



COMUNE DI PALERMO
Area Tecnica della Riqualficazione
Urbana e delle Infrastrutture
Ufficio Edilizia Pubblica, Cantiere Comunale e Autoparco

Progetto Preliminare



NUOVA CHIESA DI SANTA SUSANNA

Coordinatore della Progettazione:

Arch. Gabriella Minaudo

Gruppo di Progettazione:

Arch. Gabriella Minaudo, Arch. Francesco La Cerva, Ing. Marisa Bellomo,
Ing. Leonardo Triolo, Ing. Massimo Verga, Ing. Calogero Vinci, Esp. di Prog.
Dario Gucci, Esp. Geometra Giuseppe Bagnera, Dott. Giuseppe Vinti

Coordinatore della Sicurezza:

Ing. Massimo Verga

RUP:

Arch. Paola Maida

Relazione Geologica redatta ai sensi dell'Art. 13 L. 64/74

R 6

INDICE

1. PREMESSE E OGGETTO	pag. 2
2. IL TERRITORIO E L'ASSETTO GEOMORFOLOGICO	pag. 4
3. LE INDAGINI ESEGUITE	pag. 6
4. LA FORMAZIONE GEOLOGICA DEL SITO	pag. 8
5. CARATTERISTICHE FISICO-TECNICHE E SISMICHE DEI TERRENI	pag. 12
6. CONSIDERAZIONI TECNICO-PROGETTUALI	pag. 16

IN APPENDICE

Rapporto sui Sondaggi geognostici, indagini geofisiche e prove di laboratorio, eseguite dalla DI. PA. Trivellazioni S.n.c.

1. - PREMESSE E OGGETTO

L'Amministrazione comunale di Palermo, Ufficio Edilizia Pubblica del Settore OO.PP. e Manutenzione, nell'ambito delle attività di competenza, ha in programma la redazione del progetto dei "Lavori per la costruzione della nuova chiesa di Santa Susanna" ubicata tra le Vie A. Cirrincione e A. Sadat (**Fig. 1**).

Con DD n° 381 del 17/09/2013, lo scrivente è stato incaricato quale componente il gruppo di progettazione per gli aspetti geologici e geofisici connessi alla costruzione dell'opera.

L'area individuata, di proprietà comunale, si trova alle falde meridionali del Monte Pellegrino prospiciente il complesso edilizio della Fiera del Mediterraneo.

La struttura in c.a. che si prevede di realizzare è costituita da una parte centrale ad una sola elevazione f. t, con altezze di 11.50 e 9.30 m, adibita ad aula liturgica e presbiterale, mentre perimetralmente sono previsti dei corpi bassi ad una elevazione di altezza 3.75 m da adibire a sacrestia, archivio, deposito, locali tecnici, ufficio parrocchiale e 4 aule per attività di catechesi.

Sul prospetto posto a nord è prevista la costruzione di un campanile alto 18.50 m.

Secondo quanto prevedono le norme tecniche per le costruzioni (DM 14/01/2008) l'Amministrazione comunale ha predisposto un piano d'indagini geognostiche e geofisiche propedeutiche alla progettazione delle opere.

Detto piano d'indagini è stato commissionato direttamente alla DI. PA. Trivellazioni S.n.c dalla Curia Arcivescovile, che ha ottenuto un finanziamento dalla Regione Siciliana per la costruzione della chiesa.

L'Impresa DI. PA. Trivellazioni S.n.c ha eseguito quanto è stato necessario per conoscere i terreni presenti nel sottosuolo, le caratteristiche fisico-tecniche e sismiche degli stessi, secondo quanto prescritto dal DM 14/01/2008.

Con l'insieme dei dati si è potuto ricostruire il modello geologico e geotecnico di riferimento e individuare le soluzioni possibili per la realizzazione dell'opera in un'area con evidente presenza di cavità sotterranee.

Lo studio che segue farà riferimento agli aspetti geomorfologici, geologici, geotecnici e geofisici dei terreni impegnati dalla costruzione in progetto ricadenti nell'area individuata, eseguita anche con un dettagliato rilevamento geologico



supportato dalle ricerche eseguite nella banca dati geognostici e geotecnici in possesso dell'Amministrazione.

Il progetto è corredato da dettagliate indagini geognostiche in sito, di laboratorio, prospezioni e indagini sismiche: passiva, georadar e tomografica, eseguiti dalla DI.PA. Trivellazioni S.n.c il cui fascicolo è parte integrante degli elaborati progettuali.

Le indagini hanno avuto come obiettivo la conoscenza dei litotipi presenti nel sottosuolo, lo studio delle caratteristiche meccaniche dei campioni di roccia prelevati nel corso dei sondaggi, lo studio e l'ubicazione delle numerose cavità riscontrate a più livelli già nel corso delle indagini geognostiche, nella ristretta area destinata alla realizzazione dell'edificio di culto in programma.

Nella considerazione che la sommatoria delle superfici coperte delle edificazioni progettualmente previste è superiore a quanto prevede il Piano Regolatore Generale (PRG) del Comune di Palermo, la Regione siciliana ha suggerito che per detto progetto deve essere richiesta una variante Urbanistica, secondo quanto prevede l'Art. 13 della L. Reg.le 64/74, e acquisire quindi l'assenso del Consiglio Comunale.

Per le finalità sopra descritte, si ritiene che le indagini, analisi e prove eseguite sui terreni dell'area dedicata alla costruzione, in questa fase progettuale, siano più che esaustive per ottenere l'approvazione del progetto in Variante Urbanistica.

2. - IL TERRITORIO E L'ASSETTO GEOMORFOLOGICO

Il sito in cui si prevede di realizzare la chiesa si sviluppa nella periferia nord-orientale del territorio urbano di Palermo, in prossimità delle pendici montuose di Monte Pellegrino, facente parte anch'esso del vasto bacino di sedimentazione detritico organogeno che caratterizza la conca palermitana.

Geomorfologicamente il territorio indagato, tipico di un ambiente marino costiero, è caratterizzato per la presenza di una vasta area sub pianeggiante facente parte della scarpata della piana di Palermo, con pendenza del 2% - 3%, vergente verso la linea di costa.

Localmente la porzione di scarpata presente è interrotta da depressioni corrispondenti ad antiche cave a cielo aperto, a imbuto o scavernamenti, sottostanti volte rocciose, realizzate tra gli anni quaranta e cinquanta per l'estrazione dell'arenaria (tufo) utilizzata nel campo dell'edilizia.

Spesso le aree di cava limitrofe erano rese intercomunicanti, anche a diversi livelli, da cunicoli di collegamento sub-orizzontali delle dimensioni di 1.50 x 1.00 m.

Dati sulla presenza delle cave, dove è possibile riconoscere la litostratigrafia locale, si sono rilevati nell'intorno dell'area: in corrispondenza della depressione occupata dalla concessionaria Fiat; dell'area depressa antistante e dalla trincea scavata per la realizzazione della linea ferroviaria Palermo Sampolo - Palermo Centrale.

Tutta l'area, pur mostrando caratteristiche geomorfologiche abbastanza stabili poiché non presenta fenomeni franosi in atto o potenziali, nella cartografia del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI) redatto dall'ARTA, è contrassegnata come *sito di attenzione* *, con il codice 040-6PM-166, per ciò che riguarda la pericolosità geomorfologica. **Nel caso in cui nelle carte della pericolosità e del rischio siano presenti aree indicate come siti di attenzione, questi vanno intesi come aree su cui approfondire il livello di conoscenza delle condizioni geomorfologiche e/o idrauliche in relazione alla potenziale pericolosità e rischio e su cui comunque gli eventuali interventi dovranno essere preceduti da adeguate approfondite indagini.*

Detta classificazione, appunto, è da ricondurre esclusivamente alla presenza nell'area di numerose cave di origine antropica e pertanto, per le nuove opere da realizzare, è opportuno un approfondimento d'indagini per non incorrere in errori del modello geologico di progettazione, con conseguenti inconvenienti per le nuove edificazioni.

Nel corso dei sopralluoghi e delle indagini geognostiche eseguite si è ulteriormente appreso che anche l'area oggetto delle indagini, su cui dovrà sorgere la Chiesa, in un recente passato è stata oggetto di sprofondamenti cui sono seguiti successivi rinterri.

Durante le attività conseguenti alla messa in pristino delle condizioni iniziali, era stata anche rilevata la presenza di diversi camminamenti/cunicoli, posti a diverse profondità dal piano di campagna, che mettevano in comunicazione l'attuale area oggetto degli sprofondamenti con aree poste sia a Sud sia ad Est, ed in questa direzione, verso la sede della Fiera del Mediterraneo.

3. – LE INDAGINI ESEGUITE

Durante la fase preliminare della progettazione dell'edificio di culto, in relazione agli interventi progettualmente previsti, è stato predisposto un piano di indagini geognostiche comprendente:

- ✓ sondaggi a rotazione a carotaggio continuo;
- ✓ prove in situ (SPT);
- ✓ prelievo di campioni per laboratorio geotecnico;
- ✓ sondaggi georadar;
- ✓ sondaggi sismici.

Dette indagini hanno l'obiettivo di ricostruire la sequenza litostratigrafica dei terreni, determinare le caratteristiche fisico-tecniche, necessarie all'elaborazione dei calcoli strutturali, rilevare il livello della falda freatica nell'area, consentire di conoscere la risposta sismica dei terreni presenti nel sottosuolo e determinarne, tramite il parametro Vs30, la categoria di suolo dell'area in oggetto, secondo quanto prescritto dal D.M. 14/01/2008.

Le indagini sopra elencate sono state commissionate dalla Curia Arcivescovile di Palermo, che ne ha affidato l'esecuzione direttamente alla DI.PA. Trivellazioni S.n.c.

A seguito dei primi risultati ottenuti nel corso delle indagini geognostiche, il programma è stato meglio perfezionato, per cui in definitiva sono stati eseguiti:

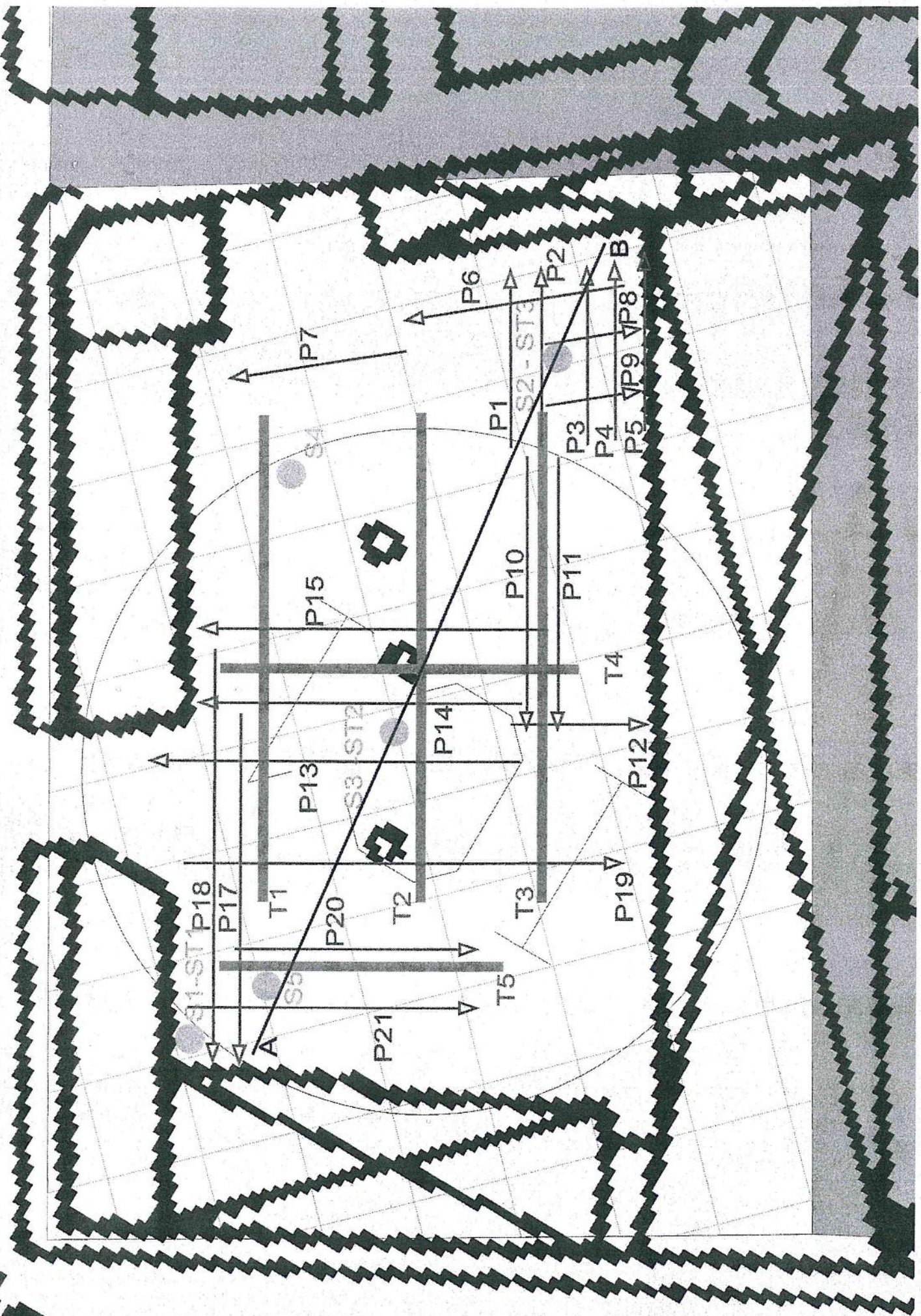
- N° 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti a diverse profondità;
- Prove in situ (SPT);
- installazione di piezometri a tubo aperto;
- Prelievo di campioni e relative prove di laboratorio geotecnico;
- N° 3 Sondaggi geofisici "Tomografici" per la valutazione del Vs 30;
- N° 21 Sondaggi georadar, per la rilevazione delle discontinuità litologiche (anomalie) del sottosuolo;
- N° 5 Sondaggi geoelettrici eseguiti con la "Tomografia elettrica" 2D/3D, per la ricerca delle anomalie elettromagnetiche (cavità).

L'esatta ubicazione delle indagini sopra elencate è riportata in **Fig. 2 Ubicazione delle indagini**, di seguito riprodotta.

I **5** sondaggi geognostici a carotaggio continuo eseguiti (**S1 – S5**), sono stati spinti ad una profondità variabile fra **13.00** e **27.00** m dal p.c..

Fig.2

UBICAZIONE DELLE INDAGINI



PLANIMETRIA DELL'AREA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI ESEGUITE

LEGENDA

- Sn Sondaggi geognostici;
- STn Prospezioni sismiche passive – tomografiche;
- Tn Prospezioni geoelettriche – tomografiche;
- Pn Prospezioni georadar;
- A – B Sezione Geolitologica (Monte – Valle).

Nel corso dei sondaggi sono stati prelevati, a profondità comprese fra **3.00 e 8.00** m dal p. c, n° **5** campioni di roccia, per sottoporli ad analisi e prove di laboratorio geotecnico.

Lungo le verticali dei 5 sondaggi sono state eseguite prove penetrometriche di tipo **S.P.T.** a profondità variabili dal p.c..

L'elenco dei sondaggi con l'indicazione delle profondità raggiunte, delle prove **S.P.T.** e dei campioni prelevati è riportato nella **Tabella I** seguente.

Sondaggio	Quota Boccaforo [m]	Profondità [m dal p.c.]	Profondità prelievo campioni [m dal p.c.]	Profondità Prove penetrometriche S.P.T. [m dal p.c.]
S1	26.20	27.00	3.00 – 3.50	4.00 - 7.00 - 25.00
S2	26.20	22.50	4.50 - 5.00	2.50 - 9.00
S3	26.20	18,00	7.50 - 8.00	2.00 - 15.00
S4	26.20	13,00	7.50 – 8.00	4.00-8.00
S5	26.20	15,00	2.50 – 2.80	3.00

Tab. I

Le colonne stratigrafiche dei **5** sondaggi geognostici eseguiti e delle molteplici prove sismiche ottenute, effettuate a seguito delle numerose cavità riscontrate a vari livelli nel corso delle propedeutiche indagini geognostiche, sono riportati nel Rapporto Tecnico trasmesso dalla DI. PA. Trivellazioni il cui Fascicolo è parte integrante degli Elaborati Progettuali.

Presso il laboratorio CON. GEO srl di Palermo, sui campioni prelevati nel corso delle indagini, sono state eseguite Analisi di identificazione e, per la determinazione delle caratteristiche meccaniche, prove di Laboratorio Geotecnico di taglio diretto e compressione uniassiale, i cui risultati sono riportati anch'essi nel Rapporto Tecnico.

Nel seguito sono esposte le valutazioni cui si è conseguentemente giunti circa il modello geologico-tecnico da sottoporre ai progettisti affinché, nella ristretta area, possa essere progettata e realizzata la chiesa..

4. - LA FORMAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

La geologia dell'area in esame, come del resto buona parte della Piana di Palermo, è contraddistinta dalla presenza di una formazione litologica denominata delle **calcareniti bioclastiche** del **Plio-pleistocene**.

Questa formazione rocciosa si è formata come prodotto finale del disfacimento dei Monti circostanti la **"Piana di Palermo"**, successivamente depositata e consolidata in un ambiente di mare basso con poca energia.

Nel Pliocene l'attuale conca d'oro si trovava sommersa da un mare poco profondo, quindi un ambiente di sedimentazione in cui le acque distribuivano in maniera non uniforme i detriti erosi dagli agenti esogeni, dai rilievi montuosi circostanti.

Tale particolarità sedimentologica ha contribuito alla deposizione dei livelli detritico sabbiosi e resti fossili (Biocalcareni), con una diversa granulometria e consistenza sia in senso verticale che orizzontale, motivo questo delle evidenti differenze fisico-tecniche del deposito in seno allo stesso tipo litologico.

La **Formazione calcarenitica** del Quaternario è costituita da strati, a volte spessi e tenaci a volte poco potenti e sciolti, di una roccia sedimentaria di origine clastica a struttura granulare di natura carbonatica. La cui matrice è rappresentata da sabbie medie e medio-fini, granulometricamente ricadenti nel campo delle areniti e dei limi, i cui elementi di diversa forma e dimensioni sono variamente cementati.

I granuli che hanno diametro inferiore al millimetro sono tenuti insieme da quantità di cemento calcitico e/o siliceo molto differente, provenendo da processi di dissoluzione e successiva riprecipitazione.

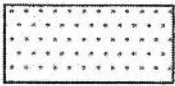
La stratificazione del deposito sabbioso è solitamente parallela con strati di spessore variabili dal decimetro al metro, il colore è giallo e biancastro (**Fig. 3**).

Sotto il profilo litostratigrafico, la Formazione Calcarenitica è troncata nel corso dei sondaggi geognostici eseguiti nell'area, e presente come suolo nell'area individuata per la progettazione dell'edificio di culto programmato, si rinviene al di sotto di un livello di terreni di **Ripporto "R"** superficiali.

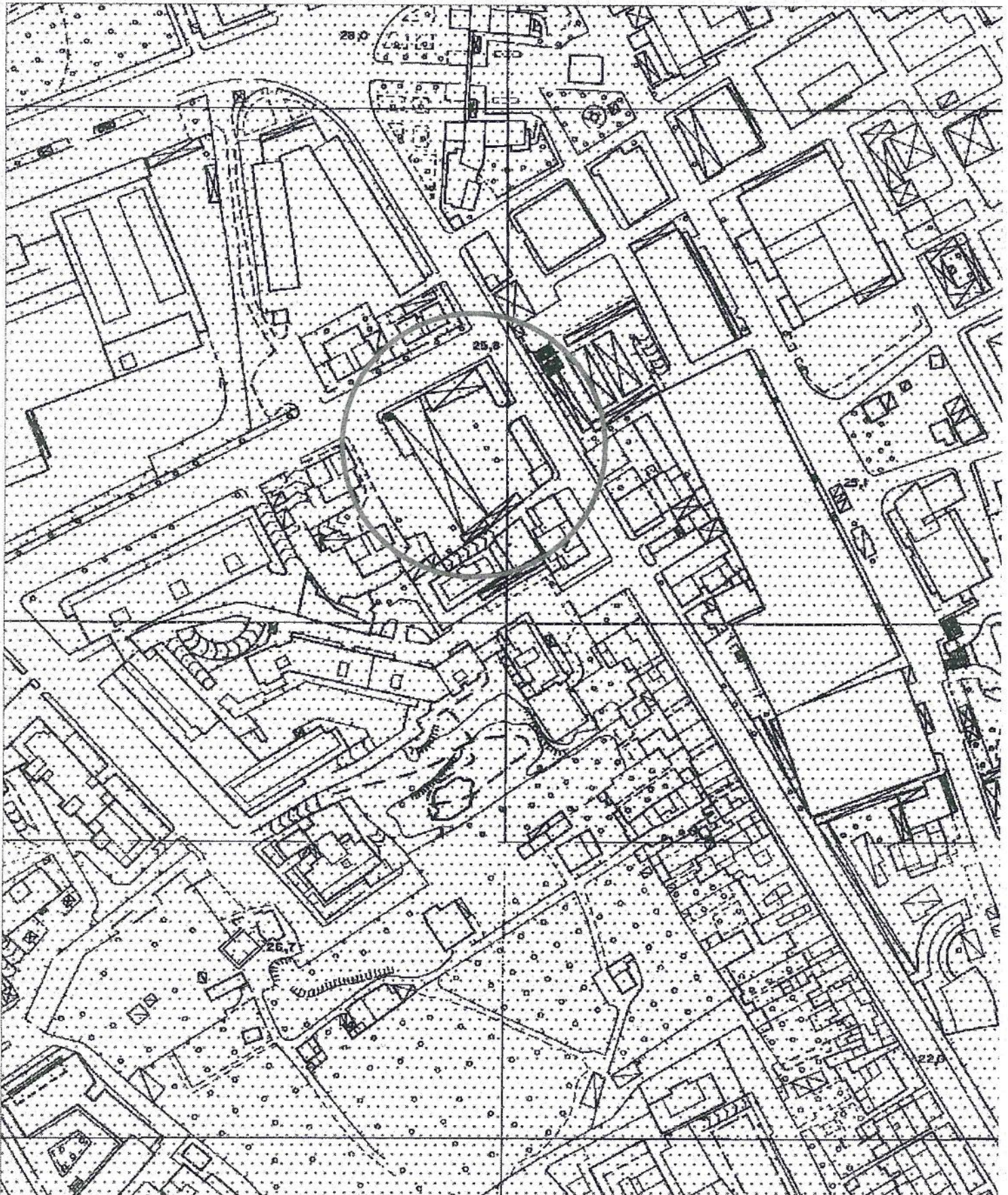
Questi **Ripporti "R"** sono rappresentati da materiale calcarenitico, e caratterizzati da elementi litici e sabbiosi di forma irregolare, con intercalazioni di sabbie sciolte rimaneggiate o poco addensate che hanno uno spessore funzione dei rinterri delle

CARTA GEOLOGICA

Scala 1:2000



Biocalcarenite Plio-pleistocene



cavità rinvenute e degli sprofondamenti che si sono verificati nel tempo in diversi punti dell'area indagata e presenti a diverse profondità dal piano di campagna.

La potenza rilevata per i **Riporti** è variabile; si passa da uno spessore minimo di **0.50 m** in **S5** ad uno spessore massimo di circa **3.00 m** in **S3**.

Da quanto è emerso nel corso delle **5** indagini geognostiche, la cui descrizione stratigrafica e gli esiti delle prove **SPT** sono riportate nel Rapporto Tecnico delle indagini, la **Formazione Calcarenitica**, presente sotto il Riporto, può essere qualitativamente differenziata secondo due ben distinti livelli:

- A. **biocalcarenite sabbiosa "Cs"**: è un livello superficiale costituito da un'alternanza di strati sabbiosi più o meno cementati o soltanto addensati, decimetrici, con intercalazioni di sabbie sciolte e livelli sabbiosi anche concrezionati e vacuolari. Questo livello presenta inoltre cavità-vuoti-cunicoli-camminamenti di forma regolare, tra l'altro presenti a diverse profondità che, secondo quanto rilevato con le prove sismiche, ha ben determinate direttrici ortogonali, in parte e recentemente riempite con materiale prevalentemente sabbioso sciolto. La cementazione, ove e se presente, non è né completa né uniforme. La potenza di questo livello è alquanto variabile, funzione dei riempimenti eseguiti per colmare le cavità rinvenute, e varia da **11.00 m** in **S2** a **4.00 m** in **S3**.
- B. **biocalcarenite compatta "Cc"**: è un deposito pressoché equivalente al primo ma decisamente più consistente. Le biocalcareniti e le calcareniti sono molto consistenti, infatti, si carotano a tratti vacuolari, in esse si rinvengono ancora livelli di sabbie più o meno cementate. La consistenza e il grado di cementazione di questo livello migliorano con la profondità, per il maggior contenuto di cemento calcitico. Lo spessore rilevato, fino al fondo foro, del livello **Cc** varia dai **4.50 m** in **S4**, agli **11.50 m** in **S3**. Ulteriori considerazioni desunte dei risultati delle numerose prove sismiche eseguite fanno ritenere che questo livello raggiunge i **30.00 m** di profondità.

Nel corso dell'esecuzione di tutte le indagini geognostiche, ad eccezione del sondaggio **S1**, sono state rilevate delle cavità, mentre nei sondaggi **S2** ed **S3** le cavità sono presenti su più livelli, e presenti, da circa **2.00 m** a **6.50 m**.

La presenza di cavità è stata rilevata solamente all'interno del livello delle **Biocalcareniti sabbiose "Cs"**.

L'ulteriore analisi dei risultati delle numerose indagini geofisiche e geoelettriche eseguite (Tomografiche - Georadar - Tomografia elettrica), di cui si riferirà più avanti, ha fatto emergere che tutta l'area esaminata è disseminata da parecchie cavità, cunicoli e camminamenti, anche tra loro ortogonali, posti su diversi livelli, entro una fascia di profondità compresa tra circa - **1.00 m** e - **6.50 m** dal piano di campagna.

La presenza delle cavità, testimoniando qualità e consistenza del deposito calcarenitico, dà conferma che anche quest'area è stata interessata da rilevante attività estrattiva dei conci di tufo utilizzati per l'attività edilizia cittadina.

Il sistema di estrazione utilizzato era quello delle cave a cielo aperto, con cunicoli e camminamenti che collegavano possibili aree di cave limitrofe.

Nel corso delle indagini geognostiche, indagini che sono state eseguite in tempi diversi, al termine della perforazione si è proceduto alla misurazione del livello statico della falda freatica, le profondità così misurate sono riportate nelle colonne stratigrafiche di cui al Rapporto delle Indagini.

In tempi successivi (04/12/2013 e 13/12/2013), nei sondaggi attrezzati con piezometri a tubo aperto, si sono eseguite nuove letture del livello piezometrico.

Queste ultime letture sono sostanzialmente differenti alle prime e attestano i livelli statici della falda freatica, in seno alla Formazione biocalcarenitica, a quote comprese tra - **9.50 m** in **S2** e - **13.5 m** in **S5**, dal piano di campagna, benché **S5** si trovi a Nord, più vicino all'affioramento calcareo del Monte Pellegrino, rispetto a **S2** ubicato a valle.

Pur essendo l'area d'indagine alquanto circoscritta questa diversa profondità dei livelli statici della falda freatica rilevati, si spiega con l'elevata e variabile porosità sia orizzontale sia verticale, in seno alla Formazione biocalcarenitica, che nei fatti è stata carotata a tratti vacuolare (alta porosità) e a tratti con un'elevata densità e cementazione (bassa porosità).

Pertanto il coefficiente di permeabilità **K** risulta piuttosto elevato.

Con i dati provenienti dalle stratigrafie dei cinque sondaggi geognostici, in particolare con i sondaggi **S5 S3** ed **S2**, è stato possibile elaborare la **Sezione Geolitologica A– B** (Monte Valle) di **Fig. 4**.

La Sezione mostra inoltre l'ingombro della chiesa e del campanile, i rapporti metrici tra i litotipi presenti e il livello piezometrico della falda idrica rinvenuta.



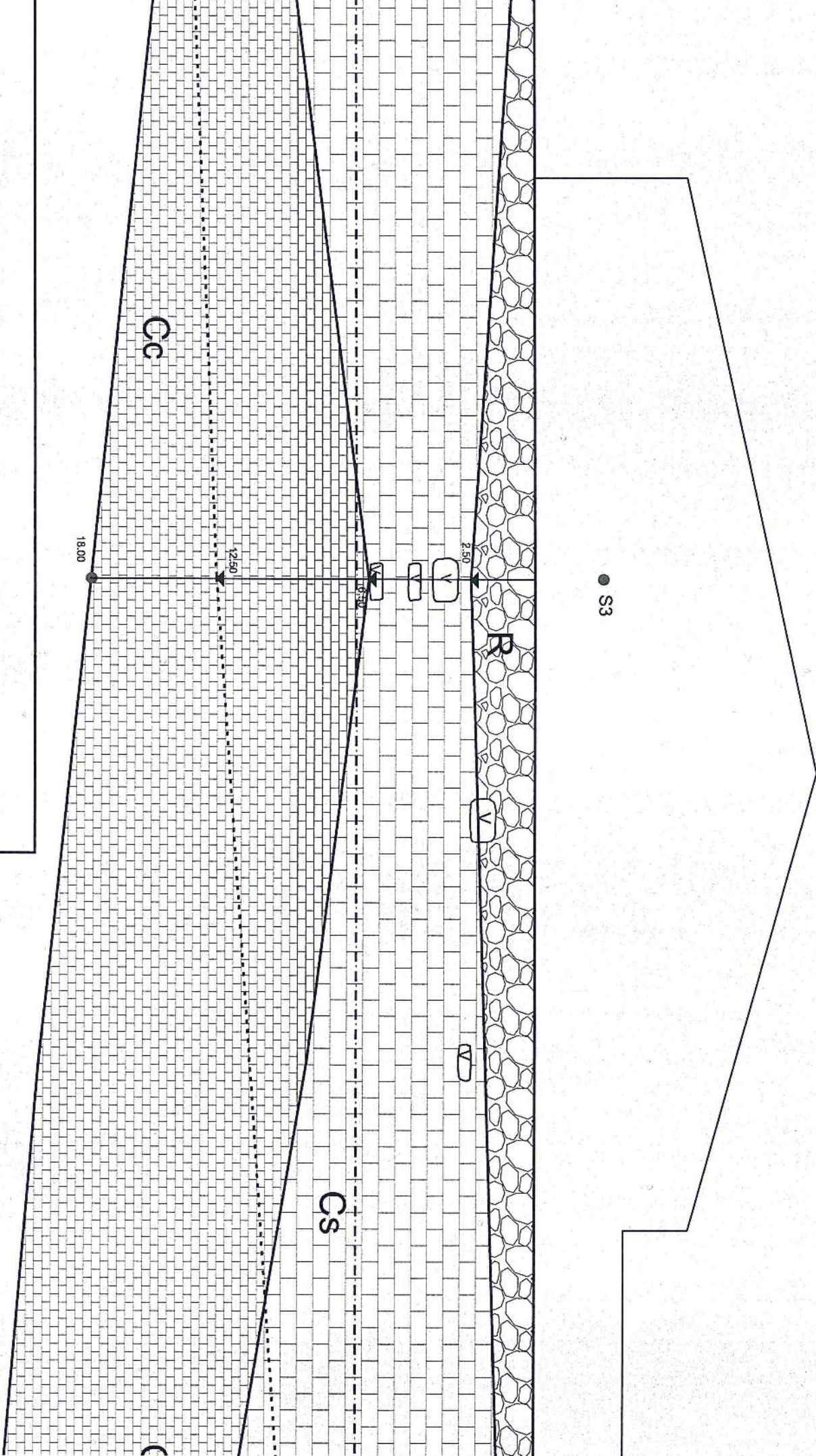
Calcarente
cahhuca

R

$\gamma=18 \text{ KN/m}^3$
 $\phi=20^\circ$
 $C=0 \text{ KN/m}^2$

CS

$\gamma=19 \text{ KN/m}^3$
 $\phi=28^\circ$
 $C=1 \text{ KN/m}^2$



Nella Sezione è indicato inoltre il possibile piano di posa delle fondazioni, nel caso in cui si opti di scegliere una fondazione compensata.

Le considerazioni d'ordine geolitologico, geomorfologico e idrogeologico sopra descritte, circa le caratteristiche della formazione esaminata, unitamente alle numerose cavità, cunicoli e camminamenti presenti fino alla profondità di circa **7.00 m** rilevati con l'insieme delle indagini geognostiche e sismiche, conducono ad affermare che l'area comunque non presenta incompatibilità alla realizzazione dell'edificio di culto in programma.

5. CARATTERISTICHE FISICO-TECNICHE E SISMICHE DEI TERRENI

Le considerazioni sulla caratterizzazione fisico-tecnica dei terreni presenti nel sottosuolo dell'area indagata di seguito affrontata, provenienti dall'insieme delle indagini geognostiche, dall'esame dei risultati delle analisi e prove geotecniche di laboratorio geotecnico eseguite sui campioni di roccia prelevati in situ dalla DI. PA. Trivellazioni e conferiti al laboratorio geotecnico CON. GEO srl di Palermo, è finalizzata a fornire le necessarie indicazioni circa la scelta d'indirizzo progettuale.

In relazione ai dati di laboratorio geotecnico forniti, ai terreni presenti dall'alto verso il basso nel sottosuolo dell'area, differenziati nei tre livelli litostratigrafici (**R-Cs - Cc**), possono essere attribuite le seguenti caratteristiche fisico-meccaniche, comparate con i numerosi parametri tecnici disponibili sullo stesso litotipo, (**Fig. 4 Sezione Geolitologica A - B**):

1. **Riporto "R"**: rappresentato da materiale calcarenitico intercalato a sabbie sciolte rimaneggiate o poco addensate di spessore alquanto variabile, la cui potenza varia da **0.50 m** in **S5** a **2.50 m** in **S3**. Si tratta di un terreno incoerente, normalmente compattato, molto poroso, di elevata deformabilità e molto permeabile. Sotto il profilo litotecnico detto Riporto, essendo un materiale prevalentemente sciolto, non si presta a essere sollecitato da sforzi di compressione poiché è soggetto a elevata deformazione. Le caratteristiche fisico-tecniche attribuite, comunque scadenti, sono:

$$\gamma = 16 \text{ KN/mc}; \quad \varphi' = 20^\circ; \quad C' = 0 \text{ KN/mq]$$

Per lo scavo si può ricorrere ai normali mezzi d'opera poiché la resistenza a compressione σ_r è compresa entro i **4 MPa**.

2. **Biocalcarenite sabbiosa "Cs"**: è il livello calcarenitico superficiale costituito da strati sabbiosi più o meno cementati o solo addensati, con intercalate sabbie sciolte e livelli sabbiosi consistenti ma notevolmente vacuolari. In esso si mappano cavità-vuoti-cunicoli-camminamenti di forma regolare presenti a diverse profondità secondo direttrici ortogonali, in parte riempite con materiale sabbioso sciolto. La cementazione non è né completa né uniforme. La potenza di questo livello varia dagli **11,00 m** in **S2** a **4,00 m** in **S3**. A questo livello biocalcarenitico possono essere attribuiti i seguenti parametri fisico-tecnici:

$$\gamma = 19 \text{ KN/mc}; \quad \varphi' = 28^\circ; \quad C' = 1 \text{ KN/mq};$$

In assenza di prove di compressione σ_r , poiché è stato impossibile potere prelevare un campione indisturbato di roccia **Cs**, la resistenza potrebbe essere ricondotta e ugualmente distribuita entro le prime tre classi di scavo: **0 – 4; 4 – 10; 10 – 20 MPa**. Sebbene la cementazione non è uniforme, le pareti di scavo sono capaci di mantenere la verticalità.

3. **Biocalcarenite compatta "Cc"**: è un deposito pressoché equivalente al primo ma più consistente, anche se sono ancora presenti sottili livelli di sabbie in parte cementate. Le biocalcareniti consistenti si carotano a tratti vacuolari, con alternanze di livelli sabbiosi parzialmente cementati. La consistenza e il grado di cementazione aumentano con la profondità, per il maggior contenuto di cemento calcitico. Il livello "**Cc**" si rinviene a diverse profondità dal piano di campagna: - **10.00 m** in **S5**, - **6.50 m** in **S3**, - **8.50 m** in **S4** e - **13.00 m** in **S2**. Successive considerazioni, dedotte dei risultati delle prove sismiche eseguite fanno ritenere che questo livello resta tale fino ai 30.00 m di profondità.

Per quanto concerne le caratteristiche geomeccaniche a questo livello biocalcarenitico possono essere attribuiti i seguenti parametri fisico-tecnici:

$$\gamma = 20 \text{ KN/mc}; \quad \varphi' = 32^\circ; \quad C' = 2,5 \text{ KN/mq};$$

La prova di resistenza a compressione eseguita sul campione **1** del sondaggio **S3**, e riportata nell'elaborato geotecnico della CON.GEO., attribuisce alla formazione biocalcarenitica compatta "**Cc**" una σ_r di resistenza uniassiale pari a **7 MPa**.

I moduli elastici da associare, ricavati dalle velocità di Taglio, sono risultati:

	Unità di misura	Strato 1 Cs	Strato 2 Cc
Densità della roccia	γ KN/mc	19	19
Modulo di Rigidità G	μ Kg/cm ²	837.9	5337.1
Costante di Lamè V	λ	1364.2	8325.8
Mod Compr volumetr	K Kg/cm ²	1922.8	11883.9
Coeff di Poisson	δ	0.310	0.305
Mod Young	e Kg/cm ²	2194.9	13926.5

Per la valutazione delle azioni sismiche nell'area in oggetto, si fa riferimento alla "Normativa tecnica per le costruzioni" di cui al D. M. 14/01/2008, al D.M. integrativo e alle Istruzioni della Circolare n° 617/CSLLPP.

Secondo tali Norme le azioni sismiche attese in superficie, quindi sull'edificato, dipendono principalmente dalla capacità che ha il terreno, compreso nei primi 30 m di profondità, di amplificare o meno la frequenza di risonanza dei terreni sollecitati da un sisma.

Circa la ricerca della categoria del suolo di fondazione, nel corso della programmazione delle indagini, sono state eseguite, tramite la sismica passiva (**tomografia**) usata come strumento stratigrafico, misure delle onde di taglio **S** per la stima della **V_{s 30}** atte a conoscere la frequenza di risonanza dei terreni, consentendo una microzonizzazione dell'area. Detta microzonizzazione è funzione anche della topografia del suolo interessato all'opera da realizzare cui corrispondono altri parametri di amplificazione sismici locali.

Per tale attività sono state eseguite, in corrispondenza dei sondaggi geognostici **S1-S2-S3, N° 3 Rilievi Sismici (STn)** "Tromografici", eseguiti con il "Tromino", per la valutazione del **V_{s 30}** (**Fig. 2**).

Le frequenze registrate nei 3 Sondaggi, basate sulla stima dei primi 30 metri di profondità dal piano di posa delle fondazioni, parametrizzate con le velocità equivalenti delle onde di taglio **S** nei primi **30 m** di profondità del sottosuolo, è risultata compresa in un range compreso tra **286 m/s (ST2)** e di **377 m/s (ST1)**.

Poiché solo il Sondaggio **ST1** supera appena la soglia di **360 m/s** consentita dalla Normativa, è bene considerare il sito ricadente nella Categoria di Suolo di tipo "**C**": (*Depositi di terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di Vs30 compresi tra 180 m/s e 360 m/s*), **Tab. 3.2.II del D.M. 14/01/2008**.

Di seguito inoltre vengono definiti inoltre i seguenti parametri sismici locali:

- tipo di costruzione **2** "opere ordinarie...di importanza normale" con vita nominale **V_N= 50** anni, Tab. 2.4.I del D.M.;
- classe d'uso **II** "costruzioni che prevedono normali affollamenti..", § 2.4.2.;
- coefficiente d'uso **C_U= 1.0** (per classe d'uso **II**), Tab. 2.4.II;

- periodo di riferimento $V_R = 50$ anni (per $V_N = 50$ e classe d'uso II), Tab. C.2.4.I;
- categoria di sottosuolo di tipo **C** "Depositi di terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 180 m/s e 360 m/s";
- amplificazione stratigrafica S_S tra **1.0** e **1.5** (per categoria sottosuolo **C**), Tab. 3.2.V;
- categoria topografica **T1** "Superficie pianeggiante...con inclinazione $<15^\circ$ ", Tab. 3.2.IV, che da luogo ad una;
- amplificazione topografica $S_T = 1.0$, Tab. 3.2.VI;
- il periodo di ritorno dell'azione sismica T_R sarà di 475 anni (per un periodo di riferimento V_R di **50** anni, secondo lo stato limite ultimo (**SLU**) di salvaguardia della vita (**SLV**), Tab. C. 3.2.1.:
- coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa nel sito (β_m) per suoli di tipo **C** e a_g (**g**) compresi tra 0.1 e 0.2 = **0.24**, Tab. 7.11.II.

6. CONSIDERAZIONI TECNICO-PROGETTUALI

Nel seguito vengono affrontate le problematiche e le considerazioni tecnico-progettuali, in funzione del modello geologico elaborato, a cui fare riferimento per le scelte progettuali e la tipologia di fondazione a cui si è giunti attraverso la numerosa serie di indagini, analisi e prove eseguite.

Come evidenziato in precedenza già nel corso delle perforazioni geognostiche sono state rinvenute diverse cavità, a seguito delle quali si è dovuta approfondire l'indagine per ricercarne altre, al fine di ottenere una mappatura quanto più rispondente alla condizione locale.

La numerosa serie d'indagini sismiche, tomografiche, georadar e geoelettriche 2D/3D, eseguite nella ristretta area individuata per la costruzione della chiesa (**Fig. 2**), ha consentito di fare emergere le seguenti problematiche:

- presenza di un livello di biocalcareni sabbiose **Cs** di mediocre consistenza, all'interno delle quali sono presenti numerose cavità d'origine antropica;
- presenza, in tutta l'area indagata, di numerose anomalie elettromagnetiche, riconducibili a cavità, cunicoli e camminamenti anche intercomunicanti e parzialmente occlusi, fino alla profondità di **- 6.50 m**.

L'analisi dei radargrammi ben evidenziati e restituiti dalle Slide a intervalli regolari di profondità (1/2 - 2/3 - 3/4 - 4/5 - 5/6 m) mostrano appunto le anomalie elettromagnetiche rilevate dallo strumento e riconducibili a cavità, camminamenti e cunicoli.

La Slices Maps di Sezione 2, anch'essa di seguito Allegata, raccoglie verticalmente gli esplosi delle Slide alle profondità, nelle quali sono chiaramente individuate dette cavità/camminamenti, che hanno direttrici orizzontali e trasversali anche su più livelli.

I camminamenti rinvenuti consentivano ai cavatori di conci di tufo di esplorare le zone limitrofe che presentavano caratteristiche di consistenza delle calcareniti idonee ad essere estratte, come d'altronde è stata tutta l'area alle falde di Montepellegrino.

Numerose sono le testimonianze di tale vocazione, ancora visibili nella depressione occupata dalla concessionaria Fiat e nell'area depressa antistante.

La cartografia del Piano per l'Assetto Idrogeologico (PAI), infatti, contrassegna l'area come "*sito di attenzione*" con il codice 040-6PM-166, "*aree su cui approfondire il livello di conoscenza delle condizioni geomorfologiche e/o idrauliche in relazione alla*



DLPA. Trivellazioni s.n.c.
via Portella, 5
90020 Ventimiglia di Sicilia (PA)
tel./fax: 091.820.97.75 – cell.: 328 4720 700
e-mail : geologoandrecapagano@gmail.com

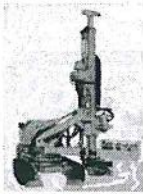
P.IVA 05276200820

Dir. Tecnico: dr. geologo Andrea Pagano

FIG. 1 ESPLOSO



Slide - [1+2 m]



DI.PA. Trivellazioni s.n.c.

via Portella, 5
90020 Ventimiglia di Sicilia (PA)
tel./fax: 091.820.97.75 – cell.: 328 4720 700
e-mail : geologoandrecapagano@gmail.com

P.IVA 05276200820

Dir. Tecnico: dr. geologo Andrea Pagano



Slide - [2-3 m]



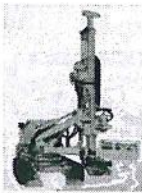
DI.PA. Trivellazioni s.n.c.
via Portella, 5
90020 Ventimiglia di Sicilia (PA)
tel./fax: 091.820.97.75 – cell.: 328 4720 700
e-mail : geologoandrcapagano@gmail.com

P.IVA 05276200820

Dir. Tecnico: dr. geologo Andrea Pagano



Slide – [3÷4 m]



DI.PA. Trivellazioni s.n.c.

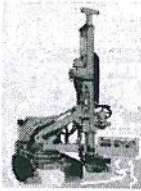
via Portella, 5
90020 Ventimiglia di Sicilia (PA)
tel./fax: 091.820.97.75 – cell.: 328 4720 700
e-mail : geologoandrecapagano@gmail.com

P.IVA 05276200820

Dir. Tecnico: dr. geologo Andrea Pagano



Slide-[4+5 m]

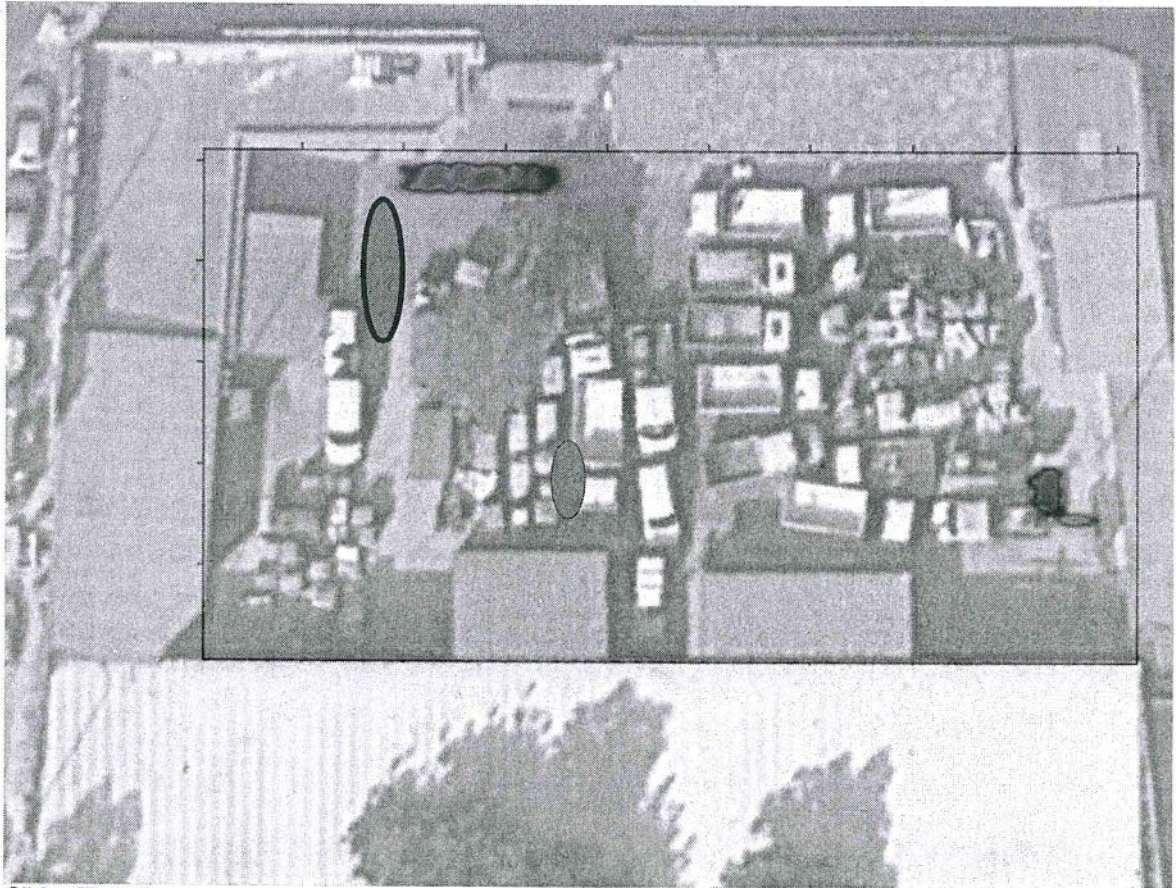


D.I.P.A. Trivellazioni s.n.c.

via Portella, 5
90020 Ventimiglia di Sicilia (PA)
tel./fax: 091.820.97.75 – cell.: 328 4720 700
e-mail : geologoandrcapagano@gmail.com

P.IVA 05276200820

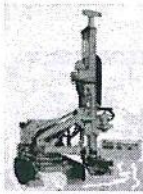
Dir. Tecnico: dr. geologo Andrea Pagano



Slide - [5-6 m]

Ventimiglia di Sicilia, ottobre 2013

D.I.P.A. TRIVELLAZIONI S.N.C.
Via Portella, 5 - Ventimiglia di Sicilia (PA)
Partita IVA 05276200820
[Signature]
D.I.P.A. Trivellazioni S.n.c.
(Dir. Tecn. dr. geologo Andrea Pagano)

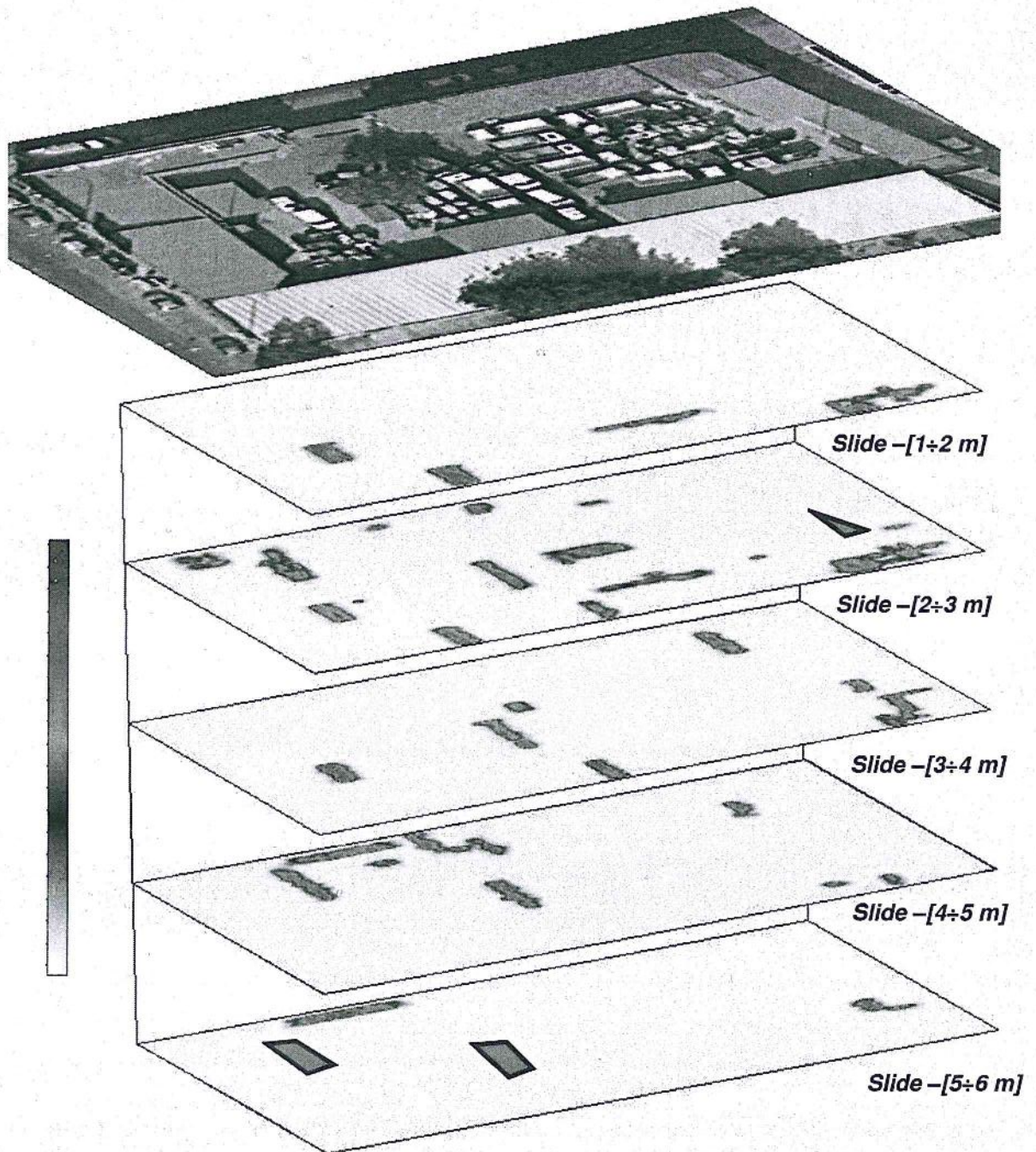


DL.PA. Trivellazioni s.n.c.
via Portella, 5
90020 Ventimiglia di Sicilia (PA)
tel./fax: 091.820.97.75 – cell.: 328 4720 700
e-mail : geologoandrecapagano@gmail.com

P.IVA 05276200820

Dir. Tecnico: dr. geologo Andrea Pagano

SEZIONE N.2 - SLICES MAPS



potenziale pericolosità e rischio e su cui gli interventi dovranno essere preceduti da approfondite indagini”.

Con le stratigrafie dei sondaggi geognostici **S5 S3 S2** si è potuta elaborare la Sezione Geolitologica **A - B (Fig. 4)** che mostra:

- l'ingombro della realizzanda chiesa e del campanile;
- i rapporti metrici dei due litotipi, biocalcarenitica sabbiosa superficiale scarsamente cementata **Cs** e la biocalcarenite più consistente **Cc**, presenti sotto un modesto livello di materiale di riporto **R**;
- le cavità e la profondità delle stesse rinvenute nel corso delle perforazioni geognostiche nelle biocalcareniti **Cs**;
- il livello statico della falda idrica.

Con tutti i dati disponibili e sopra esposti si è costruito un modello geologico che fa prevedere due tipologie di fondazioni possibili da realizzare:

- A la compensata su travi rovesce o piastra posta a **6.50÷7.00 m** di profondità dal piano di campagna;
- B l'indiretta su palificazioni poste almeno a sostegno della costruzione che impegna di più, in termini di carichi trasmessi, il piano di posa.

Nel caso in cui la scelta ricada nella tipologia A, la Sezione di **Fig. 4** riporta il piano da raggiungere (**- 6.50 ÷ - 7.00 m**), piano di posa ubicato sopra il livello statico della falda freatica.

Circa la possibilità di potere riutilizzare il materiale di scavo, secondo quanto previsto dalla normativa vigente in materia, D.A. 11/12/2008 (Linee guida sull'utilizzo delle terre e rocce da scavo a seguito dell'entrata in vigore del D.Lgs. n. 4 del 16 gennaio 2008), i terreni **Cs** e **Cc** provenienti dagli scavi possono essere riutilizzati per i rinterri, ad eccezione dei terreni di riporto **R** superficiali che devono essere conferite a discarica.

Palermo, Dicembre 2014

Il Geologo
Giuseppe Vinti
