

CONSORZIO PER L'AREA DI SVILUPPO INDUSTRIALE DI BARI

Via delle Dalie, 5 - Z.I. - 70026 - Modugno (Ba)

080.964.16.00-fax080.990.43.06 P.I./C.F.:00830890729

PROGETTO DEFINITIVO

DATA

27/ 10/2016

**Interventi di salvaguardia idraulica
della zona ASI di Molfetta**

Affidamento progettazione
Deliberazione CdA n. 146 del
29/07/2016

CODICE ELABORATO

D.2

SCALA

Relazione geologica

IL PROGETTISTA :

Ing. Simone Milella

Tecnico Incaricato :

Dott. Geologo Mario Rotolo

(Deliberazione presidenziale n 269 del 05/08/2016)

Per presa visione
IL R.U.P.:

Ing. Giuseppe A. LATROFA

STUDIO DI GEOLOGIA Dott. ROTOLO MARIO

Via Vittorio Veneto n. 297 - 70043 MONOPOLI (BA) - Tel. 080.808172
E-mail: mariorotolo@gmail.com

COMUNE DI MOLFETTA

ELABORATO D2 - RELAZIONE GEOLOGICA

VALUTAZIONE DELLE CARATTERISTICHE GEOLOGICHE, IDROGEOLOGICHE, GEOTECNICHE E GEOFISICHE, CON INDAGINI GEOGNOSTICHE A CAROTAGGIO CONTINUO, GEOFISICHE E PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO, CONDOTTE NELL'AMBITO DEL PROGETTO DEFINITIVO RIGUARDANTE "INTERVENTI DI SALVAGUARDIA IDRAULICA DELLA ZONA ASI DI MOLFETTA (CANALE OVEST)".

AFFIDAMENTO INCARICO CON DELIBERAZIONE PRESIDENZIALE N. 269/2016

COMMITTENTE: CONSORZIO PER L'AREA DI SVILUPPO INDUSTRIALE DI BARI

Via delle Dalie n. 5 – Z.I. – 70026 Modugno (Ba)

LOCALITÀ: AGGLOMERATO INDUSTRIALE ASI DI MOLFETTA

OTTOBRE 2016

IL GEOLOGO

Stefano R. R. R.



INDICE

1	PREMESSA	Pag. 1
2	INQUADRAMENTO TERRITORIALE	Pag. 2
3	GEOLOGIA	Pag. 3
3.1	GEOMORFOLOGIA	Pag. 3
3.2	GEOLITOLOGIA.....	Pag. 4
4	TETTONICA	Pag. 5
5	IDROGRAFIA	Pag. 5
6	IDROGEOLOGIA	Pag. 5
6.1	CARATTERI IDROGEOLOGICI GENERALI	Pag. 5
6.2	CARATTERI IDROGEOLOGICI LOCALI	Pag. 7
7	INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE	Pag. 7
8	CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE	Pag. 9
9	PROVE DI LABORATORIO	Pag. 11
10	CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE ULTIMA	Pag. 12
11	CARATTERI SISMICI DELL'AREA.....	Pag. 14
12	INDAGINI GEOFISICHE	Pag. 15
12.1	GEOSISMICA A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE	Pag. 15
12.1.1	PARAMETRI DINAMICI DEL SOTTOSUOLO	Pag. 17
12.1.2	VALORE DELLA VS30	Pag. 18
12.2	GEOSISMICA IN FORO (DOWN-HOLE)	Pag. 19
12.2.1	PARAMETRO VS30 RICAVATO CON PROVA DOWN-HOLE	Pag. 20
12.3	COEFFICIENTE DI REAZIONE K_s	Pag. 20
12.4	TOMOFRAFIE ELETTRICHE	Pag. 21
13	CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE	Pag. 22

1. PREMESSA

A seguito di incarico professionale conferito allo scrivente dal CONSORZIO PER L'AREA DI SVILUPPO INDUSTRIALE DI BARI (Determinazione presidenziale n. 269/2016 del 05.8.2016) è stato condotto uno studio geologico, idrogeologico, geotecnico e geofisico, ed eseguito sondaggi meccanici e indagini geofisiche nell'ambito del Progetto Definitivo relativo a *"INTERVENTI DI SALVAGUARDIA IDRAULICA DELLA ZONA ASI DI MOLFETTA (CANALE OVEST)"*.

L'intervento di salvaguardia idraulica dell'ASI di Molfetta, mira alla mitigazione del rischio allagamento dell'agglomerato industriale realizzando un canale deviatore scavato a monte della zona industriale in grado di intercettare le acque di dilavamento superficiali che si incanalano nei corsi d'acqua provenienti dall'entroterra.

Il canale deviatore avrà origine a monte dell'agglomerato ASI, in corrispondenza della Via Vecchia per Corato, e proseguirà seguendo il perimetro ovest della zona industriale, e dopo aver superato con degli attraversamenti la S.S. 16 bis, la linea ferroviaria Adriatica e la S.S. 16, sfocerà a mare a breve distanza dalla località Torre Calderino.

Il rischio idrogeologico del territorio di Molfetta è legato ai numerosi solchi erosivi a fondo piatto coperto da depositi alluvionali, e con fianchi mediamente inclinati, provenienti dall'entroterra, che rimangono asciutti per gran parte dell'anno, ma in occasione di intense precipitazioni assumono carattere torrentizio provocando allagamenti delle aree costiere prima di raggiungere il mare.

Le lame del territorio di Molfetta sono state, convenzionalmente, suddivise in:

- lama Nord (comprendente Lama dell'Aglio, Canale Savorelli, Canale Boscarello, Lama Calamita, Lama Marcinase);
- lama Centro (che comprende Lama Cupa, detta Lama Martina in località Prima Cala);
- lama Sud (un sistema che comprende Lama Cascione e lama Reddito).

Negli anni scorsi l'area è stata oggetto di studio da parte dell'Autorità di Bacino della Puglia che ha individuato le aree ad alta (AP), media (MP) e bassa (BP) pericolosità idraulica riportate nella cartografia del PAI, consultabile nel Webgis del portale dell'AdB, di cui si riporta uno stralcio nella figura seguente.

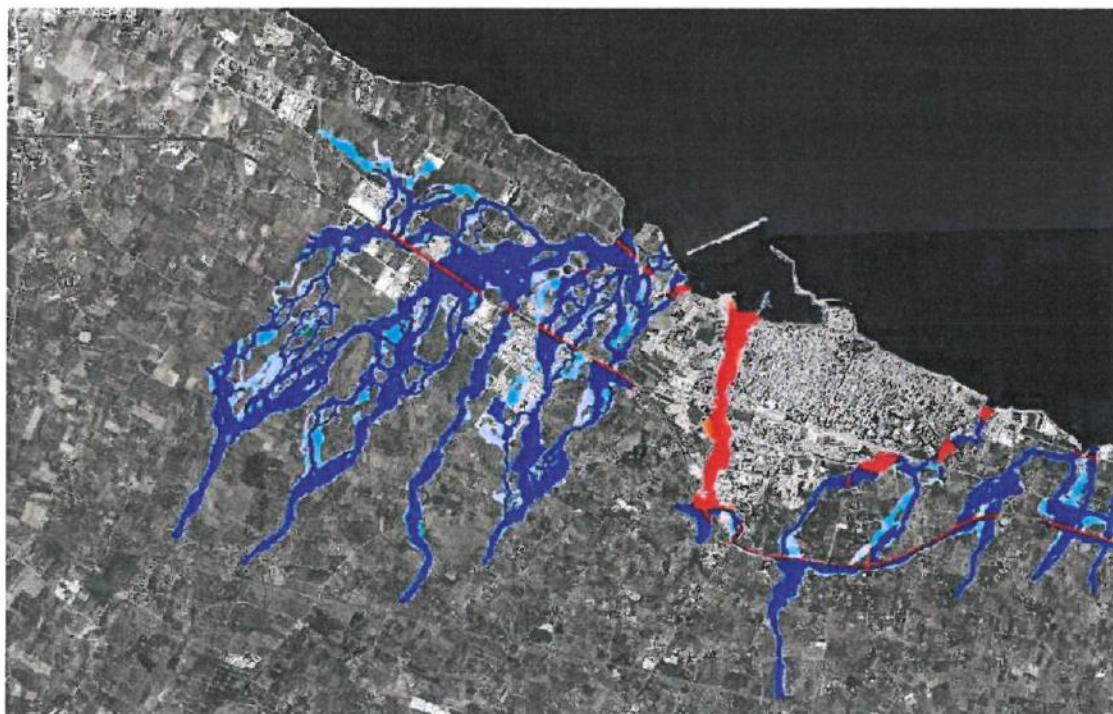


Figura 1 – Stralcio del PAI con le aree a diversa pericolosità idraulica

In adempimento all'incarico ricevuto lo scrivente ha effettuato un inquadramento territoriale dell'area di studio e, a seguito del rilevamento geomorfologico e litologico fornisce un quadro dettagliato delle litologie affioranti nel territorio, direttamente interessate dall'intervento in progetto.

2. INQUADRAMENTO TERRITORIALE

Il territorio interessato dall'intervento di salvaguardia idraulica corrisponde alla vasta area costiera situata a nord-ovest della Città di Molfetta, e confinante a ovest con il limite amministrativo di Bisceglie, a nord con la linea ferroviaria adriatica delle FF.SS., a est dalla S.P. Molfetta-Corato e a sud dalla S.C. Casale.

Il sito in esame presenta un andamento topografico variabile da circa 16 m s.l.m. nei pressi della S.S. 16, a i 46 m s.l.m. a monte dell'agglomerato industriale ed è inserito nella tavoletta I.G.M. IV S.E. del Foglio n. 177 della Carta d'Italia denominata, in scala 1.25.000.

3. GEOLOGIA

3.1 Geomorfologia

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di un substrato di rocce carbonatiche di età cretacea appartenenti alla formazione geologica del "Calcare di Bari", su cui poggiano plaghe di depositi calcareo-arenacei del Quaternario.

Si tratta di un potente complesso di rocce sedimentarie in cui si alternano strati calcarei di colore bianco-grigiastro a calcari dolomitici di colore grigio-avana, con spessore variabile da pochi decimetri fino al metro, hanno tessitura omogenea, sono piuttosto compatti e tenaci alla scala di campione.

Dal punto di vista morfologico il territorio rispecchia i caratteri tipici dello stile, essenzialmente, tabulare delle Murge, con vasti ripiani allungati parallelamente alla costa e debolmente inclinati, raccordati da modeste scarpate, che formano dei gradini morfologici via via ribassati verso la costa adriatica e con leggera pendenza a nord-est.

I depositi quaternari continentali, alluvionali terrosi e ciottolosi, presentano un assetto tabulare e conservano intatte le originarie giaciture a conferma che non hanno subito gli effetti tettonici disgiuntivi e/o plicativi della fase tettonica appenninica.

Tali sedimenti poggiano, localmente, su una superficie carsica ben conservata, con irregolarità e cavità di dissoluzione riempite da terra rossa; essi costituiscono, altresì, il materiale di riempimento di depressioni morfotettoniche (pieghe ad ampio raggio, strutture tipo graben ecc.).

Perpendicolarmente alla costa si rinvencono numerosi solchi erosivi (denominate localmente lame) con pareti poco elevate, mediamente inclinate e fondo piatto che incidono i calcari e le calcareniti, in cui si scorrono le acque piovane in occasione di precipitazioni intense e di breve durata.

Le lame presenti nell'area in esame fanno parte del reticolo idrografico della regione che ha origine all'interno dell'altopiano delle Murge.

Il fenomeno carsico svolge un importante ruolo nella modellazione della superficie, favorito soprattutto dalla natura litologia delle rocce nel sottosuolo, infatti, laddove si rinvencono litotipi più carsogeni, si ha un maggior sviluppo e diffusione delle forme carsiche attraverso cui, spesso, si esplica la circolazione delle acque sotterranee.

Il processo carsico è testimoniato anche dalla presenza in superficie di un'uniforme coltre di terreno di colore rossastro (terra rossa) che rappresenta il residuo limoso-argilloso dell'alterazione dei calcari da parte degli agenti esogeni

3.2 Geolitologia

In base ai dati desunti dalla letteratura scientifica e alle note illustrative allegate al Foglio n. 177 "Bari" della Carta Geologica d'Italia, lo schema geologico del territorio in esame è contraddistinto da affioramenti di rocce calcaree del Cretaceo Superiore, appartenenti al gruppo dei *Calcari delle Murge* (vedasi elaborato G.5 "Carta Geolitologica").

Il substrato roccioso è costituito da rocce calcareo-dolomitiche di età mesozoica riferibili all'unità litostratigrafica dei *Calcari di Bari* su cui si rinvencono, in prossimità della costa, lembi di rocce calcarenitiche del Pleistocene ed esigui spessori di depositi alluvionali (limi terroso-ciottolosi) presenti sul fondo di incisioni torrentizie e depressioni di origine carsiche, quali doline e puli, diffusi soprattutto nei dintorni di Molfetta.

Di seguito sono indicati i caratteri litologici e stratigrafici delle formazioni cartografate:

Formazioni marine

Trattasi di depositi travertinoidi tipo "crosta" e lembi di panchina dell'Olocene presenti lungo la costa tra Bisceglie e Bari.

Formazioni continentali

Corrispondono a depositi sedimentari costituiti da ciottolame calcareo e da materiale terroso derivanti dalla disgregazione dei calcari e delle calcareniti, per lo più presenti sul fondo di solchi erosivi (lame) e, in forma di terrazzi, sui fianchi delle lame.

Calcareniti

Le calcareniti formano una copertura discontinua di sedimenti marini diagenizzati del Quaternario (Pleistocene inferiore), costituiti da clasti a granulometria molto variabile e da rari livelli di fossili; i banchi calcarenitici sono di colore variabile dal giallo ocra all'avana chiaro e superficie molto alterata e disgregata.

Le calcareniti presentano, a luoghi, aspetto massivo, stratificazione irregolare con superfici di strato indistinte che delimitano grosse bancate di spessore anche superiore al metro.

Nel complesso si tratta di rocce tenere e poco tenaci di aspetto poroso formatesi essenzialmente per accumulo e successiva cementazione di fossili e detriti calcarei.

Calcari

Sotto la coltre calcarenitica, è presente l'unità litostratigrafica dei "*Calcari di Bari*", riferibile al Cenomaniano-Turoniano, costituita da una successione di strati di roccia calcarea fessurata e in vario modo carsificata, ma compatta e tenace alla scala del campione.

Si tratta di calcari a grana fina, talora microcristallini, di colore bianco-avana e a luoghi grigiastro che affiorano nell'area di stretto interesse.

Gli strati carbonatici cretacei sono poco inclinati, in media variano dai 5° ai 15°, e spessori variabili da pochi cm ad 50-60 centimetri.

La fratturazione della roccia calcareo-dolomitica va messa in relazione con i movimenti tettonici che hanno interessato la regione nel passato.

4. TETTONICA

L'assetto tettonico, comune a tutta le Murge, è contraddistinto da una struttura a monoclinale, immergente a S-SO, formata da una potente successione carbonatica, originatasi in ambiente marino di bassa profondità.

La successione carbonatica del Cretaceo superiore è interessata da diverse fasi tettoniche che hanno dato luogo a sistemi deformativi di pieghe e faglie di tipo disgiuntivo, ad andamento subparallelo alla costa.

Lungo alcuni fronti di cava dell'entroterra è possibile osservare gli effetti della tettonica disgiuntiva rappresentati da numerose fratture e da rare faglie con rigetto di modesta entità.

Invece nelle zone dove affiorano i depositi plio-pleistocenici, a giacitura suborizzontale, non si rileva la presenza di faglie segno che essi non sono stati interessati da sollecitazioni tettoniche intense, ma da soltanto da un graduale sollevamento dell'area.

5. IDROGRAFIA

La rete idrografica nell'area è costituita da diversi reticoli poco gerarchizzati orientati prevalentemente in direzione SO-NE, che solcano il territorio.

Le linee di impluvio rappresentano i solchi in cui si incanalano le acque superficiali seguendo le linee di massima pendenza del territorio; l'insieme di queste linee definisce un reticolo idrografico.

6. IDROGEOLOGIA

6.1 Caratteri idrogeologici generali

La scarsa circolazione idrica superficiale è dovuta, essenzialmente ai caratteri geolitologici delle rocce affioranti che tendono a favorire l'infiltrazione rapida nel sottosuolo delle acque di dilavamento superficiale.

L'area in esame, sotto l'aspetto idrogeologico, appartiene alla cosiddetta "Idrostruttura delle Murge", isolata dalle altre idrostrutture presenti nella Regione Puglia.

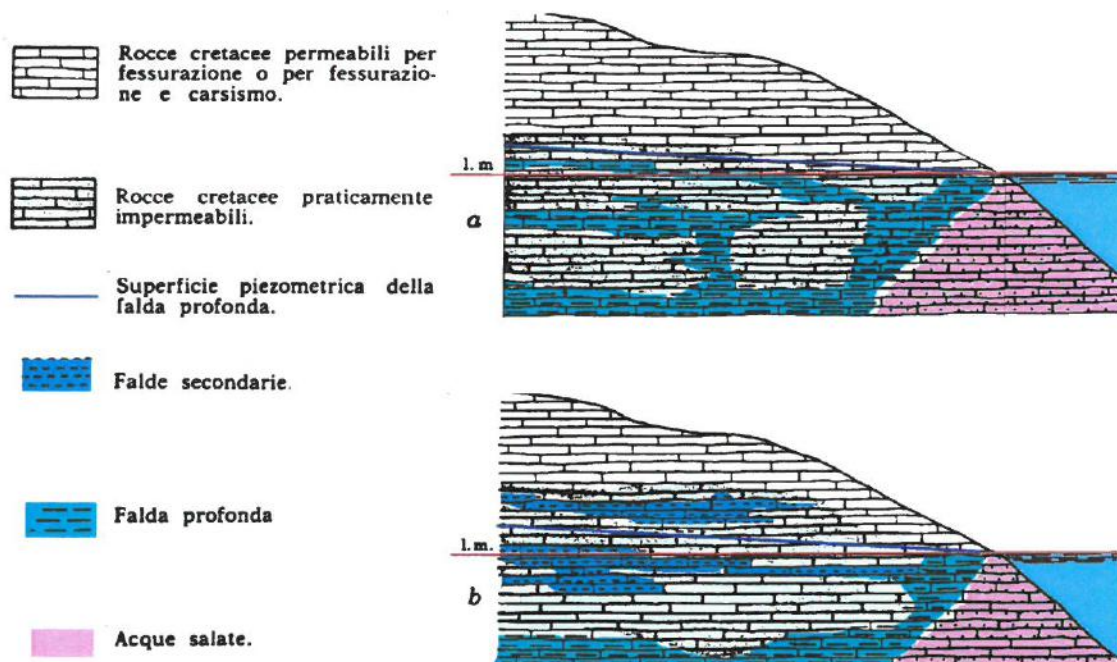
Essa costituisce un vasto e potente serbatoio, sede della falda idrica profonda, in cui si accumulano le acque sotterranee, occupando gli orizzonti più fratturati e carsificati che conferiscono all'ammasso una permeabilità "per carsismo" o "in grande".

L'acquifero murgiano è caratterizzato da una permeabilità d'insieme piuttosto bassa estremamente variabile sia in senso verticale sia orizzontale con valori compresi tra 10^{-2} e 10^{-5} cm/s.

La falda idrica profonda è sostenuta dall'acqua marina di ingressione e la separazione tra i due corpi idrici è costituita da un'interfaccia (zona di transizione) avente uno spessore molto variabile.

La falda di base trae alimentazione dalle precipitazioni meteoriche che cadono diffusamente su tutto il territorio murgiano; la ricarica della stessa avviene attraverso vie preferenziali d'infiltrazione dell'acqua meteorica rappresentate da fratture e forme carsiche (inghiottitoi) che in più punti costellano le aree d'affioramento dei calcari del Cretaceo.

La figura che segue rappresenta la schematizzazione di due situazioni idrologiche tipiche della falda freatica nell'area costiera murgiana.



In essa è evidenziato il rapporto tra le acque marine di ingressione e la falda acquifera profonda (a) e la possibilità, in presenza di livelli litologici impermeabili, di un frazionamento della stessa (b) in più livelli costituenti falde secondarie che in taluni casi possono essere anche in pressione. (Grassi D. et al. - 1973)

Inoltre, Grassi D. ha constatato che non esistono evidenze che tale intrusione si estenda a tutto l'acquifero murgiano e ha rilevato che il fenomeno di galleggiamento della falda acquifera sull'acqua marina di ingressione si manifesta, con certezza, solo per una fascia che si estende per 5 – 7 Km verso l'entroterra.

La permeabilità dei *Calcari di Bari* è dovuta ai fenomeni carsici ed alla fessurazione della roccia carbonatica, mentre i depositi calcarenitici presentano una permeabilità dovuta essenzialmente alla porosità ed, occasionalmente, alla presenza di fessurazioni.

In prossimità della costa le acque sotterranee murgiane circolano, generalmente, in condizioni freatiche all'interno della formazione carbonatica, sia a scala regionale sia nell'ambito del territorio di Molfetta.

6.2 Caratteri idrogeologici locali

L'elaborato G.6 "Carta Idrogeologica", evidenzia il passaggio dell'isofreatica "1" a monte dell'agglomerato industriale mentre nella gran parte dell'area industriale, verso valle, il livello piezometrico della falda idrica si attesta a di poco sopra il livello del mare.

La falda è inclinata verso la linea di costa, dove il suo carico idraulico si annulla e si riversa in mare in forma, generalmente, diffusa.

7. INDAGINI GEOGNOSTICHE E GEOFISICHE

In adempimento all'incarico ed a completamento dello studio geologico e idrogeologico generale è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche sia dirette, consistenti in n. 5 sondaggi meccanici a carotaggio continuo, e sia indirette quali le prospezioni sismiche a rifrazione di superficie in onde P e onde S, una sismica in foro (Down-Hole), e l'esecuzione di n. 2 tomografie elettriche.

I sondaggi a carotaggio continuo presentano il vantaggio di:

- a- ricostruire il profilo stratigrafico, attraverso l'esame dei campioni estratti rappresentativi delle formazioni litologiche attraversate;
- b- prelevare campioni da sottoporre a prove di laboratorio per la determinazione delle proprietà geotecniche del terreno di fondazione;
- c- eseguire prove e misure in sito;
- d- installare strumenti di misura.

Le terebrazioni a carotaggio continuo sono state eseguite dalla Ditta SCARPELLI MARINO di Noicattaro che ha utilizzato una macchina perforatrice a rotazione attrezzata con un carotiere doppio del diametro di 101 mm.

Sotto la supervisione dello scrivente sono stati eseguiti n. 5 sondaggi “a carotaggio continuo” identificati con le sigle S1, S2, S3, S4 ed S5, spinti tutti fino alla profondità di 10 m ad eccezione del sondaggio S3 profondo 15 metri.

Il materiale estratto è stato collocato in cassette catalogatrici ed esaminato dallo scrivente che ha, quindi, redatto le stratigrafie riportate nelle schede allegata (Elaborato D3) che contengono le litologie attraversate durante il sondaggio, la loro descrizione e lo spessore delle formazioni, evidenziando il grado di fratturazione e di alterazione della roccia, e misurando il valore R.Q.D. (Rock Quality Designation).

Dalle cassette catalogatrici sono stati prelevati di n° 15 campioni cilindrici (carote) rimaneggiati per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche della roccia calcarea interessata dallo scavo del canale e sui attestare le fondazioni delle opere edili previste in progetto.

I campioni sono stati consegnati al Laboratorio Tecnologico della TECNOPROVE di Ostuni per essere sagomati e quindi sottoposti alle prove di compressione semplice, oltre alla determinazione del peso di volume e del modulo elastico secante.

I provini di roccia sono stati sottoposti a prove di compressione con dilatazione trasversale libera (prova E.L.L.) per determinare il valore della “resistenza a compressione semplice”.

Nel rapporto di prova n. RC008/16, emesso dalla TECNOPROVE S.r.l. in data 22.09.2016 sono riportati i parametri geomeccanici relativi a tutti i provini che saranno utili nella valutazione della capacità portante ultima dell'ammasso roccioso.

Contemporaneamente ai sondaggi, lungo il tracciato del futuro canale, sono state eseguite indagini geofisiche dalla Giuloco-prospezioni s.a.s. di Matera, incaricata dallo scrivente, tra cui n. 7 basi sismiche “a rifrazione di superficie” in onde P e S, con elaborazione tomografica, n. 1 prova sismica in foro del tipo Down-Hole in onde P e S (dentro un foro attrezzato realizzato in una precedente campagna di indagini) e n. 2 tomografie elettriche (Profili Elettrici Dipolari).

I dati acquisiti nel corso delle indagini geofisiche sono commentati nei successivi paragrafi, mentre il rapporto di prova geofisica completo è contenuto nell'elaborato D3 “Indagini geognostiche, geofisiche e prove di laboratorio”.

Attraverso le indagini si acquisiscono dati utili di tipo geologico-tecnico dell'ammasso roccioso ai fini progettuali, in quanto danno informazioni su:

- a) natura dei terreni presenti nel sottosuolo;
- b) parametri geotecnici del sedime di fondazione;
- c) grado di difficoltà nell'escavazione;

d) categoria sismica del sottosuolo di fondazione.

8. CARATTERISTICHE LITOSTRATIGRAFICHE

Dal materiale estratto durante i sondaggi geognostici, accuratamente sistemato nelle cassette catalogatrici (vedasi la documentazione fotografica allegata) si ricostruisce la sequenza stratigrafica delle formazioni litologiche attraversate.

I cinque sondaggi a carotaggio continuo, ubicati nei punti indicati nell'elaborato G.7 "Planimetria con ubicazione delle indagini", hanno consentito di ricostruire le seguenti stratigrafie:

SONDAGGIO S1

PROFONDITÀ	DESCRIZIONE LITOLOGICA
0 – 0.15	Banchina stradale in cls
0.15 – 1.00	Terreno vegetale scuro
1.00 – 2.00	Ciottoli con sabbia grigia
2.00 – 3.00	Calcere biancastro fratturato con faccia delle fratture alterate
3.00 – 3.50	Marna grigiastra
3.50 – 4.00	Calcere dolomitico
4.00 – 5.00	Calcere bianco compatto
5.00 – 8.00	Calcere biancastro in banchi
8.00 – 9.00	Calcere bianco in strati regolari
9.00 – 10.00	Calcere fratturato con patine di alterazione e terra rossa

SONDAGGIO S2

PROFONDITÀ	DESCRIZIONE LITOLOGICA
0 – 0.50	Terreno vegetale
0.50 – 2.50	Calcere molto fratturato
2.50 – 3.00	Calcere biancastro stratificato
3.00 – 10.00	Calcere bianco compatto in grossi banchi

SONDAGGIO S3

PROFONDITÀ	DESCRIZIONE LITOLOGICA
0 – 0.150	Terreno vegetale scuro misto a ciottoli calcarei
1.50 – 2.50	Calcare compatto
2.50 – 3.00	Calcare biancastro molto fratturato
3.00 – 5.50	Calcare bianco compatto in grossi banchi
5.50 – 6.00	Calcare bianco molto fratturato
6.00 – 7.20	Calcare bianco compatto
7.20 – 14.00	Calcare bianco fratturato
14.00 – 15.00	Calcare bianco compatto in grossi banchi

SONDAGGIO S4

PROFONDITÀ	DESCRIZIONE LITOLOGICA
0 – 1.00	Terreno torboso scuro
1.00 – 3.00	Calcare molto fratturato con livelli di terra rossa
3.00 – 8.50	Calcare biancastro stratificato con livelli più fratturati
8.50 – 9.00	Calcare bianco molto fratturato
9.00 – 10.00	Calcare bianco compatto

SONDAGGIO S5

PROFONDITÀ	DESCRIZIONE LITOLOGICA
0 – 1.00	Misto granulare stabilizzato
1.00 – 2.20	Calcare bianco molto fratturato
2.20 – 8.50	Calcare biancastro stratificato con livelli più fratturati
8.50 – 9.00	Calcare bianco molto fratturato
9.00 – 10.00	Calcare bianco compatto

Di seguito si elencano i sondaggi con sigla, quota di riferimento sul livello del mare, profondità, quota di prelievo dei campioni roccia sottoposti a prove geotecniche di laboratorio:

Sondaggio	Quota (m s.l.m.)	Profondità	Sigla del campione	Profondità prelievo
S1	16	10 m	S1- 4.0	da 4.0 a 4.2 m
			S1- 5.0	da 5.0 a 5.2 m
			S1- 6.5	da 6.5 a 6.7 m
S2	34	10 m	S2- 3.0	da 3.0 a 3.2 m
			S2- 4.0	da 4.0 a 4.2 m
			S2- 4.5	da 4.5 a 4.7 m
S3	45	15 m	S3- 3.5	da 3.5 a 3.6 m
			S3- 3.7	da 3.7 a 3.9 m
			S3- 4.5	da 4.5 a 4.7 m
S4	44	10 m	S4- 4.0	da 4.0 a 4.2 m
			S4- 4.5	da 4.5 a 4.6 m
			S4- 4.6	da 4.6 a 4.8 m
S5	46	10 m	S5- 4.0	da 4.0 a 4.2 m
			S5- 6.4	da 6.5 a 6.7 m
			S5- 8.8	da 8.8 a 9.0 m

9. PROVE DI LABORATORIO

Su 15 campioni di roccia calcarea è stata determinata in laboratorio la resistenza a rottura per compressione uniassiale (E.L.L.) e il peso di volume secco.

Per comodità di lettura, nella tabella seguente si elencano i valori ottenuti, contenuti nel rapporto di prova della TECNOPROVE S.r.l. allegato all'elaborato D3 "Indagini geognostiche, geofisiche e prove di laboratorio".

Sondaggio	Ubicazione dei sondaggi geognostici	Sigla dei campioni	Peso di volume secco (Kg/m ³)	Resistenza a compressione
S1	Attraversamento della S.S. 16	S1- 4.0	2637	1007 Kg/cm ²
		S1- 5.0	2609	1213 Kg/cm ²
		S1- 6.5	2585	1215 Kg/cm ²
S2	Attraversamento della S.S. 16 bis	S2- 3.0	2.638	1104 Kg/cm ²
		S2- 4.0	2.651	1275 Kg/cm ²
		S2- 4.5	2521	974 Kg/cm ²
S3	Attraversamento della S.C. S. Lorenzo (Savanella)	S3- 3.5	2489	1274 Kg/cm ²
		S3- 3.7	2491	1238 Kg/cm ²
		S3- 4.5	2516	1034 Kg/cm ²
S4	A monte della zona ASI nei pressi della LIDLE	S4- 4.0	2569	1244 Kg/cm ²
		S4- 4.5	2633	1101 Kg/cm ²
		S4- 4.6	2538	1100 Kg/cm ²
S5	Attraversamento della vecchia S.P. Molfetta- Corato	S5- 4.0	2597	1068 Kg/cm ²
		S5- 6.4	2646	1156 Kg/cm ²
		S5- 8.8	2560	1189 Kg/cm ²

Su un provino di roccia, individuato con la sigla S2-4.0, oltre alla prova di compressione semplice è stato determinato il modulo elastico secante pari a 79081 N/mm^2 , valore che è indicativo di una roccia molto compatta.

Questi valori si riferiscono al campione di roccia (matrice lapidea) e non all'ammasso roccioso nel suo complesso, che si compone di due elementi fondamentali:

- a) matrice lapidea (campione integro di roccia)
- b) reticolo di discontinuità (fratture e giunti di strato).

Pertanto le proprietà meccaniche dell'ammasso roccioso sono date dalla combinazione delle proprietà della roccia integra e di quelle delle superfici delle fratture e dei giunti di strato.

E' importante quindi conoscere la frequenza spaziale dei giunti e la loro continuità poiché quando la spaziatura dei giunti è molto alta e la persistenza delle superfici (intesa come la lunghezza della traccia della frattura) molto modesta, l'ammasso assume l'identità di un sistema continuo con proprietà assimilabili a quelle della roccia a scala di campione.

Pertanto nei calcoli delle della capacità portante ultima del sedime di fondazione si dovrà tenere conto, in particolare, della frequenza dei giunti rilevata lungo la verticale dei carotaggi.

10. CALCOLO DELLA CAPACITÀ PORTANTE ULTIMA

Per la valutazione della capacità portante ultima del sottosuolo di fondazione delle opere in progetto si utilizzano i valori di compressione semplice ottenuti a cui si applica, ai sensi della nuova normativa antisismica, un **coefficiente parziale** $\gamma_{qu} = 1.6$ (lettera *c* del § 6.2.3.1.2 del citato DM 14.01.2008).

Questi valori, inseriti nelle relazioni più comunemente utilizzate in geotecnica, come l'algoritmo di MANEV e AVRAMOVA-TACHEVA e l'espressione di DAVIS e BOOKER, consentono di determinare, rispettivamente, la coesione dell'ammasso roccioso e la pressione ultima.

Applicando la relazione di MANEV e AVRAMOVA-TACHEVA si determinano i valori della coesione della roccia alla scala dell'ammasso roccioso, tenendo conto della frequenza per metro lineare di roccia.

La relazione è la seguente:

$$c_{\text{ammasso}} = c_l \times (A \times e^{-b \times (f-2)} + B)$$

in cui:

c_l = coesione di laboratorio

$A = 0.114$

$b = 0.48$

$B = 0.02$

f = frequenza delle fratture per metro lineare di roccia.

La frequenza di fratture si ottiene conteggiando i giunti di strato osservabili nel materiale collocato nelle cassette catalogatrici che danno un valore medio $f = 15$ nei carotaggi S1 ed S5 ed un valore medio $f = 12$ nei restanti sondaggi.

La capacità portante dell'ammasso roccioso si calcola applicando l'espressione di DAVIS e BOOKER (1974):

$$q_0 = 2 \times c_{\text{ammasso}} \times \text{tg}^2(45^\circ + \varphi/2)$$

dove:

q_0 = capacità portante ultima della roccia

c_{ammasso} = coesione relativa all'ammasso roccioso.

φ = angolo di attrito interno del materiale di riempimento delle fessure (15°)

Sviluppando i calcoli avremo i valori contenuti nella seguente tabella:

Sondaggio	Ubicazione dei sondaggi geognostici	Frequenza fratture per metro lineare	Sigla dei campioni	Coesione dell'ammasso (Kg/cm ²)	Pressione ultima (Kg/cm ²)
S1	Attraversamento della S.S. 16	15	S1- 4.0	6.36	21.6 Kg/cm ²
			S1- 5.0	7.67	26.0 Kg/cm ²
			S1- 6.5	7.68	26.0 Kg/cm ²
S2	Attraversamento della S.S. 16 bis	12	S2- 3.0	7.22	24.5 Kg/cm ²
			S2- 4.0	8.34	28.3 Kg/cm ²
			S2- 4.5	6.37	21.6 Kg/cm ²
S3	Attraversamento della S.C. S. Lorenzo (Savanella)	12	S3- 3.5	8.34	28.3 Kg/cm ²
			S3- 3.7	8.10	27.5 Kg/cm ²
			S3- 4.5	6.77	22.9 Kg/cm ²
S4	A monte della zona ASI nei pressi della LIDLE	12	S4- 4.0	8.14	27.6 Kg/cm ²
			S4- 4.5	7.20	24.4 Kg/cm ²
			S4- 4.6	7.20	24.4 Kg/cm ²
S5	Attraversamento della vecchia S.P. Molfetta-Corato	15	S5- 4.0	6.75	22.9 Kg/cm ²
			S5- 6.4	7.31	24.8 Kg/cm ²
			S5- 8.8	7.51	25.5 Kg/cm ²

11. CARATTERI SISMICI DELL'AREA

Con l'entrata in vigore del D.M. 14.09.2005 "Norme Tecniche per le Costruzioni" furono recepite le norme tecniche dell'Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003.

Contestualmente al D.M. entrò in vigore il disposto dell'art. 2 comma 2 dell'Ordinanza del P.C.M. n. 3274 del 20.03.2003 per cui in tutti i comuni della Puglia è vigente la nuova classificazione sismica.

La nuova classificazione sismica, approvata dalla Regione Puglia con Deliberazione di Giunta del 02.03.2004 e pubblicata sul BURP n. 33/2004, indica che **il territorio di Molfetta è stato classificato come "zona 3"** e che in precedenza erano state proposte le seguenti classificazioni dal punto di vista sismico:

- **Zona Sismica di IV^a Categoria**, zona non sismica in base alla precedente normativa sismica (Decreti emessi sino al 1984);

- **Zona Sismica di III^a Categoria** secondo la proposta di aggiornamento della classificazione sismica del territorio nazionale formulata nel 1998 dal Gruppo di Lavoro della *Commissione Previsione e Prevenzione dei Grandi Rischi del Dipartimento della Protezione Civile* (Proposta del 1998);

- **Zona 3**, cui corrisponde un'accelerazione orizzontale [a_g/g] con probabilità di superamento pari al 10% in 50 anni ($a_g/g < 0.15$) e un'accelerazione orizzontale di ancoraggio allo spettro di risposta elastico pari ad ($a_g/g = 0.15$), secondo l'OPCM n. 3274 del 20-03-03.

Perciò tutti gli interventi devono essere preceduti da indagini per la classificazione sismica, per la definizione del modello geologico e per la modellazione geotecnica, commisurate all'importanza dell'opera, alla sua estensione e agli effetti che può produrre sull'ambiente circostante.

Le "Norme Tecniche per le Costruzioni" hanno stabilito che per ogni intervento va definita l'azione sismica di progetto valutando l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche del sito, mediante la definizione delle categorie di suolo di fondazione.

Tra i parametri di riferimento per la definizione delle categorie di suolo vi è la V_{s30} corrispondente alla velocità media di propagazione delle onde di taglio nei primi trenta metri di profondità.

12. INDAGINI GEOFISICHE

12.1 GEOSISMICA A RIFRAZIONE DI SUPERFICIE

Per la **modellazione sismica concernente la “pericolosità sismica di base”** dell’area interessata dal progetto sono state eseguite n. 7 prospezioni geosismiche *“a rifrazione di superficie”* lungo il tracciato del canale e in corrispondenza degli attraversamenti stradali.

La base sismica *“a rifrazione di superficie”* fornisce indicazioni sull’andamento della sismostratigrafia del sottosuolo, ricercando le superfici di discontinuità fisica - rifrattori e in particolare quelle superfici che separano porzioni di ammasso “roccioso” o “terroso” con differente grado di densità e compattezza.

La strumentazione che è stata utilizzata è il modello Echo24-2010 della AMBROGEO a 24 canali, mentre i geofoni per il rilievo sismico di superficie (Base), di tipo diverso per le onde P e S, sono rispettivamente a 14 e a 10 Hz.

Le onde di tipo P (longitudinali) sono state generate mediante ripetuti colpi di una mazza battente (da 8 Kg) su di un piattello metallico posto orizzontalmente sul terreno, mentre le onde di tipo S (trasversali) sono state generate mediante l’utilizzo di un dispositivo sperimentale costituito da una struttura in ferro e legno, con facce verticali su cui colpire con la mazza, e con delle alette verticali poste alla base che, infisse per alcuni centimetri nel terreno, trasmettono un impulso di “taglio” al sottosuolo.

La tecnica utilizzata è quella degli scoppi coniugati **A** e **B**, con scoppio centrale **E** e ulteriori due scoppi intermedi **F** e **G** per un totale di **5** punti di scoppio per ciascuna Base.

Per quanto riguarda la geometria adottata, le modalità esecutive, i diagrammi e le sismostratigrafie si rimanda all’elaborato D3 “Indagini geognostiche, geofisiche e prove di laboratorio”, che comprende il rapporto di prova geofisica emesso dalla Giuloco prospezioni s.a.s., mentre di seguito si espongono i risultati ottenuti e le correlazioni stratigrafiche.

Procedendo lungo il tracciato dalla costa verso l’entroterra sono state eseguite ben n. 7 basi sismiche di lunghezza pari a 60 ml, ad eccezione della base sismica B.S.1 lunga 120 metri.

L’interpretazione congiunta delle dromocrone ha fornito i valori delle velocità (in m/s) delle onde P e S ed i valori delle profondità (in m) dei rifrattori (discontinuità fisiche) nei sismostrati lungo i profili in esame, e consentito l’elaborazione delle sezioni sismostratigrafiche che presentano un modello a due strati, ad eccezione della B.S.3 che ha un modello a tre strati.

Le velocità delle onde sismiche nei sismostrati e le profondità delle superfici di rifrazione individuate sono indicate nelle stesse sezioni e riportati nelle tabelle seguenti:

BASE B.S.1	<i>V_p</i> (m/s)	<i>h</i> (m)	<i>V_s</i> (m/s)	BASE B.S.2	<i>V_p</i> (m/s)	<i>h</i> (m)	<i>V_s</i> (m/s)
<i>sismostrato 1</i>	260	1.8	140	<i>sismostrato 1</i>	390	1.7	270
<i>sismostrato 2</i>	3850	-	2150	<i>sismostrato 2</i>	3780	-	1960

BASE B.S.3	<i>V_p</i> (m/s)	<i>h</i> (m)	<i>V_s</i> (m/s)	BASE B.S.4	<i>V_p</i> (m/s)	<i>h</i> (m)	<i>V_s</i> (m/s)
<i>sismostrato 1</i>	190	0.8	100	<i>sismostrato 1</i>	380	1.7	230
<i>sismostrato 2</i>	510	0.8	340	<i>sismostrato 2</i>	2840	-	1870
<i>sismostrato 3</i>	2150	-	1120				

BASE B.S.5	<i>V_p</i> (m/s)	<i>h</i> (m)	<i>V_s</i> (m/s)	BASE B.S.6	<i>V_p</i> (m/s)	<i>h</i> (m)	<i>V_s</i> (m/s)
<i>sismostrato 1</i>	350	1.8	200	<i>sismostrato 1</i>	390	1.6	190
<i>sismostrato 2</i>	2950	-	1920	<i>sismostrato 2</i>	3250	-	2000

BASE B.S.7	<i>V_p</i> (m/s)	<i>h</i> (m)	<i>V_s</i> (m/s)
<i>sismostrato 1</i>	360	2.6	250
<i>sismostrato 2</i>	2250	-	1070

Con i dati geologici acquisiti nel corso del rilevamento delle perforazioni di sondaggio a carotaggio, eseguiti in prossimità dei profili sismici, si ottiene un modello stratigrafico che per le basi sismiche *B.S.1*, *B.S.2*, *B.S.4*, *B.S.5*, *B.S.6* e *B.S.7* può essere riferito alla seguente successione:

- **ammasso superficiale** rappresentato da un ammasso “prevalentemente terroso” correlabile a **terreno di riporto e/o vegetale in alto, a calcareniti poco cementate e/o calcari disarticolati**, alterati con "terre rosse" in basso, poco addensato e compatto, molto eterogeneo;
- **ammasso di base** rappresentato da un ammasso “prevalentemente roccioso”, correlabile a calcari **da poco a mediamente fratturati e carsificati**, con isolate e sottili inclusioni di "terre rosse", molto compatto, eterogeneo lateralmente.

Mentre nell'area dove è stata eseguita la base sismica *B.S.3* il modello stratigrafico può essere riferito alla seguente successione:

- **ammasso superficiale** rappresentato da un ammasso “prevalentemente terroso”, correlabile a **terreno di riporto e/o vegetale, scarsamente addensato**, molto eterogeneo lateralmente;
- **ammasso intermedio** rappresentato da un ammasso “prevalentemente terroso”, correlabile a **calcareniti poco cementate e/o a calcari disarticolati con "terre rosse"**, da poco a mediamente addensato e compatto, molto eterogeneo lateralmente;

- **ammasso di base** rappresentato da un ammasso “prevalentemente roccioso” correlabile a **calcari da mediamente a molto fratturati e carsificati**, con frequenti inclusioni di “terre rosse”, molto addensato e compatto, eterogeneo lateralmente;

Questi due modelli sismostratigrafici sono caratterizzati da un ammasso superficiale costituito da una coltre di spessore variabile da 1.6 a 1.8 m a cui segue un substrato calcareo generalmente poco fratturato, forniscono un’indicazione sulla difficoltà di scavo che si andrà ad effettuare.

Infatti, lo strato superficiale può essere equiparato a scavo comune per cui sarà sufficiente l’utilizzo della pala meccanica, mentre il substrato roccioso sottostante necessita di un escavatore equipaggiato con martellone demolitore idraulico.

12.1.1 PARAMETRI DINAMICI DEL SOTTOSUOLO

Con le indagini sismiche si ottengono elementi geofisici utili a caratterizzare dal punto di vista geotecnico la roccia interessata dall’intervento in progetto, tra cui i parametri dinamici del sottosuolo investigato lungo il tracciato del canale.

I parametri dinamici sono i seguenti:

a - il Coefficiente di Poisson (σ);

b - il Modulo di Young (**E**), espresso in Kg/cm²;

c - il Modulo di Taglio (**G**), espresso in Kg/cm²

d - il Modulo di Incompressibilità (**K**), espresso in Kg/cm²;

e - la Rigidità Sismica **R** (definita come il prodotto fra peso di volume e velocità delle onde S, espressa in t/m³xKm/s, utile per un eventuale calcolo del coefficiente di fondazione ϵ e per la stima del fattore di incremento del coefficiente sismico **c**.

Nella tabella seguente sono riassunti i parametri dinamici calcolati per ciascun sismostrato.

BASE	sismostrato	σ	γ	E	G	K	R
B.S.1	1	0.30	2.00	1000	400	850	0.28
	2	0.27	2.00	240000	94000	177000	4.30
B.S.2	1	0.04	2.00	3100	1500	1100	0.54
	2	0.32	2.00	206000	78000	187000	3.92
B.S.3	1	0.31	2.00	530	200	460	0.20
	2	0.10	2.00	5200	2400	2200	0.68
	3	0.31	2.00	67000	26000	60000	2.24
B.S.4	1	0.21	2.00	2600	1100	1500	0.46
	2	0.12	2.00	159000	71000	69000	3.74
B.S.5	1	0.26	2.00	2100	820	1400	0.40
	2	0.13	2.00	17000	75000	77000	3.84
B.S.6	1	0.34	2.00	2000	740	2100	0.38
	2	0.20	2.00	195000	8200	107000	4.00
B.S.7	1	0.03	2.00	2600	1300	940	0.50
	2	0.35	2.00	63000	23000	72000	2.14

12.1.2 VALORE DELLA VS30

Con le indagini geosismiche si può determinare la Vs30, calcolata così come previsto dalla recente normativa sismica, ed utilizzata come parametro di riferimento per la classificazione dei sottosuoli di fondazione (D.M. 14.1.2008).

Il valore di Vs30 è dato dalla seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

dove:

h_i = spessore medio in m dello strato i -esimo;

V_i = velocità onde S in m/sec dello strato i -esimo.

Sviluppando i calcoli si ottengono i valori elencati nella tabella seguente:

BASE SISMICA	VALORE Vs30 (m/s)
B.S.1	1290
B.S.2	1450
B.S.3	840
B.S.4	1330
B.S.5	1270
B.S.6	1330
B.S.7	830

I valori della V_{s30} sono tutti superiore a 800 m/s per cui il sottosuolo di fondazione delle opere in progetto rientra nella **Categoria A**: *“Ammassi rocciosi affioranti (formazione litoide) caratterizzati da valori della V_{s30} maggiori di 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo di 3 m”*.

12.2. GEOSISMICA IN FORO (Down-Hole)

In prossimità dell’attraversamento del canale sotto la linea ferroviaria è presente un foro di sondaggio eseguito in un’altra campagna di indagini avviata dal Consorzio ASI nel 2013, e siglato S15, opportunamente attrezzato con camicia in PVC da 80 mm e intercapedine cementata e profondo 28 metri.

Questo foro è risultato idoneo all’esecuzione di una prova sismica in foro (Down-Hole) che consiste nel calare una sonda geofonica nel tubo in PVC e registrando ad intervalli di 1m i sismogrammi relativi ai due tipi di onde (P e S).

Correlando le risultanze della prova sismica in foro con quanto ottenuto dalla stratigrafia del sondaggio meccanico a carotaggio continuo eseguito nel 2013 è stato possibile definire un modello sismostratigrafico sintetico del sottosuolo, tenendo conto pertanto sia delle litologie descritte sulla colonnina stratigrafica (vedasi la **Tavola 2.f.1.** del rapporto di prova).

Nella **Tavola 2.f.1.** sono riportati con istogrammi gli andamenti delle velocità “intervallari” con le profondità, per ciascun intervallo di misura, da cui è possibile mettere in correlazione i livelli più (alte velocità) o meno (basse velocità) compatti ed addensati o più o meno saturi d’acqua (solo per le onde P) nell’ambito dello stesso litotipo.

Va evidenziata la presenza di un primo sismostrato (fino a 2 m dal p.c.) caratterizzato da velocità basse sia per le onde P che per le onde S (corpo del rilevato stradale), a cui segue un

secondo sismostrato caratterizzato da velocità delle onde P che aumentano fino a raggiungere circa 1000 m/s, mentre le velocità delle onde S si attestano intorno a 500 m/s.

Alla profondità di circa 6 m si osserva un netto incremento di velocità sia per le onde P che per le onde S; da questa profondità in poi si osservano delle oscillazioni nei valori: valori più bassi di velocità corrispondono a porzioni di ammasso calcareo più fratturato e carsificato, mentre valori più alti sono correlabili a porzioni di ammasso più compatto e meno interessato da elementi tettonici.

Con i valori di velocità delle onde sismiche P e S ottenuti con la prova Down-Hole sono stati determinati i parametri dinamici del sottosuolo investigato lungo la verticale del foro.

12.2.1 PARAMETRO VS30 RICAVALTO CON PROVA DOWN-HOLE

Con l'indagine sismica in foro si determina la Vs30 che è risultato pari a 790 m/s, tuttavia, eliminando dal calcolo i primi 2 m superficiali (Vs pari a 280 m/sec), corrispondenti allo spessore del rilevato stradale, e aggiungendo 2 m in fondo al foro indagato (Vs pari a 1030 m/s), **la Vs30 diventa pari a 930 m/s.**

Pertanto, anche per l'attraversamento ferroviario, il sottosuolo di fondazione rientra nella *Categoria A: "Ammassi rocciosi affioranti (formazione litoide) caratterizzati da valori della Vs30 maggiori di 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo di 3 m".*

12.3. COEFFICIENTE DI REAZIONE Ks

I valori della Vs determinata con le prove sismiche consente determinare il coefficiente di reazione Ks, con una semplice relazione riportata in alcune pubblicazioni scientifiche.

Infatti, in occasione dell'*International Earthquake Symposium Kocaeli*, tenutosi dal 22 al 26 ottobre 2007, fu stato presentato uno studio di Semih Tezcan, Zuhale Ozdemir, Ali Keceli e Aykut Erkal, ricercatori dell'Università di Istanbul, che misero in evidenza l'esistenza di una stretta relazione tra i dati sperimentali della velocità delle onde di taglio Vs ed altri parametri del terreno, quali il rapporto dei vuoti e la rigidità dei suoli, la densità, la permeabilità, la resistenza a compressione laterale libera.

L'espressione per il calcolo del coefficiente di sottofondo Ks è la seguente:

$$K_s = 4 \gamma V_s$$

Fissato un valore del peso di volume dell'ammasso, pari a 22 kN/m³ e prendendo in considerazione la Vs dei sismostrati sottostanti la coltre di terreno e di calcarenite avremo i seguenti valori di Ks:

INDAGINE SISMICA	UBICAZIONE	VALORE DEL COEFFICIENTE Ks
B.S.1	Attraversamento S.S. 16	17,5
B.S.2	Attraversamento S.S. 16 bis	15,9
B.S.3	Lungo la S.Vic. Salmo	9,1
B.S.4	Vicino Via Arte Bianca	15,2
B.S.5	Lungo la S.Vic. S. Lorenzo	15,6
B.S.6	Spalle ASI presso la LIDLE	16,3
B.S.7	Lungo la S.Vic. S. Lorenzo	8,7
DOWN-HOLE	Strada parco divertimenti	8,4

12.4. TOMOFRAFIE ELETTRICHE

A conclusione della campagna geofisica sono state eseguite n. 2 Profili Dipolari (Tomografie elettriche) che consistono nella determinare l'andamento del campo di resistività elettrica del terreno, lungo un profilo, ed in particolare delle anomalie dello stesso campo.

Dall'andamento di dette anomalie si possono ricavare utili indicazioni circa la presenza nel sottosuolo di eventuali corpi con caratteristiche differenti rispetto all'ammasso di terreno circostante, vuoti ed altri elementi.

I due Profili Dipolari sono stati eseguiti sia con configurazione elettroica tipo *Wenner* e sia con *Dipolo-Dipolo assiale*, disposti lungo le direttrici indicate nell'elaborato G. 7 "Planimetria Ubicazione Indagini", investigando una profondità massima di 20 metri

L'elaborazione dei dati di resistività apparente produce pseudosezioni verticale e per inversione infine sezioni di resistività reale (per ciascuna configurazione elettroica adottata).

Sulla scorta di dati geologici e dei risultati ottenuti attraverso i sondaggi meccanici a carotaggio eseguiti nell'area è possibile effettuare delle correlazioni fra gli andamenti del campo di resistività misurato e:

- la stratigrafia del sito;
- le porzioni più o meno "terrose" o "rocciose" dell'ammasso;
- il grado di omogeneità laterale dell'ammasso stesso;
- la presenza di porzioni più o meno sature d'acqua;
- la presenza di vuoti e di manufatti sepolti.

Dall'analisi delle **Tomografie Elettriche T.E.1 e T.E.2** (vedi *Tavole 3.b.1 e 3.b. 2 – parte superiore*) eseguite sia con configurazione elettroica "Wenner" che con configurazione elettroica "Dipolo-Dipolo Assiale", si evidenzia un andamento della

resistività molto eterogeneo (sia verticalmente che lateralmente), lungo le sezioni, sia in superficie sia in profondità.

In particolare nelle due sezioni abbiamo:

- a) porzioni di colore blu, molto conduttive, possono essere riferite a una copertura di "terre rosse" argilloso-sabbiose con elementi lapidei diffusi;
- b) porzioni estese ma sottili di colore ciano, poco resistive, possono essere riferite alla copertura calcareo-arenacea poco cementata e fratturata;
- c) le porzioni di colore verde e giallo, mediamente resistive, possono essere correlabili al substrato calcareo mediamente fratturato e carsificato;
- d) le porzioni profonde di colore rosso, da mediamente a molto resistive, possono essere riferite al substrato calcareo poco fratturato e carsificato.

Nel profilo dipolare più vicino alla costa si osserva una significativa riduzione di resistività nella parte più profonda (a partire da circa 10 m dal piano campagna) correlabile alla presenza dell'acqua di falda marina.

Ad ogni modo in entrambe le sezioni geoelettriche esplorate non sono state rilevate anomalie di resistività tali da far supporre la presenza di vuoti di dimensioni significative.

13. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE

La presente relazione geologica riporta i risultati emersi a seguito di uno studio geologico, idrogeologico, geotecnico e geofisico, e l'esecuzione di sondaggi meccanici ed indagini geofisiche effettuato per incarico del CONSORZIO PER L'AREA DI SVILUPPO INDUSTRIALE DI BARI nell'ambito del Progetto Definitivo relativo a *"INTERVENTI DI SALVAGUARDIA IDRAULICA DELLA ZONA ASI DI MOLFETTA (CANALE OVEST)"*.

L'intervento di salvaguardia idraulica dell'ASI di Molfetta, mira a ridurre il rischio allagamento dell'agglomerato industriale realizzando un canale deviatore scavato a monte della zona industriale in grado di intercettare le acque di dilavamento superficiali che si incanalano nei corsi d'acqua provenienti dall'entroterra.

Il canale deviatore avrà origine a monte dell'agglomerato ASI, in corrispondenza della Via Vecchia per Corato, e proseguirà seguendo il perimetro ovest della zona industriale, e dopo aver superato con degli attraversamenti la S.S. 16 bis, la linea ferroviaria Adriatica e la S.S. 16, sfocerà a mare a breve distanza dalla località Torre Calderino.

Il territorio interessato dall'intervento di salvaguardia idraulica corrisponde alla vasta area costiera situata a nord-ovest della Città di Molfetta, e confinante a ovest con il limite

amministrativo di Bisceglie, a nord con la linea ferroviaria adriatica delle FF.SS., a est dalla S.P. Molfetta-Corato e a sud dalla S.C. Casale.

L'area in esame è caratterizzata dalla presenza di un substrato di rocce carbonatiche di età mesozoica riferibili all'unità litostratigrafica dei *Calcari di Bari* su cui si rinvencono, in prossimità della costa, lembi di rocce calcarenitiche del Pleistocene.

Insieme allo studio geologico e idrogeologico generale è stata eseguita una campagna di indagini geognostiche dirette, consistenti in n. 5 sondaggi meccanici a carotaggio continuo, e prospezioni geofisiche.

I sondaggi "a carotaggio continuo" identificati con le sigle S1, S2, S3, S4 ed S5, sono stati spinti fino alla profondità di 10 m ad eccezione del sondaggio S3 profondo 15 metri.

Dalle cassette catalogatrici sono stati prelevati di n° 15 campioni cilindrici per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche della roccia calcarea interessata dallo scavo del canale e sui attestare le fondazioni delle opere edili previste in progetto.

Sui campioni sono state eseguite in laboratorio prove di compressione semplice, la determinazione del peso di volume e del modulo elastico secante.

Per la valutazione della capacità portante ultima del sottosuolo di fondazione delle opere in progetto si utilizzano i valori di compressione semplice ottenuti a cui si applica, ai sensi della nuova normativa antisismica, un **coefficiente parziale** $\gamma_{qu} = 1.6$ (lettera *c* del § 6.2.3.1.2 del citato DM 14.01.2008).

Questi valori, inseriti nelle relazioni più comunemente utilizzate in geotecnica, come l'algoritmo di MANEV e AVRAMOVA-TACHEVA e l'espressione di DAVIS e BOOKER, consentono di determinare, rispettivamente, la coesione dell'ammasso roccioso e la pressione ultima.

Applicando la relazione di MANEV e AVRAMOVA-TACHEVA si determinano i valori della coesione della roccia alla scala dell'ammasso roccioso, mentre la capacità portante dell'ammasso roccioso è stata calcolata applicando l'espressione di DAVIS e BOOKER (1974):

Sviluppando i calcoli avremo i valori contenuti nella seguente tabella:

Sondaggio	Ubicazione dei sondaggi geognostici	Frequenza fratture per metro lineare	Sigla dei campioni	Coesione dell'ammasso (Kg/cm ²)	Pressione ultima (Kg/cm ²)
S1	Attraversamento della S.S. 16	15	S1- 4.0	6.36	21.6
			S1- 5.0	7.67	26.0
			S1- 6.5	7.68	26.0
S2	Attraversamento della S.S. 16 bis	12	S2- 3.0	7.22	24.5
			S2- 4.0	8.34	28.3
			S2- 4.5	6.37	21.6
S3	Attraversamento della S.C. S. Lorenzo (Savanella)	12	S3- 3.5	8.34	28.3
			S3- 3.7	8.10	27.5
			S3- 4.5	6.77	22.9
S4	A monte della zona ASI nei pressi della LIDLE	12	S4- 4.0	8.14	27.6
			S4- 4.5	7.20	24.4
			S4- 4.6	7.20	24.4
S5	Attraversamento della vecchia S.P. Molfetta-Corato	15	S5- 4.0	6.75	22.9
			S5- 6.5	7.31	24.8
			S5- 8.8	7.51	25.5

Lungo il tracciato del futuro canale di salvaguardia idraulica, oltre ai sondaggi, la Giuloco-prospezioni s.a.s. di Matera, incaricata dallo scrivente, ha eseguito indagini geofisiche tra cui n. 7 basi sismiche "a rifrazione di superficie" in onde P e S, con elaborazione tomografica, n. 1 prova sismica in foro del tipo Down-Hole in onde P e S (dentro un foro attrezzato realizzato in una precedente campagna di indagini) e n. 2 tomografie elettriche (Profili Elettrici Dipolari).

Per quanto riguarda la geometria adottata, le modalità esecutive, i diagrammi e le sismostratigrafie si rimanda all'elaborato D3 "Indagini geognostiche, geofisiche e prove di laboratorio", che comprende il rapporto di prova geofisica emesso dalla Giuloco prospezioni s.a.s., le stratigrafie di sondaggio e le prove di laboratorio.

Con i dati geologici acquisiti nel corso del rilevamento delle perforazioni di sondaggio a carotaggio, eseguiti in prossimità dei profili sismici, si ottiene un modello stratigrafico che per le basi sismiche *B.S.1*, *B.S.2*, *B.S.4*, *B.S.5*, *B.S.6* e *B.S.7* può essere riferito alla seguente successione:

- **ammasso superficiale** rappresentato da un ammasso "prevalentemente terroso" correlabile a **terreno di riporto e/o vegetale in alto, a calcareniti poco cementate e/o calcari disarticolati**, alterati con "terre rosse" in basso, poco addensato e compatto, molto eterogeneo;

- **ammasso di base** rappresentato da un ammasso “prevalentemente roccioso”, correlabile a calcari **da poco a mediamente fratturati e carsificati**, con isolate e sottili inclusioni di "terre rosse", molto compatto, eterogeneo lateralmente.

Mentre nell'area dove è stata eseguita la base sismica B.S.3 il modello stratigrafico può essere riferito alla seguente successione:

- **ammasso superficiale** rappresentato da un ammasso “prevalentemente terroso”, correlabile a **terreno di riporto e/o vegetale, scarsamente addensato**, molto eterogeneo lateralmente;

- **ammasso intermedio** rappresentato da un ammasso “prevalentemente terroso”, correlabile a **calcareniti poco cementate e/o a calcari disarticolati con "terre rosse"**, da poco a mediamente addensato e compatto, molto eterogeneo lateralmente;

- **ammasso di base** rappresentato da un ammasso “prevalentemente roccioso” correlabile a **calcari da mediamente a molto fratturati e carsificati**, con frequenti inclusioni di "terre rosse", molto addensato e compatto, eterogeneo lateralmente;

Questi due modelli sismostratigrafici indicano un ammasso superficiale costituito da una coltre di spessore variabile da 1.6 a 1.8 m a cui segue un substrato calcareo generalmente poco fratturato, forniscono un'indicazione sulla difficoltà di scavo che si andrà ad effettuare.

Infatti, lo strato superficiale può essere equiparato a scavo comune per cui sarà sufficiente l'utilizzo della pala meccanica, mentre il substrato roccioso sottostante necessita di un escavatore equipaggiato con martellone demolitore idraulico.

Con le indagini geosismiche è stata determinata la Vs30, calcolata così come previsto dalla recente normativa sismica, ed utilizzata come parametro di riferimento per la classificazione dei sottosuoli di fondazione (D.M. 14.01.2008).

Il valore di Vs30 è dato dalla seguente espressione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_i}}$$

Sviluppando i calcoli si ottengono i valori elencati nella tabella seguente:

BASE SISMICA	VALORE Vs30 (m/s)
B.S.1	1290
B.S.2	1450
B.S.3	840
B.S.4	1330
B.S.5	1270
B.S.6	1330
B.S.7	830

In prossimità del punto in cui si effettuerà l'attraversamento della linea ferroviaria è presente un foro di sondaggio eseguito in un'altra campagna di indagini avviata dal Consorzio ASI nel 2013, e siglato S15, opportunamente attrezzato con camicia in PVC da 80 mm e intercapedine cementata e profondo 28 metri.

Questo foro è risultato idoneo all'esecuzione di una prova sismica in foro (Down-Hole) che consiste nel calare una sonda geofonica nel tubo in PVC e registrando ad intervalli di 1m i sismogrammi relativi ai due tipi di onde (P e S).

La Vs30 ottenuta è risultata pari a 790 m/s, tuttavia, eliminando dal calcolo i primi 2 m superficiali, corrispondenti allo spessore del rilevato stradale, e aggiungendo 2 m in fondo al foro indagato, **la Vs30 diventa pari a 930 m/s.**

Pertanto il sottosuolo di fondazione rientra nella **Categoria A: "Ammassi rocciosi affioranti (formazione litoide) caratterizzati da valori della Vs30 maggiori di 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo di 3 m".**

Con la Vs ottenuta attraverso le prove sismiche si può determinare il coefficiente di reazione Ks, con la semplice relazione:

$$K_s = 4 \gamma V_s$$

Fissato un valore del peso di volume dell'ammasso, pari a 22 KN/m³ e prendendo in considerazione la Vs dei sismostrati sottostanti la coltre di terreno e di calcarenite avremo i seguenti valori di Ks:

INDAGINE SISMICA	UBICAZIONE	VALORE DEL COEFFICIENTE Ks
B.S.1	Attraversamento S.S. 16	17,5
B.S.2	Attraversamento S.S. 16 bis	15,9
B.S.3	Lungo la S.Vic. Salmo	9,1
B.S.4	Vicino Via Arte Bianca	15,2
B.S.5	Lungo la S.Vic. S. Lorenzo	15,6
B.S.6	Spalle ASI presso la LIDLE	16,3
B.S.7	Lungo la S.Vic. S. Lorenzo	8,7
DOWN-HOLE	Strada parco divertimenti	8,4

A conclusione della campagna geofisica sono state eseguite n. 2 Profili Dipolari (Tomografie elettriche) che consistono nella determinare l'andamento del campo di resistività elettrica del terreno, lungo un profilo, ed in particolare delle anomalie dello stesso campo.

Dall'analisi delle **Tomografie Elettriche T.E.1 e T.E.2**, eseguite sia con configurazione elettrodica "Wenner" che con configurazione elettrodica "Dipolo-Dipolo Assiale", si evidenzia un andamento della resistività molto eterogeneo (sia verticalmente che lateralmente), lungo le sezioni, sia in superficie sia in profondità.

In particolare nelle due sezioni abbiamo:

a) porzioni di colore blu, molto conduttive, possono essere riferite a una copertura di "terre rosse" argilloso-sabbiose con elementi lapidei diffusi;

b) porzioni estese ma sottili di colore ciano, poco resistive, possono essere riferite alla copertura calcareo-arenacea poco cementata e fratturata;

c) le porzioni di colore verde e giallo, mediamente resistive, possono essere correlabili al substrato calcareo mediamente fratturato e carsificato;

d) le porzioni profonde di colore rosso, da mediamente a molto resistive, possono essere riferite al substrato calcareo poco fratturato e carsificato.

Nel profilo dipolare più vicino alla costa si osserva una significativa riduzione di resistività nella parte più profonda (a partire da circa 10 m dal piano campagna) correlabile alla presenza dell'acqua di falda marina.

Ad ogni modo in entrambe le sezioni geoelettriche esplorate non sono state rilevate anomalie di resistività tali da far supporre la presenza di vuoti di dimensioni significative.

Ottobre 2016

Il tecnico incaricato

