



COMUNE DI IGLESIAS  
Provincia di Carbonia – Iglesias

Settore Lavori Pubblici, Manutenzioni e Ambiente.

## LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL CENTRO INTERMODALE DI IGLESIAS



**Oggetto:**  
RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA

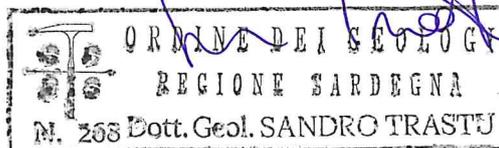
**Committente:** Comune di Iglesias



Dott. Geol. Sandro Trastu  
Via Marco Polo, 1  
09016 IGLESIAS (CI)

Telefono/ Fax +39 0781259126  
Cell. 335 8365184  
E-mail: trastu.sandro@alice.it

**Il Professionista**



**Data:** Febbraio 2013

**COMUNE DI IGLESIAS**  
**“LAVORI DI REALIZZAZIONE DEL CENTRO INTERMODALE**

**RELAZIONE GEOLOGICA E GEOTECNICA**

<i>Premessa</i> .....	1
1. RIFERIMENTI .....	1
2. INQUADRAMENTO DELL'AREA .....	2
3. ELEMENTI CLIMATICI .....	4
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	6
5. COMPATIBILITÀ PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO.....	13
6. CAMPAGNA DI INDAGINI .....	13
7. METODOLOGIA DI ESECUZIONE DELLE INDAGINI.....	16
8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA .....	21
Classificazione.....	21
Determinazione delle caratteristiche di resistenza .....	21
Resistenza a taglio non drenata .....	21
Resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci.....	22
9. CAPACITA' PORTANTE E CEDIMENTI.....	32
10. ANALISI DELLE AZIONI SISMICHE.....	37
11. VALUTAZIONI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE .....	42
CONCLUSIONI .....	43
ALLEGATI.....	45



## **Premessa**

Nella presente relazione si esamina la situazione geotecnica dell'area interessata dalle opere previste dal progetto del Centro Intermodale all'interno della città di Iglesias.

Lo studio è finalizzato principalmente alla caratterizzazione geologica e geotecnica dei terreni interessati dalle opere in progetto, necessaria al fine della definizione delle condizioni di realizzabilità delle opere stesse e alla verifica delle relative condizioni di stabilità.

L'analisi si basa sull'esame visivo dei luoghi e sui risultati di una campagna di indagini geognostiche appositamente eseguite nel mese di gennaio e febbraio 2013, nonché sui dati geologici e bibliografici. Ciò ha consentito di effettuare una caratterizzazione geologica dell'area, definendone l'assetto morfologico, i processi geomorfici, i dissesti potenziali, la circolazione idrica superficiale e sotterranea e le principali caratteristiche geomeccaniche dei terreni.

L'indagine, svolta in ottemperanza a quanto previsto dalla normativa del D.M. 14/01/2008, è stata finalizzata principalmente alla definizione delle caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni di fondazione; l'obiettivo è stato quello di verificare la relazione  $R_d > E_d$ , come indicato nelle NTC2008 (par. 2.3), allo scopo di ottenere la corretta scelta, impostazione e dimensionamento delle opere fondazionali.

## **1. RIFERIMENTI**

Normative e raccomandazioni:

- Norme Tecniche per le Costruzioni - 14 Gennaio 2008.
- Circolare LL.PP. 617 – 2009 ; D.M. 11 marzo 1988

Riferimenti bibliografici

- Skempton A.W. (1986). *“Standard Penetration Test Procedures and Effects in Situ Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Ageing and Overconsolidation”* Géotechnique 6, n°2.
- Cestelli Guidi C. (1980). *“Geotecnica e Tecnica delle Fondazioni”*. Settima Edizione, Hoepli. Vol. 2, pp. 144-188.
- Cestari F. (1990). *“Prove Geotecniche in Sito”*. Geo-Graph. Pp. 207-284.
- R. Lancellotta (1993). *“Geotecnica”*. Zanichelli.



## 2. INQUADRAMENTO DELL'AREA

L'area interessata dal presente studio ricade nel territorio comunale di Iglesias, più precisamente l'area si inquadra tra la Via XX settembre, Via Crocifisso e Via Garibaldi.

Corograficamente ricade nel:

- Foglio I.G.M. in scala 1:25.000 (nuova serie) n° 555 Sez. I - Iglesias
- Foglio C.T.R. n° 555 Sezione 070 - Iglesias in scala 1:10.000.

La quota media sul piano di campagna è di  $\pm 180$  s.l.m.







### 3. ELEMENTI CLIMATICI

Il clima, inteso come fattore ambientale, concorre in modo determinante nella caratterizzazione di un particolare territorio.

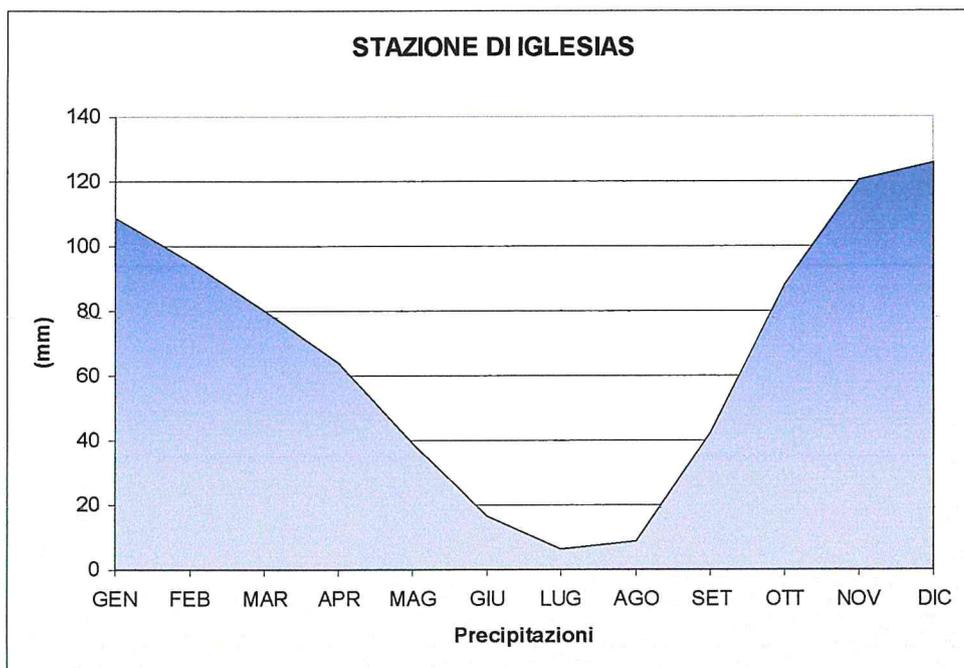
Per l'individuazione delle principali caratteristiche climatiche dell'area, sono stati utilizzati i dati relativi alla stazione termometrica di "Monteponi" (Iglesias) del Servizio Idrografico.

Nelle seguenti tabelle vengono riportati i valori medi mensili delle precipitazioni espressi in millimetri di pioggia nell'intervallo considerato ed i valori medi mensili delle temperature relativi all'area in esame.

#### STAZIONE DI IGLESIAS

##### PRECIPITAZIONI

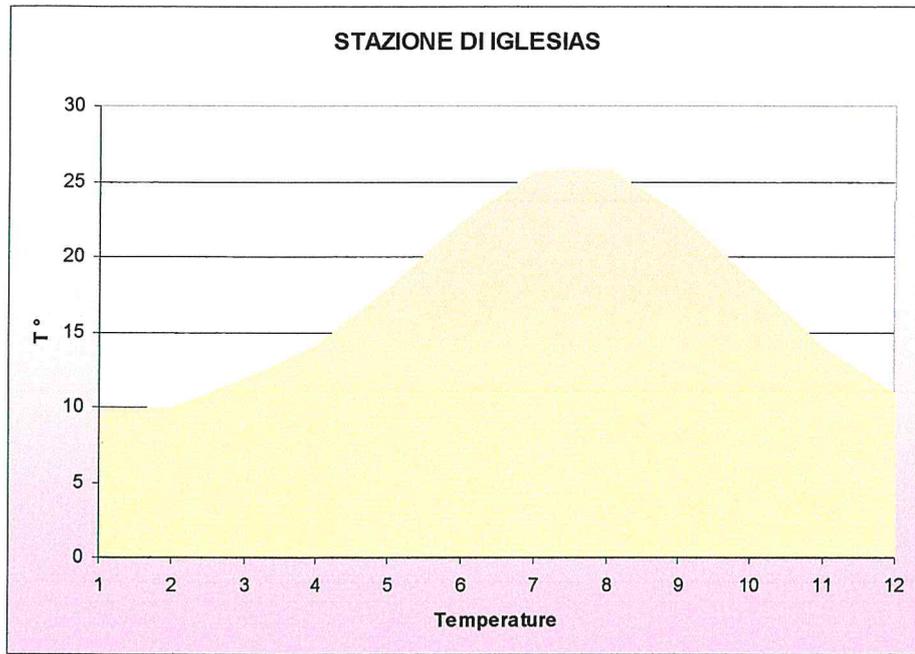
	G	F	M	A	M	G	L	A	S	O	N	D
P (mm)	108,7	95	79,9	63,7	39	16,7	6,4	9	42,3	88,1	120,4	125,7





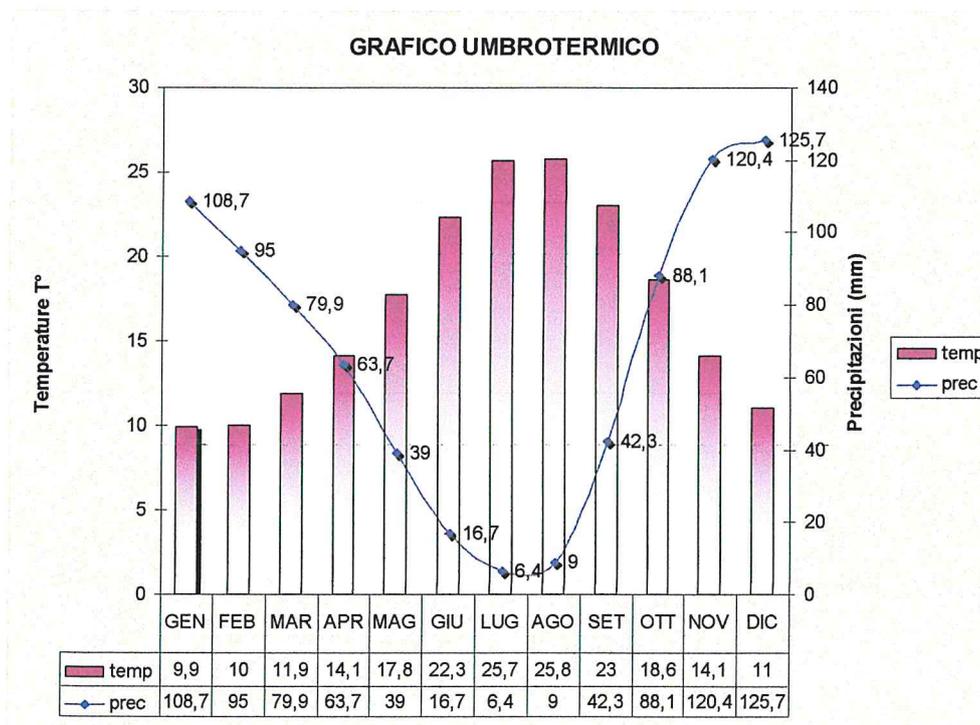
Il valore medio annuo delle precipitazioni rilevate nella stazione di "Iglesias" è di 803 mm; le precipitazioni medie stagionali espresse in mm nel periodo di osservazione sono le seguenti:

INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO
329,4 (mm)	182,6 (mm)	32,1 (mm)	250,8 (mm)



Il valore medio annuo delle temperature rilevate nella stazione di "Iglesias" è di 17°; le temperature medie stagionali espresse nel periodo di osservazione sono le seguenti:

INVERNO	PRIMAVERA	ESTATE	AUTUNNO
10,3°	14,6°	24,6°	18,6°



#### 4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Il territorio comunale di Iglesias, come osservabile nello stralcio della carta Geologica della Sardegna in scala 1:200.000, si trova al centro della Fossa del Cixerri che è stata interessata dalla tettonica trascorrente dell'Oligocene Superiore riattivata durante le fasi distensive del Miocene medio e del Plio-Quaternario.

La conformazione principale è quella di un basso strutturale allungato in direzione E-W. Secondo osservazioni sedimentologiche e strutturali recenti, che porterebbero ad escludere l'interpretazione classica di un graben bordato da faglie, la Fossa del Cixerri si configura come una sinclinale, con direzione assiale circa E-W, che ha piegato la successione dell'Eocene inferiore-medio, e originato, durante l'Eocene superiore-Oligocene, la sedimentazione della Formazione del Cixerri.

I rilievi montuosi che bordano il basso strutturale sono costituiti da litologie del Complesso



Metamorfico Ercinico in facies scisti ed in particolare da Successioni che vanno dal pre-Ordoviciano medio al Siluriano.

- La Successione del pre-Ordoviciano medio è rappresentata da sedimenti prevalentemente terrigeni della Formazione di Nebida (63 c), seguiti verso l'alto dalla potente successione carbonatica della Formazione di Gonnese (62). Passano poi alla Formazione di Cabitza (61), che marca l'annegamento della piattaforma carbonatica.

- La Successione clastica dell'Ordoviciano medio - Carbonifero inferiore autoctona, che giace discordante sulla successione cambro-ordoviciano inferiore, è costituita da:

- metasiltiti, metarenarie con intercalazioni di metavulcaniti basiche (59);

- metapeliti scure carboniose e nella parte inferiore da quarziti nere (58), dei depositi Siluriani degli "Scisti a Graptoliti" autoctoni, affioranti in modo discontinuo a causa delle laminazioni tettoniche determinate dal sovrascorrimento dell'Unità dell'Arburese sulla zona esterna.

Il sovrascorrimento ercinico delle Falde Esterne della Successione del pre-Ordoviciano rappresentato dall'Unità dell'Arburese con le Arenarie di San Vito, costituisce gli alti strutturali settentrionali e meridionali del settore orientale della fossa e quelli della Soglia di Siliqua. La successione è costituita da metarenarie micacee, quarziti e, più raramente, metarenarie feldspatiche e metagrovacche, di colore variabile dal grigio verdastro al grigio scuro (55).

Le Coperture sedimentarie e vulcaniche, ben rappresentate all'interno della Fossa del Cixerri, sono costituite da sedimenti del tardo Paleozoico superiore e da sedimenti e vulcaniti del terziario.

- Le successioni tardo paleozoiche, rappresentate dalla Copertura sedimentaria della Successione continentale del Carbonifero superiore - Trias medio, giacciono in netta discordanza sul basamento metamorfico nei piccoli affioramenti presenti a Sud Ovest dell'abitato di Iglesias. Si tratta di sedimenti prevalentemente detritici di ambiente alluvionale e lacustre, argille siltose rosso violacee, arenarie quarzose micacee e conglomerati di piana alluvionale, con intercalazioni di calcari silicizzati (21).

- I sedimenti terziari, iniziano con la Successione transizionale e marina del Paleocene Sup. Eocene Medio, che affiorano sul bordo sud occidentale della Fossa del Cixerri. Tali depositi fanno parte di un bacino localizzato che si estende tra il Golfo di Palmas a Sud ed il Golfo di Gonnese a Nord. Sono costituiti da calcari di ambiente lagunare a conglomerati a matrice siltosa ed arenarie con resti di piante di ambiente fluviale (15).

- Le vulcaniti del Ciclo vulcanico calcalino oligo-miocenico, sono ben rappresentate lungo il bordo meridionale e centro orientale della Fossa del Cixerri. Si presentano come apparati isolati che si elevano, spesso bruscamente ed in netto contrasto, dal paesaggio pianeggiante circostante, modellato a glacis e terrazzi. Questi rilievi vulcanici rappresentano cupole di ristagno (M. Exi, M.



Gioiosa Guardia, Castello di Acquafredda, M. Truxionis) a composizione principalmente andesitico-dacitica (11,12).

- Nella valle omonima la Formazione del Cixerri è ben rappresentata sul bordo meridionale della Fossa a Sud e a Sud-Est dell'abitato di Villamassargia e Siliqua. In particolare è presente a Nord dell'abitato di Musei in varie colline sub-parallele con direzione Nord Ovest-Sud Est. Si tratta di depositi continentali, costituiti prevalentemente da arenarie quarzoso-feldspatiche, generalmente ben stratificate con frequenti intercalazioni di potenti lenti di conglomerati e marne e argille siltose contenenti spesso concrezioni ferruginose (10a).
- I depositi quaternari che hanno riempito l'intera Fossa del Cixerri, affiorano estesamente su tutta la fossa e sono maggiormente rappresentati dalle alluvioni antiche e da quelle recenti presenti soprattutto lungo l'attuale corso del Rio Cixerri.
- Si tratta di depositi in facies continentale, costituiti da conglomerati, sabbie, argille in parte compatte, in terrazzi e conoidi alluvionali (Alluvioni antiche Auct.) del Pliocene–Pleistocene (2a), e da depositi ghiaioso-sabbiosi di fondovalle e delle piane alluvionali dell'olocene (1).

#### Geologia di dettaglio

Da un punto di vista geologico i terreni affioranti nell'area in studio sono costituiti prevalentemente da depositi sedimentari appartenenti alla "Formazione di Gonnese" e alla "Formazione di Cabitza". La potenza della copertura superficiale è variabile da pochi centimetri a diversi metri di profondità.

Più precisamente la copertura alluvionale (Pleistocene) è costituita, da un punto di vista litologico, da materiali provenienti dal rimaneggiamento di sedimenti principalmente paleozoici e presenta i seguenti tipi litologici:

- Argille scure
- Ciottoli di dimensioni variabili

Formazione di Gonnese: La fine della deposizione silicoclastica e l'inizio di quella carbonatica segna il passaggio dalla Formazione di Nebida alla Formazione di Gonnese. La Formazione di Gonnese ("Metallifero" Auct., Gruppo di Gonnese: Pillola, 1991; Pillola et alii, 1995), che affiora, seppur in maniera discontinua, in tutto l'Iglesiente-Sulcis è tradizionalmente suddivisa in due unità litostratigrafiche informali, o membri, che dal basso sono la dolomia rigata e il calcare ceroide.

Una terza unità litostratigrafica, nota in letteratura con il nome di Dolomia grigia o Membro della Dolomia sarebbe derivata dalla locale dolomitizzazione diagenetica delle facies di transizione tra Calcarea ceroide e Dolomia rigata.



Lo spessore della Formazione di Gonnese varia da 180 a 480 m. Più recentemente questa unità è stata attribuita al Gruppo di Gonnese e suddivisa nella Formazione di S. Barbara e nella Formazione di San Giovanni (Pillola, 1991; Pillola et alii, 1995).

La Dolomia rigata (Formazione di S. Barbara, Pillola, 1991) è costituita da meta dolomie primarie e metacalcari ben stratificati, caratterizzati da ripetizioni cicliche di facies costituite da originari fanghi carbonatici stratificati; stromatoliti laminate; stromatoliti laminate con pseudomorfi di gesso o anidride; pisoliti vadose e/o brecce da disseccamento.

Nell'Iglesiente, la base della Dolomia rigata è caratterizzata dalla presenza di due o più sottili livelli di ossidi e idrossidi di ferro; sono inoltre frequenti lenti di barite "zebrata", talora silicizzata. Il Calcarea cerioide (Formazione di S. Giovanni, Pillola, 1991) è costituito da metacalcari massicci di colore grigio, generalmente mal stratificati. Il Calcarea cerioide è ritenuto paleontologicamente pressoché sterile; i rari resti fossili rinvenuti sono placche di echinodermi e frammenti di trilobiti. La presenza di archeocisti nella parte alta della Dolomia rigata e del Calcarea cerioide permette di riferire l'intera Formazione di Gonnese al Cambiano inferiore (Debrenne & Gandin, 1985).

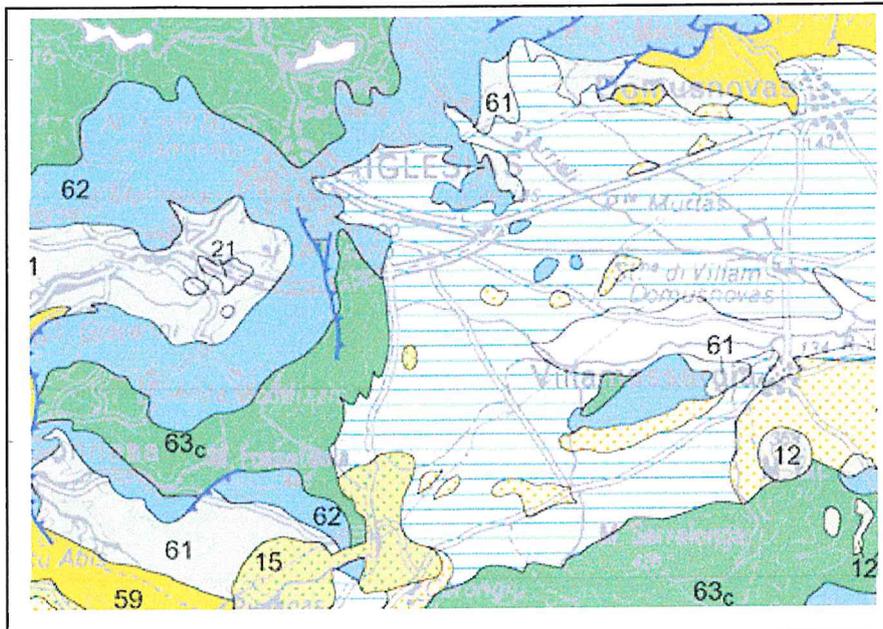
Formazione di Cabitza: Questa formazione (Cocozza, 1967) affiora nell'Iglesiente ed è tradizionalmente suddivisa in due membri che dal basso sono costituiti dal calcarea nodulare e dagli scisti di Cabitza. Nei recenti studi di Pillola (1990; 1991) la formazione di Cabitza è stata denominata Gruppo di Iglesias e a sua volta suddivisa in Formazione di Campo Pisano e Formazione di Cabitza. Il calcarea nodulare giace con contatto netto sul Calcarea cerioide e più raramente sulla Dolomia grigia ed è costituito da una fitta alternanza di sottili livelli di argilloscisti più o meno siltosi, rossi e verdi, più raramente neri, e di calcari grigi, localmente neri, con struttura nodulare. Il contenuto fossilifero è dato da echinodermi, trilobiti. Verso l'alto il Calcarea nodulare passa agli Scisti di Cabitza, che chiude la serie cambriana. Si tratta di una caratteristica successione formata da ritmiche alternanze centimetriche e millimetriche di metargilliti e metasiltiti varicolori, raramente carbonatiche, con subordinati livelli di metarenarie, generalmente fini; la parte sommitale è localmente costituita da metarenarie fini e quarziti con frequenti laminazioni incrociate.



### Quaternario

Depositi alluvionali del Quaternario:

I depositi alluvionali sono caratterizzati da un'alterazione molto spinta dei ciottoli di origine prevalentemente scistoso-arenacea e dalla matrice argillosa e si presentano ben costipate e cementate.



#### Legenda

- 61 Formazione Cabitza
- 62 Formazione Gonnese
- 63 Formazione Nebida
- 12 Andesiti Oligoceniche
- 10 Formazione del Cixerri
- 1 Alluvioni

Da Carta Geologica (scala 1:250.000)

Spesso le ritroviamo in terrazzi alluvionali, convogliati nella depressione dagli impluvi impostati nella Valle del Cixerri. Questi depositi alluvionali talora mostrano più ordini di terrazzi legati alla differente evoluzione tettonica determinatasi nella zona durante il Plio-quaternario.

La coltre alluvionale e detritica risulta costipata e con spessore variabile da pochi ad alcuni metri. Le alluvioni recenti costituite prevalentemente da materiale sciolto le ritroviamo in particolare lungo i corsi d'acqua. Si tratta di sedimenti ghiaiosi grossolani a spigoli sub-arrotondati con intercalazioni di detriti a spigoli vivi.

Dall'analisi della cartografia e a seguito del sopralluogo si evince che la zona di sedime ricade in un settore a morfologia subpianeggiante in una fascia altimetrica di circa 180 m sul livello del mare.

Sotto il profilo morfologico, l'area rispecchia perfettamente le caratteristiche della pianura del Cixerri trattandosi di un'ampia pianura alluvionale, con qualche accenno alla morfologia tipica della fascia pedemontana.



Nell'area il sistema fluviale è moderatamente sviluppato, le portate pur non essendo ingentissime hanno determinato, in particolar modo in passato, (Pliocene – Pleistocene) la formazione di estese coltri di alluvioni cosiddette antiche, caratterizzate da frequenti ripe di erosione fluviale in prossimità dei corsi d'acqua attuali, e da superfici sub orizzontali terrazzate.

Quest'area mostra quindi, nel complesso l'uniformità morfologica tipica delle aree alluvionali, con basse pendenze ed occasionali interruzioni in corrispondenza di affioramenti che possono dar luogo a piccole colline (Formazione del Cixerri), o di incisioni dei corsi d'acqua attuali che hanno talora un regime temporaneo e stagionale.

Per quanto riguarda le caratteristiche idrogeologiche, la copertura alluvionale superiore è da considerarsi permeabile mentre il deposito argilloso limoso sottostante risulta praticamente impermeabile. Segue stratigraficamente la formazione litoide calcarea permeabile.

#### 4.1 GEOMORFOLOGIA

L'attuale morfologia del settore è il risultato dell'azione tettonica avvenuta durante le ere geologiche e della degradazione chimico-fisica ad opera degli agenti esogeni.

La regione in esame presenta una notevole complessità e completezza dal punto di vista geomorfologico, in essa, infatti, si riconoscono le morfologie proprie del sistema fluviale, nonché le forme tipiche delle aree collinari. L'area inoltre è caratterizzata dalla presenza di forme di natura antropica che hanno modificato l'aspetto morfologico originario: urbanizzazione, discariche, colmate etc.

Quest'area mostra nel complesso l'uniformità morfologica con pendenza medie ed occasionali interruzioni in corrispondenza di affioramenti che possono dar luogo a modeste colline.

L'affioramento paleozoico costituisce l'elemento strutturale di maggior spicco e forma l'ossatura dell'intera regione.

I rilievi di questo settore, che non superano talora i 600 m, mostrano un forte condizionamento da parte della litologia e della tettonica.

La Formazione di Gonnese costituita prevalentemente da dolomie, nell'iglesiente, dà luogo a dei rilievi con creste di degradazione ad andamento rettilineo in direzione W o NW-SE ; si osservano alla sommità dei rilievi collinari frequenti superfici sub orizzontali delimitate talvolta da cornici nette oppure unite al versante da una graduale diminuzione della pendenza senza che sia possibile riconoscervi una netta rottura di pendio.

I fondovalle sono incisi e formano spesso strette forre ad andamento talvolta meandriforme.



I versanti sono regolari, raramente incisi da linee di drenaggio e presentano poche creste di degradazione secondarie; sono inoltre presenti alcuni rilievi isolati che si ergono in genere dalle superfici sub orizzontali.

L'area in esame è caratterizzata dalla permeabilità variabile per fessurazione delle formazioni paleozoiche: limitata nella parte basale e tendente a crescere verso i calcari.

Queste condizioni si ritrovano sia nell'idrografia superficiale che in quella sotterranea.

Le differenti caratteristiche petrografiche delle formazioni geologiche si ripercuotono sia sul comportamento geomeccanico che sul comportamento geochimico.

#### 4.2 INQUADRAMENTO IDROLOGICO E IDROGEOLOGICO

La porzione di territorio investigata, appartiene all' U.I.O. (Unità Idrografica Omogenea) del Flumini Mannu di Cagliari-Cixerri.

L'idrografia superficiale dell'area rappresenta, attualmente, la naturale evoluzione della vecchia idrografia preesistente, strettamente legata al susseguirsi degli episodi alluvionali.

Nel corso del Quaternario ai processi erosivi di alta energia, seguirono processi di colmata che portarono alla formazione delle grandi pianure. Il susseguirsi degli episodi alluvionali, sempre più localizzati, ha determinato la deposizione e l'incisione dei primi depositi in forma di terrazzi di dimensioni minori (ripiani di ordine maggiore disposti alle quote più alte), sino a raggiungere l'assetto attuale. I corsi d'acqua attuali interposti tra i terrazzi non presentano flussi rilevanti, sono, infatti legati al regime pluviometrico. Si tratta di torrenti, con andamento pressoché rettilineo e sub-parallelo, con direzioni circa NW-SE, che vanno ad alimentare il Riu Cixerri.

I depositi quaternari impostati in questa zona sono individuati nel P.T.A. (Piano Tutela delle Acque) come "Complesso Acquifero Detritico-Alluvionale Plio-Quaternario del Cixerri".

Tale Complesso è costituito dall'Unità delle Alluvioni Plio-Quaternarie, caratterizzate da depositi alluvionali conglomeratici, arenacei e argillosi. In particolare sono costituiti da sedimenti di ambiente continentale, prevalentemente rappresentati da alluvioni ciottolose, sedimenti clastici trasportati e depositati dai corsi d'acqua. Si tratta di depositi eterogenei: la sedimentazione fluviale è tipicamente rapida, discontinua e clasto-selettiva. Tali depositi danno così origine ai cosiddetti acquiferi alluvionali, non molto potenti, caratterizzati dalla sovrapposizione di lenti allungate nel senso della corrente che le ha depositate, costituiti da termini litologici di varia granulometria, originando così acquiferi superficiali e acquiferi profondi a falda imprigionata.



### Acquiferi superficiali

Gli acquiferi superficiali che si trovano nell'orizzonte superiore della formazione alluvionale continentale, sono costituiti da materiali eterogenei, variamente distribuiti. Nei materiali più grossolani si ha l'accumulo d'acqua mentre nei livelli argillosi e/o limosi si ha locale impermeabilità.

Le capacità di assorbimento e circolazione d'acqua nei litotipi affioranti nel settore investigato hanno permesso di distinguere le seguenti classi di permeabilità.

- Formazioni con permeabilità da media ad alta: appartengono a questa classe i terreni incoerenti clastici a matrice più grossolana, ciottoloso-sabbiosi olocenici alluvionali recenti e attuali, dotati di una permeabilità primaria da circolazione idrica interstiziale per porosità.
- Formazioni con permeabilità per porosità media e medio-bassa: fanno parte di questa classe i sedimenti alluvionali recenti incoerenti o debolmente coerenti limo-argillosi, la cui circolazione idrica varia in funzione dell'influenza della componente limosa e argillosa rispetto a quella sabbiosa e ghiaiosa; a questa classe appartengono anche i depositi alluvionali antichi pleistocenici in cui il grado di costipazione elevato ostacola la percolazione delle acque meteoriche nei terreni sottostanti determinando una permeabilità primaria medio-bassa.

### Acquiferi profondi

L'assetto litostratigrafico individuato attraverso i dati di letteratura, consente di ipotizzare la possibile presenza oltre i 100 metri di profondità di acquiferi confinati.

## 5. COMPATIBILITÀ PIANO DI ASSETTO IDROGEOLOGICO

L'area in esame ricade nel sub Bacino n. 7 del P.A.I. (Piano per l'Assetto Idrogeologico). Tali aree non sono contenute all'interno della Perimetrazione delle aree a rischio idraulico e geomorfologico.

## 6. CAMPAGNA DI INDAGINI

La campagna di indagini geognostiche è stata realizzata nel mese di gennaio e febbraio 2013. Le indagini eseguite sono consistite in:

- n° 3 sondaggi geognostici a rotazione e a carotaggio continuo fino alla profondità massima di 20.00 m dal p.c.;
- n° 6 prove penetrometriche dinamiche tipo SPT nei fori di sondaggio;
- n° 1 piezometro a tubo aperto installato nel foro di sondaggio;
- n. 4 pozzetti geognostici;



• n°10 campioni indisturbati di terreno prelevati con i sondaggi dai pozzetti geognostici e sottoposti a prove di laboratorio.

Sondaggio	Profondità (m da p.c.)
S1	20
S2	20
S3	20

Sui campioni prelevati è stata eseguita una caratterizzazione geotecnica mediante determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei litotipi attraversati.

Sondaggio	Profondità (m da p.c.)	Strumentazione
S1	20	Pz. tubo aperto
S2	20	---
S3	20	---

Sui campioni prelevati nei fori di sondaggio è stata eseguita una caratterizzazione geotecnica mediante determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei litotipi attraversati.



## 7. METODOLOGIA DI ESECUZIONE DELLE INDAGINI

### Prova penetrometrica SPT

La prova SPT eseguita durante la perforazione, consiste nel registrare il numero di colpi necessari per far penetrare di 45 cm nel terreno a fondo foro un tubo campionario di dimensioni standard, collegato alla superficie mediante batteria di aste in testa alle quali agisce un maglio del peso di 63.5 kg che cade liberamente da un'altezza di 0.76 m.

Durante la prova si misura:

N1 = numero di colpi di maglio necessari a provocare l'avanzamento del campionario per i primi 15 cm, assunti come tratto di "avviamento";

N2 = numero di colpi che provoca la penetrazione del campionario nei successivi 15 cm;

N3 = numero di colpi necessari per gli ultimi 15 cm di avanzamento.

Si assume come resistenza alla penetrazione il valore:

$$NSPT = N2 + N3$$

Si utilizzano le seguenti attrezzature standard:

Standard Penetration Test

- Aste d'infissione del diametro esterno 50 mm e peso di 7 kg/m;
- testa di battuta di acciaio avvitata sulle aste;
- maglio di acciaio di 63.5 kg;
- dispositivo automatico che consente la caduta del maglio da un'altezza di 0.76 m;
- centratore di guida per le aste fra la testa di battuta e il piano campagna;
- campionario standard (detto Raymond dalla società che lo ha introdotto per prima). Si tratta di un tubo carotiere avente diametro esterno di 51 mm, spessore 16 mm e lunghezza complessiva comprendente scarpa e raccordo alle aste di 813 mm.

Nei terreni ghiaiosi, non incontrati nel corso dei sondaggi, la scarpa del carotiere viene sostituita da una punta conica di diametro 51 mm, angolo 60°.

Vi sono numerose correlazioni tra la resistenza alla penetrazione (NSPT) e i parametri geotecnici dei terreni sia granulari che coesivi:



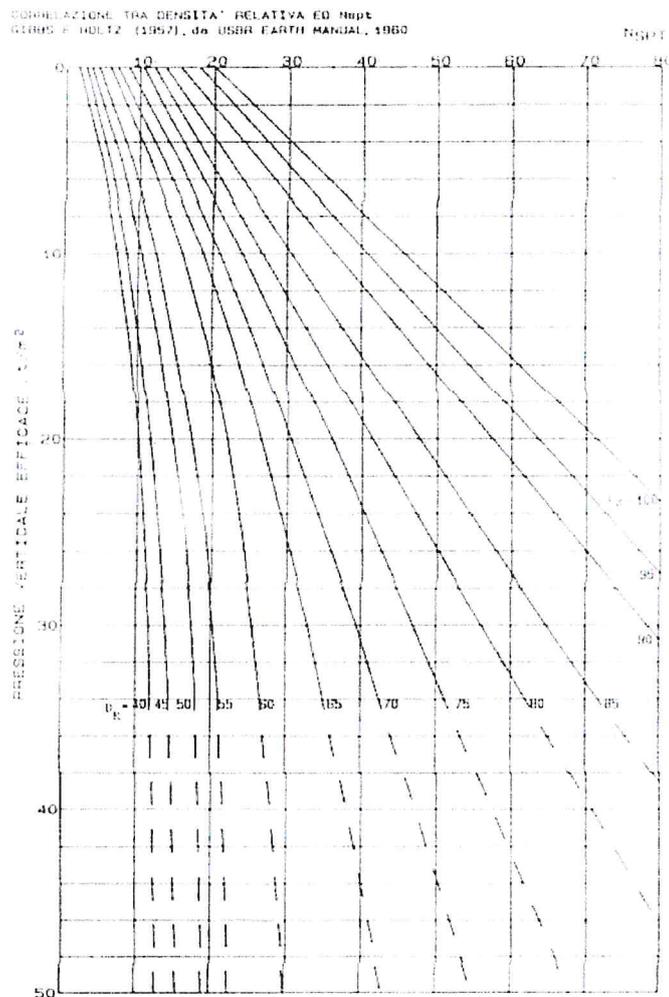
## TERRENI GRANULARI

Le correlazioni ritenute più attendibili tra la resistenza alla penetrazione (NSPT) ed alcuni parametri geotecnici sono le seguenti:

### 1) Correlazione di Gibbs-Holtz

Permette di determinare la densità relativa dei terreni granulari mediante la relazione tra la resistenza alla penetrazione e la pressione verticale efficace.

#### Correlazione di Gibbs-Holtz

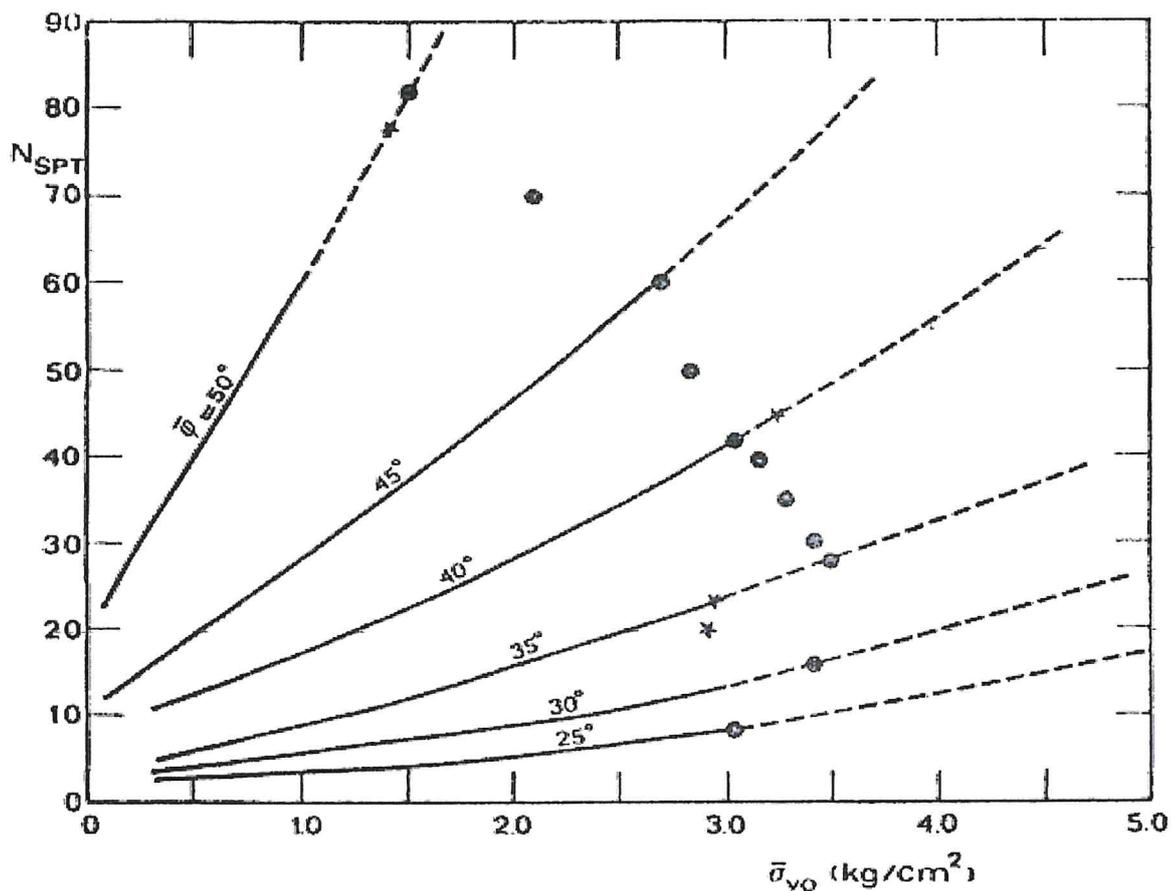




## 2) Correlazione di De Mello

Permette di ricavare l'angolo di attrito in funzione dello sforzo verticale efficace.

Correlazione di De Mello



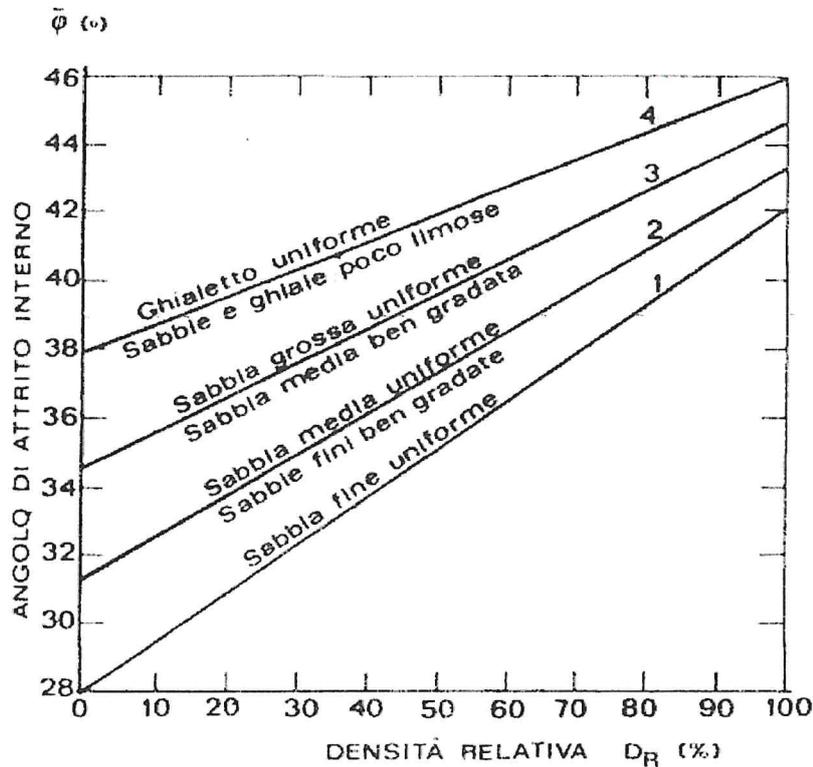
CORRELAZIONE DI DE MELLO  $\bar{\varphi} = f(N_{SPT}, \bar{\sigma}_v)$

## 3) Le correlazioni di Schmertmann

Pongono in relazione l'angolo di attrito efficace con la densità relativa in funzione di differenti granulometrie, utilizzando sia i valori della densità relativa  $D_r$  elaborati con il metodo di Gibbs-Hotz che con il metodo di Terzaghi-Pech-Skempton.



## Correlazione di Schmertmann

CORRELAZIONE  $\bar{\varphi} = f(D_R, GR)$   
SECONDO SCHMERTMANN (1977)

1.-  $\bar{\varphi} = 28 + 0.14 D_R$

2.-  $\bar{\varphi} = 31.5 + 0.115 D_R$

3.-  $\bar{\varphi} = 34.5 + 0.10 D_R$

4.-  $\bar{\varphi} = 38 + 0.08 D_R$

## 4) Correlazioni tra la resistenza alla penetrazione NSPT e la compressibilità

I metodi si dividono in due gruppi.

Il primo gruppo collega il valore della resistenza penetrometrica dinamica al cedimento; questo comprende il metodo di Terzaghi e Peck, di Meyerhof e di Peck-Bazaraa.

Il secondo gruppo si basa su correlazioni empiriche tra Nspt ed il modulo di deformazione delle sabbie; il gruppo comprende il metodo di Alpan, di D'Apollonia, di Parry.



Dal confronto dei cedimenti calcolati con i vari metodi e dei cedimenti reali misurati in America da Peck (1948) – Bazaara (1967) – Baker (1965), Parry (1971) sembra che il metodo di Parry risulta più attendibile, mentre i metodi più sperimentati sono quelli di Meyerhof, Peck-Bazaraa, Alpan e di Burland-Burbidge (1984).

### TERRENI COESIVI

E' di largo uso la correlazione di Terzaghi e Peck tra la resistenza alla penetrazione NSPT, la consistenza e la resistenza non drenata Cu.

La relazione tra NSPT e Cu tuttavia si considera accettabile solo per argille sensitive, ossia per quelle argille per cui la sensitività  $A = C_{ui} / C_{ur}$  (rapporto tra la coesione non drenata del campione indisturbato e coesione non drenata del campione rimaneggiato) varia da 4 a 8.

Negli altri casi si considera inattendibile la valutazione dei cedimenti dei terreni coesivi basati sul valore della resistenza dinamica NSPT.

Terreni incoerenti: sabbie, limi sabbiosi, sabbie e ghiaie:					
Consistenza terreni:	Molto sciolte	Sciolte	Mediamente dense	Addensate	Molto addensate
$N_{DLO30(10\text{ cm})}$	< 4	4 - 10	10 - 35	35 - 60	60
$N_{SPT(30\text{ cm})}$	< 4	4 - 10	10 - 30	30 - 50	> 50
Densità relativa:	< 15	15 - 35	35 - 65	65 - 85	85 - 100
Peso di volume allo stato secco ( $\gamma_{mc}$ ):	< 1.4	1.4 - 1.6	1.6 - 1.8	1.8 - 2.0	> 2.0
Angolo di attrito interno $\phi$ :	< 30	30 - 35	35 - 40	40 - 45	> 45

Terreni coesivi: argille, limi argillosi:						
Consistenza terreni	Molto soffice	Soffice	Plastica	Dura	Molto Dura	Durissima
$N_{DLO30(10\text{ cm})}$	< 1	1 - 3	3 - 6	6 - 12	12 - 30	> 30
$N_{SPT(30\text{ cm})}$	< 2	2 - 4	4 - 8	8 - 15	15 - 30	> 30
lc	$\approx 0$	0 - 0.25	0.25 - 0.50	0.50 - 0.75	0.75 - 1.00	> 1.00
Indice di consistenza						
Coazione non drenata Cu (Kg/cm <sup>2</sup> ):	< 0.1	0.1 - 0.25	0.25 - 0.50	0.50 - 1.00	1.00 - 2.00	> 2.00

### Perforazioni a carotaggio

Per sondaggio si intende una perforazione del terreno, in genere in direzione verticale, che consente di riconoscere la successione stratigrafica, mediante l'esame visivo e l'esecuzione di alcune prove di riconoscimento sul materiale estratto. La perforazione permette, oltre al riconoscimento stratigrafico, il prelievo di campioni "indisturbati" di terreno e l'esecuzione di prove in foro per la determinazione delle proprietà geotecniche dei terreni in sede.



Per le operazioni di trivellazione è stata impiegata una sonda tipo CMV equipaggiata con:

- carotiere semplice diametro 101 e L 3 metri
- aste 50 mm e L 3 metri

Per il campionamento dei terreni è stato utilizzato un tubo carotiere "semplice".

## 8. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geotecnica riportata nei paragrafi seguenti riguarda i seguenti terreni:

- Materiali detritici e riporti;
- Argille;
- Siltiti;
- Dolomie.

Ai fini della caratterizzazione dei terreni è stato fatto riferimento a:

- Prove di laboratorio eseguite sui campioni indisturbati e rimaneggiati prelevati nel corso dei sondaggi;
- Prove penetrometriche dinamiche SPT eseguite nei fori di sondaggio.

### **Classificazione**

La classificazione dei terreni è stata effettuata in modo convenzionale facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio, eseguite sui campioni esaminati, in termini di:

- curve granulometriche;
- limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico);
- pesi di volume;
- contenuti d'acqua naturale;
- indice dei vuoti iniziale.

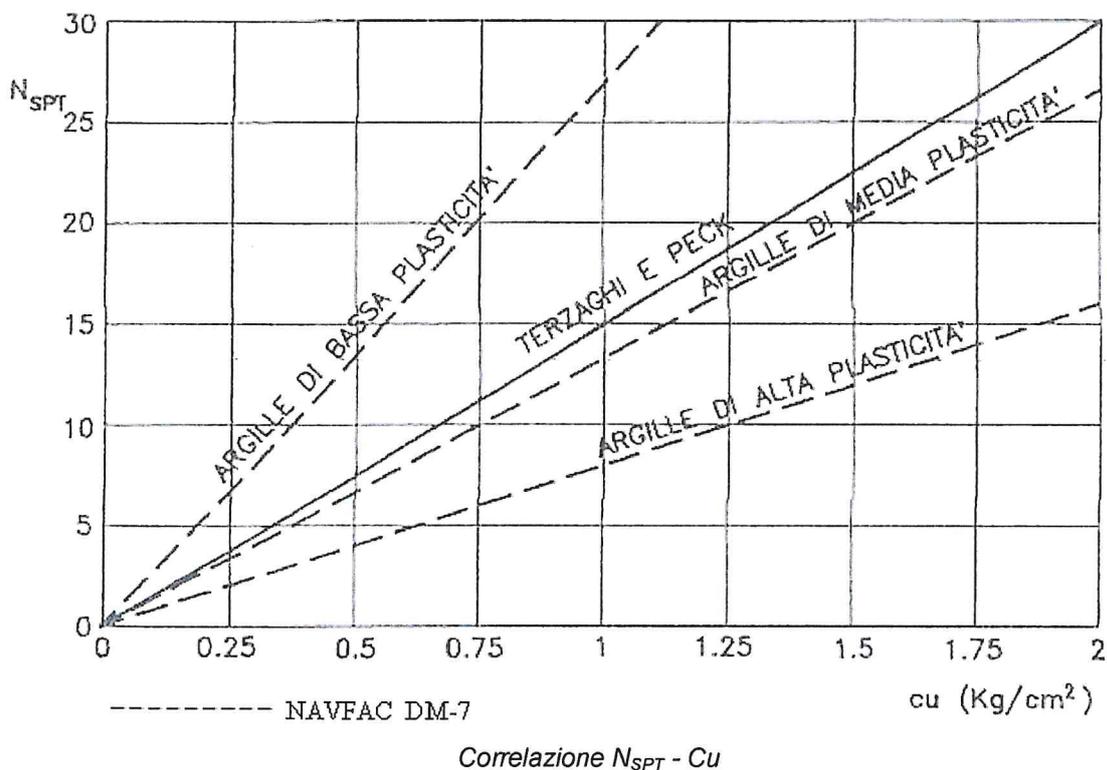
### **Determinazione delle caratteristiche di resistenza**

#### *Resistenza a taglio non drenata*

La resistenza al taglio non drenata  $c_u$  è stata valutata facendo riferimento sia ai risultati delle prove di laboratorio (prove di compressione ad espansione laterale libera), sia all'interpretazione dei risultati delle prove penetrometriche dinamiche (SPT).



La stima dei valori di  $c_u$  dai valori di  $N_{SPT}$  è stata effettuata facendo riferimento alle relazioni NAVFAC DM-7 (figura 0).



### Resistenza al taglio in termini di sforzi efficaci

I terreni in esame sono stati caratterizzati da parametri di resistenza in termini di sforzi efficaci, determinati, oltre che sulla base dei risultati di prove di taglio diretto (TD), anche sulla base di correlazioni con i risultati delle prove penetrometriche dinamiche (SPT).

I parametri principali per la valutazione delle caratteristiche di resistenza e deformabilità di tali terreni sono rappresentati dalla granulometria e dalla densità relativa ( $D_r$ ).

Al fine di ricavare le caratteristiche di resistenza al taglio delle unità geotecniche esaminate, si è fatto riferimento a due tipologie di relazioni funzionali tra i parametri geotecnici in esame:

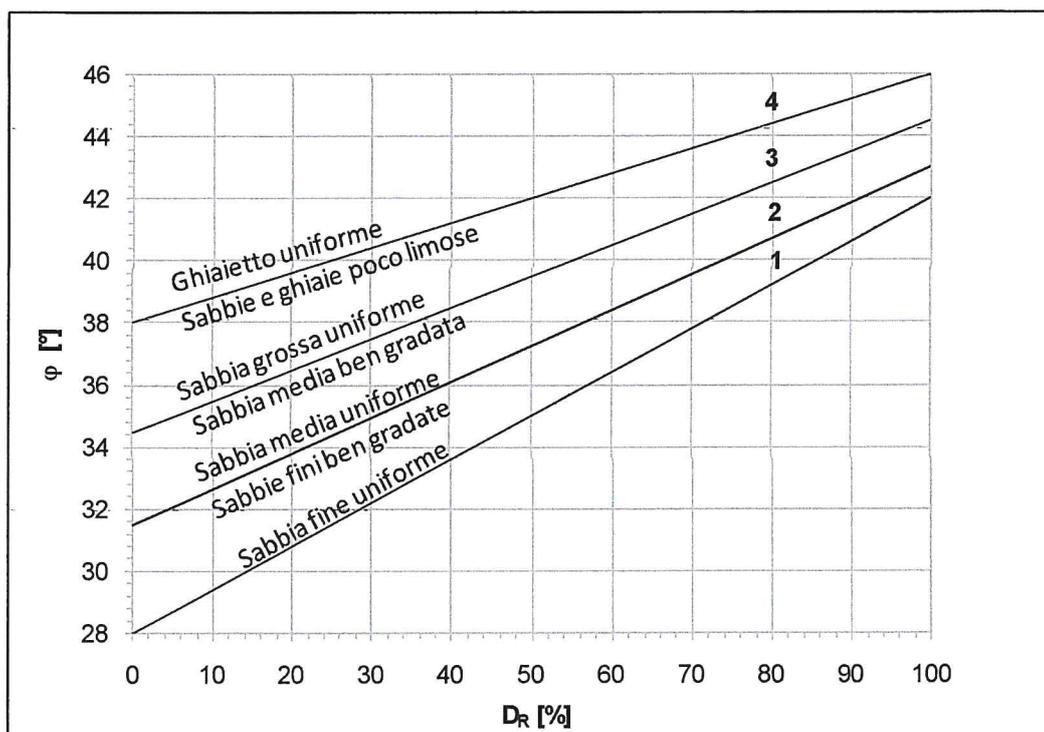
- correlazioni che esprimono il numero di colpi  $N_{SPT}$  in funzione della densità relativa consentendo a posteriori la determinazione dell'angolo di attrito mediante la conoscenza della granulometria del materiale in cui è stata effettuata la prova (Schmertmann [1975]), (figura 0). Nel caso in esame il valore della densità relativa  $D_r$  è stato valutato mediante le seguenti correlazioni:



- Meyerhof [1957]:  $D_R = 21 \sqrt{\frac{N_{SPT}}{(\sigma'_v + 0.7)}}$
- Schultze e Mezembach [1961]:  
 $\text{Log}_e(D_R) = 0.478 \text{Log}_e(N_{SPT}) - 0.262 \text{Log}_e(\sigma'_v) + 2.84$
- Bazaara [1967]:  $D_R = \begin{cases} \sqrt{\frac{N_{SPT}}{20 + 0.8\sigma'_v}} & \sigma'_v \leq 73.2 \text{ kPa} \\ \sqrt{\frac{N_{SPT}}{65 + 0.2\sigma'_v}} & \sigma'_v > 73.2 \text{ kPa} \end{cases}$

Sulla base di numerose evidenze sperimentali riportate in letteratura, è possibile mostrare che per terreni sabbiosi molto fini ( $D_{50} < 0.1 \text{ mm}$ ) l'effetto dell'immersione risulta non trascurabile. Per la ridotta permeabilità di tali terreni infatti, l'avanzamento del campionatore può generare sovrappressioni interstiziali positive o negative che dipendono dallo stato di addensamento del materiale influenzandone i valori di  $N_{SPT}$ . E' stato pertanto considerato tale effetto attraverso un valore corretto di  $N_{SPT}$ , mediante la seguente espressione (Terzaghi [1948]):

$$N'_{SPT} = 15 + 0.5 (N_{SPT} - 15)$$



Abaco per la stima dei valori dell'angolo di attrito in funzione della densità relativa e della granulometria (Schmertmann, 1975)



- correlazioni che esprimono il valore dell'angolo d'attrito efficace  $\varphi'$  direttamente in funzione del numero di colpi  $N_{SPT}$  (figura 0)

Sono state adottate le seguenti correlazioni:

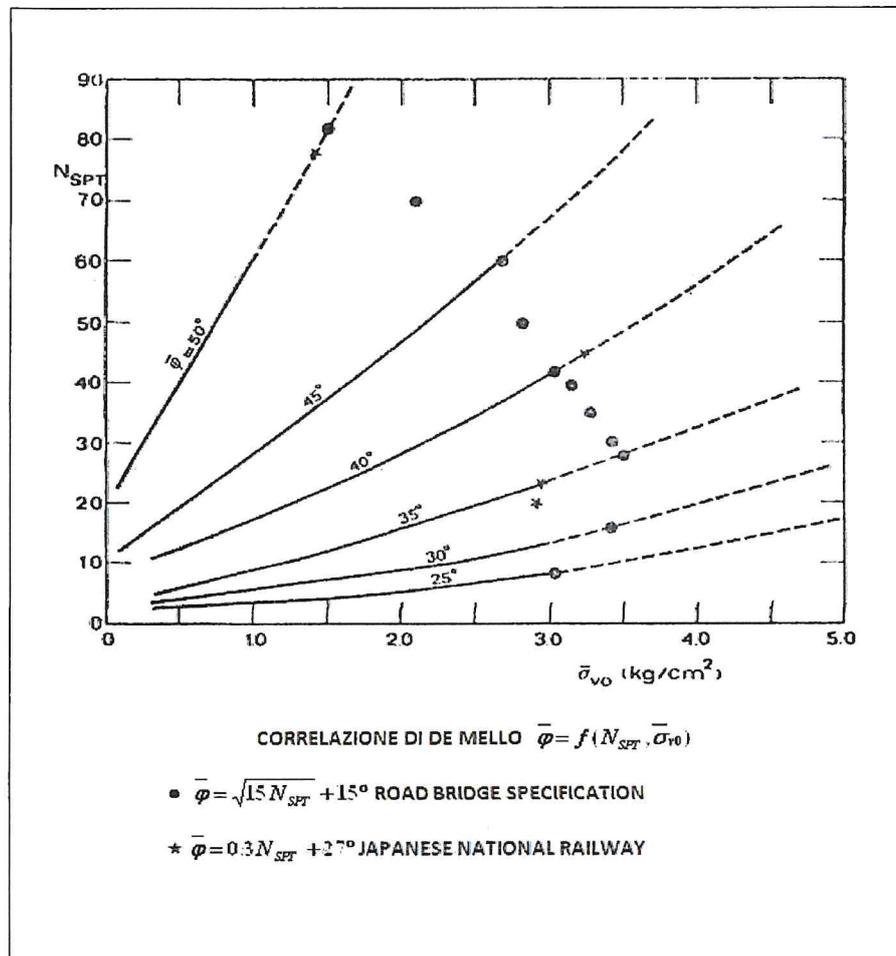
- De Mello [1971]:

$$\varphi' = 19 - 0.38\sigma + 8.73 \text{Log}(N_{SPT})$$

valida per le sabbie; inattendibile per profondità < 2 m da p.c. e per valori di  $\varphi' > 38^\circ$ .

- Road Bridge Specification[1971]:  $\varphi' = \sqrt{15N_{SPT}} + 15^\circ$
- Japanese National Railway:  $\varphi' = 0.3N_{SPT} + 27^\circ$

Anche in queste correlazioni il valore di  $N_{SPT}$  è stato corretto, per i terreni sotto falda, mediante l'equazione di Terzaghi [1948].



Abaco per la stima dei valori dell'angolo di attrito in funzione della pressione litostatica efficace e del numero di colpi SPT (De Mello, 1971)

**Pozzetto Esplorativo P1**

*Strato A* -- 0,00÷0,50 m -- Bitume

*Strato B* -- 0,10÷0,50 m -- Argilla di colore ocra con ciottoli di dimensioni centimetriche a spigoli prevalentemente arrotondati.

*Strato C* -- 0,50÷3,00 m -- Argilla leggermente addensata, di colore marrone, con presenza di ciottoli da millimetrici fino a circa 20centimetri, asciutte.

**Pozzetto Esplorativo P2**

*Strato A* -- 0,00÷0,10 m -- Bitume

*Strato B* -- 0,10÷0,80 m -- Argille, di colore ocra, con presenza di ciottoli.

*Strato C* -- 0,80÷3,0 m -- Argille di colore ocra scuro a marrone rossiccio, con ciottoli eterometrici, asciutte.



**Pozzetto Esplorativo P3**

*Strato A* -- 0,00÷0,20 m – Copertura a tout Venant.

*Strato B* -- 0,20÷0,60 m – Argille, di colore da bruno scuro al marron, con presenza di ciottoli.

*Strato C* -- 0,60÷3,00 m – Argille leggermente addensate, di colore marrone rosso tendente al violaceo, asciutte.





### Pozzetto Esplorativo P4

*Strato A* -- 0,00÷0,50 m – Argilla bruno-rossastra, con presenza di radichette.

*Strato B* -- 0,50÷3,00 m – Argillosa addensata, di colore marrone scuro, con presenza di ciottoli da pochi centimetri a circa 20 cm.



### Misure piezometriche

Nel piezometro realizzato in corrispondenza del sondaggio S1 si è rilevata la presenza della falda acquifera ad una profondità compresa tra 2.8 e 3 mt da p.c. In questa fase in assenza di misure prolungate nel tempo è possibile considerare il livello di falda in condizioni idrogeologiche normali prossime alla quota rilevata nel mese di gennaio 2013 ipotizzando in via cautelativa la falda posizionata a circa 4/5 mt dal p.c.

L'idrologia dell'area in esame si caratterizza per la presenza di un' acquifero a falda libera localmente alimentato dalle infiltrazioni efficaci. Durante l'esecuzione dei sondaggio S2 e S3 la falda è stata rilevata rispettivamente a 12 mt e a 18 mt dal p.c.



### Unità geotecniche

Entro il volume significativo di sottosuolo interagente con le opere in progetto, la distinzione delle unità su base stratigrafica assume rilevanza in termini di omogeneità fisica meccanica, su base geotecnica.

Nell'area in oggetto si riconoscono 4 unità geotecniche.

Secondo quanto disposto dalle Norme Tecniche, i parametri meccanici devono essere trattati in maniera statistica, adottando valori a cui sia associata una probabilità di superamento non superiore a 5% (2.3 – NTC2008), ottenendo parametri definiti “caratteristici”. Nel nostro caso appare giustificato il riferimento a valori medi, vista la confrontabilità delle prove.

Il modello geotecnico che caratterizza il volume significativo interessato dall'interazione con le opere (indicativamente uno spessore di sottosuolo compreso fra 4 e 5 m di profondità) e che scaturisce dalle indagini effettuate può riassumersi come segue suddiviso:



## SONDAGGIO 1

*Corpo geologico A (0 - 0.30 m) Suolo vegetale*

*Corpo geologico B (0.30 - 5.80 m) Argille limose debolmente sabbiose*

- N SPT medio = 23
- peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) = 1.7 g/cm<sup>3</sup>
- indice di compressione = 0.102
- coesione efficace = 100 KPa

*Corpo geologico C (5.80 - 17.80 m) Alternanze limi argillosi con inclusi lapidei*

- N SPT medio = 36
- angolo di resistenza al taglio = 23°
- coesione efficace (c'k) = 100KPa
- peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) = 1.81 g/cm<sup>3</sup>
- indice di compressione = 0.169
- coesione efficace = 112 KPa

*Corpo geologico D (17.80 - 20.00 m) Calcare e dolomia fratturata*

- angolo di resistenza al taglio = 28°
- peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) = 1.71
- indice di compressione = 0.096





## SONDAGGIO 2

**Corpo "geologico" A (0 - 0.10 m) Bitume**

**Corpo geologico B (0.10 - 5.0 m) Argille debolmente sabbiose**

- N SPT medio = 31
- angolo di resistenza al taglio =  $21^\circ$
- peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) = 1.58 g/cm<sup>3</sup>
- indice di compressione = 0.126
- coesione efficace = 61 KPa

**Corpo geologico C (5.00 - 12.40 m) Alternanze di limo argilloso con inclusi lapidei**

- N SPT medio = 40
- angolo di resistenza al taglio =  $24^\circ$
- coesione efficace ( $c'k$ ) = 100KPa
- peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) = 1.7 g/cm<sup>3</sup>
- indice di compressione = 0.14
- coesione efficace = 68 KPa

**Corpo geologico D (12.40 - 20.00 m) Dolomia**

- angolo di resistenza al taglio =  $28^\circ$
- peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) = 1.75
- indice di compressione = 0.136
- coesione efficace = 59 KPa





### SONDAGGIO 3

Corpo "geologico" A (0 - 0.30 m) Suolo vegetale

Corpo geologico B (5.00 - 12.40 m) Alternanze di argilla limosa

- N SPT medio = 25
- angolo di resistenza al taglio = 25°
- coesione efficace (c'k) = 100KPa
- peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) = 1.7 g/cm<sup>3</sup>
- coesione efficace = 135 KPa

Corpo geologico C (12.40 - 20.00 m) Alternanza di limi argillosi e siltiti con inclusi litoidi

- N SPT medio = 31
- angolo di resistenza al taglio = 28°
- peso dell'unità di volume ( $\gamma$ ) = 2.21
- coesione efficace = 117 KPa





## 9. CAPACITA' PORTANTE E CEDIMENTI

Si procede alla valutazione della capacità portante ammissibile del terreno ed alla stima dei cedimenti indotti dai nuovi carichi. Sia per la valutazione della capacità portante che per la stima dei cedimenti si è utilizzato un software di calcolo che computa direttamente la portanza in fase di verifica ed i cedimenti in fase di esercizio.

### CAPACITÀ PORTANTE

Il terreno rinvenuto presenta caratteristiche meccaniche mediocri per l'adozione di fondazioni superficiali di tipo diretto a plinto o a platea purchè vengano irrigidite. In quanto lo strato compatto o parzialmente compatto è localizzato ad una profondità superiore a 10 mt. dal piano campagna La valutazione della capacità portante è condotta sulla base della usuale formula di Brinch –Hansen che viene qui di seguito riportata:

$$q_{lim} = 0.5 \gamma_c B' N_\gamma s_\gamma i_\gamma b_\gamma g_\gamma + c' N_c s_c d_c i_c b_c g_c + q' N_q s_q d_q i_q b_q g_q$$

Con il seguente significato per ognuno dei fattori sopra riportati:



fattori di capacità portante	$N_c$	$(N_q - 1) \cot \phi'$
	$N_f$	$2(N_q + 1) \tan \phi'$
	$N_q$	$\tan^2(45 + \phi'/2) e^{\pi \tan \phi'}$
fattori correttivi	forma	
	$s_c$	$1 + 0.2 k_p (B'/L')$
	$s_f$	$1 + 0.1 k_p (B'/L')$
	$s_q$	$1 + 0.1 k_p (B'/L')$
	approfondimento	
	$d_c$	$d_q - [(1 - d_q)/(N_c \tan \phi')]$
	$d_q$	$1 + [2 (D/B') \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2]$ per $D/B' < 1$ $1 + [2 \tan \phi' (1 - \sin \phi')^2 \tan^{-1}(D/B')]$ per $D/B' > 1$
	inclinazione carico	
	$i_c$	$i_q - [(1 - i_q)/(N_c \tan \phi')]$
	$i_f$	$[1 - (H/(N + B'L' c' \cot \phi'))]^{(m+1)}$
	$i_q$	$[1 - (H/(N + B'L' c' \cot \phi'))]^m$ $m = [2 + (B'/L')]/[1 + (B'/L')]$
	Inclinazione fondazione	
$b_q$	$(1 - \alpha \tan \phi')^2$	
$b_f$	$(1 - \alpha \tan \phi')^2$	
$b_c$	$b_q - [(1 - b_q)/(N_c \tan \phi')]$	
inclinazione piano campagna		
$g_q$	$(1 - \tan \alpha)^2$	
$g_f$	$(1 - \tan \alpha)^2$	
$g_c$	$g_q - [(1 - g_q)/(N_c \tan \phi')]$	

Il valore della portata ammissibile viene successivamente ricavato sulla base della formula qui di seguito riportata utilizzando un coefficiente di sicurezza pari a 3 come da prescrizioni normative:

$$q_{amm} = (q_{lim} - q') / FS + q'$$

dove:

- $q'$  è la pressione efficace alla quota di imposta della fondazione
- FS è il coefficiente di sicurezza pari a 3.

Applicando la formula di Brinch-Hansen si ottengono i seguenti valori di portata ammissibile sulla base di dimensioni variabili della fondazione:



**CALCOLO DELLA CAPACITA' PORTANTE**  
**J. Brinch Hansen (1970)**

Dati sulla fondazione	
Angolo d'inclinazione del piano di campagna	b 0°
Angolo d'inclinazione del piano fondazione	a 0°
Rapporto componente orizzontale e verticale dei carichi	H/N 0.07
Coefficiente di sicurezza	Fs 3.00
Angolo che la risultante dei carichi forma con la verticale	d 4°

Caratteristiche geotecniche del terreno di fondazione	
Coesione	c 1.30 t/m <sup>2</sup>
Angolo di attrito interno	f 25°
Peso di volume del terreno sottostante	g 1.82 t/m <sup>3</sup>
Peso di volume del terreno laterale	g <sub>sup</sub> 1.70 t/m <sup>3</sup>

Comportamento del terreno di tipo rigido plastico  
 Criterio di rottura di Coulomb - Rottura di tipo generale - Q<sub>lim</sub> = Q<sub>lim</sub> / F<sub>s</sub>  
 $Q_{lim} = 0.5 \cdot g \cdot (B - 2e_x) \cdot N_q \cdot s_x \cdot d_x \cdot i_x \cdot b_x \cdot g_x + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot d_c \cdot i_c \cdot b_c \cdot g_c + g_{sup} \cdot D \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q$

$N_q = 1.5 \cdot (N_q - 1) \cdot \tan f =$  **6.75829**     
  $N_q = e^{2.75 \cdot \tan f} \cdot \tan^2(45 + f/2) =$  **10.66213**     
  $N_c = (N_q - 1) \cdot \cot f =$  **20.72051**

Geometria della fondazione				Eccentricità		Fattori di			Fattori di			Fattori di			Fattori di			Capacità portante della fondazione					
Larg.	Lung.	Prof.	B'	Trasv.	Long.	Forma della fondazione			Profondità del p.f.			Inclinazione del carico			Inclinazione del p.f.			Inclinazione del p.c.			Q <sub>lim</sub>	Q <sub>lim</sub>	Q <sub>lim</sub>
B	L	D	B'	e <sub>t</sub>	e <sub>l</sub>	s <sub>q</sub>	s <sub>q</sub>	s <sub>c</sub>	d <sub>q</sub>	d <sub>q</sub>	d <sub>c</sub>	i <sub>q</sub>	i <sub>q</sub>	i <sub>c</sub>	b <sub>q</sub>	b <sub>q</sub>	b <sub>c</sub>	g <sub>q</sub>	g <sub>q</sub>	g <sub>c</sub>	t/m <sup>2</sup>	t/m <sup>2</sup>	kPa
2.00	2.00	1.00	1.33	0.333	0.333	0.7333	1.3109	1.343	1.000	1.1555	1.200	0.7056	0.9131	0.9131	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	68.671	22.69	224.46
3.00	3.00	1.00	2.00	0.500	0.500	0.7333	1.3109	1.343	1.000	1.1036	1.133	0.7056	0.9131	0.9131	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	67.326	22.44	220.06
4.00	4.00	1.00	2.67	0.667	0.667	0.7333	1.3109	1.343	1.000	1.0777	1.100	0.7056	0.9131	0.9131	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	67.64	22.55	221.12
2.00	2.00	1.50	1.33	0.333	0.333	0.7333	1.3109	1.343	1.000	1.2332	1.300	0.7056	0.9131	0.9131	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	87.04	29.012	284.51
3.00	3.00	1.50	2.00	0.500	0.500	0.7333	1.3109	1.343	1.000	1.1555	1.200	0.7056	0.9131	0.9131	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	83.186	27.729	271.93
4.00	4.00	1.50	2.67	0.667	0.667	0.7333	1.3109	1.343	1.000	1.117	1.150	0.7056	0.9131	0.9131	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	82.251	27.417	268.67
2.00	2.00	2.00	1.33	0.333	0.333	0.7333	1.3109	1.343	1.000	1.311	1.400	0.7056	0.9131	0.9131	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	107.09	35.697	350.07
3.00	3.00	2.00	2.00	0.500	0.500	0.7333	1.3109	1.343	1.000	1.207	1.267	0.7056	0.9131	0.9131	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	100.17	33.39	327.45
4.00	4.00	2.00	2.67	0.667	0.667	0.7333	1.3109	1.343	1.000	1.155	1.200	0.7056	0.9131	0.9131	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	97.702	32.587	319.58

Essendo:

- B la dimensione minima della fondazione
- L la dimensione ortogonale
- D l'approfondimento della fondazione nel terreno.

I valori ottenuti devono essere coniugati con le considerazioni legate alla deformabilità dei terreni ed al contenimento dei cedimenti, assoluti e differenziali.

**CALCOLO DEI CEDIMENTI****Caratteristiche Fondali:**

$$\begin{aligned} B &= 1.20 \quad [m] & P &= 30.00 \quad [t/m^2] \\ D &= 3.00 \quad [m] \\ L &= 10.00 \quad [m] \end{aligned}$$

**Caratteristiche Stratigrafiche:**

<i>Strato 1</i>	$\gamma_1 = 1.70 \quad [t/m^3]$	<i>Strato 3</i>	$\gamma_3 = 1.80 \quad [t/m^3]$
	$Z_1 = 6.00 \quad [m]$		$Z_3 = 5.00 \quad [m]$
<i>Strato 2</i>	$\gamma_2 = 1.72 \quad [t/m^3]$	<i>Strato 4</i>	$\gamma_4 = \quad [t/m^3]$
	$Z_2 = 9.00 \quad [m]$		$Z_4 = \quad [m]$
	$\Delta Z = 0.50 \quad [m]$	<b>Z tot.</b>	<b>20.00 [m]</b>
<b>Hc</b>	<b>10.00 [m]</b>	<b>Cc</b>	<b>10.20%</b>
		<b>e<sub>o</sub></b>	<b>72.00%</b>

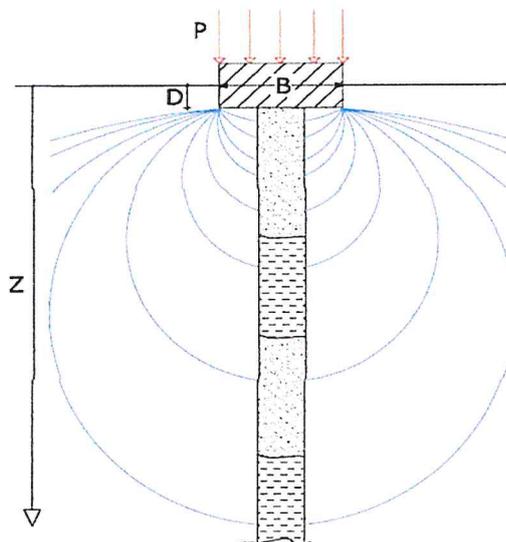
**Tensioni Indotte nel Terreno:**

$$\begin{aligned} \sigma_{net} &= 24.9000 \quad [t/m^2] \\ P_o &= 11.060 \quad [t/m^2] \\ \Delta P_o &= 2.4900 \quad [t/m^2] \\ \Delta P &= 2.3518 \quad [t/m^2] \\ Z_{mezz.} &= 6.50 \quad [m] \end{aligned}$$

CEDIMENTO
$\sigma = 4.9656 \quad [cm]$

**Legenda:**

- B = Larghezza della fondazione
- D = Profondità piano fondale dal p.c.
- L = Lunghezza della fondazione
- P = Pressione esercitata dalla struttura
- $\gamma_n$  = Peso di volume dello strato
- $Z_n$  = Spessore dello strato
- $\Delta Z$  = Incremento profondità
- Z tot. = Profondità totale considerata
- Hc = Profondità corrispondente al valore  $\Delta P_o$
- Cc = Indice di compressione
- e<sub>o</sub> = Indice dei vuoti
- $\sigma_{net}$  = Pressione netta alla profondità Z considerata
- P<sub>o</sub> = Pressione litostatica alla profondità Z mezz
- $\Delta P_o$  = Incremento di pressione
- Z mezz. = Mezzeria strato compressibile





<b>z</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b>P<sub>o</sub></b>	<b><math>\Delta P_o</math></b>
0.50	1.7	0.85	16.739
1.00	1.7	1.70	12.347
1.50	1.7	2.55	9.623
2.00	1.7	3.40	7.781
2.50	1.7	4.25	6.461
3.00	1.7	5.10	5.473
3.50	1.7	5.95	4.709
4.00	1.7	6.80	4.104
4.50	1.7	7.65	3.615
5.00	1.7	8.50	3.213
5.50	1.7	9.35	2.877
6.00	1.7	10.20	2.594
6.50	1.72	11.06	2.352
7.00	1.72	11.92	2.143
7.50	1.72	12.78	1.963
8.00	1.72	13.64	1.804
8.50	1.72	14.50	1.665
9.00	1.72	15.36	1.542
9.50	1.72	16.22	1.432
10.00	1.72	17.08	1.334
10.50	1.72	17.94	1.246
11.00	1.72	18.80	1.166
11.50	1.72	19.66	1.094
12.00	1.72	20.52	1.029
12.50	1.72	21.38	0.969
13.00	1.72	22.24	0.915
13.50	1.72	23.10	0.865
14.00	1.72	23.96	0.819
14.50	1.72	24.82	0.777
15.00	1.72	25.68	0.738
15.50	1.8	26.58	0.702
16.00	1.8	27.48	0.668
16.50	1.8	28.38	0.637
17.00	1.8	29.28	0.608
17.50	1.8	30.18	0.581
18.00	1.8	31.08	0.556
18.50	1.8	31.98	0.532
19.00	1.8	32.88	0.510
19.50	1.8	33.78	0.489
20.00	1.8	34.68	0.470



Con un carico stimato di circa 30 Tonnellate di tensione verticale di scarico sulla struttura di fondazione, compreso il peso della fondazione si ottiene un cedimento maggiore di 2 cm per tale motivo si consiglia un irrigidimento delle fondazioni al fine di evitare il verificarsi di cedimenti differenziali che potrebbero generare problemi alle strutture.

## 10. ANALISI DELLE AZIONI SISMICHE

Il Decreto Ministeriale del 14 Gennaio 2008 "Norme Tecniche per le Costruzioni" impone la verifica delle azioni sismiche sulle nuove costruzioni.

Come prima fase si determinano i parametri delle azioni sismiche di progetto proprie del sito oggetto di intervento; il territorio comunale di Iglesias è collocato in zona sismica 4, con parametri sismici per periodi di ritorno di riferimento  $T_r$ , riportati nella seguente tabella:

"Stato Limite"	$T_r$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_o$ [-]	$T_c^*$ [s]
Operatività	30	0.016	2.546	0.160
Danno	35	0.017	2.546	0.163
Salvaguardia Vita	332	0.036	2.625	0.264
Prevenzione Collasso	682	0.043	2.660	0.298

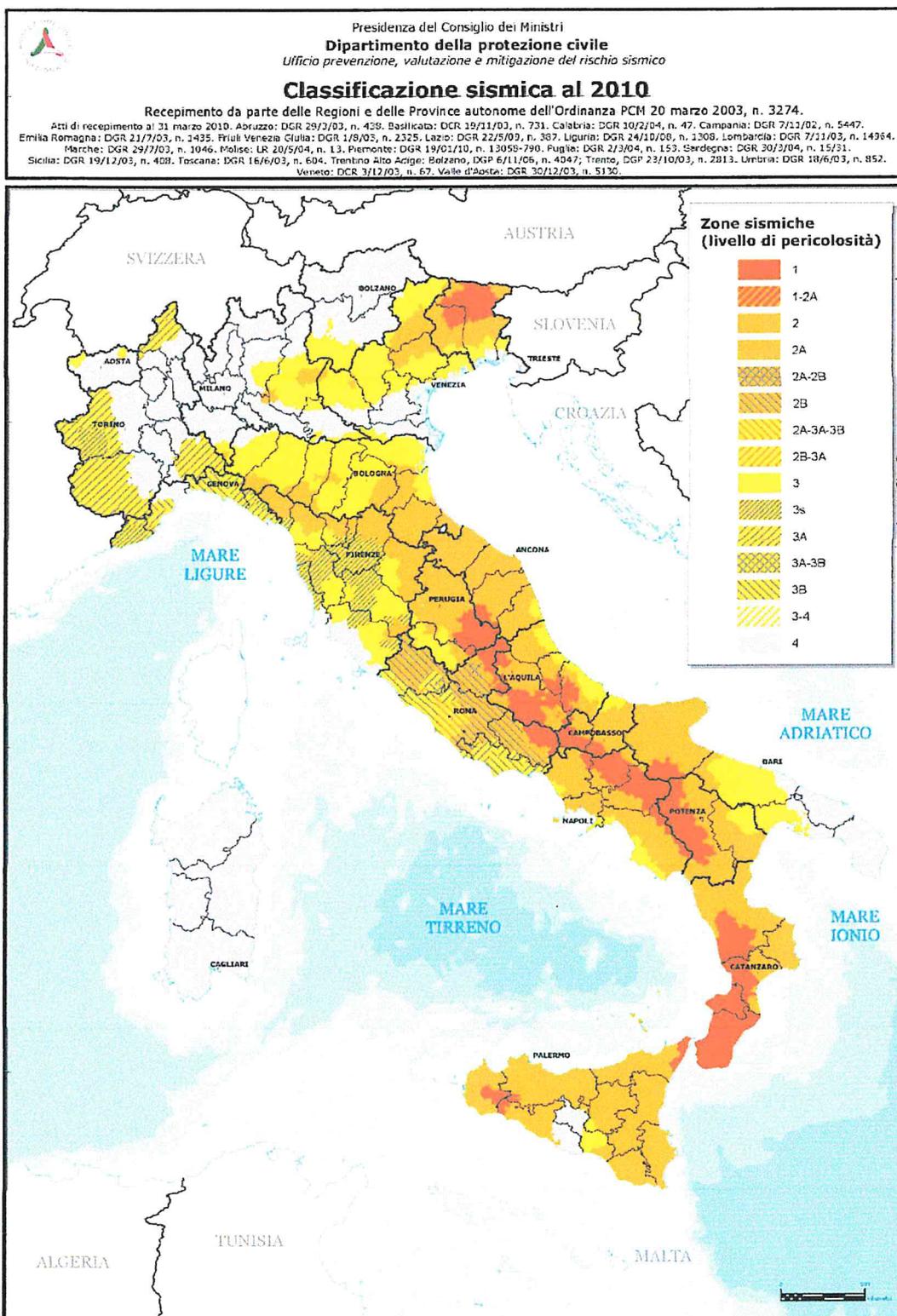
Dove  $a_g$  = accelerazione orizzontale massima al sito,

$F_o$  = 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.

Per la scelta dei parametri progettuali, vista l'importanza dell'opera, abbiamo assegnato al manufatto una vita nominale  $V_n$  (2.4.1 - NTC2008) pari a 50 anni e una classe d'uso "I" (2.4.2 - NTC2008). Ne consegue che il periodo di riferimento  $V_r$  per le azioni sismiche è pari a

$V_n \times C_u$  (coefficiente d'uso = 0,7 per classe d'uso I) = 35 anni.





Pertanto secondo la Delib. G.R. 30/03/2004 n. 15/31 (B.U. 21/08/2004 n. 27) Disposizioni preliminari in attuazione dell'Ord. P.C.M. 3274 del 20.3.2003 recante "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" si desume che la Regione Sardegna non ha ancora presentato una Normativa antisismica e che nella suddetta delibera comunque l'Assessore della Difesa dell'Ambiente propone alla Giunta regionale ottenendo parere favorevole su tale proposte:

- di recepire in via transitoria, fino a nuova determinazione conseguente l'aggiornamento della mappa di rischio sismico nazionale, in corso di redazione da parte degli Organi tecnici competenti, la classificazione sismica dei Comuni della Sardegna così come riportato nell'allegato "A" dell'Ordinanza 3274/2003 in cui tutti i comuni dell'isola sono classificati in Zona 4.

- di non introdurre per detti Comuni l'obbligo della progettazione antisismica.

Zona	Accelerazione orizzontale con probabilità di superamento pari al 10 % in 50 anni [a <sub>g</sub> /g]	Accelerazione orizzontale di ancoraggio dello spettro di risposta elastico (Norme Tecniche) [a <sub>g</sub> /g]
1	> 0,25	0,35
2	0,15-0,25	0,25
3	0,05-0,15	0,15
4	<0,05	0,05

- ❖ Zona 1 - È la zona più pericolosa, dove possono verificarsi forti terremoti. Comprende 708 Comuni o porzioni di essi per i quali  $[a_g/g] \geq 0,25g$ .
- ❖ Zona 2 - Nei 2.345 Comuni o porzioni di essi per i quali  $0,25g > [a_g/g] \geq 0,15g$  possono verificarsi terremoti abbastanza forti.
- ❖ Zona 3 - Nei 1.560 Comuni o porzioni di essi per i quali  $0,15g > [a_g/g] \geq 0,05g$  possono essere soggetti a scuotimenti modesti.
- ❖ Zona 4 - È la meno pericolosa. Nei 3.488 Comuni o porzioni di essi per i quali  $[a_g/g] < 0,05g$  le possibilità di danni sismici sono basse.

L'area in esame è classificata come zona sismica 4, in riferimento al D.M. 14/01/2008 il tipo di costruzione e la 2 con vita nominale  $\geq 50$ .

TIPI DI COSTRUZIONE		V <sub>n</sub>
1	Opere provvisorie – Opere provvisionali – Strutture in fase costruttiva	$\leq 10$
2	Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o importanza normale	$\geq 50$
3	Grandi opere, ponti, opere infrastrutturali e dighe di grandi dimensioni o di importanza strategica	$\geq 100$

La normativa definisce in presenza di azione sismica 4 classi di costruzioni in base al loro utilizzo (Classe d'uso - art. 2.4.2) a cui si associa un coefficiente d'uso (Cu) come mostrano le Tabelle seguenti (estratte da NTC 2008).



<b>Classe I</b>	Presenza occasionale di persone, edifici agricoli
<b>Classe II</b>	Normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente [...]
<b>Classe III</b>	Affollamenti significativi. Industrie con attività pericolose per l'ambiente. Reti viarie extraurbane non ricadenti in classe d'uso IV. Ponti e reti ferroviarie la cui interruzione provochi situazioni di emergenza. Dighe rilevanti con attività particolarmente pericolose per l'ambiente
<b>Classe IV</b>	Funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente [...]

Classe d'uso	I	II	III	IV
Coefficiente $C_u$	0,7	1,0	1,5	2,0

La classe d'uso è la 3 con coefficiente 1,5.

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

Per la categoria topografica l'area ricade nella categoria T1.

L'azione sismica di progetto tiene inoltre conto della categoria di sottosuolo di riferimento (3.2.2 – NTC2008); sono previste cinque classi di terreni, identificabili sulla base delle caratteristiche stratigrafiche e delle proprietà geotecniche rilevate nei primi 30 metri, e definite dai seguenti parametri: velocità delle onde S, numero colpi SPT e/o coesione non drenata.

Le NTC2008 raccomandano fortemente la misura diretta della velocità di propagazione delle onde di taglio VS, ma in questo caso tale classe è stata definita mediante l'esecuzione di prove penetrometriche, come concesso nelle norme.



Per la caratterizzazione sismica del sito ci si avvale di quanto previsto dalle Norme. La suddivisione delle categorie di suolo è riportata di seguito:

Tabella 3.2.II (NTC 2008) – *Categorie di sottosuolo*

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

Per l'area indagata e per la tipologia di opera progetta, la tipologia di suolo individuata sulla base di indagini MASW eseguite dallo scrivente nelle aree limitrofe è : B.



## 11. VALUTAZIONI GEOLOGICHE E GEOTECNICHE

Il progetto prevede la realizzazione del Centro Intermodale che include anche un parcheggio multipiano. Il progetto prevede la realizzazione di 3 piani di cui uno interrato con approfondimenti di circa 3 – 5 metri dall'attuale piano di campagna. Sulla Base del modello geologico e geotecnico vengono di seguito analizzate le principali problematiche geologiche e geotecniche che i lavori in progetto comportano con valutazioni relativamente ai seguenti aspetti:

- Contesto fondazionale,
- Scavi opere di contenimento

### *CONTESTO FONDAZIONALE*

Nel sottosuolo dell'area in progetto il livello della falda si posiziona tra 12÷18 mt dal p.c. ad eccezione dell'area in prossimità del sondaggio S1 nel quale è presente una falda superficiale a circa 3 metri di profondità dall'attuale p.c. pertanto risulterà opportuno valutare l'eventuale interferenza con l'acqua di falda superficiale.

Considerate le caratteristiche geomeccaniche rilevate alla profondità ipotetica del piano di posa delle fondazioni (3/5mt dal p.c.) si suggerisce di utilizzare una fondazione mista platea/pali o plinti/pali da valutare in relazione ai carichi di progetto.

### *SCAVI E OPERE DI CONTENIMENTO*

Gli scavi necessari alla posa e realizzazione delle strutture interrato, opportunamente dimensionate, dovranno essere eseguiti adottando adeguate misure di sostegno del terreno. Durante l'esecuzione di tutte le operazioni di scavo e di posa delle strutture, si deve prevedere all'allontanamento delle acque di falda, d'infiltrazione e meteoriche dagli scavi, in quanto tale fenomeno porterebbe all'alterazione e degrado delle strutture del terreno predisponendo ad una situazione di pericolo per la stabilità dei fronti scavo e degli edifici circostanti.

Si deve provvedere, nel caso d'eventi meteorici, alla predisposizione d'opportuni mezzi di protezione degli scavi dall'infiltrazione e dal ruscellamento.



## CONCLUSIONI

In conformità a quanto in precedenza esposto, a quanto previsto dalle norme vigenti si riassumono le caratteristiche e la situazione dell'area indagata:

- ❖ L' area interessata dal progetto del Centro Intemodale ricade in una zona a morfologia pianeggiante formata prevalentemente da alternanze di depositi argilloso limosi e dalla successione calcareo dolomitica denominata Formazione di Gonnese.
- ❖ Nella zona non vi sono processi morfogenetici attivi, dissesti idrogeologici potenziali o in atto.
- ❖ L'area non ricade all'interno della perimetrazione del P.A.I. per pericolosità geologiche e/o idrauliche.
- ❖ I parametri geotecnici e geomeccanici medi possono essere così sintetizzati:

STRATO	Descrizione litologica	Coesione	$\varphi$	$\gamma$
A	Strato superfiale Caratteristiche geotecniche: scadenti	61 Kpa	22°	1.6
B	Argille limose, Caratteristiche geotecniche: scadenti	68 KPA	21°	1.6
C	Alternanze di limi argillosi con inclusi lapidei. Caratteristiche geotecniche: mediocri	135 KPA	25°	1.7
D	Calcere e dolomia fratturata Caratteristiche geotecniche: buone	117 Kpa	28°	2.2

- ❖ La falda freatica si attesta a profondità maggiore di 12/18 metri; solo in prossimità del sondaggio S1 la falda è stata rinvenuta a circa 3mt dal p.c.
- ❖ Il Comune di Iglesias è stato inserito, ai sensi dell' Ordinanza n° 3274 tra le località sismiche appartenenti alla Zona 4, appartenente alla Categoria di suolo tipo B.
- ❖ L' accelerazione orizzontale massima prevista è pari  $< 0.05g$ .
- ❖ Le fondazioni del fabbricato in progetto dovranno essere irrigidite pertanto si suggerisce di utilizzare una fondazione mista platea/pali o plinti/pali da valutare in relazione ai carichi di progetto al fine di evitare il verificarsi di cedimenti differenziali.
- ❖ Si consiglia la realizzazione di un idoneo sistema di drenaggio delle acque piovane al fine di allontanarle dall'area di sedime per evitare ristagni idrici.



- ❖ Si allegano i calcoli relativi alla portanza dei pali di fondazione, come da indicazioni dello strutturista, da verificare in funzione dei carichi di progetto.

