

REGIONE BASILICATA
COMUNE di PIGNOLA
(Provincia di Potenza)

Verifica della vulnerabilità sismica della
"Scuola Elementare Giovanni XXIII"

STUDIO GEOLOGICO

ELAB:	COMMITTENTE	ESEGUITO		DATA
	Comune di Pignola	Studio di Geologia e Geolngengeria Dr. Geol. Antonio DE CARLO		Febbraio 2018
ALLEGATO	<div></div> RELAZIONE GEOLOGICA			
REVISIONI				
DATA	DESCRIZIONE	ESEGUITO	VERIFICATO	APPROVATO

IL COLLABORATORE
Dr. Bartolo ROMANIELLO

IL GEOLOGO
Dr. Antonio DE CARLO



Studio di Geologia e GeolIngegneria

Viale del Seminario Maggiore, 35 -85100 Potenza-

Tel./fax.: 0971.1800373; cell.: (+39).348.3017593; e-mail: studiogeopotenza@libero.it

INDICE ANALITICO

1.	PREMESSA	2
3.	UBICAZIONE DEL SITO D'INTERVENTO	5
4.	VALUTAZIONE DEL RISCHIO FRANE E ALLUVIONAMENTO DEL SITO	6
5.	DESCRIZIONE DELL'INDAGINE GEOGNOSTICA CONSULTATA ED ESEGUITA	7
5.1	Sondaggio geognostico eseguito.....	7
5.2	Prelievo di campioni	7
5.3	Indagini geofisiche.....	8
6.	INQUADRAMENTO GEOLITOLOGICO DELL'AREA.....	9
7.	CARATTERI GEOFISICI DEI TERRENI	13
7.1	Risultanze del rilievo sismico SR1 in onda P	13
7.2	Calcolo Vs30: Prospezione sismica MASW e Re.Mi.	14
7.3	Misura di microtremori a stazione singola (HVSR)	16
8.	DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO E DEI PARAMETRI GEOTECNICI	18
10.	CARATTERIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO	22
10.1.	Modello sismico e stima della pericolosità sismica del sito	22
10.2.	Pericolosità sismica di base.....	23
10.3.	Modello litostratigrafico e sismostratigrafico dell'area.....	27
10.4.	Risultati della risposta sismica locale	29
11.	CARATTERI GEOMORFOLOGICI E STABILITÀ DEL AREA	33

ELENCO ALLEGATI

- Allegato 01: Cartografia Tematica
- Allegato 02: Stratigrafia del sondaggio geognostico e report fotografico
- Allegato 03: Indagini Geofisiche
- Allegato 04: Analisi Geotecniche di laboratorio
- Allegato 05: Relazione di Microzonazione Sismica

1. PREMESSA

Per incarico dell'Amministrazione Comunale di Pignola lo scrivente ha redatto la presente relazione con grado di approfondimento "esecutivo" finalizzata alla **Verifica della vulnerabilità sismica della "Scuola Elementare Giovanni XXIII"** sita in Via Garibaldi nel Comune di Pignola.

Lo studio è stato finalizzato a fornire indicazioni sulle caratteristiche fisiche e sulle resistenze meccaniche del sedime di fondazione. Dunque, la presente relazione è illustrativa della geologia, della geotecnica, della idrogeologia, della morfologia e di tutti i risultati a cui si è giunti relativamente all'areale interessato dal progetto.

Partendo dallo studio geologico e morfologico di superficie, attraverso i dati desunti dalle indagini geognostiche e delle analisi e prove geotecniche di laboratorio effettuate in loco e di quelle pregresse, eseguite in aree immediatamente limitrofe a quella in studio, ed attraverso la caratterizzazione indiretta mediante indagini sismiche appositamente eseguite, sono derivate le informazioni geolitologiche e geotecniche relative all'area d'imposta delle opere in progetto, sviluppato attraverso fasi di approfondimento successive ed interattive:

- analisi geologica e geomorfologica per la definizione delle caratteristiche litologiche dei terreni affioranti e della morfoevoluzione dell'area di studio;
- verifica in sito dei dati acquisiti nelle fasi di studio precedenti e controllo diretto in loco delle caratteristiche e dei parametri geotecnici, sismici e stratigrafici delle successioni litologiche affioranti tramite **l'esecuzione di un sondaggio geognostico, denominato S1, con prelievo di n° 2 campioni indisturbati di terreno sottoposti ad analisi e prove geotecniche di laboratorio e di una prospezione sismica a rifrazione in onde P. Al fine di determinare la "categoria di suolo", secondo la normativa in vigore, è stata appositamente eseguita nell'area di sedime una prospezione sismica con tecnica attiva MASW, passiva Re.Mi. e una misura di microtremore ambientale a stazione singola (HVSr).**

Pertanto, alla luce dell'esperienza geologica e geotecnica maturata da chi scrive sui terreni in affioramento, si sono ritenuti sufficienti, in questo grado esecutivo della progettazione, i dati a disposizione per la definizione del suddetto modello geotecnico del sottosuolo.

Tutto ciò ha consentito di fornire le caratteristiche fisiche e le resistenze meccaniche dei terreni di fondazione e ricostruire il modello geotecnico del sottosuolo. Alla luce di quanto appena relazionato si sono prodotti i seguenti elaborati riportati in allegato alla presente relazione:



ALLEGATI:

- Allegato 01: Cartografia Tematica
- Allegato 02: Stratigrafia del sondaggio geognostico e report fotografico
- Allegato 03: Indagini Geofisiche
- Allegato 04: Analisi Geotecniche di laboratorio
- Allegato 05: Relazione di Microzonazione Sismica.

2. RIFERIMENTI NORMATIVI E BIBLIOGRAFICI

Nella redazione del presente documento si è fatto riferimento alla normativa vigente e alla documentazione bibliografica esistente:

▪ **Normativa di riferimento (nazionale):**

- L.N. 64/74 - Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche;
- D.M. 11.03.1988 - Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione;
- O.P.C.M. 3274/2003 – Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica;
- D.M. 14.09.2005 - Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Norme di Attuazione - Piano di Bacino Stralcio Assetto Idrogeologico (PAI) - Autorità di Bacino della Basilicata;
- O.P.C.M. 3519/2006 - Criteri generali per l'individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l'aggiornamento degli elenchi delle medesime zone;
- D.M. LL.PP. del 14.01.2008 - Testo Unitario - Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni;
- Circolare del C.S.LL.PP. n° 617 del 02.02.2009 - Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni.

▪ **Normativa di riferimento (regionale):**

- L.R. n° 38 del 06.08.1997 - Norme per l'esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico;
- L.R. n° 9 del 16.04.1984;
- Delibera del Consiglio Regionale di Basilicata n° 575 del 04.08.2009;
- L.R. 9/2011 – Disposizioni urgenti in materia di microzonazione sismica.

▪ **Riferimenti cartografici e bibliografici:**

- Foglio 199 "Potenza" della Carta Geologica d'Italia (scala 1: 100.000) e Note Illustrative;
- Carta Geologica della Lucania Centrale – Appennino Meridionale (scala 1:50.000);
- Foglio "Potenza" 199 I SO dell'I.G.M. (scala 1:25.000);
- Tavola 489020 "Pignola" dell'ortofotocarta (scala 1:10.000);
- Elemento 489023 "Pignola Sud (Potenza)" della Carta Tecnica dell'Italia Meridionale (scala 1:5.000);
- Tavola 489023 "Carta del Rischio" – Piano Stralcio per la Difesa dal Rischio Idrogeologico/Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata (scala 1:10.000) e Norme di Attuazione.

3. UBICAZIONE DEL SITO D'INTERVENTO

Il sito di interesse progettuale, ricadente nel centro abitato di Pignola (PZ), è situato ad una quota di circa 890 metri s.l.m. ed è censito al Foglio di Mappa n° 28, P.IIa 1226.



Fig.01: Veduta aerea dell'area con ubicazione del sito d'intervento

Dal punto di vista cartografico, l'area di sedime ricade nel Foglio 199 "Potenza" della Carta Geologica d'Italia (scala 1: 100.000), nella tavoletta topografica dell'I.G.M.I. Foglio "Potenza" 199 I SO dell'I.G.M. (scala 1:25.000) e nell'elemento n. 489023 "Pignola Sud" della Carta Tecnica dell'Italia Meridionale in scala 1:5.000.

Al fine della caratterizzazione delle azioni sismiche di cui al paragrafo 3.2 della normativa e della definizione delle forme spettrali in base ai parametri correlati al reticolo di riferimento, le coordinate del sito sono le seguenti:

Latitudine WGS84 = 40.572480°; Longitudine WGS84 = 15.786650°

4. VALUTAZIONE DEL RISCHIO FRANE E ALLUVIONAMENTO DEL SITO

La stesura di questa relazione geologica è stata suffragata dalla consultazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico, redatto dall'Autorità di Bacino della Basilicata. Questo rappresenta uno strumento conoscitivo, normativo e tecnico-operativo mediante il quale sono programmate e pianificate le azioni e le norme d'uso riguardanti la difesa dal rischio idraulico ed idrogeologico nel territorio di competenza. Nel caso in esame l'area di sedime ricade nella tavola 489023 del Piano stralcio per la difesa dal rischio idrogeologico:

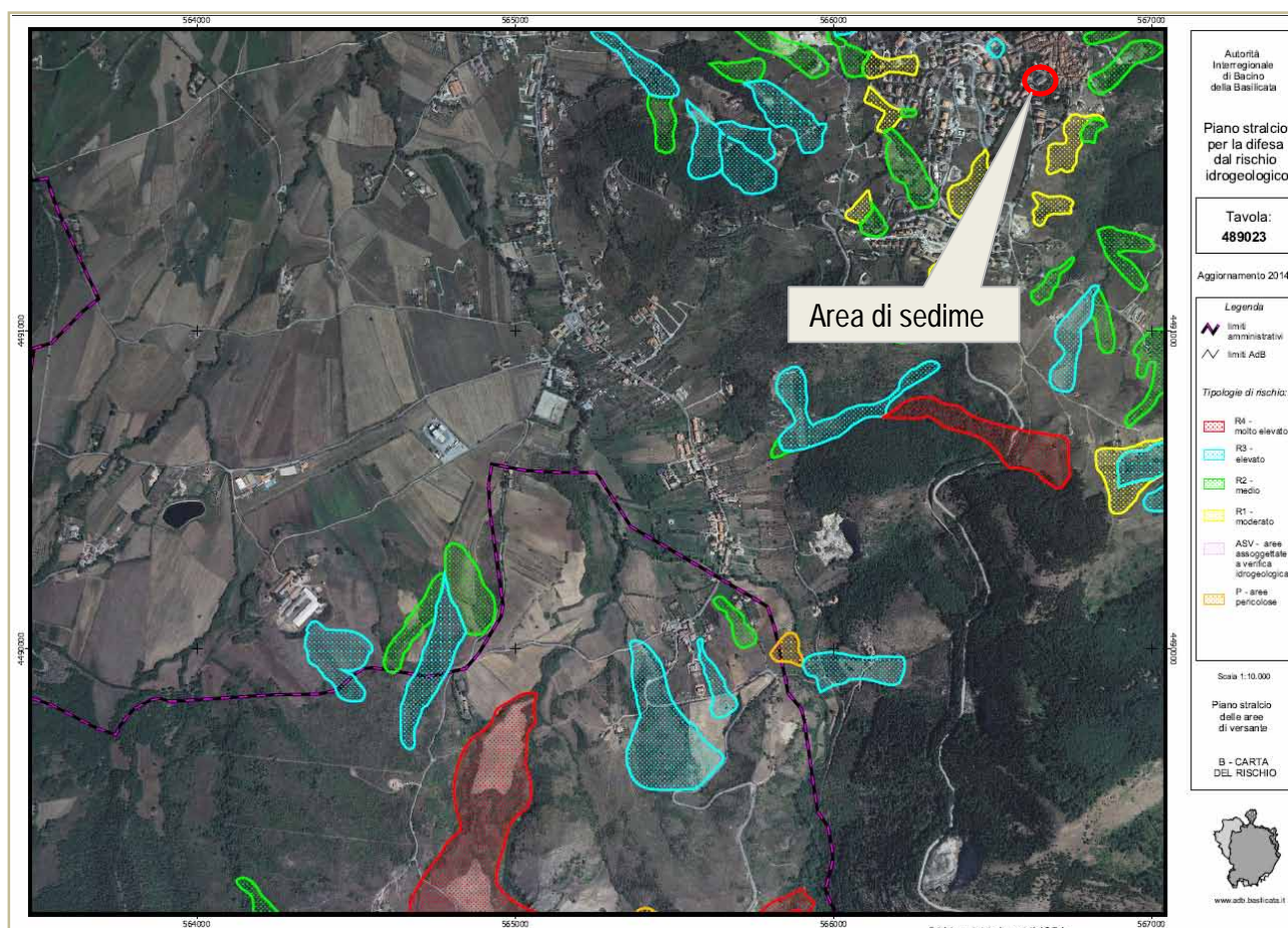


Fig. 02: Carta del Rischio Idrogeologico dell'AdB con l'individuazione del sito di interesse progettuale (cerchio rosso)

La consultazione della suddetta cartografia consente di escludere che tale area venga classificata come esposta a pericolosità e rischio da frana, né interessata da fenomeni di alluvionamento. Pertanto, **in riferimento alle norme d'attuazione del PAI dell'Autorità di Bacino della Basilicata, l'intervento previsto in progetto non è soggetto a particolari prescrizioni salvo quelle di rito.** Di conseguenza, si esprime giudizio positivo sulla sua fattibilità e compatibilità idrogeologica.

5. DESCRIZIONE DELL'INDAGINE GEOGNOSTICA ESEGUITA

Si descrivono di seguito le indagini geognostiche eseguite, la strumentazione utilizzata e le modalità operative. Le indagini sono state svolte in conformità a quanto disposto dal D.M. 14/01/2008 "Norme tecniche per le Costruzioni", oltre che secondo le modalità tecnologiche dell'ANISIG.

5.1 Sondaggio geognostico eseguito

Allo scopo di acquisire informazioni litostratigrafiche, geotecniche ed idrogeologiche utili per caratterizzare il volume significativo di sottosuolo interagente con l'opera in progetto, è stato eseguito n°1 sondaggio geognostico a carotaggio continuo, denominato **S1** della profondità di m 20.00 in cui sono stati prelevati n° 3 campioni indisturbati da sottoporre a prove ed analisi geotecniche di laboratorio. Nella tabella sottostante è riportato il sondaggio con la sigla d'identificazione, la data di realizzazione, la profondità d'investigazione e la ditta esecutrice.

Sigla sondaggio	Data di esecuzione		Profondità (m. dal p.c.)	Ditta esecutrice
	Inizio	Fine		
S1	31/01/2018	31/01/2018	20.00	Trivel Sondaggi srl

Tabella 1: Sondaggio meccanico

La perforazione adottata è stata a rotazione ed a carotaggio continuo, con metodo di avanzamento idraulico. L'utensile di perforazione utilizzato è stato il carotiere semplice, diametro nominale $\varnothing_{est} = 101$ mm, lunghezza utile $L = 300$ cm. E' altresì stata utilizzata la tubazione di rivestimento provvisorio (tubo-forma in acciaio, $\varnothing_{est} = 127$ mm) per evitare franamenti e/o chiusure del foro.

Nell'Allegato 02 si riporta la stratigrafia ricostruita a partire dall'analisi delle carote estratte durante la terebrazione del sondaggio ed il report fotografico delle cassette catalogatrici.

5.2 Prelievo di campioni

Durante la fase di perforazione del sondaggio geognostico, S1 sono stati prelevati rispettivamente n°03 campioni indisturbati per ogni verticale, identificati ed etichettati con le sigle C1-S1, C2-S1 e C3-S1, sottoposti ad analisi e prove geotecniche di laboratorio. La profondità di prelievo è stata condizionata dalla natura dei terreni in affioramento, nonché dal volume significativo dell'opera. Le rispettive profondità di campionamento sono riportate in tabella 2.

Sigla sondaggio	Sigla campione indisturbato	Profondità di prelievo (m. dal p.c.)	Laboratorio geotecnico
S1	C1; C2 e C3	2.40-2.80; 8.20-8.60; 12.50-12.80	Laborgio srl di Matera

Tabella 2: Prelievo di campioni

5.3 Indagini geofisiche

Come anticipato in premessa, è stata eseguita una campagna di indagini geofisiche costituita da:

- n°1 prospezione sismica a rifrazione in onde P (SR1) della lunghezza di 44 m;
- n° 1 prospezione sismica attiva MASW e passiva Re.Mi. eseguita sulla stessa linea sismica della prospezione SR1;
- n° 1 misura di microtremore ambientale a stazione singola (HVSr) della durata di 20 min.

L'interpretazione dei dati acquisiti in campagna ha consentito di ricavare il profilo sismostratigrafico relativo all'area di indagine, con suddivisione in strati aventi analoghe caratteristiche delle velocità di propagazione delle onde sismiche, nonché di effettuare la caratterizzazione sismica del sottosuolo in accordo con quanto previsto dal D.M. 14/01/2008.

Per tutto quanto attiene ai risultati delle indagini eseguite si rimanda all'Allegato 03, nel quale si riportano i relativi certificati e le modalità operative e strumentali.

Di seguito in Fig. 03 si riporta l'ubicazione delle indagini eseguite.



Fig. 03 Ubicazione delle indagini geognostiche eseguite e consultate

6. INQUADRAMENTO GEOLITOLOGICO DELL'AREA

La definizione litologica e stratigrafica dei terreni affioranti nell'area di studio, oltre alle indagini geognostiche dirette ed indirette appositamente eseguite, ha comportato l'estensione del rilevamento geologico di campagna ad un settore di versante più ampio rispetto a quello strettamente interessato dal progetto in epigrafe in quanto questo settore di versante è marcatamente urbanizzato.

La porzione di territorio investigata nella quale ricade il sito di progetto, compresa nel foglio 199 "Potenza" della Carta Geologica d'Italia alla scala 1:100.000, fa parte di un'area modellata su lembi di successioni sedimentarie marine della Serie Calcareo-Silico-Marnosa, riferibili all'Unità Lagonegrese di Monte Arioso. Qui, nello specifico, la Serie Calcareo-Silico-Marnosa è rappresentata in affioramento dalla formazione flyschoidale dei **Galestri** (Fig.04), deposta nell'intervallo temporale Cretaceo inferiore-medio. L'assetto litostratigrafico del sito è quello di seguito descritto:

a) **Materiali di riporto**

Sono stati rilevati nell'area adiacente l'edificio scolastico e trattasi di materiali di riempimento utilizzato per la regolarizzazione del profilo topografico e per la realizzazione dei piazzali. Si tratta essenzialmente di materiale proveniente dagli scavi di sbancamento eseguiti per la realizzazione dei fabbricati adiacenti e, in considerazione della loro provenienza, sono costituiti dai terreni rimaneggiati, assolutamente inconsistenti, caotici e, quindi, con caratteri di eterogeneità ed anisotropia, sia da un punto di vista litologico che fisico-meccanico. Inoltre, l'elevato tenore argilloso e lo scarso preconsolidamento, la scarsa resistenza per l'elevato grado di compressibilità e plasticità fanno ascrivere a tali materiali caratteri di pessimi terreni di fondazione e di conseguenza assolutamente se ne sconsiglia l'utilizzo per qualsiasi tipo di edificazione se non con l'impiego di idonee strutture fondali. Circa il loro spessore è di circa 2.00 m nella zona laterale al fabbricato, così come emerso dal sondaggio S1 eseguito.

b) **Substrato alterato: Formazione dei Galestri**

E' il terreno che affiora più diffusamente su tutta l'area indagata. Rappresenta il prodotto dell'alterazione chimica dei terreni del substrato integro, dell'azione antropica e dei processi morfoevolutivi (erosione areale) che marcatamente hanno interessato nei tempi non solo l'area in parola, ma buona parte dei versanti in cui affiora tale unità litologica. E' costituito da argille più o meno marnose scagliettate di colore principalmente marroncino, con intercalazioni di strati decimetrici di calcari o calcari-marnosi grigiastro-marroncino con segni di elevato grado di alterazione e

tettonizzazione. Circa il loro spessore, complessivamente, variando da luogo a luogo, è mal definibile e, comunque, non al disotto di una decina di metri di cui il primo metro risulta marcatamente alterato. Risultando il tutto alterato ed eterogeneo, l'elevato tenore argilloso, la scarsa resistenza per il discreto grado di compressibilità e plasticità fanno ascrivere a tali litotipi caratteri di mediocri terreni di fondazione. Chiaramente tali materiali non riguardano il sedime di appoggio dell'edificio ma sono rilevabili al suo contorno, per l'appunto, messi in opera per la regolarizzazione topografica dell'area.

c) Substrato: Formazione dei Galestri (Cretaceo inferiore-medio)

E' una formazione costituita da argilloscisti galestrini ed argille marnose fogliettate di colorazione grigiastra, verdastra o rossastra a cui s'intercalano marne e calcari silicizzati, calcilutiti e calcareniti a granulometria medio-fine. Le marne silicizzate presentano il tipico aspetto della pietra paesina, mentre le calcareniti presentano strutture riconducibili alla sequenza di Bouma. Nel complesso la formazione é riferibile ad un bacino di mare profondo interessato sia da sedimentazione emipelagica sia da torbiditi distali. Intensa è la tettonizzazione subita da questi terreni che è rilevabile dall'alto grado del loro scompaginamento e dalla fitta rete di fratture centimetriche che ripartiscono la roccia in clasti o blocchi. Le fratture sono quasi sempre riempite dalla frazione pelitica. Nell'area di sedime questi terreni affiorano a profondità molto variabile, anche dell'ordine di alcune decine di metri. Ciò perché l'andamento morfologico del Substrato varia da punto a punto in quanto dipendente da un'intensa azione di alcuni processi modellatori quali: fattori tettonici, le acque incanalate e quelle di corrivazione superficiale.

Strettamente all'area di sedime, la stratigrafia ricostruita dal sondaggio meccanico ha confermato in maniera puntuale l'assetto litologico locale così come di seguito riportato:

Sondaggio meccanico S1

La stratigrafia del sondaggio S1 indica uno spessore di m 2.00 di **Materiale di riporto** costituito da materiale caotico humificato, rimaneggiato, plastico per niente consistente, compressibile, costituito da argilla e limo con inclusi ciottoli prevalentemente calcarei e con molti resti carboniosi. Segue fino alla profondità di 13,80 m il **Substrato alterato** costituito da argille, argille marnose parzialmente destrutturate, alterate inglobanti clasti centimetrici di calcari marnosi grigiastri. La struttura solo a luoghi è apprezzabile. Nei livelli prevalentemente argillosi è marcata la plasticità che diminuisce dove la componente marnosa è prevalente. In generale comunque il tutto contribuisce a dotare questi terreni di una plasticità e compressibilità medio-bassa e media consistenza. A luoghi si intercalano

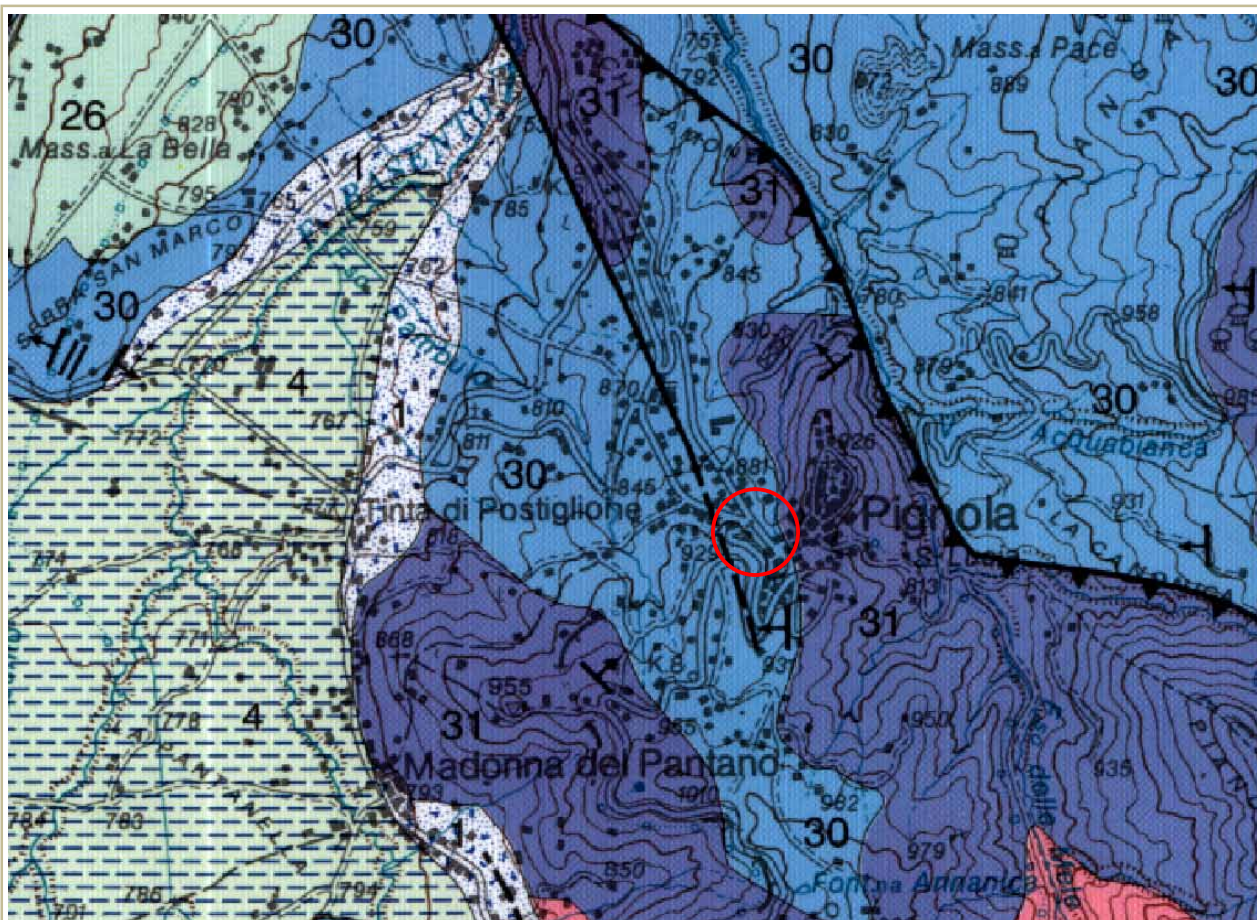
strati centimetrici di calcari e calcari marnosi fratturati. Nella parte alta del deposito sono presenti resti carboniosi. La colorazione è variabile dal giallastro al verdastro.

Il **Substrato alterato** poggia sul **Substrato s.s.**, terebrato fino a fondo foro (20.00 m dal p.c.). Quest'ultimo è costituito da alternanza di argille, argille marnose, marne argillose finemente scagliettate. Spesso si nota un'alternanza di livelli più marnosi a livelli più argillosi. La struttura a scagliette è per lo più caotica e non sempre apprezzabile tra le quali spesso si rileva una patina biancastra costituita da dickite. A più altezze si intercalano clasti centimetrici di marne calcaree o di calcari marnosi con venature di calcite. Generalmente le argille si presentano ben compatte, consistenti e poco plastiche. La colorazione è prevalentemente grigiastra con sfumature sul verdastro e rossastro. Alto è il grado di tettonizzazione subita da questi litotipi.

Durante l'esecuzione dei sondaggi non è stata rilevata presenza di acqua nei fori di sondaggio.

Per il dettaglio delle stratigrafie si rimanda all'Allegato 02, invece per la distribuzione areale della litologia alla **Carta Geologica** (Tav.3) dell'Allegato 01; per l'assetto litostratigrafico del sito alla Sezione Litotecnica (Tav. 07) nell'Allegato 01.

Di seguito si riporta lo stralcio della Carta Geologica della Lucania Centrale in scala 1:50.000 con ubicazione dell'area di versante in studio.



SUCCESSIONI LAGONEGRESI

Successione di Monte Arioso

30

GALESTRI. Marne calcaree e marne silicifere a radiolari e spicole di spugne, a frattura concoide, argilliti silicee fogliettate, in strati da centimetrici a decimetrici, grigio - azzurre, o se alterate, di colore ocraceo, calcilutiti, calcisiltiti e calcari siliciferi, in strati decimetrici. In subordine calcareniti gradate e laminare. Le microfaune significative sono costituite da *Protopenneroplis* sp., *Trocholina* spp. e rare calpionelle. Spessore 250 - 400 metri. **CRETACEO**.

31

SCIISTI SILICEI. Radiolariti e diaspri, rossastri, verdastri e grigi, in strati centimetrici, alternati ad argilliti silicee rosse, in straterelli centimetrici e, in subordine, marne calcaree e marne silicifere, calcisiltiti, calcareniti silicizzate e brecciole calcaree; le brecciole rappresentano gli unici livelli fossiliferi costituiti da piastre di echinidi, lamellibranchi, brachiopodi (*Pygope* sp.) e coralli; nella porzione più silicea sono presenti abbondanti radiolari e spicole di spugne. Spessore 150 - 220 metri. **GIURASSICO**.



Faglie (linee tratteggiate ove presunte;
le frecce, ove presenti, indicano la
componente orizzontale del movimento)

Fig.04: Stralcio della Carta Geologica della Lucania Centrale - Appennino Meridionale con l'individuazione del sito in esame (cerchio rosso)

7. CARATTERI GEOFISICI DEI TERRENI

Come già accennato, unitamente alle indagini geognostiche di tipo diretto e puntuali, al fine di integrare i sondaggi a carotaggio continuo per definire profondità e geometrie del rifrattore/i e per valutare la risposta sismoelastica di differenti tipologie di terreno, sono state eseguite:

- n°1 prospezione sismica a rifrazione in onde P (SR1) della lunghezza di 44 m;
- n° 1 prospezione sismica attiva MASW e passiva Re.Mi. eseguita sulla stessa linea sismica della prospezione SR1;
- n° 1 misura di microtremore ambientale a stazione singola (HVSr) della durata di 20 min.

Di seguito sono riportati i risultati emersi dalle indagini geofisiche.

7.1 Risultanze del rilievo sismico SR1 in onda P

Il profilo sismico, denominato SR1, è stato realizzato nell'area di interesse con l'intento di ricostruire l'andamento sismostratigrafico del sottosuolo ed individuare lo spessore di ogni singolo sismostrato.

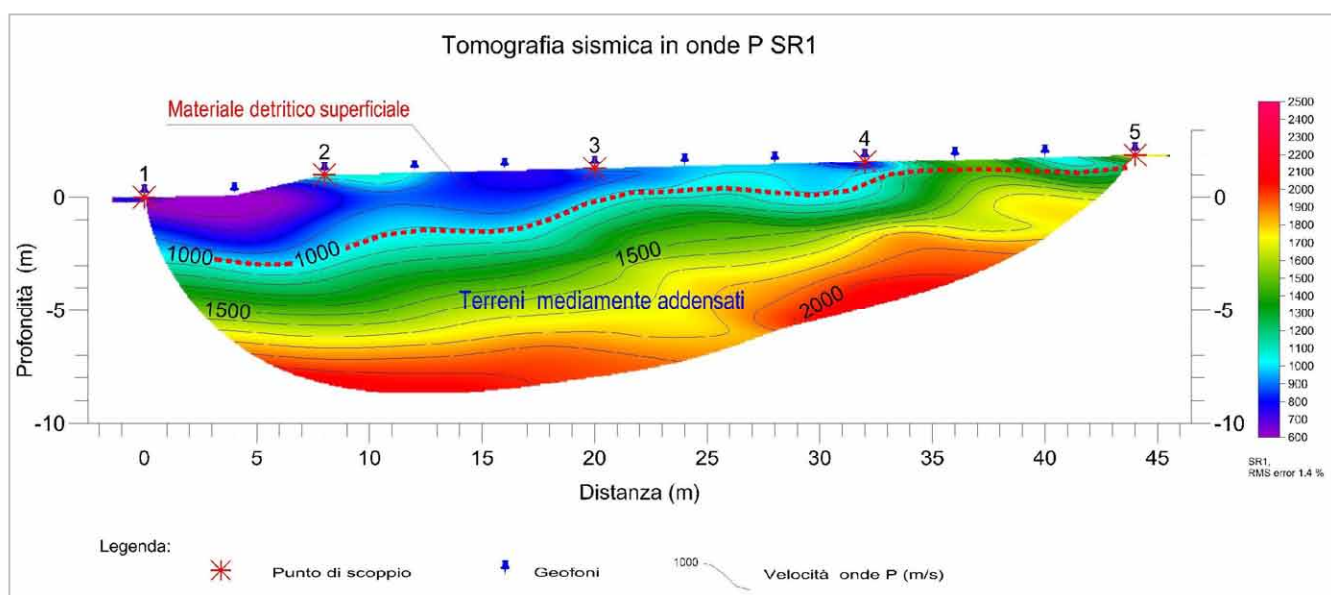
La **Sismosezione SR1, eseguita in onde P** (l. 44,0 m) evidenzia la presenza di due unità geosismiche di cui di seguito si procede a darne una interpretazione basata sui valori delle velocità delle onde sismiche misurate, ma la cui lettura deve essere effettuata anche in relazione alla situazione litologica e stratigrafica locale:

- Il **primo sismostrato**, quello più superficiale, ha uno spessore variabile da 1,30 a 3,40 metri, con velocità delle onde P compresa tra 600 e 1000 m/s, riferibile a terreni superficiali areati, sciolti o poco addensati ascrivibili, nel contesto litologico dell'area, a materiale di riporto e a terreni detritici superficiali maggiormente alterati e decompressi;
- Segue fino alla profondità di investigazione di circa 10 m un **secondo sismostrato**, caratterizzato da una velocità V_P di 1000 - 2000 m/s, riferibile a depositi maggiormente compatti e addensati, che presentano un incremento delle caratteristiche sismo-elastiche con la profondità, e caratterizzato da discrete proprietà geotecniche.

Dall'analisi della sismosezione ottenuta mediante inversione tomografica della prospezione sismica SR1, è possibile fare delle considerazioni in chiave litostratigrafica lungo tutto il profilo investigato. In particolare, dalla tomografia sismica SR1 si evince che il primo sismostrato è caratterizzato da velocità delle onde sismiche di tipo P piuttosto basse (600-1000 m/s), presenta uno spessore variabile da 1,3 m nella zona di monte a 3,4 m nella zona di valle lungo via Garibaldi, ed è riferibile a materiale di riporto e a depositi detritici superficiali maggiormente alterati e decompressi. Nonostante per l'esecuzione del profilo sismico sia stato sfruttato tutto lo spazio a disposizione lungo il prospetto sud-

occidentale della scuola, lo stendimento si è sviluppato su una lunghezza di 44 m a cui corrisponde una profondità d'investigazione di circa 10 m dal p.c. Entro tale profondità, sono state rilevati segnali sismici afferenti ad un secondo sismostrato caratterizzato da velocità delle onde sismiche comprese tra 1000 e 2000 m/s che presenta un andamento inclinato ma piuttosto regolare delle linee di isovelocità, indice di una omogeneità verticale delle caratteristiche sismoelastiche e del grado di addensamento dei materiali, quest'ultimi riferibili a depositi mediamente addensati e con discrete caratteristiche geotecniche che tendono ad aumentare con la profondità.

Di seguito si riporta la sismosezione scaturente dall'elaborazione tomografica del rilievo sismico SR1:



7.2 Calcolo Vs30: Prospezione sismica MASW e Re.Mi.

Per la caratterizzazione sismo-stratigrafica del sottosuolo è stata condotta un'indagine geofisica del tipo attiva MASW e passiva Re.Mi. (cfr. All.03). Le misure sismiche sono state eseguite su n°01 stendimento della lunghezza di 44 m.

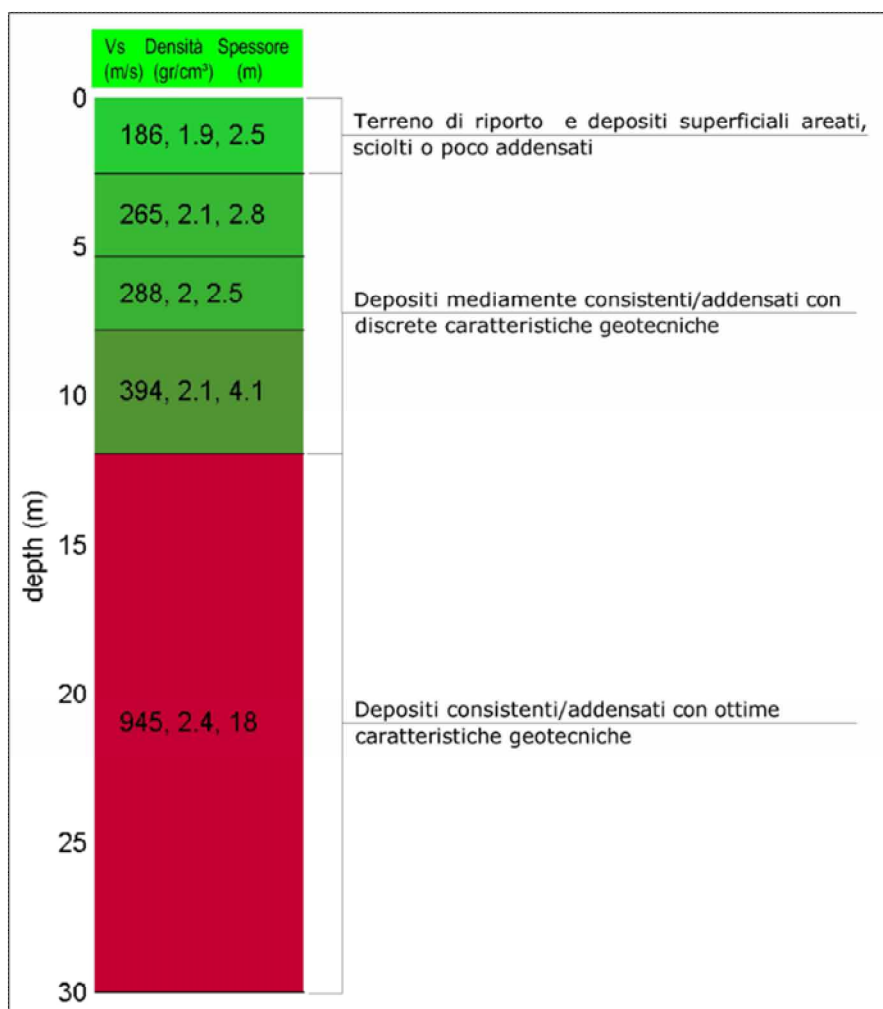
L'analisi della curva di dispersione derivata ha messo in evidenza l'esistenza di sismostrati le cui caratteristiche dinamico-elastiche migliorano dall'alto verso il basso stratigrafico secondo il modello "medio" descritto nei paragrafi seguenti, e la cui interpretazione è basata sui valori delle velocità delle onde sismiche rilevate, ma la cui lettura deve essere effettuata anche in relazione alla situazione litologica e stratigrafica locale.

L'analisi della dispersione delle onde di Rayleigh a partire dai dati di sismica attiva e passiva ha consentito inoltre di determinare il profilo verticale della V_s (e dei moduli dinamici) e, di conseguenza, del parametro V_{s30} , risultato pari a **482 m/s**. Partendo dai dati ottenuti, in riferimento al D.M. 14 gennaio 2008, la **categoria del suolo di fondazione** ricavata dai valori della velocità media delle

onde di taglio nei primi 30 m di sottosuolo (V_{s30}) è la **B**: "Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e valori del V_{s30} compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina)".

In tabella e in figura sottostante sono riportati gli strati del modello medio individuato a partire dal p.c.:

Spessore (m)	V_s (m/s) e deviazioni standard
2.50	186
2.80	265
2.50	288
4.10	394
semi-spazio	945



Sintetizzando, il modello sismostratigrafico del sottosuolo è assimilabile a tre unità geosismiche di cui di seguito si procede a darne una interpretazione basata sui valori delle velocità delle onde sismiche rilevate, ma la cui lettura deve essere effettuata anche in relazione alla situazione litologica e stratigrafica locale:

- Il **primo sismostrato** ha uno spessore di 2,50 m, con velocità delle onde S di 186 m/s, indice di depositi areati, sciolti o poco addensati, ascrivibili a materiale di riporto e/o terreno superficiale maggiormente alterato e decompresso;
- Il **secondo sismostrato** presenta uno spessore di 9,40 m con velocità Vs compresa tra 265 e 394 m/s e corrisponde a depositi mediamente consistenti/addensati con discrete caratteristiche geotecniche che tendono ad aumentare gradualmente con la profondità;
- Segue, a profondità maggiori di 11,90 m e fino alla profondità di investigazione di oltre 30 m dal p.c., un **terzo sismostrato** caratterizzato da velocità delle onde di taglio di 945 m/s riferibile a un deposito molto consistente con ottime caratteristiche geotecniche (bedrock sismico).

A partire dai valori di velocità delle onde sismiche V_s (m/s) determinate con la prospezione sismica MASW e Re.Mi., ed adottando opportuni valori del peso di volume γ (Kg/m³) e del coefficiente di Poisson μ rappresentativi dei litotipi presenti, è stato possibile inoltre stimare attraverso relazioni teoriche, i moduli dinamici del sottosuolo per ogni orizzonte sismico individuato. La velocità delle onde P, è stata ricavata indirettamente dalla velocità delle onde S, pertanto il suo valore così come quello dei moduli ad essa direttamente correlati, deve essere utilizzato nei calcoli ingegneristici con le dovute approssimazioni.

Parametri fisici e dinamici medi del sottosuolo investigato									
Strato	Spessore	Vp	Vs	γ	μ	E _d	R	G ₀	K
		m/s	m/s	gr/cm ³	(-)	Kg/cm ²	T/m ² *s	Kg/cm ²	Kg/cm ²
I°	2.50	800	186	1.8	0.47	1833	335	623	10690
II°	9.40	1500	324	1.9	0.48	5886	616	1995	40091
III°	-	3200	945	2.0	0.45	51875	1890	17861	180986

V_p= velocità onde P (m/s); **V_s**= velocità onda S (m/s), **γ** = densità (g/cm³); **μ** = coeff. di Poisson; **E_d**= Modulo di Young dinamico (Kg/cm²); **R**= rigidità sismica (T/m²*s); **G₀**=Modulo di taglio dinamico (Kg/cm²); **K**=Modulo di incompressibilità (Kg/cm²)

7.3 Misura di microtremori a stazione singola (HVSr)

Congiuntamente alla indagini sismiche eseguite in array, in corrispondenza dell'edificio scolastico in epigrafe è stata acquisita una misura di microtremore a stazione singola della durata di 20 minuti

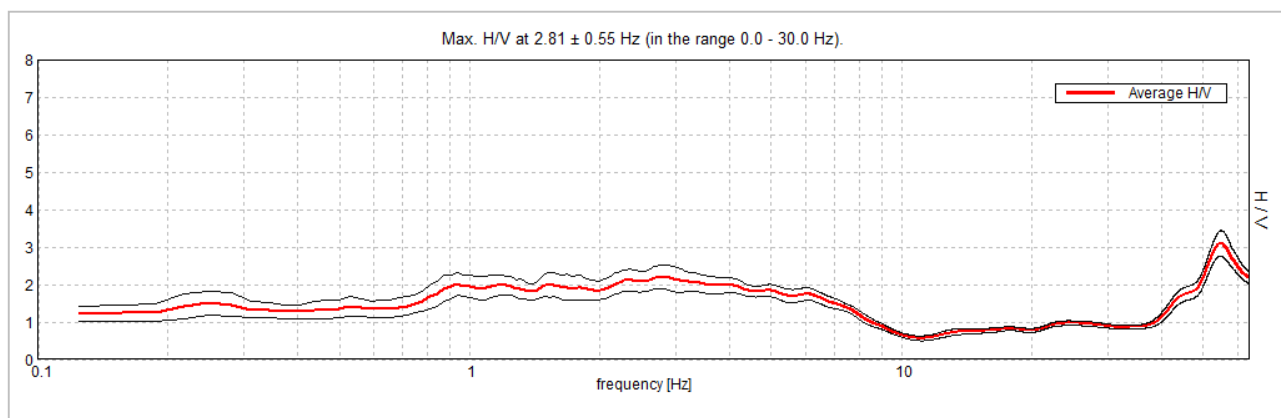
eseguita con tromografo digitale progettato specificamente per l'acquisizione del rumore sismico (TROMINO® Zero). Nella tabella che segue, si riportano i principali risultati della misura di rumore ambientale eseguita.

ID MISURA HVSr	Frequenza Picco (Hz) Range 0.00 - 30.0 Hz
HVSr 1	2.81

Dall'esame del dato di sintesi fornito, è possibile fare le seguenti considerazioni:

Le curve HVSr ottenute dalle misure di rumore sismico ambientale, mostrano un modo di oscillazione fondamentale del terreno, strettamente dipendente dagli spessori degli strati che creano impedenza sismica, per valori frequenza riportata nella tabella precedente. Dall'analisi della misura eseguita si evince che non esiste un vero e proprio picco di risonanza con forma ben definita (non ci sono massimi significativi nell'intervallo 0.1-30 Hz), ma esiste un'inflessione verso l'alto della curva H/V in una banda larga di frequenza indice di transizioni graduali dell'impedenza sismica dovuto ad un aumento graduale della velocità delle onde S e della densità dei litotipi. Questo non significa che non ci siano risonanze importanti, ma solo che queste non avvengono lungo una superficie ben definita e ad una frequenza specifica.

In particolare dalla misura denominata **HVSr1** si evince un pronunciamento del rapporto H/V con ampiezza di circa 2 in una banda di frequenza compresa tra 1.0 e 4.0 Hz, (ampiezza massima a frequenza di 2.81 Hz), dovuta a deboli contrasti di impedenza per condizioni litologiche, che sulla base delle velocità delle onde sismiche registrate dalla prospezione sismica MASW –Re.Mi., si originano ad una profondità di circa 20 m.



8. DEFINIZIONE DEL MODELLO GEOTECNICO E DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Come anticipato in premessa, al fine di parametrizzare il comportamento geotecnico dei terreni di sedime, sono stati sottoposti ad analisi geotecniche di laboratorio n°3 campioni indisturbati prelevati nel corso del sondaggio geognostico S1 eseguito. Si è fatto anche riferimento a tutti i dati ed alle esperienze geotecniche maturate dallo scrivente sulla stessa tipologia di terreno.

Infatti si sottolinea che, nel caso delle analisi numeriche convenzionali, in ragione del fatto che sensibili cadute di resistenza possono verificarsi con scorrimenti anche piccoli, l'utilizzo tal quale dei parametri di resistenza di picco, ricavati dalle prove di laboratorio su provini di materiale intatto, è stato fatto con cautela. A tale proposito, quindi, è risultato opportuno fare riferimento e confronti con parametri di resistenza "operativi", stimati sulla base di indicazioni di letteratura e tarate sui risultati di "*back analysis*" (Skempton, 1977; Tavenas & Leroueil, 1981). Quindi, una volta analizzati tutti i parametri geotecnici a disposizione, tenendo conto che i parametri fisico-meccanici ricavati in laboratorio geotecnico si riferiscono a singoli campioni indisturbati, che i terreni di sedime presentano eterogeneità ed anisotropia granulometrica sia verticale che laterale, operativamente nelle verifiche geotecniche si è preferito attribuire i valori numerici non alla scala di singolo campione indisturbato (dato puntuale), ma piuttosto alla scala di "affioramento" e, cioè, tenendo conto della litologia complessiva, della giacitura degli strati, dell'idrogeologia, delle pendenze, del contesto morfoevolutivo e tettonico, e della eventuale presenza di discontinuità primarie (giunti di stratificazione) e secondarie (giunti e fessurazioni a geometria discontinua lungo i quali la coesione è praticamente nulla, sia che essi siano lisci, sia che siano scabri). In tal modo, si è pervenuti alla definizione di un modello geotecnico per il quale sono state distinte delle unità geotecniche in relazione alle intrinseche caratteristiche litologiche, di resistenza al taglio e di deformabilità.

Di seguito si riporta la tabella riassuntiva dei risultati delle analisi fisico-meccaniche di laboratorio effettuate sui tre campioni di terreno prelevati nel sondaggio S1, realizzato nell'area di sedime:

QUADRO RIASSUNTIVO E INTERPRETATIVO DELLE ANALISI GEOTECNICHE
Verifica della vulnerabilità sismica della "Scuola Elementare Giovanni XXIII" sita in Via Garibaldi nel Comune di Pignola (PZ)

Sond.	Camp.	Profondità m	W %	γ_v KN/m ³	γ_d KN/m ³	γ_{sat} KN/m ³	γ_s KN/m ³	e	n %	Sr %	Ghiaia %	Sabbia %	Limo %	Argilla %	LL %	LP %	IP %	TRX UU cu KN/m ²	TG CD c KN/m ² φ°	EDOMETRICA P (KPa) - Ed (kPa)	CNR-UNI 10006
1	1	2.40 - 2.80	33.60	17.72	13.26	18.35	27.01	1.036	50.89	87.6	5.42	21.57	44.79	28.22	54	39	15		9.46 - 20.4°	24.52	A - 7 - 5 MH
																				49.03	
																				98.07	
																				196.13	
																				392.27	
																				784.56	
																				1569.06	
																				3138.13	
1	2	8.30 - 8.60	26.85	18.03	14.21	18.97	27.10	0.907	47.55	80.3	6.44	18.02	45.76	29.78	50	34	16		13.44 - 22°	24.52	A - 7 - 5
																				49.03	
																				98.07	
																				196.13	
																				392.27	
																				784.56	
																				1569.06	
																				3138.13	
1	3	12.50 - 12.80	17.76	19.56	16.61	20.47	27.03	0.627	38.55	76.5	4.54	19.62	46.23	29.62	45	29	16		17.78 - 22.6°	24.52	A - 7 - 6 ML
																				49.03	
																				98.07	
																				196.13	
																				392.27	
																				784.56	
																				1569.06	
																				3138.13	

Legenda:

W= Umidità naturale - γ_v = Peso di volume naturale - γ_d = Peso di volume secco - γ_s = Peso specifico - e= Indice dei vuoti - n= Porosità - Sr=Grado di saturazione - γ_{sat} =peso di volume saturo - LL= Limite liquido
L.P.= Limite plastico - IP= Indice plastico - c=Coesione - cu=Coesione non drenata - φ = Angolo di attrito interno P=Pressione sul provino - Ed= Modulo edometrico

A seguire, si riportano i valori dei *parametri geotecnici caratteristici* ai sensi del punto 6.2.2 del D.M. 2008 NTC:

▪ **Materiale di riporto** (da 0.00 m a 2.50 m dal p.c.)

γ_n k (t/m ³)	γ_{sat} k (t/m ³)	φ'_k (gradi)	C'_k (t/m ²)	Cu_k (t/m ²)	Ed'_k (kg/cm ²)	μ
1.75	1.85	18	0.00	0.50	30.00	0.47

▪ **Substrato alterato** (da 2.50 m a 14.00 m dal p.c.)

γ_n k (t/m ³)	γ_{sat} k (t/m ³)	φ'_k (gradi)	C'_k (t/m ²)	Cu_k (t/m ²)	Ed'_k (kg/cm ²)	μ
1.90	1.98	23	1.50	14.00	130.00	0.48

▪ **Substrato (Galestri)** (da 14.00 m a 20.00 m dal p.c.)

γ_n k (t/m ³)	γ_{sat} k (t/m ³)	φ'_k (gradi)	C'_k (t/m ²)	Cu_k (t/m ²)	Ed'_k (kg/cm ²)	μ
2.00	2.10	26	2.50	18.00	200.00	0.45

Legenda:

γ_n k (gr/cm³): Peso dell'unità di volume; γ_{sat} k (gr/cm³): Peso dell'unità di volume saturo; φ'_k (gradi): Angolo di attrito interno; C'_k (t/m²): Coesione consolidata-drenata; Cu_k (t/m²): Coesione non consolidata-non drenata; Ed'_k (kg/cm²): Modulo Edometrico; μ : Coefficiente di Poisson.

9. CARATTERI IDROGEOLOGICI DEI TERRENI

I terreni presenti nell'area di interesse progettuale sono dotati di caratteristiche idrogeologiche differenziate in rapporto alla composizione granulometrica, alla porosità, al grado di consistenza, alla fratturazione/fessurazione, alla litologia ed alla stratigrafia. Pertanto, si possono individuare due principali complessi idrogeologici:

- **Complesso idrogeologico I:** è rappresentato dal substrato riferibile alla formazione dei Galestri, che è costituita da facies diverse (marnose, marnoso-argillose, calcareo-marnose). E' da considerarsi poco permeabile per porosità e fratturazione/fessurazione, infatti, trattandosi di un complesso litologicamente eterogeneo, la facies argillosa, anche se dotata di alta porosità primaria, è praticamente impermeabile a causa delle ridottissime dimensioni dei pori nei quali l'acqua viene fissata come acqua di ritenzione. Ne deriva una circolazione nulla o trascurabile. Trattandosi di argilla, anche se comunque soggetta a fenomeni di fessurazione in quanto sovraconsolidata, tende a richiudere rapidamente le discontinuità con un comportamento di tipo plastico. La facies lapidea, invece, è dotata di una discreta porosità secondaria, causata da numerosi fenomeni tra i quali primeggiano quelli tettonici e chimico-dissolutivi a cui contribuiscono considerevolmente i giunti di stratificazione. Tale porosità secondaria contribuisce a dotare la facies di discreta permeabilità. Nell'insieme, però, il complesso litologico, è da considerarsi, come accennato scarsamente permeabile, in quanto la permeabilità dei livelli lapidei è in parte o del tutto controllata dalla frazione argillosa che, non di rado, va a riempire le discontinuità (fratture) degli strati lapidei rendendoli poco permeabili a cui corrisponde un valore del coefficiente di permeabilità dell'ordine di $K = 10^{-7} - 10^{-8}$ m/s.
- **Complesso idrogeologico II:** è rappresentato dai **Materiali di Riporto** e dal **Substrato alterato**, da ritenersi discretamente permeabile per porosità (a cui è possibile attribuire un coefficiente di permeabilità dell'ordine di $K = 10^{-5} - 10^{-6}$ m/s); in generale l'assorbimento delle acque meteoriche è funzione della percentuale di matrice fine e della granulometria degli elementi litici. La caoticità dei Materiali di Riporto e le naturali caratteristiche litologiche, il disfacimento fisico-meccanico dovuto agli agenti atmosferici, lo scarso grado di consistenza del Substrato alterato, fanno sì che ci sia infiltrazione delle acque meteoriche e la conseguente alimentazione della circolazione idrica superficiale. In questi terreni, infatti, si è notata una modesta umidità diffusa, certamente alimentata dalla meteorologia del sito. E' da evidenziare che il deflusso idrico ha una stretta dipendenza con la morfologia superficiale: l'area oggetto di studio è collocata nella parte alta del versante, da dove

le acque meteoriche corrivano in superficie lungo la direzione di massima pendenza, defluendo verso valle e permeando solo in parte i terreni suddetti. Gli effetti prodotti dalle acque filtranti in tali terreni sono molteplici e riconducibili soprattutto al conseguente loro comportamento fondazionale in condizioni statiche e dinamiche; infatti, i cicli di imbibizione e di essiccamento conseguenti alla variazione stagionale del contenuto naturale in acqua producono fenomeni di "allentamento", ammorbidimento e rigonfiamento (weakening e softening), con perdita dei legami intermolecolari, a scapito della "coesione" e dell'"angolo di attrito". Questo fenomeno assume rilevante importanza nell'interazione geotecnica fondazione-terreno ed in termini di stabilità. E' anche da sottolineare che tali materiali, in generale, sono soggetti a regimi transitori delle pressioni interstiziali indotti da variazioni repentine di carico. Eventuali effetti di sovrappressioni neutre si dissipano in modo abbastanza lento, facendo sì che ogni variazione di stato tensionale al contorno non si traduca istantaneamente in tensioni efficaci. Strettamente all'area di sedime è da sottolineare che, ricadendo all'interno del centro abitato, il tutto è urbanizzato e, quindi, artificialmente impermeabilizzato con piazzali, strade, e fabbricati. **Alla luce di tali considerazioni, a favore di sicurezza, si considererà l'effetto della falda intesa in termini di sovrappressioni neutre in ambiti superficiali, circa m. 2.00/3.00 dal p.c. ed interessante solo i Materiali di riporto e il Substrato alterato.**

10. CARATTERIZZAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ SISMICA DEL SITO

Il Comune di Pignola è stato interessato da un'attività sismica intensa, sia per fenomeni di risentimento che per fenomeni ivi avvenuti. Dal database macrosismico italiano "DBMI11" (2011) redatto dall'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), relativo alle osservazioni macrosismiche di terremoti di area italiana al di sopra della soglia del danno, emerge quanto esposto nella figura 5, in cui viene visualizzata la storia sismica di Pignola.

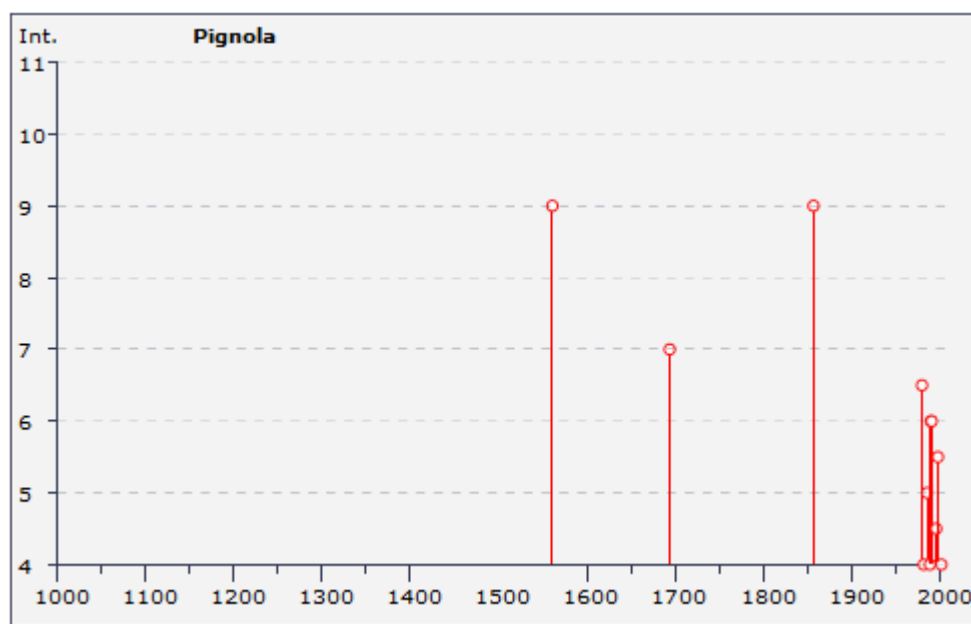


Fig. 05: Diagramma della storia sismica di Pignola

Il Comune di Pignola ricade in **Zona sismica 1**, secondo il D.M. 14/09/2005 ai sensi dell'all.1 dell'O.P.C.M. n. 3274/2003 in materia di classificazione sismica del territorio nazionale. Secondo la nuova zonazione sismica della L.R. 9/2011 e s.m.i., è classificato come zona **1b**, a cui è attribuito il valore di PGA di **0.275 g**.

10.1. Modello sismico e stima della pericolosità sismica del sito

Il progetto riguarda la verifica della vulnerabilità sismica di una scuola. L'opera è, pertanto, di **classe d'uso III** (secondo la definizione del cap.2.4.2 delle NTC 2008), da cui deriva il **coefficiente d'uso $C_u = 1.50$** .

Al fine della caratterizzazione delle azioni sismiche cui al paragrafo 3.2 del NTC 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008) e della definizione delle forme spettrali in base ai parametri correlati al reticolo di riferimento, si riporta quanto segue:

- **Classificazione della categoria di sottosuolo:**

Sulla base delle prospezioni sismiche consultate è stato possibile determinare, in accordo a quanto contenuto nella tab. 3.2.II delle NTC 2008, la categoria di sottosuolo che per l'area in esame è di tipo **"B"**.

- **Classificazione delle condizioni topografiche:**

La **categoria topografica** è la **T1**, a cui corrisponde un valore del **coefficiente di amplificazione topografica S_T pari a 1.00**, come indicato nella tab. 3.2.VI delle NTC 2008.

In considerazione che si tratta di una struttura ricadente tra quelle di **classe d'uso III** si è proceduto ad uno Studio di Microzonazione Sismica di III Livello, al fine di fornire una valutazione della pericolosità sismica locale attraverso un'approfondita analisi dell'amplificazione di sito, sulla base del modello sismo-stratigrafico-geotecnico descritto negli elaborati geologici che accompagnano il progetto.

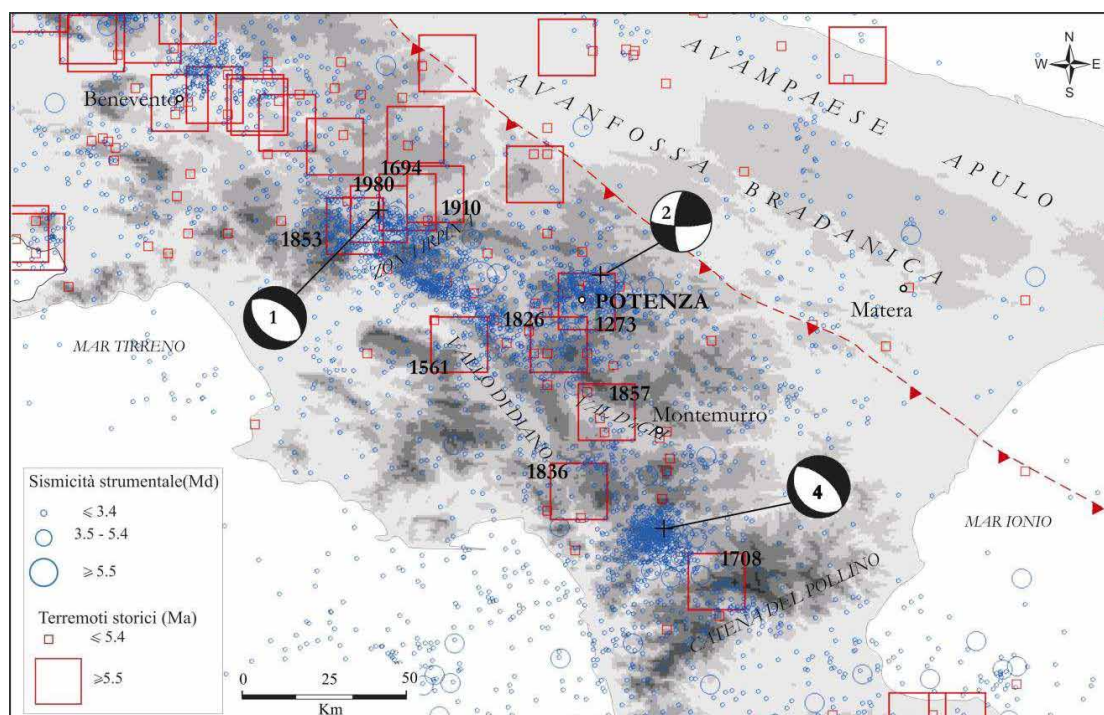
Si è proceduto secondo le direttive della vigente normativa nazionale emanate nel **D. M. del 14-01-2008 "Norme tecniche per le costruzioni"** e **Circolare 2 febbraio 2009, n. 617 del C. S. LL. PP.** – Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni"; e regionale emanate nella **Delibera Consiglio Regionale n. 575 del 4 agosto 2009** -Istruzioni tecniche per l'applicazione del "Regolamento per l'esecuzione dei controlli – Regolamento di attuazione della L.R. n. 38 del 06 agosto 1997 – Norme per esercizio delle funzioni regionali in materia di difesa del territorio dal rischio sismico" e **L.R. n. 9 del 07 giugno 2011 "Disposizioni urgenti in materia di microzonazione sismica"**.

10.2. Pericolosità sismica di base

10.2.1 Sismicità storica

La sismicità dell'Appennino Campano-Lucano presenta una attività sismica tra le più importanti dell'intera penisola sia in termini di intensità che di frequenza di eventi sismici. Sia i dati di sismicità storica che strumentale, desunti dalla letteratura, sono concordi nell'indicare che il settore dell'Appennino Campano-Lucano è attualmente in fase di deformazione sismica attiva (AMATO & MONTONE, 1997; FREPOLI & AMATO, 2000a e b; GASPARINI et al., 1985; MONTONE et al., 1997 e 1999) ed è concentrata in una fascia che corre a cavallo della catena di larghezza pari a 30-40 km. L'Appennino Campano-Lucano, negli ultimi anni, è stato caratterizzato da alcune sequenze sismiche significative che hanno colpito la zona del potentino (maggio 1990 e maggio 1991), l'area

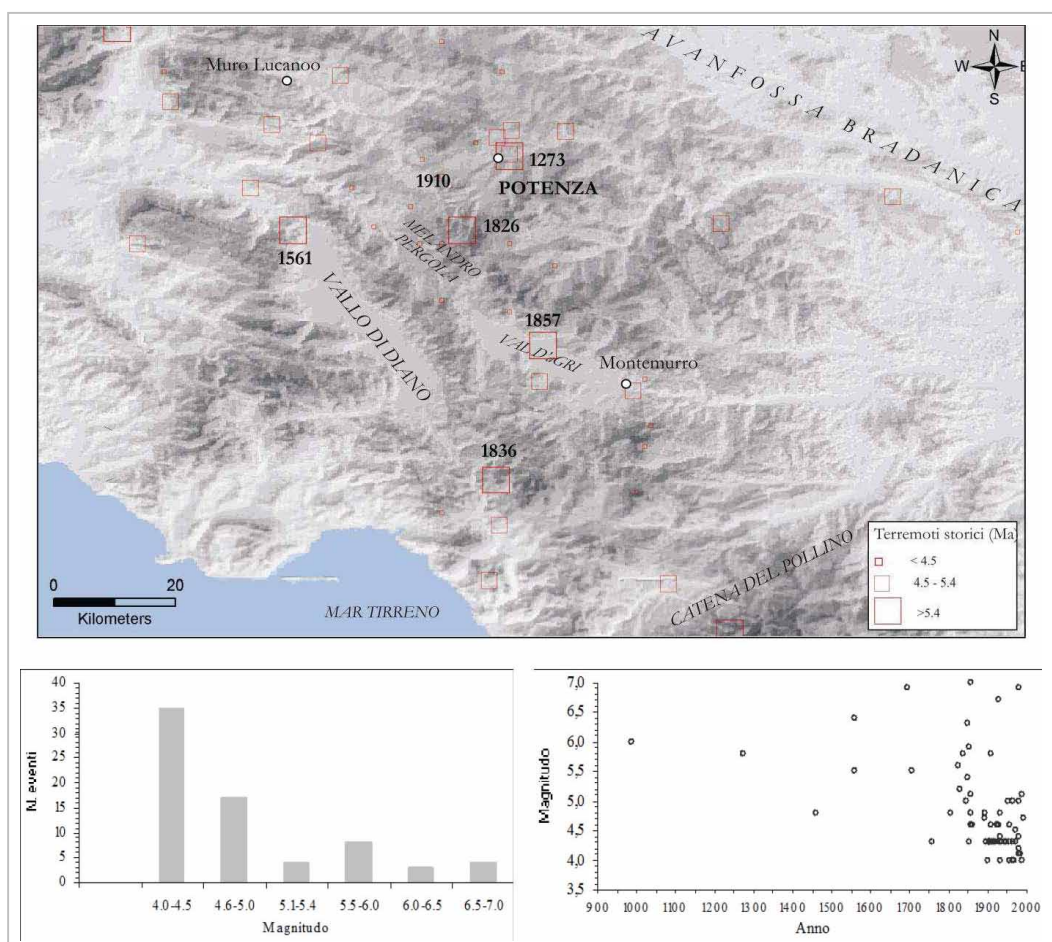
settentrionale del Pollino (settembre 1998) e l'area del Melandro-Pergola (aprile 2002). Questa porzione di catena presenta una diversa distribuzione dell'attività sismica che contraddistingue ciascun dominio geologico-strutturale del territorio lucano. Si ha una scarsa sismicità nella porzione orientale (fossa Bradanica fino al Mar Ionio) ed una predominanza di eventi nella zona di catena, con relativi addensamenti in tre distinte aree: area potentina (a nord-est); zona irpina (a nord-ovest) ed area del pollino (a sud).



L'area presenta una complessa articolazione tettonica dovuta all'attività di sistemi coniugati di faglie che bordano i bacini intramontani che si rispecchia nell'alto livello di sismicità dell'area. Il carattere sismo-tettonico prevalente è circa NW-SE legato a grossi sistemi di faglie normali e trasversali disposte longitudinalmente alla catena. Infatti, i terremoti di magnitudo elevata sono ubicati in catena e sono associati a strutture tettoniche distensive generalmente situate in corrispondenza delle depressioni quaternarie intermontane. L'area di catena è caratterizzata da un campo di stress attivo normale dedotto sia dai meccanismi focali dei terremoti (FREPOLI & AMATO, 2000°, b; GASPARINI et al., 1985; PONDRELLI 1998; 2002; MONTONE et al., 1999a) sia dall'analisi dei borehole breakout (AMATO et al., 1995, MONTONE et al., 1994 e 1997) e dagli studi geologico-strutturali (ESPOSITO et al., 1988; MARTURANO et al., 1988; PORFIDO et al., 1988; PANTOSTI & VALENSISE 2001; BENEDETTI, 1999; GALADINI et al., 2000; CELLO et al., 2003).

Negli ultimi tre secoli l'Appennino Campano-Lucano è stato caratterizzato da una considerevole attività sismica espressa da ben otto terremoti che possono essere paragonati all'energia liberata dal terremoto dell'Irpinia (23/11/1980). Dal Catalogo dei Forti Terremoti Italiani (BOSCHI et al., 1995;

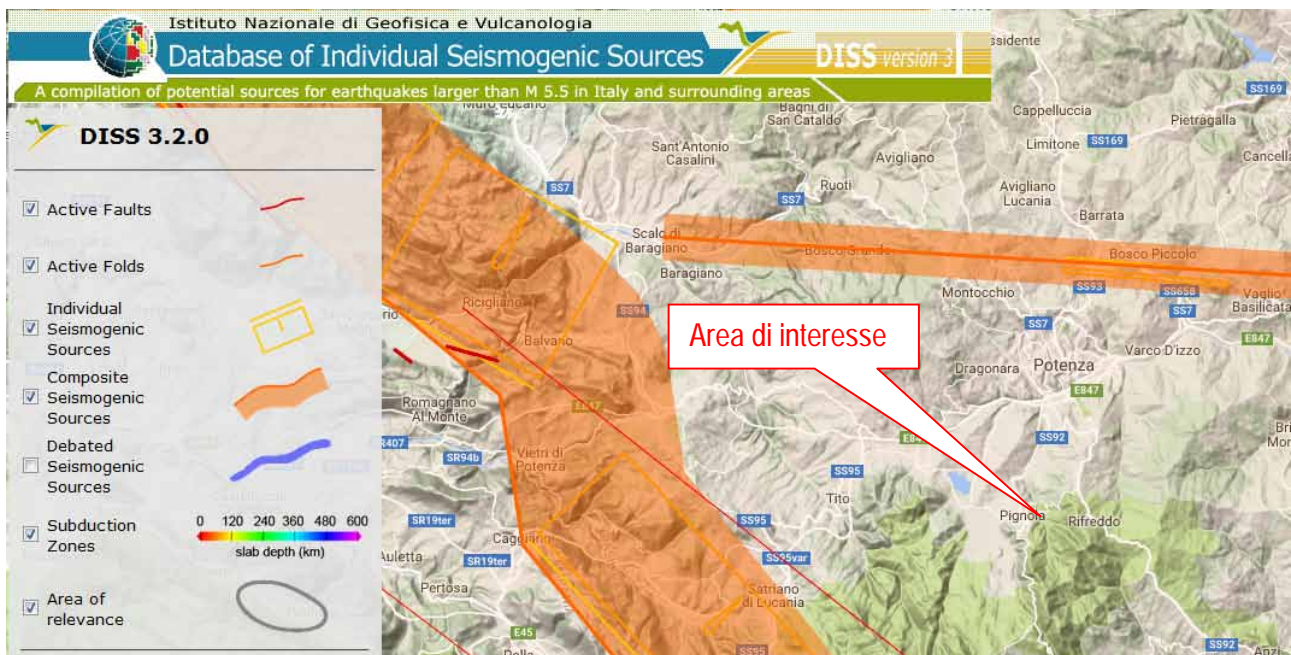
1997) ed dal Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (BOSCHI et al., 1999) per un arco di tempo complessivo di mille anni si evince che l'Appennino Lucano è caratterizzato da numerosi terremoti distruttivi e che comprende le zone sismicamente più attive d'Italia sia per frequenza sia per l'elevata intensità degli eventi. Complessivamente l'area è stata colpita da 71 eventi di cui 15 con $M \geq 5.5$ pari al 20% della sismicità storica complessiva, mentre dal XIX secolo fino alla fine del Catalogo sono accaduti 9 eventi di $M \geq 5.5$. Il XIX secolo è stato caratterizzato da importanti terremoti (Tito 02/01/1826; Rivello 01/02/1831; Lagonegro 11/20/1836; Vulture 08/14/1851; Basilicata 12/16/1857) di cui quello del 1857 ($M = 7.0$) è stato l'evento in assoluto più violento dell'Italia meridionale, colpendo circa 290 località ed interessando un'area di risentimento di circa 2500 Km². Da questa breve descrizione sull'assetto sismologico pre-strumentale dell'area, emerge con chiarezza una situazione di intensa ed elevata attività sismica ben documentata dal 1800 in poi. La carenza di eventi ante 1800 è legata probabilmente a situazioni amministrative ed economiche in cui versavano i comuni dell'Appennino Campano-Lucano piuttosto che ad una assenza reale di sismicità.



L'area in studio si inquadra all'interno dell'unità geodinamica nota come Appennino Meridionale. Il principale sistema di faglie sismogenetiche dell'area è costituita a nord dalla faglia Baragian-Palagianello caratterizzata da un cinematismo di tipo strike-slip con movimento destro avente

inclinazione pressoché verticale, debolmente inclinata verso i quadranti meridionali e a sud dal sistema di subduzione conosciuto come arco calabro.

I cataloghi storici e strumentali (Boschi et al., 2000; Gruppo di Lavoro CPTI, 2004; Pondrelli et al., 2006; Guidoboni et al., 2007) indicano che l'area è stata interessata da una sismicità intermedia. In particolare, il settore occidentale della zona è stato colpito da un terremoto rilevante, tra cui quello del 13 febbraio 1963 (Mw 5.3, Tito) e del 6 agosto 1954 (Mw 5.3, Pietragalla). Inoltre l'area è nota per la cosiddetta sequenza del Potentino riferibile agli eventi del 5 maggio 1990 e del 26 maggio 1991 (rispettivamente Mw 5,8 e 5,2).



10.2.2 Pericolosità di base

I dati di base per l'analisi numerica della RSL sono i seguenti:

- moto sismico di riferimento (accelerogramma) in corrispondenza della formazione rocciosa (bedrock sismico, alla base o affiorante) e parametri della pericolosità di base (PGA_{base} , Magnitudo, Distanza);
- modello geometrico del sottosuolo (stratigrafia, morfologia superficiale e sepolta, eventuali discontinuità);
- parametri geotecnici e geofisici dei terreni costituenti le varie unità omogenee (proprietà fisico-meccaniche da prove specifiche di laboratorio, profilo di velocità delle onde di taglio nel sottosuolo).

Per la definizione del "moto sismico di riferimento" relativo allo stato limite considerato (SLV) sono stati selezionati i parametri descrittivi dell'azione sismica di base (pericolosità di base) necessari per la definizione del terremoto di progetto (accelerogramma di input).

La pericolosità di base del Comune di Pignola, espressa in termini di accelerazione di input (a_g), è stata definita mediante l'utilizzo del foglio di calcolo Spettri - NTC vers. 1.0.3 rilasciato dal Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici.

SLATO LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o [-]	T_c^* [s]
SLO	45	0.073	2.310	0.295
SLD	75	0.096	2.310	0.318
SLV	712	0.267	2.398	0.377
SLC	1462	0.357	2.389	0.401

I dati di disaggregazione (o legge di attenuazione) del valore a_g espressa in termini di variabilità della coppia Magnitudo-Distanza è stata ottenuta mediante la procedura riportata nel sito dell'Istituto di Geofisica e Vulcanologia (<http://esse1-gis.mi.ingv.it/>) per ciascuna probabilità di eccedenza in 50 anni (10% per SLV, 63% per SLD).

I parametri descrittivi di input dell'azione sismica per entrambi gli stati limite considerati (SLV e SLD), vengono riassunti nella seguente tabella:

Stato limite	a_g (g)	Magnitudo (-)	Distanza' (Km)
SLV	0,267	4,5-7,0	0-10
SLD	0,096	4,0-5,5	0-20

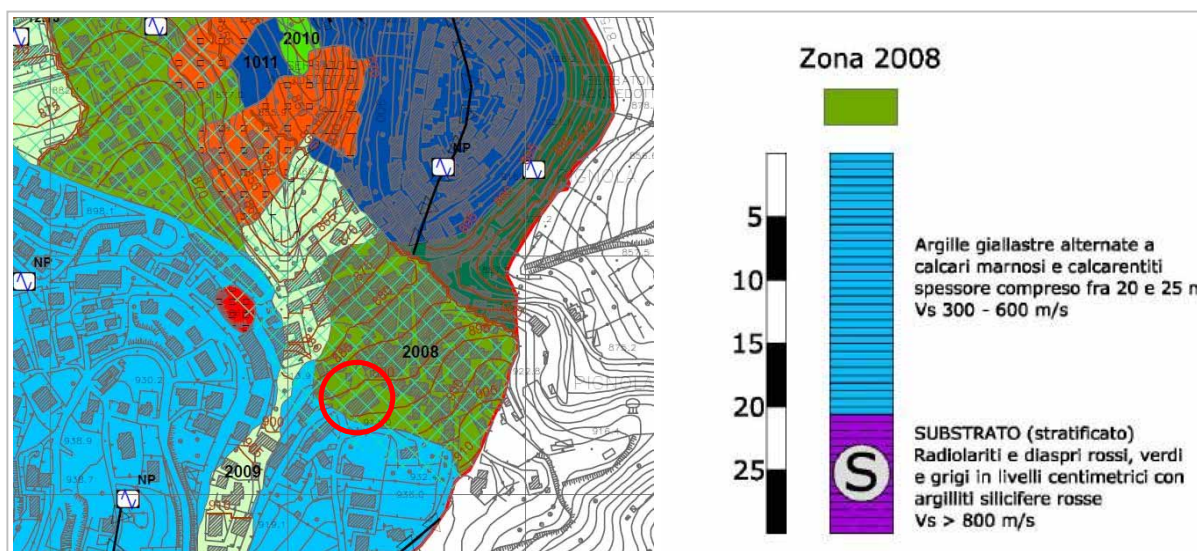
Individuati tali parametri è necessario selezionare accelerogrammi "spettro-compatibili e sismo-compatibili" registrati, il cui uso è ammesso, come disposto dalla normativa (D.M. 14/01/2008), con le dovute prescrizioni.

10.3. Modello litostratigrafico e sismostratigrafico dell'area

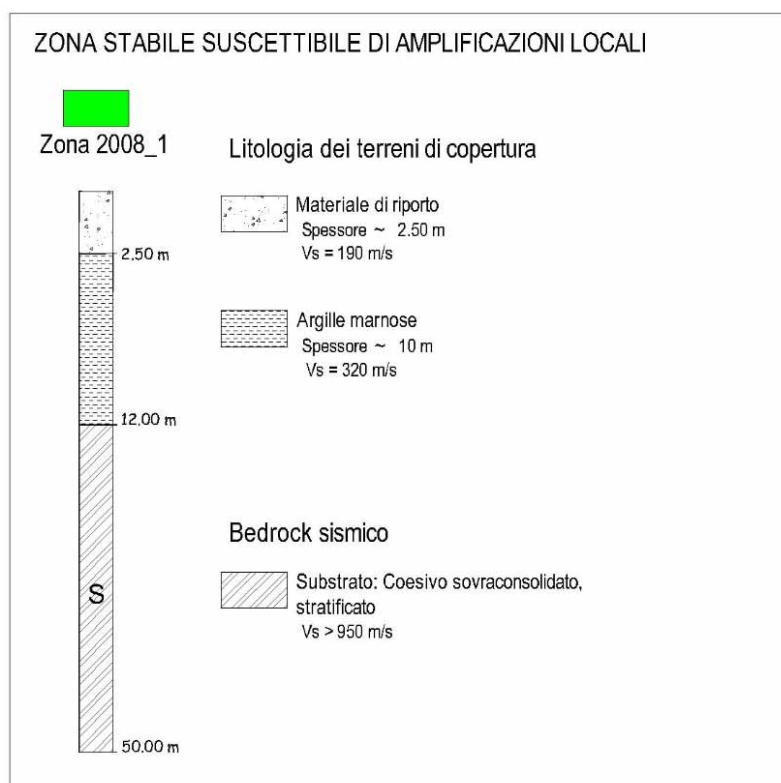
Definito l'input in termini di eventi sismici da sottoporre a simulazione numerica, mediante i risultati delle indagini geognostiche e geofisiche eseguite, sono state determinate le caratteristiche litotecniche e sismiche del volume di terreno interessato dall'opera ed oggetto della possibile amplificazione, definendo il modello sismostratigrafico del terreno.

Sismostrato	Spessore (m)	Vs (m/s)	Peso di volume' (KN/m ³)	Litotipo
1	2.50	186	18.00	Materiale di riporto
2	9.50	324	19.00	Argille marnose
5	-	945	21.00	Substrato: coesivo sovraconsolidato

Il Comune di Pignola è dotato dello studio di microzonazione sismica di I livello approvato dalla Regione Basilicata con determina 7602.2011/D.00590, dalla cui consultazione della Carta delle MOPS si evince che l'area in oggetto è inclusa nella zona stabile suscettibile di amplificazione locale identificata con la sigla 2008, di cui di seguito si riporta lo stralcio corredato dalla colonna litostratigrafica di riferimento.



Dai risultati ottenuti dalle indagini puntuali e lineari all'uopo eseguiti, ed in accordo con quanto riportato nello studio di *microzonazione sismica di I livello* del Comune di Pignola, rivisitato alla luce delle nuove informazioni acquisite, è stato possibile definire con maggior accuratezza la carta delle Microzone Omogenee in Prospettiva Sismica (MOPS) che rappresenta l'operazione propedeutica alla redazione della carta di Microzonazione sismica di III livello. In tal senso, nel lotto di interesse è stata ripermimetrata un'unica microzona omogenea (rinominata zona 2008_1) definita come **zona stabile suscettibile di amplificazione locale**, nella quale sono attese amplificazioni del moto sismico come effetto dell'assetto litostratigrafico locale.



Come detto, la definizione della microzona è avvenuta sulla base dell'assetto litostratigrafico ricostruito a partire dalla stratigrafia del sondaggio eseguito (S1), della profondità del bedrock sismico ($V_s > 800$ m/s) e della velocità media delle onde elastiche (di tipo P ed S) nei terreni di copertura sovrastanti il bedrock sismico, ottenuta dall'interpretazione delle prove sismiche eseguite.

Per ciascun sismostrato sono state inoltre definite le curve di degrado del modulo di taglio e del rapporto di smorzamento (dumping), derivanti da bibliografia e/o da apposite prove di laboratorio eseguite su campioni prelevati nel corso di sondaggi geognostici eseguiti su terreni con caratteristiche simili a quelli in oggetto. Più in dettaglio per i terreni di copertura sono state utilizzate le curve degli autori **Vucetic & Dorby, 1991** per indice di plasticità $IP=50$ e $IP=30$ mentre per il substrato è stato considerato uno modello di smorzamento costante.

10.4. Risultati della risposta sismica locale

Definito il modello litostratigrafico, sismostratigrafico e assegnato ad ogni strato individuato le curve di degradazione del modulo di taglio e dello smorzamento sotto l'azione di sollecitazioni cicliche, si può passare, utilizzando gli accelerogrammi precedentemente selezionati, all'analisi numerica monodimensionale eseguita secondo un modello equivalente lineare contenuto nel software RSLIII della Geostru. Lo scopo principale dell'analisi di risposta sismica locale è, in breve, quello di prevedere come e quanto il movimento del suolo superficiale sia influenzato dal movimento del

bedrock in profondità. Di seguito, per ogni stato limite considerato si riporta lo spettro di accelerazione al suolo (*output*) e lo spettro normalizzato, confrontato con lo spettro di normativa su categoria di sottosuolo B.

Gli spettri di output, in accordo con quanto contenuto nel D.M. 14.01.2008, sono riferiti al piano di imposta delle fondazioni del manufatto che si colloca ad una profondità di circa 2,00 m dal p.c., pertanto le analisi numeriche sono state condotte tenendo conto della reale stratigrafia fino a tale piano.

STATO LIMITE DI SALVAGUARDIA DELLA VITA SLV

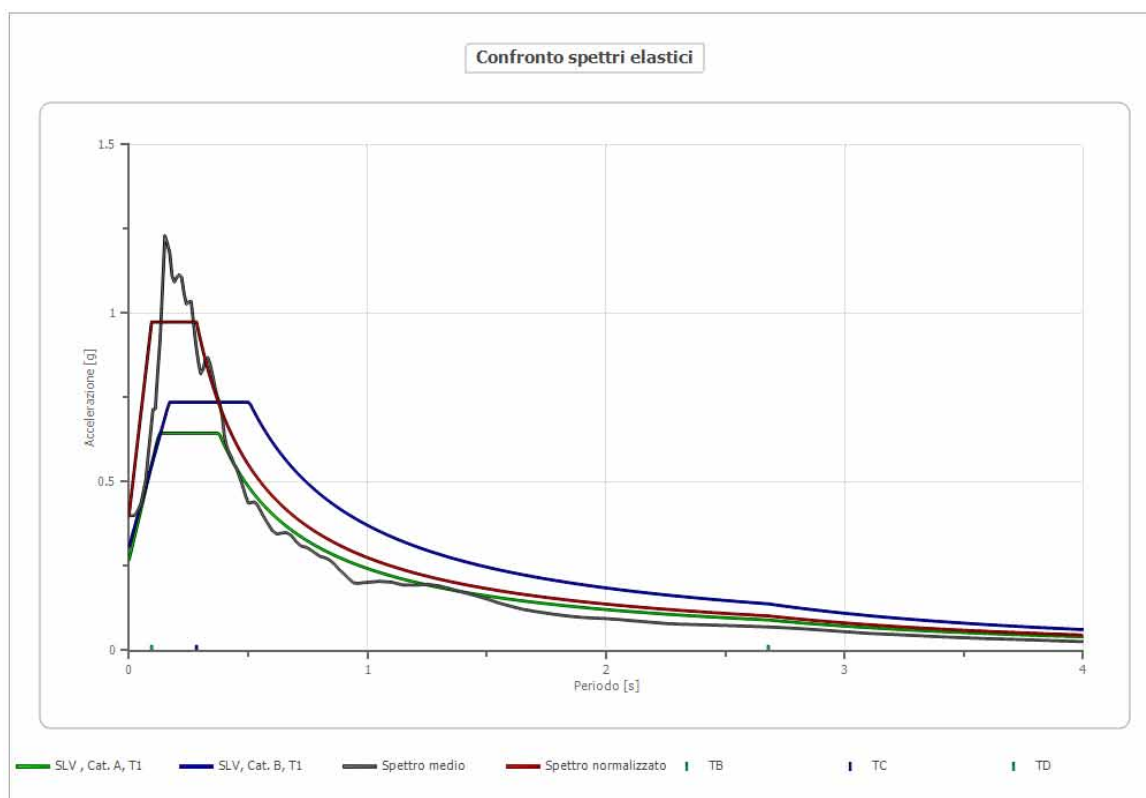
I parametri tabellati dello **spettro normalizzato** sono i seguenti:

ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.405	2.408	0.283	0.094	0.283	2.680	0.405	0.974

Dall'analisi di Risposta Sismica Locale effettuata si evince che:

- per periodi inferiori a 0,38 s si ha un'amplificazione al suolo maggiore rispetto allo spettro di norma di cat. B con a_g pari a 0,974 g nel tratto T_B - T_C (tratto ad accelerazione costante);
- per periodi superiori a 0,38 s lo spettro ottenuto si colloca al di sotto dei valori di accelerazione previsto dallo spettro di norma di categoria B.

Pertanto ai fini cautelativi, si consiglia di utilizzare lo spettro ottenuto dalle analisi numeriche di risposta sismica locale se il periodo fondamentale della struttura oggetto di verifica si colloca in un range di valori inferiori a 0,38 s, mentre di utilizzare lo spettro di norma per la cat. di sottosuolo B se il periodo proprio è maggiore di 0,39 s.



E' stato possibile inoltre determinare:

- il valore di **FA** pari al rapporto $S_{Am,o} / S_{Am,i} = 1.52$
- il valore di **FV** è pari al rapporto $S_{Vm,o} / S_{Vm,i} = 1.13$

Calcolo dei coefficienti K_h e K_v per lo Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV)

Considerando i valori dei coefficienti sismici ottenuti nello Stato Limite Ultimo di Salvaguardia della Vita (SLV). I valori di K_h e K_v vengono determinati con le seguenti formule:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0.5 \times K_h$$

dove

- $\beta_s = 0.28$ è il coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito (cfr. tab. 7.11.1 delle NTC 2008);

- $a_{max} (m/s^2) = 3,973 m/s^2$

da cui si ottiene:

$$K_h = 0.133 \quad K_v = 0.057$$

STATO LIMITE DI DANNO SLD

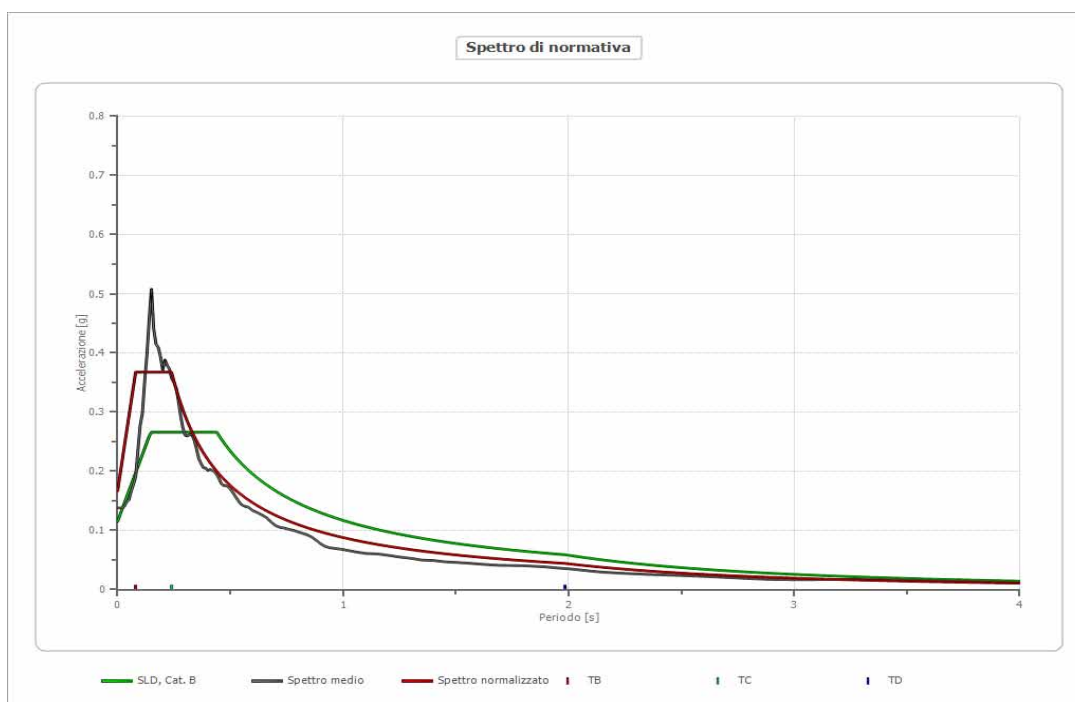
I parametri tabellati dello **spettro normalizzato** sono i seguenti:

ag [g]	F0	Tc*	TB [s]	TC [s]	TD [s]	Se(0) [g]	Se(TB) [g]
0.169	2.199	0.239	0.080	0.239	1.984	0.167	0.367

Dall'analisi di Risposta Sismica Locale effettuata si evince che:

- per periodi inferiori a 0,33 s si ha un'amplificazione al suolo maggiore rispetto allo spettro di norma di cat. B con ag pari a 0,367 g nel tratto T_B-T_C (tratto ad accelerazione costante);
- per periodi superiori a 0,33 s lo spettro ottenuto si colloca al di sotto dei valori di accelerazione previsto dallo spettro di norma di categoria B.

Pertanto ai fini cautelativi, si consiglia di utilizzare lo spettro ottenuto dalle analisi numeriche di risposta sismica locale se il periodo fondamentale della costruenda struttura si colloca in un range di valori inferiori a 0.33 s, mentre di utilizzare lo spettro di norma per la cat. di sottosuolo B se il periodo proprio è maggiore di 0,33s.



11. CARATTERI GEOMORFOLOGICI E STABILITA' DEL AREA

Il settore in studio si inserisce in un contesto morfologico i cui caratteri testimoniano la storia geologica, i processi erosivi s.s., nonché i processi di modellamento delle acque di corrivazione superficiale. Pertanto, all'articolazione geologico-strutturale dell'area rilevata è di riscontro il quadro geomorfologico e della rete idrografica: le peculiarità litologiche locali condizionano sensibilmente le caratteristiche morfologiche della superficie topografica, che presenta un generale assetto collinare, con culmini topografici modellati, ed assenza di elementi idrografici rilevanti.

Nello specifico, il sito interessato dal progetto è posto circa a 900 metri s.l.m.; in una zona urbanizzata della porzione sommitale del fianco occidentale della dorsale di cui sopra; il versante degrada verso W-NW con inclinazione $< 15^\circ$. **In un intorno significativo e nello stesso sito non sono state riconosciute forme gravitative legate a movimenti di versante in atto o in preparazione tali da compromettere la fattibilità dell'intervento da realizzare; infatti, l'andamento morfologico risulta regolare.** Tale valutazione è congruente con gli strumenti normativi adottati a scala di bacino (Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità Interregionale di Bacino della Basilicata – aggiornamento 2015). Il sito, infatti non ricade in aree classificate come esposte a pericolosità e rischio da frana, né interessate da fenomeni di alluvionamento. Complessivamente sia le discrete caratteristiche litotecniche dei terreni in affioramento sia l'intensa urbanizzazione operata sul versante hanno contribuito a creare condizioni di stabilità più che soddisfacenti. Infatti, negli ultimi decenni quest'ultimo è stato oggetto di numerose costruzioni di fabbricati per civile abitazione realizzati a mezza costa, con piani seminterrati e muri, o altre opere di sostegno, finalizzati a contenere i fronti di scavo e quindi a stabilizzare anche i livelli più superficiali dei terreni di alterazione. Inoltre, la costruzione di piazzali, di strade, di cunette, ecc. ha regimentato meglio le acque di corrivazione sul pendio, causa prima di fenomeni di erosione superficiale e di imbibizione dei litotipi in affioramento che implica ripercussioni negative sui loro parametri geotecnici.

Dall'analisi stereoscopica delle foto aeree di qualche anno fa e dal rilevamento geomorfologico in sito, è stato possibile verificare che il pendio in studio presenta un andamento morfologico regolare senza segni di forme e fenomeni di movimenti gravitativi in atto o in preparazione. Inoltre, non sono stati rilevati quei fattori predisponenti al dissesto, infatti: le pendenze sono poco accentuate, con un angolo medio di 8° - 10° ; le caratteristiche litotecniche sono più che soddisfacenti per la prevalente natura argilloso-marnosa dei litotipi

in affioramento; una circolazione idrica (strettamente dipendente dagli apporti metereologici locali) interessa solo i livelli più superficiali dei terreni in studio. Sul terreno non si osservano crepe, linee di trazione o altre forme collegabili a potenziale franosità o subsidenza; anche un'attenta analisi a carattere geotecnico ed ingegneristico sullo stesso fabbricato in progetto e sulle altre opere limitrofe non hanno evidenziato segni di dissesto o quadri fessurativi riconducibili a sforzi di taglio o cedimenti differenziali.

In conclusione, lo scrivente, strettamente all'area in progetto, esprime parere positivo sulla stabilità del sito di sedime. Inoltre, in considerazione che le pendenze sono poco accentuate con inclinazione $< 10^\circ$ a cui corrisponde una *Categoria Topografica T1*; non sono stati rilevati segni di forme e/o fenomeni di movimenti gravitativi in atto o in preparazione; non esistono quei fattori predisponenti al dissesto; l'opera in progetto è esistente ed incide sul versante in modo trascurabile in termini di tensioni, lo scrivente ritiene non necessario eseguire un'analisi numerica sulla stabilità del pendio.

12. CONSIDERAZIONI SULL'USO DEL SUOLO

Alla luce di quanto emerso dal rilevamento geologico di superficie e dai risultati delle indagini eseguite, è evidente come i terreni costituenti il versante in argomento sono caratterizzati dalla presenza dei **Galestri**. In particolare, sono stati accertati i seguenti punti:

1. I terreni affioranti nell'area circostante l'edificio scolastico esistente sono rappresentati da **Materiali di riporto** utilizzato per la regolarizzazione del profilo topografico e per la realizzazione dei piazzali. I terreni di fondazione, sono invece rappresentati dal **Substrato alterato** riferibile ai Galestri. Questi ultimi sono costituiti da argille, argille marnose parzialmente destrutturate, alterate inglobanti clasti centimetrici di calcari marnosi grigiastri. La struttura solo a luoghi è apprezzabile. Nei livelli prevalentemente argillosi è marcata la plasticità che diminuisce dove la componente marnosa è prevalente. In generale comunque il tutto contribuisce a dotare questi terreni di una plasticità e compressibilità medio-bassa e media consistenza. A luoghi si intercalano strati centimetrici di calcari e calcari marnosi fratturati. Nella parte alta del deposito sono presenti resti carboniosi. La colorazione è variabile dal giallastro al verdastro. Lo spessore di tale litofacies è di circa 14,0 m. dal p.c. così come emerso dalla terebrazione del sondaggio geognostico a carotaggio continuo eseguito S1;
2. l'assetto geologico e geomorfologico dell'areale non evidenzia fenomeni di dissesto in atto, infatti sul terreno non si osservano crepe, linee di trazione o altre forme collegabili a potenziale franosità; anche un'attenta analisi a carattere geotecnico ed ingegneristico sulle opere ricadenti nel settore di versante in studio, come anche sullo stesso manufatto ospitante la scuola elementare Giovanni XXIII, non hanno evidenziato segni di dissesto o quadri fessurativi riconducibili a sforzi di taglio;
3. la natura poco permeabile dei terreni ed il modello idrogeologico definito hanno indicato l'assenza della falda idrica ma, al più, l'esistenza di una circolazione di acqua confinata ai Materiali di Riporto e ai terreni del Substrato alterato;
4. sulla base della risposta sismica locale eseguita, è possibile definire gli spettri di risposta in accelerazione per lo Stato Limite di ultimo di Salvaguardia della Vita e per lo Stato Limite di esercizio di Danno (SLD), riferiti al piano di imposta delle fondazioni, così come contemplato dalla normativa vigente.

L'accertata stabilità dell'areale e l'assenza di cause predisponenti al dissesto, pertanto, non comportano l'esigenza di interventi di sistemazione e bonifica atti a migliorare le condizioni

del versante. Pertanto, lo scrivente, strettamente all'area di progetto, esprime parere positivo sulla stabilità del sito di sedime. Inoltre, in considerazione che: le pendenze sono poco accentuate con inclinazione, anche se a luoghi $<15^\circ$, a cui corrisponde una *Categoria Topografica T1*; non sono stati rilevati segni di forme e/o fenomeni di movimenti gravitativi in atto o in preparazione; non esistono quei fattori predisponenti al dissesto; l'opera, che è esistente ma da adeguare, incide sul versante in modo trascurabile in termini di tensioni, lo scrivente ritiene non necessario eseguire un'analisi numerica sulla stabilità del pendio.

In sintesi, data la tipologia d'intervento e la situazione generale dell'area, che da un punto di vista geomorfologico e geologico-tecnico non presenta elementi tali da destare preoccupazioni sulla sua stabilità, si può ritenere il sito in esame idoneo alla realizzazione del progetto, a condizione che si tengano in debita considerazione i risultati del presente studio.

Il Geologo
Dr. Antonio De Carlo

Il Collaboratore
Dr. Bartolo Romaniello