

ANAS 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:



GEOLOGIA E IDROGEOLOGIA RELAZIONI GEOLOGICHE

Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa
Programma delle indagini di seconda fase

Codice Unico Progetto (CUP) : F91B09000070001

Codice Elaborato:

PA12_09 - E 0 0 0 G E 2 0 8 G I 0 1 Z R D 0 0 2 A

Scala:
-

F																			
E																			
D																			
C																			
B																			
A	Aprile 2011	EMISSIONE				M. D'ANGELO	A. TURSO	M. LITI	P. PAGLINI										
REV.	DATA	DESCRIZIONE				REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	AUTORIZZATO										
Responsabile del procedimento:		Ing. MAURIZIO ARAMINI																	

Il Progettista:



Il Consulente Specialista:



Il Coordinatore per la sicurezza
in fase di progetto:



Il Direttore dei lavori:



INDICE

PREMESSA.....	4
1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE	6
1.1 TRACCIATO DI PROGETTO	7
2 INDAGINI PREGRESSE.....	10
2.1 INDAGINI CONDOTTE NELLE PRECEDENTI FASI PROGETTUALI.....	10
2.1.1. Criteri di programmazione e tipologia delle indagini	11
2.1.2. Descrizione campagna di indagine.....	13
2.1.3. Campagna di indagine ANAS eseguita nel 1988	16
2.2 INDAGINI INTEGRATIVE DEL 2010.....	17
2.2.1. Criteri di scelta della tipologia delle indagini	17
2.2.2. Riepilogo delle indagini svolte	18
3 DEFINIZIONE DEL NUOVO MODELLO GEOLOGICO.....	23
3.1 Assetto tettonico-strutturale evidenziato.....	25
3.1.1. Successione del Tortoniano	27
3.1.2. Successione del Messiniano (Gruppo della Gessoso - Solfifera).....	28
3.1.3. Successione del Pliocene	32
3.2 QUADRO DI SINTESI DELLA GEOLOGIA LUNGO IL TRACCIATO	34
4 PROBLEMATICHE EMERSE.....	39
4.1.1. Galleria Papazzo.....	39
4.1.2. Galleria Caltanissetta	39
4.1.3. Dissesti gravitativi	40
4.1.4. Sismicità dell'area	40
4.1.5. Aggressività delle acque di falda	41
5 PROGRAMMA DELLE INDAGINI INTEGRATIVE DI FASE 2	42
5.1 CRITERI DI SCELTA DELLA TIPOLOGIA DELLE INDAGINI	42
5.1.1. Galleria Papazzo.....	42
5.1.2. Galleria Caltanissetta	43
5.1.3. Dissesti gravitativi	43
5.1.4. Sismicità dell'area	43
5.1.5. Aggressività delle acque	44
5.2 RIEPILOGO DELLE INDAGINI DA ESEGUIRE	45
5.2.1. Tabelle riepilogative	48

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 30/07/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 2 di 51

ELENCO DEGLI ALLEGATI

ALLEGATO 1. TABELLE RIEPILOGATIVE

ALLEGATO 2. CARTOGRAFIA

000GE209GT03ZP6001B - Planimetria con ubicazione delle indagini

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 30/07/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 3 di 51

PREMESSA

La presente relazione illustra le motivazioni, i criteri e le metodologie del programma di indagine che sarà eseguito 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 e la contemporanea attività di consultazione di documentazione specifica di letteratura geologica, hanno indirizzato lo scrivente a rivedere 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.

Come si vedrà più in avanti nella presente relazione e negli elaborati cartografici allegati (profili geologici e carta geologica) sono state evidenziate varie strutture tettoniche 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. Il riconoscimento di tale assetto tettonico-strutturale e l'assunzione da parte dello scrivente di tale assetto deriva, quindi, da una posizione ufficiale scientifica e riconosciuta ampiamente negli ultimi anni, tramite studi condotti da enti di ricerca ufficiali che hanno avallato tesi già avanzate negli anni precedenti.

La definizione del nuovo modello geologico di riferimento per il Progetto Esecutivo e le relative problematiche emerse necessitano di approfondire determinate tematiche ed assetti che nel progetto definitivo erano affrontati diversamente.

Si è giunti, pertanto alla programmazione di una ulteriore campagna di indagini integrative, denominata di Fase 2, che sarà condotta in modo tale da approfondire il quadro delle conoscenze già disponibili ed acquisire ulteriori elementi necessari ai fini progettuali e coerenti con il nuovo quadro normativo di riferimento rappresentato dal D.M. 14/01/2008 "Approvazione delle nuove norme tecniche per le costruzioni" ed alla Circolare 02/02/2009 n. 617 C.S.LL.PP. "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per le costruzioni di cui al Decreto Ministeriale 14/01/2008".

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 4 di 51

Il programma delle indagini proposto in questa sede è basato sulle informazioni disponibili, sugli assetti e sulle problematiche geologiche riscontrate in fase di sopralluogo e di elaborazione dei dati acquisiti. Il programma qui riportato è da intendere come necessario per il raggiungimento di una conoscenza adeguata e finalizzata alla delineazione definitiva del modello geologico di riferimento.

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

1. Inquadramento territoriale
2. Indagini pregresse
3. Definizione del nuovo modello geologico
4. Problematiche emerse
5. Programma delle indagini integrative di Fase 2

In allegato vengono riportati i seguenti elaborati:

- ⇒ Tabelle riepilogative delle indagini svolte
- ⇒ Tabelle riepilogative delle indagini proposte
- ⇒ Profili geologici ricostruiti con comparazione con quelli del PD
- ⇒ Planimetrie delle indagini eseguite e proposte
- ⇒ Carta geologica con ubicazione delle indagini eseguite e proposte.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 5 di 51

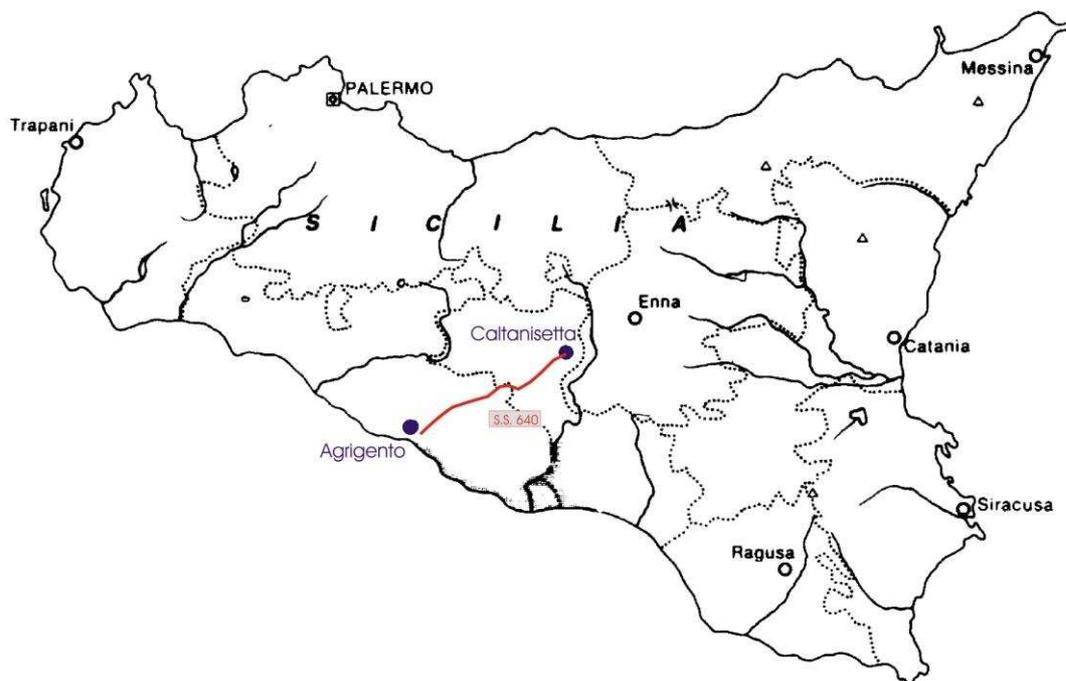
1 INQUADRAMENTO TERRITORIALE

La S.S. 640 è un'importante asse stradale di collegamento tra la provincia di Agrigento e Caltanissetta, e rappresenta l'itinerario preferenziale tra la Sicilia Sud- occidentale ed il settore Centro – Orientale dell'isola (province di Enna, Catania e Messina).

L'infrastruttura inoltre, congiunge i principali assi autostradali della Sicilia: l'autostrada A19 Palermo- Catania, la S.S. 189 Agrigento- Palermo, la S.S. 123 Canicatti - Licata, la S.S. 626 Caltanissetta- Gela ed indirettamente la S.S. 115 Sud Occidentale Sicula.

Il tratto della SS 640 oggetto del presente progetto di ammodernamento e raddoppio, ha inizio dal km 44 +100 in territorio comunale di Serradifalco (CL) in prossimità di Contrada Grotta Rossa e termina con lo svincolo per l'autostrada A19 Palermo – Catania.

Il tracciato presenta uno sviluppo da SW verso NE, attraversando i comuni di Serradifalco (CL), San Cataldo (CL) e Caltanissetta.

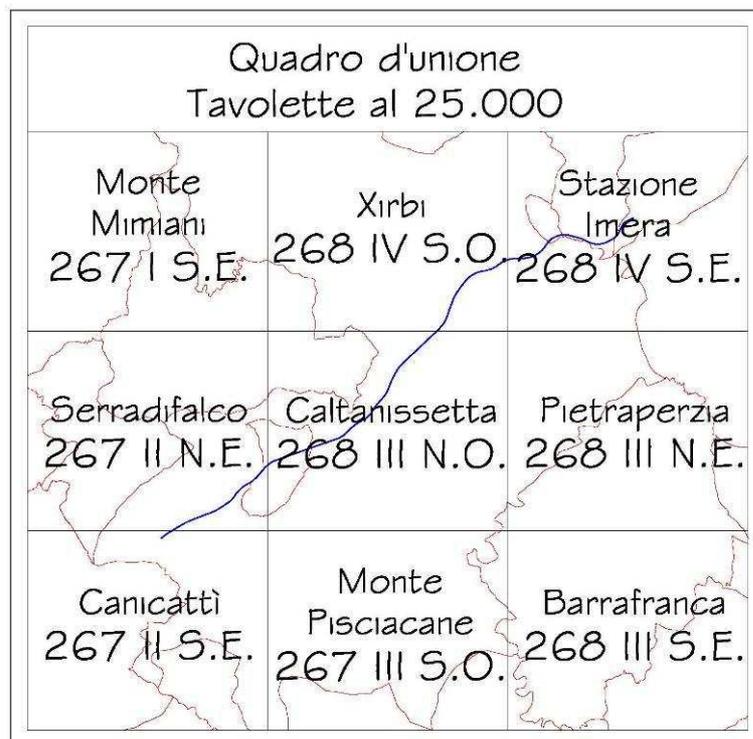


Cartograficamente, il tracciato ricade nelle seguenti tavolette della Carta d'Italia redatta dall'I.G.M.I., nella sequenza progressiva del tracciato da SW verso NE :

- F° 267 II S.E. "Canicatti"

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 6 di 51

- F° 267 II N.E. "Serradifalco"
- F° 268 III N.O. "Caltanissetta"
- F° 268 IV S.O. "Xirbi"
- F° 268 IV S.E. "Stazione Imera"



1.1 TRACCIATO DI PROGETTO

Così come è stato effettuato negli studi specialistici del Progetto definitivo, nella presente relazione il tracciato in progetto, complessivamente esteso Km 28.08, viene suddiviso in tratti omogenei per caratteristiche geologiche ed opere da realizzare; per ogni singolo tratto verranno nel seguito esposte, a grandi linee, le componenti geologiche, idrogeomorfologiche e geotecniche nello studio di dettaglio.

Di seguito si riporta la suddivisione riferita alle nuove progressive chilometriche di progetto:

Tratta	Sottotratta	Denominazione	Progressive
I	1	C.da Grottarossa	0 - 2.400
I	2	Prima variante	2.400 - 4.400
I	3	C.da Grotta d'Acqua	4.400 - 8.600

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 7 di 51

Tratta	Sottotratta	Denominazione	Progressive
II	1	Seconda variante - Tratto iniziale	8.600 – 10.350
II	2	Galleria Papazzo	10.350 – 10.975
II	3	Seconda variante - Tratto finale	10.975 – 12.900
II	4	Galleria Caltanissetta	12.900 – 16.890
II	5	C.da San Filippo Neri	16.890 – 18.100
III	1	C.da Busita	18.100 – 19.400
III	2	C.da Abbazia	19.400 – 22.300
III	3	Arenella	22.300 – 25.200
III	4	Cozzo Garlatti	25.200 – 26.600
III	5	Imera	26.600 – 28.080

Nella tabella sottostante si riportano le principali opere d'arte previste per ogni singola sottotratta di progetto:

Tratta e sottotratta	Opera d'arte	Sezioni		Lunghezza (m)
		Iniz.	Fine	
I-1	Svincolo Serradifalco (Sv01)	1.350	1.5250	
I-2	Galleria artificiale "Rovetello" (GA 01)	109	120	283
	Viadotto "Giulfo" (VI01)	127	159	795 (SX) 800 (DX)
I-3	Svincolo "Delia Sommatino" (Sv 02)	306	320	
	Ponte (P0 01)	329	330	40
II-1	Galleria artificiale GA 02	390	402	285 (SX) 238 (DX)
	Viadotto "Favarella" VI 02	405	410	122
II-2	Galleria naturale "Papazzo" GN 01	415	440	741 (SX) 743 (DX)
II-3	Viadotto "Mumia" - VI 03	445	462	422.92 (SX) 430 (DX)
II-3	Galleria "S. Cataldo" - GA 03	462	472	187
	Ponte PO 02	493	495	45

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 8 di 51

PROGETTO ESECUTIVO

Tratta e sottotratta	Opera d'arte	Sezioni		Lunghezza (m)
		Iniz.	Fine	
	Svincolo "Caltanissetta Sud" - SV03	500	505	
II-4	Galleria naturale "Caltanissetta" GN 02	517	677	4.036 (SX) 4.022 (DX)
II-5	Ponte "San Giuliano" PO 03	680	681	40 (SX) 31 (DX)
	Viadotto "San Filippo Neri" VI 04	689	697	188 (SX) 170 (DX)
	Galleria Naturale GN 03	697	707	178 (SX) 194 (DX)
	Viadotto "Busita 1" VI 05	707	717	247 (SX) 229 (DX)
	Galleria artificiale "S. Filippo" GA 04	717	724	120 (SX) 120 (DX)
III-1	Viadotto "Busita 2" VI06	724	737	285 (SX) 251 (DX)
	Galleria artificiale "Bersaglio" GA05	737	754	305.8 (SX) 300 (DX)
	Viadotto "Busita 3" VI07	754	769	350 (SX) 347.9 (DX)
	Svincolo Caltanissetta SV04	769	779	
III-2	Viadotto "Santuzza 1" VI08	793	800	184 (SX) 184 (DX)
	Viadotto "Santuzza 2" VI09	814	831	425 (SX) 430 (DX)
	Viadotto "Santuzza 3" VI10	833	842	220 (SX) 218.3 (DX)
III-3	Viadotto "Arenella 1" VI11	906	914	184.8 (SX) 184 (DX)
	Ponte P04	940	941	20 (SX) 20 (DX)
	Viadotto "Arenella 2" VI12	982	988	122 (SX) 122 (DX)
III-4	Viadotto "Arenella 3" VI13	1007	1034	587 (SX) 618 (DX)
	Galleria "Garlatti" GN04	1034	1041	183 (SX) 156 (DX)
	Svincolo "S.S. 626" SV05	1050	1065	
III-5	Viadotto "Salso" VI14	1065	1125	1.484 (SX) 1.487 (DX)

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 9 di 51

2 INDAGINI PREGRESSE

2.1 INDAGINI CONDOTTE NELLE PRECEDENTI FASI PROGETTUALI

Si riporta una sintesi delle indagini svolte durante le precedenti fasi progettuali, le scelte ed i criteri di programmazione delle indagini, mentre il piano dettagliato in tutti gli aspetti tecnici, (ubicazione delle prove in situ, prove di laboratorio, ecc.) con i relativi risultati è riportato nello Studio Geotecnico a corredo del Progetto Definitivo, suddiviso come nel seguito riportato.

ELENCO DEGLI ELABORATI

RISULTATI INDAGINI GEOGNOSTICHE – FASE I

INDAGINI IN SITO: (tomo unico)

CODICE ELABORATO:
GE02-GET-RF I 1

Sondaggi geognostici:
 S1-S2-S3-S5-S6-S11-S12-S13-S15-S16-S17-S18
 S19-S20-S21-S22-S23-S24-S25-S26-S27-S28-S29
 S31-S36-S37-S38-S39-S40-S42-S43-S45
Prove pressiometriche:
 S25-S26-S27-S29
Prove penetrometriche:
 CPT1, CPT2, P3,P4,P5,P6,P7,P8,P9,P10,P11,P12
Piezometri:
 S12, S13, S19, S20, S22, S27, S29, S42, S45
Prove di permeabilità:
 S25

PROVE DI LABORATORIO:

CODICE	TOMO	CAMPIONI	VERBALE ACCETTAZIONE
GE02-GET-RF I 2	<u>TRATTO I - TOMO A</u>	S1-S2-S3 S11-S13(c2)-S15	verbali 177 - 178
GE02-GET-RF I 2	<u>TRATTO I - TOMO B</u>	S5-S12-S6	verbali 180 - 181
GE02-GET-RF I 3	<u>TRATTO II - TOMO A</u>	S17-S18 S24-S20(c2,c3)-S22	verbali 182 - 184
GE02-GET-RF I 3	<u>TRATTO II - TOMO B</u>	S19(c1,c2)-S21-S16-S23-S25(c2,c3) S27(c2)-S31(c2,c3)-S26(c2)-S29(c2)	verbali 185-186 - 191 192 - 195
GE02-GET-RF I 4	<u>TRATTO III</u>	S36-S37-S38(c2)-S3-S40(c2,c3) S42-S43(c2,c3)-S45(c1, c3) (Documentazione fotografica campioni Fase 1)	verbali 194-196-198

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 10 di 51

RISULTATI INDAGINI GEOGNOSTICHE – FASE II

**INDAGINI IN SITO:
 (4 tomi)**

CODICE ELABORATO: GE02-GET-RF II 1	<p><u>Sondaggi geognostici:</u></p> <p>S4-S7-S8-S9-S10-S14-S30-S32-S33-S34-S35 S41-S44-S46-S47-S48-S49-S50- S51- S52- S53 S54- S55- S56- S57- S58- S59</p> <p><u>Prove pressiometriche:</u></p> <p>S14-S44-S50-S51-S52</p> <p><u>Prove penetrometriche:</u></p> <p>DA PD1 A PD28</p> <p><u>Piezometri:</u></p> <p>S9, S47</p>
CODICE ELABORATO: GE02-GET-RF II 2	<p>Sismica a rifrazione, down hole (S14 – S46)</p>
CODICE ELABORATO: GE02-GET-RF II 2bis	<p>Lecture inclinometriche (S53)</p>
CODICE ELABORATO: GE02-GET-RF II 3	<p>Pozzetti esplorativi e Prove su piastra (Documentazione fotografica)</p>

PROVE DI LABORATORIO:

CODICE	TOMO	CAMPIONE	VERBALE ACCETTAZIONE
GE02-GET-RF II 4	<u>TOMO I A</u>	S4 - S9 - S47 - S48 - S8 - S14 - S49	verbali 204 - 205
GE02-GET-RF II 4	<u>TOMO I B</u>	S19 (c3) - S20 (c1) - S25 (c1) - S26 (c1, c3) S27 (c1, c3) – S29 (c1, c3)	verbali 207
GE02-GET-RF II 4	<u>TOMO II A</u>	S33 - S34 - S51 - S7 - S50 - S56	verbali 208 - 211
GE02-GET-RF II 4	<u>TOMO II B</u>	S35 - S41 - S53	verbali 215
GE02-GET-RF II 4	<u>TOMO III A</u>	S54 - S55 - S57 - S46 - S58 - S59	verbali 216 - 221
GE02-GET-RF II 4	<u>TOMO III B</u>	S10(c1) - S30 - S32 - S44 - S52 (Document. fotografica campioni Fase 2)	verbali 222 - 224
GE02-GET-RF II 4	<u>TOMO IV</u>	campioni riman. da pozzetti su terreno e su rilevato e da galleria “Cozzo Garlatti	verbali 232 – 233-234 235-246

2.1.1. Criteri di programmazione e tipologia delle indagini

Le indagini e prove geotecniche sono state programmate e suddivise in due distinte fasi con obiettivi e tempi d'esecuzione differenti.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 11 di 51

Una **Prima Fase**, eseguita nel periodo Febbraio÷Aprile 2006, finalizzata a ricostruire il modello geologico generale del territorio, al fine di verificare le criticità progettuali, l'impatto dell'infrastruttura con l'assetto stratigrafico e geomorfologico, ed individuare eventuali soluzioni alternative di tracciato e/o scelte tecnico progettuali.

La **Seconda Fase**, eseguita in Maggio 2006, ad infittimento delle indagini di prima fase, ha consentito di definire il modello geologico -tecnico del sottosuolo per il corretto dimensionamento di tutte le opere ed i manufatti interagenti con il terreno (viadotti, gallerie, rilevati opere di corredo, ecc.).

La scelta della tipologia d'indagine geognostica più idonea è stata effettuata in relazione alla natura litologica dei terreni, alle condizioni geomorfologiche dell'area, all'entità delle opere d'arte da realizzare.

Il piano di indagine è stato articolato in funzione della specifica opera d'arte da realizzare che sono state suddivise in quattro tipologie principali: gallerie, viadotti, trincee e rilevati.

Gallerie: le indagini hanno previsto sondaggi a carotaggio continuo in testa alla galleria, con prelievo di campioni indisturbati in numero adeguato alla caratterizzazione geomeccanica dell'intera colonna stratigrafica. Nei fori di sondaggio sono stati eseguite prove pressiometriche e sondaggi sismici down holl.

Inoltre si è provveduto al monitoraggio della falda tramite l'inserimento di piezometri.

Viadotti: le indagini hanno previsto sondaggi a carotaggio continuo in corrispondenza di spalle e pile dei viadotti, con prelievo mediamente di n° 3 campioni.

Dove i sondaggi hanno evidenziato la presenza di falda si è provveduto all'istallazione di piezometri.

Trincee: per le trincee più profonde, sono stati eseguiti sondaggi a carotaggio continuo lungo lo sviluppo del tracciato, estesi ad una profondità tale da comprendere l'attraversamento del tratto in scavo e la sottostante parte interessata dalle fondazioni indirette dell'opera d'arte.

Per le trincee meno profonde i sondaggi sono stati spinti ad una profondità minore (15 m), al fine di dimensionare i muri di controripa.

Prove penetrometriche e pozzetti esplorativi hanno integrato e completato la campagna.

Rilevati: per questa tipologia di opere sono stati eseguiti sondaggi a carotaggio continuo nei tratti individuati nella prima fase come più problematici, per possibili diverse soluzioni progettuali, come

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 12 di 51

ad esempio l'inserimento di muri di sostegno al piè di scarpa o la sostituzione dei tratti più alti di rilevato con attraversamenti su viadotto.

Inoltre sono state realizzate prove di carico su piastra per testare portanza e cedimenti dei terreni; prove penetrometriche e pozzetti esplorativi hanno integrato e completato la campagna.

2.1.2. Descrizione campagna di indagine

Complessivamente le indagini eseguite possono così riassumersi:

Tipo indagine	I FASE	II FASE	Complessivo
Perforazioni a rotazione	32	27	59
Piezometri	9	2	11
Campioni indisturbati	87	71	158
Prove pressiometriche	9	10	19
Sondaggi sismici superficiali	0	24	24
Sondaggi sismici Down Hole	0	2	2
Inclinometri	0	1	1
Prove di permeabilità Lefranc	1	2	3
Pozzetti esplorativi	0	28	28
Prove di carico su piastra	0	14	14

Tab. 2.1 Tabella riepilogativa campagna indagini in Situ 2006 - S.S. 640.

Sondaggi meccanici:

Perforazioni a rotazione con carotaggio continuo e in parte a distruzione di nucleo, finalizzate alla determinazione dei profili stratigrafici e delle caratteristiche meccaniche dei vari livelli litologici. Le carote estratte nel corso delle perforazioni sono state raccolte, catalogate e fotografate nelle apposite cassette, per eseguire la ricostruzione delle stratigrafie.

Complessivamente sono stati eseguiti n° 59 sondaggi pari 1.670 metri così suddivisi:

- I FASE: n° 32 complessivi di cui 9 attrezzati con piezometro
 - n° 27 a carotaggio continuo (per viadotti, trincee e gallerie minori con profondità variabile da 15 m a 40 m);
 - n° 5 a distruzione di nucleo + carotaggio continuo (per la galleria di Caltanissetta con profondità da 80 m a 130 m).

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 13 di 51

- Il FASE: n° 27 complessivi di cui 2 attrezzati con piezometro
 - n° 24 a carotaggio continuo (per viadotti, trincee e gallerie minori con profondità variabile da 15 m a 50 m);
 - n° 3 a distruzione di nucleo + carotaggio continuo (per la galleria di Caltanissetta con profondità da 80 m a 140 m).

Prelievo campioni indisturbati:

Per ogni sondaggio sono stati prelevati in media da due a quattro campioni indisturbati, in relazione alla litologia riscontrata ed all'opera d'arte da realizzare, per condurre le analisi a prove geotecniche di laboratorio. Complessivamente sono stati prelevati n° 158 campioni indisturbati così suddivisi:

- I FASE: n° 87
- II FASE: n° 71

Prove pressiometriche

Sono state eseguite 19 prove con pressimetro tipo "Menard" nei fori di sondaggio in prossimità delle gallerie Caltanissetta e Papazzo. La prova è consistita nel dilatare una sonda di forma cilindrica calata in foro, e rilevare la corrispondente curva pressione – volume.

La prova è stata realizzata per definire in corrispondenza delle gallerie il modello geotecnico del sottosuolo, ricavando il comportamento deformativo dei terreni, la valutazione del modulo pressimetrico e attraverso correlazioni sperimentali, la coesione non drenata, l'angolo di attrito, la tensione orizzontale in sito, ecc.

Complessivamente sono state eseguite n° 19 prove così suddivise:

- I FASE: n° 9 in corrispondenza della galleria Caltanissetta (sondaggi S25 – S26 – S27-S29);
- II FASE: n° 10 in corrispondenza della galleria Papazzo (sondaggi S44 – S14) e galleria Caltanissetta (S50 – S51 – S52);

Prove penetrometriche:

Sono state eseguite prove penetrometriche del tipo SPT in foro, statiche e dinamiche, secondo la litologia ricostruita, ad infittimento dei sondaggi geognostici, al fine di estendere la caratterizzazione geognostica all'intero sviluppo dell'area indagata.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 14 di 51

Complessivamente sono state eseguite n° 9 SPT in foro, n° 2 penetrometrie statiche e n° 40 dinamiche per un complessivo di 379 metri lineari così suddivisi

- I FASE:
 - n° 9 SPT nei sondaggi S19 e S 20 (Galleria Papazzo);
 - n° 12 dinamiche, per metri 100
 - n° 2 statiche, per metri 10
- II FASE:
 - n° 28 dinamiche, per metri 269

Sondaggi sismici superficiali:

Prospezioni sismiche a rifrazione con stendimento di 80 m tali da indagare circa 30 metri di profondità del sottosuolo. Le prospezioni sono state finalizzate a cogliere eventuali anomalie o discontinuità strutturali nei complessi calcarei, nonché gli spessori degli orizzonti sismici da correlare con le stratigrafie acquisite. Inoltre ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, consentono di definire il profilo stratigrafico del suolo di fondazione ai sensi dell'art. 3.1 "categorie di suolo di fondazione" dell'allora esistente OPCM n° 3274 (costruzione in zona sismica), attualmente integrata e sostituita dal vigente NTC 2008.

Le prospezioni eseguite sono state così suddivise:

- I FASE: n° 0
- II FASE: n° 24 per complessivi 1920 metri di stendimento

Sondaggi sismici Down Hole:

In corrispondenza dei sondaggi S14 (galleria Papazzo) e S46 (sbocco) sono stati eseguiti dei sondaggi sismici Down Hole con sorgente energizzante in superficie, e geofono da foro calato a diverse profondità di stazionamento. Anche questo tipo di indagini sono state finalizzate a cogliere eventuali cavità o discontinuità strutturali, nonché a verificare per una maggiore ampiezza e continuità laterale, la stratigrafia acquisita con il singolo sondaggio. Inoltre sono fondamentali per la definizione delle "categorie di suolo di fondazione" dell'allora esistente OPCM n° 3274 (costruzione in zona sismica), attualmente integrata e sostituita dal vigente NTC 2008.

- I FASE: n° 0
- II FASE: n° 2

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 15 di 51

Pozzetti esplorativi

In II FASE, sono stati eseguiti n.° 28 pozzetti esplorativi spinti ad una profondità variabile da 1,5 a 2,0 metri che hanno consentito di investigare il sottosuolo in prossimità dei rilevati stradali da eseguire per verificare direttamente in situ le litologie, i livelli di alterato da bonificare, la presenza di eventuale falda superficiale.

Inoltre su n° 3 rilevati esistenti si è verificata la densità in situ e i valori di costipazione.

Prove di carico su piastra

In II FASE in prossimità dei pozzetti esplorativi sono stati eseguiti n° 14 prove di carico su piastra sul fondo del pozzetto (a circa 1.5 m di profondità) che hanno consentito di verificare in situ la capacità portante dei terreni, il modulo elastico, la deformabilità ed i cedimenti dei terreni che saranno interessati dai carichi del rilevato stradale e dell'infrastruttura.

Analisi geotecniche di laboratorio

Le analisi e prove di laboratorio sono finalizzate al riconoscimento dei litotipi, alla determinazione delle caratteristiche fisiche e meccaniche degli orizzonti stratigrafici; in particolare sono state eseguite:

Determinazione 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, etc.

Prove di resistenza meccanica: prove di taglio diretto in condizioni drenate, con velocità di rottura di almeno 0.01 mm/sec; prove di compressione semplice in condizioni di espansione laterale libera; prove triassiali di tipo UU.

Per la ripartizione delle indagini in riferimento alle tratte di progetto e alle principali opere d'arte, si rimanda alle tabelle in allegato.

Le indagini eseguite sono state altresì integrate con quelle della campagna geognostica effettuata direttamente dall'ANAS in fase di redazione del progetto preliminare, nel seguito descritte sinteticamente.

2.1.3. Campagna di indagine ANAS eseguita nel 1988

In fase di redazione del progetto preliminare del raddoppio di carreggiata dell'intera S.S. 640 è stata eseguita una campagna di indagine direttamente a cura dell'ANAS, sviluppatasi lungo tutto il tracciato esistente della S.S. 640 da Agrigento a Caltanissetta.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 16 di 51

Sono stati effettuati n. 46 sondaggi a carotaggio continuo, di cui n. 17 ricadenti in corrispondenza delle tratte oggetto del progetto cui fa riferimento il presente studio. Dai sondaggi sono stati prelevati in totale 27 campioni indisturbati sottoposti a specifiche prove di laboratorio.

2.2 INDAGINI INTEGRATIVE DEL 2010

La campagna integrativa di indagini è stata condotta tra luglio e settembre 2010, al fine di approfondire la conoscenza geologica e geotecnica, coerentemente con il nuovo quadro normativo di riferimento (N.T.C. 2008) e nell'ottica della definizione di un modello concettuale geologico di riferimento ai fini progettuali, che potrà essere affinato con l'esecuzione di ulteriori indagini.

2.2.1. Criteri di scelta della tipologia delle indagini

Il piano di indagine è stato articolato in funzione della specifica opera d'arte da realizzare per cui si è ritenuto opportuno approfondire la conoscenza tramite ulteriori indagini, sulla base delle risultanze delle indagini e degli studi precedentemente svolti. Le opere oggetto di questa campagna d'indagine integrativa sono state suddivise in quattro tipologie principali: viadotti, gallerie artificiali, gallerie naturali, imbocchi delle gallerie e tratte stradali in linea (trincee e rilevati).

Viadotti: le indagini per alcuni di essi hanno previsto sondaggi a carotaggio continuo in corrispondenza di spalle e pile dei viadotti, con prelievo di campioni ogni 6 m.

Per alcuni di essi si è provveduto all'esecuzione di indagini sismiche di superficie con risoluzione tomografica, al fine di ottenere delle sismostratigrafie laddove le condizioni dei versanti hanno richiesto l'approfondimento della conoscenza sulla situazione di stabilità. In un caso (Viadotto Salso) è stata eseguita anche una prova sismica in foro (down-hole).

È stata inoltre eseguita una vasta campagna di prove penetrometriche dinamiche che vanno a integrare quelle già eseguite precedentemente, soprattutto in corrispondenza delle pile e delle spalle.

Gallerie artificiali: le indagini hanno previsto sondaggi a carotaggio continuo in testa alla galleria, con prelievo di campioni indisturbati in numero adeguato alla caratterizzazione geomeccanica dell'intera colonna stratigrafica. Nei fori di sondaggio sono state eseguite delle prove sismiche in foro (down-hole).

In un caso (Galleria Favarella) si è ritenuto opportuno prevedere anche una prova penetrometrica dinamica

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 17 di 51

Gallerie naturali: le indagini hanno previsto sondaggi a carotaggio continuo in testa alla galleria, con prelievo di campioni indisturbati in numero adeguato alla caratterizzazione geomeccanica dell'intera colonna stratigrafica. Nei fori di sondaggio delle maggiori gallerie (Papazzo e Caltanissetta) sono state effettuate delle prove pressiometriche e installati dei piezometri con celle di Casagrande per il monitoraggio della falda. Nel caso della galleria Caltanissetta le profondità di n. 3 sondaggi sono arrivate a 150 da p.c. e con esecuzione a carotaggio continuo al fine di ricostruire per intero la colonna stratigrafica, considerata anche la situazione tettonico-strutturale evidenziata in § 1.2. In un sondaggio previsto nella zona terminale della galleria Caltanissetta (lato A19) si è provveduto ad installare un inclinometro al fine di monitorare la stabilità del versante su cui insisterà l'opera. In tale inclinometro, inoltre, sarà eseguita una prova simica di tipo down-hole.

I percorsi delle maggiori gallerie sono staticoperti da indagini geofisiche di tipo elettromagnetico (TDEM), finalizzati alla ricostruzioni dei profili di resistività da tarare e correlare con le stratigrafie ottenute dai sondaggi. Nel caso della Garlatti, invece, vista la situazione morfologica e stratigrafica, con prevalenza della formazione calcarenitica della Terravecchia, si è preferito integrare i sondaggi con indagini sismiche tomografiche.

Imbocchi delle gallerie naturali: le indagini hanno previsto sondaggi a carotaggio continuo in corrispondenza di tali opere, con prelievo di campioni indisturbati in numero adeguato alla caratterizzazione geomeccanica dell'intera colonna stratigrafica. In un caso (S. Filippo lato AG) si è provveduto all'installazione di inclinometro, vista la morfologia della zona. Nello stesso inclinometro e in un altro foro (Garlatti lato AG) sono state eseguite prove sismiche down-hole.

Nell'imbocco della Caltanissetta lato A19 sono state eseguite delle sismica tomografiche al fine di ricostruire delle sezioni sismo-stratigrafiche in corrispondenza di zone che, data la loro morfologia e litologia, sono potenzialmente soggette a dissesti.

Tratte stradali in linea: dato che già nelle precedenti indagini tali tratte sono state abbastanza indagate con sondaggi si è preferito prevedere l'esecuzione di prove penetrometriche dinamiche e pozzetti esplorativi finalizzati alla conoscenza del substrato di posa dei rilevati e alla esecuzione di opportune prove di carico su piastra per testare portanza e cedimenti dei terreni.

È stato previsto solo un sondaggio, profondo 20 m, a completamento della copertura di quelli già eseguiti.

2.2.2. **Riepilogo delle indagini svolte**

Le indagini integrative sono state costituite da:

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 18 di 51

○ Perforazione di sondaggi

- Sondaggi geognostici: sono stati eseguiti n. 22 perforazioni a carotaggio continuo condotti con profondità comprese tra 20 e 150 m da p.c., localizzati opportunamente 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 dell'opera intera, così come per la Galleria naturale Caltanissetta 3 sondaggi sono stati spinti sino a 150 m dal p.c., a carotaggio continuo per l'intero sondaggio.

○ Prove geotecniche in situ

- Prove penetrometriche CPT: n. 69 prove spinte sino a 10 m di profondità o a rifiuto, opportunamente localizzate lungo il tracciato in progetto, in corrispondenza dei viadotti e dei rilevati;
- 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, con n° 1 campione indisturbato ogni 6 di sondaggio, nel caso dei sondaggi con profondità compresa tra 20 e 60 m da p.c.. Nel caso dei sondaggi profondi 150 m i campioni saranno prelevati 1 ogni 25 m per i primi 100 m e 1 ogni 10 m nei successivi 50 m.

○ Posa in opera di strumentazione geotecnica

- Inclinometri: n° 2 inclinometri installati per l'intera lunghezza di altrettanti sondaggi profondi 30 m (S11) e 40 m (S14), in corrispondenza di opere d'arte ubicate in zone di versante particolarmente critiche, con esecuzione di relativa campagna di monitoraggio con cadenza quadrimestrale;
- Piezometri con celle di Casagrande: n° 4 piezometri (S4, S8, S9, S10) costituiti da 2 celle di casagrande per ogni sondaggio, attrezzati in altrettanti sondaggi a c.c. (compresi tra i 22 previsti), con esecuzione di relativa campagna di monitoraggio con cadenza trimestrale.

○ Prospezioni geofisiche

- Sismica in foro: n° 9 prove tipo down-hole effettuate nei sondaggi a c.c., opportunamente attrezzati (S1, S3, S7, S16, S17, S19), oltre che in 2 inclinometri (S11 e S14), finalizzati alla determinazione del parametro V_{S30} per la

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 19 di 51

caratterizzazione sismica dei litotipi di imposta delle fondazioni ai sensi del DM 14/01/2008.

- Sismica di superficie: n° 22 traverse di sismica a rifrazione con risoluzione tomografica, lunghe 80 m ciascuna, ubicate laddove è prevista la realizzazione di opere particolari (viadotti, gallerie) corrispondenti alle zone ove necessita una maggiore definizione (ad es. corpi in frana); le traverse saranno utilizzate per la caratterizzazione dei sismostrati utili alla definizione del parametro V_{S30} in aggiunta alle prove down-hole in foro; in particolare, con riferimento alle planimetrie in allegato, le traverse sono state così suddivise:
 - SS1: n. 2 x 80 m
 - SS3: n. 1 x 80m
 - SS4: n. 1 x 80 m
 - SS5: n. 2 x 80 m
 - SS6: n. 2 x 80 m
 - SS7: n. 5 x 80 m
 - SS10: n. 1 x 80 m
 - SS11: n. 1 x 80 m
 - Ss12: n. 7 x 80 m
- Prospezioni elettromagnetiche: n° 19 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 apri a circa 200 m; tali indagini sono state 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; in particolare, con riferimento alle planimetrie in allegato, le indagini saranno così suddivise:
 - ET1: n. 2 sondaggi TDEM
 - ET2: n. 8 sondaggi TDEM
 - ET3: n. 3 sondaggi TDEM

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 20 di 51

- ET4: n. 3 sondaggi TDEM
 - ET5: n. 1 sondaggio TDEM
 - ET6: n. 1 sondaggio TDEM
 - ET7: n. 1 sondaggio TDEM
- Saggi superficiali
- Saggi superficiali con escavatore: n° 15 saggi eseguiti per una profondità fino a circa 0,5 m effettuati in corrispondenza delle nuove viabilità complementari per il tronco di adeguamento alla categoria C1 DM 2001 (da progr. 0+000 a progr. 25+000) e per i tratti sui quali verranno realizzati i nuovi rilevati di raddoppio alla categoria tipo B del DM 2001; tali saggi sono svolti per indagare lo strato superficiale da bonificare per la parametrizzazione del terreno di fondazione, tramite l'esecuzione di prove di carico con piastra da 30 cm ed eseguite con doppio ciclo di carico, sul fondo scavo.
- Prove di laboratorio
- Sui campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo, sono stati sottoposti alle seguenti prove di laboratorio, finalizzate alla definizione delle caratteristiche fisiche e meccaniche e chimiche dei litotipi riscontrati, in numero e tipologia stabiliti in relazione alla natura e qualità dei campioni prelevati:
 - 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 ;
 - Prove di taglio diretto
 - Prove triassiali
 - Prove edometriche ed determinazione del coefficiente Cv

Si è provveduto, inoltre, su alcuni campioni prelevati durante i sondaggi a diverse altezze, ad effettuare apposite determinazioni chimiche atte a verificare se i terreni risultano idonei al trattamento di bonifica a calce:

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 21 di 51

- Contenuto di Sostanze Organiche;
- Determinazione del valore di Blu di metilene VB;
- Contenuto di solfati, solfuri e nitrati;

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002 _A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002 _A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 22 di 51

3 DEFINIZIONE DEL NUOVO MODELLO GEOLOGICO

Nel seguito si procede alla definizione del nuovo modello geologico di riferimento derivante dalle indagini dirette e indirette effettuate nella campagna integrativa svolta tra la fine di luglio e l'inizio di settembre 2010, oltre che dalle informazioni stratigrafiche fornite dai punti di indagine della campagna geognostica a corredo del Progetto Definitivo eseguite nel 2006/2007 e del Progetto Preliminare eseguite nel 1988.

Punto di partenza è stato lo Studio Geologico del Progetto Definitivo redatto nel 2007, che è stato analizzato nei suoi vari elaborati, al fine di verificarne la corrispondenza con le nuove informazioni e con la rilevante mole di dati derivanti sia dai rilevamenti in campo svolti dallo scrivente, sia con le indagini integrative eseguite, sia con la letteratura geologica di più recente pubblicazione (post 2007) consultata per l'occasione.

Di fondamentale e rilevante importanza tra i vari documenti consultati (Piano Regolatore Comunale di Caltanissetta, Piano Stralcio di Bacino per l'Assetto Idrogeologico Regionale, Piano Territoriale Paesistico Regionale) può essere considerata la Carta Geologica dell'area di Caltanissetta (Foglio 631 della Carta Geologica d'Italia in scala 1:50.000), redatta dall'Università di Catania nell'ambito del Progetto CARG curato dall'Istituto Superiore per la Ricerca Ambientale (ISPRA) del Ministero dell'Ambiente e delle Tutela del Territorio e del Mare. Tale documento è di recentissima pubblicazione (2010) ed attualmente disponibile solo sul sito internet dell'ISPRA (www.apat.gov.it). In tale elaborato si evince una situazione tettonico-stratigrafico notevolmente differente da quanto illustrato negli elaborati geologici del Progetto Definitivo, laddove situazioni di continuità stratigrafica laterale e verticale sono sconvolti dalla presenza di sovrascorrimenti tettonici e strutture collegate.

L'analisi condotta sulla documentazione consultata e sui risultati delle indagini integrative condotte, pertanto, hanno indirizzato lo scrivente 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 attualmente condotto sono state evidenziate varie strutture tettoniche 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. Il riconoscimento di tale assetto tettonico-strutturale e l'assunzione nel presente studio di tale assetto deriva, quindi, da una posizione ufficiale scientifica

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 23 di 51

e riconosciuta ampiamente negli ultimi anni, tramite studi condotti da enti di ricerca ufficiali che hanno avallato tesi già avanzate negli anni precedenti.

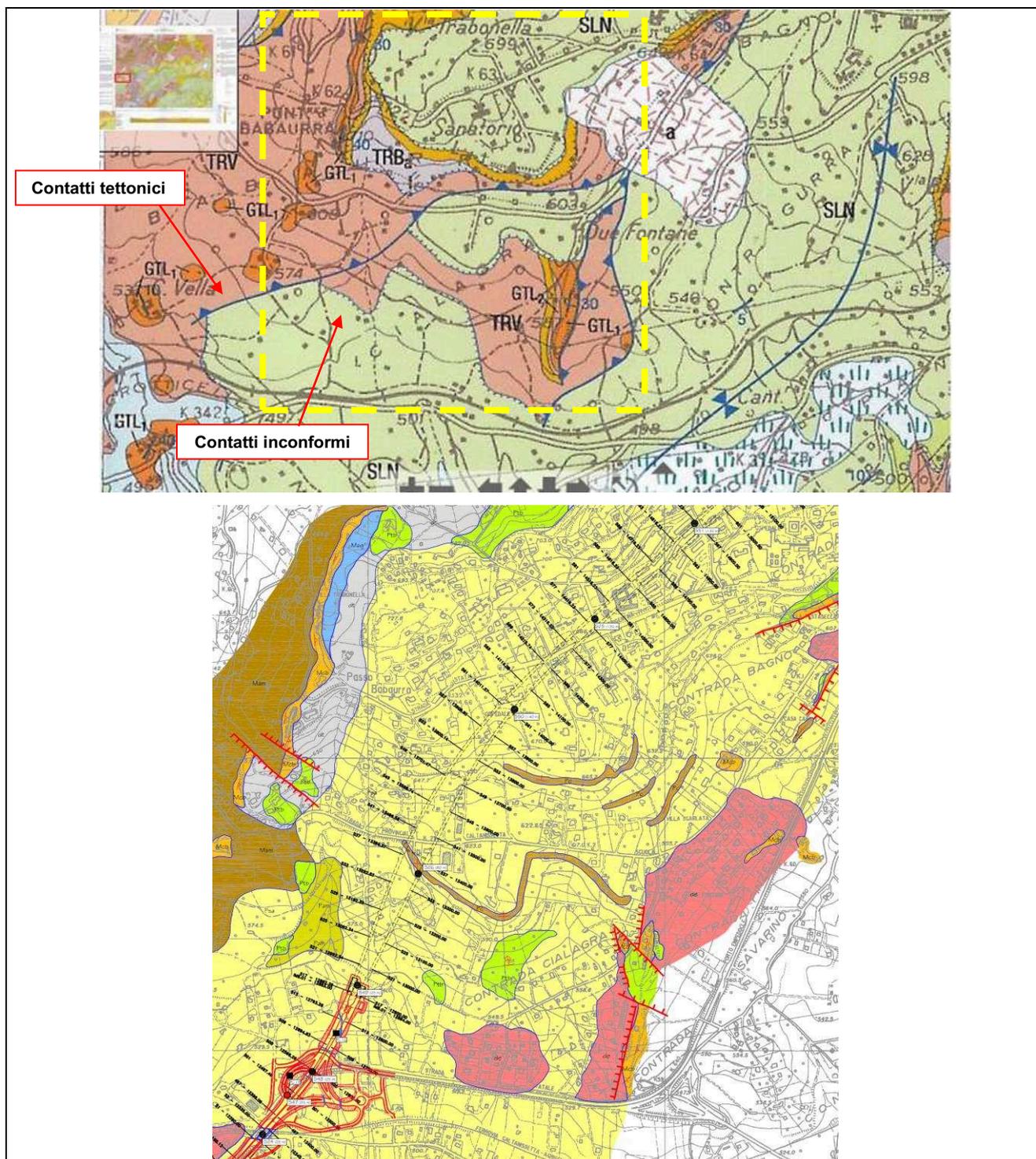


Figura 3.1 Confronto tra la cartografia CARG (ISPRA – Università di Catania, 2010) prodotta in scala 1:50.000, posta superiormente, e la carta geologica del Progetto Definitivo (sotto) prodotta in scala 1:5.000, in corrispondenza del tratto meridionale della Galleria Naturale Caltanissetta;

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 24 di 51

il riquadro giallo nella carta del CARG indica la corrispondenza con lo stralcio della carta del PD.

Dal confronto di Figura 3.1, oltre ad un differente assetto geologico generale, si evince come nella cartografia dello studio geologico a corredo del Progetto Definitivo, nonostante la scala di maggior dettaglio, non siano riportate le strutture delineanti l'assetto tettonico-strutturale evidenziato, pur se a grande scala, nella cartografia CARG (in cui sono riportati contatti di sovrascorrimento secondario o faglie inverse (linee in blu) e contatti stratigrafici in in conformi (linee blu con puntini).

Altra motivazione che andrebbe a supporto della definizione di un nuovo modello geologico, in corrispondenza della suddetta galleria, è la ricostruzione del profilo tramite le stratigrafie derivanti dalle indagini condotte, che indurrebbero 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, fagli inverse e faglie dirette, che pongono differenti orizzonti stratigrafici in posizioni altrimenti non giustificabili.

3.1 ASSETTO TETTONICO-STRUTTURALE EVIDENZIATO

Il settore oggetto dello studio, risulta compreso all'interno del fronte più esterno della catena deformata Maghrebide Siciliana con l'immediata conseguenza che l'intero "pacco" litostratigrafico risulta tettonicamente deformato da "tetto" a "letto". I motivi strutturali peculiarmente riconosciuti e cartografati si inseriscono quindi nel generale quadro deformativo regionale; ed è possibile riconoscere diverse fasi deformative sovrapposte.

Si tratta di strutture riconducibili ad un processo tettonico prevalentemente plicativo che inizia nel Miocene, e che si caratterizza con un primario sollevamento del bacino, con un'intermedia trasgressione marina ed infine con una regressione che produce l'effetto finale di un generale restringimento del bacino fino al colmamento ed alla totale emersione.

I processi deformativi si realizzano dal Miocene inferiore e medio fino a tutto il Pliocene superiore. Si ha originariamente un lento sollevamento del bacino che si realizza, in vari intervalli, dal Miocene inferiore e medio fino alla fine del Messiniano, inizio del Pliocene, durante la sedimentazione delle argille basali e dei termini del Gruppo della Gessoso - Solfifera

La fine del Messiniano e l'inizio del Pliocene segnano, con la deposizione dei Trubi, una fase trasgressiva, mentre si hanno ancora episodici sollevamenti ai margini del bacino.

Nel Pliocene inferiore, la fase tettonica raggiunge l'acme e si distingue esclusivamente per il carattere "plicativo": si modellano diversi ordini di pieghe più o meno esasperate nelle formazioni

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 25 di 51

PROGETTO ESECUTIVO

già sedimentate (Argille Tortoniane - Trubi), si producono faglie inverse e, a luoghi, sovrascorrimenti; mentre le formazioni più coerenti (calcare e gessi) subiscono un evidente smembramento ed un loro dislocamento in lembi isolati poggianti nella formazione pelitica basale (Argille Tortoniane) o inglobati nelle brecce argillose infraplioceniche (A.B. IV).

ETÀ	FORMAZIONI	LITOLOGIA
PLIOCENE SUPERIORE	SABBIE SUPERIORI	Sabbie gialle o rosse a grana fine con intercalazioni di quarzareniti, lumachelle calcareniti
	ARGILLE MARNOSE DI GERACELLO	Argille marnose e siltose azzurre e grigio-giallastre
PLIOCENE INFERIORE - MEDIO	CALCARENITI DI CAPODARSO	Calcareniti giallo-rossastre alternate a sabbie e sabbie argillose
	MARNE DI ENNA	Marne e marne argillose grigie e azzurre
	ARGILLE BRECCIATE A. B. IV	Breccia ad elementi argilloso-marnosi e subordinatamente arenacei e calcarei, con blocchi di argille variegata, di calcari bianco-crema e di Calcare di base. Intercalazione di Trubi nella parte bassa e di Marne di Enna nella parte alta
	TRUBI	Marne bianco-crema a globigerine
MESSINIANO	GESSI	Gesso mm-ritmico e selenitico
	CALC. DI BASE TRIFOLI	Breccia calcarea con partimenti pelitici Alternanza di diatomite e marne
TORTONIANO	ARGILLE BRECCIATE A. B. II	Breccia formata da frammenti di argille brune, di marne grigie e più raramente di quarzarenite

Figura 3.2 – Successione di riferimento (Roda, 1967)

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 26 di 51

A partire dal Pliocene inferiore - medio, si ha una normalizzazione dei movimenti che interessa gli ultimi livelli dei Trubi, tornando essenzialmente ad un lento e generale sollevamento del bacino con la contemporanea diminuzione delle spinte plicative. Inizia la regressione finale, che segna anche l'inizio di un cambiamento di facies, e si creano le condizioni per la deposizione delle marne argillose piacentiane.

Per tutto il Pliocene medio-superiore, e parte del Pleistocene, continua la regressione fino al colmamento del bacino ed alla sua emersione. Si manifestano ulteriormente le spinte plicative che coinvolgono le marne piacentiane, le calcareniti e le sabbie astiane, producendo strutture a piega molto blande che, in più casi, l'erosione ha successivamente ridotto a monoclinali formando le strutture tabulari a "mesa" con fronti a "cuesta" che rappresentano i rilievi più alti della zona.

Sulla scorta di quanto sopra articolato è possibile delineare un quadro litologico di riferimento (Fig. 3.2) che si caratterizza per la netta prevalenza di termini coesivi fortemente tettonizzati e spesso a struttura caotica cui si sovrappongono, in discontinuità, termini litoidi evaporitici (calcari, gessi) a loro volta sovrastati da alternanze argilloso – marnose passanti, verso l'alto, a successioni calcarenitiche e/o sabbioso – arenacee. Al di sopra di tali termini affiorano le coperture continentali recenti che, in coincidenza dei maggiori assi fluviali, possono raggiungere spessori notevoli.

3.1.1. Successione del Tortoniano

La successione in questione risulta costituita da depositi sin-postorogeni di età *Tortoniana*, identificabili con la F.ne Terravecchia in facies, prevalentemente, argilloso – sabbiosa e con le breccie argillose, denominate in letteratura "A.B. II", presenti sottoforma di vasti *olistostromi* costituiti da marne grigie e da argille brune a struttura brecciata in matrice siltosa con presenza di trovanti litoidi grossolani quarzarenitici.

In sintesi tale successione, dal basso verso l'alto, è così costituita:

- Argille grigio – azzurre e sabbie giallastre (**F.ne Terravecchia**);
- Breccie Argillose ("A.B. II")

Formazione Terravecchia

Si tratta di una sequenza terrigena argilloso – sabbioso - arenacea; le argille marnose hanno colore grigio azzurro, stratificazione in tracce, marcata soltanto ove presenti livelli sabbiosi; le sabbie hanno colore giallastro, talora sono ben classate, e mostrano una composizione quasi esclusivamente quarzosa, le arenarie sono giallastre e si ritrovano in banconi separati da interstrati

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 27 di 51

marnoso - sabbiosi poco compatti. Dove presenti le intercalazioni arenacee sono messe in evidenza da una morfologia acclive, ben visibile lungo le incisioni fluviali. A luoghi sono anche presenti affioramenti calciruditici e calcarenitici a stratificazione incrociata relazionabile a correnti *trattive* che testimoniano un ambiente di deposizione fluvio - deltizio.

Le diverse facies che contraddistinguono la formazione presentano notevoli variazioni di spessore, testimonianza di una varietà degli apporti detritici connessi all'articolazione dell'ambiente deposizionale. La formazione Terravecchia poggia con contatto discordante sul Flysch Numidico ed è ricoperta a sua volta dalle Argille Brecciate ("A.B. II"), dai depositi della Serie Gessoso-Solfifera e direttamente dalle marne ed arenarie plioceniche. L'età, indicata da microfaune appartenenti alla cenozona a Globorotalia menardii di Cati et alii (1968), è Tortoniana.

Brecce Argillose ("A.B. II")

Al tetto della F.ne Terravecchia sono presenti brecce argillose, a stratificazione indistinta, contenenti esotici di dimensioni da decimetriche a centimetriche della Formazione di Polizzi e del substrato Numidico, denominate da Ogniben (1953 - 54) **A.B. II**. In generale si tratta di olistostromi a struttura caotica ed eterogeneamente costituiti da argille brecciate in matrice siltosa, marne e trovanti litoidi di natura prevalentemente quarzarenitica.

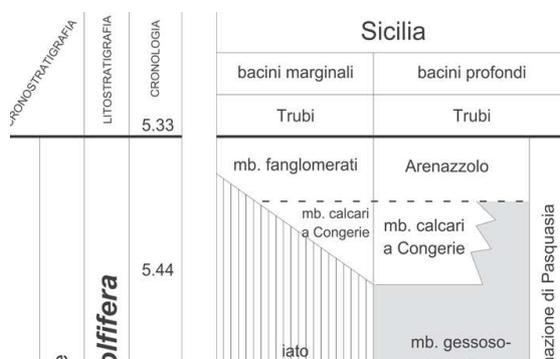
3.1.2. Successione del Messiniano (Gruppo della Gessoso - Solfifera)

La successione del Messiniano e/o serie Gessoso - Solfifera individua un complesso di depositi di età miocenica superiore comprendenti lenti di gesso, calcari solfiferi, salgemma e altri sali più solubili intercalati a depositi terrigeni che si ritrovano in tutta la Sicilia centro - meridionale.

Tale successione risulta costituita da sedimenti prevalentemente evaporitici di età Messiniana, compresi fra le marne e le argille del Tortoniano sup. e la formazione dei Trubi del Pliocene basale, deposti in corrispondenza della "crisi di salinità" che ha interessato l'area Mediterranea (Decima e Wezel, 1971). In generale tale successione risulta costituita da due cicli sovrapposti (due episodi evaporitici) separati da una discordanza stratigrafica a carattere regionale.

La successione può essere, litologicamente, suddivisa in tre membri: **Tripoli** (diatomiti e peliti euxiniche), **Calcicare di base** e "**gessoso**" (gessi, gessareniti, salgemma, etc.).

In Sicilia, l'ultimo membro, è stato a sua volta suddiviso informalmente in due formazioni (**Cattolica e Pasquasia**) corrispondenti a due episodi evaporitici distinti nell'ambito della crisi di salinità (complesso evaporitico inferiore e superiore).



La successione Gessoso – solfifera, caratterizzata dall'estrema eterogeneità litologica, comprende sia

<i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>		Data: 05/10/10
tecnica campagna Geognostica a - Programma delle indagini di 2° fase		Pagina 28 di 51

facies evaporitiche di precipitazione primaria da acque marine e non-marine, sia facies clastiche.

Studi recenti suggeriscono che le evaporiti clastiche, derivanti dallo smantellamento e accumulo di evaporiti primarie in bacini relativamente profondi attraverso processi gravitativi, poggino sulla discontinuità intra - messiniana, risultando quindi più recenti delle evaporiti primarie.

Per quanto riguarda i bacini siciliani, la Gessoso – solfifera comprende la F.ne di Cattolica. (gessi inferiori) e la F.ne di Pasquasia (gessi superiori).

Tripoli

Si tratta di una formazione diatomitica e marnoso/calcareo che si sviluppa alla base della serie gessoso – solfifera. In Sicilia la formazione è costituita da un'alternanza ritmica di strati diatomitici e marnoso calcarei di spessore decimetrico fino a metrico. Al suo interno è riconoscibile un *pattern* ciclico dato dalla sovrapposizione ordinata di tre litotipi: marne omogenee di colore grigio - verdastro, laminiti bruno-rossastre (*sapropel*), laminiti biancastre (*diatomiti*). Tale ciclicità sedimentaria, controllata dalle variazioni dei parametri orbitali, consente un eccellente controllo stratigrafico. In Sicilia centro - meridionale il Tripoli si trova al tetto della F.ne Terravecchia, con limite graduale tra le due unità. Il limite superiore della formazione è dato dal passaggio netto o, localmente, graduale ai depositi basali del Gruppo della Gessoso - Solfifera (nel bacino di Caltanissetta il Membro del Calcarea di Base della formazione Cattolica) e coincide con l'inizio della crisi di salinità messiniana. Secondo alcuni autori tuttavia l'unità avrebbe rapporti eteropici con il Calcarea di Base, dovuti all'articolazione morfostrutturale dei bacini durante il Messiniano. Nel sottosuolo, i livelli marnosi dell'unità sono ricchi di idrocarburi, gassosi e bituminosi. Localmente, possono intercalarsi a varie altezze del Tripoli straterelli di calcareniti tufacee; talvolta, sono presenti anche alcune intercalazioni di selce grigio-bruna.

In generale la formazione risulta costituita da diatomiti bianche, sottilmente laminate, con microfaune oligotipiche discretamente abbondanti (per esempio associazioni a *Globigerinoides obliquus*), ricche di impronte di pesci. E' un deposito *pre-evaporitico* legato ad un ambiente marino a circolazione ristretta. Presenta facies differenti, distribuite in base alla posizione all'interno di un bacino di sedimentazione dal fondo articolato: a volte, infatti, si presenta costituito da diatomiti

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 29 di 51

bianche fogliettate facilmente sfaldabili secondo piani paralleli, altre volte da un'alternanza di diatomiti compatte e sedimenti marnosi di color marroncino ricchi in foraminiferi. (Messiniano Inferiore)

Calcari di base - (Formazione Cattolica)

Con tale terminologia (Ogniben 1957/58) si indica la porzione basale della successione evaporitica siciliana. Tale formazione è costituita da calcari biancastri o grigiastri in strati e banchi massicci dello spessore 1 ÷ 15 m, caratterizzati dalla locale presenza di pseudomorfi di alite; il numero totale dei banchi calcarei varia generalmente tra 6 e 13; la geometria degli strati è grossolanamente lenticolare, a base irregolare, a tratti erosiva. I banchi principali sono alternati a livelli, aventi potenza da 30 ÷ 150 cm, costituiti da marne calcaree, calcari laminati, dolomie, o, più raramente, da gessi. Talvolta il passaggio dai banchi calcarei alle intercalazioni marnose si realizza tramite l'interposizione di ritmiti calcaree laminate. In altre situazioni i banchi calcarei presentano un aspetto brecciato; la natura di questa tessitura può essere imputata a collasso da dissoluzione di minerali o di interstrati evaporitici e/o a processi meccanici di tipo gravitativo. In questo ultimo caso gli strati calcarei mostrano base erosiva, gradazione normale e una divisione gessarenitica, solitamente laminata, al tetto. L'unità è spesso ricoperta da depositi evaporitici laminati (gesso balatino), di natura clastica (gessareniti - gessosiltiti) e/o da precipitazione primaria. Lo spessore del Calcare di Base varia da 20 a circa 60 m per la differenza nel numero e nello spessore degli strati; si riduce, invece, a pochi metri in corrispondenza di una superficie di erosione intramessiniana; in sottosuolo l'unità è stata perforata per 70 m, con uno spessore massimo stimato di circa 80 m.

L'area tipo del Calcare di Base è il bacino di Caltanissetta e le sezioni di riferimento prossime al tracciato stradale possono essere rinvenute in prossimità del T.te Vaccarizzo -.Caltanissetta.

L'unità si trova al tetto del Tripoli, con passaggio netto o, talora, graduale (per ispessimento delle intercalazioni carbonatiche e scomparsa dei livelli diatomitici), oppure ricopre in discordanza direttamente la F.ne Terravecchia. Lateralmente e verso l'alto, essa passa ad un unità clastica, costituita da gessoruditi, gessareniti e calcareniti, messa in posto da processi gravitativi.

Il Calcare di Base ha un origine evaporitica, in acque ipersaline nelle porzioni periferiche del bacino di Caltanissetta, con influssi di acque dolci, in ambiente ristretto e periodicamente soggetto a disseccamento; le condizioni paleoambientali sono in linea di massima confermate dalle analisi isotopiche anche se alcuni valori non escludono processi di riduzione batterica dei solfati.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 30 di 51

Alcuni autori ipotizzano rapporti di eteropia tra il Calcarea di Base ed il Tripoli, connessi con l'articolazione morfostrutturale dei bacini: il primo deposto in corrispondenza degli alti strutturali del bacino, e il Tripoli nelle aree più depresse.

L'unità è considerata come un membro della F.ne Gessoso - solfifera. Nell'ambito del Progetto CARG l'unità viene riclassificata come membro della formazione di Cattolica, facente parte del gruppo della Gessoso - Solfifera.

In generale, in riferimento al territorio analizzato, tale formazione affiora a tratti, come il Tripoli, a causa della marcata giacitura lenticolare. Sono stati cartografati esclusivamente gli affioramenti di spessore compatibile con la scala del rilievo ho in grado di influenzare il tracciato stradale.

Spesso la formazione si presenta in grandi blocchi discontinui, mal stratificati, vacuolari ed intensamente fratturati; altre volte si presenta in banchi calcarei bianco-grigiastri a laminazione parallela. La presenza di cavità carsiche testimonia il lungo periodo di esposizione subaerea, subita dalla Serie Solfifera, conclusasi con la trasgressione dei Trubi. Spesso il calcarea è mineralizzato a zolfo a causa della presenza delle sottostanti formazioni Terravecchia e Tripoli, ricche di sostanza organica; quest'ultima sviluppava il metano (CH₄), che risalendo riduceva il gesso mineralizzando il sottostante calcarea di base. Secondo Butler (Butler et al., 1995) il calcarea di base è un deposito relativo a zone di alto strutturale (vedi sopra), in cui, per la presenza di basse colonne d'acqua, si raggiungeva la concentrazione necessaria per la precipitazione dei carbonati. (Messiniano Inferiore)

Gessi (Formazione Cattolica)

Tale termine, da considerarsi come il *layer* apicale del Complesso Evaporitico Inferiore, non sempre risulta presente in quanto il Ciclo Evaporitico Superiore poggia, in maniera brusca e discordante, sui calcari di base. Nel complesso si tratta di gessi macrocristallini, caratterizzati dalla classica geminazione a coda di rondine oltre a livelli decimetrici a laminazione mm – ritmica alternati a varve argillose ed evaporitriche.

Sono rocce microcristalline sottilmente laminate con facies gessosa che prevale sulle peliti nei caratteristici strati varvati del tipo primario o gesso "balatino". Hanno colore bianco-grigiastro e sono caratterizzate da laminazione piano-parallela. In alcuni affioramenti, in associazione al gesso primario è stato riscontrato gesso selenitico (o secondario) derivante o dalla trasformazione diagenetica del gesso primario o dalla idratazione di anidrite (OGNIBEN, 1957). Gli ammassi gessosi appaiono fortemente tettonizzati: lo smembramento è da relazionare alla fase tettonica infrapliocenica ed è stato agevolato dalla relativa rigidità della formazione rispetto alle unità

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 31 di 51

incassanti. Per il litotipo in questione l'ambiente di deposizione si può ipotizzare o in corrispondenza della zona depocentrale oppure lungo i fianchi del bacino stesso, dove si interdigita con il calcare di base; quest'ultima zona risulta più propensa per la mineralizzazione a zolfo. Sono state riscontrate pieghe enterolitiche ([foto 5](#)) la cui presenza è attribuibile o a fenomeni di slumping sinsedimentari o a trasformazione anidrite-gesso che comporta un'aumento di volume. (Messiniano Inferiore)

Gessi (Formazione Pasquasia)

Sequenza di marne, marne argillose e argille marnose grigiastre alternate a livelli sabbiosi. Le argille spesso presentano fitte intercalazioni di lamine gessose alternate a gessareniti, torbiditi gessose e gesso balatino. (Messiniano superiore).

3.1.3. Successione del Pliocene

Trubi

Si tratta di una formazione marnoso – argilloso – calcarea di ambiente marino aperto, sedimentatasi al tetto del Gruppo della Gessoso – Solfifera, al termine della crisi di salinità Messiniana, il contatto risulta generalmente concordante o paraccordante con i sottostanti termini del Gruppo della Gessoso-Solfifera.. Essa risulta costituita da un'alternanza ritmica di biomicriti, marne e calcari ricchi in plancton calcareo. Tali litotipi presentano colore variabile dal bianco al giallo e al bruno risultando per lo più privi di frazione terrigena; inoltre, si presentano in strati dello spessore di 20 ÷ 30 cm, ma possono raggiungere anche dimensioni metriche. La ciclicità litologica è controllata da variazioni periodiche dei parametri orbitali. Frequenti risultano le strutture deformative sin sedimentarie (livelli caoticizzati - breccie intraformazionali). Localmente è possibile riconoscere differenti litozone, sulla base del colore più o meno scuro e della stratificazione. Lo spessore complessivo della formazione è dell'ordine dei 100 metri. La base dei Trubi giace sui depositi del Gruppo della Gessoso - Solfifera, generalmente rappresentati dal membro *Arenazzo* della "F.ne di Pasquasia"; il limite superiore dell'unità è invece dato da un passaggio rapido, ma graduale, ai depositi del Pliocene Inf.

Dal punto di vista cronostratigrafico l'unità è riferibile allo Zancleano (Pliocene Inferiore) ed alla parte basale del Piacenziano (Pliocene Medio).

Breccie argillose

Con tale termine (Ogniben 1953-54) individua i depositi argillosi costituiti da inserimenti olistostromici coevi o posteriori ai trubi. Si tratta, generalmente, di argille marnose brune, a

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 32 di 51

struttura spiccatamente brecciata, *puddingoide*, talvolta scagliettata per la sovrapposizione di differenti piani di taglio; contengono abbondanti elementi *esotici* calcarei e gessosi. La formazione è concordante con i Trubi e si può riscontrare a letto, a tetto o intercalata ad essi.

In genere presenta un andamento lenticolare con potenze estremamente variabili e difficilmente valutabili. Nella zona indagata la formazione affiora abbondantemente con rapporti inter-stratigrafici diversificati: a letto dei trubi e delle marne argillose piacentiane, a letto dei trubi e degli affioramenti del gruppo della gessoso solfifera (calcarei e gessi), ed infine indirettamente a contatto della formazione tortoniana di base per effetto di una serie di dislocazioni a faglie verticali o subverticali inverse.

Formazione di Enna (Gruppo di Geracello)

Marne e marne argillose grigio – azzurre, grigio – biancastre quando alterate, a tipica frattura concoide debolmente stratificate. Si tratta di una formazione prevalentemente pelitica riferibile al Pliocene medio in facies *piacentiana*. Tale formazione rappresenta la parte basale di un complesso eteropico, che comprende anche le sabbie e le calcareniti astiane (descritte in seguito), legato al progressivo riempimento del bacino di sedimentazione. La formazione costituita da marne e marne argillose generalmente compatte ed a volte con frattura concoide, contiene numerosi fossili di ambiente marino piuttosto profondo.

La sedimentazione di tale formazione avviene, anche se in presenza di una discordanza intrabacinale, in continuità con i sottostanti termini (Trubi), per poi passare, verso l'alto, ad una successione calcarenitica (Calcareniti di Capodarso). Il passaggio litostratigrafico in questione risulta caratterizzato da marcati rapporti eteropici.

Le calcareniti di Capodarso affiorano diffusamente, lungo la cosiddetta monoclinale diretta di Enna - Caltanissetta con direzione prevalente E – W, e vengono evidenziate da imponenti fenomeni di erosione selettiva che ne determinano l'affioramento in coincidenza dei principali rilievi.

Il termine più rappresentativo di tale unità è costituito da biocalcareni bruno - giallastre a stratificazione tipicamente piano - parallela e laminazione incrociata, generalmente cementate e ricche di resti fossili (macrofauna ad ostreidi, pectinidi e molluschi in genere).

Le calcareniti rappresentano la tipica litologia di ambiente deltizio, come dimostrato dalle caratteristiche strutture di sedimentazione (laminazione incrociata), in cui si evidenziano apporti terrigeni. Il riempimento del bacino di sedimentazione è avvenuto in fasi sovrapposte, evidenziate in affioramento dall'alternanza di coppie di strati (lenti calcarenitiche – intercalazione argilloso sabbiosa).

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 33 di 51

Nell'insieme la formazione presenta una serie di lenti calcarenitiche, alternate e/o separate da livelli di sabbie e argille sabbiose. In particolare si evidenziano passaggi graduali a sabbie e sabbie siltose, verso il basso, mentre, verso l'alto, il passaggio ai livelli a maggiore componente siltoso – argillosa avvengono in maniera brusca.

Argille marnose di Geracello (Gruppo di Geracello)

Si tratta di prevalentemente di argille marnose, talora siltose, dalla tipica colorazione grigio – azzurra con intercalazioni di sottili livelli siltosi.

Tale litoitpo poggia in discordanza stratigrafica sui sottostanti termini (Trubi, A.B. IV, Marne di Enna e Calcareniti).

Nella parte alta della formazione si osserva un progressivo aumento della frazione sabbiosa con passaggio graduale alle sabbie gialle della formazione sovrastante. Il passaggio e' sempre graduale con parziali eteropie di facies. In vicinanza del Ponte di Capodarso si vedono le Argille marnose di Geracello passare lateralmente verso Nord a sabbie argillose con lenti ghiaiose ed intercalazioni arenacee, che poggiano in discordanza sulle Calcareniti di Capodarso.

Sabbie di Lannari (Gruppo di Geracello)

Le argille marnose di Geracello passano verso l'alto, in continuità di sedimentazione e gradualmente, a sabbie sciolte con intercalazioni di arenarie variamente cementate.

Tale formazione e' costituita da sabbie fini di colore variabile tra il giallo, il bruno chiaro ed il rosso, con stratificazione irregolare e con intercalati banchi cementati, messi in buona evidenza da fenomeni di erosione selettiva.

In generale si tratta di un complesso suprapliocenico riferibile al piano Astiano, di probabile origine deltizia, che segna il colmamento del bacino di sedimentazione. L'alternanza di sabbie e limi presenta intercalazioni arenacee in sedimentazione incrociata a geometria lentiforme con potenze variabili. Sono quasi sempre presenti fossili di malacofauna e di ambiente litorale che si presentano a spesso molto rimaneggiati e risedimentati.

3.2 QUADRO DI SINTESI DELLA GEOLOGIA LUNGO IL TRACCIATO

In tale contesto, la natura dei terreni interessati dal tracciato si presenta particolarmente variegata, con passaggi discontinui sia in senso laterale che orizzontale.

Sulla scorta delle informazioni disponibili e sin qui acquisite, è possibile fornire una prima schematizzazione geologica distinta per tratte nei due lotti di progetto, e nel seguito elencate:

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 34 di 51

PROGETTO ESECUTIVO

Tratta	Sottotratta	Denominazione tratta	Progressive	Situazione geologica
I	1	C.da Grottarossa	0 - 2.400	- dalla prog. 0 alla 1.420 il tracciato ricade sull'unità dei calcari evaporitici messiniani ricoperti da un ampio mantello detritico eluviale; - dalla prog. 1.420 alla 2.400 si passa al complesso plastico delle argille ed argille marnose del tortoniano; il passaggio è segnato dalla presenza di una struttura tettonica di sovrascorrimento
I	2	Prima variante	2.400 - 4.400	complesso plastico delle argille ed argille marnose tortoniane.
I	3	C.da Grotta d'Acqua	4.400 - 8.600	- dalla prog 4.400 alla prog 5.250 sono presenti depositi elucolluviali a copertura del complesso argilloso tortoniano - dalla prog. 5.250 alla 5.400 i depositi elucolluviali ricoprono la formazione delle marne e calcari marnosi del pliocene inf. (Trubi nell'espressione prettamente marnosi); - dalla prog. 5.400 alla 5.800 affiora l'unità delle argille e argille marnose plioceniche con uno spesso livello sommitale costituito da limi sabbiosi alterati.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 35 di 51

PROGETTO ESECUTIVO

Tratta	Sottotratta	Denominazione tratta	Progressive	Situazione geologica
II	1	Seconda variante - Tratto iniziale	8.600 – 10.350	- dalla prog. 8.600 alla 9.400, si riscontrano depositi elu-colluviali; - dalla prog. 9.400 alla 10.080 (galleria artificiale GA02) argille e argille sabbiose del pliocene (Pam); - dalla prog. 10.080 alla 10.200, in corrispondenza del viadotto Favarella, affiorano depositi alluvionali a copertura delle argille sabbiose (Pam)
II	2	Galleria Papazzo	10.350 – 10.975	La stratigrafia tipo dell'area interessata dalla galleria prevede, dall'alto verso il basso, l' <i>Unità delle sabbie e sabbie argillose (Psa)</i> e l' <i>unità delle argille ed argille marnose (Pam)</i> ; Nello specifico la stratigrafia tipo dell'area interessata dalla galleria prevede, dall'alto verso il basso, le <i>sabbie e sabbie argillose</i> e l' <i>unità delle argille ed argille marnose</i> ; <u>in corrispondenza dell'imbocco lato CL, la serie delle sabbie viene ribassata da alcune strutture distensive</u> (probabilmente associate alla tettonica plicativa) sino al livello delle alluvioni del Vallone Mumia. <u>Sussistono rischi di sifonamento indotti da lenti maggiormente sabbiose presenti nelle argille che potrebbero favorire la repentina migrazione verticale di flussi idrici durante la realizzazione dello scavo.</u> Tale rischio sarebbe più verosimile in corrispondenza del tratto terminale lato Caltanissetta, a causa del ribassamento della sequenza sabbiosa
II	3	Seconda variante - Tratto finale	10.975 – 12.900	formazione marnoso-arenacea del Pliocene medio – Pleistocene inf., localmente ricoperta da depositi continentali di tipo alluvionale (<i>Vallone Mumia</i>)

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 36 di 51

PROGETTO ESECUTIVO

Tratta	Sottotratta	Denominazione tratta	Progressive	Situazione geologica
II	4	Galleria Caltanissetta	12.900 – 16.890	in affioramento 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. (marna argillose della F.ne dei Trubi). <u>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.</u> 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
II	5	C.da San Filippo Neri	16.890 – 18.100	affiorano esclusivamente le argille brecciate del Pliocene Inferiore, a meno di una stretta fascia di alluvioni recenti presenti lungo l'incisione fluviale che interseca il tracciato alla progressiva 17+325.00. <u>Situazioni di dissesti superficiali diffusi da verificare per quanto riguarda importanza e geometrie</u>
III	1	C.da Busita	18.100 – 19.400	litologie dominanti nel settore sono le argille brecciate del Pliocene inf. afferenti alla formazione dei Trubi e le argille grigio azzurre del complesso argilloso tortoniano. Nel primo trattosino a circa 18.500, si riscontrano <u>situazioni di dissesti superficiali diffusi da verificare per quanto riguarda importanza e geometrie</u>

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 37 di 51

PROGETTO ESECUTIVO

Tratta	Sottotratta	Denominazione tratta	Progressive	Situazione geologica
III	2	C.da Abbazia	19.400 – 22.300	complesso argilloso tortoniano che affiora diffusamente in tutto il settore di Contrada Abbazia Santuzza e Appennati
III	3	Arenella	22.300 – 25.200	estesi affioramenti di argille tortoniane ricoperte da alluvioni recenti e/o terrazzate in prossimità dell'alveo del vallone Arenella
III	4	Cozzo Garlatti	25.200 – 26.600	il primo tratto (viadotto Arenella VI 13) e il segmento finale (svincolo sulla SS 626 – SV 05) ricadono sui depositi continentali di tipo alluvionale; il tratto centrale (Galleria Garlatti GN04) interseca la formazione Terravecchia, in corrispondenza di Cozzo Garlatti. Sono riconoscibili sul versante est del crinale, tre nicchie di distacco per crollo del bancone calcarenitico che ha coinvolto una porzione superficiale di terreno di spessore pari a circa 3-4 metri scivolati a valle con superficie di scorrimento roto traslativa
III	5	Imera	26.600 – 28.080	sono stati rilevati sia alluvioni recenti in prossimità dell'attuale alveo del fiume, sia depositi terrazzati di alluvioni in prossimità delle aree più distali, con spessore variabile da 5 a 9 metri, al di sotto dei quali si riscontra la formazione delle argille tortoniane

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 38 di 51

4 PROBLEMATICHE EMERSE

Nel seguito si delineano le zone e le situazioni emerse dalle indagini condotte e dal nuovo modello geologico adottato, su cui è di estrema importanza effettuare alcuni approfondimenti investigativi.

4.1.1. Galleria Papazzo

Nella zona dell'imbocco lato Caltanissetta, le indagini svolte e le ricostruzioni stratigrafiche condotte hanno evidenziato che la serie delle sabbie presenti in affioramento, viene ribassata da alcune strutture distensive (associate alla tettonica plicativa) sino al livello delle alluvioni del Vallone Mumia. Tale assetto si differenzia nettamente dalla situazione delineata negli elaborati geologici del PD, in cui la galleria si sviluppa per intero nella formazione argillosa.

Ne deriva che sussistono rischi di sifonamento (non previsti dal PD) indotti da lenti maggiormente sabbiose presenti nelle argille che potrebbero favorire la repentina migrazione verticale di flussi idrici durante la realizzazione dello scavo.

Le indagini sin qui condotte lasciano ancora qualche dubbio sul reale andamento stratigrafico-strutturale della zona, inducendo ad un approfondimento della conoscenza della situazione tramite l'esecuzione di indagini che possano permettere la ricostruzione di un reale profilo bidimensionale in corrispondenza della zona in esame.

4.1.2. Galleria Caltanissetta

Nella zona corrispondente al primo tratto lato Agrigento da quanto evidenziato dalle ricerche bibliografiche condotte e dalle indagini sin qui 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, deriverebbe, allo stato attuale, 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.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 39 di 51

La prevalenza degli affioramenti di formazioni incompetenti in corrispondenza dell'area in studio, non aiuta a riconoscere l'evidenza di strutture dall'esame di superficie, anche attraverso l'analisi fotogeologica. Necessita in tal caso avere il riscontro dall'esame della situazione in profondità, analizzando sia le stratigrafie che eventuali ricostruzioni tramite indagini indirette (indagini geofisiche) da condurre e aggiungere a quelle già effettuate (sondaggi elettromagnetici).

4.1.3. Dissesti gravitativi

Per quanto riguarda l'assetto geomorfologico l'area in studio è caratterizzata da terreni di litologia diversa interessati da una evoluzione tettonica diversificata che ha determinato l'estrema variabilità di morfosculture presenti nel paesaggio.

La morfologia dell'area interessata dal tracciato è identificabile come zona a carattere basso-collinare, tipica delle aree con prevalenza di affioramenti argillosi.

La tipologia dei dissesti gravitativi individuati è da ricollegarsi con la litologia presente: in terreni di natura argillosa e argilloso-sabbiosa si rilevano per lo più frane del tipo colata, scorrimento rotazionale o traslativo e frane complesse. Tali dissesti sono spesso di difficile identificazione perché le loro tracce sono facilmente cancellabili dall'azione antropica, soprattutto nelle aree intensamente coltivate.

Le indagini condotte (rilievi di superficie e sismica tomografica) in corrispondenza dei versanti che saranno attraversati dalle opere in progetto (prevalentemente viadotti), soprattutto nelle tratte di C/da San Filippo Neri e C/da Busita, hanno indotto a riconoscere una situazione più complessa rispetto a quanto delineato nel quadro geomorfologico del PD.

I dissesti gravitativi individuati sono correlati alla situazione morfologica summenzionata, individuandosi prevalentemente nella zona terminale della seconda tratta e nella terza tratta, e, allo stato attuale delle conoscenze, in qualche caso sembra che ci si trovi in situazioni correlabili a dissesti di una certa rilevanza soprattutto nelle tratte di C/da San Filippo Neri e C/da Busita.

4.1.4. Sismicità dell'area

Lo studio sismico a corredo del PD è antecedente all'entrata in vigore della vigente normativa di settore (DM 14/01/2008) e le indagini sin qui condotte non completano adeguatamente il quadro specifico, in quanto, ai fini di una migliore definizione dell'azione sismica di progetto, dell'attribuzione del suolo tipo di fondazione, della determinazione del parametro V_{S30} , necessita la definizione dei parametri sismodinamici in corrispondenza delle principali opere d'arte.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 40 di 51

Questa necessità deriva, soprattutto dal nuovo modello geologico che va delineandosi nell'ambito dello studio geologico condotto a corredo del Progetto Esecutivo, che sta portando ad una variazione dell'assetto stratigrafico strutturale dell'area e che, conseguentemente, potrebbe indurre ad una situazione più complessa delle variazioni latero-verticali dei valori dei parametri sismodinamici.

4.1.5. Aggressività delle acque di falda

Gli aspetti qualitativi delle acque sotterranee nell'area risentono molto della presenza, sia diretta che indiretta (interscambi acque superficiali/sotterranee), di acquiferi della serie gessoso-solfifera che inducono alle stesse quei particolari caratteri di aggressività nei confronti dei calcestruzzi, dovuti alla rilevante presenza di solfati e solfuri.

Anche in questo caso tale necessità deriva, soprattutto dal nuovo modello geologico che va delineandosi nell'ambito dello studio geologico condotto a corredo del Progetto Esecutivo, che sta portando ad una variazione dell'assetto stratigrafico strutturale dell'area che, conseguentemente, potrebbe indurre ad una situazione più complessa delle variazioni latero-verticali delle strutture idrogeologiche che influenzano la qualità delle acque sotterranee.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 41 di 51

5 PROGRAMMA DELLE INDAGINI INTEGRATIVE DI FASE 2

Sulla base delle evidenze derivanti dalle indagini integrative condotte di recente (luglio-agosto 2010), dei rilievi di campo effettuati e della documentazione consultata, 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.

Ai fini di una ottimale rappresentazione del programma delle indagini si è proceduto alla distinzione dell'intero itinerario di progetto sia nelle tratte di cui al § 1.1 sia in funzione delle opere d'arte da realizzare, così come evidenziato nelle tabelle riassuntive delle indagini, in cui sono riportate sia le indagini svolte in fase di progetto definitivo sia quelle integrative oggetto della presente relazione.

5.1 CRITERI DI SCELTA DELLA TIPOLOGIA DELLE INDAGINI

Il piano di indagine è stato articolato in funzione delle problematiche geologiche riscontrate derivanti dal quadro geologico delineato tramite le indagini precedentemente svolte e della documentazione di recente consultazione (cfr. Cap. 3)

Nel precedente Capitolo 4 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 affrontata.

5.1.1. Galleria Papazzo

In corrispondenza dell'imbocco lato Caltanissetta, al fine di delineare meglio l'assetto tettonico-stratigrafico e l'andamento della falda idrica sotterranea, considerata la bassa profondità da indagare (30÷40 m circa) e la necessità di definire un profilo bidimensionale dell'area, si propone l'esecuzione di una indagine geofisica di superficie tramite una stesa elettrica a risoluzione tomografica di estensione pari ad almeno 400 m.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 42 di 51

5.1.2. Galleria Caltanissetta

Le indagini prevedono l'esecuzione di altri 2 sondaggi a carotaggio continuo in testa alla galleria, profondi 130 m (SI26) e 150 m (SI27) con prelievo di campioni indisturbati in numero adeguato alla caratterizzazione geomeccanica dell'intera colonna stratigrafica. I fori di sondaggio saranno utilizzati per l'installazione di tubazione adeguata allo svolgimento di prove sismiche in foro (down-hole) finalizzata alla definizione del V_{s30} , che saranno eseguite negli ultimi 50 m del tratto perforato.

Oltre ai sondaggi, in riferimento alle problematiche emerse (cfr. § 4.1.2), al fine di estendere ad un profilo bidimensionale i dati derivanti dalle perforazioni e dalle indagini geofisiche eseguite, si propone di eseguire delle prove sismiche di superficie con tecnica a riflessione tali da ricoprire una lunghezza totale di circa 1000 m, lungo l'asse longitudinale della galleria, e profondità superiori ai 200 m. La prova dovrà avere un g-spacing massimo di 5 metri con molteplicità di copertura del 1200%. Tale prova andrebbe condotta prima dei summenzionati sondaggi, al fine di ubicare tali punti di indagine con maggior precisione e procedere al prelievo di campioni laddove si evidenzerebbero eventuali strutture tettoniche, per procedere alla caratterizzazione geotecnica degli orizzonti tettonizzati.

5.1.3. Dissesti gravitativi

A completamento del quadro delineato con le indagini sismiche di superficie condotte nell'ambito delle indagini integrative appena eseguite, si propone l'esecuzione di n. 3 sondaggi da attrezzare con tubi inclinometrici al fine di monitorare e verificare eventuali movimenti degli eventuali ammassi in dissesto. I tre inclinometri saranno ubicati in corrispondenza della zona evidenziata nel § 1.4.3 e precisamente:

- del previsto Viadotto S. Filippo Neri (SI29 prof. 40 m),
- del previsto Viadotto Busita I (SI30 prof. 50 m)
- del previsto Viadotto Busita II (SI31 prof. 40 m).

Dopo l'installazione si provvederà ad eseguire una campagna di monitoraggio con frequenza trimestrale.

5.1.4. Sismicità dell'area

Al fine di completare il quadro della conoscenza necessario alla definizione della micro zonazione sismica dell'area e verificare, pertanto, le risposte di sito e le categorie di suolo in corrispondenza delle principali opere d'arte si propone l'esecuzione delle seguenti prove sismiche:

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 43 di 51

- n. 6 prove sismiche down-hole da eseguire all'interno di fori di sondaggio opportunamente attrezzati (SI26, SI27, SI33, SI34, SI37) oltre che all'interno di un inclinometro (SI30);
- n. 19 prove sismiche attive (MASW 1÷19) per una restituzione di dettaglio di profili V_s del sottosuolo, con elaborazione dati in 2D; per ogni prova devono essere acquisiti non meno di n. 9 "shot", di cui 5 interni alla linea e 4 esterni in a/r; utilizzo minimo di 24 sensori;
- n. 22 prove sismiche passive (NS 1÷22) finalizzate alla definizione della risposta sismica di sito mediante l'acquisizione di rumore sismico (noise) per la valutazione della frequenza del sito e di eventuali effetti di amplificazione sismica locale in corrispondenza dei maggiori viadotti.

5.1.5. **Aggressività delle acque**

In corrispondenza di opere d'arte (gallerie naturali e artificiali), viadotti le cui parti interrato saranno soggette a interazioni con le acque di circolazione sotterranea, si prevede, all'interno di n. 8 fori di sondaggio profondi 20 m (SI23, SI24, SI25, SI28, SI32, SI35, SI36, SI38), l'installazione di altrettanti piezometri a tubo aperto (DN 3") atti al prelievo di campioni di acqua sotterranea. Tali campioni saranno sottoposti alla caratterizzazione qualitativa tramite determinazioni analitiche atte alla definizione dell'aggressività chimica dei terreni sulle opere in calcestruzzo ai sensi della norma UNI EN 206-1-2006 con riferimento al prospetto 2 ("Valori limite per le classi di esposizione all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno"). In particolare per ogni campione si determinerà:

- solfati
- solfuri
- pH
- CO₂
- Ione Ammonio
- Ione Magnesio

I campionamenti dovranno essere eseguiti con metodo statico (bailer monouso in polietilene) o dinamico (pompa sommersa) previo adeguato spurgo, effettuato tramite il prelievo di volumi almeno tripli a quelli contenuti all'interno del piezometro. L'acqua prelevata dovrà essere immediatamente riposta in bottiglie in vetro brunito da 1 lt con tappo a vite e sottotappo in teflon.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 44 di 51

Le stesse bottiglie saranno riposte in contenitori termici refrigerati (4±6 °C) sino alla consegna al laboratorio.

L'ubicazione dei punti è stata effettuata tenendo conto anche della rappresentatività nei confronti delle varie unità idrogeologiche presenti lungo il tracciato.

5.2 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. 16 perforazioni a carotaggio continuo da condurre con profondità comprese tra 20 e 150 m di prof. da p.c., localizzati opportunamente lungo il tracciato in progetto. Le profondità dipendono dall'opera d'arte interessata e dalle finalità da perseguire, pertanto, nel caso delle gallerie si procederà al raggiungimento di una quota sufficiente al superamento dell'opera intera, così come per la Galleria naturale Caltanissetta i 2 sondaggi relativi saranno spinti sino a 130 m (SI26) e 150 m (SI27) dal p.c., a carotaggio continuo per l'intero sondaggio.
- Prove geotecniche in situ
 - Prelievo di campioni indisturbati, durante l'esecuzione di n. 8 (SI26, SI27, SI29, SI30, SI31, SI33, SI34, SI37) dei 16 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 6 m di sondaggio, nel caso dei sondaggi con profondità compresa tra 20 e 50 m da p.c.. Nel caso dei sondaggi profondi oltre 130 m i campioni saranno prelevati 1 ogni 25 m per i primi 100 m e 1 ogni 10 m nei successivi metri.
- Posa in opera di strumentazione geotecnica
 - Inclinometri: n° 3 inclinometri da installare per l'intera lunghezza di altrettanti sondaggi profondi 40 m (SI29, SI31) e 50 m (S30), in corrispondenza di opere d'arte ubicate in zone di versante particolarmente critiche, con esecuzione di relativa campagna di monitoraggio trimestrale;
 - Piezometri a tubo aperto: n° 8 piezometri (S4, S8, S9, S10) costituiti da tubo aperto DN 3", da installare in altrettanti sondaggi a c.c. (compresi tra i 16 previsti), per il prelievo di altrettanti campioni di acqua sotterranea.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 45 di 51

○ Prospezioni geofisiche

- n. 6 prove sismiche down-hole da eseguire all'interno di fori di sondaggio opportunamente attrezzati (SI26, SI27, SI33, SI34, SI37) oltre che all'interno di un inclinometro (SI30);
- n. 19 prove sismiche attive (MASW 1÷19) per una restituzione di dettaglio di profili Vs del sottosuolo, con elaborazione dati in 2D; per ogni prova devono essere acquisiti non meno di n. 9 "shot", di cui 5 interni alla linea e 4 esterni in a/r; utilizzo minimo di 24 sensori;
- n. 22 prove sismiche passive (NS 1÷22) finalizzate alla definizione della risposta sismica di sito mediante l'acquisizione di rumore sismico (noise) per la valutazione della frequenza del sito e di eventuali effetti di amplificazione sismica locale in corrispondenza dei maggiori viadotti;
- N. 4 prove sismiche di superficie con tecnica a riflessione, consecutive tali da ricoprire una lunghezza totale di circa 1000 m, lungo l'asse longitudinale della galleria Caltanissetta, e profondità superiori ai 200 m. La prova dovrà avere un g-spacing massimo di 5 metri con molteplicità di copertura del 1200%;
- N. 1 indagine geofisica di superficie tramite stesa elettrica a risoluzione tomografica di estensione pari a 400 m.

○ Saggi di scavo

- Pozzetti esplorativi con escavatore: n° 16 pozzetti esplorativi, dimensione 1 m x 1 m, da spingere sino alla prof. max di 1,5 m, finalizzati alla verifica della necessità/possibilità di effettuare il trattamento di stabilizzazione a calce dei terreni escavati e per il loro eventuale riutilizzo per la realizzazione dei rilevati. con prelievo di 0,4÷0,5 mc di terreno;

○ Prove di laboratorio

- I campioni campioni prelevati durante l'esecuzione dei sondaggi a carotaggio continuo, verranno selezionati (almeno il 60% dei prelevati per un totale di n. 33 campioni) e 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:

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 46 di 51

- 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 ;
- Prove di taglio diretto
- Prove triassiali
- Prove edometriche e di determinazione del coefficiente Cv
- I campioni prelevati dai pozzetti eseguiti in corrispondenza delle zone di escavazione (n. 16) verranno sottoposti a prove di laboratorio, finalizzate alla definizione delle caratteristiche utili alla verifica della possibilità di procedere alla stabilizzazione a calce; tali prove sono elencate nel seguito:
 - Curva granulometrica cumulativa
 - Indici di consistenza (Ic) e di plasticità (Ip)
 - Contenuto naturale d'acqua (Wn)
 - Contenuto in solfati e solfuri
 - Contenuto in sostanza organica
 - Contenuto in nitrati
 - Caratteristiche di costipamento mediante prova di costipamento Proctor Standard, con determinazione di umidità ottima (Wopt).
 - Indice CBR
 - Indice CBR immediato (IPI).

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 47 di 51

5.2.1. Tabelle riepilogative

Tab. 5.1 Sondaggi proposti

	Sigla	Prof. (m)	Camp. Ind. (n)	Tipologia	Opera d'arte interessata
1	SI23	20	-	Piezometro tubo aperto	GA Rovetello
2	SI24	20	-	Piezometro tubo aperto	varie
3	SI25	20	-	Piezometro tubo aperto	GN Papazzo
4	SI26	130	7	Down-Hole (ultimi 50 m)	GN Caltanissetta
5	SI27	150	9	Down-Hole (ultimi 50 m)	GN Caltanissetta
6	SI28	20	-	Piezometro tubo aperto	Viadotto S. Filippo Neri
7	SI29	40	6	Inclinometro	Viadotto S. Filippo Neri
8	SI30	50	8	Inclinometro + DH	Viadotto Busita I
9	SI31	40	6	Inclinometro	Viadotto Busita II
10	SI32	20	-	Piezometro tubo aperto	GA Bersaglio
11	SI33	30	5	Down-Hole	Svincolo Caltanissetta Nord
12	SI34	40	6	Down-Hole	Viadotto Santuzza I
13	SI35	20	-	Piezometro tubo aperto	Viadotto Santuzza II
14	SI36	20	-	Piezometro tubo aperto	Viadotto Arenella III
15	SI37	40	6	Down-Hole	Svincolo SS626
16	SI38	20	-	Piezometro tubo aperto	Viadotto Salso

Tab. 5.2 Prove sismiche attive (MASW) proposte

	Sigla	Opera d'arte interessata
1	MASW 1	Svincolo Serradifalco
2	MASW 2	Viadotto Giulfo - spalla lato AG
3	MASW 3	Viadotto Giulfo - centro
4	MASW 4	Viadotto Giulfo – spalla lato CL
5	MASW 5	Svincolo Delia-Sommatino
6	MASW 6	Ponte Serra
7	MASW 7	GN Papazzo – imbocco lato AG
8	MASW 8	Viadotto Mumia – spalla lato CL
9	MASW 9	GA S. Cataldo – imbocco lato CL
10	MASW 10	Cavalca Ferrovia
11	MASW 11	Svincolo Caltanissetta Sud
12	MASW 12	Viadotto S. Filippo Neri
13	MASW 13	Viadotto Busita III
14	MASW 14	Viadotto Santuzza II – tratto lato CL
15	MASW 15	Viadotto Santuzza II – tratto lato A19
16	MASW 16	Viadotto Arenella I
17	MASW 17	Viadotto Arenella II
18	MASW 18	Viadotto Arenella III
19	MASW 19	Viadotto Salso

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 48 di 51

Tab. 5.3 Prove sismiche passive (NOISE) proposte

	Sigla	Opera d'arte interessata
	NS 1	Viadotto Giulfo - spalla lato AG
	NS 2	Viadotto Giulfo – spalla lato CL
	NS 3	Viadotto Mumia – spalla lato AG
	NS 4	Viadotto Mumia – spalla lato CL
	NS 5	Viadotto S. Filippo Neri – spalla lato CL
	NS 6	Viadotto S. Filippo Neri – spalla lato A19
	NS 7	Viadotto Busita I – spalla lato CL
	NS 8	Viadotto Busita I – spalla lato A19
	NS 9	Viadotto Busita II – spalla lato CL
	NS 10	Viadotto Busita II – spalla lato A19
	NS 11	Viadotto Busita III – spalla lato CL
	NS 12	Viadotto Busita III – spalla lato A19
	NS 13	Viadotto Santuzza II – spalla lato CL
	NS 14	Viadotto Santuzza II – Viadotto Santuzza III
	NS 15	Viadotto Santuzza III – spalla lato A19
	NS 16	Viadotto Arenella I – spalla lato CL
	NS 17	Viadotto Arenella I – spalla lato A19
	NS 18	Viadotto Arenella III – spalla lato CL
	NS 19	Viadotto Arenella III – spalla lato A19
	NS 20	Viadotto Salso – spalla lato CL
	NS 21	Viadotto Salso – centro
	NS 22	Viadotto Salso – spalla lato A19

Tab. 5.4 Indagini geofisiche di superficie

	Sigla	Lungh. (m)	Tipologia	Opera d'arte interessata
1	TE	400	Tomografia Elettrica	GN Papazzo – imbocco lato CL
2	SR1÷4	1000	Sismica a riflessione	GN Caltanissetta – zona Sud

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 49 di 51

ALLEGATI

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 50 di 51

ALLEGATO 1

TABELLE RIEPILOGATIVE

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-002_A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 05/10/10
Nome file: GE208-GI01ZRD-002_A.doc	Relazione tecnica campagna Geognostica integrativa - Programma delle indagini di 2° fase	Pagina 51 di 51

ALLEGATO 1B - INDAGINI INTEGRATIVE FASE 2 - SUDDIVISIONE PER OPERA D'ARTE

OPERA D'ARTE	SVILUPPO MEDIO (m)	INDAGINI INTEGRATIVE FASE 1																			
		Sondaggi										Sese sismiche a riflessione		Elettiche tomografiche		MASW		NOISE		Pozzetti esplorativi	
		Nome	A carotaggio Metri	A distruzione Metri	Con inclinometro	con piezometro tipo piezometro e N°		Prod da T.F.(m)	N°	Campioni indisturbati Prod da T.F.(m)		Down-hole	Nome	Metri	Nome	Metri	Nome	Metri	Nome	Metri	Nome
Giulfo	800,0																	MASW2	NS1		
Favarella	121,0																	MASW3	NS2		
Fosso Mumia	426,5																	MASW4	NS3		
S. F. Neri	179,0	SD8	20			tubo aperto 3"	per intero	6	6: 12; 18; 24; 30; 36								MASW8	NS3	NS4		
Busita 1	241,5	SD9	40			x		8	6: 12; 18; 24; 30; 36; 42; 48	X							MASW12	NS5	NS6		
Busita 2	268,0	SD0	50			x		8	6: 12; 18; 24; 30; 36; 42; 48									NS7	NS8		
Busita 3	349,0	SD1	40			x		6	6: 12; 18; 24; 30; 36									NS9	NS10		
Santuzza 1	184,0	SD4	40					6	6: 12; 18; 24; 30; 36	X							MASW13	NS11	NS12		
Santuzza 2	427,5	SD5	20			tubo aperto 3"	per intero	6	6: 12; 18; 24; 30; 36								MASW14	NS13			
Santuzza 3	219,0																MASW15	NS14	NS15		
Arenella 1	184,0																MASW16	NS16	NS17		
Arenella 2	122,0																MASW17	NS18	NS19		
Arenella 3	602,5	SD6	20			tubo aperto 3"	per intero										MASW18	NS20	NS21	NS22	
Salso	1486,5	SD8	20			tubo aperto 3"	per intero										MASW19	NS20	NS21	NS22	
Serra	40,0																				
Grotticelle	40,0																				
S.Giuliano	141,5																				
Rovetello	281,5	SD3	20			tubo aperto 3"	per intero														
Favarella	261,5																				
S.Cataldo	187,0																MASW9				
S.Filippo	120,0																				
Bersaglio	303,0	SD2	20			tubo aperto 3"	per intero														
Papazzo	742,0	SD5	20			tubo aperto 3"	per intero														
Callanissetta	4029,0	SD6	130					7	25; 50; 75; 100; 110;120;130	X (50 m)	SR	1000									
		SD7	150					9	25; 50; 75; 100; 110;120;130; 140; 150	X (50 m)											
S.Filippo	186,0																				
Cozzo Garlatti	169,5																				
Papazzo lato Agrigento																	MASW7				
Papazzo lato innesto A19													TE	400							
Callanissetta Lato Agrigento																					
Callanissetta Lato innesto A19																					
S.Filippo lato Agrigento																					
S.Filippo Lato innesto A19																					
Cozzo Garlatti lato Agrigento																					
Cozzo Garlatti Lato innesto A19																					
Sezione 1+61	1500,0																		PT1	1,5	
																			PT2	1,5	
																			PT3	1,5	
Sezione 61+153	2300,0																MASW1		PT4	1,5	
																			PT5	1,5	
Sezione 153+229	1900,0																		PT6	1,5	
																			PT7	1,5	
Sezione 229+325	2400,0	SD4	20			tubo aperto 3"	per intero										MASW5				
Sezione 325+377	1300,0																MASW6				
Sezione 377+733	8900,0																MASW10		PT8	1,5	
																			PT9	1,5	
																			PT10	1,5	
																			PT11	1,5	
																			PT12	1,5	
Sezione 733+937	5100,0	SD3	30					5	6: 12; 18; 24; 30	X								PT13	1,5		
																			PT14	1,5	
Sezione 937+1113	4400,0	SI 37	40					6	6: 12; 18; 24; 30; 36	X								PT15	1,5		
																			PT16	1,5	

VIADOTTO

G. ARTIFICIALE

G. NATURALE

IMBROCCHI

TRATTE STRADALI IN LINEA

