



Città di Bari



Piano Particolareggiato
Santo Spirito

RELAZIONE GEOLOGICA E STUDIO DI COMPATIBILITÀ GEOMORFOLOGICA ai sensi dell'art. 89 del DPR 380/2001



Responsabile del Procedimento

arch. Anna VELLA

Progettisti

Coordinatore della Progettazione

arch. Anna VELLA

ing. Pompeo COLACICCO

arch. Gian Paolo BIANCOFIORE

arch. Costanza SORRENTI

arch. Stefania COLELLA

ing. Silvia BELLIZZI

Attività di supporto alla progettazione e riporto GIS

arch. Eleonora ADESSO

arch. Marco DEGAETANO

Relazione geologica

Geologa Maria Daniela CIAMMARUSTI

Collaboratori tecnici

geom. Nicolò AMODIO

ing. Nicola DISABATO

ing. Simona FIORE

ing. Tommaso RODIO

p.i. Michele MASSAFRA

Collaboratori amministrativi

dott.ssa Paola CIRELLI

dott.ssa Mariesa VACCA

Aggiornamento Settembre 2021

Sommario

Sommario	2
1.PREMESSA.....	3
2. INQUADRAMENTO DELL'AREA	6
2.1 Inquadramento geografico.....	6
2.2 Inquadramento geologico	6
2.3 Caratteri litostratigrafici del sito di progetto.....	8
3. PIANO STRALCIO PER LA DIFESA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO E IDROGEOMORFOLOGICO CON RIFERIMENTO ALL'AREA DI INTERVENTO.....	11
4. CARATTERI GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI E IDROGEOLOGICI DEL SITO.....	13
6.1 Sismicità dell'area.....	17
5. SISMICITA' DELL'AREA	18
6. INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	21
6.1. Sismica a rifrazione	23
6.2 Prospezione sismica per la stima del $V_{s,eq}$	25
6.3 Calcolo dei moduli elastici dinamici e Parametri geotecnici.....	27
7. CONCLUSIONI.....	31

1.PREMESSA

Il presente studio geologico è stato redatto al fine di verificare la compatibilità geomorfologica degli interventi previsti nell'aggiornamento del "Piano Particolareggiato della zona di interesse Ambientale A/2 di Santo Spirito", con le condizioni geomorfologiche dell'area interessata, in adempimento a quanto previsto dall'art. 89 del DPR n.380/01.

L'area in oggetto si sviluppa intorno al porto dell'abitato di Santo Spirito (Bari), tra il Largo di Santo Spirito Cristoforo Colombo, Via Udine, Via Napoli e Vico Traversa, come meglio evidenziata nello Stralcio cartografico riportato di seguito. La superficie complessiva è di circa 13.5 ha, interamente urbanizzata.



STRALCIO ORTOFOTO CON UBICAZIONE AREA DI PROGETTO

Lo studio geologico effettuato si è basato su:

-un'analisi cartografica di base e dati derivanti da precedenti campagne geognostiche effettuate in adiacenza al sito in esame;

-un rilevamento di superficie comprendente l'individuazione delle unità litostratigrafiche presenti, delle lineazioni morfologiche, nonché delle eventuali aree di dissesto;

-una campagna geognostica di indagini di tipo indiretto consistita in:

- n. 2 prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde P (BS01 e BS02) entrambe di lunghezza pari a 75.0 metri;
- n. 2 prospezioni sismiche eseguite con tecnica RE.MI. per la determinazione delle onde di taglio (S), (RE.MI.01 e RE.MI.02) ciascuna eseguita in corrispondenza della stessa base sismica per la quale sono stati utilizzati n. 24 geofoni con spaziatura inter-geofonica di 3.0m; tale tecnica consentirà di stimare il valore delle $V_{s,eq}$.

Lo studio ha permesso di:

-rilevare i caratteri geomorfologici e idrogeologici dell'area e verificare, in ordine a tali aspetti, la compatibilità del sito alla scelta urbanistica effettuata;

-individuare la locale sismo stratigrafia del sottosuolo;

-definire i parametri elastici dei terreni, attraverso i quali è possibile costruire un modello geologico-geotecnico di sintesi;

-stimare i valori delle $V_{s,eq}$ al fine di determinare la categoria del suolo di appartenenza dei terreni in esame, necessaria alla definizione dell'azione sismica di progetto, ai sensi delle "Norme Tecniche per le Costruzioni" -Decreto Min. Infrastrutture del 17 gennaio 2018;

-verificare che le attività in progetto non alterino la sicurezza del territorio.

Il presente studio ottempera altresì a quanto prescritto dal D.M. 17.01.18 in materia di criteri di carattere geologico e geotecnico da adottarsi nell'elaborazione dei piani urbanistici.

Ai fini della verifica delle condizioni di assetto idraulico e geomorfologico dell'area di intervento, si è proceduto alla consultazione del Piano Stralcio per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia, relativo alle aree a pericolosità geomorfologica e idraulica.

E' stato inoltre consultato il database cartografico dell'Ufficio Parchi e Riserve Naturali della Regione Puglia ha messo in evidenza, per l'area in oggetto, l'assenza di

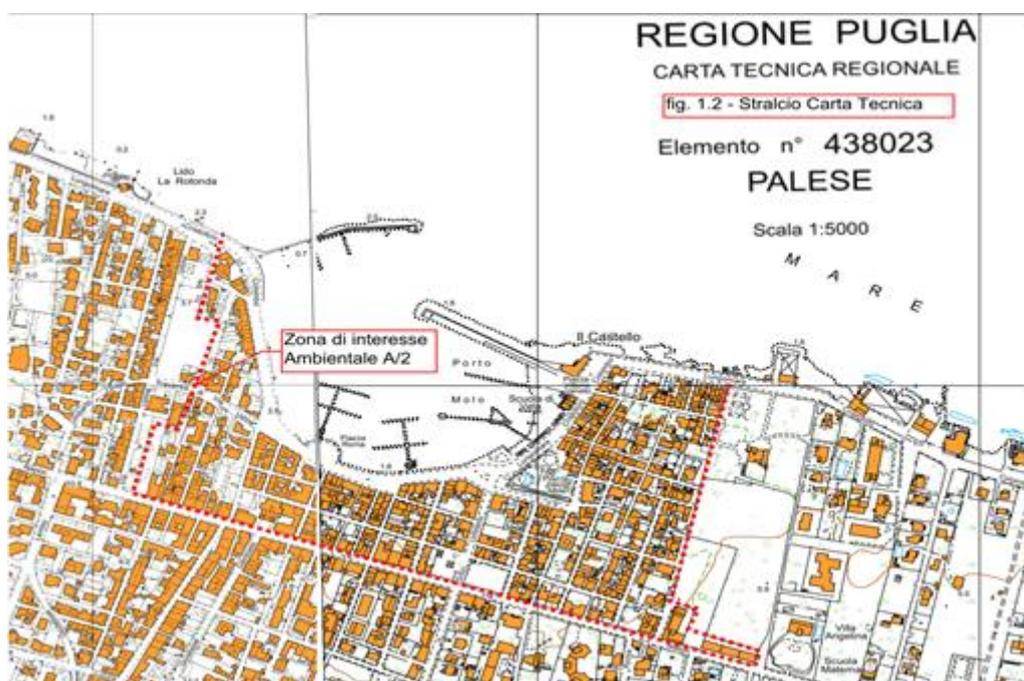
perimetrazioni relativamente alle aree SIC (Siti di Interesse Comunitario) ZPS (Zone di Protezione Speciale) e IBA (Important Bird Areas) (cfr. Relazione generale). Nella fascia di mare antistante il porto è localizzato il Sito di importanza comunitaria “Posidonieto San-Vito Barletta” IT 9120009, esterno comunque all’area di interesse (vedi di seguito).



2. INQUADRAMENTO DELL'AREA

2.1 Inquadramento geografico

L'area in esame si sviluppa intorno al porto dell'abitato di Santo Spirito (Bari), tra il Largo di Santo Spirito Cristoforo Colombo, Via Udine, Via Napoli e Vico Traversa; appartiene alla Tavoleta 177 II-NO "Santo Spirito" dell'I.G.M.; presenta un andamento sub-pianeggiante e si sviluppa a quote comprese tra circa m.1.70 e m.10.60 sul livello del mare, con lieve pendenza in direzione NE; il dislivello massimo è di circa 9 metri con una pendenza dell'ordine di 1% – 3 %. Di seguito si riporta uno stralcio della carta Tecnica Regionale con indicata l'ubicazione dell'area di Piano.



2.2 Inquadramento geologico

Si ritiene necessario inquadrare dal punto di vista geologico il territorio in cui ricade la zona in esame al fine di una più chiara lettura delle caratteristiche di dettaglio dei terreni interessati dal Piano Particolareggiato, riportate nei paragrafi successivi.

Secondo la cartografia ufficiale, Foglio n°177 "Bari" della Carta Geologica d'Italia, edita dal Servizio Geologico d'Italia, di cui si riporta di seguito uno stralcio,

Il “calcare di Bari” è una formazione costituita da un’alternanza irregolare di calcari bianchi micritici o bioclastici a grana fine, microfossiliferi, calcari dolomitici e dolomie compatte e tenaci, di colore bianco, grigio o nocciola, stratificate, interessate da un grado molto variabile di fratturazione e carsismo. Si presentano in strati e banchi regolari, a luoghi molto fratturati e con diffuse forme di dissoluzione carsica. In genere i calcari bianchi presenti nella fascia più superficiale, assumono un aspetto caratteristico a lastre chiamato “a chiancarelle”.

In trasgressione su tali calcari sono presenti i terreni calcarenitici e/o arenaceo-sabbiosi più o meno cementati ascrivibili alla formazione della “calcarenite di Gravina”, generalmente presenti lungo la fascia costiera, il cui grado di diagenesi risulta molto variabile da zona a zona. Sono presenti in aree molto estese in prossimità della costa o in lembi isolati di estensione variabile man mano che ci si sposta verso l'interno.

Seguono i vari sintemi, con ambienti di deposizione da piattaforma a laguna a alluvionale, estensioni e spessori limitati. Si tratta di sedimenti terrigeni costituiti da sabbie quarzoso-calcaree, conglomerati e calcari biogeni (Pieri, 1980). Infine, abbiamo i depositi alluvionali recenti e attuali occupano le aree più morfologicamente depresse, in particolare gli alvei delle vicine "lame".

2.3 Caratteri litostratigrafici del sito di progetto

Il rilevamento geologico dell'area in esame ha confermato che in essa affiorano esclusivamente i terreni del basamento lapideo di natura carbonatica afferente alla formazione cretacea dei Calcari di Bari (CBA). Si presume che la copertura tufacea possa essere stata eliminata probabilmente a seguito dell’attività edificatoria nella zona considerato che i depositi tufacei erano presenti con una limitata estensione e con un esiguo spessore.

In corrispondenza del sito non sono presenti affioramenti sufficientemente esposti da consentire la descrizione dei caratteri litostratigrafici, sedimentologici e strutturali della unità affiorante. La superficie è sub-pianeggiante e completamente antropizzata; lungo la costa è stato possibile rilevare la presenza di affioramenti di calcare stratificato e fratturato (vedi Foto).



– Affioramento di Calcere di Bari, rilevato lungo la costa nei pressi di V. G. Ranieri.



-Affioramento di Calcere di Bari, rilevato lungo la costa nei pressi del Largo di Santo Spirito C. Colombo nei pressi di via Pola.

Nei pressi di un cantiere tra via Udine angolo via Suor Maria Lucchesi, l'ammasso calcareo si presenta stratificato e fratturato e ricoperto da uno strato di 0,5m – 0,8m di terreno agrario e "terra rossa" (vedi foto sotto).



Affioramento di Calcarea di Bari, rilevato nei pressi di un cantiere tra via Udine angolo via Suor Maria Lucchesi, l'ammasso calcareo si presenta stratificato e fratturato e ricoperto da uno strato di 0,5m – 0,8m di terreno agrario e "terra rossa".

3. PIANO STRALCIO PER LA DIFESA DAL RISCHIO IDROGEOLOGICO E IDROGEOMORFOLOGICO CON RIFERIMENTO ALL'AREA DI INTERVENTO

Il Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), dell'Autorità di Bacino della Puglia, è finalizzato al miglioramento delle condizioni di regime idraulico e della stabilità geomorfologica necessaria a ridurre gli attuali livelli di pericolosità e a consentire uno sviluppo sostenibile del territorio, nel rispetto degli assetti naturali, della loro tendenza evolutiva e delle potenzialità d'uso.

Tali finalità sono state perseguite mediante la definizione del quadro della pericolosità idraulica e geomorfologica in relazione ai fenomeni di esondazione e di dissesto dei versanti, mediante l'adeguamento degli strumenti urbanistico territoriali, mediante la definizione degli interventi per la regolarizzazione dei corsi d'acqua, sistemazione dei versanti, etc.

In base ai criteri di perimetrazione e di valutazione adottati nel P.A.I. è stato verificato come visibile dallo stralcio cartografico riportato di seguito, che l'area in esame non ricade in aree perimetrate a "pericolosità idraulica" e/o "pericolosità geomorfologica" risultando pertanto compatibile con le previsioni del PAI.

Nei paragrafi successivi si analizzeranno in dettaglio i caratteri morfologici, idraulici e idrogeologici del sito al fine di evidenziare eventuali condizioni ostative alla scelta urbanistica dei suoli connesse per l'appunto alla stabilità territoriale (pendenza dei terreni e condizioni carsiche) e a fenomeni di pericolosità idraulica, sia superficiale che profonda.



fig. 3.1 - Stralcio Cartografia PAI

Pericolosità e Rischio

Peric. Geomorf.

- media e moderata (PG1)
- elevata (PG3)

elevata (PG2)

Peric. Idraulica

- bassa (BP)
- alta (AP)

media (MP)

Rischio

- R1
- R3

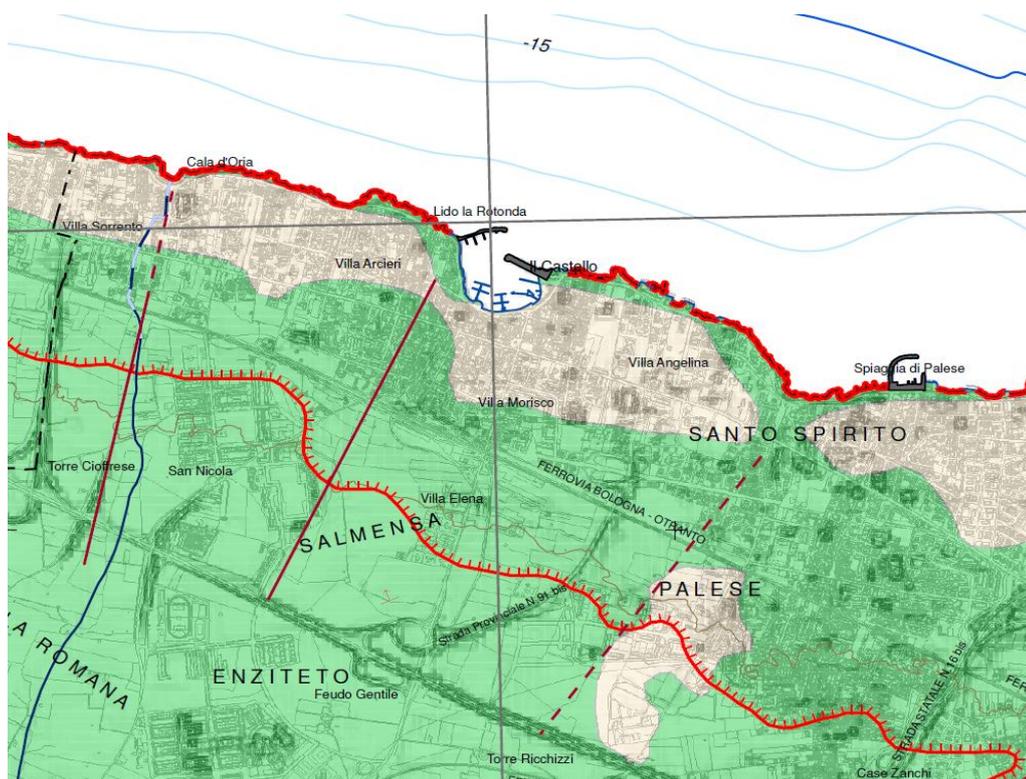
R2

R4

4. CARATTERI GEOMORFOLOGICI, IDROGRAFICI E IDROGEOLOGICI DEL SITO

Ai fini della compatibilità geomorfologica del sito con gli interventi urbanistici previsti, sono stati analizzati i caratteri morfologici dell'area, le condizioni idrografiche di superficie e quelle dei terreni in profondità con riferimento alla falda carsica profonda, al fine di verificare eventuali interferenze negative tra le opere in superficie e i sistemi idrografici al suolo ed idrogeologici nel sottosuolo o in profondità.

Dal punto di vista morfologico risulta difficile distinguere e leggere gli elementi morfologici originari del territorio, essendo l'area di progetto intensamente urbanizzata. In linea generale il territorio presenta nel complesso un assetto stabile poiché fa parte di un'area pianeggiante antistante la scarpata che raccorda il rilievo murgiano al versante adriatico costiero, come si evince dalla consultazione della Carta Idrogeomorfologica di cui se ne riporta uno stralcio di seguito. Il sito presenta una morfologia poco accidentata.



Le superfici sono blandamente modellate da orli di scarpata orientati parallelamente alla linea di costa; rispetto all'area in esame una di queste si sviluppa a circa 750 metri verso sud. Si evidenzia ad Ovest dell'area d'intervento una linea di faglia (in rosso) che corre perpendicolarmente alla costa. Lo studio di dettaglio effettuato ha permesso di

verificare la compatibilità dell'area in ordine alla stabilità territoriale, sia in funzione della pendenza dei terreni sia della esistenza di condizioni carsiche particolari, con le previsioni del Piano Particolareggiato.

Poichè l'area interessa terreni carbonatici, l'attenzione è stata rivolta ai tratti geomorfologici derivanti dall'attività carsica che per l'appunto rappresenta l'aspetto principale di tale tipologia di terreni. Caratteristica dell'attività carsica è la diversa intensità con la quale si presenta anche a distanze brevi, è noto infatti che ad aree interessate da un macrocarsismo si affiancano spesso aree manifestanti un microcarsismo.

Il rilievo di superficie non ha messo in evidenza forme carsiche epigee di una certa entità (depressioni, doline, zone di collasso, inghiottitoi) e nelle poche aree non urbanizzate non è presente in superficie materiale terroso rossastro che come è noto è un prodotto residuale di alterazione dei calcari. Dai rilievi eseguiti non sono emerse forme e condizioni del terreno "di instabilità". L'indagine geognostica indiretta condotta, potrà fornire indizi sull'eventuale presenza di forme carsiche ipogee (cavità, condotte sotterranee, grotte, ecc.), seppur limitatamente al luogo preciso di esecuzione della stessa.

Un carattere tipico del paesaggio carsico è inoltre la quasi totale assenza di una rete idrografica superficiale per la presenza di rocce calcaree permeabili per fessurazione e carsismo, che consentono attraverso le fratture, un' agevole penetrazione di acqua nel sottosuolo, fino al raggiungimento della falda idrica profonda. Tale circostanza rende quindi infrequenti i fenomeni di deflussi rilevanti alla superficie, che possono assumere caratteri rilevanti e rischiosi per esondazioni, solo in occasione di piogge intense. Pertanto deve ragionevolmente ritenersi che nell'area in esame non possano verificarsi situazioni estreme di pericolosità idraulica, anche per le ridotte o insignificanti dimensioni dell'attuale bacino idrografico delimitato fisicamente a sud dalla bretella di viabilità aeroportuale.

Nell'area di studio è presente un modesto solco erosivo distante circa 1 Km che si sviluppa in direzione sud-nord (fig. 5.1).



Come precedentemente evidenziato, in relazione al rischio idraulico e idrogeomorfologico, il sito non ricade all'interno di nessuna delle perimetrazioni attualmente previste dal Piano per l'Assetto Idrogeologico della Regione Puglia (PAI).

Inoltre, anche negli archivi del Progetto IFFI (Inventario dei Fenomeni Franosi Italiani) non è presente alcuna segnalazione nei pressi dell'area in esame (vedi di seguito).



- Progetto IFFI: assenza di fenomeni di dissesto nei pressi dell'area in esame (cerchio rosso).

Dal punto di vista idrogeologico la zona in esame appartiene alla vasta area murgiana caratterizzata dalla presenza di una potente falda, denominata "profonda", che permea la formazione calcareo-dolomitica mesozoica, permeabile per fratturazione e per carsismo.

La irregolare distribuzione del grado di fratturazione e di carsificazione, legata anche alla variabilità delle litofacies carbonatiche presenti nella serie, unitamente alla presenza di depositi ipogei di "terre rosse", conferisce all'acquifero una tipica forte anisotropia idrogeologica, sicché le caratteristiche di alimentazione e di deflusso di detta falda variano notevolmente da luogo a luogo.

L'infiltrazione delle acque meteoriche nel sottosuolo avviene sia in forma concentrata, ove la presenza di forme carsiche superficiali collegate col sistema drenante ipogeo permette la loro rapida infiltrazione nel sottosuolo, sia in forma diffusa, quando nel sottosuolo esistono riempimenti di "terre rosse" oppure il grado di fratturazione è poco sviluppato.

Gli stessi caratteri di forte anisotropia dell'acquifero, specie quelli relativi alla distribuzione dei caratteri di permeabilità, condizionano le quote di rinvenimento della falda, questa può circolare a pelo libero, poco sopra il livello del mare o in pressione.

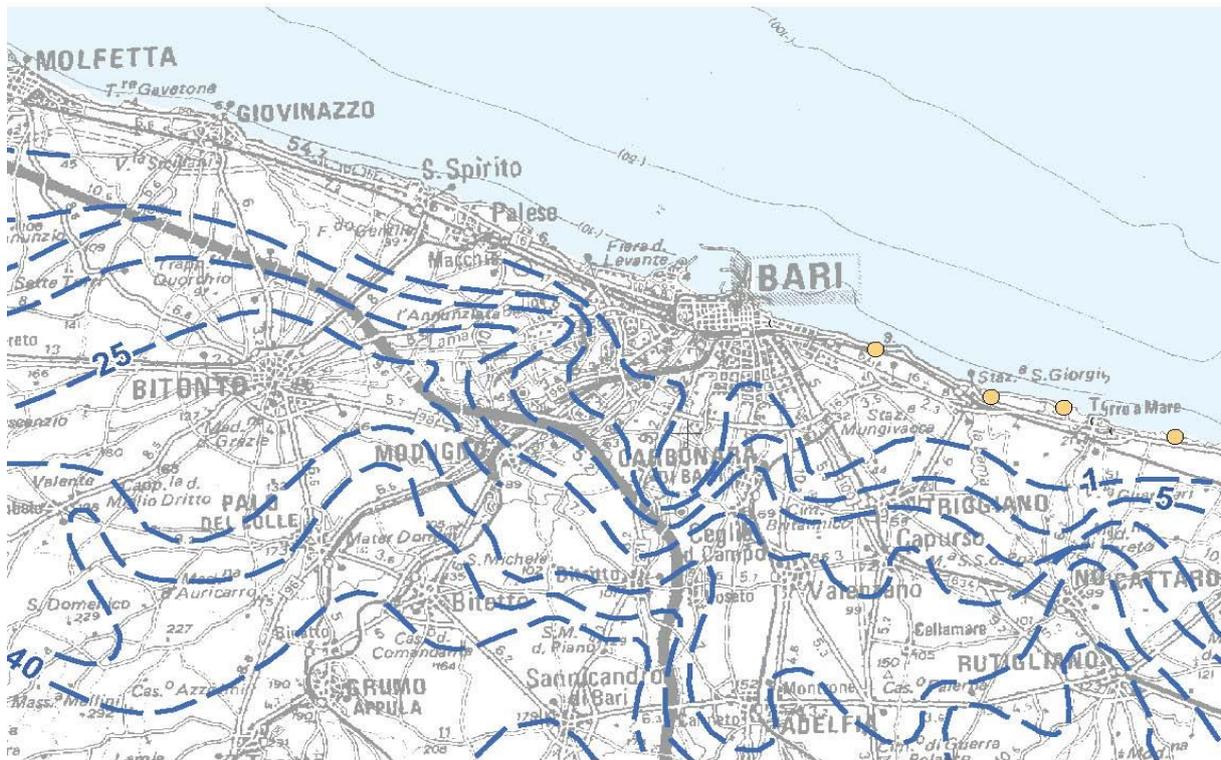
Nell'area in esame e negli acquiferi pugliesi in genere, uno tra i principali fattori che regolano gli equilibri idrogeologici è legato ai rapporti esistenti tra le acque dolci di falda e le acque marine, l'acqua di falda risulta in contatto con l'acqua marina di invasione continentale.

L'equilibrio è legato agli apporti meteorici che alimentano le falde idriche sotterranee e ai prelievi che si effettuano dai pozzi, il cui numero è andato sempre crescendo nel tempo. A causa della diminuzione degli apporti o dell'aumento dei prelievi, l'interfaccia tra l'acqua dolce di falda e l'acqua marina si sposta verso zone sempre più interne e verso l'alto, interessando pozzi via via più lontani dalla costa. Tale fenomeno è andato nel tempo accentuandosi, di pari passo con l'incremento dei prelievi ad uso irriguo, potabile e industriale, ma anche a seguito di un trend climatico.

Rilievi della salinità evidenziano per fascia costiera barese, un notevole aumento del contenuto salino della falda carsica, nella nostra zona risulta essere maggiore di 2 g/l.

Nell'area in esame è presente una falda che circola nell'acquifero carsico, con direzione di movimento verso Nord-Nord-Est. Dall'osservazione della "Carta della Distribuzione Media dei Carichi Piezometrici degli Acquiferi Carsici della Murgia e del Salento", redatta nell'ambito del Piano di Tutela delle Acque (PTA, Tavola 060200) della

Regione Puglia, le quote piezometriche nell'area oggetto di intervento, si aggirano attorno ad 1,7- 10,6 m s.l.m., e pertanto si ipotizza che la falda si attesti a circa 1m -9,5 m dal p.c..

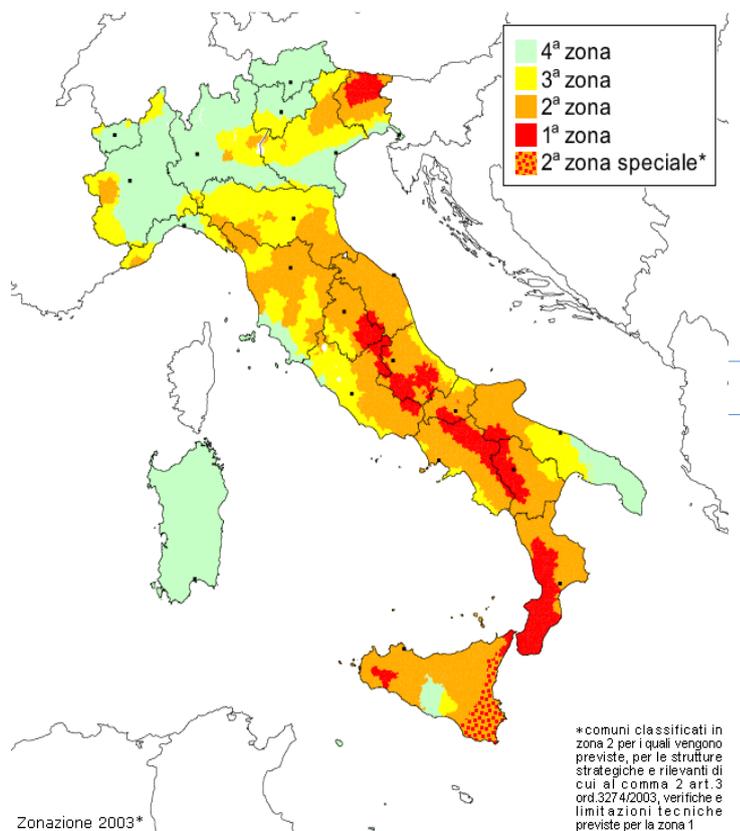


- Stralcio della Tavola 060200 del PTA

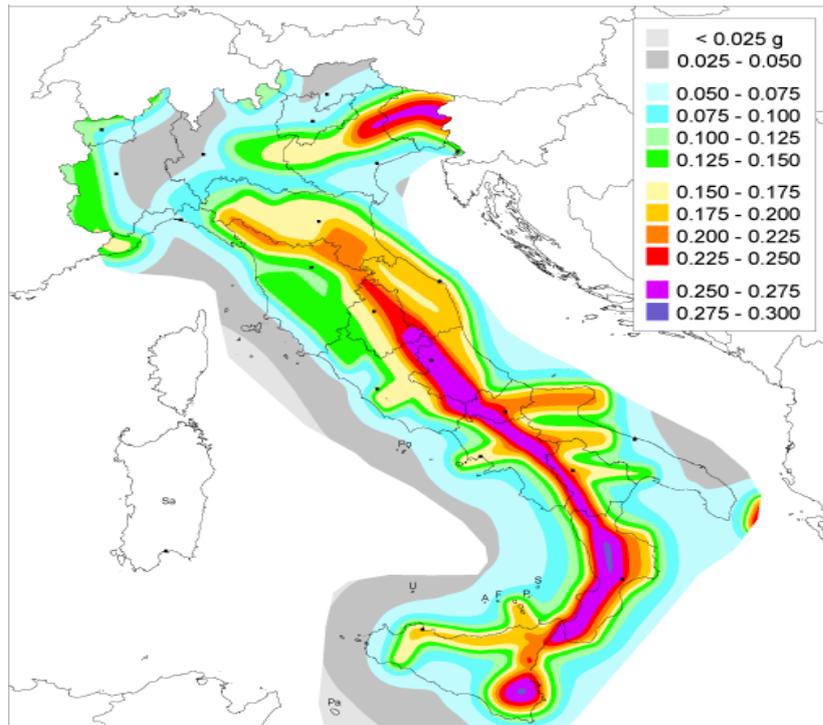
5. SISMICITA' DELL'AREA

Il Comune di Bari è stato classificato, in base all'O.P.C.M. 3274, zona sismica di 3^a categoria, pertanto nella progettazione andranno considerati gli aspetti geodinamici connessi al terreno. In proposito va segnalato che l'assenza di condizioni geostrutturali predisponenti all'evento e la bassa sismicità assegnata al sito esclusivamente con criteri statistico-storici (come è noto l'inserimento è dovuto agli effetti indotti in zona dal grave sisma che ha interessato nel novembre 1980 le regioni limitrofe), permettono di affermare che la distanza epicentrale è stata elevata in passato e, nel caso di eventi futuri, sarà in ogni caso piuttosto elevata (la zona più vicina classificata di 1^a categoria è il Gargano), ed in conseguenza, anche in caso di terremoti di grande magnitudo gli effetti saranno sicuramente modesti.

Si riporta in seguito la zonazione sismica del territorio nazionale ad opera dell'INGV ed inoltre la carta delle accelerazioni del suolo (INGV) in termini di frazioni di "g" (accelerazione di gravità), alle quali il suolo può essere sottoposto a seconda dell'area in cui ricade.



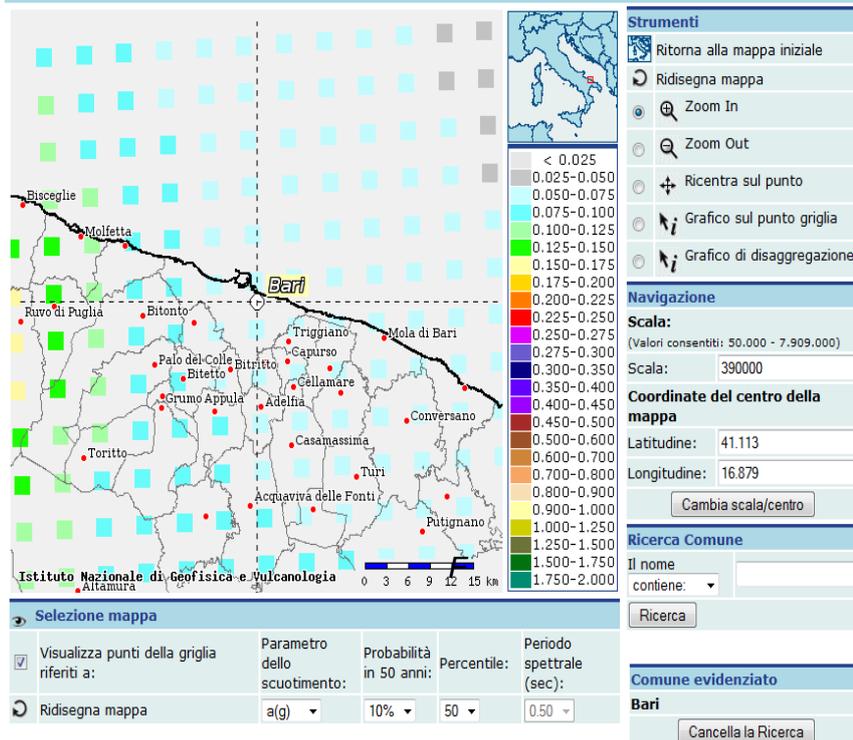
- Zonazione sismica del territorio nazionale (stralcio).



- Carta delle accelerazioni sismiche locali (stralcio).

I nuovi criteri di caratterizzazione sismica locale, come accennato precedentemente, sono menzionati nella Circolare del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP e nel Decreto 17 gennaio 2018 -Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni", per cui per maggiore chiarezza sulla caratterizzazione sismica locale in termini di accelerazione del suolo in caso di sisma, riporteremo in seguito uno stralcio tratto dal sito ufficiale dell'INGV (Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia) in formato web-gis, in cui è possibile ulteriormente osservare la categoria di accelerazione sismica locale in cui il comune di Bari ricade; la quale da un'analisi cromatica della cartografia esaminata si aggira intorno a valori compresi tra 0.050 e 0.075 g (Fig. 15).

Mappe interattive di pericolosità sismica



Strumenti

- Ritorna alla mappa iniziale
- Ridisegna mappa
- Zoom In
- Zoom Out
- Ricentra sul punto
- Grafico sul punto griglia
- Grafico di disaggregazione

Navigazione

Scala:
(Valori consentiti: 50.000 - 7.909.000)
Scala: 390000

Coordinate del centro della mappa

Latitudine: 41.113
Longitudine: 16.879
Cambia scala/centro

Ricerca Comune

Il nome contiene:
Ricerca

Comune evidenziato

Bari
Cancella la Ricerca

Selezione mappa

<input checked="" type="checkbox"/>	Visualizza punti della griglia riferiti a:	Parametro dello scuotimento:	Probabilità in 50 anni:	Percentile:	Periodo spettrale (sec):
<input type="checkbox"/> <td>Ridisegna mappa</td> <td>a(g)</td> <td>10%</td> <td>50</td> <td>0.50</td>	Ridisegna mappa	a(g)	10%	50	0.50

- Zonazione sismica nazionale in termini di accelerazione sismica locale.

6. INDAGINI GEOGNOSTICHE

Per la ricostruzione del modello del sottosuolo è stato necessario ricostruire la stratigrafia, e rilevare i principali parametri elastici dell'area di studio.

Per assolvere a quanto detto, è stato necessario predisporre una campagna geognostica di prospezioni indirette (prospezioni sismiche) la cui ubicazione è visibile nella planimetria riportata di seguito ed in allegato.

Sono state eseguite:

-n.2 prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde P (BS01 e BS02) entrambe di lunghezza pari a 75.0m;

-n.2 prospezioni sismiche eseguite con tecnica RE.MI. per la determinazione delle onde di taglio (S), (RE.MI.01 e RE.MI.02) ciascuna eseguita in corrispondenza della stessa base sismica per la quale sono stati utilizzati n. 24 geofoni con spaziatura inter-geofonica di 3.0m.



Le indagini sono state eseguite dalla ditta Fiumano Toma Trivellazioni S.r.l. di Matera.

La finalità delle indagini sismiche è in primo luogo quella *a)* di rilevare l'andamento della sismostratigrafia del sottosuolo, ricercando le superfici di discontinuità fisica (rifrattori) ed in particolare quelle superfici che separano porzioni di ammasso roccioso o terroso con differente grado di densità e compattezza e/o di consistenza, in secondo luogo *b)* di ricavare lo spessore e le caratteristiche geomeccaniche degli strati così riconosciuti, calcolare i valori di Rigidità Sismica dei singoli orizzonti al fine di valutare ad esempio l'amplificazione sismica locale e classificare i terreni come da normativa sismica nazionale NTC 2018 (D.M. 17/01/2018).

6.1. Sismica a rifrazione

L'indagine geosismica del tipo a rifrazione di superficie, come tutti i metodi d'indagine indiretta del sottosuolo, permette di investigare un certo volume di sottosuolo variabile a seconda sia della lunghezza dei profili eseguiti ma anche della natura litologica del sito. Il metodo consiste nell'inviare nel terreno un impulso sismico, tramite un'opportuna sorgente a impatto o esplosiva e nel rilevare il primo arrivo di energia, costituito da un'onda elastica diretta e da una rifratta. L'onda rifratta, emergente in superficie, è generata da interfacce rifrangenti che separano mezzi a differente velocità sismica (sismostrati), generalmente, crescente con la profondità. I primi arrivi, individuati su sismogrammi rilevati dai geofoni e registrati tramite un sismografo, sono riportati su grafici tempo-distanza (dromocrone), in seguito interpretati per ottenere informazioni sismostratigrafiche.

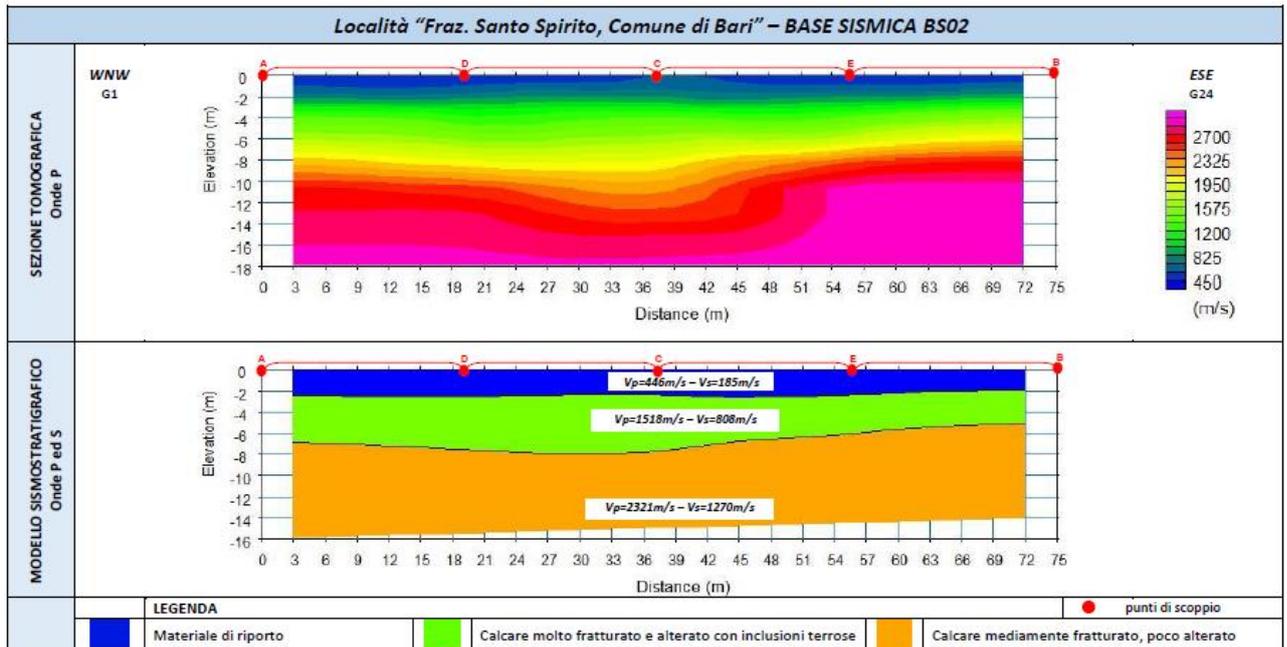
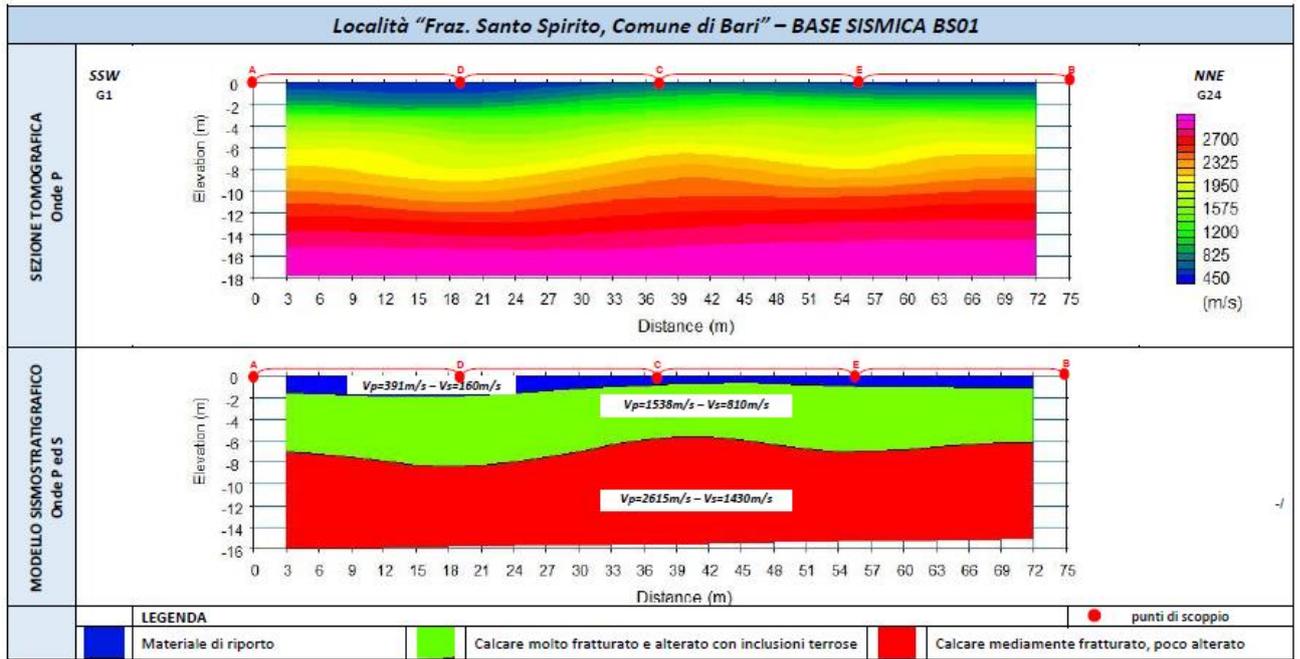
I dati elaborati sono stati esportati e restituiti nell'allegato 02. In particolare, l'elaborazione dei dati ha evidenziato la presenza di tre sismostrati ciascuno caratterizzato da un determinato valore di velocità delle onde di compressione. Data la lunghezza degli stendimenti eseguiti, è stato possibile investigare il sottosuolo fino alla profondità massima compresa tra m.14.0 e m.16.0, a partire dalla superficie topografica. Di seguito si riportano le risultanze delle basi sismiche eseguite e le relative sezioni sismostratigrafiche costruite:

✓ BS01 in onde P ed S (mediante RE.MI. 01): si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	391	160	0,00÷1.80	<i>Materiale di riporto</i>
2	1538	810	1.80÷8,00	<i>Calcere molto fratturato e alterato con inclusioni terrose</i>
3	2615	1430	8,00÷16,00	<i>Calcere mediamente fratturato, poco alterato</i>

✓ BS02 in onde P ed S (mediante RE.MI. 02): si individuano tre sismostrati

	Velocità Onde P in m/s	Velocità Onde S in m/s	Intervallo di profondità (m)	Descrizione
1	446	185	0,00÷2.20	<i>Materiale di riporto</i>
2	1528	808	2.20÷7,00	<i>Calcere molto fratturato e alterato con inclusioni terrose</i>
3	2321	1270	7,00÷14,50	<i>Calcere mediamente fratturato, poco alterato</i>



In generale l'andamento delle velocità con la profondità risulta abbastanza simile nei profili eseguiti. Sulla base di tali considerazioni e delle conoscenze geologiche del territorio in esame, derivanti anche dalle osservazioni di campo eseguite durante la campagna di indagine, si possono distinguere tre sismostrati, di seguito descritti procedendo dall'alto verso il basso:

-Il primo sismostrato, più superficiale, è quello con valori di velocità bassi e corrisponde ad una copertura di materiale terroso e/o di riporto di spessore variabile da m.0.70 a m.2.0;

-Segue in basso il sismostrato intermedio il cui limite inferiore che può essere rappresentato dall'isolinea dei 1.800 m/s è di m.7.00 dal piano stradale. Dal punto di vista geologico tale intervallo rappresenterebbe la porzione più superficiale, fratturata ed alterata del substrato calcareo roccioso a cui appartiene;

-Successivamente si individua il terzo ed ultimo sismostrato che rappresenta il substrato calcareo roccioso più compatto e meno alterato, anche se al suo interno è possibile individuare delle zone di debolezza. Si riconoscono infatti delle inversioni e delle variazioni laterali delle velocità che rappresentano probabilmente delle zone maggiormente alterate a causa dell'infiltrazione di acqua che può aver originato il tipico processo di carsificazione delle rocce calcaree. Ciò può comportare la possibile presenza di materiale residuale (terre rosse) all'interno di piccoli vuoti e cavità.

6.2 Prospezione sismica per la stima del $V_{s,eq}$

Al fine di calcolare il valore di velocità delle onde di taglio S ($V_{s,eq}$) e determinare la classe di appartenenza del terreno di fondazione, secondo quanto è richiesto dalle Norme Tecniche per le Costruzioni D.M. 17/01/2018, sono stati eseguiti n. 2 profili RE.MI. (RE.MI.01 e RE.MI.02) ubicati in corrispondenza rispettivamente delle basi sismiche BS01 e BS02 come mostrato nella planimetria in Allegato 01. La tecnica utilizzata consente una stima accurata dell'andamento delle velocità di propagazione delle onde S nel sottosuolo; ciò avviene registrando semplicemente il rumore di fondo ed elaborando il segnale con un opportuno software. A rigore, quella che è misurata è la velocità delle onde superficiali (Onde di Rayleigh), ma essa è praticamente uguale alla velocità delle Onde S (95 ÷ 97%). È così possibile definire, con un'approssimazione valutabile tra il 5% e il 15%, il profilo "Vs". Per il caso in esame, la strumentazione utilizzata è consistita in 24 geofoni verticali a

4.5Hz, in un sismografo a 24 canali della “MAE” modello X610/S con acquisizione computerizzata dei dati.

I risultati dell’indagine hanno permesso di calcolare il nuovo parametro $V_{s,eq}$ che va a sostituire il V_{s30} richiesto dalla precedente normativa (2008) ottenuto attraverso la seguente formula:

$$V_{s,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_{s,i}}}$$

h_i = Spessore in metri dello strato i-esimo
 $V_{s,i}$ = velocità delle onde di taglio nell’i-esimo strato
 N = Numero di strati
 H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_s non inferiore a 800 m/sec

In tale formula appare evidente come il calcolo delle velocità sismiche di taglio si riferisce alla reale profondità del bedrock, ovvero, alla profondità di quella formazione rocciosa o terreno molto rigido, caratterizzato da V_s non inferiore a 800m/s, pertanto la profondità del bedrock varierà di volta in volta a seconda dell’assetto geologico del sottosuolo.

In questo caso è stato effettuato il calcolo del $V_{s,eq}$ a partire dal piano campagna, pertanto il “bedrock sismico” caratterizzato da valori delle $V_s > 800$ m/s si rinviene a alla profondità compresa tra 1.0m e 2.20m dal piano campagna e dunque il sottosuolo esaminato rientra nella **categoria di suolo “A”** meglio definita nella tabella seguente (§NTC 2018):

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m.
B	Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 360 m/s e 800 m/s.
C	Depositati di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s.
D	Depositati di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti, con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 100 e 180 m/s.
E	Terreni con caratteristiche e valori di velocità equivalente riconducibili a quelle definite per le categorie C o D, con profondità del substrato non superiore a 30 m.

6.3 Calcolo dei moduli elastici dinamici e Parametri geotecnici

Dalle velocità sismiche, ricavate dall'indagine a rifrazione superficiale classica in onde P e dalla metodologia Re.Mi., sono stati calcolati alcuni parametri geotecnici.

Assegnando, infatti, la densità in sito, ricavata empiricamente mediante l'equazione di Gardner ($\rho = 0,23 \cdot V_p^{0,25}$), che lega la densità alla velocità delle onde longitudinali (V_p), sono stati calcolati il coefficiente di Poisson e alcuni moduli elastici dinamici. Le determinazioni dei moduli elastici, eseguite mediante tali metodologie sismiche, sono riferibili a volumi significativi di terreno in condizioni relativamente indisturbate a differenza delle prove geotecniche di laboratorio che, pur raggiungendo un elevato grado di sofisticazione ed affidabilità, soffrono della limitazione di essere puntuali cioè relative ad un modesto volume di roccia.

I moduli elastici sismici possono essere correlati ai normali moduli statici attraverso un fattore di riduzione (Rzhevsky et alii, 1971) semplicemente evidenziando che si riferiscono, in virtù delle energie movimentate dall'indagine e del conseguente basso livello di deformazione raggiunto, ad un modulo statico tangente iniziale.

$$E_{\text{din}} = 8.3 \cdot E_{\text{stat}} + 0,97$$

Inoltre, con i dati ottenuti dall'indagine eseguita è possibile calcolare il coefficiente di reazione del terreno K_s (Kg/cm²) attraverso la relazione di Vesic (1961):

$$K_s = E_s / B \cdot (1 - \nu^2)$$

dove

B = larghezza della fondazione;

E = modulo di elasticità del terreno;

ν = coefficiente di Poisson.

Infine per la classificazione geotecnica dell'ammasso, nell'ambito dello stesso foglio di calcolo, attraverso le letture sismiche, sono state determinate indirettamente, i valori di indice di qualità della roccia (RQD), nel caso degli ammassi rocciosi, la coesione dell'ammasso e l'angolo di attrito dello stesso.

Di seguito sono riportate le relazioni secondo la bibliografia per la determinazione dei parametri geotecnici.

<i>Note bibliografiche</i>			
Parametro calcolato	Bibliografia	Unità di misura	Formula
Modulo di Poisson (Bowles 1988)	Simeon Denis Poisson (Fisico e matematico francese)	Grandezza adimensionale	$\frac{V_p}{V_s} = \sqrt{\frac{1-\sigma}{0.5-\sigma}}$
Densità naturale	Equazione di Gardner	gr/cm ³	$\rho = 0,23 \cdot Vp^{0,25}$
Correlazione empirica tra Vs e SPT	Imai and Yoshimura, 1977	Grandezza adimensionale	$Vs = f / (Nspt)$
Coefficiente di sottofondo	Vesic, 1961	Kg/cm ³	$k = E / [B \cdot (1-\nu^2)]$
Coefficiente di sottofondo verticale	Vol I di Geotecnica e tecnica delle fondazioni – Cestelli Guidi	Kg/cm ³	$K_v = a_2 \cdot E_d / b$ dove $a_2 = 2 / \log_e(b+2 \cdot H) / b$
Coefficiente di sottofondo orizzontale	Metodo Chiarugi-Maia	Kg/cm ³	$k_h = \frac{E_d}{D \cdot (1-\nu^2)} \left(\frac{E_d \cdot D^4}{E_p \cdot J} \right)^{1/2}$ <small>E_d: Modulo edometrico ν: Coefficiente di Poisson E_p: Modulo elastico della sezione, se in ca (E_p = 18000 * ν (Rek)) D: Diametro del palo J: Momento d'inerzia della sezione se circolare ($J = \pi \cdot D^4 / 64$)</small>
Modulo di Young dinamico	Bowles 1988	Mpa	$E = Vs^2 \rho \cdot [3Vp^2 - 4Vs^2 / Vp^2 - Vs^2]$
Modulo di Young statico	Rzhevsky et all., 1971	Mpa	$E_{din} = 8.3E_{stat} + 0,97$
Modulo di Bulk	Bowles 1988	Mpa	$K = E_{din} / (3 \cdot (1-2 \cdot n))$
Modulo di taglio dinamico	Bowles 1988	Mpa	$G_{din} = E_{din} / (2 \cdot (1+n))$
Modulo di taglio statico	Bowles 1988	Mpa	$G_{stat} = E_{stat} / (2 \cdot (1+n))$
Modulo di Compressione Edometrica	Relazione di Navier	Kh/cm ²	$M = E \cdot [(1-n) / (1-n-2 \cdot n^2)]$
Angolo di attrito (per le rocce)	Beniawski, 1973	gradi	$\varphi = [(p/2) + 2] \cdot 10$
Coesione (per le rocce)	Beniawski, 1973	kg/cm ²	$0.005 \cdot RMR \cdot 10.2$

Di seguito sono riportati i principali moduli elastici dei terreni ed una stima dei parametri geotecnici relativi alle basi sismiche eseguite; tali valori si riferiscono all'ammasso pertanto devono essere intesi come valori medi.

BASE SISMICA 01 - STIMA DEI MODULI DINAMICI

	STRATO 1	STRATO 2	STRATO 3
Velocità onde P (m/s):	391	1538	2615
Velocità onde S (m/s):	160	810	1430
V _{LAB} = Velocità onde P di laboratorio (m/s):	6000	6000	6000
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	1.50	5.00	9.00
Profondità Media Strato (m)	0.75	4.00	11.00
Modulo di Poisson (ν)	0.40	0.31	0.29
Densità naturale (ρ in gr/cm ³) = $0,23 \times V_p^{0,25}$ (Gardner et al., 1974)	1.38	1.94	2.22
Porosità % (\emptyset) (correlazione Rzhovsky e Novik (1971))	47.09%	36.37%	26.31%
MOD. di YOUNG DINAMICO - (E_{din} in Kg/cm²)	988	33322	116656
MOD. di TAGLIO DINAMICO (G_{din} in Kg/cm²) $G_{din} = E_{din} / (2 \cdot (1 + \nu))$	353	12737	45332
MOD. di BULK (K) (Kg/cm²): $K = E_{din} / (3 \cdot (1 - 2 \cdot \nu))$	1637	28938	91149
MOD. di YOUNG STATICO (E_{stat} in Kg/cm²) (Rzhovsky et alii, 1971)	119	4015	14055
MOD. di TAGLIO STATICO (G_{stat} in Kg/cm²)	42	1535	5462
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm²) (da velocità onde P e densità) $\rho \cdot V_p^2$ (valido per le terre)	21.49	488.27	1545.80
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm²) $M = ((V_p \cdot V_p \cdot \rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2 \cdot \nu)) / (1 - \nu))$ (relazione di NAVIER)	10.07	339.80	1189.56
Rigidità Sismica ($\gamma \cdot V_p$) (Tonn/m²·sec)	221	1572	3170
Frequenza dello Strato	27	41	40
Periodo dello Strato	0.04	0.02	0.03
STIMA PARAMETRI GEOTECNICHI (VALIDO PER LE TERRE)			
N_{SPT} (Imai and Yoshimura, 1977)	10	>50	>50
N_{SPT} = 7,24E-07xVs^{3,15} (Formazioni a prevalente componente argillosa)	6	>50	>50
N_{SPT} = 1,77E-06xVs^{2,80} (Formazioni argillose con intercalazioni litoidi)	3	>50	>50
N_{SPT} = 1,60E-06xVs^{2,80} (Depositi Alluvionali)	4	>50	>50
$\Phi_{min} = V_{s1}^{0,44} - 6,2$ (angolo di resistenza al taglio minimo)	30	68	89
$\Phi_{max} = V_{s1}^{0,44}$ (angolo di resistenza al taglio massimo)	36	74	95
Cu (coesione non drenata in Kg/cm ²) = $(V_s/23)^{10,475} \cdot 0,010197$ (Dickenson 1990))	0.61	18.40	60.88
Cu (coesione non drenata) = $(V_s - 17,5) / 2,63 \cdot 0,010197$ (Oh et al. 2008))	0.55	3.07	5.48
Cu (coesione non drenata) = $(V_s / 7,93)^{10,843} \cdot 0,010197$ (Levesques et al. 2007)	1.20	15.77	38.86
Cu (coesione non drenata) = $(V_s / 187)^{10,172} \cdot 0,010197 \cdot 100$ da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010)	0.67	52.47	241.80
Cu (coesione non drenata) = $(V_s / 228)^{10,310} \cdot 0,010197 \cdot 100$ da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010)	0.51	12.25	37.33
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE AMMASSO ROCCIOSO (NON VALIDO PER LE TERRE)			
RMR Bieniawsky (valido solo per le rocce da E statico)	-3	41	80
Φ (angolo di attrito in °)	27	30	31
C (coesione in kg/cm ²)	-0.2	2.1	4.1
Rapporto di velocità VR (utilizzando per il valore delle V _p in laboratorio 6000m/sec)	0.065	0.256	0.436
Rapporto di velocità al quadrato (VR²)	0.004	0.066	0.190
RQD (0,97x(V_p/V_{LAB})²·100	0.4%	6.4%	18.4%
RQD (relazione empirica sui calcoli - F. Zezza 1976)	2.7%	18.2%	37.9%
COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO			
B (ipotesi dimensione fondazione superficiale in cm)	100	100	100
D (ipotesi diametro palo in m)	0.50	0.50	0.50
K = (Coeff. di Winkler in Kg/cm ³ → VESIC 1961) $k = E / (B \cdot (1 - \nu^2))$	1.41	44.36	153.13
k = $17,2 \cdot V_s^{1,26}$ Kg/cm ³ (Bowles 1997, Keceli, Imai e Yoshimura 2012)	1.00	7.58	15.43
K_v (Coeff. di Winkler verticale in Kg/cm ³ → $K_v = \alpha \cdot 2 \cdot E_d / b$ dove $\alpha = 2 / \log_e(b + 2H) / b$)	0.12	7.08	30.42
K_h (Coeff. di Winkler orizzontale in Kg/cm ³ - Chiarugi-Maia)	0.22	28.25	267.81
INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE			
F_s (Fattore di sicurezza = V _p /V _s)	2.4	1.9	1.8
Q_{ult} (kg/cm ²) = $\gamma_{ult} \cdot v_s^4 \cdot (0,1)$ (Keceli 2012)	2.21	15.72	31.70
Q_{amm} = Q _{ult} /F _s	0.90	8.28	17.34

BASE SISMICA 02 - STIMA DEI MODULI DINAMICI

	STRATO 1	STRATO 2	STRATO 3
Velocità onde P (m/s):	446	1528	2321
Velocità onde S (m/s):	185	808	1270
V_{LAB} = Velocità onde P di laboratorio (m/s):	6000	6000	6000
SPESSORE MEDIO STRATO (m)	2.00	3.50	8.50
Profondità Media Strato (m)	1.00	3.75	9.75
Modulo di Poisson (ν)	0.40	0.31	0.29
Densità naturale (ρ in gr/cm^3) = $0,23 \times Vp^{0,26}$ (Gardner et al., 1974)	1.42	1.04	2.15
Porosità % (\emptyset) (correlazione Rzhovsky e Novik (1971))	46.58%	36.47%	29.06%
MOD. di YOUNG DINAMICO - (E_{din} in Kg/cm^2)	1361	33049	89283
MOD. di TAGLIO DINAMICO (G_{din} in Kg/cm^2) $G_{din} = E_{din} / (2 \cdot (1 + \nu))$	488	12654	34705
MOD. di BULK (K) (Kg/cm^2): $K = E_{din} / (3 \cdot (1 - 2 \cdot \nu))$	2184	28381	69640
MOD. di YOUNG STATICO (E_{stat} in Kg/cm^2) (Rzhovsky et alii, 1971)	164	3982	10757
MOD. di TAGLIO STATICO (G_{stat} in Kg/cm^2)	59	1524	4181
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm^2) (da velocità onde P e densità) $\rho \cdot Vp^2$ (valido per le terre)	28.90	461.45	1181.99
MOD. DI COMPRESSIONE EDOMETRICA (M in Kg/cm^2) $M = (Vp \cdot Vp \cdot \rho \cdot (1 + \nu) \cdot (1 - 2 \cdot \nu) / (1 - \nu))$ (relazione di NAVIER)	13.88	337.01	910.44
Rigidità Sismica ($\gamma \cdot Vp$) (Tonn/m²sec)	264	1566	2733
Frequenza dello Strato	23	58	37
Periodo dello Strato	0.04	0.02	0.03
STIMA PARAMETRI GEOTECNICHI (VALIDO PER LE TERRE)			
N_{SPT} (Imai and Yoshimura, 1977)	15	>50	>50
$N_{SPT} = 7,24E-07 \times Vs^{3,15}$ (Formazioni a prevalente componente argillosa)	10	>50	>50
$N_{SPT} = 1,77E-06 \times Vs^{2,80}$ (Formazioni argillose con intercalazioni litoidi)	4	>50	>50
$N_{SPT} = 1,60E-06 \times Vs^{2,90}$ (Depositi Alluvionali)	6	>50	>50
ϕ min = $Vs_1^{0,44} - 6,2$ (angolo di resistenza al taglio minimo)	33	68	84
ϕ max = $Vs_1^{0,44}$ (angolo di resistenza al taglio massimo)	39	74	91
Cu (coesione non drenata in $Kg/cm^2 = (Vs/23)^{10,475} \cdot 0,010197$ (Dickenson 1990))	0.82	18.30	47.42
Cu (coesione non drenata = $(Vs - 17,5) / 2,63 \cdot 0,010197$ (Oh et al. 2008))	0.65	3.06	4.86
Cu (coesione non drenata = $(Vs / 7,93)^{10,44} \cdot 0,010197$ (Levesques et al. 2007))	1.51	15.70	32.19
Cu (coesione non drenata = $(Vs / 187)^{10,472} \cdot 0,010197 \cdot 100$ da prove DH - Likitlersuang e Kyaw (2010))	0.99	52.12	175.76
Cu (coesione non drenata = $(Vs / 228)^{10,310} \cdot 0,010197 \cdot 100$ da prove MASW - Likitlersuang e Kyaw (2010))	0.68	12.19	29.58
CARATTERISTICHE GEOTECNICHE AMMASSO ROCCIOSO (NON VALIDO PER LE TERRE)			
RMR Bieniawsky (valido solo per le rocce da E statico)	2	41	75
ϕ (angolo di attrito in °)	27	30	31
C (coesione in kg/cm^2)	0.1	2.1	3.8
Rapporto di velocità VR (utilizzando per il valore delle Vp in laboratorio 6000m/sec)	0.074	0.255	0.387
Rapporto di velocità al quadrato (VR^2)	0.006	0.065	0.150
RQD ($0,97 \times (Vp / V_{LAB})^2 \cdot 100$)	0.5%	6.3%	14.5%
RQD (relazione empirica sui calcari - F. Zezza 1976)	3.3%	18.0%	32.2%
COEFFICIENTE DI SOTTOFONDO			
B (ipotesi dimensione fondazione superficiale in cm)	100	100	100
D (ipotesi diametro palo in m)	0.50	0.50	0.50
K = (Coeff. di Winkler in $Kg/cm^3 \rightarrow$ VESIC 1961) $k = E / [B \cdot (1 - \nu^2)]$	1.94	43.93	117.17
$k = 17,2 \cdot Vs^{1,26} \cdot Kg/cm^3$ (Bowles 1997, Keceli, Imai e Yoshimura 2012)	1.20	7.56	13.30
K_v (Coeff. di Winkler verticale in $Kg/cm^3 \rightarrow K_v = \alpha \cdot 2 \cdot Ed / b$ dove $\alpha = 2 / \log_e(b + 2H) / b$)	0.19	6.09	22.86
K_h (Coeff. di Winkler orizzontale in Kg/cm^3 - Chiarugi-Maia)	0.39	26.10	178.35
INDICAZIONI SU CAPACITA' PORTANTE FONDAZIONE SUPERFICIALE			
F_s (Fattore di sicurezza = Vp / Vs)	2.4	1.9	1.8
Q_{ult} (kg/cm^2) = $\gamma_{nat} \cdot vs^2 \cdot (0,1)$ (Keceli 2012)	2.64	15.66	27.33
$Q_{amm} = Q_{ult} / F_s$	1.09	8.28	14.95

7. CONCLUSIONI

Lo studio geologico effettuato per l'aggiornamento del Piano Particolareggiato della zona di interesse Ambientale A/2 di Santo Spirito ha permesso di verificare la compatibilità delle previsioni di intervento con le condizioni geomorfologiche del territorio, ai sensi dell'art. 89 del Testo Unico per l'edilizia – DPR 380/2001 e s.m.i. con riferimento all'art.13 della Legge n. 64 del 03.02.1974.

I dati geologici acquisiti hanno consentito di definire l'assetto geo-morfo-idrologico del comparto del territorio in argomento. La porzione del contesto territoriale di riferimento, sotto il profilo geomorfologico, si presenta praticamente pianeggiante e si sviluppa a quote s.l.m. comprese tra m.1.70 e m.10.60. Dai rilievi eseguiti non sono emerse forme e condizioni del terreno di instabilità né in atto né potenziali.

L'indagine geognostica svolta, ha consentito di delineare un modello geologico di riferimento, nel rispetto di quanto previsto dalla Circolare del 21 gennaio 2019, n. 7 C.S.LL.PP e dal Decreto 17 gennaio 2018 Aggiornamento delle "Norme Tecniche per le Costruzioni".

La geologia dell'intera area è riconducibile ad un ammasso calcareo, presente alla profondità variabile di m.0.70 ÷ m.2.0, a partire dal piano stradale, sul quale poggia una copertura costituita da materiale di riporto frammisto a terreno vegetale e clasti calcarei. Sulla base delle velocità sismiche misurate, tale ammasso roccioso è stato discretizzato in due orizzonti, uno superiore, fortemente fratturato e a luoghi carsificato, ed uno inferiore presente alla profondità di circa m.7.00-8.00 dal p.c., più compatto e con caratteristiche geomeccaniche decisamente migliori. Nell'area a Nord-est è presente un livello calcarenitico interposto tra la copertura di materiale di riporto e il sottostante calcare.

In riferimento alle condizioni di stabilità geomorfologica del sito, trattandosi di terreni carbonatici l'attenzione è stata rivolta essenzialmente ai tratti geomorfologici derivanti dall'attività carsica che rappresenta l'aspetto principale di tale tipologia di terreni.

Il rilievo di superficie non ha messo in evidenza forme carsiche epigee (depressioni, doline, zone di collasso, inghiottitoi) né sono state rilevate dalle indagini in sito, forme carsiche ipogee (cavità, condotte sotterranee, grotte) di particolare rilevanza; considerato però, che l'intensità dell'attività carsica risulta estremamente variabile da zona a zona, anche a distanze brevi, non si esclude la possibilità di poter rinvenire, in corrispondenza di zone non indagate, manifestazioni carsiche più o meno profonde anche di una certa

rilevanza ai fini ingegneristici. Per tal motivo si consiglia, in fase esecutiva dei singoli interventi, una verifica diretta e puntuale in sito attraverso indagini geognostiche.

Allo stato attuale non si registrano fenomeni di instabilità del territorio connessi alla pendenza dei terreni e/o condizioni carsiche particolari.

In relazione a quanto richiesto dalle Norme Tecniche del D.M.14/01/2008 e della normativa sismica OPCM 3274 del 20/03/2003, aggiornata in riferimento al D.M. del 17 gennaio 2018 (Suppl. Ord. G. U. 20.2.2018, n. 8), la categoria di suolo dell'area, in virtù della misurazione delle $V_{s,eq}$ effettuate in sito, è riferibile alla **categoria "A"** con una velocità sismica $V_{s,eq} > 800$ m/sec, la cui classificazione litologica descritta nella normativa di riferimento (Decreto 17 gennaio 2018, aggiornamento delle «Norme Tecniche per le Costruzioni») è: *"Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di velocità delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni di caratteristiche meccaniche più scadenti con spessore massimo pari a 3 m"*.

In riferimento alle condizioni di regime idraulico del sito, si segnala l'assenza di significativi sistemi idrografici di drenaggio superficiale delle acque meteoriche a causa dell'intensa fessurazione che caratterizza la roccia affiorante, fortemente permeabile "per fratturazione".

Non si segnala alcuna interferenza negativa tra quanto previsto nel Piano Particolareggiato ed eventuali fenomeni alluvionali e/o condizioni di pericolosità a carattere idraulico, sia di tipo superficiale che profondo.

In riferimento al Piano di Bacino Stralcio per l'Assetto Idrogeologico (P.A.I.), redatto dall'Autorità di Bacino della Puglia, la zona di studio non ricade in aree perimetrate a "pericolosità idraulica" e a "pericolosità geomorfologica", pertanto questo non costituisce vincolo ostativo alla fattibilità delle opere.

Si esprime parere geologico favorevole alle scelte urbanistiche dei suoli.

Bari, Ottobre 2021

Dott. Geol. Maria D. CIAMMARUSTI