

ALLEGATO 11: RELAZIONE GEOLOGICA

Geol. Ilaria POLCINI
n° iscrizione Albo 42
e.s“

INDICE

1. PREMESSA	4
2. INQUADRAMENTO GENERALE	6
3. GEOMORFOLOGIA.....	9
4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE	12
5. STRATIGRAFIA	16
6. IDROGEOLOGIA.....	18
7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA	21
8. CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO TRAMITE INDAGINI SISMICHE.....	23
9. SISMOTETTONICA E SISMICITA' STORICA.....	26
10. MICROZONAZIONE SISMICA.....	30
11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	31

ALLEGATI:

- 4.1 Carta geologico - geomorfologica
- 4.2 Sezione geologica
- 4.3 Carta delle pendenze
- 4.4 Carta idrogeologica
- 4.5 Carta dei vincoli
- 4.6 Carta MOPS
- 4.7 Carta MZS livello 3
- 4.8 Carta dell'uso del suolo
- 4.9 Carta della pericolosità del territorio
- 4.10 Carta di idoneità territoriale
- 4.11 Carta di ubicazione delle indagini
- 4.12 Report di indagine

1. PREMESSA

La presente relazione geologica, è stata redatta ai sensi della normativa vigente (Legge 02.02.1974 n.64 art.13 come modificato dal D.P.R. 6.6.2001 n.380, art. 89 e Linee guida regionali approvate con DGR n. 108 del 22/02/2018), ai fini del rilascio del parere di compatibilità geomorfologica da parte del Servizio Genio Civile Regionale alla variante al P.R.G. di un lotto sito nella Frazione di Paganica.

La variante ha l'obiettivo di riorganizzare gli spazi in maniera funzionale creando un plesso scolastico collegato alla limitrofa area sportiva secondo il concetto di "campus", dotato quindi di campi polivalenti, palestre e biblioteca. In particolare l'intervento prevede la riorganizzazione dell'intero compendio attualmente destinato a Zona per attrezzature generali culturali, art. 35 delle N.T.A. e del contiguo lotto destinato a Zona a verde pubblico con ridefinizione dei rapporti dimensionali dei due ambiti a vantaggio delle superfici da destinare ai Servizi scolastici. Sarà quindi effettuata la rotazione dalla destinazione di Zona per attrezzature generali culturali art. 35 a quella di "Zona per servizi pubblici" – art. 30 delle N.T.A. del P.R.G. per i compendi da destinare a servizi scolastici con lieve aumento superficiario del perimetro attuale tale da renderlo adeguato all'attuazione del futuro campus scolastico; mentre per il compendio destinato agli spazi ed impianti sportivi si provvederà ad una ridefinizione plano volumetrica con adeguamento dei parametri edilizi in funzione di riequilibrio tra le potenzialità edificatorie e le strutture attuate e da attuare.

La presente relazione geologica esamina i caratteri geologici, geomorfologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, sismici e, più in generale i caratteri di pericolosità geologica del territorio dell'area oggetto di variante.

La relazione è stata redatta dapprima tramite una ricerca della letteratura tecnica esistente con particolare riferimento alla Microzonazione Sismica per la ricostruzione dell'area aquilana (Gruppo di lavoro MS-AQ 2010); i dati reperiti sono stati integrati con gli esiti di un rilevamento geologico e geomorfologico eseguito nell'area in oggetto e con i dati scaturiti da indagini geotecniche eseguite per la ricostruzione post-sisma di un edificio posto nelle vicinanze.

Si sottolinea che ai fini della eventuale futura progettazione su dette aree, dovranno essere programmate specifiche indagini per la ricostruzione del modello geologico e del modello geotecnico di sottosuolo commisurate alle finalità progettuali, così come indicato dalla normativa vigente (D.M. 17.01.2018, Norme Tecniche per le Costruzioni).

2. INQUADRAMENTO GENERALE

Il sito oggetto del presente studio è ubicato nella porzione sud-orientale del territorio comunale di L'Aquila, a sud della frazione di Paganica, a nord-ovest del progetto C.A.S.E. di Paganica 2.

L'area in oggetto si presenta sub-pianeggiante con una blanda pendenza in direzione SSW, ed è posta ad una quota di circa i 630 m s.l.m.

Il sito si individua nel settore nord-orientale della Carta topografica della Regione Abruzzo, Foglio 359 O, scala 1:25.000 (Figura 1); esso è meglio identificato nello stralcio di Carta Tecnica Regionale, foglio 359 061 e 359 022 (Figura 2), e nello stralcio di ortofoto digitale AGEA 2013 riportato in scala 1:10.000 (Figura 3).

Il sito sul quale verrà realizzata la scuola media ricade nella planimetria catastale del Comune dell'Aquila, Sezione E – Paganica, Foglio 19 (Figura 4).

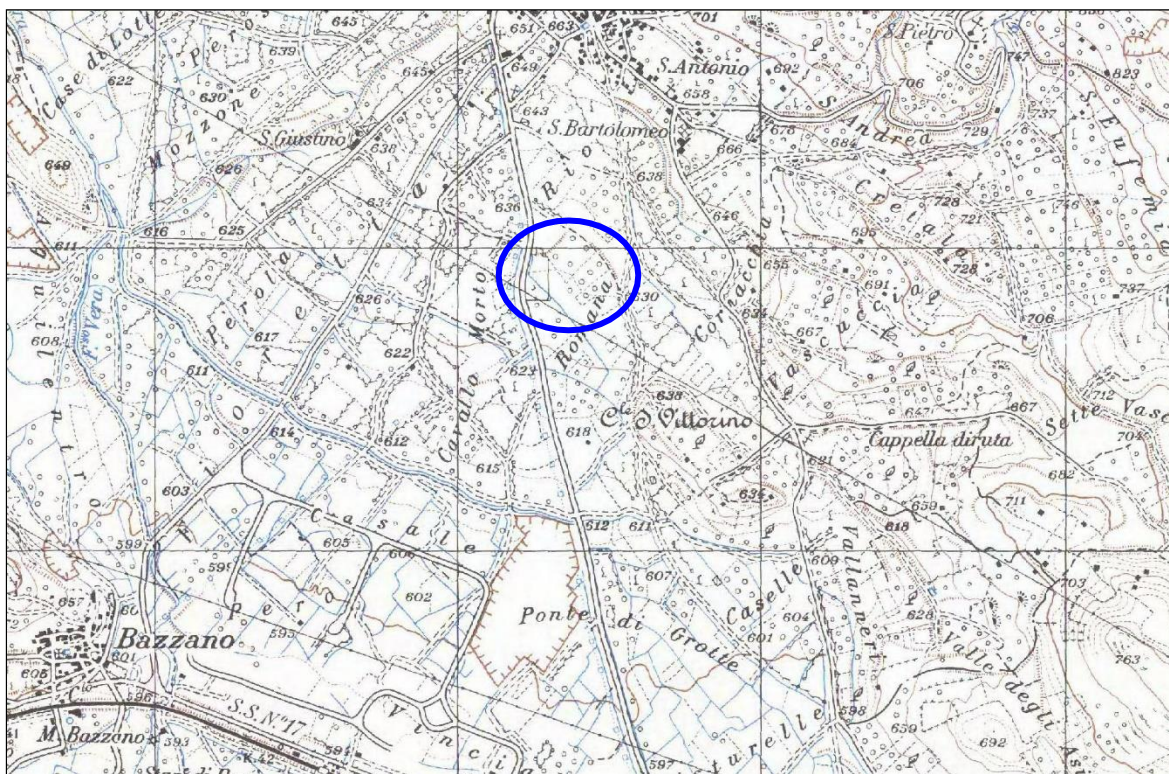


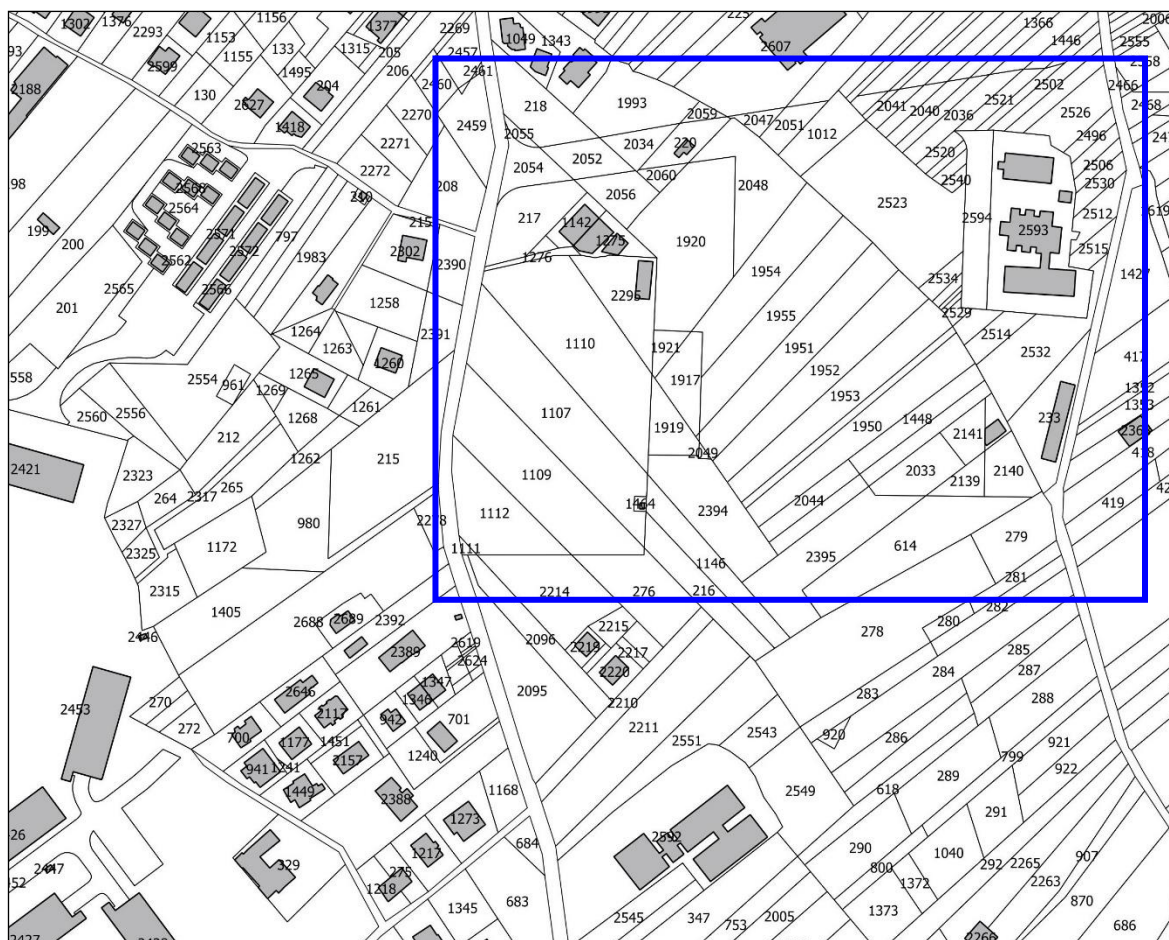
Figura 1 – Stralcio di Carta Topografica Regione Abruzzo IGM – Foglio 3590 - scala 1:25.000. In blu l'area sottoposta a variante.



Figura 2 - Stralcio di Carta Tecnica Regionale - Fogli 359022, 359061 - scala 1:10.000. In blu l'area oggetto di variante.



Figura 3 - Stralcio foto aerea - Volo AGEA 2013 - scala 1:10.000. In blu l'area oggetto di variante.



3. GEOMORFOLOGIA

L'area in esame si inserisce all'interno dell'area della conca aquilana, la cui morfologia risulta costituita prevalentemente da depressioni morfologiche e piane, a quote comprese tra 500 e 900 m, contigue o parzialmente coalescenti, bordate da rilievi, anch'essi a direzione NW-SE, con quote variabili tra 1000 m a oltre 2000 m. La configurazione dell'orografia e dell'idrografia della conca aquilana è il risultato della sua complessa evoluzione morfostrutturale plio-quadernaria.

Il sito in oggetto è posto in sinistra idrografica del fiume Aterno, ad una distanza di circa 3 km dallo stesso, a sud della frazione di Paganica.

Più in particolare esso è situato in una zona sub-pianeggiata con lieve pendenza verso SSW, ad una quota di circa 630 m s.l.m., e si trova ad una distanza di circa 750 m a nord di una diramazione del Fiume Vera ad andamento NW-SE.

L'area è ubicata in corrispondenza dell'estremità orientale della conoide di Paganica, formatasi allo sbocco del Torrente Raiale sulla piana alluvionale della media valle del Fiume Aterno e mostra una classica morfologia convessa caratterizzata da una leggera e graduale pendenza verso il Fiume Aterno.

Tale conoide alluvionale risulta essere in stato di quiescenza come confermato anche dalla carta geomorfologica del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini Idrografici di Rilievo Regionale Abruzzesi e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro - "Fenomeni Gravitativi e Processi Erosivi" (PAI), Foglio 359 O (Figura 5).

La Carta di Pericolosità del PAI, Foglio 359 O (Figura 6), non indica inoltre, in corrispondenza del sito oggetto d'indagine, la presenza di aree considerate a pericolosità molto elevata (P3), elevata (P2), moderata (P1) o a pericolosità da scarpata (Ps).

La carta di Pericolosità Idraulica del Piano Stralcio di Difesa dalle Alluvioni (PSDA) della Regione Abruzzo, elaborato n° 7.2.01.at.06, non individua infine l'area in studio tra quelle cartografate a pericolosità molto elevata, elevata, media e moderata (Figura 7).

L'area non risulta peraltro gravata da vincolo D.Lgs 42/04 art. 142 lett. c, ex L. 431/85, fascia di rispetto di fiumi e torrenti.

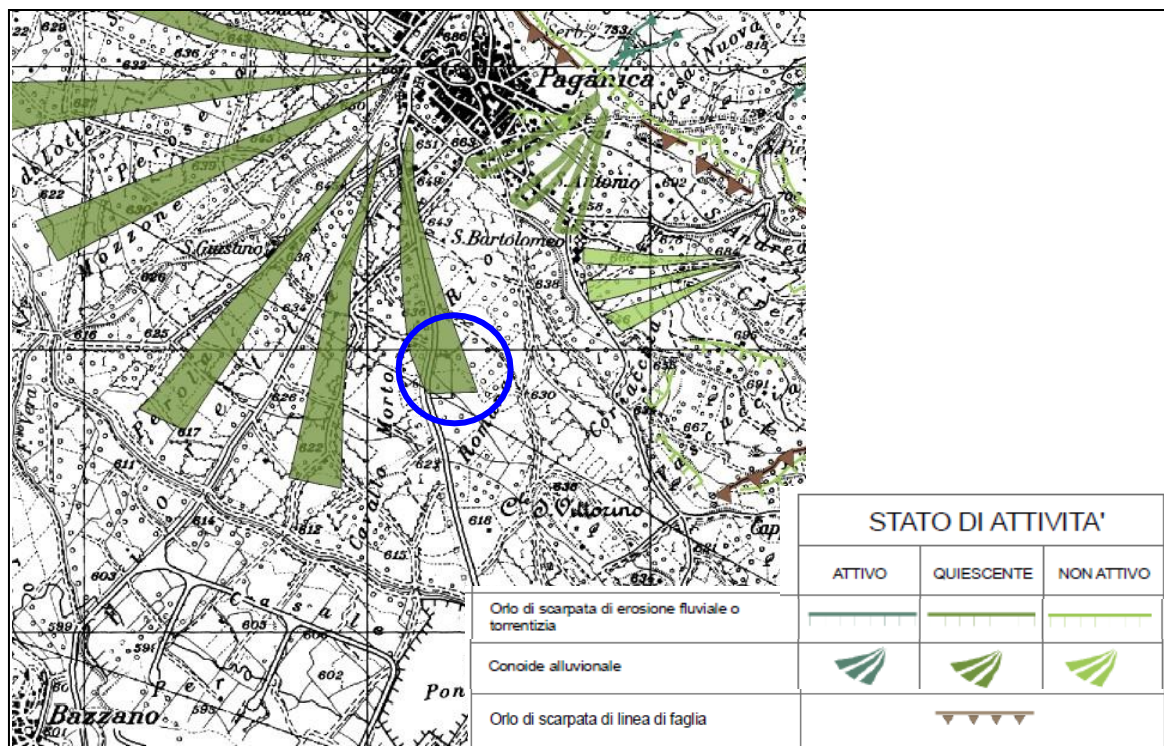


Figura 5 - Stralcio Carta Geomorfologica Regione Abruzzo - Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico - Foglio 3590

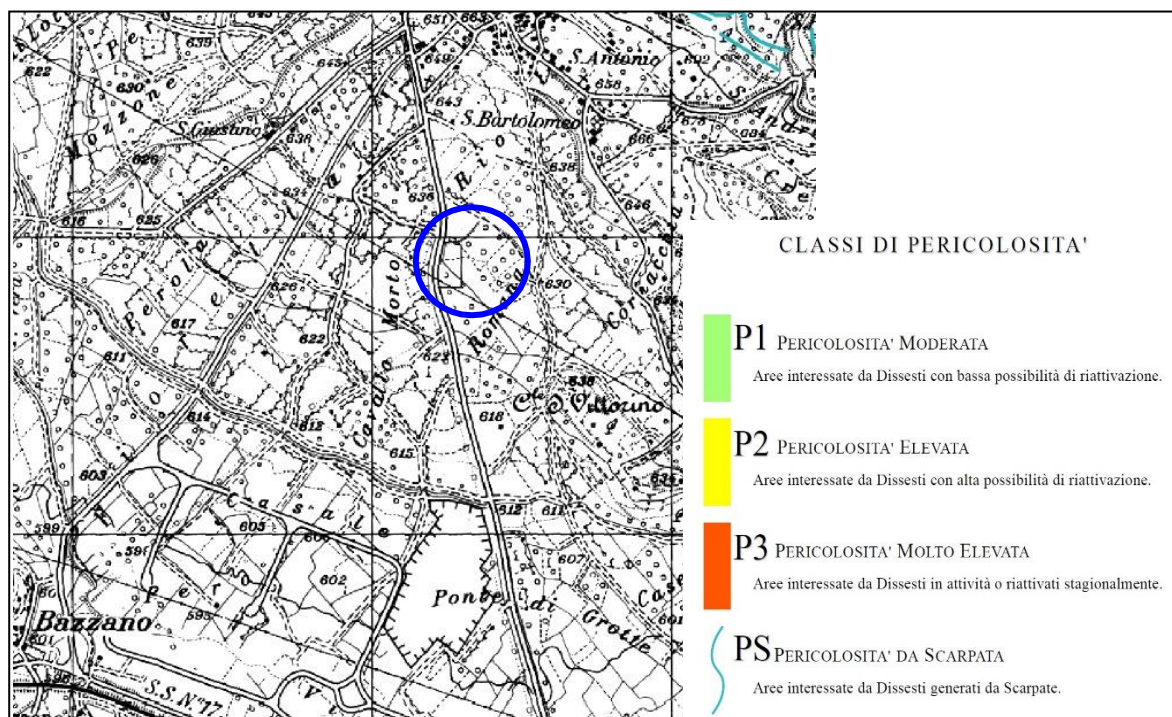


Figura 6 - Stralcio Carta della Pericolosità da frana Regione Abruzzo, scala 1:25.000 - Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico - Foglio 3590.

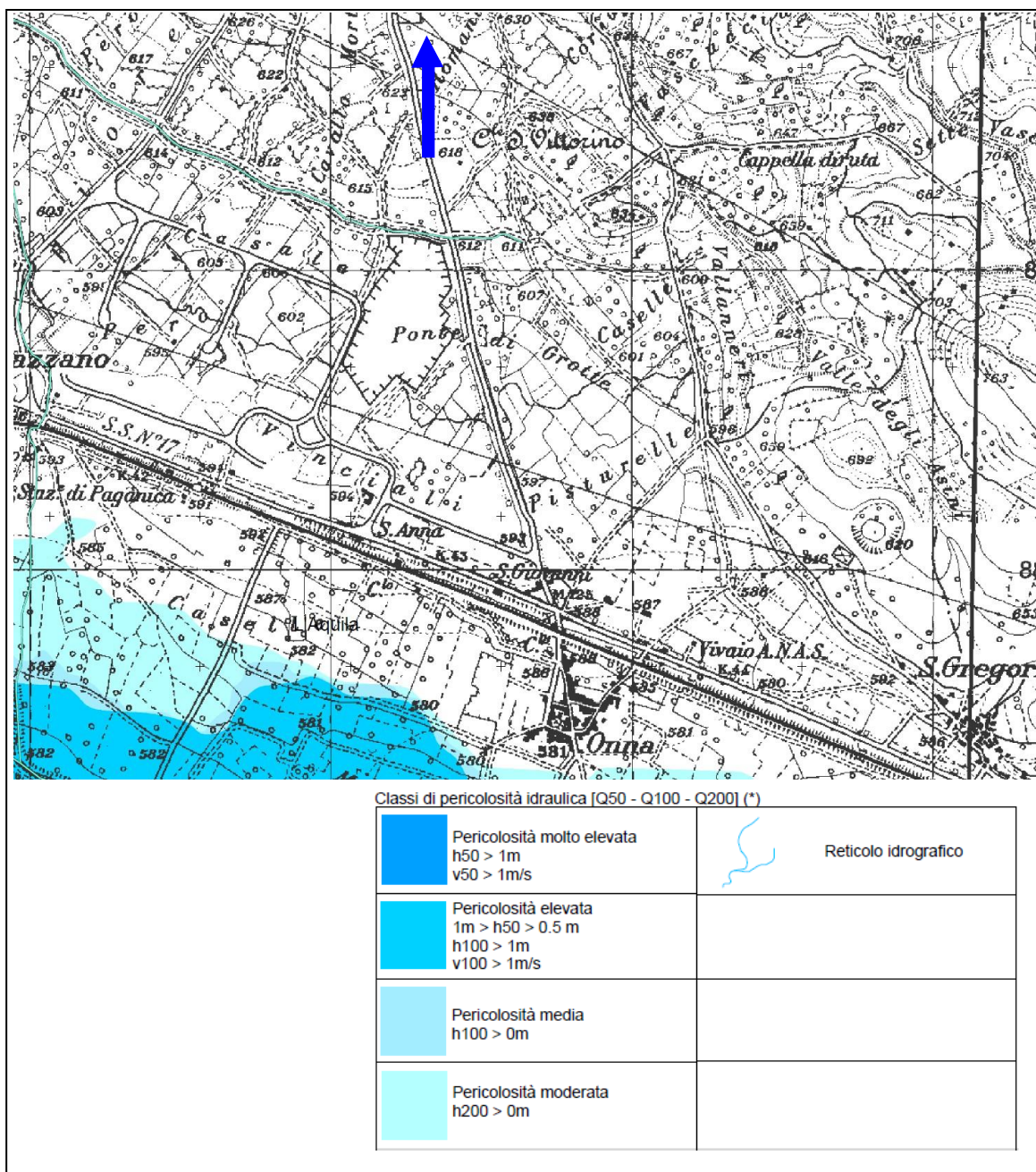


Figura 7 - Stralcio Carta della Pericolosità idraulica Regione Abruzzo – Piano Stralcio Difesa Alluvioni – Elaborato n° 7.2.07.at.06.

4. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRUTTURALE

L'area in esame ricade all'interno della conca intramontana della media valle del Fiume Aterno (o Conca aquilana), una depressione tettonica allungata in direzione NW-SE, colmata principalmente da depositi continentali quaternari (Figura 8 e Figura 9). Tale depressione è delimitata verso SW dai Monti d'Ocre, mentre verso NE è bordata da una gradinata di faglie dirette SW-immergenti che ribassano progressivamente la catena del Gran Sasso d'Italia. Nel settore analizzato il gradino più basso (più sud-occidentale), corrisponde alla scarpata di faglia di Tempera- Paganica. L'interno di tale conca è fortemente articolato per la presenza di rilievi di substrato che emergono dalle coperture quaternarie. Fra questi, il rilievo di M. Bazzano separa la zona di L'Aquila est dall'area di Paganica. L'area in esame ricade nel Foglio 359 "L'Aquila" della Carta Geologica d'Italia CARG alla scala 1:50.000 (APAT, 2005), (Figura 9). Dall'analisi della carta geologica emerge che l'area è caratterizzata dalla presenza di depositi continentali quaternari e subordinatamente di depositi carbonatici pre-orogenici o depositi silicoclastici sin-orogenici. La cartografia ufficiale suddivide i depositi continentali in un supersintema (Aielli- Pescina del Pliocene (?) – Pleistocene medio) e due sintemi (Catignano del Pleistocene medio finale, e Valle Majelama del Pleistocene superiore), cui si aggiungono i depositi dell'Olocene.

L'area ubicata a sud del centro storico di Paganica è posta su depositi prevalentemente ghiaiosi tardo-quaternari in *facies* di conoide alluvionale. Tale conoide, formatasi allo sbocco del Torrente Raiale sulla piana alluvionale della media valle del Fiume Aterno, mostra una classica morfologia convessa caratterizzata da una leggera e graduale pendenza verso il F. Aterno. In corrispondenza della Valle dell'Aterno, la conoide probabilmente si interdigita con, ed è ricoperta da, sedimenti di piana alluvionale generalmente più fini (prevalentemente sabbie e limi). Verso ovest affiora la dorsale del Monte di Bazzano, costituita dai termini calcarei, marnoso-argillosi e silicoclastici della locale successione meso-cenozoica. Verso NE invece è presente una dorsale costituita da calcari e marne del substrato oligo-miocenico orientata in senso NW-SE lungo l'allineamento San Gregorio – Colle di San Vittorino. (tratto da MZS dell'area Aquilana – Gruppo di lavoro MS-AQ (2010)).

Più in particolare l'area oggetto di studio è riportata nella Carta geologico - geomorfologica (scala 1:5.000) dell'area di Paganica Teatro – Nucleo di Sviluppo

Industriale – San Gregorio, relativa allo studio di “Microzonazione sismica per la ricostruzione dell’area aquilana” (Allegato 4.1). Dall’analisi di quest’ultima si desume che il sito in esame si imposta su depositi continentali quaternari di conoide alluvionale costituiti da ghiaie eterometriche grano-sostenute, i quali sono ricoperti da una coltre di depositi eluvio-colluviali prevalentemente limo-sabbiosi dello spessore di circa 3 m.

Dal punto di vista strutturale la zona è caratterizzata dalla presenza del sistema di faglie Paganica-San Demetrio che è stato riconosciuto come l’espressione superficiale della sorgente sismogenetica responsabile del terremoto del 6 Aprile 2009. Esso è un elemento strutturale a cinematica normale, direzione appenninica ed lunghezza di circa 15/20 km. La struttura è composta da sette segmenti principali, ciascuno lungo circa 1-7 km, tutti in rapporto *en-echelon* destro tra loro. I due segmenti centro-settentrionali (Colle Enzano e Paganica), ovvero quelli più vicini all’area di enucleazione profonda della rottura, sono anche quelli che mostrano gli indizi più consistenti di fagliazione di superficie, con rigetti sino a 10-15 cm. Le faglie che compongono tale sistema dislocano a gradinata una successione alluvionale datata al Pleistocene medio (Messina *et. al.*, 2009), oltre a depositi di versante di età tardo Pleistocene Superiore-Olocene (Falcucci *et al.*, 2009). (tratto da MZS dell’area Aquilana – Gruppo di lavoro MS-AQ (2010)).

In corrispondenza dell’area in oggetto gli studi di microzonazione sismica, attraverso l’interpretazione di tomografie di resistività elettrica (ERT), individuano l’estremità settentrionale di una faglia diretta NE-immersa (Allegato 4.1 e 4.2), attualmente sepolta dalle coperture recenti, la cui presenza in superficie è stata suggerita dall’andamento rettilineo del bordo nord-orientale di Colle San Vittorino. La MZS tuttavia non classifica tale faglia come attiva o potenzialmente attiva e non segnala la necessità di sottoporla ad ulteriori approfondimenti, tanto che nella microzonazione di livello 3 la zona non è compresa tra quelle suscettibili di instabilità.

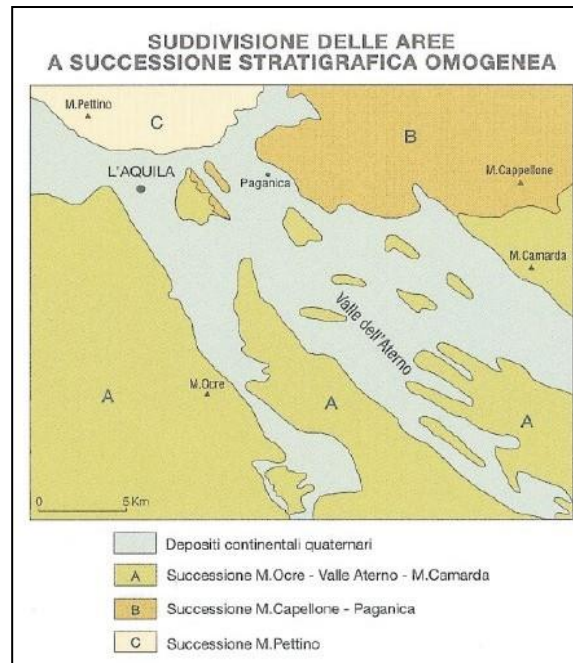
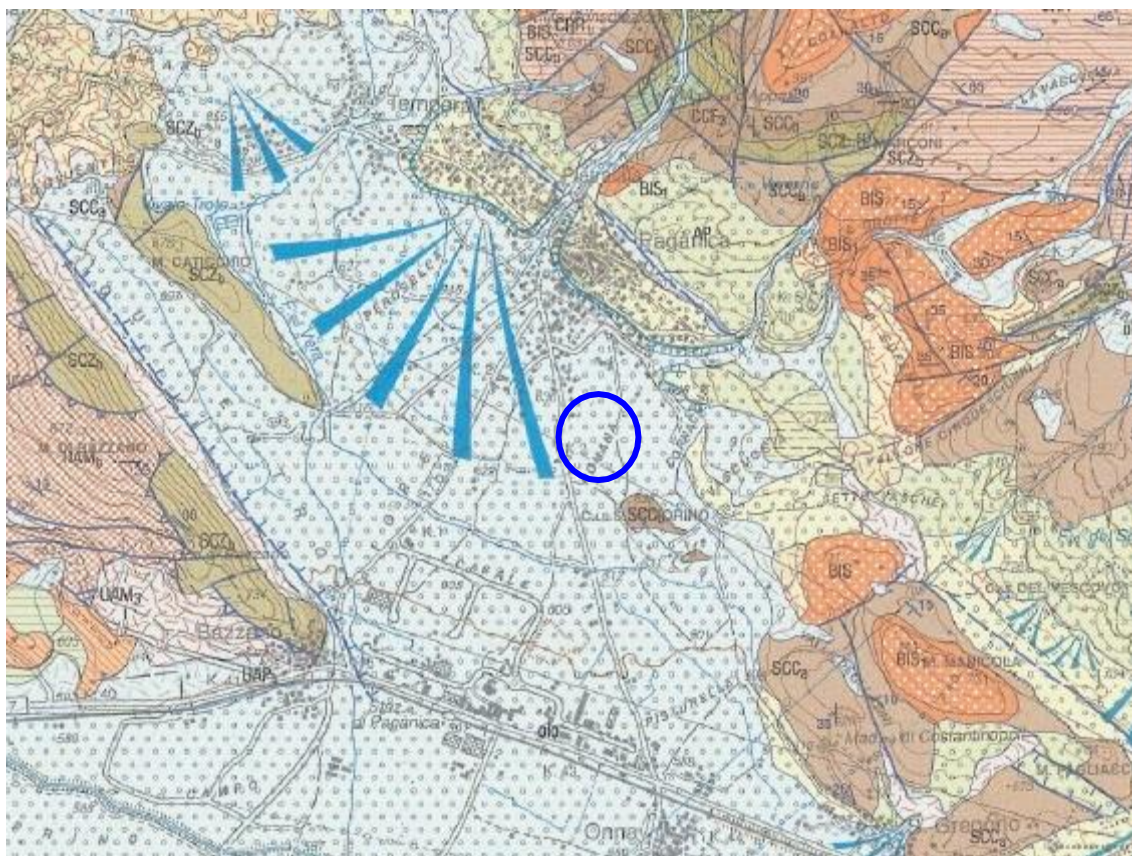


Figura 8 - Suddivisione delle aree a successione stratigrafica omogenea. Tratto dalla Carta Geologica d'Italia alla scala 1:50.000 - Progetto CARG



DEPOSITI MESO - CENOZOICI



5. STRATIGRAFIA

La stratigrafia del sito oggetto di variante è stata ricostruita grazie all'analisi dei dati delle indagini eseguite per la redazione degli studi di Microzonazione Sismica per la Ricostruzione dell'Area Aquilana effettuati dal Dipartimento Protezione Civile Nazionale, nello specifico si farà riferimento al sondaggio Sc,DH3-3, ubicato proprio all'interno del perimetro del masterplan in oggetto.

Dall'analisi integrata delle suddette informazioni è stato quindi possibile riassumere la stratigrafia del sottosuolo come segue.

Depositi continentali quaternari:

- Depositi eluvio-colluviali (coll)

Tali depositi affiorano con spessori significativi (maggiori di 2-3 m) al margine orientale della conoide alluvionale di Paganica, tra il sito del Teatro e l'area subito ad est del settore settentrionale della Zona Industriale, dove si spingono fino ad oriente della dorsale di substrato di Colle di S. Vittorino, colmando parzialmente una vallecchia a fondo piatto. Nell'area in oggetto la profondità di tali depositi è di quasi 3 m.

Si tratta di prevalenti limi sabbiosi e limi argillosi bruno-rossastri o nerastri poco consistenti con subordinati clasti calcarei sparsi. Il contenuto in ghiaia aumenta al piede dei versanti. Lo spessore è variabile da 2-3 m a maggiore di 3 m (riferimento CARG: OLOCENE).

- Depositi di conoide alluvionale (CON)

Rappresentano la litologia più estesa in affioramento nell'area di interesse costituendo il deposito alluvionale dell'ampia conoide di Paganica. Si tratta di ghiaie eterometriche (diametro fino a 20-30 cm) grano-sostenute biancastre da mediamente a ben addensate, localmente cementate, con clasti da sub-angolosi a ben arrotondati calcarei e subordinatamente silicei. Sono in genere grossolanamente stratificate con geometria piano parallela e incrociata o incrociata concava al riempimento dei frequenti canali di dimensioni anche plurimetriche e con *foreset* legati alla progradazione di barre longitudinali. A più livelli, sono presenti intercalazioni decimetriche sabbiose giallastre, giallo-arancio o rosate, discontinue lateralmente, che suddividono la sequenza in cicli di tipo *fining upward*. In corrispondenza del foro di sondaggio Sc,DH3-3 si intercetta una lente di sabbia fine limo-argillosa a partire da circa 45,5 m di profondità dal p.c. fino a fondo foro (- 51 m)

Lo spessore massimo affiorante è di 15 m ma i dati di sottosuolo indicano spessori molto maggiori, in aumento da nord verso sud (rif. CARG: Sintema di Valle Majelama, PLEISTOCENE SUPERIORE).

Al tetto, possono essere presenti corpi canalizzati di ghiaie a clasti centimetrici intercalati a colluvi di suolo marrone passanti verso l'alto al suolo limo- argilloso attuale (spessore 0,5-1,5 m) (rif. CARG: OLOCENE).

Substrato:

- **Unità argilloso-marnosa (UAM)**

Calcareniti marnose beige, marne calcaree, marne e marne argillose grigie a foraminiferi planctonici in strati sottili con contenuto argilloso in aumento verso l'alto. Presenza di tracce fossili (Cylindrites) (rif. CARG: Unità argillosomarnosa, membro marne a cylindrites, SERRAVALLIANO sup.-TORTONIANO).

- **Calcari a briozoi e litotamni (CBZ)**

Depositi carbonatici a litologia variabile costituiti da: a) calcareniti beige-nocciola in strati sottili ricche in glauconite e punti limonitici con interstrati argillosi verdastri; b) calcareniti bioclastiche grigie sulla superficie esterna e giallo-ocracee all'interno con briozoi e con interstrati marnosi; c) calcareniti limonitiche e glauconitiche beige e nocciola con patine giallastre in strati medi e calcari *rudstone* bioclastici in strati spessi con briozoi, frammenti di litotamni, ostreidi, echinidi e foraminiferi bentonici. Affiorano a Colle San Vittorino, al di sotto dell'Unità argilloso-marnosa, e nella terminazione settentrionale del rilievo di San Gregorio, al di sopra delle Calcareniti a macroforaminiferi (rif. CARG: Calcari a briozoi e litotamni, membro calcareniti a punti rossi, LANGHIANO p.p.-SERRAVALLIANO p.p.).

6. IDROGEOLOGIA

L'area oggetto di studio si trova al margine sud della conoide di Paganica, nel settore orientale della "conca aquilana" (Figura 9). La conoide di Paganica si è formata allo sbocco del Torrente Raiale sulla piana alluvionale della media valle del Fiume Aterno, che rappresenta l'asta fondamentale di tutto il sistema che interessa la "conca aquilana".

L'area è caratterizzata dalla presenza di tre complessi idrogeologici classificati come segue:

- **Depositi post-orogenici di copertura:**
- **Complesso dei depositi detritici** costituito da depositi continentali argillosi, sabbiosi e ghiaiosi caratterizzati da notevole eterogeneità litologica e da spessore limitato (Pliocene – Quaternario);
- **Complesso marnoso-calcarenitico** costituito da una successione calcarenitica con brecce che segna il passaggio tra la sedimentazione carbonatica e la sedimentazione terrigena (Miocene p.p.);

Tali litologie contengono falde a superficie libera di spessore, estensione ed importanza molto variabile con la geometria e la prevalente natura litologica del deposito.

- **Dominio di piattaforma carbonatica** caratterizzato da altissimi valori di infiltrazione efficace e attiva circolazione sotterranea;
- **Complesso di transizione bacino-piattaforma** costituito da successione calcareo-marnose siliciche depostesi in ambiente di transizione bacino-piattaforma (Giurassico p.p. – Oligocene).

In questo complesso alla permeabilità per fratturazione delle rocce calcaree si aggiunge la permeabilità per porosità delle rocce calcarenitiche e delle brecce.

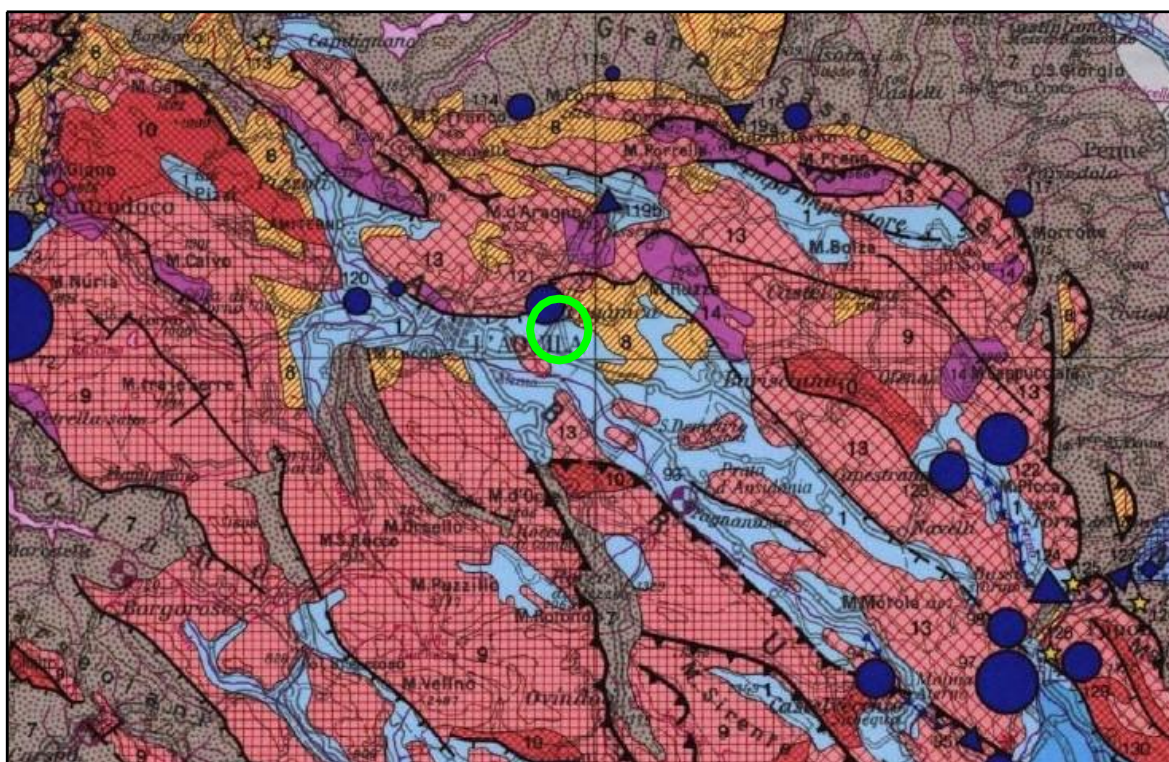
Il contatto tra la struttura carbonatica delle dorsali, appartenenti al sistema idrogeologico del Gran Sasso, con i depositi detritici quaternari della piana avviene tramite faglie dirette. Lungo le faglie principali lo spessore di materiale detritico pedemontano è considerevole. La falda basale del sistema idrogeologico del Gran Sasso drena verso il centro della piana raggiungendo il Fiume Aterno che si comporta così da sorgente lineare con travasi attraverso le conoidi pedemontane. Una di queste emergenze è ubicata proprio in corrispondenza della zona apicale della conoide

alluvionale di Paganica, al contatto tra i depositi di copertura ed il substrato carbonatico (Figura 10).

Per quanto riguarda l'assetto idrogeologico locale la permeabilità dei depositi continentali quaternari che contraddistinguono il sottosuolo del sito in studio, varia a seconda della granulometria da buona nei depositi prevalentemente ghiaiosi e/o sabbiosi a bassa nelle lenti a componente limoso-argillosa.

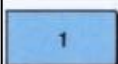
L'alternanza di orizzonti di terreni a permeabilità variabile, può portare alla formazione di falde localizzate sia libere che in pressione in corrispondenza dei livelli a maggiore porosità.

Dall'analisi della stratigrafia dei sondaggi eseguiti nell'area non è emersa la presenza di falda entro i primi 50 m di profondità (prof. massima del sondaggio Sc,DH3-3). Il pozzo per acqua 156626 catalogato nell'Archivio nazionale delle indagini di sottosuolo (L. 464/84), è posto a circa 550 m a NW del sito in oggetto (Allegato 4.11), ha intercettato la superficie di falda alla profondità di 98 m da p.c..



Depositi post orogenici, di copertura e di colmamento, prevalentemente continentali, subordinatamente marini di ambiente neritico

Post-orogenic cover: continental and marine coastal deposits



Complesso dei depositi detritici di limitato spessore

Depositi continentali (argillosi, sabbiosi e ghiaiosi) e marini costieri (argillosi, sabbiosi e conglomeratici) caratterizzati da notevole eterogeneità litologica e da spessore limitato (PLIOCENE-QUATERNARIO).

Spessore da qualche decina ad alcune centinaia di metri.



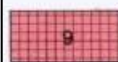
Complesso marnoso-calcarenitico

Successione marnoso-calcarenitica con breccie (che segna il passaggio tra la sedimentazione carbonatica e la sedimentazione terrigena), particolarmente diffusa lungo la fascia di incontro tra il dominio di piattaforma carbonatica (9) e (10) ed il dominio pelagico (12) e (13) (MIOCENE p.p.).

Il complesso affiora, in facies detritiche più sottili, anche ai bordi e all'interno della catena umbro-marchigiana. Spessore di alcune centinaia di metri.

Dominio di piattaforma carbonatica, caratterizzato da altissimi valori di infiltrazione efficace e attiva circolazione sotterranea.

Carbonate shelf domain characterised by very high effective infiltration and aquifer capacity.



Complesso di piattaforma carbonatica

Successione calcarea (intrabiospariti, cospariti e biomicriti prevalenti) e calcareo-dolomitica di piattaforma subsidente, priva di significative intercalazioni terrigene; sono stati unificati i lembi calcarei miocenici trasgressivi sui carbonati mesozoici. (GIURASSICO p.p. - MIOCENE INFERIORE).

Spessore da poche centinaia a circa 3000 metri.



Complesso del margine della piattaforma carbonatica

Successioni calcaree detritico-organogene, sovente brecciate, irregolarmente distribuite, nello spazio e nel tempo, lungo i margini della piattaforma (9). (GIURASSICO-CRETACICO).

Spessori molto variabili da poche decine di metri ad alcune centinaia di metri.

Dominio della sedimentazione pelagica, caratterizzato da alti valori di infiltrazione efficace e attiva circolazione sotterranea.



Complesso di transizione bacino-piattaforma

Successioni calcareo-marnoso-siliciche, depostesi in ambiente di transizione bacino-piattaforma. (GIURASSICO p.p. - OLIGOCENE).

Figura 10 - Stralcio della carta idrogeologica dell'Italia Centrale (C. Boni, P. Bono, G. Capelli; Mem. Soc. Geol. It. XXXV - 1986).

7. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

La caratterizzazione geotecnica del sottosuolo del sito oggetto di studio è stata effettuata mediante l'analisi dei risultati delle indagini eseguite nell'area in oggetto o nelle sue immediate vicinanze, sia per l'esecuzione degli studi di microzonazione sismica che per la riparazione post-sisma dell'edificio posto subito a nord del campo sportivo esistente. L'ubicazione delle indagini è riportata nell'Allegato 4.11. Le indagini prese in considerazione per l'area in studio sono le seguenti:

- N°4 *Standard Penetration Test* (S.P.T.) eseguite all'interno del foro di sondaggio Sc,DH3-3, per la microzonazione sismica;
- N°2 prove tramite penetrometro dinamico super-pesante tipo Meardi, eseguite per la riparazione post-sisma dell'edificio (SCPT1 e SCPT2). I valori ottenuti da tali prove sono stati confrontati con i relativi valori di N_{SPT} , mediante la correlazione $N_{SCPTMeardi} = 0,5 \cdot N_{SPT}$;
- N°1 prova penetrometrica statica (CPT1), anch'essa eseguita per la riparazione dell'edificio. Tale prova ha permesso di indagare la coltre superficiale del sottosuolo a maggiore componente coesiva.

Dai valori di N_{SPT} (numero di colpi necessari all'infissione della batteria di aste del penetrometro di 30 cm (15+15)) ricavati dall'esecuzione delle prove SPT e SCPT è stato possibile risalire alla coesione non drenata (c_u) per i terreni a maggiore componente coesiva, ed alla densità relativa (Dr), all'angolo di attrito interno (φ') e al modulo elastico (E), per i terreni granulari. Si riportano di seguito le relazioni utilizzate per stimare le caratteristiche meccaniche dei terreni in oggetto:

$c_u = 0,067 \cdot N_{SPT}$	Sanglerat (per argille limo-sabbiose)
$Dr = 21 \cdot (N_{SPT} / (\sigma'_v + 0,7))^{0,5}$	Meyerhof 1957
$\varphi = 29,47 + 0,46 \cdot N_{SPT} - 0,004 \cdot N_{SPT}^2$	Meyerhof
$E = 7,71 \cdot N_{SPT} + 191$	D'Apollonia et al. (per sabbie con ghiaia)
$E = 7 \cdot N_{SPT}^2$	Tornaghi et al.

I risultati della prova CPT sono stati invece correlati tramite il grafico di Searle I.W. (1979), che ha portato alla stima dei valori di coesione non drenata c_u , angolo di attrito interno φ' e densità relativa D_r .

PROF. (m)	LITOLOGIA	γ (g/cm³)	C_u (KPa)	D_r (%)	φ' (°)	E (MPa)
0,0 – 0,70	Terreno vegetale	1,2-1,5	80-130	---	---	---
0,70 – 2,70	Sabbia limosa	1,7-1,9	---	25-45	29-36	80
2,70 – 45,50	Ghiaia sabbiosa	1,8-2,0	---	80-90	35-42	50-70

I valori riportati sono stati stimati sulla base delle indagini reperite nell'area oggetto della variante e nelle sue immediate vicinanze e danno delle buone indicazioni sulle caratteristiche meccaniche dei terreni che la costituiscono, tuttavia per la realizzazione dei singoli interventi si raccomanda l'esecuzione di indagini specifiche.

8. CARATTERIZZAZIONE DEL SOTTOSUOLO TRAMITE INDAGINI SISMICHE

Le caratteristiche sismiche del sottosuolo dell'area in esame sono state accertate tramite l'esecuzione di una prova *Down hole* all'interno del foro di sondaggio Sc,DH3-3 e di una misura di microtremori tramite prova sismica passiva a stazione singola; le indagini prese in considerazione sono quelle effettuate per la microzonazione sismica dell'area aquilana.

In Tabella 1 si riporta il report di indagine della prova *down hole*, che consente la determinazione in sito delle velocità di propagazione delle onde sismiche di compressione (V_p) e di taglio (V_s) nel terreno lungo una direzione sub-verticale. Dalla sua osservazione si riscontrano delle inversioni di velocità delle onde sismiche V_p e V_s tra 13 e 17 m e tra 21 e 29 m di profondità. La prova non ha permesso di individuare il *bedrock* sismico poiché è stato riscontrato un valore di $V_s > 800$ m/s soltanto nell'intervallo tra 23 e 25 m di profondità a cui è seguito tuttavia un'ulteriore diminuzione dei valori. Tali lievi variazioni di velocità propagazione delle onde sismiche sono legati a locali variazioni delle caratteristiche meccaniche delle ghiaie che caratterizzano il sottosuolo investigato.

Profondità	V_p	V_s	V_p/V_s	Poisson
0.00 - 1.00	333	111	2.99	0.44
1.00 - 3.00	378	126	3.00	0.44
3.00 - 5.00	850	282	3.01	0.44
5.00 - 7.00	1608	576	2.79	0.43
7.00 - 9.00	1361	529	2.57	0.41
9.00 - 11.00	1532	560	2.74	0.42
11.00 - 13.00	1675	576	2.91	0.43
13.00 - 15.00	1256	453	2.77	0.43
15.00 - 17.00	1161	372	3.12	0.44
17.00 - 19.00	1786	631	2.83	0.43
19.00 - 21.00	1793	623	2.88	0.43
21.00 - 23.00	1042	404	2.58	0.41
23.00 - 25.00	2173	846	2.57	0.41
25.00 - 27.00	1120	474	2.36	0.39
27.00 - 29.00	1173	401	2.92	0.43
29.00 - 31.00	1532	636	2.41	0.40
31.00 - 33.00	1533	604	2.54	0.41
33.00 - 35.00	1661	672	2.47	0.40
35.00 - 37.00	1812	755	2.40	0.39

Tabella 1 – Esito della prova sismica down hole. V_p =velocità media nell'intervallo di profondità delle onde P (m/s), V_s =velocità media nell'intervallo di profondità delle onde S (m/s), Poisson =coefficiente di Poisson.

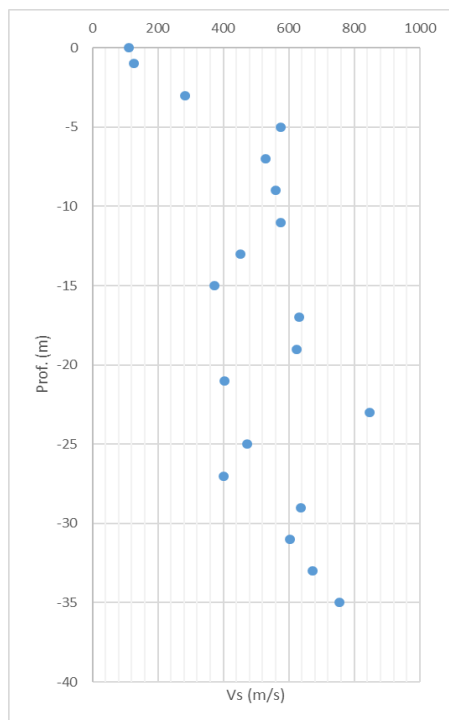


Figura 11 – Andamento della velocità delle onde S con la profondità misurato con la prova down hole Sc-DH3-3

Il grafico HVSR (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) è stato ricavato dall'esecuzione dell'indagine sismica passiva mediante l'utilizzo di un tromografo digitale che rileva il rumore sismico ambientale tramite tre sensori elettrodinamici (velocimetri) orientati N-S, E-W e verticalmente, che permettono la registrazione del microtremore nel campo di frequenze compreso tra 0 e 200 Hz.

Dai risultati della prova (Figura 12) emerge la presenza di due picchi di frequenza, uno a 7.19 Hz e l'altro intorno a 11 Hz. Il picco a maggiore frequenza (11Hz) e ampiezza $H/V=5$ è molto probabilmente legato al contrasto di impedenza sismica che si rileva al contatto superficiale tra i depositi eluvio-colluviali e ed i depositi di conoide alluvionale. Il picco alla frequenza di 7,19 Hz e H/V di circa 4, è probabilmente legato al contatto tra le ghiaie e le sabbie fini intercettato a 45,5 m dal sondaggio.

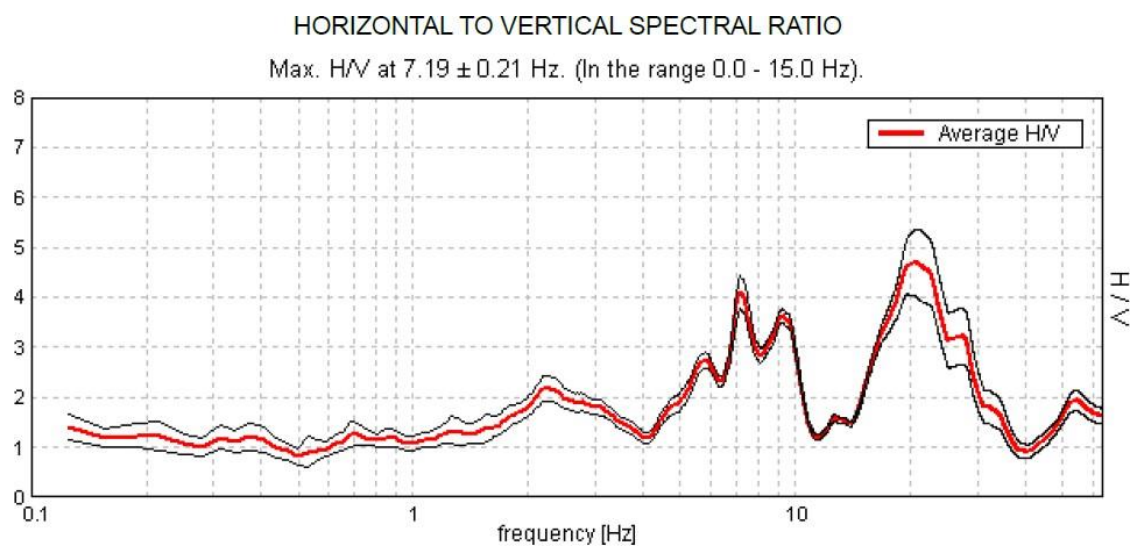


Figura 12 - Grafico HVSr della misura della prova sismica passiva a stazione singola eseguita nel sito in oggetto.

9. SISMOTETTONICA E SISMICITA' STORICA

Il contesto sismotettonico dell'area in oggetto si inquadra nei processi estensionali che hanno caratterizzato la deformazione della crosta appenninica a partire dal Pliocene e in particolare in quelli relativi alla distensione NE-SW di questo settore di catena.

Nella Figura 13 è riportato lo schema delle faglie attive primarie dell'Appennino aquilano. La maggior parte dei sistemi di faglia riportati sono a cinematica normale ed immergenti verso SW. Come si può osservare la zona oggetto della presente relazione è posta a sud-ovest del sistema di faglie di Paganica – San Demetrio (PSDFS), che è stato riconosciuto come l'espressione superficiale della sorgente sismogenetica responsabile del terremoto del 6 Aprile 2009. La struttura, di circa 15/20 km di lunghezza, è composta da sette segmenti principali, ciascuno lungo circa 1-7 km, tutti in rapporto *en-echelon* destro tra loro. I due segmenti centro-settentrionali (Colle Enzano e Paganica), ovvero quelli più vicini all'area di enucleazione profonda della rottura, sono anche quelli che mostrano gli indizi più consistenti di fagliazione di superficie, con rigetti sino a 10-15 cm. Le faglie che compongono tale sistema dislocano a gradinata una successione alluvionale datata al Pleistocene medio (Messina *et al.*, 2009), oltre a depositi di versante di età tardo Pleistocene Superiore- Olocene (Falcucci *et al.*, 2009). (tratto da MZS dell'area Aquilana – Gruppo di lavoro MS-AQ (2010)).

L'area in oggetto è una zona storicamente sismica; dalla consultazione del database macrosismico Italiano, DBMI15 dell'INGV si identificano nell'area di Paganica 21 eventi sismici di Mw (Magnitudo momento) superiore a 4 nell'intervallo temporale dal 1703 al 2009 (Tabella 2 e Figura 14).

L'intensità macrosismica massima, pari a 8-9, registrata nel passato è attribuita all'evento del 1703 con area epicentrale nell'Aquilano; mentre l'intensità macrosismica attribuita all'evento del 6 aprile 2009 per la zona tra Paganica e Bazzano è pari a 8.

La Carta delle massime intensità macrosismiche osservate nei comuni italiani (Figura 15) riporta inoltre per la zona dell'aquilano una I_{max} registrata maggiore o uguale a 10.

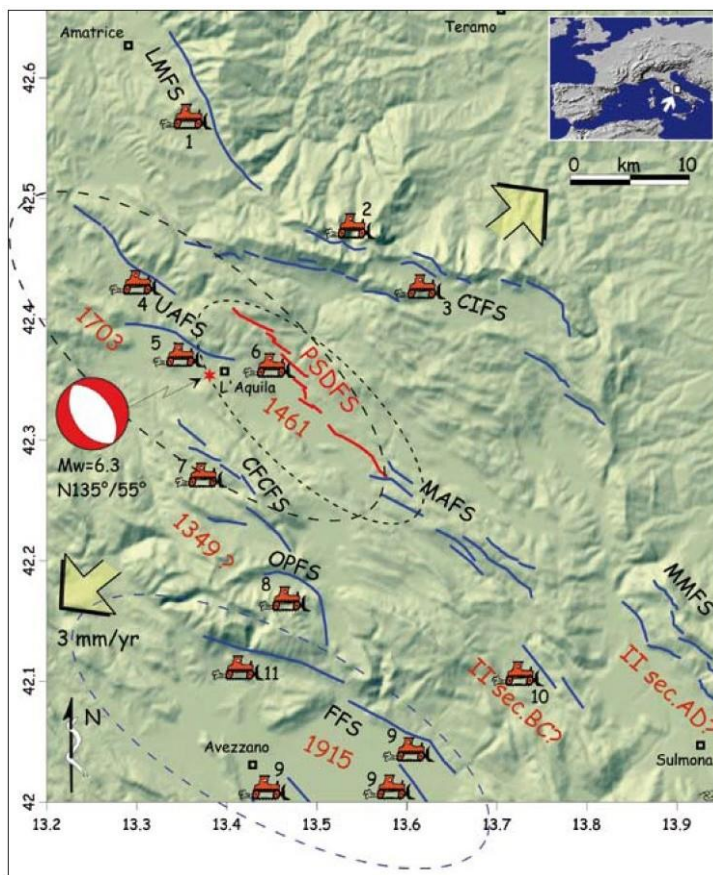


Figura 13 - Schema delle faglie attive primarie dell'appennino aquilano (le faglie sono tutte a cinematica prevalente normale ed immergono a ~SW). LMFS, sistema di faglie dei Monti della Laga; CIFS, sistema di faglie del Monte San Franco (ad occidente) e di Campo Imperatore (ad oriente); UAFS, sistema di faglie dell'alta valle dell'Aterno (i.e., faglie del Monte Marine e del Monte Pettino); PSDFS, sistema di faglie di Paganica-San Demetrio (faglie Collebrincioni- San Demetrio); MAFS, sistema di faglie della media valle dell'Aterno; MMFS, sistema di faglie bordiero della piana di Sulmona (faglie del Monte Morrone); CFCFS, sistema di faglie di Campo Felice-Colle Cerasitto; OPFS, faglie di Ovindoli-Piano di Pezza; FFS, sistema di faglie del bacino del Fucino. Le grandi frecce divergenti indicano la direzione di estensione da dati GPS (Mantenuto et al., 2007). La stella rossa indica l'ipocentro strumentale del terremoto del 2009 (rilocalizzazione INGV, 2009). In rosso le date dei terremoti distruttivi associati alle relative strutture tettoniche note (ellissi a tratteggio indica l'area mesosismica). In rosso anche il PSDFS, responsabile del terremoto del 2009. Il simbolo dello scavatore indica le faglie investigate e parametrizzate tramite analisi paleosismologiche (vedi in Galli et al., 2008 gli studi relativi; i siti 5, 6 e 11 sono stati studiati da Galli et al. 2009b, a seguito del terremoto ed i risultati sono in corso di elaborazione; il sito 10 è stato analizzato da Falcucci Gori, in prep.). (Tratto da MZS dell'area Aquilana)

Storia sismica di Paganica [42.358, 13.473]

Numero di eventi: 21

Effetti	In occasione del terremoto del				
Int.	Anno Me Gi Ho Mi Se	Area epicentrale	NMDP	I ₀	M _w
8	1703 01 14 18	Valnerina	197	11	6.92
8-9	1703 02 02 11 05	Aquilano	69	10	6.67
5	1887 01 27 02 45	Aquilano	30	5	4.17
NF	1898 08 25 16 37 4	Valnerina	67	7	5.03
NF	1904 11 02 15 32 0	Marsica	44	5-6	4.54
3	1906 01 29 15 05	Valle del Tronto	50	5	4.28
NF	1906 02 05 16 34	Valnerina	55	5	4.41
4	1906 07 01 00 50	Reatino	41	5	4.29
4-5	1908 01 16 10 27	Aquilano	11	4-5	4.12
NF	1910 12 26 16 30	Monti della Laga	50	5-6	4.56
4	1911 05 28 13 52	Aquilano	9	5	4.16
8	1915 01 13 06 52 4	Marsica	1041	11	7.08
4	1938 08 12 02 28 3	Appennino laziale-abruzzese	55	5-6	4.56
7	1950 09 05 04 08	Gran Sasso	386	8	5.69
7	1951 08 08 19 56	Gran Sasso	94	7	5.25
6	1958 06 24 06 07	Aquilano	222	7	5.04
2	1960 03 16 01 52 4	Monti della Laga	81	5	4.44
4	1961 10 31 13 37	Reatino	84	8	5.09
5	1985 05 20 10 00 2	Aquilano	29	5-6	4.51
5	1985 05 23 01 04 1	Aquilano	7	5	4.11
8	2009 04 06 01 32 4	Aquilano	316	9-10	6.29

Tabella 2 - Storia Sismica di Paganica. Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>. In tabella sono riportati i seguenti dati: Intensità del sisma (I_s), Anno Mese Giorno e Ora di accadimento dell'evento sismico, Area epicentrale, Numero di punti dati macrosismici (NMDP), Intensità epicentrale (I₀), Magnitudo momento (M_w).

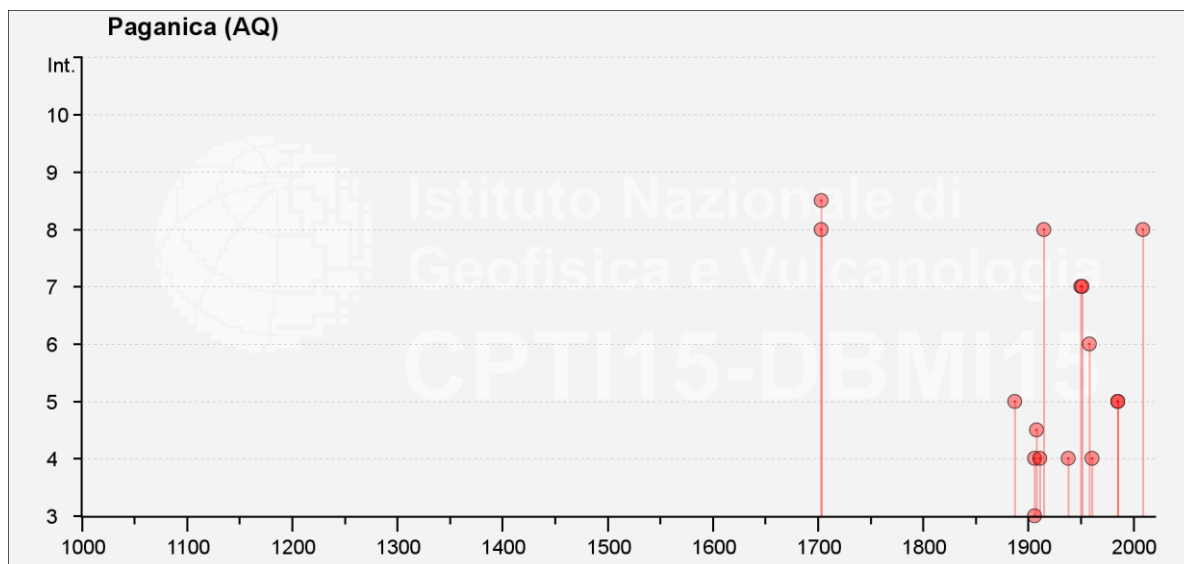


Figura 14 - Terremoti di magnitudo minima 4 registrati a partire dal 1703 nell'area di Paganica (Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds), 2016. Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani (CPTI15). Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV). <https://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15>

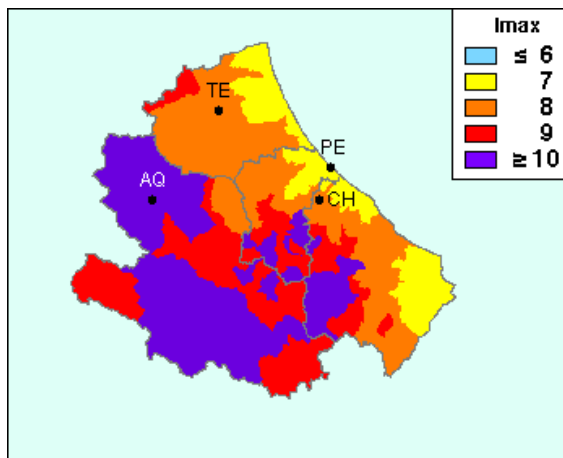


Figura 15 - Carta delle Massime Intensità Macrosismiche registrate nei Comuni dell'Abruzzo
 (da: http://emidius.mi.ingv.it/GNDT/IMAX/MAPPE_PROVINCE/13.html).

10. MICROZONAZIONE SISMICA

A seguito del sisma del 6 Aprile 2009 il Dipartimento di Protezione Civile Nazionale (DPCN) e la Regione Abruzzo hanno promosso e coordinato gli studi di “Microzonazione sismica per la ricostruzione dell’area aquilana” che hanno consentito di individuare e delimitare le aree a comportamento omogeneo, distinguendo tra zone stabili, zone stabili suscettibili di amplificazione locale e zone soggette a instabilità, quali frane, fratturazioni superficiali e liquefazioni del terreno.

Più in particolare lo studio di microzonazione di livello 1 e 3 sono stati effettuati per le aree che hanno subito un’intensità macrosismica almeno pari o superiore al VII grado MCS. Il livello 1 di microzonazione è un livello propedeutico ai veri e propri studi di Microzonazione sismica, in quanto consiste in una raccolta di dati preesistenti, elaborati per suddividere il territorio in microzone qualitativamente omogenee, mentre il livello 3 restituisce una carta di MS con approfondimenti su tematiche o aree particolari.

La carta di Microzonazione Sismica di livello 1 della zona di Paganica – Tempera – S. Gregorio (Macroarea 3) classifica l’area in oggetto come stabile suscettibile di amplificazioni locali (Zona 11) (Allegato 4.6), mentre la carta di livello 3 indica per l’area un Fattore di Amplificazione $FA = 1,5 - 1,6$ (Allegato 4.7).

11. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione geologica è stata redatta ai fini della richiesta del parere di compatibilità geomorfologica ai sensi dell'art. 89 del D.P.R. 380/2001 per la realizzazione del masterplan di Paganica, che prevede la riorganizzazione funzionale degli spazi creando un plesso scolastico collegato alla limitrofa area sportiva secondo il concetto di "campus", dotato quindi di campi polivalenti, palestre e biblioteca. In particolare l'intervento prevede la riorganizzazione dell'intero compendio attualmente destinato a Zona per attrezzature generali culturali, art. 35 delle N.T.A. e del contiguo lotto destinato a Zona a verde pubblico con ridefinizione dei rapporti dimensionali dei due ambiti a vantaggio delle superfici da destinare ai Servizi scolastici. Sarà quindi effettuata la rotazione dalla destinazione di Zona per attrezzature generali culturali art. 35 a quella di "Zona per servizi pubblici" – art. 30 delle N.T.A. del P.R.G. per i compendi da destinare a servizi scolastici con lieve aumento superficario del perimetro attuale tale da renderlo adeguato all'attuazione del futuro campus scolastico; mentre per il compendio destinato agli spazi ed impianti sportivi si provvederà ad una ridefinizione piano volumetrica con adeguamento dei parametri edilizi in funzione di riequilibrio tra le potenzialità edificatorie e le strutture attuate e da attuare.

Sulla base delle conoscenze disponibili sono state fornite, in armonia con la legislazione vigente, alcune considerazioni di ordine geologico-tecnico che dovranno essere adeguatamente verificate in sede di progettazione dei singoli interventi.

La presente relazione geologica è stata redatta a partire dai dati bibliografici esistenti, con particolare attenzione agli studi di Microzonazione Sismica dell'Area Aquilana, sulla base di un rilevamento geologico e geomorfologico di superficie, dall'analisi dei report delle indagini geognostiche eseguite per la microzonazione sismica e per la ricostruzione di un edificio privato in adiacenza all'area in oggetto; l'ubicazione delle indagini reperite e i report di indagine sono riportate negli allegati 4.11 e 4.12.

Dal punto di vista geomorfologico l'area è posta in corrispondenza dell'estremità orientale della conoide di Paganica, formatasi allo sbocco del Torrente Raiale sulla piana alluvionale della media valle del Fiume Aterno. La conoide alluvionale risulta essere in stato di quiescenza come confermato dalla carta geomorfologica del Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico dei Bacini

Idrografici di Rilievo Regionale Abruzzesi e del Bacino Interregionale del Fiume Sangro - "Fenomeni Gravitativi e Processi Erosivi" (PAI), Foglio 359 O (Figura 5).

Considerato che l'area è ubicata in una zona alluvionale, nella porzione terminale di una conoide alluvionale, si consiglia, in fase di progettazione degli interventi, di prevedere un adeguato sistema di canalizzazione delle acque superficiali e di favorire la sistemazione delle superfici esterne con soluzioni che ne garantiscano la permeabilità.

La Carta di Pericolosità del PAI, Foglio 359 O (Figura 6), non indica inoltre, in corrispondenza del sito oggetto d'indagine, la presenza di aree considerate a pericolosità molto elevata (P3), elevata (P2), moderata (P1) o a pericolosità da scarpata (Ps). Inoltre la carta di Pericolosità Idraulica del Piano Stralcio di Difesa dalle Alluvioni (PSDA), elaborato n° 7.2.07.at.07 (Figura 7), non individua l'area oggetto di studio tra quelle considerate a pericolosità molto elevata, elevata, media e moderata.

La litologia del sottosuolo risulta costituita da un orizzonte superficiale composto da argilla sabbiosa con clasti, dello spessore di circa 2,7 m, a cui seguono ghiaie e ciottoli in matrice sabbioso-limosa, intercettate sino alla profondità di 45,5 m dal p.c.. Le caratteristiche di tali ghiaie variano con la profondità sia dal punto di vista granulometrico che per grado di addensamento. A partire da 45,5 m sono state intercettate sabbie limose che probabilmente costituiscono il tetto del substrato geologico (Unità Argilloso Marnosa).

Dall'analisi della stratigrafia del sondaggio eseguito nel sito in esame non è emersa la presenza di falda entro i primi 50 m di profondità.

Sotto l'aspetto geotecnico i depositi superficiali (entro il primo metro di profondità) sono dotati di caratteristiche meccaniche scadenti; mentre sia le sabbie limose che le ghiaie che caratterizzano la stratigrafia del sottosuolo hanno mostrato una buona resistenza alla penetrazione durante l'esecuzione delle prove SPT, CPT e SCPT. I valori riportati nel paragrafo 7 forniscono indicazioni sulle caratteristiche meccaniche dei terreni coinvolti, tuttavia per la realizzazione dei singoli interventi è necessaria l'esecuzione di indagini specifiche.

Negli studi di microzonazione sismica dell'area aquilana terzo livello (macroarea 3 - Paganica – Tempera – S. Gregorio) l'area in oggetto è classificata come zona stabile suscettibile di amplificazioni locali (FA compreso tra 1,5 e 1,6).

Dalla Carta delle pericolosità (Allegato 4.9), che rappresenta la sintesi delle valutazioni geologiche, sismiche, vegetazionali e dei vincoli territoriali emerge la

necessità di tenerne conto, in fase di progettazione degli interventi, della suscettibilità ad amplificazione locale del moto sismico conferita dall'assetto stratigrafico del sito. L'area indicata dagli studi di microzonazione sismica come stabile suscettibile di amplificazioni locali è stata trasposta nella Carta di idoneità territoriale (Allegato 4.10) ed è stata identificata come area idonea alla trasformazione previa scelta delle tecniche costruttive che tengano conto del Fattore di Amplificazione del moto sismico.

L'Aquila, Febbraio 2020

L'Istruttore Direttivo Geologo
Geol. Ilaria Polcini