



COMUNE DI FANO
Provincia di PESARO e URBINO

***RELAZIONE GEOLOGICA
PER L'AMPLIAMENTO DEL CIMITERO DI ROSCIANO-BELLOCCHI,
NEL COMUNE DI FANO (PU).***

Località: Cimitero di Rosciano-Bellocchi, Loc. Rosciano, Comune di Fano (PU)

Committente: Comune di Fano

Settembre 2015



Studio Geologico Dott.ssa Geol.
Francesca Macchi
Geologia Tecnica e Ambientale

Via dei Pioppi, 20 / 61032 Fano (PU)
Tel. Cell. 3298049003
e.mail: francescamacci@libero.it
P.Iva 02 423 660 410 - C.F. MCCFNC76P61D488T

I N D I C E

| | |
|--|---------|
| PREMESSA | pag. 2 |
| INQUADRAMENTO TERRITORIALE | pag. 4 |
| INQUADRAMENTO GEOLOGICO-GEOMORFOLOGICO | pag. 6 |
| IDROLOGIA -IDROGEOLOGIA | pag. 7 |
| ANALISI DEL RISCHIO IDROGEOLOGICO | pag. 9 |
| VERIFICA DI STABILITA' | pag. 10 |
| INDAGINI IN SITO | pag. 10 |
| ANALISI GRANULOMETRICA | pag. 11 |
| STRATIGRAFIA DEL TERRENO | pag. 13 |
| CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI LITOTIPI | pag. 15 |
| VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI PERMEABILITA' | pag. 17 |
| AZIONE SISMICA | pag. 22 |
| CONSIDERAZIONI SULLE OPERE DI AMPLIAMENTO DA REALIZZARE | pag. 25 |
| CONCLUSIONI | pag. 26 |

ALLEGATI:

- Carte geologiche (stralcio da scala 1:25.000 e scala 1:10.000)
- Planimetria con ubicazione delle indagini geognostiche (scala 1:700)
- Stratigrafie sondaggi (scala 1:100)
- Sezioni stratigrafiche (scala V 1:50, O 1:250)
- Documentazione fotografica
- Analisi granulometrica
- Elaborazione prove penetrometriche DPSH
- Indagine geofisica (MASW)
- Parametri sismici

PREMESSA

A seguito dell'incarico ricevuto dal Comune di Fano è stato redatto uno studio di carattere geologico, geomorfologico e idrogeologico nell'area interessata da ampliamento (**realizzazione di nuovi loculi e di campo di inumazione**) presso il cimitero di Rosciano-Bellocchi.

Lo studio, svolto in conformità alle normative tecniche vigenti, si è articolato nelle seguenti fasi:

- studiare gli aspetti geologici e geomorfologici diretti a caratterizzare l'area nei suoi lineamenti generali;
- ricostruire la successione stratigrafica dei terreni;
- analizzare le condizioni idrologiche e idrogeologiche locali;
- caratterizzare sotto l'aspetto geomeccanico e geotecnico i diversi terreni indagati ed individuare i parametri di calcolo utili ai fini progettuali;
- fornire indicazioni sulla tipologia di interventi necessari per una buona regimazione delle acque meteoriche;
- fornire indicazioni sulla tipologia delle opere di fondazione;
- calcolare i parametri sismici per la valutazione dell'azione sismica locale;

Per lo sviluppo del programma di lavoro e la stesura della relazione si è fatto riferimento ai seguenti documenti:

- *D. M. LL.PP. 11/3/88 n. 47 e Circ. LL.PP. 24/09/88 n. 30483 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" e relative istruzioni.*
- *Legge 02/02/74 n° 64 "Provvedimenti per le costruzioni con particolare prescrizioni per le zone sismiche", D.M. 24/01/86 Costruzioni in zone sismiche, D.M. LL.PP. 16/01/96 "Norme per le costruzioni in zona sismica". Circolare Ministero LL.PP. del*
- *A.G.I. Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geognostiche;*
- *D.P.G.R. 14/9/89 n° 23 "Regolamento Edilizio Tipo";*
- *Ord. P.C.M. 20 marzo 2003, n°3274 e successive integrazioni "Criteri generali per la*

classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”;

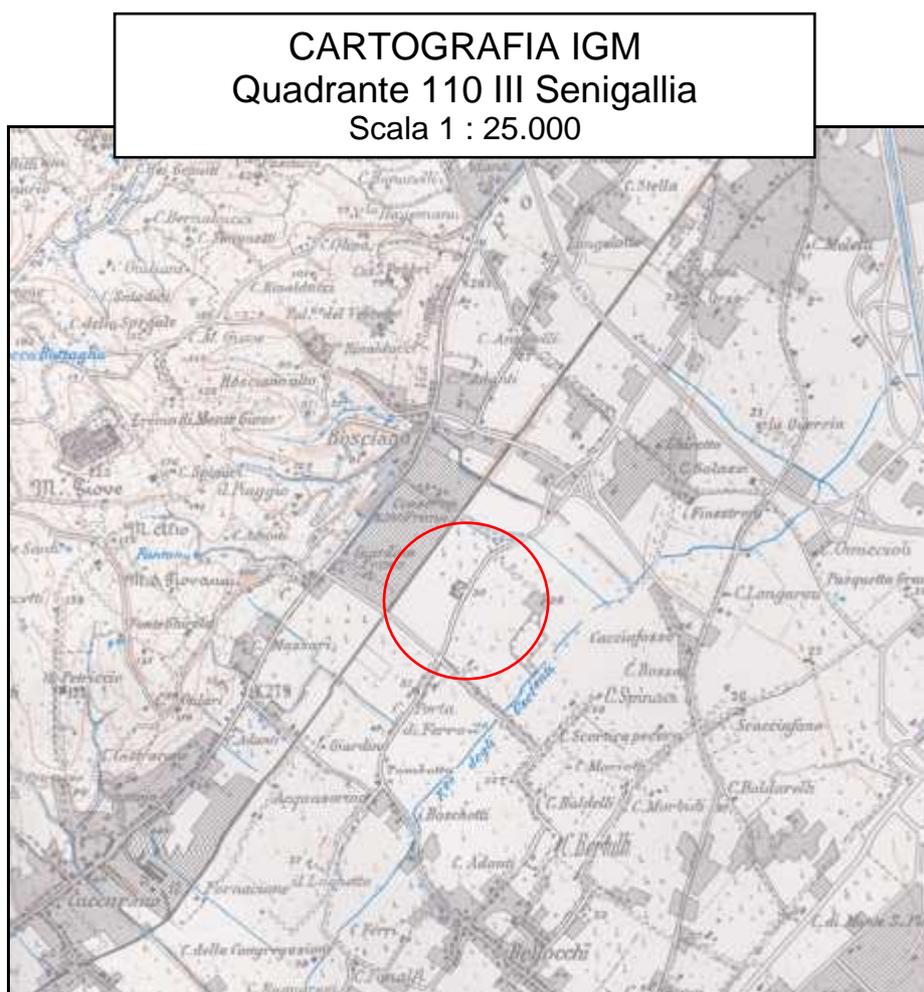
- *Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici, Allegato al voto n. 36 del 27.07.2007 “Pericolosità sismica e Criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale.”*
- *Testo Unico del 14.09.2005: “Norme tecniche in materia di costruzioni”.*
- *Circolare n°617 del 02.02.2009 “Istruzioni per l’applicazione delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008”;*
- *D. Lgs. 152 del 03.04.2006: “Norme in materia ambientale”;*
- *D.P.R. n° 285 del 10.09.1990 “Regolamento di polizia mortuaria” (art. 57 commi 5-6-7; art.68 comma 1);*
- *Legge Regionale del 01.02.2005, n. 3 “Norme in materia di attività e di servizi necroscopici, funebri e cimiteriali” e relative istruzioni.*

INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il sito indagato si trova alla quota topografica di circa 26 mt sul livello del mare.

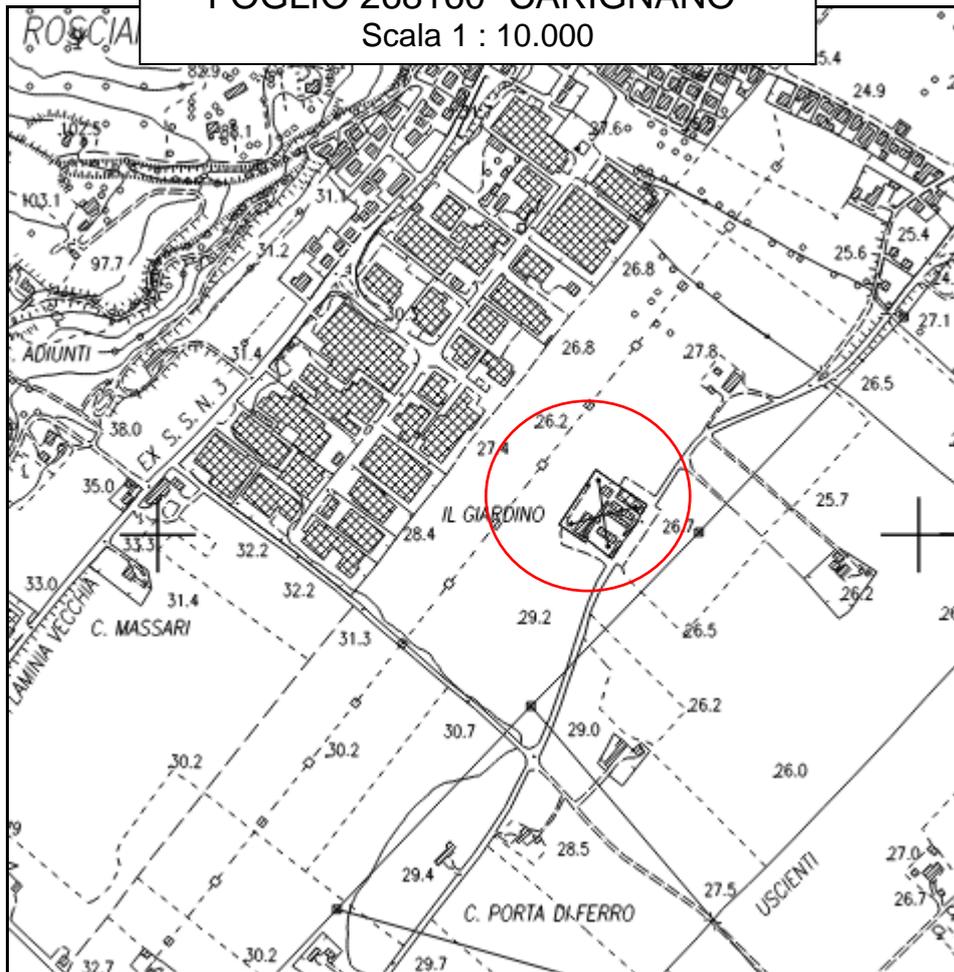
Al fine di evidenziare meglio l'area si allegano di seguito le seguenti corografie:

- Quadrante 110 III (Senigallia) della Cartografia IGM alla scala 1:25.000;
- Cartografia tecnica regionale, Foglio 268160 "Carignano" alla scala 1:10.000;



 Ubicazione area in oggetto

CARTA DERIVATA
FOGLIO 268160 "CARIGNANO"
Scala 1 : 10.000



Ubicazione area in oggetto

INQUADRAMENTO GEOLOGICO E GEOMORFOLOGICO

Il quadro geo-litologico che si descrive, risulta essere la sintesi di rilevamenti originali di superficie e di una raccolta di dati bibliografici e cartografici.

Strutturalmente l'area è situata nel Bacino Marchigiano Esterno. Le formazioni sedimentarie ivi presenti risultano deformate secondo una configurazione tipica di uno stile a pieghe, con serie di anticlinali e sinclinali aventi direzione NW-SE, attraversate dal corso del F.^{me} Metauro orientato in direzione WSW-ENE.

Da un punto di vista geologico, nella zona esaminata, il F.^{me} Metauro ha scavato la sua valle nei terreni sedimentari delle formazioni prequaternarie (Plioceniche). La suddetta valle è stata successivamente colmata con abbondanti depositi alluvionali.

Facendo riferimento al Foglio 110 Senigallia della Carta Geologica d'Italia, dal punto di vista tettonico, si rileva che non esistono faglie del substrato in corrispondenza dell'area studiata, il sito risulta quindi esente da disturbi tettonici significativi, delineando una situazione geologica di basso rischio.

In particolare l'area oggetto d'intervento si colloca su di una superficie pianeggiante all'interno della piana alluvionale del F.^{me} Metauro e riferibile al III° ordine dei terrazzi ed è posta ad alcune centinaia di metri a SE della pendice collinare che limita la piana alluvionale stessa.

Nella cartografia geologica elaborata nel "progetto CARG" dalla Regione Marche su scala 1:10.000, che classifica con maggior dettaglio le alluvioni del III° ordine dei terrazzi, l'area ricade nel "Sistema di Matelica" (Pleistocene superiore-Olocene) caratterizzato da depositi alluvionali terrazzati costituiti da ghiaie prevalenti associate a subordinate sabbie, limi e argille.

La formazione affiorante ad alcune centinaia di metri dall'area d'interesse e che costituisce il substrato in corrispondenza dell'area stessa, appartiene alle argille azzurre, membro delle arenarie di Borello (Pliocene inferiore-pliocene medio) con litofacies argilloso-marnose e marnoso-argillose con intercalazioni arenacee. Presenta caratteristiche di permeabilità ridotta o praticamente nulla che condizionano l'idrogeologia della zona e della vallata media del Fiume Metauro.

L'indagine geognostica puntuale ha evidenziato, al di sotto del primo orizzonte di terreno agricolo, la presenza, di sabbie a cui seguono limi argillosi debolmente sabbiosi e successivamente litotipi

ghiaiosi. In base ai dati in possesso della scrivente, ai depositi alluvionali seguono, ad una profondità di circa 18-20 m, le argille marnose, azzurre, siltose, talora lievemente sabbiose depositate durante il Pliocene.

Non è stata rilevata, durante la campagna d'indagine spinta fino alla profondità massima di 6 metri, la presenza di falda idrica.

Dal punto di vista geomorfologico, l'area indagata è inserita in una zona sostanzialmente pianeggiante con locali salti morfologici, essendo costituita da depositi alluvionali terrazzati relativi al Fiume Metauro.

L'area esaminata, attualmente non presenta, dal punto di vista geomorfologico, particolari segni di degrado e/o di instabilità.

IDROLOGIA ED IDROGEOLOGIA

L'elemento idrografico di ordine maggiore è il Fiume Metauro, che rappresenta uno dei principali corsi d'acqua della Regione. Va precisato comunque che, in relazione alla distanza compresa tra l'area in esame e l'alveo del Metauro (circa 3 km), la dinamica di tale corso d'acqua non interferisce con la zona di studio.

L'idrografia superficiale è rappresentata esclusivamente da alcuni fossi che regimano le pendici in sinistra idrografica del Metauro e che riversano le acque nel Fosso degli Uscenti che scorre ad una distanza di circa 500 m dall'area d'interesse. La notevole distanza di questo esclude il rischio di possibili inondazioni.

Per quanto riguarda la circolazione idrica sotterranea della zona investigata, si può constatare che la presenza di terreni a componente sabbiosa, limoso sabbiosa e ghiaiosa, favoriscono l'infiltrazione delle acque superficiali, incoraggiando la circolazione idrica nel sottosuolo, con la formazione di livelli acquiferi impostati soprattutto al contatto tra la coltre alluvionale ed il substrato di natura argilloso-marnosa. La presenza localmente di uno spessore di limi argillosi debolmente sabbiosi, rinvenuto a poca profondità in tutta l'area, potrebbe essere la causa della presenza di acqua a tale profondità, nei periodi di maggior apporto meteorico. Si sottolinea che durante la fase esecutiva dei sondaggi non si è rinvenuta presenza di acqua.

Le letture effettuate in pozzi presenti nella zona, hanno evidenziato che il livello piezometrico della falda idrica si attesta attualmente alla profondità di -13,80/-13,90 m dal p.c.

Il livello piezometrico e la presenza di acque di circolazione nel sottosuolo, sono soggetti ad oscillazioni stagionali in relazione alle condizioni meteo-climatiche; considerando le condizioni climatiche precedenti al periodo di perforazione, caratterizzate da scarse precipitazioni, si ritiene che il livello rilevato possa rappresentare il limite minimo.

Ubicazione pozzi per la misurazione del livello di falda



 Ubicazione area in oggetto

VERIFICHE DI STABILITA'

L'area oggetto d'intervento presenta un profilo di superficie uniforme con acclività quasi inesistente in corrispondenza delle zone interessate dagli interventi in oggetto.

Allo stato attuale, non si osservano indizi di fenomeni gravitativi in atto e/o pregressi né esistono i presupposti per un loro innesco in relazione all'andamento morfologico locale sub-pianeggiante e all'assenza, nelle vicinanze, di terreni con significativi valori di acclività. La morfologia è sub-pianeggiante pertanto esente da fenomeni gravitativi, come conferma la cartografia P.A.I.

In relazione alla situazione morfologica locale è stata pertanto omessa la verifica analitica della stabilità del versante.

INDAGINI IN SITO

In seguito al rilevamento geologico e geomorfologico, per definire il profilo stratigrafico dei terreni e per la loro caratterizzazione, si è provveduto a programmare ed eseguire, n°8 sondaggi con sonda a rotazione a secco senza rivestimento, tipo "Trivelsonda" con diametro da 220 mm, spinti fino ad un massimo di - 6.00 m (S3).



Fig. 1 - Trivelsonda

A conferma di quanto emerso dai sondaggi, per definire meglio i parametri geomeccanici relativi ai litotipi presenti, all'interno dell'area di sedime del padiglione loculi, sono state eseguite due prove penetrometriche dinamiche (DPSH), spinta fino alla profondità massima di 4.8 m (DPSH2).

I dati emersi da queste indagini, riportati integralmente in fondo al testo, insieme a dati in possesso della scrivente relativi ad indagini dirette effettuate nella zona, hanno permesso di ricostruire la successione stratigrafica e di definire i parametri significativi ai fini della caratterizzazione dei terreni.

Analisi granulometrica (Prova eseguita secondo UNI CEN ISO/TS 17892)

E' stato prelevato un campione di terra nella carota rinvenuta nel sondaggio n°7 alla profondità di -2.00 m dal p.c.a., sul quale è stata effettuata una analisi granulometrica, commissionata al laboratorio Geomarine S.r.l. di Senigallia, per confermare quanto dedotto dalla scrivente durante la campagna d'indagini.

La rappresentazione della curva granulometrica è la classificazione più consueta che può essere eseguita su qualsiasi tipo di terreno. Essa consente di individuare in che percentuale sono presenti argilla, limo, sabbia, ghiaia e ciottoli e quindi di descrivere un suolo sulla base delle dimensioni dei grani che lo costituiscono e della loro quantità.

Per la parte sabbiosa e ghiaiosa di un terreno, l'analisi granulometrica viene condotta per vagliatura utilizzando una pila di setacci con maglie di diversa apertura, da 75 μ m fino al diametro del grano massimo del suolo analizzato.

Dopo l'operazione di scuotimento, il terreno si dispone sui diversi setacci e viene pesata la quantità di materiale trattenuta da ciascun setaccio. Tali quantità, riferite alla massa totale del campione analizzato, danno la percentuale di terreno corrispondente ad una data dimensione del grano.

L'analisi granulometrica consente di raggruppare in diverse classi di grandezza le particelle costituenti il terreno e di determinare successivamente le percentuali in peso di ciascuna classe riferendole al peso secco del campione iniziale.

Secondo l'Associazione Geotecnica Italiana, le classi principali sono: ghiaia (tra 2 mm e 60 mm), sabbia (tra 2 mm e 75 μ m), limo (tra 75 μ m e 2 μ m) e argilla (sotto i 2 μ m).

Per la parte limosa ed argillosa di un terreno non è possibile l'impiego di vagli per cui si utilizza un metodo indiretto chiamato aerometria.

L'aerometria utilizza la legge di Stokes che correla le dimensioni e la percentuale delle particelle in sospensione in un liquido con la loro velocità di sedimentazione, sulla base del loro peso specifico e del peso specifico del liquido. Una massa nota di campione viene allora dispersa in grani elementari attraverso un miscelatore ed una soluzione disperdente, per poi essere messa in sospensione in acqua distillata.

Con un densimetro vengono effettuate alcune misure di densità della soluzione acqua + campione ad intervalli di tempo prestabiliti così da ricavare la velocità di sedimentazione del campione in esame. Tale dato viene infine impiegato nella Legge di Stokes potendo così tracciare la curva granulometrica per la parte fine.

La velocità relativa di equilibrio (u) è data dalla seguente relazione:

$$u = \frac{2(\rho_s - \rho_f)}{9\mu} g r^2$$

- ρ_s : densità della sfera;
- ρ_f : densità del fluido;
- μ : viscosità del fluido;
- g : accelerazione gravitazionale;
- r : raggio della sfera.

Dall'analisi effettuata in laboratorio, il terreno prelevato, risulta essere un silt argilloso (silt:55,53% - argilla 38,35%) debolmente sabbioso (sabbia 6,07%).

L'analisi completa viene allegata in fondo al testo.

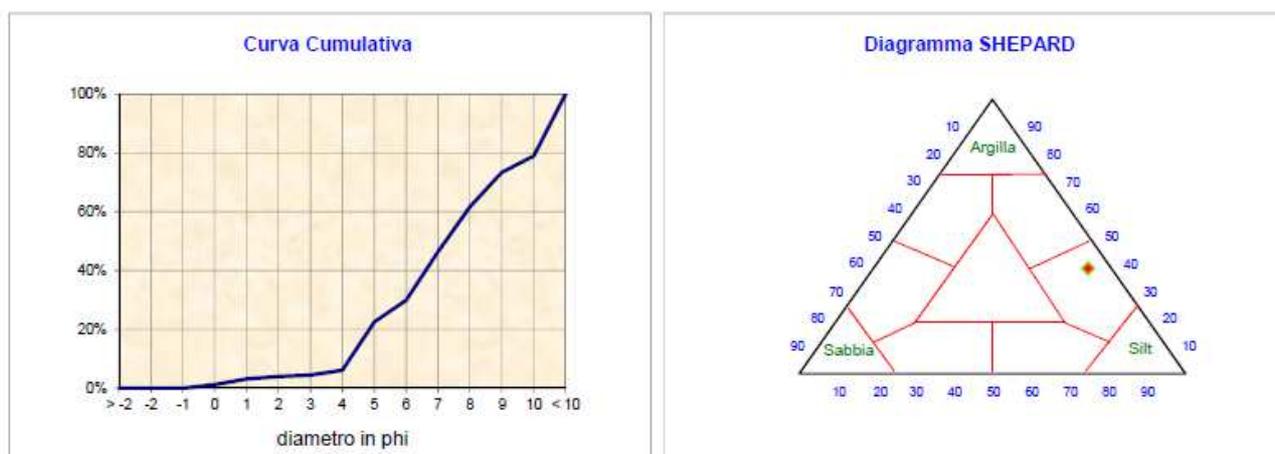


Fig. 2 – Dati emersi dall'analisi granulometrica effettuata

STRATIGRAFIA DEL TERRENO

Nel complesso, al di sotto di un orizzonte superficiale di terreno agricolo, l'area risulta essere caratterizzata da uno spessore considerevole di materiale sabbioso e limoso argilloso-sabbioso di natura alluvionale a cui seguono ghiaie alluvionali e la formazione di natura prevalentemente argilloso marnosa relativa alle Argille Azzurre plioceniche.

La stratigrafia del terreno è stata individuata attraverso la realizzazione di n. 8 sondaggi meccanici con analisi dettagliata in situ delle litologie estratte (le stratigrafie complete, la loro ubicazione e la relativa documentazione fotografica, sono allegate in fondo al testo) e a n. 2 prove DPSH.

Le profondità raggiunte nei sondaggi vengono riassunte nella tabella seguente:

| Sondaggio n° | Profondità (m dal p.c.) |
|---------------------|--------------------------------|
| S1 | 5.0 m |
| S2 | 3.0 m |
| S3 | 6.0 m |
| S4 | 5.5 m |
| S5 | 3.0 m |
| S6 | 5.0 m |
| S7 | 3.0 m |
| S8 | 3.0 m |
| DPSH1 | 4.4 m |
| DPSH2 | 4.8 m |

S1 (m)

p.c.a. – 0.80 m: Terreno agricolo di natura sabbioso limosa

0.80 – 1.40 m: Sabbie sciolte

1.40 – 4.40 m: Limo argilloso debolmente sabbioso color nocciola

4.40 – 5.00 m (fine sondaggio): Ghiaie eterometriche in matrice limoso-sabbiosa.

S2 (m)

p.c.a. – 0.80 m: Terreno agricolo di natura sabbioso limosa

0.80 – 1.80 m: Sabbie sciolte

1.80 – 3.00 m (fine sondaggio): Limo argilloso debolmente sabbioso color nocciola

S3 (m)

p.c.a. – 1.00 m: Terreno agricolo di natura sabbioso limosa

1.00 – 3.60 m: Sabbie sciolte

3.60 – 5.50 m: Limo argilloso debolmente sabbioso color nocciola

5.50 – 6.00 m (fine sondaggio): Ghiaie eterometriche in matrice limoso-sabbiosa.

S4 (m)

p.c.a. – 1.10 m: Terreno agricolo di natura sabbioso limosa

1.10 – 2.20 m: Sabbie sciolte

2.20 – 5.00 m: Limo argilloso debolmente sabbioso color nocciola

5.00 – 5.50 m (fine sondaggio): Ghiaie eterometriche in matrice limoso-sabbiosa.

S5 (m)

p.c.a. – 1.00 m: Terreno agricolo di natura sabbioso limosa

1.00 – 2.00 m: Sabbie sciolte

2.00 – 3.00 m (fine sondaggio): Limo argilloso debolmente sabbioso color nocciola

S6 (m)

p.c.a. – 1.00 m: Terreno agricolo di natura sabbioso limosa

1.00 – 1.70 m: Sabbie sciolte

1.70 – 4.20 m: Limo argilloso debolmente sabbioso color nocciola

4.20 – 4.60 m: Sabbie limose

4.60 – 5.00 m (fine sondaggio): Ghiaie eterometriche in matrice limoso-sabbiosa.

S7 (m)

p.c.a. – 0.70 m: Terreno agricolo di natura sabbioso limosa

0.70 – 1.80 m: Sabbie sciolte

1.80 – 3.00 m (fine sondaggio): Limo argilloso debolmente sabbioso color nocciola

S8 (m)

p.c.a. – 1.10 m: Terreno agricolo di natura sabbioso limosa

1.10 – 2.00 m: Sabbie sciolte

2.00 – 3.00 m (fine sondaggio): Limo argilloso debolmente sabbioso color nocciola

CARATTERISTICHE GEOTECNICHE DEI LITOTIPI

Dall'interpretazione di dati ottenuti dalle prove in sito (penetrometrie dinamiche pesanti), dalle informazioni bibliografiche e da dati già in possesso della scrivente relativi a terreni con analoghe caratteristiche, si sono determinati i valori medi dei terreni costituenti i depositi indagati (*unità litotecniche*), sui quali graviteranno i carichi di fondazione della struttura in progetto.

- Strato 1.

ORIZZONTE LITOLOGICO TR – Terreno di riporto

Peso di volume $\gamma_d = 1.6 \text{ gr/cm}^3$

Coesione non drenata $C_u = 0.3 \text{ Kg/cm}^2$

- Strato 2.

ORIZZONTE LITOLOGICO A – Sabbie sciolte

Peso di volume $\gamma_d = 1.55 \text{ gr/cm}^3$

Peso di volume saturo $\gamma_{\text{sat}} = 1.90 \text{ gr/cm}^3$

Angolo d'attrito $\varphi' = 20^\circ - 22^\circ$

Modulo di Young $E_u = 35 \text{ kg/cm}^2$

Modulo edometrico $M_0 = 58 \text{ kg/cm}^2$

- Strato 3.

ORIZZONTE LITOLOGICO B – Limi argillosi debolmente sabbiosi

| | |
|-----------------------|--|
| Peso di volume | $\gamma_d = 1.65 \text{ gr/cm}^3$ |
| Peso di volume saturo | $\gamma_{\text{sat}} = 1.90 \text{ gr/cm}^3$ |
| Coazione non drenata | $C_u = 0.60 \text{ kg/cm}^2$ |
| Modulo di Young | $E_u = 84 \text{ kg/cm}^2$ |
| Modulo edometrico | $M_o = 75 \text{ kg/cm}^2$ |

- Strato 4.

ORIZZONTE LITOLOGICO C – Ghiaie eterometriche in matrice sabbioso-limosa

| | |
|--------------------------------|--|
| Peso di volume secco | $\gamma_d = 2.10 \text{ gr/cm}^3$ |
| Peso di volume saturo | $\gamma_{\text{sat}} = 2.40 \text{ gr/cm}^3$ |
| Angolo d'attrito | $\varphi' = 36^\circ - 38^\circ$ |
| Densità relativa | $D_r = 100\%$ |
| Modulo di deformazione drenato | $E_d = 500-550 \text{ kg/cm}^2$ |
| Modulo edometrico | $M_o = 200-300 \text{ kg/cm}^2$ |

I parametri geomeccanici emersi dalle penetrometrie dinamiche pesanti sono allegati in fondo al testo.

VALUTAZIONE DEL COEFFICIENTE DI PERMEABILITA'

Prova di permeabilità in foro

Le prove di permeabilità in foro, consentono di determinare in modo molto semplice la permeabilità di un terreno superficiale al di sopra del livello della falda idrica. Operativamente si realizza un foro (ad esempio un foro di sondaggio), lo si riempie d'acqua e una volta che si è tutta assorbita, si valuta l'abbassamento di una precisa quantità di acqua reimpressa all'interno dello scavo (prove a carico variabile).

Il pozzetto di prova può essere di forma quadrata o circolare e le dimensioni possono essere scelte basandosi sugli strumenti di scavo disponibili. In linea di principio comunque le dimensioni devono aumentare all'aumentare delle dimensioni dei granuli del terreno. In particolare il lato del quadrato (nel caso di pozzetti a base quadrata) o il diametro del cerchio (per pozzetti circolari) deve essere superiore a 10-15 volte la dimensione della frazione granulometrica significativa. Se ad esempio la prova viene eseguita in ghiaie con dimensione dei granuli di circa 2 cm, la larghezza del pozzetto non deve essere inferiore a 20-30 cm.

Se il terreno è sabbioso o comunque con componente sabbiosa dominante, la dimensione del pozzetto è sempre superiore a 15 volte la dimensione dei granuli di sabbia. Basandosi sulla documentazione disponibile in Internet e in bibliografia, in questi casi si può suggerire comunque un lato del pozzetto di almeno 30-40 cm.

La profondità del foro è a discrezione dell'operatore, anche in base alla litologia che si vuole analizzare. Occorre comunque evitare di avvicinarsi eccessivamente alla superficie di falda.

Prima di eseguire la prova il terreno deve essere preventivamente saturato mediante immissione d'acqua e si deve stabilire un regime di flusso permanente. Per ottenere questo risultato si suggerisce di immettere acqua nello scavo per almeno 24 ore prima dell'inizio dell'esecuzione della prova.

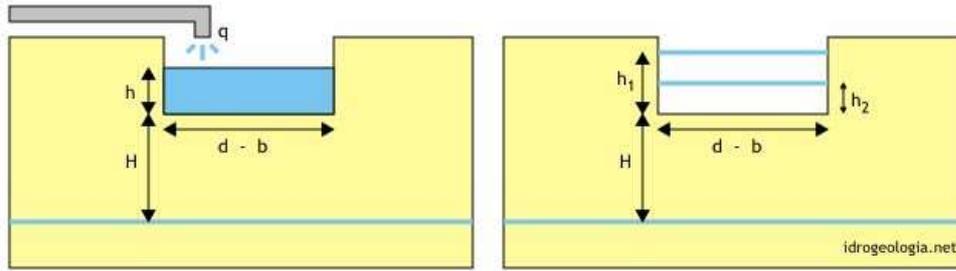


Fig. 3 – A sinistra: prova di permeabilità in pozzetto a carico costante; a destra: prova di permeabilità in pozzetto a carico variabile.

Nella prova a carico variabile si porta il livello dell'acqua alla quota h_1 e poi si misura in quanto tempo l'acqua scende al livello h_2 .

La prova eseguita nell'area oggetto di studio è stata fatta a carico variabile in pozzetto cilindrico, utilizzando come pozzetto un foro di sondaggio spinto a 3 metri di profondità, in modo da caratterizzare la litologia presente a tale quota (limi argillosi debolmente sabbiosi).

La formula utilizzata è la seguente:

$$k = \frac{d}{32} \cdot \frac{h_1 - h_2}{t_2 - t_1} \cdot \frac{1}{h_m}$$

Significato delle variabili:

d : diametro del pozzetto circolare;

h_m : altezza media dell'acqua nel pozzetto durante la prova a carico variabile;

h_1 e h_2 : altezze dell'acqua nel pozzetto, misurate dalla base del pozzetto, all'inizio e alla fine della prova a carico variabile;

$t_2 - t_1$: durata della prova a carico variabile.

Nelle formule tutte le distanze sono espresse in metri, i tempi in secondi. Il valore risultante della permeabilità è espresso quindi in metri/sec.

La figura 4 riporta i valori tipici del coefficiente di permeabilità orizzontale (k_h) per una serie di terreni sciolti a granulometria decrescente dalle ghiaie alle argille. Per via della natura usualmente stratificata dei terreni, il valore del coefficiente di permeabilità verticale (k_v) è di solito inferiore al valore di k_h . Il rapporto fra k_h e k_v tipicamente oscilla da 2 a 20 ma può arrivare fino a 100 in presenza di terreni molto stratificati.

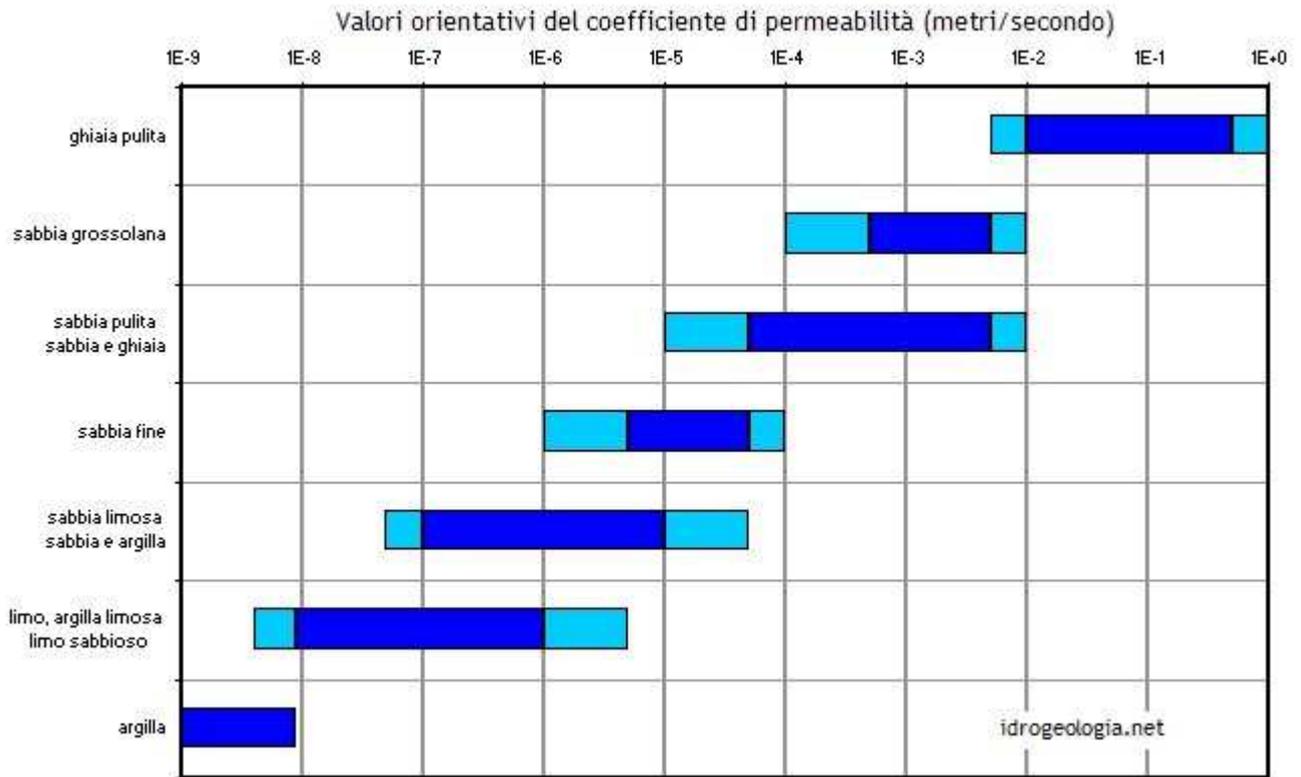


Fig. 4 - Valori orientativi del coefficiente di permeabilità orizzontale in metri/sec per terreni sciolti a granulometria decrescente dalle ghiaie alle argille

I valori riportati in colore blu rappresentano la fascia di variazione di permeabilità più usuale, mentre i valori riportati in colore azzurro indicano la fascia di variazione un po' più estrema. E' opportuno comunque precisare che il reale valore del coefficiente di permeabilità di uno specifico campione di terreno può anche essere esterno al campo di variabilità riportato in figura. I valori di riferimento per le varie litologie possono variare leggermente ma tali differenze non sono significative in quanto occorre sempre considerare il livello puramente orientativo dell'informazione. La figura 5, tratta anche questa da una elaborazione di dati bibliografici, mostra i valori indicativi di permeabilità per una serie di terreni classificati mediante il metodo "Unified Soil Classification System".

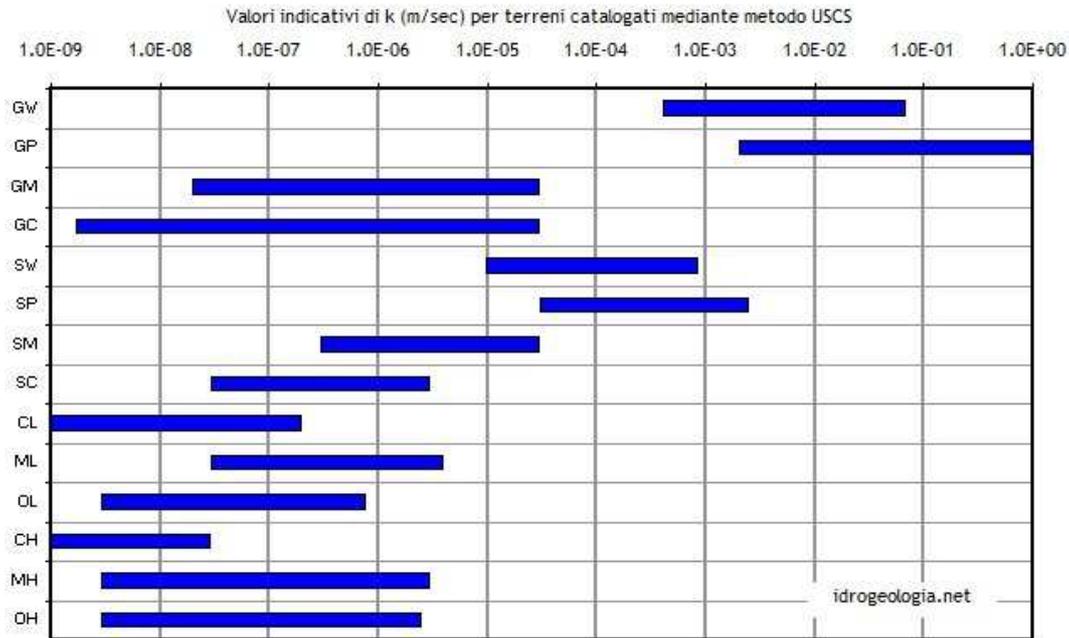


Fig. 5 - Valori indicativi del coefficiente di permeabilità per una serie di terreni classificati sulla base del metodo USCS (Unified Soil Classification System)

Il coefficiente di permeabilità è il parametro che indica con quale facilità un terreno si lascia attraversare dall'acqua. Se l'acqua riesce a fluire con facilità attraverso i pori di un terreno, questo viene definito molto permeabile ed il suo coefficiente di permeabilità sarà elevato. Se al contrario il terreno oppone una forte resistenza al movimento dell'acqua, allora il terreno viene definito scarsamente permeabile e in questo caso il coefficiente di permeabilità sarà molto basso. Il coefficiente di permeabilità ha le dimensioni di una velocità e di preferenza come unità di misura viene utilizzato il metro/sec.

Fra i parametri idrogeologici è sicuramente quello con la maggiore variabilità. In natura può assumere valori da minori di $1 \cdot 10^{-8}$ m/sec a maggiori di $1 \cdot 10^{-2}$ m/sec e pertanto si può dire esistono in natura terreni che sono 1.000.000 di volte più permeabili di altri. Il gradiente idraulico è invece il parametro che quantifica la forza motrice che permette all'acqua di spostarsi da un punto all'altro dell'acquifero vincendo la resistenza opposta dal terreno.

Per capire in modo intuitivo il rapporto fra gradiente idraulico, coefficiente di permeabilità e filtrazione dell'acqua può essere utile immaginare un piano inclinato immerso in un acquario sul quale si muove una pallina d'acciaio. L'inclinazione del piano inclinato corrisponde al gradiente idraulico, la viscosità del fluido che riempie l'acquario corrisponde al coefficiente di permeabilità e

la velocità della pallina corrisponde alla velocità di filtrazione dell'acqua nel terreno. La velocità della pallina aumenta all'aumentare dell'inclinazione del piano e al diminuire della viscosità del fluido. A parità di inclinazione del piano la pallina scende più velocemente se l'acquario è riempito con acqua e scende più lentamente se l'acquario è riempito con olio. Analogamente la velocità di filtrazione dell'acqua nel terreno, e quindi la portata di filtrazione, aumenta all'aumentare del gradiente idraulico e all'aumentare del coefficiente di permeabilità. Se il gradiente idraulico è nullo, situazione che nell'esempio equivarrebbe ad un piano orizzontale, manca la forza motrice e quindi non c'è movimento d'acqua a prescindere dal valore del coefficiente di permeabilità. Si è eseguita una prova di permeabilità nel foro di sondaggio S7 a 3 m di profondità, per valutare il coefficiente di permeabilità dei limi argillosi debolmente sabbiosi, terreni corrispondenti alla base delle fosse che saranno realizzate all'interno del campo di inumazione. L'elaborazione dei dati rilevati, inseriti in un foglio di calcolo Excel, ha riscontrato un valore di coefficiente di permeabilità dell'ordine di 10^{-6} cm/sec.

L'idrogeologia di un terreno è legata ai requisiti di permeabilità dei vari sedimenti e di conseguenza alla natura dei litotipi presenti. In relazione a questi ultimi nell'area indagata si ha una permeabilità media nei litotipi più superficiali e alta per i litotipi più profondi (ghiaie).

Nell'area sondata sono state individuate tre tipologie di sedimenti a cui possono essere attribuite classi diverse di permeabilità (valori ricavati da dati bibliografici).

Per i litotipi più superficiali di natura limoso-sabbiosa e sabbiosa relativi alla porzione più superficiale, può essere attribuita una classe di permeabilità media, pari a $K = 10^{-4} - 10^{-5}$ cm/sec.

Per i litotipi limoso-argillosi rinvenuti al disotto delle sabbie, può essere attribuita una classe di permeabilità bassa, pari a $K = 10^{-6}$ cm/sec.

Per i litotipi di natura ghiaiosa con matrice limoso-sabbiosa relativi ai depositi alluvionali più profondi, può essere attribuita una classe di permeabilità elevata, pari a $K = 10^{-2} - 10^{-4}$ cm/sec.

Per i litotipi profondi, non rinvenuti durante la campagna geognostica perché presenti a maggior profondità, costituiti da argille marnose può essere attribuita una classe di permeabilità molto bassa, con valori di $K = 10^{-7} - 10^{-8}$ cm/sec.

AZIONE SISMICA (NTC D.M. 14.01.08)

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (“periodo di riferimento” VR espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” PVR. La pericolosità sismica è definita in termini di : 1- accelerazione orizzontale massima attesa **ag** in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A), con superficie topografica orizzontale (categoria T1); 2- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente **Se(T)**, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza PVR nel periodo di riferimento VR. Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

-**ag** accelerazione orizzontale massima al sito;

-**Fo** valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale.

-**T*c** periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Nelle NTC è valutabile la pericolosità sismica individuando le coordinate d'interesse da una griglia di 10751 punti, attraverso questa viene fornita la terna di valori ag , Fo e T^*c per nove distinti periodi di ritorno TR . Di seguito sono indicati i valori riferiti al sito in oggetto.

CATEGORIE DI SOTTOSUOLO

Per definire l'azione sismica di progetto, si valuta l'effetto della risposta sismica locale mediante specifiche analisi. In assenza di tali analisi, per la definizione dell'azione sismica si può fare riferimento ad un approccio semplificato, che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento attraverso specifiche indagini. Le categorie di sottosuolo sono indicate nelle Tab. 3.2.II e 3.2.III delle NTC.

CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la classificazione riportata nella Tab. 3.2. IV delle NTC.

VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Le **NTC 2008** calcolano i coefficienti K_h e K_v in dipendenza di vari fattori:

$$K_h = \beta \times (a_{\max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_h$$

a_{\max} accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S S_T a_g$$

S_S (effetto di amplificazione stratigrafica): $0.90 \leq S_S \leq 1.80$; è funzione di F_0 (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

S_T (effetto di amplificazione topografica) per fondazioni in prossimità di pendii.

Il valore di S_T varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1 (S_T = 1.0) \quad T2 (S_T = 1.20) \quad T3 (S_T = 1.20) \quad T4 (S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con V_R vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso V_R dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

CONSIDERAZIONI RELATIVE AL SITO IN OGGETTO

Nella classificazione sismica dei comuni italiani di cui all'Ordinanza n° 3274 del 20 marzo 2003 (Allegato 1 -Allegato A), il Comune di Fano viene classificato come Zona 2, cui corrisponde un valore di accelerazione orizzontale massima, sul suolo di categoria A: $0,15 \leq a_g < 0,25g$.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". L'azione sismica di progetto in base alla quale valutare il rispetto dei diversi *stati limite* presi in considerazione viene definita partendo dalla "pericolosità di base" del sito di costruzione, che è l'elemento essenziale di conoscenza per la determinazione dell'azione sismica.

- Categoria di sottosuolo Calcolo della Vs30 (NSTP30)

Per la costruzione del padiglione adibito a loculi, la Ditta GeCo s.r.l. ha eseguito in corrispondenza dell'area su cui sorgerà il nuovo padiglione, una indagine geofisica mediante MASW. Tale tipo di indagine sismica è stata scelta al fine di ricavare il valore V_{s30} e quindi definire la categoria di suolo di fondazione, secondo quanto richiesto dalle NTC (D.M. 14/01/08).

Dall'elaborazione dell'indagine sismica si rilevano "**depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti**", con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità, caratterizzati da valori di V_{s30} compresi tra 360 e 800 m/s ($N_{SPT} > 50$ in terreni a grana grossa, $C_u > 250$ KPa in terreni a grana fina).

Categoria "B" ($v_{s30}=498$ m/s)

- Coefficienti di amplificazione topografica

La topografia della zona d'intervento risulta caratterizzata da pendii e rilievi con inclinazione compresa tra 0-15°.

Per cui possiamo definire la categoria topografica locale appartenente alla tipologia **T1 (Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$)**.

I parametri sismici e i coefficienti sismici orizzontali e verticali relativi al sito di riferimento sono allegati in fondo al testo.

CONSIDERAZIONI SULLE OPERE DI AMPLIAMENTO DA REALIZZARE

All'interno del progetto di ampliamento del cimitero di Rosciano-Bellocchi sono previsti la realizzazione di campi di inumazione in adiacenza all'attuale cimitero, sul lato nord-ovest (vedi planimetria con ubicazione sondaggi allegata) e un padiglione da adibire a loculi posto all'interno del cimitero stesso (vedi planimetria con ubicazione MASW e DPSH).

Campi di inumazione: L'intera zona nella quale è previsto l'intervento, presenta alla profondità di posa dei feretri (circa 2 metri), terreni limoso-argillosi debolmente sabbiosi, in gran parte dell'area. Tali terreni potrebbero non essere idonei per la mineralizzazione dei cadaveri dato lo scarso valore di permeabilità che possiedono. Occorrerebbe quindi riportare, per circa 2.5 m di profondità, uno strato di terreno sufficientemente poroso per permettere l'aerazione ed il regolare drenaggio dei liquami e delle acque dilavanti. L'area risulta particolarmente estesa e riportare del terreno idoneo, di natura incoerente, risulterebbe alquanto oneroso e dispendioso. Si consiglia quindi di eseguire opere drenanti (trincee drenanti e pozzi drenanti), all'interno dell'area, al fine di favorire il deflusso sotterraneo delle acque meteoriche che una volta penetrate nel terreno, potrebbero, in casi di piogge eccezionali, creare orizzonti acquosi proprio in corrispondenza della base delle fosse.

La falda acquifera, rinvenuta in pozzi vicini a -13,80/-13,90 m di profondità e non rinvenuta durante la fase di esecuzione dei sondaggi fino alle massime profondità indagate, risulta essere idonea allo scopo cimiteriale, secondo la normativa vigente.

Si renderà comunque necessario creare una rete di canalizzazioni superficiale atta a catturare ed espellere correttamente le acque di precipitazione meteorica e dilavanti, limitandone l'infiltrazione.

Padiglione con loculi: In corrispondenza dell'area dove sarà realizzato il padiglione con i loculi, dalle penetrometrie dinamiche pesanti eseguite all'interno dell'area di sedime del fabbricato stesso, emerge un quadro litologico caratterizzato da alternanza di sabbie e limi. Tali terreni mostrano i valori dei parametri geotecnici poco idonei alla realizzazione di fondazioni superficiali. Pur rimanendo di stretta competenza del Tecnico progettista la scelta ed il dimensionamento della struttura fondale, sulla base delle condizioni stratigrafiche e geolitologiche emerse, si consiglia la realizzazione di fondazioni profonde, immorsate all'interno dei terreni di natura ghiaiosa che si rinvencono nell'area intorno ai 4 m di profondità.

CONCLUSIONI

L'elaborazione e la sintesi finale dei dati esposti nei paragrafi precedenti, ricavati in conformità ai contenuti, agli obiettivi ed alle metodologie individuate nelle varie circolari regionali, leggi e Decreti Ministeriali, hanno evidenziato che nell'area indagata esistono situazioni stratigrafiche, geomorfologiche, idrogeologiche tali da consentire la realizzazione delle opere previste ad ampliamento del Cimitero di Rosciano-Bellocchi.

Valutando comunque la situazione generale dell'area nella sua totalità si danno alcune indicazioni e si fanno le seguenti considerazioni:

Considerazioni di carattere geomorfologico, litostratigrafico ed idrogeologico:

- Terreno interessato dal carico d'esercizio costituito da sabbie e limi argillosi relativi ai depositi alluvionali del III° Ordine di terrazzi a cui seguono a maggior profondità le ghiaie alluvionali e le argille marnose del substrato.
- Assenza di fenomeni gravitativi e di movimenti superficiali del terreno e di fenomeni che possono far ipotizzare una sostanziale propensione al dissesto.
- Profilo dell'area indagata con acclività molto bassa.
- Presenza di un terreno con caratteristiche meccaniche da discrete (più superficiale) a buone (in profondità).
- Assenza del livello idrico (-13.80/-13.90 m di profondità) alla base delle fosse e ad una ipotetica profondità di posa delle fondazioni.
- Condizioni geologiche locali non disturbate dalla presenza di discontinuità tettoniche.
- Categoria di sottosuolo: **B**; categoria topografica: **T1**.

Si resta a disposizione per ogni chiarimento relativo alla presente relazione e per fornire la necessaria assistenza durante la fase esecutiva dei lavori.

Fano, 28 settembre 2015

Geol. Macci Francesca