

COMUNE DI PORTO TORRES (SS)

ITALSTUDI srl - Roma

PROGETTO DEL NUOVO CIMITERO COMUNALE

RELAZIONE GEOLOGICO-TECNICA FONDAZIONALE

Roma, Novembre 2008



STUDIO GEOLOGICO TECNICO

Maurizio Lanzini - geologo

Studio: Via Suvereto, 250 - 00139 - ROMA

Tel. 068105754 – 0688385980 - 068122265

Email: lanzini@aconet.it



INDICE

1. PREMESSA	3
2. INQUADRAMENTO IDRO-GEO-MORFOLOGICO	4
3. INDAGINE GEOGNOSTICA	6
4. CARATTERI STRATIGRAFICI DELL' AREA IN STUDIO	10
5. CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI	19
6. SISMICITA'	25
7. VALUTAZIONE DELLE PRESSIONI AMMISSIBILI	26
8. BIBLIOGRAFIA	29
9. STRATIGRAFIE E TABULATI DI CALCOLO	30

1. PREMESSA

Il presente rapporto analizza le problematiche geologico-tecniche con riferimento specifico alle tipologie fondali e relative pressioni ammissibili dei manufatti previsti nell'ambito del Progetto Definitivo del Nuovo Cimitero di Porto Torres (SS).

In particolare sono previsti i seguenti elementi:

- Fabbricati a loculi
- Cappelle
- Chiesa
- Tombe a terra
- Area di inumazione
- Strade di servizio e parcheggio

In questa sede si fa riferimento a due studi già eseguiti:

- Studio idrogeologico e geologico-tecnico sui terreni interessati dalla costruzione del Nuovo Cimitero di Porto Torres (redatto dal geol. Carlo Premoselli; Gennaio 2006);
- Studio delle caratteristiche ambientali, paesaggistiche, storico-culturali, idrogeologiche e geologico-tecniche dei terreni interessati dalla costruzione del Nuovo Cimitero di Porto Torres (redatto dal geol. Carlo Premoselli; Novembre 2007);

Il presente rapporto sviluppa i seguenti argomenti:

- inquadramento tettonico, geologico, geomorfologico ed idrogeologico generale
- descrizione delle indagini geologiche, geognostiche e geotecniche di riferimento
- caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni di fondazione
- problematiche geologico-tecniche e valutazione delle pressioni ammissibili delle fondazioni

2. INQUADRAMENTO IDRO-GEO-MORFOLOGICO

Si riassumono qui di seguito i principali aspetti geologici, geomorfologici e idrogeologici, ricavati dagli studi pregressi (Studio del Gennaio 2007 e Studio del Novembre 2008, a cura del Geol. Carlo Premoselli), rimandando alle suddette relazioni per maggiori e più approfondite analisi del contesto geologico.

Il cimitero in esame è localizzato a sud dell'abitato di Porto Torres in un settore caratterizzato da quote intorno a 22-28 m slm; in particolare il Nuovo Cimitero è localizzato in corrispondenza di una blanda vallecola con direzione verso nord e verso la valle del Rio Mannu (Figura 1).

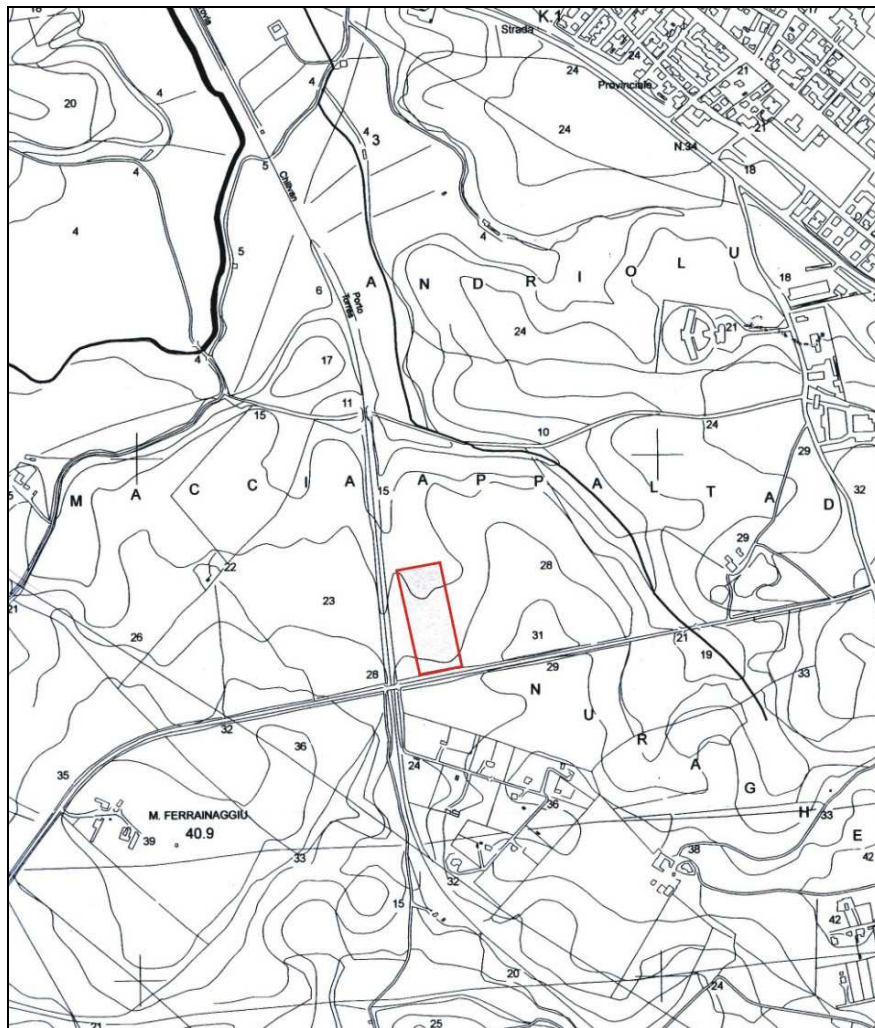


Figura 1 – ubicazione del cimitero

Dal punto di vista geologico tutta l'area è interessata da depositi calcarei, calcareo-marnosi e calcarenitici affioranti e/o subaffioranti riferibili al Miocene medio, con spessori locali valutati in alcune centinaia di metri.

La presenza diffusa di calcari, in genere piuttosto fratturati, determina condizioni di diffusi fenomeni carsici con dissoluzione del carbonati e presenza di terre residuali (argille rossastre), le quali ultime riempiono le fratture ed eventuali vuoti: come conseguenza del diffuso carsismo si sottolinea la potenziale presenza di vuoti sotterranei con andamento molto irregolare.

Le uniche variazioni geologiche significative a grande scala sono le alluvioni oloceniche e recenti del Rio Mannu, a nord-ovest del Cimitero.

Dal punto di vista idrogeologico i calcari presenti sono caratterizzati da elevata permeabilità per fratturazione e per carsismo; nello Studio geologico (Gennaio, 2006) si individua un Coefficiente di Permeabilità $k = 1 \times 10^{-4} - 1 \times 10^{-2}$ m/sec.

In tale contesto si individua una falda con livello piezometrico intorno a 5 m slm che drena dalle zone di monte verso la costa e con livello idrico di base corrispondenza con il livello marino; pertanto in corrispondenza dell'area del futuro cimitero la falda è localizzabile a circa 18-20 m dal piano campagna.

In base all' Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, il Comune di Porto Torres appartiene alla Zona Sismica 4, con accelerazione sismica al suolo $PGA = a/g = 0,05$ (PGA – Peak Ground Acceleration); questa classificazione corrisponde alla IV categoria delle vecchie norme (decreti fino al 1996).

In questa sede le verifiche sismiche saranno sviluppate adottando le modalità del DM 1996, con riferimento ad una III categoria sismica, caratterizzato da $S = 12$ e Coefficiente di Intensità Sismica $C = 0,04$; (Decreti fino al 1996).

3. INDAGINE GEOGNOSTICA

Nell'ambito dello "Studio delle caratteristiche ambientali, paesaggistiche, storico-culturali, idrogeologiche e geologico-tecniche dei terreni interessati dalla costruzione del Nuovo Cimitero di Porto Torres" (redatto dal geol. Carlo Premoselli; Novembre 2007), si è eseguita una campagna di indagini geognostiche consistite in n. 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 5 m dal piano campagna.

La Figura 2 mostra l'ubicazione dei suddetti sondaggi, le cui stratigrafie sono allegate alla fine del presente rapporto:

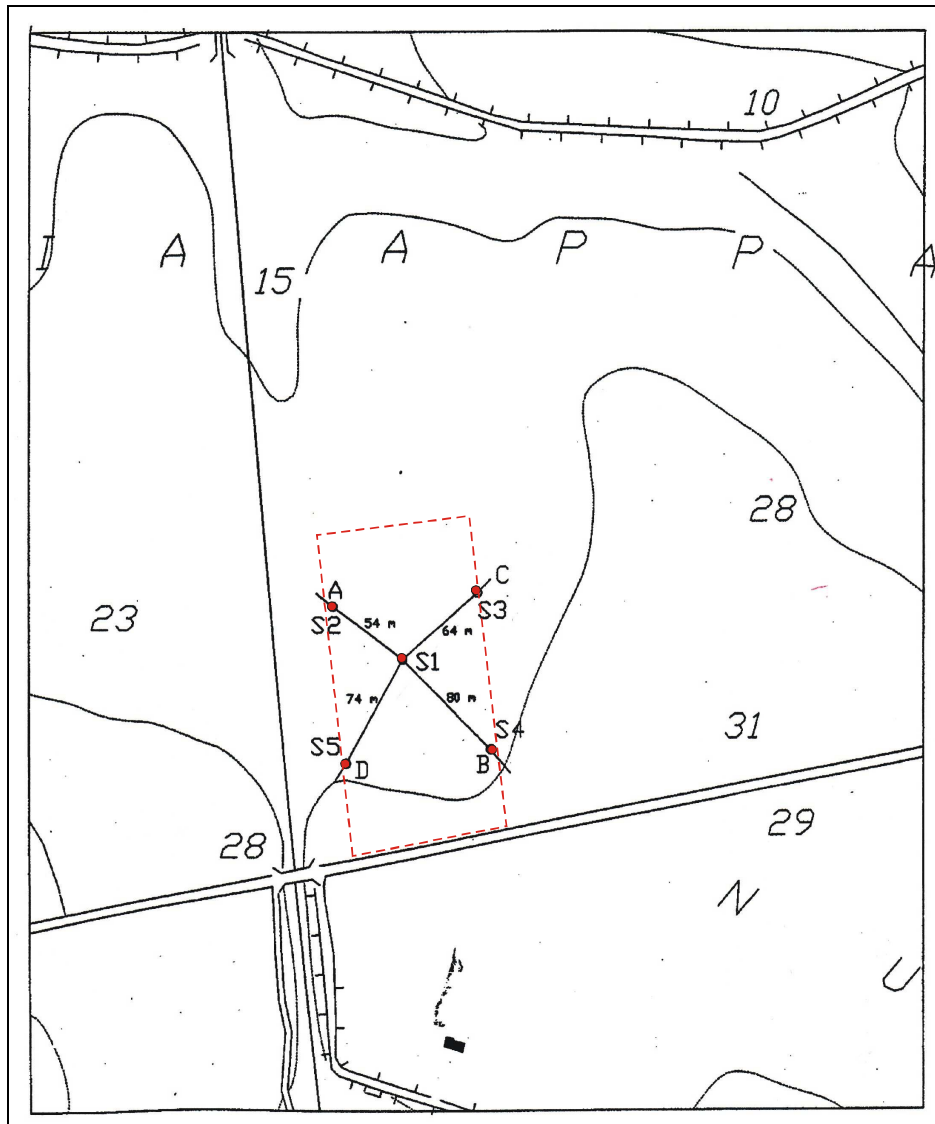


Figura 2 – ubicazione dei sondaggi geognostici

Data la prevalente presenza di rocce calcaree fratturate e relative coperture detritiche non sono stati prelevati campioni indisturbati.

La parametrizzazione dei terreni calcarei è pertanto sviluppata con la valutazione nel corso dei carotaggi dell'Indice RQD della roccia; soltanto nel sondaggio S4 in corrispondenza di un livello sabbioso-argilloso con elementi calcarei è stata eseguita una prova penetrometrica dinamica SPT alla profondità di 1,4 m dal piano campagna.

Si sottolinea comunque che nelle Relazioni del Dott. Geol. Carlo Premoselli (Gennaio 2006, Novembre 2007) si è già sviluppata una parametrizzazione fisico-meccanica dei terreni sulla base della personale e esperienza e di dati ricavati da prove di laboratorio su campioni provenienti da aree vicine aventi caratteristiche litostratigrafiche simili a quella in studio.

In questa sede si adottano questi ultimi parametri geotecnici, pur con una valutazione critica in funzione delle varie opere in progetto e delle tipologie fondali previste (vedi Cap. 5).

Interpretazione dei dati penetrometrici

I dati penetrometrici SPT, particolarmente significativi per la definizione degli orizzonti più granulari non campionabili, sono utilizzati per la parametrizzazione di tali terreni, con le metodologie più accreditate presenti in letteratura.

Per i terreni incoerenti ed a comportamento geomeccanico di tipo frizionale le prove penetrometriche permettono di stimare la densità relativa (D_r) e l'angolo d' attrito di picco (ϕ_p), utilizzando i grafici seguenti di Figura 3 (Gibbs & Holtz, 1957 e Schmertmann, 1977):

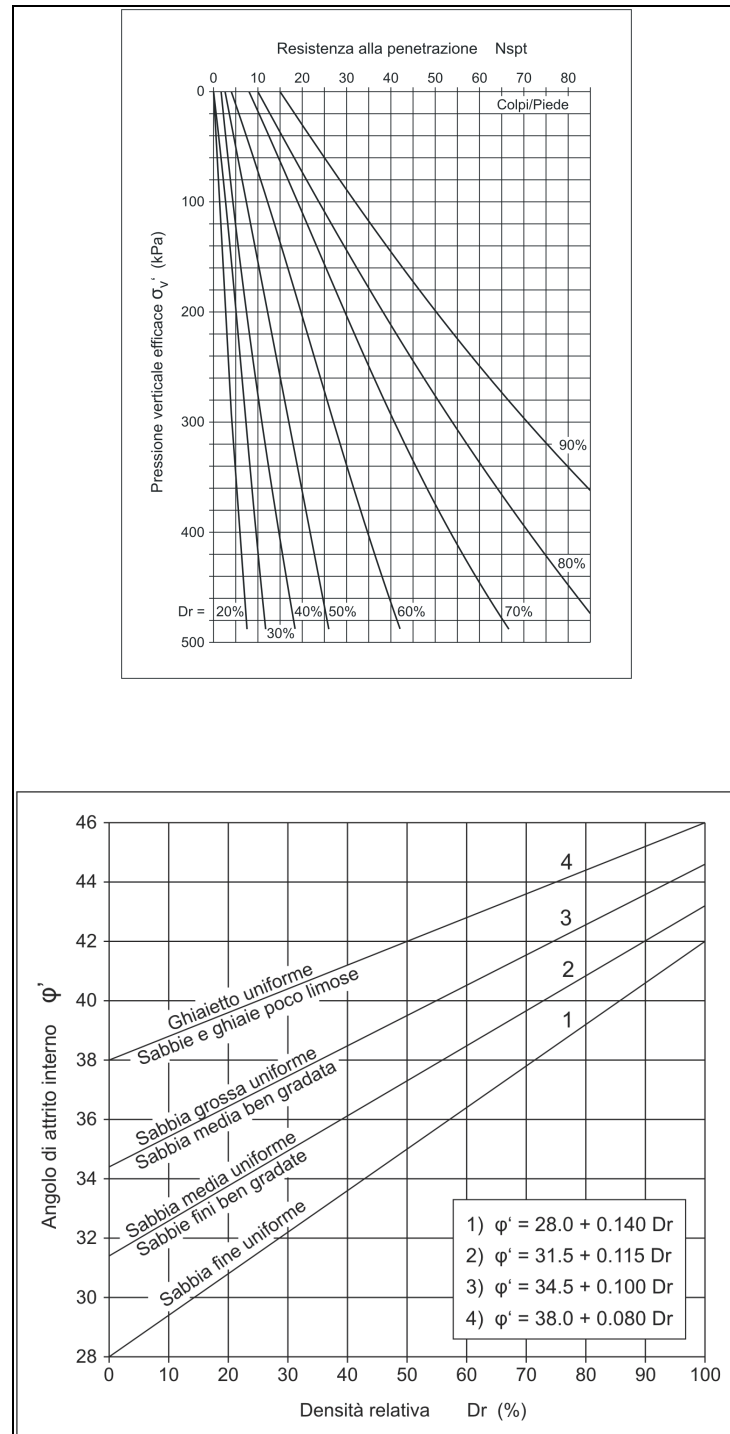


Figura 3: Stima della Densità Relativa e dell'angolo di attrito, da valori SPT

Per quanto riguarda la deformabilità, questa viene stimata (Denver, 1982) in base alle seguenti curve dovute a vari autori e per diversi litotipi (Figure 4, 5).

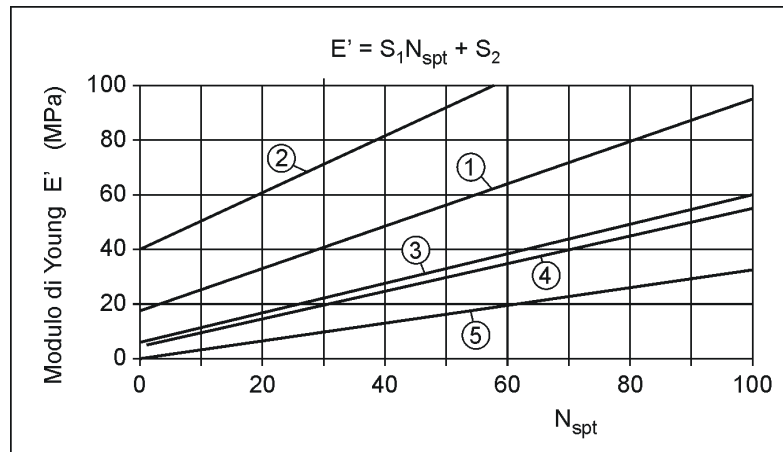


Figura 4: Parametri di deformabilità in base a valori SPT

CURVA	S1 (Mpa)	S2 (Mpa)	NOTE	RIFERIMENTO
1	0,756	18,75	Sabbia e ghiaia normalconsolidata	D'Appolonia et Alii, 1970
2	1,043	36,79	Sabbia sovracconsolidata	D'Appolonia et Alii, 1970
3	0,517	7,46	(tiene conto delle tensioni efficaci)	Schultze & Menzenbach, 1961
4	0,478	7,17	Sabbia satura	Webb, 1970
5	0,316	1,58	Sabbia argillosa	Webb, 1970

Figura 5: Parametri S1 e S2 per la stima del Modulo di Young (Denver, 1982)

4. CARATTERI STRATIGRAFICI DELL' AREA IN STUDIO

Dal rilevamento geologico e dai risultati dell'indagine geognostica emerge la estesa presenza di depositi calcarei fratturati, con copertura detritica eluvio-colluviale.

Soltanto in corrispondenza del sondaggio S1, localizzato nel settore più depresso dell'area, si sono carotate per 5 metri depositi argillosi rossastri.

Si descrivono qui di seguito le unità litostratigrafiche individuate nell'area in esame, in accordo con quanto espresso negli studi del Dott. Geol. Carlo Premoselli.

Terreno vegetale

A copertura dell'intera area è presente una coltre superficiale di terreno agrario, pedogenizzato, dello spessore variabile da 15 a 40 cm.

Questa unità litologica, che andrà completamente asportata, è caratterizzata da granulometrie limose-argillose, rossastre con sparsi elementi carbonatici dispersi nella matrice.

Detriti eluviali-colluviali

Estesamente su tutta l'area si individua uno strato superficiale prodotto dall'alterazione e dissoluzione del substrato calcareo fratturato; questa unità è anche il risultato di fenomeni di trasporto colluviale dalle zone relativamente più elevate verso il blando fondovalle.

Infatti lo spessore di questa coltre superficiale varia da 0,5-1,0 metri nelle zone più elevate, fino ad un massimo di 2,5 metri in corrispondenza del sondaggio S1 localizzato nel settore a quote più basse.

Trattasi di elementi calcarei eterometrici in matrice sabbiosa-limosa rossastra, con passaggi senza soluzione di continuità verso il substrato calcareo più compatto (nella Relazione del Dott. Geol. Carlo Premoselli questa unità è definita “sabbia con argilla e ciottoli”).

Argilla limosa rossastra

Nel sondaggio S1, localizzato alla quota più depressa dell'area, al di sotto delle coltri eluviali-colluviali, si sono carotati terreni argillosi rossastri, compatti, con sparsi minuti elementi carbonatici; lo spessore di questo strato non è noto in quanto è stato carotato fino alla profondità di 5 metri dal p.c. (massima profondità di perforazione).

Spessori minori di questa unità litologica sono stati carotati anche nel sondaggio S4, anch'esso localizzato lungo la linea di minore quota.

Questi terreni sono da riferire ai fenomeni di dissoluzione di carbonati di calcio che determinano l'accumulo della frazione limosa-argillosa-sabbiosa non dissolubile, in corrispondenza delle maggiori fratture o nelle zone più depresse morfologicamente.

In tale contesto, visto lo spessore significativo di tali argille e il fatto che non è stato intercettato il substrato calcareo, permane una certa incertezza nel definire i locali rapporti stratigrafici delle argille e del substrato calcareo stesso. Non si può infatti escludere, date le intense fenomenologie carsiche presenti nell'area, che tali argille siano il riempimento di un vuoto di dimensioni non trascurabili e/o di un inghiottitoio.

Pertanto, tenuto conto che in corrispondenza del sondaggio S1 è localizzata la chiesa, si ritiene necessario per sciogliere i dubbi circa la situazione stratigrafica locale, l'esecuzione di ulteriori indagini nella fase di progettazione esecutiva della chiesa stessa (vedi anche Cap. 7).

Questa unità non viene esplicitamente descritta nelle relazioni del Dott. Geol. Carlo Premoselli.

Substrato calcareo

Trattasi di calcari detritici e calcari marnosi stratificati, con livelli di diversa competenza e durezza, più o meno fratturati; questi calcari, soprattutto nei primi metri superficiali sono caratterizzati da una diffusa fatturazione e vacuoli di dissoluzione, che rendono la formazione strutturalmente disomogenea.

Diffuse sono le fratture e le cavità di dissoluzione, di dimensioni molto variabili, riempite di argille rossastre, ma non mancano zone con calcari poco fratturati e compatti anche in affioramento.

Le foto seguenti mostrano l'eterogeneità ed il grado di fratturazione del substrato calcareo con visuali dalla trincea della ferrovia che si sviluppa immediatamente ad ovest dell'area in studio.

Sulla base dei dati stratigrafici ora descritti emerge che l'area interessata dal Nuovo Cimitero di Porto Torres è caratterizzata da una copertura pluvio-colluviale detritica in matrice limosa-argillosa-sabbiosa di spessore variabile da pochi decimetri a 2,5 metri, sovrimposta ad un substrato calcareo. Lo spessore delle coltri è minimo in corrispondenza delle zone a quota più elevata (ove il substrato calcareo è affiorante e/o subaffiorante) e massimo nelle zone centrali più depresse.

L'unica eccezione si riscontra nella zona più depressa ove è stato eseguito il sondaggio S1 (ed ove è localizzata la chiesa); ivi, al di sotto della coltre detritica sono presenti argille rossastre fino a profondità superiori a 5 metri (profondità massima di carotaggio).

In tale contesto è evidente come le problematiche fondali dei vari manufatti siano condizionati dagli spessori delle coltri detritiche e dalla profondità del substrato calcareo.

Per una migliore analisi della situazione geologica e stratigrafica locale si è eseguita una Carta Geologica che mostra nel contempo una zonazione degli spessori delle coltri detritiche (Figura 6):

Zona A: calcari affioranti e/o subaffioranti

Zona B: detriti colluviali di spessore fino a 3 metri su substrato calcareo

Zona C: detriti colluviali di spessore fino a 2,5 metri su substrato argilloso

Si sono inoltre costruite n. 4 sezioni stratigrafiche (Sezioni A, D, G, F) le cui tracce sono mostrate nella Figura 6 (Figure 7, 8, 9, 10).

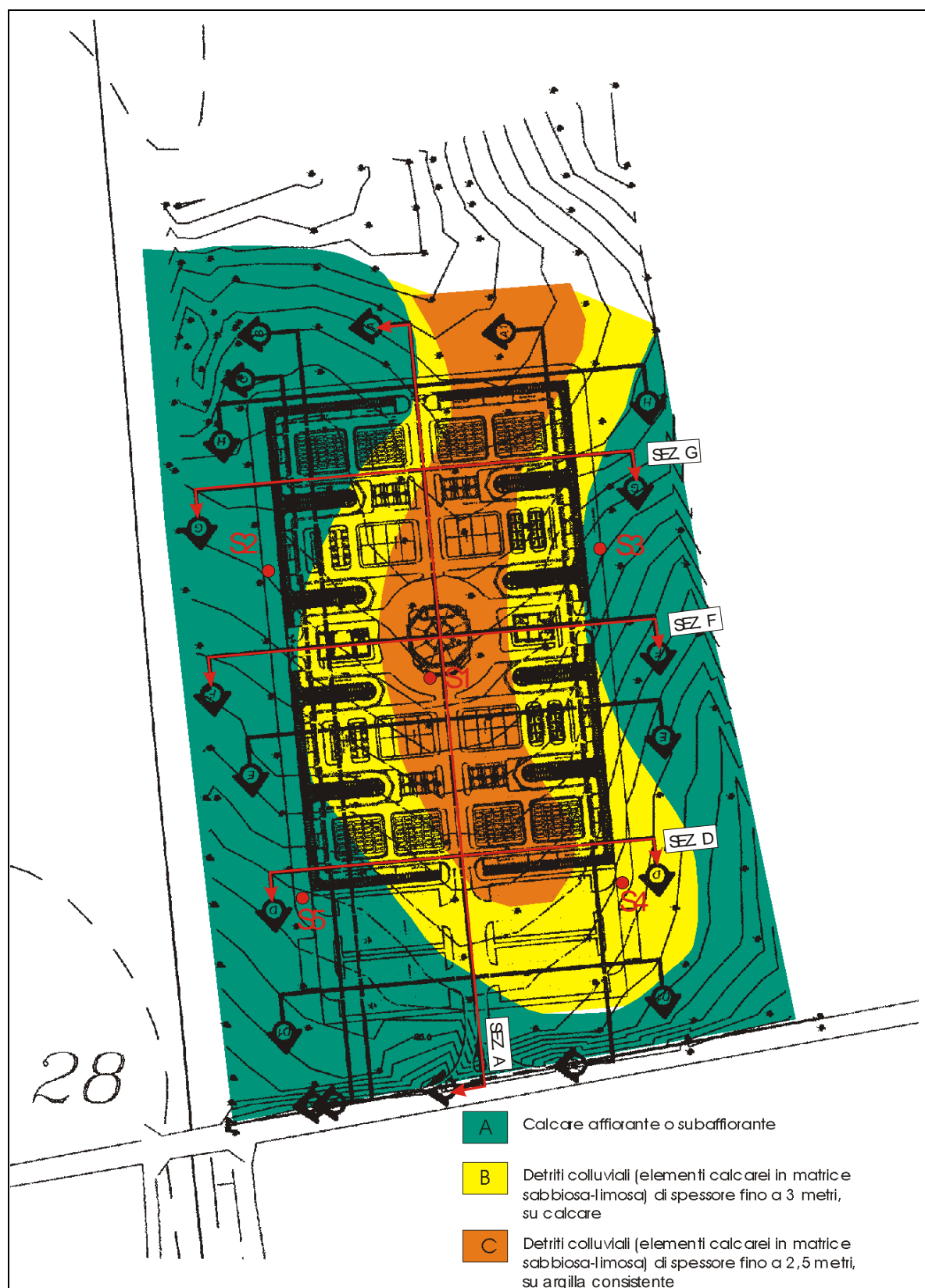


Figura 6: Carta Geologica e zonazione degli spessori delle coltri detritiche

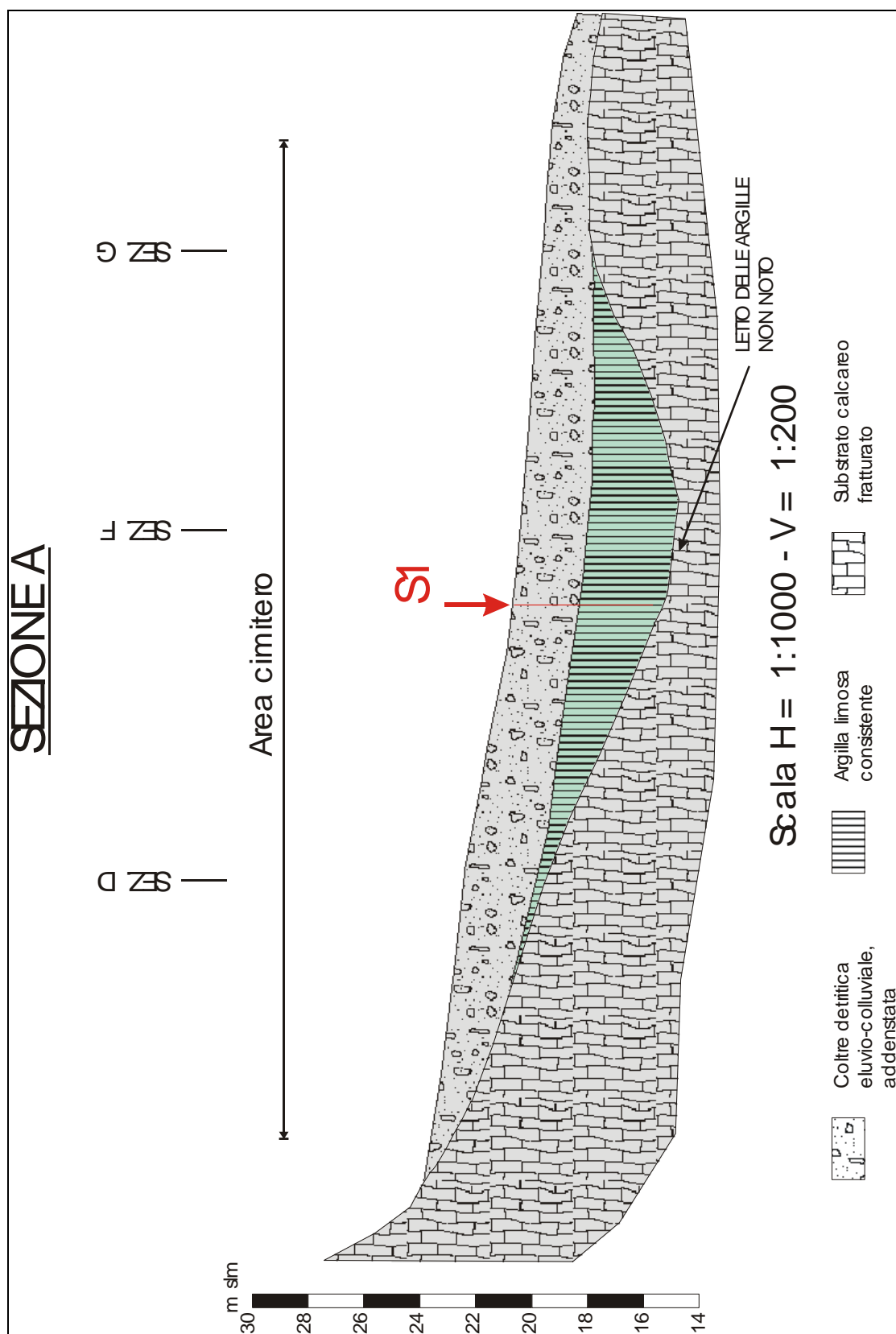


Figura 7: Sezione Geologica A

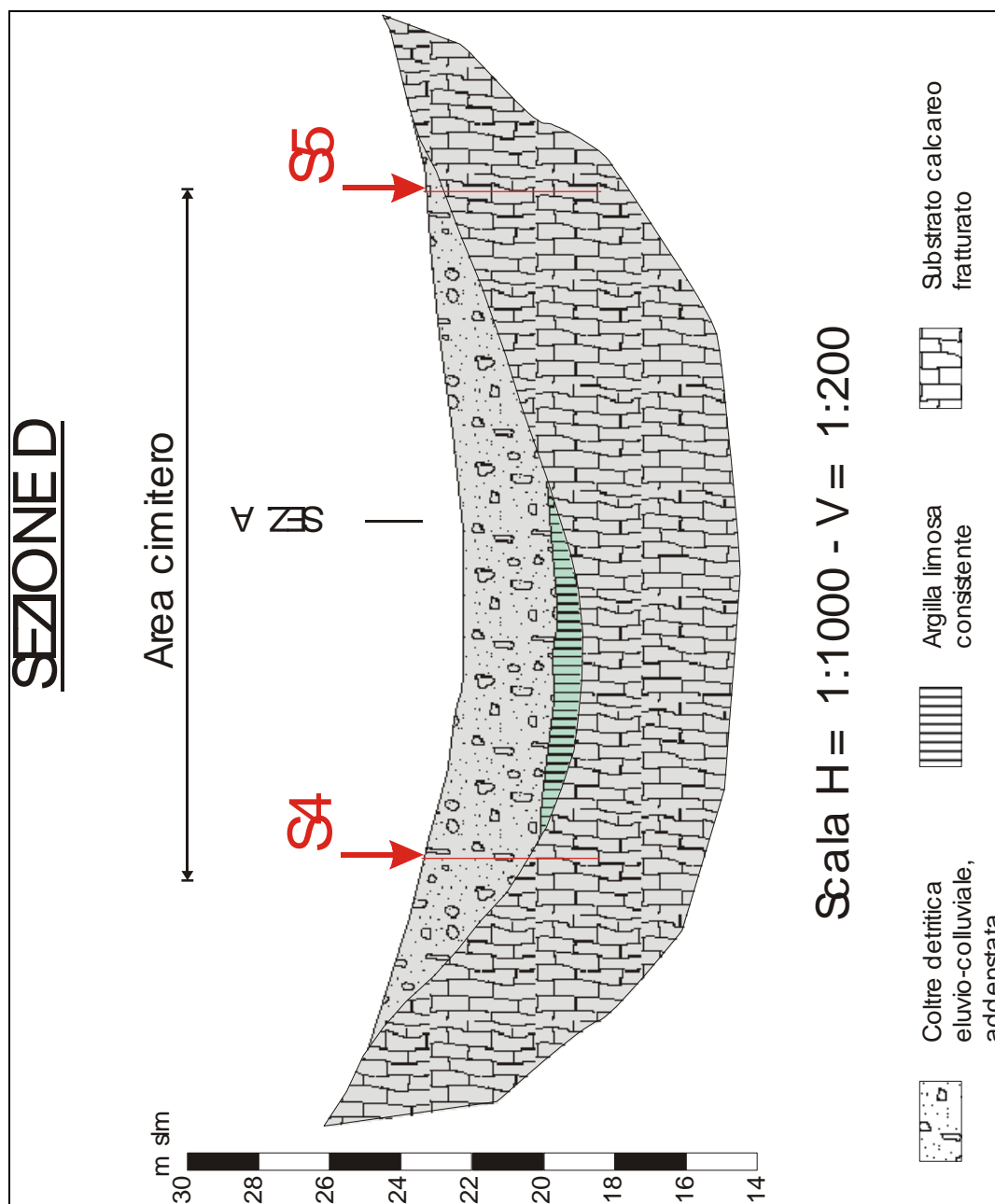


Figura 8: Sezione Geologica D

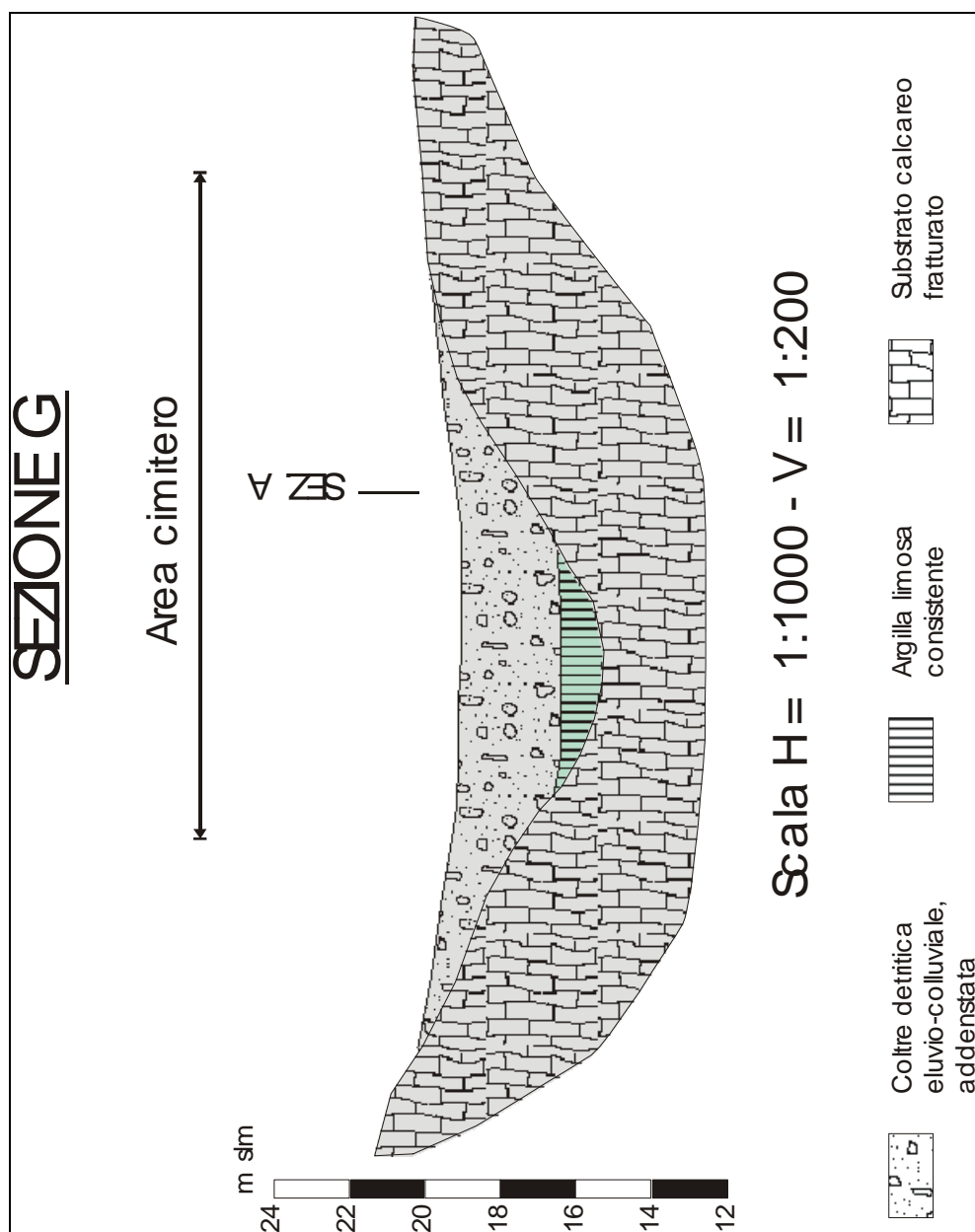


Figura 9: Sezione Geologica G

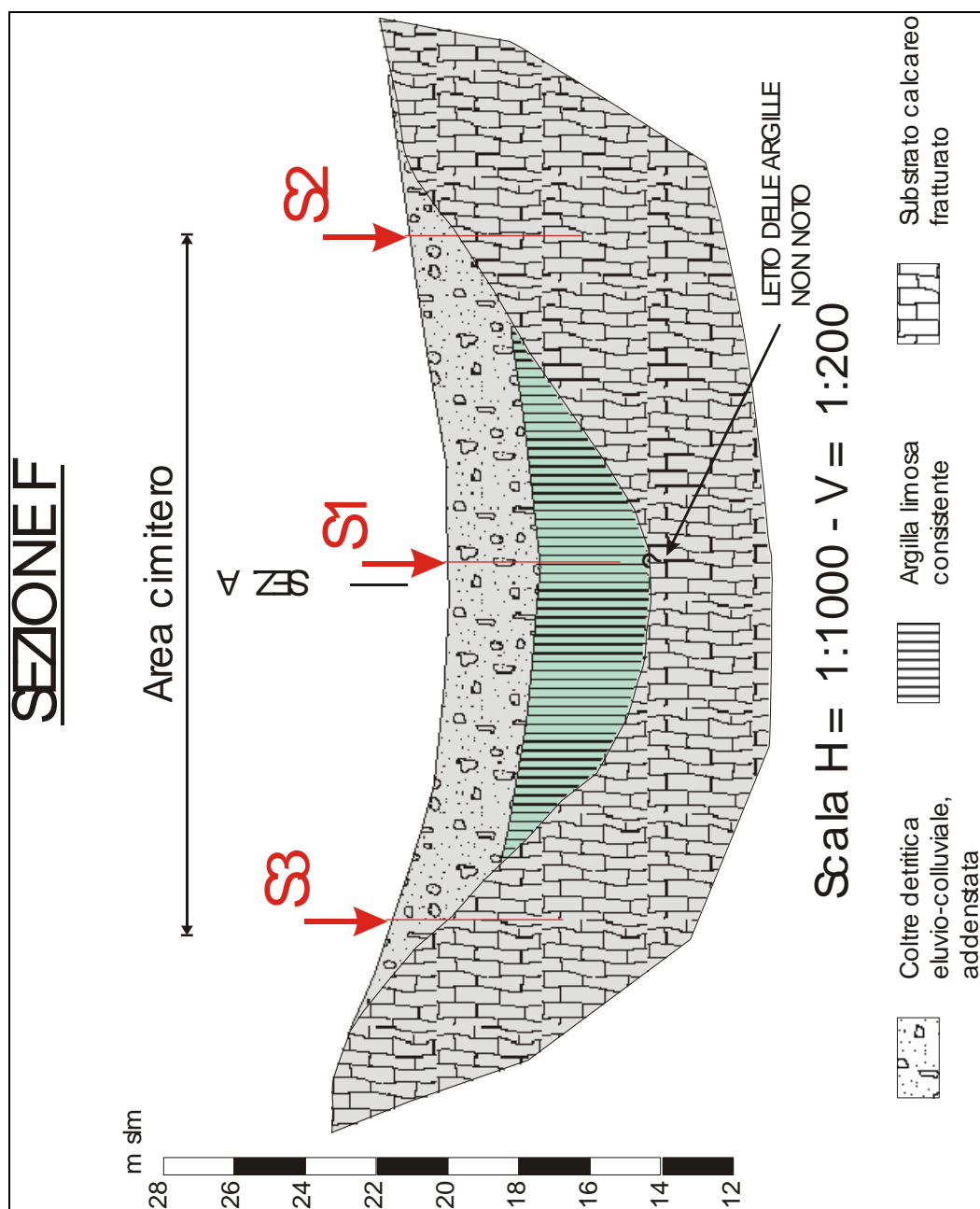


Figura 9: Sezione Geologica G

5. CARATTERISTICHE FISICO-MECCANICHE DEI TERRENI

La caratterizzazione geotecnica delle unità litostratigrafiche definite nel precedente capitolo, è basata sui dati già discussi nelle Relazioni del Dott. Carlo Premoselli, opportunamente valutati in funzione delle varie tipologie fondali previste per i vari manufatti, e su ulteriori valutazioni sviluppate in questa sede.

Terreno vegetale

Il terreno vegetale andrà asportato su tutta l'area interessata dalle fondazioni dei manufatti, in quanto dotato di scadenti parametri geotecnici e più o meno pedogenizzato.

Purtuttavia, per lo sviluppo dei calcoli si stimano i seguenti parametri fisico-meccanici:

Densità - γ (kN/m ³)	16-17
Angolo di attrito - ϕ'	25-30
Coesione drenata - C' (kPa)	0
Modulo di Deformazione - E (MPa)	4-5

Detriti eluviali-colluviali

Estesamente su tutta l'area si individua uno strato superficiale prodotto dall'alterazione e dissoluzione del substrato calcareo fratturato; questa unità è anche il risultato di fenomeni di limitato trasporto colluviale dalle zone relativamente più elevate verso il basso fondovalle. Lo spessore di questa coltre superficiale varia da 0,5-1,0 metri nelle zone più elevate, fino ad un massimo di 2,5 metri in corrispondenza del sondaggio S1 localizzato nel settore a quote più basse.

Trattasi di elementi calcarei eterometrici in matrice sabbiosa-limosa rossastra, con passaggi senza soluzione di continuità verso il substrato calcareo più compatto (nella Relazione del Dott. Geol. Carlo Premoselli questa unità è definita “sabbia con argilla e ciottoli”).

Una prova penetrometrica in questo litotipi, eseguita nel sondaggio S4 alla profondità di 1,4 m dal p.c., ha affidato un valore $N_{spt} > 100$, indice di elevato addensamento. Inoltre nella Relazione del Dott. Premoselli del Novembre 2007, questo terreno viene parametrizzato in base a dati relativi a campioni prelevati in zone vicine con i seguenti parametri fisico-meccanici:

Densità - γ (kN/m ³)	17-18
Ghiaia (%)	2-10
Sabbia (%)	40-67
Limo (%)	12-18
Argilla (%)	17-35
Angolo di attrito - ϕ'	26-29
Coesione drenata – C' (kPa)	0-20

Questi parametri individuano un terreno a prevalente resistenza al taglio di tipo frizionale.

In base al valore penetrometrico a rifiuto si può inoltre stimare un Modulo di Deformazione $E = 10$ MPa, sicuramente cautelativo.

Argilla limosa rossastra

Nel sondaggio S1, localizzato alla quota più depressa dell'area, al di sotto delle coltri eluviali-colluviali, si sono carotati terreni argillosi rossastri, compatti, con sparsi minuti elementi carbonatici; lo spessore di questo strato non è noto in quanto è stato carotato fino alla profondità di 5 metri dal p.c. (massima profondità di perforazione).

Questi terreni sono da riferire ai fenomeni di dissoluzione di carbonati di calcio che determinano l'accumulo della frazione limosa-argillosa-sabbiosa non dissolubile, in corrispondenza delle maggiori fratture o nelle zone più depresse morfologicamente.

Sempre con riferimento alla Relazione del Dott. Premoselli del Novembre 2007, i depositi argillosi non vengono evidenziati come unità a se stante, ma sembrano essere inclusi nella unità sopra descritta.

In questa sede viene invece definita come singola unità, di spessore almeno di 5 metri ed individuata soltanto in corrispondenza del sondaggio 5.

Sulla base delle fotografie del carotaggio (Relazione del Dott. Premoselli del Novembre 2007) si individua un terreno a prevalente componente limosa- argillosa, con minuti elementi calcarei, molto consistente.; si stimano i seguenti parametri fisico-meccanici:

Densità - γ (kN/m ³)	18-19
Angolo di attrito - ϕ'	23-26
Coesione drenata – C' (kPa)	10-20
Modulo di Deformazione - E (MPa)	130-170

Questi parametri individuano un terreno a prevalente resistenza al taglio di tipo essenzialmente coesiva.

Si sottolinea che questa unità litologica è stata intercettata soltanto in corrispondenza del sondaggio S1 (ove è localizzata la chiesa) e che, essendo la perforazione stata interrotta a 5 metri di profondità, non si è individuato il passaggio con i sottostanti calcari; lo spessore delle argille rossastre è pertanto non noto.

Substrato calcareo

L'ammasso è costituito da una alternanza di calcari detritici e calcari marnosi, fratturati e dislocati nei livelli più superficiali.

Nella Relazione del Dott. Premoselli (Gennaio 2006) sono presentati i valori di peso di volume e resistenza a compressione monoassiale di roccia (vedi Figg. 10, 11).

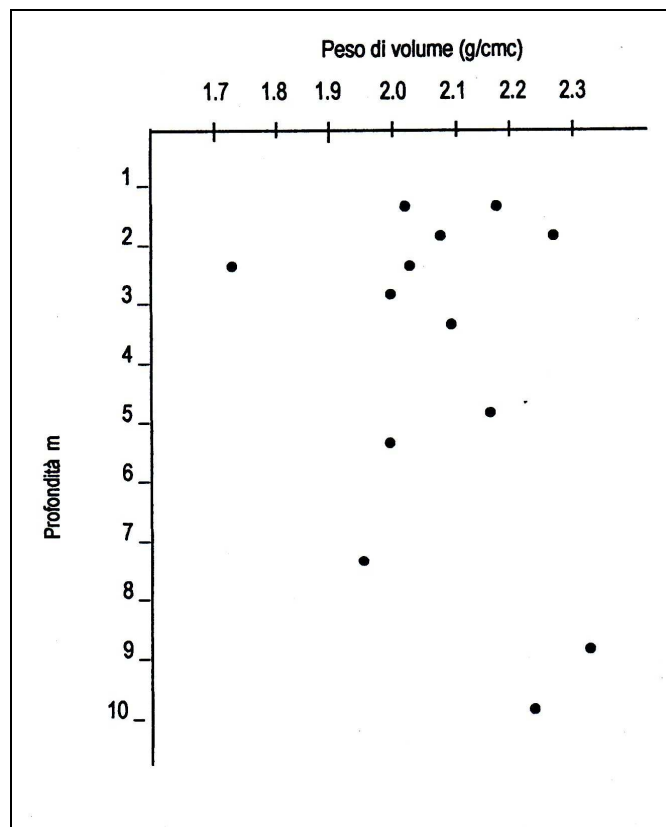


Figura 10: variazione della densità dei calcari con la profondità

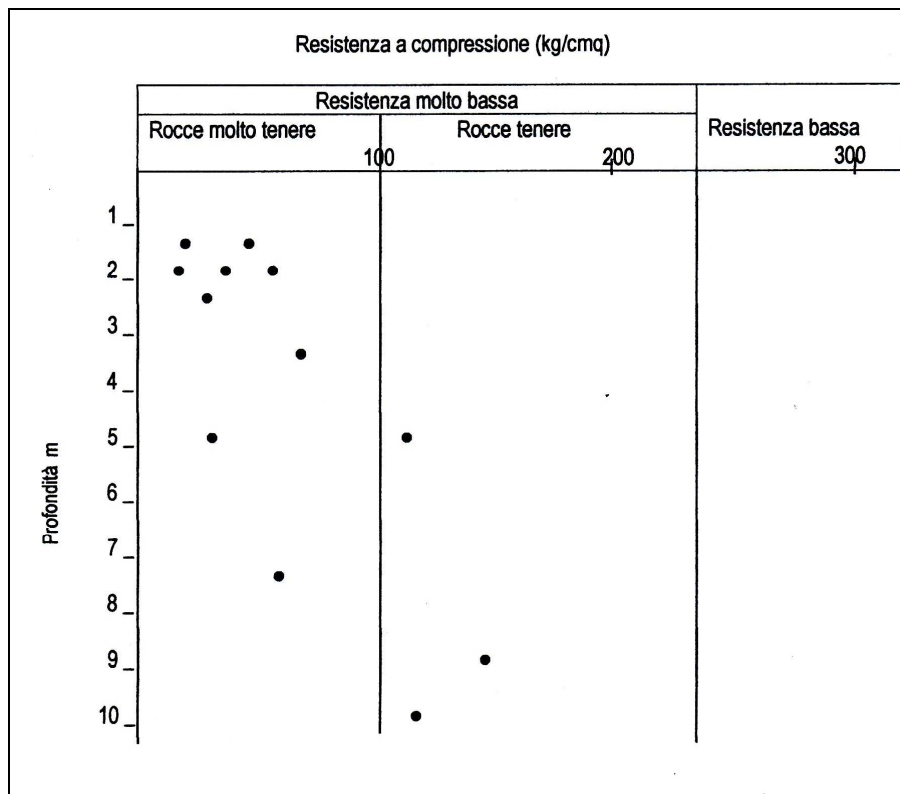


Figura 11: variazione della resistenza a compressione monoax dei calcari con la profondità

Si individuano pesi di volume variabili da 19 a 23 kN/m³, mentre la resistenza a compressione monoassiale varia da 1 a 14 MPa in relazione all'alterazione della roccia; in superficie si rilevano i valori di resistenza minore poiché più intensi sono i fenomeni di alterazione e dissoluzione della roccia stessa.

La caratterizzazione geomeccanica di ammassi rocciosi sono comunque condizionati non tanto dalla resistenza a compressione della roccia sana, ma dal grado e diffusione della fratturazione; nel corso dei sondaggi geognostici sono stati misurati i vari di Rock Quality Designation (RQD) che ha dato valori molto variabili come mostra la Figura seguente (Figura 12):

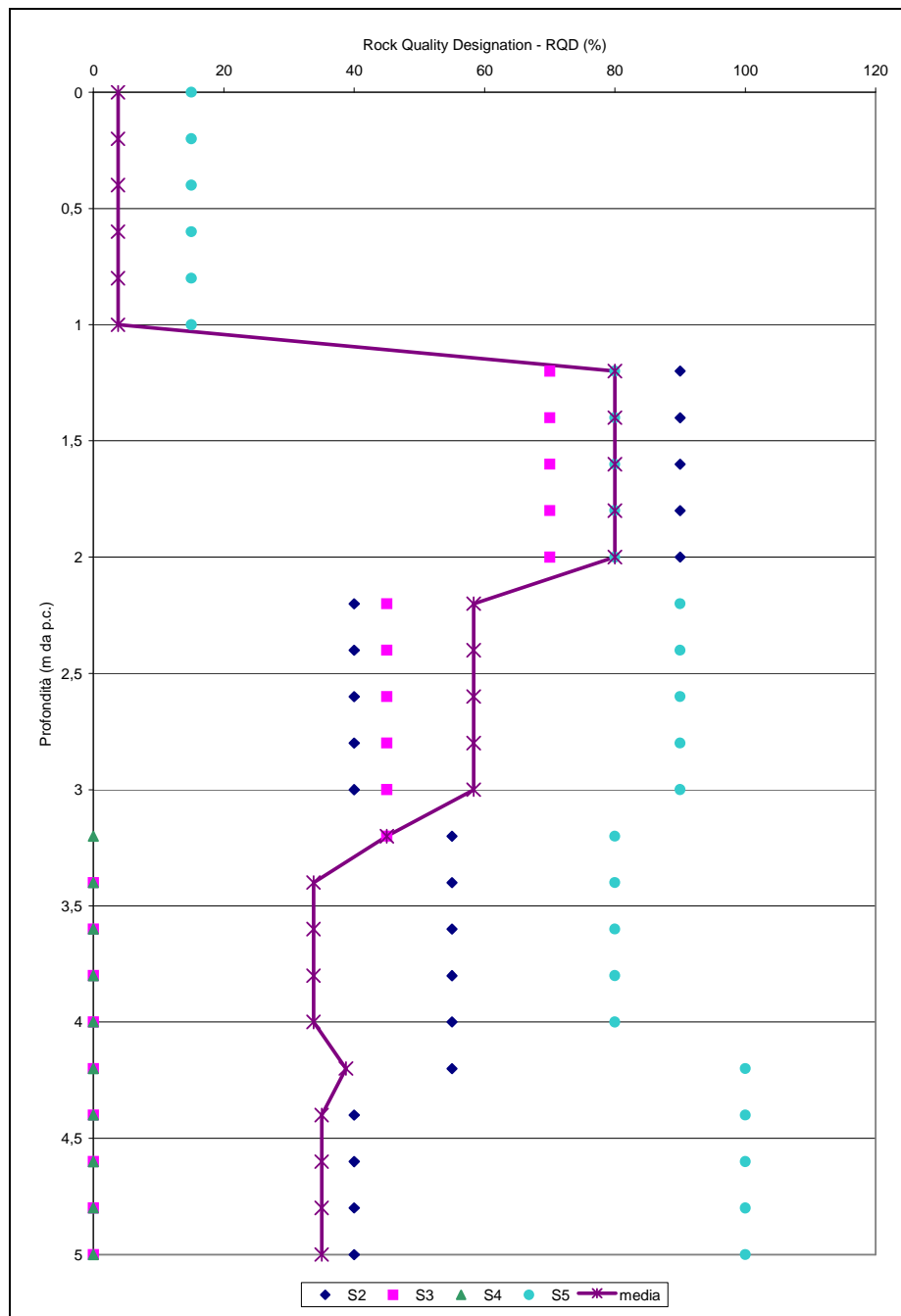


Figura 12: variazione del valore RQD dei calcari con la profondità

Si individua un valore RQD variabile da 40 a 80%, indice di medio-bassa fratturazione, mentre nei primi metri più superficiali la fratturazione è più spinta con valori di 5-20% (calcari molto fratturati).

In definitiva l'ammasso calcareo è caratterizzato da una struttura notevolmente disomogeneità, ma che si configura come u, con livelli di diversa competenza e durezza, più o meno fratturati; questi calcari, soprattutto nei primi metri superficiali sono caratterizzati da una diffusa fratturazione e vacuoli di dissoluzione, che rendono la formazione strutturalmente disomogenea e caratterizzata da una resistenza al taglio dell'ammasso condizionata dalla resistenza frizionale fra il sistema delle fratture.

Alla luce dei dati geotecnici di laboratorio e di quanto sopra discusso, per l'ammasso calcareo, si valutano i seguenti parametri fisico-meccanici di progetto, con riferimento, cautelativamente, ai livelli relativamente più superficiali fratturati.

	Calcare molto fratturato	Calcare compatto
Densità - γ (kN/m ³)	18	22
RQD (%)	10-30	50-60
Resistenza a Compressione monoax (MPa)	1-3	8-15
Angolo di attrito - ϕ'	35	35
Coesione drenata – C' (kPa)	0-10	30-50
Modulo di Deformazione - E (MPa)	15	40

5.1 Parametri di progetto

Sulla base di quanto discusso nei precedenti paragrafi si individuano i seguenti parametri fisico-meccanici di progetto, cautelativamente scelti:

	Densità (KN/m³)	Angolo di attrito	Coesione drenata – C' (kPa)	RQD	Modulo di Deformazione – E (MPa)
Coltre detritica eluvio-colluviale	18	30	0	-	10
Argilla rossastra (solo S. 1)	19	25	10	-	15
Substrato calcareo fratturato	18	35	10	10-30	15
Substrato calcareo compatto	22	35	50	50-60	40

6. SISMICITA'

In base alla Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003 (e successivo DM del 14 Gennaio 2008), il Comune di Porto Torres è stato incluso nella Zona Sismica 4 con accelerazione sismica al suolo $PGA = a/g = 0,05$ (PGA – Peek Groud Acceleration); questa classificazione corrisponde alla IV categoria delle vecchie norme.

In tale contesto è utile verificare se sussistono condizioni geologiche, idrogeologiche e geotecniche che possono indurre locali amplificazioni sismiche, le quali si verificano qualora siano presenti terreni di fondazioni sciolti e deformabili impostati su terreni relativamente più rigidi.

Data la presenza di substrato calcareo con coperture detritiche di spessore limitato nel caso in esame siamo in presenza di Terreni tipo A, secondo l'attuale classifica ((DM 14 Gennaio 2008).

TIPO DI TERRENO	DESCRIZIONE	FORMAZIONI GEOLOGICHE
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s(30)}$ superiori a 800 m/sec, comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo di 3 m.	Calcari e calcareniti fratturati, con coperture detritiche di spessore limitato

In base alla suddetta classificazione corrisponde un valore del “Fattore suolo” $S = 1,0$, che esprime un valore di amplificazione sismica locale. Purtroppo la notevole fatturazione dei livelli superficiali ed i diffusi fenomeni carsici con cavità riempite di terreni residuali portano cautelativamente a considerare possibili pur limitate amplificazioni sismiche locale.

Poiché le verifiche sismiche saranno sviluppate adottando le modalità del DM 1996, con riferimento ad una III categoria sismica, caratterizzato da $S = 6$ e Coefficiente di Intensità Sismica $C = 0,04$, tale problematica viene comunque superata in quanto si adotta una classifica sismica superiore (III categoria a fronte della IV).

Non sussistono inoltre condizioni litologiche ed idrogeologiche per il verificarsi di fenomeni di fluidificazione dei terreni.

7. VALUTAZIONE DELLE PRESSIONI AMMISSIBILI

Il progetto del Nuovo Cimitero di Porto Torres prevede i seguenti manufatti, la cui distribuzione è mostrata nella Figura 6:

- Fabbricati a loculi
- Cappelle
- Chiesa
- Tombe a terra
- Area di inumazione
- Strade di servizio e parcheggio

Nel contesto geologico e stratigrafico precedentemente descritto i vari manufatti sono localizzati in varie situazioni stratigrafiche che sono state zonate come qui di seguito descritto (vedi anche Figura 6):

Zona A: manufatti su calcari affioranti e/o subaffioranti

Zona B: manufatti su detriti colluviali di spessore fino a 3 metri su substrato calcareo

Zona C: manufatti su detriti colluviali di spessore fino a 2,5 metri su substrato argilloso

Data la morfologia locale caratterizzata da blandi versanti convergenti verso un fondovalle che si sviluppa nel settore centrale della valle, i vari manufatti saranno realizzati con fondazioni approfondite, dopo asportazione del terreno vegetale, di circa 80-100 centimetri e con andamento degradante, in maniera di evitare significativi sbancamenti e movimenti terra, rispettando l'andamento morfologico attuale.

Pertanto le fondazioni dei vari manufatti saranno impostate nelle zone a quota più elevata entro i depositi calcarei fratturati (zona A), oppure entro le coltri detritiche eluviali-colluviali addensate con spessori fino a 2,5-3,0 metri su substrato calcareo (zona B); l'unica eccezione è rappresentata dalla chiesa che, essendo localizzata nella zona relativamente più depressa, risulta caratterizzata da coltre detritica su substrato argilloso di spessore non noto ma maggiore di 5 m dal piano campagna (zona C).

I vari manufatti sono caratterizzati da fondazione diretta tipo trave rovescia con larghezza di 60-80 cm ed approfondite di 80-100 cm.

Il calcolo delle pressioni ammissibili è eseguito ipotizzando geometrie fondali come sopra definite e con l'assenza di falda; la valutazione della portanza è eseguita con calcolo automatico, utilizzando la collaudata relazione di Terzaghi ed utilizzando i parametri di capacità portante di Brinch & Hansen, in condizioni drenate, a lungo termine.

Per i vari manufatti e le varie configurazioni stratigrafiche sopra definite si sono ottenuti i seguenti valori di Pressione Ammissibile e cedimenti teorici massimi:

Loculi e cappelle – fondazioni travi rovesce – B = 60cm – D = 80cm

ZONA	STRATIGRAFIA	P. AMMISSIBILE (kPa)	CEDIMENTO (cm)
A	Calcare subaffiorante	473 (4,7 Kg/cmq)	1,9
B	Detriti colluviali fino a 3 metri, su calcare	137 (1,4 Kg/cmq)	1,3
C	Detriti colluviali fino a 2,5 metri, su argille	136 (1,4 Kg/cmq)	1,3

Chiesa - fondazioni travi rovesce – B = 90cm – D = 100cm

ZONA	STRATIGRAFIA	P. AMMISSIBILE (kPa)	CEDIMENTO (cm)
C	Detriti colluviali fino a 2,5 metri, su argille	172 (1,7 Kg/cmq)	1,9

I cedimenti massimi teorici sopra calcolati appaiono accettabili, con le strutture previste, e comunque trattasi di cedimenti pressoché immediati.

Poiché alcuni fabbricati con loculi sono localizzati trasversalmente alla valle si può potenzialmente determinare un problema di fondazioni che sono, nella loro lunghezza, poggiate su terreni a diversa rigidità e deformabilità, con conseguenti potenziali cedimenti differenziali. I cedimenti sopra calcolati comunque determinano differenziali non superiori centimetro e ciò cautela rispetto a tale problematica.

Comunque, a maggior cautela, si raccomanda al progettista indurre tensioni di contatto non superiori a 100 kPa (1 Kg/cmq) in maniera di determinare cedimenti ancora minori.

Alla fine del presente rapporto sono allegati i tabulati di calcolo delle pressioni ammissibili.

In relazione alla sismicità si adotta la classificazione sismica delle vecchie norme (decreti fino al 1996), utilizzando un Coefficiente di Intensità Sismica $C = 0,04$; data l'assenza di falda,

congiuntamente con le caratteristiche geotecniche dei terreni, si escludono fenomeni di fluidificazione dei terreni stessi.

Nell'area non sono presenti indizi di instabilità morfologica ed il progetto non determina significative variazioni delle dinamiche geomorfiche esistenti. Purtroppo, data la presenza di substrato calcareo soggetto a fenomeni carsici e microcarsici, non si può escludere la presenza di vuoti di dimensioni attualmente non definibili.

In tale contesto, vista anche la non praticabilità tecnico-economica di indagini tese a verificare in maniera continua la presenza di ipogei, qualora nello scavo delle fondazioni si evidenziano cavità carsiche queste potranno essere opportunamente riempite con malte cementizie o tecniche similari.

Per quanto riguarda la situazione stratigrafica in corrispondenza della chiesa, ove dal sondaggio S1 si è evidenziata la presenza di argille rossastre senza intercettare il substrato calcareo, per evitare incertezze riguardo al fatto che tali argille siano il riempimento di ipogei e/o inghiottitoi (vedi Cap. 4), si consiglia vivamente di eseguire opportune indagini (sondaggi geognostici) tesi a verificare la presenza e profondità del substrato calcareo al di sotto della chiesa stessa, con riferimento alla fase di progettazione esecutiva.

Il progettista valuterà le considerazioni sopra svolte con spirito critico in relazione alle problematiche strutturali effettivamente presenti nelle varie configurazioni progettuali.

Roma, Novembre 2008



STUDIO GEOLOGICO TECNICO
Maurizio Lanzini - geologo
Studio: Via Suvereto, 250 - 00139 - ROMA
Tel. 068105754 – 0688385980 - 068122265
Email: lanzin@aconet.it

8. BIBLIOGRAFIA

- BOWLES J.E., Fondazioni - Progetto e analisi, 1991
- CREPELLANI T., NARDI R., SIMONCINI C. (1988), La liquefazione del terreno in condizioni sismiche, Zanichelli, Bologna
- CNR - Progetto Finalizzato Geodinamica (1985a), Catalogo dei terremoti italiani dall'anno 1000 al 1980, Roma
- LANCELLOTTA R. (1983) - Meccanica dei terreni e fondazioni. Ed. Levrotto & Bella, Torino
- Studio idrogeologico e geologico-tecnico sui terreni interessati dalla costruzione del Nuovo Cimitero di Porto Torres (redatto dal geol. Carlo Premoselli; Gennaio 2006);
- Studio delle caratteristiche ambientali, paesaggistiche, storico-culturali, idrogeologiche e geologico-tecniche dei terreni interessati dalla costruzione del Nuovo Cimitero di Porto Torres (redatto dal geol. Carlo Premoselli; Novembre 2007);

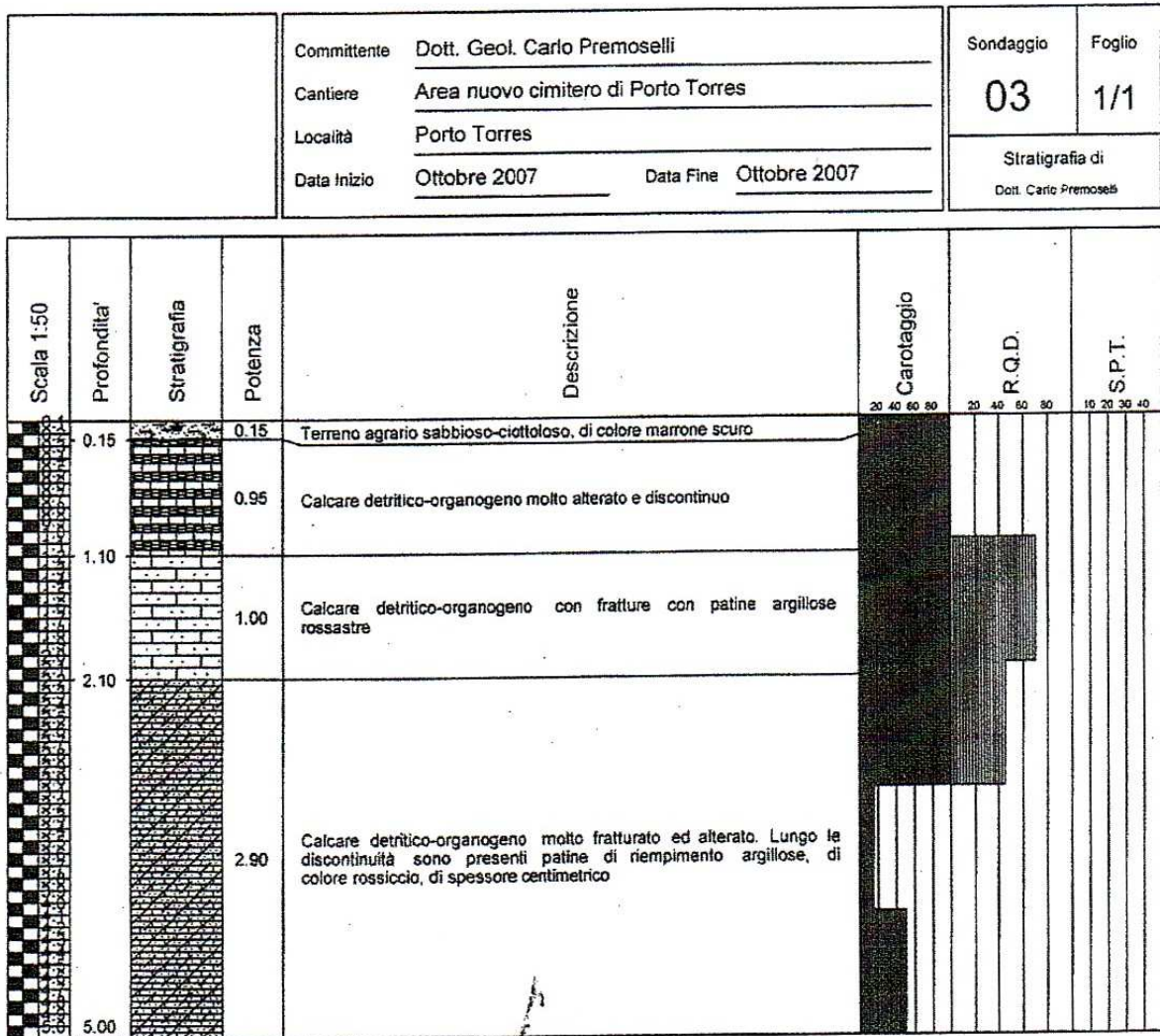
9. STRATIGRAFIE E TABULATI DI CALCOLO

				Committente	Dott. Geol. Carlo Premoselli		Sondaggio	Foglio	
				Cantiere	Area nuovo cimitero di Porto Torres		01	1/1	
				Località	Porto Torres		Stratigrafia di		
				Data Inizio	Ottobre 2007	Data Fine	Ottobre 2007	Dott. Carlo Premoselli	

Scala 1:50	Profondita'	Stratigrafia	Potenza	Descrizione	Carotaggio	R.Q.D.	S.P.T.
					20 40 60 80	20 40 60 80	10 20 30 40
	0.40		0.40	Terreno agrario sabbioso-ciottoloso, di colore marrone scuro.			
	1.10		1.10	Calcare detritico-organogeno molto alterato e discontinuo			
	1.50		1.00	Sabbia con ciottoli, sciolta			
	2.50		2.50	Argilla con sabbia, talora con piccoli ciottoli calcarei, consistente, di colore marrone-rossiccio			
	5.00						

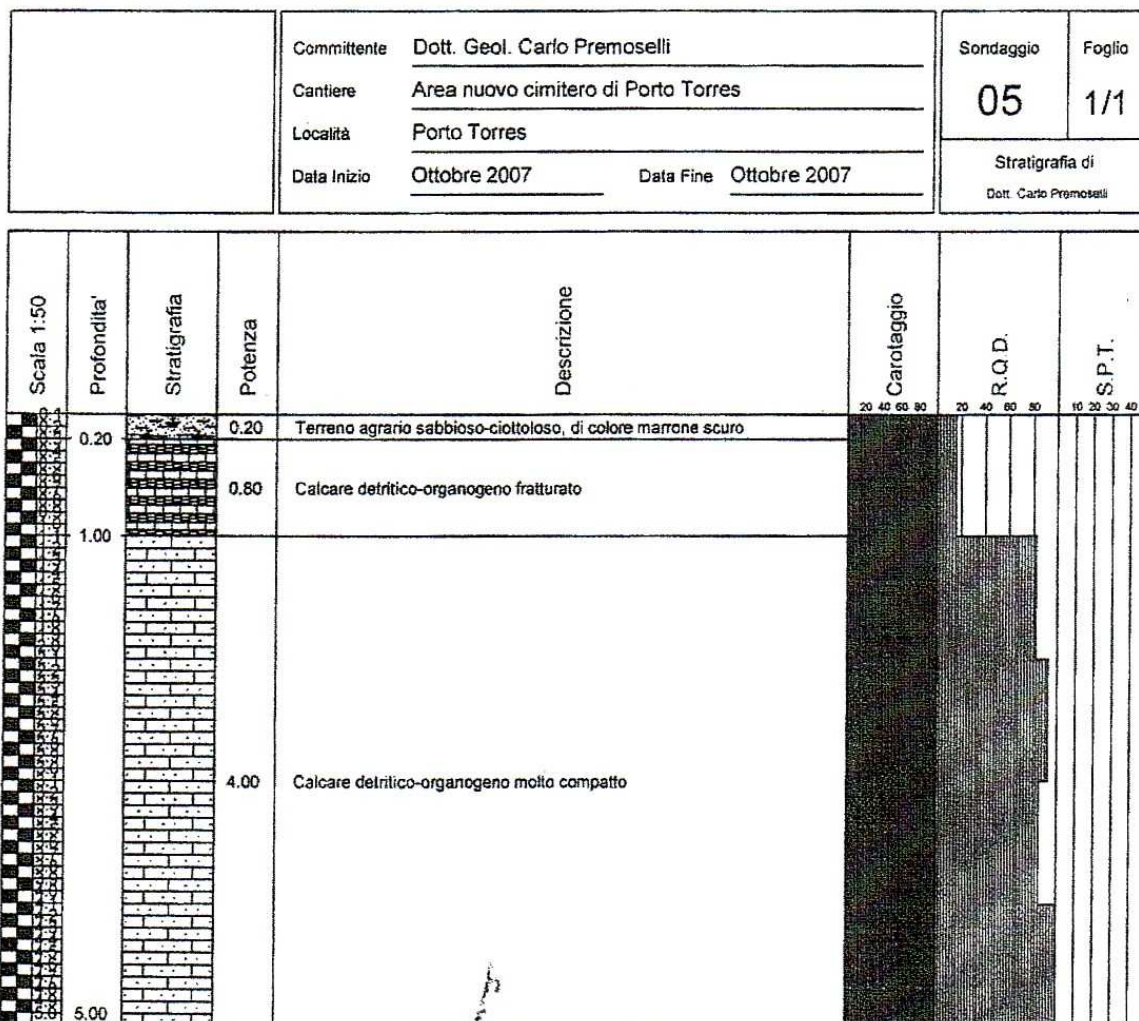
				Committente	Dott. Geol. Carlo Premoselli		Sondaggio	Foglio	
				Cantiere	Area nuovo cimitero di Porto Torres		02	1/1	
				Località	Porto Torres		Stratigrafia di		
				Data Inizio	Ottobre 2007	Data Fine	Ottobre 2007		
						Dott. Carlo Premoselli			

Scala 1:50	Profondità'	Stratigrafia	Potenza	Descrizione	Carotaggio	R.Q.D.				S.P.T.							
						20	40	60	80	20	40	60	80	10	20	30	40



		Committente		Dott. Geol. Carlo Premoselli		Sondaggio		Foglio	
		Cantiere		Area nuovo cimitero di Porto Torres		04		1/1	
		Località		Porto Torres		Stratigrafia di Dott. Carlo Premoselli			
		Data Inizio		Ottobre 2007					

Scala 1:50	Profondita'	Stratigrafia	Potenza	Descrizione	Carotaggio	R.Q.D.	S.P.T.
					20 40 60 80	20 40 60 80	10 20 30 40
	0.30		0.30	Terreno agrario sabbioso-ciottoloso, di colore marrone scuro			
			0.80	Sabbia con ciottoli			
	1.10						1.40
			2.00	Sabbia con argilla e piccoli ciottoli, addensata, di colore rossiccio			1.69
	3.10						
			1.90	Calcere detritico-organogeno molto fratturato ed alterato. Lungo le discontinuità sono presenti patine di riempimento argillose, di colore rossiccio, di spessore centimetrico			
	5.00						



Committente:	Italtudi srl - Roma
Riferimento:	Nuovo Cimitero di Porto Torres (SS)
Località:	Porto Torres
Opera:	Fabbricati a loculi e cappelle - fondazioni dirette su calcare fratturato subaffiorante

FONDAZIONE CONTINUA - Formula di BRINCH-HANSEN

$$QI = 0.5 \cdot B \cdot G_2 \cdot N_g \cdot F_g \cdot D_g \cdot I_g \cdot G_g \cdot B_g \cdot R_g + c_0 \cdot N_c \cdot F_c \cdot D_c \cdot I_c \cdot G_c \cdot B_c + G_1 \cdot H \cdot N_q \cdot F_q \cdot D_q \cdot I_q \cdot G_q \cdot B_q$$

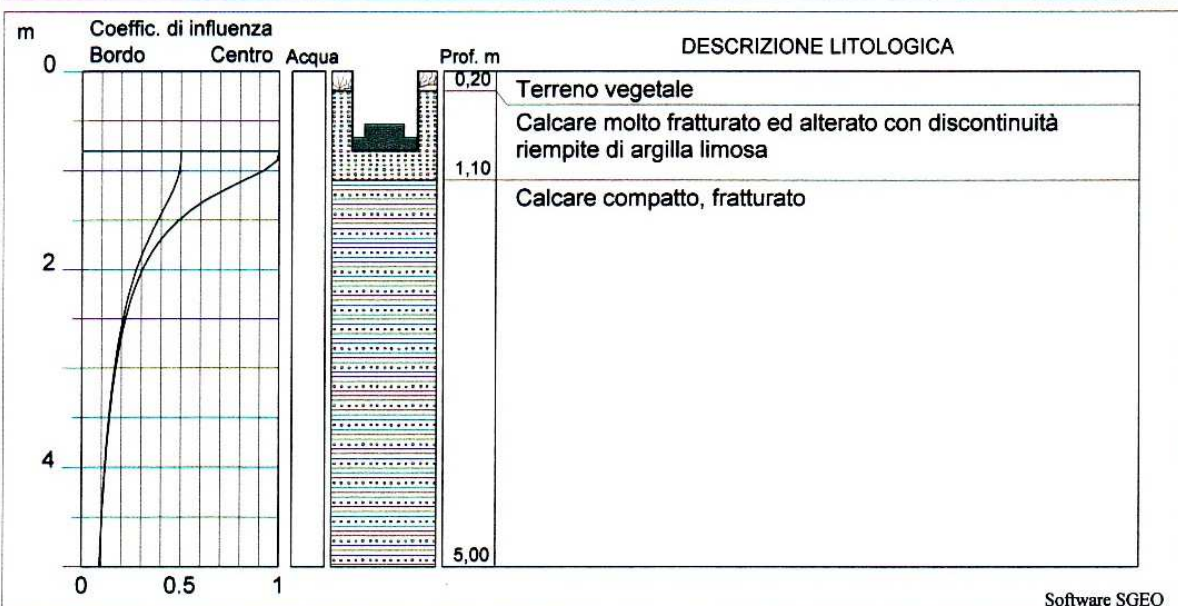
Fg, Fc, Fq: fatt. di forma - Dg, Dc, Dq: fatt. profond. - Ig, Ic, Iq: fatt. inclin. carico - Gg, Gc, Gq: fatt. inclin. p.c. - Bg, Bc, Bq: fatt. inclin. fondaz. - Rg: fatt. platea

Pressione a rottura [QI]	14,19 kg/cm ²	Cedimenti totali alla pressione di esercizio	
Pressione ammissibile (k = 3,0)	4,73 kg/cm ²	Al centro della fondazione	1,9 cm
Pressione di esercizio	4,73 kg/cm ²	Al bordo della fondazione	1,4 cm
Profondità della base della fondazione [H]	0,80 m	Inclinazione piano campagna	0,0 °
Larghezza della fondazione [B]	0,60 m	Inclinazione del carico	0,0 °
		Direzione inclinazione carico	0,0 °
Densità media sopra il piano di fondaz. [G1]	1,78 g/cm ³	Inclinazione della fondazione	0,0 °
Densità media sotto il piano di fondaz. [G2]	1,99 g/cm ³	Eccentricità larghezza	0,00 m
Profondità della falda dal piano campagna	assente	Eccentricità lunghezza	0,00 m

Fattori di capacità portante di Hansen strato n° 2 Nc = 46,12 Nq = 33,30 Ng = 33,92

Profondità m	Densità (satura) g/cm ³	Angolo Attrito Interno °	Coesione kg/cm ²	Coesione n.d. kg/cm ²	Modulo Edom. kg/cm ²	Cedimenti centro cm	Cedimenti bordo cm
0,00 + 0,20	1,70	28,0	0,00		50	0,0	0,0
0,20 + 1,10	1,80	35,0	0,10		150	0,9	0,5
1,10 + 5,00	2,20	35,0	0,50		400	1,0	0,9

Si fa riferimento alla stratigrafia dei sondaggi S2 e S3



Committente:	Italstudi srl - Roma
Riferimento:	Nuovo Cimitero di Porto Torres (SS)
Località:	Porto Torres
Opera:	Fabbricati a loculi e cappelle - fondazioni dirette su colluvi detritici (substrato calcareo)

FONDAZIONE CONTINUA - Formula di BRINCH-HANSEN

$$QI = 0.5 \cdot B \cdot G_2 \cdot N_g \cdot F_g \cdot D_g \cdot I_g \cdot G_g \cdot B_g \cdot R_g + c_0 \cdot N_c \cdot F_c \cdot D_c \cdot I_c \cdot G_c \cdot B_c + G_1 \cdot H \cdot N_q \cdot F_q \cdot D_q \cdot I_q \cdot G_q \cdot B_q$$

Fg, Fc, Fq: fatt. di forma - Dg, Dc, Dq: fatt. profund. - Ig, Ic, Iq: fatt. inclin. carico - Gg, Gc, Gq: fatt. inclin. p.c. - Bg, Bc, Bq: fatt. inclin. fondaz. - Rg: fatt. platea

Pressione a rottura [QI]	4,10 kg/cm ²	Cedimenti totali alla pressione di esercizio	
Pressione ammissibile (k = 3,0)	1,37 kg/cm ²	Al centro della fondazione	1,3 cm
Pressione di esercizio	1,37 kg/cm ²	Al bordo della fondazione	1,0 cm
Profondità della base della fondazione [H]	0,80 m	Inclinazione piano campagna	0,0 °
Larghezza della fondazione [B]	0,60 m	Inclinazione del carico	0,0 °
		Direzione inclinazione carico	0,0 °
Densità media sopra il piano di fondaz. [G1]	1,76 g/cm ³	Inclinazione della fondazione	0,0 °
Densità media sotto il piano di fondaz. [G2]	1,80 g/cm ³	Eccentricità larghezza	0,00 m
Profondità della falda dal piano campagna	assente	Eccentricità lunghezza	0,00 m

Fattori di capacità portante di Hansen strato n° 2

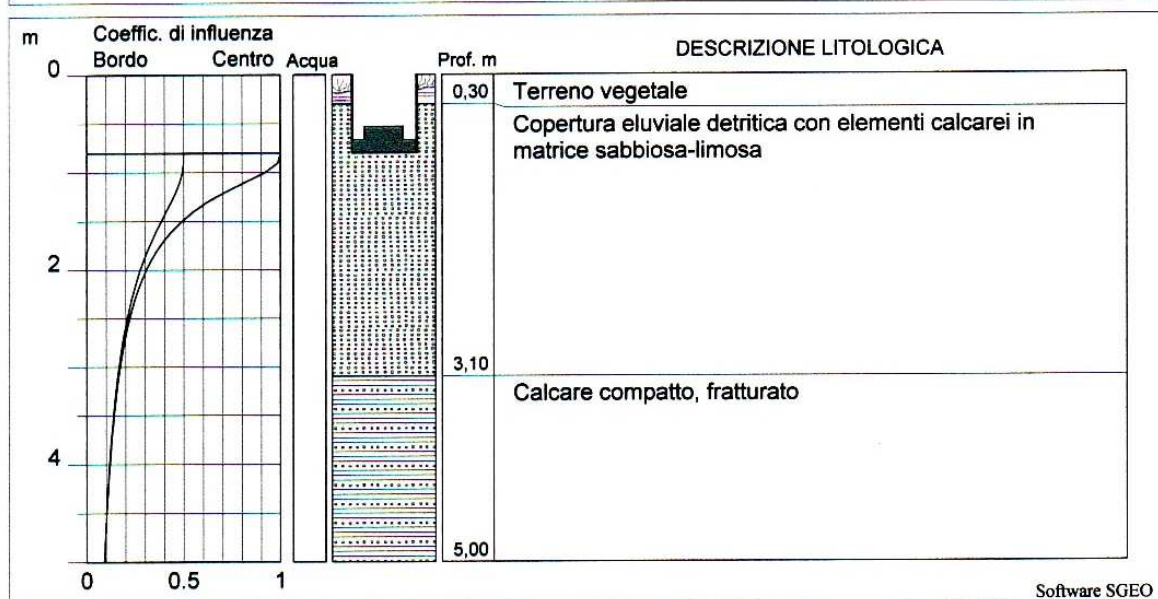
Nc = 30,14

Nq = 18,40

Ng = 15,07

Profondità m	Densità (satura) g/cm ³	Angolo Attrito Interno °	Coesione kg/cm ²	Coesione n.d. kg/cm ²	Modulo Edom. kg/cm ²	Cedimenti centro cm	Cedimenti bordo cm
0,00 + 0,30	1,70	28,0	0,00		50	0,0	0,0
0,30 + 3,10	1,80	30,0	0,00		100	1,2	0,9
3,10 + 5,00	2,20	35,0	0,50		400	0,1	0,1

Si fa riferimento alla stratigrafia del sondaggio S4



Committente:	Italstudi srl - Roma
Riferimento:	Nuovo Cimitero di Porto Torres (SS)
Località:	Porto Torres
Opera:	Fabbricati a loculi e cappelle - fondazioni dirette su coltri detritiche sovrimposte ad argille

FONDAZIONE CONTINUA - Formula di BRINCH-HANSEN

$$QI = 0.5 \cdot B \cdot G_2 \cdot N_g \cdot F_g \cdot D_g \cdot I_g \cdot G_g \cdot B_g \cdot R_g + c_0 \cdot N_c \cdot F_c \cdot D_c \cdot I_c \cdot G_c \cdot B_c + G_1 \cdot H \cdot N_q \cdot F_q \cdot D_q \cdot I_q \cdot G_q \cdot B_q$$

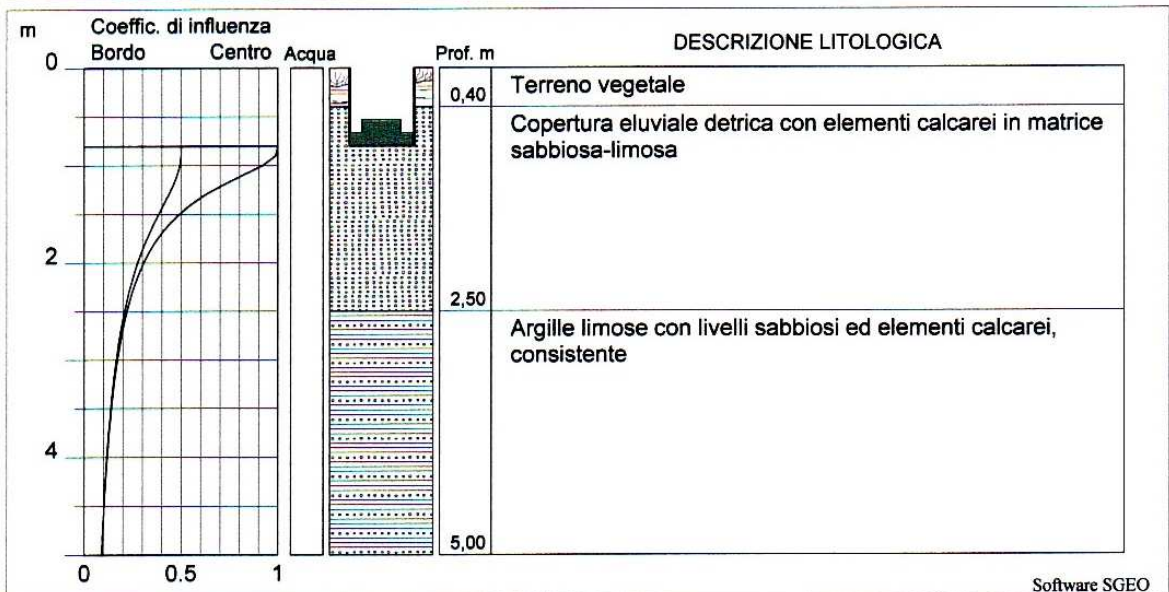
Fg, Fc, Fq: fatt. di forma - Dg, Dc, Dq: fatt. profond. - Ig, Ic, Iq: fatt. inclin. carico - Gg, Gc, Gq: fatt. inclin. p.c. - Bg, Bc, Bq: fatt. inclin. fondaz. - Rg: fatt. platea

Pressione a rottura [QI]	4,08 kg/cm ²	Cedimenti totali alla pressione di esercizio	
Pressione ammissibile (k = 3,0)	1,36 kg/cm ²	Al centro della fondazione	1,3 cm
Pressione di esercizio	1,36 kg/cm ²	Al bordo della fondazione	1,0 cm
Profondità della base della fondazione [H]	0,80 m	Inclinazione piano campagna	0,0 °
Larghezza della fondazione [B]	0,60 m	Inclinazione del carico	0,0 °
		Direzione inclinazione carico	0,0 °
Densità media sopra il piano di fondaz. [G1]	1,75 g/cm ³	Inclinazione della fondazione	0,0 °
Densità media sotto il piano di fondaz. [G2]	1,80 g/cm ³	Eccentricità larghezza	0,00 m
Profondità della falda dal piano campagna	assente	Eccentricità lunghezza	0,00 m

Fattori di capacità portante di Hansen strato n° 2 Nc = 30,14 Nq = 18,40 Ng = 15,07

Profondità m	Densità (satura) g/cm ³	Angolo Attrito Interno °	Coesione kg/cm ²	Coesione n.d. kg/cm ²	Modulo Edom. kg/cm ²	Cedimenti centro cm	Cedimenti bordo cm
0,00 + 0,40	1,70	28,0	0,00		50	0,0	0,0
0,40 + 2,50	1,80	30,0	0,00		100	1,0	0,7
2,50 + 5,00	1,90	25,0	0,10		150	0,3	0,3

Si fa riferimento alla stratigrafia del sondaggio S1



Software SGEO

Committente:	Italstudi srl - Roma
Riferimento:	Nuovo Cimitero di Porto Torres (SS)
Località:	Porto Torres
Opera:	Chiesa - fondazioni dirette su coltri detritiche sovrimposte ad argille

FONDAZIONE CONTINUA - Formula di BRINCH-HANSEN

$$QI = 0.5 \cdot B \cdot G_2 \cdot N_g \cdot F_g \cdot D_g \cdot I_g \cdot G_g \cdot B_g \cdot R_g + c_0 \cdot N_c \cdot F_c \cdot D_c \cdot I_c \cdot G_c \cdot B_c + G_1 \cdot H \cdot N_q \cdot F_q \cdot D_q \cdot I_q \cdot G_q \cdot B_q$$

Fg, Fc, Fq: fatt. di forma - Dg, Dc, Dq: fatt. profund. - Ig, Ic, Iq: fatt. inclin. carico - Gg, Gc, Gq: fatt. inclin. p.c. - Bg, Bc, Bq: fatt. inclin. fondaz. - Rg: fatt. platea

Pressione a rottura [QI]	5,16 kg/cm ²	Cedimenti totali alla pressione di esercizio	
Pressione ammissibile (k = 3,0)	1,72 kg/cm ²	Al centro della fondazione	1,9 cm
Pressione di esercizio	1,72 kg/cm ²	Al bordo della fondazione	1,5 cm
Profondità della base della fondazione [H]	1,00 m	Inclinazione piano campagna	0,0 °
Larghezza della fondazione [B]	0,80 m	Inclinazione del carico	0,0 °
		Direzione inclinazione carico	0,0 °
Densità media sopra il piano di fondaz. [G1]	1,76 g/cm ³	Inclinazione della fondazione	0,0 °
Densità media sotto il piano di fondaz. [G2]	1,80 g/cm ³	Eccentricità larghezza	0,00 m
Profondità della falda dal piano campagna	assente	Eccentricità lunghezza	0,00 m

Fattori di capacità portante di Hansen strato n° 2

Nc = 30,14

Nq = 18,40

Ng = 15,07

Profondità m	Densità (satura) g/cm ³	Angolo Attrito Interno °	Coesione kg/cm ²	Coesione n.d. kg/cm ²	Modulo Edom. kg/cm ²	Cedimenti centro cm	Cedimenti bordo cm
0,00 + 0,40	1,70	28,0	0,00		50	0,0	0,0
0,40 + 2,50	1,80	30,0	0,00		100	1,4	1,0
2,50 + 5,00	1,90	25,0	0,10		150	0,5	0,5

Si fa riferimento alla stratigrafia del sondaggio S1

