICA 3



Limo argilloso sabbioso



Ghiaia fine con sabbia



Ghiaia e sabbia passante a ghiaie



SCALA ORIZZONTALE 1:250

SCALA VERTICALE 1:100