COMUNE DI BISCEGLIE (BT)

# PROGETTO DI EDIFICIO in Via Padre M. Kolbe

# (FOGLIO CAT. N. 19, P.LLA 129).

# **RELAZIONE GEOLOGICA**

# SULLE INDAGINI, CARATTERIZZAZIONE E

# MODELLAZIONE GEOLOGICA DEL SITO

Committente:

Dott.ssa Ida Stolfa

Il Geologo :

# Dott. Geol. FERNANDO FEDERICO DARDES



# STUDIO GEOLOGICO GEOPROSPECTION

Dott. geol. Fernando Federico Dardes Via A. De Gasperi, 67 – Bisceglie (BT) Cell. 349 0623936 E-mail: dardes.f@tiscali.it ; dardes.f@gmail.com

Aprile 2021

# 1. PREMESSA

Per incarico ricevuto dalla Dott.ssa Ida Stolfa, residente a Bisceglie (BT), lo scrivente ha redatto la presente relazione sulle indagini, caratterizzazione e modellazione geologica del sito di impianto di un edificio, che verrà costruito in Via Padre M. Kolbe, nella periferia sud del centro abitato di Bisceglie (figura 1), e sarà dotato soltanto di due piani fuori terra.

Le coordinate geografiche (WGS 84) del sito oggetto di intervento sono:

Lat. 41,229877° N;

Long. 16,492244° E (rispetto a Greenwich).

La sua quota topografica è di circa 34 - 35 metri s.l.m.

L'identificativo catastale del sito in argomento è il seguente: Foglio n. 19, p.lla 129.

A livello regionale il sito di interesse è ubicato nella fascia costiera adriatica dell'altopiano delle Murge (Murge basse), ed è compreso nell'area del F.° 177 IV S.O. (BISCEGLIE) della Carta d'Italia dell'I.G.M. in scala 1 : 25.000 (si veda la figura 2). Nell'ambito della cartografia geologica ufficiale italiana esso rientra nel F.° 177 (BARI) della Carta Geologica d'Italia in scala 1 : 100.000.

Per la stesura della presente relazione lo scrivente ha adottato il seguente programma di lavoro:

- consultazione delle normative tecniche di carattere geologico inerenti il progetto (D.M. 17.01.2018 Norme Tecniche per le Costruzioni e relativa Circolare C.S.LL.PP. dell'11/02/2019; Norme Tecniche di Attuazione del Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico dell'Autorità di Bacino della Puglia; O.P.C.M. n.º 3519 del 2006);
- consultazione della documentazione bibliografica esistente;
- consultazione dei risultati di un precedente rilevamento geologico effettuato dallo scrivente nel territorio comunale di Bisceglie;
- sopralluogo nel sito di interesse;
- analisi dei documenti cartografici disponibili (cartografia geologica ufficiale in scala 1:100.000; cartografia topografica I.G.M. in scala 1:25.000; cartografia geologica e geomorfologica allegata al P.U.G. del Comune di Bisceglie; cartografia idrogeologica allegata al P.T.A. della Regione Puglia; cartografia del P.A.I.; Web-GIS dell'AdB della Puglia; mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale);
- programmazione delle indagini nel sito di interesse;
- esecuzione delle indagini (prospezione sismica MASW e HVSR);
- stesura del modello geologico definitivo.

## 2. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico, il territorio comunale di Bisceglie è ubicato nella zona centrosettentrionale delle Murge, lungo la fascia costiera adriatica. Le unità litostratigrafiche affioranti sono le seguenti:

- "Calcare di Bari" (Cretaceo);

- "Depositi Marini Terrazzati" (Pleistocene);

- "Depositi costieri" del Pleistocene superiore (calcareniti in genere ben cementate, che formavano dune prodotte da processi di risedimentazione eolica di sabbie carbonatiche di spiaggia, durante la regressione marina riferibile all'ultima glaciazione, oppure croste calcaree di origine chimica sedimentate in condizioni paleo-climatiche caldo-aride).

Fig. 1: ortofoto del sito oggetto di intervento (immagine satellitare ricavata dal programma *Google Earth*).



Fig. 2 - corografia: stralcio del F.° 177 IV S.O. – BISCEGLIE della Carta d'Italia dell'I.G.M. con ubicazione del sito oggetto di intervento (scala originale 1:25.000).



Oltre alle suddette unità geologiche sedimentarie di origine marina, si rinvengono, sul fondo e lungo i versanti dei solchi erosivi denominati "lame", depositi continentali alluvionali riferibili al Pleistocene superiore – Olocene. Tali sedimenti sono costituiti da argille residuali e da ciottoli di calcare micritico dispersi nella copertura argillosa.

Pertanto l'assetto litostratigrafico del territorio di Bisceglie è caratterizzato dalla presenza di un basamento carbonatico mesozoico, sul quale poggiano, a luoghi, in trasgressione delle coperture quaternarie marine o continentali.

#### **BASAMENTO CARBONATICO MESOZOICO.**

Il "Calcare di Bari", formazione facente parte del "Gruppo dei Calcari delle Murge", è una successione carbonatica mesozoica, dotata di uno spessore complessivo di circa 2000 metri in affioramento e costituita da strati e da banchi di calcare e di dolomia. I calcari sono caratterizzati da una granulometria fina (calcilutiti o, a luoghi, calcareniti a grana finissima). Le dolomie si presentano solitamente in banchi di colore grigiastro, e sono concentrate, insieme con i calcari dolomitici, negli intervalli stratigrafici inferiore e medio. La loro tessitura è saccaroide o subsaccaroide. Le dolomie di base affiorano lungo l'Anticlinale di Monte Acuto, a partire dai dintorni di Andria fino a nord di Corato. Quelle che rientrano invece nell'intervallo stratigrafico medio della successione cretacica si alternano frequentemente con calcari dolomitici e con brecce calcareo-dolomitiche (queste ultime disposte in letti discontinui). Ad ogni modo sono note sezioni stratigrafiche, relative a pozzi d'acqua, che dimostrano l'esistenza di intercalazioni calcareo-dolomitiche anche all'interno delle successioni prettamente calcaree. La letteratura geologica consultata indica l'esistenza di due membri basali del "Calcare di Bari", denominati rispettivamente "Calcari e dolomie dell' Avvantaggio" e "Calcare di Montericco". I loro affioramenti furono studiati nel territorio compreso fra Andria, Trani e Barletta. Il "Membro del calcare di Montericco", più recente del primo, si differenzia da questo per una minor frequenza di livelli dolomitici, per l'esistenza di fenomeni di dedolomitizzazione e per la presenza di orizzonti marnosi. Nella zona di Bisceglie gli affioramenti del "Calcare di Bari" sono costituiti da calcari micritici stratificati, di colore variabile dal biancastro al grigio chiaro e al nocciola. Il loro grado di dolomitizzazione è variabile. La consultazione della letteratura geologica ha evidenziato, tra l'altro, l'esistenza di una suddivisione del "Calcare di Bari" in tre unità litostratigrafiche di rango gerarchico inferiore che affiorano nel territorio di Bisceglie. Si tratta del "Membro dei Calcari a Palorbitoline", del "Membro dei Calcari di Corato", e del "Membro dei Calcari di Bisceglie" (citati in ordine di età decrescente e quindi in ordine geometrico dal basso verso l'alto). Essi formano una sequenza stratigrafica che poggia sul "Membro del calcare di Montericco", il quale poggia a sua volta sul "Membro dei calcari e dolomie dell'Avvantaggio".

Membro dei Calcari a Palorbitoline :

affiora, ad esempio, in località "Torre Albarosa" (6 km a sud di Bisceglie) e in contrada "Matina delle Monache" (sul fianco meridionale del solco erosivo che va sotto il nome di "Lama di S. Croce"); consiste in un pacco di strati aventi spessore variabile dai 30 ai 60 cm, per uno spessore totale che si aggira intorno ai 20 m; i calcari che costituiscono questo livello presentano un grado di dolomitizzazione variabile, una predominanza di *wackestone* e *packstone*, mentre le laminiti sono assenti.

#### Membro dei Calcari di Corato :

esso affiora, ad esempio, in località "Lama di S. Croce"; il suo spessore totale è di circa 100 m; include il livello "Corato", costituito da pochi banchi di calcare bianco o rosato a grana fina; detto livello stratigrafico poggia su una breccia calcareo-dolomitica con cemento dolomitico. Presenta prevalenti *packstone* alternati a *mudstone* con laminiti e assenza di dolomie; i *grainstone* sono frequenti alla base del membro, mentre nella parte superiore sono presenti piccoli livelli di microbrecce, molto caratteristici. Questa unità comprende due sottounità, che si distinguono, tra l'altro, per la presenza di forme di Rudiste appartenenti a famiglie diverse: 1) "calcari a *Caprinidae*", 2) "calcari a *Requienidae*".

Membro dei Calcari di Bisceglie:

il suo spessore totale è di circa 200 m (200-215 m) nella zona litoranea; è costituito da un'alternanza di *wackestone* e *mudstone* poveri in microfauna, di laminiti stromatolitiche e di orizzonti brecciati (spesso con *cailloux noirs* e matrice argillosa verde); nella successione a varie altezze si possono osservare orizzonti a Ostracodi e/o Carofite.

Dal punto di vista geologico-strutturale la successione carbonatica mesozoica delle Murge possiede un assetto essenzialmente monoclinalico, dato che, su scala regionale, gli strati immergono mediamente verso SW. La monoclinale risulta però complicata da pieghe blande e da faglie dirette. A livello regionale le faglie sono orientate prevalentemente secondo le direttrici tettoniche WNW-ESE, E-W, SW-NE e circa N-S. Nel territorio di Bisceglie il "Calcare di Bari" è attraversato da varie faglie, certe o presunte (dotate, in prevalenza, di direzioni approssimative NW-SE, SW-NE e N-S), e da più sistemi di giunti di frattura che si intersecano reciprocamente. Le giaciture di tali sistemi di giunti di frattura seguono gli orientamenti delle principali direttrici tettoniche delle Murge: NW-SE, NE-SW, E-W e N-S.

#### DEPOSITI MARINI TERRAZZATI.

Gli affioramenti dell'unità litostratigrafica denominata "Tufi delle Murge" da Azzaroli e Valduga (depositi calcareo – arenacei e calcareo – arenaceo – argillosi nel F°. 177 della Carta Geologica d'Italia del 1967) corrispondono ai "Depositi Marini Terrazzati", rappresentati nella più recente carta geologica delle Murge e del Salento (Ciaranfi, Pieri & Ricchetti, 1988). Questi ultimi sono costituiti da depositi carbonatici marini riferibili al Pleistocene Superiore. La loro sedimentazione è avvenuta durante la fase di sollevamento regionale delle Murge, iniziata circa un milione di anni fa. Le oscillazioni glacio-eustatiche quaternarie hanno interferito col suddetto movimento tettonico verticale, determinando un'alternanza di episodi di stasi relativa e abbassamento relativo del livello marino (nell'ambito di un trend complessivo di regressione marina). Di conseguenza i corpi sedimentari

marini in questione sono distribuiti sulle Murge con un'età che diviene via via più recente al diminuire della quota topografica dei terrazzi di abrasione marina su cui poggiano.

Ad ogni modo, considerando la cartografia geologica CARG delle aree vicine a quella di interesse, non si può escludere che la formazione della Calcarenite di Gravina (riferibile ad una fase di subsidenza regionale manifestatasi durante il Pleistocene inferiore, in concomitanza con l'avanzamento verso est dell'avanfossa appenninica) sia presente nel territorio biscegliese, sepolta a luoghi sotto i Depositi Marini Terrazzati.

Le osservazioni degli affioramenti esistenti nel territorio di Bisceglie e nelle aree limitrofe mostrano che i sedimenti carbonatici quaternari poggiano in trasgressione sui calcari mesozoici, e sono composti principalmente da biocalcareniti, biocalciruditi e silt calcarei. La superficie di contatto con il basamento carbonatico del Cretaceo è caratterizzata da una discordanza angolare, e può risultare irregolare dal punto di vista geometrico, per la presenza di tasche di erosione dovute al processo di dissoluzione del carbonato di calcio. Le caratteristiche di facies variano sia in direzione verticale che lateralmente. Anche il grado di cementazione è variabile. A livello regionale è presente a luoghi una componente argillosa dei depositi in oggetto, la quale è attribuibile ad una sedimentazione terrigena di argille residuali (residuo insolubile del processo di dissoluzione dei calcari mesozoici) in paleoambienti di transizione, caratterizzati da un basso livello di energia idrodinamica (come stagni e lagune). I silt calcarei e le calcareniti a grana fina derivano invece da una sedimentazione indigena di origine biologica, che aveva luogo negli stessi ambienti di bassa energia. In alcuni siti delle Murge, alla base dei depositi marini carbonatici del Pleistocene, è presente un livello stratigrafico di "terra rossa", costituita da argille siltose e silt di colore rosso bruno o rosso vivo. Detto livello, che si trova a diretto contatto con il substrato calcareo mesozoico, presenta uno spessore variabile da alcuni metri a pochi decimetri. Esso deriva da una sedimentazione argillosa di depositi colluviali in ambiente continentale, sul fondo di aree morfologicamente depresse.

Nel territorio comunale di Bisceglie, secondo i dati del rilevamento geologico di superficie, la copertura quaternaria in oggetto è costituita da calcareniti di colore solitamente bianco o giallastro, con grado di cementazione variabile e granulometria variabile da grossolana a molto fina, a luoghi dotate di matrice argillosa. Esse affiorano sia lungo una stretta fascia costiera, allungata in direzione NW-SE, sia in alcune zone interne. Lungo la costa i depositi marini terrazzati raggiungono frequentemente il bordo della falesia. Inoltre essi si estendono verso l'interno, a partire dal centro abitato, tramite alcune diramazioni. Fra le propaggini principali vanno annoverate quella che raggiunge quasi la "Lama Paterno" (ad ovest di Bisceglie) e quella che si prolunga oltre la "Lama di Macina" (ad est di Bisceglie). I sedimenti marini in argomento risultano stratificati (con superfici di strato a luoghi poco evidenti), e poggiano sul sottostante basamento cretaceo con una discordanza angolare. Le calcareniti presentano inoltre segni di tettonica disgiuntiva, essendo attraversate da diaclasi. Il loro grado di fratturazione risulta però inferiore a quello dei calcari del Cretaceo. In certi punti le fratture appaiono parzialmente chiuse, forse a causa della presenza di incrostazioni calcitiche. Infine è possibile l'esistenza di fenomeni carsici. La potenza della copertura calcarenitica quaternaria

risulta molto variabile da zona a zona. In alcuni siti, a causa dei processi erosivi, sono presenti soltanto dei lembi con spessore decimetrico. Un carotaggio continuo effettuato in presenza dello scrivente in Via S. Andrea 87/4 (nei dintorni della ferrovia) ha evidenziato invece l'esistenza di una copertura spessa circa 15 metri, che comprende approssimativamente 13 metri di calcareniti e 2 metri di argille basali. L'esame delle carote ha messo in luce una tendenza all'incremento della frazione argillosa delle calcareniti con l'aumentare della profondità. Altre notizie in possesso dello scrivente si riferiscono all'esistenza nel quartiere "Seminario" di spessori di calcarenite molto rilevanti. Sintetizzando i dati geologici ufficiali con quelli osservati sul terreno o in cantiere, risulta dimostrata una correlazione spaziale fra la potenza massima della copertura marina pleistocenica e la presenza di bassi morfologico-strutturali nel basamento calcareo del Cretaceo.

#### CARSISMO.

Nel territorio biscegliese sono molto diffuse e ben visibili le tracce dei processi carsici che hanno interessato le rocce carbonatiche del Cretaceo: doline, lame, cavità carsiche da frattura, cavità carsiche interstratali, inghiottitoi, brecce di crollo, grotte. Inoltre negli affioramenti si osserva frequentemente il fenomeno del carsismo fossile: riempimenti delle cavità da frattura e interstratali, costituiti da argille residuali (terre rosse) o da sabbie carbonatiche marine del Quaternario introdotte dall'alto. Le terre rosse, come è noto, rappresentano il residuo insolubile della dissoluzione dei calcari. In linea generale si può affermare che il territorio di Bisceglie è caratterizzato da una distribuzione spaziale dei fenomeni carsici notevolmente disomogenea. Infatti, nell'ambito della fascia costiera delle Murge, la zona ubicata a monte del tratto di costa compreso tra Bisceglie e Giovinazzo presenta un livello di fratturazione e di carsificazione che risulta basso e discontinuo in molti punti, ma comunque molto variabile nello spazio. E' quindi opportuno ricordare i principali fattori geologici che influiscono sull'intensità e sulla tipologia dei processi carsici: la composizione mineralogica e litologica delle rocce carbonatiche, il loro grado di fratturazione, la presenza o assenza di terreni di copertura impermeabili o poco permeabili. In particolare bisogna notare la resistenza all'incarsimento da parte degli strati dolomitici. Essi, infatti, oltre ad essere meno esposti ai fenomeni di dissoluzione per ragioni chimiche, possono presentare un grado di fratturazione discontinuo e/o modesto. Inoltre non sono carsificabili le intercalazioni siltitico-argillose delle rocce carbonatiche. L'alternanza costante di calcari con calcari dolomitici e dolomie limita soprattutto la genesi delle cavità a sviluppo essenzialmente verticale. Il carsismo può essere invece localmente accentuato dalla presenza di piani di faglia, dall'assenza di coperture di terra rossa, dall'esistenza di un'intersezione fra più sistemi di fratture o dalla presenza di un piccolo bacino idrografico endoreico. Risulta poi importante anche lo studio della storia evolutiva dei fenomeni carsici (soprattutto dell'ultimo milione di anni), sia in relazione alla genesi di cavità a sviluppo orizzontale o verticale sia in relazione al fenomeno del carsismo fossile. Durante il Quaternario l'evoluzione del carsismo nell'area delle Murge è stata fortemente condizionata dai movimenti tettonici verticali e dalle oscillazioni glacio-eustatiche. Come già affermato in precedenza, l'ultima fase tettonica, ossia il sollevamento regionale, ha interferito con

le variazioni eustatiche pleistoceniche producendo un complessivo abbassamento relativo del livello del mare, il quale è stato caratterizzato da interruzioni dovute a fasi temporanee di stasi e di innalzamento relativo. Considerato che il livello di base dell'azione del carsismo coincide con il livello marino, durante le fasi di abbassamento relativo i processi carsici si estendevano verso il basso, e le cavità comprese nella zona di saturazione passavano man mano nel dominio della zona vadosa (o di aerazione). I condotti sotterranei in pressione con drenaggio prevalentemente orizzontale si trasformavano quindi in condotti di tipo "fluviale" (a pelo libero), e venivano successivamente abbandonati dalle acque di falda. Aveva così luogo un incremento dello spessore della zona vadosa. Di conseguenza le suddette fasi favorivano il drenaggio sotterraneo con direzione prevalentemente verticale (effetto della gravità). Veniva quindi esaltata l'estensione in profondità degli apparati carsici ipogei (sviluppo verso il basso di cavità allungate verticalmente), e si creavano anche le condizioni favorevoli alla fossilizzazione delle cavità meno profonde, a causa degli accumuli di terra rossa, con un conseguente rallentamento locale dei processi speleogenetici. In corrispondenza delle fasi di innalzamento relativo del livello del mare la formazione dei suddetti accumuli veniva invece ostacolata dalla ripresa del deflusso idrico prevalentemente orizzontale (a pelo libero oppure in pressione) nelle cavità precedentemente abbandonate dalle acque di falda, e si verificava così un "ringiovanimento" della speleogenesi. Durante le fasi di stasi relativa del livello marino avevano luogo la formazione e l'ampliamento dei condotti carsici ad andamento orizzontale o sub-orizzontale. Non è superfluo, inoltre, prendere in considerazione l'influenza dell'orientamento delle discontinuità strutturali sulla direzione della canalizzazione carsica ipogea. Le strutture tettoniche condizionano sia la distribuzione spaziale che la direzione di maggiore estensione delle cavità. E' stato dimostrato che nelle Murge la dissoluzione dei calcari è attiva soprattutto lungo alcuni piani di faglia e in corrispondenza delle fratture di trazione (dette anche tension joints), che sono il tipo di frattura più carsificato, e di quelle di taglio (shear joints). Nella zona vadosa il processo carsico avviene in modo selettivo, essendo concentrato preferenzialmente lungo le fratture che presentano una maggiore apertura e inclinazione. Anche nella zona satura l'intensità della dissoluzione delle rocce carbonatiche lungo faglie o diaclasi varia a seconda delle caratteristiche di tali discontinuità. Infatti in tale zona la speleogenesi è maggiore in corrispondenza di quelle fratture che sono più aperte e/o orientate parallelamente alla direzione media del deflusso idrico sotterraneo. I risultati di indagini statistiche svolte nelle Murge, riportati nella letteratura geologica, dimostrano che la distribuzione delle direzioni di massimo sviluppo dei condotti carsici orizzontali o sub-orizzontali presenta una direzione predominante, che è la N 40° O. Essa precede, in ordine di frequenza decrescente, la E-O. Frequenze statistiche ancora più basse caratterizzano le direzioni di carsificazione N 60° O, N 40° E e N-S. Questi risultati evidenziano lo stretto legame esistente fra l'orientamento della canalizzazione carsica sotterranea e le principali direttrici tettoniche murgiane. Infatti, ad esempio, la direzione di carsificazione ipogea predominante coincide, grosso modo, con quella del sistema di faglie NO-SE (figura 3). I dati sopra riportati si riferiscono all'intera area delle Murge. Invece le statistiche relative alle Murge nord-occidentali (a ovest della congiungente S.Spirito-Altamura) mostrano che nell'area di interesse per questo lavoro la direttrice carsica predominante è la E-O (figura 4).

### 3. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO

I caratteri geomorfologici dell'area costiera delle Murge risultano notevolmente influenzati dall'assetto geologico-strutturale del basamento carbonatico mesozoico. Le faglie con direzione parallela alla costa adriatica hanno infatti determinato un motivo strutturale a gradinata, con una successione di scarpate orientate parallelamente alla linea di costa e di vasti ripiani di abrasione. Questi ultimi presentano complessivamente una leggera inclinazione verso NE. Si tratta di terrazzi marini modellati durante la fasi di temporanea stasi relativa del livello del mare, nell'ambito di un complessivo ma discontinuo abbassamento relativo del livello marino durante il Pleistocene (causato dal processo tettonico che ha determinato il sollevamento regionale delle Murge).

#### Fig. 3: diagramma della direzione di canalizzazione carsica nell'area delle Murge.



Bisogna inoltre sottolineare che la superficie morfologica delle Murge basse è stata incisa da numerosi solchi erosivi, denominati "lame", con interfluvi quasi piani. La loro genesi è dovuta in parte all'azione meccanica delle acque incanalate e in parte al processo di dissoluzione chimica del basamento carbonatico, che ha avuto luogo ad opera delle stesse acque. I solchi maggiori presentano di solito un fondo piatto e versanti mediamente (e solo a tratti fortemente) inclinati. Tra i solchi minori si annoverano invece esempi di incisioni con versanti ravvicinati. A volte il tracciato delle "lame" è condizionato dalla presenza di faglie nel basamento mesozoico. Le "lame" principali partono dal margine esterno delle Murge alte, e raggiungono il mare dopo aver attraversato tutta la successione delle scarpate e dei ripiani sottostanti. Le "lame" minori incidono invece soltanto una delle scarpate murgiane e una parte del ripiano sottostante. Questi solchi erosivi si presentano inoltre gerarchizzati. Infatti alcune "lame" sono ramificate, e confluiscono a loro volta in altre "lame" più estese. La direzione media dei tracciati è da SO verso NE (coincidente con la direzione media di massima pendenza della superficie morfologica). Tuttavia le lineazioni tettoniche determinano a luoghi degli snodi e delle brusche deviazioni. Non mancano casi di tratti di "lame" caratterizzati da una direzione E-O o NO-SE e impostati in corrispondenza di depressioni sinclinaliche o di faglie. Inoltre alcune "lame" sono dotate di un profilo trasversale con terrazzi fluviali situati a quote diverse.

#### 4. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

#### **IDROGRAFIA.**

Per quanto riguarda l'assetto idrografico, l'evoluzione del carsismo in un territorio emerso, combinandosi con un decremento delle precipitazioni, può condurre alla scomparsa dell'idrografia superficiale. Pertanto nel territorio di Bisceglie l'unico reticolo idrografico presente sulle rocce carbonatiche è un reticolo fossile, costituito dai solchi erosivi denominati "lame". Essi sono interessati da fenomeni di ruscellamento superficiale di origine naturale soltanto in occasione di precipitazioni intense e di breve durata. Il deflusso superficiale di acque incanalate per cause naturali ("mene") risulta quindi limitato nel tempo a brevi periodi, anche se può risultare a volte imponente.

#### Fig. 4: diagramma della direzione di canalizzazione carsica nelle Murge nord-occidentali.



Tra le varie "lame" esistenti nel territorio di interesse, le più importanti sono la "lama Paterno" e la "lama di S. Croce-lama di Macina". Esse sono anche le uniche riportate nella cartografia topografica dell'I.G.M. (in scala 1:25.000 e 1:50.000). La prima è ubicata a ovest del centro abitato (in prossimità del confine comunale col territorio di Trani). La seconda, al contrario, è situata a est (nei pressi del confine col territorio comunale di Molfetta). L'area centrale è invece percorsa da un reticolo gerarchizzato (riscontrabile, oltre che sul terreno, nella Carta Tecnica Regionale in scala 1:5.000 e nella Carta Idrogeomorfologica dell'Autorità di Bacino della Puglia). Quest'ultimo consta di due impluvi principali, i quali sfociano nell'insenatura del porto di Bisceglie e sono a volte denominati "lama di Fondo Noce" e "lama della Misericordia".

#### ACQUE SOTTERRANEE.

La successione carbonatica mesozoica è permeabile prettamente per fessurazione in alcuni luoghi, e per fessurazione e carsismo in altri (permeabilità in grande). Essa risulta infatti attraversata da una rete di giunti di fratturazione, microfratture, condotti carsici e cavità carsiche in genere, che possono comunicare tra loro in modo più o meno continuo. Il grado di permeabilità dei terreni carbonatici del Cretaceo dipende congiuntamente dal grado di fratturazione, dal grado di dolomitizzazione, dal livello di sviluppo dei fenomeni carsici ipogei e dallo stadio di evoluzione di tali fenomeni. Le rocce carbonatiche del Cretaceo costituiscono inoltre un imponente acquifero carsico costiero, il quale è sede di un'estesa falda idrica (falda di base). In tale acquifero sono anche presenti acque marine di invasione continentale, che risultano separate dalle sovrastanti acque dolci di falda (dotate di minore

densità) per mezzo di un'interfaccia tra acqua dolce e acqua salata, posta sotto il livello del mare. La circolazione idrica sotterranea è caratterizzata da una complessità dovuta alle variazioni verticali di permeabilità. Pertanto la parte superiore della falda si presenta a luoghi suddivisa in più livelli idrici sovrapposti, separati da livelli stratigrafici praticamente impermeabili ma non del tutto continui. I diversi livelli idrici possono essere dotati di carichi idraulici differenti. Inoltre le acque di falda circolano frequentemente in pressione, anche al di sotto del livello del mare.

I Depositi Marini Terrazzati del Pleistocene presentano un tipo di permeabilità per fessurazione e carsismo, dovuto all'esistenza di diaclasi che li attraversano. Essi possono comunque risultare anche permeabili per porosità (permeabilità in piccolo). Infatti le calcareniti che costituiscono detti sedimenti sono caratterizzate da una tessitura granulare con tre componenti tessiturali: i granuli, la matrice e il cemento. L'impalcatura dei granuli forma degli spazi intergranulari (pori), i quali sono riempiti in parte dalla fase fluida e in parte dalla matrice (di composizione carbonatica e/o argillosa) e dal cemento. Pertanto le connessioni tra i pori possono consentire il passaggio di acqua. Il grado di permeabilità di queste coperture trasgressive pleistoceniche è ovviamente influenzato dalla granulometria, dal grado di cementazione e dalla presenza o assenza di matrice argillosa nei pori, oltre che dal grado di fratturazione e di carsificazione. Esse sono generalmente meno permeabili rispetto al basamento carbonatico mesozoico.

#### 5. SISMICITA'

Anche se in Puglia i terremoti dotati di capacità di danno si verificano con una frequenza temporale minore rispetto alla catena appenninica, la recente evoluzione delle conoscenze sismologiche ha messo in luce che la pericolosità sismica del territorio pugliese non può essere affatto trascurata. Ciò dipende da due fattori: in primo luogo le sorgenti di frequenti terremoti anche molto forti, che sono situate all'esterno della Puglia, si trovano ad una distanza che non garantisce sicurezza (infatti la regione pugliese può risentire l'effetto dei terremoti appenninici più energetici, e, nella Penisola Salentina, degli eventi della Grecia – Albania e del Canale d'Otranto); in secondo luogo anche l'attività sismica all'interno del territorio regionale in oggetto risulta potenzialmente rischiosa. I dati storici e strumentali evidenziano poi una notevole variabilità della pericolosità sismica entro i confini regionali. Per quanto riguarda la Puglia settentrionale, non mancano casi di terremoti catastrofici, con epicentri situati nell'area comprendente il Tavoliere e la Capitanata: ad esempio, quello del 1627 (X grado Mercalli-Cancani-Sieberg), che colpì la zona tra il basso corso del Fortore e il lago di Lesina causando 5000 vittime e provocando anche un'onda di maremoto che produsse l'inondazione di Lesina. Inoltre le mappe della distribuzione degli epicentri sismici nel territorio italiano evidenziano, nell'ambito del territorio pugliese, una notevole concentrazione delle sorgenti sismiche nell'area garganica.

Quasi tutti gli eventi sismici del territorio pugliese dotati di intensità maggiore dell'VIII grado della scala Mercalli-Cancani-Sieberg hanno avuto epicentro a nord dell'Ofanto, salvo alcuni casi sporadici di terremoti riportati nei documenti storici, la cui localizzazione è però probabilmente inattendibile. Fa

eccezione il sisma del 20 febbraio 1743, che raggiunse il IX grado a Nardò (Lecce), provocando circa 200 morti.

L'attività sismica generata da strutture sismogenetiche ubicate nelle Murge, nel Salento e nella Valle dell'Ofanto risulta geologicamente non del tutto trascurabile, anche se modesta come intensità. Ad ogni modo le caratteristiche della sismicità delle Murge sono state oggetto di una recente revisione. Essa si è basata sullo studio delle strutture deformative chiamate sismiti (tracce di antichi fenomeni di cosismici di liquefazione, rinvenute in alcuni depositi marini terrazzati) e sull'analisi dei dati sismotettonici, di quelli storici (a partire dal XVI secolo) e delle registrazioni strumentali di eventi a bassa magnitudo (successive al 1985).

Ne è risultato che l'attività tettonica correlata con la fase di sollevamento, iniziata nel Pleistocene, è ancora presente nelle Murge. Essa produce una crescita di varie faglie e un'attività sismica a bassa energia (con magnitudo minore di 3.5, secondo le registrazioni disponibili). E' stata notata però una discrepanza fra i dati strumentali da un lato, e quelli storici e paleo-sismologici dall'altro. Infatti questi ultimi suggeriscono che possano verificarsi terremoti locali con magnitudo maggiore di 5.0 o 5.5.

Pertanto le ricerche dell'Università di Bari prendono in considerazione la possibilità che il potenziale sismogenetico del territorio murgiano sia stato finora sottovalutato, e ipotizzano la presenza, all'interno delle Murge, di faglie sismiche minori, le quali verrebbero occasionalmente riattivate dalla ridistribuzione degli sforzi nella litosfera dopo eventi importanti con epicentro in zone prossimali (forti terremoti della Puglia settentrionale o della catena appenninica). Alcune di queste strutture sismogenetiche minori potrebbero trovarsi non lontano dal centro abitato di Bisceglie (in direzione NW). Il meccanismo proposto è quello del trasferimento di stress fra diversi sistemi da faglie, che è stato effettivamente osservato in varie parti del mondo. A sostegno della suddetta ipotesi vi sono i dati sismici pre-strumentali degli ultimi 400 anni, che contengono otto eventi, dotati di intensità relativamente elevata, con epicentro nelle Murge. Infatti gli eventi significativi delle Murge sono stati spesso preceduti (ma non sempre) da terremoti importanti nelle aree adiacenti, con un anticipo variabile fino a un massimo di alcuni mesi.

Secondo il CPTI15 (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, vers. 1.5), nel territorio di Bisceglie la massima intensità macrosismica degli eventi noti in base alle ricostruzioni storiche risulta dell'VIII grado MCS (terremoto dell'11 maggio 1560, di magnitudo stimata 5.66, con un numero imprecisato di vittime in particolare a Barletta e Bisceglie). Si tratta dell'evento più importante fra quelli conosciuti con epicentro nelle Murge. Ci sono comunque altri eventi sismici documentati che hanno almeno causato danneggiamenti nell'area murgiana (tabella 1).

La sismicità strumentale è stata studiata a partire dal 1985. Sono stati così individuati 1200 eventi sismici nelle Murge. Tra le quattro sub-zone omogenee in cui è stata suddivisa l'area di studio, quelle caratterizzate da un maggiore rilascio di energia sono la nord-occidentale (comprendente anche il territorio di Bisceglie) e la sub-zona di bordo, ubicata lungo il confine che separa le Murge dalla Fossa Bradanica. Al loro interno le massime concentrazioni nelle distribuzioni epicentrali si riscontrano nei pressi di Castel del Monte e di Altamura (figura 5).

Tabella 1: elenco dei terremoti documentati attraverso osservazioni macrosismiche, localizzati nella Puglia centrale, con intensità epicentrale > VI MCS. (da Pieri *et al.*, 2003)

DATA	LAT.	LONG.	lo (PFG)	lo (NT)	lo (CPTI)	Mag.	UBICAZIONE
1560/05/11	41.250	16.480	IX	VII-VIII	VIII	5.4	Barletta-Bisceglie
1634/11/10	40.665	16.607	VII	VI-VII	VI-VII	4.6	Matera
1689/09/21	41.272	16.288	VIII	VII	VII	4.8	Barletta
1689/09/22	41.250	16.333	VII			4.9 *	Andria
1713/01/03	40.588	17.113	VI-VII	VI-VII	VI-VII	4.6	Massafra
1713/01/06	40.583	17.116	VI-VII			4.6 *	Massafra
1731/10/17	41.178	15.999	VIII	VI-VII	VI-VII	4.9	Foggia
1826/10/26	40.451	17.678	VII	VI-VII	VI-VII	5.1	Manduria
1833/01/19	40.500	17.500	VI			4.3 *	Manduria
1833/01/19	40.500	17.500	VI			4.3 *	Manduria
1845/07/10	40.665	16.607	VII	VI	VI	4.4	Matera
1851/09/06	41.216	16.066	VII			4.9 *	Canosa
1856/05/12	41.166	16.500	VI-VII			4.6 *	Terra di Bari
1858/05/24	40.966	16.100	VI-VII			4.6 *	Spinazzola
1932/03/30	40.633	16.900	VI	VI	VI	4.4	Castellaneta

Lat. = latitudine nord; Long. = longitudine est; Io = intensità epicentrale riportata da differenti cataloghi (catalogo PFG = Postpischl, 1985; catalogo NT = Camassi e Stucchi, 1998; catalogo CPTI = CPTI Working Group, 1999); Mag. = magnitudo derivata da dati macrosismici (i valori marcati da \* sono stati ottenuti dall'intensità indicata nel catalogo PFG, attraverso una relazione media magnitudo-intensità epicentrale proposta dal CPTI Working Group, 1999; negli altri casi è riportata la magnitudo media Ma del catalogo CPTI).





La poligonale a tratto continuo delimita l'area selezionata per l'estrazione degli eventi sismici nel periodo 1985-2001; i triangoli e i quadrati marcano le stazioni sismiche rispettivamente dell'Osservatorio Sismologico dell'Università di Bari (OSUB) e dell'Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV); le linee tratteggiate delineano le 4 sub-zone (nord-occidentale - NW, centrale - C, sud-orientale - SE e bordiera – B) in cui l'area di studio è stata suddivisa per valutare le possibili differenze tra le caratteristiche della sismicità.

Fig. 6: stralcio della mappa di pericolosità sismica del territorio nazionale (I.N.G.V., 2004).



## 6. VINCOLI SISMICI, IDROGEOLOGICI E GEOMORFOLOGICI

#### CLASSIFICAZIONE SISMICA.

Secondo la normativa vigente, i territori dei comuni italiani vengono attribuiti fondamentalmente a quattro "zone sismiche", indicate come zona 1 (ad alto livello di pericolosità), zona 2 (con livello di pericolosità medio), zona 3 (con livello di pericolosità basso) e zona 4 (con livello di pericolosità molto basso). Il criterio di attribuzione si basa su soglie di PGA (accelerazione orizzontale di picco al suolo) con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni.

Per ogni zona è definito l'intervallo dei valori di PGA che la caratterizza, in base al seguente schema:

zona	PGA con probabilità di		
	eccedenza del 10% in 50 anni		
1	0.25 – 0.35 g		
2	0.15 – 0.25 g		
3	0.05 - 0.15  g		
4	< 0.05 g		

Per ciascun comune la PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni viene calcolata per mezzo di mappe di pericolosità sismica. Tali elaborati si ottengono mediante analisi statistiche dei terremoti storici e di quelli registrati dagli strumenti, combinate con informazioni di tipo tettonico sulle sorgenti geologiche degli eventi e con leggi fisiche di attenuazione dell'energia sismica.

Nell'attuale classificazione sismica del territorio nazionale, aggiornata al 2015, il comune di Bisceglie rientra in zona 3 (figura 7). Infatti, sulla base delle conoscenze attuali, si può affermare che in gran parte del territorio comunale biscegliese la PGA con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni è compresa fra 0.125 e 0.150 g. Ciò risulta dall'analisi della carta di pericolosità sismica redatta dall'I.N.G.V. nel 2004 (Gruppo di Lavoro, 2004), la quale rappresenta l'elaborato di riferimento per l'attuale classificazione sismica, secondo quanto stabilito dall'O.P.C.M. n.º 3519 del 2006 (figura 6).

In base alle N.T.C. (Norme Tecniche per le Costruzioni) del 2018, la classificazione in argomento viene utilizzata per scopi tecnico-amministrativi tipici della gestione del territorio. Pertanto nel territorio del comune di Bisceglie, e quindi nell'area di intervento, devono essere adottati i criteri di progettazione antisismica contenuti nelle suddette norme.

A partire dagli anni '90 le stime nazionali di pericolosità sismica sono state riviste e aggiornate più volte, man mano che si rendevano disponibili nuovi dati o affinamenti metodologici. Il calcolo della pericolosità è stato effettuato utilizzando una zonazione sismogenetica (o sismotettonica) del territorio italiano, della quale sono state prodotte nel tempo varie versioni. Quella del 1997 (indicata con la sigla ZS4 – Scandone, 1997) comprendeva 80 zone poligonali, identificate con un numero progressivo da 1 a 80. Ogni zona presentava aspetti peculiari in base alle caratteristiche strutturali e cinematiche, alla tipologia dei meccanismi di rottura attesi e ai tassi di attività sismica. I poligoni ricoprivano solo le aree per le quali ci sono evidenze di un'attività sismica importante, mentre il resto del territorio era inserito in una zona di "background" cui veniva attribuita un'attività sismica minore. La zonazione includeva anche sette zone esterne al territorio italiano, la cui attività sismica si riteneva potesse produrre scuotimenti significativi in parte del territorio italiano. Un numero considerevole delle zone individuate aveva un'estensione piuttosto limitata, sicché il numero di terremoti in catalogo ricadenti in tali zone risultava troppo esiguo per un'affidabile stima statistica dei tassi di sismicità. Successivamente le stime di pericolosità ottenute sono state riviste a partire da un aggiornamento della zonazione sismogenetica, effettuato sia per tener conto di nuovi dati raccolti successivamente, sia per l'esigenza di estendere le dimensioni delle zone sismogenetiche mediante accorpamenti di zone simili. La versione più recente è la ZS9 (marzo 2004), riportata nella figura 8: le zone definite sono 36, numerate con un numero progressivo da 901 a 936. Ognuna di esse è caratterizzata da una tipologia di meccanismo di faglia prevalente e da una profondità media degli ipocentri dei terremoti (cfr. Del Gaudio V. – Lezioni di sismologia applicata, 2005). Il territorio comunale di Bisceglie è riferibile alla Zona 925, ubicata fra l'avampaese apulo, la Fossa Bradanica e l'Appennino meridionale. Essa è contraddistinta dalla presenza di faglie sismogenetiche di tipo prevalentemente trascorrente e da ipocentri situati mediamente fra i 12 km e i 20 km di profondità.

#### VINCOLI DEL P.A.I.

In base alle norme vigenti, la valutazione del rischio idraulico e di quello geomorfologico deve essere svolta secondo le direttive del P.A.I. (Piano di bacino stralcio per l'Assetto Idrogeologico) dell'Autorità di Bacino della Puglia. Lo scrivente ha fatto quindi riferimento alla perimetrazione delle aree ad alta, media e bassa pericolosità idraulica (AP, MP, BP) e a quella delle aree a pericolosità geomorfologica (PG1, PG2, PG3), cartografate nel "Web-GIS" dell'AdB della Puglia. Dall'analisi della suddetta cartografia si evince che il sito oggetto di intervento (area di impronta dell'edifico progettato) è ubicato al di fuori di tali aree (si veda la figura 9).

Fig. 7: Dipartimento della Protezione Civile – classificazione sismica al 2015.



Fig. 8 (zonazione sismotettonica del territorio italiano): versione ZS9 con distinzione per tipologia prevalente del meccanismo di fagliazione e per profondità media degli ipocentri dei terremoti (Gruppo di Lavoro, 2004).



ASSETTO IDROGEOLOGICO RELATIVO ALL'ART. 6 E ALL'ART. 10 DELLE N.T.A. DEL P.A.I.

In questo paragrafo vengono approfonditi, per il sito oggetto d'intervento, alcuni aspetti geomorfologici e idrologici relativi alle N.T.A. (Norme Tecniche di Attuazione) del P.A.I. (Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico) dell'Autorità di Bacino della Puglia. Difatti si rende necessario verificare se il sito interessato dal progetto ricade oppure no all'interno di *alvei fluviali in modellamento attivo, aree golenali* o *fasce di pertinenza fluviale* ai sensi delle summenzionate N.T.A. del P.A.I.

Innanzitutto si riportano nel seguito, per chiarezza, le definizioni contenute nel testo delle N.T.A. del P.A.I. (novembre 2005).

*Alveo*: porzioni di territorio direttamente interessate dal deflusso concentrato, ancorché non continuativo, delle acque e delle sue divagazioni.

*Alveo in modellamento attivo:* porzioni dell'alveo interessato dal deflusso concentrato delle acque, ancorché non continuativo, legato a fenomeni di piena con frequenza stagionale.

Area golenale: porzione di territorio contermine all'alveo in modellamento attivo, interessata dal deflusso concentrato delle acque, ancorché non continuativo, per fenomeni di piena di frequenza pluriennale. Il limite è di norma determinabile in quanto coincidente con il piede esterno dell'argine maestro o con il ciglio del versante.

Fascia di pertinenza fluviale: porzione di territorio contermine all'area golenale.

L'Art. 6 delle N.T.A. del P.A.I. (novembre 2005), concernente gli alvei fluviali in modellamento attivo e le aree golenali, afferma che:

"1. Al fine della salvaguardia dei corsi d'acqua, della limitazione del rischio idraulico e per consentire il libero deflusso delle acque, il PAI individua il reticolo idrografico in tutto il territorio di competenza dell'Autorità di Bacino della Puglia, nonché l'insieme degli alvei fluviali in modellamento attivo e le aree golenali, ove vige il divieto assoluto di edificabilità. (...)

8. Quando il reticolo idrografico e l'alveo in modellamento attivo e le aree golenali non sono arealmente individuate nella cartografia in allegato e le condizioni morfologiche non ne consentano la loro individuazione, le norme si applicano alla porzione di terreno a distanza planimetrica, sia in destra che in sinistra, dall'asse del corso d'acqua, non inferiore a 75 m."

L'Art. 10 delle stesse N.T.A., riguardante la disciplina delle fasce di pertinenza fluviale, sancisce che: *"1. Ai fini della tutela e dell'adeguamento dell'assetto complessivo della rete idrografica, il PAI individua le fasce di pertinenza fluviale. (..)* 

3. Quando la fascia di pertinenza fluviale non è arealmente individuata nelle cartografie in allegato, le norme si applicano alla porzione di terreno, sia in destra che in sinistra, contermine all'area golenale, come individuata all'art. 6 comma 8, di ampiezza comunque non inferiore a 75 m."

Come è stato già evidenziato, nel territorio di Bisceglie l'unico reticolo idrografico presente sulle rocce carbonatiche è un reticolo fossile, costituito dai solchi erosivi denominati "lame". Essi sono interessati da fenomeni di ruscellamento superficiale di origine naturale soltanto in occasione di precipitazioni intense e di breve durata. Il deflusso superficiale di acque incanalate per cause naturali ("mene") risulta perciò limitato nel tempo a brevi periodi, anche se può risultare a volte imponente.

Lo scrivente ha consultato quindi la Carta Idrogeomorfologica dell'AdB della Puglia (figura 10). Tra i corsi d'acqua episodici ivi rappresentati, quello più vicino al sito di impianto dell'edificio progettato è situato a ovest. Data l'antropizzazione del territorio e la conseguente difficoltà di rilevare il ciglio del versante della corrispondente "lama", si può fare riferimento all'ampiezza minima convenzionale di 75 metri, sia per l'area golenale a destra della linea di impluvio che per la fascia di pertinenza fluviale. Dall'esame della TAV. SC.2.1 - "Geomorfologia", allegata al P.U.G. di Bisceglie (figura 11), emerge quindi che il sito di intervento non si trova all'interno di alvei fluviali in modellamento attivo, né di

aree golenali, né di fasce di pertinenza fluviale ai sensi delle N.T.A. (Norme Tecniche di Attuazione) del P.A.I. (Piano stralcio di bacino per l'Assetto Idrogeologico) dell'Autorità di Bacino della Puglia.



Fig. 9: stralcio della cartografia del P.A.I. dell'Autorità di Bacino della Puglia con ubicazione del sito d'intervento (le aree colorate rappresentano quelle a pericolosità idraulica).

Ubicazione del sito d'intervento: SITO 🔘

Fig. 10: stralcio della Carta Idrogeomorfologica dell'Autorità di Bacino della Puglia con ubicazione del sito d'intervento (le linee azzurre rappresentano i corsi d'acqua episodici).



## Fig. 11: stralcio della TAV. SC.2.1 - "Geomorfologia", allegata al P.U.G. di Bisceglie.



**LEGENDA della Fig. 11:** 

# ubicazione del sito d'intervento SITO 🔘



Area golenale (art. 6 N.T.A. PAI, AdB Puglia, 2005) fascia di pertinenza fluviale (art. 10 N.T.A. PAI, AdB Puglia, 2005)

#### Forme ed elementi legati all'idrografia superficiale

- Corso d'acqua episodico
- Corso d'acqua obliterato
- \_\_\_\_\_ Corso d'acqua tombato



Terre argillose bruno-rossastre a luoghi con pezzame e ciottoli calcarei, prevalenti nei solchi erosivi (localmente detti Lame). Idem: con matrice prevalenetemente argillosa nella fascia pedemontana (scarpata delle Murge alte)



#### Qsa

Complesso sabbioso siltoso - argilloso con presenza di calcare icrostante in superficie (Crosta pugliese)



#### Qca

Calcareniti organogene più o meno cementate, massicce o in banchi (localmente detti Tufi calcarei)



# Cc

Calcari detritici a grana fine o micritici in strati e banchi, a luoghi stratiformi (localmente detti Chiancarelle)

#### Faglia presunta



# LEGENDA RIELABORATA DELLA CARTA GEOLOGICA D'ITALIA

# Ubicazione del sito d'intervento: SITO O

## Depositi alluvionali :

terre rosse, a luoghi miste a ciottoli di calcare micritico, sul fondo dei solchi erosivi denominati "lame".

PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE.

# Depositi Marini Terrazzati ("Tufi delle Murge"):

calcareniti con granulometria e grado di cementazione variabile, di colore solitamente bianco o giallastro, dotate a luoghi di matrice argillosa.

PLEISTOCENE.

Calcare di Bari :

calcari micritici stratificati, di colore variabile dal biancastro al grigio chiaro e al nocciola, a luoghi stromatolitici. Grado di dolomitizzazione variabile.

CRETACEO.



af

 $Q_{ca}^{c}$ 



Faglia



# 7. CARATTERIZZAZIONE GEOMORFOLOGICA, GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA LOCALE DEL SITO OGGETTO DI INTERVENTO

In base all'analisi della cartografia topografica IGM in scala 1:25.000, si può asserire che il sito di interesse presenta una morfologia complessivamente sub-pianeggiante con una leggere pendenza topografica verso la linea di costa (in direzione NE). Tuttavia il sopralluogo effettuato dallo scrivente ha evidenziato la presenza di una superficie morfologica localmente ondulata, con una lieve inclinazione da NO verso SE e una successiva contropendenza. Per quanto concerne le aree limitrofe, dalla Carta Idrogeomorfologica dell'AdB della Puglia (figura 10) si evince che la linea di impluvio della "lama" più vicina al sito è situata in direzione NO (a più di 150 metri di distanza). Inoltre, dalla cartografia del P.A.I. (figura 9) si deduce la presenza di un impluvio ubicato lateralmente a Via Padre Kolbe (in direzione est).

Dalla consultazione della cartografia geologica ufficiale (figura 12) e della cartografia geologica allegata al P.U.G. del comune di Bisceglie (figura 11), era emerso che nel sito di intervento sarebbe presente una copertura calcarenitica al di sopra del basamento carbonatico del Mesozoico, e che il medesimo sito si troverebbe a una distanza di circa 170 metri dall'affioramento del contatto trasgressivo fra il Calcare di Bari e i Depositi Marini Terrazzati del Pleistocene. Invece nel corso del sopralluogo lo scrivente ha osservato alcuni affioramenti della formazione del Calcare di Bari.

La cartografia geologica ufficiale mostra anche l'esistenza di una faglia presunta a circa 300 metri di distanza verso N-NO dal sito di intervento, all'interno del basamento carbonatico del Cretaceo, con direzione approssimativa N-S. La vicinanza a questa struttura tettonica disgiuntiva potrebbe aver causato un'accentuazione del grado di fratturazione del Calcare di Bari. Questa stessa condizione geologica potrebbe anche aver predisposto il sottosuolo del sito di interesse alla genesi di cavità carsiche sotterranee aventi dimensioni significative. Tuttavia bisogna osservare che la direttrice tettonica in questione corrisponde, a livello regionale, a una direzione di canalizzazione carsica non molto frequente.

Per quanto concerne le acque sotterranee presenti nel sito di interesse (falda idrica di base nel basamento carbonatico mesozoico), dall'esame della Carta della distribuzione media dei carichi piezometrici degli acquiferi carsici della Murgia e del Salento (allegata al Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia), si deduce che il valore locale del carico idraulico è uguale a circa 1 m sul

livello del mare (figura 13). Pertanto, considerato che la quota topografica del sito è approssimativamente uguale a 34 metri s.l.m., la superficie piezometrica di riferimento deve trovarsi a circa 33 metri di profondità sotto il piano campagna. Ovviamente, a seconda del tipo di circolazione idrica sotterranea (a pelo libero oppure in pressione), il tetto della falda sarà ubicato, rispettivamente, alla stessa profondità della piezometrica oppure a profondità maggiore.





Ubicazione del sito d'intervento: SITO O

# 8. PERICOLOSITA' GEOLOGICA DA RADON

Tra le pericolosità geologiche da esaminare non va trascurata la presenza del radon, un gas radioattivo che ha origine dal decadimento del torio e soprattutto dell'uranio. Questi ultimi due elementi sono infatti contenuti nelle rocce in quantità variabili. Essendo un gas pesante, il radon staziona in genere nei pressi della superficie del suolo. Inoltre esso tende ad accumularsi nell'aria all'interno degli edifici, in concentrazioni che possono anche essere marcatamente superiori a quelle presenti nell'ambiente esterno.

Il radon può costituire un pericolo per la salute umana, principalmente come causa potenziale del cancro del polmone. Secondo ricerche mediche effettuate in Gran Bretagna nel 1989, la dose annuale di radiazioni assorbite da un individuo è dovuta per l'87% a cause naturali, e circa la metà di questa parte percentuale è generata dal radon e dagli elementi prodotti dal suo decadimento. Oltre alle rocce in posto, una possibile sorgente di radon è rappresentata dai materiali da costruzione di origine

naturale (soprattutto quelli ricavati da rocce intrusive e vulcaniche acide). Il pericolo dovuto al radon non è comunque soltanto di tipo geologico. Esso dipende anche dai fattori meteorologici (variabili nel tempo), dalle caratteristiche architettoniche e dall'efficacia degli scambi d'aria fra l'interno e l'esterno degli edifici. Gli interventi di mitigazione del rischio più efficaci comprendono la realizzazione di idonei sistemi di ventilazione dei locali e l'installazione di barriere fisiche per prevenire l'ingresso del radon nelle costruzioni.

Per quanto concerne gli aspetti puramente geologici, la pericolosità di un terreno rispetto al radon è correlabile essenzialmente con le seguenti caratteristiche:

- il potenziale radioattivo, ossia la capacità di generare il gas in oggetto;

- la permeabilità ai gas, ossia l'attitudine a essere attraversato da sostanze gassose.

Dalla letteratura scientifica internazionale si evince che le rocce carbonatiche sono dotate di un potenziale radioattivo mediamente basso.

La permeabilità ai gas è correlabile in generale con la permeabilità all'acqua, e quindi risulta condizionata dalle dimensioni dei pori e dalla fratturazione. Inoltre la presenza di una falda idrica entra in gioco in maniera importante nel processo di trasferimento del radon attraverso il sottosuolo. Un recente studio effettuato in Sardegna (Ledda, 2018) ha evidenziato che le rocce calcaree e calcarenitiche possono essere altamente permeabili al radon.

In conclusione le caratteristiche geologiche del sito oggetto d'intervento possono essere associate a una pericolosità potenziale di livello medio rispetto al radon.

# 9. INDAGINI SISMICHE NEL SITO DI INTERVENTO

Nell'area di impronta della costruzione progettata sono state effettuate un'indagine sismica col metodo attivo MASW e un'indagine sismica di tipo passivo col passivo HVSR (a stazione singola).

Le prospezioni in argomento erano state programmate con le seguenti finalità:

- studiare la stratigrafia sismica e geologica del sito;

- determinare il parametro Vs,eq (da cui dipende, secondo l'approccio semplificato previsto dalle N.T.C., la classificazione del sottosuolo rispetto alla risposta sismica locale);

- ottenere dei dati sperimentali di velocità sismica da cui ricavare le caratteristiche fisico - meccaniche del terreno di fondazione.

L'ubicazione della base sismica MASW e quella della stazione HVSR sono riportate nella figura 14. Col metodo HVSR erano state in effetti eseguite, per precauzione, due registrazioni in punti di stazione diversi, ma quella acquisita nel punto situato al centro della base MASW è stata scartata a causa di un cattivo accoppiamento fra lo strumento e il terreno.

## 9.1 INDAGINE MASW

L'indagine sismica in oggetto è stata eseguita dallo scrivente con un sismografo modulare "GEOMETRICS Geode", dotato delle seguenti caratteristiche: escursione dinamica di sistema = 144 dB (conversione analogico-digitale a 24 bit complessivi); banda di ingresso da 1,75 Hz a 20 kHz ; n.° massimo di campioni acquisiti per traccia = 16384; n.° di canali = 12.

Fig. 14: base sismica MASW e stazione HVSR, rappresentate su un'immagine satellitare del sito d'intervento (da *Google Earth*).



Al fine di rilevare la componente di vibrazione verticale delle onde di Rayleigh, sono stati impiegati 12 geofoni verticali, dotati di frequenza propria di 4,5 Hz e allineati con una spaziatura di 2 metri. Quindi la distanza fra il primo e l'ultimo geofono era di 22 metri. I sismogrammi sono stati acquisiti usando due sorgenti esterne all'allineamento dei geofoni ed in linea con essi (situate a 6 metri di distanza dai geofoni estremi). Per produrre il segnale sismico è stata impiegata una mazza di legno dotata di un maglio metallico dal peso di 10 Kg , che batteva su una piastra quadrata orizzontale di alluminio con lato di 20 cm. Come "starter" delle registrazioni è stato usato un geofono "trigger", collocato nei pressi del bordo della piastra. I valori dei principali parametri di acquisizione dei dati, richiesti dal software operativo del sismografo, erano i seguenti:

- "sample interval" = 1 msec ;
- "record length" = 2 sec ;
- "delay" = 0 sec ;
- "preamplification gain" = 36 dB.

I filtri in acquisizione sono stati disattivati. Le 5 registrazioni acquisite per ogni punto di battuta sono state sottoposte a uno "staking" verticale.

Dal punto di vista teorico, nel metodo attivo MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves) l'analisi simultanea di registrazioni ottenute con diversi sensori allineati permette di distinguere le onde superficiali di Rayleigh generate dalla sorgente da altri tipi di onde (onde di volume dirette, riflesse, rifratte, disturbi ambientali). Come il SA.SW e il NASW (o Re.Mi.), anche il metodo MASW è basato sul fenomeno della dispersione delle onde superficiali (variazione della velocità di fase in funzione della lunghezza d'onda). Dato che lunghezze d'onda diverse hanno profondità di penetrazione differenti, e data la dipendenza della velocità di fase delle onde di Rayleigh dalla velocità delle onde S, l'interpretazione della curva di dispersione, ricostruita per via sperimentale, permette di risalire a un modello di sottosuolo che rappresenta la variazione della velocità delle onde di taglio in funzione della profondità. I dati sperimentali sono stati elaborati e interpretati mediante il software applicativo winMASW *Academy*. In una fase preliminare i sismogrammi sono stati trattati manualmente per migliorarne il rapporto segnale/rumore. L'analisi automatica delle tracce acquisite permette di ricavare successivamente, per ciascuna onda sismica componente il campo e per ciascuna frequenza, la differenza di fase in funzione della distanza fra i geofoni. Di conseguenza, con una regressione lineare dei punti sperimentali viene calcolata automaticamente la velocità di fase corrispondente a ogni frequenza per tutte le onde presenti nel campo. E' stato così ottenuto per ciascun sismogramma lo spettro di velocità (diagramma cartesiano frequenza - velocità di fase con una scala di colori che indicano le ampiezze corrispondenti a tutte le coppie di coordinate), nel quale i massimi relativi di ampiezza sono attribuibili alle onde di Rayleigh. I due spettri di velocità sono stati poi combinati per calcolare automaticamente uno spettro medio. Il procedimento di interpretazione si è svolto secondo i seguenti passaggi successivi:

- calcolo automatico della curva di dispersione sintetica corrispondente a un modello sismico preliminare (basato sui risultati di una precedente prospezione realizzata in un'area limitrofa);

- correzione del modello preliminare mediante interpretazione diretta, per tentativi ed errori, dello spettro di velocità medio;

- ulteriore correzione del modello tramite interpretazione diretta della curva del rapporto spettrale H/V, risultante dai dati sperimentali acquisiti col metodo HVSR (dopo l'aggiunta di uno strato più profondo);

- "picking" della curva di dispersione sperimentale per il modo di propagazione fondamentale delle onde di Rayleigh e sua inversione automatica partendo dal modello corretto (dopo l'aggiunta di uno strato poco profondo e la rimozione dell'ultimo strato).

Nella modellazione del terreno, secondo strati piano-paralleli orizzontali (omogenei e isotropi), a ciascuno strato è stato assegnato un valore stimato del coefficiente di Poisson, ricavato dall'esperienza locale. Tale parametro risulta comunque poco influente sull'interpretazione geofisica.

Si riportano nelle figure dalla 15 alla 18 i grafici più importanti. La curva di dispersione sperimentale è stata tracciata nello spettro di velocità medio, tenendo conto della coerenza con i dati HVSR. Infatti si nota che un modo di propagazione superiore diventa predominante su quello fondamentale all'incirca fra 25 Hz e 40 Hz. Inoltre il modello ritenuto più affidabile è quello medio.

I parametri del modello sismico unidimensionale risultante dall'inversione automatica sono riportati in tabella (si veda la tabella 2). I valori della densità e del coefficiente di Poisson sono delle stime automatiche.

## 9.2 INDAGINE HVSR

Lo scrivente ha deciso di effettuare anche un'indagine sismica passiva a stazione singola col metodo HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio), per facilitare e prolungare verso il basso l'interpretazione dei dati MASW (oltre che per determinare le frequenze di risonanza del terreno).













Fig. 18: curve di dispersione sperimentale e sintetica; profilo verticale di velocità delle onde S, ottenuto con l'inversione della curva sperimentale.



Tabella 2: parametri del modello sismico MASW

Strato sismico	Profondità della base sotto il p. c. (m)	Spessore (m)	Vs (m/s)	Coefficiente di Poisson	Densità (t/mc)
1	2,5	2,5	388	0,41	2,02
2	4,5	2,0	644	0,39	2,16
3	6,5	2,0	745	0,40	2,2
4	27,3	20,8	849	0,39	2,23
5	semispazio	semispazio	1160	0,33	2,32

La strumentazione che è stata usata è costituita da un tromografo digitale (TROMINO della Moho S.r.l.), dotato di un sensore velocimetrico triassiale che rileva sia la componente di vibrazione verticale del suolo che le due componenti orizzontali (N-S ed E-W). L'elaborazione e l'interpretazione geofisica sono state eseguite con il software applicativo "GRILLA" della Moho S.r.l.

Il metodo H.V.S.R. (detto anche di Nakamura) si basa sulla registrazione dei microtremori ambientali. Questi ultimi, a seconda della loro frequenza, possono essere generati da sorgenti antropiche (come il traffico veicolare o altre attività umane) oppure da sorgenti naturali lontane (perturbazioni atmosferiche e onde marine e oceaniche, che generano onde sismiche superficiali nella crosta terrestre). Il rumore sismico di origine antropica (oltre eventualmente agli effetti locali del vento) prevale nella regione delle frequenze di interesse ingegneristico. E' stata effettuata una registrazione di 20 minuti con una frequenza di campionamento di 512 Hz. L'analisi è stata rivolta a un intervallo di frequenza compreso tra 0 Hz e 128 Hz. Sono state analizzate delle finestre temporali aventi una durata di 20 secondi ciascuna. Il segnale acquisito è stato sottoposto ad un lisciamento tramite la funzione di Konno & Omachi (valore b = 40). I dati sono stati poi elaborati automaticamente per ottenere gli spettri di ampiezza delle tre componenti spaziali (le due orizzontali e quella verticale) e il rapporto spettrale H/V, ossia il rapporto fra lo spettro medio orizzontale e lo spettro verticale. Nella successiva fase di trattamento del segnale il *noise* è stato ridotto con un procedimento di filtraggio manuale, basato sulla stabilità temporale del rapporto H/V. In questa maniera sono stati eliminati gli effetti dei transienti e ricavati gli spettri di ampiezza definitivi delle tre componenti di vibrazione e la curva definitiva di variazione del rapporto spettrale H/V.

In generale i vari picchi del rapporto spettrale H/V possono includerne alcuni di origine stratigrafica, le cui ascisse rappresentano le frequenze fondamentali di risonanza del terreno. Queste ultime dipendono dalla presenza di contrasti di impedenza fra i diversi strati sismici a contatto fra loro. I picchi stratigrafici sono quindi associati a riflettori sismici che amplificano la componente di vibrazione orizzontale delle onde provenienti dal basso. Per un'interpretazione corretta ogni picco stratigrafico dovrebbe generalmente soddisfare nove criteri convenzionali (SESAME, 2005): almeno tre su tre di affidabilità statistica e almeno cinque su sei di chiarezza geometrica. Inoltre è necessaria una plausibilità dal punto di vista fisico, ossia una corrispondenza con un minimo relativo dell'ampiezza spettrale della componente verticale (configurazione locale ogivale delle curve spettrali delle tre componenti di vibrazione).

Le analisi effettuate hanno permesso di identificare quattro picchi di probabile natura stratigrafica a frequenze di 48,4 Hz (criteri SESAME soddisfatti: 3 su 3 e 5 su 6), 21,6 Hz (criteri SESAME soddisfatti: 3 su 3 e 4 su 6), 7,9 Hz (criteri SESAME soddisfatti: 3 su 3 e 3 su 6) e 2,7 Hz (criteri SESAME soddisfatti: 2 su 3 e 5 su 6). Essi sono tutti plausibili dal punto di vista fisico, ma tre picchi su quattro non soddisfano i criteri di chiarezza geometrica, in quanto la velocità sismica in un ammasso roccioso cresce gradualmente con la profondità (per questo motivo nella curva sperimentale del rapporto spettrale H/V sono visibili dei "plateau", dovuti a una coalescenza di picchi stratigrafici vicini). Inoltre il picco a 2,7 Hz non è affidabile dal punto di vista statistico, presumibilmente perché le condizioni atmosferiche di bassa pressione hanno accentuato troppo i valori del rapporto H/V nelle basse frequenze. Di conseguenza la curva media del rapporto H/V sembra poco attendibile per frequenze inferiori a 7 Hz. Il picco stratigrafico a 48,4 Hz è stato invece escluso dall'interpretazione, essendo associato a un cambiamento di velocità e densità che ha luogo troppo vicino al piano campagna.

L'interpretazione della curva sperimentale H/V è stata effettuata con un metodo diretto di "trial and error", utilizzando un modello unidimensionale di terreno. Le densità sono state decise in base

all'interpretazione geologica, e i valori del coefficiente di Poisson sono stati stimati in base all'esperienza locale. In generale la frequenza di risonanza associata al primo strato (in ordine di profondità crescente) dipende sia dal suo spessore che dalla velocità delle onde S nello stesso strato, mentre l'ampiezza del primo picco (in ordine di frequenza decrescente) dipende dal rapporto di velocità fra il primo e il secondo strato. Analogamente le ampiezze dei picchi successivi sono correlate con i rapporti di velocità fra gli strati consecutivi del modello, e le frequenze di risonanza successive sono in relazione sia con le velocità delle onde di taglio che con le profondità dei riflettori. Pertanto l'interpretazione dei dati HVSR necessita sempre di un vincolo geologico o geofisico (generalmente la velocità sismica Vs o lo spessore del primo strato), essendo necessario eliminare dal problema di inversione un grado di libertà. Nel caso in oggetto lo scrivente ha ritenuto opportuno vincolare l'interpretazione preliminare dei dati HVSR allo spessore del primo strato, ricavato dall'interpretazione diretta preliminare dei dati sperimentali MASW. Il modello sismico così ottenuto è stato poi usato come modello di partenza per l'inversione della curva di dispersione sperimentale dell'indagine MASW. Infine il modello risultante dall'inversione dei dati della MASW è stato testato per verificarne la coerenza con i dati sperimentali dell'indagine HVSR. Si è osservato quindi un buon accordo fra la curva sintetica e quella sperimentale, anche se è risultato necessario modificare leggermente lo spessore e la velocità del primo strato (probabilmente a causa della presenza di variazioni laterali lungo lo stendimento dei geofoni). Si riportano di seguito i risultati dell'indagine HVSR.

Strumento: TRZ-0160/01-11 Inizio registrazione: 08/04/21 18:17:06 Fine registrazione: 08/04/21 18:37:07 Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST; UP DOWN Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 77% tracciato (selezione manuale) Freq. campionamento: 512 Hz Lunghezza finestre: 20 s Tipo di lisciamento: Konno & Omachi window valore b: 40



# SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



# MODELLO SISMICO HVSR

Profondità alla base dello strato [m]	Spessore [m]	Vs [m/s]	Rapporto di Poisson
3.50	3.50	475	0.44
5.50	2.00	644	0.43
7.50	2.00	745	0.43
28.30	20.80	849	0.43
108.30	80.00	1160	0.33
inf.	inf.	1900	0.25

## **10. MODELLO GEOLOGICO DEFINITIVO E CONCLUSIONI**

Le precedenti considerazioni ci consentono di costruire il seguente modello geologico definitivo. Il sito oggetto di intervento, dal punto di vista geolitologico e litostratigrafico, è caratterizzato dalla presenza di un ammasso roccioso costituito da calcare micritico del Cretaceo (parzialmente dolomitizzato). Tale ammasso è stratificato e fratturato. I giunti di strato e di frattura possono essere stati allargati dall'azione del carsismo, soprattutto nei livelli stratigrafici meno profondi. Si distinguono i seguenti livelli (elencati in ordine di profondità crescente):

 un primo livello (con uno spessore medio di 2,5 m), costituito essenzialmente da uno strato di alterazione superficiale del Calcare di Bari (con Vs = 388 m/s);

- un secondo livello (fino a circa 4,5 m di profondità sotto il piano campagna), costituito da roccia calcarea relativamente compatta (con Vs = 644 m/s);
- un terzo livello (fino a 6,5 m di profondità sotto il p. c.), costituito da roccia calcarea dotata di compattezza maggiore rispetto al secondo livello (con Vs = 745 m/s);
- un quarto livello (da 6,5 m fino a circa 27,3 m di profondità sotto il p. c.), consistente in un substrato calcareo, rigido dal punto di vista sismico (con Vs = 849 m/s);
- un quinto livello stratigrafico (oltre i 27,3 m di profondità sotto il p. c.), costituito da un secondo substrato calcareo rigido (con Vs = 1160 m/s); esso ospita una falda idrica di base, il cui tetto è situato ad almeno 33 m di profondità sotto il p. c.

Le fondazioni dell'edificio progettato dovranno poggiare su roccia sufficientemente compatta e non degradata, e dovranno essere messe in opera dopo la rimozione del suolo vegetale e di eventuali lembi discontinui di copertura calcarenitica.

Per quanto concerne le pericolosità geologiche del sito, si può affermare, in base alle precedenti considerazioni, che sono assenti fattori di rischio idraulico e geomorfologico (relativo alla stabilità dei pendii). Ad ogni modo si consiglia di livellare la superficie morfologica rispetto al piano stradale di Via Padre Kolbe, per evitare eventuali ristagni di acque meteoriche in occasione degli eventi piovosi più intensi. Per quanto riguarda il rischio sismico, per il calcolo delle azioni sismiche si sceglie l'approccio semplificato previsto dalle N.T.C. del 2018. Infatti le analisi numeriche di prova svolte dallo scrivente con il software applicativo STRATA evidenziano che lo spettro di risposta elastico in accelerazione per la componente orizzontale, ottenuto col metodo dell'analisi di risposta sismica locale (RSL), passa al di sotto di quello di normativa corrispondente a un terreno di categoria B (usando nell'elaborazione un "bedrock" con Vs = 849m/s). Il margine di sicurezza è utile per tener conto degli eventuali effetti di sito dovuti ai contrasti di impedenza sismica più profondi, i quali, anche se corrispondono a frequenze di risonanza dotate di interesse ingegneristico (soprattutto per quanto concerne la frequenza di 7,9 Hz), non potrebbero essere calcolati adeguatamente, in quanto nell'ammasso roccioso calcareo l'incremento della velocità con la profondità avviene in modo graduale e continuo. Inoltre, secondo l'approccio semplificato il terreno di fondazione è attribuibile chiaramente alla categoria B, dato che il substrato con Vs non inferiore a 800 m/s si trova a più di 3 metri di profondità sotto il piano di fondazione, e la Vs,eq deve necessariamente essere compresa fra 360 m/s e 800 m/s.

Si sottolinea, infine, che per la gestione delle terre e rocce da scavo (ossia per il loro smaltimento come rifiuti o per il loro riutilizzo) occorre fare riferimento al regolamento contenuto nel D.P.R. n. 120 del 13 giugno 2017.

#### Il geologo

Dott. Geol. Fernando Federico Dardes