



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 conclusiva delle indagini geognostiche integrative
DI 2° 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 4 A

Scala: -

Table with 7 columns: F, E, D, C, B, A, REV. and 7 rows for project details and revision control.

Responsabile del procedimento: Ing. MAURIZIO ARAMINI

Il Progettista:



Il Consulente Specialista:



Il Geologo:



Il Coordinatore per la sicurezza in fase di progetto:



Il Direttore dei lavori:



INDICE

1. PREMESSA	5
2. FASE PROPEDEUTICA	7
2.1 STUDI PRELIMINARI	7
2.2 ATTIVITÀ DI CAMPAGNA	7
3. INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE IN SITU ESEGUITE	9
3.1 CRITERI DI SCELTA DELLA TIPOLOGIA DELLE INDAGINI	10
3.1.1 Galleria Papazzo	11
3.1.2 Galleria Caltanissetta	11
3.1.3 Dissesti gravitativi	12
3.1.4 Sismicità dell'area	12
3.1.5 Aggressività delle acque di falda	12
3.1.6 Riutilizzo delle terre	13
3.1.7 Affiancamento alle trincee esistenti	13
3.2 ESECUZIONE DELLE INDAGINI	13
3.2.1 Sondaggi geognostici	14
3.2.2 Condizionamento dei fori di sondaggio	16
3.2.3 Campionamento delle acque di falda	17
3.2.4 Esecuzione dei pozzetti	18
3.2.5 Esecuzione delle trincee sui rilevati esistenti	19
3.3 OPERE D'ARTE INTERESSATE DALLE INDAGINI	20
4. INDAGINI GEOFISICHE	22
4.1 NOMENCLATURA DEI PUNTI DI INDAGINE GEOFISICA	23
4.2 NOTE SULLA SISMICA A RIFLESSIONE	23
5. PROVE DI LABORATORIO ESEGUITE	26
5.1 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO SUI CAMPIONI INDISTURBATI	26
5.2 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO SUI CAMPIONI DELLE TRINCHE	34
5.3 RISULTATI DELLE PROVE PER LA STABILIZZAZIONE A CALCE	34
5.3.1 Prove sui terreni prelevati dai pozzetti esplorativi	34
5.3.2 Determinazioni sui campioni prelevati da sondaggi	36
5.4 PROVE CHIMICHE DI LABORATORIO	36

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 2 di 41

5.4.1	Acque di falda	36
5.4.2	Analisi condotte sui terreni	38
6.	MONITORAGGIO DELLA STRUMENTAZIONE GEOTECNICA	40
6.1	RILIEVI PIEZOMETRICI	40
6.2	MISURE INCLINOMETRICHE	40

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 3 di 41

ELENCO DEGLI ELABORATI DI PROGETTO ALLEGATI

- Allegato 1. 000GE209GT03ZIG011A - Rapporto di prova generale -2 fase;
- Allegato 2. 000GE209GT03ZIG012A - All. A Colonne stratigrafiche -2 fase;
- Allegato 3. 000GE209GT03ZIG013B - All. B Indagini Geofisiche -2 fase;
- Allegato 4. 000GE209GT03ZIG014A - All. C Prove di laboratorio -2 fase;
- Allegato 5. 000GE209GT03ZIG015A - All. D Documentazione fotografica -2 fase;
- Allegato 6. 000GE209GT03ZIG004A - Rapporti di prova determinazioni chimiche sulle acque e terre;
- Allegato 7. 000GE209GT03ZIG008A - Rapporti di prova determinazioni di laboratorio terreni dei rilevati;
- Allegato 8. 000GE209GT03ZIG009A - Rapporti di prova determinazioni di laboratorio terreni da scavare;
- Allegato 9. 000GE209GT03ZIG003A - Rapporto di prova del monitoraggio strumentazione geotecnica installata
- Allegato 10. 000GE209GT03ZP6001C - Planimetria con ubicazione delle indagini in sito;
- Allegato 11. 000GE209GT03ZPZ016A – Planimetria delle indagini sui rilevati stradali e sui terreni da scavare.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004 _A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004 _A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 4 di 41

1. PREMESSA

La presente relazione sintetizza le attività di indagini geognostiche dirette ed indirette programmate ad integrazione di quanto già eseguito, durante la "prima fase", 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".

In particolare, l'analisi condotta sui risultati delle indagini pregresse (campagna indagini 1988 e 2006) e di "prima fase" (campagna indagini luglio/settembre 2010), e la contemporanea attività di consultazione di documentazione specifica di letteratura geologica, hanno fatto emergere la necessità di dover verificare il modello geologico del Progetto Definitivo, richiedendo approfondimenti su alcuni tematismi e sull'assetto tettonico-strutturale nonché stratigrafico.

Si è giunti, pertanto alla programmazione di una ulteriore campagna di indagini integrative, denominata di "Fase 2", che è stata condotta 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" e in coerenza 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".

Preliminarmente e a latere delle indagini eseguite sono state svolte varie attività di supporto al Gruppo di Progettazione, che possono essere così schematizzate:

- ⇒ studi conoscitivi preliminari;
- ⇒ attività propedeutiche di campagna;
- ⇒ redazione del programma delle indagini geognostiche;

Relativamente alla banca dati indagini pregresse si rimanda al relativo elaborato che è stato redatto in occasione della campagna d'indagini di "prima fase" (Elaborati di Progetto Esecutivo n° 000GE209GT03ZSG002A, n° 000GE209GT03ZIG010A, n° 000 GE209GT03ZSG005A, n° 000GE209GT03ZSG006A, n°000GE209GT03ZSG007A).

Tralasciando in questa sede l'esposizione delle problematiche geomorfologiche e degli aspetti geologici incontrati, che sono oggetto dei relativi studi specialistici, nei capitoli seguenti, oltre ad esporre brevemente le attività propedeutiche, si procede ad illustrare le varie indagini eseguite,

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 5 di 41

mentre i "rapporti di prova" relativi alle attività di indagine svolte, vengono proposti in allegato alla presente relazione, così distinti:

- 000GE209GT03ZIG011A *Rapporto di prova generale -2 fase;*
- 000GE209GT03ZIG012A *All. A Colonne stratigrafiche -2 fase;*
- 000GE209GT03ZIG013B *All. B Indagini Geofisiche -2 fase;*
- 000GE209GT03ZIG014A *All. C Prove di laboratorio -2 fase;*
- 000GE209GT03ZIG015A *All. D Documentazione fotografica -2 fase;*
- 000GE209GT03ZIG004A *Rapporti di prova determinazioni chimiche sulle acque e terre;*
- 000GE209GT03ZIG008A *Rapporti di prova determinazioni di laboratorio terreni dei rilevati;*
- 000GE209GT03ZIG009A *Rapporti di prova determinazioni di laboratorio terreni da scavare;*
- 000GE209GT03ZIG003A *Rapporto di prova del monitoraggio strumentazione geotecnica installata*
- 000GE209GT03ZP6001C *Planimetria con ubicazione delle indagini in sito;*
- 000GE209GT03ZPZ016A *Planimetria delle indagini sui rilevati stradali e sui terreni da scavare.*

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	<i>Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2</i>	Pagina 6 di 41

2. FASE PROPEDEUTICA

2.1 STUDI PRELIMINARI

Come già in precedenza descritto, tale fase, è stata caratterizzata da un'analisi critica delle fonti informative esistenti nonché da un'approfondita ricerca bibliografica presso enti pubblici e privati, con competenza territoriale nella fascia di pertinenza del tracciato stradale, e tale ricerca è stata estesa anche presso la biblioteca Universitaria del Dipartimento di Scienze Geologiche dell'Università di Catania.

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 differente rispetto a quanto illustrato negli elaborati geologici del Progetto Definitivo, laddove situazioni di continuità stratigrafica laterale e verticale sono scomparse dalla presenza di sovrascorrimenti tettonici e strutture collegate.

L'analisi condotta sulla documentazione consultata e sui risultati delle indagini integrative di "prima fase", hanno consigliato lo scrivente di rileggere, sotto un'altra prospettiva, il modello geologico prospettato nel Progetto Definitivo, con particolare riguardo alla definizione dell'assetto tettonico-strutturale e stratigrafico e all'inquadramento regionale in cui si colloca l'area di studio. A tal fine, si è reso necessario predisporre la campagna integrativa di "seconda fase" a cui la presente relazione fa riferimento.

2.2 ATTIVITÀ DI CAMPAGNA

L'attività di campagna, è stata avviata contestualmente alla fase precedentemente descritta, e si è compiuta con accurate ricognizioni dei luoghi, nell'ottica di acquisire le peculiarità del tracciato stradale esistente e del territorio circostante.

Nell'ambito dei sopralluoghi preliminari di campagna, si è inoltre proceduto all'esecuzione dei rilievi necessari allo studio della viabilità di accesso ai punti di indagine, nonché alla verifica delle eventuali interferenze dell'attività di cantiere (campagna indagini geognostiche) con l'ambiente

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	<i>Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2</i>	Pagina 7 di 41

superficiale circostante (fossi, attraversamenti di corsi d'acqua, coltivazioni, immobili etc.), o con il sottosuolo (sottoservizi, gasdotti, oleodotti etc.).

I rilievi eseguiti e le relative informazioni acquisite, hanno consentito di ottimizzare l'attività di campagna, potendo predisporre per tempo l'eventuale richiesta di autorizzazione di accesso ai fondi.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 8 di 41

3. INDAGINI GEOGNOSTICHE E PROVE IN SITU ESEGUITE

Sulla base dei dati disponibili, e delle problematiche di carattere geologico, geomorfologico e geotecnico emerse in occasione delle attività di campagna di “prima fase” effettuate, è stato predisposto un Piano delle Indagini (dirette ed indirette), prodotto nell’ottobre 2010 ed attuato tra il mese di ottobre ed inizio dicembre 2010. Tale piano è stato finalizzato ad un approfondimento del quadro di conoscenze già acquisite nella “prima fase” ed alla necessità di dover verificare il modello geologico e geotecnico di riferimento dei terreni direttamente interessati dalle opere d’arte in progetto, in coerenza con il vigente quadro normativo di riferimento (N.T.C. 2008).

Nelle tabelle che seguono si riporta la suddivisione in tratte del tracciato in esame con riferimento alle nuove progressive chilometriche di progetto:

Tabella 3.1 – Suddivisione tracciato

Tratto	Sottotratto	Denominazione	Progressive
1	A	Grottarossa	0+000 ÷ 4+500
1	B	Grotta d’Acqua - Favarella	4+500 ÷ 9+500
1	C	Seconda variante	9+500 ÷ 12+140
2		Caltanissetta	12+140 ÷ 17+640
3	A	Busita	17+640 ÷ 19+500
3	B	Abbazia - Arenella	19+500 ÷ 26+600
3	C	Imera	26+600 ÷ 28+080

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

Tabella 3.2 – Opere d’arte principali

Tratta e sottotratta	Opera d’arte	Lunghezza (m)
1-A	Svincolo “Serradifalco”	
	Galleria Artificiale “Rovettello”	305
	Viadotto “Giulfo”	795 (SX) 800 (DX)

Tratta e sottotratta	Opera d'arte	Lunghezza (m)
1-B	Svincolo "Delia Sommatino"	
	Ponte "Serra"	40
1-C	Galleria artificiale "Favarella"	285 (SX) 238 (DX)
	Viadotto "Favarella"	122
	Galleria naturale "Papazzo"	741 (SX) 743 (DX)
	Viadotto "Mumia"	423 (SX) 430 (DX)
	Galleria "S. Cataldo"	187
2	Cavalcaferrovia "Grotticelle"	45
	Svincolo "Caltanissetta Sud"	
	Galleria naturale "Caltanissetta"	4.036 (SX) 4.022 (DX)
	Ponte "San Giuliano"	40 (SX) 31 (DX)
	Viadotto "San Filippo Neri"	188 (SX) 170 (DX)
	Galleria Naturale "S. Filippo"	178 (SX) 194 (DX)
3-A	Viadotto "Busita I"	247 (SX) 229 (DX)
	Galleria artificiale "S. Filippo"	- (SX) 120 (DX)
	Viadotto "Busita II"	285 (SX) 251 (DX)
	Galleria artificiale "Bersaglio"	305.8 (SX) 300 (DX)
	Viadotto "Busita III"	350 (SX) 347.9 (DX)
	Svincolo "Caltanissetta Nord"	
3-B	Viadotto "Santuzza I"	425 (SX) 430 (DX)
	Viadotto "Santuzza II"	425 (SX) 430 (DX)
	Viadotto "Santuzza III"	220 (SX) 218.3 (DX)
	Viadotto "Arenella I"	184.8 (SX) 184 (DX)
	Viadotto "Arenella II"	122 (SX) 122 (DX)
	Viadotto "Arenella III"	587 (SX) 618 (DX)
	Galleria naturale "Cozzo Garlatti"	183 (SX) 156 (DX)
	Svincolo "S.S. 626"	
3-C	Viadotto "Salso"	1.484 (SX) 1.487 (DX)
	Svincolo "A19"	

3.1 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 della letteratura geologica di recente pubblicazione.

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.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 10 di 41

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

3.1.1 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 è proposta l'esecuzione di una indagine geofisica di superficie tramite una stesa elettrica a risoluzione tomografica di estensione pari ad almeno 400 m.

3.1.2 Galleria Caltanissetta

In corrispondenza di questa importante opera d'arte le indagini sono consistite nell'esecuzione di un sondaggio a carotaggio continuo (SI26bis) profondo 90 m e lievemente spostato rispetto all'asse della galleria, per verificare l'assetto stratigrafico, e di altri 2 sondaggi a carotaggio continuo in testa alla galleria, profondi 50 m (SI26) e 150 m (SI27) con prelievo di campioni indisturbati in numero adeguato alla caratterizzazione geomeccanica dell'intera colonna stratigrafica. In corrispondenza dei fori di sondaggio sono state svolte delle prove sismiche passive di superficie di tipo Re.Mi., finalizzate alla definizione delle velocità delle onde V_s . Il sondaggio SI27, inoltre, è stato attrezzato con tubo piezometrico aperto, al fine di monitorare e campionare l'acqua della falda contenuta nell'acquifero ritrovato tra 58 e 87 m di profondità.

Oltre ai sondaggi, in riferimento alle problematiche emerse, al fine di estendere ad un profilo bidimensionale i dati derivanti dalle perforazioni e dalle indagini geofisiche eseguite, sono state eseguite delle prove sismiche di superficie con tecnica a riflessione suddivise in n. 8 traverse di lunghezza compresa tra 46 e 132 m per una lunghezza totale di circa 716 m, distribuite in corrispondenza dell'asse longitudinale della galleria, con profondità raggiunte superiori ai 200 m.

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

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 11 di 41

3.1.3 Dissesti gravitativi

A completamento del quadro delineato con le indagini sismiche di superficie condotte nell'ambito delle indagini integrative appena eseguite, si è proceduto all'esecuzione di n. 3 sondaggi attrezzati con tubi inclinometrici al fine di monitorare e verificare eventuali movimenti degli eventuali ammassi in dissesto. I tre inclinometri sono stati ubicati in corrispondenza delle seguenti opere d'arte:

- 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 è stata avviata la campagna di monitoraggio con frequenza trimestrale.

3.1.4 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 sono state eseguite le seguenti prove sismiche:

- 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 passive (Re.Mi. 1÷19) per una restituzione di dettaglio di profili V_s del sottosuolo, con elaborazione dati in 2D;
- 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.

3.1.5 Aggressività delle acque di falda

In corrispondenza di opere d'arte (viadotti, gallerie naturali e artificiali), le cui parti interrato saranno soggette a interazioni con le acque di circolazione sotterranea, è stata effettuata, 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 sono stati sottoposti alla caratterizzazione qualitativa tramite determinazioni analitiche atte alla definizione dell'aggressività chimica dei terreni sulle opere in calcestruzzo ai sensi della

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 12 di 41

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").

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

3.1.6 Riutilizzo delle terre

Ai fini della verifica della necessità/possibilità di effettuare il trattamento di stabilizzazione a calce dei terreni scavati e per il loro eventuale riutilizzo per la realizzazione dei sottofondi e dei rilevati, è stata ritenuto opportuno effettuare dei pozzetti esplorativi al fine di prelevare dei campioni di terreno per poter eseguire le dovute prove chimiche. L'ubicazione dei pozzetti è stata effettuata in corrispondenza delle zone dove si effettueranno significative escavazioni e in funzione degli affioramenti geologici riscontrabili.

3.1.7 Affiancamento alle trincee esistenti

Per la caratterizzazione qualitativa del materiale utilizzato per la costituzione dei rilevati esistenti è stato ritenuto necessario effettuare delle trincee trasversali all'attuale sede stradale, denominate "trincee", che hanno permesso di verificare lo stato del rilevato, i materiali utilizzati e il prelievo di campioni.

L'ubicazione dei punti di indagine è stata effettuata in corrispondenza delle sezioni stradali di progetto laddove si prevede di affiancare i rilevati esistenti con nuovi rilevati, previsti in progetto.

3.2 ESECUZIONE DELLE INDAGINI

La campagna di indagini geognostiche e geofisiche è stata eseguita dalla società SIDERCEM S.R.L. di Caltanissetta (CL), che ha svolto le attività affidatele secondo quanto previsto nelle specifiche tecniche del Capitolato Speciale di Appalto di cui agli allegati 1b "Norme tecniche per l'esecuzione di indagini geotecniche e geofisiche" e 1c "Norme tecniche per l'esecuzione delle prove di laboratorio", nonché a quanto prescritto al par. 1.3 "Indagini geotecniche" del capitolato d'onori NG 15.

La predetta campagna indagini, realizzata nel periodo compreso tra ottobre e dicembre 2010, è consistita pertanto in una serie di sondaggi geognostici a carotaggio continuo, prove geotecniche in situ ed indagini geofisiche, articolate come appresso meglio specificato.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 13 di 41

3.2.1 Sondaggi geognostici

In totale sono stati eseguiti **n.17** sondaggi geognostici a carotaggio continuo, condotti a profondità variabili tra i 20 e i 150 m da p.c., per un totale di **690 metri lineari** di perforazione, localizzati opportunamente lungo il tracciato in progetto. Le profondità sono state scelte in funzione dell'opera d'arte interessata.

In particolare, **n.9** fori di sondaggio sono stati condizionati con piezometri a tubo aperto (S23,S24,S25,S27,S28,S32,S35,S36,S38), **n.3** sono stati condizionati con inclinometro (S29,S30 nel quale è stata eseguita anche una prova down hole e S31) e **n.3** con tubazione per l'esecuzione di prova sismica in foro di tipo down-hole, effettuata nei sondaggi a c.c., opportunamente attrezzati (S33,S34,S37). Nel corso di ogni sondaggio geognostico, ai fini delle determinazioni delle caratteristiche fisiche e meccaniche, sono stati prelevati campioni indisturbati e rimaneggiati. In linea di massima si è provveduto mediamente al prelievo di n° 1 campione per ogni metro lineare di perforazione per ciascun sondaggio, per un totale di **n. 37** campioni indisturbati. Nel caso dei sondaggi più profondi, effettuati in corrispondenza della galleria Caltanissetta, i campioni sono stati prelevati con intervalli più ampi e precisamente ogni 40÷50 m circa sino alla profondità non interessata dall'opera, e ogni 20 m nella fascia di interesse dell'opera. Nei sondaggi attrezzati a piezometro non è stato ritenuto necessario effettuare alcun prelievo.

Per l'esecuzione dell'intera campagna d'indagini sono state utilizzate le seguenti sonde oleodinamiche:

- ✓ Perforatrice Tecnotunnel TS80;
- ✓ Perforatrice C6 Casagrande;
- ✓ Perforatrice Mait T9;

Il carotaggio è stato eseguito impiegando utensili di perforazione del diametro minimo di Ø 101 mm (carotiere semplice con corona Widia) e per il sostegno delle pareti dei fori, sono stati utilizzati tubi di rivestimento provvisori, con diametro Ø 127 mm.

La loro ubicazione viene riportata in dettaglio nell'apposito elaborato Allegato E "*Planimetria con ubicazione delle indagini*".

Le stratigrafie particolareggiate dei sondaggi, la relativa documentazione fotografica, le quote di prelievo dei campioni, il tipo di condizionamento del foro di sondaggio, sono riportate nelle allegate risultanze delle indagini geognostiche redatte dalla Ditta esecutrice dei lavori (cfr. Elaborati di Progetto Esecutivo 000GE209GT03ZIG011A "*Rapporto di prova generale - 2 fase*", 000GE209GT03ZIG012A "*All. A Colonne stratigrafiche - 2 fase*", 000GE209GT03ZIG015A "*All. D*

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 14 di 41

Documentazione fotografica - 2 fase"). Le cassette catalogatrici, singolarmente fotografate, sono state riposte, su indicazioni della committenza, presso la sede di Racalmuto della società "Empedocle 2 SCPA".

Al fine di avere un quadro completo delle indagini e prove in situ eseguite, vengono di seguito schematizzate nelle seguenti tabelle, distinte per tratta.

Tabella 3.3 – Sondaggi geognostici eseguiti nella campagna integrativa di Fase 2

N°	Sondaggio	Tipologia	Progr. Km	Profondità (m)	Campioni		
					N°	Denominazione	Profondità (m)
1	SI23	Piezometro	2+900	20,00			
2	SI24	Piezometro	6+220	20,00			
3	SI25	Piezometro	11+200	20,00			
4	SI26		13+460	50,00	1	C1	25,60-26,00
					2	C2	50,00-50,30
5	SI26 bis	-	13+420	90,00	1	C1	24,30-24,60
					2	C2	50,00-50,50
					3	C3	75,00-75,50
6	SI27	Piezometro	15+820	150,00	1	C1	15,00-15,35
					2	C2	40,00-40,50
					3	C3	90,50-90,90
					4	C4	103,50-104,00
					5	C5	125,00-125,40
					6	C6	142,50-143,00
7	SI28	Piezometro	17+090	20,00			
8	SI29	Inclinometro	17+220	40,00	1	C1	06,00-06,25
					2	C2	17,00-17,30
					3	C3	22,80-23,30
					4	C4	29,00-29,30
					5	C5	24,30-24,80
9	SI30	Inclinometro	17+760	50,00	1	C1	6,00-6,50
					2	C2	12,10-12,50
					3	C3	18,00-18,50
					4	C5	30,00-30,30
					5	C7	44,50-44,75
10	SI31	Inclinometro	18+185	40,00	1	C1	07,60-07,90
					2	C2	12,00-12,50
					3	C4	27,40-27,90
11	SI32	Piezometro	18+650	20,00			
12	SI33	Down hole	19+280	30,00	1	C1	06,00-06,50
					2	C2	12,00-12,50
					3	C3	17,10-17,40
					4	C5	28,00-28,50
13	SI34	Down hole	19+880	40,00	1	C1	08,00-08,25
					2	C2	13,45-13,85
					3	C3	19,00-19,50

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 15 di 41

N°	Sondaggio	Tipologia	Progr. Km	Profondità (m)	Campioni		
					N°	Denominazione	Profondità (m)
					4	C4	26,00-26,50
					5	C5	32,40-32,90
					6	C6	39,00-39,40
14	SI35	Piezometro	20+690	20,00			
15	SI36	Piezometro	25+680	20,00			
16	SI37	Down Hole	26+340	40,00	1	C1	13,00-13,40
					2	C2	20,00-20,35
					3	C3	26,00-26,40
					4	C4	32,00-32,40
					4	C5	37,00-37,40
17	SI38	Piezometro	27+140	20,00			

3.2.2 Condizionamento dei fori di sondaggio

Nell'ambito della campagna d'indagini è stato previsto di condizionare i singoli fori di sondaggio per consentire l'utilizzo di strumentazione geotecnica e geofisica. L'installazione di tale strumentazione ha permesso di avviare un'attività di monitoraggio delle escursioni della superficie piezometrica, delle aree potenzialmente interessate da dissesti gravitativi, nonché di acquisire tutti quei parametri geofisici richiesti dalla vigente normativa di settore (V_{s30} etc.).

In particolare le attività di condizionamento possono essere così sintetizzate:

- ⇒ Condizionamento del foro per prove sismiche;
- ⇒ Condizionamento del foro per misure del livello di falda e campionamento delle acque;
- ⇒ Condizionamento del foro per misure inclinometriche.

Condizionamento del foro per prove sismiche

Al fine di consentire l'esecuzione di prove di sismica in foro (Down-Hole), in **n.3** fori di sondaggio è stato eseguito un rivestimento definitivo del foro mediante tubazione in PVC da 80 mm. La tubazione in PVC, opportunamente giuntata e chiusa al fondo, è stata resa solidale al terreno circostante mediante cementazione con miscela di cemento e sabbia. In superficie è stato realizzato un pozzetto di protezione.

Condizionamento del foro per misure del livello di falda;

Ai fini della definizione della superficie piezometrica relativa alla falda profonda o alla individuazione e ricostruzione di falde superficiali, eventualmente presenti, sono stati installati **n. 9**

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 16 di 41

(S23, S24, S25, S28, S32, S35, S36, S38) piezometri a tubo aperto in fori di sondaggio appositamente attrezzati.

I piezometri installati sono del tipo a "tubo aperto" (diametro esterno ϕ 100 mm), sfenestrati per l'intera lunghezza, a meno dei primi metri iniziali che sono stati isolati superiormente con un sigillo impermeabile realizzato con una miscela di cemento e bentonite. Le operazioni d'installazione sono consistite nell'accurata pulizia del foro, nella deposizione di uno strato di sabbia pulita sul fondo, quindi è stato inserito il tubo piezometrico chiuso all'estremità inferiore e sulla sommità è stato realizzato un pozzetto di protezione (carrabile ove necessario).

Ad ultimazione dell'installazione di ogni piezometro è stata effettuata la misura del livello di falda che è stata riportata nelle allegate stratigrafie.

Successivamente, previo spurgo delle acque in esso contenute, si è proceduto al prelievo di campioni di acqua di falda per le dovute analisi chimiche di laboratorio.

Condizionamento del foro per misure inclinometriche.

Per poter misurare l'entità degli spostamenti del terreno lungo le verticali investigate, in **n.3** fori di sondaggio, sono stati installati appositi tubi inclinometrici.

La suddetta strumentazione è costituita da un tubo in alluminio a sezione circolare, con diametro interno ϕ 81mm, con quattro scanalature ortogonali che fanno da guida per il movimento della sonda inclinometrica utilizzata per il rilevamento delle inclinazioni rispetto alla verticale.

I tubi inclinometrici inseriti nei fori sono stati resi solidali al terreno circostante mediante sigillatura con miscela di cemento-bentonite-acqua (in ragione di 30-60-100 parti in peso) iniettata nell'intercapedine tra le pareti del foro e la tubazione inclinometrica; successivamente la tubazione è stata accuratamente lavata al fine di assicurare la funzionalità delle guide per la successiva esecuzione delle misure.

In superficie, la parte terminale del tubo inclinometrico è stato protetto mediante un pozzetto di protezione metallico.

3.2.3 Campionamento delle acque di falda

In corrispondenza dei piezometri installati (S23, S24, S25, S28, S32, S35, S36, S38) in data 30/11/2010, laddove è stata riscontrata la presenza di acqua (SI23, SI25, SI36, SI38), sono stati effettuati dei prelievi di acqua di falda per la determinazione dei seguenti parametri:

- solfati

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 17 di 41

- pH
- CO₂

I campionamenti sono stati eseguiti con metodo dinamico (pompa sommersa) previo adeguato spurgo, effettuato tramite il prelievo di volumi almeno tripli a quelli contenuti all'interno del piezometro. L'acqua prelevata a basso flusso è stata immediatamente riposta in bottiglie in vetro brunito da 1 lt con tappo a vite e sottotappo in teflon. Le stesse bottiglie sono state riposte in contenitori termici refrigerati (4÷6 °C) sino alla consegna al laboratorio.

3.2.4 Esecuzione dei pozzetti

I n° 15 pozzetti esplorativi in questione (**PT1÷15**) sono stati effettuati con escavatore e le loro dimensioni sono state pari a 1 m x 1 m, spinti sino alla prof. max di 1,5 m.

A fondo scavo si è provveduto al prelievo di 0,4÷0,5 mc di terreno che è stato posto in appositi contenitori ed inviato al laboratorio per l'esecuzione delle seguenti prove:

- Curva granulometrica cumulativa
- Indici di consistenza (Ic) e di plasticità (Ip)
- Classificazione UNI 10006
- Contenuto in sostanza organica

Inoltre su ogni campione sono state eseguite le determinazioni chimiche in ottemperanza ai criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, ai sensi del D.M. Ambiente 27/09/2010, al fine di verificare la eventualità di trattamento delle terre da scavo come rifiuto, nel caso in cui le prove di stabilizzazione diano esito negativo o, comunque, ci siano esuberi di produzione.

Per poter simulare al meglio l'operatività di cantiere i campioni prelevati sono stati raggruppati in zone individuabili con tratte del tracciato di progetto e le prove di stabilizzazione sono state eseguite sulle miscele ottenute secondo le norme riportate nel B.U. CNR n. 36.

In particolare le tratte individuate sono le seguenti:

- Tratta 0+000 ÷ 4+500: PT1, PT2, PT3, PT4, PT5
- Tratta 4+500 ÷ 9+500: PT6, PT7
- Tratta 9+500 ÷ 12+900: PT8, PT9, PT10
- Tratta 16+930 ÷ 19+400: PT11, PT12, PT13

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 18 di 41

- Tratta 19+400 ÷ 25+010: PT14, PT15

Sulle miscele ottenute sono state eseguite le seguenti prove:

- Curva granulometrica cumulativa
- Indici di consistenza (Ic) e di plasticità (Ip)
- Classificazione UNI 10006
- Contenuto in sostanza organica
- Solfati totali
- Solfuri
- Azoto Nitrico (NO₃)
- Caratteristiche di costipamento mediante prova di costipamento Proctor Standard, con determinazione di umidità ottima (Wopt).
- Indice CBR
- Indice CBR immediato (IPI).

3.2.5 Esecuzione delle trincee sui rilevati esistenti

Sono state eseguite con escavatore n° 84 trincee (**TR1÷84**), trasversali all'attuale sede stradale, che hanno interessato quasi la metà della larghezza della sede stradale, con dimensione 3 m x 1 m, spinte sino alla prof. max di 2 m, nei casi in cui lo spessore del rilevato lo ha consentito, altrimenti ci si è attestati alla base dello stesso. Alla profondità di circa 1 m, nella zona dello scavo si è proceduto al prelievo di un campione rimaneggiato, per un quantitativo di circa 50 Kg.

Il campione prelevato, è stato inviato al laboratorio per l'esecuzione delle seguenti prove:

- Classificazione della terra mediante: Analisi granulometrica e classificazione secondo la CNR-UNI 10006;
- Determinazione dei Limiti di Atterberg: consistenza liquido, plastico ed indice plastico;
- Caratteristiche di costipamento mediante prova di costipamento Proctor Standard, con determinazione di umidità ottima (Wopt).
- Indice CBR immediato (IPI).

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	<i>Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2</i>	Pagina 19 di 41

3.3 OPERE D'ARTE INTERESSATE DALLE INDAGINI

Nel seguito si riportano le tabelle riepilogative delle indagini svolte con indicazione delle opere d'arte interessate.

Tab. 3.4 Sondaggi

	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	50	2	-	GN Caltanissetta
5	SI26bis	90	3	-	GN Caltanissetta
6	SI27	150	9	Piezometro tubo aperto	GN Caltanissetta
7	SI28	20	-	Piezometro tubo aperto	Viadotto S. Filippo Neri
8	SI29	40	6	Inclinometro	Viadotto S. Filippo Neri
9	SI30	50	8	Inclinometro + DH	Viadotto Busita I
10	SI31	40	6	Inclinometro	Viadotto Busita II
11	SI32	20	-	Piezometro tubo aperto	GA Bersaglio
12	SI33	30	5	Down-Hole	Svincolo Caltanissetta Nord
13	SI34	40	6	Down-Hole	Viadotto Santuzza I
14	SI35	20	-	Piezometro tubo aperto	Viadotto Santuzza II
15	SI36	20	-	Piezometro tubo aperto	Viadotto Arenella III
16	SI37	40	6	Down-Hole	Svincolo SS626
17	SI38	20	-	Piezometro tubo aperto	Viadotto Salso

Tab. 3.5 Prove sismiche passive (Re.Mi.)

	Sigla	Opera d'arte interessata
1	RR1	Svincolo Serradifalco
2	RR2	Viadotto Giulfo - spalla lato AG
3	RR3	Viadotto Giulfo - centro
4	RR4	Viadotto Giulfo – spalla lato CL
5	RR5	Svincolo Delia-Sommatino
6	RR6	Ponte Serra
7	RR7	GN Papazzo – imbocco lato AG
8	RR8	Viadotto Mumia – spalla lato CL
9	RR9	GA S. Cataldo – imbocco lato CL
10	RR10	Cavalca Ferrovia
11	RR11	Svincolo Caltanissetta Sud
12	RR12	Viadotto S. Filippo Neri
13	RR13	Viadotto Busita III
14	RR14	Viadotto Santuzza II – tratto lato CL
15	RR15	Viadotto Santuzza II – tratto lato A19

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 20 di 41

	Sigla	Opera d'arte interessata
16	RR16	Viadotto Arenella I
17	RR17	Viadotto Arenella II
18	RR18	Viadotto Arenella III
18	RR19	Viadotto Salso
18	RR20	GN Caltanissetta
18	RL21	GN Caltanissetta
18	RR22	GN Caltanissetta
19	RL23	GN Caltanissetta

Tab. 3.6 Prove sismiche passive (NOISE)

	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. 3.7 Indagini geofisiche di superficie

	Sigla	Lungh. (m)	Tipologia	Opera d'arte interessata
1	TE	400	Tomografia Elettrica	GN Papazzo imbocco lato CL
2	SSR1÷8	716	Sismica a riflessione	GN Caltanissetta settoe meridionale

4. INDAGINI GEOFISICHE

Ai fini di una migliore definizione dell'azione sismica di progetto, dell'attribuzione del suolo tipo di fondazione, della determinazione del parametro V_{S30} nel rispetto della vigente normativa di settore (DM 14/01/2008), di meglio delineare l'assetto tettonico-stratigrafico e l'andamento della falda idrica sotterranea, in questa campagna indagini di "seconda fase", è stata data particolare attenzione alle indagini di tipo geofisico

In particolare, in funzione delle specifiche finalità d'indagine, sono state individuate le tipologie di prova più adeguate.

- Sismica di superficie a riflessione: sono state realizzate **n. 8** traverse sismiche di lunghezza compresa tra 46 e 132 m per una lunghezza totale di circa 716 m, distribuite in corrispondenza dell'asse longitudinale della Galleria Naturale Caltanissetta, con profondità raggiunte superiori ai 200 m; le prove sono state eseguite con un interspazio compreso tra i 2 e i 4 metri;
- Sismica in foro: sono state realizzate in totale **n. 4** prove tipo down-hole (SI30, SI33, SI34, SI37), di cui **n. 3** effettuate nei fori di sondaggio opportunamente attrezzati con tubo in PVC e **n. 1** invece è stata effettuata in foro di sondaggio già attrezzato con tubo inclinometrico (S30);
- Sismica di superficie: sono state realizzate **n. 21** prove sismiche passive RE.MI. (Re.Mi 1÷23), finalizzate alla determinazione dell'andamento delle onde V_s con la profondità e in particolare del parametro V_{S30} richiesto dalla vigente normativa in materia (NTC 2008); le ultime due prove, in particolare, sono state svolte in asse alla prevista Galleria Caltanissetta, anche per verificare, in corrispondenza dei sondaggi SI27 ed SI26, in modo speditivo e indiretto l'andamento della stratigrafia ed effettuare una ricostruzione 2D della sezione in corrispondenza dei suddetti sondaggi;
- Sismica di superficie: **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 e distribuite lungo il tracciato della SS640 dal km 44+000 allo svincolo con l'A19;
- Stesa elettrica di superficie: è stata realizzata **n. 1** stesa elettrica 2D a risoluzione tomografica.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 22 di 41

L'indagine sismica a riflessione e quella passiva (RE.MI.) sono state effettuate con l'impiego di un sismografo 24 bit (Geode – Geometrics) ed una serie di geofoni di frequenza di 4.0, 4.5 e 10 Hz rispettivamente per le onde di riflessione, le onde Raileigh e Love, mentre per la sismica in foro sono stati utilizzati geofoni da foro a tre componenti della ditta "Geostuff".

I microtremori, sono stati rilevati con un tomografo tricomponente digitale tromino della ditta Micromed S.p.A..

Infine, la tomografia elettrica 2D è stata effettuata con la strumentazione "Siscal R1 Plus" della ditta Iris Instruments

L'elaborazioni dei dati sono riportate nelle allegate risultanze delle indagini geofisiche redatte dalla ditta esecutrice dei lavori (cfr. 000GE209GT03ZIG013B "All. B Indagini Geofisiche -2 fase").

L'ubicazione delle prove geofisiche eseguite, viene riportata nell'apposito elaborato 000GE209GT03ZP6001C "Planimetria con ubicazione delle indagini in sito".

4.1 NOMENCLATURA DEI PUNTI DI INDAGINE GEOFISICA

Ciascuna indagine è stata identificata attraverso una sigla costituita da una prima parte, indicativa della diversa tipologia d'indagine (sondaggio geognostico, prova di carico su piastra etc.), ed una seconda parte, dal numero progressivo. Le sigle delle diverse tipologie di indagine vengono di seguito elencate:

- ⇒ SSR = sismica di superficie a riflessione;
- ⇒ DH = sismica in foro;
- ⇒ RR00 = prove sismiche passive RE.MI. (onde Raileigh);
- ⇒ RL00 = prove sismiche passive RE.MI. (onde Love);
- ⇒ TE00 = Tomografia elettrica 2D
- ⇒ NS00 = prove sismiche passive (Noise).

4.2 NOTE SULLA SISMICA A RIFLESSIONE

La prospezione di sismica a riflessione è stata realizzata con l'intento di definire nel dettaglio l'assetto geostrutturale del sottosuolo in corrispondenze delle aree investigate.

Le otto stese sismiche sono state posizionate planimetricamente in accordo sia alle indicazioni del consulente geologo della società committente sia in relazione alla logistica dei luoghi. È stata proprio quest'ultima che ha pesantemente influenzato le prospezioni in quanto operando in un'area

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 23 di 41

urbana o nella sua immediata periferia si è dovuto tenere conto della molteplicità di vincoli di diversa natura che hanno condizionato le modalità operative e reso molto laboriosa l'interpretazione dei profili realizzati (presenza di elevato noise ambientale).

Per l'acquisizione dei segnali sismici si è utilizzato un sismografo digitale a 24 bit (Geode, Geometrics) ed una serie di geofoni verticali (OYO GEOSPACE) a frequenza di 40 Hz.

La scelta ottimale dell'offset minimo e massimo è stata attuata con un test preliminare (walkaway noise test) con il quale si sono anche definiti i principali parametri di acquisizione (lunghezza delle registrazioni, intervallo di campionamento, ecc.); come tecnica di prospezione, invece, si è applicata una modalità di rilievo continua mediante stendimenti "end on" rispetto al punto di energizzazione.

Gli stendimenti sismici, implementati con tecnica CDP e copertura multipla del 600%, sono stati interpretati con un complesso processo elaborativo, processo che oltre a presupporre conoscenze ed esperienza si è svolto attraverso i seguenti steps principali:

- **bilanciamento delle ampiezze;**
- **ripartizione delle tracce in CDP;**
- **analisi di velocità (semblance);**
- **correzione di NMO;**

Inoltre per migliorare la qualità delle sezioni sismiche sono state anche applicate delle speciali tecniche d'elaborazione che hanno comportato il miglioramento del rapporto segnale rumore ed il riposizionamento dei dati sulla sezione (filtraggi, deconvoluzione, correzioni statiche preliminari e residue, filtraggio di velocità e migrazione).

Le diverse stese sismiche sono state ottimizzate con distanze intergefoniche variabili dai 2 ai 5 m e nel complesso si sono realizzati stese sismiche per complessivi 716 m; nel seguito si riportano gli orientamenti e le lunghezze di ogni singola traversa

- **SSR1** - Orientamento N-S - Lunghezza 126 m
- **SSR2** - Orientamento E-O - Lunghezza 101 m
- **SSR3** - Orientamento OSO-ENE - Lunghezza 132 m
- **SSR4** - Orientamento N-S - Lunghezza 58 m
- **SSR5** - Orientamento N-S - Lunghezza 46 m

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 24 di 41

- **SSR6** - Orientamento NE-SO - Lunghezza 85 m
- **SSR7** - Orientamento OSO-ENE - Lunghezza 68 m
- **SSR8** - Orientamento OSO-ENE - Lunghezza 100 m

A conclusione del processo di elaborazione si è prodotto dapprima un Report preliminare, con presentazione delle sezioni "Depth stack" dei sette profili realizzati; scopo di tale Report è stato quello di fornire al consulente geologo elementi per poter correlare specifici pattern sismici a orizzonti litologici o a lineamenti tettonici noti o comunque interpretabili in maniera affidabile. Tale processo ha permesso di valutare l'importanza e specificità dei risultati geofisici ottenuti e ha avuto come feedback finale una conferma della validità e coerenza sul piano geologico della modellizzazione geofisica preliminarmente presentata.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 25 di 41

5. PROVE DI LABORATORIO ESEGUITE

5.1 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO SUI CAMPIONI INDISTURBATI

Le prove geotecniche sono state realizzate dal laboratorio ufficiale Sidercem s.r.l con sede a Caltanissetta (CL). I risultati ottenuti dalle prove geotecniche di laboratorio sono sintetizzati nelle tabelle seguenti e le relative elaborazioni sono riportate nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG014A "All. C Prove di laboratorio -2 fase".

Tabella 5.1 – Prove geotecniche di laboratorio – Caratteristiche fisiche

Campione		W _n	γ _s	γ	γ _d	e	n	s	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	W _i	W _p	* I _p	* I _c	* I _l	A
Sigla	Profondità [m]	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
SI26 -CI1	25,60 - 26,00	21,1	2715	2088	1724	0,575	0,365	100	0,05	2,34	58,48	39,12	50	31	19	1,5	-0,52	0,49
SI26 -CI2	50,00 - 50,30	24,8	2727	1919	1538	0,774	0,436	88	0,01	5,07	47,95	46,98	35	21	14	0,7	0,27	0,30
SI26bis-CI1	24,30 - 24,80	20,5	2724	2093	1737	0,568	0,362	98	0,00	4,44	41,12	54,44	64	28	36	1,2	-0,21	0,66
SI26bis-CI2	50,00 - 50,50	19,4	2719	2109	1766	0,539	0,350	98	0,14	4,73	39,44	55,69	61	22	39	1,1	-0,07	0,70
SI26bis-CI3	75,00-75,50	23,2	2699	2029	1647	0,639	0,390	98	0,80	7,48	38,74	52,99	64	24	40	1,0	-0,02	0,75
SI29-CI3	22,80 - 23,30	25,4	2720	1980	1579	0,723	0,420	96	0,97	6,04	46,03	46,96	63	30	33	1,1	-0,14	0,70
SI29-CI4	29,00 - 29,30	1,8	8,52	49,02	41	0,515	0,340	97	1,81	8,52	49,02	40,64	53	21	32	1,6	-0,60	0,79
SI 30-CI1	06,00 - 06,50	17,3	2729	2161	1843	0,481	0,325	98	0,82	8,78	53,72	36,68	53	8	45	0,8	0,21	1,23
SI 30-CI2	12,10 - 12,50	16,2	2712	2168	1866	0,454	0,312	97	0,77	7,76	51,84	39,63	55	27	28	1,4	-0,39	0,71
SI 30-CI3	18,00 - 18,50	15,9	2702	2171	1874	0,442	0,307	97	10,05	7,85	48,83	33,27	51	28	23	1,5	-0,53	0,69
SI 30-CI5	30,00 - 30,30	12,8	2721	2170	1924	0,415	0,293	84	3,51	5,62	44,67	46,19	63	22	41	1,2	-0,22	0,89
SI 30-CI7	44,50 - 44,75	12,7	2725	2169	1925	0,416	0,294	83	1,27	5,62	48,52	44,6	60	24	36	1,3	-0,31	0,81
SI31-CI1	07,60 - 07,90	17,7	2720	2159	1834	0,483	0,326	100	0,32	5,67	50,26	43,76	59	33	26	1,6	-0,59	0,59

PROGETTO ESECUTIVO

Campione		W_n	γ_s	γ	γ_d	e	n	s	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	W_l	W_p	* I_p	* I_c	* I_L	A
Sigla	Profondità [m]	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
SI31-CI2	12,00 - 12,50	16,7	2719	2164	1855	0,466	0,318	97	0,34	7,13	45,66	46,86	71	25	46	1,2	-0,18	0,98
SI31-CI4	27,40 - 27,90	23,7	2722	2009	1625	0,675	0,403	96	0,37	7,22	37,09	55,31	57	22	35	1,0	0,05	0,63
SI27 - CI1	15,00 - 15,35	23,0	2700	2913	1555	0,736	0,424	84	11,49	24,32	27,50	36,70	36	25	11	1,2	-0,18	0,30
SI27 - CI2	40,00 - 40,50	27,2	2710	1916	1506	0,799	0,444	92	5,11	9,71	39,30	45,88	36	21	15	0,6	0,41	0,33
SI27 - CI3	90,50 - 90,90	26,8	2709	1962	1548	0,750	0,429	97	1,09	3,91	60,89	34,11	54	35	19	1,4	-0,43	0,56
SI27 - CI4	103,50 - 104,00	30,2	2758	1929	1482	0,861	0,463	97	0,00	0,64	32,48	66,87	106	42	64	1,2	-0,18	0,96
SI27 - CI5	125,00-125,40	23,3	2680	2033	1649	0,625	0,385	100	0,00	2,16	45,54	52,31	96	40	56	1,3	-0,30	1,07
SI27 - CI6	142,50 - 143,00	25,0	2757	1994	1595	0,728	0,421	95	0,65	1,67	36,42	61,27	93	37	56	1,2	-0,21	0,91
SI33 - CI1	06,00 - 06,50	20,9	2722	2042	1689	0,612	0,380	93	1,13	6,71	36,58	55,58	76	41	35	1,6	-0,57	0,63
SI33 - CI2	12,00 - 12,50	20,2	2719	2063	1717	0,584	0,369	94	0,24	6,17	41,57	52,01	61	30	31	1,3	-0,32	0,60
SI33 - CI3	17,10 - 17,40	17,6	2726	2125	1806	0,509	0,337	85	0,14	3,75	45,71	50,4	59	24	35	1,2	-0,18	0,69
SI33 - CI5	28,00 - 28,50	14,8	2720	2103	1832	0,484	0,326	83	0,20	8,06	42,36	49,38	61	39	22	2,1	-1,10	0,45
SI34 - CI1	08,00 - 08,25	15,3	2711	2136	1853	0,463	0,317	90	1,54	8,24	55,87	34,35	55	29	26	1,5	-0,53	0,76
SI34 - CI2	13,45 - 13,85	14,4	2710	2157	1885	0,438	0,305	89	0,17	10,35	56,52	32,96	55	26	29	1,4	-0,40	0,88
SI34 - CI3	19,00 - 19,50	10,9	2685	2130	1921	0,398	0,285	74	15,09	27,74	43,13	14,04	38	27	11	2,5	-1,46	0,78
SI34 - CI4	26,00 - 26,50	16,3	2705	2158	1855	0,458	0,314	97	6,12	20,02	39,08	34,78	65	31	34	1,4	-0,43	0,98
SI34 - CI5	32,40 - 32,90	17,0	2719	2140	1829	0,487	0,327	95	0,20	3,72	61,60	34,48	65	33	32	1,5	-0,50	0,93
SI34 - CI6	39,00 - 39,40	20,5	2738	2065	1713	0,598	0,374	94	1,06	3,16	51,46	44,32	60	25	35	1,1	-0,13	0,79
SI37-CI1	13,00 - 13,40	17,4	2706	2076	1767	0,531	0,347	89	0,00	26,17	38,99	34,84	57	30	27	1,5	-0,47	0,77

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A

Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE

Data: 24/01/11

Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc

Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2

Pagina 27 di 41

PROGETTO ESECUTIVO

Campione		W_n	γ_s	γ	γ_d	e	n	s	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	W_l	W_p	* I_p	* I_c	* I_L	A
Sigla	Profondità [m]	%	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³			%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
SI37-CI2	20,00 - 20,35	18,9	2722	2121	1783	0,526	0,345	98	0,00	2,73	49,78	47,49	77	31	46	1,3	-0,26	0,97
SI37-CI3	26,00 - 26,40	16,7	2720	2152	1844	0,475	0,322	96	0,03	12,96	44,53	42,49	67	30	37	1,4	-0,36	0,87
SI37-CI4/b	32,00 - 32,25	12,3	2686	2066	1840	0,460	0,315	72	0,00	68,23	23,39	8,39	N.P.	N.P.	-	-	-	-
SI37-CI4/a	32,25 - 32,40	11,5	2706	2174	1950	0,388	0,279	80	0,00	23,09	43,88	33,03	49	34	15	2,5	-1,50	0,45
SI29-CI1	06,00 - 06,25	13,8	2717	2162	1899	0,431	0,301	87	2,39	8,64	51,22	37,75	48	21	27	1,3	-0,27	0,72
SI29-CI2	17,00 - 17,30	18,1	2721	2104	1781	0,528	0,345	94	3,32	9,77	42,24	44,67	51	23	28	1,2	-0,18	0,63

Tabella 5.2 – Prove geotecniche di laboratorio – Caratteristiche meccaniche delle terre

Campione		Prova di taglio diretto C.D.			Prova Triassiale UU		ELL	Prova di compressione triassiale CIU						
Sigla	Profondità [m]	Pressione verticale kPa	Sforzo di taglio kPa	Attrito e coesione C' ϕ' kPa °		Pressione di cella kPa	Attrito e coesione C _u ϕ_u kPa °		Coesione C _u kPa	Pressione di cella kPa	Back Pressur e kPa	Attrito e coesione C' ϕ' kPa °		
SI26 - CI1	25,60 - 26,00	Taglio diretto					320,0	0,0						
		196,14	96,11											
		392,28	166,39	16	22,7									
		588,42	272,78											
				400										
SI26 - CI2	50,00 - 50,30	Taglio diretto												
		196,14	158,33											
		392,28	290,83	44,3	31,2									
		588,42	395,55											
SI26bis- CI1	24,30 - 24,80	Taglio diretto					274,6	0,0						
		196,14	105,28											
		392,28	178,33	33,9	20,1									
		588,42	248,81											
				400										
				500										
				600										
		600												
		700												
				296,4	0,0				650	250				
									850	250				

PROGETTO ESECUTIVO

Campione		Prova di taglio diretto C.D.			Prova Triassiale UU			ELL	Prova di compressione triassiale CIU				
Sigla	Profondità [m]	Pressione verticale kPa	Sforzo di taglio kPa	Attrito e coesione		Pressione di cella kPa	Attrito e coesione		Coesione kPa	Pressione di cella kPa	Back Pressur e kPa	Attrito e coesione	
				C'	φ'		Cu	φu				C'	φ'
				kPa	°		kPa	°				kPa	°
SI26bis-CI3	75,00-75,50					700	78,8	0,0		450	250	30,0	23,5
					800				650	250			
					900				850	250			
SI27 - CI1	15,00 - 15,35	Taglio diretto							36,0				
		196,14	217,22										
		392,28	330,56	81,5	33,6								
SI27 - CI2	40,00 - 40,50	Taglio diretto							240,6				
		294,21	267,5										
		490,35	343,75	77,2	31,0								
SI27 - CI3	90,50 - 90,90								68,8				
SI27 - CI4	103,50 - 104,00					1000	473,1	0,0					
SI27 - CI5	125,00-125,40									1200	250	40,0	23,2
										1400	250		
SI27 - CI6	142,50 - 143,00									1400	250	32,0	19,8
										1600	250		
SI29-CI1	06,00 - 06,25	Taglio diretto							449,73				
		196,14	103,61										
		392,28	183,61	19,0	23,1								
SI29-CI2	17,00 - 17,30	Taglio diretto							141,85				
		196,14	113,89										
		392,28	183,06	47,3	18,8								
		588,42	246,94										
		Taglio residuo											
		196,14	61,11										
		392,28	126,94	20,0	13,5								
SI29-CI3	22,80 - 23,30									650	250	10,0	24,0
										850	250		

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 29 di 41

PROGETTO ESECUTIVO

Campione		Prova di taglio diretto C.D.			Prova Triassiale UU			ELL	Prova di compressione triassiale CIU					
Sigla	Profondità [m]	Pressione verticale kPa	Sforzo di taglio kPa	Attrito e coesione		Pressione di cella kPa	Attrito e coesione		Coesione Cu kPa	Pressione di cella kPa	Back Pressur e kPa	Attrito e coesione		
				C'	φ'		Cu	φu				C'	φ'	
SI29-CI4	29,00 - 29,30													
										650	250	22,0	22,0	
											850	250		
SI 30-CI1	06,00 - 06,50	Taglio diretto												
		196,14	108,33											
		392,28	210,00	23,5	24,4									
		588,42	286,39											
SI 30-CI2	12,10 - 12,50								396,03					
										450	250	40,0	27,0	
										650	250			
										850	250			
SI 30-CI3	18,00 - 18,50													
										450	250	85,0	24,0	
										650	250			
								850	250					
SI 30-CI5	30,00 - 30,30													
										450	250	37,0	21,0	
										650	250			
								850	250					
SI 30-CI7	44,50 - 44,75													
										450	250	45,0	19,0	
										650	250			
								850	250					
SI31-CI1	07,60 - 07,90	Taglio diretto							325,02					
		196,14	130,56											
		392,28	221,11	77,4	17,7									
		588,42	255,56											
		Taglio residuo												
		196,14	81,94											
		392,28	177,22	30,0	17,7									
SI31-CI2	12,00 - 12,50													
										450	250	15,0	18,5	
										650	250			
								850	250					
SI31-CI4	27,40 - 27,90	Taglio diretto												
		196,14	70,83											
		392,28	136,39	4,5	18,6									
		588,42	203,06											

PROGETTO ESECUTIVO

Campione		Prova di taglio diretto C.D.			Prova Triassiale UU		ELL	Prova di compressione triassiale CIU							
Sigla	Profondità [m]	Pressione verticale kPa	Sforzo di taglio kPa	Attrito e coesione		Pressione di cella kPa	Attrito e coesione		Coesione Cu kPa	Pressione di cella kPa	Back Pressur e kPa	Attrito e coesione			
				C'	φ'		Cu	φu				C'	φ'		
SI33 - CI1	06,00 - 06,50	Taglio diretto													
		196,14	86,72												
		392,28	187,22	29,1	18,9										
		588,42	219,34												
		Taglio residuo													
		196,14	55,56												
		392,28	104,72	21,0	11,0										
SI33 - CI2	12,00 - 12,50									450	250	15,0	14,7		
										650	250				
										850	250				
SI33 - CI3	17,10 - 17,40									450	250	38,0	20,0		
										650	250				
										850	250				
SI33 - CI5	28,00 - 28,50									450	250	25,0	24,0		
										650	250				
										850	250				
SI34 - CI1	08,00 - 08,25	Taglio diretto													
		196,14	100,28												
		392,28	143,33	23,3	19,2										
		588,42	237,22												
		Taglio residuo													
		196,14	87,25												
		392,28	136,67	11,9	19,3										
SI34 - CI2	13,45 - 13,85									450	250	24,5	20,2		
										650	250				
										850	250				
SI34 - CI3	19,00 - 19,50					400	284,7	0,0							
						500									
SI34 - CI4	26,00 - 26,50									450	250	24,0	22,0		
										650	250				
										850	250				
SI34 - CI6	39,00 - 39,40									450	250	20,0	17,5		
										650	250				
										850	250				
SI37 - CI1	13,00 - 13,40									450	250	110	18,5		
										650	250				
										850	250				

PROGETTO ESECUTIVO

Campione		Prova di taglio diretto C.D.			Prova Triassiale UU			ELL	Prova di compressione triassiale CIU				
Sigla	Profondità [m]	Pressione verticale kPa	Sforzo di taglio kPa	Attrito e coesione		Pressione di cella kPa	Attrito e coesione		Coesione kPa	Pressione di cella kPa	Back Pressur e kPa	Attrito e coesione	
				C'	φ'		Cu	φu				C'	φ'
				kPa	°		kPa	°				kPa	°
SI37- CI3	26,00 - 26,40									450	250	30,0	21,0
										650	250		
											850		
SI37- CI4/b	32,00 - 32,25	Taglio diretto											
		196,14	188,45										
		392,28	346,67	81,1	31,5								
		588,42	428,61										
SI37- CI4/a	32,25 - 32,40	Taglio diretto											
		196,14	97,50										
		392,28	215,28	39,5	20,4								
		588,42	243,33										

Tabella 5.3 – Prove geotecniche di laboratorio – Prove Edometriche

Campione		Edometria				Pocket
Sigla	Profondità [m]	Pressione σ kPa	Cv mm ² /s	E kPa	K mm/s	kPa
SI27 - CI6	142,50 - 143,00	24,52				500
		49,04				
		98,07				
		196,14				
		392,28				
		784,56				
		1569,12	9,70E-01	44961	2,10E-07	
3138,24	5,10E-02	55001	9,10E-09			
SI33 - CI2	12,00 - 12,50	24,52				742
		49,04				
		98,07				
		196,14				
		392,28	1,50E-02	12145	1,23E-08	
		784,56	7,69E-03	16482	4,72E-09	
		1569,12	5,30E-03	26777	2,05E-09	
3138,24	4,74E-03	43587	1,16E-09			
SI34 - CI2	13,45 - 13,85	24,52				1300
		49,04				
		98,07				
		196,14		14422		
		392,28		14583		

PROGETTO ESECUTIVO

Campione		Edometria				Pocket
Sigla	Profondità [m]	Pressione σ	Cv	E	K	kPa
		kPa	mm ² /s	kPa	mm/s	
		784,56 1569,12 3138,24	4,72E-02 2,45E-02 1,30E-02	20221 32758 55544	2,34E-08 7,68E-09 2,47E-09	
SI37-CI1	13,00 - 13,40	24,52 49,04 98,07 196,14 392,28 784,56 1569,12 3138,24	2,51E-02 1,63E-02 1,22E-02 1,06E-02	9982 15059 24594 43466	2,56E-08 1,12E-08 5,31E-09 2,71E-09	792
SI 30-CI2	12,10 - 12,50	24,52 49,04 98,07 196,14 392,28 784,56 1569,12 3138,24	1,03E-01 4,53E-02 2,30E-02	11144 14529 19516 23008 34792 56852	4,54E-08 1,33E-08 4,24E-09	692
SI31-CI2	12,00 - 12,50	24,52 49,04 98,07 196,14 392,28 784,56 1569,12 3138,24	8,19E-02 1,21E-02	11144 14529 19516 23008 34792 56852	1,36E-08 1,72E-09	1358
SI29-CI1	06,00 - 06,25	24,52 49,04 98,07 196,14 392,28 784,56 1569,12 3138,24	4,50E-02 2,37E-02 2,54E-02	14859 20431 22807 30888 31764 44577 62390	1,41E-08 5,37E-09 4,18E-09	1342

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 33 di 41

5.2 PROVE GEOTECNICHE DI LABORATORIO SUI CAMPIONI DELLE TRINCHE

Le prove geotecniche sui campioni prelevati dalle 84 trincee sono state realizzate dal laboratorio ufficiale Sidercem s.r.l con sede a Caltanissetta (CL).

I risultati ottenuti dalle prove geotecniche di laboratorio sono riportate nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG008A "Rapporti di prova determinazioni di laboratorio terreni dei rilevati".

5.3 RISULTATI DELLE PROVE PER LA STABILIZZAZIONE A CALCE

5.3.1 Prove sui terreni prelevati dai pozzetti esplorativi

In ottemperanza alle norme tecniche CNR riportate nel B.U. CNR n. 36 sono state eseguite le prove menzionate nel § 3.2.4 della presente relazione.

Nella pagina successiva se ne riportano i risultati, con indicazione delle percentuali di calce utilizzata correlata ai risultati ottenuti.

I risultati completi sono riportati nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG009A "Rapporti di prova determinazioni di laboratorio terreni da scavare".

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 34 di 41

PROGETTO ESECUTIVO

Classe	senza trattamento										con trattamento															
	Prog. Km	PT	Sost. Org.		Class. UNI 10006	IP %	IP Class. UNI 10007	sofferti tot mg/Kg	soffuti mg/Kg	NO3 mg/Kg	Sost. Org. %	CBR imm. %	CBR	Calce 3,3%		Calce 4,0%		Calce 4,5%								
			%	mg/Kg										CBR imm. %	CBR	CBR imm. %	IP%	Compr. *	CBR imm. %	IP%	Compr. *	CBR imm. %	IP%	Compr. *		
5	0+000 4+500	1	4,40	A6	18																					
		2	1,20	A4	7																					
		3	3,10	A 7 5	35	26	A6	2380	<100	<50		3,40	37,00	10,00	63,00	43,00	19	0,84	72,00	59,00	15	0,93	78,00	67,00	12	1,02
		4	3,50	A6	15																					
		5	3,20	A6	25																					
1	4+500 9+500	6	1,70	A6	23	23	A6	842	<100	<50	3,80	37,00	18,00	61,00	35,00	21	0,73	65,00	38,00	20	0,75	67,00	43,00	19	0,83	
		7	5,10	A6	23																					
4	9+500 12+900	8	3,30	A6	19	17	A6	801	<100	<50	2,90	33,00	8,00	86,00	62,00	15	1,24	72,00	65,00	13	1,30	89,00	69,00	12	1,36	
		9	2,70	A6	24																					
		10	2,60	A6	24																					
		11	2,70	A6	16																					
3	16+930 19+400	12	2,60	A6	14	17	A6	10670	<100	<50	2,60	31,00	9,00	74,00	51,00	16	1,14	79,00	58,00	15	1,22	91,00	61,00	14	1,56	
		13	2,20	A6	19																					
		14	2,00	A 7 6	30	30	A 7 6	2303	<100	<50	2,50	22,00	6,00	59,00	39,00	27	1,00	89,00	61,00	26	1,21	94,00	69,00	25	1,34	
2	19+400 25+100	15	3,30	A 7 6	30																					
		16	3,30	A 7 6	30																					

Legenda
 Classi

- 1 Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce (>2%), non utilizzabili per sovrastrutture, ma solo per sottolondo
- 2 Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce con addizione al 6% per sovrastrutture
- 3 Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce con addizione al 5,5% per sovrastrutture
- 4 Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce con addizione al 5% per sovrastrutture
- 5 Tratto stradale con terreni provenienti dagli scavi da stabilizzare a calce con addizione al 5% per sovrastrutture

Valori di CBR inferiori a 50 (limite di utilizzo per sovrastrutture, come da B.U. CNR N. 36)

NOTE

* Valori ottenuti dalle prove di compressione uniassiate dopo stagionatura di 3 gg

Valori da B.U. CNR N. 36

Indice CBR con 7 gg di stagionatura e imbibizione a 4 gg
 > 50 per sovrastrutture
 > 20 per sottolondi

Resistenza a compressione dopo stagionatura di 7 gg

> 0,49 Mpa per sovrastrutture
 > 0,29 Mpa per sottolondi

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A

Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc

Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE

Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2

Data: 24/01/11

Pagina 35 di 41

Per i relativi commenti si veda la Relazione Geologica e la Relazione Geotecnica Generale.

5.3.2 Determinazioni sui campioni prelevati da sondaggi

In alcuni campioni prelevati in corrispondenza del sondaggio SI27 effettuato sulla prevista Galleria Caltanissetta, sono state effettuate alcune determinazioni chimiche finalizzate a caratterizzare i terreni per un eventuale riutilizzo con stabilizzazione a calce, secondo le norme tecniche CNR di cui al B.U. CNR n. 36.

I risultati ottenuti dalle prove chimiche di laboratorio sono sintetizzati nella tabella seguente e le relative elaborazioni sono riportate nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG014A "All. C Prove di laboratorio -2 fase", all'interno dei relativi certificati emessi per ogni campione prelevato.

Tabella 5.4 – Prove chimiche di laboratorio

Campione		W _n %	Sostanza organica %	Solfati SO ₄ mg/kg	Solfuri H ₂ S mg/kg	Nitrati NO ₃ mg/kg	V.B. g/kg
Sigla	Profondità [m]						
SI27 - CI5	125,00-125,40	23,3	4,01	1600	<100	104,5	>4
SI27 - CI6	142,50 - 143,00	25,0	3,13	1973	<100	<25	>4

I risultati ottenuti, confrontati con i valori di riferimento riportati (da "Specifica Tecnica –Trattamento delle terre con calce" Norma Interna FS - 1999), permettono di definire che nel caso del contenuto di sostanza organica, si riscontrano valori associabili a terreni con limitazioni d'uso per la stabilizzazione a calce.

5.4 PROVE CHIMICHE DI LABORATORIO

5.4.1 Acque di falda

Con riferimento ai valori riportati nel prospetto 2 ("Valori limite per le classi di esposizione all'attacco chimico nel suolo naturale e nell'acqua del terreno") norma UNI EN 206-1-2006, i cui valori sono riportati nella sottostante tabella, sono state effettuate le analisi sulle acque di falda.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 36 di 41

Agente aggressivo	Classe di aggressività (UNI 8981)		
	XA1 (debole)	XA2 (moderato)	XA3 (forte)
pH [unità di pH]	6.5 – 5.5	5.5 – 4.5	4.5 – 4.0
CO ₂ aggressiva [mg/l]	15 - 30	30 - 60	60 - 100
SO ₄ ⁻ [mg/l]	200 - 400	400 - 1500	1500 - 6000

I campioni di acqua sono stati prelevati laddove è stata riscontrata la presenza di acqua ed in particolare nei piezometri SI23, SI25, SI36, SI38. Nel seguito si riportano i risultati.

Analisi chimica Acqua – Campione SI23

Prova	Unità di misura	Risultati analisi
pH	unità di pH	7.35
CO ₂ aggressiva	mg/l	11
SO ₄ ⁻	mg/l	2170

Analisi chimica Acqua – Campione SI25

Prova	Unità di misura	Risultati analisi
pH	unità di pH	7.38
CO ₂ aggressiva	mg/l	6.6
SO ₄ ⁻	mg/l	330

Analisi chimica Acqua – Campione SI36

Prova	Unità di misura	Risultati analisi
pH	unità di pH	7.34
CO ₂ aggressiva	mg/l	15.4
SO ₄ ⁻	mg/l	1360

Analisi chimica Acqua – Campione SI38

Prova	Unità di misura	Risultati analisi
pH	unità di pH	7.35
CO ₂ aggressiva	mg/l	16.5
SO ₄ ⁻	mg/l	1580

Dal confronto con i valori limite ne risulta che le acque analizzate siano da considerarsi in un contesto di aggressività per i calcestruzzi da moderato a forte.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: <i>RELAZIONI GEOLOGICHE</i>	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	<i>Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2</i>	Pagina 37 di 41

I relativi certificati sono riportati nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG004A "Rapporti di prova determinazioni chimiche sulle acque e terre".

5.4.2 Analisi condotte sui terreni

Prove sui terreni prelevati dai pozzetti esplorativi

Su ogni campione prelevato dai 15 pozzetti eseguiti sono state effettuate le determinazioni chimiche in ottemperanza ai criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, ai sensi del D.M. Ambiente 27/09/2010, al fine di verificare la eventualità di trattamento delle terre da scavo come rifiuto, nel caso in cui le prove di stabilizzazione diano esito negativo o, comunque, ci siano esuberanti di produzione.

I risultati ottenuti hanno evidenziato che tutti i terreni in merito alla attribuzione del codice CER, nel caso in cui se ne voglia disfare, rientrano nella categoria

RIFIUTO SPECIALE NON PERICOLOSO

CER 17 05 04 "Terre e rocce da scavo diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03"**

e possono, pertanto, essere smaltiti in **Discarica per Rifiuti Inerti**.

I relativi certificati sono riportati nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG004A "Rapporti di prova determinazioni chimiche sulle acque e terre".

Prove sui terreni prelevati dalle trincee

Sulle miscele (n. 13) ottenute dai campioni prelevati dalle 84 trincee eseguite sono state effettuate le determinazioni chimiche in ottemperanza ai criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, ai sensi del D.M. Ambiente 27/09/2010, al fine di verificare la eventualità di trattamento delle terre da scavo come rifiuto, nel caso in cui le prove di stabilizzazione diano esito negativo o, comunque, ci siano esuberanti di produzione.

I risultati ottenuti hanno evidenziato che tutti i terreni in merito alla attribuzione del codice CER, nel caso in cui se ne voglia disfare, rientrano nella categoria

RIFIUTO SPECIALE NON PERICOLOSO

CER 17 05 04 "Terre e rocce da scavo diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03"**

e possono, pertanto, essere smaltiti in **Discarica per Rifiuti Inerti**.

I relativi certificati sono riportati nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG004A "Rapporti di prova determinazioni chimiche sulle acque e terre".

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 38 di 41

Prove sui terreni prelevati dai sondaggi SI26bis e SI27

Su due campioni prelevati rispettivamente dal sondaggio SI26bis e dal sondaggio SI27 sono state effettuate le determinazioni chimiche in ottemperanza ai criteri di ammissibilità dei rifiuti in discarica, ai sensi del D.M. Ambiente 27/09/2010, al fine di verificare la eventualità di trattamento delle terre da scavo come rifiuto, nel caso in cui le prove di stabilizzazione diano esito negativo o, comunque, ci siano esuberanti di produzione.

I risultati ottenuti hanno evidenziato che tutti i terreni in merito alla attribuzione del codice CER, nel caso in cui se ne voglia disfare, rientrano nella categoria

RIFIUTO SPECIALE NON PERICOLOSO

CER 17 05 04 "Terre e rocce da scavo diverse da quelle di cui alla voce 17 05 03"**

e possono, pertanto, essere smaltiti in **Discarica per Rifiuti Inerti**.

I relativi certificati sono riportati nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG004A "Rapporti di prova determinazioni chimiche sulle acque e terre".

Determinazione idrocarburi su campioni del sondaggio SI27

Il campione di terreno prelevato dal sondaggio SI27 (cfr. § 3.1.2) non ha riscontrato la presenza di idrocarburi.

Per quanto riguarda, invece, la matrice gassosa prelevata nel foro di sondaggio (cfr. § 3.1.2), le analisi condotte sulla fiala utilizzata hanno permesso di riscontrare la presenza di determinate concentrazioni di idrocarburi aromatici (BTEX), classificabili come idrocarburi leggeri e alquanto volatili. Per le dovute considerazioni si veda la Relazione Geologica.

I relativi certificati sono riportati nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG004A "Rapporti di prova determinazioni chimiche sulle acque e terre".

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 39 di 41

6. MONITORAGGIO DELLA STRUMENTAZIONE GEOTECNICA

6.1 RILIEVI PIEZOMETRICI

Sui piezometri installati durante le 2 campagne geognostiche integrative sono state eseguite, a partire dal mese di ottobre 2010, le dovute misure piezometriche.

Le misure registrate sono riportate nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG003A "Rapporto di prova del monitoraggio strumentazione geotecnica installata", mentre nella tabella seguente se ne riassumono i dati.

Piezometri 2010 fase 2	Livello di falda m da p.c.	Data	Livello di falda m da p.c.	Data	Livello di falda m da p.c.	Data
SI23	Assente	12/10/10	2,95	29/11/10	3,35	11/01/11
SI24	Assente	12/10/10	Assente	29/11/10	18,10	11/01/11
SI25	10,20	14/10/10	9,90	29/11/10	9,88	11/01/11
SI28			Assente	29/11/10	Assente	11/01/11
SI32	Assente	27/10/10	Assente	29/11/10	15,10	13/01/11
SI35	Assente	06/11/10	Assente	29/11/10	Assente	13/01/11
SI36	5,45	08/11/10	5,60	29/11/10	5,78	13/01/11
SI38	5,10	15/11/10	5,10	29/11/10	5,25	13/01/11
SI27	24,85	11/11/10	24,85	29/11/10	23,92	11/01/11

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

6.2 MISURE INCLINOMETRICHE

Sui 5 inclinometri installati durante le 2 campagne geognostiche integrative sono state eseguite, nel mese di gennaio 2011, le dovute misure relative allo "zero inclinometrico". Le successive misure saranno eseguite nel mese di marzo 2011.

Le misure registrate sono riportate nell'elaborato di progetto 000GE209GT03ZIG003A "Rapporto di prova del monitoraggio strumentazione geotecnica installata", mentre nella tabella seguente se ne riassumono i dati.

Il rapporto sarà aggiornato conseguentemente alle campagne di misura effettuate.

Cod. elab.: GE208-GI01ZRD-004_A	Titolo: RELAZIONI GEOLOGICHE	Data: 24/01/11
Nome file: GE208-GI01ZRD-004_A.doc	Relazione tecnica conclusiva indagini integrative Fase 2	Pagina 40 di 41

Scheda riassuntiva delle misure e stato della strumentazione

Località SS640 Data misure dal 10/01/2011 al 17/01/2011

Località	SS640	Data misure	dal 10/01/2011	al 17/01/2011	Annotazioni
Tipo di strumento	S11	39,50	Profondità fondo foro [m]	39,00	Stato terminale protettivo
	S14	34,40	Profondità misurata [m]	34,00	
	S129	40,20	Azimuth	295°	
	S130	41,00	diametro interno [mm]	75,00	
	S131	40,40	Materiale	Alluminio	
			Automatizzato	NO	
			Tipo di terminale protettivo	elevazione in plastica	
				elevazione in plastica	
				elevazione metallo	
				elevazione metallo	
				elevazione metallo	
					ostruito da 41 p.c.