

INDICE

PREMESSA	2
1 INDAGINI ESEGUITE NEL 2010	4
1.1 FASE 1 DELLA CAMPAGNA GEOGNOSTICA 2010	4
1.2 FASE 2 DELLA CAMPAGNA GEOGNOSTICA 2010	6
2 ASSETTO GEOLOGICO RICOSTRUITO	8
2.1 SITUAZIONI DI PARTICOLARE INTERESSE	8
2.2 ASSETTO TETTONICO LOCALE	11
2.3 IDROGEOLOGIA	12
3 PROGRAMMA DELLE INDAGINI INTEGRATIVE DI FASE 3	15
3.1 CRITERI DI DEFINIZIONE DELLE INDAGINI	15
3.1.1. Idrogeologia	15
3.1.2. Assetto tettonico e stratigrafico	16
3.2 RIEPILOGO DELLE INDAGINI DA ESEGUIRE	19
3.2.1. Tabelle riepilogative e cronoprogramma	20

ELENCO DEGLI ALLEGATI

GE209GT03ZP6001C - Planimetria con ubicazione delle indagini

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-007_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 04/02/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-007_A.doc	Programma delle Indagini di Fase 3	Pagina 1 di 20

PREMESSA

La presente relazione illustra le motivazioni, i criteri e le metodologie del programma delle indagini che si propone di effettuare ad integrazione di quanto già svolto nell'ambito del Progetto Esecutivo di "ammodernamento ed adeguamento alla Cat. B D.M. 5/11/2001 della S.S. 640 Agrigento – Caltanissetta tratto dal Km 44+1000 allo svincolo con l'autostrada A19", secondo quanto previsto dal par. 1.3 "Indagini geotecniche" delle NG 15 e relativi allegati 1b "Norme tecniche per l'esecuzione di indagini geognostiche", 1c "Norme tecniche per l'esecuzione di indagini geotecniche e geofisiche", 1d "Norme tecniche per l'esecuzione di prove di laboratorio".

L'analisi condotta sui risultati delle indagini integrative svolte in Fase 1 e Fase 2, hanno indotto lo scrivente ed i progettisti a richiedere ulteriori approfondimenti, soprattutto in merito alla definizione dei seguenti aspetti, relativi alla opera d'arte progettuale individuata con la Galleria Naturale Caltanissetta:

- Parametrizzazione geomeccanica collegata all'assetto tettonico-strutturale ricostruito grazie alle indagini effettuate;
- Assetto idrogeologico e idraulica di falda in corrispondenza delle quote interessate dallo scavo della galleria;
- Individuazione lungo il tracciato della galleria di eventuali orizzonti lapidei riconducibili a quelli direttamente individuati in corrispondenza del sondaggio SI27.

Il programma delle indagini proposto in questa sede è basato sugli assetti e sulle problematiche geologiche riscontrate in fase di esecuzione delle precedenti indagini e di elaborazione dei dati acquisiti, e si ritiene, pertanto, necessario alla definizione ultima del modello geologico e geomeccanico di riferimento per la progettazione esecutiva dell'opera in questione.

A tal fine il presente elaborato è suddiviso nei seguenti capitoli:

1. Indagini effettuate in corrispondenza della GN Caltanissetta
2. Assetto geologico ricostruito in corrispondenza della Galleria Naturale Caltanissetta
3. Programma delle indagini integrative di Fase 3

In appendice è riportata la Tabelle riepilogativa delle indagini proposte.

Gli elaborati allegati alla presente relazione sono:

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-007_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 04/02/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-007_A.doc	Programma delle Indagini di Fase 3	Pagina 2 di 20

- ⇒ Il Profilo geologico ricostruiti con ubicazione delle indagini eseguite e proposte – scala 1:1.000
- ⇒ La Carta geologica con ubicazione delle indagini eseguite e proposte - scala 1:1.000.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-007_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 04/02/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-007_A.doc	Programma delle Indagini di Fase 3	Pagina 3 di 20

1 INDAGINI ESEGUITE NEL 2010

Nel seguito sono descritte le indagini eseguite nelle campagne geognostiche integrative effettuate a corredo del Progetto esecutivo, ad integrazione di quanto già svolto nel 2006 in fase di Progetto Definitivo. In merito alle indagini del PD effettuate in corrispondenza della galleria, queste sono sintetizzate nella Tabella sottostante.

Tabella 1.1 – Sondaggi geognostici eseguiti in occasione del PD nel 2006

Nome Sondaggio	A carotaggio	A distruzione	con piezometro
	Metri	Metri	
S26	30	50	
S51	20	110	
S29	25	30	(C)
S28		50	
S27	70	60	(C)
S25	70	60	
S50	30	110	
S52	30	50	
S49	25		
S53	30	20	

1.1 FASE 1 DELLA CAMPAGNA GEOGNOSTICA 2010

In occasione della fase 1 della campagna geognostica condotta tra luglio e settembre 2010, in corrispondenza della GN Caltanissetta e dei suoi imbocchi sono stati eseguiti n. 5 sondaggi geognostici a carotaggio continuo, condotti a profondità variabili tra i 40 e i 150 m da p.c., per un totale di 530 metri lineari di perforazione, localizzati opportunamente lungo il tracciato in progetto. Le profondità sono state scelte in funzione della profondità della galleria in corrispondenza del punto di indagine, sufficiente al superamento della quota d'imposta dell'arco rovescio.

In particolare, n.3 fori di sondaggio sono stati condizionati con n.2 celle di Casagrande ciascuno (S8, S9, S10), n. 1 è stato condizionato con inclinometro (S11), oltre ad effettuarvi l'esecuzione di prova sismica in foro di tipo down-hole. Nel corso di ogni sondaggio geognostico, ai fini delle determinazioni delle caratteristiche fisiche e meccaniche, sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati. In totale si è provveduto al prelievo di n°48 campioni indisturbati in tutti i sondaggi eseguiti, distribuiti come riportato nella tabella sottostante.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-007_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 04/02/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-007_A.doc	Programma delle Indagini di Fase 3	Pagina 4 di 20

Tabella 1.2 – Sondaggi geognostici eseguiti in Fase 1

N°	Sondaggio	Tipologia	Note	Profondità (m)	Campioni		
					N°	Denominazione	Profondità (m)
1	S7	Down Hole	Eseguite n. 4 prove pressiometriche (prof.m. 10; 20; 30; 40)	40,00	1	C1	5,00-5,40
					2	C2	10,00-10,50
					3	C3	15,00-15,40
					4	C4	20,00-20,50
					5	C5	25,00-25,50
					6	C6	35,00-35,50
2	S8	Piez. di Cas. (prof. m. 15 e m.130)	Eseguite n. 5 prove pressiometriche (prof. m. 10; 20; 60; 100; 130)	150,00	1	C1	25,00-25,30
					2	C2	50,00-50,40
					3	C3	75,30-75,70
					4	C4	99,30-99,60
					5	C5	110,00-110,30
					6	C6	119,00-119,30
					7	C7	130,00-130,30
					8	C8	139,80-140,10
					9	C9	149,90-150,10
3	S9	Piez. di Cas. (prof. m. 15 e m.130)	Eseguite n. 7 prove pressiometriche (prof. m. 10 ;30; 50; 70; 90; 110; 130)	150,00	1	C1	6,00-6,50
					2	C2	12,00-12,50
					3	C3	18,00-18,50
					4	C4	24,00-24,50
					5	C5	29,50-30,00
					6	C6	36,00-36,50
					7	C7	43,00-43,50
					8	C8	48,00-48,40
					9	C9	54,00-54,40
					10	C10	60,00-60,50
					11	C11	66,00-66,50
					12	C12	72,00-72,50
					13	C13	85,00-85,35
					14	C14	100,00-100,50
					15	C15	110,00-110,50
					16	C16	120,30-120,50
					17	C17	130,00-130,50
					18	C18	139,80-140,20
					19	C19	149,50-150,00
4	S10	Piez. di Cas. (prof. m. 15 e m.130)	Eseguite n. 5 prove pressiometriche (prof. m. 10; 30; 60; 100; 130)	150,00	1	C1	30,90-31,30
					2	C2	50,00-50,40
					3	C3	88,50-89,00
					4	C4	99,20-99,60
					5	C5	109,40-109,70
					6	C6	120,70-121,00
					7	C7	129,60-130,00
					8	C8	139,50-139,80
					9	C9	150,00-150,30
5	S11	Inclinometro/ Down Hole	Eseguite n. 4 prove pressiometriche (prof. m. 10; 20; 30; 40)	40,00	1	C1	5,00-5,40
					2	C2	10,00-10,50
					3	C3	15,00-15,40
					4	C4	20,00-20,50
					5	C5	25,00-25,50

Oltre a quanto sopra detto in corrispondenza della galleria sono state effettuate delle indagini di tipo indiretto consistenti in:

- Sismica di superficie: sono state realizzate n. 2 traverse sismiche a rifrazione, effettuate con risoluzione tomografica, opportunamente localizzate in corrispondenza dell'imbocco lato A19 della galleria;
- Prospezioni elettromagnetiche: n. 17 sondaggi elettromagnetici con metodologia ad alta risoluzione nel dominio del tempo (TDEM), con configurazioni di lato pari a 100 m e possibilità di ottenere profondità di indagine pari a circa 200 m, distribuiti lungo l'intero tracciato della galleria.

1.2 FASE 2 DELLA CAMPAGNA GEOGNOSTICA 2010

In occasione della fase 2 della campagna geognostica condotta tra ottobre e dicembre 2010, in corrispondenza di questa importante opera d'arte le indagini 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, e di altri 2 sondaggi a carotaggio continuo in testa alla galleria, profondi 50 m (SI26) e 150 m (SI27) con prelievo di campioni indisturbati in numero adeguato alla caratterizzazione geomeccanica dell'intera colonna stratigrafica. In corrispondenza dei fori di sondaggio sono state svolte delle prove sismiche passive 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 l'acqua della falda contenuta nell'acquifero ritrovato tra 58 e 87 m di profondità.

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 delle prove sismiche di superficie con tecnica a riflessione suddivise in n. 8 traverse di lunghezza compresa tra 46 e 132 m per una lunghezza totale di circa 716 m, distribuite in corrispondenza dell'asse longitudinale della galleria, con profondità raggiunte superiori ai 200 m.

Inoltre si segnala che in fase di esecuzione del sondaggio SI27, ubicato in asse alla GN Caltanissetta e profondo 150 m da p.c., le carote prelevate alla profondità superiore ai 90 m da p.c., in corrispondenza della sequenza argillosa tortoniana, emanavano un forte odore di idrocarburi. Ne è conseguita la necessità di effettuare un prelievo di campioni di matrice terreno per le determinazioni del caso, oltre ad effettuare il prelievo della matrice gassosa presente nel foro di sondaggio, tramite fiala a carboni attivi contenuta in apposito campionatore posto in testa alla colonna di perforazione.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-007_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 04/02/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-007_A.doc	Programma delle Indagini di Fase 3	Pagina 6 di 20

Tabella 1.3 – Sondaggi geognostici eseguiti nella campagna integrativa di Fase 2

N°	Sondaggio	Tipologia	Progr. Km	Profondità (m)	Campioni		
					N°	Denominazione	Profondità (m)
1	SI26		13+460	50,00	1	C1	25,60-26,00
					2	C2	50,00-50,30
2	SI26 bis	-	13+420	90,00	1	C1	24,30-24,60
					2	C2	50,00-50,50
					3	C3	75,00-75,50
3	SI27	Piezometro	15+820	150,00	1	C1	15,00-15,35
					2	C2	40,00-40,50
					3	C3	90,50-90,90
					4	C4	103,50-104,00
					5	C5	125,00-125,40
					6	C6	142,50-143,00

2 ASSETTO GEOLOGICO RICOSTRUITO

Il modello geologico generale del settore vede in affioramento, per gran parte della proiezione del tracciato in superficie, la formazione della 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).

In sintesi le formazioni che interessano direttamente il tracciato della galleria sono di seguito riportate in tabella (Tab. 2.1):

Tabella 2.1 – Formazioni geolitologiche nel tratto della Galleria Caltanissetta

Formazione	Progressive		Note
	Inizio	Fine	
Sabbie di Lannari (SLN)	12+860	13+000	Tratto in galleria. Spessore di 10÷15 m sovrastante la formazione dei trubi
Brecce argillose (TRBA)	12+950	13+030	Tratto in galleria Progressive non certe
Trubi (TRB)	13+030	13+260	Tratto in galleria Progressive non certe
Brecce argillose (TRBA)	13+260	13+450	Tratto in galleria Progressive non certe
Trubi (TRB)	13+450	13+590	Tratto in galleria Progressive non certe. Secondo limite dato da sovrascorrimento tettonico
Marne argillose (TRV)	13+590	13+865	Tratto in galleria Progressive non certe. Primo limite dato da sovrascorrimento tettonico
Brecce argillose (TRBA)	13+865	15+120	Tratto in galleria Progressive non certe. Probabile attraversamento della formazione delle argille tortoniane
Trubi (TRB)	15+120	15+630	Tratto in galleria Progressive non certe
Marne argillose (TRV)	15+630	16+200	Tratto in galleria. Progressive iniziale non certa.

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.

2.1 SITUAZIONI DI PARTICOLARE INTERESSE

Di rilevante importanza è la situazione riscontrata in corrispondenza del sondaggio SI27 eseguito in Fase 2, in cui è stato riscontrato un potente intervallo di brecce calcaree marnose in facies di

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-007_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 04/02/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-007_A.doc	Programma delle Indagini di Fase 3	Pagina 8 di 20

slump immerse in una matrice sabbioso-limosa, compreso tra i 58 e gli 87 m di profondità. Aumentando con la profondità le breccie hanno dimensioni maggiori e comprendono calcari più duri e compatti: si passa, infatti, da calcari biancastri porosi nei primi metri, a calcari compatti grigiastri verso il fondo dell'intervallo.



Fig. 2.1 – Confronto tra le breccie calcaree prelevate a circa 64 m (a sn) e a 86 m (a dx).

Il passaggio alla formazione sottostante delle argille marnose avviene in maniera repentina (fig. 2.2), sebbene è evidente la situazione di stress cui sono sottoposte le suddette argille in corrispondenza di tale passaggio.



Fig. 2.2 – Particolare della carota (a dx ingrandimento) in cui avviene il passaggio tra le breccie calcaree e le argille marnose a circa 87 m.

La situazione riscontrata è associabile ad una fascia tettonizzata in cui è presente una discontinuità con carattere distensivo, così come evidenziato anche nel profilo 2D ricostruito tramite la prova sismica passiva tipo Re.Mi. condotta in corrispondenza del sondaggio SI27 (cfr. Fig. 2.3).

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-007_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 04/02/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-007_A.doc	Programma delle Indagini di Fase 3	Pagina 9 di 20

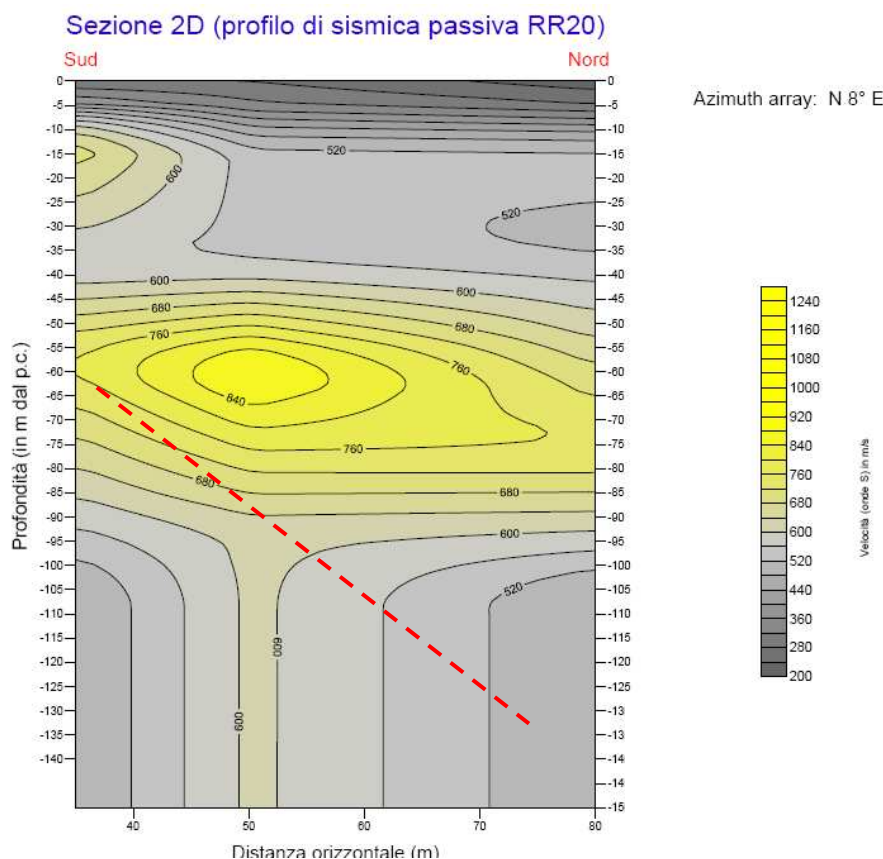


Fig. 2.3 – Sezione 2D derivante dalla prova sismica passiva Re.Mi. RR20; il colore giallo indica orizzonti a maggiore velocità delle onde Vs, associabili alla zona delle “brecce calcaree”, mentre la linea rossa tratteggiata rappresenta la faglia diretta individuata.

Questa facies di brecce calcaree è individuabile al passaggio tra la formazioni dei trubi e le argille marnose della “Terravecchia” ed è interpretabile come slumps derivanti dallo smantellamento dei depositi carbonatici della formazione dei Calcari di Base messiniani, poggianti direttamente sulla Terravecchia.

Sempre in corrispondenza del sondaggio SI27 alla quota delle argille tortoniane della “Terravecchia” (-100 m circa di profondità da p.c., in corrispondenza dell’opera) 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 (composti organici volatili) con determinati tenori di concentrazione. Ciò potrebbe comportare problemi in merito al rischio di esplosività in fase di scavo.

Dalle informazioni derivanti dalla consultazione della letteratura geologica e dal confronto con esperienze in situazioni similari in zone geologicamente confrontabili, se ne deduce che la

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-007_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 04/02/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-007_A.doc	Programma delle Indagini di Fase 3	Pagina 10 di 20

presenza degli idrocarburi è derivante dal processo di dilavamento e degradazione dei livelli bituminosi presenti nei calcari evaporitici sovrastanti le argille tortoniane.

2.2 ASSETTO TETTONICO LOCALE

L'assetto geologico viene complicato, soprattutto nella zona corrispondente al primo tratto lato Agrigento, dalla presenza di importanti strutture tettoniche compressive associabili alla tettonica plicativa pliocenica, associata ad una serie di *thrustes* e faglie inverse rappresentate nella letteratura geologica più recente e che hanno indotto l'area in esame sotto l'attenzione di approfondite indagini, al fine di verificare la dimensione delle strutture e la loro probabile influenza sull'opera in progetto. Infatti tali discontinuità sono caratterizzate, in corrispondenza delle zone di scorrimento, da fasce di materiale tettonizzato 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.

In particolare, procedendo da Sud verso Nord, a partire dalla prog. 13+130 sino alla 13+865, le indagini indirette svolte (sismica a riflessione) hanno evidenziato la presenza di varie discontinuità che formano una serie di fasce tettonizzate che ricoprono all'incirca il 60% di tale distanza, per un totale di circa 300 m. In corrispondenza della prog. 13+940 è probabile l'intersezione con una fascia tettonizzata larga anche 30 m indotta da discontinuità con carattere distensivo a bassa dislocazione. Alla prog. 14+100 le indagini svolte (sismica a riflessione, profilo SSR4) hanno evidenziato un'altra fascia tettonizzata, ampia 30÷40 m, associata ad altre strutture distensive a bassa dislocazione. Alla prog. 14+490 le indagini svolte (sismica a riflessione, profilo SSR3) hanno evidenziato un'ulteriore fascia tettonizzata, ampia 40÷50 m, associata ad altre strutture distensive a maggiore dislocazione rispetto alle altre. All'altezza della progressiva 15+820 il contatto tra i calcari evaporitici e le argille tortoniane è interessato da una discontinuità tettonica diretta con ragguardevole dislocazione, che definisce una fascia tettonica ampia 40÷50 m.

Le interpretazioni dei profili di sismica a riflessione che hanno portato ad individuare tale assetto tettonico sono riportate in Appendice 4 alla Relazione Geologica. In esse sono evidenti gli andamenti degli orizzonti riflettori e delle variazioni di velocità delle onde sismiche, che delineano, congiuntamente e con chiarezza, la presenza di deformazioni e variazioni latero-verticali imputabili ad una situazione di stress compressivo associato alle fasi avanzate della tettonica plicativa. Tale situazione ha indotto, nell'eccesso delle spinte deformative, discontinuità e fratture negli strati piegati durante le fasi tensionali preplioceniche e infraplioceniche. Le strutture di tipo diretto sono associate, invece, più che ad una tettonica distensiva regionale ad una fase di "rilassamento" della compressione che ha portato a "cedimenti" e "decompressioni" dei versanti attraverso dissesti

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-007_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 04/02/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-007_A.doc	Programma delle Indagini di Fase 3	Pagina 11 di 20

gravitativi profondi *supra* e *post* pliocenici, che attualmente non dovrebbero essere più in atto, a meno di episodi collegati a fenomeni di diapirismo o in versanti tutt'ora poco stabili (cfr. § 2.3.1).

A prescindere dalla situazione tettonica summenzionata l'interpretazione delle prove di laboratorio e delle prove pressiometriche, evidenzia che alla profondità di scavo della galleria (mediamente oltre i 110 m), per gran parte del tracciato le diverse litologie riscontrate in perforazione hanno comportamento assimilabile dal punto di vista geotecnico. Difatti non sono state colte significative differenze sia dal punto di vista granulometrico, che delle grandezze indice, dei valori di resistenza e deformabilità.

Solo le fasce strettamente interessate dalla tettonizzazione e le zone dove sono state individuate quelle "sacche" di materiale calcareo brecciato (potrebbero esserne individuate altre di dimensioni tali da essere sfuggite alle indagini condotte), differiscono 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.

2.3 IDROGEOLOGIA

In merito alla Galleria Caltanissetta l'acquifero superficiale ricostruito in zona è limitato alle sabbie e sabbie argillose della marnoso-arenacea che affiorano in superficie e presentano spessore di 25÷30 m. Nel breve tratto iniziale dell'imbocco lato AG vengono attraversati gli orizzonti sabbiosi superficiali che possono intercettare delle venute d'acqua.

Un altro livello acquifero superficiale è stato riscontrato procedendo verso l'imbocco Nord della galleria laddove termina la formazione sabbiosa prima dell'affioramento argilloso che funge da substrato impermeabile e limite laterale imposto della falda idrica sotterranea. I deflussi sono diretti in direzione Nord e il letto della falda è, comunque, posto ad una quota superiore di oltre 30 m la zona di attraversamento della galleria.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-007_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 04/02/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-007_A.doc	Programma delle Indagini di Fase 3	Pagina 12 di 20

Nel corso delle indagini effettuate in profondità, all'incirca in corrispondenza della galleria, i piezometri installati con celle di Casagrande poste in prossimità del livello di base della galleria (S27/2006, S08, S09 e S19/2010) e le perforazioni effettuate (SI27) hanno permesso di individuare falde e livelli acquiferi evidenti, in corrispondenza dell'opera. Nel seguito si riportano i dati registrati.

Piezometro	Livello di falda m da p.c.	Data	prof. cella m da p.c.
S8 2010 Fase 1	1° cella = Assente	14/01/11	15
	2° cella = 34,87		130
S9 2010 Fase 1	1° cella = 12,34	13/01/11	15
	2° cella = 12,55		130
S10 2010 Fase 1	1° cella = Assente	13/01/11	15
	2° cella = 19,18		130

	Livello di falda m da p.c.	Data	Livello di falda m dap.c.	Data	Livello di falda m dap.c.	Data
SI27 2010 Fase 2	24,85	11/11/10	24,85	29/11/10	23,92	11/01/11

S27 2006	45	2006	cella Casagrande a -130 m da p.c.
S29 2006	11	2006	cella Casagrande a -55 m da p.c.

In particolare:

- 1) 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 del 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;
- 2) 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;
- 3) 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;
- 4) In corrispondenza del piezometro S10 (prog. 15+500) dove 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;

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-007_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 04/02/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-007_A.doc	Programma delle Indagini di Fase 3	Pagina 13 di 20

- 5) In corrispondenza del piezometro S29 (prog. 16+620) dove 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;
- 6) Tra le progressive 15+750 e 15+900, corrispondente alla zona di individuazione delle brecce calcaree ritrovate nel sondaggio SI27 ultimamente perforato nella campagna di Fase 2, in cui è stato installato un piezometro a tubo aperto con fenestrazione compresa tra 60 e 80 m, il livello freaticometrico registrato è intorno ai -25 m da p.c., con un battente idraulico di circa 65 m;

Nei primi cinque casi l'acquifero è rappresentato dai livelli più limosi e permeabili contenuti nella formazione argillose, caratterizzando falde in pressione che potrebbero essere idraulicamente collegate tra loro. I livelli acquiferi sono riscontrabili proprio in corrispondenza della galleria laddove è ubicata la cella di Casagrande. Nel caso del piezometro S27 il livello è certamente non in concordanza con quello del piezometro S10 posto in vicinanza, sebbene le misure siano state fatte a distanza di anni. Collegando i livelli delle misure effettuate nel 2010/2011 si delinea una falda con andamento pressappoco assimilato alla morfologia del rilievo entro cui insisterà la galleria. Certamente il fatto che le falde riscontrate siano in pressione implica l'esistenza di zone di alimentazione poste a quote riferibili 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.

Nel caso 6) l'acquifero è rappresentato dalle brecce calcaree in matrice limoso-sabbiosa che contengono la falda in pressione il cui dislivello è di circa 25 m. 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 (pressurizzazione, dimensione dei conci, turni di lavoro ecc.).

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-007_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 04/02/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-007_A.doc	Programma delle Indagini di Fase 3	Pagina 14 di 20

3 PROGRAMMA DELLE INDAGINI INTEGRATIVE DI FASE 3

Sulla base delle evidenze derivanti dalle indagini integrative condotte di recente (Fase 1 e Fase 2 del 2010), e dalle problematiche emerse, è stato ritenuto opportuno integrare ulteriormente la campagna di indagini geognostica. Il relativo programma, qui riportato, è stato redatto coerentemente con il recente quadro normativo di riferimento (N.T.C. 2008) tenendo, quindi, in conto l'acquisizione delle necessarie conoscenze per la definizione di un modello concettuale geologico di riferimento ai fini progettuali.

3.1 CRITERI DI DEFINIZIONE DELLE INDAGINI

Il piano di indagine è stato articolato in funzione delle problematiche geologiche riscontrate derivanti dal quadro geologico definito tramite le indagini svolte.

Nel precedente Capitolo 2 si delineano le zone e le situazioni d'interesse su cui è di estrema importanza effettuare alcuni approfondimenti investigativi. Conseguentemente sono state programmate indagini specifiche, al fine di completare in maniera certa e univoca la conoscenza dell'assetto geologico e del contesto geotecnico cui riferirsi per la definizione dei parametri progettuali.

Nello specifico le indagini sono state programmate tenendo conto dei criteri nel seguito descritti, distinti per ognuna delle problematiche da affrontare.

3.1.1. Idrogeologia

Al fine di delineare meglio l'andamento della falda idrica sotterranea ed i relativi livelli piezometrici e completare il quadro delineatosi con i piezometri esistenti, si propone la realizzazione di n. 4 piezometri, da installare in altrettanti fori di sondaggio ubicati lungo il tracciato della galleria, con 1 o 2 celle di Casagrande per ogni foro, posizionate alle profondità corrispondenti con la galleria.

In particolare l'ubicazione di tali punti di sondaggio ricadrà nelle seguenti zone:

- Alla progressiva 13+600, laddove attualmente non è ubicato alcun punto di monitoraggio della falda in cui si provvederà ad installare un piezometro (SI39) con n. 1 cella di Casagrande posizionata a 90 m di profondità
- Alla progressiva 14+210, laddove attualmente non è ubicato alcun punto di monitoraggio della falda in cui si provvederà ad installare un piezometro (SI40) con n. 1 cella di Casagrande posizionata a 120 m di profondità;

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-007_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 04/02/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-007_A.doc	Programma delle Indagini di Fase 3	Pagina 15 di 20

- Tra le progressive 15+750 e 15+900, in corrispondenza dell'esistente piezometro a tubo aperto SI27, dove si procederà ad installare n. 1 piezometro a circa 20 m in direzione NE lungo il tracciato e n. 1 piezometro a circa 60 in direzione SO lungo il tracciato; nel primo caso (SI42, prog. 15+760) si dovrà procedere ad installare n. 2 celle di Casagrande alla prof. di 80 m e alla prof. di 110 m; nel secondo caso (SI41, prog. 15+840) si dovrà procedere ad installare n. 2 celle di Casagrande alla prof. di 60 m e alla prof. di 110 m;

3.1.2. Assetto tettonico e stratigrafico

Al fine di caratterizzare dal punto di vista geotecnico e geomeccanico le fasce tettonizzate (cfr. § 2.2) e di verificare la presenza ed estensione degli orizzonti di calcari brecciati (cfr. § 2.1) i n. 4 sondaggi saranno spinti sino alle profondità di

- 120 m da p.c. (SI39),
- 140 m da p.c. (SI40),
- 130 m da p.c. (SI41),
- 130 m da p.c. (SI42).

In ogni sondaggio si provvederà ad effettuare il prelievo di campioni indisturbati secondo lo schema riportato nella tabella sottostante.

Tabella 3.1 – Modalità esecutive dei sondaggi proposti

N°	Sondaggio	Piezometro	Profondità (m)	Campioni		
				N°	Denominazione	Profondità (m)
1	SI39	1 cella di Cas. (prof. m. 90)	120,00	1	C1	70
				2	C2	80
				3	C3	90
				4	C4	100
				5	C5	110
				6	C6	120
2	SI40	1 cella di Cas. (prof. m. 120)	140,00	1	C1	80
				2	C2	90
				3	C3	100
				4	C4	110
				5	C5	120
				6	C6	130
				7	C7	140
3	SI41	2 celle di Cas. (prof. m. 80, prof. m. 110)	130,00	1	C1	80
				2	C2	90
				3	C3	100
				4	C4	110
				5	C5	120
				6	C6	130

N°	Sondaggio	Piezometro	Profondità (m)	Campioni		
				N°	Denominazione	Profondità (m)
4	SI42	2 celle di Cas. (prof. m. 60, prof. m. 110)	130,00	1	C1	80
				2	C2	90
				3	C3	100
				4	C4	110
				5	C5	120
				6	C6	130

Sui campioni indisturbati saranno effettuate le opportune prove di laboratorio, così come rappresentato nella tabella riportata nella pagina seguente.

Oltre ai sondaggi si propone l'esecuzione di n. 3 prove sismiche di superficie con tecnica a riflessione finalizzate alla ricostruzione bidimensionale della stratigrafia e dell'assetto tettonico, oltre alla verifica della distribuzione dei parametri sismoelastici tramite la correlazione con la distribuzione e l'andamento della propagazione delle onde sismiche registrate.

Le prove saranno così suddivise:

- **SSR9** lunghezza = 200 m – prog. iniziale Km 13+010
- **SSR10** lunghezza = 200 m – prog. iniziale Km 15+080
- **SSR11** lunghezza = 200 m – prog. iniziale Km 15+720

La prima sarà eseguita in corrispondenza della zona dell'imbocco lato AG, la seconda in corrispondenza del settore centrale della galleria in una zona poco coperta dalle indagini sinora svolte, la terza traversa sismica ricadrà in corrispondenza del sondaggio SI27, laddove è stata riscontrata la situazione descritta nel § 2.1.

Si precisa, inoltre, che l'ubicazione del sondaggio SI41 potrà subire variazioni in funzione dei risultati ottenuti dalla prova sismica a riflessione SSR11 che, appunto sarà eseguita ancor prima del sondaggio.

INDAGINI INTEGRATIVE FASE 3 - PROGRAMMA PROVE DI LABORATORIO																											
SONDAGGIO	CAMPIONE	PROF. [m]	Granulometria		W [%]	LL [%]	LP [%]	γ^n	γ^s	Compr. ELL	TX UU	TX CU	Tagl. Dir CD	Edom	Pressione di rigonfiamento ISP	Deformazione di rigonfiamento ISS	Prove chimiche										
			Stacc	Sed													sostanza organica	solfati	solfuri	nitrati	Btu metilene						
S139	1	70	X	X	X	X	X	X	X		X		X														
	2	80	X	X	X	X	X	X	X		X																
	3	90	X	X	X	X	X	X	X		X			X													
	4	100	X	X	X	X	X	X	X		X			X													
	5	110	X	X	X	X	X	X	X	X		X			X												
	6	120	X	X	X	X	X	X	X	X		X			X												
S140	1	80	X	X	X	X	X	X	X		X		X														
	2	90	X	X	X	X	X	X	X		X		X														
	3	100	X	X	X	X	X	X	X		X																
	4	110	X	X	X	X	X	X	X		X																
	5	120	X	X	X	X	X	X	X		X			X													
	6	130	X	X	X	X	X	X	X	X		X															
	7	140	X	X	X	X	X	X	X	X		X															
S141	1	80	X	X	X	X	X	X	X		X		X														
	2	90	X	X	X	X	X	X	X		X																
	3	100	X	X	X	X	X	X	X		X			X													
	4	110	X	X	X	X	X	X	X		X			X													
	5	120	X	X	X	X	X	X	X	X		X															
	6	130	X	X	X	X	X	X	X	X		X															
S142	1	80	X	X	X	X	X	X	X		X		X														
	2	90	X	X	X	X	X	X	X		X																
	3	100	X	X	X	X	X	X	X		X			X													
	4	110	X	X	X	X	X	X	X		X			X													
	5	120	X	X	X	X	X	X	X	X		X															
	6	130	X	X	X	X	X	X	X	X		X															

3.2 RIEPILOGO DELLE INDAGINI DA ESEGUIRE

Le indagini integrative oggetto del presente programma saranno costituite da:

- Perforazione di sondaggi
 - Sondaggi geognostici: si prevede di realizzare di n. 4 perforazioni a carotaggio continuo da condurre con profondità comprese tra 120 e 140 m di prof. da p.c., localizzati opportunamente lungo il tracciato in progetto. Le profondità dipendono dalla quota della galleria e dalle finalità da perseguire.
 - Prelievo di campioni indisturbati, durante l'esecuzione dei 4 sondaggi a carotaggio continuo, da sottoporre a prove di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche dei litotipi riscontrati, con n° 1 campione indisturbato ogni 10 m di sondaggio a partire dalle profondità ritenute opportune sulla base della quota della galleria; il numero dei campioni e le quote a cui prelevarli sono indicati in tabella 3.1.
- Posa in opera di strumentazione geotecnica
 - Piezometri con cella di Casagrande: nei 4 sondaggi saranno installati altrettanti piezometri con celle di Casagrande, doppi o singoli così come indicato in tab. 3.1.
- Prospezioni geofisiche
 - N. 3 prove sismiche di superficie con tecnica a riflessione, lungo l'asse longitudinale della galleria Caltanissetta, di lunghezza pari a 200 m per ognuna;
- Prove di laboratorio
 - I n. 25 campioni indisturbati prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo sottoposti a prove di laboratorio, finalizzate alla definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche e chimiche dei litotipi riscontrati, in numero e tipologia da stabilire in relazione alla natura e qualità dei campioni prelevati, nel seguito elencate:
 - Classificazione della terra mediante: Analisi granulometrica e classificazione secondo la CNR-UNI 10006;
 - Determinazione dei Limiti di Atterberg: consistenza liquido, plastico ed indice plastico;
 - Peso specifico dei grani, peso specifico secco del contenuto in acqua ;

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-007_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 04/02/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-007_A.doc	Programma delle Indagini di Fase 3	Pagina 19 di 20

- Prove di taglio diretto
- Prove triassiali
- Prove edometriche e di determinazione del coefficiente Cv
- Pressione di rigonfiamento ISP
- Deformazione di rigonfiamento ISS
- Prove chimiche finalizzate al riutilizzo con stabilizzazione a calce

3.2.1. Tabelle riepilogative e cronoprogramma

Tab. 3.2 Sondaggi proposti

	Sigla	Prof. (m)	Camp. Ind. (n)	Tipologia piezometro	Prog. Km
1	SI39	120	6	n. 1 cella Casagrande	13+600
2	SI40	140	7	n. 1 cella Casagrande	14+210
3	SI41	130	6	n. 2 celle Casagrande	15+760
16	SI42	130	6	n. 2 celle Casagrande	15+840

Tab. 3.3 Indagini geofisiche di superficie

	Sigla	Lungh. (m)	Tipologia	Prog. Km
1	SSR1	200	Sismica a riflessione	13+010
2	SSR2	200	Sismica a riflessione	15+080
3	SSR3	200	Sismica a riflessione	15+720

Le attività avranno inizio giorno 14 febbraio 2010 e seguiranno il cronoprogramma riportato nel seguito.

Sondaggi	SETTIMANE				
	14-20 feb	21-27 feb	28 feb - 6 mar	7-13 mar	14-20 mar
SI39					
SI40					
SI41					
SI42					
Sismica					
SSR09					
SSR10					
SSR11					