

## **SOMMARIO**

<b>1. PREMESSA</b>	<b>1</b>
<b>2. UBICAZIONE SITO</b>	<b>3</b>
<b>3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRATIGRAFIA</b>	<b>7</b>
<b>4. GEOMORFOLOGIA E TETTONICA</b>	<b>11</b>
<b>5. IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA</b>	<b>12</b>
<b>6. PROSPEZIONE GEOELETTRICA</b>	<b>15</b>
<b>6.1. ANALISI DEI RISULTATI</b>	<b>18</b>
Sondaggio Geoelettrico Dipolo-Dipolo “G1”	18
Sondaggio Geoelettrico Dipolo-Dipolo “G2”	20
<b>6.2. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE DELLA PROSPEZIONE GEOELETTRICA</b>	<b>22</b>
<b>7. PROSPEZIONE DI SISMICA A RIFRAZIONE</b>	<b>23</b>
Sondaggio Sismico “S1” Area NNE	24
Sondaggio Sismico “S2” Area SSW	25
<b>7.1. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE DELLA PROSPEZIONE DI SISMICA A RIFRAZIONE</b>	<b>26</b>
<b>8. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI</b>	<b>27</b>
<b>9. CARATTERISTICHE TECNICHE DEI TERRENI</b>	<b>28</b>
<b>9.1. Metodo Bieniawski</b>	<b>30</b>
<b>9.2. Classificazione geomeccanica della calcarenite</b>	<b>31</b>
<b>9.3. Classificazione geomeccanica del calcare</b>	<b>33</b>
<b>10. TIPOLOGIA FONDAZIONI E CAPACITA’ PORTANTE DEI TERRENI</b>	<b>35</b>
<b>10.1. Capacità portante della calcarenite</b>	<b>36</b>
<b>10.2. Capacità portante del calcare</b>	<b>37</b>
<b>11. CONCLUSIONI</b>	<b>38</b>

## **1. PREMESSA**

Il seguente lavoro è stato svolto su incarico conferitomi dalla ***Sig.ra Francesca Paola Aversa, residente al n.° 43 della Contrada "Stomazzelli" in Monopoli (Bari)*** e dal ***Sig.re Ignazio Grattagliano residente al n.° 4 di Via F.lli Bandiera in Monopoli (Bari)***; in qualità di soggetti *proponenti* il ***Piano Urbanistico Edilizio denominato "Le tre Grazie" per intervento urbanistico preventivo (art. 3.03 PUG/S) con accorpamento di n.° 2 aree (NNE + SSW) soggette a contesti per servizi di nuovo impianto (art. 27.06 - 27.07 - 27.08 PUG/P).***

La presente ***"Relazione"***, effettuata in ottemperanza al ***D.M. n.° 47 del 11.03.1988 punti B.4 e B.5, del D.M. 14/01/2008 e dell'art. 89 del D.P.R. n.° 380 del 06-06-2001***, ha come obiettivo la ***caratterizzazione geologica, geotecnica e geomorfologica*** delle aree di futura edificazione. Essa deve comprendere ed illustrare la localizzazione delle aree interessate, descrive la litostratigrafia, l'idrologia superficiale, l'idrogeologia sotterranea, la natura e origine delle formazioni geologiche affioranti nelle aree di studio, la geomorfologia e l'andamento strutturale delle rocce in sito, i criteri di programmazione ed i risultati delle indagini in sito e di laboratorio e le tecniche adottate, nonché la scelta dei parametri geotecnici di progetto, riferiti alle caratteristiche delle costruende opere. Tale caratterizzazione è stata ottenuta da un rilevamento geologico di superficie e dall'interpretazione di indagini geofisiche.

Le indagini geofisiche si sono articolate in ***Sondaggi Geoelettrici Dipolo-Dipolo ed in Sondaggi di Sismica a Rifrazione***, da cui sono scaturite delle pseudosezioni di resistività apparente misurata e delle sezioni delle velocità; rimandando l'esecuzione di più accurate indagini geologiche, lungo l'area d'impronta degli edifici, alla successiva fase esecutiva

La ***caratterizzazione geotecnica*** dei terreni di fondazione è stata ottenuta dall'analisi dei ***sondaggi di sismica a rifrazione*** che hanno consentito di

individuare la *profondità del Bedrock*, i valori del *Coefficiente di Poisson P* ed i *moduli dinamici E (di Young)* espressi in  $\text{Kg/cm}^2$ .

Il *Piano di Bacino, Stralcio Assetto Idrogeologico, dell’Autorità di Bacino della Puglia* non individua nelle aree d’intervento alcun vincolo; mentre il *Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia* le annovera tra le “*Aree interessate da contaminazione salina*”.

## **2. UBICAZIONE SITO**

Le zone di studio sono ubicate nel settore Ovest del centro urbano di Monopoli (Bari). Topograficamente le aree ricadono nella Tavoletta I N.O. “Monopoli” del Foglio 190, edito dall’I.G.M.

*Geograficamente le aree risultano essere così individuate:*

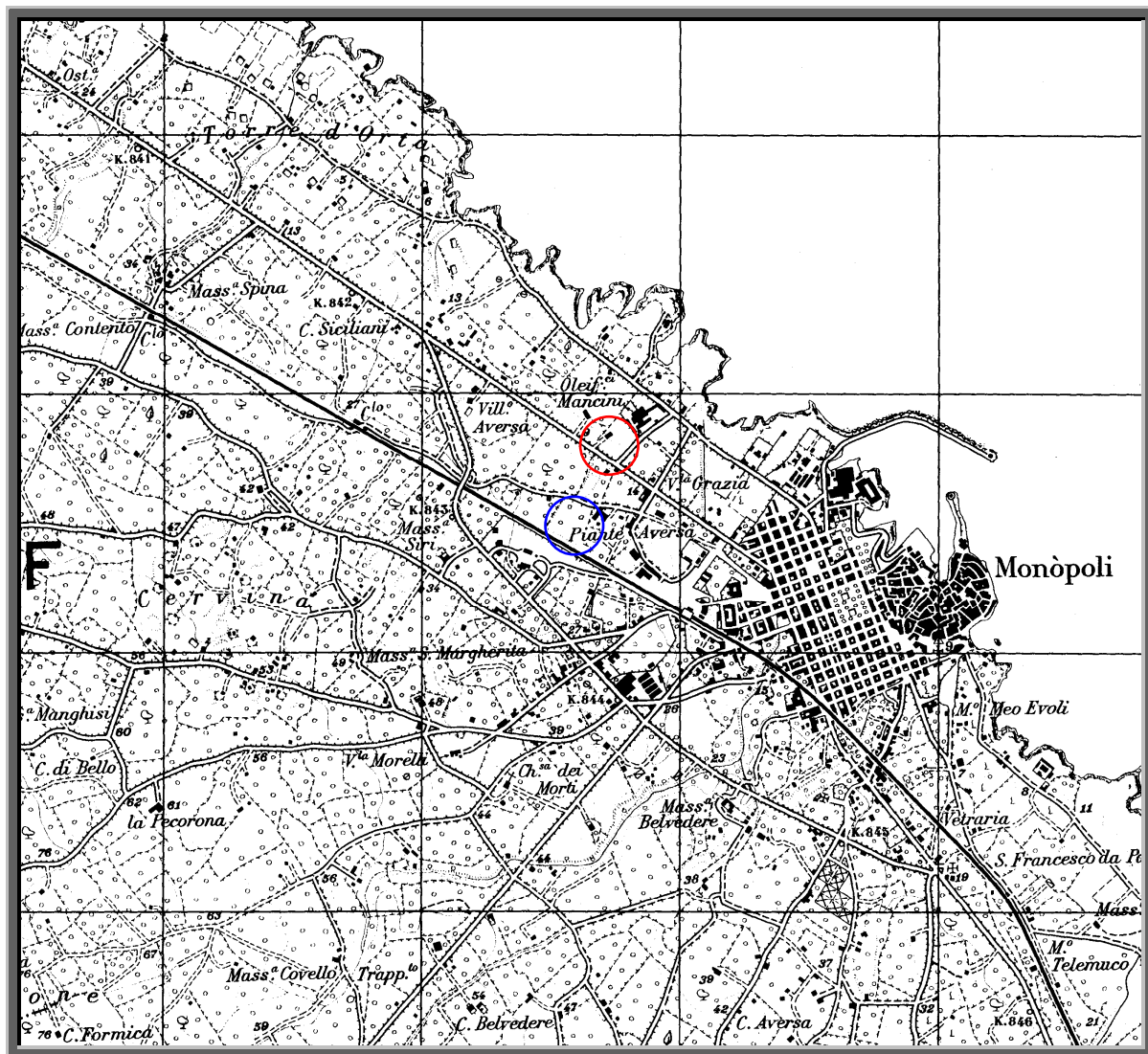
- *Area NNE ubicata fra Via Ippolito Nievo e Via Vittorio Veneto, quota 10,00 s.l.m., coordinate WGS84 40°,9579 di Latitudine Nord e 17°,2896 di Longitudine Est;*
- *Area SSW ubicata lungo Via Vecchia S. Antonio, quota 20,00 s.l.m., coordinate WGS84 40°,9553 di Latitudine Nord e 17°,2874 di Longitudine Est.*

*Catastralmente le aree risultano essere così identificate:*

- *Area NNE Foglio 11 Particella 2751;*
- *Area SSW Foglio 10 Particella 1229.*

*Stralcio Foglio 190 I N.O. I.G.M. "Monopoli"*

*- Scala 1:25.000 -*



*Area NNE*



*Area SSW*

***Area NNE- Stralcio Catastale Comune di Monopoli***

***Foglio 11 Particella 2751***

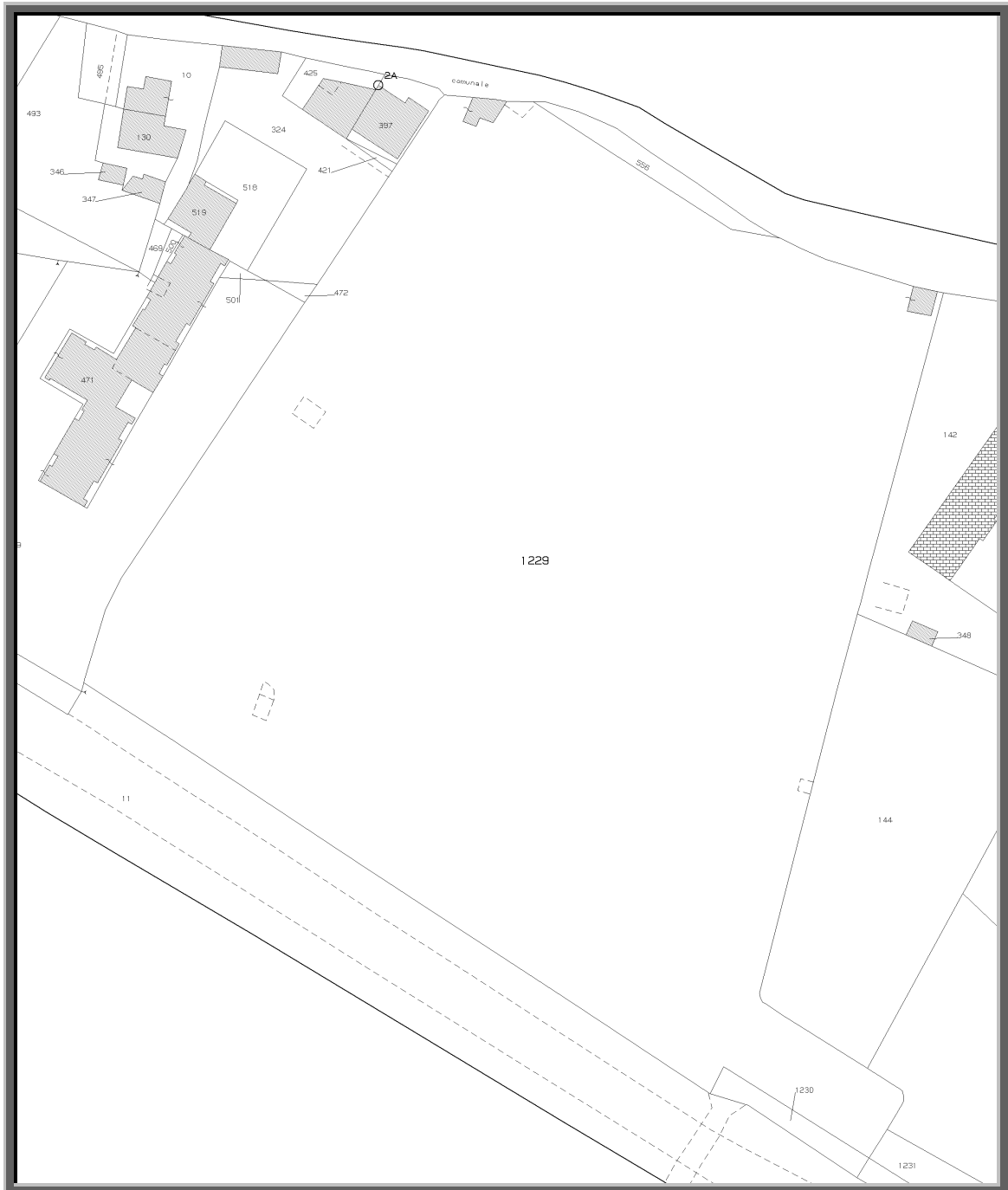
***- Scala 1:1.000 -***



***Area SSW - Stralcio Catastale Comune di Monopoli***

***Foglio 10 Particella 1229***

***- Scala 1:2.000 -***



### **3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO E STRATIGRAFIA**

Le aree oggetto di studio presentano i tipici caratteri morfologici della fascia costiera del sud barese, con rilievi blandi ed un'estesa copertura di suoli residuali rossastri.

Al fine di ottenere informazioni sulla geologia locale si sono effettuate delle indagini indirette in sito consistenti in *Sondaggi di Tomografia Elettrica Dipolo-Dipolo* ed in *Sondaggi di Sismica a Rifrazione*. Tali indagini hanno consentito di ricostruire la stratigrafia delle aree in esame.

L'area NNE è caratterizzata dalla presenza della formazione delle “*Calcareniti di Gravina*” (identificate anche col nominativo di “*Tufi delle Murge*”) ricoperta da terreni residuali “*Terre Rosse*”, che raggiungono spessori anche superiori al metro, ed in profondità si ha il passaggio alla formazione del “*Calccare di Bari*”.

L'area SSW, invece, è caratterizzata dalla presenza della formazione del “*Calccare di Bari*” ricoperta da terreni residuali “*Terre Rosse*”.

Queste rocce calcaree rappresentano il substrato del territorio murgiano e di norma gli strati sono poco esposti per la configurazione quasi pianeggiante, per le estese coperture di terreno agrario, depositi del quaternario e per gli interventi antropici.

La permeabilità delle rocce calcaree risulta legata agli effetti del carsismo (ricollegabili alle oscillazioni glacio-eustatiche del livello marino) ed alla loro fratturazione, piuttosto che alla litologia.

L'infiltrazione delle acque tramite le forme carsiche sotterranee, ad andamento sia verticale che orizzontale, permettono il collegamento di corpi idrici distinti, separati da depositi calcarei più compatti, e quindi una generale vulnerabilità dell'acquifero sotterraneo. Il sistema di fatturazione, che interessa la formazione calcarea, è assimilabile ad un sistema di piani subverticali che intersecando le superfici di strato la dividono in vari blocchi e vanno a rappresentare delle linee preferenziali di infiltrazione delle acque in profondità



Nelle aree in esame le rocce calcaree presentano le caratteristiche generali sopra descritte; infatti, esse appaiono interessate da fratture subverticali che intersecano i piani di stratificazione riducendole a tanti irregolari blocchi separati da livelli ed inclusioni di terre rosse.

Litologicamente le rocce calcaree sono costituite da calcareniti, calcilutiti, e dolomie calcaree ben diagenizzate. Tali litofacies sono costituite, in genere, da micriti con plaghe di calcite spatica; sono presenti peloidi e cristalli romboedrici dolomitici.

Nelle calcareniti non si individua una ben definita stratificazione, mentre nella formazione calcarea lo spessore degli strati varia da 10 a 30 cm, con inclinazioni non superiori ai 10°. Il colore della roccia calcarenitica risulta essere nocciola mentre la roccia calcarea varia dal biancastro al grigio chiaro.

Sul substrato carbonatico sono presenti le terre rosse di colore giallastro-rossastro e rosso bruno, che riempiono, di solito, le fratture e i piani di stratificazione nei primi metri. In alcuni punti della parte sommitale si nota come le acque di ruscellamento superficiale abbiano eroso la roccia per poi depositare i materiali colluviali ed eluviali (*"Terre Rosse"*) che si trovano sul fondo delle doline e delle depressioni presenti un po' ovunque. Tali sedimenti poggiano su una superficie carsica ben conservata, con irregolarità e cavità di dissoluzione riempite da terra rossa.

I suddetti depositi continentali rappresentano il prodotto insolubile dell'azione delle acque sulle rocce calcaree. Essi sono costituiti da argille e limi argillosi sterili di colore rosso vivo e rosso bruno con stato d'aggregazione talora grumoso. L'età di tali depositi continentali non è determinabile per l'assenza di fossili; tuttavia possono essere riferiti, per via relativa, ad una fase sedimentaria posteriore alla sedimentazione dei sottostanti depositi marini.

# L E G E N D A

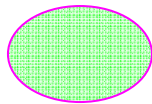
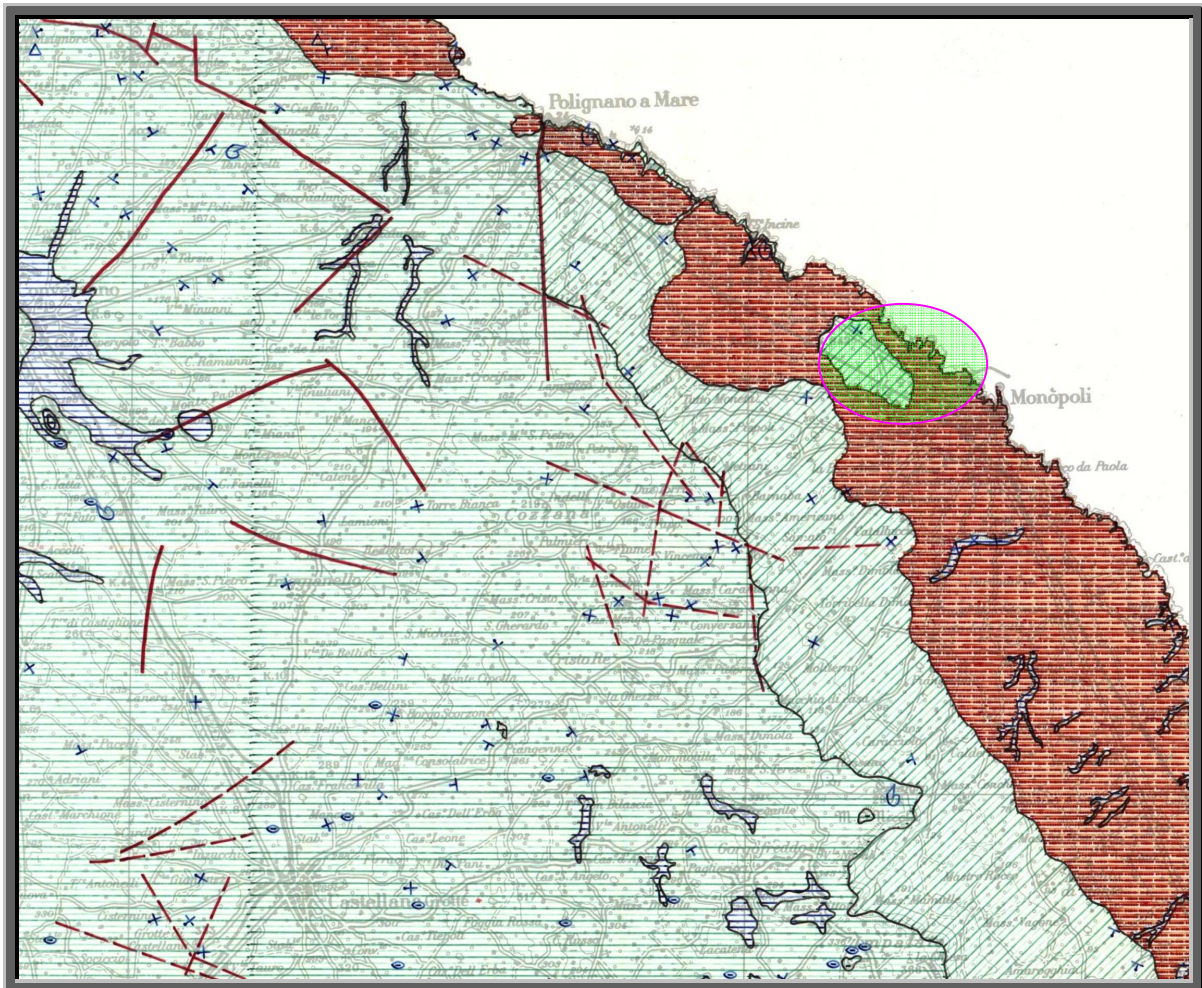
	discariche di cava e non		calcareniti tenaci a grana fine e media
	ghiaie, sabbie e limi degli alvei attuali		Talcareniti tenaci a grana media-grossolana
	ghiaie poligeniche, sabbie e limi		calcareniti con intercalazioni sabbiose e argillose
	terre rosse bauxitiche e bauxiti		arenarie quarzose con intercalazioni pelitiche
	terre argillose con pezzame e ciottoli calcarei		arenarie quarzose-feldspatiche massicce o in banchi
	detriti calcarei cementati e non		arenarie quarzose-feldspatiche con intercalazioni pelitiche
	conglomerati poligenici con lenti e livelli sabbiosi		alternanze calcareo-marnoso-argillose
	sabbie, limi e argille (palustri o alluvionali)		marne argillose con intercalazioni arenacee/calcaree
	sabbie prevalentemente calcaree		gessi con intercalazioni anidritiche, calcaree, argillose
	sabbie prevalentemente silico-clastiche		argille varicolori
	limi e argille		rocce eruttive e metamorfiche
	calcarei massicci		zone di intensa fratturazione
	calcarei in banchi e in strati (spessore >40 cm)		frane
	calcarei in strati medi e sottili		coni di deflazione
	calcarei con selce massicci		invaso
	calcarei con selce stratificati		deposito di colmata su area geologica 7
	dolomie e calcarei massicci dolomitici		sabbie calcaree con intercalazioni limose
	dolomie e calcarei dolomitici stratificati		calcareniti tenaci a grana media-grossolana, decine di m
	calcarei, calcarei dolomitici e dolomie stratificati		palude
	calcareniti tenere a grana fine e media		argille marnose-siltose
	calcareniti tenere a grana media-grossolana		biocalcareni e biomicriti

+	strati orizzontali <5	o	doline caratteristiche
+	strati poco inclinati <15	□	inghiottitoi
+	strati mediamente inclinati <30	♂	presenza di macrofossili
-	strati molto inclinati <60	⊗	sorgenti molto importanti
+	strati verticali >60	*	pozzi trivellati per acqua
+	strati rovesciati	+	pozzi per idrocarburi produttivi
Δ	grotte e caverne		

—	limiti litologici certi	—	faglie certe
- - -	limiti litologici incerti	- - -	faglie incerte
—◇—◇—	assi anticlinali simmetrici e non		terrazzo
—X—X—	assi sinclinali simmetrici e non		

***Stralcio Carta Geolitologica***

***- Scala 1:100.000 -***



***Area di studio***

#### **4. GEOMORFOLOGIA E TETTONICA**

Se osserviamo lo stralcio aerofotogrammetrico (*vedi Carta Idrografia Superficiale area di studio - Scala 1:5.000, che segue*) e le quote su di esso riportate, si nota come le aree oggetto di studio siano sub-pianeggianti con una leggera pendenza verso la linea di costa.

Su tale assetto morfologico si sono innescati fenomeni carsici ben evidenziati da depressioni scavate nella formazione calcarenitica, che hanno dato origine a delle “*Gravine*” rendendo il paesaggio accidentato. Esempi evidenti dell’azione erosiva delle acque sulla formazione della “*Calcarenite di Gravina*”, si osservano a Nord-Ovest e a Sud-Est delle aree di studio, dove si individuano delle “*Lame*” che costituiscono le linee di deflusso preferenziale per le acque meteoriche verso il mare.

L’intero territorio, infatti, presenta un paesaggio carsico caratterizzato da forme anomale rispetto ai paesaggi fluviali. Queste forme sono legate alla solubilità e degradabilità della calcarenite da parte delle acque naturali che tendono a penetrare all’interno delle masse rocciose allargando le linee di deflusso delle acque superficiali, con la formazione delle suddette “*Gravine*” e “*Lame*”.

I processi carsici individuabili maggiormente nei terreni pleistocenici hanno avuto inizio in seguito all’erosione delle coperture terrigene e si sono sviluppati sui terreni carbonatici denudati e per la concomitanza di alcuni fattori quali l’intensa fratturazione delle rocce e le condizioni orografiche dell’area. Attualmente, i processi carsici, sono ancora attivi.



## 5. IDROGRAFIA ED IDROGEOLOGIA

Le rocce che affiorano nel territorio pugliese sono in gran prevalenza carbonatiche con una notevole diffusione del carsismo, i cui effetti principali si identificano con la mancanza di corsi d’acqua superficiali e notevole sviluppo della idrogeologia sotterranea.

Le successioni calcareo-dolomitiche riconosciute risultano essersi formate in un ambiente di sedimentazione assai tipico, caratterizzato da estesi bassifondi cui è stato dato il nome di “*Piattaforma Carbonatica Apula*” (D’Argenio, 1970).

Tale piattaforma digrada verso S-W, dove è ricoperta da depositi clastici sabbiosi e ancor più argillosi di età plio-pleistocenica limitati più ad ovest dal fronte della Catena Appenninica e costituisce un dominio idrogeologico a sé stante idraulicamente svincolato dall’Appennino.

La falda, che circola a profondità maggiori di quella corrispondente al livello medio marino, per la minore densità galleggia sull’acqua marina d’intrusione continentale i cui effetti sulla qualità dell’acqua emunta si risentono in modo piuttosto marcato fino a circa 10 km dalla linea di riva. L’isoalina 1,0 g/l separa la zona costiera, in cui la falda è in varia misura contaminata dall’acqua marina, dalle zone più interne, dove l’acqua sotterranea diventa più dolce man mano che ci si allontana dalla costa, fino a raggiungere, in territorio di Gioia del Colle e Noci, valori inferiori a 0,4 g/l.

Si riconoscono cinque idrostrutture: Gargano, Tavoliere, Murge, Arco Ionico-Salentino e Salento. Nelle zone di studio affiorano le rocce carbonatiche mesozoiche e pleistoceniche, localmente ricoperte da esigui spessori di terre rosse. L’ossatura dell’intero territorio è rappresentato dalla formazione del “*Calcarea di Bari*” che è sede di un’estesa falda idrica sotterranea cui si attinge acqua, attraverso i pozzi, soprattutto per uso irriguo.

Le rocce calcaree sono blandamente piegate ed interessate da faglie di tipo distensivo, a debole rigetto, che di norma poco influenzano la continuità laterale dei

corpi rocciosi e di conseguenza anche quelle delle falde idriche sotterranee localizzate in corrispondenza dei livelli più carsificati.

Dallo studio dell'andamento delle isopieze si può desumere che il deflusso delle acque di falda si esplica in pressione in prevalenza verso N-E e la scarica a mare avviene in forma sia diffusa che concentrata attraverso le numerose scaturigini sottomarine con un gradiente idraulico piuttosto elevato (0,1% - 0,6%).

L'acquifero costiero è caratterizzato da una permeabilità d'insieme piuttosto alta. La conducibilità idraulica è molto variabile sia in senso verticale sia orizzontale; i valori più frequenti sono di  $10^{-2}$  e  $10^{-3}$  cm/s denotando una permeabilità medio-alta; la portata specifica è pari a  $1 \div 10$  l/s e la porosità efficace non supera il 30%.

Sui depositi carbonatici del Mesozoico poggiano le terre rosse alluvio-eluviali e le calcareniti depositatesi nel Pleistocene, che non sono sede di falde idriche e non rivestono alcun ruolo idrogeologico.

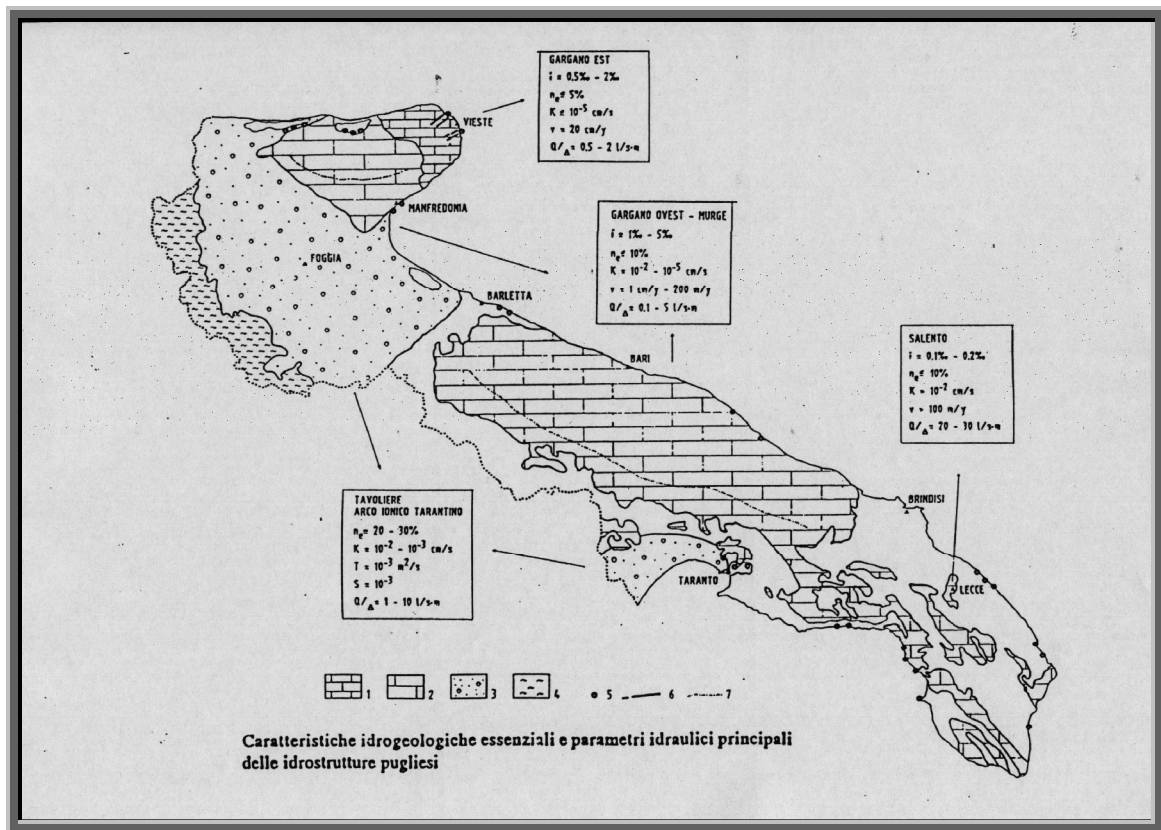
Osservando l'"idrografia superficiale" delle aree di studio (*vedi Carta Idrografia Superficiale area di studio - Scala 1:5.000, che segue*) individuata con i "reticoli fluviali" lungo cui si instaurano le "linee di deflusso preferenziali delle acque meteoriche" in occasione di eventi meteorici di notevole intensità, si nota che le acque tendono a convergere verso le aree poste a quota topografica inferiore.

Inoltre, all'idrografia superficiale è da associare la presenza di una continua circolazione idrica sotterranea che mantiene attivo il sistema carsico e che priva le rocce di quel cemento interstiziale che unisce le particelle che vanno a costituire gli strati delle formazioni calcaree, sino a renderle incoerenti come individuabile nella formazione della "Calcarenite di Gravina".

L'area NNE non risulta essere attraversata da linee di deflusso delle acque meteoriche di particolare rilevanza e non è interessata da fenomeni di allagamento; mentre a Sud-Est dell'area SSW si individua un punto di confluenza di reticoli idrografici il cui prosieguo è stato modificato dalla linea ferroviaria che ne obbliga il percorso all'interno di un tombino a cui occorrerà dare continuità onde garantire

la circolazione idrica superficiale ed evitando la regimentazione delle acque meteoriche.

Quindi, nella realizzazione delle opere verrà posta particolare attenzione alla regimentazione delle acque meteoriche zenitali ed al loro successivo smaltimento.



Idrostrutture principali: 1) Calcarei e dolomie; 2) Calcarei; 3) Depositi alluvionali; 4) Flysch; 5) Sorgenti costiere; 6) Limiti idrostrutture; 7) Linea spartiacque.

## 6. PROSPEZIONE GEOELETTICA

Nelle aree di studio, si è proceduto ad effettuare una prospezione geoelettrica, con corrente continua, tesa a ricavare i valori della resistività del substrato per verificare lo stato fisico della roccia costituente il substrato di fondazione e l'eventuale presenza di cavità.

La determinazione dei valori della resistività dei litotipi ricadenti nelle aree oggetto dell'intervento, è stata effettuata utilizzando la procedura di acquisizione: “*Dipolo-Dipolo*”.

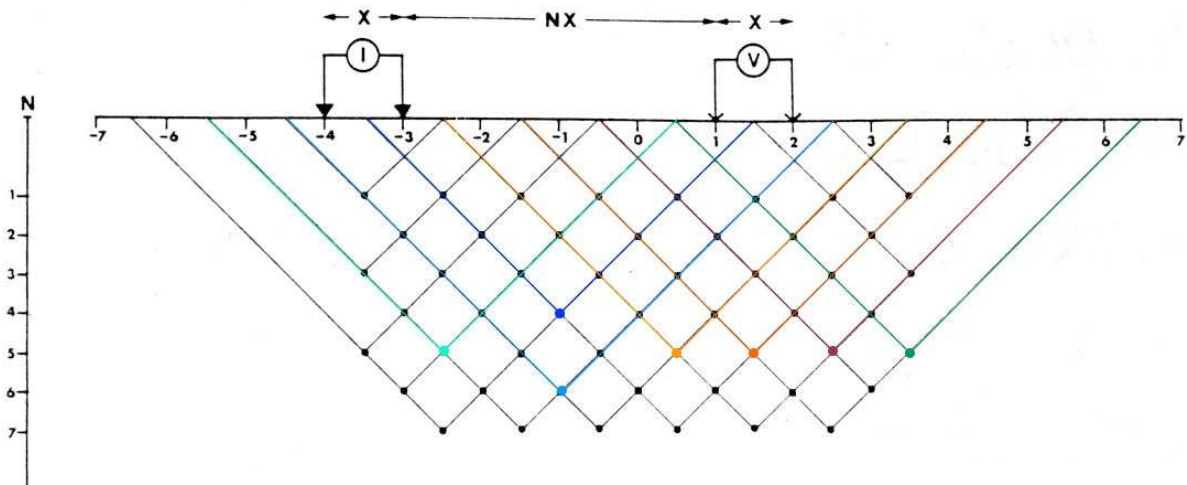
La procedura di acquisizione, “*Dipolo-Dipolo*” (*Sondaggio Elettrico Orizzontale –S.E.O.-*), consente di ottenere una sezione elettrostratigrafica per la caratterizzazione areale del sottosuolo lungo un determinato profilo.

Quindi, è stata eseguita un'indagine geoelettrica, in corrente continua, comprendenti 91 sondaggi elettrici orizzontali (S.E.O.) con il dispositivo “*Dipolo-Dipolo*”. L'andamento delle linee elettriche è riportata nella “*Planimetria Sondaggi Geofisici - Scala 1:2.000*”, che segue.

L'utilizzazione di detta metodologia è stata preferita perché più idonea per individuare zone e corpi elettricamente anomali e lateralmente limitati quali sono le “*Cavità*” ed i depositi di “*Terra Rossa*”. Infatti, essi sono da considerarsi corpi infinitamente resistivi inclusi in un mezzo a resistività finita. La loro presenza provoca, nel campo elettrico artificialmente indotto nel sottosuolo, delle distorsioni rilevabili in superficie.

La tecnica dei profili, condotta in particolare con dispositivi dipolari, è la più idonea ad evidenziare anomalie generate da corpi localizzati. In generale la tecnica adoperata consiste nell'investigare una sezione del sottosuolo lungo il profilo prescelto.





Schema operativo della tecnica del profilo dipolo-dipolo  
e metodo usato nella rappresentazione dei risultati

Ciò è realizzato mediante misure di corrente e differenza di potenziale tra una coppia di elettrodi di energizzazione "I" (*dipolo di corrente*) ed una coppia di elettrodi di misura della differenza di potenziale "V" (*dipolo di tensione*).

Ogni misura è ottenuta per un prefissato valore della distanza tra i dipoli (valore  $n$ ).

La serie di misure si ottiene disponendo lungo un allineamento una successione di poli elettrici equidistanti a  $x,xx$  metri. La prima serie si ottiene mantenendo costante la distanza fra il dipolo di corrente e quello di tensione, pari ad un'unità dipolare di  $x,xx$  metri ( $n = 1$ ). Misure ottenute spostando lungo il profilo l'intero dispositivo, mantenendo " $n$ " costante, costituiscono una strisciata; più strisciate sono ottenute variando, fin tanto che lo consente la lunghezza del profilo, il valore di " $n$ " nella distanza tra la coppia di dipoli elettrodi di corrente (I) e quella di registrazione della differenza di potenziale (V). Nell'indagine è stato utilizzato un numero massimo di strisciate pari a 13 ( $n = 13$ ).

Come ben noto essendo la profondità di indagine funzione della distanza elettrodica del dispositivo utilizzato, otterremo, generalmente, per un prefissato

valore di " $n$ " una profondità costante. Tali profondità, in ogni caso, non sono a priori quantitativamente valutabili dipendendo anche dalle caratteristiche elettriche del sottosuolo indagato.

Tramite i valori di tensione e di corrente rilevati in sito è stato possibile calcolare, per ogni posizione del dispositivo, i valori di resistività apparente.

I dati dei singoli sondaggi sono stati poi utilizzati per elaborare una pseudosezione di resistività apparente mostrata di seguito. Nella sezione ogni punto rappresenta un valore di resistività apparente, punti appartenenti ad un allineamento orizzontale, costituiscono una strisciata.

I singoli valori della pseudosezione sono, infine, interpolati da linee isoresistive. L'interpretazione dei predetti valori porta alla creazione di anomalie che per valore si differenziano individuando corpi anomali resistivi e corpi anomali conduttivi. L'interpretazione delle pseudosezioni è stata effettuata attraverso una modellazione bidimensionale condotta con l'ausilio di un programma di calcolo utilizzando la tecnica degli elementi finiti.

La determinazione delle anomalie avviene a seguito di un'interpretazione qualitativa per andamento e valore della stessa.

Va puntualizzato che la scelta di modelli semplici, dettata da problemi interpretativi, rappresenta una semplificazione di realtà che possono essere più complesse.

## 6.1. ANALISI DEI RISULTATI

### Sondaggio Geoelettrico Dipolo-Dipolo “G1”

In questo sondaggio, lungo 60,00 metri, si è rilevato un substrato in cui la resistività ha un andamento irregolare ed aumenta con la profondità, passando da valori minimi di **0,477  $\Omega\text{m}$**  a valori massimi (per il sondaggio dipolo-dipolo eseguito) superiori a **1.792,00  $\Omega\text{m}$** .

Nel particolare l'analisi della “*Pseudosezione di Resistività Apparente Misurata*”, evidenzia la presenza di due zone con particolari caratteristiche elettriche: una zona superficiale conduttiva, ed una zona profonda resistiva caratterizzate entrambe dalla presenza di celle isoresistive.

La zona superficiale, conduttiva, è individuata dalle strisciate 1 ÷ 5 con i valori della resistività compresi tra **5,01 ÷ 52,70  $\Omega\text{m}$** . Le anomalie hanno valori **<5,01  $\Omega\text{m}$**  e sono state individuate lungo le strisciate 1 ed 1 ÷ 3 in corrispondenza, rispettivamente, dei poli elettrici 3, 4 ÷ 6 e 7 ÷ 11.

La zona profonda del sondaggio, resistiva, è caratterizzata dalla presenza di celle isoresistive ad andamento irregolare che mettono in evidenza delle anomalie nel substrato ricollegabili a fenomeni tettonici ed erosivi che hanno fratturato l'ammasso roccioso e favorito l'instaurarsi del carsismo. Nella zona profonda, i valori della resistività risultano essere compresi tra **52,70 ÷ > 1.792,00  $\Omega\text{m}$** .



*Stendimento Linea Elettrica per Sondaggio “G1”*

**Sondaggio Geoelettrico Dipolo-Dipolo “G2”**

In questo sondaggio, lungo 60,00 metri, si è rilevato un substrato in cui la resistività ha un andamento irregolare ed aumenta con la profondità, passando da valori minimi di **10,90  $\Omega\text{m}$**  a valori massimi (per il sondaggio dipolo-dipolo eseguito) superiori a **2.102,00  $\Omega\text{m}$** .

Nel particolare l'analisi della “*Pseudosezione di Resistività Apparente Misurata*”, evidenzia la presenza di un substrato resistivo caratterizzato dalla presenza di celle iso-resistive ad andamento irregolare che mettono in evidenza delle anomalie nel substrato ricollegabili a fenomeni tettonici ed erosivi.

Tali anomalie hanno valori  $< 26,30 \Omega\text{m}$  e sono state individuate lungo le strisciate 4 e 6 in corrispondenza, rispettivamente, dei poli elettrici 10, 9 ÷ 10 e 12.



*Stendimento Linea Elettrica per Sondaggio “G2”*



## 6.2. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE DELLA PROSPEZIONE GEOELETTRICA

La scelta effettuata sull'ubicazione dei profili elettrici è stata guidata dalla necessità di investigare le aree di studio per una ricostruzione stratigrafica dettagliata.

Ne è risultato l'esecuzione di un sondaggio per ciascuna area come da "*Planimetria Sondaggi Geofisici - Scala 1:2.000*" -“.

L'analisi delle sezioni dipolari permette di individuare un substrato roccioso caratterizzato dalla presenza di celle iso-resistive.

Relativamente alle correlazioni lito-stratigrafiche, si possono fare le seguenti associazioni.

### Area NNE:

- **orizzonte superficiale conduttivo**, con valori della resistività compresi tra  $5,01 \div 52,70 \Omega m$ , può essere associato ai "Terreni residuali" ed alla "Calcarenite di Gravina";
- **orizzonte profondo resistivo**, con valori della resistività compresi tra  $52,70 \div > 1.792,00 \Omega m$ , può essere associato al "Calcare di Bari fratturato e carsificato" che rappresenta il substrato dell'intera area;
- **celle iso-resistive, conduttive**, con valori della resistività  $< 5,01 \Omega m$ , sono ricollegabili a fratture riempite di terreni residuali "Terre Rosse".

### Area SSW:

- **substrato resistivo**, con valori della resistività compresi tra  $26,30 \div 2.102,00 \Omega m$ , può essere associato al "Calcare di Bari fratturato e carsificato";
- **celle iso-resistive, conduttive**, con valori della resistività  $< 26,30 \Omega m$ , sono ricollegabili a quel sistema di cavità e/o fratture, riempite di terreni residuali "Terre Rosse".

## **7. PROSPEZIONE DI SISMICA A RIFRAZIONE**

I sondaggi sismici sono consistiti nell'esecuzione di due profili a rifrazione con onde longitudinali (onde P) e con onde trasversali (onde SH).

La strumentazione utilizzata è la *16SG12* della *PASI* con acquisizione computerizzata dei dati. Per energizzatore è stata utilizzata una sorgente del tipo "*mazza battente*", ad impatto verticale su piastra per le onde P e ad impatto bidirezionale per le onde SH. Come rilevatori sono stati adoperati geofoni verticali a 14 Hz per la ricezione delle onde P e geofoni orizzontali, a 10 Hz, per ricevere le onde Sh.

L'interpretazione delle dromocrone, su cui sono riportati i tempi di arrivo delle onde P ed Sh, è stata effettuata con il Metodo di Tempi Intercetti; da queste si è ottenuta la *Sezione delle Velocità Sismiche* lungo il profilo effettuato.

Dall'analisi delle *Sezioni delle Velocità Sismiche* è stato possibile desumere le informazioni riportate di seguito.



**Sondaggio Sismico “S1” Area NNE**

Il profilo ha una lunghezza di 44,00 metri con i geofoni posti ad un intervallo di 4,00 metri. Ai fini dell’analisi sismica del terreno oggetto di studio, si sono considerati i valori ottenuti dalla “Battuta ” in corrispondenza del “Geofono 6” di tale sondaggio; ossia:

- Velocità primo sismostrato  $V_p = 427 \text{ m/s}$ ;  $V_{sh} = 205 \text{ m/s}$ .
- Velocità secondo sismostrato  $V_p = 2.215 \text{ m/s}$ ;  $V_{sh} = 1.240 \text{ m/s}$ .

Il **Bedrock**, per tutta la lunghezza del sondaggio, è stato individuato ad una profondità compresa tra  $1,61 \div 3,85 \text{ m}$ .



***Stendimento Linea Sismica per Sondaggio “S1”***

**Sondaggio Sismico “S2” Area SSW**

Il profilo ha una lunghezza di 44,00 metri con i geofoni posti ad un intervallo di 4,00 metri. Ai fini dell’analisi sismica del terreno oggetto di studio, si sono considerati i valori ottenuti dalla “Battuta ” in corrispondenza del “Geofono 6” di tale sondaggio; ossia:

- Velocità primo sismostrato  $V_p = 524 \text{ m/s}$ ;  $V_{sh} = 250 \text{ m/s}$ .
- Velocità secondo sismostrato  $V_p = 2.692 \text{ m/s}$ ;  $V_{sh} = 1.490 \text{ m/s}$ .

Il **Bedrock**, per tutta la lunghezza del sondaggio, è stato individuato ad una profondità compresa tra  $1,11 \div 3,28 \text{ m}$ .



***Stendimento Linea Sismica per Sondaggio “S2”***

## **7.1. CONSIDERAZIONI CONCLUSIVE DELLA PROSPEZIONE DI SISMICA A RIFRAZIONE**

Per ciò che concerne la correlazione delle caratteristiche fisico-dinamiche con quelle geologico-tecniche dell’ammasso esplorato, si possono fare le seguenti associazioni.

### **Area NNE:**

- **Primo sismostrato:** può correlarsi ai “*Terreni residuali*” ed alla “*Calcarenite di Gravina*”.
- **Secondo sismostrato:** può correlarsi al basamento calcareo fratturato e carsificato associabile alla formazione del “*Calcare di Bari*”.

### **Area SSW:**

- **Primo sismostrato:** può correlarsi ai “*Terreni residuali*” ed al “*Calcare di Bari alterato e fratturato*”.
- **Secondo sismostrato:** può correlarsi al basamento calcareo fratturato e carsificato associabile alla formazione del “*Calcare di Bari*”.

## 8. CARATTERIZZAZIONE SISMICA DEI TERRENI

Per la caratterizzazione dei terreni di fondazione, così come previsto dalla nuova normativa antisismica, si sono presi in considerazione i risultati dei sondaggi di sismica a rifrazione effettuati sui terreni oggetto di studio.

E' stata redatta una tabella, che segue, in cui si riporta il *calcolo di  $V_s$  30 per l'assegnazione a categoria del profilo stratigrafico del suolo di fondazione*, così come contemplato dall'*O.P.C.M. n.° 3274 del 20 marzo 2003* che individua *Monopoli* come *Zona “4”*.

Dall'analisi dei dati ottenuti dalle indagini geofisiche, sia in termini di stratigrafia che di velocità, i terreni di fondazione dei nostri siti sono così associabili.

Area NNE: Categoria “B”, caratterizzata da: *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{spt,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina)”*.

Area SSW: Categoria “A”, caratterizzata da: *“Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m”*.



## 9. CARATTERISTICHE TECNICHE DEI TERRENI

Le indagini, al fine di definire la successione litostratigrafica dei terreni, sono state articolate in un rilevamento geologico di superficie ed in “*Sondaggi Geoelettrici*” e “*Sondaggi di Sismica a Rifrazione*”. Inoltre, sono state fatte delle analisi sui dati bibliografici per poter effettuare una prima caratterizzazione meccanica dei campioni prelevati in aree i cui terreni sono assimilabili a quelli presenti nelle aree in esame.

Si è potuto osservare come le rocce calcaree hanno una grande diffusione nell’ambito del territorio comunale. Anche se nell’intorno delle zone di studio tali rocce sono quasi totalmente ricoperte da estesi depositi colluviali, le numerose incisioni presenti, nell’intorno, hanno permesso una diretta osservazione sullo stato di conservazione delle stesse.

In generale gli ammassi rocciosi calcarei appaiono localmente attraversati da un sistema di sottili discontinuità ad andamento subverticale, che si incrociano con i giunti di stratificazione suborizzontali. Il grado di fratturazione varia da luogo a luogo e diminuisce con la profondità; infatti, dall’analisi delle indagini è stata evidenziata un’intensa fratturazione ed alterazione della parte sommitale della formazione calcarea.

Da prove effettuate su un campione di roccia calcarea del diametro di 7,4 cm ed altezza di 10,8 cm presso il “*Laboratorio Tecnologico*” della *Tecnoprove S.r.l.* con sede in Via dell’Industria in Ostuni (Brindisi) (Rapporto di prova RC002/10 del 15/03/2010); si sono ottenute le seguenti caratteristiche fisiche e meccaniche della roccia calcarea:

- *peso di volume ( $\gamma$ ): 2.310,10 Kg/m<sup>3</sup>;*
- *peso specifico ( $\gamma$ ): 2.730,00 Kg/m<sup>3</sup>;*
- *porosità totale: 15,38 %;*
- *imbibizione: 4,97%;*
- *resistenza a compressione uniassiale: 46,00 N/mm<sup>2</sup>;*
- *modulo elastico a compressione: 27.542,00 N/mm<sup>2</sup>.*

Per quanto riguarda la roccia calcarenitica, dall'analisi dei dati bibliografici, si possono assegnare le seguenti caratteristiche fisiche e meccaniche:

- *peso di volume* ( $\gamma$ ) =  $1.800 \div 2.000 \text{ Kg/m}^3$ ;
- *peso specifico* ( $\gamma$ ) =  $2.000 \div 2.200 \text{ t/m}^3$ ;
- *imbibizione* =  $5,00 \% \div 10,00 \%$ ;
- *porosità* =  $10,0\% \div 20,0\%$ ;
- *tensione di rottura* =  $15 \div 30 \text{ N/mm}^2$ ;

Le analisi di laboratorio su campioni di roccia prelevati mediante carotaggio sono in grado di caratterizzarmi una roccia solo a livello di campione non tenendo conto di quelle che sono una serie di disomogeneità individuabili a livello stratigrafico sull'intero sito oggetto d'intervento. Quindi, risulta necessario effettuare una classificazione geomeccanica dei terreni di fondazione che può essere effettuata sulla base di differenti autori.

Infatti, gli ammassi rocciosi sono interessati da discontinuità in corrispondenza delle quali le caratteristiche meccaniche sono più scadenti di quelle della matrice, per cui nel complesso la resistenza al taglio dell'ammasso è regolato sia dalle caratteristiche della matrice che dalla frequenza e geometria delle discontinuità. Da ciò sono scaturite le classificazioni delle rocce basate sulla descrizione della struttura e le condizioni delle discontinuità presenti, da cui ricavare i parametri di resistenza e di deformabilità.

### **9.1. Metodo Bieniawski**

La classificazione geomeccanica delle rocce può essere ottenuta col *metodo di Bieniawski* (1989) che si basa sul rilievo di sei parametri a ciascuno dei quali è assegnato un peso.

I parametri da analizzare sono:

- *R1: resistenza a compressione uni assiale della roccia intatta;*
- *R2: indice RQD;*
- *R3: spaziatura delle discontinuità;*
- *R4: condizioni delle discontinuità;*
- *R5: condizioni idrauliche;*
- *R6: orientamento delle discontinuità.*

La classificazione definisce due valori dell'indice *RMR*:

$$RMR_{base} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5$$

$$RMR_{corretto} = R1 + R2 + R3 + R4 + R5 + R6$$

## 9.2. Classificazione geomeccanica della calcarenite

Dall'analisi degli affioramenti di roccia calcarenitica individuati nell'area di studio *NNE*, è stato possibile assegnare alla formazione delle “*Calcarenite di Gravina*” i seguenti parametri:

- $R1: 150 \text{ Kg/cm}^2 = 2;$
- $R2: RQD \text{ } 25\text{-}50\% = 8;$
- $R3: <6 \text{ cm} = 5;$
- $R4: \text{superfici lisce o riempimento } < 5\text{mm di spessore o giunti aperti } 1\text{-}5 \text{ mm e continui} = 10;$
- $R5: \text{umido} = 10;$
- $R6: \text{poco favorevole} = -7.$

Il valore  $RMR_{base}$ , ottenuto sulla base dei punteggi attribuiti ai singoli parametri, risulta essere il seguente:

$$RMR_{base} = 35$$

Mentre, il valore  $RMR_{corretto}$ , risulta essere:

$$RMR_{corretto} = 28$$

**Quindi, l'ammasso roccioso in esame risulta essere di Classe IV “Scadente”.**

Inoltre, dal valore di  $RMR_{base}$  è possibile ricavare i parametri di resistenza ed elasticità dell'ammasso roccioso in quanto sono sue caratteristiche intrinseche. Nel nostro caso si ha:

- *coesione (in termini di tensioni efficaci):*  $c' = 5 \times RMR_{base} = 175 \text{ kPa};$
- *angolo d'attrito (in termini di tensioni efficaci):*  $\varphi' = 5 + RMR_{base} / 2 = 22,5^\circ;$
- *modulo di deformabilità:*  $Ed = 10^{(RMR_{base} - 10)/40} = 4,22 \text{ GPa}.$



Il **metodo di Barton** (1974), si basa sulla determinazione dell'indice di qualità

Q:

$$Q = RQD/J_n + J_r/J_a + J_w/SRF$$

In cui:

- $RQD = 0,25$
- $J_n$  è relativo il numero di sistemi di fratture = 12
- $J_r$  è il fattore della scabrezza delle discontinuità = 4
- $J_a$  è il fattore relativo al riempimento delle fratture = 4
- $J_w$  sono le condizioni idrauliche = 1
- $SRF$  è il fattore di riduzione per il carico litostatico = 10

$$Q = 1,12$$

**Quindi, la qualità dell'ammasso roccioso in esame risulta essere: “Scadente”.**

### 9.3. Classificazione geomeccanica del calcare

Dall'analisi degli affioramenti di roccia calcarea individuati nell'area di studio SSW, è stato possibile assegnare alla formazione del “*Calcare di Bari*” i seguenti parametri:

- $R1: 400 \text{ Kg/cm}^2 = 4;$
- $R2: RQD \text{ } 25\text{-}50\% = 8;$
- $R3: <6 \text{ cm} = 5;$
- $R4: \text{superfici poco rugose, separazione discontinuità} < 1\text{mm, molto alterate} = 20;$
- $R5: \text{umido} = 10;$
- $R6: \text{poco favorevole} = -7.$

Il valore  $RMR_{base}$ , ottenuto sulla base dei punteggi attribuiti ai singoli parametri, risulta essere il seguente:

$$RMR_{base} = 47$$

Mentre, il valore  $RMR_{corretto}$ , risulta essere:

$$RMR_{corretto} = 40$$

**Quindi, l'ammasso roccioso in esame risulta essere di Classe III “Discreta”.**

Inoltre, dal valore di  $RMR_{base}$  è possibile ricavare i parametri di resistenza ed elasticità dell'ammasso roccioso in quanto sono sue caratteristiche intrinseche. Nel nostro caso si ha:

- *coesione (in termini di tensioni efficaci):*  $c' = 5 \times RMR_{base} = 235 \text{ KPa};$
- *angolo d'attrito (in termini di tensioni efficaci):*  $\varphi' = 5 + RMR_{base} / 2 = 28,5^\circ;$
- *modulo di deformabilità:*  $Ed = 10^{(RMR_{base} - 10)/40} = 8,41 \text{ GPa}.$

Il **metodo di Barton** (1974), si basa sulla determinazione dell'indice di qualità

Q:

$$Q = RQD/J_n + J_r/J_a + J_w/SRF$$

In cui:

- $RQD = 0,5$
- $J_n$  è relativo il numero di sistemi di fratture = 3
- $J_r$  è il fattore della scabrezza delle discontinuità = 1
- $J_a$  è il fattore relativo al riempimento delle fratture = 2
- $J_w$  sono le condizioni idrauliche = 1
- $SRF$  è il fattore di riduzione per il carico litostatico = 2,5

$$Q = 10,00$$

**Quindi, la qualità dell'ammasso roccioso in esame risulta essere: “discreta”.**

## 10. TIPOLOGIA FONDAZIONI E CAPACITA' PORTANTE DEI TERRENI

Dall'insieme dei dati raccolti durante il rilevamento geologico di superficie e le indagini geofisiche, sono stati dedotti gli schemi geomeccanici generali del sottosuolo dei siti di futura edificazione che sono illustrati nelle “*Stratigrafie*”.

Tali schemi evidenziano, oltre che gli spessori e le quote di rinvenimento dei singoli orizzonti litologici, le loro proprietà geomeccaniche. In riferimento a queste ultime, si sottolinea come ai singoli livelli stratigrafici siano stati attribuiti i valori dei parametri fisico-meccanici che meglio ne descrivono il comportamento tecnico complessivo.

In base a quanto emerso dalle indagini effettuate, la scelta ottimale della tipologia delle strutture di fondazione da adottare al fine di assicurare la staticità delle opere in progetto, è data da:

- A) sequenza stratigrafica locale formata da roccia sciolta e roccia lapidea;
- B) presenza di condizionamento geomorfologico ed idrogeologico;
- C) proprietà tecniche dei litotipi impegnati da scadenti a discreti.

Pertanto, in funzione anche dell'entità dei carichi che saranno indotti dalle sovrastrutture, si ritiene idoneo l'impiego di **fondazioni superficiali dirette**.

La determinazione della capacità portante dei terreni di fondazione, per ciascuna formazione calcarea individuata nelle aree di studio, può essere ottenuta applicando il metodo di *Terzaghi (1943)*, così come riportato nei paragrafi seguenti.

### 10.1. Capacità portante della calcarenite

Se nel caso dell'area di studio NNE ipotizziamo una fondazione a platea di dimensioni 30,00 x 60,00 metri, applicando il metodo di *Terzaghi*, la capacità portante risulterà essere di:

$$q = (1 + 0,2 b/l) c N_c + q_0 N_q + 0,5 (1 - 0,2 b/l) \gamma_v b N_\gamma$$

$$q_0 = \gamma d = 18,00 \times 0,70 = 12,60 \text{ kN/m}^2$$

dove :

- $\gamma = \text{peso di volume del terreno} = 18,00 \text{ kN/mc};$
- $d = \text{spessore di terreno gravante sulla fondazione} = 0,70 \text{ m};$
- $c \text{ è la coesione del terreno} = 175 \text{ kN/m}^2$
- $\gamma \text{ è il peso specifico del terreno} = 20,00 \text{ kN/m}^3$
- $b \text{ è la larghezza della fondazione} = 30,00 \text{ m}$
- $l \text{ è la lunghezza della fondazione} = 60,00 \text{ m}$

Posto  $\phi = 22^\circ$  ; risulta (secondo *Terzaghi*):

- $N_c = 16,88$
- $N_q = 7,82$
- $N_\gamma = 7,13$

Quindi:

$$\begin{aligned} q &= (1 + 0,2 b/l) c N_c + q_0 N_q + 0,5 (1 - 0,2 b/l) \gamma_v b N_\gamma = \\ &= (1 + 0,2 \times 30/60) \times 175 \times 16,88 + 12,60 \times 7,82 + 0,5 \times (1 - 0,2 \times 30/60) \times 18 \times 30 \times 7,13 = \\ &= 3.249,40 + 98,53 + 3.465,18 = 6.813,11 \text{ kN/m}^2. \end{aligned}$$

$$q_f = \underline{\underline{6.813,11 \text{ kN/m}^2}} = \underline{\underline{6.813,11 \text{ kPa}}} = \underline{\underline{68,13 \text{ Kg/cm}^2}}.$$

a cui applicando, discrezionalmente in funzione dell'anisotropia dell'ammasso roccioso, un coefficiente di riduzione pari a 5, si ha:

$$q'_f = \underline{\underline{13,63 \text{ Kg/cm}^2}}.$$

## 10.2. Capacità portante del calcare

Se nel caso dell'area di studio SSW ipotizziamo una fondazione isolata quadrata di dimensioni 2,00 x 2,00 metri, applicando il metodo di *Terzaghi*, la capacità portante risulterà essere di:

$$q = 1.3 c N_c + q_0 N_q + 0.4 \gamma_v b N_\gamma$$

$$q_0 = \gamma d = 23,00 \times 2,00 = 46,00 \text{ kN/m}^2$$

dove :

- $\gamma = \text{peso di volume del terreno} = 23,00 \text{ kN/mc};$
- $d = \text{spessore di terreno gravante sulla fondazione} = 1,00 \text{ m};$
- $c \text{ è la coesione del terreno} = 235 \text{ kN/m}^2$
- $\gamma \text{ è il peso specifico del terreno} = 27,00 \text{ kN/m}^3$
- $b \text{ è la larghezza della fondazione} = 2,00 \text{ m}$

Posto  $\phi = 28^\circ$  ; risulta (secondo *Terzaghi*):

- $N_c = 25,80$
- $N_q = 14,72$
- $N_\gamma = 16,72$

Quindi:

$$\begin{aligned} q &= 1,3 c N_c + q_0 N_q + 0,4 \gamma_v b N_\gamma = \\ 1,3 \times 235 \times 25,80 &+ 46,00 \times 14,72 + 0,4 \times 23,00 \times 2,00 \times 16,72 = \\ 7.881,90 &+ 677,12 + 307,65 = 8.636,46 \text{ kN/m}^2. \end{aligned}$$

$$\underline{q_f = 8.866,67 \text{ kN/m}^2 = 8.866,67 \text{ kPa} = 88,67 \text{ Kg/cm}^2}.$$

a cui applicando, discrezionalmente in funzione dell'anisotropia dell'ammasso roccioso, un coefficiente di riduzione pari a 5, si ha:

$$\underline{q'_f = 17,73 \text{ Kg/cm}^2}.$$

## 11. CONCLUSIONI

Le aree oggetto di studio identificano il *Piano Urbanistico Edilizio denominato “Le tre Grazie” per intervento urbanistico preventivo (art. 3.03 PUG/S) con accorpamento di n.° 2 aree (NNE + SSW) soggette a contesti per servizi di nuovo impianto (art. 27.06 - 27.07 – 27.08 PUG/P)*, nel Comune di Monopoli (Bari), interessate dalla realizzazione di edifici per civili abitazioni.

Le indagini sono state articolate in un rilievo geologico di superficie ed in sondaggi di tomografia elettrica e di sismica a rifrazione con l’obiettivo di mettere in evidenza:

1. la successione lito-stratigrafica;
2. lo schema della circolazione idrica superficiale e sotterranea;
3. i caratteri geostrutturali generali;
4. caratterizzare tecnicamente i terreni di fondazione;
5. i lineamenti morfologici delle zone, nonché gli eventuali processi morfologici ed i dissesti in atto o potenziali, al fine di verificare la presenza di rischi, per le aree d’intervento, nel caso di eventi tettonici.

I *Sondaggi Geoelettrici*, in corrente continua, sono stati eseguiti con il dispositivo *Dipolo-Dipolo*. Da tali sondaggi è emerso che i terreni nelle aree di studio presentano le seguenti caratteristiche elettriche:

### Area NNE:

- *orizzonte superficiale conduttivo*, con valori della resistività compresi tra  $5,01 \div 52,70 \ \Omega m$ , può essere associato ai “*Terreni residuali*” ed alla “*Calcarenite di Gravina*”;
- *orizzonte profondo resistivo*, con valori della resistività compresi tra  $52,70 \div > 1.792,00 \ \Omega m$ , può essere associato al “*Calcere di Bari fratturato e carsificato*” che rappresenta il substrato dell’intera area.
- *celle iso-resistive, conduttive*, con valori della resistività  $< 5,01 \ \Omega m$ , sono ricollegabili a fratture riempite di terreni residuali “*Terre Rosse*”.

**Area SSW:**

- **substrato resistivo**, con valori della resistività compresi tra **26,30 ÷ 2.102,00  $\Omega m$** , può essere associato al "*Calcare di Bari fratturato e carsificato*";
- **celle iso-resistive, conduttive**, con valori della resistività **< 26,30  $\Omega m$** , sono ricollegabili a quel sistema di cavità e/o fratture, riempite di terreni residuali "*Terre Rosse*".

Dall'analisi delle indagini sismiche effettuate nelle aree di studio, sono emerse la seguente successione litostratigrafica:

**Area NNE:**

- **Primo sismostrato**: può correlarsi ai "*Terreni residuali*" ed alla "*Calcarenite di Gravina*".
- **Secondo sismostrato**: può correlarsi al basamento calcareo fratturato e carsificato associabile alla formazione del "*Calcare di Bari*".

**Area SSW:**

- **Primo sismostrato**: può correlarsi ai "*Terreni residuali*" ed al "*Calcare di Bari alterato e fratturato*".
- **Secondo sismostrato**: può correlarsi al basamento calcareo fratturato e carsificato associabile alla formazione del "*Calcare di Bari*".

**Categoria topografica "T1": superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$ .**

**L'O.P.C.M. n.° 3274 del 20 marzo 2003** (Criteri per l'individuazione delle zone sismiche – Individuazione, formazione ed aggiornamento degli elenchi nelle medesime zone) individua **Monopoli** come **Zona "4"**.

Mediante il calcolo delle Vs30, le aree di studio sono risultate associabili alle seguenti categorie:



**Area NNE:** Categoria “B”, caratterizzata da: *“Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti con spessori superiori a 30 metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero  $N_{spt,30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $c_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fina)”*.

**Area SSW:** Categoria “A”, caratterizzata da: *“Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi, caratterizzati da valori di  $V_{s30}$  superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m”*.

La capacità portante ed i moduli di elasticità dei terreni individuati nelle aree di studio, sono:

**Area NNE**

- *Capacità portante della roccia calcarea:  $q_f = 68,13 \text{ Kg/cm}^2$ ;*
- *Capacità portante ammasso roccioso calcareo:  $q'_f = 13,63 \text{ Kg/cm}^2$ ;*
- *Modulo di Young calcare  $E = 1,85 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$ ;*
- *Rigidezza calcare  $G = 0,33 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$ .*

**Area SSW**

- *Capacità portante della roccia calcarea:  $q_f = 88,67 \text{ Kg/cm}^2$ ;*
- *Capacità portante ammasso roccioso calcareo:  $q'_f = 17,73 \text{ Kg/cm}^2$ ;*
- *Modulo di Young calcare  $E = 127,38 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$ ;*
- *Rigidezza calcare  $G = 32,78 \times 10^3 \text{ Kg/cm}^2$ .*

L'analisi delle aree di studio dal punto di vista **geostrutturale** evidenzia che siamo in presenza di un substrato calcareo associabile alla formazione del “*Calcare di Bari*” di notevole spessore, che ha subito l'influenza di eventi tettonici ed erosivi passati, ricoperto nell'area NNE da successivi depositi associabili alla formazione

della “*Calcarenite di Gravina*” composta da sabbie calcaree dotate di un diverso grado di cementazione. Le formazioni calcaree, inoltre, risultano essere ricoperte da uno strato di depositi colluviali ed eluviali che mantellano la parte di roccia maggiormente fratturata. Il piano di posa delle fondazioni dovrà essere attestato sulla formazione calcarea, nel caso dell’area SSW, e sulla formazione calcarenitica, nel caso dell’area NNE e per far sì che ciò avvenga dovranno essere asportati, per tutto il loro spessore, i materiali di riporto, i depositi colluviali ed eluviali che ricoprono le suddette formazioni nonché lo strato di alterazione delle stesse ed in particolare la “*Calcarenite di Gravina alterata, fratturata e dotata di un basso grado di cementazione*”.

Osservando l’“*idrografia superficiale*” delle aree di studio individuata con i “*reticoli fluviali*” lungo cui si instaurano le “*linee di deflusso preferenziali delle acque meteoriche*” in occasione di eventi meteorici di notevole intensità, si nota che le acque tendono a convergere verso le aree poste a quota topografica inferiore. Inoltre, all’idrografia superficiale è da associare la presenza di una continua circolazione idrica sotterranea che mantiene attivo il sistema carsico e che priva le rocce di quel cemento interstiziale che unisce le particelle che vanno a costituire gli strati delle formazioni calcaree, sino a renderle incoerenti come individuabile nella formazione della “*Calcarenite di Gravina*”. L’area NNE non risulta essere attraversata da linee di deflusso delle acque meteoriche di particolare rilevanza e non è interessata da fenomeni di allagamento; mentre a Sud-Est dell’area SSW si individua un punto di confluenza di reticoli idrografici il cui prosieguo è stato modificato dalla linea ferroviaria che ne obbliga il percorso all’interno di un tombino a cui occorrerà dare continuità onde garantire la circolazione idrica superficiale ed evitando la regimentazione delle acque meteoriche.

Dal punto di vista dell’“*idrogeologia*” le aree d’intervento risultano appartenere all’idrostruttura delle *Murge* che si estende dal fiume Ofanto sino all’allineamento ideale Brindisi-Taranto limitata, da una parte, dalla Costa Adriatica

e, dall'altra, dalla Fossa Bradanica. La falda idrica sotterranea, che ha sede nei calcari, si rinviene nell'area NNE attorno agli  $8 \div 10$  metri di profondità e nell'area SSW attorno ai  $18 \div 20$  metri di profondità; contrapponendo ad una scarsa circolazione idrica superficiale un imponente sistema idrologico sotterraneo. La profondità di rinvenimento di detta falda concorre a definire ininfluente l'intervento in progetto nei riguardi della risorsa idrica sotterranea, che non subirà alcun pregiudizio dalla realizzazione degli insediamenti residenziali.

Le *acque meteoriche* zenitali che ricadono sulle sedi stradali e sugli edifici saranno raccolte e collettate, mediante fogna bianca, ad idonei impianti di grigliatura-sedimentazione-disoliazione per poi essere immesse negli strati superficiali del sottosuolo nel rispetto dei D.C.D.E.A. n.°191/02 e n.° 282/03, del D.Lgs. n.° 152/06 e ss. mm. ed ii. e del Piano di Tutela delle Acque della Regione Puglia.

Gli *scarichi civili* saranno opportunamente raccolti ed inviati, mediante fogna nera dinamica, a depuratore comunale evitando interferenze con la falda carsica profonda.

**In conclusione, si può asserire che gli interventi proposti si pongono in aree che non presentano alcuna instabilità, attiva o quiescente, ricollegabile alla dinamica del territorio stesso.**

***Il Geologo***

***Dott. Massimiliano Giovanni DE VENERE***