

CITTÀ METROPOLITANA DI BARI

COMUNE DI TURI

Ottobre 2024

*Piano Esecutivo P.U.E. - Insediamenti Produttivi
Maglia - M.U.O. 4 del P.U.G.*



**Relazione geologica, geomorfologica, idrogeologica, geomeccanica
e modellazione sismica di base ai sensi delle N.T.C. 2018**



Studio F.L.I.G.T. – P.I.07348900726 - C.F. LPR FBA 85E11 A048M
Via G. Elefante n. 10 - 70010 Turi (BA)
349 4146931 - luparelli.fabio@gmail.com

Committente:

**Az. Agr. Masi Laura S.a.S.
di Lozupone V. & G.
Via Putignano 102
70010 Turi (BA)
C.F. 05926110726**

Il tecnico:



INDICE

1.	Premessa	2
2.	Inquadramento geologico	5
3.	Fattori ambientali	7
4.	Lineamenti idrogeologici	10
5.	Descrizione dello stato dei luoghi	13
6.	Modello geologico	17
7.	Modello geomeccanico	19
8.	Terreno di fondazione	25
9.	Azione sismica di sito	27
10.	Analisi dei rischi	32
11.	Conclusioni	33
All.	Report delle indagini geofisiche	35

1. Premessa

La presente relazione geologica è redatta facendo seguito all'incarico professionale affidato allo scrivente, con studio tecnico in Turi alla via G. Elefante n. 10, dalla Società Agricola Masi Laura S.a.s. di Lozupone V. & G. nell'ambito del Piano Esecutivo - P.U.E. - Insediamenti Produttivi Maglia - M.U.O. 4 del Piano Urbanistico Generale del Comune di Turi di cui all'incarico affidato all'ing. Donato Lozupone, con studio tecnico in Turi alla via G. Di Pinto n. 8.

In ottemperanza all'art. 6.2.1 delle N.T.C. 20108 ss.mm.ii., "la caratterizzazione e la modellazione geologica del sito consiste nella ricostruzione dei caratteri litologici, stratigrafici, strutturali, idrogeologici, geomorfologici e, più in generale, di pericolosità geologica del territorio. In funzione del tipo di opera o di intervento e della complessità del contesto geologico, specifiche indagini sono finalizzate alla documentata ricostruzione del modello geologico. Esso è sviluppato in modo da costituire utile elemento di riferimento per il progettista per inquadrare i problemi geotecnici e per definire il programma delle indagini geotecniche".

Pertanto, sulla scorta della bibliografia scientifica, del rilevamento di superficie e dei dati di indagini geognostiche vengono descritti i principali caratteri morfologici, litostratigrafici e meccanici del sottosuolo al fine di caratterizzarlo in base alle categorie della tabella 3.2.II del D.M. 17 gennaio 2018. Si riporta altresì l'elaborazione dei parametri che definiscono la pericolosità sismica di base, in ordine alla zonazione di cui all'O.P.C.M. 3519 del 28 aprile 2006, insieme all'analisi dei rischi connessi ai caratteri peculiari della zona, tenendo conto della tendenza evolutiva o dell'eventuale insorgenza di dissesti, in atto o meno, rispetto allo stato dei luoghi. Metodi e risultati sono esaurientemente esposti e commentati nelle successive note.

Cartografia tematica

- Foglio 190 “Monopoli” della Carta Geologica d’Italia in scala 1:100.000;
- Tavoletta 190 IV NO “Masseria Purgatorio” dell’Istituto Geografico Militare in scala 1:25.000;
- Foglio 456 “Monopoli” della Carta Idrogeomorfologica della Puglia in scala 1:25.000;
- Tavola 6.2 del Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia in scala 1:200.000;
- Mappe di pericolosità e rischio del Piano di Assetto Idrogeologico della Regione Puglia in WebGIS dell’Autorità di Bacino della Puglia in scale varie.

Normativa di riferimento

- D.M. 11/03/1988, “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l’esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”;
- O.P.C.M. n.3274 del 20/03/2003, “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica”;
- O.P.C.M. n.3519 del 28/04/2006, “Criteri generali per l’individuazione delle zone sismiche e per la formazione e l’aggiornamento degli elenchi delle medesime zone”;
- D.M. del 14/01/2008, “Norme Tecniche per le Costruzioni” e Circolare esplicativa n. 617 del 02/02/2009 “Istruzioni per l’applicazione delle nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.

Indagine in situ

- Rilevamento speditivo di superficie e ispezione visiva dei luoghi di marzo 2019;
- Indagini geofisiche di marzo 2019.

Lavori consultati

- Progetto esecutivo di adeguamento di recapiti finali e realizzazione di reti di fognatura pluviale - Relazione geologica di ottobre 2010 - Dott. Geol. Franco Moccia;
- Progetto definitivo di adeguamento di recapiti finali di reti di fognatura pluviale del Comune di Turi - Relazione geologica, geotecnica, idrologica, idraulica e sismica di maggio 2007 - Dott. Geol. Giovanni B. Melchiorre.

2. Inquadramento geologico

L'abitato di Turi ricade nella porzione settentrionale del Foglio 190 "Monopoli" della Carta geologica d'Italia 1:100.000, nella zona di affioramento del gruppo dei Calcari delle Murge. Questa formazione marina comprende tutta la serie carbonatica mesozoica formata da un potente complesso sedimentario prevalentemente detritico, ben stratificato, le cui diverse caratteristiche hanno permesso una divisione in due unità litostratigrafiche. In particolare, l'area oggetto di studio è cartografata come Calcare di Bari (Turoniano-Cenomaniano) costituito da una serie di banchi o strati calcarei (Figura 1).

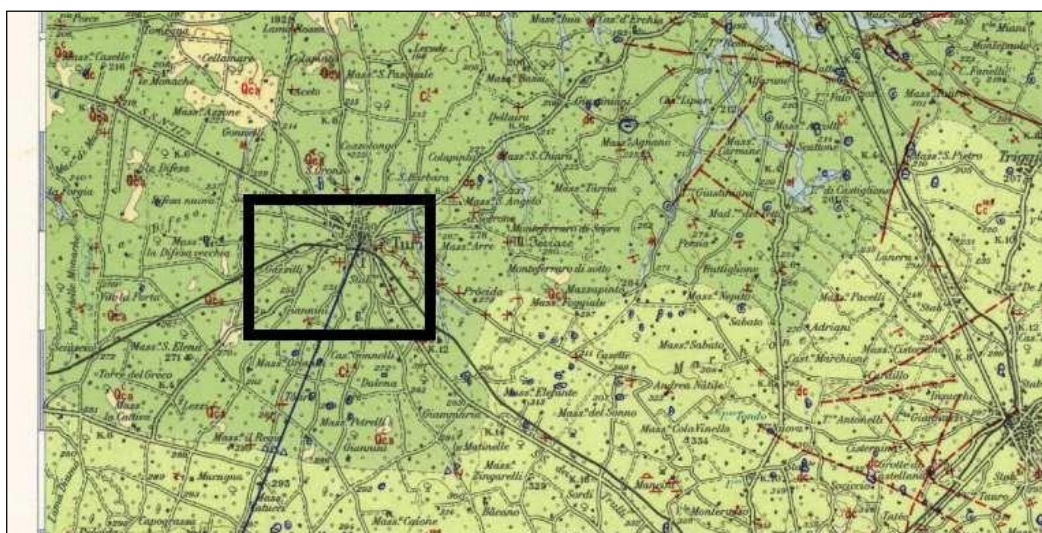


Fig. 1 Stralcio del F° 190 "Monopoli" della Carta Geologica d'Italia 1:100.000 (scala modificata)

La maggior parte dei depositi è detritica, talora assai fine, di colore biancastro, più raramente grigio chiaro, giallastro o rosato, con microforaminiferi, alghe calcaree e in qualche livello grossi lamellibranchi e gasteropodi. Subordinatamente si presentano alcuni livelli dolomitizzati.

La base di tale formazione non è affiorante ma si ritiene che la potenza totale si aggiri sui duemila metri. Al tetto, il contatto con il sovrastante Calcare di Altamura è, in molti luoghi accompagnato da una breccia calcarea, i cui elementi sono a spigoli leggermente

arrotondati, posizionata lungo tutta l'interfaccia orientale e riscontrabile in alcuni punti a sud di Turi.

Nel suo insieme, il Calcare di Bari, localmente esposto, mostra una sequenza ritmica composta da successioni detritiche a grana fine e da calcari ceroidi a rudiste dimostrando di essersi depositato in ambiente di piattaforma costiera o, in alcuni casi, presentando facies di tipo lagunare. La formazione è stata attribuita al Cretaceo superiore (Figura 2).

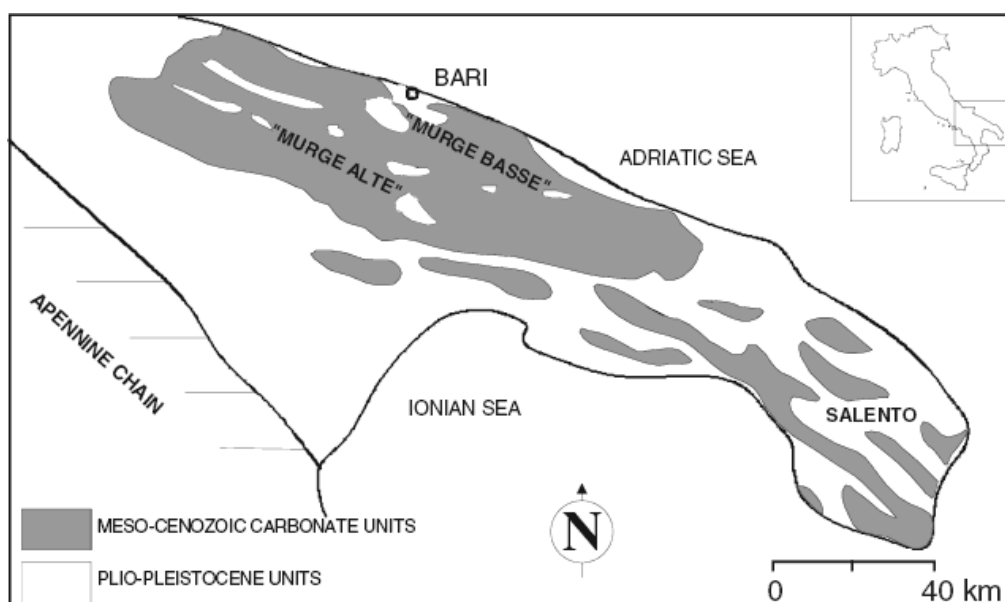


Fig. 2 Rappresentazione generale dei terreni affioranti nella Puglia centro-meridionale

Lo stile tettonico del sistema appare essenzialmente tabulare, caratterizzato da pieghe blande e da faglie a debolissimo rigetto che possono essere assimilate a fratture. Le inclinazioni sono variabili da 5° a 15°, lo spessore dei banchi non supera un metro e mezzo e quello degli strati si aggira nell'ordine di qualche decina di centimetri. Tutta quanta la superficie presenta una generale immersione a SO che la può far ritenere una estesa monoclinale. Nello specifico, gli strati delle rocce affioranti a Turi, nella parte meridionale della periferia del comune, risultano suborizzontali, secondo le indicazioni cartografiche.

3. Fattori ambientali

Da un punto di vista generale, l'area mostra una morfologia in stretta relazione con la composizione litologica e l'assetto strutturale dei terreni affioranti. Il grande ripiano murgiano denota una blanda pendenza a NO tanto che, all'altezza di Conversano, si trovano quote inferiori ai 200 m s.l.m. che corrispondono, grosso modo, al piede della falesia principale. La scarpata che corre parallela alla linea di costa adriatica è stata interessata nel Pleistocene da cinque ingressioni marine. Il suo regresso sarebbe dovuto alla combinazione di due sistemi trasversali di fratturazione che avrebbero contribuito allo sbloccamento dei calcari in minuti parallelepipedi, agevolando così l'azione erosiva del mare (Figura 3).

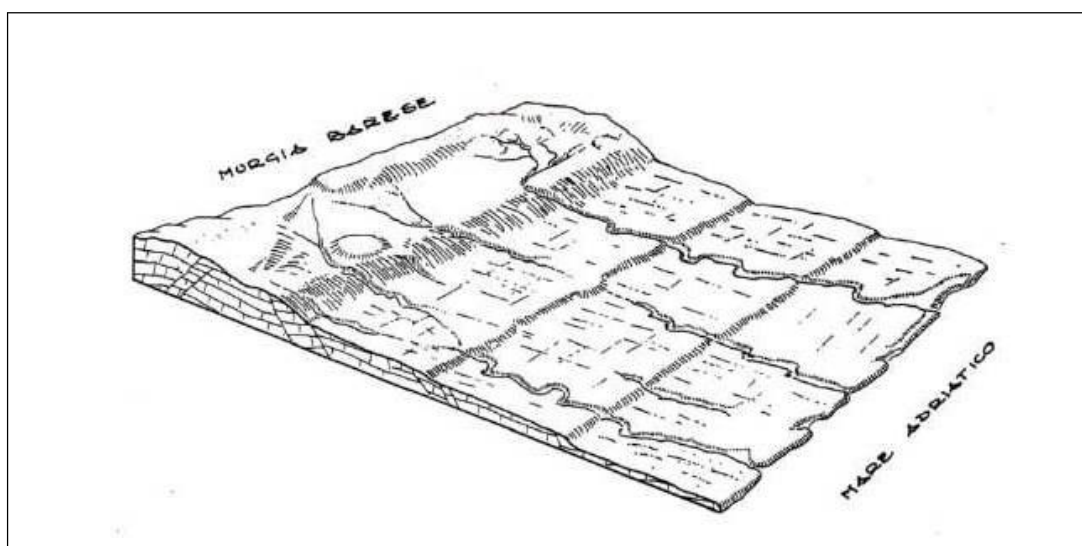


Fig. 3 Assetto geomorfologico del territorio barese

Generalmente le caratteristiche delle discontinuità (persistenza, spaziatura, ecc...) variano ma, in ogni caso, consentono l'infiltrazione delle acque meteoriche che favoriscono l'evolversi del carsismo. Il processo può talvolta assumere manifestazioni di una certa rilevanza, in relazione al volume di roccia interessato, con apertura di cavità di dimensioni variabili entro le quali è possibile rinvenire accumuli, anche cospicui, di terre rosse e/o precipitazioni di calcite o dolomite. L'impostazione di tali fenomeni è

legata alle solubilità del carbonato di calcio e del sale doppio di calcio e magnesio, che in acqua pura e a temperatura ambiente sono molto basse mentre aumentano notevolmente in soluzioni acidule fra cui, in natura, acqua e anidride carbonica di origine atmosferica o biologica.

Benché l'area sia stata sottoposta ad un lungo periodo di carsificazione, i corsi d'acqua sono ben sviluppati ed il reticolo idrografico è molto articolato. Tali corsi d'acqua non perenni, definiti lame, sono a fondo piatto e pareti verticali che verosimilmente si sono incassati fino nel substrato calcareo per processi di sovrainposizione. Si sarebbero sviluppati, talora anche con andamenti meandriiformi, su aree subpianeggianti coperte da depositi quaternari facilmente erodibili e in seguito approfonditi nei sottostanti calcari, come illustrato nel Foglio 456 "Monopoli" della Carta Idrogeomorfologica della Puglia in scala 1:25.000 (Figura 4).

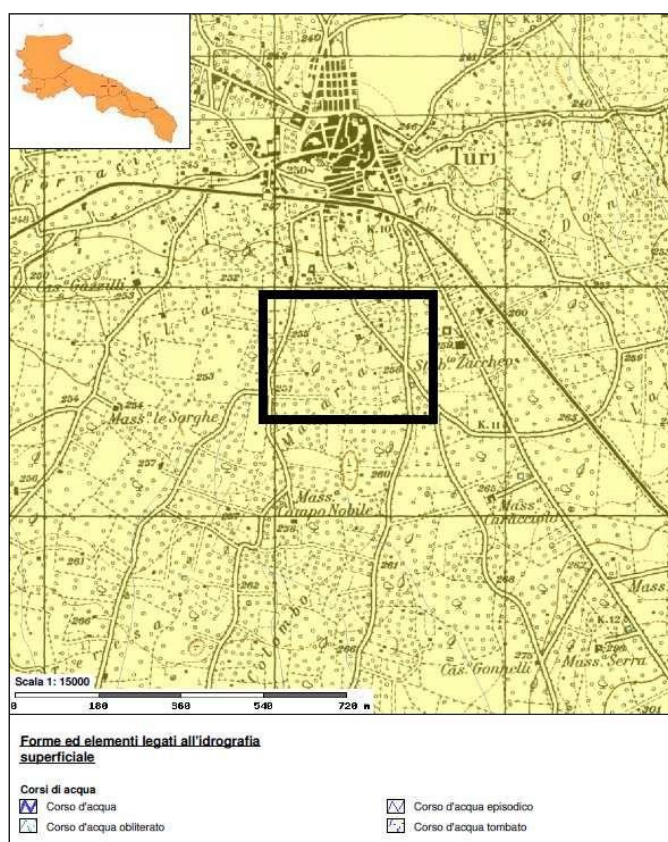


Fig. 4 Stralcio del F° 456 "Monopoli" della Carta Idrogeomorfologica della Puglia (scala modificata)

Il corso delle lame è stato condizionato anche dalla tettonica, come è dimostrato nei tratti ad andamento rettilineo in corrispondenza di zone di faglia o di intensa fratturazione, oltre che dagli interventi antropici.

Si riconoscono gli effetti del ruscellamento lungo le linee di massima pendenza, nelle aree a topografia più mossa e nelle scarpate calcaree, dove numerosi solchi di incisione torrentizia corrono in direzione N-S, collegati anche alla presenza di doline.

Tuttavia le forme del terreno sono state parzialmente attenuate o talvolta cancellate dai successivi effetti erosivo-sedimentari; su sezioni naturali o artificiali è frequente osservare nella successione verticale, nel giro di una decina di metri, la presenza di cavità, condotte e zone di collasso. Inoltre, fino ad una profondità osservabile di 30-40 m, gli effetti del processo carsico sono messi in evidenza dai tipici prodotti residuali, che spesso costituiscono il materiale di riempimento delle discontinuità che si sviluppano sia in senso verticale che suborizzontale, secondo i giunti di stratificazione. Dunque, per quanto concerne la morfologia sotterranea, si registra la presenza di varie grotte, di entità variabile, documentate nel relativo catasto fra cui, per esempio, quella di Sant'Oronzo.

4. Lineamenti idrogeologici

L'estesa falda idrica all'interno delle rocce calcareo-dolomitiche delle Murge presenta caratteristiche variabili da punto a punto ma che, complessivamente, possono essere descritte come quelle di una falda che circola generalmente in pressione e su più livelli (soprattutto nelle zone più interne), di norma al di sotto del livello del mare. Il confinamento della falda, e il suo frazionamento su più livelli, sembra essere dovuto alla presenza di intervalli di roccia poco fratturata o massiva, o di livelli di calcari bituminosi che, a diverse altezze stratigrafiche, sono presenti all'interno della successione mesozoica.

Una sezione generale attraverso le Murge mostra che l'acquifero è in contatto, sul lato adriatico, con l'acqua marina di intrusione continentale mentre, sul lato opposto, è delimitato dal sistema di faglie che lo pone in contatto con le argille plio-pleistoceniche dell'avanfossa bradanica. Lo spartiacque idrogeologico tra il settore adriatico e quello bradanico coincide con lo spartiacque superficiale, situato nella zona più interna e topograficamente più elevata delle Murge (Figura 5).

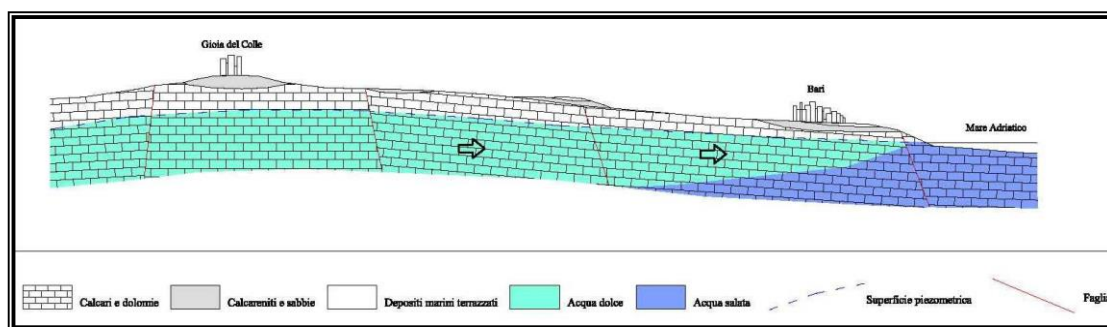


Fig. 5 Sezione schematica dell'acquifero murgiano

La parte più interna del territorio delle Murge costituisce la zona di prevalente ricarica dell'acquifero; essa si articola in una serie di bacini imbriferi di tipo endoreico, di diversa estensione, che raccolgono le acque degli eventi meteorici convogliandole, mediante inghiottitoi, verso il sistema dei reticoli carsici sotterranei. Le precipitazioni che vanno ad alimentare le risorse idriche sotterranee della Puglia sono irregolarmente

distribuite sul territorio; la distribuzione delle altezze di pioggia annua mostra valori compresi tra poco più di mille millimetri fino a valori di soli cinquecento millimetri.

Nel settore adriatico, la falda fluisce verso mare in direzione perpendicolare alla linea di costa, con gradienti piezometrici compresi tra lo 0.1% e lo 0.5%; in virtù della minore densità, l'acqua dolce è sostenuta dall'acqua salata e defluisce direttamente in mare attraverso una serie di scaturigini. Tuttavia, la relativa scarsità di apporti meteorici e soprattutto l'incontrollato sfruttamento della risorsa da una moltitudine di pozzi determinano l'esistenza di fenomeni di progressiva salinizzazione degli acquiferi.

I carichi idraulici, in corrispondenza dello spartiacque idrogeologico, raggiungono quote di 175-200 m (150 m a Gioia del Colle) per poi decrescere abbastanza regolarmente dalle aree più interne verso mare. Nell'agro di Turi, la superficie piezometrica si colloca oltre i 50 m sul livello del mare, come indicato dalla Tavola 6.2 del Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia in scala 1:200.000, e la direzione di flusso della falda è in direzione NE (Figura 6).

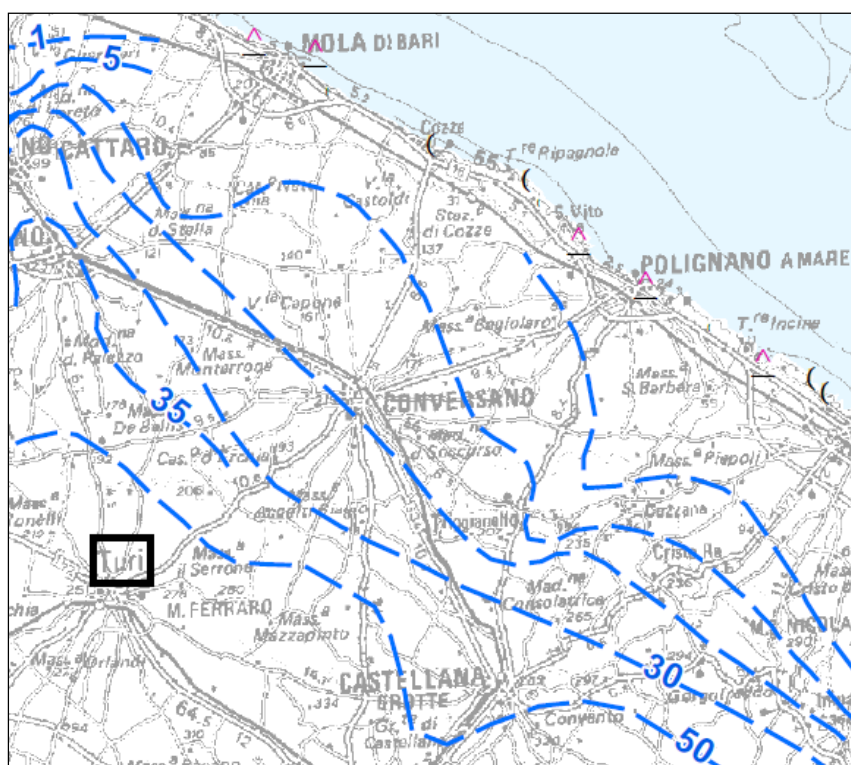


Fig. 6 Stralcio della tavola 6.2 del P.T.A. della Regione Puglia (scala modificata)

Le portate specifiche dei pozzi sulle Murge sono molto variabili da zona a zona anche se, in generale, prelievi modesti inducono depressioni ragguardevoli che, in alcuni casi, possono essere la causa dell'ingresso nel pozzo della terra rossa presente nelle fratture e nelle cavità carsiche dei calcari.

L'acquifero murgiano è caratterizzato da una porosità per fratturazione che unitamente al carsismo conferisce al sistema una spiccata anisotropia per cui la permeabilità risulta essere molto variabile sia in senso verticale che orizzontale; i valori più frequenti sono compresi tra 10^{-2} e 10^{-5} cm/s. I depositi di copertura, al contrario, mostrano una permeabilità primaria dovuta essenzialmente alla porosità che, nel complesso, risulta piuttosto bassa.

5. Descrizione dello stato dei luoghi

La Maglia - M.U.O. 4 del Piano Esecutivo - P.U.E. del Piano Urbanistico Generale del Comune di Turi ricade nella zona meridionale dell'immediata periferia dell'abitato, lungo la direttrice per Gioia del Colle, nell'area destinata agli insediamenti produttivi. L'intera estensione territoriale dalla maglia, oggetto di progettazione, ammonta a 63908,56 mq di cui 45783,56 di superficie fondiaria per un totale di 20 lotti e le cui particelle catastali sono riportate nel foglio di mappa 27 particelle 53-73-212-381-382- 389-390. Dal punto di vista morfologico, i lineamenti del paesaggio si possono definire pressoché pianeggianti, tranne una debole inclinazione, e nell'insieme la superficie del piano campagna risulta plano-altimetricamente idonea per le previsioni di progetto (Figure 7-8-9-10).

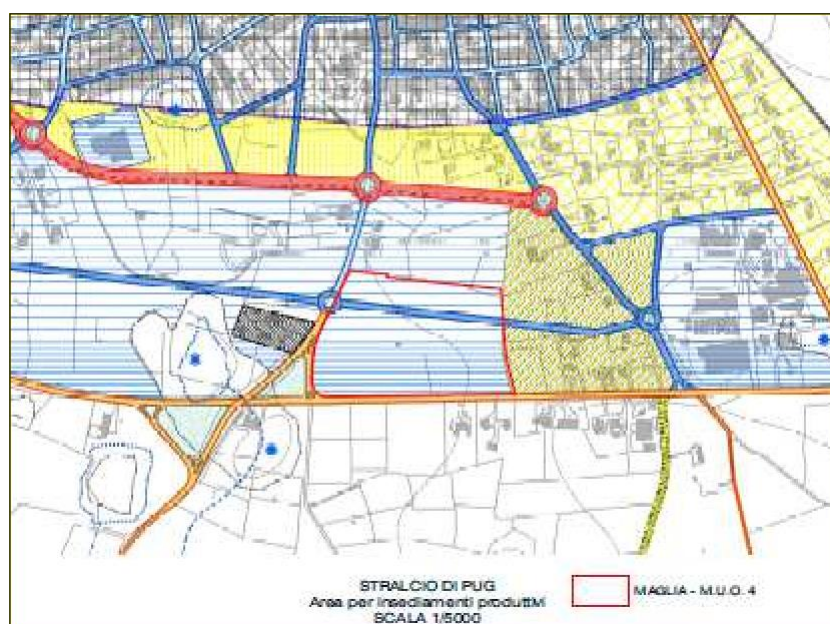


Fig. 7 Inquadramento urbanistico della maglia (scala modificata)

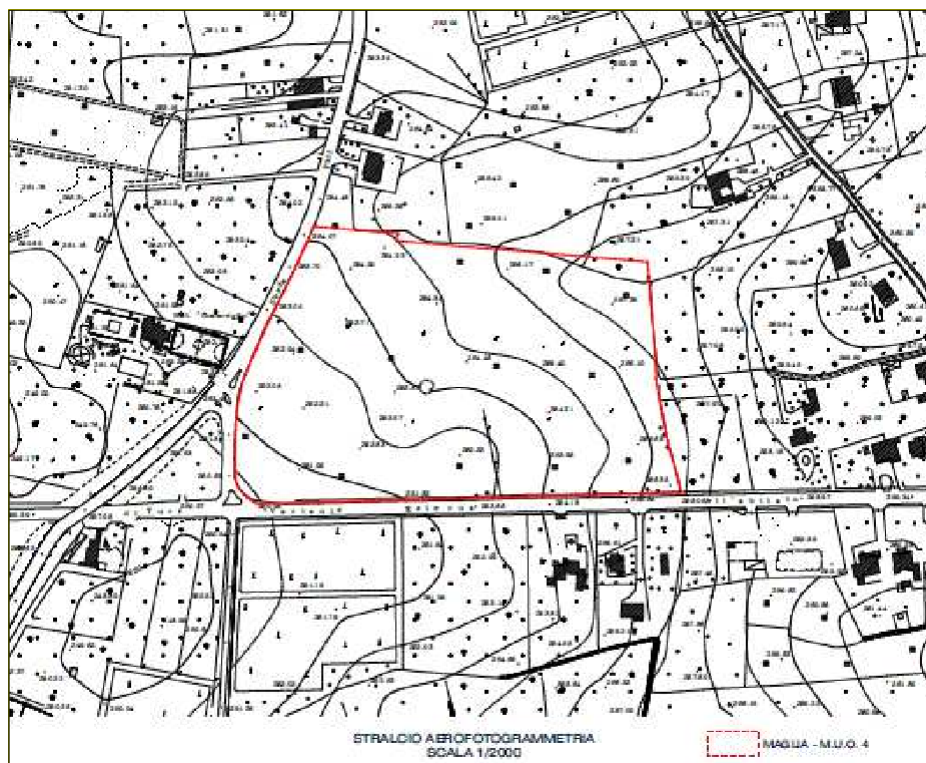


Fig. 8 Inquadramento aerofotogrammetrico della maglia (scala modificata)



Fig. 8 Inquadramento catastale della maglia (scala modificata)



Fig. 9 Planimetria della maglia (scala modificata)

<i>Proprietà</i>	<i>Foglio</i>	<i>Ptc</i>	<i>Superficie Catastale ha are ca</i>	<i>Superficie impegnata x M.U.O. 4 ha are ca</i>
Società Agricola Masi Laura S.A.S. di Lozupone V. & G.	27	53	00 70 54	00 70 54
Società Agricola Masi Laura S.A.S. di Lozupone V. & G.	27	212	00 93 43	00 89 41
Società Agricola Masi Laura S.A.S. di Lozupone V. & G.	27	382	04 60 87	04 59 71
Pastificio Di Bari Tarall'Oro S.R.L.	27	389	00 75 49	00 01 60
Girolamo Vincenzo	27	390	00 17 51	00 00 11
Lonuzzo Rosa Anna	27	73	00 60 54	00 07 11
Rizzi Vito Giacomo	27	77	00 61 90	00 00 29
TOTALE SUPERFICIE M.U.O. 4				06 28 77

LOTTE N.	SUPERFICIE FONDIARIA LOTTE	SUPERFICIE CAPANNONI SUPERFICIE COPERTA	ALTEZZA CAPANNONI	VOLUME CAPANNONI
1	mq 2.286,07	m (30,00 x 24,00) = mq 720,00	H = m 6,00	mc 4.320,00
2	mq 1.318,78	m (25,00 x 24,00) = mq 600,00	H = m 6,00	mc 3.600,00
3	mq 1.219,40	m (25,00 x 24,00) = mq 600,00	H = m 6,00	mc 3.600,00
4	mq 1.965,67	m (30,00 x 24,00) = mq 720,00	H = m 6,00	mc 4.320,00
5	mq 2.003,08	m (30,00 x 24,00) = mq 720,00	H = m 6,00	mc 4.320,00
6	mq 1.250,02	m (25,00 x 24,00) = mq 600,00	H = m 6,00	mc 3.600,00
7	mq 1.260,77	m (25,00 x 24,00) = mq 600,00	H = m 6,00	mc 3.600,00
8	mq 1.991,03	m (25,00 x 24,00) = mq 600,00	H = m 6,00	mc 3.600,00
9A	mq 6.890,53	m (67,50 x 20,00) = mq 1.350,00 m (10,00 x 40,00) = mq 400,00 TOTALE mq 1.750,00	H = m 7,00	mc 12.250,00
9B	mq 1.937,69	m (10,00 x 35,00) = mq 350,00	H = m 7,00	mc 2.450,00
10	mq 2.691,64	m (36,00 x 25,00) = mq 900,00	H = m 8,00	mc 7.200,00
11	mq 2.711,53	m (45,00 x 20,00) = mq 900,00	H = m 8,00	mc 7.200,00
12	mq 3.673,75	m (46,00 x 19,50) = mq 897,00 m (31,00 x 10,00) = mq 310,00 TOTALE mq 1.207,00	H = m 8,00	mc 9.656,00
13	mq 3.598,49	m (46,00 x 19,50) = mq 897,00 m (31,00 x 10,00) = mq 310,00 TOTALE mq 1.207,00	H = m 8,00	mc 9.656,00
14	mq 3.240,90	m (39,40 x 19,50) = mq 768,30 m (24,40 x 10,00) = mq 244,00 TOTALE mq 1.012,30	H = m 8,00	mc 8.098,40
15	mq 3.627,00	m (46,00 x 19,50) = mq 897,00 m (31,00 x 10,00) = mq 310,00 TOTALE mq 1.207,00	H = m 8,00	mc 9.656,00
16	mq 3.868,07	m (46,00 x 19,50) = mq 897,00 m (31,00 x 10,00) = mq 310,00 TOTALE mq 1.207,00	H = m 8,00	mc 9.656,00
TOTALI	mq 45.534,42	mq 14.900,30		mc 106.782,40

Fig. 10

6. Modello geologico preliminare

Al fine di fornire un modello stratigrafico, sulla base del punto 6.2.2 delle NTC, nel caso di costruzioni o di interventi di modesta rilevanza, che ricadano in zone ben conosciute dal punto di vista geotecnico, la progettazione può essere basata sull'esperienza e sulle conoscenze disponibili, ferma restando la piena responsabilità del progettista su ipotesi e scelte progettuali.

Nella relazione geologica di ottobre 2010, in allegato al progetto esecutivo di adeguamento di recapiti finali e realizzazione di reti di fognatura pluviale, si legge che

sono state effettuate delle perforazioni a carotaggio continuo da cui si può desumere una stratigrafia dei terreni relativamente omogenea nel territorio comunale (Figura 11).

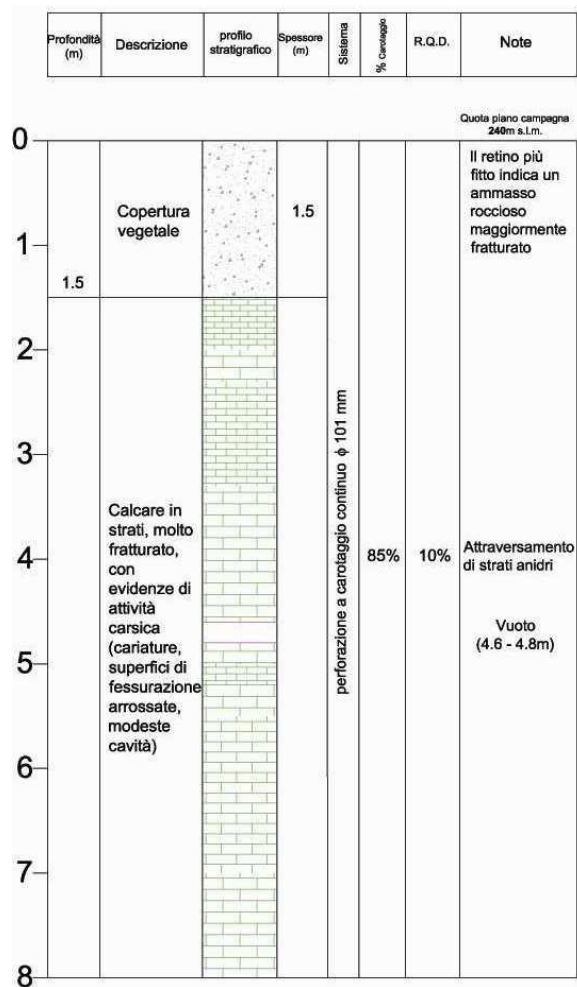


Fig. 11 Modello stratigrafico del sottosuolo

Infine, nella medesima relazione si legge che “le prove di laboratorio svolte, in numero di 4, sono state effettuate su 4 campioni ed hanno dato valori di valori di resistenza a compressione variabili in un range relativamente ampio di valori, compreso fra 22,88 MPa e 70,45 MPa, il che evidenzia come la disomogeneità delle caratteristiche fisiche della roccia, si ripercuota chiaramente sulle sue proprietà meccaniche, evidenziando la presenza di livelli poco tenaci alternati ad altri integri, competenti e tenaci.”

7. Modello geomeccanico

Un ammasso roccioso può essere definito come un insieme di blocchi isolati di matrice rocciosa aventi geometria individuata dalle discontinuità di diverso tipo che li separano. La matrice rocciosa si può definire come la porzione di materiale roccia, o roccia intatta, che costituisce i blocchi separati dalle discontinuità; quest'ultime sono invece i piani di origine meccanica o sedimentaria che isolano o separano i blocchi di matrice rocciosa. Di conseguenza, considerare la matrice rocciosa oppure le discontinuità oppure l'ammasso nella sua globalità dipende dalla scala del problema da affrontare.

In generale le tensioni ammissibili sulla roccia sono spesso specificate da vari codici di costruzione autorizzati, per lo più basati o sulla descrizione della roccia in posto o sui valori della resistenza a compressione monoassiale. Nella tabella vengono riportati i valori delle pressioni ammissibili consigliati da varie norme statunitensi in uso, indicate rispettivamente:

Pressioni ammissibili sulle rocce consigliate da varie norme di costruzione [PECK, HANSON e THORNBURN, 1974].

LITOTIPO	Norme (MPa)			
	A	B	C	D
Roccia massiccia in posto (graniti, dioriti, gneiss e calcari)	10,72	10,72	0,2 q _u *	1,07
Rocce laminate (scisti e ardesie in buone condizioni)	4,28	4,28	»	0,43
Calcari stratificati in buone condizioni	4,28	1,6	»	0,43
Rocce sedimentarie includenti argilloscisti duri ed arenarie	2,67	1,6	»	0,32
Rocce debolmente resistenti in posto e degradate (esclusi gli scisti) e calcare degradato)	1,07		»	
Argilloscisti soffici	0,43		»	

* q_u è la resistenza a compressione uniassiale.

A = BUILDING OFFICIALS CONFERENCE OF AMERICA (1968)

B = NATIONAL BUILDING CODE (1967)

C = UNIFORM BUILDING CODE (1964)

D = LOS ANGELES CODE (1959).

La resistenza del materiale roccia si determina indagando il comportamento a rottura di un provino integro in laboratorio. La finalità è quella di determinare il criterio di rottura ossia le espressioni analitiche che consentono di rappresentare la resistenza in funzione degli sforzi applicati e delle proprietà intrinseche, per permettere una previsione di quando e come avviene la rottura in situ. Il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, semplice ma poco realistico, esprime la relazione tra gli sforzi normali e tangenziali che agiscono al momento della rottura attraverso una funzione lineare tra i parametri di resistenza al taglio del materiale, coesione e angolo di attrito interno. Probabilmente, la resistenza della roccia base in situ è dello stesso ordine di grandezza di quella del calcestruzzo di fondazione. Ciò non è vero ovviamente se la roccia non è integra. La presenza frequente di serie di fessure può aumentare drasticamente la compressibilità delle masse rocciose che è in stretta relazione con la suddivisione e la dimensione dei giunti sia essi se sono stretti o aperti e sia se essi sono riempiti o ricoperti con sedimenti più compressibili. Per tener conto di tale possibilità, è pratica comune usare coefficienti di sicurezza elevati e, nel caso di semplice contatto tra roccia e calcestruzzo, di considerare non più della resistenza a compressione di quest'ultimo come capacità portante del terreno fondazionale.

Nella realtà, le conoscenze locali riferiscono di un sottosuolo roccioso carbonatico, stratificato e mediamente fratturato, tanto che la resistenza della matrice non corrisponde a quella dell'ammasso per cui si fa riferimento all'algoritmo di Manev al fine di tener conto delle caratteristiche di sito che cambiano sensibilmente la resistenza della roccia in termini di tensione di rottura e/o coesione intesa come contributo fornito dalla compattezza e dalla cementazione dei pori. Adottando il criterio di rottura di Mohr-Coulomb, la resistenza al taglio in presenza di sollecitazioni addotte in condizioni non drenate, dipende unicamente dalla coesione. Infatti, se il numero delle fratture in un metro di perforazione è elevato allora il primo termine dell'espressione che ingloba questa condizione diviene algebricamente ininfluenza.

$$\sigma_{cs} = \sigma_{cc} \left(0.114e^{-0.48(f-2)} + 0.02 \right) \cong \sigma_{cc} \times 0.02 = \rightarrow \text{Calcare di Bari}$$

$$= 45MPa \times 0.02 = 0.9MPa = 0.9N / mm^2$$

σ_{cs} = resistenza di sito dei calcari fratturati

σ_{cc} = resistenza del campione

f = frequenza delle fratture

Per determinare le pressioni ammissibili in una fondazione su roccia, non è consentito usare la capacità portante così calcolata considerando l'ammasso un continuo equivalente, in quanto ci sono elementi di incertezza legati all'esatta valutazione delle proprietà e del comportamento della roccia, alla localizzazione delle discontinuità e agli effetti di scala. Se la roccia è interessata da giunti, il meccanismo di rottura potenziale dipende dalle dimensioni dell'area caricata, dalla distanza e dall'apertura dei giunti nonché dall'ubicazione del carico. Quando la distanza fra i giunti è una frazione della lunghezza della fondazione; se i giunti sono aperti la fondazione è sostenuta da pilastri di roccia che si comportano sostanzialmente come se fossero isolati e la capacità portante limite si avvicina alla somma delle resistenze a compressione semplice dei pilastri di roccia; tuttavia la capacità portante complessiva è sempre minore della somma delle resistenze dei singoli pilastri perché non tutti hanno la stessa rigidità e alcuni cederanno prima che gli altri raggiungano la loro capacità limite. Se i giunti sono chiusi, così che le tensioni vengono trasmesse attraverso di essi senza spostamenti, il meccanismo di rottura è essenzialmente quello descritto dall'analisi di Bell - Terzaghi. Partendo da ciò, il comportamento della roccia al di sotto della fondazione è di tipo fragile. Davis e Booker hanno proposto un'espressione per il calcolo della capacità portante partendo dall'assunzione che nell'istante che precede il superamento della stessa il materiale si trovi in condizioni di resistenza residua, che tutta la coesione sia stata distrutta e che l'angolo di attrito sia lo stesso di un materiale intatto. Su questi ipotesi, la relazione è:

$$\sigma_{amm} = 2ctg^2(45 + \phi / 2) = 2 \cdot 0.26MPa \cdot tg^2(45 + 15.4) = 0.49MPa = 0.49N / mm^2.$$

Dalle diffuse classificazioni visive dell'ammasso, secondo Hoek, per ragioni operative, si può trarre un unico e mediato valore del GSI, facendo riferimento ad una tabella proposta dagli autori per ricavarne una stima tramite semplice ispezione visiva, in base alla classificazione dell'ammasso roccioso e delle sue superfici di discontinuità, nelle condizioni in esame assunto pari a 30.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX						
According to geological conditions, pick the appropriate box in this chart. Estimate the average value of the Geological Strength Index GSI from the contours						
STRUCTURE	DISCONTINUITY SURFACE CONDITION	VERY GOOD Very rough, unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered or altered surfaces	POOR Slackensided, highly weathered surfaces with compact coatings or fillings containing angular rock fragments	VERY POOR Slackensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or fillings
 BLOCKY - very well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three orthogonal discontinuity sets		80	70			
 VERY BLOCKY - interlocked, partially distributed rock mass with multifaceted angular blocks formed by four or more discontinuity sets			60	50		
 BLOCKY/FOLDED - folded and faulted with many intersecting discontinuities forming angular blocks				40	30	
 CRUSHED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with a mixture of angular and rounded blocks					20	10

Poiché l'involuppo a rottura è palesemente curvilineo, in alternativa al criterio di Mohr-Coulomb si considera la legge non lineare proposta da Hoek e Brown che hanno introdotto alcuni parametri empirici per cui la resistenza a compressione monoassiale dell'ammasso di roccia diviene:

$$\sigma_{cs} = \sigma_{cc} \cdot s^n$$

mentre la resistenza monoassiale a trazione di un buon ammasso roccioso ($GSI > 25$, $n = 0,5$) è:

$$\sigma_{ts} = \sigma_{cc} \cdot$$

σ_{ts} = resistenza a trazione di sito

Nel caso di fondazioni su roccia, la resistenza mobilitata è certamente a compressione per cui si determinano i seguenti valori.

$$s = e^{\left(\frac{GSI-100}{9}\right)} = e^{\left(\frac{30-100}{9}\right)} = e^{\left(\frac{-70}{9}\right)} = e^{-7.8} = 0.0004$$

$$\begin{cases} n = 0,5 & \text{per } GSI \geq 25 \\ n = 0,65 - \frac{GSI}{200} & \text{per } 10 \leq GSI < 25 \\ n = 0,60 & \text{per } GSI < 10 \end{cases}$$

$$\sigma_{cs} = 45MPa \times 0.0004^{0.5} = (45 \times 0.02)MPa = 0.9MPa = 0.9N / mm^2$$

Nella roccia alterata e nei calcari carsificati, la superficie del fondo può essere indefinibile e le proprietà della roccia possono variare ampiamente entro brevi distanze verticali o orizzontali rendendo difficoltoso l'accertamento delle caratteristiche meccaniche della roccia di fondazione e del carico ammissibile. In particolare, nel caso di calcari carsificati, il sottosuolo può celare la presenza di grotte, strati di materiale di riempimento e detriti di origine clastica e chimica di qualità non prevedibile.

Comunque, le terre rosse hanno dal punto di vista granulometrico frazione argillosa compresa tra il 66% e il 87%, frazione limosa compresa tra il 7% e il 22% ed una frazione sabbiosa compresa tra il 4% e il 15%. Quindi può classificarsi come deposito limoso-argilloso. Dal punto di vista mineralogico, la frazione sabbiosa di tale materiale

risulta costituita da quarzo, miche, minerali di ferro e vetro, mentre la frazione limoso-argillosa, in cui si rinviene caolinite e subordinatamente, montmorillonite, risulta costituita da grumi informi chimicamente caratterizzati dalla presenza di ossidi ferro e alluminio. Sinteticamente, si possono assumere i valori di $1.8-2.0 \text{ g/cm}^3$ e $1.45-1.65 \text{ g/cm}^3$ per il peso di volume ed il peso di volume secco.

La consistenza delle terre rosse può variare notevolmente in funzione delle condizioni di giacitura e di esposizione del deposito; si possono rinvenire in tal modo sia depositi normal consolidati, sia depositi in regime capillare o fortemente essiccati, e quindi notevolmente sovraconsolidati, sia, infine, depositi addirittura diagenizzati a seguito di precipitazione carbonatica. In ogni caso, il contrasto di rigidità rispetto ai vicini calcari, e la loro maggiore erodibilità, determina, salvo situazioni particolari, una spiccata anisotropia.

8. Terreno di fondazione

Sebbene il territorio sia caratterizzato da uno schema geologico-strutturale e idrogeologico alquanto semplice, il comportamento fisico-meccanico dei terreni affioranti e le problematiche geotecniche che ne derivano risultano piuttosto articolate. Per la ricostruzione del modello geofisico del sito è stata eseguita un'indagine di sismica superficiale caratterizzata dalla combinazione tra la tecnica di sismica a rifrazione con onde di volume longitudinali (o onde P) e il metodo di analisi spettrale delle onde di superficie (Rayleigh) con tecnica MASW che permette di determinare l'andamento della velocità delle onde sismiche di taglio (o onde S) in funzione della profondità attraverso lo studio della propagazione delle onde superficiali.

L'indagine in loco è consistita nella realizzazione di n.2 rilievi sismici a rifrazione in onda P (sigle: AA'-BB'), con interpretazione tomografica dei dati di velocità delle onde P e nell'esecuzione di n.2 prospezioni sismiche con metodo MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves) sulle stesse tracce dei rilievi sismici a rifrazione AA'-BB', al fine di ottenere il profilo verticale delle onde S (V_s) nelle posizioni baricentriche degli allineamenti (Figura 12).



Fig. 12 Ubicazione degli stendimenti sismici su foto aerea

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare essenzialmente la presenza di tre sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P. Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge sino a massimo 2.0 m di profondità, si sono riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 1000 m/s (Sismostrato I). Nel secondo sismostrato (Sismostrato II) che raggiunge la profondità di circa 10 m, i valori delle onde P registrati sono compresi tra 1500 m/s e 3000 m/s. Nel terzo sismostrato (Sismostrato III) infine, caratterizzato da un aumento delle velocità sismiche, i valori delle onde P registrati da 3000 m/s raggiungono valori superiori a 4500 m/s (alle profondità indagate). Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale (Sismostrato I) è riferibile a terreni di riporto di natura calcarea e/o roccia in posto, il secondo invece a calcari fratturati (Sismostrato II) mentre il terzo sismostrato può essere ricondotto al substrato calcareo mesozoico da fratturato a compatto (Sismostrato III).

In pratica, masse di rocce compatte esenti da zone alterate, fessure o altri difetti si incontrano raramente. Spesso accade che l'esistenza e l'ubicazione di difetti o accidenti rimangono ignoti fino al momento dello scavo o finché non si manifestano comportamenti inaspettati nelle fondazioni.

Secondo le Norme Tecniche di Costruzione 2018, il terreno appartiene alla categoria di sottosuolo A (ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi) con la velocità delle onde S del substrato superiore a 800m/s.

$$V_{s,eq} = \frac{1}{\sum_{i=1...n} \frac{h_i}{V_{s,i}}} = m/s > 800m/s$$

9. Azione sismica di sito

La sismicità dell'area in esame è da considerarsi alla luce delle disposizioni stabilite dall'Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri del 20 marzo 2003 n. 3274, modificata in un primo momento dall'OPCM 2 ottobre 2003 n. 3316 e successivamente dall'OPCM 3 maggio 2005 n. 3431, tutte riguardanti le normative tecniche per le costruzioni in zona sismica. Sulla base di studi elaborati in considerazione di dati storici e di rilevazioni strumentali acquisite nell'arco di circa venti anni dall'Osservatorio sismologico dell'Università di Bari, il territorio di Turi (BA), in passato non considerato nel novero dei comuni a rischio, è stato definito zona 3 nella classificazione sismica d'ambito nazionale. L'area in oggetto è, pertanto, sottoposta alla normativa antisismica come peraltro confermato con deliberazione di G. R. n. 153 del 2 marzo 2004. Detta classificazione si basa sul valore dell'accelerazione orizzontale massima del suolo con probabilità di superamento del 10% in 50 anni, corrispondente a eventi sismici con tempi di ritorno di 475 anni.

Le recenti Norme Tecniche per le Costruzioni (17/01/2018) e l'OPCM del 28 aprile 2006 n. 3519 superano il concetto della classificazione del territorio in zone, imponendo mirati criteri di verifica dell'azione sismica nella progettazione delle nuove opere ed in quelle esistenti, valutata mediante una analisi della risposta sismica locale. In assenza di queste analisi, la stima preliminare dell'azione sismica può essere effettuata sulla scorta delle categorie di sottosuolo e della definizione di una pericolosità di base fondata su un reticolo di punti di riferimento, costruito per l'intero territorio nazionale. Ai punti del reticolo sono attribuiti, per nove differenti periodi di ritorno del terremoto atteso, i valori di a_g e dei principali parametri spettrali riferiti all'accelerazione orizzontale, da utilizzare per il calcolo dell'azione sismica (fattore di amplificazione massima F_0 e periodo di inizio del tratto a velocità costante T_c^*). Il reticolo di riferimento ed i dati di pericolosità sismica vengono forniti dall'INGV e pubblicati nel sito <http://esse1.mi.ingv.it/>. Secondo le NTC la zona in questione è caratterizzata da un'accelerazione compresa tra 0.050 - 0.075 g, come evidenziato nella mappa di

pericolosità sismica per il sito con probabilità di eccedenza del 10% in 50 anni, riferita a suoli rigidi (categoria A, $V_{S,eq} > 800$ m/sec), ad un periodo di ritorno $T_r = 475$, corrispondente ad una vita nominale dell'opera $V_N = 50$ anni e ad un coefficiente d'uso $C_u = 1$ (struttura ordinaria) ovvero tutti parametri legati tra loro dalla seguente formula $T_r = -V_R / \lg(1 - P_{VR})$ dove $V_R = V_N \cdot C_u$.

Valori dei parametri per la definizione del periodo di ritorno		
P_{v_t} (Stato Limite)	C_u	V_N [anni]
81% Operatività (SLO)	0.7 (I. Strutture secondarie)	≤ 10 (Opere provvisorie)
63% Danno (SLD)	1.0 (II. Strutture ordinarie)	≥ 50 (Opere ordinarie)
10% Salvaguardia della vita (SLV)	1.5 (III. Strutture importanti)	≥ 100 (Grandi opere)
5% Prevenzione del Collasso (SLC)	2.0 (IV. Strutture strategiche)	

L'azione sismica di progetto, in base alla quale valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, è definita a partire dalla pericolosità sismica di base che, con l'entrata in vigore del D.M. del 17 gennaio 2018, deve essere stimata alla scala dell'intervento e non più in termini di macrozona.

I parametri relativi all'opera in progetto e indispensabili per la stima della pericolosità sismica di base, secondo quanto prescritto dalle NTC 2008, sono:

- tipo di costruzione;
- vita nominale (V_N);
- classe d'uso;
- coefficiente d'uso (C_u);
- periodo di riferimento per l'azione sismica ($V_R = V_N \times C_u$);
- categoria topografica (T_n).

I parametri sismici per definire le forme spettrali per ciascuna probabilità di superamento nel periodo di riferimento su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale sono:

- accelerazione orizzontale massima al sito (a_g);

Sito in esame.

latitudine: 40,90862
 longitudine: 17,019875
 Classe: 2
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1 ID: 32576 Lat: 40,9307 Lon: 16,9980 Distanza: 3062,490
 Sito 2 ID: 32577 Lat: 40,9286 Lon: 17,0641 Distanza: 4326,132
 Sito 3 ID: 32799 Lat: 40,8786 Lon: 17,0613 Distanza: 4823,258
 Sito 4 ID: 32798 Lat: 40,8807 Lon: 16,9953 Distanza: 3730,353

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: A
 Categoria topografica: T1
 Periodo di riferimento: 50anni
 Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %
 Tr: 30 [anni]
 ag: 0,025 g
 Fo: 2,385
 Tc*: 0,224 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %
 Tr: 50 [anni]
 ag: 0,032 g
 Fo: 2,419
 Tc*: 0,279 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento:	10	%
Tr:	475	[anni]
ag:	0,065	g
Fo:	2,688	
Tc*:	0,496	[s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento:	5	%
Tr:	975	[anni]
ag:	0,083	g
Fo:	2,662	
Tc*:	0,534	[s]

Coefficienti Sismici Stabilità dei pendii

SLO:

Ss:	1,000
Cc:	1,000
St:	1,000
Kh:	0,005
Kv:	0,003
Amax:	0,247
Beta:	0,200

SLD:

Ss:	1,000
Cc:	1,000
St:	1,000
Kh:	0,006
Kv:	0,003
Amax:	0,314
Beta:	0,200

SLV:

Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,000
Kh: 0,013
Kv: 0,007
Amax: 0,638
Beta: 0,200

SLC:

Ss: 1,000
Cc: 1,000
St: 1,000
Kh: 0,017
Kv: 0,008
Amax: 0,816
Beta: 0,200

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50

Geostru

Coordinate WGS84

latitudine: 40.907642

longitudine: 17.019065

10. Analisi dei rischi

- Dati i rapporti strutturali tra gli strati e le loro caratteristiche intrinseche e d'ammasso, è appurata l'inesistenza di dissesti in atto a piccola scala per cui i terreni appaiono esenti da fenomeni di instabilità anche se, in sede di scavo, occorre tener conto dei prodotti dell'alterazione e del carsismo.
- Al fine di preservare le condizioni drenate, bisogna provvedere ad un efficace sistema di raccolta e smaltimento delle acque meteoriche in linea con gli adempimenti del R.R. 26/2013.
- Si evidenziano gli effetti del modellamento idraulico quali solchi di incisione o depressioni con probabilità di inondazione connessi ad eventi meteorici di portata eccezionale che restano delimitati e siti a debita distanza.
- L'area in esame non ricade in zone perimetrate a pericolosità idraulica e/o a rischio idraulico o a pericolosità geomorfologica come evinto dagli elaborati grafici del Piano di Assetto Idrogeologico aggiornato (Figura 13).

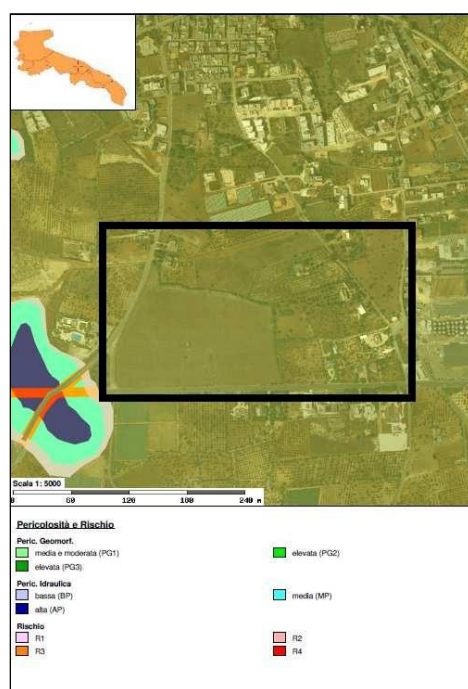


Fig. 13 Stralcio del PAI su ortofoto (scale modificate)

11. Conclusioni

Tutti gli aspetti esposti nella relazione permettono di delineare la seguente sintesi del quadro geologico, geomorfologico, idrogeologico e geomeccanico relativo alla Maglia - M.U.O. 4 del Piano Urbanistico Generale del Comune di Turi oggetto di progettazione di Piano Esecutivo - P.U.E. - Insediamenti Produttivi.

- Il sedime su cui deve insistere la struttura sarebbe costituito esclusivamente da un unico litotipo riferibile alla formazione del Calcare di Bari che presenterebbe un andamento suborizzontale degli strati ed una consistenza dell'ammasso da fratturata a compatta, al di sotto della copertura superficiale di riporto, terre agrarie e residuali.
- Dati i rapporti strutturali tra gli strati e le loro caratteristiche intrinseche e d'ammasso, è appurata l'inesistenza di dissesti in atto a piccola scala per cui i terreni appaiono esenti da fenomeni di instabilità anche se, in sede di scavo, occorre tener conto dei prodotti dell'alterazione e del carsismo.
- Considerando la massima escursione piezometrica, le ulteriori variazioni legate alla ricarica stagionale, le tendenze dell'innalzamento eustatico nei prossimi anni e l'altezza di risalita capillare, la falda idrica sotterranea non interferisce con il piano di posa delle fondazioni.
- Il sottosuolo di fondazione, in merito a quanto espresso dall'O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003, recepita dalla Regione Puglia nel marzo 2004 con DGR Puglia 2 marzo 2004, dalle modifiche allo stesso apportate dal Consiglio dei ministri con ordinanza n. 3431 del 03.05.2005, dal D. M. del 17/01/2018 e relativa circolare esplicativa dell'anno seguente, è riferibile alla Categoria A ($v_{s,eq} > 800$ m/s) della classificazione di cui alla tabella n. 3.2.II delle Norme Tecniche di Costruzione vigenti.

- In relazione alle possibili strutture, è idonea l'impostazione di fondazioni superficiali di tipo continuo fermo restando l'asportazione del materiale terroso e la bonifica del piano di posa mediante getto di calcestruzzo magro.
- Visti i valori di resistenza del terreno, non si porrebbero problemi di cedimenti qualora le fondazioni trasmettano carichi di esercizio cautelativamente fino a 0.4 MPa.

Tanto in virtù dell'incarico conferito dalla committenza, sottolineando e ribadendo che il materiale lapideo in sito è da considerarsi un mezzo anisotropo ossia caratterizzato da sensibili variazioni reologiche sia in senso orizzontale sia in senso verticale, sebbene le soluzioni prescritte risultino accettabili in rapporto a tali limiti.

Pertanto non si segnalano limitazioni di natura geologica alla pianificazione in essere però si ritiene necessaria la verifica di quanto sopra, durante le successive fasi di progettazione.

Turi, ottobre 2024

dott. geol. Fabio Luparelli





ALLEGATO
Report delle indagini geofisiche

REPORT INDAGINE GEOFISICA

**Prospezioni geofisiche con metodo MASW e sismica a rifrazione per la
caratterizzazione del sottosuolo di fondazione (D.M. 17/01/2018)**



1. Premessa

Il presente report riferisce sulle risultanze di un'indagine di tipo indiretto condotta presso la Maglia - M.U.O. 4, al fine di caratterizzarne dal punto di vista geofisico il sottosuolo di fondazione nell'ambito del Piano Esecutivo - P.U.E. - Insediamenti Produttivi del Piano Urbanistico Generale del Comune di Turi.

L'indagine in loco è consistita nelle seguenti acquisizioni:

- esecuzione di n.2 prospezione sismiche con metodo MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves), denominate A-A' e B-B' ed ubicate come da planimetria allegata alla relazione, al fine di ottenere i profili verticali delle onde S (Vs) nella posizione baricentrica degli allineamenti;
- realizzazione di n.2 rilievi sismici a rifrazione in onda P (sigle: AA' - BB'), ubicati come da planimetria allegata alla relazione, con interpretazione tomografica dei dati di velocità delle onde P.

La tipologia di rilievo condotta sul terreno e l'ubicazione corrispondente sono state scelte in maniera tale da investigare le aree di interesse compatibilmente con gli scopi e il livello di progettazione. L'incarico è stato affidato al sottoscritto dalla Società Agricola Masi Laura S.a.s. di Lozupone V. & G.

2. Multi-channel Analysis of Surface Waves

La geofisica osserva il comportamento delle onde che si propagano all'interno dei materiali. Un segnale sismico, infatti, si modifica in funzione delle caratteristiche del mezzo che attraversa. Le onde possono essere generate in modo artificiale attraverso l'uso di masse battenti, di scoppi, etc.

Moto del segnale sismico

Il segnale sismico può essere scomposto in più fasi ognuna delle quali identifica il movimento delle particelle investite dalle onde sismiche. Le fasi possono essere:

- **P-Longitudinale:** onda profonda di compressione;
- **S-Trasversale:** onda profonda di taglio;
- **L-Love:** onda di superficie, composta da onde P e S;
- **R-Rayleigh:** onda di superficie composta da un movimento ellittico e retrogrado.

Onde di Rayleigh – “R”

In passato gli studi sulla diffusione delle onde sismiche si sono concentrati sulla propagazione delle onde profonde (P,S) considerando le onde di superficie come un disturbo del segnale sismico da analizzare. Recenti studi hanno consentito di creare dei modelli matematici avanzati per l'analisi delle onde di superficie in mezzi a differente rigidità.

Analisi del segnale con tecnica MASW

Secondo l'ipotesi fondamentale della fisica lineare (Teorema di Fourier) i segnali possono essere rappresentati come la somma di segnali indipendenti, dette armoniche del segnale. Tali armoniche, per analisi monodimensionali, sono funzioni trigonometriche seno e coseno, e si comportano in modo indipendente non interagendo tra di loro. Concentrando l'attenzione su ciascuna componente armonica il risultato finale in analisi lineare risulterà equivalente alla somma dei comportamenti parziali corrispondenti alle singole armoniche. L'analisi di Fourier (analisi spettrale FFT) è lo strumento fondamentale per la caratterizzazione spettrale del segnale. L'analisi delle onde di Rayleigh, mediante tecnica MASW, viene eseguita con la trattazione spettrale del segnale nel dominio trasformato dove è possibile, in modo abbastanza agevole, identificare il segnale relativo alle onde di Rayleigh rispetto ad altri tipi di segnali, osservando, inoltre, che le onde di Rayleigh si propagano con velocità che è funzione della frequenza. Il legame velocità frequenza è detto spettro di dispersione. La curva di dispersione individuata nel dominio f-k è detta curva di dispersione sperimentale, e rappresenta in tale dominio le massime ampiezze dello spettro.

Modellizzazione

E' possibile simulare, a partire da un modello geotecnico sintetico caratterizzato da spessore, densità, coefficiente di Poisson, velocità delle onde S e velocità delle Onde P, la curva di dispersione teorica la quale lega velocità e lunghezza d'onda secondo la relazione:

$$v = \lambda \times v$$

Modificando i parametri del modello geotecnico sintetico, si può ottenere una sovrapposizione della curva di dispersione teorica con quella sperimentale: questa fase è detta di inversione e consente di determinare il profilo delle velocità in mezzi a differente rigidità.

Modi di vibrazione

Sia nella curva di inversione teorica che in quella sperimentale è possibile individuare le diverse configurazioni di vibrazione del terreno. I modi per le onde di Rayleigh possono essere: deformazioni a contatto con l'aria, deformazioni quasi nulle a metà della lunghezza d'onda e deformazioni nulle a profondità elevate.

Profondità di indagine

Le onde di Rayleigh decadono a profondità circa uguali alla lunghezza d'onda. Piccole lunghezze d'onda (alte frequenze) consentono di indagare zone superficiali mentre grandi lunghezze d'onda (basse frequenze) consentono indagini a maggiore profondità.

Il metodo della sismica a rifrazione

La prospezione sismica è un'indagine indiretta, che si occupa dell'esplorazione del sottosuolo attraverso lo studio della propagazione di onde elastiche generate in superficie. Tali perturbazioni sono generalmente provocate da vibrazioni impresse al terreno con mezzi meccanici o da esplosioni. Le discontinuità ricercate mediante la prospezione sono di natura fisico-elastica e pertanto la ricostruzione della geometria e natura del sottosuolo possono essere legate sia a reali variazioni litologiche sia a variazioni rinvenibili nell'ambito di uno stesso litotipo. Il metodo della sismica a rifrazione si basa sul concetto di bi-rifrazione delle onde elastiche a seguito di un fronte d'onda conico. Data quindi una sorgente di onde elastiche (massa battente, martello a percussione, piccola esplosione) e dato uno stendimento di trasduttori velocimetrici (geofoni) posizionati lungo un determinato allineamento, giungeranno ai geofoni onde dirette, onde riflesse ed onde birifratte (head wave). Le onde birifratte sono quelle analizzate attraverso il metodo della sismica a rifrazione. Tali perturbazioni giungono sulla superficie di separazione tra due mezzi elastici (2 litologie differenti) con un angolo di incidenza critico (legge di Snell), si propagano parallelamente alla superficie di discontinuità (prima rifrazione con angolo di 90°), e si rifrangono nuovamente verso la superficie con lo stesso angolo di incidenza. Successivamente alla registrazione dei dati, la prima operazione svolta è consistita nell'individuazione dei primi arrivi sui singoli sismogrammi (picking). Dall'acquisizione dei tempi di primo arrivo, conoscendo le distanze relative alla configurazione geometrica adottata (interspazio geofonico), è stato ottenuto un diagramma tempi-distanze (dromocrona), attraverso il quale, applicando diverse metodologie, è stato possibile determinare le velocità di propagazione delle onde nel mezzo sottostante e i relativi spessori dei sismostrati attraversati dalla radiazione elastica.

3. Strumentazione utilizzata

La strumentazione utilizzata per la registrazione dei segnali è del tipo a 24 canali, modello DBS280 della DOLANG interfacciato con un computer portatile (Fig. 1).

L'attrezzatura è composta da:

- **un sistema di energizzazione:** la sorgente è costituita da una mazza del peso di 10 Kg battente verticalmente su piastra rettangolare in acciaio posta direttamente sul p.c. per la generazione prevalentemente di onde P e secondariamente di onde SV;

- **un sistema di trigger:** consiste in un circuito elettrico che viene chiuso nell'istante in cui il grave colpisce la base di battuta; in questo modo è possibile individuare e visualizzare l'esatto istante in cui le sorgente viene attivata e fissare l'inizio della registrazione.
- **un sistema di ricezione:** costituito da 24 geofoni verticali del tipo elettromagnetico a bobina mobile a massa sospesa, con frequenza di acquisizione 4,5 Hz.
- **un sistema di acquisizione dati:** con memoria dinamica a 16 bit composto da 12 dataloggers a 2 canali per un totale di 24 canali, 2 cavi sismici a 12 take-outs ciascuno spaziato a 5 metri, notebook PC Windows XP con software DBS280 della DOLANG.



Fig. 1 Sismografo DOLANG a 24 canali modello DBS280

4. Attività di campo

L'indagine in loco è consistita nella realizzazione di una prospezione sismica con metodo MASW lungo i profili A-A' di lunghezza pari a 24 m lineari con interspazio geofonico di 1.0 m, direttrice orientata all'incirca NNE-SSO, e B-B' di lunghezza pari a 48 m lineari con interspazio geofonico di 2.0 m, direttrice orientata all'incirca E-O.

Per i profili in questione sono stati eseguiti 4 scoppi, 2 effettuati a 1.0 m e 2 effettuati a 2.0 m di distanza dall'ultimo geofono, con due differenti frequenze di campionamento. Il treno di onde generato da ciascun colpo di massa battente è stato campionato con intervallo temporale di 0.30 secondi. In base alla qualità del segnale si è scelto uno scoppio per effettuare l'elaborazione completa dei dati acquisiti in campagna (Fig. 2). L'individuazione dei profili Vs in funzione della profondità è stato desunta individuando la differenza (errore massimo) tra la curva di dispersione sperimentale e la curva di dispersione numerica corrispondente al modello di suolo assegnato. Minore appare tale imprecisione, maggiore risulta la probabilità che il profilo delle onde di taglio individuato sia quello giusto.

L'analisi dello spettro "velocità di fase - frequenza" ha consentito di ricostruire un modello sismico monodimensionale del sottosuolo, il quale risulta costituito dall'andamento della velocità delle onde di taglio Vs in funzione della profondità. Si precisa infine che, come esposto sinteticamente nel paragrafo inerente la metodologia MASW, il modello del sottosuolo e di conseguenza anche l'inversione di velocità rilevata, sono stati ottenuti in corrispondenza del punto medio del profilo di acquisizione.

N. tracce	24
Durata acquisizione	307.2
[msec]	
Interdistanza geofoni	1.5
[m]	
Periodo di	0.30
campionamento	
[msec]	

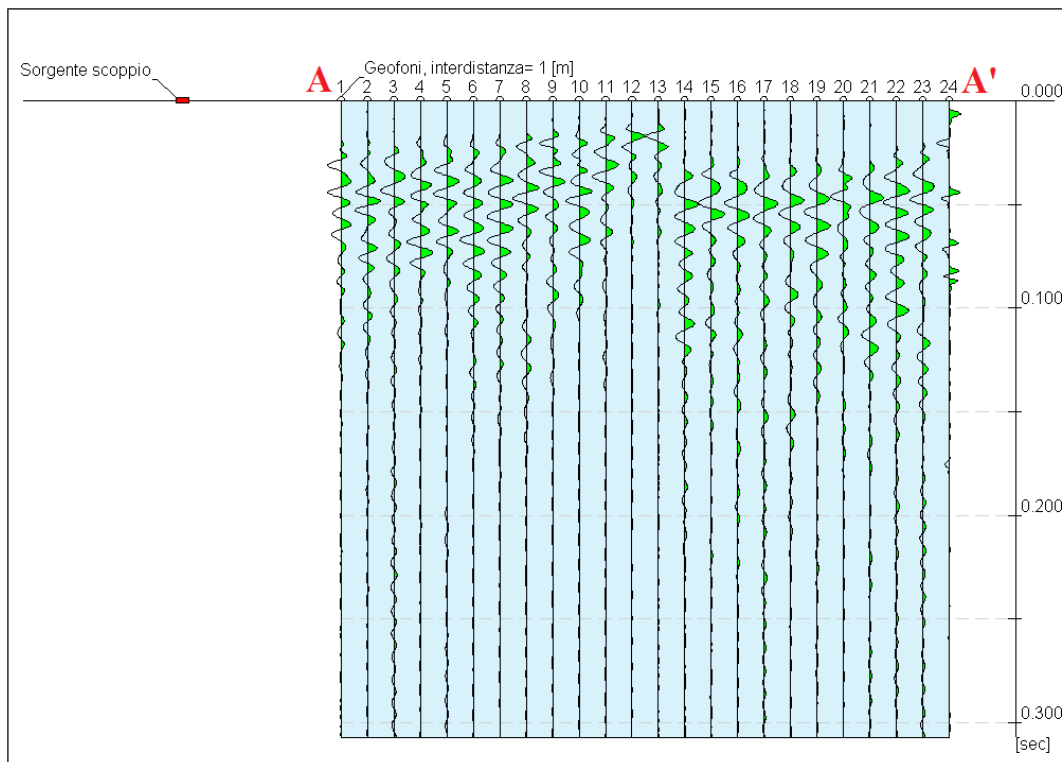


Fig. 2 Sismogrammi relativi a uno scoppio

Il profilo di sismica a rifrazione AA' ha una lunghezza di 24 m lineari con interspazio geofonico di 1.0 m, direttrice orientata circa NNE-SSO e il profilo di sismica a rifrazione BB' ha una lunghezza di 48 m lineari con interspazio geofonico di 2.0 m, direttrice orientata circa E-O.

La configurazione adottata è a 13 shots così distribuiti: 2 end – shots, posti a 1.00 m dai geofoni esterni (S1 e S13); 10 intermedi, posti rispettivamente tra il 2° e 3° geofono (S2), tra 4° e 5° (S3), tra 6° e 7° (S4), tra 8° e 9° (S5), tra 10° e 11° (S6), tra 14° e 15° (S8), tra 16° e 17° (S9), tra 18° e 19° (S10), tra 20° e 21° (S11), tra 22° e 23° (S12); 1 centrale tra il 12° e il 13° geofono (S7).

L'analisi interpretativa ha permesso di ricostruire l'andamento delle velocità delle onde P con la profondità così come rappresentato in Figura 3.

Dal risultato dell'analisi sismica eseguita è possibile rilevare la presenza di 3 sismostrati con differenti valori di velocità delle onde sismiche longitudinali P.

Nel primo sismostrato, che dal piano campagna si spinge mediamente a circa a 1.0-1.5 m di profondità, si sono riscontrati valori di velocità di propagazione delle onde longitudinali P comprese tra 250 m/s e 1000 m/s. Nel secondo sismostrato, di spessore variabile, che raggiunge la profondità di massimo 10 metri dal p.c., i valori delle onde P registrati sono compresi tra 1000 m/s e 3250 m/s. Nel terzo sismostrato infine, i

valori delle onde P registrati raggiungono valori superiori a 4000 m/s (alle profondità indagate) in progressivo aumento.

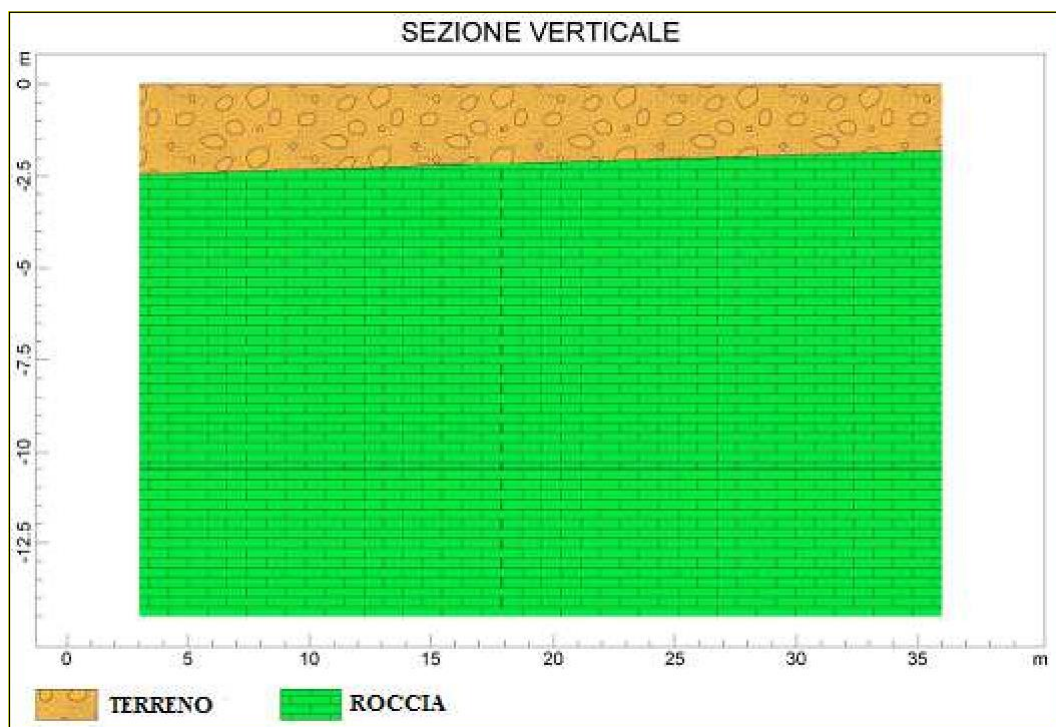


Fig. 3 Sezione tomografica di riferimento

Assimilando i valori delle velocità di propagazione delle onde P alle litologie presenti nell'area come da indagini pregresse, in prima analisi si può affermare che il sismostrato superficiale è riferibile a terreni sciolti (Sismostrato I), il secondo invece a calcari e calcari dolomitici che presentano un grado di fratturazione e carsificazione maggiore soprattutto nella zona più superficiale (Sismostrato II) mentre il terzo sismostrato può essere ricondotto calcari relativamente più compatti (Sismostrato III).

5. Classificazione del sottosuolo di fondazione

Sulla base delle risultanze delle indagini MASW condotte nell'area oggetto di studio il sottosuolo di fondazione è stato classificato ai sensi delle normative che attualmente regolano il settore (Ordinanza della Presidenza del Consiglio dei Ministri n. 3274 del 20 marzo 2003, recepita dalla Regione Puglia nel marzo 2004; DGR Puglia 2 marzo 2004 e dalle modifiche allo stesso portate dal Consiglio dei ministri con ordinanza D.M. 17/01/2018).

L'indagine MASW ha consentito la stima dei valori delle velocità medie delle onde sismiche di taglio e, da queste, il calcolo della $V_{S,eq}$ risultante, applicando la seguente formula:

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

in cui V_i e h_i indicano la velocità delle onde di taglio (in m/s) e lo spessore (in m) del sismostrato i -esimo per un totale di N sismostrati presenti nei primi 30 m.

In base al modello ottenuto, utilizzando la formula sopra riportata, si è ottenuto che il valore della $V_{S,eq}$ calcolata per entrambi i profili è pari a circa 1100 m/s.

Il valore di $V_{S,eq}$ colloca i litotipi presenti nella **Categoria di sottosuolo A** - ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{S,eq}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m.

Considerazioni conclusive

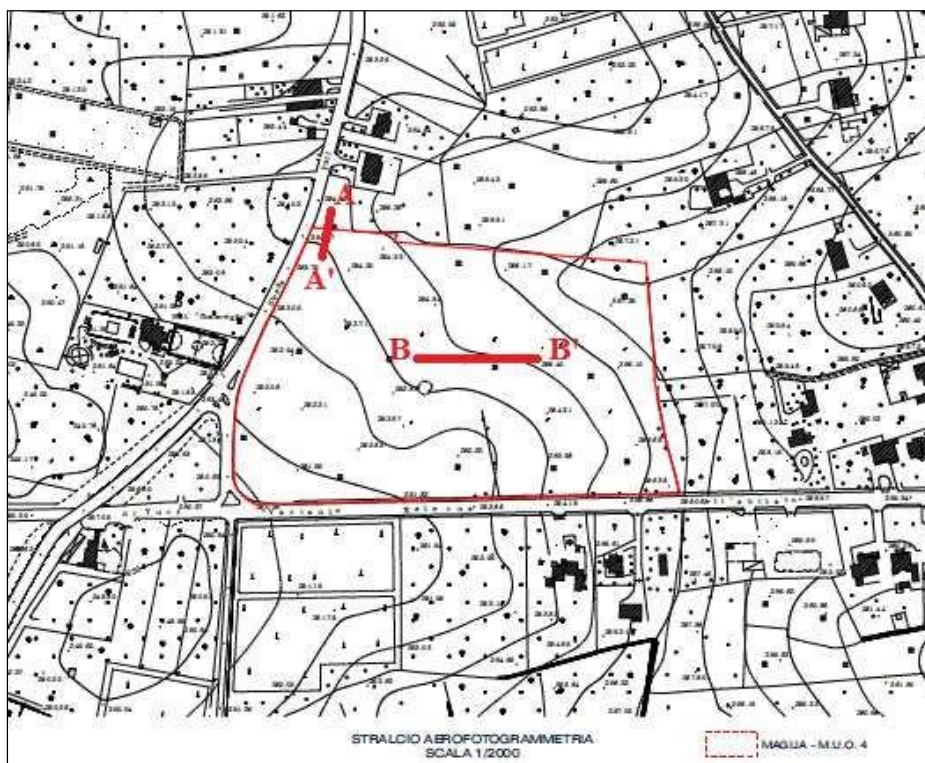
Le conoscenze stratigrafiche del territorio e i dati reperiti nel corso dell'indagine indiretta permettono di delineare la seguente sintesi del sottosuolo di fondazione relativo alla Maglia - M.U.O. 4 del Piano Esecutivo - P.U.E. - Insediamenti Produttivi del Piano Urbanistico Generale del Comune di Turi:

- il sedime su cui insiste la struttura in oggetto è costituito dal litotipo riferibile alla formazione Calcare di Altamura che dovrebbe presentare un andamento degli strati da suborizzontale a inclinato, a diverso grado di fatturazione e/o alterazione, al di sotto di un livello superficiale con spessore da 0,5 m a 2,0 m massimo di suolo e/o materiale di riporto;
- la caratterizzazione del sottosuolo di fondazione, in merito a quanto espresso dall'O.P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003, recepita dalla Regione Puglia nel marzo 2004 con DGR Puglia 2 marzo 2004, dalle modifiche allo stesso apportate dal Consiglio dei Ministri con ordinanza n. 3431 del 03.05.2005, dall'O.P.C.M. n. 3519 del 28.04.2006 e dal D.M. del 17.01.2018 e relativa circolare esplicativa dell'anno seguente, è riferibile alla Categoria A ($V_{s,eq} > 800$ m/s) della classificazione di cui alla tabella n. 3.2.II delle Norme Tecniche di Costruzione vigenti.

Si sottolinea che il materiale lapideo in sito è da considerarsi un mezzo anisotropo ossia caratterizzato da sensibili variazioni reologiche sia in senso orizzontale sia in senso verticale.



Allegato A – Foto aerea con ubicazione dell'indagine



Allegato B – Documentazione fotografica

