

REGIONE PUGLIA - AZIENDA SANITARIA LOCALE DELLA PROVINCIA DI BARLETTA-ANDRIA-TRANI "ASL BAT"

Servizio di architettura e ingegneria di progettazione di fattibilità tecnica ed economica, coordinamento in fase di progettazione, direzione lavori, coordinamento in fase di esecuzione incluso studio clinico-gestionale, di redazione della relazione geologica, delle indagini geologiche e geognostiche con prove di laboratorio e di tutte le prestazioni accessorie ed eventuali opzioni
"REALIZZAZIONE DEL NUOVO OSPEDALE DEL NORD BARESE"
 C.I.G. 9805266978 - C.U.P. C15F21001850001

GRUPPO DI PROGETTAZIONE



INTEGRAZIONE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE ☐
 Prof. Ing. F. Ruggiero

PROJECT MANAGEMENT ☐
 Ing. A. Luperto

ARCHITETTURA ☐
 Arch. P. Bortolami

IMPIANTI MECCANICI ☐
 Prof. Ing. M. Strada

IMPIANTI ELETTRICI ☐
 Ing. G. Finotti

ACUSTICA ☐
 Ing. A. Lisiero

COORDINATORE DELLA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE ☐
 Arch. P. Bortolami

ARCHEOLOGIA ☐
 Dott. L. Valleri

GEOLOGIA ☐
 Dott. A. Valmachino

BIM MANAGER ☐
 Ing. Onofrio Sancilio

ARCHITETTURA Co-progettazione ☐
 Ing. M. Smiderle

GEOTECNICA E STRUTTURE ☐
 Ing. M. Smiderle

PREVENZIONE INCENDI ☐
 Ing. M. Smiderle

DRAULICA, IDROGEOLOGIA E SISMICA ☒
 Ing. M. Smiderle

IMPATTO AMBIENTALE ☐
 Ing. M. Smiderle

ARCHITETTURA Co-progettazione ☐
 Arch. A. De Pineda

STUDIO CLINICO GESTIONALE ☐
 Ing. L. Algostino



COMMITTENTE

Regione Puglia - Azienda Sanitaria Locale - ASL BAT

Via Fornaci, 201 - 76123 Andria (BT)
 P.IVA 06391740724 - C.F. 90062670725
 sito istituzionale: www.sanita.puglia.it

DIRETTORE GENERALE
 Dott.ssa Tiziana Dimatteo

RESPONSABILE UNICO DI PROGETTO
 Ing. Antonio Farano



Fase:
PFTE

Disciplina:
GEOLOGIA E GEOTECNICA

Tipologia:
ELABORATO DESCRITTIVO

Scala: - Data: Marzo 2025 Codice elaborato: **G-RTS-02**

Nome file:
6194PFTedG0002-00_RTS-ii

Descrizione elaborato:

**RELAZIONE TECNICA E SPECIALISTICA
 IDROLOGICA
 ED IDRAULICA**

Rev.	Data:	Note:
00	03/2025	Prima emissione

INDICE

PREMESSA.....	1
1 EXECUTIVE SUMMARY	2
2 STATO DEI LUOGHI, LINEAMENTI GEOLOGICI GENERALI: IL MODELLO GEOLOGICO	5
3 IL MODELLO GEOLOGICO APPLICATIVO OTTIMIZZATO	15

PREMESSA

Questa relazione descrive gli aspetti geologici e geotecnici del Progetto di Fattibilità Tecnico-Economica per il nuovo Ospedale del Nord Barese, parte del piano di ammodernamento della rete ospedaliera pugliese avviato con la D.G.R. n. 1725/2012 e aggiornato con la D.G.R. n. 184/2019.

L'ospedale sorgerà tra Bisceglie e Molfetta, su un'area di 20 ettari, scelta per garantire sicurezza idraulica, accessibilità e sostenibilità. L'estensione dell'area consente lo sviluppo orizzontale della struttura, la realizzazione di una pista per elisoccorso e un'organizzazione funzionale della viabilità interna. Il progetto prevede percorsi separati per utenti e servizi, con nodi protetti tra i reparti, ispirati alle esigenze emerse con la pandemia di Covid-19. Particolare attenzione sarà riservata alla flessibilità strutturale e all'efficienza energetica.

La posizione strategica, a 4 km da Bisceglie e 5,5 km da Molfetta, garantisce accessibilità all'intera macroarea in meno di 30 minuti, grazie alla viabilità a scorrimento veloce.

Questa relazione approfondisce i caratteri morfoidrologici e geostrutturali ai fini della elaborazione di un modello geologico-tecnico di riferimento per le evidenze geotematiche interagenti con il Progetto

1 EXECUTIVE SUMMARY

Il documento in progressiva dissertazione soddisfa, nei contenuti e nelle ottemperanze normative di riferimento, l'articolazione del Progetto PFTE in argomento, confutando, integrando e approfondendo le informazioni a carattere geotematico contenute nell'apposito elaborato fornito nell'insieme delle documentazioni di supporto alla presente elevazione delle conoscenze.

Il riferimento è particolareggiato ai dati derivati da apposite indagini geognostiche e prospezioni idrogeologiche in pozzi a scavo attestati, però, negli orizzonti sub-superficiali, affetti, come ben espresso nel prosieguo, dalle palesi condizioni di disturbo dell'ammasso roccioso, per una incontrovertibile condizione di complicazione geostrutturale ascrivibile alla singolare configurazione morfoidrologica del perimetro di interesse, con due lineamenti morfoidrologici che delimitano l'areale del poligono di progetto rispettivamente a Ovest e a Est, in una configurazione morfostrutturale ben nota in miscellanea scientifica e nei ben noti livelli informativi dedicati desumibili dai layer della Cartografia regionale nel seguito subito inserita a fini di una immediata derivazione del contesto geolitologico e morfostrutturale (Figura 1).

Lo stralcio cartografico ben evidenzia tutt'un insieme di elementi morfostrutturali, da quelli morfotettonici su cui si sono impostati i solchi erosivi di apprezzabile ampiezza, ai collietti morfologici a sud (per il poligono d'interesse e per le aree adiacenti, i lineamenti di discontinuità tettonica a E-NE. La stessa diversificata posizione delle plaghe di depositi calcarenitici, in trasgressione sull'ammasso Calcarea (formazioni ben note, già espresse nella Relazione Geologica annessa agli studi prodromici del Progetto), finanche con depositi eluvio-colluviali ascrivibili proprio alla marcata azione di drenaggio, sono evidenze di un classico comparto fisico-geografico a ridosso della costa nord Orientale tra l'area metropolitana e il comparto amministrativo BAT. L'elemento morfoidrologico a O-NE del poligono del Nuovo Presidio Ospedaliero in stretto argomento presenta una condizione morfostrutturale particolarmente complessa, con incisione dei depositi calcarenitici e, più a valle, del substrato calcarea, netta la presenza di eluvio colluviale in un contesto morfologico meandriforme, fino alla geostruttura di foce.

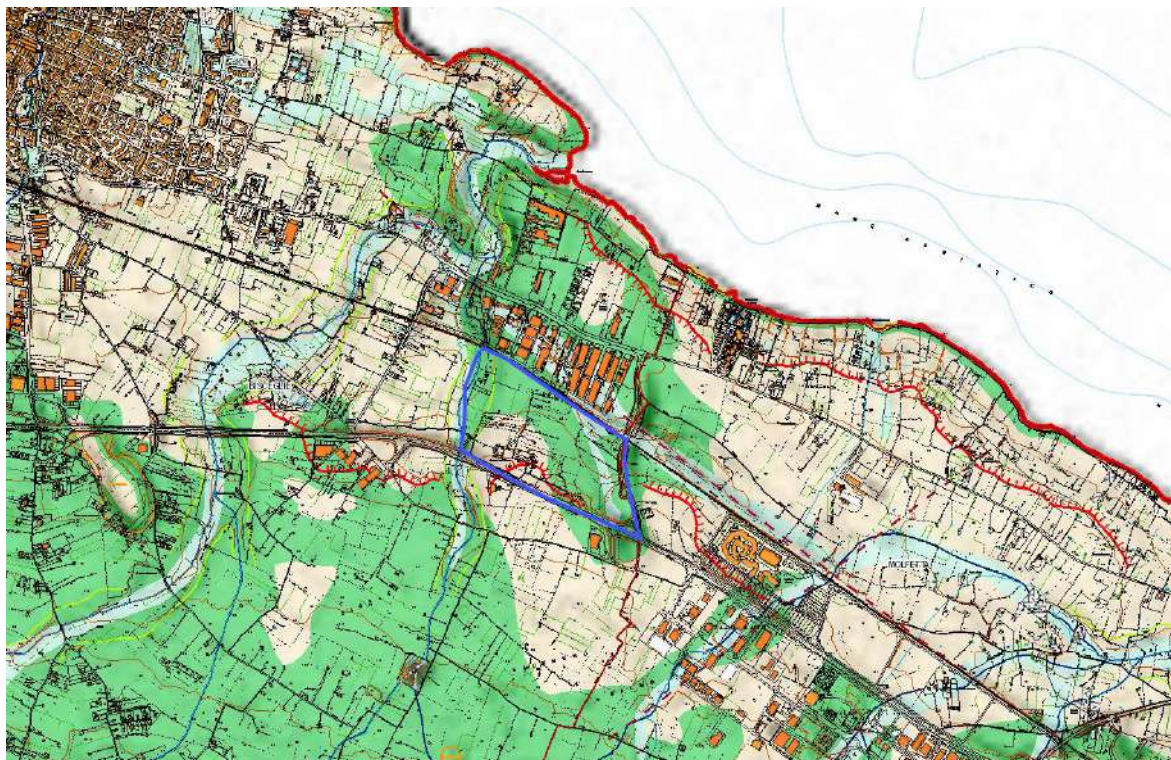


Figura 1 – Inquadramento dell'area di intervento secondo la Carta Idrogeomorfologica della Regione Puglia

Le repentine distorsioni dell'asta torrentizia, le deposizioni eluvio-colluviali e il netto distacco dalla configurazione con il duplice rilievo dei colletti morfologici (tra monte poligono e morfozona prossima alla costa) descrivono un areale tipicamente affetto da patologie di alterazione, elevazione delle tematiche di interposizione di terre rosse residuali e ridondanza delle geotematiche estrinsecanti le anomalie negli assetti litostrutturali.

Al presente Report viene annessa la Relazione Geologica "Relazione geologica, geotecnica e di compatibilità geomorfologica a cura del Dott. Geol. A. Valmachino" redatta nell'ambito della Elaborazione del PFTE_Masterplan, ovvero studi sui caratteri del territorio per la fase prodromica del Masterplan progetto PFTE.

	ASL BT PugliaSalute		REGIONE PUGLIA
REGIONE PUGLIA - AZIENDA SANITARIA LOCALE DELLA PROVINCIA DI BARILETTA-ANDRIA-TRANI - "ASL BAT"			
Servizio di architettura e ingegneria di progettazione di fattibilità tecnica ed economica, coordinamento in fase di progettazione, direzione lavori, coordinamento in fase di esecuzione incluso studio clinico-gestionale, di redazione della relazione geologica, delle indagini geologiche e geognostiche con prove di laboratorio e di tutte le prestazioni accessorie ed eventuali opzioni			
"REALIZZAZIONE DEL NUOVO OSPEDALE DEL NORD BARESE"			
C.I.G. 9805288978 - C.U.P. C15F21001850001			

L'intero contenuto dell'Elaborato - annesso al presente Report - è supportato da una ridondante campagna di prospezioni geognostiche, geosismiche (a duplice livello di definizione, sismica e geoelettrica), prove di laboratorio e prove di caratterizzazione ambientale, a supporto del modello geologico e geotecnico.

In particolare, la campagna geognostica è stata così articolata:

- esecuzione n° 9 sondaggi meccanici verticali, a rotazione ed a carotaggio continuo spinti alla profondità di 20 m (il sondaggio S6 attrezzato a piezometro) e 30 m (sondaggio S2 attrezzato a down-hole) dal p.c.;
- prelievo di n° 16 campioni di roccia da sottoporre ad analisi geotecniche;
- prelievo di n° 1 campione indisturbato di terra da sottoporre ad analisi geotecniche;
- prelievo di n° 20 campioni da sottoporre ad analisi di caratterizzazione ambientale;
- esecuzione di n° 9 stendimenti sismici a rifrazione in onde P ed Sh;
- esecuzione n° 7 stendimenti sismici di tipo MASW con determinazione del parametro Vseq;
- esecuzione di n° 1 prova di sismica in foro (down-hole);
- esecuzione di n° 2 misure di microtremori in campo ambientale (HVSr);
- analisi e determinazioni di laboratorio geotecnico;
- analisi di caratterizzazione ambientale sui campioni prelevati.

Nella seconda sezione del presente Report saranno affrontate le tematiche inerenti alla caratterizzazione geomeccanica, le valutazioni sulle principali patologie di affezione carsica e le interposizioni di prodotti residuali. In sintesi, saranno palesate le caratterizzazioni e i valori di riferimento per la deformabilità dinamica dell'ammasso, tenuto conto che sulla risposta fisico-dinamica sono state valutati i noti wide-gap (ammasso roccioso pesantemente condizionato, lungo un profilo, dalla presenza di disarticolazioni dell'ammasso, aree decomprese/elementi morfotettonici già introdotti, presenza di intasamenti di prodotti residuali a guisa delle discontinuità).

2 STATO DEI LUOGHI, LINEAMENTI GEOLOGICI GENERALI: IL MODELLO GEOLOGICO

La procedura di anticipazione già nelle premesse delle caratteristiche geostrutturali per il modello geologico di base si inquadra nella volontà di presentare questo elaborato corredato di executive summary, a vantaggio di una migliore comprensione delle attività di rilevamento geologico che si sono esperite (attività citate), stante il modello geologico di base e la tipologia dell'intervento previsto in progetto. In fase di ottimizzazione progettuale, come questa in stretto argomento, relativa ad interventi in aree significativamente antropizzate, non è possibile derivare informazioni suppletive da un rilevamento geologico di base, da rilievi ed accertamenti a carattere geostutturale in scavi finitimi o altro.

La precipua finalità dell'approfondimento di rilievo e accertamenti geologici è stata ricostruire una serie di livelli informativi parametricamente correlati al modello geologico e tematizzati, onde poter integrare il modello geologico funzionale, di supporto alla progettazione delle strutture.

Il modello litologico è piuttosto semplice, inquadrato in un'area particolarmente e pesantemente condizionata da complicazioni geostrutturali connesse all'elemento morfoidrologico che incide l'areale da O a NE/ proprio a NNO dell'area in esame/progressione di sviluppo. Le palesi distorsioni degli elementi morfostrutturali e geomorfologiche contornano l'areale a Nord del sito in esame.

La evidenza ha precipua finalità di fornire utili elementi di valutazione dell'insieme dei fattori geologici e morfostrutturali evolutivi che hanno condizionato l'attuale assetto geologico - strutturale (cfr. l'anomalia litostratigrafica, in seguito accentata, relativa ai riempimenti di terre rosse residuali, ben supportata da elaborazioni di tomografie sismiche e relative caratterizzazioni fisico-dinamiche). In modo pragmatico si vuole già evidenziare che lo stato di decompressione del substrato calcareo, almeno in corrispondenza di determinate anomalie litostrutturali, è stato riscontrato ad alta frequenza di rinvenimento. La cartografia Geologica webGis Carta Idrogeomorfologica Regione Puglia palesa un affioramento del substrato calcareo; in realtà, alla scala di rappresentazione della cartografia, non sono riportate talune plaghe di depositi quaternari, ma si tratta proprio di "spolverate". Nel prosieguo della Relazione si potrà rilevare che proprio nell'area finitima "il perimetro del prossimo Presidio Ospedaliero" è stato terebrato un sondaggio geognostico che ha campionato 1,5 metri di depositi calcarenitici.

Ai fini di un'esautiva illustrazione dei caratteri della porzione di territorio di stretto interesse per il progetto, stante la sua integrazione nel contesto territoriale interconnesso ad elementi morfoidrologici (così fortemente condizionanti lo stato di conservazione dell'ammasso, attraverso il drenaggio superficiale nei tempi geologici) di seguito si illustrano, attraverso un report esaustivo, elementi essenziali del contesto territoriale di riferimento.

La cartografia inserita e le geological-images riportano lo strato informativo relativo al contesto geolitologico di riferimento, con caratteri morfoidrologici e morfostrutturali, in particolare un elemento morfoidrologico (impostato su apparato morfotettonico), che descrive un arco a blando raggio riveniente da SSW e con foce NNE, ancorché al di fuori dell'area del Nuovo Ospedale. Dalla corografia geolitologica, schematica, ben si apprezzano le aree di affioramento del substrato calcareo mesozoico (che impegna anche l'area di stretto interesse) e le estese placche di depositi calcarenitici "interrotti strutturalmente" proprio dal lineamento morfoidrologico, ovviamente in facies morfoevolutiva. In termini di correlazione agli aspetti geologico-strutturali a scala ampia, anche la fascia di affioramento calcareo (compresa l'area di stretto interesse) imperniata sul lineamento tettonico è congrua strutturalmente con il modello geologico appena introdotto.

Il report è stato introdotto proprio per apprezzare le aree di affioramento del substrato calcareo e le rivenienze delle incisioni morfoidrologiche che tanto hanno condizionato proprio le aree all'intorno del sito in oggetto: le estese placche depositi incise dal reticolo idrografico fossile (o attivato in occasione di eventi alluvionali, che con tempi di ritorno $Q_c=100$ anni).

Tale introduzione di elementi geologico-strutturali a scala ampia non devono essere ritenuti superflui, poiché ben introducono al disturbo carsico rilevato in fase di costruzione di altri Comparti Ospedalieri in contesti geostutturali consimili (paleoalvei secondari, doline sepolte e sistemi carsi evoluti: cfr. Ospedale Regionale S. Paolo alla fine degli anni '60-inizi degli anni '70).

Nel contesto geologico regionale sono ben note le patologie di affezione che condizionano le rocce calcaree in affioramento; esse risultano sovente affette da un carsismo policiclico, spesso molto evoluto e maturo. È ormai ben noto come spesso detto fenomeno abbia, demolendo ingenti volumi di roccia calcarea, prodotto una gran quantità di terra rossa (sovente dando luogo a condizioni di carso coperto); tale fenomeno ha avuto modo di estrinsecarsi già in sede sinsedimentaria, attraverso più cicli durante il Terziario ed in forma virulenta durante il Quaternario.

Il rischio carsico è principalmente originato da significative cavità ipogee che, per l'essere spesso epidermiche e praticamente vuote, offrono una duplice insidia: sono fortuite ed hanno un comportamento subdolo. La circostanza riferita pone l'accento sul significato di evoluzione carsica, poiché nella maggior parte dei casi trattasi di cavità ormai fossili e quindi dotate di profili non più soggetti agli effetti chimico-fisici dell'acqua in movimento; tale aspetto induce infatti a non tener debitamente in conto lo stadio speleogenetico nel quale trovasi la cavità e quindi ignorare i processi evolutivi attraverso i quali la cavità stessa ha raggiunto l'attuale configurazione morfologica. Senonché spesso accade che quest'ultima è in condizioni di equilibrio limite ed ancora soggetta a sostanziali variazioni, per una dinamica pilotata da fattori speleogenetici non o solo in parte carsici; primaria l'azione cinetica della gravità, nonché la decompressione originata dal vuoto carsico in seno all'ammasso roccioso, peraltro stratificato e fratturato, e gli scuotimenti sismici.

L'ampia bibliografia disponibile (Prof. Ing. V. Cotecchia: *"Su taluni problemi geotecnici in relazione alla natura dei terreni della regione pugliese"*, estratto dalla Rivista Italiana di Geotecnica_ Assoc. Geotecnica Italiana, anno 1971_n.1-2Edi.ESI_Napoli; Atti del Simposio Internazionale sulla utilizzazione delle aree carsiche nota "Ambienti e problemi di fondazione generati dalla carsificazione delle rocce della piattaforma carbonatica appula, D.Grassi- G. Spilotro, Bari, Castellana Grotte, 20-22 maggio 1982) proprio per questo sito d'interesse fornisce un quadro esaustivo sulle problematiche rinvenute: banchi di calcari con soluzioni di continuità ad alta frequenza di rinvenimento e a distribuzione spaziale alquanto eterogenea; larghe fratture intasate da prodotti della dissoluzione; depositi di terre rosse frammisti a clasti e blocchi calcarei. Il richiamo in miscellanea per poter meglio esplicitare le condizioni geostutturali dell'ammasso calcareo nell'areale in argomento.

La geological-image a seguire fornisce un quadro esaustivo di quanto rinvenuto ad alcune centinaia di metri dal comparto fisico-geografico; la distanza non è rilevante per la precipua volontà di evidenziare la condizione litostrutturale dell'areale allargato, poiché in stretta connessione con i fattori morfostrutturali associati all'elemento morfoidrologico già posto alla base delle condizioni di decompressione nelle pagine precedenti.



Figura 2 – Condizioni di disarticolazione rinvenute

La Figura 2 illustra condizioni di disarticolazione ad alta frequenza di rinvenimento nei primi 5 metri dell'affioramento calcareo (tagli di pregressa attività estrattiva a poche centinaia di metri dal sito).

Le cavità epigenetiche formatesi per dissoluzione della roccia calcareo-dolomitica da parte di acque di infiltrazione in una sezione dell'ammasso in cui si è visto (scavi ad ampia sezione) convergere diverse fessure differentemente orientate. L'avanzato stato di evoluzione della cavità è rappresentato dalla breccia a pezzame calcareo e dalla terra rossa a guisa delle discontinuità. Il rilievo geostrutturale condotto in questa sezione (ridondante di pareti di osservazione a sezione ampia) ha consentito di palesare che anche le cavità minori – di tipo epigenetico quelle a sviluppo parallelo alla direzione delle fratture e, principalmente, di tipo sindiagenetico quelle allungate nel senso dei piani di stratificazione- sono riempite da terre rosse.

Questi elementi di valutazione a carattere generale sono stati inseriti nel modello geologico generale posto a base dell'indagine geofisica esperita dal Geologo A., Valmachino, dicembre 2024, nell'ambito delle attività del Gruppo di Progettazione MANENS.

Il rilevamento geologico-strutturale esperito in un'area di pregressi tagli ben esposti (tagli esposti secondo tracciati regolari appena a 800m a NNE) ha permesso di porre bene in risalto aspetti delle condizioni geologico-strutturali ritenuti importanti e meritevoli di richiamo.

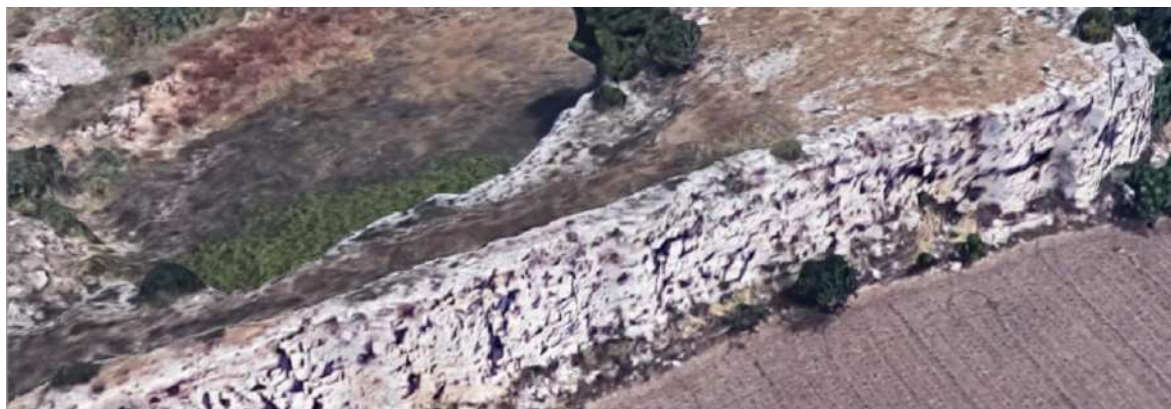


Figura 3 – Condizioni geologico-strutturali rinvenuti

I caratteri del territorio risultano stravolti dall'intervento antropico di urbanizzazione; tuttavia, è ancora ben riconoscibile l'elemento morfoidrologico, asta torrentizia fossile, segmento essenziale del reticolo idrografico fossile che caratterizza l'area a SSE di Bisceglie. Nell'ambito delle precipue finalità per cui è stato richiesto codesto rapporto di approfondimento è opportuno evidenziare al progettista che i solchi erosivi (cfr. in testa paragrafo), anche se a diverso grado di interazione con il sottosuolo, rappresentano di fatto delle discontinuità entro cui si concentrano i maggiormente i fenomeni di alterazione e degrado carsico. Tipicamente, tali

discontinuità corrispondono a fasce di terreno in cui si rilevano nel sottosuolo litozone alterate, orizzonti tettonizzati (anche se diversamente potenti), carsismo concentrato e diffuso, intasamenti di prodotti residuali e tasche di detrito solitamente fluitato dall'alto o finanche da trasporto.

Sulla base della specifica esperienza di chi scrive sull'argomento è possibile ritenere che le lame rappresentino un elemento fortemente condizionante lo stato di conservazione e/o alterazione, nonché il grado di incarsimento del substrato litico, anche nelle zone contermini alle aste torrentizie. Non sono, infatti, da sottovalutare gli effetti dell'alterazione carsica e dell'azione di drenaggio operata nei tempi geologici dai solchi erosivi, cosicché, anche lateralmente ad essi, si è potuta spesso constatare la presenza di estese fenomenologie carsiche e talora di paleoalvei secondari.

A debita evidenza di quanto rappresentato nella Relazione del geologo del Gruppo di Progettazione si sono confrontati i dati derivati dalle attività geognostiche con il rilevamento in situ. In detta attività sono state valutate le verifiche dettate dal comportamento geotecnico delle terre rosse, nonché delle particolari situazioni geostrutturali dell'ammasso calcareo con particolare riferimento alla intersezione di giunti di strato incrocianti linee di frattura.

Il modello geofisico, con approccio tomografico, è stato rielaborato per poter porre un livello di informazione fisico-elastica nell'area del Plesso oggetto del Progetto di riqualificazione.

Per quanto osservato in tagli residui e scavi ancora disponibili nelle immediate vicinanze dell'area di stretto interesse, nelle assisi superiori, allorquando in affioramento, i calcari si presentano massicci ma a stratificazione maldistinta, in banchi dello spessore di 20-30 cm (anche 40 cm, ancorché lateralmente fratturati, con carsificazione diffuse (sovente intersezioni tra giunti di strato-frattura) e riempite da terre rosse, al basso – dopo un primo orizzonte di 50-80 cm- più spiccatamente stratificati, con spessori di strato perlopiù di 10÷30 cm, o localmente anche lastriformi e laminari. Detto secondo orizzonte è generalmente fratturato e carsificato (ovviamente con distribuzione spaziale eterogenea). Da un esame di campo, l'orizzonte superiore si compone di livelli calcarei micritici e dolomitici, passanti al basso a calcari a grana fine biancastri, talora anche in disordinata alternanza; tuttavia, i litotipi predominanti, nella successione litostratigrafica, sono rappresentati da facies carbonatiche massive o finemente stratificate.

Si tratta dei ben noti calcari presenti in gran parte della provincia di Bari, famosi sia per le generalmente buone caratteristiche tecniche, sia per i notevoli problemi segnalati in caso di rinvenimento di patologie carsiche di rilievo.

Per quanto concerne l'interazione pregressa con elementi morfoidrologici, è banale sottolineare che i solchi erosivi si sono impostati - quasi sempre - su motivi tettonici. In specifiche zone interessate dalle evoluzioni di un solco erosivo o alla presenza di paleoalvei secondari, possono rinvenirsi sottostanti le coperture calcarenitiche, o, come già sopra riportato, con interposizione di terre rosse.

Per quanto rilevato le situazioni riconducibili al substrato calcareo sono variabili tra i casi estremi di roccia molto ben organizzata strutturalmente (lato est), con bancate stratificate e segnate da fessurazione, prive di allargamenti lungo le discontinuità, che permetterebbero la trasmissione delle tensioni normali e tangenziali con minimi effetti di anisotropia. L'estremo inferiore è costituito da roccia totalmente disorganizzata per il prevalere e la densità delle discontinuità, dall'essere condizionata a fini tecnici dalle caratteristiche della matrice, tipicamente terre rosse.



Figura 4 – Terre rosse riscontrate nel sondaggio S7 – Cassa n.2 da 5.00 a 10.00 m dal p.c.

La notevole anomalie riscontrata nell'ambito della campagna geognostica già richiamata è emblematico per dimostrare che la terra rossa confinata in depressioni carsiche e/o tettoniche è riuscita spesso a sfuggire alla dispersione operata altrove dall'azione del mare: in queste circostanze è possibile asserire che i depositi oggi affioranti non sono coevi; alcuni si sono originati in epoca post-calabrianica, altri invece sono paleocarsici e non di rado di tipo olofossile completo riesumati dall'erosione-

Le numerose situazioni intermedie devono tenere in conto che i livelli calcarei direttamente a contatto con l'orizzonte di terre rosse presentano i giunti allargati dai fenomeni di decompressione e successivamente da carsismo; e che sempre il carsismo è la condizione di rischio da valutare nelle forme più diffuse e minimali o più rare e sviluppate, ai fini della possibilità di articolazione di cinematismi di instabilità sotto i carichi concentrati o distribuiti.

Un aspetto fenomenologico abbondantemente noto, in questo sito come in quasi tutti i casi di osservazione dell'ammasso a sezioni ampie, la successione evidenzia disturbi di origine tettonica, che hanno originato piani di fratturazione che attraversano la sequenza. Tale condizione ha facilitato il fenomeno carsico per la dissoluzione chimica e per l'azione meccanica delle acque meteoriche di infiltrazione, che, in più luoghi, hanno allargato i giunti di fratturazione e di stratificazione. Gli effetti di una significativa carsificazione sono sovente rappresentati da vuoti di dissoluzione, da ridefinizione profonda del litotipo calcareo in terre rosse residuali e da disarticolazioni della continuità stratigrafica primaria dello stesso o, addirittura, di perdita dei caratteri identificativi strutturali e tessiturali; essi conducono, nell'assieme, ad un drastico abbattimento delle caratteristiche geomeccaniche intrinseche delle litofacies.

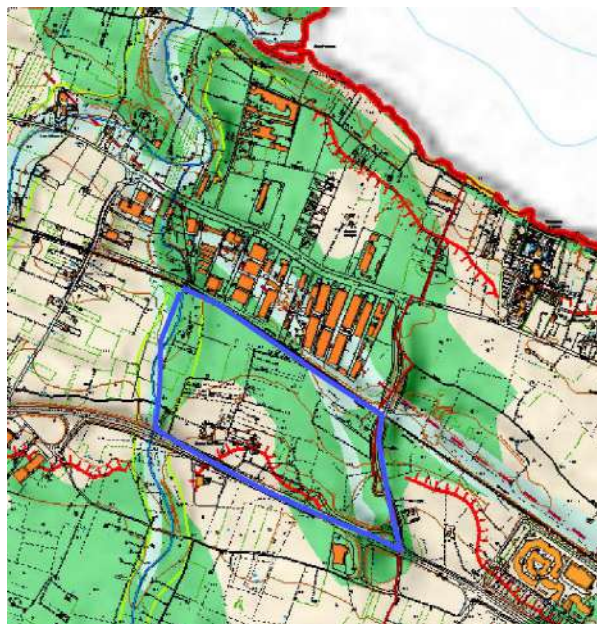


Figura 5 – Dettaglio della Carta Idrogeomorfologica – Regione Puglia

Per la sezione idrogeologia e i relativi caratteri idrodinamici annessi al contesto territoriale di riferimento si è proposto per un riesame di tutti i livelli informative geotematici strutturati al tempo della preparazione del PTA Regione Puglia, edizione BASE 2005-2007, redatti da V. Specchio & G. Ferrari c/o SOGESID, PTA Regione Puglia

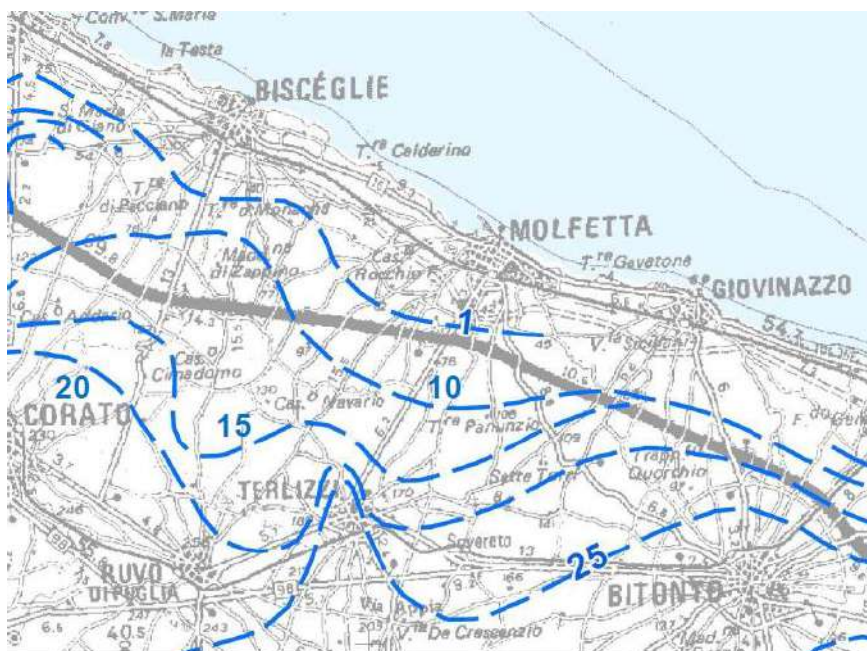


Figura 6 – Distribuzione dei carichi piezometrici della falda profonda nell'area in esame (V.Specchio-SOGESID Piano di Tutela delle Acque, Regione Puglia 2005)

Il riferimento all'assetto idrogeologico è stato contemplato nell'ambito di una stretta connessione con la verifica di apposito geoDB per le tarature delle informazioni (talune terebrazioni di sondaggio e prospezioni geofisiche; verifica in geoDB idrogeologico delle condizioni della sezione del campo di esistenza degli acquiferi, cartografati dai principali strumenti di pianificazione, ovvero il PTA) ha preceduto un dettagliato rilevamento geologico in campo, vera essenza del report, poiché in grado di fornire le informazioni dei caratteri del territorio, ai margini o appena al di fuori del tessuto urbano, ove poter rilevare indicative condizioni geolitologiche.

L'ottima esposizione dei fronti (frutto di una condizione preesistente di taglio antropico) ha permesso di rilevare l'assetto litostrutturale con l'assenza delle calcareniti (in riferimento alla Cartografia Geologica Ufficiale). I calcari di Bari sono costituiti da una ripetuta alternanza di strati calcarei e calcareo-dolomitici, molto compatti e tenaci alla scala del campione, ma in vario grado fratturati e carsificati. La permeabilità dei calcari di Bari è molto variabile ed indicativamente compresa tra 10^{-10} e 10^{-4} cm/s, essendo connessa al diverso grado di fratturazione della roccia.

Sulla base della stratigrafia individuata è stato possibile distinguere le caratteristiche di permeabilità del litotipo oggetto di studio in funzione dei cambiamenti delle caratteristiche litostratigrafiche:



Figura 7 – Calcare di Bari in una sezione di scavo posta a qualche centinaio di metri a SO del sito di progetto

Calcare fratturato e alterato con inclusioni terrose: questa porzione dell'ammasso calcareo che si individua a partire da una profondità di circa 1.0m, ovvero subito al di sotto della copertura di terreno vegetale, è intesa come una roccia permeabile per la maggior parte per fessurazione mentre per la parte relativa alla terra rossa, per porosità interstiziale. In tal caso, considerando per le "inclusioni terrose" un intervallo del valore di permeabilità K compreso tra $1 \cdot 10^{-6}$ m/s e $1 \cdot 10^{-7}$ m/s ne consegue che per l'ammasso in toto si può assumere un valore di $K = 1 \cdot 10^{-5}$ m/s.

Gli aspetti geolitologici introdotti sono da considerarsi solo a completamento della descrizione del modello geologico di riferimento, giusta fase introduttiva delle condizioni litostrutturale che saranno riprese nel seguito

e dettagliate per la dissertazione delle condizioni geostrukturali del sito sai fini della valutazione globale dello stesso.

Anche questa ulteriore prospezione evidenza la morfostruttura sepolta: la tabella di sintesi consente di derivare parametrizzazioni fisico-dinamiche.

DESCRIZIONE AMMASSO	FOTO CASSETTA	
Ammasso calcareo molto fratturato e alterato , a luoghi mediamente fratturato		
CLASSIFICAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO ROCCIOSO (Rock Mass Rating SYSTEM)		
PARAMETRO	VALORE	PUNTEGGIO
RESIST. ALLA COMPRESS.IONE MONOASSIALE DEL MATERIALE INTATTO (Mpa)	5-25	2
RQD (%)	<25	3
SPAZIATURA DELLE DISCONTINUITA' (metri)	0,06-0,2	8
CONDIZIONI DELLE DISCONTINUITA'	Superficie molto ruvida, non continua, senza separazione, pareti inalterate	30
CONDIZIONI GENERALI DI UMIDITA'	Completamente Asciutto	15
INDICI CORRETTIVI PER L'ORIENTAMENTO DELLE DISCONTINUITA'	Molto favorevole	0
	PUNTEGGIO TOTALE	58
CLASSI DELL'AMMASSO IN BASE AL PUNTEGGIO (Beniawski, 1973)		VALORI DA FORMULA
CLASSIFICAZIONE AMMASSO	DISCRETO	
COESIONE (kPa)	200-300	290
ANGOLO DI ATTRITO (°)	25°- 35°	34

Assumendo in input la caratterizzazione fisico-dinamica e, inserendo il contest geostrukturale illustrato, si è cercata una equiparazione con uno scenario di valutazione geotecnica. Nella seguente trattazione geotecnica si farà riferimento alle principali caratteristiche meccaniche relative ai terreni che insistono nel sottosuolo in corrispondenza dell'area dell'impianto di depurazione. Nelle aree occidentali e NW dell'impianto si è potuto apprezzare un ammasso calcareo fratturato e alterato con inclusioni terrose, entro una profondità compresa tra

i 5.0 m e i 10.0 m dal p.c. mentre successivamente, in posizione sottostr fra i giunti di strato e/o come riempimento delle fratture. Si è anche cercato di fare riferimento a parametri di letteratura, con classificazione dell'ammasso calcareo secondo l'RMR System (Rock Mass Rating System – Bienawsky 1973) che utilizza i seguenti parametri:

- Per l'ammasso calcareo che insiste nel sottosuolo AREA IMPIANTO LATO NORD e LATO OCCIDENTALE, appartenete alla Formazione del "Calcare di Bari" che è possibile prendere in considerazione i seguenti parametri geotecnici:

Peso di volume	$\gamma=1.9 - 2.0 \text{ g/cm}^3$
Angolo di attrito	$\phi=34^\circ - 40^\circ$
Coesione dell'ammasso	$c=250 - 290 \text{ KPa}$
Coeff. Di Poisson	$\nu=0.31 - 0.33$

Ma nell'area specifica di intervento, a seguito della anomalia geostrutturale, è fondamentale fare riferimento ad un comportamento assolutamente anisotropo (stante l'assortimento granulometrico, la forte connotazione caotica del sedimento e la evidente entropia dei clasti calcarei e della matrice terrosa).

A seguire si ritiene utile una riproposizione tal quale delle risultanze delle prospezioni sismiche esperite per il Progetto già più volte richiamato. In modo significativo si riporta la caratterizzazione fisico-elastiche e sismostratigrafica dell'area del Profilo 2.

Nel profilo sismico 2 il secondo sismostrato si approfondisce fino a fine sezione, tra gli scoppi 1 e 3. Nella seconda metà della sezione sismica (scoppi 3-5) affiora il substrato rifrattore ad una profondità compresa tra 6-14 metri. In questo profilo il secondo sismostrato, a differenza degli altri sondaggi sismici, è associabile a limi argillosi consistenti con livelli calcarei, così come riscontrato dal sondaggio meccanico S7.

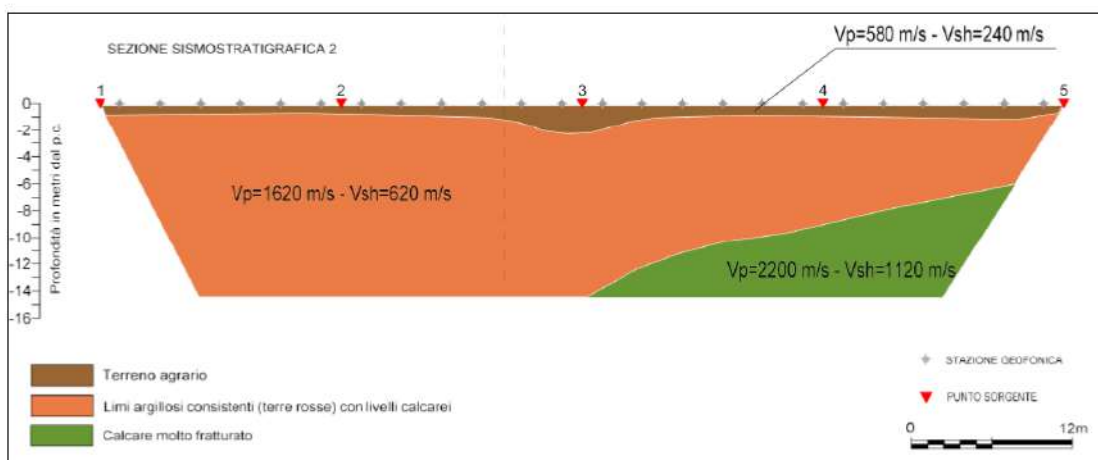


Figura 8 – Sezione sismostratigrafica 2 (cfr. figura ubicazione nel Report annesso)

Si tratta del dominio stratigrafico spiccatamente frequente nell'area nord-occidentale correlato alla presenza di un avvallamento morfologico colmato da terreni sciolti misti a detrito lapideo. I terreni di riempimento mascherano sia la forma che l'estensione areale di questa struttura sepolta, non rendendo possibile definirne con certezza l'origine e l'estensione areale. Considerando le caratteristiche geologiche e geomorfologiche del territorio (come reiterativamente spiegato) potrebbe trattarsi di un'antica depressione dolinare presente nel substrato calcareo o di un paleo-alveo, ovvero un'antica incisione o "lama", successivamente colmata.

Profilo 1

Profondità media (m)	Vp	Vsh	v	ϕ	E	G	K
1° sismostrato 0÷1.0	620	270	0.38	1.8	3704	1339	5275
substrato rifrattore >1.0	2460	1220	0.34	2.5	101524	37969	103752

Profilo 2

Profondità media (m)	Vp	Vsh	v	ϕ	E	G	K
1° sismostrato 0÷1.0	580	240	0.40	1.8	2955	1058	4768
2° sismostrato 1.0÷10.0	1620	620	0.41	2.5	27736	9806	53874
substrato rifrattore >10.0	2200	1120	0.33	2.5	84805	32000	80803

Profilo 3

Profondità media (m)	Vp	Vsh	v	ϕ	E	G	K
1° sismostrato 0÷1.3	830	360	0.38	1.8	6590	2380	9479
substrato rifrattore >1.3	2760	1460	0.31	2.5	142004	54378	121823

Profilo 4

Profondità media (m)	Vp	Vsh	v	ϕ	E	G	K
1° sismostrato 0÷0.9	630	260	0.40	1.8	3470	1242	5634
substrato rifrattore >0.9	2860	1420	0.34	2.5	137487	51439	140078

Profilo 5

Profondità media (m)	Vp	Vsh	v	ϕ	E	G	K
1° sismostrato 0÷0.5	530	240	0.37	1.8	2901	1058	3749
2° sismostrato 0.5÷5.5	1730	840	0.35	2.5	48447	18000	52349
substrato rifrattore >5.5	2650	1320	0.34	2.5	118679	44449	119880

Profilo 6

Profondità media (m)	Vp	Vsh	v	ϕ	E	G	K
1° sismostrato 0÷0.6	630	290	0.37	1.8	4219	1545	5230
2° sismostrato 0.6÷4.5	1780	870	0.34	2.5	51866	19309	55082
substrato rifrattore >4.5	3250	1600	0.34	2.5	175027	65306	182377

Profilo 7

Profondità media (m)	Vp	Vsh	v	ϕ	E	G	K
1° sismostrato 0÷0.9	680	370	0.29	1.8	6486	2514	5140
2° sismostrato 0.9÷4.5	1710	840	0.34	2.5	48275	18000	50594
substrato rifrattore >4.5	3180	1580	0.34	2.5	170177	63684	173058

3 IL MODELLO GEOLOGICO APPLICATIVO OTTIMIZZATO

Lo studio geologico, le ricostruzioni del patrimonio conoscitivo, le prospezioni geofisiche esperite, nonché la conseguenziale analisi comparativa con il know how acquisito elaborando modelli equipollenti di simulazione con l'ampia bibliografia specifica hanno consentito di formulare osservazioni determinanti per l'affinamento del modello geologico del terreno.

La maggiore insidia che un accumulo di terra rossa di interposizione tra "plaghe" sottili di calcareniti e affioramento calcareo (insidia costituita dal fatto che detto potenziale accumulo nasconde una superficie carsica senile o matura). La presenza di questa comporta che i problemi di fondazione, oltre ad essere connessi con le caratteristiche geometriche e geotecniche del deposito sciolto, si arricchiscono per la presenza nei calcari di base di almeno una delle seguenti situazioni:

- calcari stratificati e molto fratturati, con giunti sensibilmente allargati da un carsismo diffuso e completamente intasati da terra rossa;
- calcari, in varia misura carsificati, modellati da una o più cavità carsiche o carsico-tettoniche già epigee;
- calcari più o meno fratturati e carsificati, inglobanti a piccola profondità una o più cavità comunicanti con il soprastante deposito sciolto mediante condotti carsici e/o tettonici.

Dette situazioni offrono, a loro volta, un ambiente di fondazione sostanzialmente diverso a seconda che il deposito di terra rossa faccia parte di un'area carsica a fossilizzazione totale, oggi riesumata, oppure di un'area che non è mai stata n- coperta da altri sedimenti. Oltre al fatto che il comportamento geotecnico della terra rossa (sia quella formante il deposito che quella riempiente cavità e giunti) varia notevolmente dall'uno all'altro tipo di deposito, si deve attentamente valutare che in presenza di un carso olofossile completo, tutti i giunti e le cavità presenti nel calcare di letto sono di norma completamente riempiti da terra rossa, talora frammista ad altro materiale.

Se invece il deposito affiorante non è olofossile, si possono avere ben due distinti ambienti:

- la cavità mascherata dalla terra rossa possiede una fossilizzazione di tipo olofossile incompleto e pertanto l'ambiente di fondazione non si discosta di molto da quello dianzi visto;
- la cavità trovasi in uno stato di fossilizzazione parziale (carso merofossile) e può perfino risultare idricamente attiva.

Quest'ultima situazione è la più delicata in ogni caso. Infatti, se in seno ai calcari di base si ha una cavità ipogea anche solo in parte vuota, questa di norma è spesso in vario modo comunicante con il soprastante deposito sciolto; se invece la terra rossa maschera una depressione carsica già epigea, si ha che sul fondo di questa di norma si aprono uno o più inghiottitoi e/o pozzi carsici che drenano le acque in profondità. Ne discende che un siffatto accumulo di terra rossa, che peraltro è di per sé poco costipato e dotato di proprietà geotecniche generalmente scadenti, è spesso instabile in quanto ancora soggetto ad una dinamica interna. Questa, se il sistema carsico in parola ormai non svolge alcun ruolo idrico, è riconducibile a fenomeni di: assestamento per costipamento; rifluimento verticale lento e più o meno discontinuo (richiamo in profondità del materiale superficiale secondo un movimento a "clessidra"), per aggiustamenti gravi-clastici o meccanico-clastici interni al sottostante vuoto carsico. Aggiustamenti interni che possono produrre nel deposito cedimenti improvvisi, con l'apertura di sinkhole. Se invece il sistema carsico è anche temporaneamente idricamente attivo, possono prodursi fenomeni di ammorbidimento del deposito sciolto; cedimenti improvvisi con l'apertura di cavità

crateriche in superficie, prodotti da fenomeni di erosione inversa e corrosione. in presenza di una frazione granulometricamente spostata oltre il campo delle ghiaie, si ha che il rapporto dimensionale tra diametro degli elementi lapidei e lato minore della fondazione può risultare paragonabile; in tali condizioni è notevole il rischio di una risposta pensionale disuniforme da parte del terreno e quindi di danni strutturali, se preventivamente la fondazione non era stata opportunamente calcolata in funzione di tale eventualità. Se invece la granulometria risulta ben assortita fino al campo delle ghiaie, si hanno generalmente le migliori condizioni di addensamento e di stabilità del deposito. Peraltro, la matrice fina può risultare cementante (per essiccamento e/o per processi chimici), a vantaggio della capacità portante; questa può essere elevata al punto da non porre problemi nell'adozione, per fondazioni superficiali, di carichi di lavoro dell'ordine di 1-2 kg/cmq.

Tali input informativi e determinativi costituiscono sintesi delle risultanze delle attività di studio e di calcolo esperite per il completamento delle pertinenti sezioni di progetto strutturale. Il tutto ai fini di una fruibilità diretta per una scelta ottimizzata. Le risultanze delle indagini geofisiche e le osservazioni sollevate sia sui litotipi rinvenuti alle profondità di interesse, sia sul loro assetto geostrutturale, hanno la precipua finalità di fornire al Progettista una serie di valutazioni sulla risposta tecnica dei terreni costituenti quella parte del sottosuolo (volumi significativi) interessata dalle opere di fondazione.

Sulla base delle indagini sismiche eseguite nel sito di progetto è possibile attribuire le seguenti categorie sismiche di sottosuolo:

▪ Masw 1	categoria A	$V_s > 800$ m/s
▪ Masw 2	categoria B	$V_{s,eq} = 525$ m/s
▪ Masw 3	categoria A	$V_s > 800$ m/s
▪ Masw 5	categoria A	$V_s > 800$ m/s
▪ Masw 7	categoria A	$V_s > 800$ m/s
▪ Masw 8	categoria A	$V_s > 800$ m/s
▪ Masw 9	categoria A	$V_s > 800$ m/s
▪ Down-Hole S2	categoria A	$V_s > 800$ m/s

Categoria	Descrizione
A	Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori delle onde di taglio superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie terreni con 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

Figura 9 – Categorie sismiche di sottosuolo

In riferimento ai caratteri geostrutturali di disturbo –già sufficientemente illustrati- e di anisotropia rilevati tanto in senso orizzontale che verticale nell'ammasso calcareo di base ed allo scopo di procedere ad una circostanziata ricostruzione degli stessi è possibile (anche sulla base di numerosi studi condotti su codesti materiali in molteplici lavori a carattere scientifico) basarsi su valutazioni di ordine generale. Ai fini delle valutazioni del Progettista sulle possibili interazioni tra “Nuove sollecitazioni trasmesse” e ammasso roccioso competente il terreno di fondazione del plesso scolastico (anche tenendo conto della intensa urbanizzazione,

con presenza di fabbricati di rilevanza), si ritiene di poter discretizzare il piano di fondazione con due orizzonti, l'assise superficiale decompressa e finanche disarticolata, in termini assolutamente cautelativi di un edificio scolastico per l'infanzia), il secondo orizzonte francamente lapideo. Nel seguito sinteticamente dai seguenti parametri fisico-meccanici.

Es1 = 2500 Kg/cm² modulo di deformabilità 1° orizzonte calcareo decompresso (interferente litozona alterata e disarticolata in affioramento)

Es2 = 4700 Kg/cm² modulo di deformabilità 2° orizzonte calcareo

$\sigma_{din} = 0.30/0.32$ modulo di Poisson

Descrizione: *Descrizione o nome assegnato all'elemento.*

Coesione: *Coesione del terreno. [daN/cm²]*

Attrito interno: *Angolo di attrito interno del terreno. [deg]*

Delta: *Angolo di attrito all'interfaccia terreno-cls. [deg]*

Adesione: *Coeff. di adesione della coesione all'interfaccia terreno-cls. Il valore è adimensionale.*

K0: *Coefficiente di spinta a riposo del terreno. Il valore è adimensionale.*

Gamma naturale: *Peso specifico naturale del terreno in sito, assegnato alle zone non immerse. [daN/cm³]*

Gamma saturo: *Peso specifico saturo del terreno in sito, assegnato alle zone immerse. [daN/cm³]*

E: *Modulo elastico longitudinale del terreno. [daN/cm²]*

Poisson: *Coefficiente di Poisson del terreno. Il valore è adimensionale.*