



REGIONE UMBRIA

Servizio geologico programmazione degli interventi sul rischio idrogeologico e gestione delle competenze regionali in materia di acque pubbliche.

Indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche per la realizzazione di un edificio destinato a CAPI regionale e per la sistemazione di una serie di moduli abitativi all' interno dell'area del Centro di Protezione Civile del Comune di Foligno (PG).

RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

DOTT. GEOL. GIANLUIGI SIMONE

1.Premessa

Nell'ambito della realizzazione di un edificio destinato a CAPI regionale e per la sistemazione di una serie di moduli abitativi all'interno dell'area del centro di Protezione Civile del Comune di Foligno, si sono condotte delle indagini geognostiche, geotecniche e geofisiche. L'area è ubicata in loc. Fornaci del Comune di Foligno all'interno della zona adibita ad attrezzature di servizi per la Protezione Civile, raggiungibile tramite le vie di comunicazione Via Romana Vecchia e Via degli Anastasi.

Il programma di indagine elaborato dal Servizio Geologico e gestione delle competenze regionali in materia di acque pubbliche congiuntamente a tecnici del Servizio di Protezione Civile, ha previsto:

- Una Campagna geognostica con sondaggi a carotaggio continuo (n. 3 sondaggi con profondità variabili da 20 metri a 6 m.);
- Delle Prove S.P.T. in foro n. 7 (con punta chiusa);
- Delle Prove penetrometriche statiche CPT con punta elettrica (n. 4 CPT con profondità media di 7,0 m. caduna);
- Delle prove geotecniche di laboratorio (prove edometriche, compressione ad espansione laterale libera, prove triassiali del tipo U.U. e C.I.D. ecc)
- Una campagna geofisica con sismica a rifrazione in onde P (n.3 stendimenti di lunghezza variabile tra 188 m. e 92 m.).

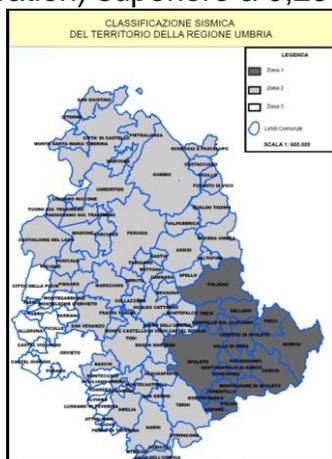
La Regione Umbria ha quindi provveduto all'esecuzione delle indagini sopradescritte, affidandone la realizzazione alla ditta Soil Test s.r.l. di Caserta con aggiudicazione avvenuta tramite D.D, n. 9915/2018.

Si rileva che il programma iniziale delle indagini inserite nel progetto approvato con D.D. 7902/2018 ha subito delle modifiche; in quanto durante l'esecuzione delle indagini stesse sono emersi degli aspetti significativi riguardanti la variabilità geologica del sottosuolo. Ricordato che l'area in passato è stata coinvolta in attività antropiche che hanno comportato l'esecuzione di scavi e colmate con materiali di diversa origine, si sono integrate le indagini geognostiche e geofisiche incrementando il numero dei sondaggi e dei stendimenti in modo da definire con maggiore dettaglio la complessità litologica dell'area.

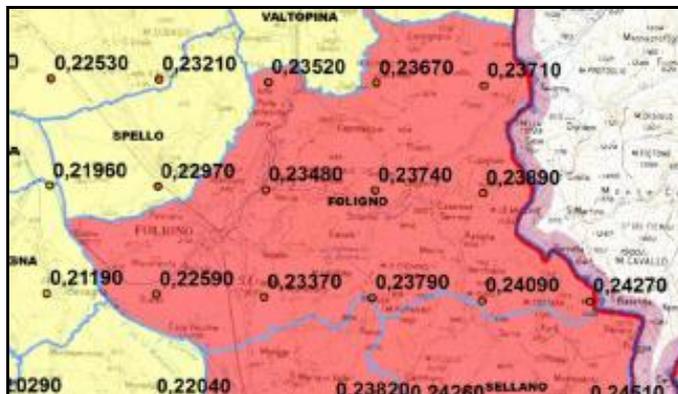
La ditta Soil test ha provveduto in tempo utile con le scadenze di consegna dei lavori, alla trasmissione degli elaborati attinenti alle indagini in campo e alle prove di laboratorio sui campioni di terreno. Gli elaborati della Soil test sono allegati alla seguente relazione.

2.Pericolosità sismica di base

In base alla classificazione sismica regionale approvata con D.G.R. 1111 del 18 settembre 2012 il Comune di Foligno è classificato come zona 1 che rappresenta una alta sismicità con PGA (Peak Ground Acceleration) superiore a 0,25 g.



Secondo la carta di pericolosità sismica della Regione Umbria espressa in termini di accelerazione massima al suolo (ag) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, visto l'OPCM N. 3519 del 28/04/2006, all. 1b e le Norme Tecniche per le costruzioni D.M. 14/01/2008 all. B i valori ag puntuali di Foligno considerando un tempo di ritorno di 475 anni equivalgono a 0,23 g.

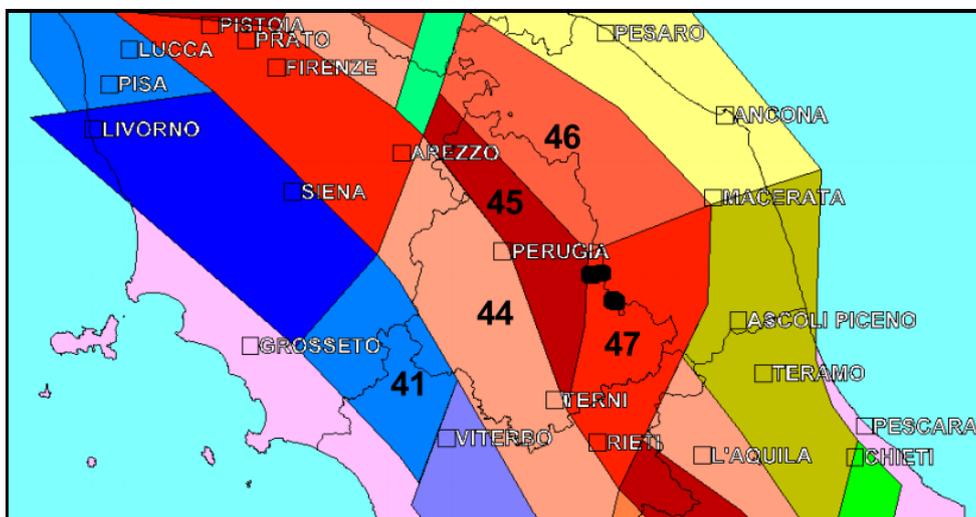


Tra i terremoti storici più importanti verificatesi tra il 1800 ed il 1900 avente come epicentro il territorio di Foligno, si ricorda il catastrofico sisma del 13 gennaio 1832 del VIII-IX grado della scala Mercalli che comportò 96 vittime.

27-1-1831	VII	Foligno	I.N.G.		
13-1-1832	VIII-IX	Foligno	Arch. S.Pietro		96 vittime
19-1-1832	VII	Foligno	I.N.G.		
10-2-1832	VII-VIII	Foligno	I.N.G.		

Dal 1900 ad oggi in Italia si sono avuti circa 30 terremoti molto forti con magnitudo (M_w) > 5,8, alcuni dei quali catastrofici. Tra questi nell'elenco redatto dall'INGV risulta anche quello del 1997 verificatosi in Umbria-Marche con intensità di IX della scala Mercalli e Magnitudo $M_w = 6.0$.

Il Comune di Foligno che appartiene alla fascia sismogenetica 45 fa parte da un punto di vista tettonica di una zona intermedia tra quella adriatica in compressione e quella tirrenica in distensione. I meccanismi di rottura attesi sono di tipo misto, con prevalenza di dip-slip.

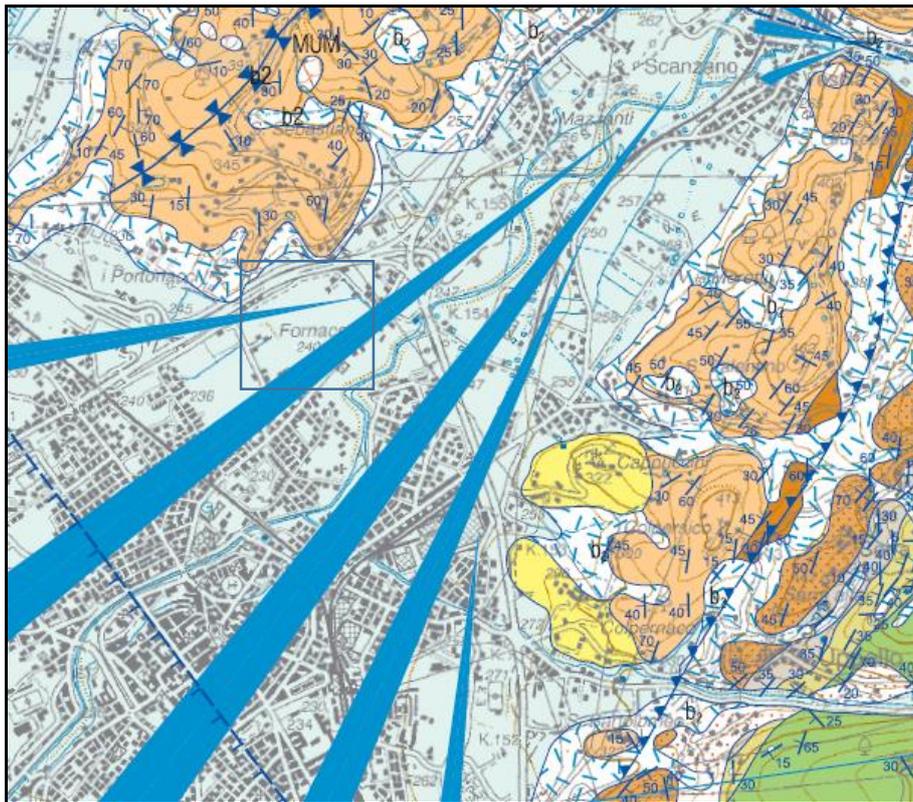


La zonazione sismogenetica più recente, la ZS9, assegna quasi tutto il territorio alla zona 919 (Appennino Umbro), che è contraddistinta da uno strato sismogenetico compreso tra 8 e 12 Km di profondità e da un prevalente meccanismo di fagliazione di tipo normale con valori massimi di magnitudo attesi di 6,14.

3. Inquadramento geologico e geomorfologico regionale

L'area oggetto di studio che è situata in loc. Fornaci del Comune di Foligno è posta ad una quota altimetrica di 240 s.l.m. e si presenta dal punto di vista morfologico come un'area pianeggiante inserita nel contesto della Valle Umbra.

Tale valle è individuata geologicamente come un bacino di origine estensionale, riempito da depositi continentali Plio/Pleistocenici. I depositi alluvionali della Valle Umbra sono delimitati ad occidente da una serie di rilievi collinari, mentre ad est sono confinati dai rilievi calcarei della dorsale appenninica. Sempre ad est il contatto con i rilievi calcarei è contrassegnato da un set di faglie orientate NW-SE a carattere distensivo. L'attività tettonica ha ribassato la parte occidentale innescando un'erosione regressiva dei corsi d'acqua che drenavano verso la Valle Umbra, consentendo così di sviluppare la formazione di conoidi alluvionali. I conoidi che sfociano nella Valle Umbra sulla base dei rilievi morfologici, risultano configurati secondo pendenze di 6-7 °; c'è comunque da rilevare che nella situazione morfoclimatica attuale l'attività degli stessi conoidi appare del tutto insignificante a parte dei fenomeni riscontrabili in ambiti molto localizzati.

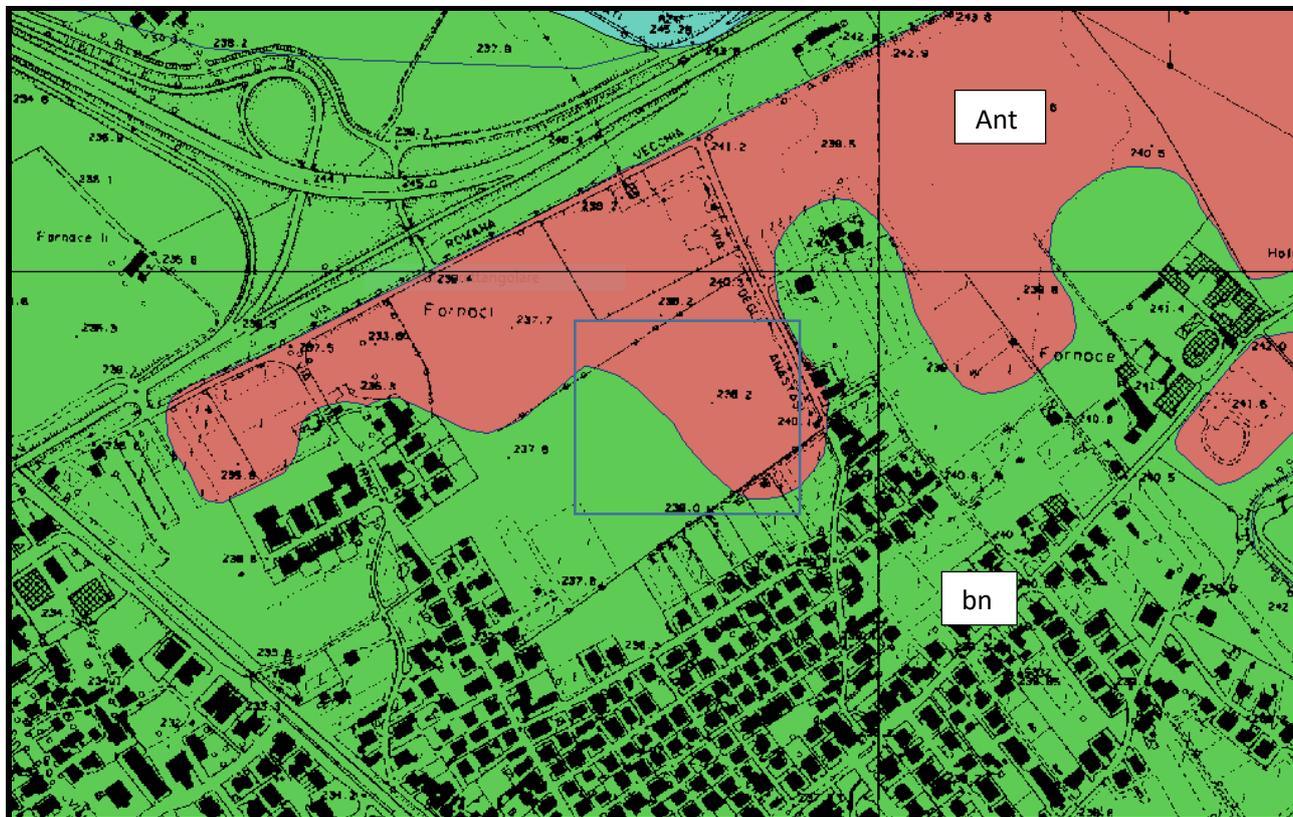


Stralcio della Cartografia geologica Nazionale

Progetto CARG – foglio 324

I depositi di origine alluvionale che sono affioranti nell'area d'interesse sono stati cartografati nella carta Geologica regionale sez. c.t.r. 324/010 come alluvioni recenti in rapporto con la morfologia e la dinamica fluviale attuale. La composizione litologica è caratterizzata da rapide variazioni laterali e verticali; in prevalenza affiorano limi sabbiosi e limi argillosi con corpi lentiformi di ghiaie sabbiose. La Carta Geologica evidenzia anche la presenza di depositi antropici che occupano delle estese superfici. Durante l'esecuzione dell'attuale

campagna geognostica è stata investigata la coltre di riporto accertando dei spessori compresi tra 5,5 m. e 9,0 m. In passato l'area è stata soggetta da un'attività mineraria concentrata sull'estrazione di materiale da cava argilloso per la produzione di laterizi. L'attività ha rilasciato delle superficie di scavo che sono state poi successivamente colmate con terre e residui di cotto.



Stralcio della Carta geologica regionale sezione 324/010

Ant = Accumoli antropici

bn = depositi alluvionali recenti.

Le peculiarità geomorfologiche che contraddistinguono l'ambiente di pianura alluvionale, esentono il territorio in oggetto da fenomeni di dissesto gravitativo sia in atto che allo stato latente. Ciò risulta confermato anche dall'esame della cartografia (IFFI) Inventario dei fenomeni franosi visionabile on-line tramite il sito web dell'ISPRA (Istituto Superiore di Protezione e Ricerca Ambientale).



CARTOGRAFIA INVENTARIO DEI FENOMENI FRANOSI (IFFI)

4. Caratteristiche idrogeologiche

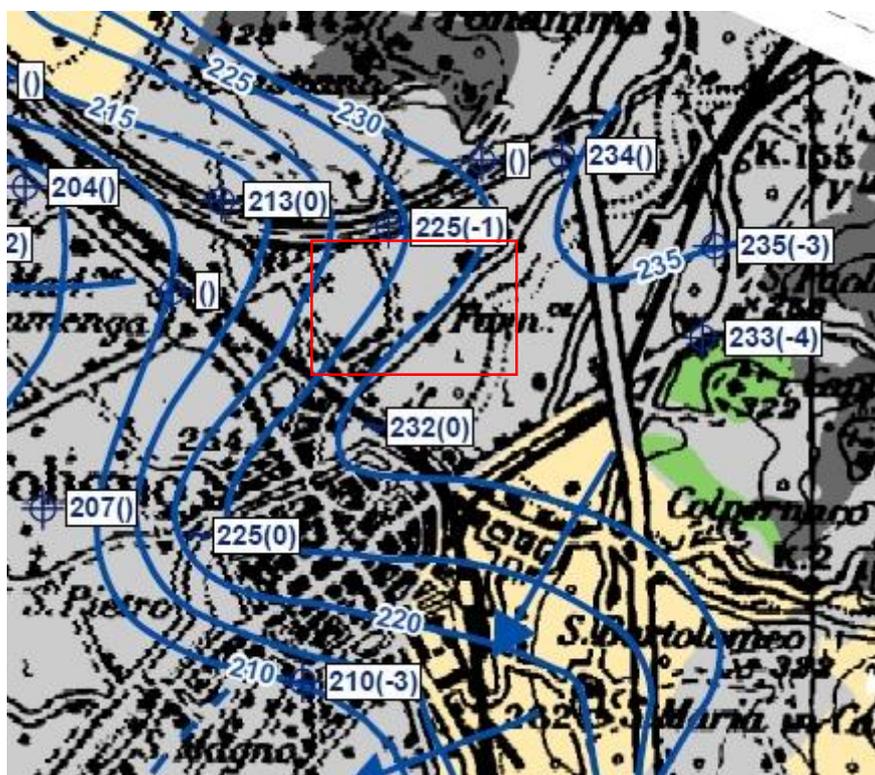
L'acquifero della Valle Umbra rappresenta il più importante acquifero alluvionale della Regione, con un'estensione di circa 118 kmq.

Con riferimento alla piana di Foligno, l'acquifero occupa i depositi alluvionali altamente permeabili, caratterizzati comunque da disomogeneità laterali e geometrie lenticolari, che raggiungono uno spessore di oltre 150 m e si sovrappongono a depositi fluvio-lacustri prevalentemente limo-argillosi (Unità di Bevagna), che rappresentano il basamento impermeabile dell'acquifero.

Per l'area di Foligno la "Carta di Vulnerabilità degli Acquiferi" a scala 1:25.000, evidenzia il generale elevato grado di vulnerabilità della falda freatica, in particolare nelle aree contraddistinte da una rilevante produttività dell'acquifero stesso.

La Carta Idrogeologica della Valle Umbra eseguita dal Servizio geologico Regionale, in corrispondenza dell'area in oggetto, identifica la presenza di un acquitardo olocenico e delle isopieze con quota s.l.m. tra 230 e 220 m.

La direzione di flusso dell'acquifero olocenico è orientata da est verso ovest.



Stralcio della Carta Idrogeologica della Valle Umbra

I dati indicati nella carta idrogeologica che indicano nell'area una profondità del livello della falda acquifera tra 10 e 20 m., concordano con la profondità dell'acqua misurata direttamente nei fori di sondaggio S1 e S2 della lunghezza di 20 m. eseguiti nel dicembre 2018, in corrispondenza del lotto di terreno adibito alla costruzione di un CAPI Regionale. Dalle misure eseguite tramite l'utilizzo di un freatimetro è emersa una profondità del livello piezometrico di 14 m. dal piano camp.

Per quanto attiene all'aspetto idraulico, tenuto conto delle indicazioni della tavola PB14 Topino del PAI, relativa al progetto di 1 aggiornamento delle fasce idrauliche sul reticolo secondario e minore, si è accertato che l'area in studio è esterna alle fasce di esondabilità individuate per il fiume Topino.

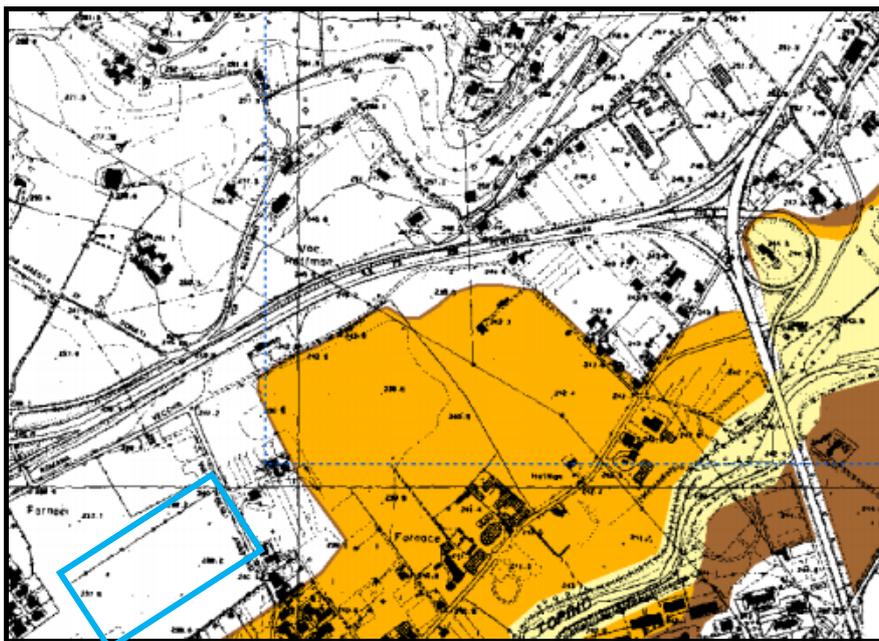


Tavola PB14 Topino – Autorità di Bacino del Tevere- Dissesto Idraulico

5. Indagini pregresse

La programmazione delle indagini geognostiche e geofisiche svolte nel dicembre-gennaio 2019, si è resa possibile anche sulla base di conoscenze pregresse dell'area raccolte dalla banca dei dati geognostici e geofisici predisposta dal Servizio geologico della Regione Umbria.

Di maggiore interesse sono risultate delle indagini svolte nel 1999, che hanno riguardato dei lotti di terreno limitrofi a quello d'interesse, consistenti in sondaggi a carotaggio continuo della lunghezza tra 20 e 25 m. condizionati per l'esecuzione di prove geofisiche Down Hole (DH) e Cross Hole (CH).



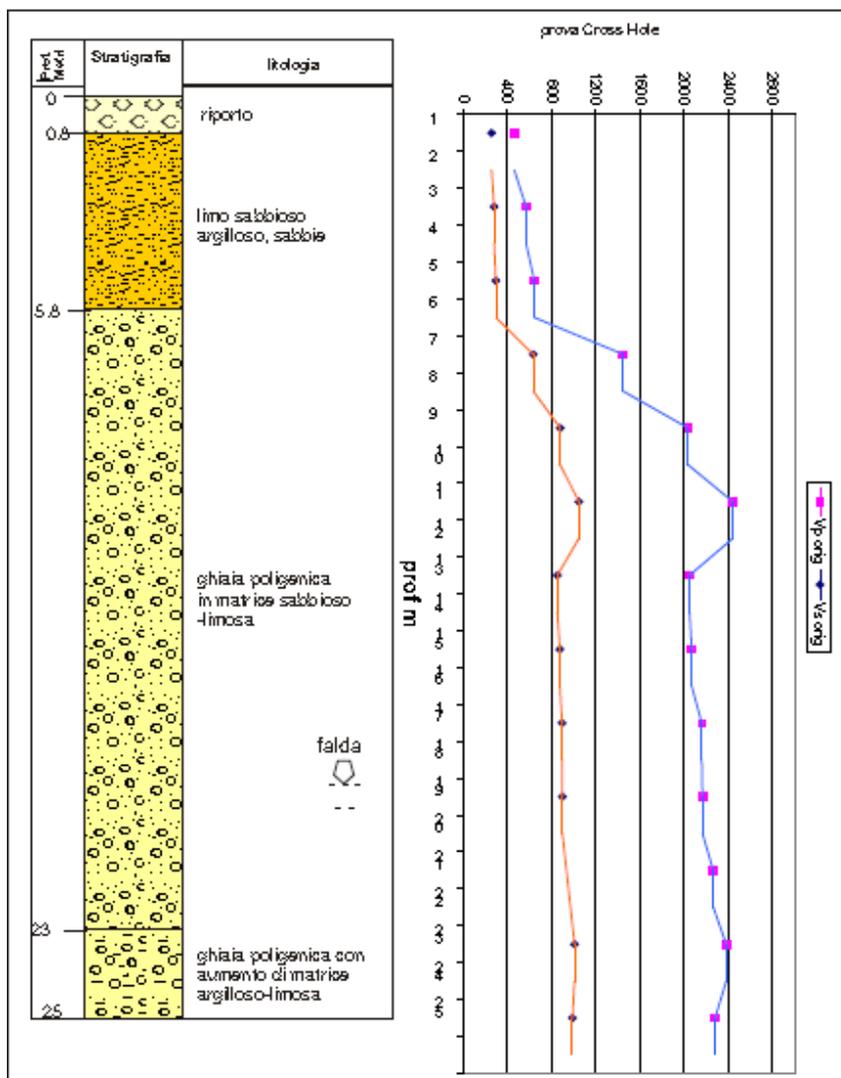
Ubicazione delle indagini pregresse

La stratigrafia del sottosuolo che emerge dall'analisi dei dati pregressi conferma la presenza di depositi di origine alluvionale descritti da una copertura superficiale di natura prevalentemente limo argilloso con spessori variabili generalmente tra i 5 ed i 7 m., sovrastante delle ghiaie poligeniche in matrice sabbiosa. Lo spessore delle ghiaie che è stato accertato fino alla profondità di 25 m. (fine sondaggio), localmente può risultare intercalato a delle lenti limo argillose di qualche metro di spessore. Per quanto attiene alla copertura superficiale può sussistere anche l'affioramento di materiale di origine antropica, messo in posto per il riempimento di vecchie fosse di cava.

I dati geofisici delle indagini DH e CH attestano la presenza di un bed rock sismico con velocità delle onde trasversali $V_s > 800$ m/sec in corrispondenza delle ghiaie poligeniche maggiormente cementate alla profondità di circa 13 m. La velocità delle onde longitudinali V_p all'interno del sub strato sismico è > 2000 m/sec, pertanto si può desumere che con esclusivo riferimento alla zona di studio possa valere la relazione $V_s = V_p/2,5$.

La profondità della falda acquifera nei sondaggi pregressi è risultata mediamente di 18 m. dal piano camp.

sond. FolCH2 - loc. Fornaci - Foligno 26/10/1999



Elaborato attinente ad un'indagine CH

6. Indagini nuove

Le indagini geotecniche e geognostiche previste da programma sono state eseguite nel dicembre 2018 ed hanno subito delle modifiche ed integrazioni in corso d'opera per approfondire alcuni aspetti attinenti alle caratteristiche litostratigrafiche e geomeccaniche dei litotipi che saranno influenzati dai carichi delle strutture di progetto.

Le integrazioni più importanti riguardano l'esecuzione del sondaggio S3 della profondità di m.6, posizionato al centro rispetto ai sondaggi S1 e S2; l'esecuzione di n. 2 ulteriori stendimenti sismici a rifrazione in onde Vp (TS2 e TS3) trasversali e paralleli alla linea sismica TS1 di maggiore lunghezza (188 m.).

Si è inoltre ritenuto opportuno effettuare dei pre scavi eseguiti a mano, della profondità di 0,7 m. prima di procedere alle attività di perforazione geognostica e penetrometrica.

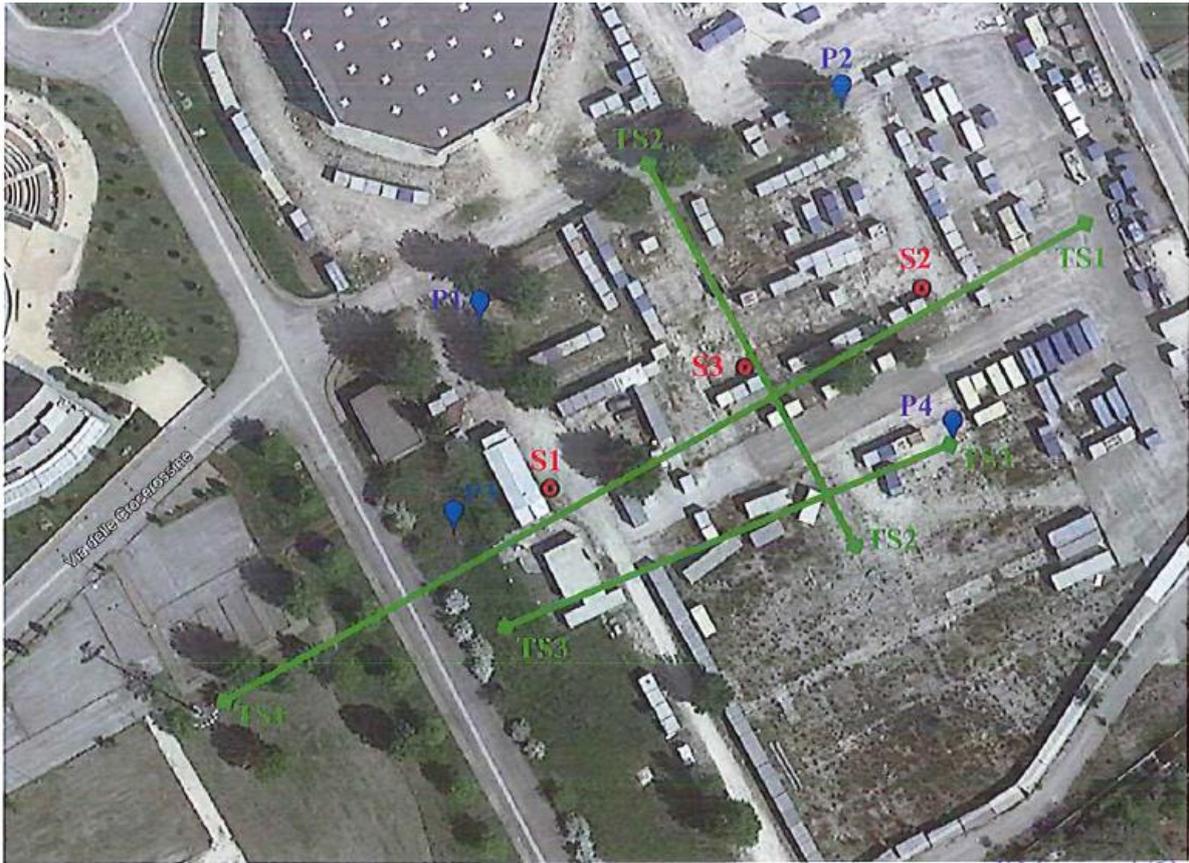
Su complessivi n. 7 pre scavi è stato possibile riscontrare in 2 casi, la presenza di sottoservizi che sarebbero stati sicuramente intercettati dalle sonde di avanzamento, subendo dei danneggiamenti e provocando delle interruzioni di linea, qualora non si fossero fatti i dovuti accertamenti preliminari.

I sondaggi a carotaggio continuo della profondità di 20 m. dal p.c. hanno confermato le caratteristiche stratigrafiche del sottosuolo derivanti dalle conoscenze precedenti, specificando nel dettaglio le caratteristiche della copertura fine sovrastantemente adagiata sul materasso alluvionale delle ghiaie poligeniche. Il tetto delle ghiaie si rinviene mediamente ad una quota di - 7 m. dal p.c. queste poi proseguono in profondità fino a -20 m. che rappresenta la fine del sondaggio, l'unica intercalazione riscontrata è quella dei limi sabbiosi intercettati tra i -15 e -16 m. dal p.c. rinvenuti in entrambi i sondaggi. Con riferimento invece alla copertura superficiale, nel merito del sondaggio S2, questa è attribuibile con certezza ad un deposito di materiale riportato considerata l'inclusione di resti di cotto di colore rossastro. Da sottolineare anche la presenza di materiale torboso scuro dello spessore di 0,5 m. posto sopra al tetto delle ghiaie, dotato di una consistenza estremamente soffice. L'intera area è contraddistinta in superficie da un manto di stabilizzato avente lo spessore di 1 m.

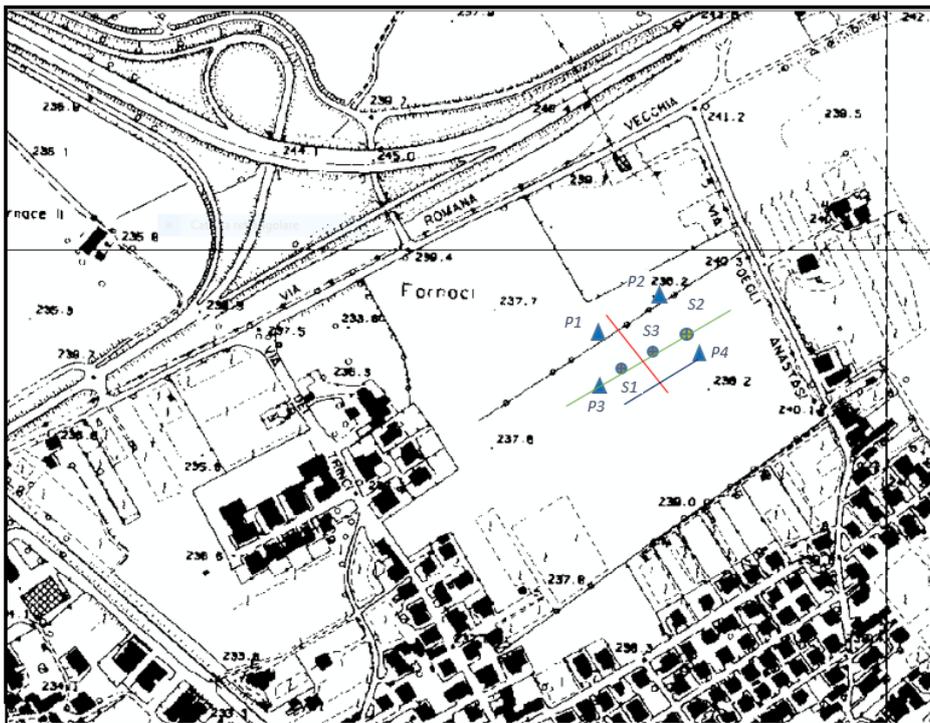
La misura della quota della falda acquifera, che è stata eseguita alla fine di ogni sondaggio, ha stimato una profondità di 14 m. dal p.c. del livello piezometrico.

Le n. 4 indagini penetrometriche CPT con punta elettrica eseguite ai vertici della struttura di progetto con pianta rettangolare, hanno permesso di stimare uno spessore della copertura limo argillosa estremamente variabile dai 5,0 m. (prova CPT1) ai 9,0 m. (prova CPT4). Tale variabilità della quota del tetto delle ghiaie rispetto al piano camp. ha giustificato l'integrazione con indagini sismiche, che consentissero tramite dei profili tomografici di osservare arealmente l'andamento delle discontinuità litologiche.

Con riferimento agli elaborati attinenti alla linea sismica TS1 si evince che la copertura limo argilloso con o senza materiale di riporto, contraddistinta da velocità delle onde Vp < 1,0 km/sec presenta degli spessori variabili lungo l'allineamento, che possono oscillare tra i 5 m. ed i 10 m. Mentre il substrato sismico con Vp > 2,0 km/sec presenta una profondità variabile tra -15 m. dal p.c. a -20,0 m. Con riferimento alla linea sismica TS2 posta in posizione trasversale a TS1 lo spessore della coltre limo argillosa è variabile tra i 5,5 m. ed i 9,0 m. e la profondità del substrato sismico oscilla tra - 14 m. dal p.c. e - 19 m. Per ultimo lungo l'allineamento TS3 parallelo a TS1, emerge uno spessore della coltre compreso tra 6 m. e 10 m. ed una profondità del basamento sismico tra - 15 m. e -19 m. dal p.c.



- S** Sondaggi geognostici a carotaggio continuo
- P** Prove penetrometriche CPTE
- TS** Tomografie sismiche

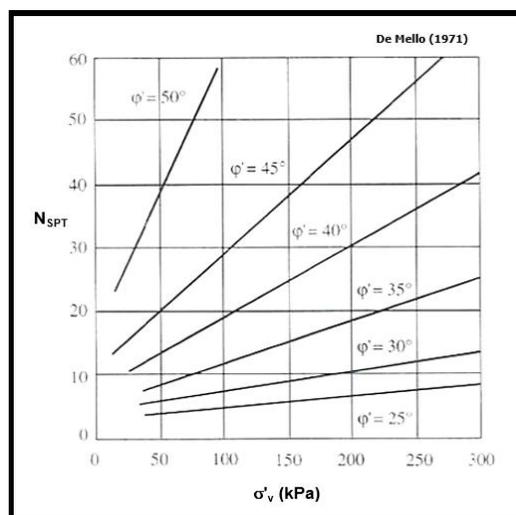


Ubicazioni Delle Indagini Geognostiche, Geotecniche E Geofisiche In Loc. Fornaci Del Comune Di Foligno.

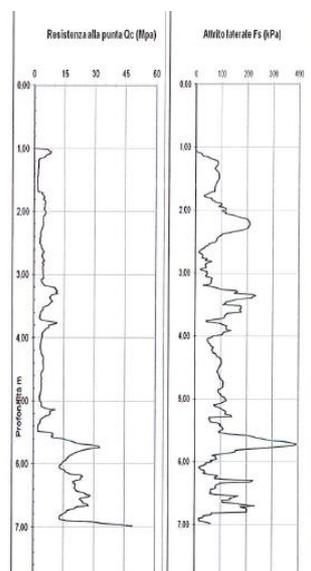
7. Considerazioni geotecniche e parametri sismici

Il contributo delle indagini geotecniche che sono state effettuate in sito e precisamente le prove S.P.T. (n. 7), eseguite in foro durante la perforazione geognostica, insieme a quello delle prove penetrometriche statiche con punta elettrica (n. 4); è stato quello di fornire indirettamente una parametrizzazione geomeccanica dei materiali terrosi oggetto delle indagini. Nel caso delle ghiaie poligeniche incoerenti, la prova S.P.T. in corrispondenza dei punti di sondaggio S1 e S2 è stata basilare per appurare lo stato di addensamento che aumenta con la profondità, come si evince dal numero di colpi della SPT che varia tra 25 e 50 in corrispondenza del tetto delle ghiaie e si incrementa raggiungendo un numero di colpi > 60 alla quota di -11,50 dal p.c.

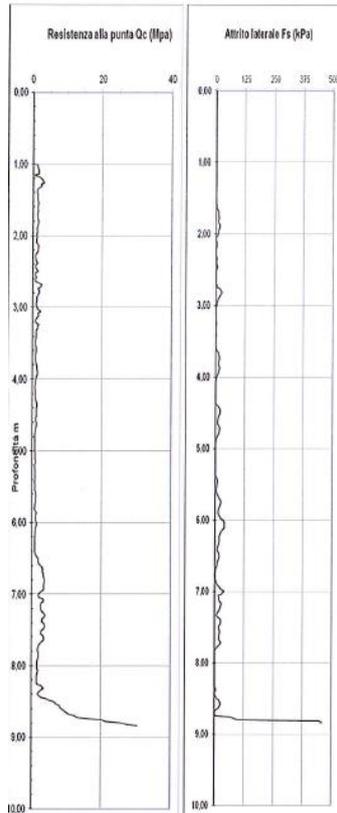
Utilizzando il diagramma di correlazione (De Mello 1971) che mette in relazione la tensione litostatica $\delta v'$ con il num. colpi N_{SPT} si ricava, adottando i valori più cautelativi $\phi' = 40^\circ$ angolo di attrito interno (Ghiaie poligeniche).



Le indagini penetrometriche statiche hanno evidenziato l'estrema variabilità geotecnica della copertura limo argillosa posta stratigraficamente sopra le ghiaie poligeniche, che è localmente anche rappresentata da del materiale antropico. Le maggiori criticità si sono riscontrate nell'indagine CPT4 dove la coltre presenta degli spessori più considerevoli (8,90 m.); si sono osservati ampi tratti dove la resistenza laterale (f_s) è praticamente nulla e la resistenza di punta (q_c) ad esclusione di brevissimi tratti è decisamente contenuta < 15 Kg/cmq.



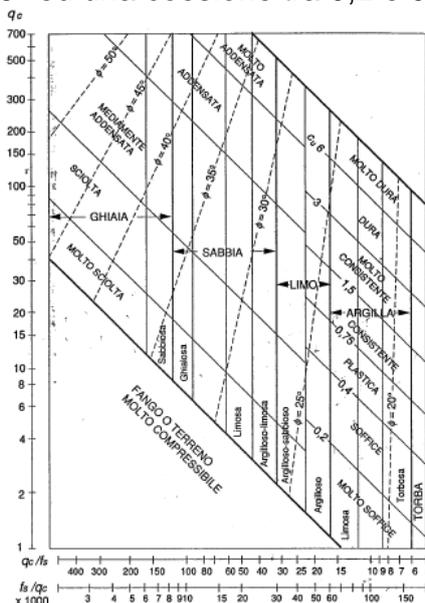
Prova CPT2 fino alla profondità di 7 m.



Prova CPT4 (fino alla prof. di 8,9 m.)

Le caratteristiche geomeccaniche della coltre superficiale migliorano decisamente in corrispondenza delle altre indagini penetrometriche CPT1, CPT2 e CPT3.

Il diagramma sottoriportato, di correlazione tra la resistenza alla punta q_c e la resistenza laterale f_s (valori espressi in Kg/cm²) esprime delle indicazioni sulle caratteristiche granulometriche del materiale attraversato dall'indagine e sulle condizioni di addensamento dello stesso materiale, con l'aggiunta di poter estrapolare degli intervalli di parametrizzazione geomeccanica. Emerge come i terreni indagati con l'indagine CPT4 ricadano quasi sempre nell'area vuota del grafico indicata come fango o terreno molto compressibile. In corrispondenza delle altre prove CPT dove si assiste alla prevalenza di terreni limosi plastici con valori di q_c e di f_s più elevati, dal grafico si estrapolano degli angoli di attrito ϕ' variabili tra 20° e 25° ed una coesione tra 0,2 e 0,5 Kg/cm².



Il materiale limo argilloso è stato anche oggetto di prove di laboratorio sui campioni di terreno prelevati alle profondità di m. 3 (campione C1) e di m. 5 (campione C2) dal piano camp. durante l'esplorazione a carotaggio continuo del sondaggio S1.

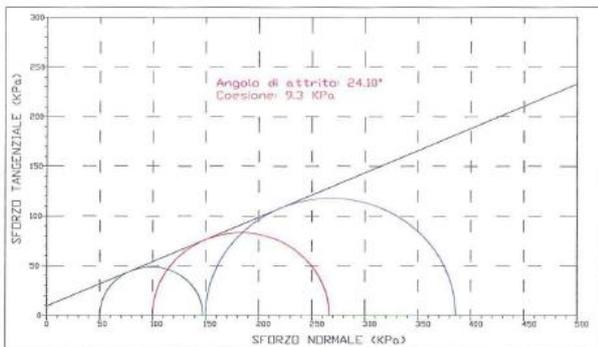
La prova triassiale CD (consolidata e drenata del campione C1) come da elaborati allegati, ha ottenuto i seguenti parametri geomeccanici:

angolo di attrito interno $\phi' = 24,10^\circ$

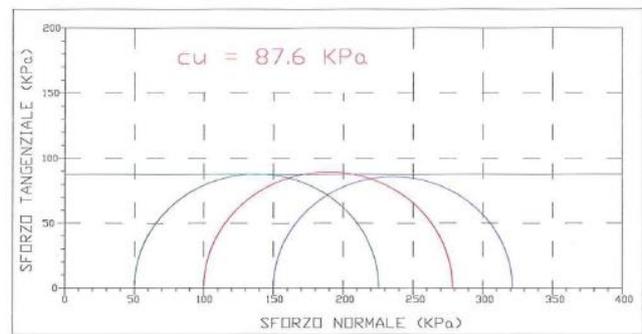
coesione $c' = 9,3 \text{ Kpa}$.

Con riferimento invece alla prova triassiale UU (non consolidata e non drenata) del campione C2 si è ottenuta una coesione $C_u = 87,6 \text{ KPa}$.

Alla profondità di 15 m. dal p.c. del S1, sono stati campionati dei limi argillosi intervallati alle ghiaie poligeniche, per essere sottoposti ad indagini di laboratorio. Queste hanno riguardato una prova ad espansione laterale libera (ELL) ed una prova edometrica. La prova di compressione ELL ha determinato uno sforzo massimo di deformazione pari a $141,3 \text{ KN/mq}$. La coesione non drenata si ricava approssimativamente con la relazione sforzo $\max/2$, ottenendo un C_u pari a $0,7 \text{ kg/cmq}$.



Prova triassiale CD (camp. C1)

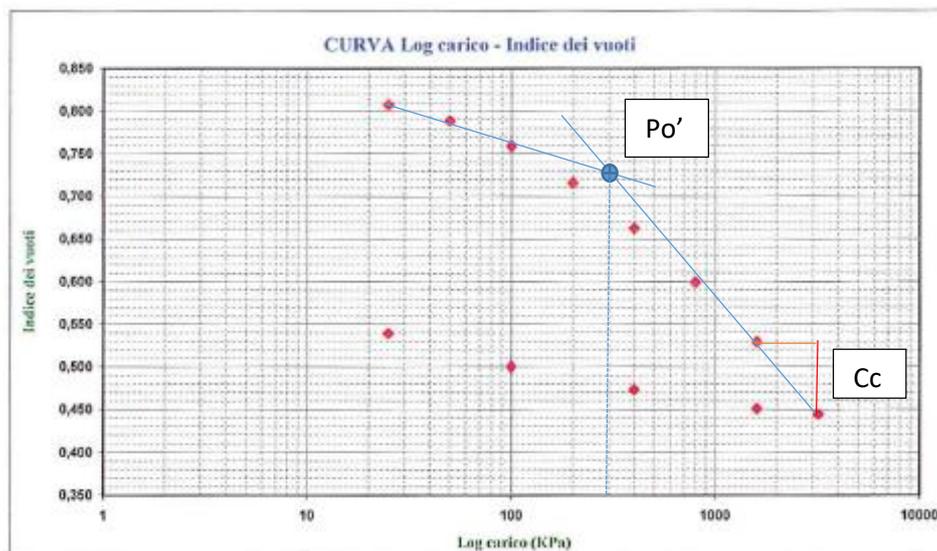


Prova triassiale UU (camp. C2)

I limiti di Atterberg del campione C3 hanno individuato un contenuto di acqua naturale del campione $W = 18,6$ interposto tra il valore del limite plastico ($LP = 22,9$) e quello del limite di ritiro ($LR = 16,59$) indicativa della presenza di un terreno poco deformabile sotto carico.

Nella prova edometrica che ha sempre riguardato il campione C3, sulla base dei risultati del diagramma che pone in relazione gli indici dei vuoti con i log dei carichi si è ottenuto un indice di compressione $C_c' = 0,30$.

Inoltre si è stimata una pressione di preconsolidazione del campione (Po') pari a 300 KPa la quale messa in rapporto con l'attuale tensione litostatica Pv' si ottiene un grado di sovraconsolidazione $OCR = 1$, tipico dei materiali coesivi NC (normalmente consolidati).



Nel merito della normativa vigente NCT 2018, la categoria di sottosuolo si valuta utilizzando degli approcci semplificati che tengano conto della velocità di propagazione delle onde Vs. Le indagini geofisiche pregresse e quelle nuove di recente esecuzione, consentono di possedere una banca dati significativa per la determinazione della categoria di sottosuolo. Considerando di valutare la velocità equivalente Vs di propagazione delle onde di taglio tramite l'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 Vs non inferiore a 800 m/s.

Nella situazione di sottosuolo esaminata, con una profondità del bedrock sismico pari ad H=18 m. si ottiene una Vs equivalente di 440 m/sec.;

Pertanto sulla base della tab. 3.2.II del NCT 2018 si assegna all'area in oggetto, ubicata in loc. Fornaci del Comune di Foligno, **una categoria di sottosuolo di tipo B.**

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

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

Mentre per quanto attiene la condizione topografica, per le caratteristiche pianeggianti del territorio la categoria di assegnazione è la T1.

Tab. 3.2.III – 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 $i > 30^\circ$

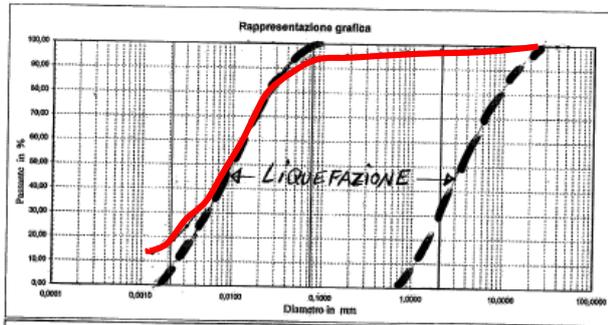
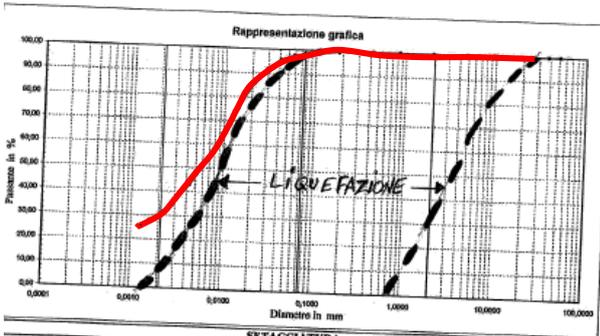
Nel merito dei fenomeni di liquefazione si stima orientativamente che l'area possa essere esclusa da fenomeni di liquefazione dei terreni, considerata la profondità della falda acquifera che è stata rilevata a -14 m. dal p.c. e nelle aree vicine risulta ancora maggiormente profonda, come emerge dall'analisi dei dati pregressi. Nell'escludere il rischio di liquefazione si tiene anche conto delle caratteristiche granulometriche delle ghiaie poligeniche e del loro grado di addensamento dimostrato da prove SPT con un numero di colpi N>60.

Con riferimento invece alla copertura limo argillosa e di intercalazione alle ghiaie, l'esecuzione di alcune prove granulometriche hanno messo in luce nella maggior parte dei casi, che la distribuzione granulometrica del materiale risulta esterna alla fascia assoggettabile a possibili fenomeni di liquefazione.

Area di prova: 14.12.2018

DATI IDENTIFICATIVI DEL CAMPIONE				
Sondaggio	Campione	Profondità (m dal p.c.)	Tipo campione	Data prelievo
S1	C3	15,00-15,50	Indisturbato	12.12.2018

DATI IDENTIFICATIVI DEL CAMPIONE				
Sondaggio	Campione	Profondità (m dal p.c.)	Tipo campione	Data prelievo
S2	C2	4,50-5,00	Indisturbato	13.12.2018

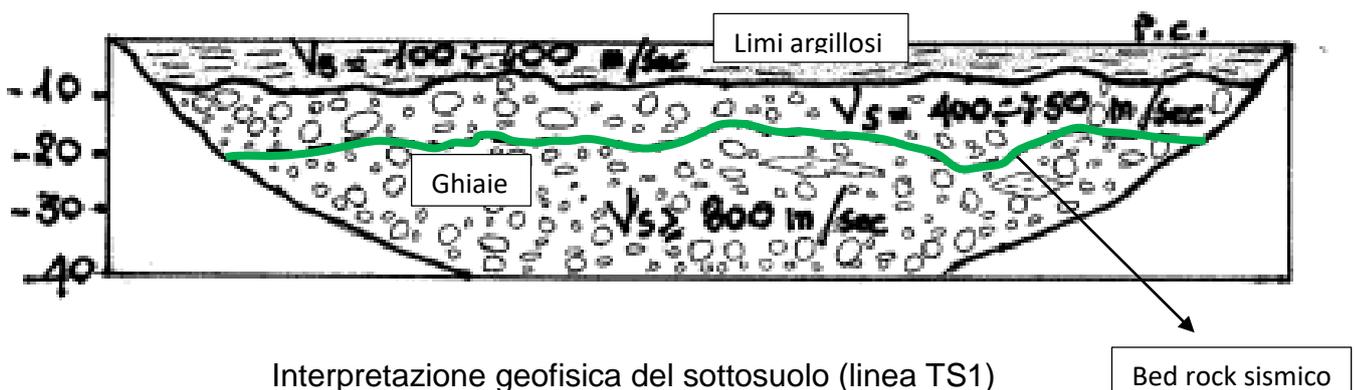


8. Amplificazione sismica local.

Per verificare le modifiche del moto sismico indotte dalle specifiche caratteristiche litostratigrafiche locali, si è proceduto ad un approccio quantitativo utilizzando degli abachi che sono consigliati quando l'assetto geologico e geotecnico è assimilabile ad un modello fisico monodimensionale.

Nella situazione locale tale approccio è sostenuto dal fatto che non vi sono effetti amplificativi dovuti alla topografia e che i depositi alluvionali possano essere caratterizzati da *n strati* con una disposizione piano parallela, continua.

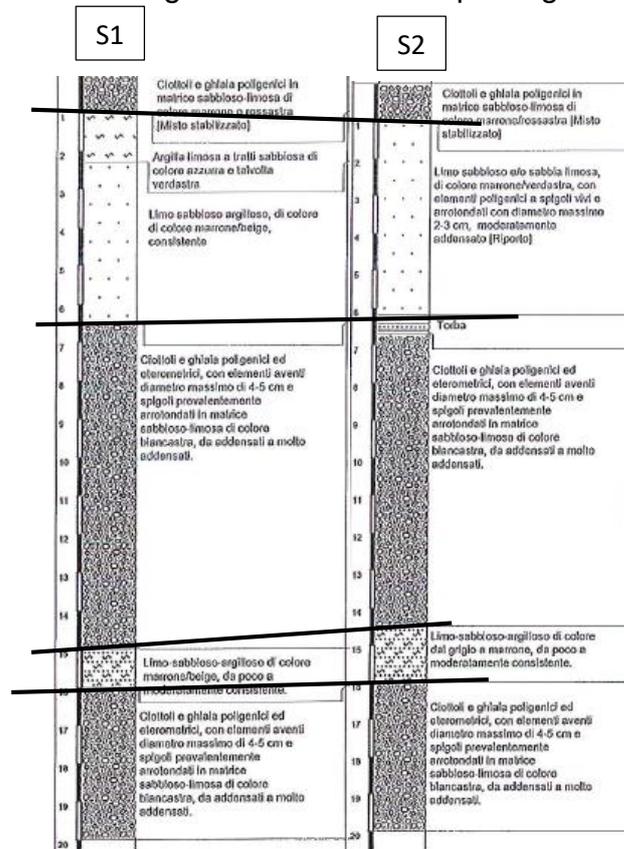
Il modello geofisico del sottosuolo è deducibile dagli elaborati delle indagini sismiche a rifrazione in onde V_p eseguite recentemente nel lotto di terreno oggetto di studio. Con riferimento all'allineamento TS1 si evince che il bedrock sismico ($V_s > 800$ m/sec) è posto ad una profondità dal p.c. variabile tra i 15 ed i 20 m. in corrispondenza del deposito alluvionale rappresentato dalle ghiaie poligeniche. I materiali sovrastanti il tetto delle ghiaie (con profondità variabile tra 5,5 m. a 10 m. dal p.c.) sono materiali più fini con velocità delle onde V_p crescente con la profondità. Il tetto delle ghiaie non coincide con la superficie del bed rock sismico. I valori delle onde V_s si sono estrapolati da quelli delle onde V_p applicando la relazione $V_s = V_p/2,5$ ritenuta valida esclusivamente per la zona d'interesse, tenuto conto della banca dati geofisica pregressa, a disposizione.



Interpretazione geofisica del sottosuolo (linea TS1)

Bed rock sismico

Le caratteristiche litostratigrafiche del sottosuolo desunte con l'esplorazione dei sondaggi geognostici S1, S2 e S3, disposti lungo l'allineamento sismico TS1 hanno anche consentito di accertare una dominante litologica attribuibile ai depositi ghiaiosi.



Correlazione stratigrafica tra i sondaggi S1 e S2

Il calcolo del fattore di amplificazione FA si è avvalso di quanto è previsto negli "Indirizzi e criteri per la Microzonazione sismica" del Ministero della Protezione Civile Nazionale.

I dati d'ingresso per la scelta dell'abaco più appropriato sono stati:

$a_g = 0,26$ g livello energetico dell'accelerazione;

$V_{sh} = 450$ m/sec. Velocità equivalente;

$H = 20$ m. profondità del substrato sismico;

Profilo di velocità: lineare con pendenza intermedia.

Litologia : Ghiaia.

Fattore di amplificazione FA	Tipo di terreno Ghiaia	a_g (g)									
		0,26g									
		Profilo di velocità Lineare pendenza intermedia									
		V_s (m/s)									
		150	200	250	300	350	400	450	500	600	700
H	5	-	1.83	1.74	1.60	1.38	1.21	1.10	1.05	1.01	1.01
	10	-	-	2.02	1.70	1.47	1.33	1.25	1.17	1.05	1.02
	15	-	-	-	1.93	1.69	1.51	1.37	1.25	1.12	1.04
	20	-	-	-	1.97	1.79	1.62	1.47	1.35	1.18	1.06
	25	-	-	-	1.87	1.79	1.64	1.51	1.39	1.21	1.08
	30	-	-	-	1.74	1.69	1.62	1.50	1.40	1.22	1.09
	35	-	-	-	1.59	1.60	1.54	1.48	1.39	1.22	1.09
	40	-	-	-	1.53	1.52	1.48	1.41	1.34	1.21	1.09
	50	-	-	-	1.42	1.39	1.32	1.30	1.27	1.17	1.07
	60	-	-	-	1.33	1.33	1.30	1.22	1.18	1.12	1.04
	70	-	-	-	-	1.27	1.26	1.22	1.15	1.06	1.00
	80	-	-	-	-	1.23	1.20	1.19	1.15	1.04	0.98
	90	-	-	-	-	1.14	1.15	1.15	1.12	1.04	0.96
	100	-	-	-	-	1.08	1.10	1.11	1.09	1.03	0.95
	110	-	-	-	-	1.02	1.06	1.06	1.05	1.01	0.95
120	-	-	-	-	0.97	1.01	1.03	1.03	0.99	0.93	
130	-	-	-	-	0.91	0.97	0.99	0.99	0.97	0.92	
140	-	-	-	-	0.91	0.94	0.96	0.97	0.94	0.91	
150	-	-	-	-	0.87	0.91	0.93	0.94	0.93	0.89	

Si ricava un FA (fattore di amplificazione) = 1,47.

Il dato ottenuto è congruente con i risultati degli studi di Microzonazione sismica di 2 livello del Comune di Foligno.

9. Sistema fondale

La copertura superficiale rappresentata da terreni limo argillosi prevalentemente coesivi, che localmente è costituita da elementi indicativi di un accumulo antropico o strati torbosi di elevata compressibilità; per l'intrinseca variabilità geotecnica dei materiali con qualità da scadenti a mediocri, non offre adeguate garanzie come terreno di fondazione per strutture di una certa rilevanza, senza incorrere nel rischio di cedimenti significativi.

Appare invece idoneo a fungere da sito di fondazione il deposito con ghiaie poligeniche individuato tramite i sondaggi a profondità variabili tra -5,5 m. e -9,0 m. dal piano camp., anche attraverso le indagini geofisiche di sismica a rifrazione, si deduce che la max profondità di attestazione delle ghiaie non sia comunque superiore ai -10 m. dal p.c.

Alle ghiaie poligeniche si sono attribuiti i seguenti parametri geotecnici in termini di tensioni effettive, tenuto conto delle caratteristiche di addensamento riscontrate:

$\gamma = 2,1$ t/mc (peso di volume);

$\phi' = 40^\circ$ (angolo di attrito interno);

$c' = 0$ (coesione).

Si consiglia pertanto l'adozione di fondazioni profonde su pali che nello specifico potrebbero avere una lunghezza complessiva di 12 m. in modo da assicurare l'incastro e appoggio nelle ghiaie poligeniche anche nella situazioni locali di maggiore profondità di affioramento delle stesse. E' opportuna una progettazione dei pali in modo tale che possano lavorare sostanzialmente con i carichi di punta (Q_p) in quanto il contributo della resistenza laterale, viste le caratteristiche di coesione e di compressibilità dei materiali attraversati per raggiungere le ghiaie, potrebbe essere influenzata da un attrito negativo.

Considerata inoltre la lunghezza delle fondazioni profonde, si reputa che l'interdistanza tra un palo e l'altro possa essere di 4D o 5D (D= Diametro del palo).

Il calcolo delle fondazioni non subirà l'influenza della falda acquifera, in quanto attestata ad una profondità di -14 m. dal p.c. superiore alla lunghezza dei pali.

Per la stima del carico di punta del palo Q_p , si può fare riferimento alla formula:

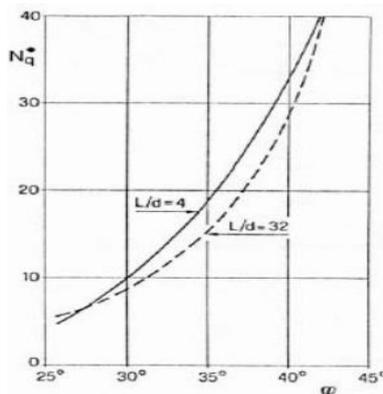
$$Q_p = A_p \cdot P_v \cdot N_q$$

A_p = superficie della base del palo;

P_v = tensione litostatica agente alla base del palo (24 t/mq);

N_q = Fattore dipendente dall'angolo di attrito.

Nell'ipotesi di pali trivellati si utilizza un angolo di attrito interno, ridotto rispetto a quello stimato $\phi' = 40^\circ - 3^\circ = 37^\circ$. Inoltre si preferisce adottare un coefficiente N_q^* corrispondente alla condizione limite di esercizio, cui possa essere correlabile ad un cedimento del 10% del diametro del palo. Utilizzando il diagramma sottostante è ricavabile un N_q^* compreso tra 25 e 30.



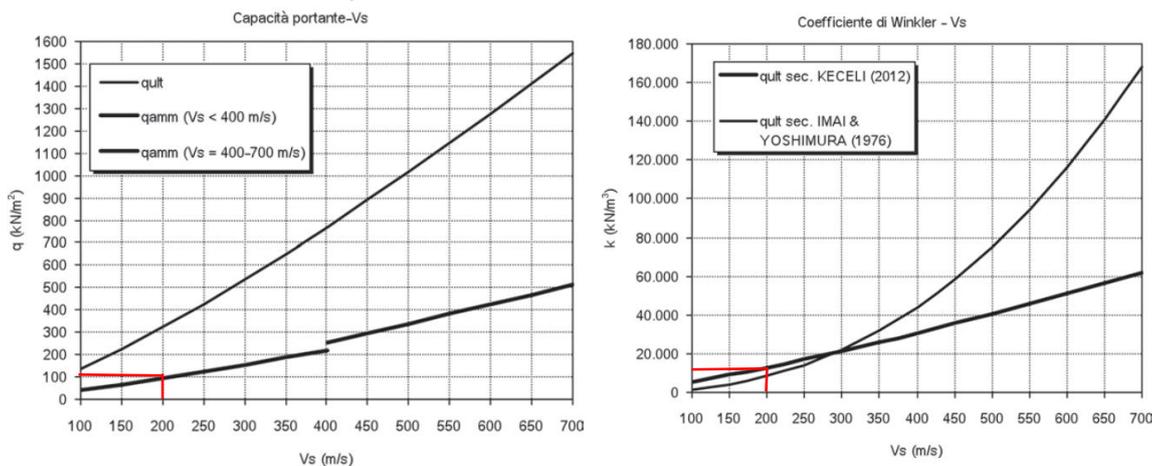
Per la descrizione dei parametri geotecnici della copertura limo argillosa superficiale, ci si avvale della prova di laboratorio di tipo triassiale CD effettuata sul campione C1 del sondaggio S1:

$\gamma = 1,9$ t/mc (peso di volume);

$\phi' = 24^\circ$ (angolo di attrito interno);

$c' = 0,09$ kg/cmq (coesione).

Con riferimento invece alla realizzazione di strutture modulari (tipo strabag) di carico contenuto e direttamente poggianti sul terreno in superficie, indicativamente sulla base di una velocità delle onde V_s del primo metro di terreno di 200 m/sec si stabilisce una tensione ammissibile $q_{amm} = 100$ KN/mq; mentre il coefficiente di reazione del terreno (Winkler) si valuta orientativamente pari a $K = 10.000$ KN/mc.



10. Conclusioni

L'esecuzione delle indagini geotecniche, geognostiche e geofisiche con i risultati che sono raccolti nell'elaborato consegnato dalla ditta Soil test (Caserta 10/01/2019) allegato alla seguente relazione, sono state esaustive per definire le qualità geomeccaniche dei materiali che saranno influenzati dai carichi esercitati dalle strutture di progetto e per l'interpretazione geofisica del sottosuolo.

L'area in loc. Fornaci del Comune di Foligno individuata nell'ambito delle superfici di pertinenza della Protezione Civile regionale, risulta idonea all'edificazione compatibilmente con le caratteristiche di assetto idrogeologico del territorio. Risulta inoltre esente dal rischio di fenomeni di liquefazione sismica e dal punto di vista idraulico non ricade in ambiti soggetti a pericoli di esondazione. Lo studio in oggetto ha inoltre consentito di estrapolare i parametri sismici di progettazione richiesti dalla normativa e di valutare l'applicazione di un sistema fondale appropriato con le caratteristiche geotecniche dedotte attraverso le indagini svolte. Si resta a disposizione per eventuali chiarimenti ed approfondimenti.

Perugia, 24 gennaio 2019.

Dott. geol. Gianluigi Simone