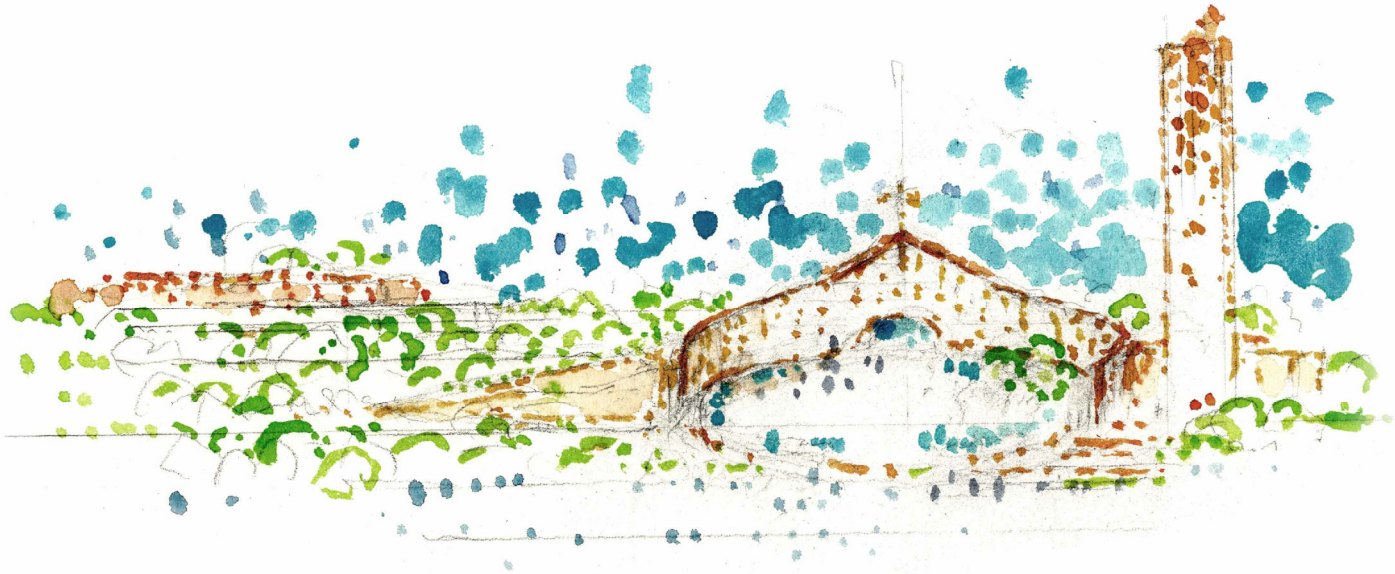
Comune di Oppido Lucano
Provincia di Potenza
Arcidiocesi di Acerenza

CHIESA PARROCCHIALE "SANTI PIETRO E PAOLO APOSTOLI"



PROGETTO ESECUTIVO

COMMITTENTE: Parrocchia SS. Pietro e Paolo
Via Palermo 12, Oppido Lucano (Pz)
Parroco: Don Domenico Santomauro

PROGETTO: ISOLARCHITETTI Srl (capogruppo)
Prof. Arch. Aimaro Oreglia d' Isola
Arch. Saverio oreglia d'Isola
Arch. Flavio Bruna
Arch. Michele Battaggia
Arch. Andrea Bondonio
Arch. Stefano Peyretti
LSB ARCHITETTI ASSOCIATI
Arch. Giuseppe Dell'Aquila
Arch. Luca Pugno
Arch. Simone Pugno
ARCH. DOMENICO CHIUMMENTO (CSP e CSE d.lgs. 81/08)

PROGETTO STRUTTURE: Ing. Michele Masciavè
PROGETTO IMPIANTI: Per. Ind. Gerardo Cannella
Ing. Vito Oliveto

tavola	oggetto	data
STR - 4	Relazione geologica	GIUGNO 2020
		Rev. 00

Regione BASILICATA

(ITALIA)

COMUNE di OPPIDO LUCANO

Provincia di Potenza

Oggetto: COMPLESSO PARROCCHIALE SS. PIETRO E PAOLO OPPIDO LUCANO

Relazione geologica

Committente: *Parrocchia SS. Pietro e Paolo* *Via Palermo 12, Oppido Lucano (PZ)* *Parroco: sac. Domenico Santomauro*	**Tolve, Aprile 2020**
Ordine dei Geologi di Basilicata n.427 dott. geol. Straziuso Katia Pia Teresa	

Indice

1. Premessa 1
2. Ubicazione e caratteristiche generali dell'intervento 2
3. Inquadramento geologico generale 5
4. Assetto Stratigrafico 6
5. Elementi tettonici 8
6. Inquadramento geomorfologico 9
7. Assetto idrogeologico 10
8. Indagini pregresse consultate 12
9. Indagini eseguite 18
10. Caratterizzazione e geo-meccanica dei terreni 24
11. Vincoli e pericolosità 26
12. Analisi sismica del sito: Risposta Sismica Locale 31
13. Stabilità del pendio 47
14. Considerazioni conclusive 48

Elaborati:

1. Corografia dell'area con particolare del sito in esame scala 1:10000
2. Carta Geolitologica scala 1:1000
3. Sezione geologica scala 1:1000
4. Carta geomorfologica scala 1:1000
5. Planimetria con ubicazione delle indagini eseguite scala 1:500
6. Stratigrafia dei sondaggi geognostici effettuati
7. Modello Geologico-Tecnico scala 1:200
8. Stralcio P.A.I. Tav.470042 scala 1:10000
9. Bibliografia degli studi e delle indagini consultate

Allegati:

1. Report prove geotecniche di laboratorio
2. Relazione indagini sismiche

1. Premessa

Nella presente relazione si riportano le risultanze dello studio geologico di un'area situata nell'ambito territoriale del Comune di Oppido Lucano (PZ) in merito alla realizzazione del nuovo complesso parrocchiale.

Il lavoro è stato effettuato su incarico della Parrocchia SS. Pietro e Paolo del comune in questione.

La presente relazione ha avuto lo scopo di fornire al progettista un quadro esauriente di conoscenze geologiche, geomorfologiche ed idrogeologiche in modo da poter progettare un responsabile e corretto intervento.

Lo studio geologico è stato finalizzato all'acquisizione dei dati attinenti la caratterizzazione geolitologica, geomorfologica ed idrogeologica di un'area sufficientemente ampia, in riferimento all'intervento da realizzare, e alla indicazione delle proprietà fisiche, meccaniche e sismiche dei terreni riconosciuti.

Lo studio si è articolate nelle seguenti fasi:

- Ricerca bibliografica
- Rilevamento geologico e geomorfologico
- Reperimento e analisi indagini pregresse
- Redazione nuovo piano d'indagine
- Esecuzione indagini

La ricerca dei dati bibliografici e cartografici relativi all'area in esame e nel rilievo geologico di superficie è stata estesa in riferimento ad una ragionevole fascia circostante, al fine di meglio comprendere l'andamento delle strutture geologico-stratigrafiche. Un controllo di maggior dettaglio è stato riservato al sito interessato dall'intervento, sulla base sia dell'osservazione diretta dei luoghi, sia dell'analisi dei risultati delle indagini geognostiche reperite, al fine di evidenziare le proprietà fisiche, meccaniche e sismiche dei terreni di fondazione.

La valutazione della pericolosità geomorfologica in relazione ai principali dissesti in atto o potenziali è stata effettuata facendo riferimento alla "Carta del Rischio Idrogeologico" (Piano Stralcio per la difesa del Rischio idrogeologico dell'Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata).

Lo studio, così finalizzato, è in accordo con quanto previsto: dal D.M. L.L.P.P. dell'11/03/88, dalla Circ. L.L.P.P. 24/09/88, dalla L.R. n. 38/97, dalla Delibera Consiglio Regionale n.575 del 04/08/09, dalle Norme Tecniche delle Costruzioni D.M. 17/01/18, entrate in vigore a patire dal 22 marzo 2018, e, dalle N.T.C. D.M. 14/01/08, per quanto non in contrasto con quanto riportato nel nuovo D.M. 17.01.2018.

La presente relazione costituisce il documento di sintesi degli studi eseguiti, fanno parte integrante di essa gli elaborati ed allegati elencati nell'apposita sezione dell'indice.

Gli elaborati cartografici prodotti hanno avuto come base topografica la *Carta Tecnica Numerica in Scala 1:5.000* della REGIONE BASILICATA, *Comunità Montana Alto Bradano*, Elemento n.° 470042 e la Carta del Comune di Oppido Lucano in scala 1:2000.

2. Ubicazione e caratteristiche generali dell'intervento

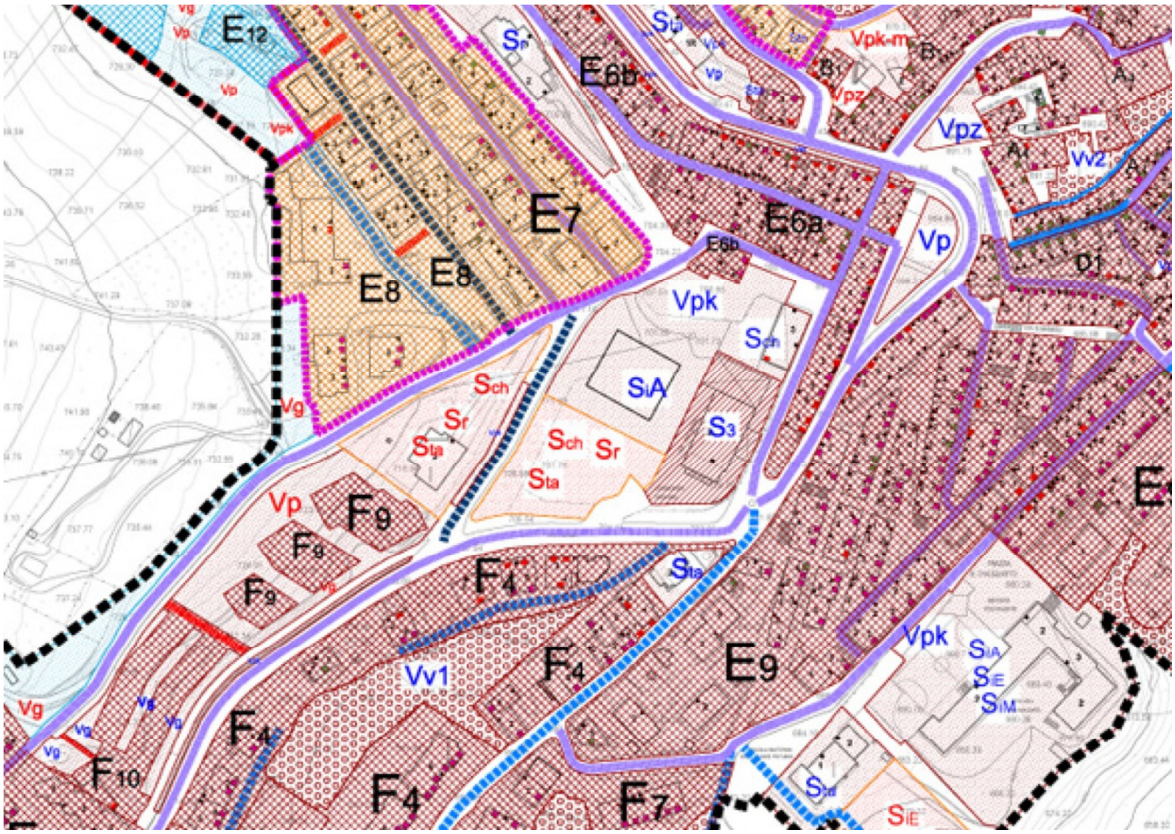
L'area d'interesse ricade nella porzione centrale dell'abitato di Oppido Lucano (PZ), delimitata a sud da via Roma, a ovest da via Montrone e, dagli altri lati, dagli edifici della scuola materna statale e del consorzio agrario. L'area è separata in due da una strada: la parte orientale corrisponde a quella dove sorgeva l'edificio della vecchia Scuola Media, demolito negli anni novanta, dove verrà realizzata la chiesa, la sacrestia, gli uffici parrocchiali e i locali per la pastorale (LOTTO 1); la parte occidentale, dove è presente l'edificio dell'ex- asilo nido, attualmente in disuso e per il quale è prevista la demolizione, sarà destinato alla costruzione della casa canonica e altri locali per la pastorale (LOTTO 2).

Il sito è identificato dai seguenti riferimenti catastali: Particelle n.1014, 1015, 1018, 1021, 1022, 1024, 1026, 1028, 1030, 1032 e 1033 del Foglio di mappa n.10 del Comune di Oppido Lucano (Fig 2.1).

Figura 2.1: Stralcio della Mappa Catastale della Regione Basilicata. In rosso è evidenziato il sito in esame.

Con riferimento alla Carta Tecnica Regionale (CTR), l'area ricade nell'elemento n° 470042 "Oppido Lucano" alla scala 1:5000.

In considerazione dei regimi urbanistici generali definiti dal Regolamento Urbanistico (Fig. 2.2), l'area risulta compresa nel Territorio Urbano di 1° classe consolidato, specificamente "aree a prevalente carattere di trasformazione ed a prevalente uso di attrezzature e servizi, in regime operativo indiretto.



T.U. - 1°- Territorio Urbano di 1° classe consolidato

è costituito dall'insediamento urbano di valore storico-testimoniale, dall'insediamento urbano consolidato, dalle aree di trasformazione urbanistica: aree dismesse, vuoti urbani e lotti interclusi

Aree a prevalente carattere di trasformazione ed a prevalente uso di attrezzature e servizi, in regime operativo indiretto

Comprende aree di nuova edificazione interne all'insediamento urbano di impianto antico, storico e consolidato, in regime operativo indiretto, ricadenti nei vuoti interclusi di prima e seconda classe.

S.A. - SOTTOSISTEMA DELLE ATTREZZATURE E SERVIZI

$S_{a..n}$ Attrezzature e servizi pubblici ed ad uso pubblico (art. 3 e 4 D.I. 1444/68) :

esistenti	di progetto	
S_{ch}	S_{ch}	Servizi per il culto
S_r	S_r	Servizi culturali e ricreativi
S_{ta}	S_{ta}	Servizi tecnico-amministrativi

Figura 2.2: Stralcio TAV. 42 del Regolamnto Urbanistico – Regimi Urbanistici Generali

3. Inquadramento geologico generale

L'area di studio si colloca in corrispondenza del margine esterno dell'Appennino lucano, al limite tra la Catena e l'Avanfossa Bradanica, al fronte delle coltri alloctone di ricoprimento sovrascorse l'una sull'altra, con vergenza adriatica, subendo una forte deformazione interna.

L'assetto geologico generale dell'area può desumersi dall'analisi della cartografia geologica prodotta dal Servizio Geologico Nazionale, sia alla scala 1:100.000 (Foglio 188 "Gravina in Puglia") che 1:50.000 (Foglio 470 "Potenza") (Figg. 3.1 e 3.2).

Figura 3.1: Stralcio della Carta Geologica d'Italia 1:100000 (Foglio 188 "Gravina in Puglia")

Figura 3.2: Stralcio della Carta Geologica d'Italia 1:50000 (Foglio 470 "Potenza").

I terreni affioranti nel centro abitato di Oppido Lucano sono ascrivibili a diversi domini paleogeografici corrispondenti al Bacino Irpino (*Formazione di Serra Palazzo*) e a Bacini intrappeninici pliocenici (*Sintema di Tolve*).

Tra le successioni sedimentarie originatesi nel Bacino Irpino, impostatosi nel Langhiano superiore tra il margine orogenico costituito dalle coltri alloctone e la piattaforma carbonatica indeformata, la Formazione di Serra Palazzo si presenta come una sequenza torbiditica calcareo-silicoclastica, testimoniando apporti silicoclastici dalla catena associati a quelli calciclastici dell'avampaese apulo.

I depositi pliocenici costituiscono delle successioni parautoctone depositatesi in bacini intrappenninici impostatisi al di sopra delle coltri ancora in movimento verso l'avampaese.

Le varie unità individuate si sovrappongono in modo alquanto complesso, con limiti spesso di natura tettonica corrispondenti prevalentemente a sovrascorrimenti con vergenza nord-orientale ritagliati da linee di trasferimento antiappenniniche sub-verticali.

Tale complessità tettonica determina frammentarietà nell'affioramento delle varie unità litologiche e discontinuità dell'assetto giaciturale.

4. Assetto stratigrafico

In riferimento al sito in esame, tenendo comunque conto di un adeguato intorno, i terreni affioranti sono ascrivibili ad un'unica successione stratigrafica che, con riferimento alla nomenclatura CARG, corrisponde alla Formazione di Serra Palazzo. Localmente sono presenti anche terreni di copertura eluvio-colluviali, depositi di frana ed antropici. Di seguito sono riportate in dettaglio le caratteristiche litologiche delle unità individuate, dal substrato geologico alle coperture.

4.1 Formazione di Serra Palazzo: alternanza di arenarie, silt argillosi e calcari (Serravalliano)

Si tratta di una successione siltoso-arenaceo-calcarea, con arenarie in strati da centimetrici a decimetrici, a grana da fine a grossa, con cementazione non

uniforme; lenti micronglomeratiche con base erosiva e spessore di pochi metri; argille limose e marne, in lamine e strati sottili, calcari marnosi e calcareniti, di colore grigio-biancastro, in strati ben definiti di spessore da centimetrico a decimetrico.

Tali depositi affiorano estesamente nell'area di studio e sono ben visibili in corrispondenza di alcuni sbancamenti, mostrando una generale stratificazione a traversopoggio (Fig. 4.1).

Figura 4.1: Affioramenti della Formazione di Serra Palazzo in prossimità dell'area di studio.

4.2 Depositi di frana (Olocene)

Nelle aree soggette e dissesti gravitativi sono presenti depositi di frana. Si tratta di depositi a matrice limoso-argillosa e limoso-sabbiosa, caotici, con elementi lapidei di varia natura e granulometria. Gli spessori, generalmente di

qualche metro, sono fortemente variabili in funzione della morfologia e dell'acclività del versante.

4.3 Depositi eluvio-colluviali (Olocene)

Si tratta di depositi a matrice limoso-argillosa e limoso-sabbiosa, con elementi lapidei di varia natura e granulometria. Gli spessori, modesti in corrispondenza del sito in esame, sono fortemente variabili in funzione della morfologia e dell'acclività del versante. Cartograficamente non sono stati rappresentati, poiché nel settore di interesse raggiungono spessori limitati (non superiori ai 2-3 metri), anche se la loro presenza si estende pressoché ovunque, rappresentando il risultato del disfacimento chimico e fisico delle rocce del substrato, a volte subendo una limitata mobilizzazione.

4.4 Depositi antropici (Attuale)

Sabbie siltose massive con frammenti litoidi di rocce e di materiali di risulta di varie dimensioni e forme. Nell'area di studio sono stati rinvenuti in spessori significativi in corrispondenza di un saggio geognostico pregresso (S_C in fig. 8.1).

5. Elementi tettonici

Dal punto di vista tettonico, l'area di studio è interessata dalla presenza di una faglia ad alto angolo che coinvolge i terreni della Formazione di Serra Palazzo. Questa struttura ha un andamento SO-NE e, come evidenziano studi precedenti, una cinematica trascorrente ed età quaternaria. La faglia trova riscontro anche nella cartografia tematica redatta per il Regolamento Urbanistico, ed é possibile identificarla in considerazione delle sue espressioni morfologiche (presenza di scarpate) o di evidenze strutturali (brusche variazioni della giacitura degli strati). Nella carta geolitologica (Elab. 2) è stata indicata come incerta lì dove mancano elementi chiari che ne indichino la posizione con maggiore certezza.

6. Inquadramento geomorfologico

L'area di studio è ubicata nella parte media del versante orientale di Monte Montrone, lungo il quale si sviluppa parte del centro abitato di Oppido Lucano.

Le quote sono di tipo montuoso con il punto sommitale, in corrispondenza del crinale, posto a circa 761 metri s.l.m., mentre, in corrispondenza del sito d'interesse la quota si attesta su valori di poco superiori ai 700 metri. La pendenza media è di circa 11°.

I caratteri morfologici originari sono parzialmente obliterati dal rimodellamento antropico legato alle opere di urbanizzazione, essendo il sito completamente incluso nel nucleo abitativo e già sede di precedente edificazione (edificio adibito a scuola media, ora demolito, ed edificio dell'ex-asilo nido).

In particolare, l'area di interesse presenta una morfologia caratterizzata dall'alternanza di aree pianeggianti e scarpate, protette da opere di sostegno. Le opere in progetto saranno realizzate in corrispondenza delle superfici pianeggianti.

In generale, l'intero versante è caratterizzato da forme variamente ondulate, forme concavo-convesse e rotture di pendenza. Le variazioni delle forme del rilievo riflettono sia i caratteri geologico-strutturali (variazioni litologiche, giacitura degli strati, presenza di discontinuità tettoniche), sia la storia geomorfologica del versante, segnata dall'incidenza di processi gravitativi o di dilavamento.

Il sito di studio non mostra criticità geomorfologiche, ma un'area di instabilità è presente poco più a sud, come riportato nella Carta geomorfologica (Elab. 4).

Rispetto all'area di interesse, tale dissesto è distante circa 50 metri e si sviluppa a valle ma, tenendo conto della linea di massima pendenza del versante, in posizione più laterale.

Le evidenze morfologiche non sono molto marcate a causa dell'urbanizzazione, tuttavia può essere individuata da un'ampia scarpata posta in corrispondenza di via I Maggio.

Nel suo insieme, la frana risulta stabile, pertanto può essere considerata come quiescente; tuttavia segni di movimento più recente riguardano una porzione

limitata all'interno del corpo di frana, in corrispondenza di un precedente fronte di scavo, dove il materiale detritico è stato mobilitato in seguito a significativi eventi meteorici determinando anche la rottura del muro di contenimento. Tale instabilità attiva non interferisce con le opere in progetto, essendo di carattere prettamente locale e trovandosi a notevole distanza (superiore ai 100 metri).

La stabilità dell'area di interesse è confermata anche dallo stato delle opere esistenti.

6.1 Clima e idrografia

L'area in esame è contraddistinta da un regime climatico di tipo continentale, caratterizzato da estati calde, afose e povere di precipitazioni ed inverni freddi e umidi. L'autunno e la primavera si presentano stagioni piovose e variabili. Le medie delle precipitazioni in questa area sono di circa 500 mm/anno.

Non è possibile fare osservazioni circa l'idrografia superficiale, poiché il sito si trova completamente in ambito urbano.

7. Assetto idrogeologico

Le caratteristiche idrogeologiche dell'area sono influenzate dai litotipi affioranti e dal loro assetto geologico-strutturale.

La successione dei terreni in esame è caratterizzata da una permeabilità medio-bassa, infatti i litotipi limoso-argillosi ed arenacei della Formazione di Serra Palazzo risultano poco permeabili per porosità. La fratturazione può generare una permeabilità secondaria, la quale condiziona la circolazione idrica, favorendo una maggiore infiltrazione delle acque. Tale porosità secondaria, funzione dell'intensità e della tortuosità delle fratture, contribuisce, localmente, a dotare la suddetta facies di una discreta permeabilità.

Nella porzione più superficiale alterata a causa della disgregazione e dei fenomeni di disfacimento fisico meccanico, da attribuire agli agenti atmosferici e allo scarso grado di addensamento, si assiste a fenomeni di infiltrazione da parte

delle acque meteoriche nel sottosuolo e quindi ad una circolazione idrica sotterranea concentrata nei periodi di maggiore precipitazione.

Nel sottosuolo, in corrispondenza di alcuni sondaggi pregressi consultati, è stata riscontrata la presenza di un livello idrico di falda abbastanza superficiale, posto ad una profondità tra 1,5 e 2 metri dal p.c. (sondaggi S1 e S2-Scuola materna comunale e S10-P.R.G./Piano di Recupero). Inoltre, varie testimonianze riportano la presenza di venute d'acqua in aree limitrofe, anche se probabilmente legate a problematiche relative alla tenuta della rete idrica, tant'è che in seguito alla deviazione della condotta idrica non si sono più manifestate.

Per meglio definire la profondità della falda, è in corso un monitoraggio della stessa attraverso ripetute letture del livello idrico in corrispondenza del sondaggio S2, attrezzato con tubo piezometrico (Tab. I).

Profondità rilevata della falda (m)	Data della misurazione
5,2	22 - 07 - 2019
5,3	19 - 08 - 2019
5,6	12 - 09 - 2019
5,5	25 - 10 - 2019
5,7	21 - 11 - 2019
5,3	13 - 01 - 2020
5,6	20 - 02 - 2020

TAB. I: Misure della profondità della falda in corrispondenza di S2

I livelli piezometrici rilevati sono stati messi a confronto con le precipitazioni meteoriche dello stesso periodo, registrate dalla stazione pluviometrica di Oppido Lucano del Centro Funzionale della Basilicata (Fig. 7.1). Dall'analisi dei dati non si rileva l'innalzamento della falda a seguito delle precipitazioni, anche se bisogna tenere in considerazione la scarsità generale delle piogge che ha caratterizzato il periodo monitorato. Il livello della falda si mantiene abbastanza costante.

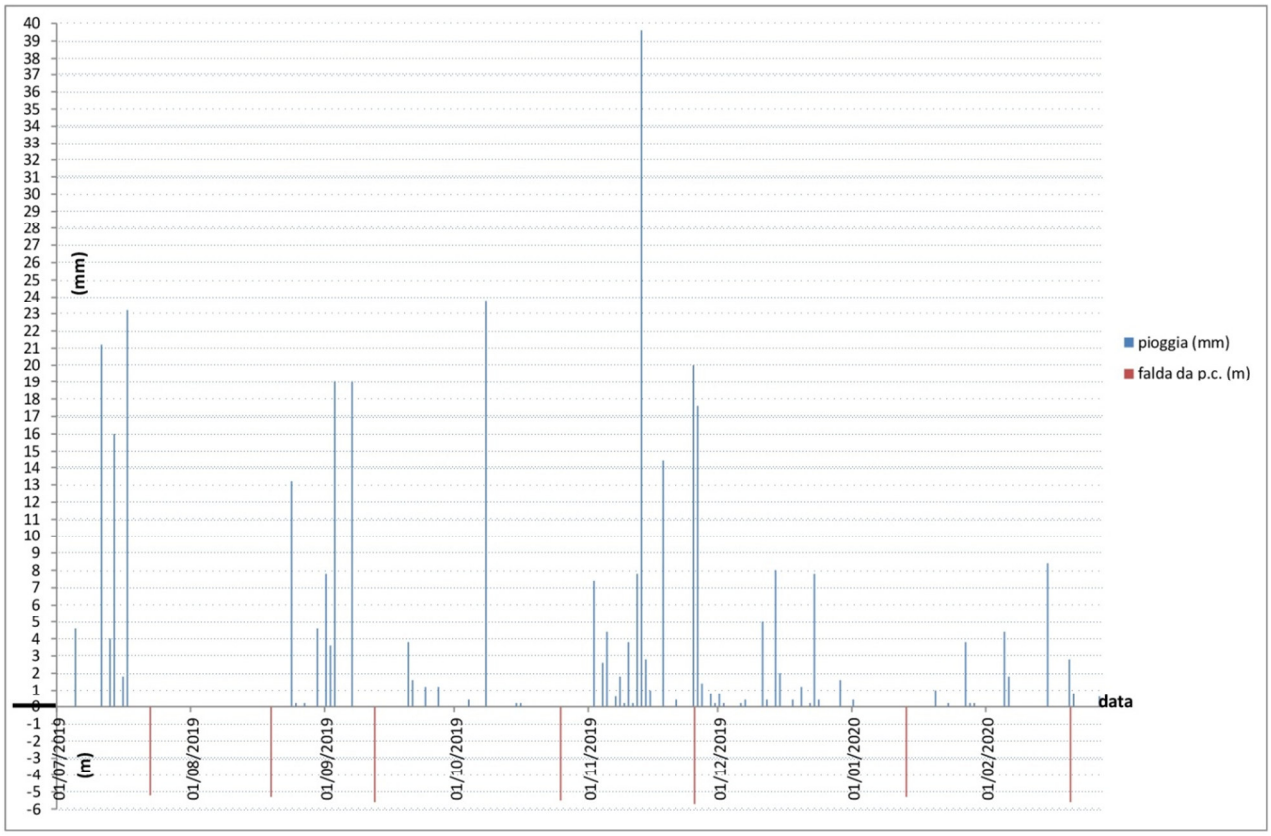


Fig. 7.1: Relazione tra piogge e profondità della falda

8. Indagini pregresse consultate

Al fine di definire con maggior dettaglio le condizioni litostratigrafiche e ottimizzare la programmazione delle nuove indagini, allo scopo di acquisire i parametri geotecnici e sismici, sono stati analizzati i risultati delle indagini eseguite in siti molto prossimi, nell'ambito di studi precedenti.

Gli studi geologici consultati sono i seguenti:

- Marchese G., Ianniello G. & Leopre R. (1986) – Piano Regolatore Generale/Piano di Recupero;
- Lioi M. – Progetto per la realizzazione della nuova scuola materna comunale;
- Vitale G. – R.U. Oppido Lucano;
- Colonne stratigrafiche riportate nello studio geologico del R.U., riferite a:

- Lioi M. (2003) – Piano di lottizzazione convenzionata dell'area B1 del P.R.G.
- Nardone R. & Lotito G. (2004) – Piano particolareggiato del comparto B2 del P.R.G. del Comune di Oppido Lucano.

I dati acquisiti, la cui ubicazione è riportata nella figura 8.1, consistono in:

- n.7 perforazioni a carotaggio continuo;
- n.1 saggio geognostico (scavo);
- n. 16 prove Standard Penetration Test (S.P.T.);
- prove di laboratorio su campioni indisturbati;
- n.1 tomografia multielettrodo con metodologia Wenner;
- n. 2 sismiche a rifrazione;
- n. 2 profili MASW (Multichannel Analysis Surface Wave) a 24 canali.

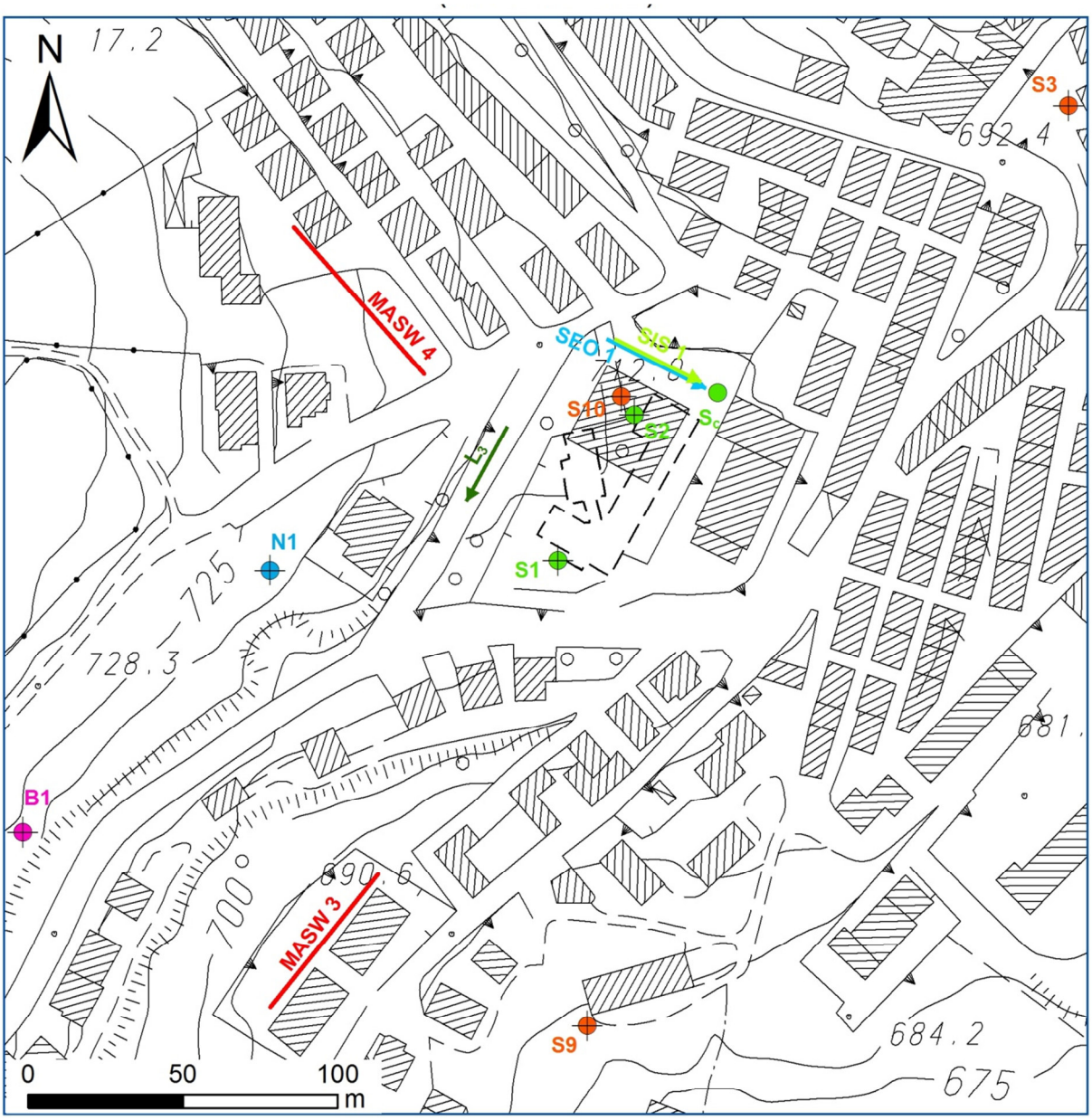
I dati risultanti dalle indagini acquisite sono stati analizzati in modo critico, tenendo opportunamente conto delle caratteristiche e delle finalità per le quali sono state eseguite. Tali indagini sono risultate utili per la definizione di un modello geologico e geotecnico preliminare, che ha fornito utili informazioni per pianificare la nuova campagna geognostica.

8.1 Indagini geomeccaniche pregresse

Sondaggi a carotaggio continuo

Dei sondaggi geognostici reperiti, alcuni sono stati eseguiti nell'area di stretto interesse o nelle immediate adiacenze; altri sono più distanti, ma si riferiscono a siti compresi entro un raggio di circa 180 metri. Tutti i sondaggi hanno interessato le medesime litologie affioranti nell'area di studio, corrispondente all'alternanza di silt argillosi, arenarie e calcari della Formazione di Serra Palazzo.

Le perforazioni, a carotaggio continuo sono state spinte a profondità variabili tra i 15 e i 30 metri dal piano campagna.



Legenda

Indagine con indicazione dello studio geologico di provenienza

- Sondaggio geognostico - P.R.G./Piano di Recupero
- Sondaggio geognostico - Scuola materna comunale
- Sondaggio geognostico - Piano lottizzazione area B1
- Sondaggio geognostico - Piano particolareggiato comparto B2
- Saggio geognostico (scavo) - Scuola materna comunale
- Tomografia elettrica - Scuola materna comunale
- Sismica a rifrazione - Scuola materna comunale
- Sismica a rifrazione - P.R.G./Piano di Recupero
- MASW - R.U. Oppido Lucano
- Sito in esame

Fig. 8.1: Ubicazione delle indagini pregresse consultate.

Nell'area di interesse, i sondaggi indicano la presenza ci circa 1-1,5 m di spessore di materiale di copertura, composto sia dalla coltre eluviale che da materiale di riporto; tale spessore tende ad accrescersi verso il muro di contenimentosul lato nord-est, raggiungendo uno spessore di qualche metro, come testimoniato dallo scavo esplorativo (S_c) nel quale è stato osservato uno spessore di 3,70 m di terreno di riporto.

Il substrato, coerentemente con quando già descritto nel par. 4.1, risulta costituito da un'alternanza di arenarie e sabbie, sabbie limose, limi argillosi, argille e livelli microconglomeratici.

8.2 Indagini geofisiche pregresse

Tomografia di resistività elettrica

L'unica indagine geoelettrica reperita in prossimità del sito in esame è stata eseguita nell'ambito del "Progetto per la realizzazione della nuova scuola materna comunale". L'allineamento di tomografia elettrica è stato eseguito per una lunghezza complessiva di 46 metri, su un tratto di terreno completamente pianeggiante. I dati sono stati acquisiti utilizzando la metodologia Wenner.

La tomografia (Fig. 8.2) mostra in prevalenza zone a resistività bassa (da 9 a 40 Ohm*m) alternate in modo alquanto complesso a zone a resistività medio-alta (da 150 a 500 Ohm*m). Le zone a bassa resistività possono essere correlate a litotipi limo-argillosi con un grado di saturazione elevato.

Indagini sismiche

Allineata alla indagine elettrica precedentemente descritta, è stato eseguito uno stendimento di sismica a rifrazione (SIS 1 in Fig. 8.1).

L'indagine sismica ha permesso di definire un primo sismostrato che presenta velocità medie delle onde longitudinali variabili da 790 a 940 m/s; al di sotto è rilevabile il rifrattore, ad una profondità variabile da 6 ad 8 metri dal piano campagna, con velocità di 1940 m/s.

L'indagine sismica eseguita per il Piano di Recupero evidenzia due sismostrati, con superficie di separazione posta a circa 4 metri di profondità, con velocità

delle onde trasversali di 340 m/s per cui il primo, e 1224 m/s per il secondo. Gli altri moduli elastici relativi alla prova sono riassunti nella tabella II.

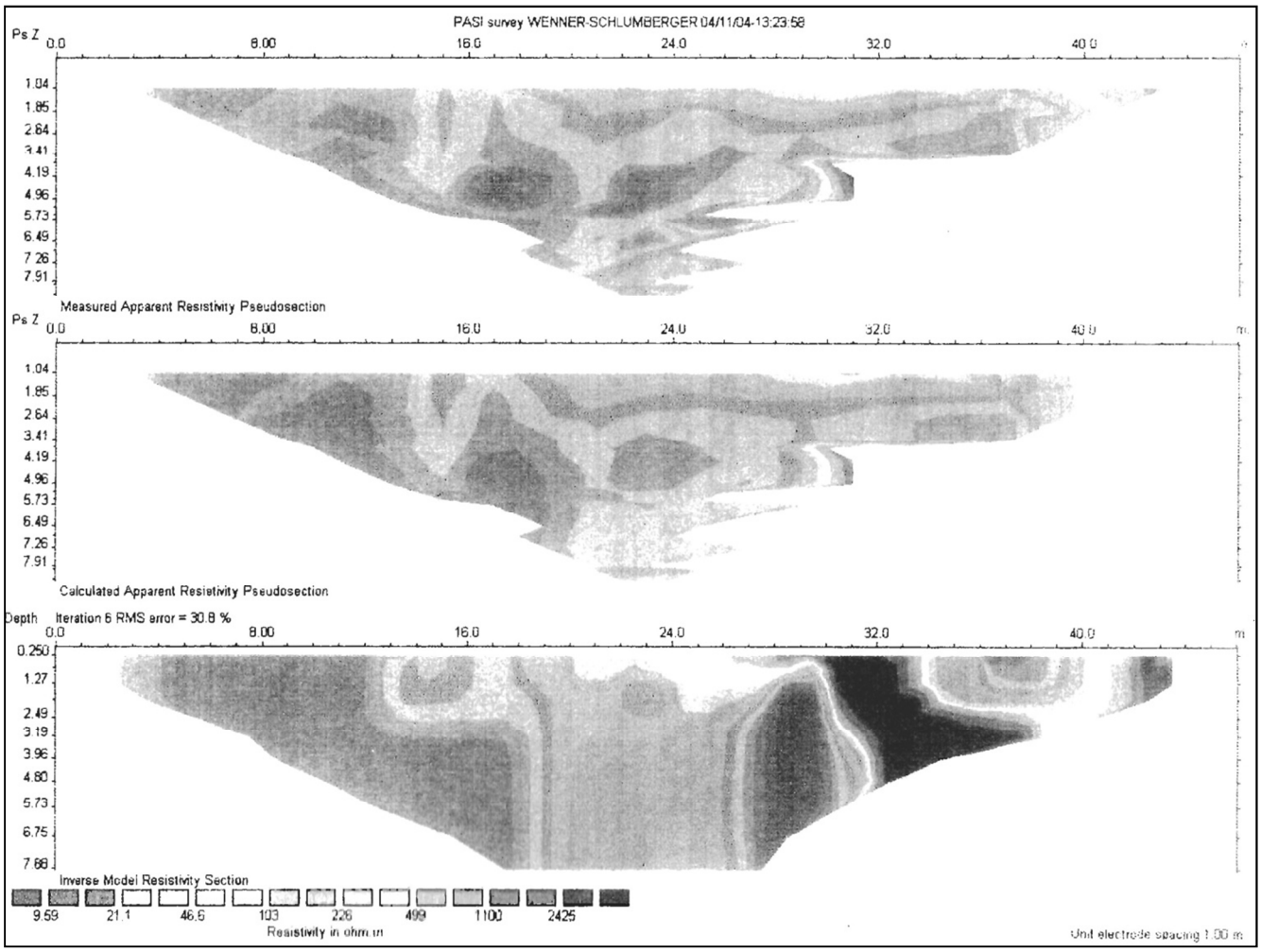


Figura 8.2: Sezione tomografica realizzata con dispositivo elettrodico Wenner (SEO 1 in Fig 8.1).

	STRATO N° 1	STRATO N° 2
velocità onde longitudinali	0.347 Km/s	1.224 Km/s
velocità onde trasversali	141 m/s	616 m/s
coeff. di Poisson	0.4	0.33
densità	1.8 g/cmc	1.95 g/cmc
modulo di Young	990 Kg/cmq	19372 Kg/cmq
modulo di Bulk	1651 Kg/cmq	18992 Kg/cmq
modulo di rigidità	353 Kg/cmq	7282 Kg/cmq

Tab.II: Moduli elastici ricavati dalla linea sismica L_3 del PRG/Piano di Recupero.

Sono, inoltre, stati presi in considerazione due dei profili MASW eseguiti nell'ambito dell'indagine geofisica di superficie di supporto allo studio geologico per il "Regolamento Urbanistico". La profondità di investigazione raggiunta è valutabile in circa 30 m. I profili MASW sono stati finalizzati alla stima del parametro Vs30, utilizzabile come parametro di riferimento per la classificazione dei terreni; per le due prove (MASW 3 e 4) sono stati valutati valori di Vs pari rispettivamente a 395 e 505 m/s (Fig. 8.3).

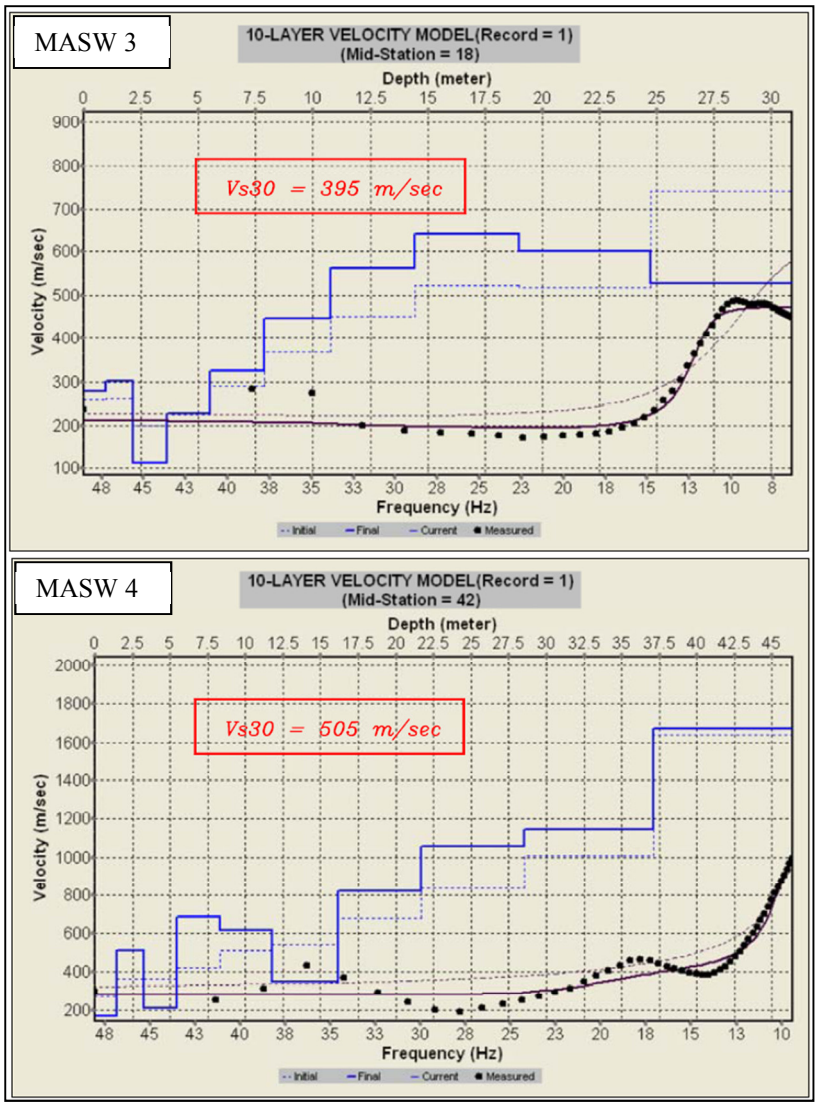


Figura 8.3: Curve di dispersione e istogramma di velocità dei profili MASW 3 e MASW4.

9. Indagini eseguite

Per la caratterizzazione di tutti gli elementi utili all'esatta interpretazione dei requisiti ***stratigrafico-strutturali*** e ***geologico-tecnici*** di sito e al fine di acquisire maggiori informazioni relativamente al riconoscimento delle condizioni litostratigrafiche utili per la ricostruzione delle sezioni geologiche, si è proceduto, oltre che ad un rilevamento geologico di dettaglio, anche ad una campagna di indagini che ha consentito di incrociare i dati per ottenere una elevata risoluzione di investigazione ed un dettagliato quadro del territorio analizzato.

La programmazione delle indagini in sito ed in laboratorio è stata fatta congiuntamente con il progettista delle strutture, in funzione delle caratteristiche generali del progetto e dell'inquadramento geologico generale.

Sul sito, sono state programmate e realizzate le seguenti indagini geomeccaniche e geofisiche, la cui ubicazione è riportata nell'Elaborato 5:

- **n.2** perforazioni a carotaggio continuo, con prelievo di n.5 campioni indisturbati; i fori dei sondaggi S1 e S2 sono stati opportunamente attrezzati per poter eseguire rispettivamente la misure di sismica in foro e il monitoraggio della falda;
- **n.1** misure down-hole;
- **n.2** prove Standard Penetration Test (S.P.T.);
- **n.5** registrazioni di rumore ambientale (sismica passiva a stazione singola per l'analisi H/V), in punti ritenuti significativi ed esplicativi della litologia del luogo;
- **n.3** stendimenti multicanale di sismica attiva, acquisite e processate con tecnica MASW (antenna sismica a 25 canali) per l'analisi relativa alla propagazione delle onde superficiali nel sottosuolo;
- **n.3** stendimenti multicanale di sismica a rifrazione.

I cinque campioni indisturbati, prelevati nel corso dei sondaggi, sono stati sottoposti a prove di laboratorio realizzate dal laboratorio GEOTest s.a.s. con

sede a Melfi, per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei terreni.

L'ubicazione esatta delle indagini è riportata nella "Planimetria con ubicazione delle indagini", allegata alla presente relazione.

Di seguito sono state riportate le interpretazioni di tutte le indagini condotte sul sito, mentre per i dettagli dei dati sperimentali e le basi teoriche delle tecniche di investigazione utilizzate, si vedano gli allegati relativi alle singole indagini geognostiche, che raccolgono: le stratigrafie e il report fotografico dei sondaggi, i certificati delle prove di laboratorio, le relazioni redatte dalle ditte esecutrici delle indagini in sito.

9.1 Interpretazione indagini geomeccaniche

Sondaggi a carotaggio continuo

I sondaggi sono stati realizzati dalla ditta Trivellazioni Cupo S.r.l. con sede a Palomonte (SA).

Le perforazioni, a carotaggio continuo, sono state eseguite con un carotiere semplice di 101 mm di diametro. Durante l'esecuzione della perforazione, in relazione allo stato dei terreni esistenti, sono stati prelevati n.5 campioni indisturbati, sottoposti successivamente ad analisi e prove geotecniche di laboratorio; sono inoltre state effettuate n.2 prove S.P.T..

Gli intervalli litostratigrafici riconosciuti in ogni sondaggio sono riportati nelle allegate stratigrafie (Elab. 6), con il relativo corredo fotografico.

Nel corso dell'esecuzione dei sondaggi e durante la fase di rilevamento geologico di campagna, ai fini di una corretta descrizione e interpretazione delle litologie incontrate, sono state effettuate analisi qualitative visive, quanto più oggettive, delle litologie stesse, del loro stato di aggregazione, tessitura e riconoscimento di strutture sedimentarie. A tal fine sono stati utilizzati gli strumenti classici di rilevamento geologico (martello da geologo, bussola inclinometrica, macchina fotografica e acido cloridrico).

Si è rilevata una buona conformità delle litologie osservate in tutti e due i sondaggi.

9.2 Interpretazione indagini sismiche

In sito sono state eseguite misure sismiche utilizzando tecniche di registrazione sia passive che attive.

In particolare si è proceduto all'analisi congiunta di inversione di H/V e metodi di *array* sismico, mediante acquisizioni di:

- **n.5** registrazioni di rumore ambientale (sismica passiva a stazione singola per l'analisi H/V), in punti ritenuti significativi ed esplicativi della litologia del luogo;
- **n.3** stendimenti multicanale di sismica attiva con tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) utilizzando geofoni per la registrazione delle onde di taglio e di compressione (Vs e Vp).
- **n.3** stendimenti di sismica rifrazione
- **n.1** profilo sismico a rifrazione in foro, down-hole.

Le prospezioni sismiche a rifrazione sono state eseguite lungo gli stessi allineamenti delle prove MASW, al centro dei quali è stata effettuata anche una misura HVSR. Ciò ha permesso di ottenere dati sismostratigrafici maggiormente vincolati e robusti, poiché il profilo di V_s è stato ricavato attraverso un'inversione congiunta dei dati sismici dalle tre diverse tecniche utilizzate.

Il modello sismostratigrafico e le relative velocità delle onde P ed S derivanti dall'interpretazione congiunta delle indagini sismiche eseguite hanno consentito di risalire alle caratteristiche di velocità delle onde sismiche e ai relativi parametri elastici per piccole deformazioni. Nella seguente tabella (TAB. III) sono riportati i moduli elastici dinamici differenziati per il sito di edificazione della chiesa (sito più a valle – LOTTO1) ottenuto dall'inversione congiunta di M1/M2 – R1/R2 – HVSR1/HVSR2, e per quello della canonica (sito più a monte – LOTTO2) ottenuto dall'inversione congiunta di M3 – R3 – HVSR3.

SITO CHIESA

	Vp m/s	Vs m/s	ν	E Mpa	G Mpa	K Mpa	R
sismostrato 1 (Spessore: 0,5-1,5 m circa)	600	190	0,44	198	68	592	3610
sismostrato 2 (Spessore: 5-7 m circa)	900	290	0,44	460	159	1325	5510
sismostrato 3 –	1600	490	0,45	1321	456	4255	9310

SITO CANONICA

	Vp m/s	Vs m/s	ν	E Mpa	G Mpa	K Mpa	R
sismostrato 1 (Spessore: 2,5 m circa)	600	190	0,44	198	68	592	3610
sismostrato 2 (Spessore: 3-4 m circa)	950	290	0,45	462	159	1501	5510
sismostrato 3 –	1600	490	0,45	1321	456	4255	9310

TAB III: Moduli elastici dinamici relativi al sito in esame. Legenda: Vp (velocità onde sismiche p); Vs (velocità onde sismiche S); □ (modulo di Poisson); E (modulo di Young dinamico); G (modulo di taglio a piccole deformazioni); K (modulo di incompressibilità o di Bulk); R (rigidità sismica, espressa in (m/sec)* (Kn/mc)) Per il calcolo dei moduli E, G e K è stata utilizzata una densità media del terreno compresa tra 1,80 e 1,90 kg/cm^3; i valori risultanti per questi moduli sono stati approssimati alla cifra intera.

Il modello di Vs nei primi 30 m di sottosuolo ci dà informazioni riguardanti gli spessori e le velocità dei singoli sismostrati, per definire l'azione sismica di progetto e la categoria del terreno di fondazione del sito oggetto di studio.

Le velocità medie delle onde di taglio dei primi trenta metri di sottosuolo tenendo conto degli spessori degli strati e della profondità di posa della fondazione, calcolata con la tecnica MASW, risultano Vseq = 463 m/s, 469 m/s e 472 m/s, calcolate rispettivamente da MASW1, MASW2 e MASW3, e, 362 m/s dai risultati delle down-hole 417m/s, dati che ci permettono di classificare il sito in **categoria di sottosuolo di tipo B**, in accordo con la tabella 3.2II delle NTC 2018.

9.3 Parametri fisici e meccanici ricavati dalle prove di laboratorio

Dei 5 campioni indisturbati prelevati, 4 sono stati prelevati con fustella inox a tubo aperto e 1 con campionatore a doppia parete (Mazier). Per il campionamento del terreno é stata utilizzata una fustella di lunghezza pari a 50 cm; anche se non è stato campionato l'intero intervallo, i campioni prelevati si sono presentati in buone condizioni.

Le analisi di laboratorio, eseguite dal laboratorio geotecnico "GeoTest s.a.s." con sede a Melfi, sono state le seguenti:

a) Determinazione delle proprietà fisiche;
b) Analisi granulometrica per setacciatura;
c) Determinazione Limiti di Consistenza (Diagramma di Plasticità di Casagrande);
d) Prova Edometrica;
e) Prova di Taglio Diretto (TD);
f) Prova ad espansione laterale libera (E.L.L);
g) Prova di colonna risonante;
h) Point load test.

Di seguito si riportano alcune tabelle sintetiche relative ai dati geotecnici ottenuti dalle prove di laboratorio, mentre, in allegato la certificazione completa rilasciata dal laboratorio geotecnico e gli elaborati relativi alle stratigrafie dei sondaggi.

a) Quadro riassuntivo prove geotecniche di laboratorio

N° d'ordine	Rif. interno	Sondaggio	Campione	Classe campione (AGI)	Profondità		γ_n	W_n	γ_s	LL	LP	I.P.	I.C.	Sr	Granulometria				Prova Edometrica						Taglio Diretto		ELL
															G	S	L	A	Pc	O.C.R.	Moduli Edometrici (kPa)				c'	ϕ'	c_u
		(n.)	(n.)		da metri	a metri	(kN/m³)	(%)		(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(kPa)		49,0 - 98,1	98,1 - 196,1	196,1 - 392,3	392,3 - 784,5	(kPa)	(°)	(kPa)
1	396-19	S1	C1	Q5	5,00	5,25	19,3	13,2	2,67	32,6	19,3	13,3	1,46	66	0,0	30,5	45,5	24,0	119	1,2	3253	5330	9876	17333	14,5	29,8	114
2	397-19	S1	C2	Q5	12,10	12,50	19,4	15,3	2,67	35,9	21,1	14,8	1,39	74	0,0	20,7	39,2	40,1	316	1,3	4740	4322	7021	11526	37,0	27,4	245
3	094R-19	S1	C3	--	13,50	13,60	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	2,35 Mpa
4	398-19	S2	C1	Q5	4,50	4,75	19,1	20,1	2,68	49,1	24,1	25,0	1,16	83	0,0	14,3	34,6	51,1	369	4,1	•	5872	7722	12674	28,5	24,0	201
5	399-19	S2	C2 *	Q5	4,80	5,05	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
6	400-19	S2	C3	Q5	11,50	11,80	20,3	9,1	2,66	27,3	18,1	9,2	1,98	60	0,0	58,2	32,3	9,5	335	1,4	6462	10111	18410	33217	48,2	25,0	•

γ_n = Densità naturale – Wn = Umidità naturale - γ_s = Peso specifico – LL = Limite Liquido – LP = Limite Plastico – IP = Indice di Plasticità - I.C. = Indice di Consistenza - Sr = Grado di saturazione - G = Ghiaia – S = Sabbia – L = Limo – A = Argilla – Pc = Pressione di Preconsolidazione - O.C.R. = Over Consolidation Ratio - C', ϕ' = Coesione e angolo di resistenza al taglio (tensioni efficaci da Taglio Diretto) - C_u = Coesione non drenata (da Espansione Laterale Libera)

irmato digitalmente da

IL DIRETTORE DEL LABORATORIO

Campione di roccia (Resistenza a compressione ricavata da Point Load Test e abachi empirici)

* Colonna Risonante

b) Analisi statistica dei principali parametri geotecnici

PARAMETRI FISICI

N° d'ordine	Rif. interno	Sondaggio	Campione	Profondità		γ_n (kN/m³)	Wn (%)	γ_s	LL (%)	LP (%)	I.P. (%)	I.C.	Sr (%)	Analisi Granulometrica G	S	L	A
1	396-19	S1	C1	5,00	5,25	19,3	13,2	2,67	32,6	19,3	13,3	1,46	66	0,0	30,5	45,5	24,0
2	397-19	S1	C2	12,10	12,50	19,4	15,3	2,67	35,9	21,1	14,8	1,39	74	0,0	20,7	39,2	40,1
3	094R-19	S1	C3	13,50	13,60	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
4	398-19	S2	C1	4,50	4,75	19,1	20,1	2,68	49,1	24,1	25,0	1,16	83	0,0	14,3	34,6	51,1
5	399-19	S2	C2*	4,80	5,05	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
6	400-19	S2	C3	11,50	11,80	20,3	9,1	2,66	27,3	18,1	9,2	1,98	60	0,0	58,2	32,3	9,5
					VALORE MASSIMO	20,3	20,1	2,68	49,1	24,1	25,0	2,0	83,2	0,0	58,2	45,5	51,1
					VALORE MINIMO	19,1	9,1	2,66	27,3	18,1	9,2	1,2	60,1	0,0	14,3	32,3	9,5
					MEDIA	19,5	14,4	2,67	36,2	20,7	15,6	1,5	70,9	0,0	30,9	37,9	31,2
					MEDIANA	19,4	14,3	2,67	34,3	20,2	14,1	1,4	70,1	0,0	25,6	36,9	32,1
					DEVIAZIONE STANDARD	0,5	4,6	0,01	9,3	2,6	6,7	0,3	10,0	0,0	19,4	5,8	18,2
					COEFFICIENTE DI VARIAZIONE %	2,7	31,7	0,3	25,6	12,6	43,1	23,1	14,1	0,0	62,6	15,4	58,5

PARAMETRI GEOMECCANICI

N° d'ordine	Rif. interno	Sondaggio	Campione	Profondità		C' (kPa)	ϕ' (°)	tgϕ'	C_u (kPa)
1	396-19	S1	C1	5,00	5,25	14,5	29,8	0,57	114
2	397-19	S1	C2	12,10	12,50	37,0	27,4	0,52	245
3	094R-19	S1	C3	13,50	13,60	●	●	●	●
4	398-19	S2	C1	4,50	4,75	28,5	24,0	0,45	201
5	399-19	S2	C2*	4,80	5,05	●	●	●	●
6	400-19	S2	C3	11,50	11,80	48,2	25,0	0,47	●
					VALORE MASSIMO	48,2	29,8	0,6	245,0
					VALORE MINIMO	14,5	24,0	0,4	114,0
					MEDIA	32,1	26,6	0,5	186,7
					MEDIANA	32,8	26,2	0,5	201,0
					DEVIAZIONE STANDARD	14,2	2,6	0,1	66,7
					COEFFICIENTE DI VARIAZIONE %	44,3	9,8	11,4	35,7

γ_n = Densità naturale – Wn = Umidità naturale - γ_s = Peso specifico – LL = Limite Liquido – LP = Limite Plastico – IP = Indice di Plasticità - I.C. = Indice di Consistenza - Sr = Grado di saturazione - G = Ghiaia – S = Sabbia – L = Limo – A = Argilla – C', ϕ' = Coesione e angolo di resistenza al taglio (tensioni efficaci da Taglio Diretto) - C_u = Coesione non drenata (da Espansione Laterale Libera)

10. Caratterizzazione geo-meccanica dei terreni

Il modello geologico dell'area può essere rappresentato attraverso un modello a tre strati:

1. depositi di origine antropica e coperture eluvio-colluviali
2. substrato geologico alterato
3. substrato geologico

Questa suddivisione si evince dalle stratigrafie dei sondaggi effettuati e trova riscontro nei dati ricavati dalle indagini sismiche.

Infatti la suddivisione effettuata in seguito all'analisi del materiale estratto nel corso delle terebrazioni ha una buona corrispondenza con gli intervalli a differente velocità sismica.

Il substrato geologico, rappresentato dalla Formazione di Serra Palazzo, è costituito da un'alternanza di diverse litologie, costituite da sabbie e sabbie limose addensate, limi sabbiosi, argille limose, arenarie, frequentemente con cemento con forte componente carbonatica, che si alternano in livelli di spessore variabile da qualche centimetro a varie decine di centimetri. Queste caratteristiche rendono improponibile effettuare una differenziazione in base alle caratteristiche litologiche. Si osserva una variazione delle caratteristiche dei terreni in base al diverso grado di alterazione. Dal punto di vista dell'assetto giaciturale, dai rilievi geologici effettuati nell'intorno del sito, si osserva una forte variabilità, in alcuni casi anche con brusche variazioni giaciturali.

La differenziazione in base non a variazioni litologiche, ma al fatto che il substrato sia più o meno alterato, rende il modello geologico, predisposto nello specifico per l'area di edificazione della chiesa (LOTTO 1), rappresentativo anche di altre aree che mostrano caratteristiche generali simili, seppure potrebbero esserci variazioni nello spessore dello strato più superficiale ed eventualmente l'assenza del materiale di origine antropica.

Dalle osservazioni di superficie e dai dati dell'indagine sismica condotti nell'area di edificazione della casa canonica (LOTTO 2), si ritiene che il modello

geologico precedentemente descritto possa considerarsi rappresentativo anche di questa zona.

Per le aree dei due diversi lotti, interessate rispettivamente dall'edificazione della chiesa/uffici parrocchiali e della casa canonica, si possono definire due distinti modelli, simili tra loro, ma con variazioni relativamente agli spessori:

N° strato	Descrizione	Profondità della base rispetto al p.c.	Vp m/s	Vs m/s	ν	E Mpa	G Mpa	K Mpa	R
Strato 1	Depositi di origine antropica e coperture eluvio-colluviali	1,50-2,00	600	190	0,44	198	68	592	3610
Strato 2	Substrato alterato	7,50-9,00	900	290	0,44	460	159	1325	5510
Strato 3	Substrato		1600	490	0,45	1321	456	4255	9310

Tab. IV: Livelli rappresentativi del modello geologico- **area chiesa e uffici parrocchiali (piazzale)**. Legenda dei moduli elastici dinamici: Vp (velocità onde sismiche p); Vs (velocità onde sismiche S); □ (modulo di Poisson); E (modulo di Young dinamico); G (modulo di taglio a piccole deformazioni); K (modulo di incompressibilità o di Bulk); R (rigidità sismica, espressa in (m/sec)* (Kn/mc)) Per il calcolo dei moduli E, G e K è stata utilizzata una densità media del terreno compresa tra 1,80 e 1,90 kg/cm^3; i valori risultanti per questi moduli sono stati approssimati alla cifra intera.

N° strato	Descrizione	Profondità della base rispetto al p.c.	Vp m/s	Vs m/s	ν	E Mpa	G Mpa	K Mpa	R
Strato 1	Depositi di origine antropica e coperture eluvio-colluviali	2,00-2,50	600	190	0,44	198	68	592	3610
Strato 2	Substrato alterato	5,50-8,50	950	290	0,45	462	159	1501	5510
Strato 3	Substrato		1600	490	0,45	1321	456	4255	9310

Tab. V: Livelli rappresentativi del modello geologico – **area casa canonica (ex asilo-nido)**. Legenda dei moduli elastici dinamici: Vp (velocità onde sismiche p); Vs (velocità onde sismiche S); □ (modulo di Poisson); E (modulo di Young dinamico); G (modulo di taglio a piccole deformazioni); K (modulo di incompressibilità o di Bulk); R (rigidità sismica, espressa in (m/sec)* (Kn/mc)) Per il calcolo dei moduli E, G e K è stata utilizzata una densità media del terreno compresa tra 1,80 e 1,90 kg/cm^3; i valori risultanti per questi moduli sono stati approssimati alla cifra intera.

Per le informazioni relative ai parametri geotecnici ricavati dai campioni prelevati nei sondaggi, può essere effettuata la seguente attribuzione degli stessi ai livelli del modello:

N° strato	Campioni rappresentativi prelevati nei sondaggi S1 e S2
Strato 1	
Strato 2	S1C1 / S2C1 / S2C2
Strato 3	S1C2 / S1C3

Relativamente ai principali parametri geotecnici, considerando come rappresentativi di ciascuno strato i valori medi dei campioni, si ottiene la seguente caratterizzazione dei terreni:

	Parametri fisici		Parametri geomeccanici			
N° strato	γ_n (kN/m^3)	γ_s	C' (kPa)	Φ' (°)	tg Φ'	Cu (kPa)
Strato 1 *	18		0	22	0,40	
Strato 2	19,2	2,67	21,5	26,9	0,51	157
Strato 3	19,8	2,66	42,6	26,2	0,49	245

Tab. VI: Principali parametri geotecnici riferiti al modello litotecnico definito per l'area di studio. γ_n = densità naturale, γ_s = Peso specifico, C' = coesione, Φ' = angolo di resistenza al taglio, Cu = coesione non drenata per lo strato 1 i valori si riferiscono a dati di letteratura

11. Vincoli e pericolosità

L'area oggetto di studio ricade nel territorio compreso nel Piano di Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico redatto dall'Autorità di Bacino della Basilicata.

Per quanto attiene all'interazione dell'opera con gli strumenti di tutela e di pianificazione regionale, in merito al vigente "Piano stralcio per la difesa dal rischio idrogeologico", Tavola 470042 (aggiornamento 2014) il sito non ricade in nessuna delle aree a rischio idrogeologico perimetrale nell'ambito del P.A.I. (Elaborato n°8). In allegato si riporta la tavola delle aree soggette a rischio idrogeologico in scala 1:10.000, con indicazione dell'area di progetto, redatta dall'Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata.

11.1 Suscettibilità alla liquefazione dei terreni

Con il termine "liquefazione" si indicano vari fenomeni fisici (liquefazione in campo libero, mobilità ciclica, fluidificazione), osservati nei depositi e nei pendii sabbiosi saturi durante forti eventi sismici (Mw ≥ 5), che hanno come elemento comune, per effetto dell'instaurarsi di condizioni non drenate, un incremento e un accumulo delle pressioni interstiziali che può provocare una drastica caduta della

resistenza al taglio e quindi una perdita di capacità portante del terreno.

Secondo le NTC2018, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata (N1)60 > 30 oppure qc1N > 180 dove (N1)60 è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc1N è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Fig. 11.1(a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 e in Fig. 11.1(b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5.

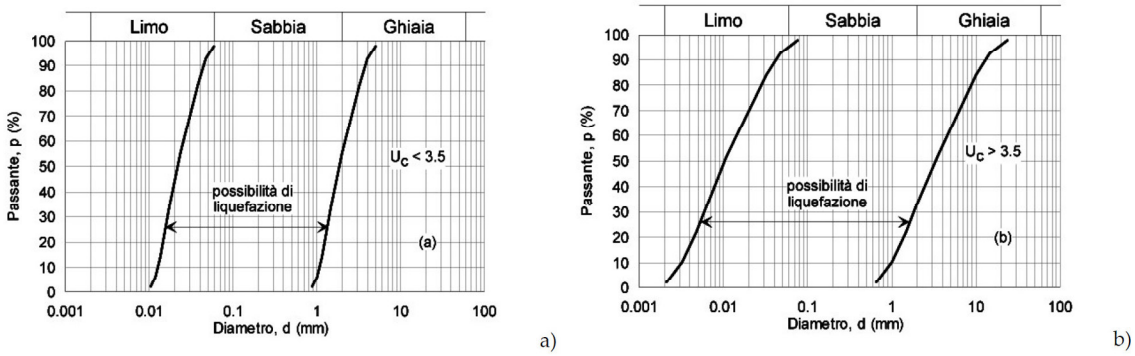


Figura 11.1 – Fasce granulometriche per la valutazione preliminare della suscettibilità alla liquefazione di un terreno, per i terreni a granulometria uniforme (a) ed estesa (b) (riportato in NTC 2018, fig 7.11.1).

Nel sito in esame le condizioni 1 e 2 non si manifestano; la condizione 3, considerando che le prove SPT eseguite hanno fornito valore a rifiuto, può assumersi verificata. Per l'analisi della condizione 4 sono state confrontate le curve granulometriche dei campioni analizzati con il diagramma di riferimento della normativa per U_C>3.5 (Fig 11.2) e risulta che nessuna di esse è completamente contenuta all'interno della zona con possibilità di liquefazione. Poiché il campione S2C3 presenta una distribuzione granulometrica esterna ai limiti di riferimento solo per una porzione molto piccola, per confermare che questo non può riferirsi ad un terreno suscettibile a liquefazione si può considerare anche che esso, nello stesso certificato di laboratorio, viene descritto come "sabbia con limo debolmente argillosa **estremamente compatta**".

Si rileva anche che, dai sondaggi geognostici effettuati, non risulta che il terreno di fondazione comprenda strati estesi o lenti spesse di sabbie sciolte sotto falda, ma i terreni si presentano **compatti e cementati**. Inoltre i depositi si presentano tutti sovraconsolidati.

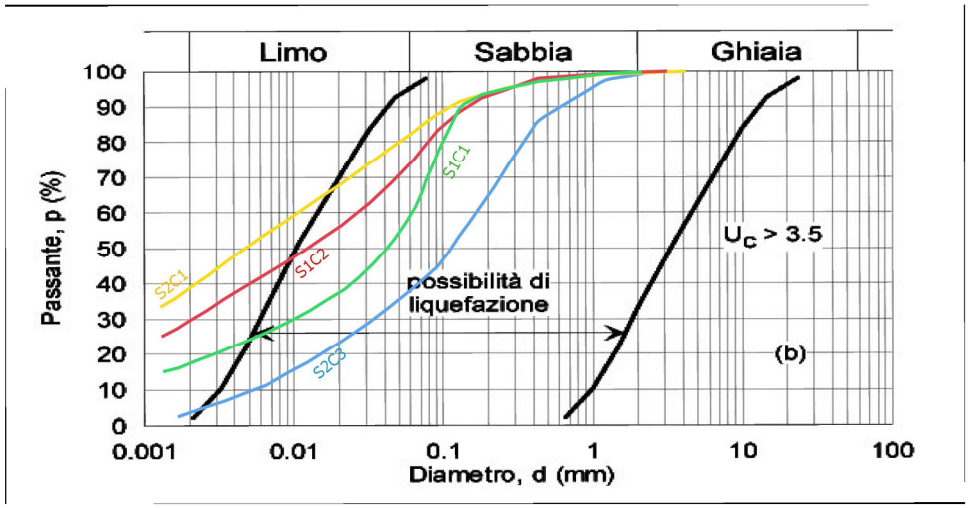


Figura 11.2 – Confronto tra le curve granulometriche e l'area con possibilità di liquefazione ai sensi delle NTC2018.

Per ottenere ulteriori elementi di confronto, a scopo precauzionale, l'analisi può essere condotta anche utilizzando ulteriori metodologie comunemente utilizzate per la valutazione della liquefazione dei terreni, schematizzate nel seguente schema.

Metodo	Condizioni per la suscettibilità a liquefazione	
Criterio di Ishida (1969)	- diametro dei granuli al 50% - coefficiente di unuformità - densità relativamente - pressione verticale effettiva	00.074 mm < D_{50} < 2 mm U < 10 Dr < 75% σ'_v < 2 Kg/cmq
Criterio di Ohsaki (1969, 1970)	- Nspt - diametro dei granuli al 60% - coefficiente di uniformità - percentuale materiale fino (<2μ)	Nspt a quota z < 2z ("z" espresso in metri) 0.2 mm < D_{60} < 2 mm U < 5 < 10%
Criterio della normativa francese (1985)	a) terreni sabbiosi e limosi: - grado di saturazione - diametro dei granuli al 50% - coefficiente di uniformità b) terreni sabbiosi con frazione argillosa con le seguenti caratteristiche: - grado di saturazione - limite liquido - umidità naturale - punto rappresentativo sulla Carta di Plasticità di Casagrande al di sotto della *linea A*	 Sr = 100% 0.05 mm < D_{50} < 1.5 mm U < 15 Sr = 100% LL < 35% Wn > 0,9 LL
Criterio di Bray e Sancio (2006)	- valori di indice plastico e Wn/LL ricadenti nel campo di suscettibilità indicato in figura 11.3	

Anche considerando queste metodologie, l'analisi dei parametri riferibili al campione S2C3, attenzionato in quanto prossimo ad un valore limite rispetto al punto 4 del criterio NTC 2018, consentono di escludere la possibilità di liquefazione. Si fa in particolare riferimento al valori di Sr, Wn/LL, IP, Dr e Uc. Il valore di densità relativa è stato valutato in modo indiretto, utilizzando correlazioni con i risultati delle

prove SPT oppure con le stime di e_{min} e e_{max}; facendo riferimento ai diversi approcci, risultano sempre valori di Dr > 85%.

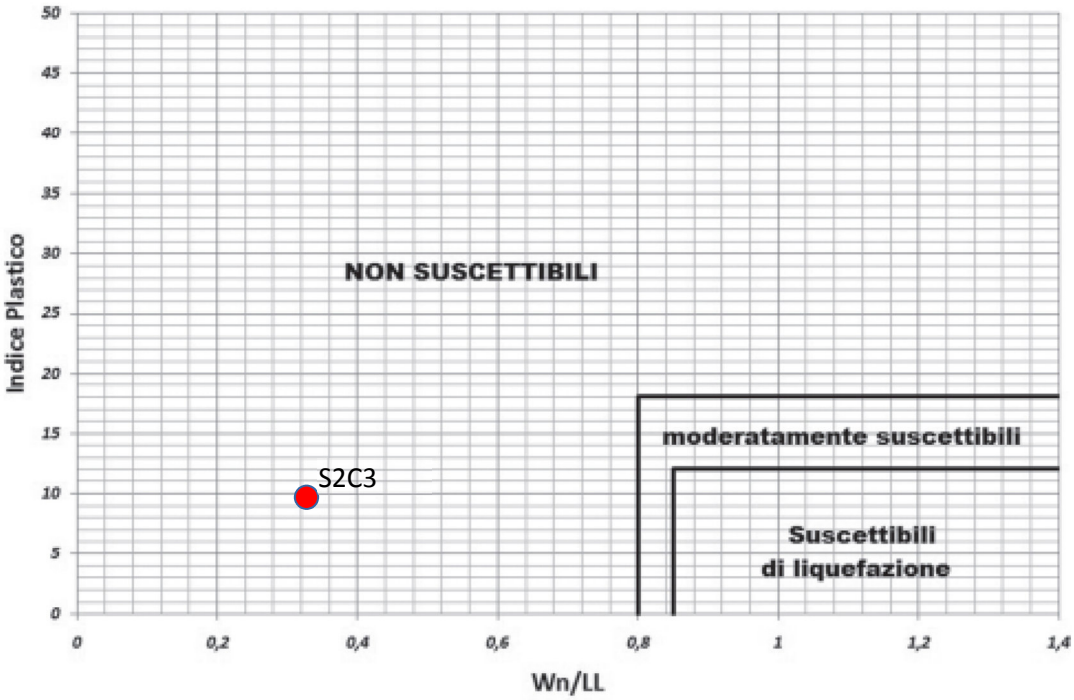


Figura 11.3 – Suscettibilità alla liquefazione secondo Bray e Sancio (2006).

Più in generale, utilizzando metodi qualitativi di tipo storico, geologico e geomorfologico non si evidenzia una suscettibilità alla liquefazione per il sito di interesse. Infatti nell'area di studio non si conoscono segnalazioni di liquefazioni in occasione di eventi sismici passati. Inoltre, usualmente la liquefazione delle sabbie si verifica in depositi recenti (età Olocenica o Pleistocenica) solitamente situati vicino a zone costiere o alluvionali. Nell'area di studio non sono presenti depositi di sabbie sciolte incoerenti, ma i terreni sabbioso-limosi risultano da consistenti a molto consistenti, con prove SPT che sono andate a rifiuto.

Età del deposito	Profondità della falda		
	< 9 m	9 ÷ 15 m	> 15 m
Olocene recente	Elevata	Bassa	Molto bassa
Alto Olocene	Moderata	Bassa	Molto bassa
Pleistocene recente	Bassa	Bassa	Molto bassa
Pleistocene antico e depositi anteriori	Molto bassa	Molto bassa	Molto bassa

Categoria	Morfologia	Liquefazione
A	Letti di fiume, antichi e recenti, paludi, terreni di bonifica, zone interdunari	Probabile
B	Conoidi, argini naturali, dune, pianure di esondazione, spiagge	Possibile
C	Terrazzi, colline, montagne	Improbabile

Figura 11.4 – Suscettibilità alla liquefazione secondo il criterio geologico e geomorfologico.

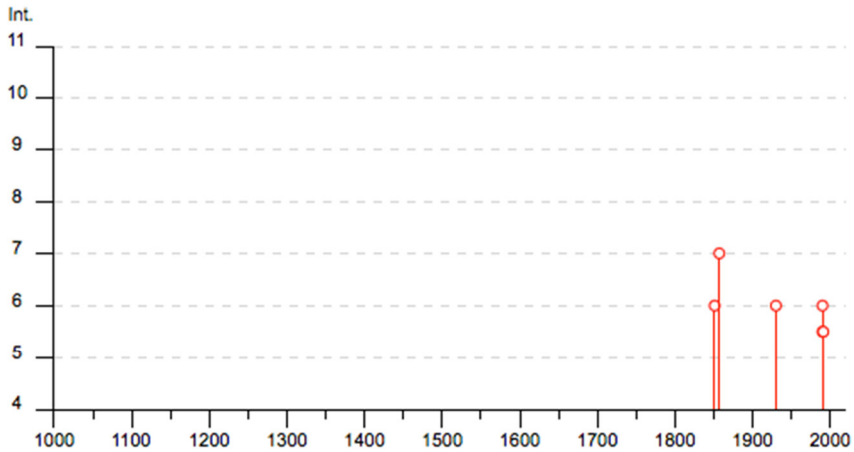
Alla luce di tutte le considerazioni riportate, si conclude che nel sito di studio non si rilevano condizioni tali da indurre fenomeni di liquefazione, pertanto non sono necessarie ulteriori verifiche a liquefazione.

12. Analisi sismica del sito: Risposta Sismica Locale

12.1 Sismicita' dell'area e quadro sismotettonico

Il territorio del Comune di Oppido Lucano si trova ai margini delle strutture tettoniche sismogenetiche dell'Appennino meridionale e ha risentito in passato, seppur debolmente, degli effetti prodotti dalle zone sismogenetiche del Promontorio del Gargano. Nel territorio di Oppido Lucano non sono mai ricaduti epicentri di terremoti di forte intensità. I terremoti che hanno interessato l'abitato di Oppido Lucano di provenienza appenninica o garganica sono indicati nella tabella seguente e nella figura 12.1.

Effetti	In occasione del terremoto del										
Int.	Anno	Me	Gi	Ho	Mi	Se	Area epicentrale	NMDP	Io	Mw
6	1851	08	14	13	20		Vulture	103	10	6.52
7	1857	12	16	21	15		Basilicata	340	11	7.12
6	1930	07	23	00	08		Irpinia	547	10	6.67
3	1953	02	25	00	07	4	Vibonese	56	5-6	4.88
2	1956	01	09	00	44		Materano	45	6	4.72
3	1957	05	03	03	29	3	Potentino	36	5	4.09
3	1978	09	24	08	07	4	Materano	121	6	4.75
NF	1983	02	02	08	14	1	Potentino	42	5	4.35
NF	1984	05	07	17	50		Monti della Meta	912	8	5.86
NF	1984	05	11	10	41	4	Monti della Meta	342	7	5.47
3	1987	01	28	05	33	2	Potentino	62	5	4.54
3	1989	05	29	11	19	1	Appennino lucano	77	5	4.34
6	1990	05	05	07	21	2	Potentino	1375		5.77
5-6	1990	08	28	19	02	5	Potentino	84		4.21
5-6	1991	05	26	12	25	5	Potentino	597	7	5.08
3-4	1996	04	03	13	04	3	Irpinia	557	6	4.90
3	1998	04	26	05	38	0	Potentino	67	4-5	3.76
NF	2002	04	18	20	56	4	Appennino lucano	164	5	4.34
3	2004	02	24	05	21	2	Appennino lucano	140	5	4.21
3-4	2006	05	29	02	20	0	Gargano	384		4.64



Is = intensità sismica (scala Mercalli, Cancani, Seaborg)
Io = massima intensità (epicentro); Mw = magnitudo (scala Richter)

Fig. 12.1 - Diagramma rappresentante la storia sismica del Comune di Oppido Lucano.

La definizione dell'azione sismica secondo le Norme Tecniche delle Costruzioni (NTC18; D.M. del 17 gennaio 2018) viene effettuata sulla base della Carta della Pericolosità sismica del territorio nazionale (Mappa di Pericolosità sismica di riferimento per il territorio nazionale dell'INGV, http://esse1-gis.mi.ingv.it), espressa in termini di accelerazione massima del suolo con probabilità di

eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi (Vs30>800 m/s; cat. A, punto 3.2.1 del D.M. 14.09.2005).

La mappa è stata elaborata dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia nel 2004 sulla base di uno studio della probabilità che si verifichi un terremoto con intensità pari ad una certa soglia in un determinato intervallo temporale (Stucchi et al., 2011).

Sulla Mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale dell'INGV, l'area di interesse si colloca nella classe 2D della ZONAZIONE SISMICA (L.R. 7 giugno 2011, n. 9, disposizione urgenti in materia di microzonazione sismica) con una accelerazione attesa (PGA) di 0.175 g ed una coppia magnitudo-distanza della sorgente sismogenetica di, rispettivamente, 5.2 e 5 km. Utilizzando invece la classe d'uso III dell'edificio di progetto e considerando tempi di ritorno di 712, 75 e 45 anni, riconducibili rispettivamente allo Stato Limite di Salvaguardia della Vita (SLV), di Danno (SLD) e di Operatività (SLO), i corrispondenti valori di accelerazione massima attesa al sito per ciascuno stato limite sono di 0.155 g, 0.067 g e 0.053 g.

Per quanto riguarda il potenziale sismogenetico e le caratteristiche sismotettoniche del margine esterno della catena appenninica, esistono scarse evidenze e pochi studi di carattere scientifico di faglie attive e di strutture tettoniche in grado di produrre terremoti di magnitudo rilevante. L'unico studio che ipotizza per l'area di studio la presenza di una struttura ad alto angolo e cinematica trascorrente destra (linea Baragiano-Palagianello) è il database delle sorgenti sismiche individuale (DISS, Basili et al., 2008) dell'INGV. Il catalogo ipotizza la presenza nell'area di tale faglia cieca con scarsa o assente espressione morfologica superficiale sulla base di una modesta sismicità strumentale. Il DISS ipotizza inoltre che i movimenti lungo il suo limite occidentale e/o lungo il sistema di faglie E-O (Fig. 12.2) possano aver prodotto alcuni terremoti storici di significativa rilevanza come quello del 13 Febbraio 1963 (Mw 5.3, Tito), del 6 Agosto 1954 (Mw 5.3, Pietragalla) e quelli del 5 Maggio 1990 e 26 Maggio 1991 (Mw 5.8 e 5.2, Potenza-Tito).

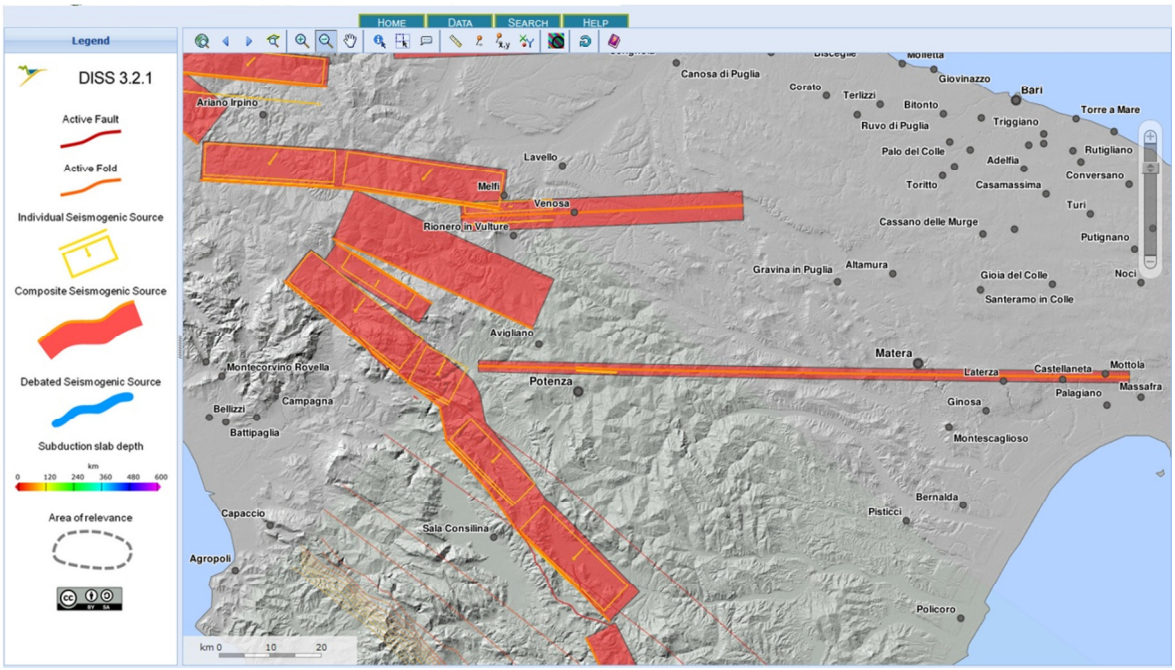


Fig. 12.2 – Stralcio della carta delle strutture sismogenetiche riportate nel catalogo delle sorgenti sismogenetiche dell'INGV per la zona assiale e il fronte della catena appenninica.

12.2 Caratterizzazione sismica del sito e studio di risposta sismica locale

In accordo con il D.M. del 17/01/20018, la definizione dell'azione sismica di progetto è effettuata, oltre che sulla base della categoria macrosismica del sito di interesse, anche in base ad uno studio della risposta sismica locale oppure, in alternativa, ad un approccio semplificato della risposta sismica che si basa sull'individuazione della categoria di sottosuolo del sito. La L.R. n.9 del 2011 "Disposizioni urgenti in materia di microzonazione sismica" prescrive di adottare lo studio di risposta sismica in alternativa all'approccio semplificato nelle aree nelle quali è prevista la realizzazione di opere appartenenti alle classi d'uso III così come definite dall'art. 2.4.2 del D.M. 17.01.2018.

Nell'areale di studio, le indagini sismiche hanno evidenziato la presenza di un modello geofisico del sottosuolo caratterizzato dalla presenza di importanti variazioni verticali delle velocità delle onde S e da locali inversioni di velocità delle onde S. Tali caratteristiche sismostratigrafiche non consentono l'utilizzo dell'approccio semplificato basato sulla determinazione della Vseq e, pertanto, si è scelto di effettuare uno studio di risposta sismica locale (RSL) attraverso il software STRATA. Lo studio è stato condotto secondo un modello 1D, poiché, in

riferimento all'area di studio, l'assenza di evidenti variazioni di spessore nella successione miocenica della Formazone del Flysch di Serrapalazzo e di complesse geometrie del sottosuolo, consentono di escludere, con buona approssimazione, significativi fenomeni bidimensionali che possano condizionare la propagazione del moto sismico (Nori, & Di Marcantonio, 2014). Inoltre, l'analisi è stata eseguita utilizzando un modello lineare equivalente, il quale tiene conto delle variazioni dei parametri di rigidezza e smorzamento del terreno in funzione della deformazione indotta dal sisma. Infine, l'analisi di RSL è stata effettuata con un approccio probabilistico, in maniera tale da considerare l'incertezza nella ricostruzione del profilo di Vs e delle variazioni delle proprietà meccaniche dei terreni. Infatti, l'utilizzo nel software STRATA dell'approccio probabilistico allo studio di RSL permette di variare statisticamente i parametri di input come il profilo di Vs, la profondità del bedrock sismico e le proprietà di decadimento e smorzamento dei terreni e quindi di assegnare un range di valori a tali parametri di input.

I dati di ingresso per la stima dell'amplificazione sismica attraverso tale metodologia comprendono:

1) definizione del terremoto di progetto;
2) definizione di un modello sismostratigrafico e della profondità del substrato sismico;
3) caratterizzazione geotecnica in delle principali unità sismostratigrafiche.

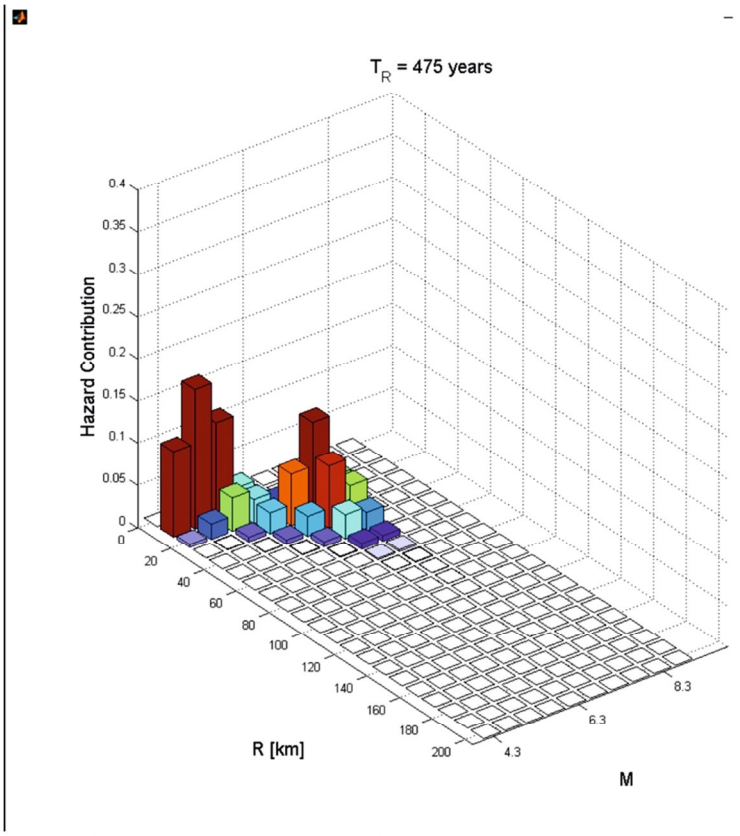
12.3 Definizione del terremoto di progetto

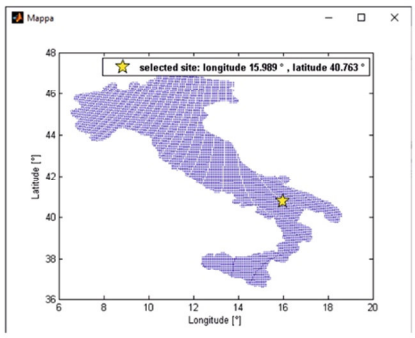
In accordo con il par. 3.2.3.6 delle NTC2018, il moto di input di uno studio di risposta sismica locale è definito a partire dalle caratteristiche sismogenetiche della sorgente (tipo di faglia, profondità ipocentrale), dalla magnitudo del sisma, dalla distanza del sito dalla sorgente sismica e dalla massima accelerazione attesa al sito.

La procedura di scelta dei 7 accelerogrammi di input ha previsto l'individuazione della macrozona di pericolosità sismica del sito e la definizione

della coppia magnitudo-distanza sulla base della L.R 7 giugno 2011 (Fig. 12.3). Il comune di Oppido Lucano ricade nella classe 2D della classificazione sismica del territorio regionale e la magnitudo epicentrale di riferimento è di 5.2 Mw mentre la distanza epicentrale è di 5 km. La pericolosità sismica di base del sito di progetto è definita, in accordo con le NTC 2018, considerando anche il coefficiente d'uso (Cu) del fabbricato di progetto e, pertanto, l'accelerazione massima attesa per il sito su suolo rigido di classe A per gli stati limite di salvaguardia della vita SLV risulta di 0,155 g, mentre quella relativa allo stato limite di danno SLD è di 0,067 e quella relativa allo stato limite di operatività è di 0,053. L'accelerazione massima attesa per i vari stati limite e la coppia magnitudo-distanza definita dalla L.R. n. 9 del Giugno 2011 sono stati utilizzati per la definizione del terremoto di input e la scelta degli accelerogrammi nello studio di risposta sismica locale.

In base a tali parametri e considerando i recenti dati su potenziali sorgenti sismogenetiche nell'area di studio, si è proceduto alla selezione dei 7 accelerogrammi spettrocompatibili per il sito di progetto attraverso l'utilizzo del database SEISMHOME EU CENTRE dell'OGS di Trieste (Rota et al., 2012) e del software REXEL (Iervolino et al., 2010). Il software REXEL del consorzio interuniversitario ReLUIS (Rete del Laboratori Universitari di Ingegneria Sismica, www.reluis.it) permette la ricerca di combinazioni di accelerogrammi naturali compatibili con gli spettri delle NTC derivanti da database di terremoti naturali come l'European Strong-motion database (ESD, http://www.isesd.cv.ic.ac.uk) e l'Italian Accelerometric Archive (ITACA, http://itaca.mi.ingv.it) dell'INGV. Le banche dati coprono diversi intervalli di magnitudo-distanza e restituiscono una settupla di accelerogrammi scalata e disaggregata in accordo con la pericolosità sismica di base, la coppia magnitudo-distanza del sito e il quadro sismotettonico dell'area (Fig. 12.3).





Pericolosità sismica di base per il fabbricato di progetto e valore dell'ag massima attesa per Tr di 712 anni per lo stato SLV

Parametri sismici

Coordinate WGS84
latitudine: 40.763
longitudine: 15.989
Sito in esame.
Classe: 3
Vita nominale: 50

Parametri sismici
Categoria sottosuolo: A
Categoria topografica: T1
Periodo di riferimento: 75 anni
Coefficiente cu: 1,5

Salvaguardia della vita (SLV):
Probabilità di superamento: 10%
Tr: 712 [anni]
ag: 0,155 g
Fo: 2,610
Tc*: 0,470 [s]

Dettagli dei 7 accelerogrammi ricavati da Seismhome e scalati all'ag di ancoraggio di 0.155 g

Input Motions

View

	Name	Description	Type	PGA (g)	PGV (cm/s)	Scale Factor
1	Desktop\TR475_ID33449_1_conv.txt		Outcrop (2A)	0.15	7.83	0.62
2	Desktop\TR475_ID33449_2_conv.txt		Outcrop (2A)	0.16	12.77	0.81
3	Desktop\TR475_ID33449_3_conv.txt		Outcrop (2A)	0.15	16.49	1.39
4	Desktop\TR475_ID33449_4_conv.txt		Outcrop (2A)	0.16	13.43	0.73
5	Desktop\TR475_ID33449_5_conv.txt		Outcrop (2A)	0.15	13.69	1.60
6	Desktop\TR475_ID33449_6_conv.txt		Outcrop (2A)	0.16	12.81	0.60
7	Desktop\TR475_ID33449_7_conv.txt		Outcrop (2A)	0.16	7.20	0.94

```
% Gruppo ID_NTC  longitudine  latitudine
%  9 33449 15.9980 40.7570
% Magnitude(Mw) Epic.Distance(km) SF_ASCONA SF1 SF2 SF_TOT Source
1: 6.87  11.00 0.75 0.99 1.00 0.74 % ESD 000182xa.cor
2: 6.20  32.00 2.51 0.99 1.00 2.48 % ESD 000234ya.cor
3: 6.90  78.30 1.88 0.99 1.00 1.86 % ITACA 19801123_183453ITDPC_TDG.DAT
4:6.93  94.31 2.76 0.99 1.00 2.73 % NGA 0797x.txt
5: 6.69  61.79 0.99 0.99 1.00 0.98 % NGA 1074y.txt
6: 6.60  36.18 2.10 0.99 1.00 2.08 % KNET1 SAG0010503201053.NS
7: 6.30  22.30 2.68 0.99 1.00 2.65 % ITACA 20090406_013239ITDPC_MTR.DAT
```

Fig. 12.3 – Disaggregazione della pericolosità sismica dell'area di Oppido Lucano e parametri di selezione della settupla dei terremoti spettrocompatibili. L'accelerazione massima attesa per lo stato di salvaguardia della vita (SLV) è di 0,155 e tale valore è stato utilizzato come ag di "ancoraggio" degli accelerogrammi.

12.4 Definizione di un modello sismostratigrafico e della profondità del substrato sismico

Il modello sismostratigrafico del sito di interesse è stato ottenuto dall'integrazione tra il profilo di Vs dell'indagine in foro di tipo Down-Hole e i dati acquisiti dall'inversione congiunta delle indagini di tipo MASW, dalle prospezioni a rifrazione e dalle misure di microtremori (cfr. l'Elab.XX per l'ubicazione dell'indagine e l'allegata relazione sismica dell'All. XX per maggiori dettagli sui processi di acquisizione ed elaborazione). Il profilo di Vs ricostruito nei primi 33 m di profondità dall'indagine DH1 è stato utilizzato come profilo medio di Vs di input dello studio di RSL. Tuttavia, tale profilo presenta un grado di incertezza non quantificabile e pertanto si è scelto di integrare tali dati con i profili di Vs ottenuti dall'inversione congiunta è stata effettuata attraverso il modulo DINVER del software GEOPSY. Tale approccio ha consentito di ottenere di diminuire il grado di incertezza delle singole interpretazioni e di ottenere dati maggiormente vincolati e robusti riguardo le caratteristiche sismostratigrafiche del sottosuolo. L'interpretazione congiunta delle prove sismiche ed in particolare l'utilizzo nell'inversione della curva HVSR ha permesso di ricostruire le caratteristiche di velocità dei terreni del sottosuolo a profondità generalmente non raggiunte dalle indagini di sismica attiva come la MASW, la prova in foro di tipo Down-Hole e la prospezione a rifrazione.

Dalla prova Down-Hole emerge in generale, un andamento irregolare delle velocità delle onde P e S, con la presenza di un'alternanza ritmica di sismostrati con velocità maggiori di 400 m/s alternati ad intervalli con Vp e Vs inferiori. Dal confronto con la stratigrafia del sondaggio si evince una buona corrispondenza tra le caratteristiche dei terreni e le velocità delle onde sismiche. La velocità media di propagazione delle onde S nei primi 33 m (Fig. 12.4) ottenuta dall'interpretazione della prova downhole D1 tenendo conto della profondità di posa del piano di fondazione è pari a: Vs30 = 362 m/s.

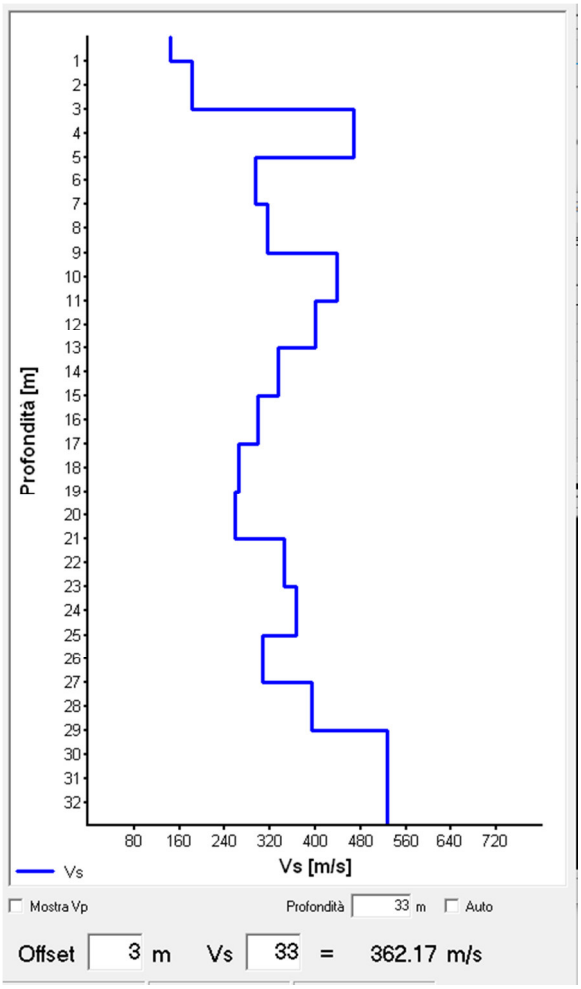


Fig. 12.4 – Profilo di Vs ricavato dall'indagine di tipo Down-Hole S1-DH1.

L'insieme di questi dati e l'integrazione con le osservazioni stratigrafiche e geotecniche precedentemente descritte ha permesso di ricostruire un profilo di Vs probabilistico (media con intervalli di incertezza, Fig. 12.5) da utilizzare come dato di input nel codice di calcolo 1-D Strata; tale profilo di Vs utilizzato come modello sismico di input nell'analisi probabilistica lineare equivalente di RSL con il software Strata è rappresentato in (Fig. 12.5).

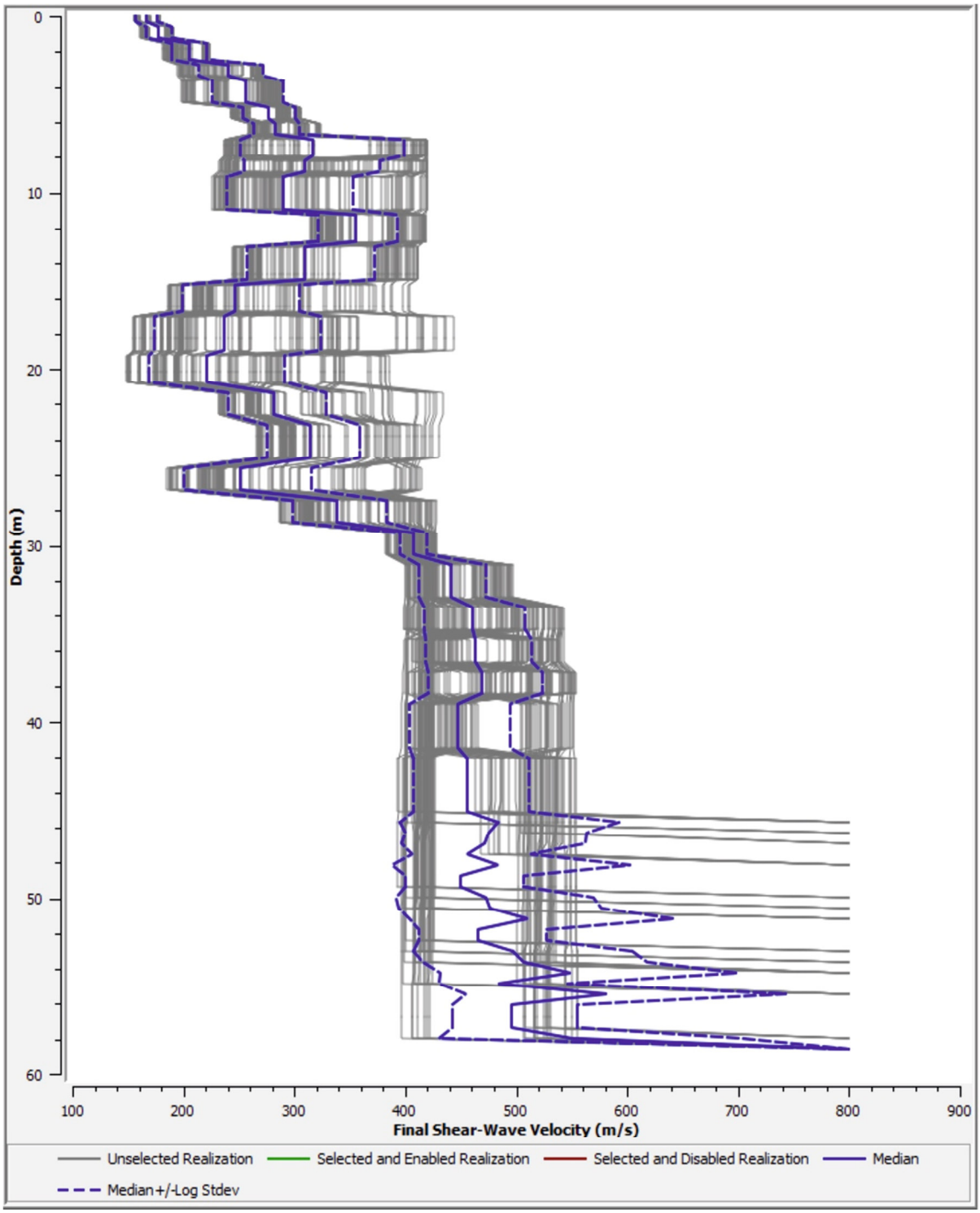


Fig. 12.5 – Profilo di Vs e relativi range di incertezza utilizzati per lo studio probabilistico di RSL.

12.5 Caratterizzazione geotecnica del sottosuolo

A differenza del metodo lineare che considera il comportamento del terreno puramente elastico, l'analisi lineare equivalente di RSL con il codice di calcolo di STRATA prevede che il terreno assuma parametri di rigidezza e smorzamento che sono dipendenti dallo stato di deformazione indotto dal sisma. In particolare, i

terreni rispondono alla sollecitazione sismica in maniera dissipativa, con una diminuzione del modulo di rigidezza all'aumentare dell'intensità della sollecitazione sismica. Tale comportamento dei terreni può essere caratterizzato, da un punto di vista geotecnico, attraverso l'esecuzione di prove torsionali cicliche e prove di colonna risonante.

Il comportamento elastico non lineare dei depositi miocenici del sottosuolo dell'area (SUBa e SUB) è stato ottenuto sulla base dei dati geognostici, sismostratigrafici e geotecnici acquisiti nel presente studio ed in particolare dalle curve della degradazione del modulo di taglio e dello smorzamento ottenute dalla prova di colonna risonante effettuata sul campione C2 (Sondaggio S2).

Non disponendo di specifiche indagini geotecniche per la caratterizzazione del modulo di taglio e dello smorzamento per l'unità litotecnica più superficiale dell'area di progetto (RIP in Fig. 6), si è utilizzato il modello di Darendeli & Stokoe (2001), che consentono di risalire, in maniera piuttosto affidabile (Nori & Di Marcantonio, 2014), alle curve di variazione dello smorzamento e del modulo di taglio con l'aumento della deformazione sulla base di alcuni parametri come lo sforzo efficace medio, l'indice di plasticità e il grado di sovraconsolidazione.

Le curve di variazione con la deformazione del modulo di taglio G e dello smorzamento D utilizzate nell'analisi di risposta sismica locale sono riportate in (Fig. 12.6):

	Name	Unit Weight (kN/m³)	G/G_max Model	Damping Model	Min. Damping (%)	Notes
1	RIP	17.60	EPRI (93) PI=10	EPRI (93), PI=10	0.5	0.1 atm PI = 23
2	SUBa	19.30	SUBa_Oppido	SUBa_Oppido	0.5	substrato alterato
3	SUB	20.30	SUBa_Oppido	SUBa_Oppido	0.5	substrato

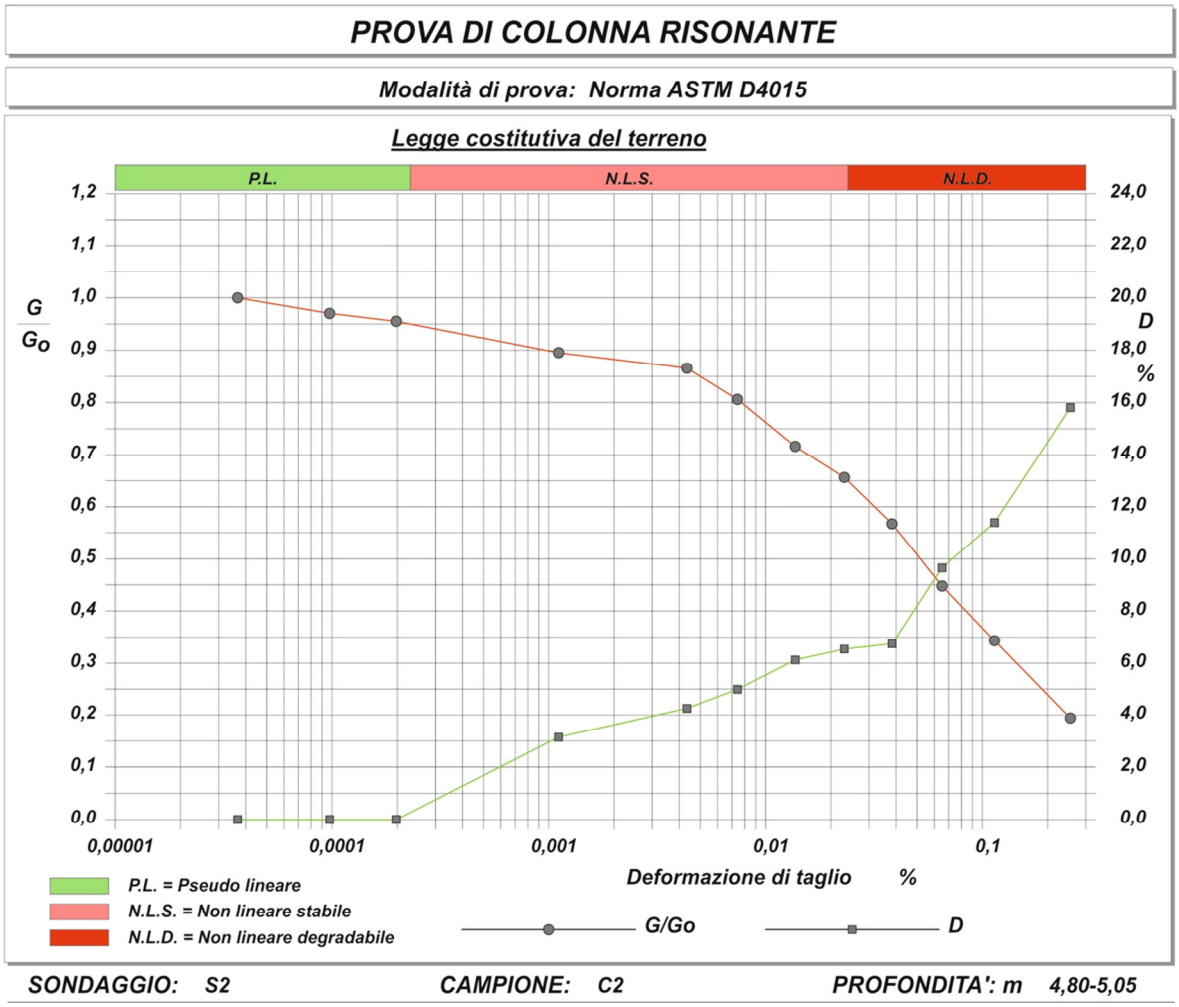


Fig. 12.6 – In alto: sintesi dei dati geotecnici utilizzati per lo studio di RSL. In basso: curve di degradazione del modulo di taglio e dello smorzamento con la deformazione utilizzati per le unità litotecnica SUBa e SUB dell'area di progetto.

12.6 Risultati dell'analisi di RSL per il sito di progetto

L'analisi di RSL è stata eseguita con l'approccio equivalente lineare e facendo variare le proprietà geotecniche dei terreni, il profilo di Vs e la profondità del bedrock sulla base delle ricostruzioni geologiche e geofisiche e il loro grado di incertezza.

FUNZIONE DI TRASFERIMENTO DELL'ACCELERAZIONE

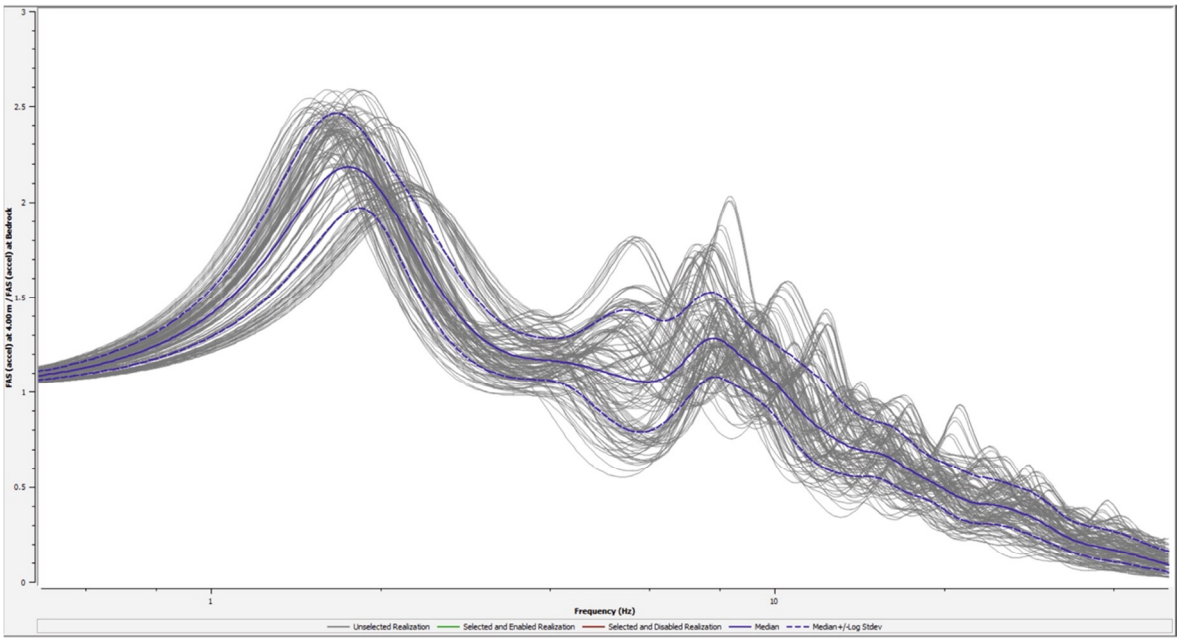


Fig. 12.7 - Funzione di trasferimento dell'accelerazione alla profondità del piano di posa della fondazione (4 m) derivante dallo studio probabilistico di RSL con il metodo equivalente lineare per SLV. Le curve blu rappresenta la mediana (curva centrale) e la mediana ± la deviazione standard delle curve ottenute dall'analisi probabilistica di RSL.

Il calcolo della RSL è stato effettuato sulla base di 50 simulazioni per ognuno dei 7 moti di input (accelerogrammi dei terremoti di progetto) attraverso una procedura iterativa che si basa sulla variazione, all'interno dei range imposti, delle proprietà non lineari dei sismostrati e delle velocità delle onde S. La figura 12.7 mostra la funzione di trasferimento dell'accelerazione alla profondità del piano di posa delle fondazioni: dall'analisi della curva della mediana + deviazione standard (curva blu superiore) è evidente il picco di amplificazione a frequenza di poco inferiore ad 1 Hz, corrispondente ad un probabile contrasto di impedenza sismico a profondità di diverse decine di metri tra bedrock sismico e porzioni alterate e ricche in interstrati argillosi della Formazione di Serra Palazzo.

Lo spettro di risposta in accelerazione per uno smorzamento viscoso del 5% (Fig. 12.8) rappresenta il risultato finale della RSL ed è direttamente comparabile con gli spettri elastici di normativa relativi alle diverse classi di suolo per la verifica agli SLV. Lo spettro ragionevolmente cautelativo da considerare è quello relativo alla mediana, come suggerito dalla letteratura specialistica riguardante questo argomento (cfr. ad es. Nori & Di Marcantonio, 2014).

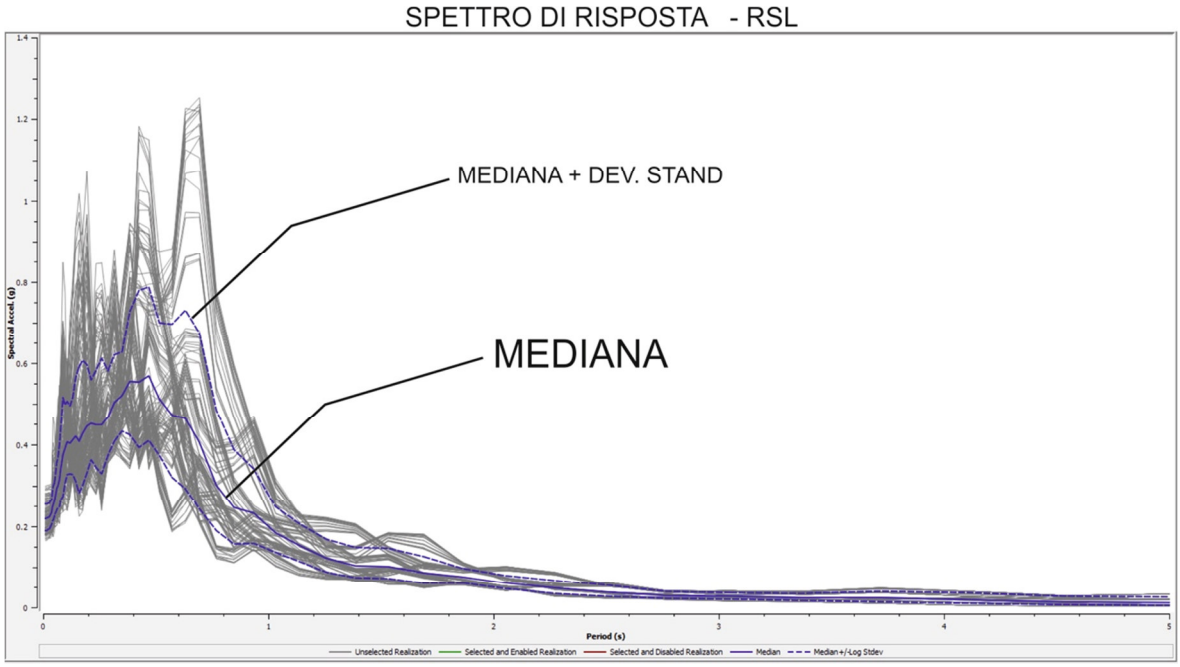


Fig. 12.8 - Spettro di risposta elastico in accelerazione per il sito di progetto a profondità di 0,5 m derivante dallo studio di risposta sismica locale riferita a SLV.

12.7 Spettri di risposta elastici

Di seguito si riportano gli spettri di risposta elastici ottenuti a seguito dell'analisi di risposta sismica locale eseguita per gli stati limite di Operatività (SLO), di Danno (SLD) e di Salvaguardia della Vita (SLV). Le figure 12.9-10 e 11 mostrano, per ciascuno stato limite, lo spettro elastico e il conforto con lo spettro di input e con quello di normativa (categoria di suolo B, cfr. All. X). Le caratteristiche sismostratigrafiche del sito e, in particolare, la presenza di un profilo di Vs caratterizzato da un'unità sismostratigrafica con velocità prossime a quelle del substrato sismico a profondità di superiori ai 30 m determina una moderata amplificazione sismica per effetti stratigrafici e, quindi, uno spettro elastico di RSL con parametri sismici leggermente superiori rispetto allo spettro di normativa di categoria di suolo B.

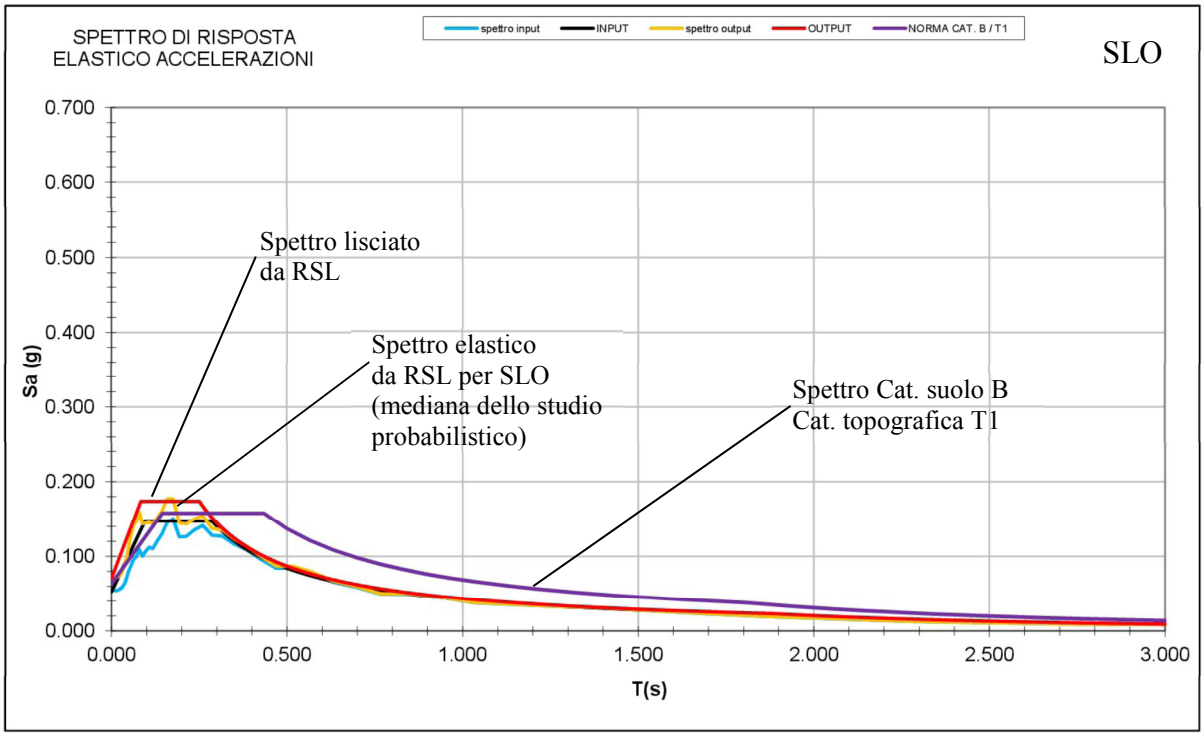


Fig. 12.9 – Spettro elastico dello studio di RSL relativo a SLO

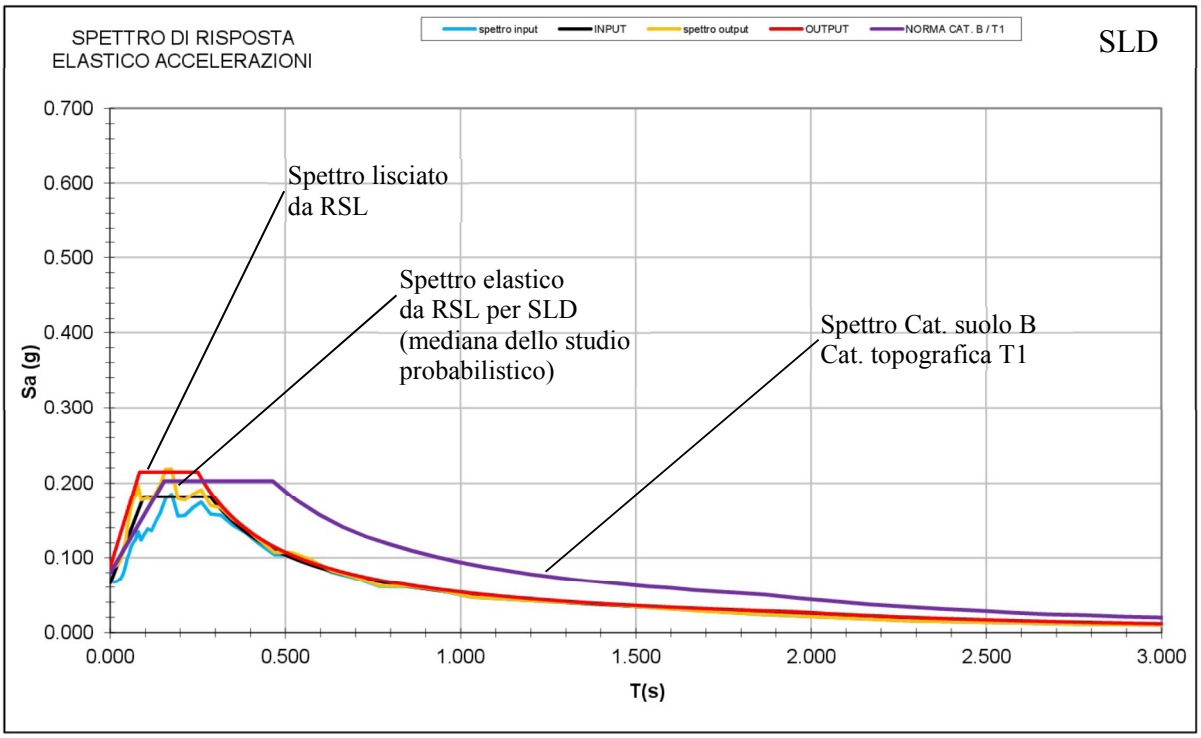


Fig. 12.10 – Spettro elastico dello studio di RSL relativo a SLD.

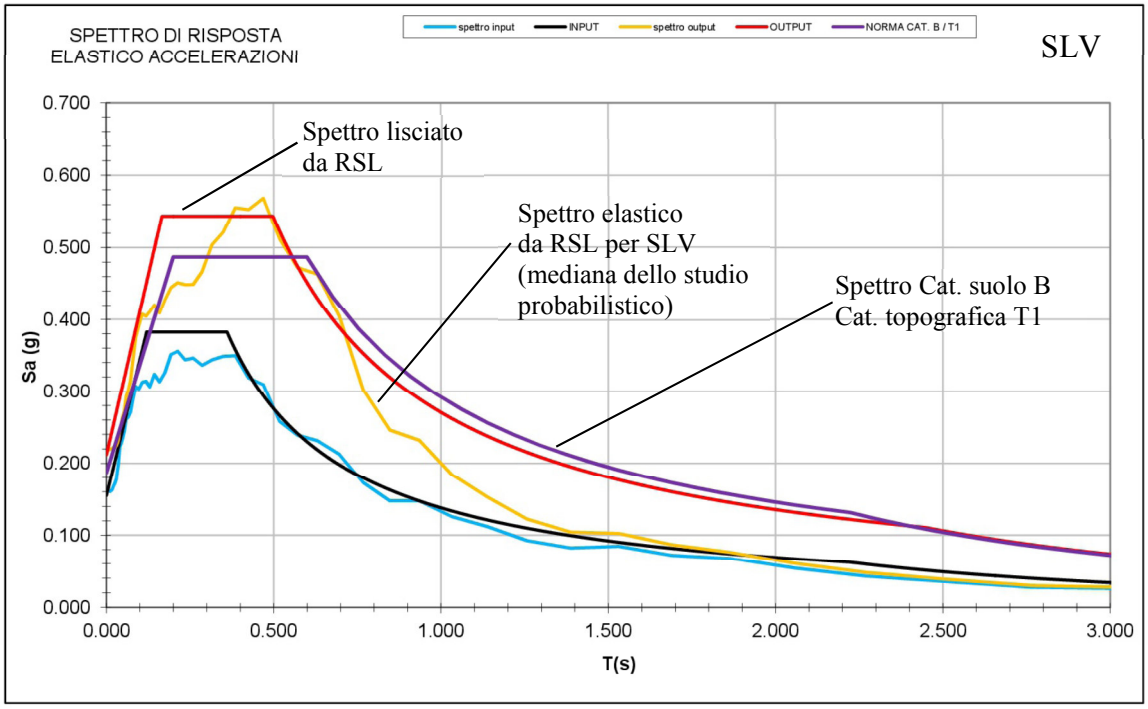


Fig. 12.11 – Spettro elastico dello studio di RSL relativo a SLV

12.8 Conclusioni sulla RSL

Sono stati acquisiti e interpretati in ottica della Risposta Sismica Locale, n.1 indagine in foro di tipo Down-Hole, n. 2 indagine sismica di tipo MASW (MASW1 e MASW2), n. 2 prospezione sismica a rifrazione (SR1 e SR2) e n. 2 misure di microtremori a stazione singola (HVSR1 e HVRS2). La ricostruzione del modello sismostratigrafico di riferimento e l'individuazione della profondità del presunto bedrock sismico sulla base dell'interpretazione congiunta delle indagini geofisiche ha permesso di realizzare uno studio di risposta sismica locale e di ricavare lo spettro di risposta elastico di progetto per tempi di ritorno di 712 anni (stato limite di salvaguardia della vita, SLV), 75 anni (stato limite di danno) e 45 anni (stato limite di operatività). Tali analisi hanno permesso di identificare e classificare l'area di interesse come una zona stabile suscettibile di amplificazione locale, nella quale sono attese amplificazioni del moto sismico, come effetto della sola situazione litostratigrafica e di ricavare gli spettri elastici di RSL per la verifica strutturale dell'azione sismica del fabbricato di progetto.

13. Stabilità del pendio

Come già riportato nell'inquadramento geomorfologico, l'area di sedime delle opere in oggetto si collocano nella porzione media del versante. Il valore medio della pendenza si attesta a circa 7°-8° considerando il settore di versante di stretto interesse, mentre raggiunge gli 11° considerando il suo intero sviluppo (Fig 13.1). Per pendenze inferiori ai 15°, corrispondenti alla categoria topografica T1, non è prevista la valutazione analitica delle condizioni di stabilità del pendio. Un'analisi più generale, considerando le caratteristiche dei dissesti presenti lungo il versante e le loro caratteristiche evolutive, è stata già effettuata nella descrizione delle caratteristiche geomorfologiche del sito: dall'analisi risulta che non sono presenti fenomeni di dissesto che coinvolgono l'area di edificazione delle opere in progetto. La struttura principale verrà realizzata su un'ampia superficie pianeggiante; tuttavia, sul lato ovest, la presenza di tagli del versante rende necessaria la realizzazione di opere di sostegno, per cui verifiche di stabilità di carattere puntuale sui manufatti sono inserite nei relativi elaborati progettuali.

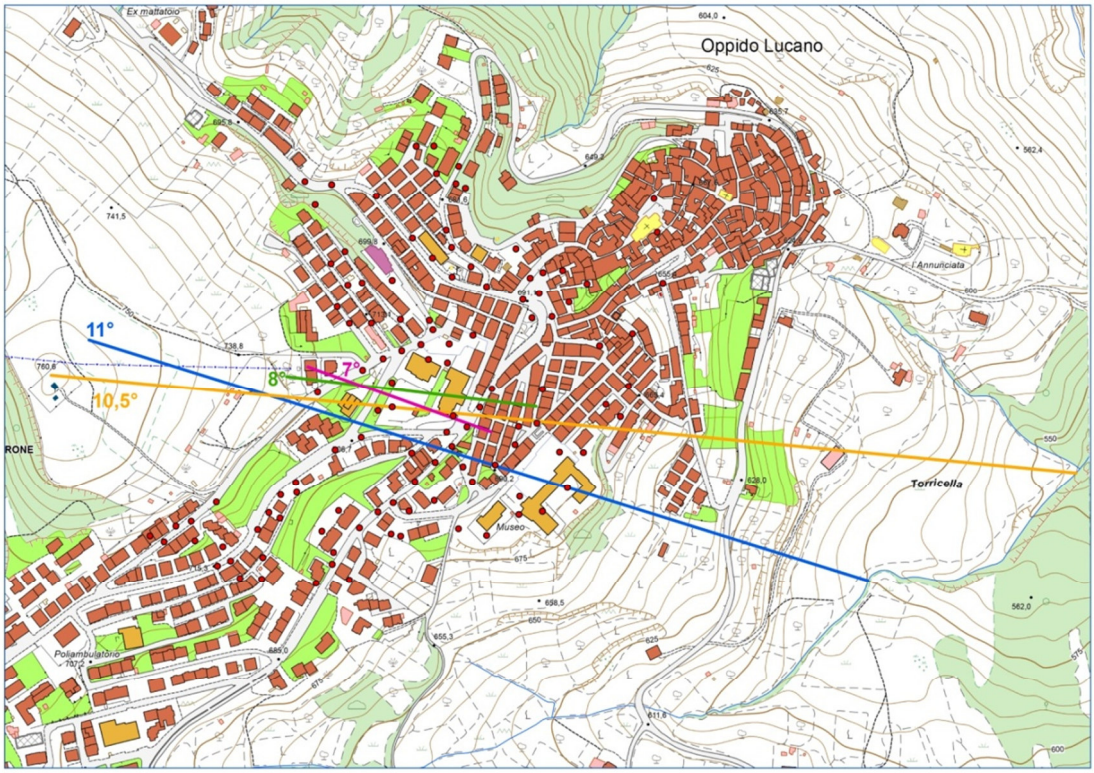


Fig. 13.1 – Tracce di profili topografici con indicazione della relativa pendenza media.

14. Considerazioni conclusive

La presente relazione riferisce sulla situazione geologica, geomorfologica, idrogeologica e geotecnica e sismica del sito in esame, in merito alla realizzazione del nuovo complesso parrocchiale nel Comune di Oppido Lucano (PZ).

A tal fine, è stato effettuato un rilevamento geologico-tecnico sul campo, sono stati ricercati, raccolti ed analizzati i dati bibliografici disponibili nell'area ed eseguita una specifica campagna di indagini geognostiche al fine di determinare la situazione stratigrafica e geosismica nel sottosuolo.

Il substrato geologico è rappresentato dalla Formazione di Serra Palazzo, costituita da sabbie e sabbie limose addensate, limi sabbiosi, argille limose, arenarie, frequentemente con cemento con forte componente carbonatica, che si alternano in livelli di spessore variabile da qualche centimetro a varie decine di centimetri.

Sotto l'aspetto geomorfologico l'area si disloca nella parte media del rilievo su cui si imposta la parte centrale dell'abitato, in un settore dove si alternano aree pianeggianti e scarpate. Il valore medio della pendenza si attesta a circa 7°-8° considerando il settore di versante di stretto interesse, mentre raggiunge gli 11° considerando il suo intero sviluppo

Dal punto di vista idrogeologico l'area di studio è caratterizzata in affioramento da terreni caratterizzati da una permeabilità medio-bassa (terreni limoso-argilloso e arenacei). Il livello della falda è stato oggetto di monitoraggio attraverso l'installazione di un piezometro; si registrano profondità variabili entro qualche decina di centimetri intorno ad un valore medio di circa 5,5 metri.

Vista la natura delle litologie coinvolte, si consiglia la messa in opera di un adeguato sistema di drenaggio capace di allontanare le acque di infiltrazione superficiale; si consiglia, inoltre, di regimentare le acque di scorrimento superficiale, incanalando adeguatamente anche quelle di gronda. Le acque opportunamente raccolte devono essere accompagnate e convogliate nei sistemi esistenti, in modo da non creare fenomeni di erosione e ristagno e di non creare linee di drenaggio che vadano ad interferire con le strutture adiacenti.

L'effetto di questi interventi è quello di aumentare la resistenza al taglio dei terreni, riducendo le sovrappressioni e, conseguentemente, aumentando gli sforzi efficaci presenti lungo eventuali superfici di rottura.

Per la definizione dei parametri geotecnici rappresentativi (Tab. VI) si è tenuto conto dei valori ottenuti attraverso le analisi di laboratorio di campioni prelevati nei due sondaggi geognostici eseguiti.

Alla luce delle categorie previste dalle "Norme Tecniche per le Costruzioni", D.M. 17 gennaio 2018, e in base ad indagini eseguite, i terreni di fondazione esaminati si collocano in categoria "B" descritta in normativa come: "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s". Lo studio dell risposta sismica locale ha permesso di ricavare lo spettro di risposta elastico di progetto per tempi di ritorno di 712 anni (stato limite di salvaguardia della vita, SLV), 75 anni (stato limite di danno) e 45 anni (stato limite di operatività).

Sulla base dell'ultimo aggiornamento disponibile, l'area in cui ricade l'opera non rientra in nessuna delle aree perimetrate dall'Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata nell'ambito del Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico.

Allo stato attuale non vi sono fattori di carattere geologico, geomorfologico ed idrogeologico che possano condizionare in maniera sfavorevole la stabilità dell'opera; il sito non presenta criticità specifiche, tuttavia, vista la natura dei terreni, un elemento a cui prestare particolare attenzione è la stabilità dei fronti di scavo, anche di modesta entità, sia in fase di progettazione che di esecuzione. Se, in fase di esecuzione dei lavori, dovessero presentarsi eventuali problemi di natura geologica/geotecnica e idrogeologica non previsti dalla presente relazione, sarebbe opportuno svolgere ulteriori approfondimenti.

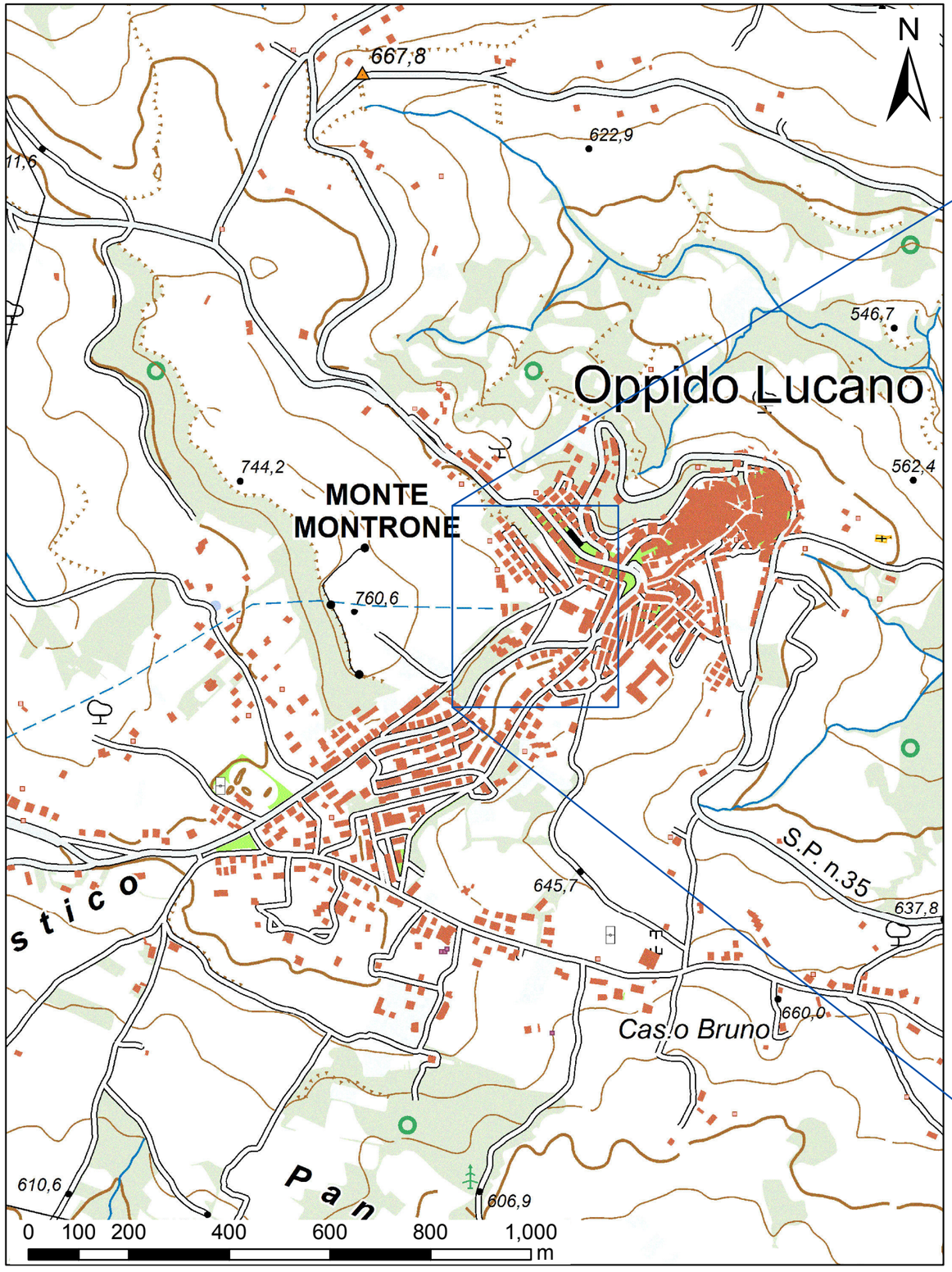
In fase di esecuzione dell'opera, si suggerisce di eseguire i lavori di scavo in periodi non piovosi, evitando di lasciare gli scavi stessi a cielo aperto per tempi prolungati.

Pertanto, da quanto esposto precedentemente, risulta che l'area investigata è idonea dal punto di vista geologico e quindi, si esprime parere favorevole alla realizzazione dell'opera prevista in progetto, e comunque sempre rispettando le norme tecniche riportate nella normativa vigente.

Tolve, Aprile 2020 Dott. Geol. Straziuso Katia Pia Teresa

COMPLESSO PARROCCHIALE SS. PIETRO E PAOLO OPPIDO LUCANO	**ELABORATO N°1**
Committente: Parrocchia SS. Pietro e Paolo Geologo: Geol. Straziuso Katia Pia Teresa	

COROGRAFIA DELL'AREA (scala 1:10000)

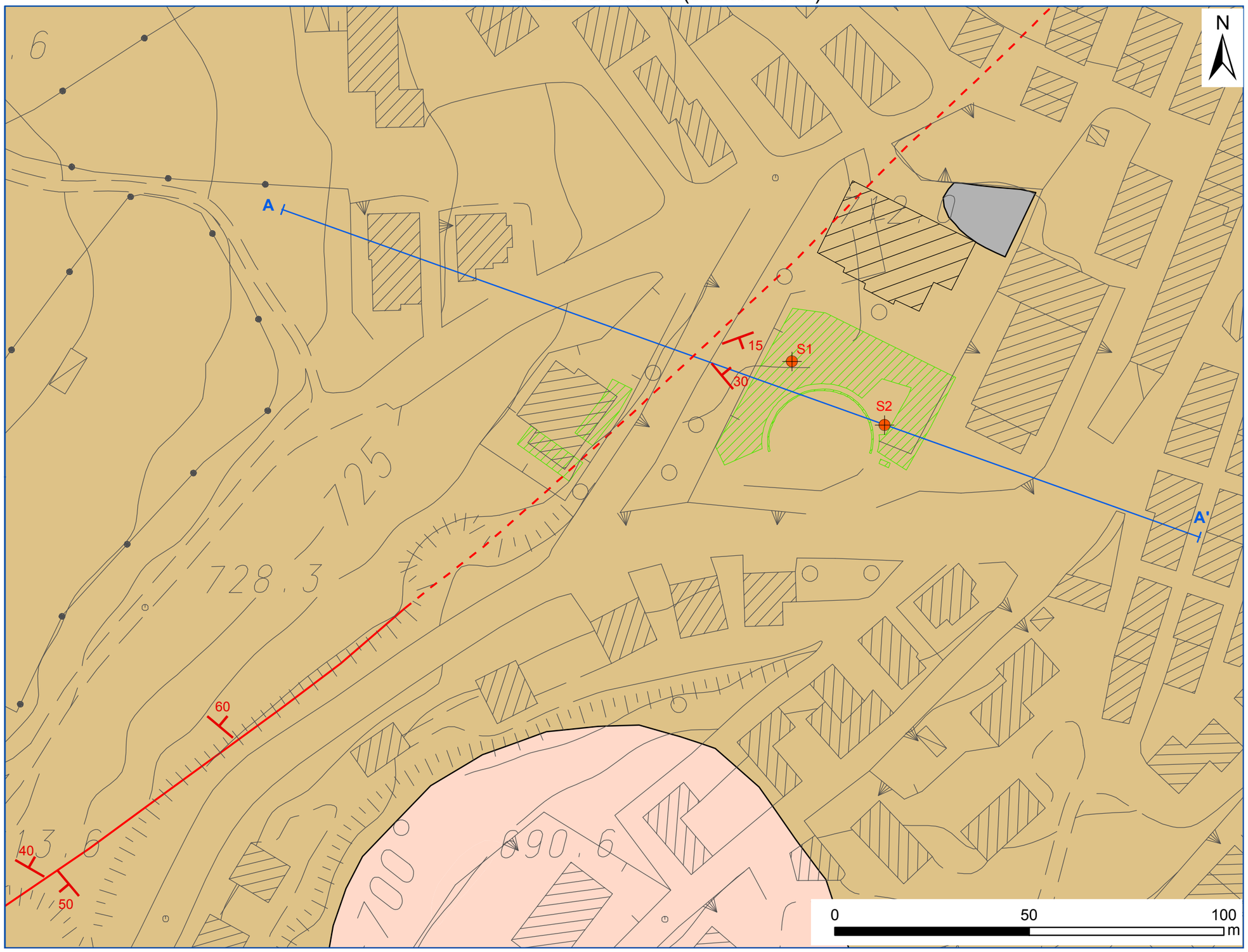


Particolare del sito in esame su ortofoto (scala 1:2000)

Sito in esame

COMPLESSO PARROCCHIALE SS. PIETRO E PAOLO OPPIDO LUCANO	**ELABORATO N°2**
Committente: Parrocchia SS. Pietro e Paolo Geologo: Geol. Straziuso Katia Pia Teresa	

CARTA GEOLITOLOGICA (scala 1:1000)

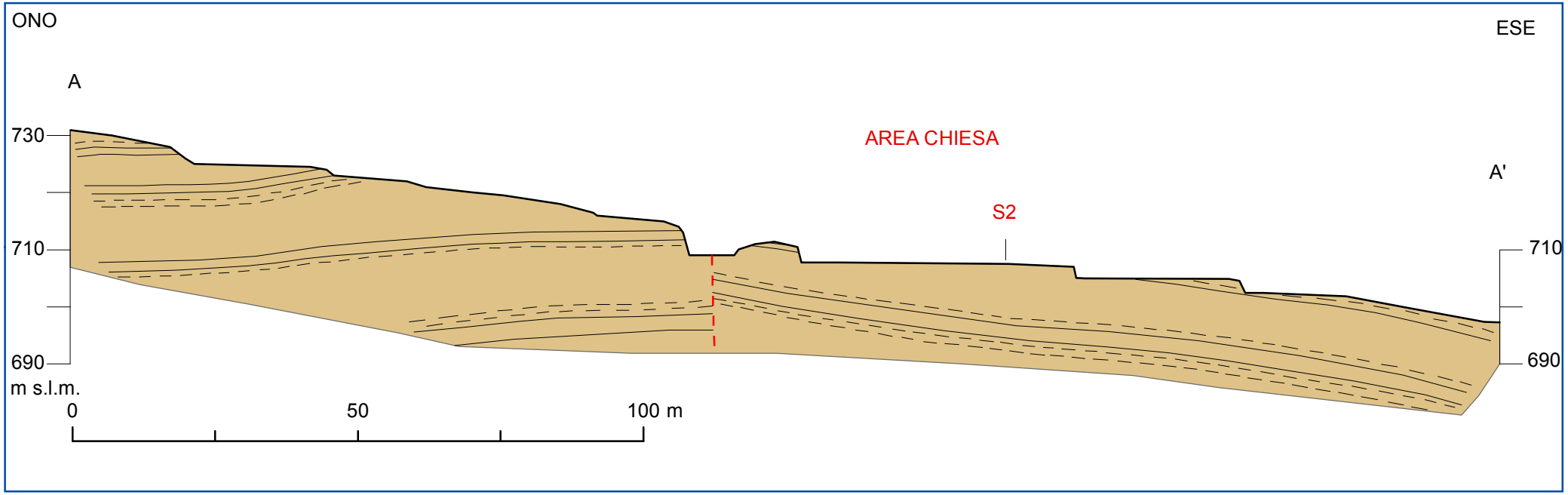


Legenda

- Depositi antropici
- Depositi di frana
- Alternanza di arenarie, silt argillosi e calcari (Formazione di Serra Palazzo)
- Faglia certa
- Faglia presunta
- Traccia della sezione geologica
- 30 giacitura di strato
- sondaggio geognostico
- edifici in progetto

COMPLESSO PARROCCHIALE SS. PIETRO E PAOLO OPPIDO LUCANO	**ELABORATO N°3**
Committente: Parrocchia SS. Pietro e Paolo Geologo: Geol. Straziuso Katia Pia Teresa	

SEZIONE GEOLOGICA (scala 1:1000)

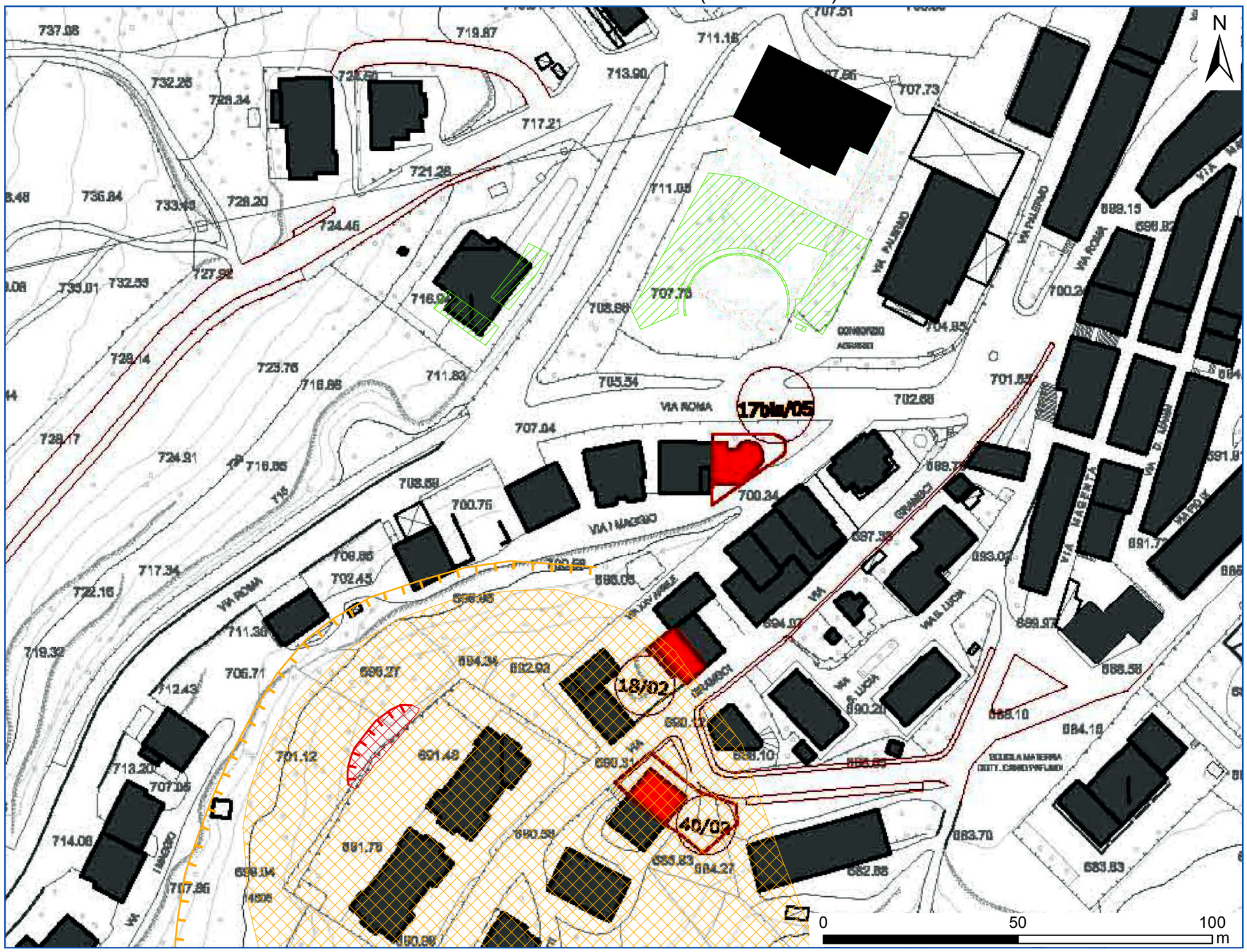


Legenda

Alternanza di arenarie, silt argillosi e calcari
(Formazione di Serra Palazzo)

COMPLESSO PARROCCHIALE SS. PIETRO E PAOLO OPPIDO LUCANO	**ELABORATO N°4**
Committente: Parrocchia SS. Pietro e Paolo Geologo: Geol. Straziuso Katia Pia Teresa	

CARTA GEOMORFOLOGICA (scala 1:1000)



Legenda

nicchia di frana

quiescente

attiva

corpo di frana

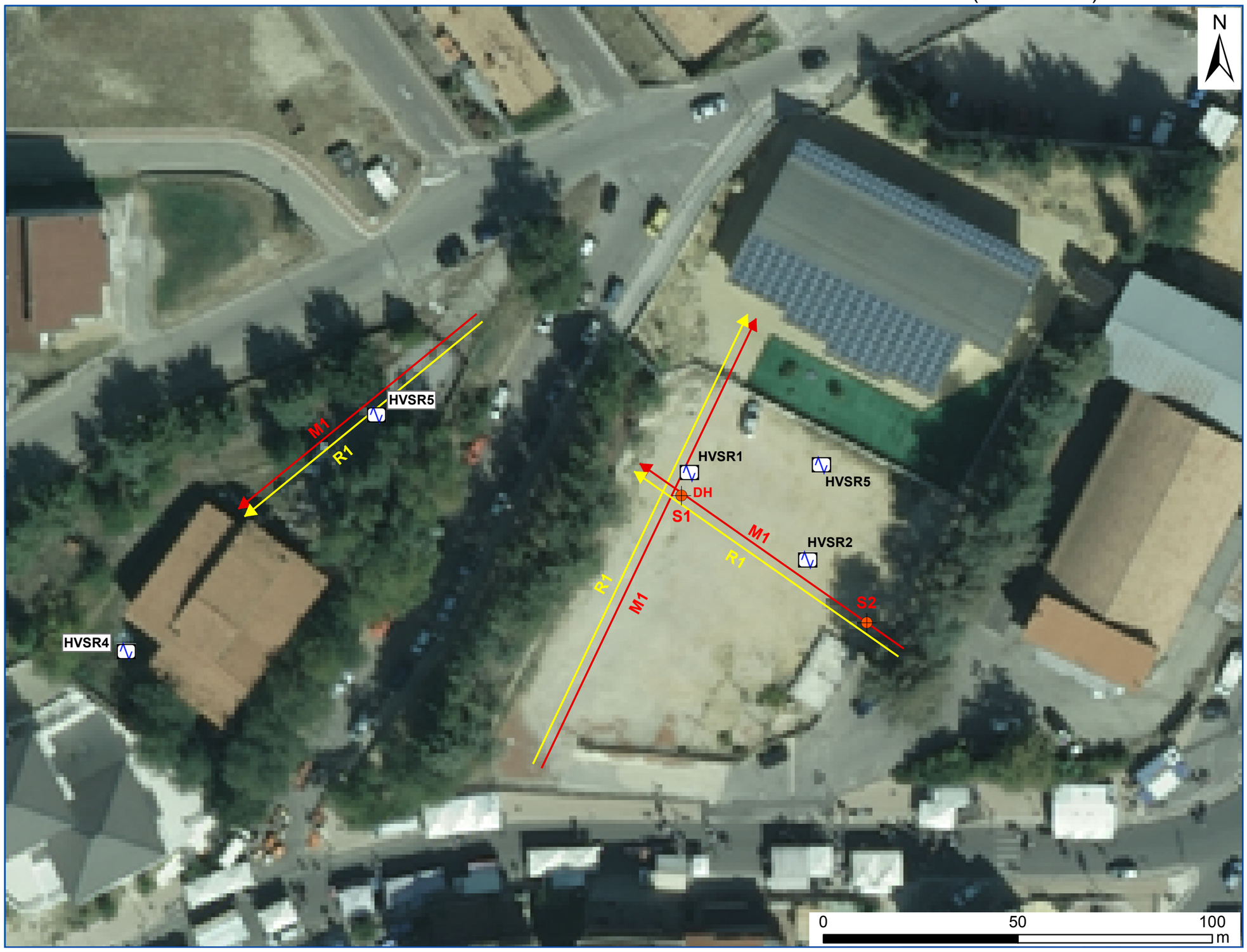
quiescente

attiva

edifici in progetto

COMPLESSO PARROCCHIALE SS. PIETRO E PAOLO OPPIDO LUCANO	**ELABORATO N°5**
Committente: Parrocchia SS. Pietro e Paolo Geologo: Geol. Straziuso Katia Pia Teresa	

PLANIMETRIA CON UBICAZIONE DELLE INDAGINI GEOGNOSTICHE ESEGUITE (scala 1:500)



Legenda

- Sondaggio geognostico
- DH Sondaggio geognostico con sismica in foro down hole
- Analisi microtremore HVSR
- MASW
- sismica a rifrazione

STRATIGRAFIA DEI SONDAGGI GEOGNOSTICI EFFETTUATI

E REPORT FOTOGRAFICO

Committente: Parrocchie S.S. Pietro e Paolo Oppido Lucano	Sigla: S_1	Pagina 1 di 2	
Indagine: Nuovo complesso parrocchiale S.S. Pietro e Paolo	Profondità raggiunta: 35 m Data esecuzione: dal 27 al 30 giugno 2019		

	spessore	profondità		SPT				FALDA	INSTALLAZIONI
	0.6	0.6	Terreno sciolto a matrice sabbioso-limosa con inclusi eterometrici ed eterogenei (calcari, selci, laterizi)	RIF					RIVESTIMENTO PER PROVA DOWN HOLE
1	1.2	1.8	Sabbie fini e limose con evidenze di alterazione in sito. Addensate						
2 3	2.3	4.1	Alternanza tra sabbie a cementazione variabile, sabbie limose e limi sabbiosi, di colore giallastro, con sparsi piccoli elementi litici. Segni di alterazione						
4	0.9	5	Arenarie ben cementate, fratturate						
5 6 7	2.3	7.3	Alternanza tra sabbie a cementazione variabile, sabbie limose e limi sabbiosi, di colore grigio-giallastro con sfumature ocracee o brune, con mineralizzazioni scure. In alcuni livelli presenti noduli più cementati				C1		
8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22	16.25 ↓		Alternanza tra sabbie fini grigie e limi argillosi grigi con sfumature verdastre. Le sabbie hanno cementazione variabile con alcuni livelli maggiormente cementati. I limi argillosi a volte sono marcatamente scagliosi. Sono presenti livelli di sabbie più grossolane e meno cementate. In generale le sabbie si presentano addensate, cementate, ma non litificate.				C2		

Committente: Parrocchie S.S. Pietro e Paolo Oppido Lucano	Sigla: S_1	Pagina 2 di 2	
Indagine: Nuovo complesso parrocchiale S.S. Pietro e Paolo	Profondità raggiunta: 35 m Data esecuzione: dal 27 al 30 giugno 2019		

	spessore	profondità			SPT				FALDA	INSTALLAZIONI
22 23	↑ 16.25									
		23.55								
24 25 26	3.45			Livelli litici di arenarie a cemento carbonatico alternati a sabbie fini grigie a maggiore gradi di cementazione rispetto ai livelli precedenti e livellli molto compatti di limi e argille che inglobano nuclei litici centimetrici. Abbondante presenza di calcite. Sono presenti livelli di microconglomerati da clastosostenuti a immersi in abbondante matrice limosa.						RIVESTIMENTO PER PROVA DOWN HOLE
27		27								
28 29 30 31 32 33 34 35	8	35		Alternanza tra sabbie fini grigie e limi argilloso grigi con sfumature verdastre. Le sabbie hanno cementazione variabile con alcuni livelli maggiormente litificati. I limi argillosi a volte sono marcatamente scagliosi. Sono presenti livelli di sabbie più grossolane e meno cementate. In generale le sabbie si presentano addensate, cementate, ma non litificate.						

Committente: Parrocchie S.S. Pietro e Paolo Oppido Lucano	Sigla: S_2	Pagina 1 di 2	
Indagine: Nuovo complesso parrocchiale S.S. Pietro e Paolo	Profondità raggiunta: 25 m Data esecuzione: dal 1 al 2 luglio 2019		

	spessore	profondità			SPT				FALDA	INSTALLAZIONI
	0.9	0.9		Terreno sciolto a matrice sabbioso-limosa con inclusi eterometrici ed eterogenei (calcari, selci, e rari laterizi)						
	0.6	1.5		Sabbie fini e limose con evidenze di alterazione in sito. Addensate						
	0.5	2		Livello con abbondanti elementi litici in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa						
	0.9	2.9		Alternanza tra sabbie a cementazione variabile, sabbie limose e limi sabbiosi, di colore giallastro. Segni di alterazione						
	1.1	4		Livello con abbondanti elementi litici in matrice sabbiosa e sabbioso-limosa. Presenza di mineralizzazioni scure e di segni di alterazione						
	5	9		Alternanza tra sabbie a cementazione variabile, sabbie limose e limi sabbiosi, di colore grigio-giallastro con sfumature ocracee o brune, con mineralizzazioni scure.Sono sparsi inclusi litici millimetrici, particolarmente concentrati in alcuni livelli (microconglomerati con abbondante matrice).	32/38/RIF			C1 C2		PIEZOMETRO
	16			Alternanza tra sabbie fini grigie e limi argillosi grigi con sfumature verdastre. Le sabbie hanno cementazione variabile con alcuni livelli maggiormente cementati. I limi argillosi a volte sono marcatamente scagliosi. Sono presenti livelli di sabbie più grossolane e meno cementate. In generale le sabbie si presentano addensate, cementate, ma non litificate.				C3		

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22

Committente: Parrocchie S.S. Pietro e Paolo Oppido Lucano	Sigla: S_2	Pagina 2 di 2	
Indagine: Nuovo complesso parrocchiale S.S. Pietro e Paolo	Profondità raggiunta: 35 m Data esecuzione: dal 1 al 2 luglio 2019		

	spessore	profondità			SPT				FALDA	INSTALLAZIONI
22 23 24 25	↑ 16	25		Alternanza tra sabbie fini grigie e limi argillosi grigi con sfumature verdastre. Le sabbie hanno cementazione variabile con alcuni livelli maggiormente cementati. I limi argillosi a volte sono marcatamente scagliosi. Sono presenti livelli di sabbie più grossolane e meno cementate. In generale le sabbie si presentano addensate, cementate, ma non litificate.						PIEZOMETRO

OPPIDO LUCANO (PZ)
S1 DA 0,00 A 5,00 MT
DATA: 27/06/2019

NUOVO COMPLESSO PARROCCHIALE
OPPIDO LUCANO (PZ)
S1 DA 5,00 A 10,00 ml
DATA 27/6/2019
CAMPIONE C1 DA 5,0 A 5,3 m
SPT A 8,0 mt Rifiut.
CAMPIONE 8,50 : 8,30

NUOVO COMPLESSO ESPED PARROCCHIALE
OPPIDO LUCANO (PZ)
S1 DA 10,0 A 15,0 mt
CASSETTA 3
DATA 27/06/2019
CAMPIONE C2 DA 12,1 A 12,4

NUOVO COMPLESSO PARROCCHIALE
OPPIDO LUCANO (PZ)
S1 DA MT 15,0 A MT
CASSETTA 4
DATA 28/6/2019

NUOVO COMPLESSO PARROCCHIALE
OPPIDO LUCANO (PZ)
S1 DA 20,0 MT A 25,0MT
CASSETTA 5
DATA 27/6/2019

NUOVO COMPLESSO PARROCCHIALE
OPPIDO LUCANO (PZ)
S1 DA 25,0 MT A 30,0 MT
CASSETTA 6
DATA 27/6/2019

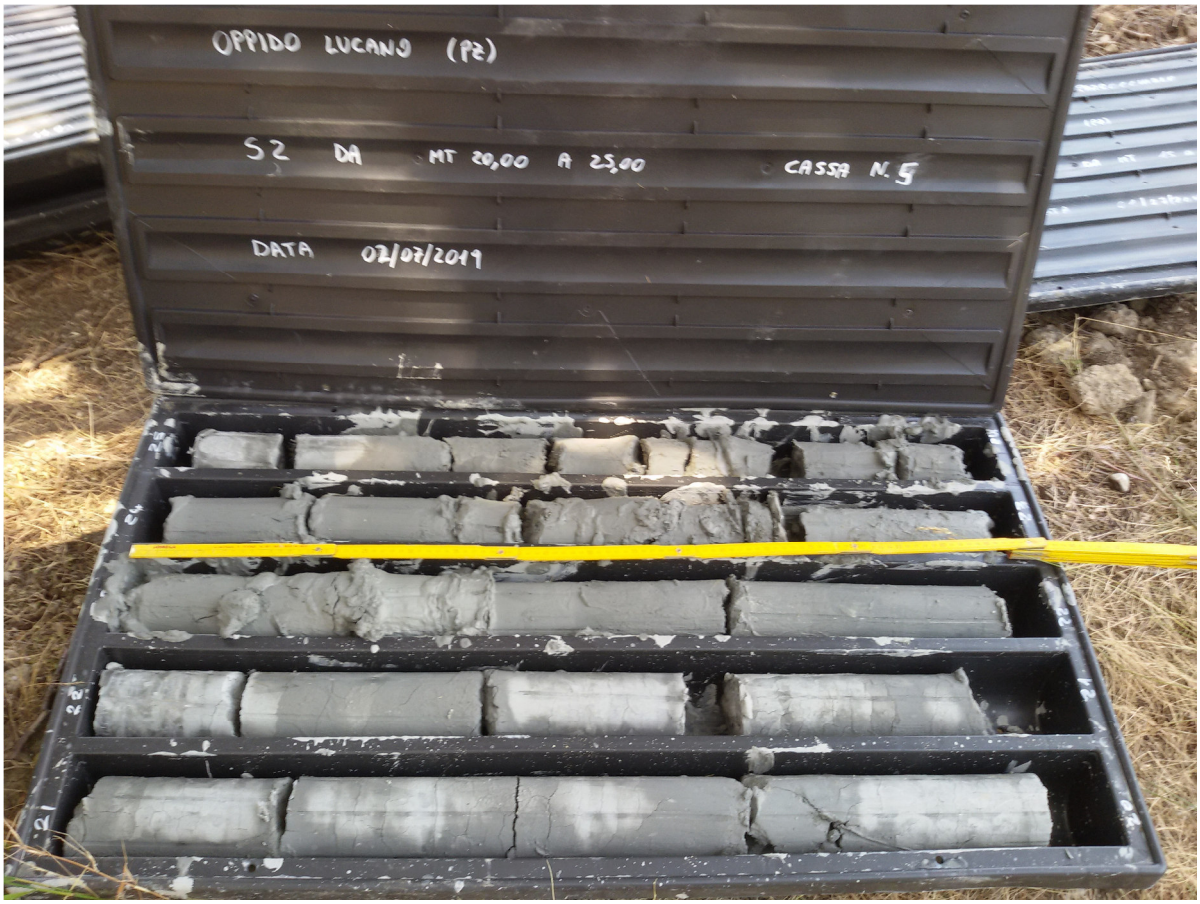
NUOVO COMPLESSO PARROCCHIALE
OPPIDO LUCANO (PZ)
S1 DA 30,00 MT A 35,00 MT
CASSETTA 7
DATA 28/29/06/2018

NUOVO COMPLESSO PARROCCHIALE
OPPIDO LUCANO (PZ)
S2 PROF. DA 0,0 A 5,0 m
DATA: 01/07/2019
CAMP. C1 DA 4,5 a 4,8 m
CAMP C2 DA 4,8 a 5,1 m
CASS. N1

NUOVO COMPLESSO PARROCCHIALE
OPPIDO LUCANO (PZ)
S2 PROF. DA 5,0 A 10,0 mt
CASS. N. 2
DATA: 01/07/2019

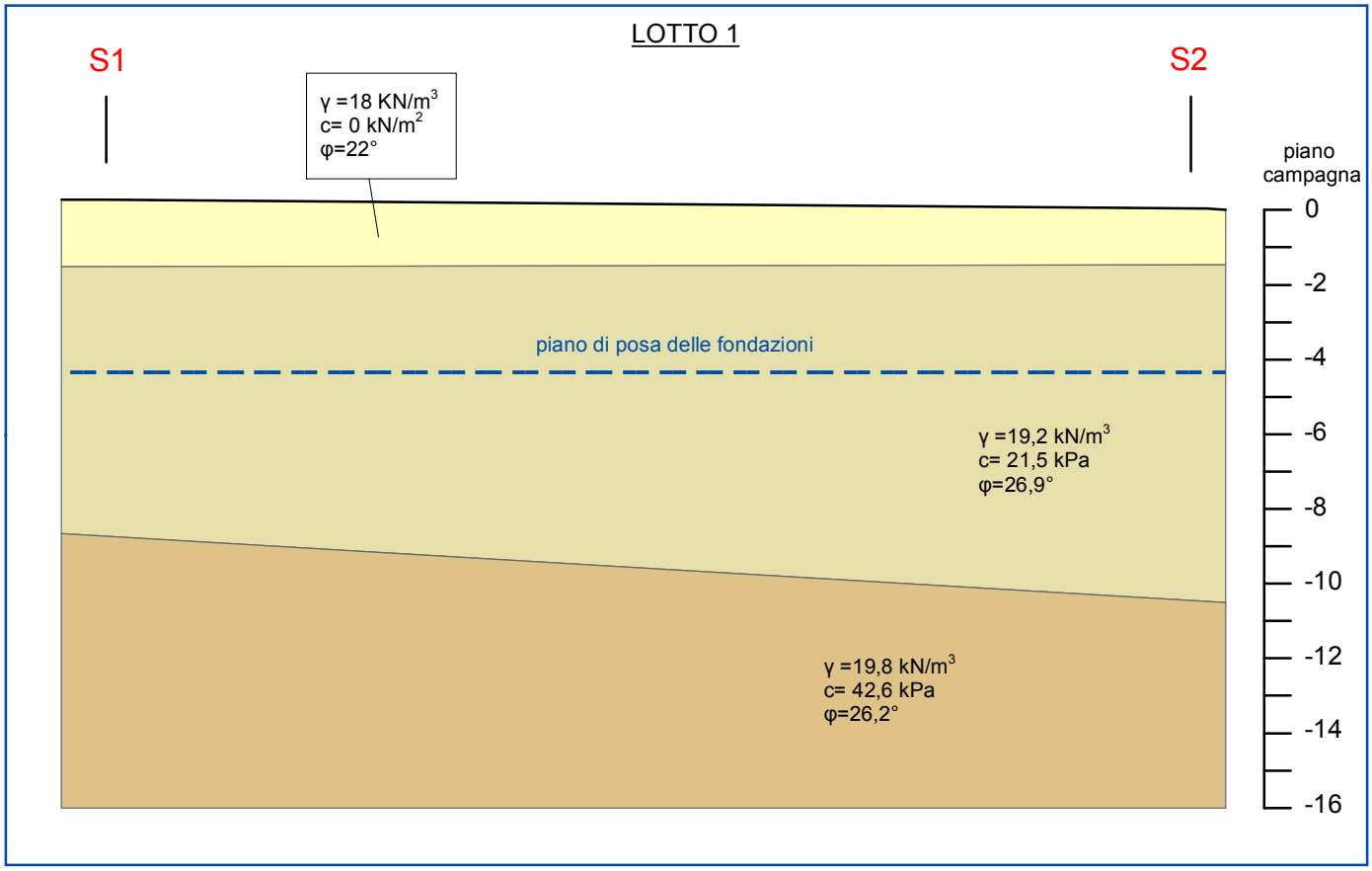
NUOVO COMPLESSO PARROCCHIALE
OPPIDO DI L. (PZ)
S2 DA MT 10 A 15 CASSA N. 3
DATA 01/07/19
CAMPIONE S2C3 TRA 11,30 e 11,80
CAMPIONE 11,50-11,80

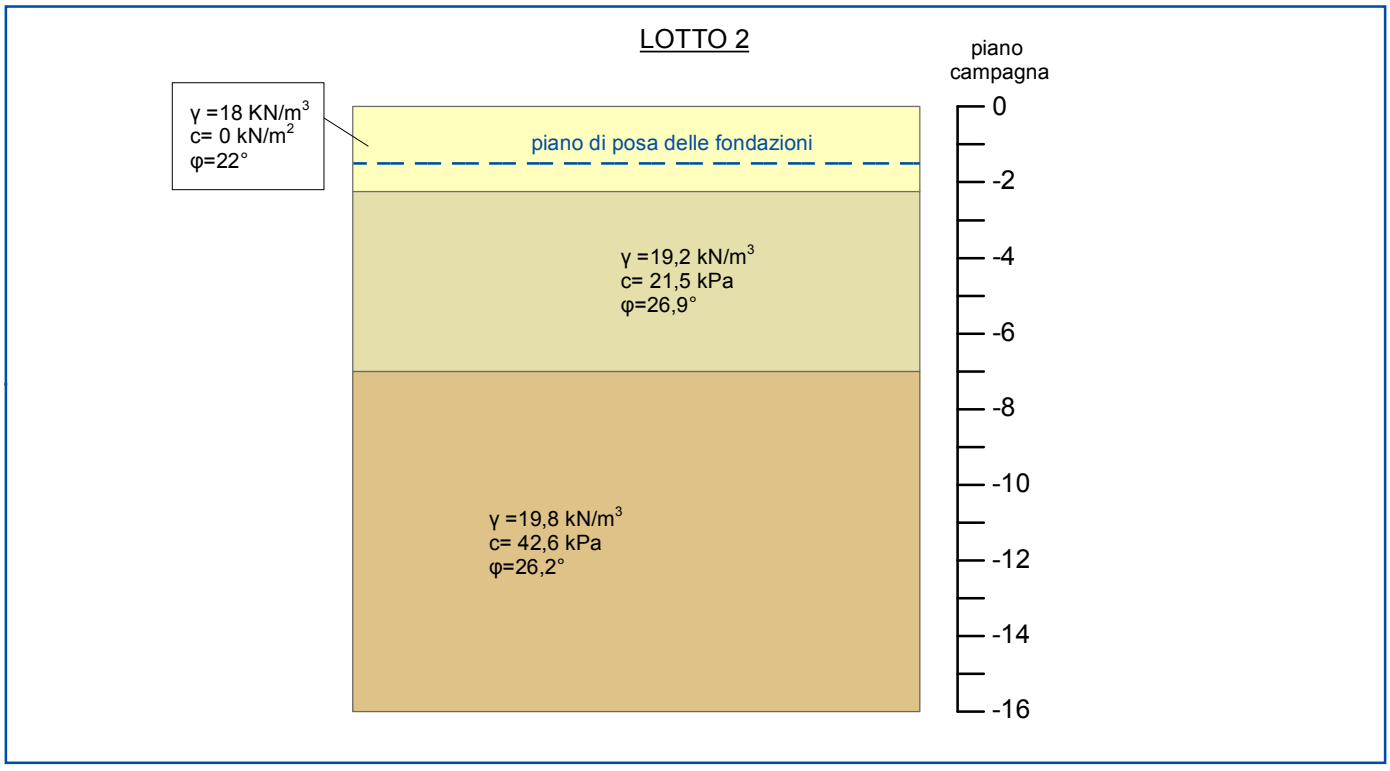
OPPIDO LUCANO (PZ)
S2 DA MT 15 A 20 CASSA 6
DATA 01/07/2019


OPPIDO LUCANO (PZ)
S2 DA MT 20,00 A 25,00
CASSA N. 5
DATA 02/07/2019

COMPLESSO PARROCCHIALE SS. PIETRO E PAOLO OPPIDO LUCANO	**ELABORATO N°7**
Committente: Parrocchia SS. Pietro e Paolo Geologo: Geol. Straziuso Katia Pia Teresa	

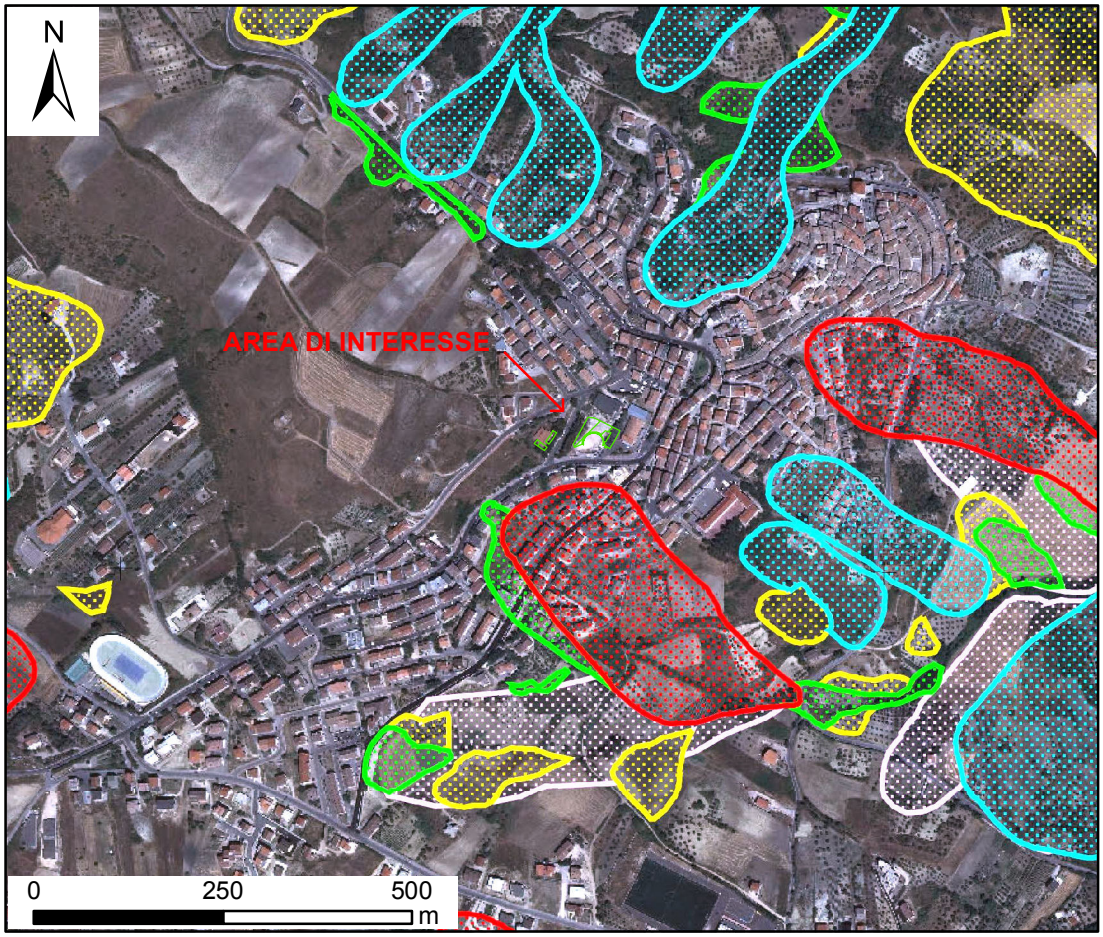
MODELLO GEOLOGICO-TECNICO (scala 1:200)





COMPLESSO PARROCCHIALE SS. PIETRO E PAOLO OPPIDO LUCANO	**ELABORATO N°8**
Committente: Parrocchia SS. Pietro e Paolo Geologo: Geol. Straziuso Katia Pia Teresa	

STRALCIO P.A.I. - Tav. 470042



Tipologie di rischio:

- R4 - molto elevato
- R3 - elevato
- R2 - medio
- R1 - moderato
- ASV - aree assoggettate a verifica idrogeologica

edifici in progetto

BIBLIOGRAFIA DEGLI STUDI E DELLE INDAGINI CONSULTATE

AA.VV. – Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100000.

AA.VV. – Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50000.

Basili, R., Valensise, G., Vannoli, P., Burrato, P., Fracassi, U., Mariano, S., Tiberti, M.M., Boschi, E., (2008) - The Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), version 3: Summarizing 20 years of research on Italy's earthquake geology, Tectonophysics 453, 20-43.

Beneforti S., Cioci G., Giordano N., Marsella G., Pescatore T.S. (1994) – Il terzo lotto dell'adduttore Trivigno-Acerenza. Aspetti tecnici e progettuali – Estratto da Quarry and Construction, Novembre 1994.

DISS Working Group (2015). Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.0: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. , Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia; DOI:10.6092/INGV.IT-DISS3.2.0.

Gruppo di Lavoro (2004). "Redazione della mappa di pericolosità sismica prevista dall'Ordinanza PCM 3274 del 20 marzo 2003" Rapporto conclusivo per il Dipartimento della Protezione Civile, INGV, Milano-Roma, aprile 2004, 65 pp. + 5 appendici.

Iervolino I., Galasso C., Cosenza E. (2010) - REXEL: computer aided record selection for code-based seismic structural analysis. Bull Earthquake Eng, 8:339–362.

Lioi M. (2003) – Piano di lottizzazione convenzionata dell'area B1 del P.R.G.

Lioi M. – Progetto per la realizzazione della nuova scuola materna comunale.

Marchese G., Ianniello G. & Leopre R. (1986) – Piano Regolatore Generale/Piano di Recupero.

Nardone R. & Lotito G. (2004) – Piano particolareggiato del comparto B2 del P.R.G. del Comune di Oppido Lucano.

Nori L. & Di Marcantonio P. (2014) - Manuale pratico di risposta sismica locale. Dal sismogramma allo spettro di progetto con Rexel e Strata. EPC editore, 320 pp.

Palmentola G. (1970) – Nuovi dati e considerazioni sulla formazione di Serra Palazzo in Lucania – Mem. Soc. Geol. It., 9, 81-90.

Rota M, Zuccolo E, Taverna L, Corigliano M, Lai CG, Penna A. (2012) - Mesozonation of the Italian territory for the definition of real spectrum-compatible accelerograms. B Earthq Eng.10:1357-1375.

Sbarra R. (1994) – La sedimentazione torbiditica nella avanfossa medio-miocenica dell'Appennino meridionale. – Tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra – Università degli Studi di Bari.

Stucchi M., Meletti C., Montaldo V., Crowley H., Calvi G.M., Boschi E. (2011) - Seismic Hazard Assessment (2003-2009) for the Italian Building Code. Bull. Seismol. Soc. Am. 101(4), 1885– 1911.

Vitale G. – R.U. Oppido Lucano