

INDICE

INDICE	2
1 PREMESSA	3
1.1 Norme tecniche di riferimento.....	3
2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE	4
2.1 Calcarea di Altamura.....	4
2.2 Tufi delle Murge	4
2.3 Caratteri strutturali.....	5
2.4 Geomorfologia	5
2.5 Idrogeologia	6
3 INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE GEOTECNICHE	7
4 CARATTERI GEOLOGICI ESSENZIALI	9
4.1 Lito-stratigrafia	9
4.2 Modello geologico del sottosuolo	9
5 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL' AMMASSO ROCCIOSO	10
5.1 Roccia calcarea.....	10
5.1.1 Resistenza meccanica dell'ammasso roccioso calcareo	11
5.1.2 Caratteristiche di elasticità dell'ammasso roccioso calcareo	13
5.2 Roccia calcarenitica	17
6 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO E PARAMETRI GEOTECNICI	18
7 INDICAZIONI PROGETTUALI	20
7.1 Rilevati stradali.....	20
7.2 Zone in trincea	20
7.3 Opere in calcestruzzo armato.....	21
7.4 Alternative di tracciato.....	21

1 PREMESSA

La presente relazione illustra i caratteri geotecnici del sottosuolo del territorio attraversato dall'asse mediano Murgia-Pollino, che collega gli abitati di Gioia del Colle e di Matera, proseguendo poi fino alla SS7 Basentana. La presente relazione riguarda in particolare il tracciato A e il tracciato B, nel primo tratto (cfr. fig.1) compreso fra Gioia del Colle e Santeramo in Colle, zona Masseria DeLaurentis, fino alla scarpata morfologica che separa la Murgia dalla Fossa bradanica (cfr. fig.2), tratto caratterizzato dalla presenza prevalente in affioramento di ammassi rocciosi (Calcarea di Altamura e Calcareniti di Gravina). Pertanto, le considerazioni e le valutazioni riportate in questa relazione sono riferite esclusivamente a questi due ammassi.

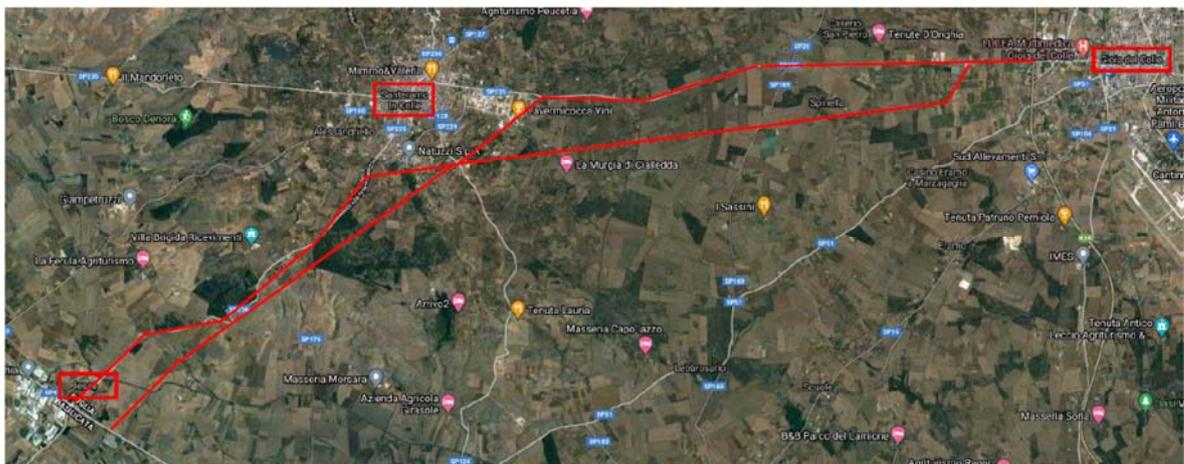


Fig.1.1 – Stralcio planimetrico della zona di interesse con i tracciati A e B
(N.B.: i tracciati riportati sono puramente indicativi del collegamento Gioia del Colle-Santeramo-Iesce)

1.1 Norme tecniche di riferimento

La relazione viene redatta nel rispetto delle seguenti norme tecniche e delle eventuali istruzioni e circolari successive:

- D.Min. Infr. 17.01.2018: Aggiornamento Norme tecniche per le costruzioni (NTC 2018)
- Circ. Min. LLPP n.7 del 21.01.2019: Istruzioni per l'applicazione dell' "Aggiornamento delle Norme tecniche per le costruzioni" di cui al DM 17.01.2018
- altri precedenti norme per quanto applicabili.

2 INQUADRAMENTO GEOLOGICO GENERALE

La zona attraversata dai due tracciati stradali (tracciati A e B) ricade nel Foglio 189 “Altamura” della Carta geologica d’Italia scala 1:100.000 (cfr. stralcio della carta in Fig.2).

La ricostruzione del modello geologico del sottosuolo (cfr. Relazione geologica) è avvenuta attraverso il rilevamento geologico dell’area e con l’ausilio dei risultati delle indagini geognostiche dirette eseguite nel 2020 dalla ditta Apogeo S.r.l. di Altamura per conto dell’ATI di progettazione. Sono state, inoltre, utilizzati i risultati delle indagini geognostiche eseguite nel 2007 e nel 2017 per conto di ANAS SpA.

Rimandando alla Relazione geologica per la descrizione di dettaglio della geologia della zona in esame, si riporta di seguito una sintesi dei caratteri lito-stratigrafici di detta zona.

Dall’esame della carta geologica si evince che le principali formazioni geologiche affioranti nella porzione del territorio in cui ricadono le opere in progetto sono le seguenti.

2.1 Calcare di Altamura

La successione del Calcare di Altamura affiora estesamente in tutto il quadrante SO del foglio 189 Altamura e rappresenta il substrato sedimentario su cui poggiano tutte le unità più recenti.

In generale il Calcare di Altamura è costituito da calcari microfossiliferi bianchi e grigio chiari, in strati di spessore decimetrico e metrico, con frequenti intercalazioni di calcari dolomitici e dolomie grigie. L’assetto generale degli strati calcarei è quello di una monoclinale, complicata da faglie e pieghe, che immerge verso i quadranti meridionali. Lo spessore complessivo nell’area del foglio è di circa 470 m.

2.2 Tufi delle Murge

Altrimenti nota come Calcareniti di Gravina, affiorano in lembi più o meno estesi nelle zone più elevate del foglio. Lo spessore affiorante è molto variabile, da pochi decimetri fino ad alcune decine di metri.

Le facies tipiche della Calcareniti di Gravina sono costituite da calcareniti e calcilutiti lito-bioclastiche che, tranne eccezioni rappresentate da sedimenti siltoso-sabbiosi a luoghi presenti alla base, poggiano direttamente sui calcari cretaci. Normalmente la calcarenite

è costituita da strati e banchi sub-orizzontali di calcareniti e calcilutiti bioclastiche e di calcari organogeni ad alghe calcaree, scarsamente cementati e porosi.

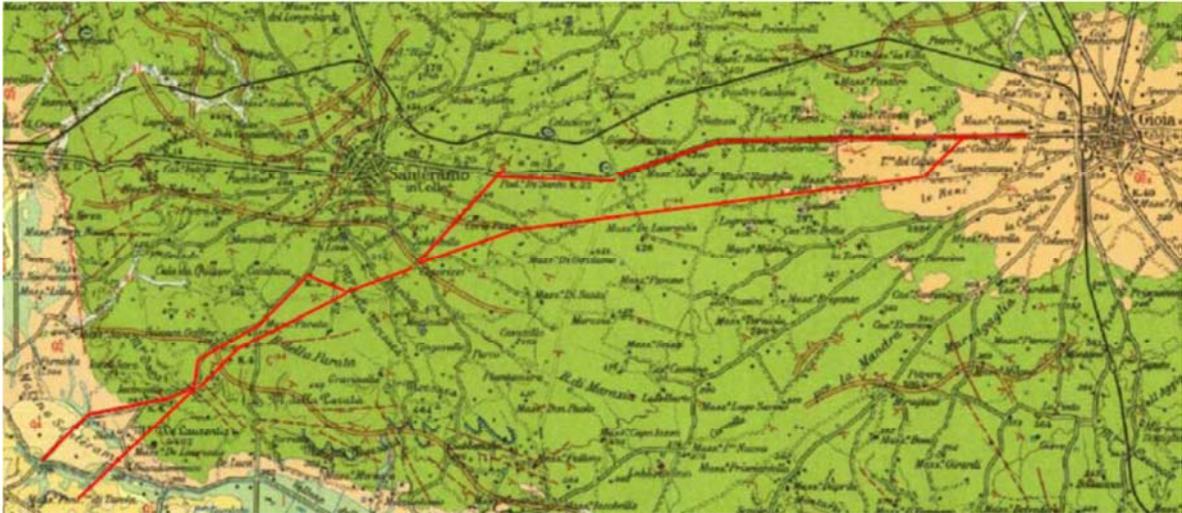


Fig.2 – Stralcio della Carta geologica d'Italia in scala 1:100.000 – Foglio 189 "Altamura"

Legenda: verde: Calcarea delle Murge, beige: Calcarenite di Gravina

2.3 Caratteri strutturali

Il principale motivo strutturale che caratterizza la porzione orientale del foglio geologico Altamura è rappresentato da una generale immersione monoclinale dei calcari del cretaceo in direzione della Fossa Bradanica. Sui Calcari poggiano in netta discordanza e in assetto orizzontale i depositi quaternari.

La struttura regionale è localmente complicata dalla presenza di numerose strutture disgiuntive e, in minor misura, plicative. Le giaciture prevalenti hanno direzioni N40/60 nel settore nord-occidentale del foglio con immersione degli strati verso SE e direzioni N100/120 nel settore orientale e meridionale del foglio con immersioni verso S-SO. In entrambi i casi le inclinazioni degli strati variano da pochi gradi a 10°-15°. Il quadro tettonico generale è completato dall'assetto tabulare dei terreni più recenti (Tufi delle Murge) che spesso sigillano le strutture nei calcari.

2.4 Geomorfologia

I caratteri morfologici sono collegati alla natura del substrato. I rilievi hanno forma prevalentemente tabulare, con sensibili ondulazioni. La superficie di abrasione creata

dall'ingressione quaternaria è poco riconoscibile nel settore orientale del foglio, ma non più riconoscibile nelle Murge di Altamura, dove si raggiungono le quote più elevate.

2.5 Idrogeologia

L'area del Foglio è caratterizzata dalla presenza di una falda carsica profonda che ha sede nelle rocce carbonatiche della piattaforma appula.

La falda defluisce verso il mare Adriatico in maniera diffusa e la zona di emergenza risulta essere pressochè coincidente con la linea di costa che rappresenta il livello di base della circolazione idrica sotterranea. La falda è in contatto con l'acqua marina di intrusione continentale su cui poggia per la minore densità. La falda circola generalmente in pressione e fluisce verso mare in direzione perpendicolare alla linea di costa, con gradienti piezometrici compresi fra 0,1% e 0,5%. Per i marcati caratteri di disomogeneità ed anisotropia dell'acquifero nei confronti della permeabilità, la falda è frazionata in più livelli. Tale caratteristica è ascrivibile alla presenza di intervalli di roccia non carsificata e poco fratturata o alla presenza all'interno della formazione carbonatica di strati fittamente laminati, a luoghi bituminosi.

La falda profonda pugliese nella zona di Gioia-Santeramo (caratterizzata da quote topografiche variabili da 350 a 450 m s.m. circa) si rinviene a grande profondità dal piano campagna (> 100 m) e non ha influenza sulle opere a farsi.

Le indagini geognostiche, eseguite in questa prima tratta del tracciato stradale, non hanno intercettato la falda acquifera profonda. Eventuali falde sospese, talora presenti nell'ammasso calcareo, non sono state intercettate dai sondaggi geognostici.

3 INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE GEOTECNICHE

Nei primi mesi del 2020, a cura del raggruppamento temporaneo di professionisti, sull'intero percorso dei tracciati A e B, è stata condotta una campagna di indagini geognostiche molto articolata, eseguita dalla ditta Apogeo S.r.l. di Altamura. Precedentemente (2007/2017) era stata eseguita altra campagna di indagini a cura di ANAS SpA.

Relativamente alla prima parte dei tracciati A e B, tratto compreso fra Gioia del Colle-Santeramo in Colle (Masseria DeLaurentis), sono state eseguite le seguenti indagini geognostiche e geotecniche (cfr. Tavole P00_GE00_GEO_PU01+PU04), meglio dettagliate in tabella 1:

- sondaggi meccanici a carotaggio continuo, fino a profondità massima di 35 m da p.c., alcuni dei quali attrezzati per misure sismiche in foro;
- pozzetti a scavo;
- n.4 prove di permeabilità di tipo Lefranc
- n.1 prova di permeabilità di tipo Lugeon;
- n.1 piezometro a tubo aperto per misura del livello della falda (SA2: Indagini 2020);
- n.6 prove pressiometriche in foro (SA2, SA4, SA5, SA12, SA15, SA16)(indagini 2020);
- prove penetrometriche dinamiche continue (indagini 2020: DPSH01);
- prospezioni sismiche a rifrazione da superficie;
- prospezioni sismiche del tipo down-hole all'interno dei sondaggi;
- prove di carico su piastra;
- prelievo di numerosi campioni rappresentativi di litotipi lapidei e non.

Sono stati, inoltre, utilizzati i risultati delle prove geotecniche eseguite sugli stessi litotipi (Calcari e Calcareniti), prelevati in altri tratti dei tracciati in via di progettazione (tracciato A2).

Si precisa che la prova penetrometrica ha interessato terreni sabbioso-limosi di copertura dell'ammasso calcareo e perciò non è utile per la caratterizzazione geomeccanica di detto ammasso. Essa viene riportata solo per completezza di informazione. La trattazione dei risultati delle prove riguardanti i terreni di copertura è riportata nella Relazione geotecnica relativa alla seconda tratta dei tracciati in esame.

campagna 2020			Campagna 2007		
sondaggi	Pozzetti a scavo	sismica	Sondaggi	Pozzetti a scavo	sismica
SA 1	PZ A2	RA 1	PS 0	PG 01	Vps1
SA 4	PZ A3	RA 20	PS 1	PG 02	Vps2
SA 5	PZ A5	RA 2	PS 2	PG 03	Vps2
SA 7 DH	PZ A6	RA 21	PS 2A	PG 04	Vps2
SA 8 DH	PZ A7	RA 22	PS 2B	PG 05	
SA 10 DH	PZ A8	RA 4	PS 3	PG 06	
SA 11 DH	PZ A9	RA 5	PS 3/1	PG 07	
SA 12	PZ A10	RA 6	PS 3A	PG 08	
SA 13 DH	PZ A11		PS 3B	PG 09	
SA 15	PZ A12		PS 3C	PG 12	
SA 16	PZ A13			PG 13	
SA 17DH	PZ A14			PG 14	
SA 6 DH	PZ A15				
	PZ A16				
	PZ A17				
	PZ A18				
	PZ A19				
	PZ A20				
		Prove penetrom. DPSH 01			

Tabella 1 – Elenco delle principali indagini geonostiche eseguite nel tratto in esame

Nota 1: l'elencazione dei sondaggi segue la loro disposizione planimetrica

Nota 2: la tabella riporta tutti i sondaggi eseguiti fino alla località Mass.DeLaurentis

Nota 3: Il sondaggio geonostico SA16 è stato terebrato a valle del gradino morfologico che delimita la Fossa Bradanica; viene qui riportato in quanto esso ha attraversato comunque il substrato calcareo

Per quanto riguarda le prove geotecniche, sono state condotte sia prove geotecniche di laboratorio su campioni di roccia che prove geotecniche in sito (prove pressiometriche).

4 CARATTERI GEOLOGICI ESSENZIALI

4.1 Lito-stratigrafia

Come descritto nella Relazione geologica e come si evince dalle stratigrafie dei sondaggi riportati nei rapporti sulle indagini delle ditte esecutrici, i sondaggi meccanici, al di sotto di un primo strato di terreno vegetale, di spessore variabile da pochi centimetri a 2 m circa, hanno attraversato l'ammasso calcareo costituito da roccia calcarea stratificata e fratturata, debolmente carsificata con presenza di livelli centimetrici di terre rosse. Solo in alcuni casi il basamento calcareo è ricoperto da uno strato di terreni limoso-sabbiosi (ad esempio il sondaggio SA1; 8 m circa) oppure da livelli calcarenitici di varia consistenza (ad esempio: sondaggio SA1 [2 m]; sondaggio SA16 [12 m]). In nessun sondaggio è stata rinvenuta la falda acquifera.

Le stratigrafie di dettaglio rilevate durante le perforazioni sono state integrate con le percentuali di carotaggio ottenute e con i valori dell'indice R.Q.D per le rocce (cfr. tabella seguente). La percentuale di carotaggio è normalmente compresa fra 80-90% e solo in pochi tratti scende al 70%. L'indice RQD è, invece, molto variabile in quanto la roccia calcarea si presenta spesso molto fratturata oppure in strati di spessore centimetrico.

Tab.2 – Percentuale di carotaggio e valore massimo dell'RQD nell'ammasso calcareo

	SA1	SA2	SA4	SA5	SA6	SA7	SA8		
% carotaggio	80-90	90	90	90	80-90	80	70-90		
RQD	10-30	10-80	5-60	5-90	5-80	20-90	5-75		
	SA10	SA11	SA12	SA13	SA15	SA16			
% carotaggio	80-90	80-90	80-90	80-90	90	90			
RQD	15-80	5-80	5-75	5-70	5-90	10-80			
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9
RQD	10-70	10-100	10-70	10-100	10-70	40-100	10-100	20-100	10-40

4.2 Modello geologico del sottosuolo

Dal complesso delle indagini svolte si trae che il sottosuolo della zona attraversata dall'infrastruttura stradale, a meno della copertura vegetale (di spessore variabile da 0 a 220 cm, ma normalmente dell'ordine di un metro), in questo primo tratto Gioia del Colle-Santeramo in colle (Mass.DeLaurentis) può essere normalmente assimilato ad un unico mezzo (litotipo calcareo) con caratteristiche litostratigrafiche sufficientemente uniformi. Solo localmente il modello geologico è riconducibile ad un mezzo a due strati (inf.: calcare di spessore molto elevato; sup: calcareniti/terreni limoso-sabbiosi).

5 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL' AMMASSO ROCCIOSO

Per caratterizzare sotto il profilo geomeccanico la roccia calcarea intatta e quella calcarenitica, sono state effettuate specifiche prove geotecniche di laboratorio su alcuni campioni di roccia lapidea estratti dalle carote dei sondaggi meccanici. Sono stati anche utilizzati i risultati ottenuti su campioni rappresentativi prelevati nelle zone di affioramento di detti litotipi lapidei negli altri tratti studiati degli itinerari stradali A e B, in quanto le formazioni calcarenitiche e calcaree sono le stesse. Per completare il quadro geomeccanico, si è fatto riferimento ai risultati delle prove geofisiche, che consentono di meglio caratterizzare l'ammasso roccioso sotto il profilo elastico.

5.1 Roccia calcarea

Le prove svolte sui campioni 2020 (eseguite dal Laboratorio geotecnico della ditta GEO S.r.l. di Bari) sono consistite nella determinazione dei parametri fisici (peso di volume, peso specifico reale, ecc.) e di resistenza meccanica (prove di compressione monoassiale e/o prove di compressione puntuale) (cfr. Tab.3.1).

Tab.3.1 – Caratteristiche geotecniche roccia calcarea (indagini 2020)

Campione	Profondità m	γ_t (kN/mc)	G	Porosità n (%)	Rc (MPa)	Em (MPa)	ν	P.L. (N/mm ²)
SA1-CL1	10,6-10,8	26,0	2,73	3	102	69.200	0,31	
SA2-CL2	26,6-26,8	23,3	2,74	6	30	53.400	0,46	
SA4-CL1	8,2-8,5	26,0	2,73	6	117	49.800	0,36	
SA4-CL2	16,7-17,0		2,70	4				3,88
SA5-CL1	3,0-3,3	24,9	2,72	7	63	48.500	0,35	
SA7-CL1	2,5-2,7		2,72	3				1,98
SA8-CL1	4,0-4,25	25,7	2,73	3	35	44.400	0,42	
SA10-CL1	3,0-3,2	25,9	2,74	3	138	50.900	0,31	
SA11-CL1	2,85-3,0	25,7	2,71	5	55	32.100	0,52	
SA11-CL2	9,85-10		2,71	2				1,23
SA12-CL1	3,0-3,2		2,70	5				1,31
SA12-CL1	3,0-3,2		2,72	1				
SA15-CL1	3,15-3,30	26,3	2,77	1	37	32.800	0,41	
SA16-CL1	16,8-17,0	26,3	2,73	1	81	106.000	0,70	
SA16-CL2	25,2-25,3	25,0	2,73	5	110	460.000	0,28	
Intervallo		23,3-26,3	2,70-2,77	1-7%	30-138	32-460x10E3		1,23-3,88
Valore medio		25,53	2,72	5,4				

(nota: Em modulo tangente a Rc/2, Es modulo secante a Rc/2, P.L. media su 10 determinazioni)

(nota: i campioni evidenziati in grigio sono relativi a roccia calcarea cariata o molto fratturata)

(nota: la sigla dei campioni – CLx – è tratta dai certificati delle prove di laboratorio)

Prove analoghe sono state eseguite sui campioni 2007 (cfr. tab.3.2) ottenendo risultati confrontabili con quelli forniti dalle prove 2020.

Tab.3.2 – Caratteristiche geotecniche roccia calcarea (indagini 2007)

Campione	Profondità m	γ_t (kN/mc)	Rc (MPa)
S1-C1	10-10,5	23,8	71,57
S2-C1	3,5-4	24,2	74,58
S2-C2	10-10,5	24,0	72,78
S3-C1	5,5-6	24,4	72,61
S4-C1	9,5-10	23,9	72,52
S4-C2	14,5-15	24,1	70,45
S5-C1	4,5-5	24,3	68,39
S5-C2	9,5-10	24,6	63,31
S6-C1	4-4,5	24,5	73,81
S6-C2	9,5-10	24,2	72,00
S7-C1	6,5-7	24,5	73,64
S8-C1	6,5-7	23,9	74,67
S8-C2	12-12,5	24,4	79,57
S9-C1	5-5,5	2,24	36,82
S9-C2	11,5-12	24,3	87,23
S10-C2	15-15,5	22,6	33,21
Intervallo		23,8-24,6	63,31-87,23
Valore medio (*)		24,22	73,37

(nota: i campioni evidenziati in grigio sono relativi a roccia calcarea cariata)
 (*) su 14 determinazioni

I valori ottenuti individuano rocce con buone caratteristiche fisico-meccaniche. La roccia calcarea integra è, infatti, un materiale lapideo con elevata compattezza e resistenza medio-bassa (secondo la classifica di Deere e Miller). I risultati delle prove svolte mostrano che la roccia calcarea è generalmente compatta ($n=1\div 7\%$), con elevati valori del peso di volume ($23,8-26,3 \text{ kN/m}^3$), prossimi al peso di volume reale. Per quanto riguarda i valori di resistenza meccanica, i valori più elevati ($R_c > 100 \text{ N/mm}^2$) sono relativi a strati calcareo-dolomitici, quelli più bassi si riferiscono a campioni con presenza di cariatature e sottili fessure. Gli altri ricadono nell'intervallo di valori usualmente mostrati dalla roccia calcarea della zona murgiana.

5.1.1 Resistenza meccanica dell'ammasso roccioso calcareo

Per la classificazione geomeccanica dell'ammasso roccioso si è fatto riferimento alla Classifica di Bieniawski che fornisce l'indice RMR_b (Rock Mass Rating di base).

Come è noto, l'RMR_b è dato dalla somma di cinque parametri:

$$\text{RMR}_b = A1 + A2 + A3 + A4 + A5$$

ove (cfr. tabella allegata):

A1 è funzione della resistenza a compressione monoassiale (Co) del materiale lapideo

A2 è funzione del valore dell'RQD,

A3 è funzione della spaziatura delle discontinuità

A4 è funzione delle condizioni delle discontinuità

A5 tiene conto della presenza o meno di acqua nel sottosuolo.

Nel caso in esame, visti i risultati delle indagini geognostiche e le caratteristiche meccaniche della roccia innanzi richiamate, si può assumere (cfr.tab.3):

A1 = 5 (resistenza media: 30-100 MPa),

A2 = 8 (RQD=10-50%, valore mediato 25%),

A3 = 10 (spaziatura media 0,2-0,6 m),

A4 = 25 (discontinuità poco scabre, apertura <1 mm),

A5 = 15 (asciutta).

Parametri	Intervalli di valori							
Resistenza roccia sana	Resistenza al «Point Load test» (MPa)	> 10	4 - 10	2 - 4	1 - 2	Per questi bassi valori e preferibile la prova di compressione monoassiale		
	Resistenza a compressione monoassiale (MPa)	> 250	100 - 250	50 - 100	25 - 50	5 - 25	1 - 5	< 1
Coefficienti numerici		15	12	7	4	2	1	0
Rock Quality Designation RQD (%)		90 - 100	75 - 90	50 - 75	25 - 50	< 25		
Coefficienti numerici		20	17	13	8	3		
Spaziatura delle discontinuità		> 2 m	0,6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm		
Coefficienti numerici		20	15	10	8	5		
Condizione dei giunti		Superfici molto rugose. Discontinuità chiuse e non persistenti. Pareti non alterate	Superfici debolmente rugose. Apertura delle discontinuità < 1 mm. Pareti leggermente alterate	Superfici debolmente rugose. Apertura delle discontinuità < 1 mm. Pareti completamente alterate	Superfici lisce o riempimenti argillosi di potenza < 5 mm o discontinuità collegate e con apertura di 1 - 5 mm	Riempimenti di argilla molle di potenza > 5 mm o discontinuità collegate e con apertura > 5 mm, persistenti		
Coefficienti numerici		30	25	20	10	0		
Presenza di acqua	Venute d'acqua in 10 m di galleria (l/min)	Nulla	< 10	10 - 25	25 - 125	> 125		
	Rapporto tra la pressione dell'acqua nelle discontinuità e la massima sollecitazione principale	0	< 0,1	0,1 - 0,2	0,2 - 0,5	> 0,5		
Condizioni generali della roccia		Perfettamente asciutta	Umida	Bagnata	Stillicidi	Venute d'acqua		
Coefficienti numerici		15	10	7	4	0		

Tab.3 – Intervalli di valori dei parametri di Bieniawski

Segue: $RMR_b = A1+A2+A3+A4+A5 = 5+8+10+25+15 = 63$

cui corrisponde un ammasso roccioso di classe II ($RMR_b = 66-80$: buono).

COLLEGAMENTO MEDIANO MURGIA - POLLINO TRATTO GIOIA DEL COLLE – MATERA – FERRANDINA – PISTICCI BY-PASS DI MATERA PROGETTO DI FATTIBILITÀ TECNICO ECONOMICA <i>Relazione Geotecnica 1 – Tratto Gioia del Colle – Santeramo in Colle</i>	File:T00-EG00-GEN-RE01-A Data: Febbraio 2022 Pag. 13 di 21
--	--

Classe di qualità dell'ammasso roccioso secondo Bieniawski

RMRb	100-81	80-61	60-41	40-21	20-0
Classe	I	II	III	IV	V
descrizione	Molto buono	buono	mediocre	scadenre	Molto scadente

Dai valori di RMRb è possibile anche ricavare i parametri di resistenza dell'ammasso, forniti dalle formule seguenti (nel calcolo, a vantaggio di sicurezza si è assunto RMRb = 60):

$$c \text{ (kPa)} = 5 \text{ RMRb} = 270 \text{ kPa}$$

$$\Phi = 0,5 \text{ RMRb} + 5 = 27 + 5 = 32^\circ$$

$$E \text{ (GPa)} = 2 \text{ RMRb} - 100 = 8 \text{ GPa.}$$

5.1.2 Caratteristiche di elasticità dell'ammasso roccioso calcareo

Per quanto riguarda le caratteristiche elastiche dell'ammasso calcareo è possibile dedurle dai risultati delle prospezioni sismiche (prove down-hole e prove sismiche di superficie) (cfr. allegato T00.GE00.GEO.RE04 relativo alle indagini geofisiche) e delle altre prove geotecniche in sito (prove pressiometriche).

5.1.2.a Indagini sismiche in foro

Tab.4 - Tabella riassuntiva delle velocità delle onde P e S (Prova down-hole)

sondaggio	Intervalli di profondità	Velocità onde P (m/s)	Velocità onde S (m/s)	Modulo elastico Edin (MPa)	Modulo statico Estat (MPa)
SA 6	2-20	600-1820	280-830	330-3700	40-450
	20-35	1820-2000	830-950	3700-4940	450-600
SA 7	2-20	500-1500	300-820	340-3200	41-390
	20-35	1500-1700	820-930	3200-4410	390-530
SA 8	2-20	700-1600	300-760	100-3050	44-370
	20-35	1600-1955	760-850	3050-4030	370-490
SA 10	2-8	540-1200	410-730	1000-2400	120-290
	8-30	1200-1955	730-950	2400-5130	290-620
SA 11	2-20	480-1930	290-860	280-4000	34-480
	20-35	1930-2120	860-950	4000-5150	480-620
SA 13	2-14	330-1900	190-1000	420-6000	250-2200
	14-35	1900-2215	1000-1190	6000-7615	2200-2520

Nel rapporto della ditta Apogeo S.r.l. sono riportati i valori dei principali parametri elastici ricavati a partire dai valori delle velocità longitudinale (Vp) e trasversale (Vs) delle onde elastiche, assumendo un peso di volume approssimato, ma credibile per le varie

porzioni dell'ammasso calcareo. Nella tabella è riportato anche il modulo elastico statico ricavato dalla seguente relazione sperimentale $E_{stat} = 0,97 E_{din}/8,3$.

Per l'ammasso calcareo in esame, nell'ambito del volume significativo al di sotto del piano di fondazione dell'opera, i valori dei due parametri sono, pertanto, pari a:

$$E_{din} > 1.800 \text{ MPa} \quad E_{stat} > 210 \text{ MPa.}$$

Per quanto riguarda, infine, il modulo di reazione del terreno, con Vesic si può utilizzare la relazione:

$$k \approx E / B (1 - \nu^2).$$

A riguardo dei valori su esposti, è importante osservare che, trattandosi di valori calcolati e non misurati, risentono delle approssimazioni insite nelle formule teoriche, comprese nel caso in esame fra 10% e 20%.

5.1.2.b Indagini sismiche da superficie

Nel tratto in esame sono state eseguite 9 prospezioni sismiche da superficie nel corso delle indagini 2020 (denominate RA1÷RA6 e RA20÷RA22) e 6 prospezioni sismiche da superficie nel corso delle indagini 2007 (denominate Vps1÷Vps6). Nelle figure che seguono sono riportate le sezioni sismo-stratigrafiche, ricostruite dal geofisico, relative alle zone in cui è presente l'ammasso calcareo; sulle stesse sezioni sono anche riportati i valori medi delle velocità delle onde longitudinali (p) e trasversali (s). Per maggiori dettagli si rimanda al Rapporto della ditta esecutrice allegato come documentazione.

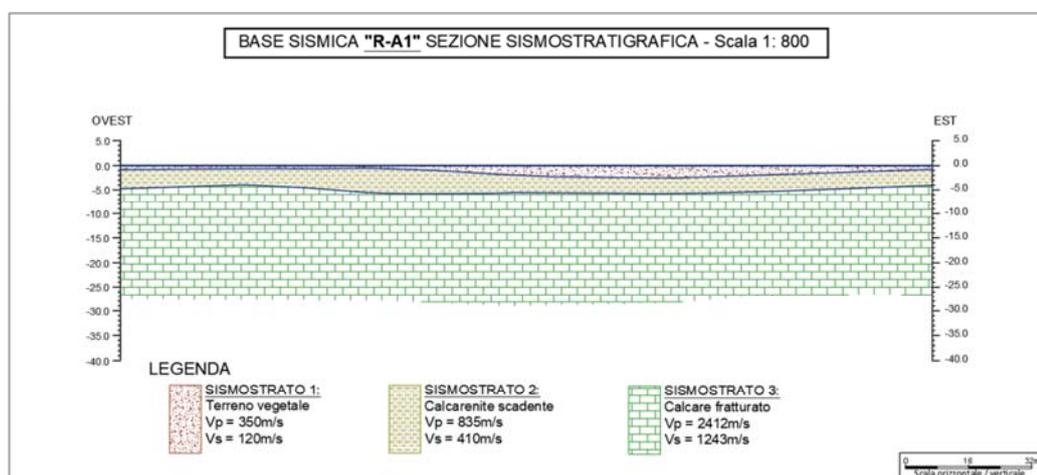


Fig.3.1 – Prospezione sismica RA1

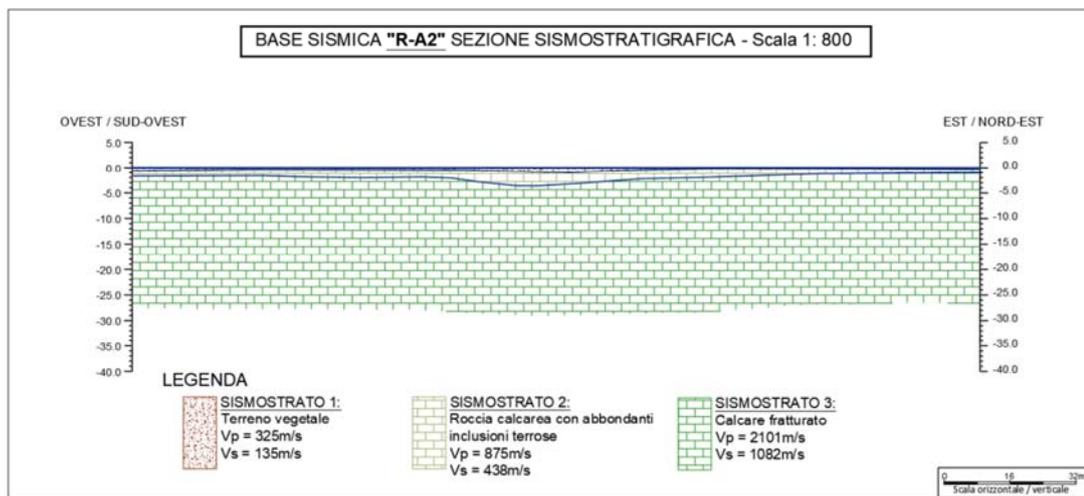


Fig.3.2 – Prospezione sismica RA2

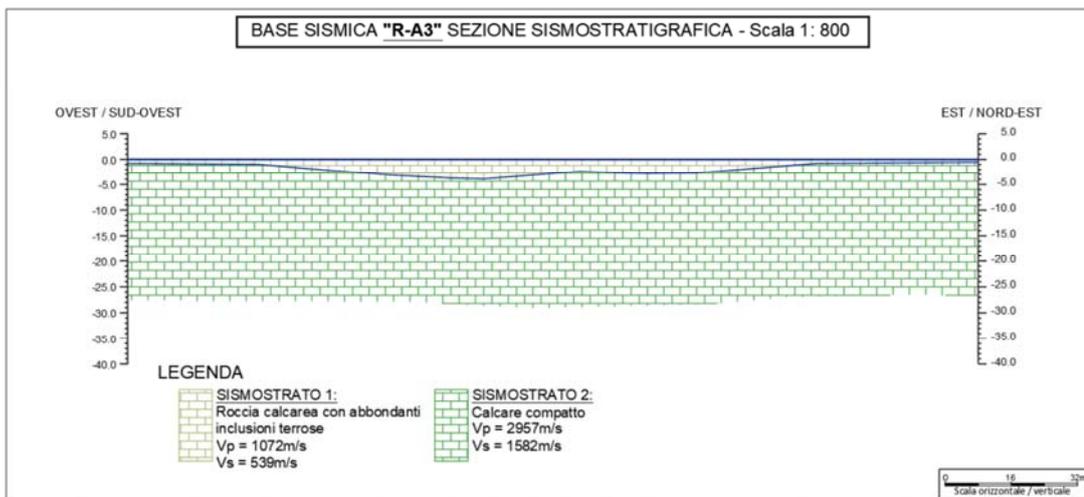


Fig.3.3 – Prospezione sismica RA3

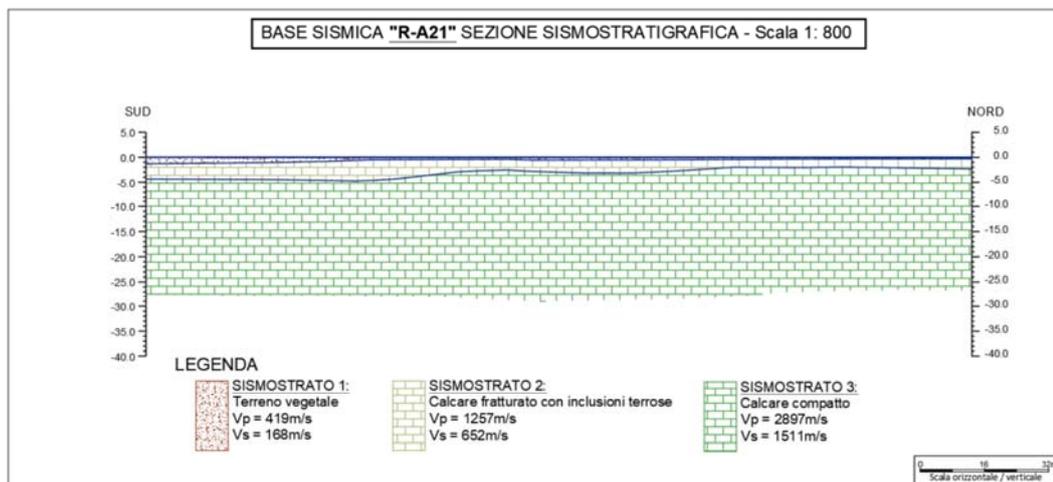


Fig.3.4 – Prospezione sismica RA21

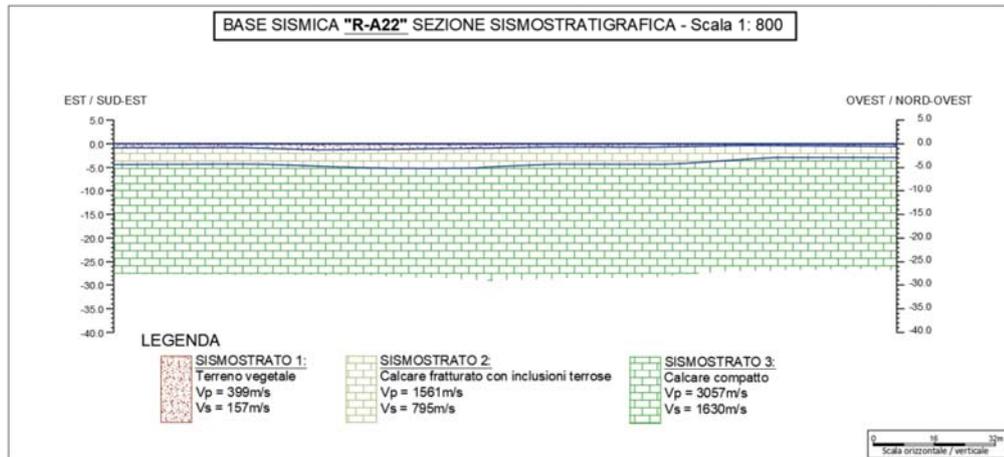


Fig.3.5 – Prospezione sismica RA22

I valori delle velocità sismiche fornite dalle prospezioni da superficie sono sostanzialmente in linea con quelli forniti dalle prove sismiche in foro; le differenze sono da attribuire alla differente metodologia di indagine che coinvolge volumi di terreno differenti.

5.1.2.c Prove pressiometriche

Delle sei prove pressiometriche eseguite nei fori di sondaggio ricadenti in questo tratto, cinque hanno interessato l'ammasso calcareo, più o meno fratturato. Nella tabella 5 seguente sono riportati i risultati delle prove svolte (modulo pressiometrico, pressione limite, ecc.), nonché i parametri da essi ricavabili attraverso le note formule di Cassan ed altri:

- Modulo di Young: $E = E_m / \alpha$

(ove α , funzione del rapporto E_m / P_I , risulta pari a $\alpha = 0.27$)

- Modulo di taglio: $T = E_m / (2(1+\nu))$

Tab.5 – Tabella riassuntiva risultati prove pressiometriche

sondaggio	SA 02	SA 04	SA 05	SA 12	SA 15
Profondità (m)	-10	-10	-10	-10	-10
Modulo Poisson ν	0.35	0.35	0.35	0.35	0.35
Modulo pressiom. E_m (MPa)	460	330	330	310	260
Pressione limite P_I (MPa)	8.81	9.24	9.38	9.26	9.09
Modulo di taglio T (MPa)	170	122	122	115	96
Modulo di Young E (MPa)	1394	1000	1000	939	788

valori non dissimili da quelli ottenuti con altro tipo di indagine.

5.2 Roccia calcarenitica

Nel tratto in esame la roccia calcarenitica è presente in affioramenti poco estesi di ridotto spessore. Non essendo stato attraversato dai sondaggi materiale idoneo per prove geotecniche di laboratorio, si è fatto riferimento ai risultati delle prove effettuate su campioni prelevati in altre zone di affioramento della calcarenite presenti negli altri tratti oggetto di progettazione, in particolare nella zona di Matera (cfr. Relazione geotecnica – 3° tratto).

Le prove svolte (eseguite dal Laboratorio geotecnico della ditta GEO S.r.l. di Bari) sono consistite nella determinazione dei parametri fisici (peso di volume, peso specifico reale, ecc.) e di resistenza meccanica (prove di compressione monoassiale) (cfr. Tabella 6).

I valori ottenuti individuano rocce con discrete caratteristiche fisico-meccaniche. La roccia calcarenitica, infatti, si presenta generalmente massiva, con poche discontinuità, mediamente compatta e resistenza medio-bassa (secondo la classifica di Deere e Miller). I risultati delle prove svolte mostrano che la roccia calcarenitica ha normalmente una discreta porosità ($n=21-44\%$) e valori del peso di volume molto variabili ($13,5-21 \text{ kN/m}^3$) in ragione delle dimensioni dei granuli che la costituiscono. Infatti, prendendo in esame i valori di resistenza meccanica, si osserva che si passa da materiale con bassa resistenza meccanica ($R_c < 100 \text{ N/mm}^2$) a materiali con resistenza meccanica media ($R_c = 100-300 \text{ N/mm}^2$). I valori più elevati riscontrati nelle prove ($R_c > 300 \text{ N/mm}^2$, paragonabili a quelli di un discreto litotipo calcareo) sono relativi a strati nei quali la diagenesi risulta particolarmente spinta, prevalentemente per motivi di natura chimica.

Tab.6 – Caratteristiche geotecniche roccia calcarenitica
 (campioni prelevati in altro tratto dell'itinerario Murgia-Pollino)

Campione	Profondità m	Peso- volume (kN/m^3)	Peso specifico reale	Porosità n (%)	Rc (MPa)	Em (MPa)	Es (MPa)
SA55-CL1	7,7-8,0	16,2	2,66	38	1,86	580	234
SA55-CL2	16,4-16,7	22,0	2,68	8	5,36	1214	389
SA56-CL3	25,0-25,4	18,1	2,69	31	4,88	16126	1524
SA57-CL1	13,3-13,5	20,2	2,67	21	9,86	7421	2482
SA34-CL1	20,0-20,2	14,7	2,67	29	2,96	745	494
SA35-CL1	19,8-20,2	17,0	2,69	23	2,99	706	481
SA38-CL1	11,8-12,0	16,5	2,68	30	2,26	2722	1519
SA39-CL1	2,7-2,9	18,1	2,68	30	1,44	174	118
SA39-CL2	11,7-11,9	16,0	2,69	26	2,22	1579	954
SA41-CL2	9,0-9,2	20,9	2,67	21	17,36	4968	2776
SA33-CL1	3,1-3,3	17,4	2,67	29	2,42	514	491
Intervallo		13,5-21	2,65-2,71	21-44	1,44-17,36	174-16126	118-2776
Valori medi		17,70	2,67	31,2			

6 MODELLO GEOTECNICO DEL SOTTOSUOLO E PARAMETRI GEOTECNICI

Il tronco stradale in oggetto, come anticipato in premessa, impegna prevalentemente gli ammassi lapidei costituiti dai Calcari di Altamura e dalle Calcareniti di Gravina.

Nel primo caso si è in presenza di un ammasso costituito da roccia calcareo-dolomitica in strati di spessore variabile da pochi centimetri al metro, separati da giunti di strato con apertura generalmente ridotta. La qualità della roccia è decisamente buona. Quella dell'ammasso è condizionata dalla frequenza dei giunti e dalle loro caratteristiche, nonché dalla presenza eventuale di terre rosse o altri materiali di riempimento ed, infine, dalla storia tettonica della zona.

Nel caso dell'ammasso calcarenitico, esso si presenta in genere massivo o in strati di grande spessore, per cui il comportamento dell'ammasso è riconducibile al comportamento della roccia. Per quanto riguarda la qualità della roccia, essa varia da zona a zona in ragione del grado di diagenesi raggiunto. In ogni caso, anche la roccia calcarenitica più tenera presenta buone caratteristiche di resistenza meccanica.

I parametri geotecnici attribuibili a detti materiali, utilizzabili nei calcoli geotecnici, sono i seguenti:

- ammasso calcareo:

peso di volume:	$\gamma_t > 23 \text{ kN/m}^3$
resistenza meccanica:	$R_c > 30 \text{ MPa}$
modulo elastico tangente:	$E_m > 32000 \text{ MPa}$
oppure (con riferimento alla classifica di Bieniawski):	
coesione equivalente:	$c_{eq} = 270 \text{ kPa}$
angolo di attrito equivalente:	$\Phi_{eq} = 32^\circ$
modulo elastico equivalente:	$E_{eq} = 8 \text{ GPa}$

- ammasso calcarenitico:

peso di volume:	$\gamma_t > 13,5\text{-}21 \text{ kN/m}^3$
resistenza meccanica:	$R_c > 1 \text{ MPa}$
modulo elastico tangente:	$E_m > 170 \text{ MPa}$

I valori su riportati caratterizzano gli ammassi in modo del tutto generale. In sede di progettazione esecutiva, con riferimento alle opere d'arte maggiori (ponti e tombini di grandi dimensioni), sarà necessario verificare caso per caso le condizioni geologiche e geotecniche della zona di imposta di dette opere e scegliere di conseguenza i parametri più consoni alla problematica in esame, anche in relazione a possibili fenomeni di carsismo, frequenti nell'ammasso calcareo.

Per quanto riguarda il modello geotecnico, esso può in generale essere assunto pari a un sistema monostrato di spessore molto elevato (calcari o calcareniti). Solo localmente il modello è riconducibile ad un mezzo a due strati (inf.: calcare di spessore molto elevato; sup: calcareniti/terreni limoso-sabbiosi).

7 INDICAZIONI PROGETTUALI

Si riportano di seguito alcune indicazioni di carattere generale a riguardo della progettazione delle opere.

7.1 Rilevati stradali

In questo primo tratto dei tracciati stradali studiati (tracciati A e B, tronco iniziale da Gioia del Colle a Santeramo in Colle, zona Mass.DeLaurentis) il substrato calcareo è generalmente presente a breve profondità dal piano campagna. Infatti, le stratigrafie dei sondaggi meccanici mostrano che, con poche eccezioni, lo spessore del terreno vegetale di copertura dell'ammasso è dell'ordine del metro. Solo in corrispondenza di zone depresse lo spessore risulta maggiore, fino a 2,20 m. Occasionalmente, a tetto dell'ammasso calcareo, si rinviene l'ammasso calcarenitico

Pertanto, il piano di posa dei rilevati si potrà posizionare direttamente sull'ammasso calcareo o su quello calcarenitico (ove presente) asportando il terreno di copertura. Trattandosi, in entrambi i casi, di materiali lapidei a comportamento rigido e dotati di buone caratteristiche geomeccaniche, non si ravvisano problemi né di capacità portante né di cedimenti.

7.2 Zone in trincea

Nel caso di scavi per la realizzazione di trincee stradali o per l'imposta di opere d'arte, le buone caratteristiche geomeccaniche dell'ammasso calcareo e di quello calcarenitico attribuiscono ad essi buone condizioni di stabilità per cui potranno adottarsi inclinazioni elevate delle pareti di scavo (5:1 – 10:1) o addirittura parete verticale. Infatti, l'ammasso calcarenitico si presenta in genere massivo senza evidente stratificazione, mentre l'ammasso calcareo presenta stratificazione sub-orizzontale. Pertanto, in questo secondo caso andrà determinata l'inclinazione degli strati calcarei per evitare, nel caso di inclinazione elevata, fenomeni di scivolamento lungo i piani di strato. Altro fenomeno possibile riguarda il distacco di blocchi lapidei di varia dimensione nel caso di intensa fratturazione dell'ammasso. Laddove si preveda il rischio di scivolamenti e/o di caduta di blocchi, si potranno porre in opera reti paramassi di contenimento.

7.3 Opere in calcestruzzo armato

Nel caso di strutture in calcestruzzo armato (quali spalle di ponti, muri di sostegno, tombini, ecc.) per i motivi su esposti (materiali lapidei a comportamento rigido e dotati di buone caratteristiche geomeccaniche) potranno essere adottate fondazioni di tipo diretto.

Non va, tuttavia, sottovalutato il pericolo di rinvenimento di cavità carsiche nell'ammasso calcareo, per cui, in corrispondenza dei piani di posa delle fondazioni delle opere d'arte sarà necessario prevedere la esecuzione di specifiche indagini geognostiche (fori di sondaggio, sismica a rifrazione, geoelettrica, ecc.) per accertare la continuità dell'ammasso roccioso.

7.4 Alternative di tracciato

Per quanto riguarda gli aspetti geologici e geotecnici dei due tracciati A e B che collegano Gioia del Colle a Santeramo in colle e alla zona di Mass.DeLaurentis, i due tracciati sono sostanzialmente equivalenti in quanto entrambi interessano l'ammasso calcareo e, localmente, l'ammasso calcarenitico.

Bari, Febbraio 2022