

S.p.A.

DIREZIONE CENTRALE PROGRAMMAZIONE PROGETTAZIONE

PA 12/09

CORRIDOIO PLURIMODALE TIRRENICO - NORD EUROPA

ITINERARIO AGRIGENTO - CALTANISSETTA - A19

S.S. N° 640 "DI PORTO EMPEDOCLE"

AMMODERNAMENTO E ADEGUAMENTO ALLA CAT. B DEL D.M. 5.11.2001

Dal km 44+000 allo svincolo con l'A19

PROGETTO ESECUTIVO

Contraente Generale:



OPERE D'ARTE MAGGIORI GALLERIE NATURALI GALLERIA NATURALE CALTANISSETTA

Relazione Tecnica descrittiva

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

Codice Elaborato:

PA12_09 - E 1 2 5 GN 2 0 4 GN 0 2 Z R H 0 0 0 B

Scala: -----

F						
E						
D						
C						
B	Ottobre 2011	Rif. Istruttoria prot. CDG-0141142-P del 19/10/11	M. PAPA	R. CAPOCCHI	M. LITI	P. PAGLINI
A	Aprile 2011	EMISSIONE	M. PAPA	A. TURSO	M. LITI	P. PAGLINI
REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO
Responsabile del procedimento: Ing. MAURIZIO ARAMINI						

Il Progettista:



Il Consulente Specialista:



Geologo:



Il Coordinatore per la sicurezza in fase di progetto:



Il Direttore dei lavori:



Sommario

1	Premessa	3
2	Descrizione dell'opera.....	4
2.1	Descrizione della Galleria in Progetto Definitivo.....	4
2.2	Descrizione della galleria in Progetto Esecutivo.....	8
2.3	Mantenimento manutenibilità	14
2.4	Mantenimento sicurezza	14
3	Materiali	14
3.1	Materiali PD	14
3.2	Materiali PE	15
3.3	Differenze tra PD e PE.....	16
3.3.1	Mantenimento durabilità.....	16
4	Normativa di riferimento.....	17
4.1	Normativa di P.D.....	17
4.2	Normativa di P.E.....	18
4.3	Differenza tra il PD ed il PE.....	19
5	Quadro geologico, geotecnico, geomeccanico e idrogeologico.....	19
5.1	Progetto Definitivo	19
5.1.1	Indagini di Progetto Definitivo	19
5.1.2	Interpretazioni.....	20
5.1.3	Indicazioni idrogeologiche.....	21
5.1.4	Livello della saturazione misurata nelle argille	22
5.1.5	Caratteristiche geostrutturali delle formazioni attraversate indicate nel PD	22
5.1.6	Conclusioni	24
5.2	Progetto Esecutivo.....	25
5.2.1	Modello Geologico-Geotecnico di Progetto Esecutivo.....	25
5.2.2	Interpretazione.....	27
5.2.3	Indicazioni idrogeologiche e loro interpretazione.....	30
5.2.4	Caratteristiche geostrutturali delle formazioni attraversate secondo il PE	32
5.3	Conclusioni	34

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH000_B.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 10/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	<i>Pagina</i> 2 di 35

1 PREMESSA

La presente relazione tecnica illustrativa è relativa al progetto esecutivo delle opere per la realizzazione della galleria Caltanissetta da realizzarsi nell'ambito dei lavori di ammodernamento e adeguamento alla cat. B del D.M. 05.11.2001, dal km 44+000 alla svincolo con l'A19 dell'Itinerario Agrigento - Caltanissetta – A19 S.S. N°640 "di Porto Empedocle".

La presente relazione è redatta ai sensi dell'Allegato XXI - Sezione III: art 19- del D. lgs. 163/2006.

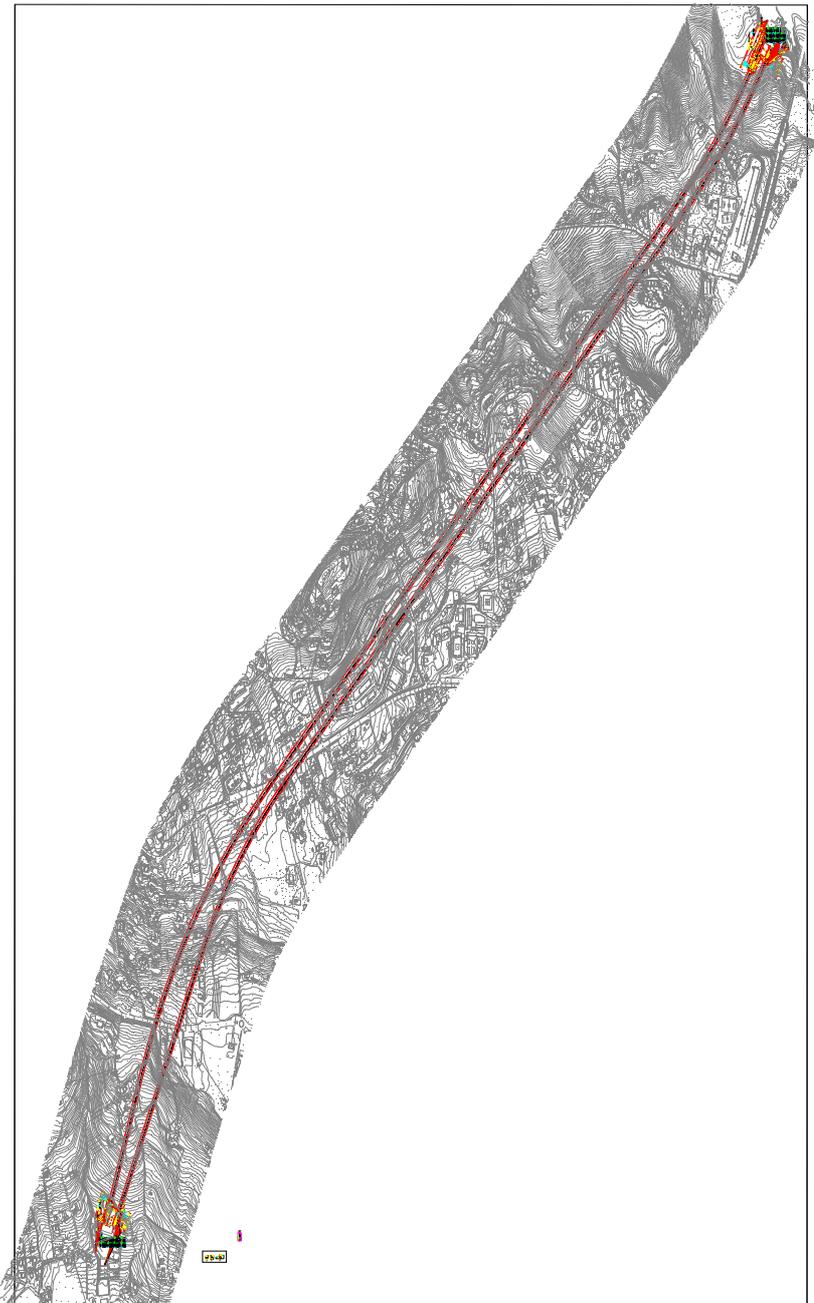


Figura: Pianta

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH000_B.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 10/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	<i>Pagina</i> 3 di 35

2 DESCRIZIONE DELL'OPERA

2.1 Descrizione della Galleria in Progetto Definitivo

La galleria sottopassa la periferia dell'agglomerato urbano di Caltanissetta con una copertura massima di 130 mt, è formata da due canne distanti da un minimo di 35 mt circa in prossimità degli imbocchi a un massimo di 85 mt a circa metà della lunghezza delle stesse.

La canna posta sulla carreggiata SX è composta, a partire dalla lato AG, dalla progressiva 12+883,34 alla progressiva 12+942,34, da un tratto da 59,00 mt di galleria artificiale, dalla progressiva 12+942,34 alla progressiva 16+813,42, da un tratto di galleria naturale della lunghezza complessiva di 3871,08 m e un ulteriore tratto di galleria artificiale, lato A19, di 127,583 dalla progressiva 16+941,00 alla progressiva 16+941,00;

Analogamente la canna Dx presenta un tratto iniziale di 41 mt in artificiale dalla progressiva 12+894,00 alla 12+935,00 il tratto centrale in naturale che ha uno sviluppo di 3910,00 m dalla progressiva 12+935,00 alla progressiva 16+845,00 e il tratto lato A19 in artificiale della lunghezza di 85,00 mt dalla progressiva 16+845,00 alla progressiva 16+930,00

Sezione della Galleria

L'ampiezza iniziale della galleria era di 9,75 mt e la sezione di scavo è di 140 mq la quale in considerazione delle condizioni geologiche, idrogeologiche, e geotecniche "normali", è stata pensata una realizzazione mediante scavo meccanizzato (TBM) a raggio 12,00 mt.

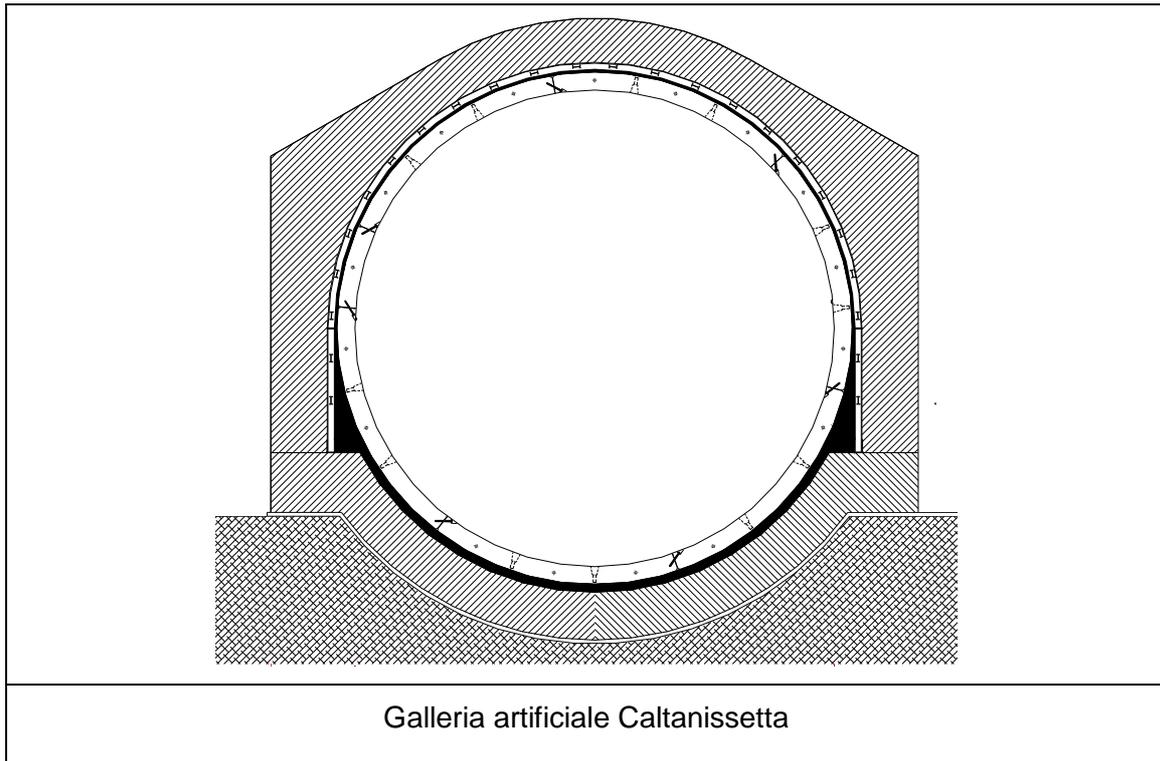
Per questa ragione l'arco rovescio delle gallerie artificiali verrà realizzato a forma di "culla" in c.a., per consentire il transito dello scudo della fresa.

Il rivestimento di calotta verrà realizzato mediante centine in acciaio, casserate con pernerov-metal, su cui verrà realizzato il getto di cls. All'interno verranno disposti, durante il transito della macchina, i conci prefabbricati dello spessore di 45 cm;

l'intercapedine sarà opportunamente riempita con malta cementizia fino al completo intasamento a tergo dei conci (vedi figura allegata).

La geometria della sezione esaminata, che conferma quanto previsto nel Progetto Definitivo, è riportata nella figura seguente.

Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 4 di 35



Le dimensioni principali sono le seguenti:

Arco rovescio: spessore 100 cm

Piedritti, spessore minimo 120;

Calotta: spessore 120 cm;

Luce interna massima: 12.9 m

Altezza massima interna: 10.67 m

L'imbocco, che conserva trasversalmente la geometria della sezione tipo, in direzione longitudinale è a becco di flauto.

Opere di imbocco

Le opere di sostegno dell'imbocco lato Agrigento della galleria caltanissetta sono realizzate tramite pali di grosso diametro (\varnothing 1200) con interasse di 1.4 m. Sono presenti al massimo 6 ordini di tiranti di cui il primo sulla trave di coronamento. Complessivamente sono presenti 116 pali e 89 tubi di drenaggio della lunghezza di 30 m

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH000_B.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 10/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	<i>Pagina</i> 5 di 35

PROGETTO ESECUTIVO



Figura: Imbocco Lato AG

L'imbocco lato A19 presenta le stesse caratteristiche dell'imbocco lato Agrigento, sono presenti 230 pali di grosso diametro ($\varnothing 1200$) con interasse di 1.4 m, sono presenti al massimo 7 ordini di tiranti. L'imbocco risulta leggermente arretrato allo scopo di evitare, per quanto possibile, di intercettare con la galleria e con l'opera di sostegno stessa (nelle condizioni di massima altezza) un zona geologicamente caratterizzata dalla presenza di argille brecciate

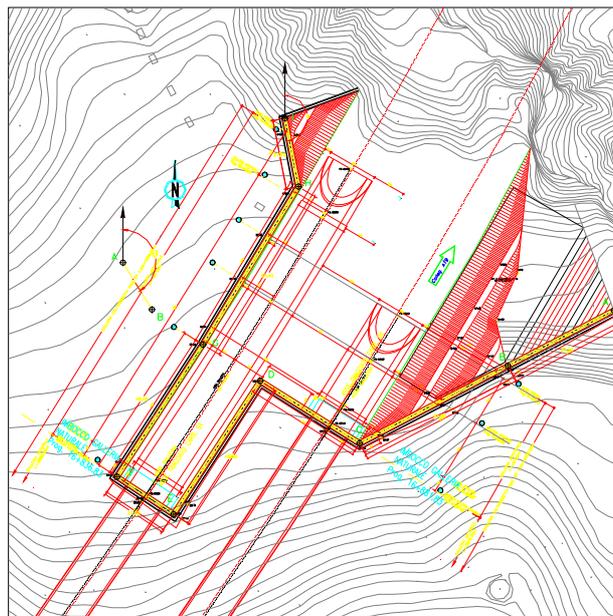


Figura: Imbocco Lato A19

Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 6 di 35

Modalità esecutive

I primi metri di galleria naturale verranno realizzati in tradizionale in modo da garantire una copertura adeguata sia in entrata che in uscita della fresa, e prevenire fenomeni di instabilità dovuti alla spinta sul fronte della TBM stessa. La lunghezza di questi tratti andrà valutata in funzione delle effettive condizioni geomeccaniche che si riveleranno in fase di realizzazione in prima approssimazione si possono valutare sui sui 6-10 m per ogni galleria.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH000_B.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 10/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	<i>Pagina</i> 7 di 35

2.2 Descrizione della galleria in Progetto Esecutivo

Le caratteristiche geometriche della galleria in P.E rimarcano essenzialmente quelle di P.D.

Di seguito si riportano le progressive di inizio e fine dei tratti in artificiale e naturale oltre alle lunghezze assolute e parziali dei singoli tratti.

	lato	tratto in ARTIFICIALE		tratto in NATURALE			tratto in ARTIFICIALE		lato	L.Tot
	Agrigento	imbocco Portale		imbocco GN		imbocco GN		imbocco Portale	A19	
CALTANISSETTA	Carr. SX SUD	12897.83	59.00 m	12956.83	3880.00 m	16836.83	120.00 m	16956.83	Carr. SX SUD	4059.00 m
CALTANISSETTA	Carr. DX NORD	12915.83	41.00 m	12956.83	3925.00 m	16881.83	40.00 m	16921.83	Carr. DX NORD	4006.00 m

Le coperture del rilievo all'interno del quale si sviluppa la galleria raggiungono valori dell'ordine dei 130 metri.

Opere di imbocco

L'imbocco lato Agrigento è realizzato tramite paratia di pali ϕ 1200 mm posti ad un interasse di 140 cm e armati con gabbia realizzata da 40 tondini ϕ 26 mm. L'altezza massima della paratia prevede un ancoraggio al terreno effettuato mediante 6 ordini di tiranti. Le travi di ripartizione sono costituite da 2 profilati HEB 220.

L'imbocco lato A19 è realizzato tramite paratia di pali ϕ 1200 mm posti ad un interasse di 140 cm e armati con gabbia realizzata da 40 tondini ϕ 26 mm. L'altezza massima della paratia prevede un ancoraggio al terreno effettuato mediante 7 ordini di tiranti. Le travi di ripartizione sono costituite da 2 profilati HEB 200.

Modalità esecutive

Le indagini geologiche di 2° e 3° fase hanno evidenziato che lo scavo si sviluppa attraverso una serie di dislocazioni e di faglie che hanno reso necessario una profonda rivisitazione del modello geotecnico. Infine la presenza costante di battenti idraulici notevoli lungo tutto lo sviluppo dell'opera è causa di severe condizioni al contorno hanno reso necessario aggiornare le tecniche di avanzamento e le strutture di sostegno.

Lo scavo della galleria naturale avviene in tradizionale per i primi metri 24 di galleria da ambedue gli imbocchi. Il resto della galleria viene realizzato con scavo meccanizzato attraverso l'utilizzo di EPB. Per agevolare la realizzazione del primo tratto di galleria dall'imbocco lato

Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 8 di 35

Agrigento, viene realizzato un consolidamento tramite colonne in jet-grouting da piano campagna per un tratto di 200 mt. in dx e 130 in sx.

Il rivestimento in calcestruzzo armato prefabbricato è composto da un anello formato da 8 conci (7 + 1 concio di chiave) di spessore pari a 0.60 m.

Le caratteristiche geometriche principali di tale anello sono le seguenti:

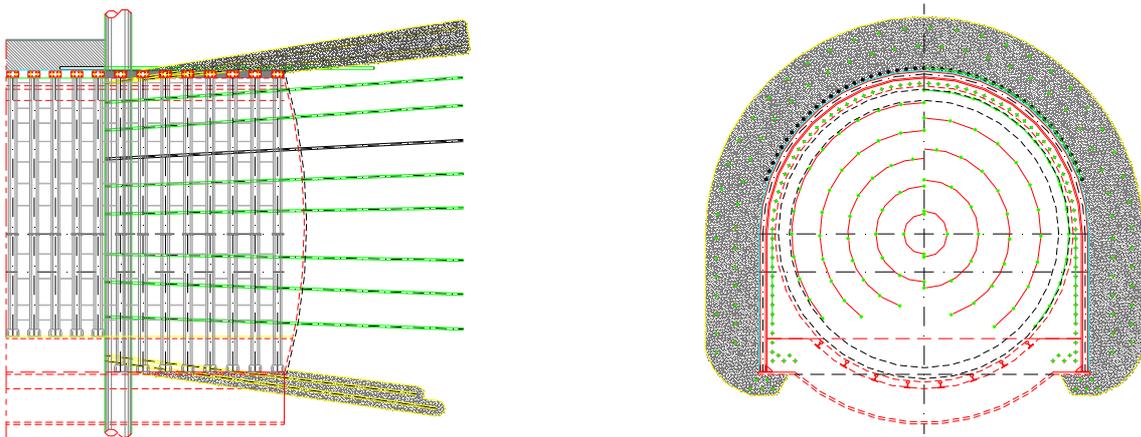
diametro esterno:	13.20 m
diametro interno:	12.00 m
spessore:	0.60 m
lunghezza media:	1.40 m
numero di conci:	8 (7 + 1 concio di chiave)

Di seguito si riporta una sintesi degli interventi proposti per l'avanzamento degli scavi.

Scavo in tradizionale

Dopo il posizionamento della dima di attacco, si realizzerà per i primi 24 mt. lo scavo in tradizionale, sia lato Ag che A19, al fine di agevolare l'operatività della TBM e prevenire fenomeni di instabilità.

SCAVO IN TRADIZIONALE



Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 9 di 35

Scavo meccanizzato

Intervento Tipo 1 – Avanzamento corrente

Per tutta la lunghezza della galleria escluso i tratti di imbocco, realizzati in tradizionale per 24 mt, sia dal lato AG e lato A19 che il tratto delle calcareniti brecciate il quale viene eseguito con la Sezione Tipo 2, la realizzazione della stessa avviene utilizzando esclusivamente la sezione corrente TIPO1.

AVANZAMENTO CORRENTE TIPO 1

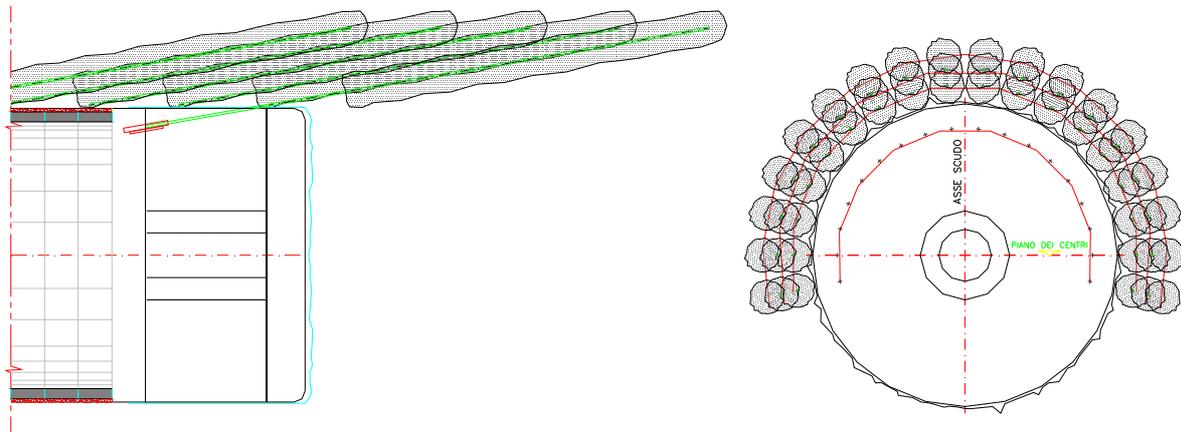


Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 10 di 35

Intervento Tipo 2 – Consolidamento al contorno in avanzamento dallo scudo

Consolidamento al contorno mediante n.54 tubi in VTR valvolati L=12,00m, sovr. =4,00m, foro 80/90mm giuntabili con punta a perdere, diametro barra = Ø76mm; tale intervento è eseguito in corrispondenza dei calcari saturi

AVANZAMENTO METODO TIPO 2



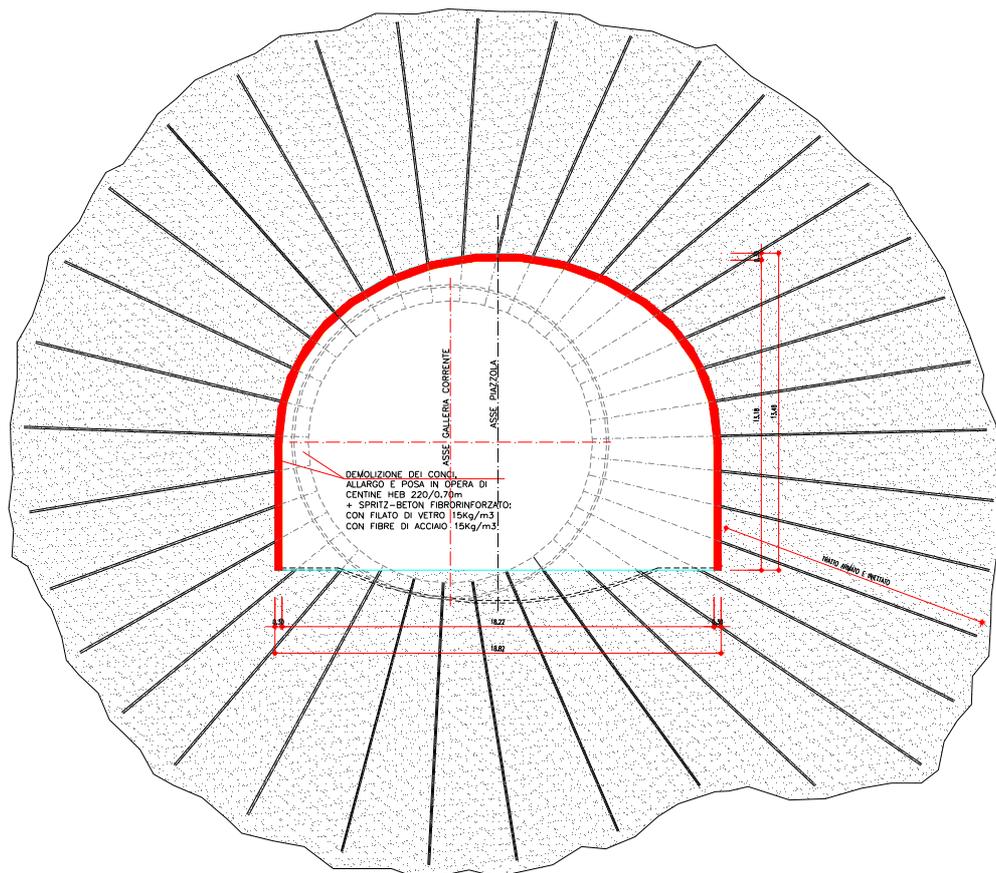
Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 11 di 35

Esecuzione delle piazzole di sosta

La realizzazione degli allarghi nel nuovo quadro di riferimento geomeccanico e la presenza del battente idraulico significativo richiede un cambio di tecnologia esecutiva rispetto a quella prevista nel PDA. La nuova piazzola così come proposta nel progetto esecutivo prevede la demolizione di tutto l'anello per tratte longitudinali di lunghezza pari allo sviluppo longitudinale dell'anello previo consolidamento full-round e avanzamento in tradizionale come se si trattasse di una galleria con metodologia di scavo in tradizionale.

Le fasi costruttive che caratterizzano tale soluzione sono meno complesse di quelle previste in PDA e permette di avere una struttura monolitica in termini di durabilità e margini di sicurezza nei confronti dei carichi a lungo termine garantisce prestazioni più elevate.

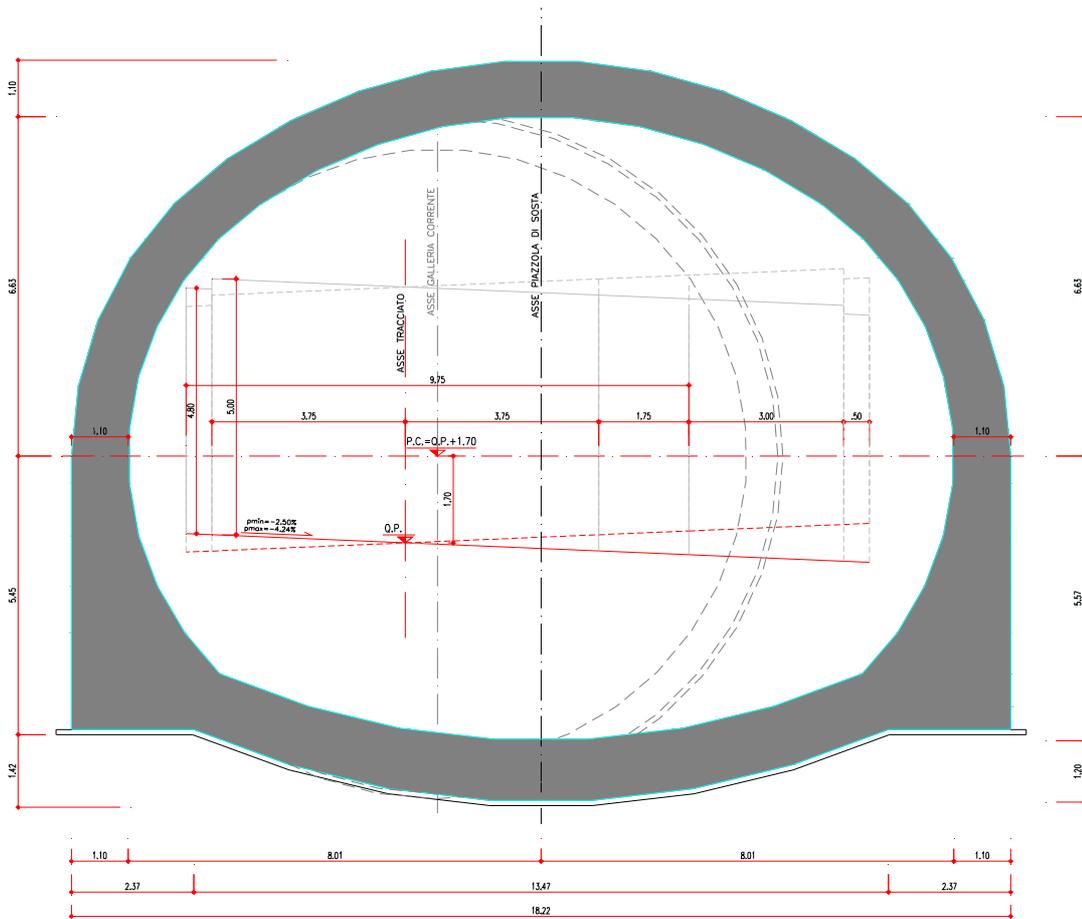
Sezione in fase di esecuzione



Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 12 di 35

PROGETTO ESECUTIVO

Sezione ultimata



Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 13 di 35

2.3 Mantenimento manutenibilità

non vi sono significative differenze tra PD e PE.

2.4 Mantenimento sicurezza

non vi sono significative differenze tra PD e PE.

3 MATERIALI

3.1 Materiali PD

Per la realizzazione della galleria artificiale in oggetto è previsto l'impiego dei seguenti materiali:

Calcestruzzo strutturale

Classe di esposizione	XC2 (Norma UNI 206-1)
Classe di resistenza a compressione	C25/30
Classe di lavorabilità	S3 – S4
Diametro massimo inerte	35 cm
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck} \geq 30$ MPa
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck}=24.9$ MPa
Resistenza di calcolo a compressione	$f_{cd}=14.1$ MPa
Resistenza caratteristica a trazione (frattile 5%)	$f_{ctk}=1.79$ MPa
Resistenza di calcolo a trazione	$f_{ctd}=1.19$ MPa
Resistenza di calcolo a traz. per flessione (frat. 5%)	$f_{ctd}=1.43$ MPa
Tensione massima di esercizio	$\sigma_{ce,max}=11.2$ MPa
Modulo elastico medio	$E_{cm}=31447$ MPa

Calcestruzzo magro

	C12/15
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck} \geq 15$ MPa

Acciaio per armatura

	B450C
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450$ MPa
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ MPa
Resistenza massima di esercizio	$\sigma_{se,max} = 360$ MPa

Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 14 di 35

Copriferri

Dovranno essere rispettati i seguenti valori minimi di copriferro:

copriferro minimo per fondazioni = 5 cm

copriferro minimo per superfici a vista = 3.5 cm

copriferro min. per superfici interrato non ispezionabili = 5 cm

3.2 Materiali PE

Calcestruzzo strutturale

Classe di esposizione	XD3 (Norma UNI 206-1)
Classe di resistenza a compressione	C35/45
Classe di lavorabilità	S3 – S4
Diametro massimo inerte	32 mm
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck} \geq 45$ MPa
Resistenza caratteristica cilindrica a compressione	$f_{ck}=35$ MPa
Modulo elastico medio	$E_{cm}=31447$ MPa

Calcestruzzo magro

	C12/15
Resistenza caratteristica cubica a compressione	$R_{ck} \geq 15$ MPa

Acciaio per armatura

	B450C
Tensione caratteristica di snervamento	$f_{yk} \geq 450$ MPa
Resistenza di calcolo	$f_{yd} = 391$ MPa
Resistenza massima di esercizio	$\sigma_{se,max} = 360$ MPa

Copriferri

Dovranno essere rispettati i seguenti valori minimi di copriferro:

copriferro minimo per fondazioni = 5 cm

copriferro minimo per superfici a vista = 3.5 cm

copriferro min. per superfici interrato non ispezionabili = 5 cm

Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 15 di 35

3.3 Differenze tra PD e PE

3.3.1 Mantenimento durabilità

La forte importanza che riveste la durabilità dell'opera in funzione dell'ambiente nel quale è inserita, ha comportato una notevole attenzione alle tipologie dei materiali da utilizzarsi per le strutture da realizzare. Si consideri, infatti, che il manufatto deve garantire adeguati livelli di sicurezza anche dopo l'inevitabile degrado dei materiali, dovuto al tempo ed all'azione degli agenti atmosferici e al transito del traffico leggero e pesante.

Tutti questi elementi ambientali costituiscono dei fattori importantissimi dai quali non è possibile esulare quando si stabilisce la tipologia dei materiali che saranno impiegati per la realizzazione dell'opera, pensando questo nell'ottica di garantire alla stessa una vita media compatibile con l'investimento che si sta realizzando.

Per quanto sopra al fine di aumentare la durabilità dell'opera, si sono adottati i seguenti accorgimenti e dettagli:

- Utilizzo di una appropriata classe di calcestruzzo (in accordo con le indicazioni UNI 11104:2004 e UNI EN 206-1:2006) in base alle analisi chimiche effettuate sulle acque e sulle terre.
- Inoltre al fine di preservare le armature dai fenomeni di aggressione ambientale sono stati incrementati i valori di copri ferro.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH000_B.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 10/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	<i>Pagina</i> 16 di 35

4 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

4.1 Normativa di P.D.

- Legge n° 1086 del 05/11/1971: *“Norme per la disciplina delle opere in conglomerato cementizio armato, normale e precompresso ed a struttura metallica”*.
- D.M. LL.PP. 16/01/1996: *“Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi”*.
- Circ. Min. LL.PP 04/07/96 n.156AA.GG./S.T.C. *“Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche relative ai Criteri generali per la verifica di sicurezza delle costruzioni e dei carichi e sovraccarichi di cui al D.M. LL.PP. 16/01/1996”*.
- D.M. LL.PP. 09/01/1996: *“Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche”*.
- Circ. Min. LL.PP 15/10/96 n.252 *“Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per il calcolo, l'esecuzione ed il collaudo delle strutture in cemento armato, normale e precompresso e per le strutture metalliche di cui al decreto ministeriale 09/01/1996”*.
- D.M. LL.PP. 16/01/1996: *“Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche”*
- Circ. Min. LL.PP 10/04/97 n.65 *“Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. LL.PP. 16/01/1996 ”*
- D.M. LL.PP. 11/03/1988: *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”*.
- Circ. Min. LL.PP 24/09/88 n.30483. Legge 02/02/74, n.64 art.1. D.M. 11/03/1988 *“Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione. Istruzioni per l'applicazione”*.
- Raccomandazioni AICAP (Maggio 1993) *“Ancoraggi nei terreni e nelle rocce”*.
- Ordinanza per le costruzioni in zona sismica PCM n° 3274
- D.M. 14/01/2008 – *Norme Tecniche per le Costruzioni*.
- Circolare 02/02/2009 Ministero LL.PP. – *Istruzioni per l'applicazione delle “Norme Tecniche per le Costruzioni” di cui al D.M. 14/01/2008*.

Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 17 di 35

4.2 Normativa di P.E.

La progettazione degli elementi strutturali è stata condotta in conformità al quadro legislativo attualmente vigente in merito al dimensionamento delle strutture e per quanto riguarda la classificazione sismica del territorio nazionale. Le norme di riferimento adottate sono riportate nel seguito:

- D.M. 14 Gennaio 2008 – Norme Tecniche per le costruzioni 2008.
- Circolare 617 del 02/02/2009 – Istruzione per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.
- UNI EN 206-1/2006 "Calcestruzzo – Parte 1: Specializzazione, prestazione, produzione e conformità".
- UNI EN 1992-1-1:2005 "Eurocodice 2, Progettazione delle strutture di calcestruzzo".
- EN 1993-1-5:2006 Parte 1-5: Elementi strutturali a lastra.
- EN 1993-2:2006 Parte 2: Ponti di acciaio.
- EN 1994-2:2005 Parte 2: Regole generali e regole per i ponti.

- UNI EN 1990: Basi della progettazione strutturale
- UNI EN 1991-1-4: Azioni sulle strutture – Azione del vento
- UNI EN 1991-1-5: Azioni sulle strutture – Azioni termiche
- UNI EN 1991-2: Azioni sulle strutture – Carichi da traffico sui ponti
- UNI EN 1992-2: Progettazione delle strutture di calcestruzzo – Ponti di calcestruzzo
- UNI EN 1994-2: Progettazione delle strutture composte acciaio-calcestruzzo – Ponti
- UNI EN 1998-2: Progettazione delle strutture per la resistenza sismica – Ponti

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH000_B.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 10/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	<i>Pagina</i> 18 di 35

4.3 Differenza tra il PD ed il PE

Nelle due fasi progettuali si è fatto riferimento al medesimo testo normativo (D.M. 14 Gennaio 2008 – Norme Tecniche per le costruzioni 2008). Tuttavia, in fase di progettazione esecutiva, in relazione ad un maggiore approfondimento delle analisi e delle verifiche di sicurezza richiesto, si è fatto riferimento, oltre al succitato DM 2008, agli eurocodici prima elencati.

Questi ultimi peraltro richiamati dallo stesso DM 2008.

5 QUADRO GEOLOGICO, GEOTECNICO, GEOMECCANICO E IDROGEOLOGICO

5.1 Progetto Definitivo

5.1.1 Indagini di Progetto Definitivo

Le indagini e le prove geotecniche per l'esecuzione del PD sono state programmate e suddivise in due distinte fasi con obiettivi e tempi d'esecuzione differenti: una prima fase, eseguita nel periodo febbraio-aprile 2006, ed una seconda fase, eseguita in maggio 2006, ad infittimento delle indagini di prima fase.

In particolare, in corrispondenza della Galleria "Caltanissetta" le indagini hanno previsto sondaggi a carotaggio continuo spinti nella maggioranza dei casi fino alla quota della galleria, con prelievo di campioni indisturbati. Nei fori di sondaggio sono stati eseguite prove pressiometriche e si è provveduto in due casi all'installazione di piezometri per il monitoraggio della falda.

Complessivamente sono stati eseguiti 10 sondaggi, di cui n. 2 condizionati a piezometro (S27, S29),

così suddivisi: I fase: S26, S25, S27, S28, S29 a distruzione di nucleo e carotaggio continuo in corrispondenza della galleria, con profondità variabile tra 40m e 130m; II fase: S49, S50, S51, S52, S53) a distruzione di nucleo e carotaggio continuo in corrispondenza della galleria, con profondità variabile tra 30m e 140m.

Le analisi e prove di laboratorio sono state finalizzate al riconoscimento dei litotipi, alla determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche degli orizzonti stratigrafici. Sono state eseguite: determinazione delle caratteristiche fisiche: contenuto d'acqua, peso dell'unità di volume, peso specifico dei granuli, analisi granulometrica, limiti di Atterberg, indice di porosità, grado di saturazione, indici di consistenza, attività, plasticità; prove di resistenza meccanica: prove di taglio

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH000_B.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 10/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	<i>Pagina</i> 19 di 35

diretto in condizioni drenate; prove di compressione semplice in condizioni di espansione laterale libera; prove triassiali di tipo UU.

5.1.2 Interpretazioni

Il PD dà un'immagine geologica del sottosuolo decisamente omogenea. Infatti la galleria, sulla base del profilo geologico identificato nel PD, si imposta quasi interamente (con la sola esclusione dell'imbocco lato Agrigento) nella formazione geologica dei trubi ("oltre la zona di imbocco la galleria interessa per tutto il suo sviluppo la formazione dei Trubi (pliocene inf)" (Relazione Geotecnica – parte II pag. 115). Questa formazione è descritta come "marne e marne calcaree (ptb2) provenienti dall'erosione e risedimentazione dei calcari marnosi litoidi" (pag. 38) e con le seguenti caratteristiche idrogeologiche" i trubi si possono considerare a coesione variabile ed aventi una permeabilità complessa per spessori di pochi metri sono permeabili per fratturazione ed alterazione, mentre in profondità, essendo delle rocce insolubili in cui non interviene il fenomeno della dissoluzione chimica ad allargare le fessure sono impermeabili" (pag. 39) "terreni a permeabilità modesta per porosità tendente ad aumentare in funzione della fratturazione del litotipo. Coefficiente di permeabilità: $10^{-6} < k < 10^{-5}$ m/s. Possono ospitare modeste falde freatiche localizzate nei livelli fratturati ed alterati dei trubi" (pag 54).

Secondo il PD, la galleria si imposta in una formazione argillosa (Relazione Geotecnica–parte III del PD) "La formazione non si presenta con il classico membro dei calcari marnosi o marne calcaree a consistenza litoide; le perforazioni eseguite hanno mostrato la formazione dei Trubi come marne argillose consistenti (ma non litoidi) di colore grigio chiaro con intercalazioni in eterotopia di facies di argille brecciate e livelletti calcarei."

La formazione Ptb2 nella Relazione Geotecnica parte III (PD) è descritta come "Marne argillose ed

argille marnose di colore grigio chiaro consistenti si caratterizzano per il colore biancastro sono consistenti, sovraconsolidate ed impermeabili"

Secondo il Profilo geomeccanico, la galleria lungo il tracciato interessa anche la formazione Ab4 (tra le progressive circa 13+300km a 13+550 in corrispondenza del sondaggio S26), in corrispondenza del sondaggio S25 ed all'imbocco lato Caltanissetta.

Questa formazione è descritta nella Relazione Geotecnica (parte III pag. 115) come "Argilla limosa

di colore grigio azzurro a struttura scagliosa consistente. Tali argille si differenziano per la presenza di una struttura costituita da minute scaglie argillitiche di aspetto traslucido immerse in una pasta di fondo limo-argillosa. Si caratterizzano per il colore scuro, la struttura scagliosa e l'elevata consistenza, sono sovraconsolidate ed impermeabili".

Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 20 di 35

Nella medesima relazione si chiarisce che “la presenza dei differenti litotipi ha un'estrema variabilità sia verticalmente che lateralmente senza che regole stratigrafiche e geologiche consentano di prevederne l'esatta successione”.

E' infine importante sottolineare che per il PD “le unità Ptb2 e Ab4 pur essendo geologicamente differenti, evidenziano caratteristiche di resistenza e deformabilità dello stesso ordine di grandezza e nell'ambito della caratterizzazione geotecnica sono state accomunate in un unico orizzonte litostratigrafico” (Relazione Geotecnica - parte III, Pag. 115).

All'imbocco lato Agrigento la galleria attraversa una formazione delle sabbie e sabbie argillose presenti per uno spessore i circa 17m, come evidenziato dal sondaggio S49. Si tratta nello specifico di sabbie e limi sabbiosi debolmente cementati in cui sono presenti intercalazioni decimetriche di calcareniti e quarzareniti compatte. Dopo questo strato superficiale prima di entrare nei trubi il tracciato attraversa infine le argille sabbiose Plioceniche (Pam).

5.1.3 Indicazioni idrogeologiche

La Relazione Geologica (pag. 121) riporta che la galleria non intercetta alcuna falda ad esclusione del breve tratto iniziale all'imbocco lato Agrigento dove le sabbie attraversate possono intercettare delle venute d'acqua. L'acquifero ricostruito in zona è infatti, secondo il PD, limitato alle sabbie e sabbie argillose della formazione marnoso arenacea che affiorano in superficie (potenza di circa 30m). E' importante segnalare che le strumentazioni (celle Casagrande) installate nei sondaggi S29 e S27 indicano però l'esistenza di quote di falda anche all'interno delle argille. La cella Casagrande installata, certamente all'interno della formazione dei trubi (sulla base della ricostruzione geologica del PD) alla profondità di -130m dal p.c. (sondaggio S27) indica una quota di falda pari a -49m dal p.c., mentre la cella Casagrande installata alla profondità di -55m dal p.c. (sondaggio S29) all'interno della argilla limosa (Ab4) indica la quota della falda a -10m dal p.c.

Infatti, al riguardo, nella Relazione Geotecnica parte I (pag. 49) si afferma che “di tutti i sondaggi a

carotaggio continuo eseguiti, in circa 10 sondaggi, si è rinvenuta una significativa presenza d'acqua nei fori di sondaggio che sono stati strumentati con tubi piezometrici sia a tubo aperto che

Casagrande.” e che per la galleria in oggetto “la falda si è rinvenuta molto al di sopra rispetto alla quota di scavo della galleria, nell'ambito degli strati superficiali ad una quota variabile da -11.50m a -42m” (per cui in realtà non è negli strati superficiali ma nelle argille dei trubi) La permeabilità della formazione dei trubi è stata misurata mediante prova Lefranc eseguita nel sondaggio 25 alla profondità di 123.80m dal p.c.. La prova ha interessato un tratto filtrante di 97m (pari all'intero banco di marne argillose (h=85m) e della lente di argilla scagliosa (h=12m) attraversati dal sondaggio). La permeabilità misurata (quindi quella media della formazione nel suo

Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 21 di 35

complesso) è pari a $9.7 \cdot 10^{-9}$ m/s (cioè molto bassa) mentre la permeabilità dello strato delle sabbie e calcareniti (che si incontrano all'imbocco lato Agrigento) è di $k > 10^{-2}$ m/s cioè molto alta.

Il PD interpreta l'idrogeologia del sito ritenendo che questo complesso superficiale sia "sede di un modesto acquifero, sostenuto alla base dalle argille plioceniche".

In conclusione la permeabilità della formazione indicata come complesso litologico delle argille, che nella Relazione Geotecnica di PD è costituita sia dalle argille Tortoniane sia dalle argille Plioceniche, è indicata come $< 10^{-9}$; cioè, secondo il PD, la permeabilità tecnica delle argille è pressoché nulla.

5.1.4 Livello della saturazione misurata nelle argille

La saturazione media delle argille prelevate dai sondaggi eseguiti per il PD e quindi limitati essenzialmente alla argille plioceniche è pari a 93% .

Questo dato indica che l'argilla è completamente satura il che giustifica i dati rilevati nelle celle Casagrande installate.

5.1.5 Caratteristiche geostrutturali delle formazioni attraversate indicate nel PD

Nella Relazione Geotecnica – parte II (pag. 119) per la così detta formazione delle argille vengono indicati i seguenti valori dei parametri geotecnici rappresentativi:

$$c' = 20-30 \text{ kPa};$$

$$\phi' = 22^\circ-24^\circ$$

$$c_u = 250-350 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$$

Elaborando le indagini eseguite nel PD si deducono le seguenti proprietà geomeccaniche medie delle varie formazioni (relazione geotecnica del PD parte III pagina 266 e seguenti):

Trubi (Ptb2-Ab4) – dalla progressiva 13+254 allo sbocco lato Caltanissetta - (relazione geotecnica del PD parte III pagina 266 e seguenti)

$$c' = 20-30 \text{ kPa};$$

$$\phi' = 22^\circ-24^\circ$$

$$c_u = 216-495 \text{ kPa}$$

$$\gamma = 19.3 \text{ kN/m}^3$$

$E_u = 130-180 \text{ MPa}$ (ricavato da c_u) fino a 70m di profondità ; $180-280 \text{ MPa}$ (ricavato da c_u) oltre 70m di profondità.

$E^s =$ ricavato da prove edometriche $75-130 \text{ MPa}$ fino a 70m di profondità ; $130-230 \text{ MPa}$ oltre 70m di profondità.

Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 22 di 35

wL = 60

wP = 30

wN (contenuto d'acqua) = 23%

IP = 30

IC = 1.36

Sr (grado di saturazione) = 93%

e (indice dei vuoti) = 0.62

n (porosità) = 0.39

Nel profilo geomeccanico (tavola T01GN02STRFG02 del PD) per la formazione delle argille viene indicata come rappresentata dai seguenti parametri:

$c' = 20-40$ kPa;

$\phi' = 22^\circ-26^\circ$

$c_u = 50-80$ kPa

$\gamma = 19-20$ kN/m³

$K_o = 0.5-0.6$

$E' = 80-350$ MPa.

Formazione marnoso arenacea del Pliocene (Pam) – dalla progressiva 12+894 alla progressiva 13+254 - (relazione geotecnica del PD parte III pagina 260 e seguenti)

$c' = 20-40$ kPa;

$\phi' = 24^\circ-28^\circ$

$c_u = 137-370$ kPa

(nota a pagina 262 della relazione geotecnica del PD – III parte si riporta che si assume a vantaggio

di sicurezza: $C_u = 50-80$ kPa)

$\gamma = 19.5$ kN/m³

$E_u = 150-170$ MPa

$E' = 80-140$ MPa

wL = 60

wP = 31

wN = 22.7%

IP = 29

IC = 1.24

Sr = 93%

e (indice dei vuoti) = 0.6

n (porosità) = 0.38

Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 23 di 35

Su questa base, l'immagine geotecnica del sottosuolo riportata nella cartografia di PD è quella di un insieme geologico molto omogeneo dal punto di vista ingegneristico delle operazioni di scavo, per la quasi totalità del tracciato della galleria (con la sola esclusione degli imbocchi)

5.1.6 Conclusioni

La relazione geotecnica del PD afferma che “nell'ampia contrada St. Elia Sono da escludere fenomeni deformativi profondi, faglie o discontinuità strutturali tali da dislocare e complicare l'assetto stratigrafico” (pag. 120 della Relazione Geotecnica - parte II) e vengono attribuite caratteristiche di permeabilità e geotecniche analoghe tra le argille anche se di differente genesi e storia (“L'interpretazione delle prove di laboratorio e le prove pressiometriche, evidenzia che alla profondità di scavo della galleria (mediamente oltre i 110m) geotecnicamente le diverse litologie riscontrate in perforazione (Ab4 – Ptb2 – Ptb1) hanno un comportamento geotecnico assimilabile. Difatti non sono state colte significative differenze sia dal punto di vista granulometrico, che delle grandezze indice e dei valori di resistenza e deformabilità.”). Su questa base, l'immagine geotecnica del sottosuolo riportata nella cartografia di PD è quella di un insieme geologico molto omogeneo dal punto di vista ingegneristico delle operazioni di scavo, per la quasi totalità del tracciato della galleria (con la sola esclusione degli imbocchi).

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH000_B.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 10/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	<i>Pagina</i> 24 di 35

5.2 Progetto Esecutivo

5.2.1 Modello Geologico-Geotecnico di Progetto Esecutivo

Il punto di partenza per lo sviluppo del PE è stato lo Studio Geologico del Progetto Definitivo che è stato analizzato nei suoi vari elaborati, al fine di verificarne la corrispondenza con nuove e più aggiornate informazioni bibliografiche disponibile nel 2010.

Queste informazioni sono state testate, integrate e confermate con una rilevante mole di dati derivanti sia dai rilevamenti in campo sia con le indagini "geo" integrative eseguite in profondità.

Di fondamentale e rilevante importanza tra i vari documenti bibliografici consultati (Piano Regolatore Comunale di Caltanissetta, Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico Regionale, Piano Territoriale Paesistico Regionale) risulta la Carta Geologica dell'area di Caltanissetta (Foglio 631 della nuova Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000), redatta dall'Università di Catania nell'ambito del Progetto CARG curato dal Servizio geologico dell'Istituto Superiore per la Ricerca Ambientale (ISPRA - Ministero dell'Ambiente e della Tutela del Territorio e del Mare). Quest'ultimo documento è di recentissima emanazione (2010) e consente di evidenziare una situazione tettonico-stratigrafica notevolmente differente da quanto illustrato negli elaborati geologici del Progetto Definitivo nei quali la situazione "geologica, idrogeologica e geomeccanica" appare molto omogenea e senza presenza di acqua; laddove situazioni di continuità stratigrafica laterale e verticale degli strati argillosi interessati dagli scavi sono perturbati dalla presenza di sovrascorrimenti tettonici e strutture collegate.

Grazie a questa documentazione si è iniziato a rivedere il modello geologico del PD, soprattutto in merito alla definizione dell'assetto tettonico-strutturale e stratigrafico, il che ha indotto i progettisti a ritenere indispensabile un approfondimento di indagine.

Allo scopo dunque di approfondire la conoscenza geologica e geotecnica è stata svolta una campagna di indagini tra luglio e settembre 2010. Tale campagna, che è poi divenuta quella delle indagini di prima fase del PE, , le nuove indagini hanno compreso:

sondaggi geognostici: con l'esecuzione di 5 perforazioni a carotaggio continuo condotte con profondità comprese tra 20 e 150 m da p.c., localizzate lungo il tracciato in progetto.

Le profondità sono state scelte in funzione dell'opera d'arte interessata: pertanto, nel caso delle gallerie si è provveduto al raggiungimento di una quota sufficiente al superamento in profondità dell'opera intera. Per la galleria naturale "Caltanissetta", 3 sondaggi (S8, S9 e S10) sono stati spinti sino a 150 m dal p.c., a carotaggio continuo per l'intero sondaggio, e due (S7 e S11) hanno raggiunto profondità di 40m;

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH000_B.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 10/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	<i>Pagina</i> 25 di 35

prove geotecniche in situ: con prelievo di campioni indisturbati, durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo, da sottoporre a prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei litotipi riscontrati;

posa in opera di strumentazione geotecnica: n° 2 inclinometri installati per l'intera lunghezza in altrettanti sondaggi profondi 30 m (S11) e 40 m (S14); piezometri con celle di Casagrande: (S4, S8, S9, S10) costituiti da 2 celle di Casagrande per ogni sondaggio a differente profondità;

prospezioni geofisiche: con l'esecuzione di sismica in foro mediante 9 prove tipo down-hole effettuate nei sondaggi a c.c., finalizzati alla determinazione del parametro VS30 per la caratterizzazione sismica dei litotipi di imposta delle fondazioni; sismica di superficie: 2 traverse di sismica a rifrazione con risoluzione tomografica (SS3 e SS4 di lunghezza pari 78 m ognuna); prospezioni elettromagnetiche: 17 prospezioni elettromagnetiche con metodologia ad alta risoluzione nel dominio del tempo (TDEM), finalizzate all'ottenimento dei profili di resistività del terreno, utili alla definizione dell'andamento degli orizzonti litostratigrafici, in corrispondenza del tracciato progettuale, laddove prevista la realizzazione delle gallerie di maggiore lunghezza (TEM 1÷17);

prove di laboratorio: sui campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo finalizzate alla definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche e chimiche dei litotipi riscontrati. In dettaglio: classificazione delle terre mediante analisi granulometrica, determinazione dei limiti di Atterberg e indici derivati; peso specifico dei grani, peso del contenuto in acqua ; prove di taglio diretto; prove triassiali; prove edometriche e determinazione del coefficiente Cv; determinazioni chimiche atte a verificare se i terreni risultano idonei al trattamento di bonifica a calce, contenuto di sostanze organiche; determinazione del valore di Blu di metilene VB; contenuto di solfati, solfuri e nitrati.

Sulla base dei dati disponibili e delle problematiche di carattere geologico, geomorfologico e geotecnico emerse dalle indagini, è stato definito un ulteriore piano di indagini (indagini di seconda fase) che sono consistite nell'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo (SI26bis) profondo 90 m e lievemente spostato rispetto all'asse della galleria, per verificare l'assetto stratigrafico dell'area (sovrascorrimento) e di altri 3 sondaggi a carotaggio continuo fino alla quota della galleria profondi 50m (SI26), 90m (SI26bis) e 150m (SI27)) con prelievo di campioni indisturbati. In corrispondenza di due fori di sondaggio (SI26 e SI27) sono state svolte delle prove sismiche di superficie di tipo Re.Mi., finalizzate alla definizione delle velocità delle onde VS. Il sondaggio SI27, inoltre, è stato attrezzato con tubo piezometrico aperto, al fine di monitorare e campionare (con particolare attenzione alla sua aggressività nei riguardi dei calcestruzzi) l'acqua della falda contenuta nell'acquifero ritrovato tra 58 e 87 m di profondità.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH000_B.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 10/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	<i>Pagina</i> 26 di 35

Oltre ai sondaggi, in riferimento alle problematiche emerse, al fine di estendere ad un profilo bidimensionale i dati derivanti dalle perforazioni e dalle indagini geofisiche eseguite, sono state eseguite ulteriori prove sismiche di superficie con tecnica a riflessione suddivise in n. 10 traverse di lunghezza compresa tra 100 e 200 m, in ragione degli ingombri ostativi di superficie, per una lunghezza totale di circa 1000 m, lungo l'asse longitudinale della galleria, con profondità raggiunte superiori ai 200 m.

Sulla base delle evidenze e criticità derivanti dalle indagini integrative di fase 1 e fase 2 del 2010 e delle problematiche emerse, è stato ritenuto necessario integrare ulteriormente la campagna di indagini geognostica con una terza fase di indagine che non ha previsto solo ulteriori sondaggi, ma anche prove di permeabilità nelle argille fratturate, nonché prove specifiche di condizionabilità del terreno scavato per verificare l'applicabilità del sistema EPB per generare la contropressione al fronte e avere orientamento sui tipi e quantità di additivi da aggiungere al terreno al fronte e dentro la camera di scavo. Sono così stati previsti: cinque sondaggi geognostici a carotaggio continuo spinti fino alla profondità 120-140m con prelievo di campioni indisturbati da sottoporre a ulteriori prove di laboratorio (SI 39, 40, 41, 42 e 43); posa in opera di piezometri con cella di Casagrande nei fori di sondaggio; nuove prospezioni geofisiche ottimizzando le distanze inter-geofoniche variabili dai 2 ai 5 m per complessivi 716 m, prove di permeabilità all'interno della varie formazioni e tre pozzi di pompaggio (PZ1, PZ2 e PZ3) realizzati rispettivamente, nelle immediate vicinanze dei piezometri SI40, SI 42 ed SI 43, nei quali sono state eseguite prove di pompaggio. Le prove di emungimento consistono nell'estrazione dell'acqua con misurazione delle portate emunte, dei relativi abbassamenti di livello piezometrico e della risalita dello stesso livello dopo l'arresto dell'emungimento. Le acque estratte durante le prove di emungimento sono anche state sottoposte a prove chimiche

5.2.2 Interpretazione

La situazione tettonico-stratigrafico evidenziata nel corso dell'esecuzione delle indagini di PE, risulta puntualmente molto differente da quanto illustrato negli elaborati geologici del PD. Infatti la continuità stratigrafica laterale e verticale è perturbata dalla presenza di sovrascorrimenti tettonici e strutture collegate, come anche riportato nel documento "Relazione tecnica campagna geognostica integrativa – Programma delle indagini di seconda fase" (pag. 23): *"L'analisi condotta sulla documentazione hanno indirizzato a rivedere in maniera determinante il modello geologico del Progetto Definitivo, soprattutto in merito alla definizione dell'assetto tettonico-strutturale e stratigrafico e all'inquadramento regionale in cui collocare l'area di studio. Nel quadro derivante dallo studio geologico condotto per il PE sono state evidenziate varie strutture tettoniche*

Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 27 di 35

soprattutto in corrispondenza di opere di rilevante interesse (gallerie), che variano in maniera rilevante l'approccio modellistico sia dal punto di vista stratigrafico sia dal punto di vista geomeccanico e geotecnico”

La ricostruzione del profilo tramite le stratigrafie (sia dei sondaggi sia derivata dalle indagini geofisiche), sintetizzata nel profilo geologico del PE, induce quindi a definire una situazione stratigrafica complessa non giustificata da semplici eteropie e/o contatti di discontinuità deposizionale, ma che derivano da contatti tettonici indotti da sovrascorrimenti, faglie inverse e faglie dirette.

In corrispondenza della galleria in oggetto, il documento “Relazione tecnica campagna geognostica integrativa – Programma delle indagini di seconda fase” definisce la situazione geologica (pag 37):

“in affioramento la formazione delle sabbie e argille sabbiose della marnoso arenacea che hanno ricoperto, tagliandole al tetto, i sedimenti marnosi e argillo-marnosi del Pliocene inf. (marne argillose della F.ne dei Trubi). Nella zona corrispondente al primo tratto lato Agrigento, si riscontra la presenza di importanti strutture tettoniche compressive associabili alla tettonica plicativa pliocenica, associata ad una serie di thrust e faglie inverse. Tali strutture sono caratterizzate, in corrispondenza delle zone di scorrimento, da fasce di materiale cataclasato e deformato che indurrebbe a situazioni di peggioramento locale delle caratteristiche geotecniche ed aumento della permeabilità, con il rischio di impreviste venute di acqua e materiali sciolti” e “nella zona corrispondente al primo tratto lato Agrigento da quanto evidenziato dalle ricerche bibliografiche condotte e dalle indagini condotte, si riscontra la presenza di importanti strutture tettoniche compressive associabili alla tettonica plicativa pliocenica, costituite da una serie di thrust e faglie inverse (cfr. § 3.1). Tali strutture sono caratterizzate, in corrispondenza delle zone di scorrimento, da fasce di materiale cataclasato e deformato che indurrebbe a situazioni di peggioramento locale delle caratteristiche geotecniche ed aumento della permeabilità, con il rischio di impreviste venute di acqua e materiali sciolti. La definizione di tale assetto tettonico strutturale, oltre che dai dati di letteratura, deriva dalla ricostruzione del profilo tramite le stratigrafie derivanti dalle indagini condotte, che indurrebbe a definire una situazione stratigrafica complessa non giustificata da semplici eteropie e/o contatti di discontinuità deposizionale, ma che necessiterebbe, dal punto di vista geometrico, di contatti tettonici dati da sovrascorrimenti, faglie inverse e faglie dirette, che pongono differenti orizzonti stratigrafici in posizioni altrimenti non giustificabili” (pag. 39). Si sottolinea e ribadisce che dato il complesso assetto strutturale delineato

Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 28 di 35

questo può essere colto solo tramite sondaggi in profondità adeguatamente posizionati in relazione alla posizione del sovrascorrimento e, che purtroppo, nel PD, nella zona interessata, non era stata eseguita alcun sondaggio esplorativo.

In dettaglio il profilo geologico derivato interpretando la consistente mole di informazioni disponibili dopo le tre fasi di indagine prevede l'attraversamento, da parte della galleria, delle seguenti formazioni:

- dallo sbocco lato Agrigento (progressiva 12+860m) fino alla progressiva 13+000: sabbie con spessori di circa 10÷15 m (Sabbie di Lannari), che ricoprono un substrato argilloso marnoso costituito dalle argille tortoniane (TRV) e dalla formazione dei trubi (TRB) e delle eteropiche brecce argillose (TRBA);

- dalla prog. 13+000 alla 13+030: brecce argillose;

- dalla prog. 13+030 alla 13+260: formazione dei trubi assoggettata alla tettonica plicativa e alle scaglie ad essa associate,

- dalla prog. 13+260 alla 13+450: brecce argillose;

- dalla prog. 13+450 alla 13+590: trubi;

- dalla prog. 13+590 sino alla 13+865, una discontinuità tettonica a bassa inclinazione (circa 30°) associata ad un sovrascorrimento porta le argille tortoniane ad appoggiarsi sulla serie pliocenica dei trubi; la fascia tettonizzata rientra in quella definita nel precedente punto;

- dalla prog. 13+865 alla 15+120 il tracciato della galleria attraversa le brecce argillose plioceniche (TRBA); alla prog. 14+256 (circa) le indagini svolte una porzione di calcare alla quota della galleria ; - dalla prog. 15+120 alla 15+630 il tracciato della galleria ritorna nella formazione dei trubi pliocenici (TRB);

- dalla prog. 15+630 alla 16+200 la galleria attraverserà le marne argillose della Formazione Terravecchia (TRV), in questo tratto dalla progressiva 15+836 alla progressiva 15+996 si riscontra una sacca di calcari evaporitici con aspetto di breccia in matrice sabbioso-limoso (probabile facies di slump sottomarino). il contatto con le argille tortoniane è interessato da una discontinuità tettonica diretta con ragguardevole dislocazione, che definisce una fascia tettonica ampia 40÷50 m. A livello organolettico sono state riscontrate evidenze di presenza di idrocarburi nella matrice argillosa appena estratta dalle carote. Per tale motivo si è proceduto al prelievo di un campione di matrice gassosa risalente dalle aste di perforazione, in cui è stata riscontrata la presenza di idrocarburi leggeri; la presenza degli idrocarburi può derivare dal processo di dilavamento e degradazione dei livelli bituminosi presenti nei calcari evaporitici sovrastanti le argille tortoniane;

- dalla prog. 16+200 all'imbocco lato Caltanissetta il tracciato è interessato dalle brecce argillose plioceniche (TRBA) costituite da argille marnose brune, a struttura spiccatamente brecciata e contenenti abbondanti elementi esotici calcarei e gessosi.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH000_B.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 10/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	<i>Pagina</i> 29 di 35

5.2.3 Indicazioni idrogeologiche e loro interpretazione

Particolarmente importanti sono le informazioni idrogeologiche desunte grazie alle indagini integrative del PE. I piezometri installati con celle di Casagrande posti in prossimità del livello di base della galleria, le perforazioni effettuate e i pozzi (PZ1, PZ2 e PZ3) hanno permesso di individuare falde e livelli acquiferi che non apparivano o non venivano evidenziati dai dati di PD.

Particolarmente interessanti sono le misure ottenute dai piezometri strumentati con celle di Casagrande:

– tra le progressive 15+250 e 15+500, il piezometro S27 (costituito da una cella di Casagrande posizionata a -130 m) installato nella campagna di indagini eseguita per il PD nel 2006 ha registrato un livello freaticometrico compreso tra 40 e 50 m di profondità da p.c. con un battente idraulico di circa 85 m al di sopra della galleria;

– in corrispondenza del piezometro S08 (prog. 13+880), la cella di Casagrande installata a -130 m da p.c. ha fatto registrare un valore di soggiacenza pari a circa -35 m da p.c., con un battente idraulico di circa 95 m;

– in corrispondenza del piezometro S09 (prog. 14+680) dove la cella di Casagrande installata a -130 m da p.c. ha fatto registrare un valore di soggiacenza pari a circa -12,5 m da p.c., con un battente idraulico di circa 117,5 m;

– in corrispondenza del piezometro S10 (prog. 15+500) la cella di Casagrande installata a -130 m da p.c. ha fatto registrare un valore di soggiacenza pari a circa -19 m da p.c., con un battente idraulico di circa 111 m;

– in corrispondenza del piezometro S29 (prog. 16+620) la cella di Casagrande installata a -55 m da p.c. ha fatto registrare un valore di soggiacenza pari a circa -11 m da p.c., con un battente idraulico di circa 44 m;

– tra le progressive 15+750 e 15+900, corrispondente alla zona di individuazione delle brecce calcaree ritrovate nel sondaggio S127 in cui è stato installato un piezometro a tubo aperto con fenestrazione compresa tra 60 e 80m, il livello freaticometrico registrato è intorno ai -25 m da p.c., con un battente idraulico di circa 65 m.

I piezometri installati nella fase 3 di PE hanno fornito dati che sono in buon accordo con quanto osservato nelle fase precedenti confermando la presenza di un carico idraulico anche nelle argille.

Collegando i livelli piezometrici misurati si delinea una falda con andamento pressappoco assimilato alla morfologia del rilievo entro cui insisterà la galleria. Nella relazione geologica del PE si interpreta la presenza di falde in pressione come legate alla presenza di zone di alimentazione poste a quote collegabili con i livelli piezometrici, che potrebbero essere collegate o a livelli più permeabili poste anche ad una certa distanza o a fasce di materiale alquanto tettonizzato che facilita l'infiltrazione nel sottosuolo, e si concorda con questa interpretazione.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH000_B.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 10/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	<i>Pagina</i> 30 di 35

Nel caso particolare del tratto intorno alla progressiva 13+880 (sondaggio S08) interessato, secondo il profilo geologico del PE, dal sovrascorrimento delle argille tortoniane sui trubi. La relazione geologica del PE afferma, dato ampiamente condivisibile, che *la zona di alimentazione di tale falda potrebbe essere individuabile nella discontinuità tettonica che incide su tale acquifero, che funge, pertanto da fascia a maggiore permeabilità rispetto alle formazioni argillose che costituiscono il tetto dell'acquifero. Considerato che il tetto della galleria in tale zona è previsto a circa 90 m di profondità, si può affermare che su tale opera insiste una falda in pressione con spessore potenziale di circa 50 m, con tutti i rischi di sifonamento e crolli che ne conseguono.*

In ogni caso i battenti idraulici riscontrati, compresi tra 44 e 117 m, inducono a considerare situazioni di rilevanti rischi di sifonamento e di elevate pressioni in calotta cui porre attenzione in fase di dimensionamento della macchina di perforazione e delle conseguenti modalità di avanzamento. All'interno delle brecce calcaree individuate tra le progressive 15+750 e 15+900 l'acquifero è rappresentato dalle brecce calcaree in matrice limo-sabbiosa che contengono la falda in pressione il cui dislivello è di circa 25m. La zona di alimentazione potrebbe essere individuabile nella discontinuità che incide su tale acquifero, che funge da fascia a maggiore permeabilità rispetto alle formazioni argillose che costituiscono il letto dell'acquifero. Il tetto della galleria in tale zona avrà al di sopra un battente idraulico di 50m.

Questi risultati evidenziano come nella zona del sovrascorrimento sia necessario far riferimento a un ammasso più fratturato e più permeabile e quindi adottare adeguate valutazioni in merito alla capacità della macchina di scavo di contrastare la pressione dell'acqua agente.

Le prove di emungimento hanno evidenziato che all'interno delle brecce calcaree in corrispondenza del PZ2 hanno evidenziato la grande presenza di acqua all'interno dell'ammasso e che anche per tempi di pompaggio molto lunghi non è possibile abbassare in modo significativo la falda, infatti in 48h sono state emunti 311 m³ d'acqua con una portata media di 1.8l/s ed un abbassamento della falda nel pozzo di 31m e nel piezometro attrezzato con cella di Casagrande alla profondità della galleria (circa 110m) localizzato a 20m di distanza. All'interruzione del pompaggio la falda risale molto rapidamente nel pozzo ponendosi dopo 2 ore a -5m dalla condizione iniziale mentre nel piezometro risale fin a -4.40m dal livello originario.

Al contrario nelle argille Tortoniane indisturbate PZ1 a bassa permeabilità hanno evidenziato come emungendo una bassa portata sia possibile abbassare la quota della falda in modo significativo, con tempi di pompaggio anche molto brevi, dell'ordine di oltre 16m di abbassamento in circa 40min.

Le caratteristiche chimiche delle acque circolanti in superficie e in profondità, in relazione alla presenza di rocce attribuibili alla formazione gessoso solfifera, sono tali da far ritenere che tali

Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 31 di 35

acque siano aggressive per i calcestruzzi portland e quindi sia necessario considerare per la galleria Caltanissetta una classe di esposizione XS3.

5.2.4 Caratteristiche geostrutturali delle formazioni attraversate secondo il PE

In base ai risultati delle prove di laboratorio effettuate sui campioni prelevati dai sondaggi di PE, si sono caratterizzate le formazioni attraversate dalla galleria Caltanissetta che sono sintetizzati nel seguito e che evidenziano come i dati ricavati dalle prove di laboratorio dei campioni prelevati dai sondaggi S7, SI26 e SI26bis confermano in sostanza i parametri di resistenza e deformabilità della formazione dei Trubi definiti in sede di PD

Il campione prelevato alla massima profondità del sondaggio di II Fase SI26bis ed il campione n.6 del sondaggio di I Fase S7 appartengono a zone cataclasate; analizzando i risultati delle prove di laboratorio effettuate su tali campioni, si è riscontrato un sostanziale abbassamento dei parametri geomeccanici (valori drenati) rispetto ai valori di PD. Inoltre, l'intervallo dei valori di coesione da attribuire alle fasce cataclasate delle zone a bassa copertura è stato ulteriormente ridotto".

Sabbie di Lannari (SLN)

$c' = 5-10$ kPa;

$\varphi' = 18^\circ-23^\circ$

$\gamma=19-20$ kN/m³

$E'= 80-130$ MPa.

$v = 0.3$

Argille marnose e marne argillose tortoniane (TRV) indisturbate

$c' = 10-25$ kPa;

$\varphi' = 18^\circ-23^\circ$

$c_u = 200-400$ kPa

$\gamma=19-20$ kN/m³

$E'= 130-230$ MPa.

Trubi pliocenici (TRB) indisturbati ed ad alta copertura

$c' = 20-40$ kPa;

$\varphi' = 22^\circ-26^\circ$

$c_u = 200-400$ kPa

$\gamma=19-20$ kN/m³

$E'= 130-230$ MPa

$v = 0.3$

Trubi pliocenici (TRB) indisturbati ed a bassa copertura

Cod. elab GN02-Z-RH000_B.00	Titolo: Galleria naturale Caltanissetta	Data: 10/11/2011
Nome file: 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	Pagina 32 di 35

PROGETTO ESECUTIVO

$c' = 20-40$ kPa;

$\varphi' = 22^\circ-26^\circ$

$c_u = 200-400$ kPa

$\gamma = 19-20$ kN/m³

$E' = 80-130$ MPa

$\nu = 0.3$

Argille brecciate plioceniche (TRBA) indisturbate ed ad alta copertura

$c' = 15-30$ kPa;

$\varphi' = 22^\circ-26^\circ$

$c_u = 200-400$ kPa

$\gamma = 19-20$ kN/m³

$E' = 130-350$ MPa

$\nu = 0.3$

Argille brecciate plioceniche (TRBA) indisturbate ed a bassa copertura

$c' = 5-10$ kPa;

$\varphi' = 18^\circ-23^\circ$

$c_u = 0$ kPa

$\gamma = 19-20$ kN/m³

$E' = 80-130$ MPa

$\nu = 0.3$

Marne argillose cataclasate e zone di sovrascorrimento ad alta copertura

$c' = 0$ kPa (o comunque un valore molto basso)

$\varphi' = 18^\circ-23^\circ$

$c_u = 0$ kPa (o comunque un valore molto basso)

$\gamma = 19-20$ kN/m³

$E' = 80-130$ MPa

$\nu = 0.3$

Fasce cataclasate e zone di sovrascorrimento a bassa copertura

$c' = 10-15$ kPa;

$\varphi' = 18^\circ-23^\circ$

$c_u = 50-80$ kPa

$\gamma = 19-20$ kN/m³

$E' = 80-130$ MPa

$\nu = 0.3$

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH000_B.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 10/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	<i>Pagina</i> 33 di 35

Nel tratto tettonizzato localizzato in corrispondenza del sondaggio SI27, al modulo E' , è stato assegnato valore tra 50 e 40 MPa e alla coesione efficace c' , un valore nullo.

E' importante sottolineare che le zone di materiale calcareo brecciato e di sovrascorrimento differiscono in modo importante dal punto di vista geomeccanico dal resto del percorso di scavo della galleria. Per quanto riguarda le caratteristiche geomeccaniche e fisiche delle fasce di tettonizzazione, poiché tali discontinuità si sono formate all'interno di formazioni più o meno plastiche e poco competenti, anziché delinearci delle fratture così come avviene nelle formazioni competenti, si sono create delle vere e proprie fasce di stress preferenziale con scorrimenti non individuabili in un unico piano, ma diffusi lungo diversi piani tra loro più o meno paralleli. Per tale motivo in superficie e in profondità non si riscontrano piani di taglio netti che differenziano le formazioni poste a contatto, ma, piuttosto, si hanno delle "sfumature" tra formazioni con passaggi evidenziati da forti stress e "caoticizzazione" delle stratificazioni originarie.

5.3 Conclusioni

I risultati delle prove di caratterizzazione geotecnica per le formazioni geologiche sia plioceniche sia tortoniane non disturbate sono tecnicamente confrontabili con quelli ottenuti nell'ambito del PD.

Le nuove indagini ed osservazioni in sito hanno però definito un nuovo profilo geologico geotecnico che differisce in modo significativo da quello riportato nel PD per la presenza di importanti (in termini di lunghezza di tracciato) e critiche fasce di fratturazione indotta da sollecitazioni tettoniche che sono di rilevante importanza per il progetto dello scavo della galleria "Caltanissetta". In particolare si individuano:

- numerose faglie dirette e inverse distribuite lungo tutto il tracciato, che determinano fasce di materiale variamente fratturato ed indebolito di spessore circa 30 m, a caratteristiche geomeccaniche inferiori rispetto al terreno originale per esempio in corrispondenza del tratto appena successivo al sondaggio SI26, dove più fasce cataclasate si affiancano delimitando un'area di ragguardevole spessore in condizioni meccaniche scadenti e maggiore permeabilità rispetto al materiale indisturbato e, quindi, con il rischio di impreviste venute di acqua;

- una zona di sovrascorrimento, alla progressiva di circa 13+604 m, ove le formazioni delle argille tortoniane sono sovrascorse appoggiandosi sui trubi; anche in questo caso il fenomeno tettonico ha degradato il materiale nella fascia di scorrimento, inducendo una riduzione delle caratteristiche meccaniche del materiale oltre ad un incremento della permeabilità globale;

- presenza, in corrispondenza dei sondaggi I27, SI 41 ed SI42 un grande ammasso di calcari evaporitico saturo d'acqua la quale contiene idrocarburi. Tale banco è particolarmente critico in quanto attraversato da una faglia con correlata fascia cataclasata, che interessa anche la galleria e

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH000_B.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 10/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	<i>Pagina</i> 34 di 35

che può diventare una importante via di circolazione dell'acqua, come anche dimostrato dalla prova di pompaggio nel pozzo PZ2.

Pertanto, sulla base di quanto sopra discusso, l'ammasso attraversato dalla galleria mostra una marcata disomogeneità derivante da effetti tettonici non trascurabili a differenza di un quadro assolutamente regolare presentato nel PD.

Queste disomogeneità provocano due sostanziali effetti tecnici che devono essere considerati nella progettazione dei rivestimenti che della macchina di scavo rispettivamente geomeccanico e idraulico.

Il peggioramento delle caratteristiche meccaniche e di resistenza degli ammassi ha infatti ripercussioni importanti sulla stabilità del fronte e sui carichi che il terreno trasmette ai rivestimenti definitivi in conci. Lo stato di fessurazione indotto dai fenomeni di sovrascorrimento e dalla presenza delle calcareniti brecciate hanno come effetto quello di aumentare molto la permeabilità delle argille ben al di sopra dei valori indicati nel PD.

Un ulteriore grande e molto importante differenza rispetto al PD è la presenza certa di acqua in sottoterraneo con battenti d'acqua compresi tra 44m e 117m e una permeabilità delle fasce di sovrascorrimento e in corrispondenza delle faglie molto maggiore di quanto indicato nel PD.

Questi ultimi risultati sono molto significativi e critici perché si ripercuotono sulla stabilità del fronte e sulla scelta ottimale della tipologia di macchina da usare per contrastare la spinta esercitata. Nei capitoli successivi questi temi saranno affrontati con maggior dettaglio.

<i>Cod. elab</i> GN02-Z-RH000_B.00	<i>Titolo:</i> Galleria naturale Caltanissetta	<i>Data:</i> 10/11/2011
<i>Nome file:</i> 125 gn 2 04 gn 02 z rh 000 b rel_tec_des	Relazione Tecnica descrittiva	<i>Pagina</i> 35 di 35