



COMUNE DI FANO



Progetto finanziato dall'Unione europea - NextGeneration EU PNRR - Progetto finanziato dall'Unione Europea
- PNRR - "RIGENERAZIONE URBANA" M5C2
Infrastrutture sociali, famiglie, comunità e terzo settore - 2.1: Investimenti in progetti di rigenerazione urbana,
volti a ridurre situazioni di emarginazione e degrado sociale

OGGETTO:

PROGETTO DI NUOVA PISTA CICLABILE BELLOCCHI FANO I° STRALCIO - CUP E31B19000630002

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

PROGETTAZIONE GENERALE:

Studio di Architettura
Arch. Massimo Amadei
Via Alavolini n. 6 - 61032 Fano (PU)
C.F. MDAMSM53L26D488E - P.IVA 00464250414

Ing. Francesca Amadei
C.F. MDAFNC82S64D488G - P.IVA 02415500418
Ing. Erica Londei
C.F. LNDRC82S42D488B - P.IVA 02438550416

ARCHEOLOGIA:

SACIARKEO SRL
Corso G. Mazzini n. 170 - 61122 Ancona (AN)
C.F. 02561830429 - P.IVA 02561830429

IMPIANTISTICA:

Ing. Naldo Zampa
Via della Fornace n. 56/B - 61032 Fano (PU)
C.F. 02561830429 - P.IVA 02561830429

GEOLOGIA:

Dott. Geol. Maria Vittoria Castellani
Via 2 Giugno n. 16 - 61032 Fano (PU)
C.F. CSTMVT54M45D488N - P.IVA 00780920419

SICUREZZA:

Dott. Geol. Carlo Cencioni
Via della Fornace n. 56/B - 61032 Fano (PU)
C.F. 02561830429 - P.IVA 02561830429

R.U.P. Ing. Ilenia Santini

TITOLO:

RELAZIONE GEOLOGICA - SISMICA

DATA

Aprile 2023

N.TAVOLA

R15

| REV. | DATA: | DESCRIZIONE: | RED. | VER. | APP. |
|------|-------|--------------|------|------|------|
| | | | | | |
| | | | | | |
| | | | | | |



COMUNE DI FANO

Committente: COMUNE DI FANO

Oggetto: PROGETTO DI NUOVA PISTA CICLABILE BELLOCCHI FANO
I° STRALCIO – CUP E31B19000630002

PROGETTO DEFINITIVO - ESECUTIVO

TAVOLA R15

RELAZIONE GEOLOGICA - SISMICA

| | | |
|--|---|--------------------|
| <p><u>TECNICO</u></p> <p>Dott.ssa Geologo Maria Vittoria Castellani</p> <p><u>COLLABORATORE</u></p> <p>Dott.ssa Geologo Laura Pelonghini</p> | <p>TIMBRO E FIRMA</p>  | <p>APRILE 2023</p> |
|--|---|--------------------|

INDICE

| | |
|--|--|
| 1. P R E M E S S A | Errore. Il segnalibro non è definito. |
| Topografia | 5 |
| Progetto pista ciclabile..... | 6 |
| 2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO – GEOLOGICO - IDROGEOLOGICO..... | 8 |
| Geologia e Geomorfologia | 8 |
| Analisi del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)..... | 13 |
| Idrogeologia | 13 |
| 3. RICOSTRUZIONE DEL MODELLO STRATIGRAFICO | 18 |
| Descrizione e ubicazione delle indagini | 18 |
| Descrizione delle sezioni stratigrafiche interpretative | 27 |
| Caratterizzazione geomeccanica | 28 |
| 4. CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITA' DEL PROGETTO..... | 29 |
| Azione sismica..... | 29 |
| Verifica del potenziale di liquefazione | 33 |
| Vincoli presenti sull'area | 35 |
| Pericolosità sismica | 36 |
| 5. CONCLUSIONI | 37 |

1. PREMESSA

La presente relazione eseguita in conformità alle normative tecniche dettate dal D.M. 17/01/2018, è stata redatta per la realizzazione di una Pista Ciclabile, Bellocchi – Fano - 1° Stralcio, che collegherà il Centro Cittadino al Parco Urbano, all'Aeroporto, e al Nuovo Centro Natatorio passando per Via Papiria, collegandosi a Bellocchi attraverso la Ciclovía del Metauro.

Il presente Progetto si sviluppa con due distinti segmenti tra loro collegati, il primo di metri lineari 731 si sviluppa con un percorso parallelo a Via Papiria come collegamento tra la zona Aeroportuale e il prolungamento di Via della Colonna, dando continuità all'intervento ciclopedonale che verrà realizzato dalla Ditta GGV Energy S.R.L. e realizzato a scomputo di oneri di urbanizzazione.

Il secondo segmento della lunghezza di metri lineari 140 permette il collegamento del precedente tratto ciclabile con la Ciclovía del Metauro e con la Spina ciclopedonale prevista nell'asse parallelo a Via della Colonna all'interno del Parco Urbano.

L'intervento consiste nella realizzazione di un percorso ciclabile di metri lineari 2,50 con percorso pedonale affiancato di metri lineari 1,50 per una larghezza complessiva di metri lineari 4,74.

Lungo il percorso sono previste due zone di sosta attrezzate, con sedute e arredi. Lungo il suo sviluppo verranno posti a dimora nuove alberature e bordure tappezzanti. L'intero percorso verrà dotato di impianto di pubblica illuminazione.

L'intero percorso sarà realizzato sullo sterrato ad una distanza da Via Papiria di circa metri lineari 25 e ad una quota inferiore dalla stessa Via di circa metri lineari 2.

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. 17/01/2018 – Testo unitario "Norme tecniche per le costruzioni in zona sismica" ;
- 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

Con la presente relazione si vuole fornire un adeguato modello geologico del sito e valutare la stratigrafia dei terreni presenti.

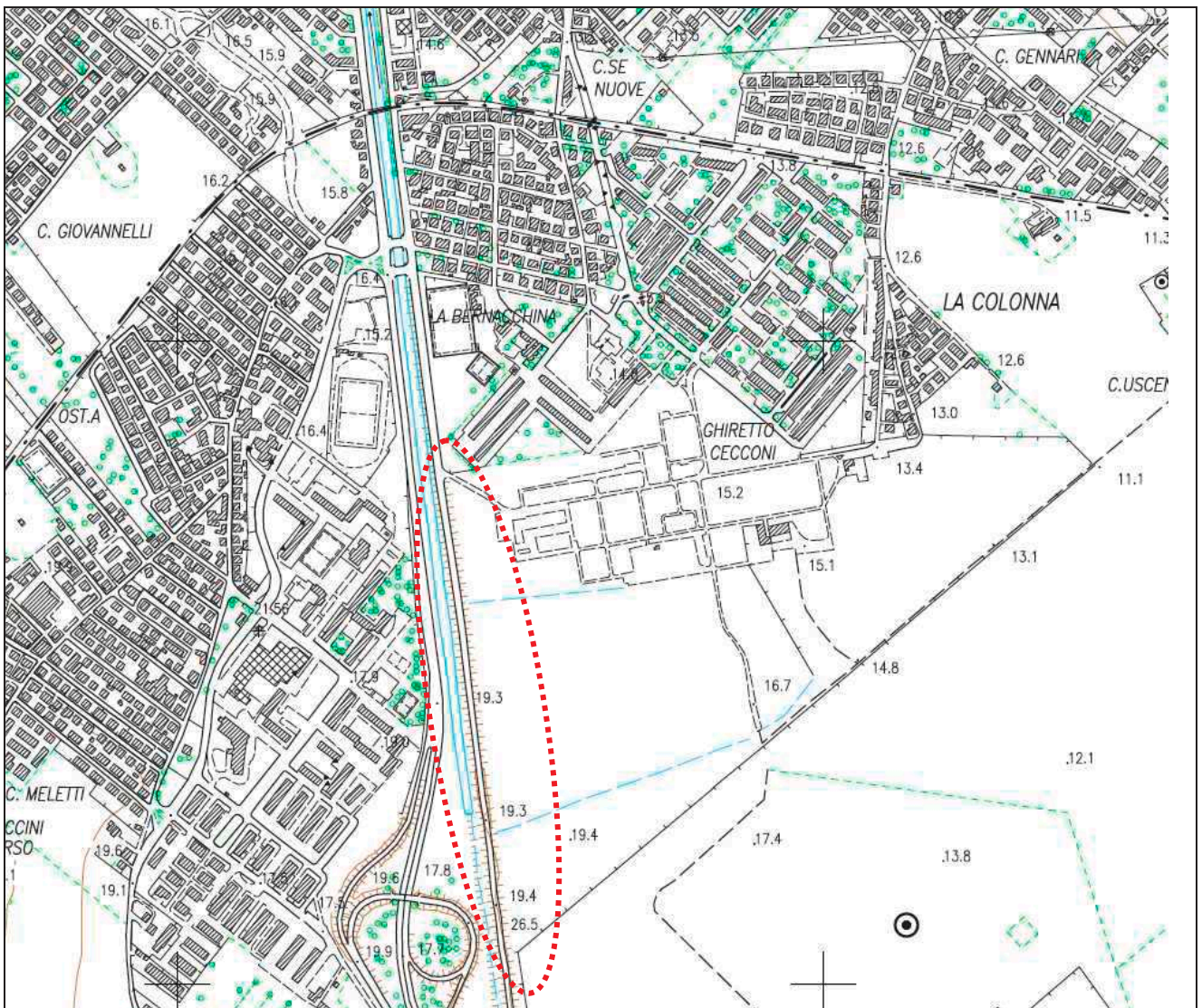
Per le finalità dello studio sono state fatte eseguire due Prove penetrometriche CPT/DPSH e ci si è avvalsi di indagini geognostiche eseguite in prossimità dell'area in studio, si riportano di seguito i principali documenti utilizzati e consultati:

- Studio Geologico Dott. Armando Donini - Relazione geologica geotecnica relativa agli interventi di riqualificazione delle infrastrutture di volo presso l'aeroporto di Fano (LIDF), Via E. Mattei, Comune di Fano (PU) – Società Aeroportuale Fanum Fortunae s.r.l.;
- Spea autostrade – Relazione geotecnica di progetto – Autostrada (A14): Bologna Bari Taranto – Ampliamento della terza corsia del tratto Rimini Nord Pedaso, Tratto Cattolica-Fano – Opere compensative Comune di Fano – Progetto Definitivo;
- Carta Geologica d'Italia scala 1:50.000 – Foglio 269 Fano e relative note illustrative;
- Carta Geologica Regionale Edizione CTR scala 1:10000 Sezione 269130 FANO;
- PRG Vigente Comune di Fano;
- Autorità di Bacino Marche – PAI vigente (Deliberazione di Consiglio Regionale n.116 del 21/01/2004), PTA Aggiornamento 2016 (DCI n.68 del 08/08/2016);
- Stratigrafie pozzi Comunali.


I dati ottenuti dalle indagini, correttamente interpretati, permetteranno di fornire indicazioni utili alla progettazione.

Topografia

L'area in oggetto è ubicata a SE del centro abitato di Fano ed è posta ad una quota topografica che varia sensibilmente lungo il percorso e che si presenta nel suo complesso pressoché pianeggiante con quota di circa 19,4/19,3 s.l.m.m come rappresentato nell' allegata Carta Tecnica Regionale Foglio 269 (FANO) sez. n° 269130 - "FANO".



Carta Tecnica Regionale – sez. 269130 "FANO"

 Area in studio

Progetto pista ciclabile

Attualmente l'area oggetto di studio, si presenta come uno sterrato, usato come percorso ludico e come percorso di servizio per i mezzi d'opera necessari alla manutenzione ordinaria dell'area; sono presenti, sulla scarpata di raccordo tra la Via Papiria e l'area interessata dal percorso della pista ciclabile, essenze erbacee ed arboree, come da fotografie riportate di seguito.

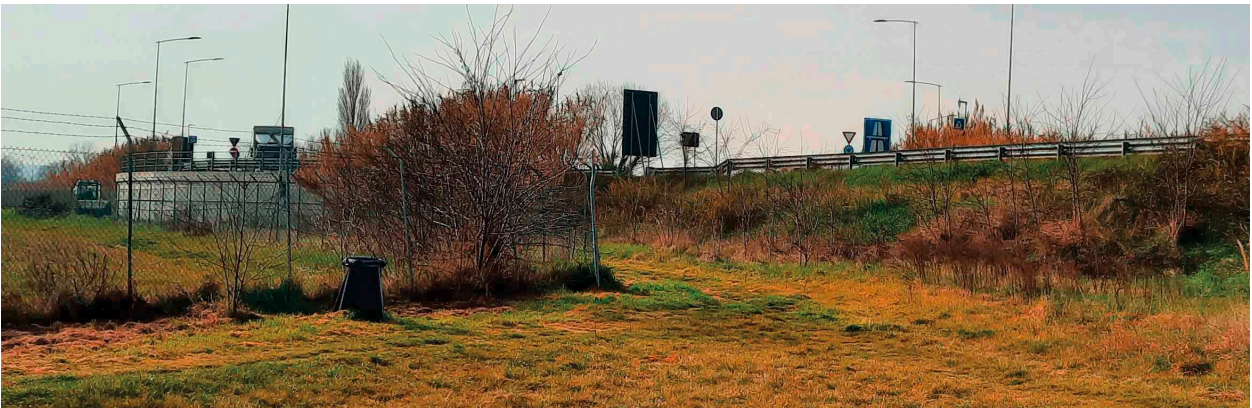


FOTO 1 – Punto di inizio Pista ciclopedonale



FOTO 2 - Prosegue di fianco a Via Papiria fino a Via della Colonna

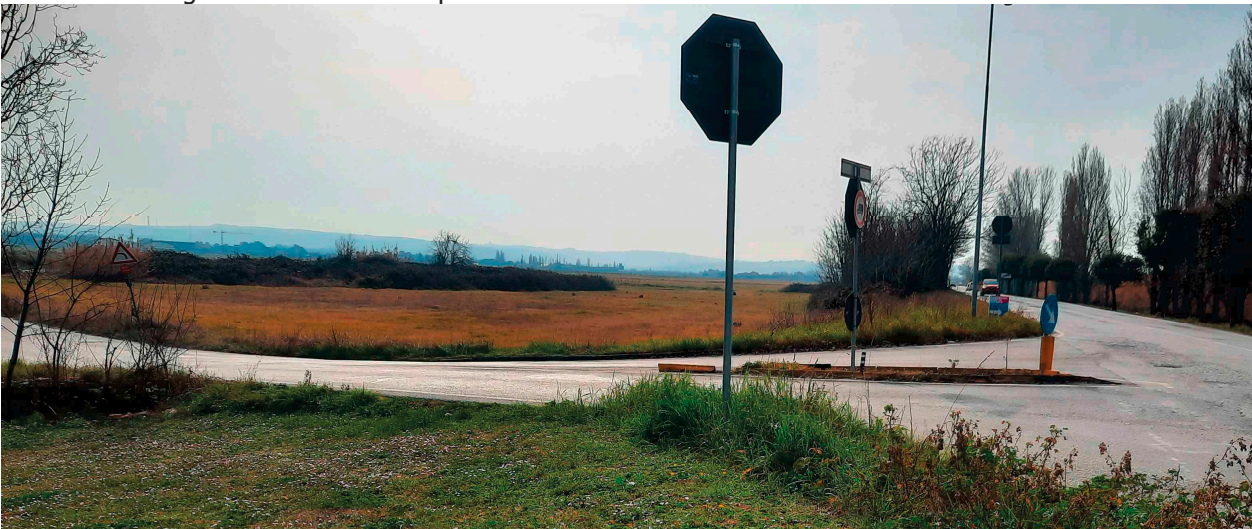
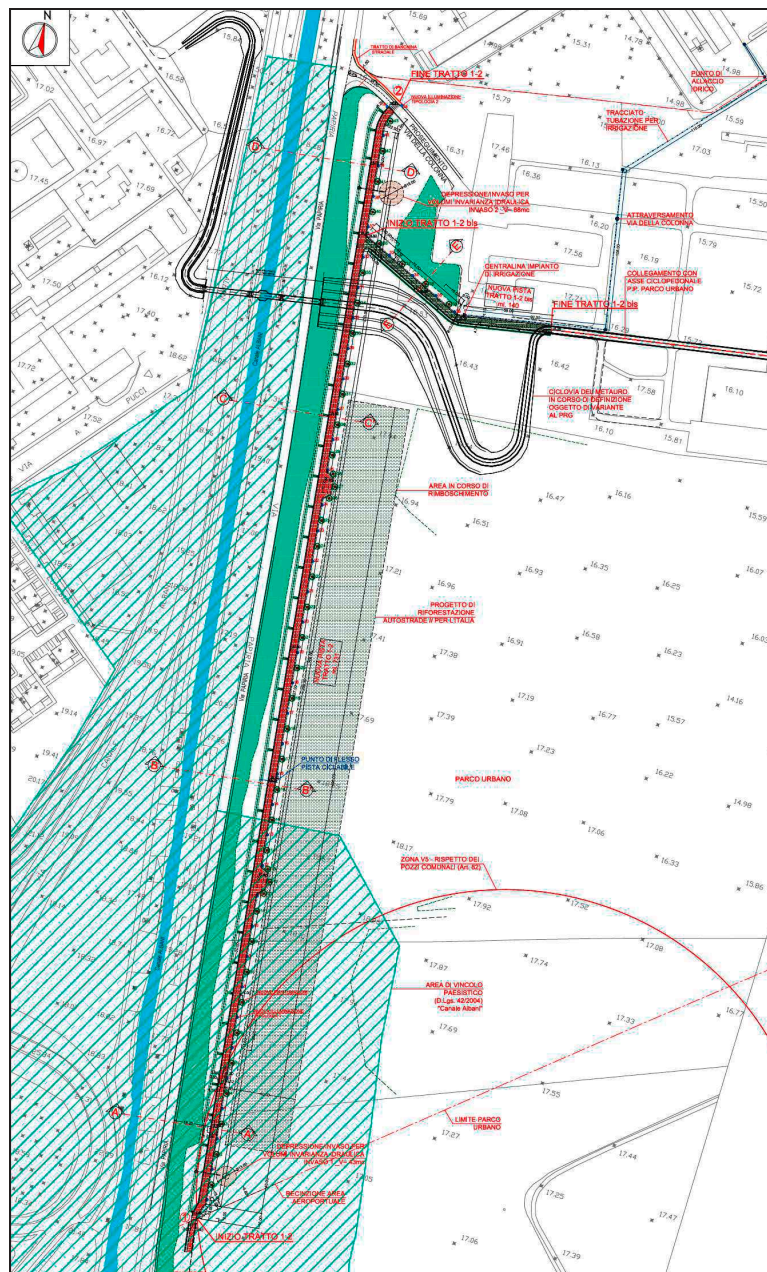


FOTO 3 – Fine della pista ciclopedonale su Via della Colonna

La pista ciclabile in progetto si collega al Primo stralcio, che verrà realizzato da una Ditta Privata, a scomputo degli oneri di urbanizzazione. La pista in progetto è distinta in due segmenti, il primo inizia in corrispondenza dell'inizio del Parco Urbano e prosegue per una lunghezza complessiva di 731 ml fino a Via della Colonna, il secondo segmento della lunghezza di metri lineari 140 permette il collegamento del precedente tratto ciclabile con la Ciclovía del Metauro e con la Spina ciclopedonale prevista nell'asse parallelo a Via della Colonna all'interno del Parco Urbano.

L'area su cui si andrà a realizzare la nuova pista ciclabile si sviluppa parallelamente a Via Papiria.

L'intero percorso sarà realizzato sullo sterrato ad una distanza da Via Papiria di circa metri lineari 25 e ad una quota inferiore dalla stessa Via di circa metri lineari 2 come da progetto fuori scala sotto riportato.

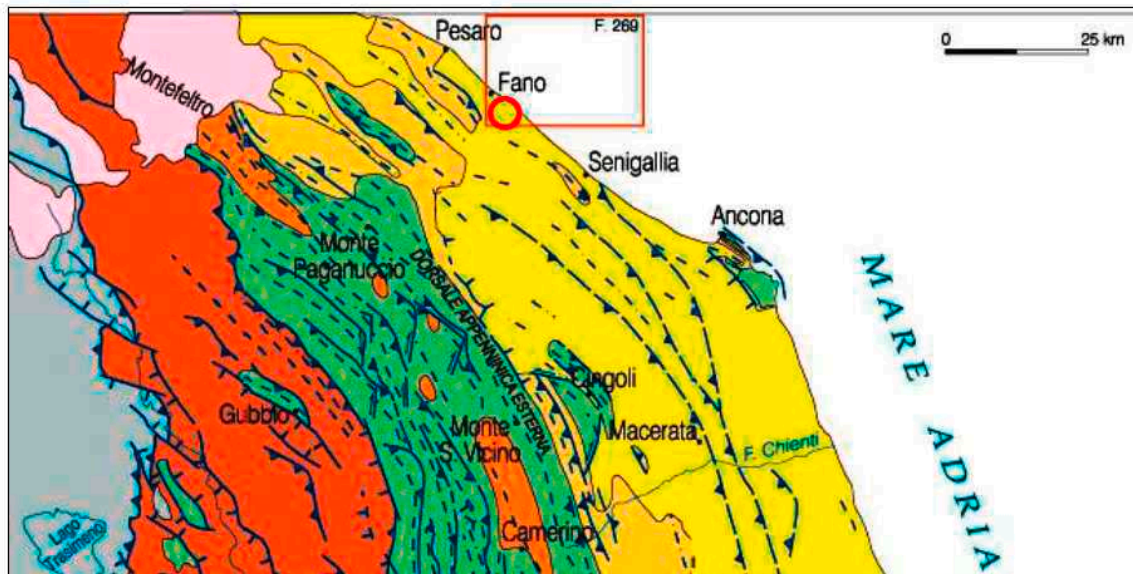
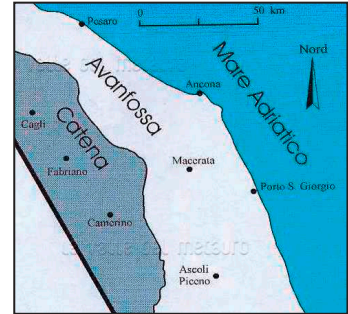


2. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO – GEOLOGICO - IDROGEOLOGICO

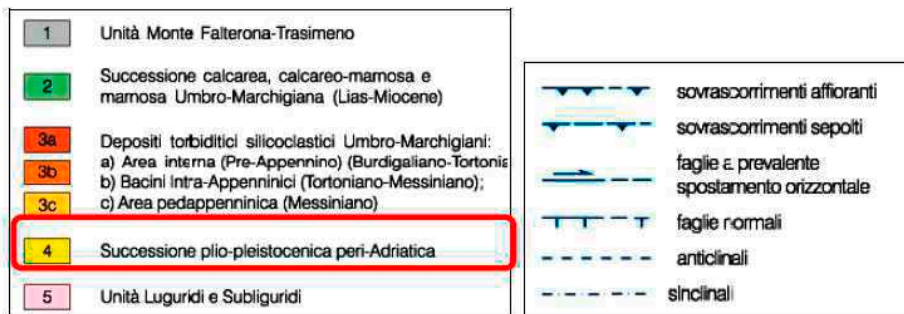
Geologia e Geomorfologia

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).*



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 sovra scavate.

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)

È 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.

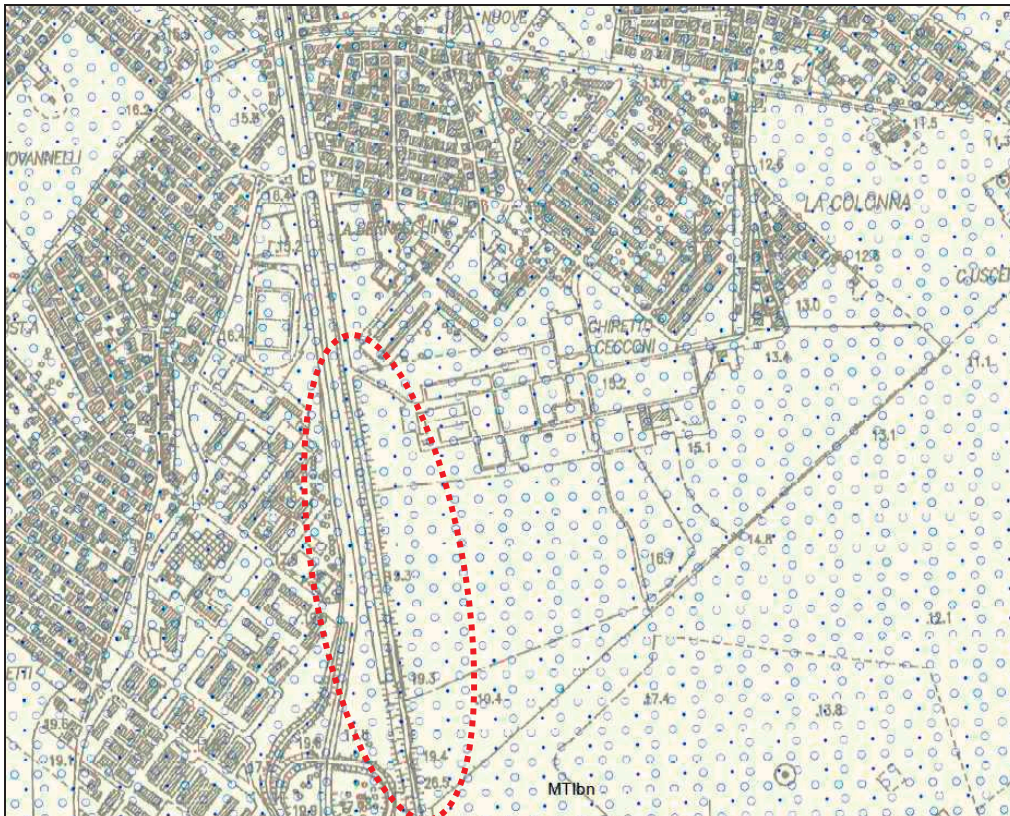
MUSb Depositi alluvionali attuali

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.

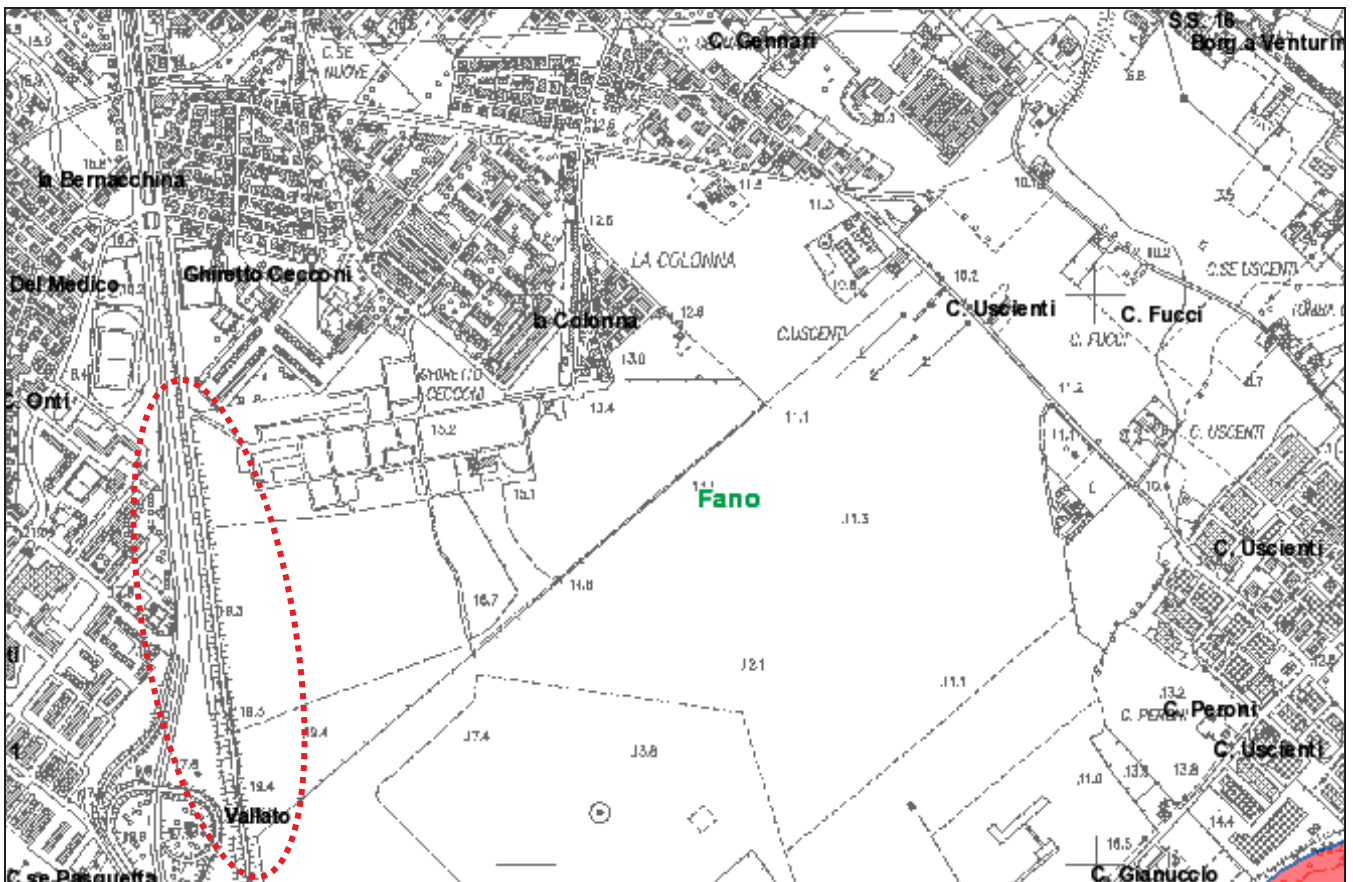
L'area oggetto di studio ricade interamente sui depositi alluvionali del Sintema di Matelica MTIbn come da stralcio carta geologica seguente.

CARTA GEOLOGICA REGIONALE EDIZIONE CTR SCALA 1:10.000 SEZIONE 269130 FANO



Analisi del Piano di Assetto Idrogeologico (PAI)

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



Idrogeologia

L'elemento idrografico più significativo, situato in prossimità dell'area in studio, è il Fiume Metauro, che scorre in direzione SW - NE, l'area in studio si trova in sponda sinistra ad una distanza maggiore di 2,5 Km

L'idrogeologia superficiale è rappresentata 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, che scorre a fianco di Via Papiria a circa 30 metri dall'area in studio.

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

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 variabile 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.

L'area in studio, essendo una pista ciclabile ha un andamento lineare, parte dalla fine della recinzione dell'Aeroporto dove termina il "primo stralcio di pista ciclopedonale", si snoda lungo il confine del parco urbano a fianco di Via Papiria sul terreno posizionato ad una quota inferiore di circa 2,00 metri rispetto la strada e termina su Via della Colonna.

La situazione idrogeologica è da ritenersi piuttosto semplice e dipende dalla diversa permeabilità dei terreni presenti rappresentati da ghiaia, sabbie, limi e argille limose.

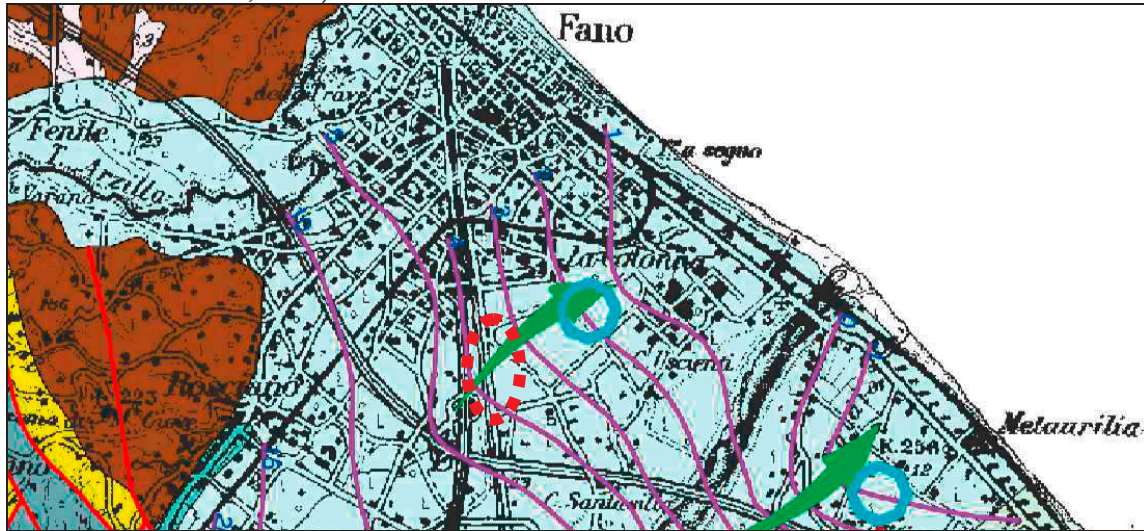
La natura alluvionale dei litotipi presenti favorisce pertanto l'infiltrazione delle acque meteoriche ed il deflusso, secondo linee preferenziali legate alla presenza di terreni permeabili come da Schema Idrogeologico della Regione Marche. Nello schema stratigrafico e idrostratigrafico sono individuati due gruppi di complessi idrogeologici principali; quello della sequenza Plio-Pleistocenica che interessa le zone più interne e quello delle pianure alluvionali in cui ricade l'area di interesse.

Nella figura riportata di seguito è riportato un estratto dello schema idrogeologico del Bacino del Fiume Metauro e sono descritte le principali caratteristiche del complesso che caratterizza l'area di interesse, ovvero quello denominato "2a", costituito da depositi alluvionali terrazzati recenti.

Le isopiezometriche indicate in carta denotano una direzione di flusso prevalente orientato da sud-ovest verso nord-est.

Si riporta la carta Idrogeologica a corredo del PRG vigente del Comune di Fano che caratterizza i terreni presenti nell'area in studio come "permeabili".




Schema idrogeologico della Regione Marche in scala 1:100.000 – Foglio nord (Regione Marche e Università di Ancona, 2002).




2 – Complesso idrogeologico delle pianure alluvionali e dei depositi fluvio-lacustri e lacustri (Olocene-Pleistocene sup. e medio). Tale complesso è formato essenzialmente dai depositi alluvionali terrazzati recenti (2a) ed antichi (2b) delle pianure alluvionali, costituiti da corpi ghiaiosi, ghiaioso-sabbiosi e ghiaioso-limosi, con intercalate lenti, di estensione e spessore variabili, argilloso-limose e sabbioso-limose, frequenti in prossimità della costa. Nella parte medio-alta delle pianure gli acquiferi di subalveo sono caratterizzati da falde monostrato a superficie libera. In prossimità della costa possono essere presenti acquiferi multistrato con falde confinate e semiconfinate. Tali acquiferi sono di notevole importanza per l'approvvigionamento idrico e per uso civile, agricolo ed industriale.

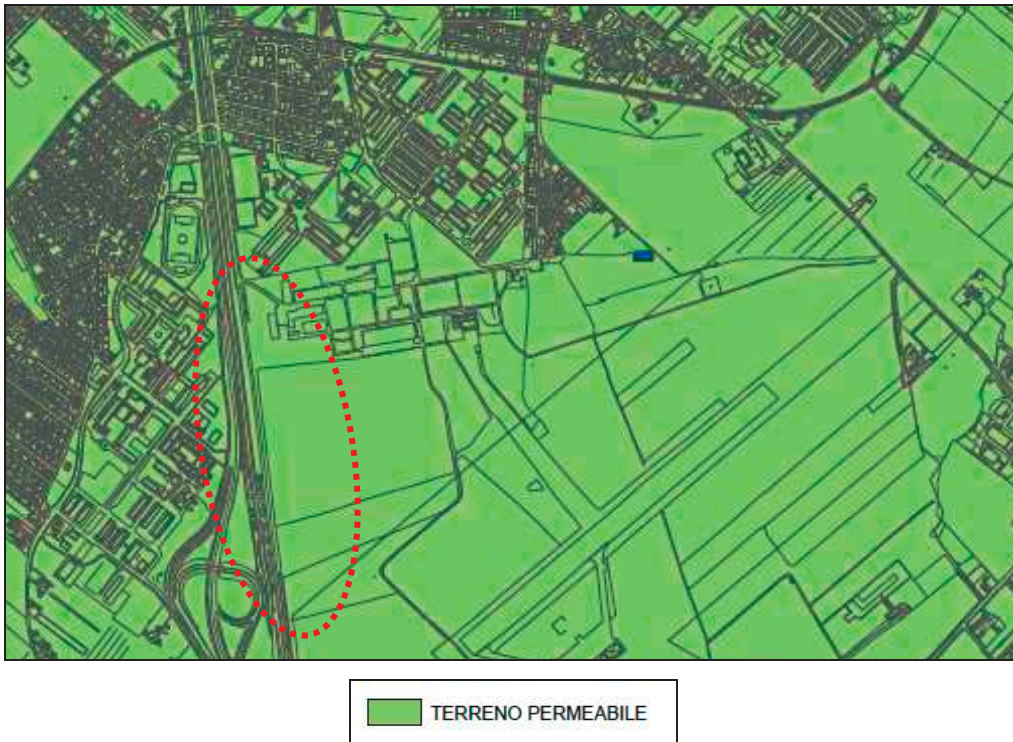
La trasmissività dei depositi ghiaiosi e ghiaioso-sabbiosi varia da 1.5×10^{-2} a 9×10^{-3} m² /s; la permeabilità da 7×10^{-2} a 2×10^{-3} m/s; la velocità effettiva, misurata nei depositi ghiaiosi in condizioni di moto perturbato, da 2 a 30 m/h; la porosità dinamica dal 2 al 7%; la permeabilità delle coperture argilloso-limose e limoso-argillose (fiumi Esino, Cesano e Musone) varia da 1.5×10^{-4} a 5.5×10^{-5} m/s. La circolazione è molto veloce e legata alla presenza di paleovalvei; l'escursione media della piezometrica raramente supera i 2m. 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. La facies idrochimica principale è bicarbonato-calcica con tenore salino raramente superiore a 0.5 g/l; in alcune zone delle pianure sono presenti acque a facies cloruro-sodica e cloruro-sodico-solfatica, di origine profonda e con tenore salino superiore anche ad 1 g/l. La qualità delle acque è compromessa da fenomeni di inquinamento che hanno interessato vaste aree delle pianure.

La vulnerabilità degli acquiferi è estremamente elevata, la pericolosità potenziale di inquinamento, a causa dell'elevata concentrazione degli insediamenti, dell'attività produttiva e della rete infrastrutturale e tecnologica è molto elevata. I depositi fluvio-lacustri (2c) sono sede di falde di limitata estensione con notevole escursione stagionale e ricarica operata essenzialmente dalle piogge.

-  Siti più idonei per il monitoraggio
-  Linee piezometriche degli acquiferi delle pianure alluvionali
-  Principali linee di flusso delle acque sotterranee negli acquiferi delle pianure alluvionali

 AREA IN STUDIO

CARTA IDROGEOLOGICA (PRG Comune di Fano)



Dalle stratigrafie di perforazioni profonde eseguite a scopo idrico (pozzi 41 - 42) e posti in aree limitrofe a quella in studio, il materasso alluvionale ghiaioso e sabbioso limoso è sede di più falde acquifere (freatica e artesiane) in relazione alla presenza di orizzonti limoso argillosi praticamente impermeabili.

La falda freatica superficiale all'interno dei pozzi è posizionata a - 13.50/-14.50 mt dall'attuale piano campagna, mentre quella confinata (artesiane) viene rilevata a profondità di 26.00/27.00 mt dal p.c.

La zona risulta prevalentemente composta da materiali ghiaiosi e sabbioso limosi ad elevata permeabilità in cui il coefficiente K viene indicato nella tabella che segue (Castany G. 1985 "Idrogeologia, principi e metodi" – Flaccovio Editrice) (da Relaz. Dott. Donnini).

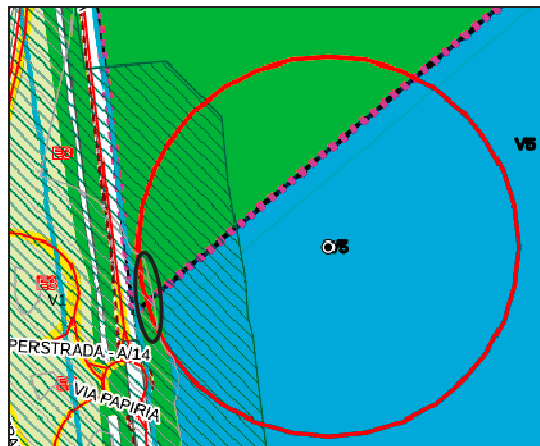
| K (m/s) | | 10 ¹ | 1 | 10 ⁻¹ | 10 ⁻² | 10 ⁻³ | 10 ⁻⁴ | 10 ⁻⁵ | 10 ⁻⁶ | 10 ⁻⁷ | 10 ⁻⁸ | 10 ⁻⁹ | 10 ⁻¹⁰ | 10 ⁻¹¹ |
|------------------------|----------|-----------------------|-----------------|------------------|-----------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|
| GRANULOMETRIA | omogenea | Ghiaia | | Sabbia | | Sabbia molto fine | | Silt | | Argilla | | | | |
| | varia | Ghiaia grossa e media | Ghiaia e sabbia | | Sabbia e argilla ----- Limi | | | | | | | | | |
| GRADI DI PERMEABILITA' | | ELEVATA | | | | BASSA | | | | NULLA | | | | |
| TIPI DI FORMAZIONI | | PERMEABILI | | | | SEMI-PERMEABILI | | | | IMPER. | | | | |

Con i seguenti coefficienti di permeabilità

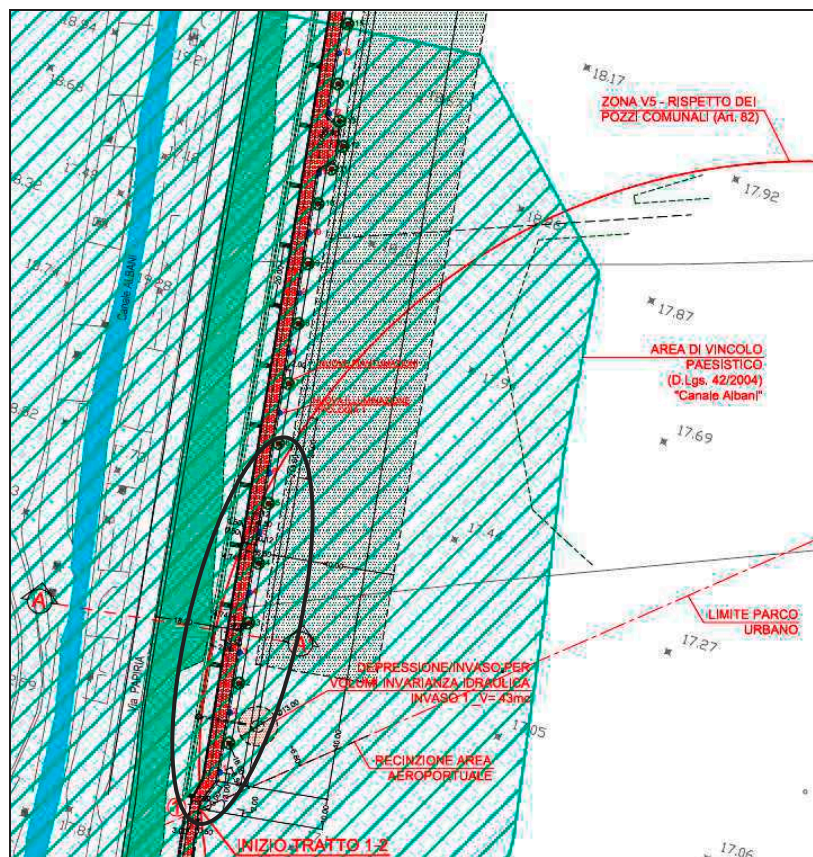
| |
|---------------------------------------|
| K = 10 ⁻² cm/sec (Ghiaie) |
| K = 10 ⁻⁷ cm/sec (Limi) |
| K = 10 ⁻⁹ cm/sec (Argille) |

Della Carta Zone di Rispetto e Protezione Pozzi Comunali, riportata di seguito, l'area risulta interessata per un piccolo tratto iniziale dalla fascia di rispetto e protezione (200 m), come da stralcio PRG e planimetria di progetto seguenti.

PRG COMUNE DI FANO



PLANIMETRIA PISTA CICLABILE



○ Pista ciclabile che interagisce con il vincolo del Pozzo Comunale

3. RICOSTRUZIONE DEL MODELLO STRATIGRAFICO

Descrizione e ubicazione delle indagini

La ricostruzione della situazione stratigrafica è stata resa possibile, oltre che da un rilievo geologico di superficie, dall'esecuzione di due prove penetrometriche CPT/DPSH.

Sono stati inoltre considerati: 2 Sondaggi (Autostrada F-S3/F-S1), 1 sondaggio (Comune di Fano PA -223-33), una trincea (Dott. Donini TEC 2) e le stratigrafie di 2 pozzi comunali (P41/P42) il tutto ubicato come da immagine seguente.



● Sondaggi Autostrada F-S3 e ● F-S1 ▲ Sondaggio PA – 223-33 (Comune di Fano) ■ Trincea TEC2 (Dott. Armando Donini) ■ Tromino TR1 (Studio Silva Srl) ● Stratigrafie Pozzi Comunali (P 41 P 42)
..... Sezione Stratigrafica

Le indagini penetrometriche sono state eseguite con sonda penetrometrica Pagani TG63 200KN; le caratteristiche strumentali della sonda utilizzata sono di seguito elencate:

| CPT | DPSH |
|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> • <i>Diametro Punta Conica: 35.7 mm</i> • <i>Angolo di apertura punta: 60°</i> • <i>Area punta: 10 cmq</i> • <i>Superficie manicotto di attrito: 50cmq</i> • <i>Rapporto delle aree di punta: 0.58</i> • <i>Rapporto delle aree del manicotto: 0.014</i> • <i>Passo di lettura: 20 cm</i> • <i>Costante di trasformazione Ct: 10 m</i> | <ul style="list-style-type: none"> • peso del maglio = 63.5 kg • altezza di caduta = 75 cm. • peso asta = 6.3 kg/ml. • angolo punta conica = 90° • sezione della punta = 20 cmq. • avanzamento = 20 cm. |

CPT 1



CPT 2/ DPSH 1



Si riportano di seguito le stratigrafie delle prove eseguite

PROVA PENETROMETRICA CPT1

da 0.00 m a 2.00 m Limo argilloso debolmente sabbioso
 Da 2.00 m a 3.20 m Ghiaie
 da 3.20 m a 4.80 m Argilla limoso sabbiosa
 da 4.80 m a 5.20 m Ghiaia addensata

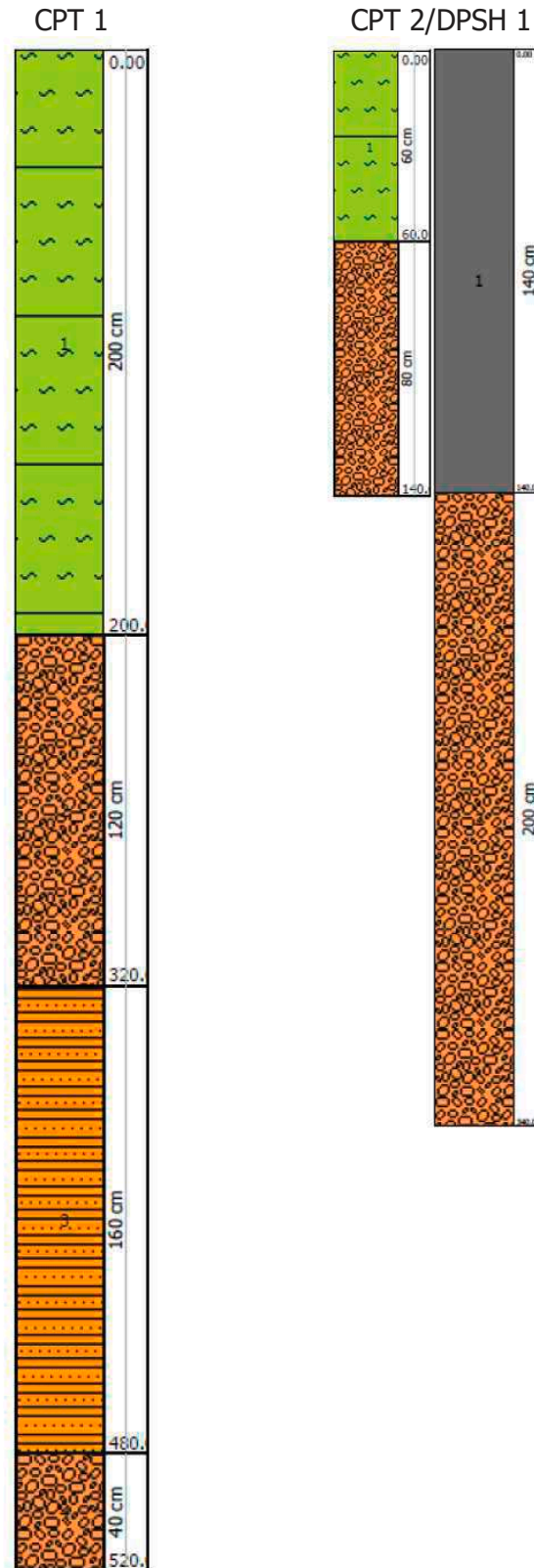
PROVA PENETROMETRICA CPT2

da 0.00 m a 0.60 m Limo argilloso debolmente sabbioso
 Da 0.60 m a 1.40 m Ghiaie

PROVA PENETROMETRICA DPSH1

da 0.00 m a 1.40 m Avanzamento CPT 2
 Da 1.40 m a 3.40 m Ghiaie

COLONNE STRATIGRAFICHE PROVE PENETROMETRICHE



Si riportano di seguito le stratigrafie delle prove considerate.

SONDAGGIO PA 223-33

| Scheda indagine | Ubicazione indicativa dell'area d'indagine |
|--|--|
| Codice: 164858 Regione: MARCHE Provincia: PESARO Comune: FANO Tipologia: PERFORAZIONE Uso: ACQUEDOTTISTICO Profondità (m): 35.00 Quota pc slm (m): 16.6 Anno realizzazione: 1989 Numero diametri: 1 Presenza acqua: SI Portata massima (l/s): 25.19 Portata esercizio (l/s): ND Numero falde: 3 Numero filtri: 2 Numero piezometrie: 1 Stratigrafia: SI Certificazione(*): ND Numero strati: 12 Longitudine ED50 (dd): 13.021389 Latitudine ED50 (dd): 43.823887 Longitudine WGS84 (dd): 13.020457 Latitudine WGS84 (dd): 43.822929 (*)Indica la presenza di un professionista nella compilazione della stratigrafia | |

DIAMETRI PERFORAZIONE

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

FALDE ACQUIFERE

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

POSIZIONE FILTRI

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

MISURE PIEZOMETRICHE

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

STRATIGRAFIA

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

SAGGIO TEC2



**STUDIO GEOLOGICO
 DOTT. ARMANDO DONINI**
 Geologia Applicata
 Idrogeologia
 Geologia Ambientale

Lavoro: Relazione geologica geotecnica relativa agli
 interventi di riqualificazione delle infrastrutture di volo
 presso l'aeroporto di Fano (LIDF), Via E. Mattei,
 Comune di Fano (PU).

Elaborato: RELAZIONE GEOLOGICA - GEOTECNICA

Committente: Società
 Aeroportuale "FANUM
 FORTUNAE" s.r.l.

Riferimento: Soc. "FANUM
 FORTUNAE" s.r.l./2010

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

SCALA 1 : 50

Sondaggio: TEC 2

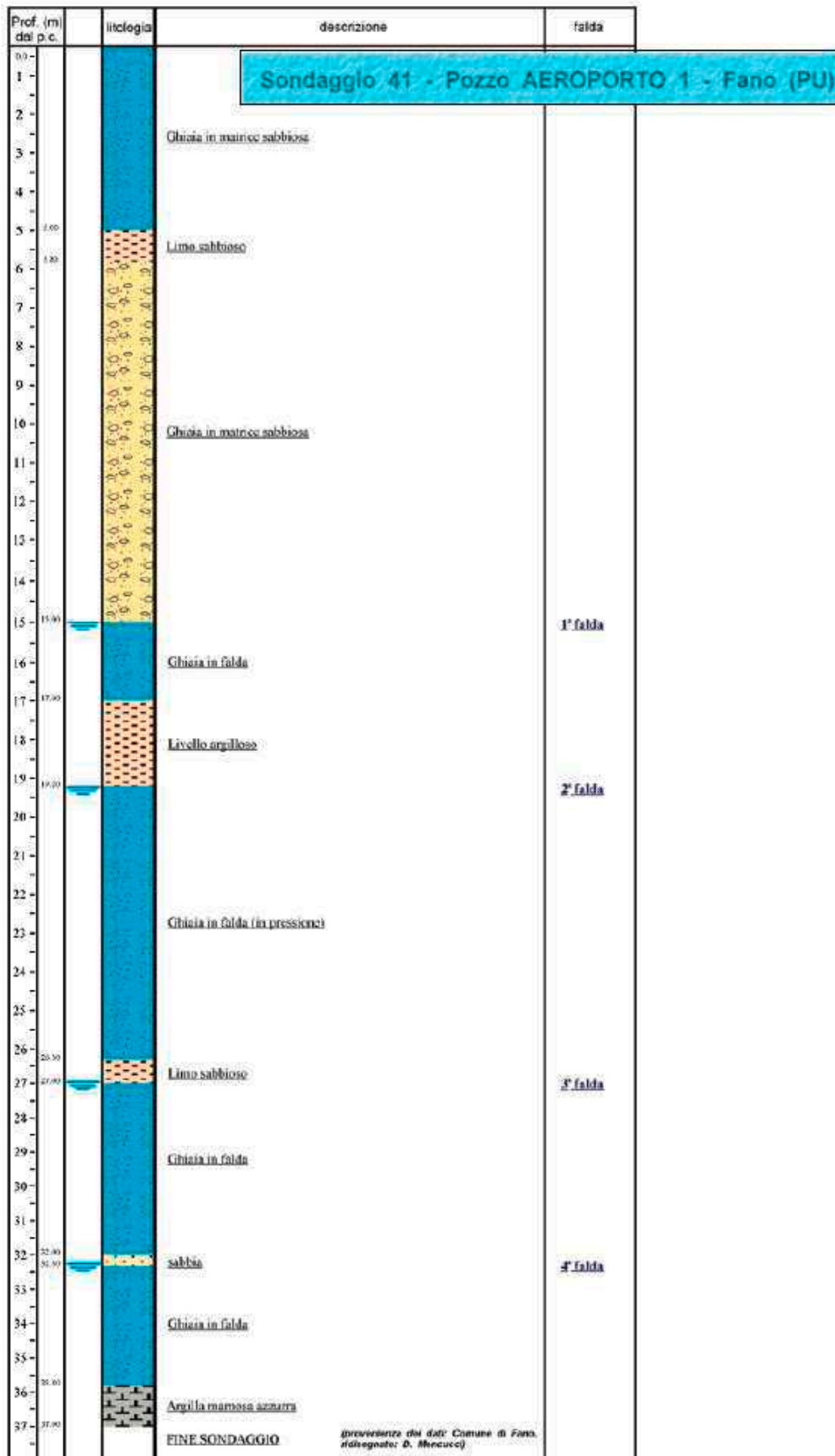
Macchina perforatrice:
 Escavatore
 ⚡

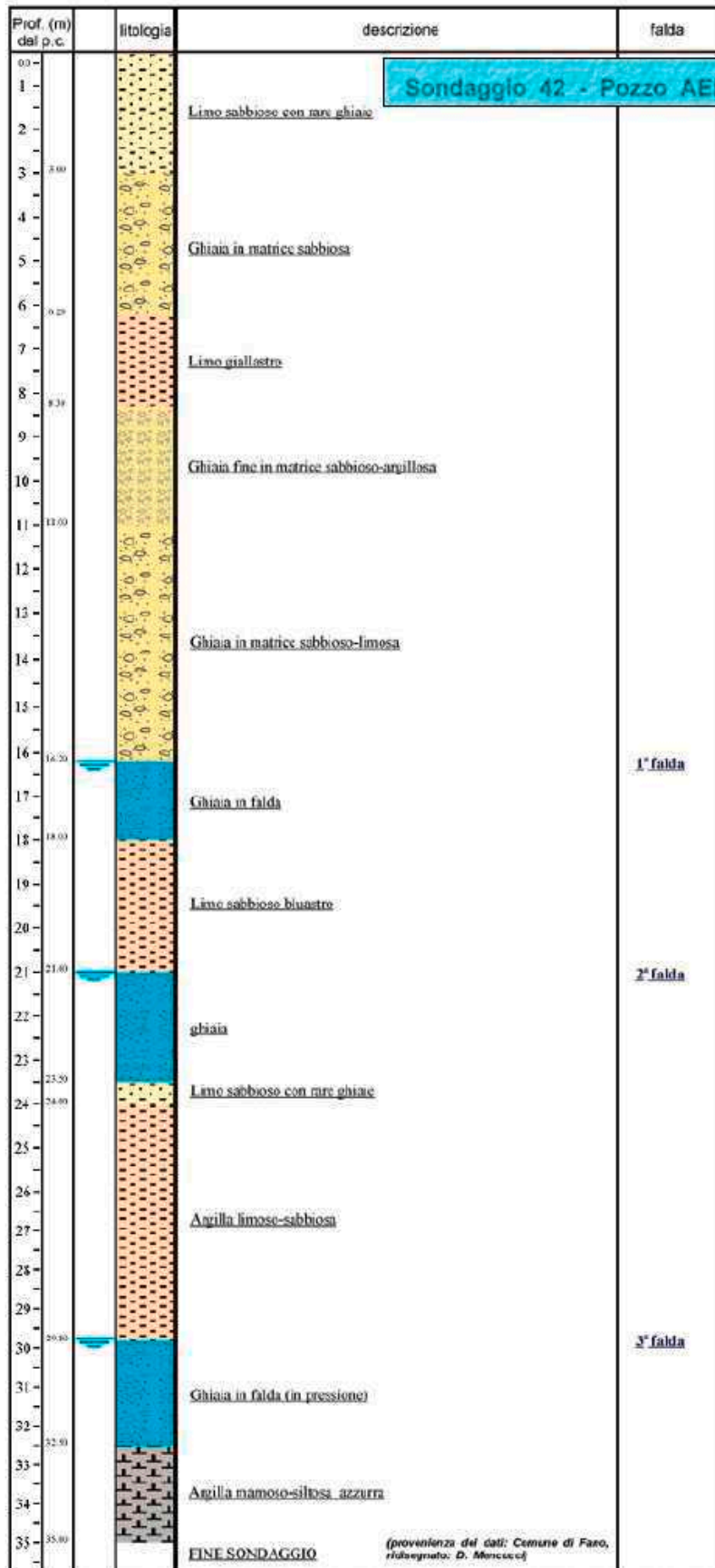
Quota piano campagna: 0.0 mt

| Spessore | Litologia | Descrizione | PP (Kg/cm ²) | TV (Kg/cm ²) | H ₂ O | Campione | SPT | Note |
|----------|-----------|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------|----------|-----|------|
| 0.2 | | Terreno vegetale superficiale. | | | | | | |
| 1.6 | | Ghiaia sciolta e tratti sabbiosi. | | | | ★C2 | | |
| 2.0 | | | | | | | | |
| 3.0 | | | | | | | | |
| 4.0 | | | | | | | | |
| 5.0 | | | | | | | | |
| 6.0 | | | | | | | | |
| 7.0 | | | | | | | | |
| 8.0 | | | | | | | | |
| 9.0 | | | | | | | | |
| 10.0 | | | | | | | | |



Assistenza Tecnica : Dott. Geol. ARMANDO DONINI





Descrizione della sezione stratigrafica interpretativa

Dalle stratigrafie delle prove eseguite e considerate si rileva la presenza di una deposizione alluvionale che presenta litologie simili con spessori e profondità variabili.

Le ghiaie si rilevano lungo tutta la sezione a quote variabili, nella prova penetrometrica DPSH1 sono in prossimità del piano campagna – 0,60 cm. Si rilevano a circa 2,00 m in prossimità di Via della Colonna e a profondità di circa 4,00 m all'inizio della pista ciclabile. Le alluvioni superficiali sono rappresentate da una deposizione a grana fine, rappresentata litologicamente da un'alternanza di limi argillo sabbiosi.

La falda non è stata intercettata durante le prove eseguite, risulta attestarsi a profondità variabili, a circa 10 m lungo Via Mattei per approfondirsi sul Pozzo Comunale (3) di Tre Ponti a 18.50 m., su Via Papiria all'altezza del Pozzo 42 è a 16,50 m, procedendo verso Via della Colonna la quota risulta essere a circa 13.50 m.

Si riporta in allegato la sezione stratigrafica.

Caratterizzazione geomeccanica

La parametrizzazione geomeccanica, dei litotipi rilevati è stata elaborata sulla base dei dati ottenuti dalle prove Penetrometriche, dalla Relazione Geologica a corredo del PRG e da prove di laboratorio del Dott. Donini per la Relazione geologica geotecnica presso l'aeroporto di Fano.

Con la normativa del D.M.17/01/2018 l'analisi del sistema terreno struttura viene trattato con metodi semiprobabilistici e compare il concetto di PARAMETRI CARATTERISTICI per i parametri della resistenza al taglio del terreno, coesione e angolo di attrito interno; per **valore caratteristico** s'intende quel valore al quale è associata una prefissata probabilità di non superamento.

I principali parametri fisico-meccanici attribuibili ai terreni del sottosuolo vengono dedotti dalle prove penetrometriche sulla base dalle usuali correlazioni disponibili e ampiamente documentate dalla letteratura tecnica e scientifica. I parametri fisico-meccanici sono riportati di seguito e sono il peso di volume (γ), la coesione non drenata (c_u) e l'angolo di attrito (φ).

ORIZZONTE A: limi argilloso debolmente sabbiosi – DEPOSITI ALLUVIONALI

$$\begin{aligned}\gamma &= 1,97 \text{ t/mc} \\ C_u \text{ med} &= 0,65 \text{ Kg/cmq} \\ C' &= 0 \text{ t/mq} \\ \varphi \text{ med} &= 23^\circ \\ E_{ed} &= 42 \text{ Kg/cmq}\end{aligned}$$

ORIZZONTE B: argilla limoso sabbiosa – DEPOSITI ALLUVIONALI

$$\begin{aligned}\gamma &= 1,99 \text{ t/mc} \\ C_u \text{ med} &= 0,88 \text{ Kg/cmq} \\ C' &= 0 \text{ t/mq} \\ \varphi \text{ med} &= 23^\circ \\ \text{Modulo di Young} &= 41 \text{ Kg/cmq} \\ E_{ed} &= 47 \text{ Kg/cmq}\end{aligned}$$

ORIZZONTE C: ghiaia– DEPOSITI ALLUVIONALI

$$\begin{aligned}\gamma &= 1,9 \text{ t/mc} \\ C' &= 0 \text{ t/mq} \\ \varphi &= 39^\circ \\ \text{Modulo di Young} &= 360 \text{ Kg/cmq}\end{aligned}$$

4. CONSIDERAZIONI SULLA FATTIBILITA' DEL PROGETTO

Azione sismica

Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, l'effetto della risposta sismica locale si valuta mediante specifiche analisi. In alternativa, qualora le condizioni stratigrafiche e le proprietà dei terreni siano chiaramente riconducibili alle categorie definite nella Tab. 3.2.II, si può fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sulla classificazione del sottosuolo in funzione dei valori della velocità di propagazione delle onde di taglio, VS. I valori di VS sono ottenuti mediante specifiche prove oppure, con giustificata motivazione e limitatamente all'approccio semplificato, sono valutati tramite relazioni empiriche di comprovata affidabilità con i risultati di altre prove in sito, quali ad esempio le prove penetrometriche dinamiche per i terreni a grana grossa e le prove penetrometriche statiche.

È stata presa in esame un'indagine di tipo MASW eseguita all'interno del parco urbano che definisce il parametro sismico sui depositi alluvionali.



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.

L'interpretazione geofisica individua il modello geofisico dell'area distinguendo le unità geofisiche, a cui si associano intervalli di valore di V_p e V_s 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 (V_p e V_s) 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.

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio, $V_{S,eq}$ (in m/s), definita dall'espressione:

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

con:

h_i spessore dell' i -esimo strato;

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

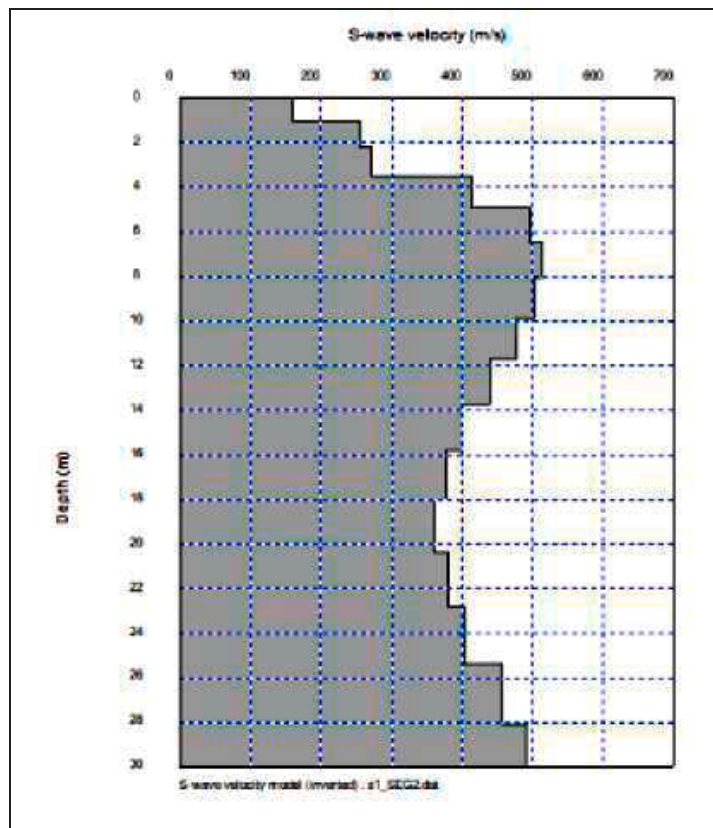
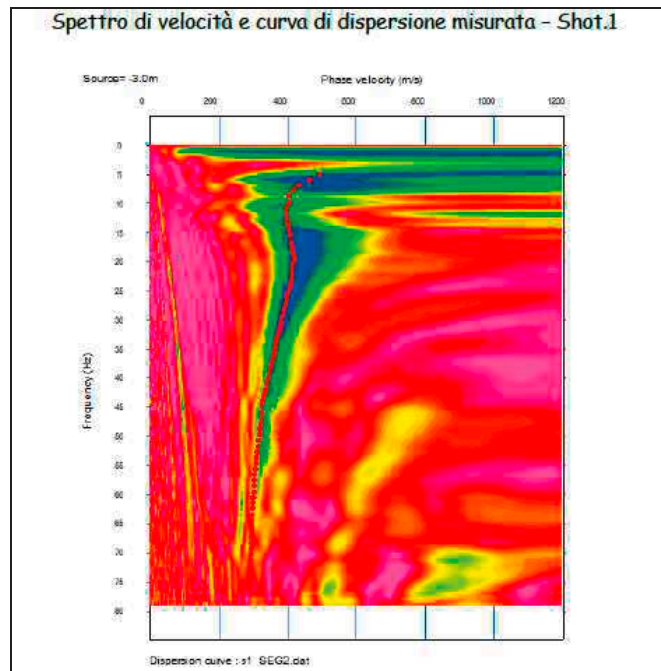
N numero di strati;

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

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse, mentre per le fondazioni su pali è riferita alla testa dei pali. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro VS_{30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

Dal profilo verticale monodimensionale delle V_s sotto riportato si evince la presenza di terreni caratterizzati da basse velocità di propagazione delle onde di taglio fino alla profondità di circa 4 metri dal p.c. Oltre tale quota si assiste ad un graduale incremento del valore di V_s , fino alla profondità di circa 14 metri, per poi decrescere leggermente fino a raggiungere una lieve inversione di velocità nell'intervallo 16-23 metri.

Dopo quest'ultima quota il profilo mostra un andamento costantemente crescente con la profondità.



| Profondità [m] | | Spessore [m] | Vs [m/s] | Densità [kN/m ³] | VS_EQ = (0-30 m) [m/s] | Categoria di suolo |
|----------------|---------|--------------|----------|------------------------------|------------------------|--------------------|
| 0.00 | ÷ 1.05 | 1.05 | 160 | 17.43 | 386 | B |
| 1.05 | ÷ 2.22 | 1.17 | 255 | 17.76 | | |
| 2.22 | ÷ 3.51 | 1.29 | 270 | 17.81 | | |
| 3.51 | ÷ 4.91 | 1.40 | 415 | 18.31 | | |
| 4.91 | ÷ 6.43 | 1.52 | 496 | 18.57 | | |
| 6.43 | ÷ 8.07 | 1.64 | 514 | 18.63 | | |
| 8.07 | ÷ 9.82 | 1.75 | 502 | 18.60 | | |
| 9.82 | ÷ 11.70 | 1.87 | 477 | 18.51 | | |
| 11.70 | ÷ 13.68 | 1.99 | 439 | 18.39 | | |
| 13.68 | ÷ 15.79 | 2.11 | 401 | 18.26 | | |
| 15.79 | ÷ 18.01 | 2.22 | 379 | 18.18 | | |
| 18.01 | ÷ 20.35 | 2.34 | 361 | 18.12 | | |
| 20.35 | ÷ 22.81 | 2.46 | 380 | 18.19 | | |
| 22.81 | ÷ 25.38 | 2.57 | 402 | 18.26 | | |
| 25.38 | ÷ 28.07 | 2.69 | 457 | 18.45 | | |
| 28.07 | ÷ 30.00 | 1.93 | 491 | 18.56 | | |

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

| Tab. 3.2.II – Categorie di sottosuolo che permettono l'utilizzo dell'approccio semplificato | |
|---|---|
| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica |
| A | Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m. |
| B | Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s. |
| C | Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s. |
| D | Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s |
| E | Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m. |

L'area analizzata può essere inclusa nella **CATEGORIA B**.

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.

Verifica del potenziale di liquefazione

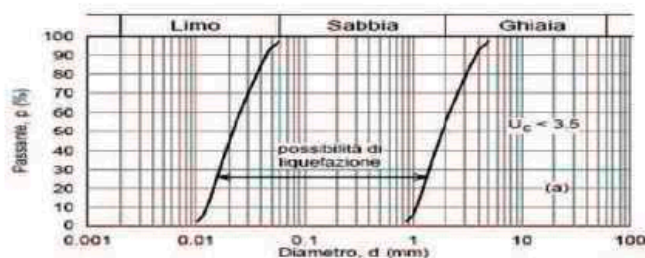
Ai sensi del D.M. 17/01/2018 si vuole prendere in analisi il problema della liquefazione dei terreni. Secondo la definizione data nell'Eurocodice 8, la liquefazione denota una diminuzione di resistenza a taglio e/o di rigidezza causata dall'aumento di pressione interstiziale in un terreno saturo non 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 argillosi e limi sabbiosi sovrastanti ghiaie in alcuni casi prossime al piano campagna. Le indagini condotte non hanno evidenziato la presenza della falda freatica.

7.11.3.4.2 Esclusione della verifica a liquefazione

La verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata* $(N1)_{60} > 30$ oppure $qc1N > 180$ dove $(N1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e $qc1N$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 7.11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c < 3,5$ ed in Figura 7.11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità $U_c > 3,5$.

(U_c rapporto D_{60}/D_{10} , dove D_{60} e D_{10} sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa).



U_c rapporto D_{60}/D_{10} , dove D_{60} e D_{10} sono il diametro delle particelle corrispondenti rispettivamente al 60% e al 10% del passante sulla curva granulometrica cumulativa

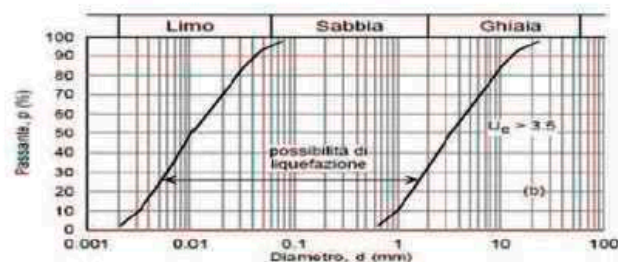


Figura 7.11.1 – Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione.

All'interno del paragrafo 7.11.3.4.3 delle NTC 2018 – Metodi di analisi di stima del rischio liquefazione (Metodo di tipo storico –empirico), sono riportate delle casistiche che in base all'età del deposito, alla profondità della falda e alla tipologia di morfologia geologica del sito permettono di determinare in modo approssimativo la suscettibilità e la possibilità alla liquefazione.

| Metodo geologico | | | |
|---|-------------------------------|-------------|-------------|
| <i>Età del deposito</i> | <i>Profondità della falda</i> | | |
| | < 9 m | 9 ÷ 15 m | > 15 m |
| Olocene recente | Elevata | Bassa | Molto bassa |
| Alto Olocene | Moderata | Bassa | Molto bassa |
| Pleistocene recente | Bassa | Bassa | Molto bassa |
| Pleistocene antico e depositi anteriori | Molto bassa | Molto bassa | Molto bassa |

} **Suscettibilità alla liquefazione**

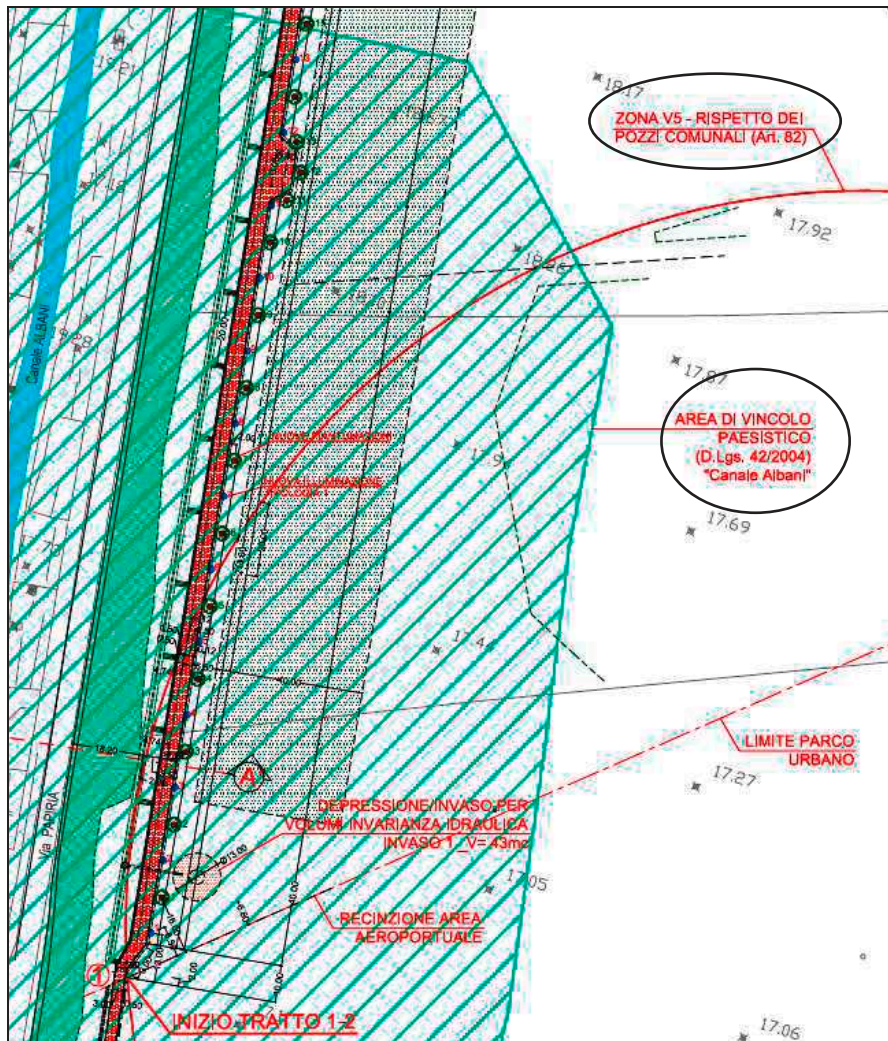
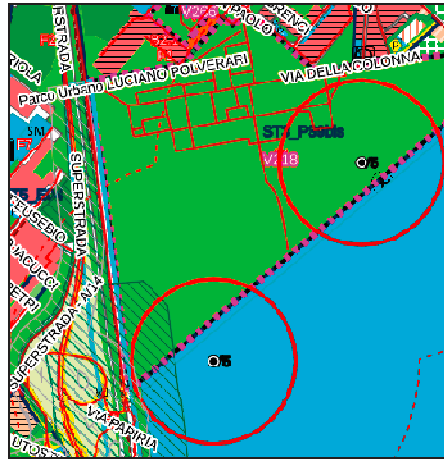
| <i>Categoria</i> | <i>Morfologia</i> | <i>Liquefazione</i> |
|------------------|--|---------------------|
| A | Letti di fiume, antichi e recenti, paludi, terreni di bonifica, zone interdunari | Probabile |
| B | Conoidi, argini naturali, dune, pianure di esondazione, spiagge | Possibile |
| C | Terrazzi, colline, montagne | Improbabile |

} **Probabilità di liquefazione**

L'adozione del metodo storico empirico indica una suscettibilità molto bassa alla liquefazione (criterio temporale) ed una improbabile eventualità del suo verificarsi (criterio morfologico).

Vincoli presenti sull'area

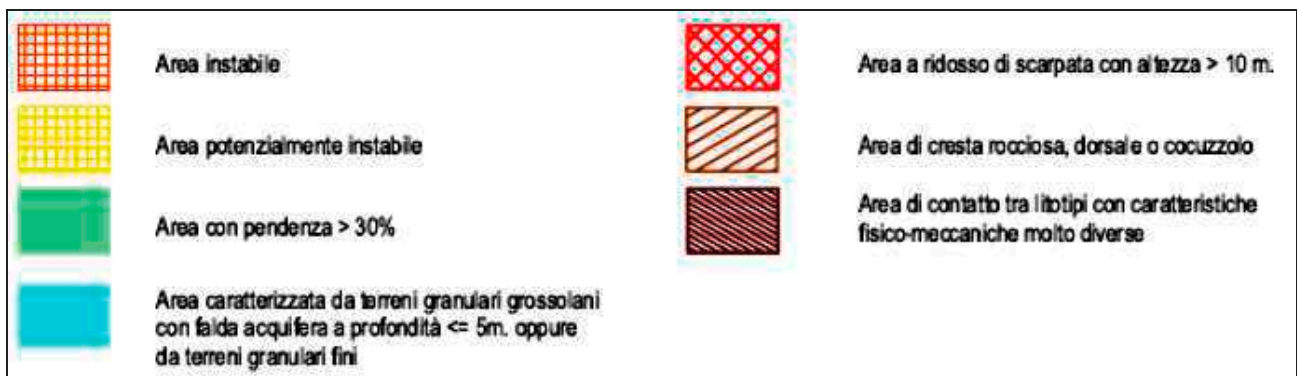
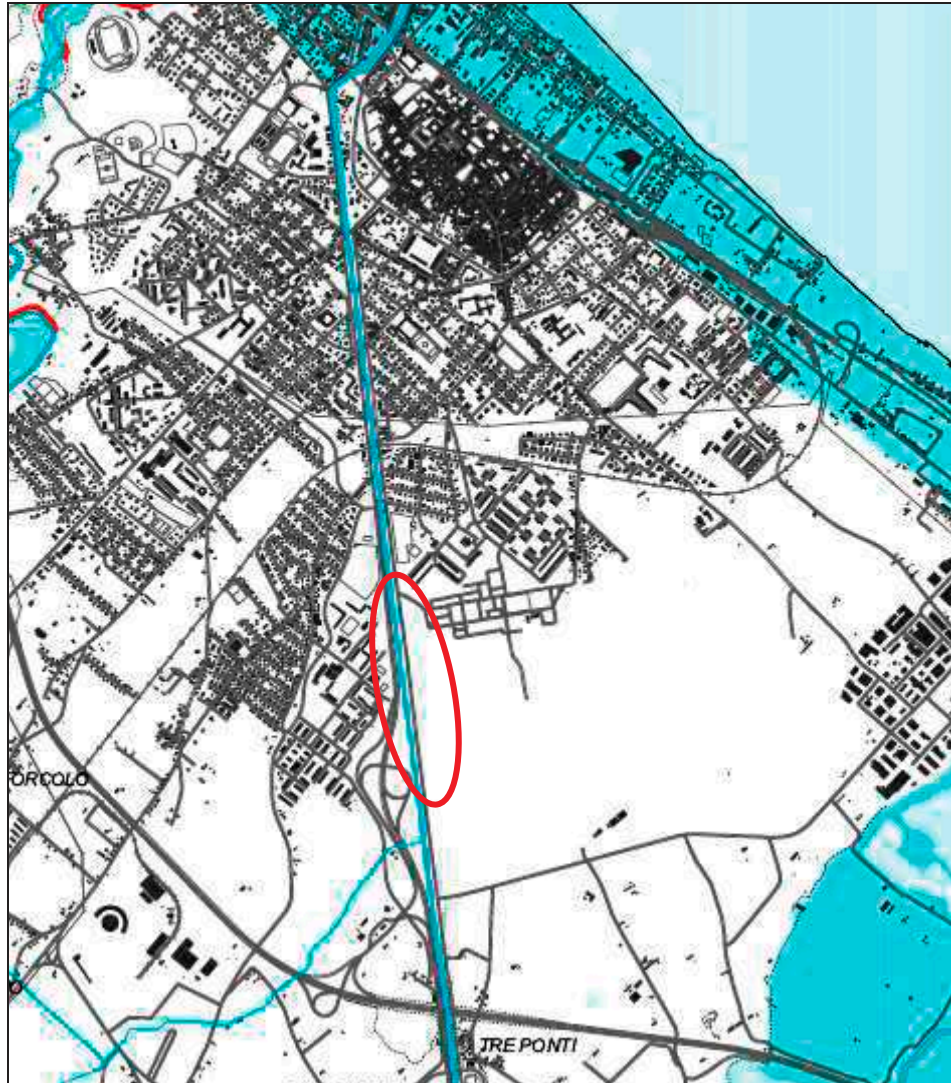
Dallo stralcio di PRG riportato di seguito la parte iniziale della Pista Ciclabile risulta interessata dal Vincolo paesaggistico (D.lgs. 42/2004) e dal Vincolo Speciale Pozzo 42.



Pericolosità sismica

Dalla carta delle pericolosità sismiche, l'area non risulta interessata da alcuna pericolosità.

Carta delle Pericolosità sismiche PRG Comune di Fano , stralcio



5. CONCLUSIONI

La presente relazione è stata redatta per il progetto di un percorso ciclabile Bellocchi – Fano - 1° Stralcio, che collega il Centro di Fano, il Nuovo Parco Urbano e l'Aeroporto di Fano a Bellocchi attraverso la futura realizzazione della Ciclovia del Metauro. Il percorso segue il tracciato di Via Papiria fino a Via della Colonna.

Come stabilito dal D.M. 17/01/18 NTC si è proceduto, per la caratterizzazione geologica del sito, a posizionare ed eseguire due prove penetrometriche CPT/DPSH e a considerare varie indagini stratigrafiche ubicate lungo l'intero tracciato. Le indagini utilizzate sono dettagliate in relazione.

Per la classificazione sismica del sottosuolo è stata considerata l'indagine sismica di tipo MASW effettuata sulla piana alluvionale all'interno del Parco Urbano.

In relazione ai dati emersi nel corso dell'elaborazione dei risultati ottenuti dal rilievo diretto di campagna e, dalle indagini eseguite e considerate non è stata individuata alcuna pericolosità geologica e sismica ai fini della realizzazione del progetto.

Geologicamente la zona è caratterizzata dalle alluvioni terrazzate limo argillo sabbiose e ghiaiose su substrato rappresentato dalla Formazione delle Argille Azzurre.

La copertura alluvionale non risulta omogenea, a litologie simili corrispondono spessori variabili;

La falda idrica è situata a profondità variabile tra 13,50 - 16,50 m. dal p.c. salvo fluttuazioni stagionali.

Una piccola parte del tracciato ricade sul Vincolo Paesaggistico e sul Vincolo Speciale del Pozzo 42.

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_{seq} è risultata pari a 386 m/s, pertanto, i terreni di fondazione rientrano nella **categoria "B"**.

L'analisi dei dati geologici del sito e del progetto, unitamente all'esecuzione di prove penetrometriche e analisi sismiche che hanno permesso di ricostruire la stratigrafia del terreno, permette di escludere fenomeni di interferenza negativa delle opere di progetto con il contesto geologico e idrogeologico locale.

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

Fano, Aprile 2023

IL TECNICO INCARICATO

Dott.ssa Geologo Maria Vittoria Castellani



COLLABORATORE

Dott.ssa Geologo Laura Pelonghini

ALLEGATI:

- SEZIONE STRATIGRAFICA
- PROVE PENETROMETRICHE
- INDAGINE GEOFISICA

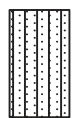
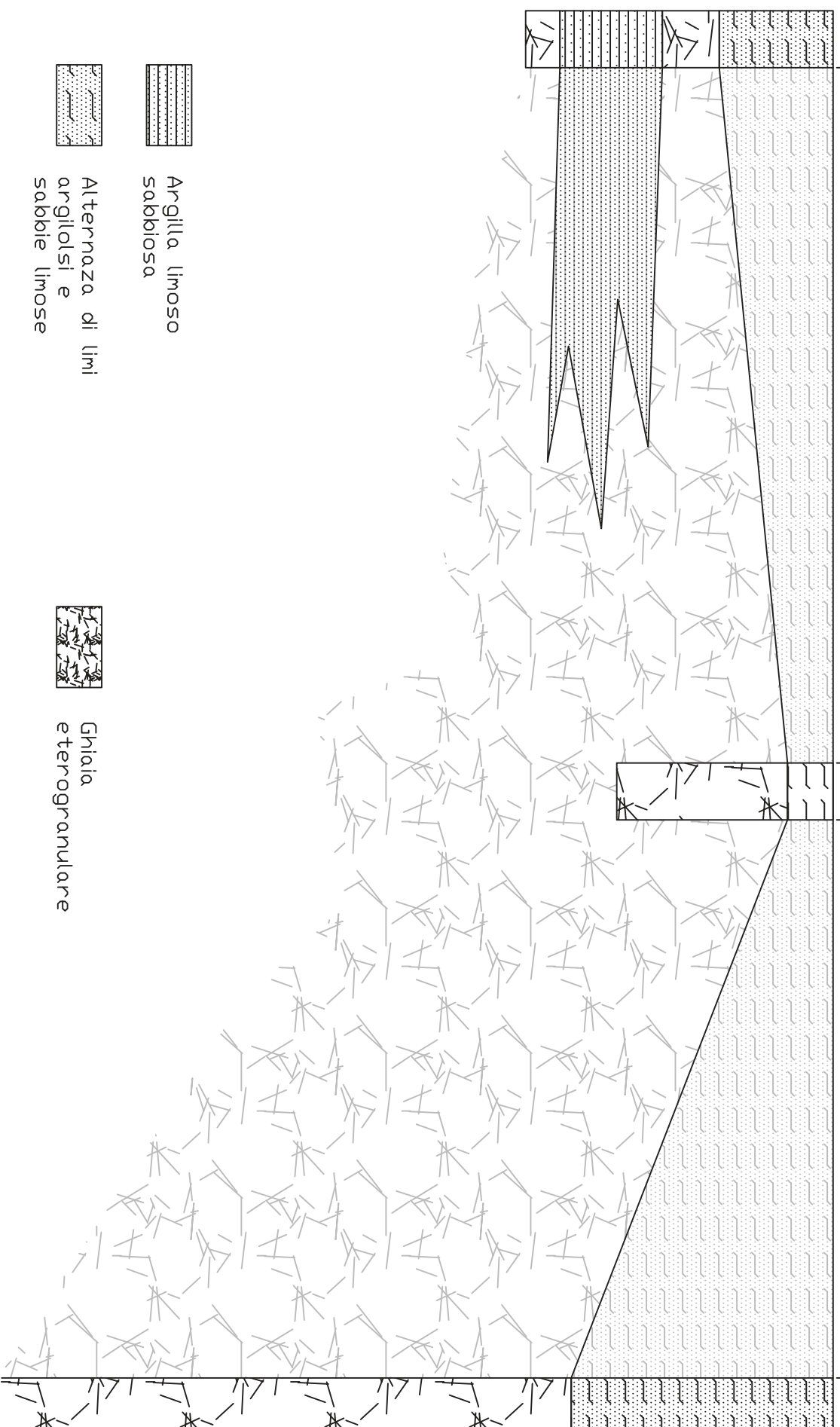
CPT1

DPSH1

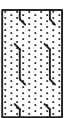
SONDAGGIO soc.
Autostrate

400 M

350 M



Argilla limoso
sabbiosa



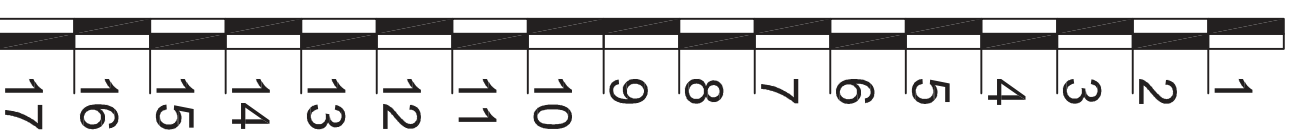
Alternanza di limi
argillosi e
sabbie limose



Ghiaia
eterogranulare

Scala verticale 1:100 scala orizzontale: non in scala

SEZIONE STRATIGRAFICA LATO VIA PAPIRIA





Indagini Geofisiche & Prove in Sito

Prove: CPT. 1 - CPT. 2/ DPSH1

Committente: Maria Vittoria Castellani

Cantiere: Via Papiria

Comune: Fano (PU)

PROVA PENETROMETRICA STATICA C.P.T. Cone Penetration Test

| | |
|------------------------------------|---------------|
| Rif. Norme: | ASTM D3441-86 |
| Diametro Punta Conica: | 35.7 mm |
| Angolo di apertura punta: | 60° |
| Area punta: | 10 cmq |
| Superficie manicotto di attrito: | 150cmq |
| Rapporto delle aree di punta: | 0.58 |
| Rapporto delle aree del manicotto: | 0.014 |
| Passo di lettura: | 20 cm |
| Costante di trasformazione Ct: | 10 m |

LEGENDA RAPPRESENTAZIONE GRAFICA

fs: attrito laterale sulla superficie del manicotto

Qc: resistenza specifica alla punta del cono

Sassoferrato, Marzo 2023

Servizi Sismici Snc

Sede: Via Piano di Frassineta, 109 - 60041 Sassoferrato (AN) - P.I.: 02495830420 - Codice REA: AN-192227

Tel.: 0732-96839 - Cell. (antonello): 338-9056200 (fabrizio): 328-2652947

Mail: servizisismici@hotmail.it

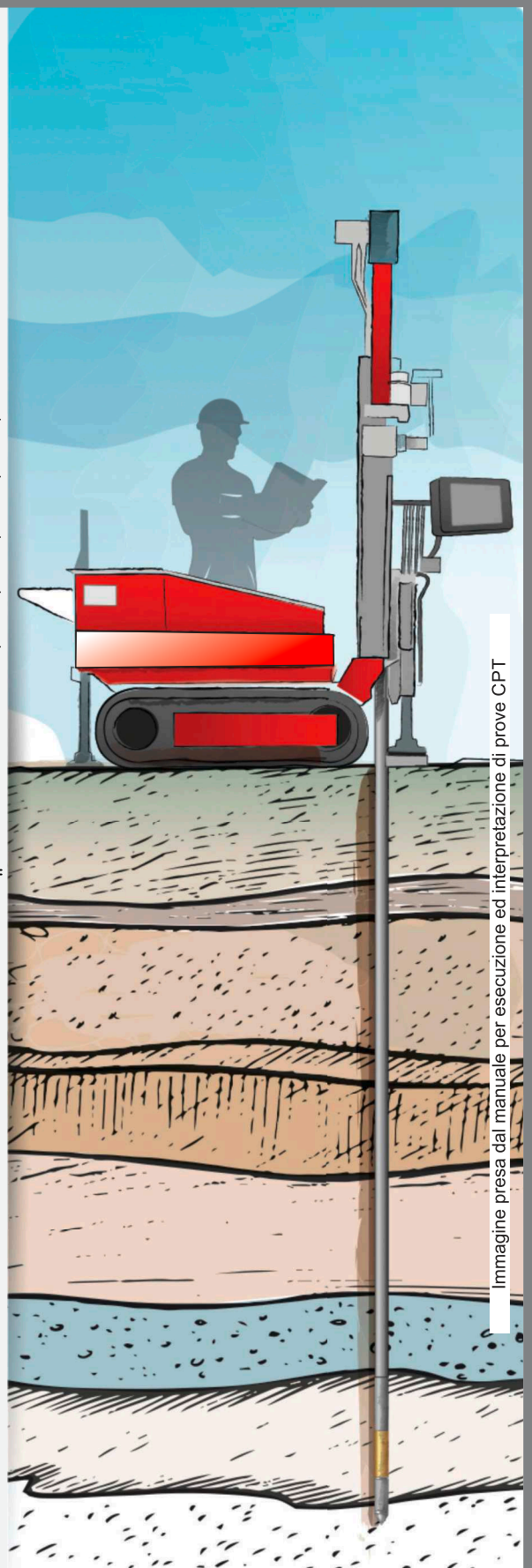


Immagine presa dal manuale per esecuzione ed interpretazione di prove CPT

PROVA ... Nr.1

| 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 | 0.6 | 0.0 | |
| 0.40 | 8.0 | 17.0 | 8.0 | 0.5 | 16.0 | 6.3 |
| 0.60 | 22.0 | 30.0 | 22.0 | 0.9 | 24.4 | 4.1 |
| 0.80 | 26.0 | 39.0 | 26.0 | 1.4 | 18.6 | 5.4 |
| 1.00 | 28.0 | 49.0 | 28.0 | 1.7 | 16.5 | 6.1 |
| 1.20 | 27.0 | 52.0 | 27.0 | 1.1 | 24.5 | 4.1 |
| 1.40 | 24.0 | 41.0 | 24.0 | 1.2 | 20.0 | 5.0 |
| 1.60 | 20.0 | 38.0 | 20.0 | 0.9 | 22.2 | 4.5 |
| 1.80 | 20.0 | 34.0 | 20.0 | 1.1 | 18.2 | 5.5 |
| 2.00 | 21.0 | 38.0 | 21.0 | 5.5 | 3.8 | 26.2 |
| 2.20 | 208.0 | 290.0 | 208.0 | 1.2 | 173.3 | 0.6 |
| 2.40 | 163.0 | 181.0 | 163.0 | 0.8 | 203.8 | 0.5 |
| 2.60 | 122.0 | 134.0 | 122.0 | 1.9 | 64.2 | 1.6 |
| 2.80 | 303.0 | 331.0 | 303.0 | 1.1 | 275.5 | 0.4 |
| 3.00 | 299.0 | 316.0 | 299.0 | 1.5 | 199.3 | 0.5 |
| 3.20 | 22.0 | 44.0 | 22.0 | 0.8 | 27.5 | 3.6 |
| 3.40 | 27.0 | 39.0 | 27.0 | 1.1 | 24.5 | 4.1 |
| 3.60 | 28.0 | 45.0 | 28.0 | 1.1 | 25.5 | 3.9 |
| 3.80 | 25.0 | 42.0 | 25.0 | 0.7 | 35.7 | 2.8 |
| 4.00 | 17.0 | 28.0 | 17.0 | 1.0 | 17.0 | 5.9 |
| 4.20 | 18.0 | 33.0 | 18.0 | 0.5 | 36.0 | 2.8 |
| 4.40 | 24.0 | 31.0 | 24.0 | 1.0 | 24.0 | 4.2 |
| 4.60 | 25.0 | 40.0 | 25.0 | 1.2 | 20.8 | 4.8 |
| 4.80 | 24.0 | 42.0 | 24.0 | 1.7 | 14.1 | 7.1 |
| 5.00 | 303.0 | 328.0 | 303.0 | 2.3 | 131.7 | 0.8 |
| 5.20 | 419.0 | 454.0 | 419.0 | 0.0 | | 0.0 |

PROVA ... Nr.2

| 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 | 1.1 | 0.0 | |
| 0.40 | 25.0 | 41.0 | 25.0 | 0.3 | 83.3 | 1.2 |
| 0.60 | 24.0 | 29.0 | 24.0 | 1.1 | 21.8 | 4.6 |
| 0.80 | 74.0 | 91.0 | 74.0 | -2.2 | -33.6 | -3.0 |
| 1.00 | 273.0 | 240.0 | 273.0 | 2.2 | 124.1 | 0.8 |
| 1.20 | 405.0 | 438.0 | 405.0 | 6.3 | 64.3 | 1.6 |
| 1.40 | 315.0 | 410.0 | 315.0 | 0.0 | | 0.0 |

PROVA DPSH

| 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 | 0 | 0.855 | 0.00 | 0.00 | 0.00 | 0.00 |
| 0.40 | 1 | 0.851 | 8.94 | 10.51 | 0.45 | 0.53 |
| 0.60 | 1 | 0.847 | 8.17 | 9.64 | 0.41 | 0.48 |
| 0.80 | 1 | 0.843 | 8.13 | 9.64 | 0.41 | 0.48 |
| 1.00 | 1 | 0.840 | 8.10 | 9.64 | 0.40 | 0.48 |
| 1.20 | 1 | 0.836 | 8.06 | 9.64 | 0.40 | 0.48 |
| 1.40 | 1 | 0.833 | 8.03 | 9.64 | 0.40 | 0.48 |
| 1.60 | 23 | 0.730 | 149.52 | 204.95 | 7.48 | 10.25 |
| 1.80 | 27 | 0.726 | 174.75 | 240.59 | 8.74 | 12.03 |
| 2.00 | 34 | 0.673 | 203.95 | 302.97 | 10.20 | 15.15 |
| 2.20 | 31 | 0.670 | 185.11 | 276.24 | 9.26 | 13.81 |
| 2.40 | 32 | 0.667 | 190.23 | 285.15 | 9.51 | 14.26 |
| 2.60 | 25 | 0.714 | 147.88 | 207.04 | 7.39 | 10.35 |
| 2.80 | 24 | 0.711 | 141.40 | 198.76 | 7.07 | 9.94 |
| 3.00 | 23 | 0.709 | 134.99 | 190.48 | 6.75 | 9.52 |
| 3.20 | 28 | 0.706 | 163.71 | 231.89 | 8.19 | 11.59 |
| 3.40 | 28 | 0.703 | 163.11 | 231.89 | 8.16 | 11.59 |



Cpt1

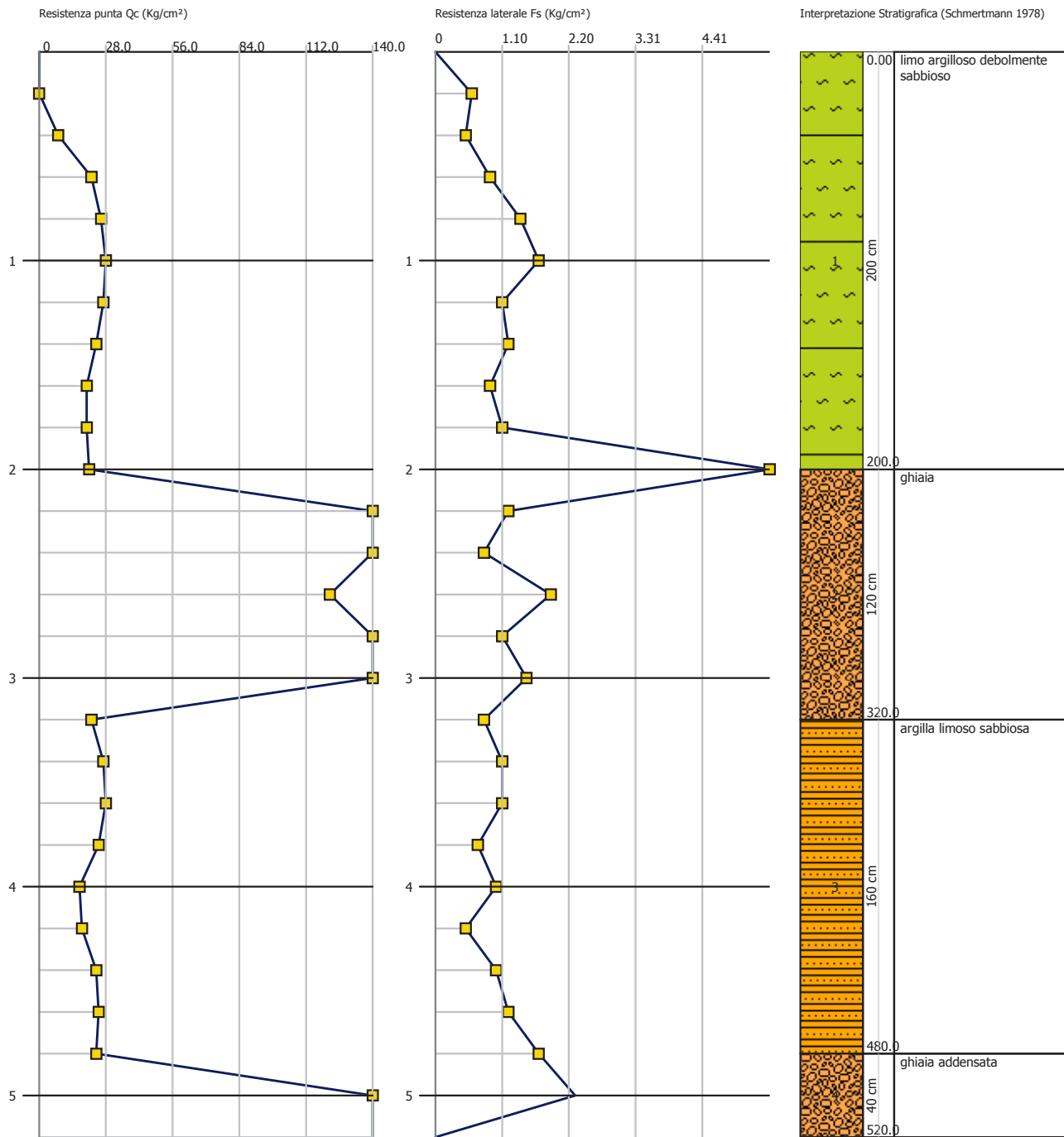


Cpt 2 /dpsH1

Probe CPT - Cone Penetration Nr.1
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: Maria Vittoria Castellani
Cantiere: Pista Ciclabile
Località: Via Papiria, Fano (PU)

Data: 03/03/2023



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIVI I

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 | 2.00 | 19.6 | 1.5 | 0.2 | 0.2 | Marsland 1974- Marsland e Powell 1979 | 0.65 |
| Strato 3 | 4.80 | 23.5 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | | 0.78 |

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 | 2.00 | 19.6 | 1.5 | 0.2 | 0.2 | Metodo generale del modulo Edometrico | 42.91 |
| Strato 3 | 4.80 | 23.5 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | | 47.0 |

Grado di sovraconsolidazione

| | Prof. Strato (m) | Qc (Kg/cm ²) | fs (Kg/cm ²) | Tensione litostatica totale (Kg/cm ²) | Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²) | Correlazione | Ocr |
|----------|------------------|--------------------------|--------------------------|---|---|----------------|------|
| Strato 1 | 2.00 | 19.6 | 1.5 | 0.2 | 0.2 | P.W.Mayne 1991 | 3.72 |
| Strato 3 | 4.80 | 23.5 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | | 4.5 |

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 | 2.00 | 19.6 | 1.5 | 0.2 | 0.2 | | 1.97 |
| Strato 3 | 4.80 | 23.5 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | | 1.99 |

TERRENI INCOERENTI I

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 1 | 2.00 | 19.6 | 1.5 | 0.2 | 0.2 | Lancellotta 1983 | 43.08 |
| Strato 2 | 3.20 | 186.2 | 1.2 | 0.5 | 0.5 | | 93.91 |
| Strato 3 | 4.80 | 23.5 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | | 28.41 |
| Strato 4 | 5.20 | 361.0 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | | 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 1 | 2.00 | 19.6 | 1.5 | 0.2 | 0.2 | Herminier | 27.52 |
| Strato 2 | 3.20 | 186.2 | 1.2 | 0.5 | 0.5 | | 39.59 |
| Strato 3 | 4.80 | 23.5 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | | 23.14 |
| Strato 4 | 5.20 | 361.0 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | | 39.7 |

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 1 | 2.00 | 19.6 | 1.5 | 0.2 | 0.2 | ISOPT-1 1988 | 28.54 |
| Strato 2 | 3.20 | 186.2 | 1.2 | 0.5 | 0.5 | | 186.2 |
| Strato 3 | 4.80 | 23.5 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | | 41.42 |
| Strato 4 | 5.20 | 361.0 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | | 361.0 |

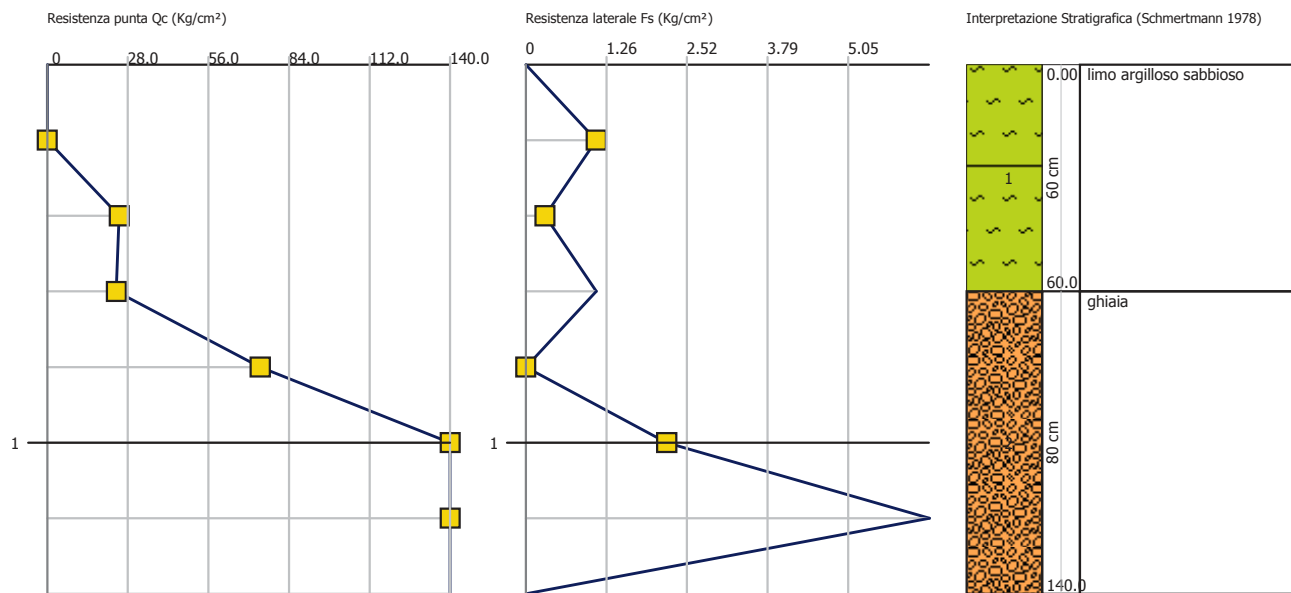
Peso unità di volume

| | 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 | 2.00 | 19.6 | 1.5 | 0.2 | 0.2 | Meyerhof | 1.8 |
| Strato 2 | 3.20 | 186.2 | 1.2 | 0.5 | 0.5 | | 1.9 |
| Strato 3 | 4.80 | 23.5 | 1.0 | 0.8 | 0.8 | | 1.8 |
| Strato 4 | 5.20 | 361.0 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | | 1.9 |

Probe CPT - Cone Penetration Nr.2
Strumento utilizzato PAGANI TG 63 (200 kN)

Committente: Maria Vittoria Castellani
Cantiere: Pista Ciclabile
Località: Via Papiria , Fano (PU)

Data: 03/03/2023



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI

TERRENI COESIVI I

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 | 16.3 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | Marsland 1974- Marsland e Powell 1979 | 0.54 |

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 | 16.3 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | Metodo generale del modulo Edometrico | 47.82 |

Grado di sovraconsolidazione

| | Prof. Strato (m) | qc (Kg/cm ²) | fs (Kg/cm ²) | Tensione litostatica totale (Kg/cm ²) | Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²) | Correlazione | Ocr |
|----------|------------------|--------------------------|--------------------------|---|---|----------------|------|
| Strato 1 | 0.60 | 16.3 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | P.W.Mayne 1991 | 3.06 |

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 | 16.3 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | | 1.94 |

TERRENI INCOERENTI I

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 1 | 0.60 | 16.3 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | Lancellotta 1983 | 55.78 |
| Strato 2 | 1.40 | 266.8 | 1.6 | 0.2 | 0.2 | | 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 1 | 0.60 | 16.3 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | Herminier | 36.59 |
| Strato 2 | 1.40 | 266.8 | 1.6 | 0.2 | 0.2 | | 15.0 |

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 1 | 0.60 | 16.3 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | ISOPT-1 1988 | 19.33 |
| Strato 2 | 1.40 | 266.8 | 1.6 | 0.2 | 0.2 | | 266.8 |

Peso unità di volume

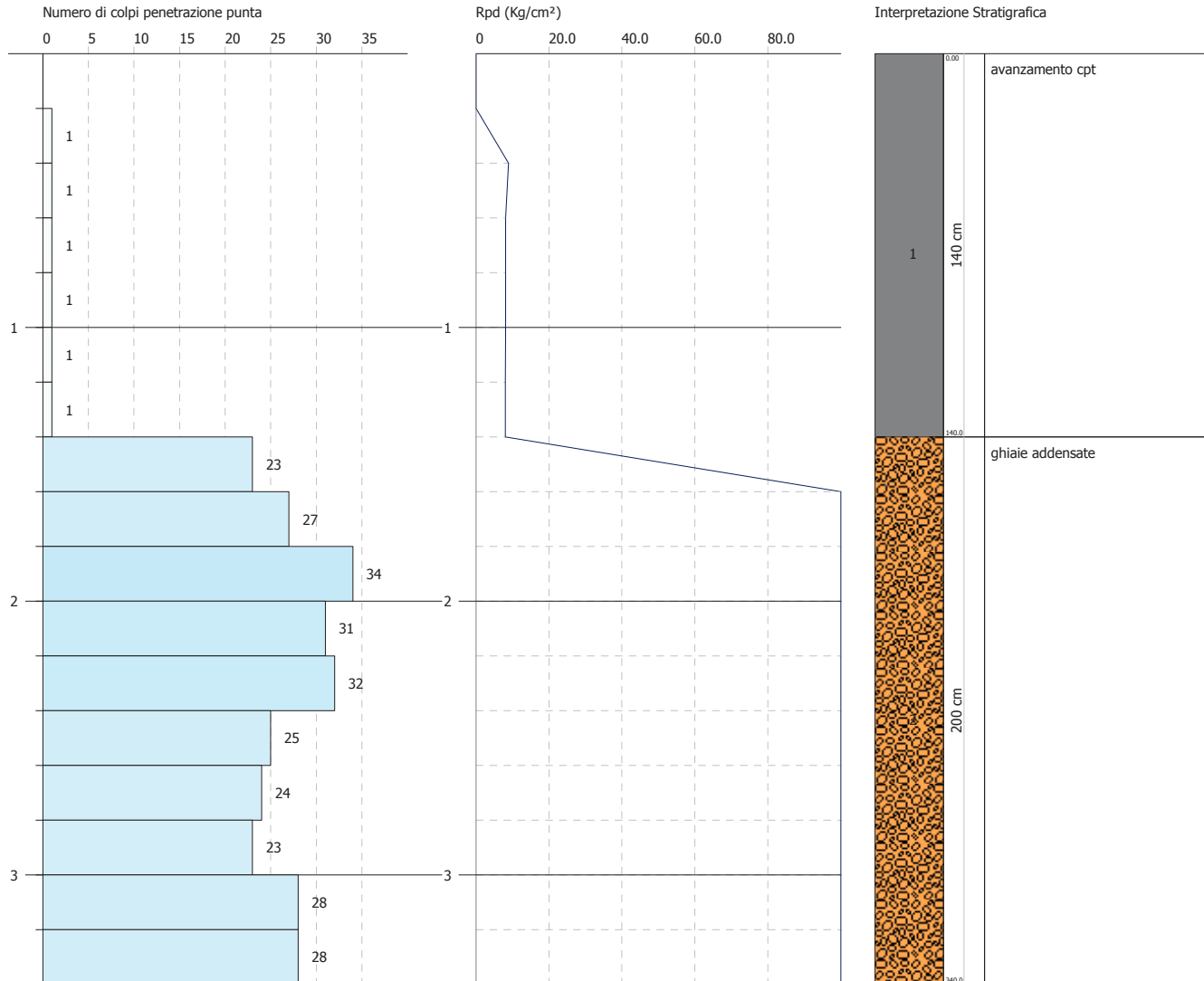
| | Prof. Strato (m) | qc (Kg/cm ²) | fs (Kg/cm ²) | Tensione litostatica totale (Kg/cm ²) | Tensione litostatica efficace (Kg/cm ²) | Correlazione | Peso unità di volume (t/m ³) |
|----------|------------------|--------------------------|--------------------------|---|---|--------------|--|
| Strato 1 | 0.60 | 16.3 | 0.8 | 0.1 | 0.1 | Meyerhof | 1.8 |
| Strato 2 | 1.40 | 266.8 | 1.6 | 0.2 | 0.2 | | 1.9 |

PROVA PENETROMETRICA DINAMICA Nr.1
Strumento utilizzato... DPSH TG 63-200 PAGANI

Committente: M. V. Castellani
 Descrizione: Pista ciclabile
 Località: Via Papiria , Fano (PU)

Data: 03/03/2023

Scala 1:25



STIMA PARAMETRI GEOTECNICI PROVA DPSH

TERRENI INCOERENTI I

Densità relativa

| Descrizione | NSPT | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione | Densità relativa (%) |
|--------------------------------|-------|------------------|------------|--------------------|----------------------|
| Strato (2) ghiaie addensate | 40.42 | 1.40-3.40 | 40.42 | Meyerhof (1957) | 100.0 |

Angolo di resistenza al taglio

| Descrizione | NSPT | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione | Angolo d'attrito (°) |
|--------------------------------|-------|------------------|------------|--------------------|----------------------|
| Strato (2) ghiaie addensate | 40.42 | 1.40-3.40 | 40.42 | Meyerhof (1965) | 36.94 |

Modulo di Young

| Descrizione | NSPT | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione | Modulo di Young (Kg/cm ²) |
|--------------------------------|-------|------------------|------------|------------------------------|--|
| Strato (2) ghiaie addensate | 40.42 | 1.40-3.40 | 40.42 | Schmertmann (1978) Sabbie | 323.36 |

Classificazione AGI

| Descrizione | NSPT | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione | Classificazione AGI |
|--------------------------------|-------|------------------|------------|--------------------------|---------------------|
| Strato (2) ghiaie addensate | 40.42 | 1.40-3.40 | 40.42 | Classificazione A.G.I | ADDENSATO |

Peso unità di volume

| Descrizione | NSPT | Prof. Strato (m) | N. Calcolo | Correlazione | Peso Unità di Volume (t/m ³) |
|--------------------------------|-------|------------------|------------|---------------|---|
| Strato (2) ghiaie addensate | 40.42 | 1.40-3.40 | 40.42 | Meyerhof 1951 | 2.2 |



**INDAGINI & GEOFISICHE
PROVE IN SITO**

SEDE:

VIA PIANO DI FRASSINETA, 109 - 60041 SASSOFERRATO (AN)
TEL/FAX: 0732/96839 - CELL: 338/9056200 & 328/2652947
P.IVA: 02495830420 - C.F.: 02495830420 - N. REA: AN-192227
MAIL: SERVIZISISMICI@HOTMAIL.IT - PEC: SERVIZISISMICI@CERT.CNA.IT

Regione: MARCHE

Provincia: PESARO - URBINO

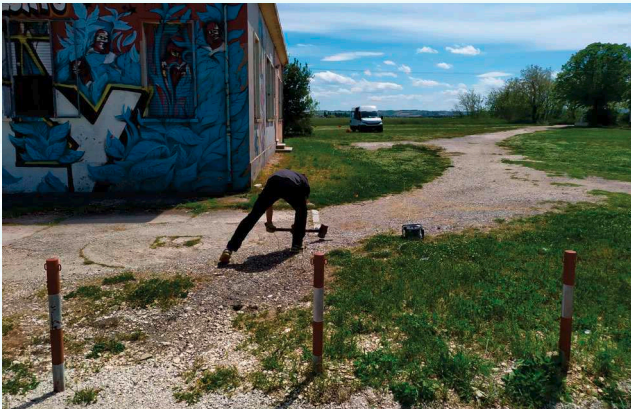
Comune: FANO

Oggetto:

INDAGINE GEOFISICA ESEGUITA
PER IL PROGETTO
DI RISTRUTTURAZIONE
CON RIQUALIFICAZIONE
DELLA CASA
DEL PARCO SITA
IN VIA DELL'AEROPORTO

Committente: Settore Lavori Pubblici
COMUNE DI FANO

Report Geofisico



Sassoferrato, 24 maggio 2021

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

**Il presente report è ad uso esclusivo della pratica in oggetto.
La pubblicazione integrale o parziale è vietata senza il consenso scritto della Servizi Sismici Snc
Ogni utilizzo non autorizzato sarà perseguito a norma di legge.**

1 PREMESSA

Su incarico ricevuto dal Settore Lavori Pubblici del Comune di Fano è stata eseguita un indagine geofisica per il progetto di ristrutturazione con riqualificazione della Casa del Parco sita in Via dell'Aeroporto nel Comune di Fano (PU).

L'indagine è consistita nell'esecuzione di n°1 linea sismica MASW, per determinare il profilo verticale delle onde di taglio necessario per classificare i terreni di fondazione dell'intervento in progetto nelle categorie di suolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle NTC-2018 "D.M. 17/01/2018".

Ubicazione delle indagini sismiche eseguite



2 INDAGINE SISMICA CON METODOLOGIA MASW

2.1 Analisi multicanale delle onde superficiali

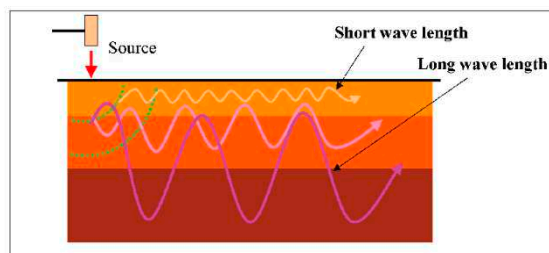
Nella maggior parte delle indagini sismiche per le quali si utilizzano le onde compressive, più di due terzi dell'energia sismica totale generata viene trasmessa nella forma di onde di Rayleigh, la componente principale delle onde superficiali. Le onde di Rayleigh sono generate dall'iterazione tra le 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 corrisponde 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.



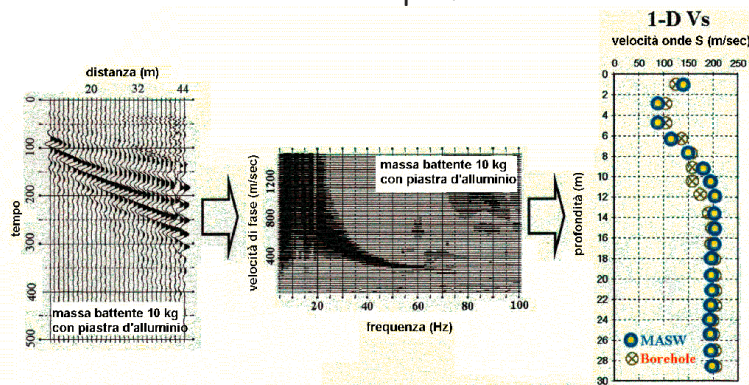
L'illustrazione mostra le proprietà di dispersione delle onde di superficie. Le componenti a bassa frequenza (lunghezze d'onda maggiori), sono caratterizzate da forte energia e grande capacità di penetrazione, mentre le componenti ad alta frequenza (lunghezze d'onda corte) hanno meno

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 oggetto del presente lavoro è stata eseguita utilizzando un Sismografo multicanale a trasmissione digitale della Sara Electronic Instruments dotato delle seguenti caratteristiche tecniche:

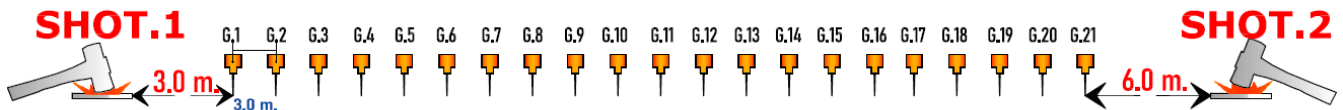
| Technical Features | |
|--------------------------------|---|
| No. of Bits | 24 (144dB dynamic range) |
| A/D Converter Type: | SIGMA DELTA |
| Converter Input Span: | 5 V |
| S/N Ratio @ 500 SPS | 140 dB |
| S/N Ratio @ 5000 SPS | 130 dB |
| S/N Ratio @ 20000 SPS | 105 dB |
| Input Type: | Unipolar Differential |
| Input Impedance: | 20 k Ω |
| Common Mode Rejection: | > 80 dB |
| Low Pass Filter: | DC-400 Hz |
| Filtri (IIR o 0 Phase): | Low pass, High pass, notch and customizable |
| Max Sampling Lag Between Ch.: | < 30 ppm |
| Max Error Between Trigger Ch.: | < 0.2 μ s |
| Ch. Memory: | 128000 bytes |
| Maximum Samples: | 40000 |
| Sampling Rates: | 200 Hz to 20000 Hz |

Per la presente indagine si è adottata una frequenza di campionamento pari a 2000 Hz e una durata del campionamento di 1,0 secondi. Per l'acquisizione delle onde di superficie i sensori

sono costituiti da una catena di 21 geofoni verticali Geo-space GS-11D da 4.5Hz 4000 ohms equispaziati con interdistanza geofonica di 3,0 mt.

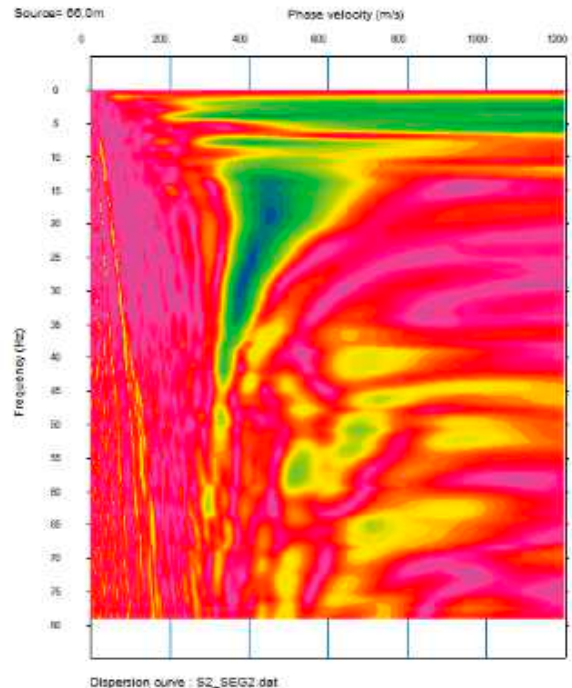
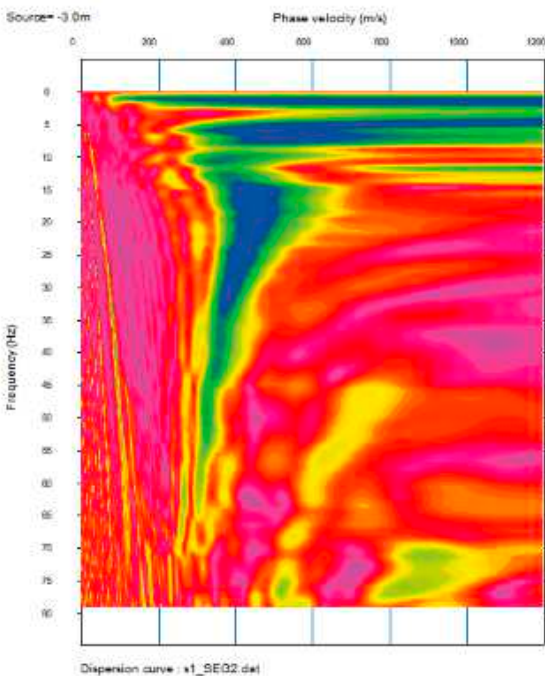
I fondamenti teorici della metodologia MASW fanno riferimento ad un semispazio stratificato con strati paralleli e orizzontali; pertanto una limitazione alla sua applicabilità potrebbe essere rappresentata dalla presenza di pendenze significative superiori a 15°-20° sia della topografia che delle diverse 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 di 10 energizzazioni con le tracce che sono state poi mediate al fine di cercare di attenuare nei sensori distali il rumore presente nei pressi dell'area industriale.

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



Curva di Dispersione - Shot 1

Curva di Dispersione - Shot 2



Le curve di dispersione così ottenute, riportate nella precedente figura, risultano fra loro simili confermando quindi l'applicabilità della metodologia MASW; il processo di inversione è stato eseguito sulla curva di dispersione ottenuta dallo Shot 1, posto ad una distanza di 3,0 metri dal geofono G.1, meglio definita nell'intervallo delle basse frequenze 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 un martello pesante del peso di 8 Kg lanciato verticalmente, con forza, su una piastra orizzontale 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. Lo stendimento sismico è stato eseguito all'interno del perimetro della proprietà sul margine occidentale dello stesso, ed i sensori sono stati collocati direttamente sul terreno.

2.4 Classificazione dei terreni di fondazione (V_s equivalente)

L'esecuzione dell'indagine sismica con metodologia MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) consente di determinare i valori della velocità di propagazione delle onde di taglio nei terreni costituenti il sottosuolo investigato, così come riportato nel paragrafo 3.2.2 delle N.T.C. 2018 "D.D.L. 17/01/2018".

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.

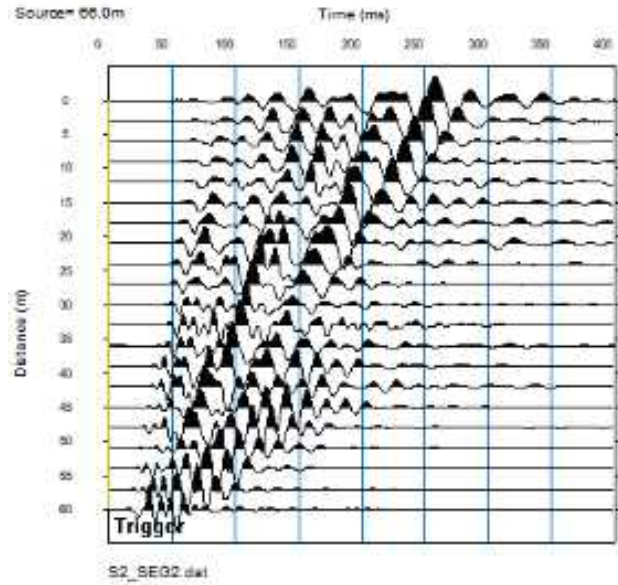
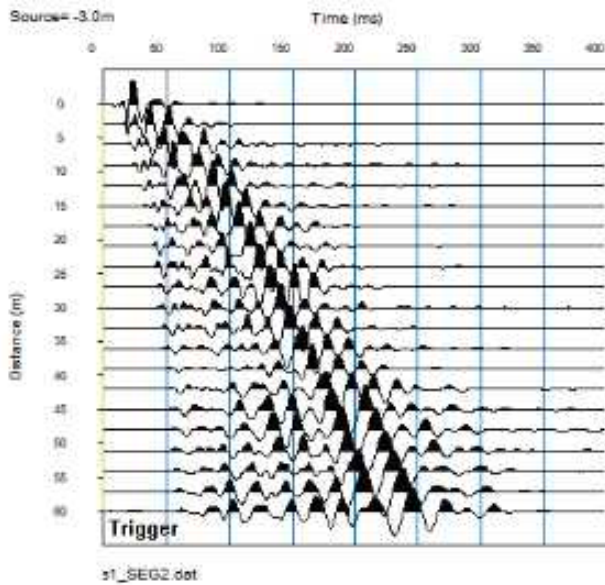
Con V_s equivalente si definisce la velocità media di propagazione delle onde di taglio, il cui calcolo viene effettuato utilizzando la seguente espressione:

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

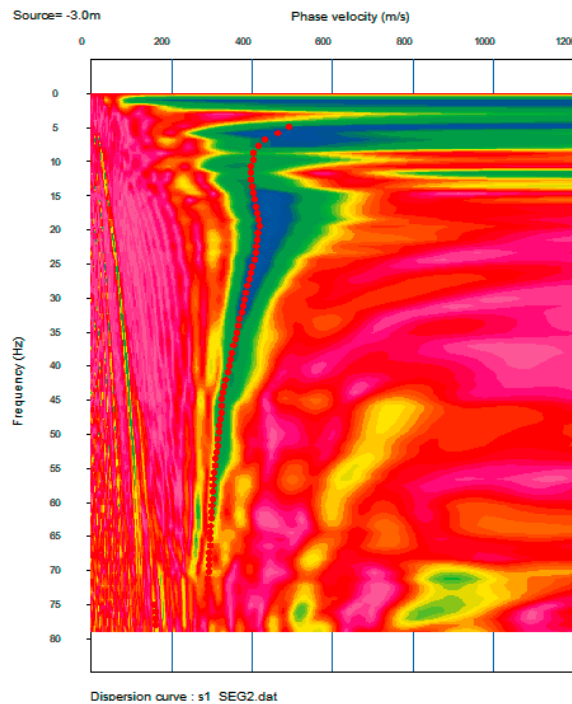
Dove h_i e V_i indicano lo spessore (metri) e la velocità delle onde di taglio (m/sec) dello strato i -esimo, per un totale di N strati presenti nella profondità H . Le diverse fasi di acquisizione ed elaborazione dei dati sismici hanno portato alla creazione dei seguenti elaborati:

Sismogramma - Shot.1

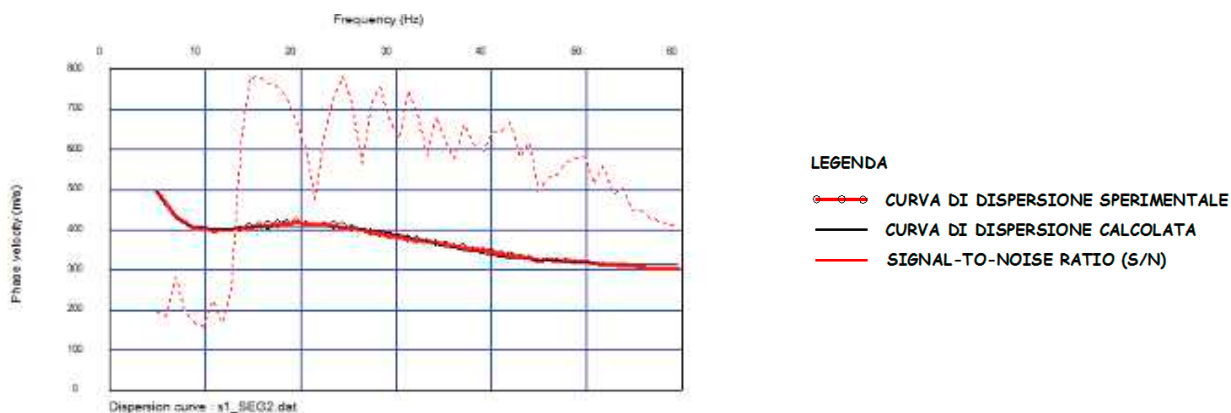
Sismogramma - Shot.2



Spettro di velocità e curva di dispersione misurata - Shot.1



Curva di dispersione sperimentale e calcolata - Shot. 1



Per depositi di terreno con profondità H del substrato sismico ($V_{s2} \geq 800$ m/sec) superiore a 30 metri, la velocità equivalente delle onde di taglio V_{seq} è definita dal parametro V_{s30} , ottenuto ponendo $H=30$ m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

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 sottosuolo descritte al paragrafo 3.2.2 delle NTC. 2018 sono riassunti nella tabella di seguito riportata:

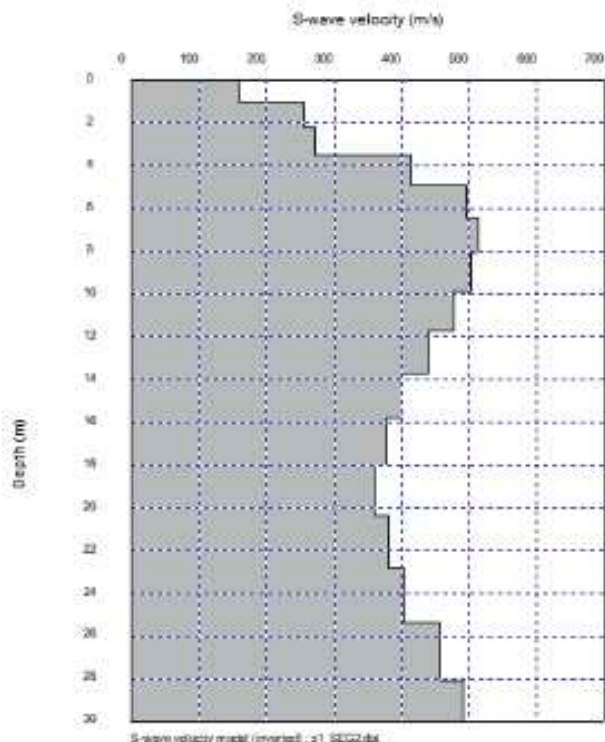
| Profondità [m] | | Spessore [m] | V_s [m/s] | Densità [kN/m ³] | VS_EQ = (0-30 m) [m/s] | Categoria di suolo |
|----------------|---------|--------------|-------------|------------------------------|------------------------|--------------------|
| 0.00 | ÷ 1.05 | 1.05 | 160 | 17.43 | | |
| 1.05 | ÷ 2.22 | 1.17 | 255 | 17.76 | | |
| 2.22 | ÷ 3.51 | 1.29 | 270 | 17.81 | | |
| 3.51 | ÷ 4.91 | 1.40 | 415 | 18.31 | | |
| 4.91 | ÷ 6.43 | 1.52 | 496 | 18.57 | | |
| 6.43 | ÷ 8.07 | 1.64 | 514 | 18.63 | | |
| 8.07 | ÷ 9.82 | 1.75 | 502 | 18.60 | | |
| 9.82 | ÷ 11.70 | 1.87 | 477 | 18.51 | | |
| 11.70 | ÷ 13.68 | 1.99 | 439 | 18.39 | | |
| 13.68 | ÷ 15.79 | 2.11 | 401 | 18.26 | | |
| 15.79 | ÷ 18.01 | 2.22 | 379 | 18.18 | | |
| 18.01 | ÷ 20.35 | 2.34 | 361 | 18.12 | | |
| 20.35 | ÷ 22.81 | 2.46 | 380 | 18.19 | | |
| 22.81 | ÷ 25.38 | 2.57 | 402 | 18.26 | | |
| 25.38 | ÷ 28.07 | 2.69 | 457 | 18.45 | | |
| 28.07 | ÷ 30.00 | 1.93 | 491 | 18.56 | | |

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 NTC-2018 di seguito stralciata.

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

Si rimanda comunque al tecnico incaricato per la scelta della metodologia da utilizzare per la valutazione degli effetti sismici di sito (approccio semplificato e/o RSL) da eseguirsi anche sulla base delle condizioni stratigrafiche e delle caratteristiche dei terreni costituenti la locale successione stratigrafica.

Profilo verticale delle onde di taglio - Shot.1



Dal profilo verticale monodimensionale delle V_s di lato riportato si evince la presenza di terreni caratterizzati da basse velocità di propagazione delle onde di taglio fino alla profondità di circa 4 metri dal p.c.. Oltre tale quota si assiste ad un graduale incremento del valore di V_s , fino alla profondità di circa 14 metri, per poi decrescere leggermente fino a raggiungere una lieve inversione di velocità nell'intervallo 16-23 metri. Dopo quest'ultima quota il profilo mostra un andamento costantemente crescente con la profondità.

Sassoferrato, 24 maggio 2021

SERVIZI SISMICI S.n.c.
di Donnini A. & Mantoni F.
Via Piano di Frassineta, 109
60041 - SASSOFERRATO (AN)
Cod. Fisc. e P.IVA: 02995830420
N. Rea: AN-192227