



Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti  
Struttura di Vigilanza sulle Concessionarie Autostradali



AMMODERNAMENTO A N° 4 CORSIE DELLA S.S. 514  
"DI CHIARAMONTE" E DELLA S.S. 194 RAGUSANA  
DALLO SVINCOLO CON LA S.S. 115 ALLO  
SVINCOLO CON LA S.S. 114.

(C.U.P. F12C03000000001)

PROGETTO DEFINITIVO

PARTE GENERALE  
GEOLOGIA E GEOTECNICA  
Relazione Geotecnica

**Il Progettista**

Responsabile di progetto ed  
incaricato delle integrazioni tra  
le varie prestazioni:



Ing. Santa Monaco - Ordine Ing. Torino 5760H

**Supporto specialistico**

Ottimizzazione della cantierizzazione  
delle opere



Ing. Gianmaria De Stavola - Ordine Ing. Venezia 2074

**Consulenze specialistiche**

**Geologo:**

Dott. Geologo Fabio Melchiorri  
Ordine Geologi del Lazio A.P. n 663

**Geotecnica e opere d'arte minori:**

Ing. Antonio Alparone



**Opere d'arte principali:**

Viadotti  
Ing. G. Mondello



Gallerie  
Ing. G. Guiducci



**Opere di mitigazione dell'impatto ambientale:**

Ecosistemi e  
paesaggio



Rumore,  
vibrazioni  
ed atmosfera



RIFERIMENTO ELABORATO

FASE	TR/LT	DISCIPLINA/OPERA	DOC	PROGR.	ST.REV.	FOGLIO
D01	T100	GT050	1	RN	001	0A

DATA

GENNAIO '17

SCALA

-

REV.	DATA	DESCRIZIONE	REDATTO/CONSULENTE	VERIFICATO	APPROVATO
A	GENNAIO '17	Emissione	SILEC	Zoi	Monaco

IL RESPONSABILE  
DEL  
PROCEDIMENTO

IL CONCESSIONARIO

SARC SRL



L'ENTITA' COSTRUTTRICE

VISTO PER ACCETTAZIONE



<b>A</b>	<b>PREMESSA.....</b>	<b>3</b>
<b>B</b>	<b>NORMATIVE E RIFERIMENTI TECNICI .....</b>	<b>4</b>
<b>C</b>	<b>DESCRIZIONE DEI LUOGHI E DELLE OPERE DI PROGETTO .....</b>	<b>5</b>
C.1	Generalità.....	5
C.1.1	Lotto n.1.....	5
C.1.2	Lotto n.2.....	5
C.1.3	Lotto n.3.....	5
C.1.4	Lotto n.4.....	6
C.1.5	Lotto n.5.....	6
C.1.6	Lotto n.6.....	6
C.1.7	Lotto n.7.....	6
C.1.8	Lotto n.8.....	6
<b>D</b>	<b>QUADRO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO .....</b>	<b>8</b>
<b>E</b>	<b>INDAGINI IN SITO E DI LABORATORIO.....</b>	<b>12</b>
E.1	Indagini pregresse.....	12
E.1.1	Campagna indagini 2003 – fase I.....	12
E.1.2	Campagna indagini 2004 – Fase II .....	13
E.2	Indagini eseguite per il progetto definitivo.....	15
E.2.1	Indagini integrative al progetto definitivo .....	44
<b>F</b>	<b>TERRENI INTERESSATI DALLE OPERE .....</b>	<b>45</b>
F.1	Terreni lotto 1 .....	45
F.2	Terreni lotto 2 .....	45
F.3	Terreni lotto 3 .....	46
F.4	Terreni lotto 4 .....	47
F.5	Terreni lotto 5 .....	48
F.6	Terreni lotto 6 .....	49
F.7	Terreni lotto 7 .....	49
F.8	Terreni lotto 8 .....	50

<b>G</b>	<b>CARATTERIZZAZIONE TERRENI .....</b>	<b>51</b>
G.1	Generalità.....	51
G.2	Metodologia di analisi dei risultati delle indagini sui terreni sciolti .....	53
G.2.1	Classificazione.....	53
G.2.2	Determinazione delle caratteristiche di resistenza .....	53
G.2.3	Determinazione delle caratteristiche di deformabilità.....	56
G.2.4	Determinazione delle caratteristiche di permeabilità.....	59
G.3	Metodologia di analisi dei risultati delle indagini sui terreni lapidei.....	60
G.3.1	Determinazione delle caratteristiche di resistenza della roccia intatta.....	60
G.3.2	Determinazione delle caratteristiche di deformabilità della roccia intatta .....	60
G.3.3	Determinazione delle caratteristiche di resistenza dei terreni lapidei. ....	60
G.3.4	Determinazione delle caratteristiche di deformabilità dei terreni lapidei. ....	62
<b>H</b>	<b>INDICAZIONI PROGETTUALI SCAVI PROVVISORIALI.....</b>	<b>64</b>
H.1	Analisi di stabilità litotipo alluvioni coesive lotto 8 per scavi provvisoriali .....	65
H.2	Tabelle riassuntive pendenza della scarpate provvisoriali.....	67
<b>I</b>	<b>SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE .....</b>	<b>71</b>
I.1	Metodi di analisi .....	71
I.1.1	Metodi di analisi semplificata.....	71
I.2	Esclusione della verifica a liquefazione .....	74
I.3	Verifiche .....	75
<b>J</b>	<b>CONCLUSIONI.....</b>	<b>76</b>

## **A PREMESSA**

In questa relazione si descrivono i criteri per la caratterizzazione geotecnica relativa ai terreni indagati nel corso delle indagini eseguite per il progetto definitivo dell' "Ammodernamento a n. 4 corsie della SS. 514" di CHIARAMONTE" e della "SS 194 "RAGUSANA" dallo svincolo con la SS115 allo svincolo con la SS 114. Il progetto interessa il completamento del tratto stradale esistente per uno sviluppo totale di poco più di 68 Km. In questo studio vengono descritte le indagini effettuate in sito ed in laboratorio, illustrati i criteri adottati per la caratterizzazione dei terreni e definiti i criteri per la determinazione delle pendenze degli scavi provvisionali e i criteri della suscettibilità a liquefazione dei terreni.

Tale studio è stato redatto, oltre che sulla base delle citate indagini, anche sulla base delle informazioni e considerazioni contenute nella relazione geologica.

## B NORMATIVE E RIFERIMENTI TECNICI

- Decreto Min. LL. PP. 11 Marzo 1988 "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, ed i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" (*Utilizzato per i capitoli inerenti le indagini geotecniche e non per la progettazione delle opere d'arte*).
- Circolare Min. LL.PP. 24 Settembre 1988, n. 30483 "Istruzioni riguardanti "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali, le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" di cui al D.M. 11 marzo 1988".
- Decreto Min. Infrastrutture e Trasporti 14 Gennaio 2008 "Norme tecniche per le costruzioni".
- Circolare n° 617 del 2 Febbraio 2009 "Istruzioni per l'applicazione delle Nuove norme tecniche per e costruzioni di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008".
- Raccomandazioni AGI giugno 1977 "Programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche
- Raccomandazioni AGI giugno 1994 " Programmazione ed esecuzione delle prove di laboratorio".

## C DESCRIZIONE DEI LUOGHI E DELLE OPERE DI PROGETTO

### C.1 Generalità

Con le opere di progetto si prevede l'ammmodernamento della SS 514 e della SS 194 passando dalle attuali due corsie a quattro.

Il nuovo tracciato, che si sviluppa per circa 68,6 Km, si affianca all'esistente e inizia dallo svincolo con la SS 115 e la SP 52 di collegamento con la città di Ragusa. Al Km. 39+700 nel territorio del Comune di Vizzini la SS 514 confluisce nella SS 194. L'intervento termina allo svincolo con la SS 114.

Il tracciato è stato suddiviso in n. 8 lotti, che di seguito vengono identificati e descritti.

#### C.1.1 Lotto n.1

Tale tratto inizia allo svincolo con la SS 115 alla quota di 637,07 m s.l.m. e termina allo svincolo con la SP 7 (Comiso – Chiaramonte) nel territorio di Chiaramonte Gulfi alla quota di 336,83 m s.l.m. L'orografia è quella tipica pedemontana dell'altopiano ibleo caratterizzato da blandi rilievi collinari. Il tracciato ha uno sviluppo di 11361 m. La nuova sede stradale procede sia in trincea che in rilevato. Le trincee hanno un'altezza massima di 8.00 m ed i rilevati hanno altezze maggiori di 10.00 m in corrispondenza dei tombini. Nella prima parte, all'altezza del km 4+440 circa è prevista la realizzazione di un viadotto per il superamento di un piccolo torrente.

#### C.1.2 Lotto n.2

Il lotto inizia dallo svincolo con la SP 7 nel territorio di Chiaramonte Gulfi alla quota di 336,83 m s.l.m e termina allo svincolo con la SP 5 e SP 38/II al confine territoriale di Chiaramonte Gulfi e di Licodia Eubea alla quota di 330,79 m s.l.m. Il tracciato ha uno sviluppo di 6814 m. La morfologia dei luoghi è praticamente pianeggiante. Solamente all'altezza del km 3+500 si osserva un'interruzione della regolarità morfologica a causa della presenza dei rilievi di Serra Berreta (q.a. 375 m s.l.m.), di Donna Gonna (q.a. 400 m). In questo lotto sono previste soltanto opere d'arte "minori" quali, sottovia, cavalcavia, tombini e paratie.

#### C.1.3 Lotto n.3

Il tratto inizia dallo svincolo la SP5 e la SP38/II alla quota di 330,79 m s.l.m e termina al cavalcavia con la SP38/III in territorio di Licodia Eubea alla quota di 422,70 m s.l.m. L'orografia dei luoghi comincia ad essere movimentata infatti il tracciato, che ha uno sviluppo di 7914 m, al

km 3+100 arriva alla quota più bassa ( 246 m s.l.m.) per poi risalire incontrando vallate e incisioni vallive. Per tali motivi sono previsti viadotti, due di grande entità e un viadotto di modesta entità. Sono previste anche opere d'arte minori quali opere di sostegno e tombini.

#### C.1.4 Lotto n.4

Il lotto inizia dal cavalcavia con la SP 38/III alla quota di 422,70 m s.l.m e termina al sottovia con la SS 683 sempre nel territorio di Licodia Eubea alla quota di 516,52 m s.l.m. Tutta la tratta si presenta moderatamente acclive. Il tracciato si sviluppa per 4446 m. Sono previsti 2 viadotti per superare piccole vallate nonché opere di sostegno varie e tombini.

#### C.1.5 Lotto n.5

Il lotto inizia dal sottovia con la SS 683 alla quota di 516,52 m s.l.m. e termina allo svincolo con la SP28/III in territorio di Vizzini alla quota di 626,31 m s.l.m. Anche in questa tratta l'orografia si presenta moderatamente acclive però con una rilevante incisione torrentizia poco dopo l'inizio che viene superata con viadotto. Il tracciato si sviluppa per 6431 m e sono previste anche opere di sostegno, tombini, sottovie e cavalcavia.

#### C.1.6 Lotto n.6

Tale tratto inizia dallo svincolo con la SP28/III, alla quota di 626,31 m s.l.m, poco prima che la SS 594 confluisca nella SS194 e termina all'inizio del centro abitato di Francofonte alla quota di 276,24 m s.l.m. Il tracciato che si sviluppa per 11856 m. ricade in contesto morfologico piuttosto regolare che presenta però due forti incisioni fluviali fra il quarto ed il quinto chilometro per cui sono previsti due viadotti. Superate queste opere la morfologia dei luoghi si presenta piuttosto pianeggiante fino all'abitato di Francofonte.

#### C.1.7 Lotto n.7

Il lotto inizia dall'abitato di Francofonte alla quota di 276,24 m s.l.m. e termina a circa 2 km dell'abitato di Lentini alla quota di 24,07 m s.l.m.. Il tracciato, che ha una lunghezza di 11255 m., dopo l'attraversamento in galleria naturale al margine est del centro abitato di Francofonte si sviluppa in un'area che degrada dolcemente verso una pianura attraversata da due fiumi che vengono superati da due viadotti. In questo lotto sono previste anche opere di sostegno, sottovie, cavalcavia e tombini.

#### C.1.8 Lotto n.8

L'ultimo tratto inizia a circa 2 km ad ovest dell'abitato di Lentini alla quota di 24,07 m s.l.m e termina a circa 4,5 Km dallo svincolo con la SS 114 alla quota di 27,08 m s.l.m. Il tracciato si



sviluppa per 8351 ml. in una zona pianeggiante che prima costeggia il fiume San Leonardo fino alla ferrovia che viene superata con un sottopasso e poi a sua volta l'attraversa con due viadotti. A corredo di queste opere sono previsti dei muri di sostegno.

## D QUADRO GEOLOGICO DI RIFERIMENTO

Il territorio siciliano è frutto di alterne vicende sedimentarie e di complesse vicissitudini tettoniche in un arco temporale che va dal Paleozoico al Quaternario.

L'area di interesse progettuale si inserisce in un settore del Plateau Ibleo caratterizzato da sequenze prevalentemente di natura carbonatica di età Miocenico-Quaternarie, con intercalazioni di sedimenti vulcanici (vulcaniti basiche). Si rilevano inoltre depositi palustri, depositi sabbiosi (terrazzi fluviali) e depositi di origine marina.

Dalle più antiche alle più recenti riscontriamo le seguenti successioni :

- **Successioni terziarie** presentano due sviluppi delle facies differenti dalle aree orientali a quelle occidentali. Essi riflettono ed in parte ereditano condizioni tettonico-sedimentarie già delineatesi dopo le fasi tettoniche cretaceo-eoceniche.

Nelle aree orientali (zona siracusana fino a nord di Augusta) le successioni terziarie presentano lacune variabili degli intervalli paleocenici, eocenici e oligocenici. A Priolo su seamounts vulcanici impostati su linee tettoniche poggiano livelli cretacei passanti lateralmente ad un'alternanza di calcari rosati tipo Scaglia e di megabrecce carbonatiche.

Il Miocene inferiore e medio, dato da calcareniti bioclastiche nella sua parte inferiore e da biolititi algali nei livelli sommitali (F.ne Monti Climiti, nei due Membri di Melilli e Siracusa), poggia in discordanza su tutti i termini del substrato dalle vulcaniti cretacee ai calcari a Lepidocyclina, come si può osservare presso Priolo.

Al di sopra della F.ne Monti Climiti sono presenti vulcaniti tortoniane, in gran parte vulcanoclastiti di origine freatomagmatica e più raramente colate submarine e subaeree. Intercalati alle vulcanoclastiti si trovano due principali livelli di biolititi a coralli depositatisi durante le stasi dell'attività vulcanica supramiocenica. La sedimentazione carbonatica supramiocenica nelle aree orientali è chiusa da calcari a lumachelle con faune oligotipiche e da calcareniti oolitiche di ambiente marino o di transizione del Messiniano inferiore (F.ne M. Carrubba di Grasso & altri, 1982). Nelle zone costiere di M. Tauro, Siracusa e alla Penisola della Maddalena, i calcari inframessiniani poggiano con variazioni di facies rispetto alle aree tipo, direttamente sulle biolititi algali per progressiva chiusura delle vulcanoclastiti della F.ne Carlentini.

Le successioni terziarie presenti nel settore occidentale ibleo iniziano con calcilutiti e marne dell'Oligocene medio e superiore (Membro Leonardo della Formazione Ragusa), affioranti

estesamente nella zona ragusana. Questi livelli passano gradualmente verso l'alto a calcareniti inframioceniche a grossi banchi (Membro Irminio), costituiti da risedimenti carbonatici a volte canalizzati di provenienza da aree orientali e settentrionali, in cui si intercalano sottili livelli di fosforiti di genesi primaria o risedimentati in discontinui livelli conglomeratici. Nelle zone centrali del Plateau Ibleo (Valli del F. Tellaro e del F. Irminio fino alla zona di Vizzini-M. Lauro) le calcareniti del Mb. Irminio passano gradualmente verso l'alto alle marne grigio-azzurre medio e supramioceniche della F.ne Tellaro. Questa formazione verso l'alto e lateralmente passa alla F.ne Palazzolo con una eteropia che interessa livelli sempre più antichi spostandosi verso est, come è osservabile lungo la valle del F. Anapo, fino ad una totale sostituzione della F.ne Tellaro da parte della F.ne Palazzolo.

Verso ovest (area di Vizzini, Licodia E. e Mineo) e a sud (Scoglitti, Scicli e zona di Ispica-Capo Passero) le marne della F.ne Tellaro arrivano al Messiniano inferiore e sono sormontate da calcari lagunari ed evaporiti messiniane. Livelli discontinui di sabbie continentali chiudono la sedimentazione miocenica. Vulcaniti submarine tortoniane si trovano intercalate anche nei livelli alti della F.ne Tellaro e sono correlabili con quelle della F.ne Carlentini affioranti nelle aree orientali anche se presentano facies e modalità effusive diverse, dovute probabilmente alla maggiore profondità dell'originario bacino.

- **Le successioni plioceniche** affiorano generalmente nell'area nord-occidentale del Plateau, dove sono caratterizzate da alternanze di sedimenti e vulcaniti submarine che a luoghi passano verso l'alto a colate subaeree sovrapposte. In corrispondenza della sinclinale di Licodia Eubea si registra la successione pliocenica più completa. Essa inizia con i Trubi del Pliocene inferiore poggiati su evaporiti e brecce calcaree messiniane, alternate a tufiti risedimentate. L'intervallo mediopliocenico è rappresentato da vulcanoclastiti e lave a pillows, potenti alcune centinaia di metri. L'intervallo più alto, suprapliocenico, è dato da biocalcareni e sabbie a Globorotalia inflata. Le calcareniti supraplioceniche affiorano in placconi isolati anche più ad ovest tra Licodia e Grammichele. Ad ovest e a nord di Licodia i Trubi affiorano ancora con discreta continuità laterale. In corrispondenza dell'area M. Lauro-Guffari sabbie organogene a *Strombus coronatus* marcano l'originaria linea di costa del Pliocene inferiore in questo settore.

I Trubi sono presenti anche nella depressione di Scicli, nella pianura tra Ispica e Capo Passero e, in limitati lembi a sud di Siracusa, nella Penisola della Maddalena e a Fontane Bianche. Nella Piana di Vittoria affiorano estesamente lungo la Valle del Fiume Ippari.

- **Successioni del Pliocene medio e superiore** ad ovest di Licodia invece si assottigliano e nella zona di Vizzini-Buccheri sono sostituiti quasi totalmente da coperture di brecce a pillows potenti anche fino ad alcune centinaia di metri. Queste passano verso l'alto a

vere e proprie colate basaltiche subaeree che dagli espandimenti lavici di M. Lauro-M. Pancali-Francofonte-Militello (Cristofolini, 1967; 1969) si estendono fino alle zone costiere fra Lentini e Agnone. Sull'estremo margine settentrionale del Plateau (zona di Scordia-Palagonia) ai prodotti basaltici del Pliocene sup.-Pleistocene inf. si intercalano ripetutamente biocalcareni che datano la chiusura dell'attività vulcanica nell'area iblea.

- **Successioni del Pleistocene inferiore** rappresentati da sedimenti marini sono distribuiti lungo i bordi del Plateau; essi formano una cintura più o meno continua e colmano con spessori anche notevoli ampie depressioni strutturali.

Sulla fascia ionica del Plateau, procedendo da sud verso nord, i sedimenti del Pleistocene inf. sono presenti nella depressione di Noto-Capo Passero, dove sono dati da biocalcareni affioranti probabilmente come lembi residui di una copertura che si estendeva con continuità fino alla falesia costituita a nord del F. Tellaro dalle Montagne d'Avola e a sud dalla faglia Pozzallo-Ispica-Rosolini.

Calcareni organogene bianco-giallastre, presenti nelle parti periferiche della depressione a contatto con i termini più antichi, passano lateralmente e superiormente ad argille a Hyaline baltica che raggiungono spessori massimi fino a 200 metri.

A nord di Siracusa, da Priolo ad Agnone, le biocalcareni poggiano in discordanza su vari termini del substrato, dai calcari ad alghe miocenici (zona di Priolo) alle vulcaniti plioceniche della zona di Agnone-Villasmundo. In corrispondenza del graben di Augusta e di quello più meridionale del F. Mulinello, separato dal primo dall'horst di Petrarò, le calcareniti passano ad argille a Hyaline baltica, che raggiungono spessori di oltre 300 metri nel centro delle depressioni strutturali (Carbone, 1985).

Sul margine settentrionale del Plateau (graben di Scordia-Lentini e zona di Palagonia-Mineo) al passaggio con l'avanfossa, i sedimenti infrapleistocenici presentano appoggi sul substrato e distribuzione di facies che ricalcano quanto osservato nell'area di Siracusa-Augusta. Biocalcareni affioranti nelle zone di alto, discordanti su substrato di varia età, passano rapidamente ad argille in corrispondenza delle zone di cerniera dei graben con clinostratificazioni pronunciate, dovute al controllo esercitato dalla tettonica sinsedimentaria.

Lungo il margine occidentale del Plateau, da Mineo-Grammichele fino a sud di Vittoria, nella zona che fa transizione all'avanfossa, sono presenti estese coperture sabbiose collegate con la regressione infrapleistocenica. Queste sabbie coprono i terreni pleistocenici sottostanti che sono esposti solo nella scarpata antistante la Falda di Gela e più a sud in corrispondenza delle incisioni dei corsi d'acqua principali.

Nella zona Mineo-Grammichele le biocalcareni passano rapidamente a silt e argille batiali (Di Geronimo, 1979) nelle quali si intercalano depositi a carattere torbiditico di slope, con frequenti contatti erosivi che drappeggiano la scarpata di faglia preesistente.

Più a sud nell'area tra Chiaramonte-Comiso e Vittoria, lungo il F. Ippari si osservano i contatti tra i sedimenti infrapleistocenici e il substrato dato dai Trubi con una lacuna del Pliocene medio-sup.. Le calcareniti passano verso l'alto a sedimenti limnici infrapleistocenici che rappresentano i depositi terminali del ciclo infrapleistocenico nell'area. Discontinui lembi di calcareniti a Cladocora coespitosa sono presenti, dislocati a quote diverse, anche nella depressione di Scicli.

- **Sedimenti del Pleistocene medio e superiore** costituiti da discontinui lembi di "panchina" e da terrazzi marini distribuiti in più ordini sono presenti lungo il perimetro costiero ibleo. Con continuità la "panchina" affiora nell'entroterra di Augusta fino a Villasmundo.

Le linee di massima ingressione relative al Pleistocene medio raggiungono i 200 metri nell'entroterra augustano (zona di Villasmundo) e scendono fino a quota 150 nella Valle del F. Anapo e a quota 130 nella zona di Scicli-Marina di Ragusa. Nella Piana di Vittoria tracce di massima ingressione marina sono documentati dalla presenza di paleo-delta i cui lembi più alti sono distribuiti fino a quota 200.

Il Tirreniano, meglio sviluppato nella zona siracusana, consta di tre ordini di terrazzi distribuiti da quota 25 (Carbone et alii, 1982c) fino a circa 8 metri sotto il livello del mare. Lembi di "panchina" tirreniana sono presenti anche al Lido di Noto, nella fascia costiera fra Torre Vendicari e Capo Passero e a ovest di Santa Croce Camerina a Punta Braccetto.

## E INDAGINI IN SITO E DI LABORATORIO

### E.1 Indagini pregresse

A supporto della fase di Progettazione Preliminare sono state eseguite nel 2003 e nel 2007 due campagne di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche realizzate dalla Ditta SICIL DRILL S.r.l. e dalla Soc. GEO S.r.l. per le prove di laboratorio geotecnico.

Le due fasi di indagine sono distinte come:

- fase I svolta dal 23.09.2003 al 03.10.2003 nel tratto compreso fra lo svincolo sulla SS. 114 e lo svincolo Zona Industriale di Lentini;
- fase II svolta nel periodo Febbraio – maggio 2004 lungo tutto il tracciato di progetto, dopo la validazione del programma di indagine da parte dell'ANAS - Direzione Centrale Programmazione e Progettazione.

#### E.1.1 Campagna indagini 2003 – fase I

Nell'area tra l'innesto della SS. 194 con la SS. 114 Orientale Sicula e lo svincolo della Zona Industriale di Lentini, corrispondente alla parte SE della Piana di Catania, è stata condotta una campagna di indagini geognostiche volta a raccogliere le informazioni necessarie sulla natura dei terreni al fine di fornire gli elementi utili ad individuare le tipologie di fondazione per la Progettazione Preliminare.

La campagna di indagini è consistita nell'esecuzione di:

- 04 sondaggi a carotaggio continuo: denominati con le sigle S1 ÷ S4 (di lunghezza pari a 30.0 m);
- 04 prove DMT: DMT 01 ÷ DMT 04 tutte della lunghezza di 24.0 m.

Negli strati incoerenti sono state eseguite prove Standard Penetration Test (SPT) in foro di sondaggio. Negli strati coesivi sono stati prelevati numerosi campioni indisturbati da sottoporre ad analisi di laboratorio. Il rilievo della falda è stato eseguito per mezzo di piezometri a tubo aperto opportunamente installati nei fori di sondaggio.

In questa fase sono state eseguite anche prove di laboratorio geotecnico su n. 11 campioni indisturbati prelevati nei sondaggi.

Nella Tabella E-1 che segue si riporta l'elenco delle prove e indagini eseguite in questa fase rimandando allo specifico elaborato " Indagini pregresse 2003-2004 D-01-T100-GG010-1-RZ-022-0A" per il dettaglio delle stesse.

**Tabella E-1 – Elenco dei sondaggi effettuati e relative prove eseguite durante la campagna indagini 2003.**

Sondaggio	Lotto	Profondità (m)	SPT	Piezometro	Down Hole	Campioni	Prova Permeabilità
S1	Fuori corridoio progetto	30.0	4	1		3	
S2	Fuori corridoio progetto	30.0	2		1	2 ind+2rim	
S3	L8	30.0			1	1	
S4	L8	30.0	2	1		1	

<i>Prova</i>	<i>Lotto</i>	<i>H m</i>
<i>DMT 1</i>	<i>Fuori corridoio progetto</i>	<i>15 - 21</i>
<i>DMT 2</i>	<i>Fuori corridoio progetto</i>	<i>15 - 21</i>
<i>DMT 3</i>	<i>Fuori corridoio progetto</i>	<i>15 - 21</i>
<i>DMT 4</i>	<i>Fuori corridoio progetto</i>	<i>15 - 21</i>

### E.1.2 Campagna indagini 2004 – Fase II

Lungo tutto il corridoio di progetto è stata eseguita una campagna costituita da:

- n. 34 sondaggi a carotaggio continuo, denominati con le sigle S5÷S32 (con lunghezza variabile tra 10 e 45 m);
- n. 12 profili sismici a rifrazione di lunghezza variabile tra 180 e 460 m, denominati con le sigle da T1 a T8 ed eseguiti, con elaborazione tomografica;
- n. 10 prospezioni sismiche Down – Hole in foro di sondaggio.

Negli strati incoerenti sono state eseguite prove Standard Penetration Test (SPT) su foro di sondaggio. Negli strati coesivi sono stati prelevati numerosi campioni indisturbati da sottoporre ad analisi di laboratorio. Il rilievo della falda è stato eseguito per mezzo di piezometri a tubo aperto opportunamente installati nei fori di sondaggio.

In questa fase sono state eseguite anche prove di laboratorio geotecnico su n. 35 campioni indisturbati prelevati nei sondaggi.

Nella seguente Tabella E-2 e Tabella E-3 si riporta un elenco delle prove e delle indagini eseguite in questa fase rimandando allo specifico elaborato "Indagini pregresse D01-T100-GG010-1-RZ-022-0A" per il dettaglio delle stesse.

**Tabella E-2 - Elenco dei sondaggi effettuati e relative prove eseguite durante la campagna indagini 2004.**

Sondaggio	Lotto	Profondità (m)	SPT	Point Load	Piezometro	Down Hole	Campioni	Prova Permeabilità
S5	L8	20.0		3		x		
S5bis	L7	11.0	3					
S6	L7	15.0	2	1		x	3	
S7	L7	45.0	2				2	
S8	L7	41.0	1			x	3	
S8bis	L6	15.0						
S8ter	L6	10.0						
S9	L6	20.5				x		
S10	L6	15.0		2				
S11	L5	35.0				x		
S11bis	L5	26.0	2					
S12	L5	25.0					3	
S13	L5	15.0	2				2	
S14	L4	24.0				x	2 (rim)	
S15	L4	30.0	1			x	3	
S16	L4	40.0	3				3	
S16bis	L3	31.0				x	2	
S17	L3	21.5			x		2	
S18	L3	26.0	2				3	
S18bis	L3	20.0	2					
S19	L2	15.0					2 (rim)	
S20	L1	25.0	2				3	
S21	L1	15.0	2				3	
S22	L1	15.0				x	2	
S23	L1	35.0		2		x		
S24	L1	20.0			x			Prova Lugeon
S26	L1	25.0			x			
S28	L1	25.0		2	x			
S28bis	L1	25.0			x		2	Prova Lugeon
S29	L1	15.0			x			
S29bis	L1	15.0			x			



S30	L1	20.0		1			2	
S31	L1	10.0		2	x			
S32	L1	10.0		2	x			

**Tabella E-3 – Stese sismiche eseguite nella campagna indagini 2004.**

<i>Stesa sismica</i>	<i>Lotto</i>	<i>Lunghezza (m)</i>
<i>T8</i>	<i>L1</i>	<i>500</i>
<i>T7</i>	<i>L2/L1</i>	<i>550</i>
<i>T6 - T6b</i>	<i>L3</i>	<i>450</i>
<i>T5</i>	<i>L4</i>	<i>450</i>
<i>T4 – T4 b</i>	<i>L5</i>	<i>500</i>
<i>T3</i>	<i>L6</i>	<i>450</i>
<i>T2 - T2 b</i>	<i>L6</i>	<i>550</i>
<i>T1 – T1 b</i>	<i>L7</i>	<i>550</i>

## E.2 Indagini eseguite per il progetto definitivo

Nel periodo compreso fra dicembre 2012 e aprile 2013 è stata eseguita una ampia campagna di indagini geognostiche geofisiche e geotecniche, a supporto della fase di Progettazione Definitiva, costituita da:

- n. 202 sondaggi geognostici in buona parte attrezzati con piezometri (118), tubi per prove Down Hole (46) e inclinometri (20);
- n. 703 prove penetrometriche standard SPT in foro di sondaggio;
- n. 258 prelievi di campioni indisturbati in foro di sondaggio;
- n. 198 prelievi di campioni lapidei da cassetta catalogatrice;
- n. 348 prelievi di campioni rimaneggiati da cassetta catalogatrice;
- n. 46 prove di permeabilità in foro;
- n. 24 prove pressiometriche in foro;
- n. 1 prova dilatometrica in foro;
- n. 72 prelievi di campioni in alvei fluviali;
- n. 185 pozzetti geognostici;
- n. 69 prove di carico su piastra in pozzetto;
- n. 247 prelievi di campioni rimaneggiati in pozzetto geognostici;

- prove di laboratorio geotecnico e fisico su tutti i campioni indisturbati, rimaneggiati e litoidi prelevati;
- n. 166 stendimenti di sismica a rifrazione per un totale di 19090 ml;
- n. 97 indagini geofisiche tipo MASW.

Il carotaggio, l'installazione delle strumentazioni, l'esecuzione delle prove in situ e il prelievo dei campioni sono stati eseguiti in ottemperanza alle normative di riferimento elencate di seguito:

- AGI: "Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche". Giugno 1977;
- "Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione" D.M. 11.03.1988;
- Norme standard previste per l'esecuzione delle prove in situ e in laboratorio (ASTM, AASHO, AASHTO, AGI);
- Norme Francaise NF P94-110;
- UNI EN 1997.2.2007 Eurocodice 7 parte 2 – Indagini e prove nel sottosuolo;
- UNI EN ISO 22476 3 Indagini e prove geotecniche in situ;
- "Prescrizioni tecniche" SILEC S.p.A.;
- ANISIG: Modalità tecnologiche per l'esecuzione di lavori di indagini geognostiche;
- ISRM - Commission on Standardization of Laboratory and Field Tests (1978) - Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses.

Le indagini sono state eseguite secondo tre fasi di priorità (Fase 1-2-3):

- la priorità di Fase 1 ha permesso di coprire tutte le aree interessate dalle principali opere d'arte (gallerie, viadotti, trincee, ecc.) e da potenziali dissesti idrogeologici e geomorfologici;
- le Fasi 2 e 3 hanno permesso di coprire con continuità tutto il corridoio di progetto.

La tempistica della attuazione delle indagini è stata ovviamente condizionata dalla acquisizione di tutte le autorizzazioni da parte sia di enti pubblici (Anas, Province, Comuni, Uffici della Forestale, ecc.) che dei privati proprietari dei terreni in cui è stato necessario accedere per l'esecuzione delle indagini. Soltanto una piccola parte delle indagini previste non è stata eseguita per impossibilità di ottenimento di autorizzazione all'accesso su aree private (campi coltivati o privati in contenzioso con Enti pubblici).

L'indagine è stata svolta al fine di conoscere puntualmente e con buona attendibilità le caratteristiche litologiche, geotecniche, geomeccaniche, idrogeologiche e geostrutturali degli ammassi direttamente interessati dal tracciato e dalle opere d'arte in esso previste (viadotti, gallerie, cavalcavia e sottovia, rilevati, trincee, aree in dissesto ecc.).

La programmazione, l'esecuzione e l'interpretazione delle indagini ha costituito una delle fasi fondamentali della progettazione.

Le indagini hanno consentito di integrare le informazioni provenienti dalle attività di rilevamento geologico di campagna e di affinare il Modello Geologico ricostruito per il Progetto Preliminare. Tale attività ha confermato l'attendibilità del Progetto Preliminare che è però stato adeguato alle più approfondite esigenze della Progettazione Definitiva.

Tutti i sondaggi geognostici sono stati eseguiti a carotaggio continuo al fine di ricostruire in maniera dettagliata l'assetto stratigrafico lungo tutto l'asse di progetto. La quasi totalità dei sondaggi è stata equipaggiata con strumentazione geotecnica che, più in dettaglio, consiste in n. 118 piezometri per il controllo ed il monitoraggio della falda, n. 20 inclinometri per il controllo ed il monitoraggio delle aree interessate da fenomeni di dissesto reali o potenziali e n. 46 tubi per l'esecuzione di prospezioni sismiche in foro, tipo Down Hole, finalizzate alla classificazione sismica dei siti e dei suoli in base alle vigenti normative sismiche (OPCM 3274/2003, NTC 2008 e succ. agg.).

In tutti i sondaggi sono state eseguite prove geotecniche in foro per la definizione delle caratteristiche fisico meccaniche in sito (n. 703 prove penetrometriche standard, n. 24 prove pressiometriche e n. 1 prova dilatometrica). La caratterizzazione dei litotipi è stata, inoltre, approfondita prelevando nei sondaggi n. 248 campioni indisturbati, n. 358 campioni rimaneggiati e n. 198 campioni lapidei successivamente sottoposti a prove di laboratorio geotecnico.

Al fine di definire le caratteristiche chimiche di terre e acque sono state eseguite serie complete di analisi chimiche su n. 67 campioni di terreno prelevati in sondaggio geognostico, n. 64 campioni di terreno prelevati in pozzetto geognostico e n. 7 campioni di acque prelevati in 6 piezometri e in una sorgente.

Per valutare le caratteristiche dei sedimenti trasportati dalle aste fluviali sono stati prelevati n. 72 campioni di materiale in alveo successivamente sottoposti, in laboratorio geotecnico, a valutazione di densità naturale e granulometria.

Le caratteristiche di permeabilità in sito dei litotipi sono state stimate eseguendo n. 45 prove di permeabilità in foro di sondaggio (prove Lefranc e prove Lugeon).

L'assetto stratigrafico è stato approfondito con la realizzazione di n. 166 stendimenti di sismica a rifrazione (19090 metri lineari) mirati anche alla ricostruzione dello spessore delle coltri detritiche e di copertura oltre che alla definizione della qualità del substrato.

La classificazione sismica dei siti e dei suoli ottenuta con le prospezioni Down Hole in foro di sondaggio è stata integrata ed approfondita con n. 97 prospezioni sismiche tipo Masw.

La definizione dello spessore delle coltri di copertura ai fini della definizione degli spessori delle bonifiche è stata realizzata mediante n. 255 pozzetti geognostici eseguiti con escavatore meccanico. All'interno di alcuni pozzetti, eseguiti in corrispondenza dei tratti di progetto in rilevato, sono state realizzate n. 69 prove di carico su piastra per la definizione delle caratteristiche di portanza dei terreni presenti alla quota di posa.

All'interno dei pozzetti sono stati prelevati numerosi campioni di terreno (n. 247) allo scopo di definire le caratteristiche dei litotipi per ottenere utili informazioni nel calcolo del bilancio delle materie.

In generale, l'insieme delle indagini eseguite hanno consentito di acquisire tutti gli elementi necessari per consentire una corretta caratterizzazione geotecnica dei terreni.

Nel complesso sono stati raggiunti gli obiettivi prefissati dalla programmata indagine, nonostante la difficoltà agli accessi ai punti di indagine, spesso privati.

Per evitare inutili rischi di interruzione nell'erogazione di importanti servizi, per la messa allo scoperto dei sottoservizi stessi e per consentire l'avvio dei lavori in condizioni di sicurezza, in accordo con la DL, si è proceduto all'esecuzione, in corrispondenza di tutti i punti di sondaggio, di un prescavo eseguito con utensili a mano fino alla profondità di m 1,5 dal p.c.

L'ubicazione e la quota di ciascun punto di indagine è stata determinata mediante rilevazione delle coordinate piane WGS84 eseguite tramite rilevazione con sistema GPS.

Per quanto riguarda il dettaglio della campagna di indagini geognostiche si rimanda ai sottoelencati allegati:

- Indagini Geognostiche
  - Relazione tecnico descrittiva (D01-T100-GG010-1-RZ-001-0A)
  - Sondaggi geognostici (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-002-0A)
  - Prove Spt (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-003-0A)
  - Prove pressiometriche e dilatometriche (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-004-0A);

- Prove Lefranc (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-005-0A);
- Prove Lugeon (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-006-0A);
- Piezometri e rilievi di falda (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-007-0A)
- Inclinatori e letture inclinometriche (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-008-0A)
- Pozzetti esplorativi (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-009-0A)
- Prove di carico su piastra (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-010-0A)
- Prelievi di campioni in alveo (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-011-0A)
- Indagini Geofisiche
  - Rapporto interpretativo (D01-T100-GG010-1-RZ-012-0A)
  - Planimetrie ubicazione – All.A (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-013-0A)
  - Prospezioni sismiche a rifrazione – All. B1 e B2 (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-014-0A)
  - Prospezioni sismiche Masw - All. C1 e C2 (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-015-0A)
  - Prospezioni Down Hole – All. D (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-016-0A)
- Prove di Laboratorio
  - Relazione descrittiva sulle analisi eseguite (D01-T100-GG010-1-RZ-017-0A)
  - Certificati delle analisi relative ai campioni prelevati nei sondaggi (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-018-0A)
  - Certificati delle analisi relative ai campioni prelevati nei pozzetti (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-019-0A)
  - Certificati delle analisi relative ai campioni prelevati in alveo (D01-T1Ln-GG010-1-RZ-020-0A)
  - Certificati delle analisi sulle pavimentazioni stradali e sulle acque (D01-T100-GG010-1-RZ-021-0A)

Nelle tabelle che seguono (Tabella E-4, Tabella E-5 e Tabella E-6) si riporta un elenco sintetico delle indagini geognostiche eseguite in sito con le principali informazioni (sigla, opera d'arte, profondità, tipologia prove eseguite, ecc).

**Tabella E-4 – Elenco sintetico delle indagini eseguite**

Sondaggio	Lotto/Opera	Profondità (m)	Strumentazione: Piezometro (P) Inclinometro (I) Down Hole (DH)	Campioni Indisturbati	Campioni Rimaneggiati	Campioni Lapidei	SPT	Lugeon	Lefranc	Pressiometriche
S001	L1-Svincolo	20				3				
S002	L1-Trincea	20	P			3				
S005	L1-Trincea	30	DH	1	5		1			
S006	L1-Linea	20		1	4		2			
S006bis	L1-Linea	20	P	1	2		1			
S007	L1-Cavalcavia	20	P		1	2	2			
S008	L1-Detriti	20	I		2	2	3			
S009	L1-Detriti	30	I		2	1	2			
S010	L1-Detriti	20	P			3	2			
S011	L1-Detriti	30	DH		3		4	1		
S012	L1-Rilevato	30	DH		3	1	2			
S013	L1-Rilevato	30	P	1	2	1	1			
S014	L1-Viadotto 1	30	P			5	2	1		
S015	L1-Viadotto 1	30	DH		4	1	5			
S017	L1-Trincea	25			5		2			
S017bis	L1	30		2	1	1	7			
S018	L1-Trincea	15	P	1	5		3			
S021	L1-Muro di sostegno	20	P		4		4			
S022	L1-Trincea	30	P			4				
S024	L1-Rilevato-Muro di sostegno	20	P		3		2			
S025	L1-Muro di sottoscarpa-Rilevato	20			1	2	3			
S029	L1-Rilevato-Trincea	30	P		1	3	1		1	
S031	L1-Rilevato	20	P	1	2		4			
S032	L1-Rilevato	20	P		4		2			
S033	L1-Trincea	20		1	2		2			
S034	L1-Rilevato-Trincea	30	DH		2	1	2			
S035	L1-Muro di sostegno	15	P		1	1	2			
S036	L1-Sottovia-Rilevato	30	DH	1	3		5		1	
S037	L1-Viabilità secondaria	20	P		4		2			
S37bis	L1	7		2	1		2			

Sondaggio	Lotto/Opera	Profondità (m)	Strumentazione: Piezometro (P) Inclinometro (I) Down Hole (DH)	Campioni Indisturbati	Campioni Rimaneggiati	Campioni Lapidei	SPT	Lugeon	Lefranc	Pressiometriche
S039	L1-Trincea	15	P		2	1	2			1
S041	L1-Trincea	30	DH		3	1	3			
S042	L1	20	P		2	1	1			
S043	L2-Cavalcavia	20	P		3		4			
S044	L2-Cavalcavia	30	DH	1	3		5			
S046	L2-Cavalcavia	20	P	1	3		4			
S048	L2-Tombino- Rilevato	35	P	1	3		5			
S049	L2-Paratia-Trincea	20	P	1	2		4			1
S051	L2-Tombino- Rilevato	30	DH	1	3		5		1	
S053	L2-Cavalcavia	35	P	2	4		5			
S054	L2-Tombino- Rilevato	20	P	1	2		4			
S056	L2-Trincea	20	P		1	3	2	1		
S059	L2-Cavalcavia	30	DH	1	3		5			
S060	L2-Tombino- Rilevato	35	P		1	3	3			
S061	L2-Tombino- Rilevato	20	P	1	3		4			
S063	L2-Tombino- Trincea	30	DH	3	1		5			
S064	L2-Trincea	20	P	2			4			1
S065	L2-Cavalcavia	30	P		1		4			
S066	L2-Tombino- Rilevato	20			2		4			
S068	L3-Cavalcavia- Svincolo	30	DH	1	2	1	4		1	
S068bis	L3-Cavalcavia- Svincolo	40	P		6	2	6			
S069	L3-Tombino- Rilevato	20		1	4		4			
S070	L3-Cavalcavia	30	DH	2	1		5			
S070bis	L3-Muro di controripa	20	P	2	1		3			1
S071	L3-Detriti	30	I	3	1		5			
S072	L3-Detriti	30	P	0	4	1	5			
S073	L3-Detriti	30	I	3			5			
S074	L3-Cavalcavia- Trincea	30	DH	2	1		5			
S075	L3-Trincea-vicino Frana	20	P	1	3		3			
S076	L3-Tombino- Rilevato	20	P	3	2		5			
S077	L3-Cavalcavia	30	DH	3			5		1	

Sondaggio	Lotto/Opera	Profondità (m)	Strumentazione: Piezometro (P) Inclinometro (I) Down Hole (DH)	Campioni Indisturbati	Campioni Rimaneggiati	Campioni Lapidei	SPT	Lugeon	Lefranc	Pressiometriche
S078	L3-Viadotto 4	30	P	3			4			
S078bis	L3-Piezometro	35	P	3	1		6			
S079	L3-Viadotto 4	40	P	3	1		5		1	
S080	L3-Viadotto 4	30	DH	3			5			
S081	L3-Rilevato	20	P	2	3		4			
S082	L3-Rilevato	20	P	3	1		4			
S083	L3-Cavalcavia	35	DH	3	2		6			
S084	L3-Rilevato	20	P	3			4			
S085	L3-Rilevato	20	P	2	3		4			
S086	L3-Rilevato	15	P	1	1		3			
S087	L3-Frana-Paratia	40	I	3			4			
S089	L3-Rilevato	30	P	2		1	5			
S090	L3	40	I	1		2	5			
S091	L3-Frana	40	I	2		2	5			
S092	L3-Muro di sottoscarpa	30	P	1		2	3			
S093	L3-Rilevato	30	DH		2	3	5			
S094	L3-Rilevato	30	I	2		2	4			
S097	L3-Viadotto 6	30	DH	0		3	1	1		1
S097bis	L3-Viadotto 6	30	P	1		2	1			
S098	L3-Viadotto 6	30	P	0		3	1			
S099	L3-Viadotto 6	30	DH	1		2	1	1		
S100	L3-Rilevato	20	P	1		2	4			
S101	V L3- Viadotto 7	30	DH	1	1	1	1	1		
S102	L3-Viadotto 7- Frana	30	P	3	1		5			
S102bis	L3-Viadotto 7- Frana	30	I	3	1		5			
S103	L3-Viadotto 7	30	P	3	1		5			
S104	L3-Trincea	20	P			3	2			
S105	L3-Trincea- Rilevato	30	DH	2	2	1	4			
S105bis	L3-Frana	20	I	3			4			
S106	L4-Cavalcavia	35	P	3	5		5			
S107	L4-Paratia	30	DH		5	1	4	1	2	2
S108	L4-Paratia	60	P	1	3	2	5	2	1	3



Sondaggio	Lotto/Opera	Profondità (m)	Strumentazione: Piezometro (P) Inclinometro (I) Down Hole (DH)	Campioni Indisturbati	Campioni Rimaneggiati	Campioni Lapidei	SPT	Lugeon	Lefranc	Pressiometriche
S109	L4	30	P		4		5		3	3
S110	L4	30	P	2	2		5			1
S110bis	L4-Rilevato	15	I	2			3			
S111	L4	30	I	3			5			
S112	L4-Trincea	30	DH	2	4		5			
S114	L4-Tombino- Rilevato	20	P	2	2		5			
S117	L4-Muro di sostegno	30	I	3			5		1	1
S118	L4-Viadotto 8- Frana	40	P	2	1	1	6			
S119	L4-Viadotto 8- Frana	30	I	3	1		5			
S120	L4-Viadotto 8- Frana	30	I	1	3		4			
S124	L4-Frana	30	I	3			5			
S125	L4-Viadotto 9- Frana	30	DH	3			5		1	
S126	L4-Viadotto 9	35	P	3	2		6			
S127	L4-Viadotto 9	60	P	3		1	3			
S129	L4-Frana	30	I	1	1	2	3		1	1
S130	L4-Sottovia	30	P	3			5			
S132	L5-Sottovia- Svincolo	30	P	3			5			
S134	L5-Viadotto 10- Frana	30	P			5	3			
S134bis	L5-Cavalcavia	35	P		2	2	2			
S134ter	L5	10	I			2	1			
S136	L5-Viadotto 10	40	P		4	1	4			
S137	L5-Sottovia	20	P	2	3		4			
S138	L5-Trincea	25	P		3		5			
S139	L5-vicino Frana	30	DH	1	2		5			
S140	L5-Muro di sottoscarpa	35	P	1	4		6		1	1
S140bis	L5-Muro di sottoscarpa	35	P	1	4	1	4	1		
S141	L5-Muro di sottoscarpa	30	P	2	3	1	4			
S143	L5-Paratia-vicino Frana	20	P	3	5		4			
S145	L5-Sottovia	20	P			3				
S146	L5-Sottovia	30	DH	1	3		5			
S147	L5-Rilevato	20	P		3		2			
S149	L5-Paratia	30	P		3		2			

Sondaggio	Lotto/Opera	Profondità (m)	Strumentazione: Piezometro (P) Inclinometro (I) Down Hole (DH)	Campioni Indisturbati	Campioni Rimaneggiati	Campioni Lapidei	SPT	Lugeon	Lefranc	Pressiometriche
S152	L5-Rilevato	15		1	2		2			
S153	L5-Linea	30	DH	1	2		2			
S154	L6-Sottovia- Svincolo	20	P	1	2		4			
S155	L6-Rilevato	15	P		3		2			
S155 bis	L6-Fabbricati	15			3		2			
S156	L6-Trincea	15			3		2			
S157	L6-Trincea	15	P		3	1	3			
S157bis	L6-Cavalcavia	30	DH		4	4	2			
S158	L6-Trincea- Rilevato	25	P		6	1	2			
S159	L6-Rilevato	20	P	1	2		2			
S160	L6-Sottovia	30	DH	1	1	3	2			
S161	L6-Rilevato	20	P		2	1	2		1	
S164	L6-Rilevato	30				4	1			
S166	L6-Trincea- Rilevato	30	DH			4		1		
S167	L6-Trincea- Rilevato	30	P			4				
S168	L6-Rilevato	15	P			4	1			
S168bis	L6-Rilevato- sottovia	20	P	1	1	4	1			
S169	L6-Sottovia	20	P			4				
S170	L6-Rilevato	15			2		2			
S171	L6-Rilevato	15	P		3	2	2			
S172	L6-Trincea	30	DH		1	5	1			
S173	L6-Rilevato	15	P		2	3	2		1	
S174	L6-Sottovia	30	DH		1	3	2			
S175	L6-Rilevato-Muro di sostegno	15	P			4	3			
S175bis	L6-Cavalcavia	20	P		2	3	1			
S176	L6-Rilevato	20	P			4				
S177	L6-Trincea	35	P		3	1	4			
S178	L7-Cavalcavia	40	DH		2	3	5			
S179	L7-Trincea- Rilevato	15	P		2	1	3			
S180	L7-Galleria- Francofonte	30	P		2	4	3	2	1	
S181	L7-Galleria- Francofonte	50	DH	1	3	2	5	1	2	1
S182	L7-Galleria- Francofonte	50	P	3	2	2	4	1	2	3

Sondaggio	Lotto/Opera	Profondità (m)	Strumentazione: Piezometro (P) Inclinometro (I) Down Hole (DH)	Campioni Indisturbati	Campioni Rimaneggiati	Campioni Lapidei	SPT	Lugeon	Lefranc	Pressiometriche
S183	L7-Galleria-Francofonte	60	P	3	3	2	5	1	2	3
S184	L7-Galleria-Francofonte	30	DH	3	3		5		3	
S185	L7-Galleria-Frana	30	I	4	2	2	5			
S186	L7-Frana	30	I	2	2	2	3			
S188	L7-Rilevato	20			2		4			
S189	L7-Rilevato	35	P	3	1	1	6			
S190	L7-Trincea-Cavalcavia	30	DH	2	3		4			
S193	L7-Rilevato	15	P	1	4		4			
S194	L7-Rilevato	15	P	2			2			
S198	L7-Cavalcavia	30	DH	3	3		5			
S199	L7-LInea	15	P	2			3			
S200	L7-Tombino-Rilevato	15	P	2	2		3			
S201	L7-Cavalcavia	35	DH	3	1		6			
S202	L7-Viadotto 17	30	P	3			5			
S203	L7-Viadotto 17	30	DH	3			5		1	
S204	L7-Viadotto 17	30	P	3			5			
S205	L7-Attraversamento idraulico	15	P	2	1		4			
S206	L7-Tombino-Rilevato	15		2			3			
S207	L7 -Tombino	15	P	2	1		3			
S208	L8-Sottovia-Rilevato	35	DH	3	1		6			
S208bis	L8-Sottovia-Svincolo	20	P	2			4			
S210	L8-Ponte 18	30	P	3	1		5			
S211	L8-Ponte 18-Muro	30	DH	3	1		5			
S212	L8-Rilevato	15	P	2			3			
S213	L8-Sottovia	30	P	3			5			
S214	L8-Rilevato	15	P	2			3			
S215	L8-Cavalcavia	30	DH	3			5			
S216	L8-Tombino-Rilevato	20	P		3		4			
S217	L8-Cavalcavia	30	P	1	2		5			
S218	L8-Attraversamento FF.SS	30	DH		3	1	3			
S219	L8-Trincea-Sottovia	35	P	1	3		5			

Sondaggio	Lotto/Opera	Profondità (m)	Strumentazione: Piezometro (P) Inclinometro (I) Down Hole (DH)	Campioni Indisturbati	Campioni Rimaneggiati	Campioni Lapidei	SPT	Lugeon	Lefranc	Pressiometriche
S220	L8-Rilevato	20	P	3	2		4			1
S220bis	L8-Cavalcavia- Svincolo	40	DH	3	3	4	5			
S220ter	L8-Svincolo	20	P	2	2	4	4			
S221	L8-Rilevato-Muro di sostegno	20		1	1	4	2			
S222	L8-Muro di sostegno	15	P	3	1		4			
S223	L8-Sottovia	20	P	2	2		4			
S224	L8-Viadotto 19	40	P	2	3		6			
S225	L8-Viadotto 19	40	DH	4	1		6		1	
S226	L8-Viadotto 19	40	P		1	4	3			
S227	L8-Viadotto 19	20	P			4				
S228	L8-Rilevato	15	P	2			3			
S229	L8-Rilevato	15	P	1	1		3			
S230	L8-Rilevato	20	P		3		3			
S231	L8-Rilevato	15			1	1	3			
<b>TOTALE</b>		<b>5342</b>		<b>258</b>	<b>348</b>	<b>198</b>	<b>703</b>	<b>16</b>	<b>30</b>	<b>25</b>

**Tabella E-5 - Elenco dei pozzetti eseguiti**

Pozzetto	Lotto	Profondità (m)	Campioni rimaneggiati	Prove di carico su piastra
P001a	L1	3	2	1
P001b	L1	1	1	
P001c	L1	1,5	1	
P001	L1	0,7	1	
P004	L1	1	1	
P005	L1	3	2	1
P010	L1	3	1	1
P014	L1	2,2	2	
P015	L1	1,3	1	
P016	L1	1,1	2	
P017	L1	2	2	
P019	L1	0,8	1	
P021	L1	1,9	2	1

Pozzetto	Lotto	Profondità (m)	Campioni rimaneggiati	Prove di carico su piastra
P023	L1	1	1	
P024	L1	0,6	1	
P025	L1	2	1	
P027	L1	2,5	2	
P029	L1	0,4	1	
P031	L1	0,7	1	
P032	L1	0,8	1	
P033	L1	2	2	
P038	L1	1,2	1	
P039	L1	2	2	1
P040	L1	3	1	
P042	L1	1,5	2	1
P043	L1	0,5	1	
P044	L1	1,5	1	
P050	L1	3	2	
P051	L1	2,2	1	
P052	L1	1,5	1	
P053	L1	1,8	1	
P054	L1	3	1	
P055	L1	0,8	1	
P055a	L1	3	2	1
P055b	L2	2,3	2	1
P056	L2	3,2	1	
P057	L2	3,5	2	1
P060	L2	3	2	1
P061bis	L2	1,2	1	
P062	L2	3	1	1
P064	L2	3,5	1	
P065	L2	2,2	1	1
P067	L2	2,2	2	1
P069	L2	3,5	2	1
P070	L2	3,2	2	
P071	L2	3,5	2	1
P071a	L2	3,5	2	
P071b	L2	1,2	1	
P072	L2	2,1	1	
P072a	L3	3,3	2	1
P072b	L3	3	2	1
P073	L3	3	1	1
P073a	L3	3,2	2	1

Pozzetto	Lotto	Profondità (m)	Campioni rimaneggiati	Prove di carico su piastra
P074	L3	3,5	3	1
P078	L3	3,5	1	
P079	L3	2,5	1	
P081	L3	3	2	
P084	L3	2,2	1	1
P085	L3	3	1	1
P087	L3	1,8	1	1
P088	L3	2,5	1	1
P090	L3	2,5	1	1
P090a	L3	3,5	2	
P091	L3	2	2	1
P092	L3	2	1	1
P095	L3	2,5	1	
P096	L3	3	1	1
P097	L4	2,1	1	
P099	L4	3,5	1	
P102	L4	3	1	1
P103	L4	3,2	1	
P104	L4	3,3	1	
P111	L4	3	1	
P113	L4	3	2	1
P114	L4	3	2	1
P115	L5	3	3	1
P116a	L5	3	2	1
P116	L5	3,5	2	
P117	L5	2,5	2	1
P118	L5	3	1	
P119	L5	1,3	2	
P120	L5	2,5	1	
P121	L5	3,5	1	
P122	L5	3	2	1
P123	L5	3	2	
P124	L5	3	2	1
P129	L5	1,8	1	
P130	L5	3	2	1
P131	L5	2,2	1	1
P132	L5	1,7	2	1
P133	L5	0,5	1	
P134	L5	3	2	
P135	L5	2,3	1	1

Pozzetto	Lotto	Profondità (m)	Campioni rimaneggiati	Prove di carico su piastra
P135a	L5	2,5	1	1
P136	L5	2	1	1
P137	L5	1,2	1	
P138	L5	1,5	1	
P139	L5	0,4	1	
P140	L5	1,8	1	
P142	L5	1,8	1	
P143	L5	2,2	1	
P144	L5	2,3	2	1
P145	L5	2,1	2	
P146	L6	2,5	1	1
P146a	L6	2,5	2	1
P147a	L6	1,4	1	
P148	L6	1,3	1	
P149	L6	2,2	1	
P151	L6	1,2	1	
P153	L6	1,5	1	
P158	L6	1,2	1	
P159	L6	1,5	1	
P160	L6	1,5	1	
P161	L6	0,6	1	
P170	L6	1,5	1	
P172	L6	2,5	1	1
P174	L6	1,4	1	
P178	L6	1,4	1	
P179	L6	2,3	2	
P186	L6	2,1	2	1
P191	L6	1,1	1	
P191a	L6	2	2	
P192a	L6	2	1	
P192b	L6	2	2	
P194	L6	1,5	1	
P195a	L6	0,9	1	
P196	L6	0,9	1	
P200	L7	2	1	
P200a	L7	2,5	1	
P202	L7	0,5	1	
P203	L7	0,9	1	
P205	L7	1	1	1
P207	L7	0,4	1	

Pozzetto	Lotto	Profondità (m)	Campioni rimaneggiati	Prove di carico su piastra
P210	L7	2	1	1
P211	L7	2	2	
P212	L7	3,3	2	1
P213	L7	2	1	
P214b	L7	2,5	1	
P216	L7	2,2	1	
P218	L7	2,3	1	
P220	L7	2,5	1	
P230	L7	2,1	2	
P231	L7	2,5	1	1
P232	L7	2,5	1	
P234	L7	3	2	
P242	L7	2,2	1	
P246	L7	2,5	1	
P248	L7	1,7	2	1
P249	L7	2	1	1
P250	L7	2,5	1	
P254	L7	2	1	
P255	L7	2,5	1	1
P256	L8	3	1	
P257	L8	2,5	2	1
P258	L8	2,5	1	1
P258a	L8	2,5	1	1
P259	L8	2	1	
P260	L8	2,5	3	1
P262	L8	3	1	
P263	L8	3	1	1
P264	L8	2,7	1	
P265	L8	2,7	1	1
P267	L8	3,1	1	
P270	L8	2,3	1	
P271	L8	2,6	1	1
P274	L8	2	1	1
P276	L8	2,5	1	
P277	L8	2,5	1	1
P278	L8	2	2	
P280	L8	2,5	2	1
P282	L8	2,5	2	
P283	L8	1,5	1	
P284	L8	1	1	



Pozzetto	Lotto	Profondità (m)	Campioni rimaneggiati	Prove di carico su piastra
P285	L8	2,5	2	1
P286	L8	3	1	
P288	L8	2,5	1	1
P289	L8	2,5	1	
P291	L8	2,5	1	1
P292	L8	2,2	2	
P293	L8	2,3	1	1
P295	L8	2,3	1	
P297	L8	0,5	1	
P298	L8	2,2	1	
P299	L8	2	1	1
P300	L8	1,7	1	
<b>TOT. 185 POZZETTI</b>	<b>TOT. 185 POZZETTI</b>	<b>404</b>	<b>247</b>	<b>69</b>

Tabella E-6 – Prelievi sedimenti in alveo

Corso d'acqua	Sigla campioni	Fondo alveo / Sponde
Vallone delle coste	G01-01	F
	G01-02	F
	G01-03	S
Cava San Marco	G02-01	F
	G02-02	F
F. Contrada Cassarella	G03-01	F
	G03-02	F
F. Contrada Coffa	G04-01	F
	G04-02	F
T. Para	G05-01	F
	G05-02	S
	G05-03	F
	G05-04	S
F. Contrada Chiavola	G06-01	F
	G06-02	F
T. Sugarello	G07-01	F
	G07-02	F
T. Sperlinga	G08-01	F
	G08-02	F

F. Contrada Barone	G09-01	F
	G09-02	F

Corso d'acqua	Sigla campioni	Fondo alveo / Sponde
F. Acate (Dirillo)	G10-01	S
	G10-02	S
	G10-03	F
	G10-04	S
	G10-05	S
	G10-06	F
	G10-07	S
F. Affl. Fiume Dirillo	G11-01	F
	G11-02	F
F. Affl. Torr. Fiumicello	G12-01	F
	G12-02	F
F. Affl. Torr. Fiumicello	G13-01	F
F. Affl. Torr. Fiumicello	G14-01	F
	G14-02	F

T. Fiumicello	G15-01	F
	G15-02	F
	G15-03	S
	G15-04	F
	G15-05	S
F. Affl. T. Canale	G16-01	F
T. Canale	G17-01	F
	G17-02	S
	G17-03	S
	G17-04	F

F. Contrada Canneddazza	G21-01	F
	G21-02	F

Corso d'acqua	Sigla campioni	Fondo alveo / Sponde
F. Barbaianni	G18-01	S
	G18-02	S
	G18-03	F
	G18-04	F
	G18-05	S
Fosso S.N.	G19-01	F
T. Margi	G20-01	S
	G20-02	S
	G20-03	F
	G20-04	S
	G20-05	S

Corso d'acqua	Sigla campioni	Fondo alveo / Sponde
F. Buonafede	G22-01	F
	G22-02	S
	G22-03	S
	G22-04	F
C. Lentini	G23-01	F
	G23-02	F
Fosso Ex Molino Riceputo	G24-01	F
F. San Leonardo	G25-01	S
	G25-02	F
	G25-03	S
	G25-04	S
	G25-05	F
	G25-06	S
Fosso Masseria Privitera	G26-01	F
		<b>TOTALE 72 PRELIEVI</b>

Le analisi geofisiche Masw e Down Hole hanno consentito di valutare la classificazione sismica dei siti e dei suoli. Nelle seguenti Tabella E-7 e Tabella E-8 si elencano le indagini eseguite e la relativa categoria sismica di riferimento.

**Tabella E-7 – Tabella riassuntiva delle MASW eseguite e relativa categoria sismica secondo le NTC/08 e le Linee guida della Protezione Civile**

IDENTIFICATIVO	Lotto	Vs30 (m/s)	Classe di Suolo NTC/08	Classe di Suolo Linee Guida P.C.
<b>M001</b>	L1	1047	A	A
<b>M001bis</b>	L1	974	A	A
<b>M002</b>	L1	437	B	B

IDENTIFICATIVO	Lotto	Vs30 (m/s)	Classe di Suolo NTC/08	Classe di Suolo Linee Guida P.C.
M002bis	L1	743	B	B
M003	L1	524	S2	B
M004	L1	731	S2	B
M005	L1	682	B	B
M005bis	L1	704	S2	B
M006	L1	774	S2	B
M008	L1	885	A	A
M009	L1	461	B	B
M010	L1	603	S2	B
M011	L1	593	B	B
M012	L1	391	S2	B / C *(1)
M013	L1	720	B	B
M014	L2	358	S2	C
M014bis	L2	391	B	B
M015	L2	1077	A	A
M015bis	L2	498	S2	S2
M016	L3	381	B	B
M017	L3	387	S2	S2 / B *(2)
M019	L3	355	C	C
M020	L3	428	B	B
M021	L3	557	B	B
M022	L3	537	B	B
M023	L3	587	B	B
M024	L3	562	B	B
M025	L3	712	B	B
M026	L3	527	B	B
M027	L3	545	B	B
M028	L3	536	B	B
M030	L3	528	B	B
M031	L3	585	B	B
M032	L3	498	B	B
M033	L3	538	B	B
M034	L3	518	B	B
M035	L3	382	B	B
M036	L4	695	S2	B
M037	L4	584	B	B
M038	L4	368	B	B

IDENTIFICATIVO	Lotto	Vs30 (m/s)	Classe di Suolo NTC/08	Classe di Suolo Linee Guida P.C.
M039	L4	471	B	B
M041	L4	380	B	B
M042	L4	397	B	B
M043	L4	299	C	C
M044	L4	318	C	C
M045	L4	618	B	B
M046	L4	342	C	C
M047	L4	352	C	C
M049	L4	331	C	C
M050	L4	290	C	C
M051	L4	316	C	C
M052	L4	329	C	C
M053	L4	344	C	C
M054	L4	481	E	E
M055	L5	346	C	C
M056	L5	782	B	B
M057	L5	336	C	C
M058	L5	426	S2	B
M059	L5	659	B	B
M060	L5	474	S2	B
M062	L5	509	B	B
M063	L5	428	B	B
M064	L5	543	B	B
M065	L5	423	B	B
M066	L5	852	S2	S2 / A *(3)
M067	L6	364	B	B
M067bis	L6	596	B	B
M067tris	L6	751	S2	B
M068	L6	747	S2	B
M070	L6	810	S2	A
M073	L6	706	B	B
M074	L6	756	S2	B
M075	L6	635	S2	B
M075bis	L6	683	S2	B
M076	L6	562	S2	B
M077	L6	1025	A	A
M078	L6	625	B	B

IDENTIFICATIVO	Lotto	Vs30 (m/s)	Classe di Suolo NTC/08	Classe di Suolo Linee Guida P.C.
M079	L7	494	S2	B
M082	L7	514	B	B
M084	L7	572	B	B
M085	L7	705	S2	B
M085bis	L7	622	S2	B
M086	L7	357	C	C
M087	L7	347	C	C
M088	L7	282	C	C
M090	L7	360	C	C / B *(1)
M091	L7	325	C	C
M092	L7	288	S2	S2 *(4)
M092bis	L7	320	S2	C *(5)
M093	L8	333	S2	C *(5)
M095	L8	360	C	C
M096	L8	378	B	B
M097	L8	630	E	E / B *(6)
M098	L8	334	C	C
M100	L8	352	C	C
M101	L8	765	A	A
M102	L8	314	C	C

**Tabella E-8 – Tabella riassuntiva delle prove Down-Hole eseguite e relativa categoria sismica secondo le NTC/08 e le Linee guida della Protezione Civile**

IDENTIFICATIVO	Lotto	Vs30 (m/s)	Classe di Suolo NTC/08	Classe di Suolo Linee Guida P.C.
S005	L1	718	S2	B
S011	L1	619	B	B
S012	L1	716	S2	S2 / B *(1)
S015	L1	752	S2	S2
S034	L1	818	A	A
S036	L1	430	E	E / B *(2)
S041	L1	841	A	A
S044	L2	430	S2	S2

IDENTIFICATIVO	Lotto	Vs30 (m/s)	Classe di Suolo NTC/08	Classe di Suolo Linee Guida P.C.
S051	L2	453	S2	S2
S059	L2	414	S2	S2 / B *(1)
S063	L2	402	B	B
S068	L3	486	S2	S2
S070	L3	368	B	B
S074	L3	443	B	B
S077	L3	386	B	B
S080	L3	351	C	C
S083	L3	407	B	B
S093	L3	666	B	B
S097	L3	712	B	B
S099	L3	441	B	B
S101	L3	486	B	B
S105	L3	365	B	B
S107	L4	668	B	B
S112	L4	409	B	B
S125	L4	337	C	C
S139	L5	395	S2	S2 / B *(3)
S146	L5	454	S2	B
S153	L5	646	B	B
S157bis	L6	601	S2	B
S160	L6	512	B	B
S166	L6	906	A	A
S172	L6	875	A	A
S174	L6	612	S2	B
S178	L7	534	S2	B
S181	L7	472	S2	B
S184	L7	288	C	C

IDENTIFICATIVO	Lotto	Vs30 (m/s)	Classe di Suolo NTC/08	Classe di Suolo Linee Guida P.C.
S190	L7	648	B	B
S198	L7	268	S2	S2
S201	L7	266	C	C
S203	L7	243	C	C
S208	L8	307	S2	S2 / C *(3)
S211	L8	344	C	C
S215	L8	359	C	C
S218	L8	329	S2	S2 / C *(3)
S220bis	L8	326	C	C
S225	L8	267	C	C

Tabella E-9 –

IDENTIFICATIVO	LUNGHEZZA SEZIONE (m)	LOTTO
BS_001	115	L1
BS_002	115	L1
BS_003	115	L1
BS_004	115	L1
BS_005	115	L1
BS_006	115	L1
BS_007	115	L1
BS_008	115	L1
BS_009	115	L1
BS_010	115	L1
BS_011	115	L1
BS_014	115	L1
BS_016	115	L1
BS_018	115	L1

IDENTIFICATIVO	LUNGHEZZA SEZIONE (m)	LOTTO
BS_019	115	L1
BS_020	115	L1
BS_022	115	L1
BS_025	115	L1
BS_026	115	L1
BS_027	115	L1
BS_028	115	L1
BS_030	115	L1
BS_031	115	L2
BS_033	115	L2
BS_034	115	L2
BS_035	115	L2
BS_036	115	L2
BS_037	115	L2
BS_038	115	L2

IDENTIFICATIVO	LUNGHEZZA SEZIONE (m)	LOTTO
BS_039	115	L2
BS_041	115	L2
BS_043	115	L3
BS_043bis	115	L3
BS_044	115	L3
BS_045	115	L3
BS_046	115	L3
BS_047	115	L3
BS_048	115	L3
BS_049	115	L3
BS_051	115	L3
BS_052	115	L3
BS_053	115	L3
BS_054	115	L3
BS_055	115	L3
BS_056	115	L3
BS_057	115	L3
BS_059	115	L3
BS_061	115	L3
BS_062	115	L3
BS_064	115	L3
BS_065	115	L3
BS_067	115	L3
BS_068	115	L3
BS_069	115	L3
BS_069bis	115	L3
BS_070	115	L3
BS_072	115	L3

IDENTIFICATIVO	LUNGHEZZA SEZIONE (m)	LOTTO
BS_074	115	L3
BS_075	115	L3
BS_076	115	L3
BS_077	115	L3
BS_078	115	L3
BS_079	115	L3
BS_080	115	L3
BS_081	115	L3
BS_082	115	L3
BS_083	115	L3
BS_084	115	L3
BS_084bis	115	L3
BS_085	115	L4
BS_086	115	L4
BS_087	115	L4
BS_088	115	L4
BS_089	115	L4
BS_089bis	115	L4
BS_090	115	L4
BS_093	115	L4
BS_094	115	L4
BS_095	115	L4
BS_096	115	L4
BS_098	115	L4
BS_099	115	L4
BS_100	115	L4
BS_101	115	L4
BS_106	115	L4



IDENTIFICATIVO	LUNGHEZZA SEZIONE (m)	LOTTO
BS_107	115	L4
BS_109	115	L4
BS_110	115	L4
BS_111	115	L4
BS_113	115	L5
BS_114	115	L5
BS_115	115	L5
BS_116	115	L5
BS_117	115	L5
BS_118	115	L5
BS_119	115	L5
BS_120	115	L5
BS_121	115	L5
BS_122	115	L5
BS_123	115	L5
BS_126	115	L5
BS_127	115	L5
BS_128	115	L5
BS_129	115	L5
BS_130	115	L5
BS_133	115	L5
BS_135	115	L5
BS_138	115	L6
BS_139	115	L6
BS_140	115	L6
BS_141	115	L6
BS_142	115	L6
BS_143	115	L6

IDENTIFICATIVO	LUNGHEZZA SEZIONE (m)	LOTTO
BS_144	115	L6
BS_145	115	L6
BS_146	115	L6
BS_147	115	L6
BS_148	115	L6
BS_149	115	L6
BS_150	115	L6
BS_151	115	L6
BS_152	115	L6
BS_154	115	L6
BS_155	115	L6
BS_156	115	L6
BS_157	115	L6
BS_158	115	L6
BS_160	115	L6
BS_161	115	L6
BS_162	115	L6
BS_163	115	L6
BS_164	115	L6
BS_165	115	L6
BS_166	115	L6
BS_167	115	L6
BS_168	115	L7
BS_169	115	L7
BS_170	115	L7
BS_171	115	L7
BS_172	115	L7
BS_173	115	L7

IDENTIFICATIVO	LUNGHEZZA SEZIONE (m)	LOTTO
BS_174	115	L7
BS_175	115	L7
BS_178	115	L7
BS_179	115	L7
BS_180	115	L7
BS_182	115	L7
BS_183	115	L7
BS_184	115	L7
BS_185	115	L7
BS_186	115	L7
BS_187	115	L8
BS_188	115	L8
BS_189	115	L8
BS_190	115	L8
BS_191	115	L8
BS_192	115	L8
BS_193	115	L8
BS_194	115	L8
BS_195	115	L8
BS_196	115	L8
BS_197	115	L8
BS_198	115	L8
BS_199	115	L8
BS_200	115	L8
<b>TOTALI</b>	<b>19.090</b>	<b>166</b>

Stazion e (n)	Lotto (n)	Valore BMR	Classe ammasso	Litologia
SG1	L1	52	III - ammasso discreto	Formazione Ragusa – Membro Irminio – Calcareniti e calcareniti marnose (Mc)
SG2	L1	52	III - ammasso discreto	Formazione Ragusa – Membro Irminio – calcareniti e calcareniti marnose (Mc)
SG3	L1	54	III - ammasso discreto	Formazione Ragusa – Membro Leonardo – calcisiltiti, marne e calcari (Ocm)
SG4	L1	52	III - ammasso discreto	Formazione Ragusa – Membro Leonardo – calcisiltiti, marne e calcari (Ocm)
SG5	L1	43	III - ammasso discreto	Formazione Ragusa – Membro Leonardo – calcisiltiti, marne e calcari marnosi (Ocm)
SG6	L1	48	III - ammasso discreto	Formazione Ragusa – Membro Irminio – calcareniti e marne (Mcm)
SG7	L1	59	III - ammasso discreto	Formazione Ragusa – Membro Irminio – calcareniti e marne (Mcm)
SG8	L1	51	III - ammasso discreto	Formazione Ragusa – Membro Leonardo – calcisiltiti e calcari marnosi (Ocm)
SG9	L1	67	II - ammasso buono	Formazione Ragusa – Membro Irminio – breccia calcarenitica e marnosa (Mcm)
SG10	L2	73	II - ammasso buono	Formazione Ragusa – Membro Irminio – calcareniti e marne (Mcm)
SG11	L8	55	III - ammasso discreto	Colate di lava (Pvl)
SG12	L8	68	II - ammasso buono	Breccia lavica (Pvl)

SG13	L6	66	II - ammasso buono	Colate di lava (Pvl)
SG14	L6	62	II - ammasso buono	Colate di lava e piroclastiti massive (Pvl)
SG15	L6	70	II - ammasso buono	Colate di lava (Pvl)
SG16	L6	64	II - ammasso buono	Lava a pillows (Ppw)
SG17	L6	62	II - ammasso buono	Colate di lava (Pvl)
SG18	L6	58	III - ammasso discreto	Lava a pillows (Ppw)
SG19	L6	50	III - ammasso discreto	Colate di lava (Pvl)
SG20	L6	45	III - ammasso discreto	Colate di lava (Pvl)
SG21	L3	60	III - ammasso discreto	Formazione Trubi - calcari e calcari marnosi (Pm)
SG22	L4	43	III - ammasso discreto	Formazione Tellaro – Marne (Mm)
SG23	L4	65	II - ammasso buono	Formazione Tellaro – Marne (Mm)
SG24	L4	52	III - ammasso discreto	Calcari di base (Mg)
SG25	L4	58	III - ammasso discreto	Calcari di base (Mg)
SG26	L4	49	III - ammasso discreto	Colate di lava (Pvl)
SG27	L4	51	III - ammasso discreto	Formazione Trubi- calcari marnosi (Pm)
SG28	L4	69	II - ammasso buono	Calcari di base (Mg)
SG29	L4	71	II - ammasso buono	Calcari di base (Mg)
SG30	L5	74	II - ammasso buono	Piroclastiti massive (Pv)
SG31	L5	49	III - ammasso discreto	Breccia vulcanica (Pv)
SG32	L4	51	III - ammasso discreto	Gessi (Ms)
SG33	L5	65	II - ammasso buono	Formazione Trubi – calcari marnosi (Pm)

SG34	L5	63	II - ammasso buono	Formazione Trubi – calcari marnosi (Pm)
SG35	L5	66	II - ammasso buono	Calcari di base (Mg)
SG36	L4	47	III - ammasso discreto	Calcari di base (Mg)
SG37	L4	47	III - ammasso discreto	Formazione Tellaro – Marne (Mm)
SG38	L1	66	II - ammasso buono	Formazione Ragusa – calcisiltiti, marne e calcari(Ocm)
SG39	L1	50	III - ammasso discreto	Formazione Ragusa – calcisiltiti, marne e calcari(Ocm)
SG40	L1	42	III - ammasso discreto	Formazione Ragusa – calcisiltiti, marne e calcari(Ocm)
SG41	L1	34	IV - ammasso scadente	Formazione Ragusa – calcisiltiti, marne e calcari(Ocm)
SG42	L1	46	III - ammasso discreto	Formazione Ragusa – Calcareniti (Mc) i
SG43	L2	50	III - ammasso discreto	Formazione Tellaro – Marne (Mm)
SG44	L3	46	III - ammasso discreto	Formazione Tellaro – Marne (Mm)
SG45	L3	63	II - ammasso buono	Formazione Trubi – calcari marnosi (Pm)
SG46	L6	44	III - ammasso discreto	Colate di lava (Pvl)
SG47	L3	43	III - ammasso discreto	Formazione Trubi – calcari marnosi (Pm)
SG48	L1	32	IV - ammasso scadente	Formazione Ragusa – Calcisiltiti, marne e calcari (Ocm)
SG49	L5	60	III - ammasso discreto	Formazione Carlentini – facies vulcanoclastica (Mv)
SG50	L5	68	II - ammasso buono	Calcere di base (Mg)
SG51	L5	64	II - ammasso buono	Calcere di base (Mg)
SG52	L5	43	III - ammasso discreto	Cataclasite della formazione Tellaro (Mm)
SG53	L5	46	III - ammasso discreto	Formazione Carlentini – facies vulcanoclastica (Mv)
SG54	L5	32	IV - ammasso scadente	Formazione Tellaro – Marne (Mm)

SG55	L5	60	III - ammasso discreto	Calcare di base (Mg)
SG56	L5	58	III - ammasso discreto	Calcare di base (Mg)

### E.2.1 Indagini integrative al progetto definitivo

Nel mese di novembre 2016 è stata eseguita una serie di indagini geofisiche integrative a supporto della fase di Progettazione Definitiva, costituita da n. 13 stendimenti sismici a rifrazione. Per tutti i dettagli ed i risultati ottenuti si rimanda allo specifico elaborato D01-T100-GG000-1-RZ-007-OA "Relazione generale sulle indagini eseguite in Novembre 2016".

## F TERRENI INTERESSATI DALLE OPERE

Nel presente capitolo vengono descritti in maniera sintetica le caratteristiche dei terreni interessati dal tracciato stradale che ricadono nel volume di terreno significativo ai fini geotecnici. La descrizione procede per singolo lotto con riferimento alle formazioni geologiche presenti.

### F.1 Terreni lotto 1

Questa tratta è caratterizzata principalmente dalla presenza dei terreni della Formazione "Ocm". In genere si tratta di terreni litoidi in cui si distinguono anche delle componenti sciolte.

Per quanto riguarda la formazione Mcm i terreni lapidei sono costituiti da calcareniti fratturate mentre la componente sciolta è costituita da calcareniti molto alterate ed a volte da marne argillose e argille marnose.

Nella formazione Mc la componente litoide è sempre rappresentata da calcareniti fratturate e quella sciolta da calcareniti molto fratturate e argille marnose.

I terreni lapidei della formazione Ocm sono costituiti in misura maggiore da calcareniti fratturate e calcari bioclastici e minore da marne argillose e/o calcaree. Nella componente sciolta si distinguono prevalentemente argille più o meno marnose e secondariamente calcareniti fratturate e/o alterate.

Sono presenti altresì altri terreni afferenti ad altre formazioni. I terreni della formazione Qm sono costituiti da argille marnose ghiaiose. Sono presenti due conoidi di deiezione i cui terreni hanno natura argillosa ghiaiosa. In minima parte ed in punti definiti sono presenti, altresì, terreni prevalentemente incoerenti (ghiaia più o meno sabbiosa) appartenenti alle formazioni P, QI e ar nonchè terreni detritici (Dt) e di riporto (TR).

Dalla superiore descrizione ne consegue che nel lotto in esame sono presenti terreni prevalentemente litoidi di ottime caratteristiche di resistenza e di deformabilità per cui per le opere d'arte si potranno prevedere, in generale, fondazioni superficiali. Le componenti sciolte delle formazioni litoidi hanno in genere discrete caratteristiche meccaniche per cui la scelta della tipologia fondale qui dipenderà per questi terreni dall'entità dell'opera stessa.

### F.2 Terreni lotto 2

Questa tratta è caratterizzata principalmente dalla presenza di terreni prevalentemente sciolti. I terreni litoidi appartengono alla formazione Mcm e sono costituiti da calcareniti fratturate

mentre la componente sciolta di questa formazione è costituita da calcareniti molto alterate ed a volte da marne argillose e argille marnose. I terreni sciolti sono prevalentemente sabbiosi ed hanno discrete caratteristiche di resistenza ma di deformabilità modeste.

I terreni della formazione Qm presenti in due tratti abbastanza ampi sono costituiti da argille marnose ghiaiose che presentano una granulometria molto variabile. Hanno discrete caratteristiche di resistenza ma modeste di deformabilità.

I terreni della formazione litoide Mc sono costituite da calcareniti fratturate di ottime caratteristiche meccaniche.

I terreni della formazione Qcs, sono pressochè analoghi come caratteristiche fisiche e meccaniche ai terreni delle formazione Qm.

E' presente una conoide di deiezione i cui terreni hanno natura argillosa ghiaiosa con discrete caratteristiche meccaniche. In minima parte ed in punti definiti sono presenti, altresì, terreni prevalentemente incoerenti (ghiaia più o meno sabbiosa) appartenenti alle formazioni a, ar nochè terreni detritici (dt) e di riporto (R).

Dalla precedente trattazione ne consegue che nel lotto in esame sono presenti terreni prevalentemente sciolti di discrete caratteristiche di resistenza e di deformabilità mediocri per cui la scelta della tipologia fondale dipenderà per questi terreni dall'entità dell'opera stessa.

### **F.3 Terreni lotto 3**

Anche questa tratta è caratterizzata principalmente dalla presenza di terreni prevalentemente sciolti. I terreni litoidi sono presenti soltanto in pochi punti singolari.

I terreni della formazione Qcs presenti in un solo tratto hanno una granulometria variabile da argilla con limo a sabbia limosa ghiaiosa. Hanno discrete caratteristiche di resistenza ma modeste di deformabilità.

I terreni appartenenti alle formazioni Qsa e Qs, terreni sciolti, anche se con qualche differenza (con granulometria varia i primi e prevalentemente coerenti i secondi), sostanzialmente sono equivalenti ai terreni della formazione Qcs.

I terreni della formazione Qm e Qc(b) sono argillosi ed hanno discrete caratteristiche di resistenza e di deformabilità variabili.

I terreni marnosi appartenenti alle formazioni Pa, Mm e Pm hanno una granulometria simile (prevalentemente argilla con limo) e caratteristiche meccaniche discrete. Differiscono invece



per le caratteristiche di deformabilità risultando per le prime due formazioni più o meno discrete e molto variabili per la terza.

Per quando riguarda i terreni appartenenti ai depositi a, ar e Detritici prevalentemente incoerenti si ha una sostanziale equivalenza nelle caratteristiche meccaniche da ritenersi discrete ed in quelle di deformabilità da ritenersi mediocri. I depositi eluvio-colluviali ec, costituiti da terreni limosi, sono da ritenere scarsi.

Dalla superiore descrizione ne consegue che nel lotto in esame nel complesso sono presenti terreni sciolti prevalentemente coerenti di discrete caratteristiche meccaniche ma non tanto eccellenti riguardo alla deformabilità. Pertanto in relazione all'entità delle opere che si prevedono, quali viadotti e cavalcavia, è senz'altro evidente che si debba ricorrere all'uso di fondazioni profonde. Per le opere d'arte minore si potrà valutare, caso per caso, in ragione della loro entità.

#### **F.4 Terreni lotto 4**

Anche questa tratta è sostanzialmente analoga alla precedente con presenza principalmente di terreni prevalentemente sciolti e limitata di terreni lapidei. Quest'ultimi ascrivibili alle formazioni, Mg e Pm (di origine marnosa) e Qc(a) (di origine calcarenitica) hanno ottime caratteristiche di resistenza e discrete di deformabilità escluse quelle dei terreni afferenti la formazione Mm da ritenersi ottime.

I terreni della formazione Qc(b) sono argillosi ed hanno discrete caratteristiche di resistenza e di deformabilità variabili.

I terreni marnosi appartenenti alle formazioni Mm e Pm hanno una granulometria simile (prevalentemente argilla con limo) e caratteristiche meccaniche discrete. Differiscono invece in maniera limitata per le caratteristiche di deformabilità da ritenersi più o meno variabili.

I terreni marnosi appartenenti alle formazioni Mg anche se hanno una granulometria prevalentemente sabbiosa sono da ritenersi sostanzialmente simili agli altri terreni marnosi.

I terreni di origine vulcanica ascrivibili alle formazioni Mv e Pvl nella sua componente sciolta, hanno discrete caratteristiche sia di resistenza che di deformabilità.

Fra i depositi hanno discrete caratteristiche i terreni di riporto mentre i terreni vegetali sono da ritenersi scarsi.

Dalla superiore descrizione ne consegue che i terreni sciolti presenti sono di discrete caratteristiche meccaniche ma non tanto eccellenti riguardo alla deformabilità. Pertanto in

relazione all'entità delle opere che si prevedono, quali viadotti, e cavalcavia, è senz'altro evidente che si debba ricorrere, anche in questo lotto, all'uso di fondazioni profonde. Per le opere d'arte minori si potrà valutare, caso per caso, in ragione della loro entità.

## **F.5 Terreni lotto 5**

Anche questa tratta continua ad essere sostanzialmente analoga alle due precedenti con presenza principalmente di terreni prevalentemente sciolti e limitata di terreni lapidei. Quest'ultimi ascrivibili alle formazioni Mg, Mm e Pm (di origine marnosa) e Mv e Pv (di origine vulcanica) hanno ottime caratteristiche di resistenza e di deformabilità.

I terreni marnosi appartenenti alle formazioni Mm e Pm hanno quasi una granulometria simile (prevalentemente limo con argilla più o meno sabbioso) e caratteristiche meccaniche discrete. Le caratteristiche di deformabilità, che differiscono fra di loro di poco, sono da ritenersi variabili.

I terreni marnosi appartenenti alla formazioni Mg, anche se hanno una granulometria prevalentemente sabbiosa, sono da ritenersi sostanzialmente simili agli altri terreni marnosi con caratteristiche di deformabilità leggermente migliori.

I terreni marnosi appartenenti alle formazioni Pa hanno discrete caratteristiche di resistenza e mediocri di deformabilità.

I terreni di origine vulcanica ascrivibili alle formazioni Ppw e Pv nella sua componente sciolta, entrambi di granulometria sabbiosa, hanno discrete caratteristiche sia di resistenza che di deformabilità. Le stesse considerazioni si ritengono valide anche per i terreni della formazione Mv che hanno caratteristiche di deformabilità migliori.

I terreni argilloso-limosi di origine vulcanica della formazione Ppw hanno discrete caratteristiche di resistenza e abbastanza variabili quelle di deformabilità.

Fra i depositi hanno mediocri caratteristiche di resistenza e di deformabilità i terreni P che hanno una granulometria variabile.

Per quando riguarda gli altri terreni appartenenti ai depositi a, ar, detritici e R, prevalentemente incoerenti, si ha una sostanziale equivalenza nelle caratteristiche meccaniche da ritenersi discrete ed in quelle di deformabilità da ritenersi mediocri eccetto per i terreni di riporto che sono variabili.

Anche per questo lotto valgono le stesse considerazioni e conclusioni formulate per quelli precedenti con il ricorso all'uso di fondazione profonde per le opere di maggiore importanza.

## F.6 Terreni lotto 6

Questa tratta è caratterizzata dalla rilevante presenza di terreni di origine vulcanica ed in questo ambito dei terreni litoidi principalmente della formazione Pvl e secondariamente della formazione Ppw. I terreni sciolti di natura prevalentemente ghiaioso-sabbiosa, oltre alle citate formazioni, sono da ascrivere anche alle formazioni Pv e Pvs, quest'ultima che si differenzia per la sua componente limoso-argillosa.

Tutti i terreni sciolti di origine vulcanica hanno discrete caratteristiche sia di resistenza che di deformabilità.

Hanno mediocri caratteristiche di resistenza e di deformabilità i terreni limoso-argillosi e ghiaioso-sabbiosi dei depositi P e Qt. Gli altri depositi, molto recenti, fanno riferimento ai terreni di riporto R di discrete caratteristiche ed a quelli vegetali di caratteristiche scarse, comunque di potenza modesta.

I terreni dei depositi Qcs di granulometria variabile hanno discrete caratteristiche di resistenza e di deformabilità.

Da quanto sopra ne discende che nei terreni litoidi si possono adottare fondazioni superficiali mentre nei terreni sciolti è opportuno il ricorso all'uso di fondazioni profonde per le opere di maggiore importanza.

Anche questa tratta continua ad essere sostanzialmente analoga alle due precedenti con presenza principalmente di terreni prevalentemente sciolti e limitata di terreni lapidei.

## F.7 Terreni lotto 7

Questo lotto è caratterizzato dalla presenza dei terreni limoso-argillosi e sabbioso-ghiaiosi dei depositi superficiali "a" a cui seguono quelli limoso-argillosi dei depositi Qa. Entrambi i terreni hanno discrete caratteristiche di resistenza e mediocri di deformabilità. Stesse caratteristiche hanno i terreni a granulometria variabile dei depositi Qcs.

Sono presenti in pochi punti i terreni sabbioso-ghiaiosi di origine vulcanica delle formazioni Pvs e Pvl che hanno discrete caratteristiche di resistenza e mediocri di deformabilità.

I terreni incoerenti dei depositi ar hanno discrete caratteristiche di resistenza e mediocri di deformabilità. Da considerare scarse le caratteristiche dei terreni vegetali dei depositi ec peraltro di potenza molto modesta.

Sono presenti altresì terreni litoidi riferibili ai terreni calcarenitici dei depositi Qca ed a quelli di origine vulcanica della formazione Pvl.

Dalla superiore descrizione ne consegue che i terreni sciolti presenti sono di discrete caratteristiche meccaniche ma non tanto eccellenti riguardo alla deformabilità. Pertanto in relazione all'entità delle opere che si prevedono, quali viadotti e cavalcavia, è senz'altro evidente che si debba ricorrere all'uso di fondazioni profonde. Per le opere d'arte minori si potrà valutare caso per caso in ragione della loro entità.

## **F.8 Terreni lotto 8**

Questa tratta è caratterizzata dalla presenza in quasi tutto il lotto dei terreni limoso-argillosi e sabbioso-ghiaiosi dei depositi superficiali "a" a cui seguono quelli limoso-argillosi dei depositi Qa. Entrambi i terreni hanno discrete caratteristiche di resistenza e mediocri di deformabilità.

Sono presenti in pochi punti i terreni sabbioso-ghiaiosi di origine vulcanica della formazione Pvs che hanno discrete caratteristiche di resistenza e mediocri di deformabilità.

I terreni incoerenti dei depositi ar hanno discrete caratteristiche di resistenza e mediocri di deformabilità. Gli altri depositi, molto recenti, fanno riferimento ai terreni di riporto R di discrete caratteristiche ed a quelli vegetali di caratteristiche scarse, comunque di potenza modesta.

Sono presenti altresì terreni litoidi riferibili ai terreni calcarenitici della formazione Qca ed a quelli di origine vulcanica della formazione Pvl.

Dalla superiore descrizione ne consegue che i terreni sciolti presenti sono di discrete caratteristiche meccaniche ma non tanto eccellenti riguardo alla deformabilità. Pertanto in relazione all'entità delle opere che si prevedono, quali viadotti e cavalcavia, è senz'altro evidente che si debba ricorrere all'uso di fondazioni profonde. Per le opere d'arte minori si potrà valutare, caso per caso, in ragione della loro entità.

## G CARATTERIZZAZIONE TERRENI

### G.1 Generalità

Ai fini della caratterizzazione geotecnica dei terreni interessati dal tracciato stradale si è fatto riferimento ai risultati delle indagini descritte ai paragrafi precedenti nonché alle indicazioni complementari contenute nelle colonne stratigrafiche dei sondaggi e dei pozzetti ed alle relative documentazioni fotografiche. Quando necessario si è fatto riferimento ai dati desunti dagli studi effettuati nella campagna di indagini preliminare. Per la valutazione dei risultati delle prove in sito si tiene conto delle indicazioni sulla loro applicabilità fornite da V. Ghionna e P.K. Robertson (1987) riportate nella figura seguente.

**Figura G.1 - Applicabilità prove in sito (V. Ghionna, P. K. Robertson, 1987)**

		PROVE																			
		INFORMAZIONI GEOTECNICHE										CONDIZIONI DI TERRENO									
		Tipo di terreno	Stratigrafia	Pressione idrostatica ( $U_0$ )	Angolo di attrito ( $\phi$ )	Resist. al taglio non drenata ( $S_u$ )	Densità relativa ( $D_r$ )	Compressibilità ( $m_v$ , $C_c$ )	Consolidazione ( $C_v$ , $C_t$ )	Permeabilità ( $k$ )	Modulo: taglio e di Young ( $G$ , $E$ )	Sforzo orizzontale in sito ( $k_h$ )	Storia dello stato tensionale (OCR)	Curva sforzo-deformazione	Roccia dura	Roccia tenera, morene, ecc.	Ghiaia	Sabbia	Limo	Argilla	Torbe-Sostanze organiche
PRESSIONOMETRICA CON PREFORO (MENARD)	(MPM)	B	B	-	C	B	C	C	-	A	C	C	C	A	A	B	B	B	A	B	
STANDARD PENETR. TEST	(SPT)	A	B	-	B	C	B	-	-	B	-	C	-	-	C	B	A	B	C	C	
DI CARICO SU PIASTRA TRADIZIONALE	(PLT)	C	C	-	C	B	B	B	C	A	C	B	B	B	A	B	B	A	A	A	
PERMEABILITA'	(K)	C	-	A	-	-	-	B	A	-	-	-	-	A	A	A	A	A	A	B	
(SISMICA: CROSS-HOLE, DOWN-HOLE, SASW)		C	B	-	-	C	-	-	-	A	C	C	C	A	A	A	A	A	A	A	

Note: A = elevata applicabilità      B = moderata applicabilità  
 C = limitata applicabilità          - = nessuna applicabilità

Per i terreni sciolti a grana fine, dove quasi sempre è stato possibile prelevare campioni indisturbati, si hanno le maggiori informazioni disponibili. Dalle prove fisiche si rilevano quelle relative alla granulometria, alla plasticità, all'attività ed alla consistenza. Per quanto riguarda la caratterizzazione meccanica si è proceduto ad una analisi critica dei risultati delle prove di laboratorio determinando i valori dei relativi parametri in relazione alle modalità di prova seguite ed alla valutazione delle relative influenze. La determinazione delle caratteristiche di

deformabilità è stata eseguita utilizzando i risultati delle prove edometriche, di quelle pressiometriche e di quelle penetrometriche SPT. L'applicabilità dei risultati delle prove di laboratorio per la caratterizzazione dei terreni tiene conto della loro attendibilità valutata in funzione delle classi di qualità dei campioni come definite dalle specifiche Raccomandazioni AGI (1977) e riportate nella tabella seguente.

**Tabella G.1 - Classi di qualità dei campioni (Raccomandazioni AGI, 1977)**

Caratteristiche geotecniche determinabili	Grado di qualità				
	Q.1.	Q.2.	Q.3.	Q.4.	Q.5.
a) Profilo stratigrafico	X	X	X	X	X
b) Composizione granulometrica		X	X	X	X
c) Contenuto di acqua naturale			X	X	X
d) Peso dell' unità' di volume				X	X
e) Caratterizzazioni meccaniche (resistenze, deformabilità, etc.)					X
	Campioni disturbati o rimaneggiati			a disturbo limitato	indisturbati

Per i terreni sciolti incoerenti, per i quali è stato possibile prelevare prevalentemente soltanto campioni rimaneggiati, la caratterizzazione meccanica è stata effettuata in base ai risultati delle prove SPT. La caratterizzazione fisica è stata eseguita tenendo conto della classe di qualità dei campioni di cui alle sopra richiamate Raccomandazioni. La caratterizzazione elastica è stata eseguita prevalentemente in base ai risultati delle prove SPT.

Nei terreni lapidei il comportamento della roccia intatta (campione integro) è molto differente da quello dell'ammasso roccioso emergente e dei terreni in sito per cui esistono difficoltà nell'estendere i risultati delle prove dei campioni ai relativi terreni. Pertanto la caratterizzazione meccanica dei terreni lapidei viene eseguita adottando i rilevamenti delle stazioni geomeccaniche (in particolare il parametro BMR) alle risultanze dei sondaggi (tramite il parametro RQD indice di recupero percentuale modificato) ed ai risultati delle prove di

laboratorio. La caratterizzazione elastica viene eseguita in funzione del modulo di Young quando disponibile dalle prove triassiali sulla roccia intatta tramite gli indici BMR e RQD.

Per tutti i terreni in ogni caso si utilizzano le informazioni complementari (aggiuntive e/o sostitutive in mancanza di risultati di prove) riportate nelle colonne stratigrafiche (descrizione del litotipo, valori di RP) e nelle schede dei campioni (Descrizione della carota) nonché quelle desumibili dalla documentazione fotografica. Quando necessario si fa riferimento alla letteratura tecnica ed alle eventuali esperienze su terreni comparabili con quelli in esame.

## **G.2 Metodologia di analisi dei risultati delle indagini sui terreni sciolti**

### **G.2.1 Classificazione**

La classificazione dei terreni è stata effettuata in modo convenzionale facendo riferimento ai risultati delle prove di laboratorio, eseguite sui campioni esaminati, in termini di:

- curve granulometriche;
- limiti di Atterberg (limite liquido e limite plastico);
- pesi di volume;
- contenuti d'acqua naturale;
- indice dei vuoti iniziale.

### **G.2.2 Determinazione delle caratteristiche di resistenza**

Per quanto riguarda la caratterizzazione meccanica si è proceduto ad una analisi critica dei risultati delle prove di laboratorio e/o delle indagini in sito determinando i valori dei parametri in relazione alle modalità di prova ed alle relative influenze in uno a tutte le altre informazioni complementari disponibili dalle indagini (Descrizione litologica, resistenza penetrometro tascabile RP, documentazione fotografica).

#### *G.2.2.1 Resistenza a taglio in termini di sforzi efficaci*

I terreni coesivi sono stati caratterizzati da parametri di resistenza in termini di sforzi efficaci, determinati, oltre che sulla base dei risultati di prove di taglio diretto (TD), anche sulla base di correlazioni con i risultati delle prove penetrometriche dinamiche (SPT).

I terreni coesivi sono stati caratterizzati in base alla valutazione critica dei risultati delle prove di taglio diretto (CD) attenzionandone le modalità (velocità di prova) in relazione alle caratteristiche fisiche del campione, tenendo conto delle sue condizioni in rapporto a quelle del

carotaggio interessato e delle eventuali prove SPT di interesse. In mancanza di prove di laboratorio si procede per comparazione con litotipi simili delle stesse indagini e/o di esperienze pregresse sempre in base alle caratteristiche fisiche (consistenza, granulometria) ed alle informazioni complementari acquisibili dalle colonne stratigrafiche (valori di  $R_p$ , descrizione) e dalla documentazione fotografica.

Al fine di ricavare le caratteristiche di resistenza al taglio nei terreni prevalentemente incoerenti si possono utilizzare i risultati delle prove SPT facendo riferimento a due tipologie di relazioni funzionali:

- correlazioni che esprimono il numero di colpi  $N_{SPT}$  in funzione della densità relativa consentendo a posteriori la determinazione dell'angolo di resistenza al taglio mediante la conoscenza della granulometria del materiale in cui è stata effettuata la prova (*Schmertmann [1975]*). Nel caso in esame il valore della densità relativa  $D_r$  possono essere valutati mediante le seguenti correlazioni:

- Meyerhof [1957]:  $D_R = 21 \sqrt{\frac{N_{SPT}}{(\sigma'_{v} + 0.7)}}$

- Schultze e Mezembach [1961]:

$$\text{Log}_e(D_R) = 0.478 \text{Log}_e(N_{SPT}) - 0.262 \text{Log}_e(\sigma'_{v}) + 2.84$$

- Bazaara [1967]:  $D_R = \begin{cases} \sqrt{\frac{N_{SPT}}{20 + 0.8\sigma'_{v}}} & \sigma'_{v} \leq 73.2 \text{kPa} \\ \sqrt{\frac{N_{SPT}}{65 + 0.2\sigma'_{v}}} & \sigma'_{v} > 73.2 \text{kPa} \end{cases}$

- correlazioni che esprimono il valore dell'angolo d'attrito efficace  $\varphi'$  direttamente in funzione del numero di colpi  $N_{SPT}$  (Figura G.2)

Si può adottare la seguente correlazione:

- De Mello [1971]:

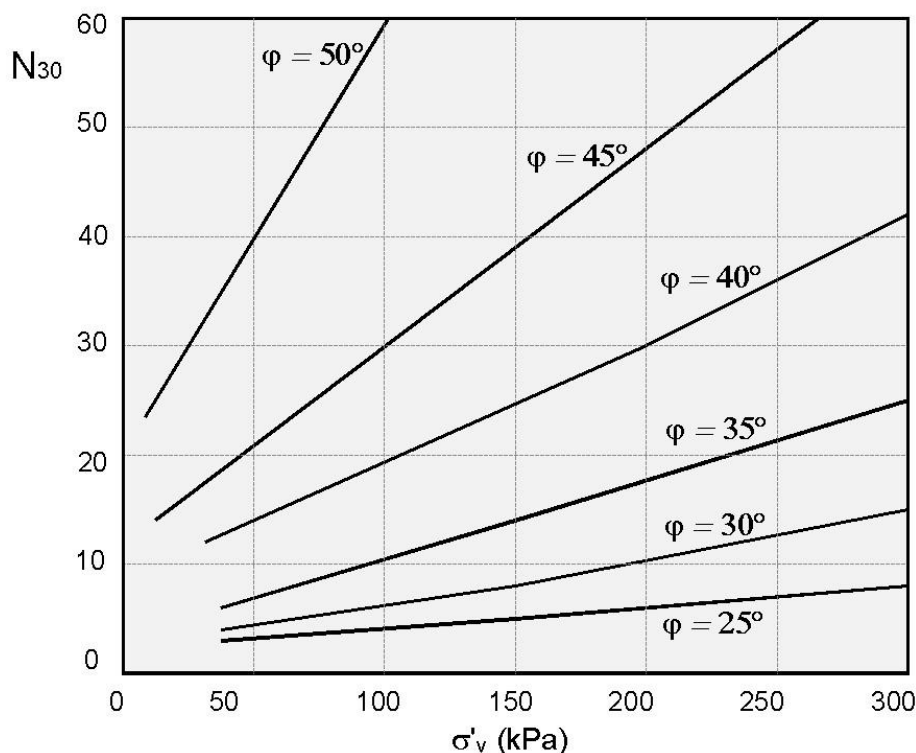
$$\varphi' = 19 - 0.38\sigma + 8.73 \text{Log}(N_{SPT})$$

valida per le sabbie; inattendibile per profondità  $< 2$  m da p.c. e per valori di  $\varphi' > 38^\circ$ .

Per la caratterizzazione geotecnica si preferisce utilizzare quest'ultima correlazione perché si evitano le approssimazioni del doppio passaggio (da  $N_{30}$  a  $D_r$  e da  $D_r$  a  $\varphi'$ )



**Figura G.2 - Abaco per la stima dei valori dell'angolo di attrito in funzione della pressione litostatica efficace e del numero di colpi SPT (De Mello, 1971)**



#### G.2.2.2 Resistenza a taglio non drenata

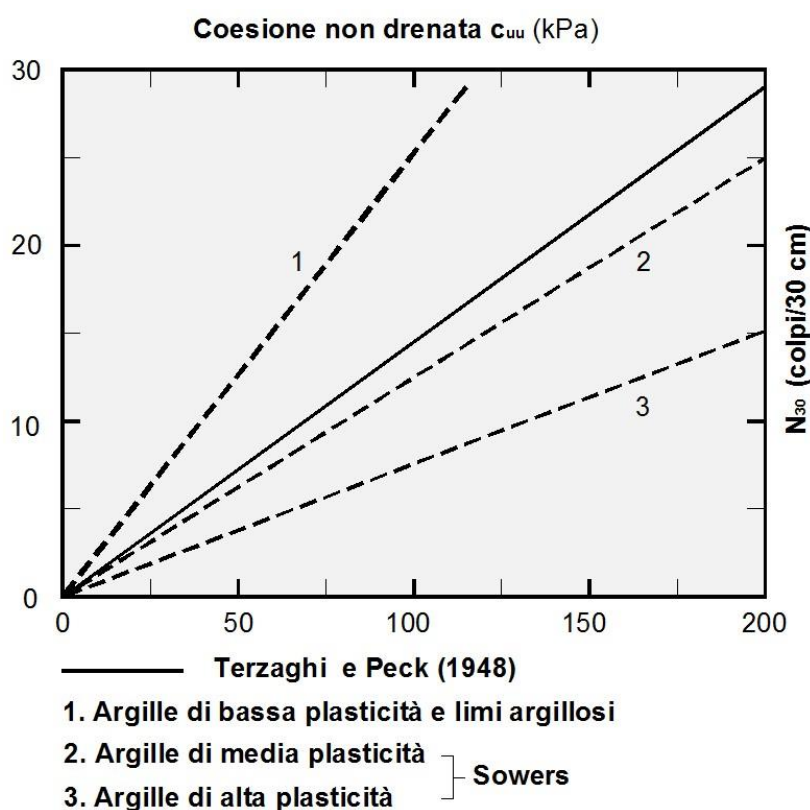
La resistenza al taglio non drenata  $c_u$  è determinata in base ad una valutazione critica dei risultati delle prove di laboratorio, compressione ad espansione laterale libera (ELL) e triassiale non consolidata non drenata (UU). Nella maggior parte dei casi si è fatto riferimento alle prove tipo ELL che hanno fornito risultati più attendibili tenendo conto di risultanze empiriche statistiche pregresse cautelative (confermate parzialmente anche nel presente studio) che hanno permesso di correlare la coesione non drenata con la coesione efficace con l'espressione  $c_u = (5 \div 8) \cdot c'$ .

In mancanza di prove di laboratorio si fa riferimento alle indagini geotecniche in sito con particolare riferimento alle correlazioni con i risultati delle prove SPT (tenendo sempre conto dei limiti della loro applicabilità secondo le indicazioni di Ghionna e Robertson di cui alla Figura G.1) e non a quelle con le prove pressiometriche in quanto, come sottolineato da alcuni autori (L.Callisto 1998), numerose esperienze hanno evidenziato che la resistenza non drenata ottenuta in questo modo risulta sistematicamente maggiore di quella determinata con altri metodi. La resistenza non drenata pertanto viene valutata secondo le correlazioni suggerite da

Terzaghi (1948) e da Sowers per i vari tipi di argille, riportate nei grafici della Figura G.3 in generale nel rispetto della sopra citata correlazione statistica con la coesione efficace.

In mancanza di prove di laboratorio si procede per comparazione con litotipi simili delle stesse indagini e/o di esperienze pregresse sempre in base alle caratteristiche fisiche (consistenza, granulometria) ed alle informazioni complementari acquisibili dalle colonne stratigrafiche (valori di  $R_p$ , descrizione) e dalla documentazione fotografica.

**Figura G.3 - Abaco per la stima della coesione non drenata in funzione del numero di colpi SPT (Terzaghi e Sowers)**



## G.2.3 Determinazione delle caratteristiche di deformabilità

### G.2.3.1 Caratteristiche per deformazione elastica

La determinazione delle caratteristiche di deformabilità è stata effettuata in base ai risultati delle prove in sito (SPT e pressiometriche) e di laboratorio (prove edometriche) nonché mediante valutazioni qualitative comparate con i risultati delle indagini.

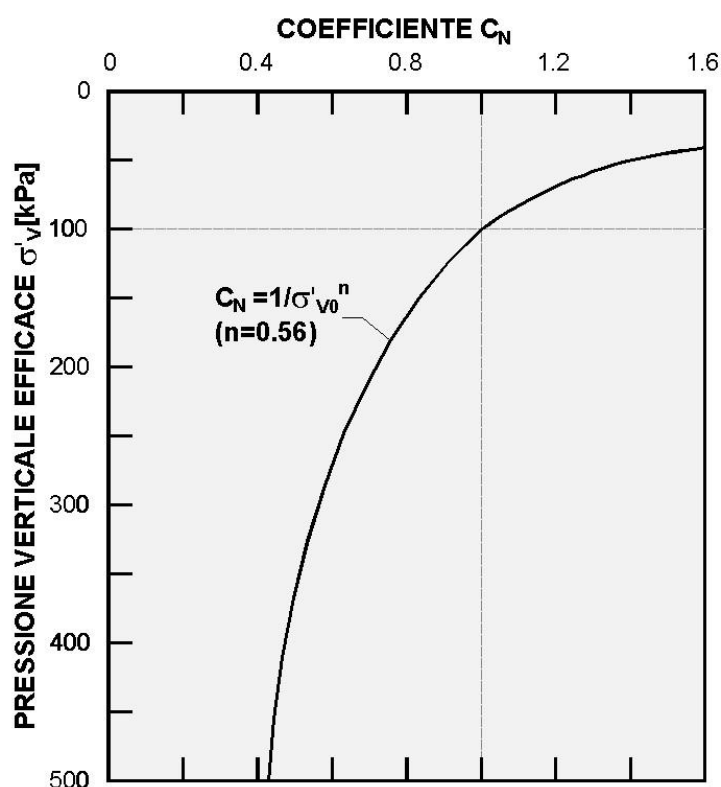
Per i terreni prevalentemente incoerenti il modulo di elasticità  $E$  è stato ricavato da correlazioni dirette con il numero di colpi tramite la correlazione proposta da Schultze e Mezembach

$$E = s_1 \cdot N_{30c} + s_2$$

con  $s_1 = 0,527 \text{ MPa}$  ed  $s_2 = 0,760 \text{ MPa}$

e dove  $N_{30c} = C_N \cdot N_{30}$  è il valore corretto tramite il coefficiente  $C_N = 1/(\sigma'_v)^n$  determinabile dal grafico della figura seguente, in funzione della pressione litostatica  $\sigma'_v$ , proposto da K. Tokimatsu (1988) e il coefficiente  $n$  assume il valore 0.56 (Jamilkowski e altri 1985b)

**Figura G.4- Grafico per la stima del coefficiente  $C_N$  in funzione della pressione verticale efficace (K. Tokimatsu, 1988)**



Per i terreni a grana prevalentemente fine (terreni coesivi) il modulo di elasticità in condizioni drenate ( $E'$ ) può essere determinato da prove triassiali standard, mentre quello in condizioni non drenate può essere ricavato da prove triassiali consolidate non drenate.

Nel primo caso il modulo di Young dipende marcatamente dallo stato tensionale iniziale e da altri fattori, quali la natura dei terreni, l'effetto del disturbo del prelevamento del campione nonché il percorso di tensione cui è stato sottoposto il terreno.

Anche in condizioni non drenate è difficile valutare in maniera accurata il modulo non drenato  $E$  perché dipende anche qui da diversi fattori quali la velocità di applicazione del carico, il tempo di consolidazione e in modo particolare il disturbo del campionamento.

L'influenza di questi fattori sul modulo di elasticità è maggiore più che nella resistenza, in quanto i dettagli della modalità di applicazione del carico influiscono sulla prima parte della curva tensioni-deformazioni molto di più che sul picco. Infatti la pendenza della predetta curva varia rapidamente anche per piccole deformazioni per cui risulta difficile determinare il modulo tangente iniziale. Comunque esiste un rapporto teorico fra curve tensione-deformazione in condizioni drenate e non drenate che è funzione del modulo del Poisson secondo la formula

$$E = \frac{3}{2(1+\mu)} \cdot E'$$

Per  $\mu = 0,3$  risulta un valore teorico  $E / E' = 1,15$ .

Per quanto sopra la determinazione del modulo  $E$  per i terreni a grana fine viene effettuata facendo sempre riferimento alle indagini in sito, in particolare alle prove SPT, quando disponibili, e alle prove pressiometriche.

Riguardo le prove SPT l'uso dei risultati in questi terreni è stato sempre meno frequente che in quelli incoerenti ciò perché le correlazioni empiriche, fra  $N_{30}$  e i parametri di interesse, presentano notevole variabilità e spesso forniscono indicazioni contraddittorie e quindi la loro applicabilità è stata sempre limitata. I risultati delle prove SPT associati ad altri tipi di indagine possono però risultare di grande utilità. Nel nostro caso essendo state eseguite con regolarità prove SPT in tutti i sondaggi è stato possibile associare i risultati di queste prove a quelli delle prove pressiometriche. Il modulo di elasticità calcolato con la formula di Schultze e Mezembach in funzione di  $N_{30C}$  (valore di  $N_{30}$  ridotto in funzione della pressione verticale efficace) ha fornito dei valori inferiori rispetto a quelli dalle prove pressiometriche.

In forza di questa comparazione, peraltro cautelativa, per i terreni a grana fine il modulo di elasticità viene determinato con la sopra richiamata correlazione di Schultze e Mezembach.

### *G.2.3.2 Caratteristiche per deformazione monodimensionale*

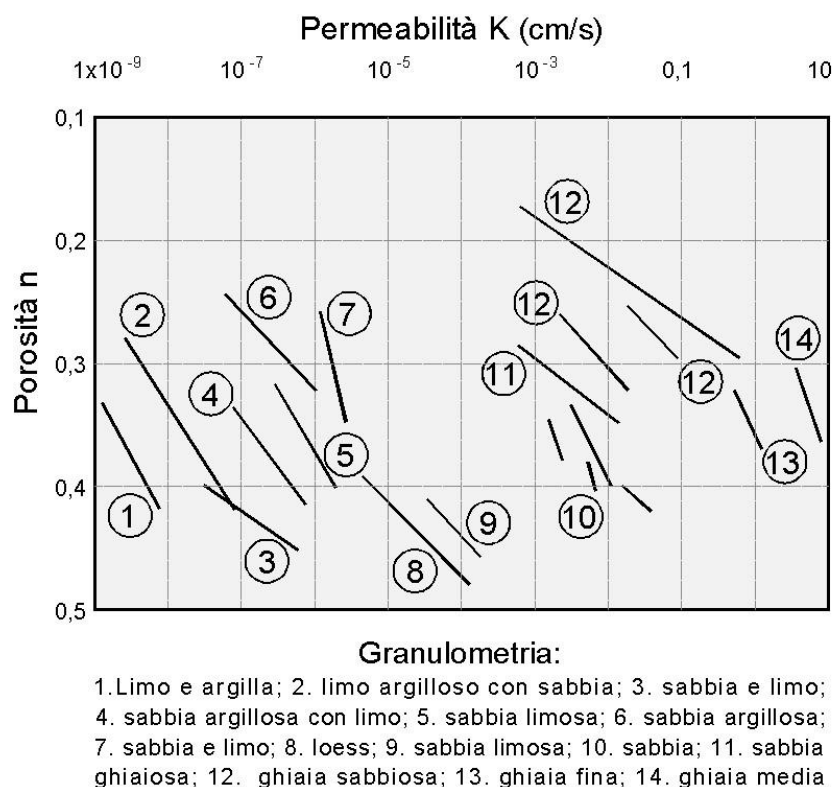
La determinazione delle caratteristiche di deformabilità viene eseguita con una analisi critica dei risultati delle prove di compressione edometrica, tenendo conto della classe di qualità del campione di cui alle Raccomandazioni AGI 1977 della Tabella G.1. Da tali si prove si ricavano il modulo edometrico  $E_{ed}$ , il coefficiente di consolidazione  $C_v$  e l'indice di compressibilità  $C_c$ . Viene calcolato (quando possibile) il valore dell'indice di sovraconsolidazione OCR, determinato

con la costruzione di Casagrande. A tal proposito occorre precisare che il valore fornito è soltanto una stima del valore reale perché, per una serie di ragioni (come affermato da T. William Lamde e Robert V. Whitman nella "Meccanica dei terreni"), la pressione di preconsolidazione determinata con la costruzione avanti richiamata non risulta precisa e la curva di consolidazione ottenuta in laboratorio non riproduce la curva di compressione del terreno in sito.

#### G.2.4 Determinazione delle caratteristiche di permeabilità

Le caratteristiche di permeabilità vengono determinate con l'analisi critica dei risultati delle prove di permeabilità eseguite in sito (quando disponibili), comparati con quelli delle prove edometriche di laboratorio e con le indicazioni di Croce e Jappelli (1983) di cui alla figura seguente.

**Figura G.5 - Permeabilità delle terre in funzione della granulometria e della porosità (A. Croce e R. Jappelli, 1983)**



### G.3 Metodologia di analisi dei risultati delle indagini sui terreni lapidei

Nei terreni lapidei il comportamento dell'ammasso roccioso è molto differente da quello della roccia intatta in quanto la risposta meccanica alle forze esterne ad esso applicate dipende in maniera sostanziale anche da altri fattori quali la struttura della roccia, le discontinuità, lo stato tensionale esistente e gli aspetti idrogeologici. Occorre trattare prima la matrice lapidea (roccia intatta che non contiene fratture significative) determinandone le caratteristiche di resistenza e di deformabilità con le prove di laboratorio. Poi si analizzano le discontinuità presenti nell'ammasso con tutte le loro caratteristiche (geometriche, idrogeologiche) attraverso i rilievi geomeccanici. I terreni lapidei vengono pertanto caratterizzati utilizzando i risultati delle prove di laboratorio e delle stazioni geomeccaniche adattate alle caratteristiche delle colonne dei sondaggi con i criteri che vengono esposti ai paragrafi seguenti.

#### G.3.1 Determinazione delle caratteristiche di resistenza della roccia intatta

In laboratorio sono state eseguite, oltre le prove fisiche, prove di compressione uniassiale triassiale e puntuale. Con le prime è stato determinato il valore della pressione di rottura  $\sigma_n$ , con le triassiali sono stati determinati i parametri di resistenza a taglio, la coesione intercetta  $c$  e l'angolo  $\phi$ .

Con le prove puntuali eseguite su campioni di forma irregolare si determina un indice di resistenza puntuale medio (riferito ad una dimensione standard) che presenta una buona correlazione con la resistenza monoassiale con formula del tipo  $\sigma_r = C \cdot I_{S(50)}$ . Si è adottato il valore minimo  $C = 17,5$  di cui alle relative tabelle delle norme ASTM D5731-02.

#### G.3.2 Determinazione delle caratteristiche di deformabilità della roccia intatta

Il modulo di elasticità  $E$  è stato rilevato direttamente dalle prove di compressione triassiale, quando possibile ed in subordine dalla letteratura tecnica specifica.

#### G.3.3 Determinazione delle caratteristiche di resistenza dei terreni lapidei.

Come accennato ai paragrafi precedenti la caratterizzazione dei terreni è stata eseguita in base ai risultati delle prove di laboratorio, ai rilevamenti delle stazioni geomeccaniche ed alle informazioni dei sondaggi.

L'ammasso roccioso emergente è stato caratterizzato dai geologi con la classificazione di Beniauskis (1989) con la quale viene determinato un indice, chiamato BMR, che è la somma di

coefficienti che sono funzione dei seguenti fattori, la cui parte maggiore è stata determinata in base ai rilievi di campagna:

- A1) Resistenza compressione roccia intatta
- A2) Indice RQD
- A3) Spaziatura discontinuità
- A4) Condizioni discontinuità
- A5) Condizioni idrogeologiche
- A6) Orientamento discontinuità

Per ogni stazione geomeccanica (i cui risultati sono riportati nella apposita relazione parte integrante dello studio geologico) i parametri di resistenza sono stati determinati con le formule:

$$c = 5 \cdot \text{BMR}_{89} \quad \phi = 5 + \text{BMR}_{89}/2$$

La caratterizzazione dei terreni lapidei è stata effettuata pertanto con riferimento a tutte le informazioni disponibili dalle stazioni geomeccaniche, dalle risultanze dei sondaggi (tramite il parametro RQD) e dalle prove di compressione triassiale, monoassiale e di carico puntuale (PLT). In mancanza di prove di laboratorio la caratterizzazione dei terreni è stata eseguita con i risultati delle stazioni geomeccaniche adeguati alle risultanze dei sondaggi tramite il parametro RQD.

In presenza di prove di laboratorio, compressione uniassiale e/o di carico puntuale, si è proceduto in maniera analoga al caso precedente, adeguando l'indice BMR ai valori della resistenza uniassiale e la coesione è stata determinata partendo proprio dal valore di quest'ultima. Da alcune esperienze si è rilevato che per la roccia intatta la coesione può essere considerata indicativamente pari a  $\frac{1}{6} \div \frac{1}{9}$  della resistenza uniassiale.

Posto cautelativamente  $c_i = \sigma_r/10$ , la coesione  $c$  da attribuire ai terreni lapidei può essere stimata a sua volta come aliquota di quella dalla roccia intatta adottando un coefficiente riduttivo  $\alpha$  che tenga conto delle risultanze del sondaggio tramite il parametro RQD e dello stato del campione esaminato in relazione e a quello dei terreni investigati. In genere il coefficiente così stimato può assumere valori  $\alpha = \frac{1}{6} \div \frac{1}{10}$ .

In presenza di prove di compressione triassiale complete e quindi dei parametri  $c$  e  $\phi$  della roccia intatta la coesione dei terreni è stata stimata in funzione dell'indice RQD ed adottando un

coefficiente riduttivo  $\alpha = \frac{1}{6} \div \frac{1}{10}$  valutato sempre in base alle risultanze del sondaggio (esame delle condizioni dei campioni in relazione a tutto il carotaggio interessato). Altresì si è proceduto sempre alla comparazione critica con quella dell'ammasso ed adottando quindi il valore ritenuto più rappresentativo dei terreni esaminati.

L'angolo di resistenza al taglio dell'ammasso roccioso risulta in genere minore di quello della matrice lapidea (roccia intatta) in quanto è influenzato dalle discontinuità e dalle sue caratteristiche. Per sua la valutazione si è proceduto all'analisi critica dei risultati delle prove di compressione triassiale (quando disponibili) in uno a quelli delle stazioni geomeccaniche in funzione delle condizioni dei terreni stessi rilevabili dalle colonne stratigrafiche e, quando necessario, con riferimenti ad esperienze su litotipi simili e a richiami della letteratura tecnica.

#### G.3.4 Determinazione delle caratteristiche di deformabilità dei terreni lapidei.

Per la determinazione del modulo di elasticità di E si è proceduto in maniera analoga a quella seguita per i parametri di resistenza. Il valore del modulo è stato sempre adeguato alle risultanze del sondaggio tramite il parametro RQD e, quando disponibili, anche ai risultati delle prove di laboratorio. In presenza di prove di compressione triassiale con determinazione del modulo E della roccia intatta, il modulo da attribuire ai terreni lapidei è stato determinato con le correlazioni fra i due moduli in funzione degli indici RQD e RMRa con le formule:

$$1) E = E_i \cdot (0,0001 \cdot RQD)^{1,94}$$

$$2) E = E_i \cdot (0,0006 \cdot RQD)^{1,435}$$

$$3) E = E_i \left[ 0,5 \left( 1 - \cos \frac{180 \times RMRa}{100} \right) \right]$$

dove  $RMRa = f(A1 + A2 + A3 + A4)$

In mancanza di qualsiasi riferimento si procede per comparazione oppure con la formula

$$E = 10^{\frac{BMR-10}{40}}$$

con l'indice BMR ripreso dalle stazioni geomeccaniche ed adattato alle caratteristiche emerse dal sondaggio.



Le prime due dipendono dal parametro RDQ e sono da utilizzare in presenza di giunti chiusi (la prima) e aperti (la seconda). La terza è funzione del parametro RMRa che meglio rappresenta le proprietà intrinseche dell'ammasso.

Nella determinazione del modulo E inoltre si è sempre tenuto conto delle condizioni del campione in rapporto a quelle dei terreni di interesse.

## H INDICAZIONI PROGETTUALI SCAVI PROVVISORIALI

Nel presente capitolo si analizzano le stabilità degli scavi provvisoriali necessari sia per la realizzazione delle opere d'arte maggiori (fondazioni di spalle, pile), sia per la realizzazione delle opere d'arte minori (muri, paratie, terre rinforzate, fondazioni cavalcavia, tombini, sottovia), sia per tutte quelle sistemazioni del territorio utili in fase di accessibilità alle aree di lavoro (piste di cantiere).

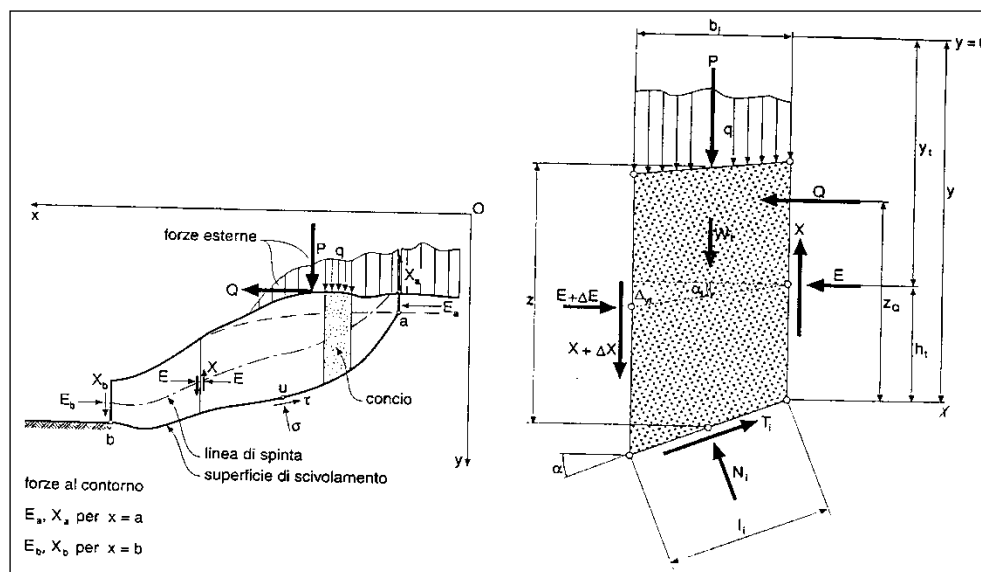
Le analisi di stabilità sono state eseguite per le principali formazioni litologiche presenti all'interno dei lotti.

Le analisi di stabilità sono state condotte in assenza di falda, dal momento che gli scavi si eseguiranno sempre al di sopra della posizione della falda. Nei casi in cui l'altezza di scavo superi i 10 metri si prevederà la realizzazione di una banca intermedia. Le analisi sono state condotte utilizzando superfici di rottura circolari ed esclusivamente in condizioni statiche. La prima ipotesi risulta corretta dal momento che per formazioni omogenee, da quanto riportato in bibliografia sulla base di distacchi avvenuti, le possibili superfici di distacco presentano forma pseudo-circolare; la seconda ipotesi risulta giustificata dal fatto che gli scavi hanno utilità provvisoria e non definitiva.

All'interno del presente capitolo, dopo aver presentato a titolo di esempio l'analisi di stabilità globale per la formazione "a" (alluvioni coesive) del lotto 8, si riportano le tabelle riassuntive con le indicazioni progettuali delle pendenze di scavo provvisoria distinte per litotipo e per lotto di riferimento, compilate in seguito alle analisi effettuate.

Le analisi sono state eseguite secondo il metodo dell'equilibrio limite globale; come è noto tale analisi si conduce esaminando un certo numero di possibili superfici di scivolamento per ricercare quella che rappresenta il rapporto minimo tra la resistenza a rottura disponibile e quella effettivamente mobilitata; il valore di questo rapporto costituisce il fattore di sicurezza del pendio. Scelta quindi una superficie di rottura, si suddivide in conci la parte instabile, si studia poi l'equilibrio della singola striscia e infine si passa alla stabilità globale; di seguito sono riportate schematicamente le azioni agenti su di un singolo concio.

**Figura H.1: Forze agenti sul singolo concio**



Per ogni concio sono disponibili per la risoluzione del sistema le tre equazioni della statica (equilibrio traslazione verticale, orizzontale ed equilibrio dei momenti), quindi per  $n$  conci si avranno  $3n$  equazioni linearmente indipendenti.

Per l'analisi di stabilità è stato utilizzato il metodo di calcolo di Bishop, che permette di determinare il coefficiente di sicurezza alla rottura.

Le analisi sono state condotte, come prescritto dalla normativa vigente, secondo la "Combinazione 2" (A2+M2+R2) in condizioni statiche.

Il fattore di sicurezza minimo del versante è stato assunto pari a 1.00; tale fattore di sicurezza si ritiene adeguato agli scavi in oggetto, vista la provvisorietà delle operazioni di scavo.

### H.1 Analisi di stabilità litotipo alluvioni coesive lotto 8 per scavi provvisionali

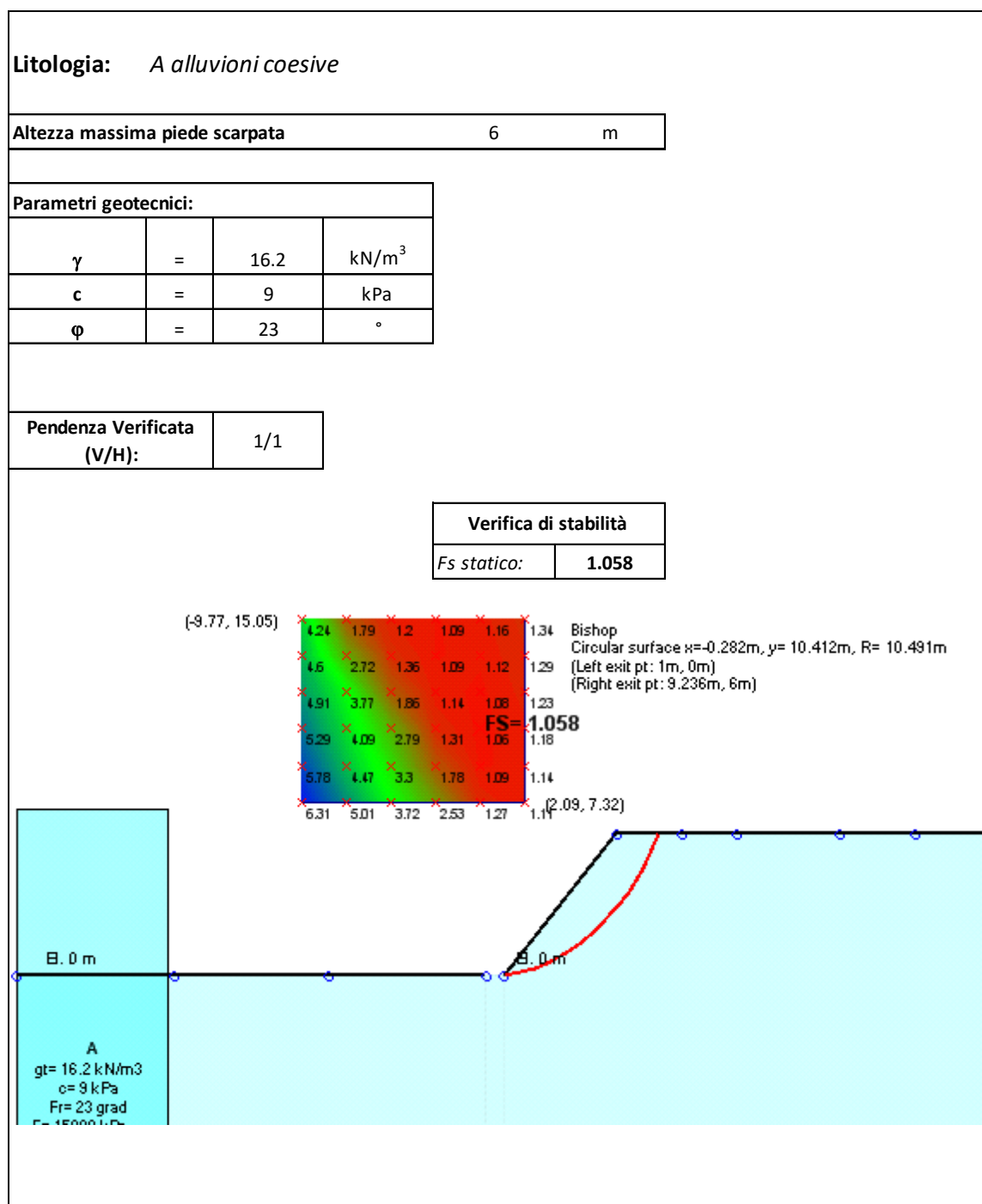
Come anticipato si riporta, a titolo di esempio, l'analisi di stabilità globale per gli scavi provvisionali nella formazione "a coesivo" del lotto 8. La medesima procedura è stata utilizzata per tutte le altre analisi, che hanno condotto alla compilazione delle tabelle riportate al relativo paragrafo.

Nel caso in esame l'analisi di stabilità globale è stata condotta per un'altezza massima pari a 6 m; la pendenza prevista per gli scavi provvisionali è stata posta pari a 1/1; il litotipo in oggetto presenta come parametri di resistenza meccanica coesione efficace  $c'$  pari a 9 KPa e angolo di resistenza a taglio  $\phi'$  pari a 23°; tali valori sono da considerare medi per la formazione in oggetto.

L'analisi in condizioni statiche ha condotto ad esito positivo, poiché tale valore è risultato 1.058, superiore al limite fissato pari a 1.000.

Nella figura seguente si riporta la scheda con la sintesi dei parametri di input, pendenza di progetto e fattore di sicurezza.

**Figura H.2: Scheda di analisi trincea**



## H.2 Tabelle riassuntive pendenza della scarpate provvisionali

Nel presente paragrafo si riportano le tabelle riassuntive con l'indicazione progettuale delle pendenze provvisionali delle scarpate in scavo, compilate sulla base di tutte le analisi effettuate. Le tabelle sono differenziate per singolo lotto e contengono le indicazioni progettuali distinte per singola unità geotecnica.

**Tabella H.1: Indicazioni progettuali pendenza scavi provvisionali lotto 1**

<b>Indicazioni progettuali scavi provvisionali di progetto lotto 1</b>	
<b>Formazione</b>	<b>Pendenza scarpate provvisionali (V/H)</b>
Ar	2/3
Conoide	1/1
Detrito	2/3
Mc (Litoide)	5/1
Mc (Sciolta)	1/1
Mcm (Litoide)	5/1
Mcm (Sciolta)	1/1
Ocm (Litoide)	5/1
Ocm (Sciolta)	1/1
P	2/3
Qm	2/3
Ril. Esistente	2/3

**Tabella H.2: Indicazioni progettuali pendenza scavi provvisionali lotto 2**

<b>Indicazioni progettuali scavi provvisionali di progetto lotto 2</b>	
<b>Formazione</b>	<b>Pendenza scarpate provvisionali (V/H)</b>
a	2/3
Ar	2/3
Conoide	1/1
Mc	5/1
Mcm (Litoide)	5/1
Mcm (Sciolta)	1/1
Mm	1/1
Qcs	2/3
Qm	1/1
Ril. Esistente	2/3

**Tabella H.3: Indicazioni progettuali pendenza scavi provvisionali lotto 3**

<b>Indicazioni progettuali scavi provvisionali di progetto lotto 3</b>	
<b>Formazione</b>	<b>Pendenza scarpate provvisionali (V/H)</b>
a	2/3
Ar	2/3
Detrito	2/3
Mg	5/1
Mm	1/1
Ms	5/1
Mv	1/1
P	2/3
Pa	1/1
Pm (Litoide)	5/1
Pm (Sciolta)	1/1
Qc(b) (Litoide)	5/1
Qc(b) (Sciolta)	1/1
Qcs	2/3
Qm	1/1
Qs	1/1
Qsa (Litoide)	5/1
Qsa (Sciolta)	1/1
Ril. Esistente	2/3

**Tabella H.4: Indicazioni progettuali pendenza scavi provvisionali lotto 4**

<b>Indicazioni progettuali scavi provvisionali di progetto lotto 4</b>	
<b>Formazione</b>	<b>Pendenza scarpate provvisionali (V/H)</b>
Mg (Litoide)	5/1
Mg (Sciolta)	1/1
Mm (Litoide)	5/1
Mm (Sciolta)	1/1
Ms	5/1
Mv	1/1
Pm (Litoide)	5/1
Pm (Sciolta)	1/1
Pvl (Litoide)	5/1
Pvl (Sciolta)	2/3
Qc(a) (Litoide)	5/1
Qc(b)	1/1
Ril. Esistente	2/3

**Tabella H.5: Indicazioni progettuali pendenza scavi provvisionali lotto 5**

<b>Indicazioni progettuali scavi provvisionali di progetto lotto 5</b>	
<b>Formazione</b>	<b>Pendenza scarpate provvisionali (V/H)</b>
a	2/3
Ar	2/3
Detrito	2/3
Mg (Litoide)	5/1
Mg (Sciolta)	1/1
Mm (Litoide)	5/1
Mm (Sciolta)	1/1
Mv (Litoide)	5/1
Mv (Sciolta)	1/1
P	2/3
Pa	1/1
Pm (Litoide)	5/1
Pm (Sciolta)	1/1
Pv (Litoide)	5/1
Pv (Sciolta)	2/3
Pvs	2/3
Ppw	2/3
TVR	2/5
Ril. Esistente	2/3

**Tabella H.6: Indicazioni progettuali pendenza scavi provvisionali lotto 6**

<b>Indicazioni progettuali scavi provvisionali di progetto lotto 6</b>	
<b>Formazione</b>	<b>Pendenza scarpate provvisionali (V/H)</b>
P	2/3
Ppw	2/3
Ppw (litoide)	5/1
Pv (litoide)	5/1
Pv (Sciolta)	2/3
Pvl	5/1
Pvl (Sciolta)	2/3
Pvs	2/3
Qcs	2/3
Qt	2/3
Ril. Esistente	2/3

**Tabella H.7: Indicazioni progettuali pendenza scavi provvisionali lotto 7**

<b>Indicazioni progettuali scavi provvisionali di progetto lotto 7</b>	
<b>Formazione</b>	<b>Pendenza scarpate provvisionali (V/H)</b>
a (incoerente)	2/3
a (coesivo)	1/1
Ar	2/3
ec	2/3
Pvl	5/1
Pvl (Sciolta)	2/3
Pvs	2/3
Qa	1/1
Qca	2/3
Qcs	2/3
Qcs (Semilitoide)	1/1
Ril. Esistente	2/3

**Tabella H.8: Indicazioni progettuali pendenza scavi provvisionali lotto 8**

<b>Indicazioni progettuali scavi provvisionali di progetto lotto 8</b>	
<b>Formazione</b>	<b>Pendenza scarpate provvisionali (V/H)</b>
a (incoerente)	2/3
a (coesivo)	1/1
Ar	2/3
Pv	2/3
Pvl	5/1
Pvs	2/3
Qa	1/1
Qc(a)	5/1
Qc(a) (Sciolta)	2/3
TR	2/3
Trm	2/3
Ril. Esistente	2/3



## I SUSCETTIBILITA' ALLA LIQUEFAZIONE

In condizioni sismiche, il termine "liquefazione" comprende una serie di fenomeni associati alla perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate.

### I.1 Metodi di analisi

Per il caso in esame è stato utilizzato un metodo di analisi semplificata.

#### I.1.1 Metodi di analisi semplificata

##### I.1.1.1 Introduzione

Nei metodi di analisi semplificata la verifica alla liquefazione del deposito è effettuata in condizioni di "free-field". La sicurezza nei confronti della liquefazione, ad una generica profondità, è valutata in termini di coefficiente di sicurezza,  $F_L$ , definito come rapporto fra resistenza disponibile alla liquefazione e sollecitazione indotta dall'azione sismica. Entrambi i parametri tensionali sono correntemente normalizzati rispetto alla tensione verticale efficace agente alla profondità esaminata, in modo da definire un rapporto di resistenza ciclica, CRR, e un rapporto di tensione ciclica, CSR.

##### I.1.1.2 Valutazione del rapporto di tensione ciclica CSR

Il rapporto di tensione ciclica, ad una determinata profondità, può essere valutato attraverso la seguente espressione (Seed e Idriss, 1971):

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0.65 \frac{a_{max}}{g} \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} r_d$$

dove  $a_{max,s}$  è l'accelerazione di picco al piano campagna del terremoto di progetto;  $g$  è l'accelerazione di gravità;  $\sigma_v$  e  $\sigma'_v$  sono rispettivamente la tensione totale verticale e la tensione efficace verticale alla profondità considerata;  $r_d$  è un coefficiente riduttivo dell'azione sismica che porta in conto la deformabilità del sottosuolo, ricavabile dalla seguente relazione (Liao e Whitmann, 1986):

$$r_d = 1 - 0.00765z \quad \text{per } z \leq 9.15 \text{ m}$$
$$r_d = 1.174 - 0.0267z \quad \text{per } 9.15 < z \leq 23 \text{ m}$$

Poiché le procedure semplificate sono state elaborate sulla base di osservazioni sul comportamento dei depositi durante eventi sismici con magnitudo  $M$  pari a 7.5, per eventi di magnitudo diversa, occorre ricondurre il carico sismico a quello equivalente di un terremoto di magnitudo 7.5  $(CSR)_{M=7.5}$  attraverso la relazione seguente:

$$(CSR)_{M=7.5} = \frac{CSR}{MSF}$$

in cui  $MSF$  è un fattore di scala per la magnitudo.

Il valore di  $MSF$ , può ricavarsi da (Idriss e Boulanger, 2004):

$$\begin{cases} MSF = 6.9 \exp\left(\frac{-M}{4}\right) - 0.058 \\ MSF \leq 1.8 \end{cases}$$

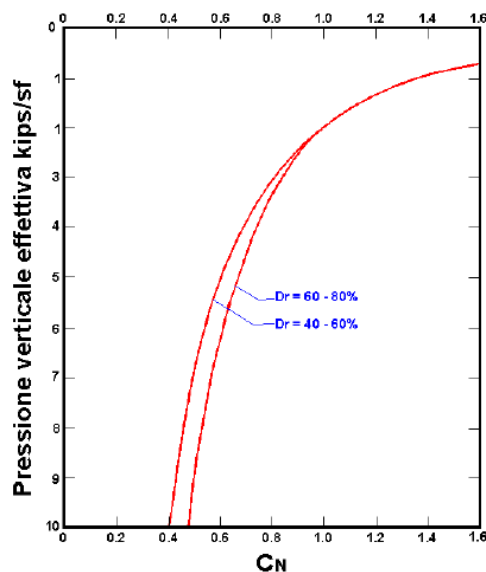
### I.1.1.3 Valutazione del rapporto di tensione ciclica $CRR$

La resistenza penetrometrica espressa attraverso il numero di colpi  $N_{SPT}$  della Standard Penetration Test, è ricondotta ad un valore normalizzato e corretto  $(N_1)_{60}$  mediante la seguente espressione:

$$(N_1)_{60} = N_{SPT} C_N C_E C_B C_R C_S$$

Il coefficiente  $C_N$  (fattore correttivo per tenere conto dell'influenza della pressione verticale efficace) è ricavabile dal seguente grafico:

**Figura I.1: Coefficiente correttivo  $C_N$**



Il coefficiente  $C_E$  (fattore correttivo per considerare il rendimento energetico, ER, dell'attrezzatura), riconduce le misure ad un rendimento energetico del 60% e può essere valutato nel modo seguente:

$$C_E = \frac{ER_m}{60}$$

in cui  $ER_m$  è il fattore di rendimento (espresso in %) del trasferimento dell'energia del maglio all'attrezzo campionatore, relativo alla macchina utilizzata per eseguire la prova.

I coefficienti  $C_B$  (fattore correttivo per le dimensioni del foro sondaggio),  $C_R$  (fattore correttivo per la lunghezza delle aste della macchina esecutrice) e  $C_S$  (fattore correttivo per il tipo di attrezzo campionatore) possono essere stimati utilizzando le indicazioni riportate nella tabella seguente:

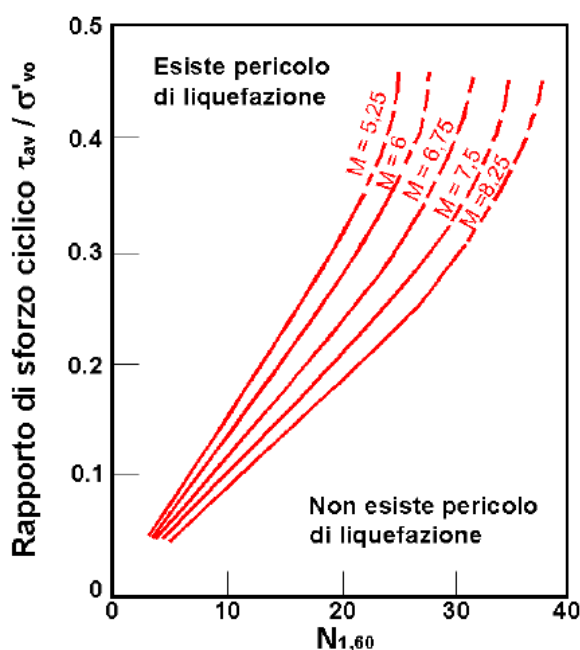
**Tabella I.1: Coefficienti  $C_B$  -  $C_R$  -  $C_S$**

Fattore correttivo	Variabile	Valore del fattore correttivo
Diametro del foro di sondaggio, $C_B$	65 ÷ 115 mm	1.00
	150 mm	1.05
	200 mm	1.15
Lunghezza delle aste, $C_R$	3 ÷ 4 m	0.75
	4 ÷ 6 m	0.85
	6 ÷ 10 m	0.95
	10 ÷ 30 m	1.0
	> 30 m	> 1.0
Tipo di fustella, $C_S$	Campionatore standard	1.0
	Campionatore senza astuccio	1.1 ÷ 1.3

In mancanza di specifiche informazioni, nel caso in cui le prove siano eseguite sulla base delle raccomandazioni fornite dall'Associazione Geotecnica Italiana (AGI, 1977), i coefficienti  $C_E$ ,  $C_B$ ,  $C_R$ , e  $C_S$  possono essere assunti pari ad uno.

Dal valore di  $(N_1)_{60}$  può essere infine ricavato il valore della resistenza alla liquefazione mediante l'impiego del seguente abaco:

Figura I.2: Correlazione fra CSR e  $N_{1,60}$

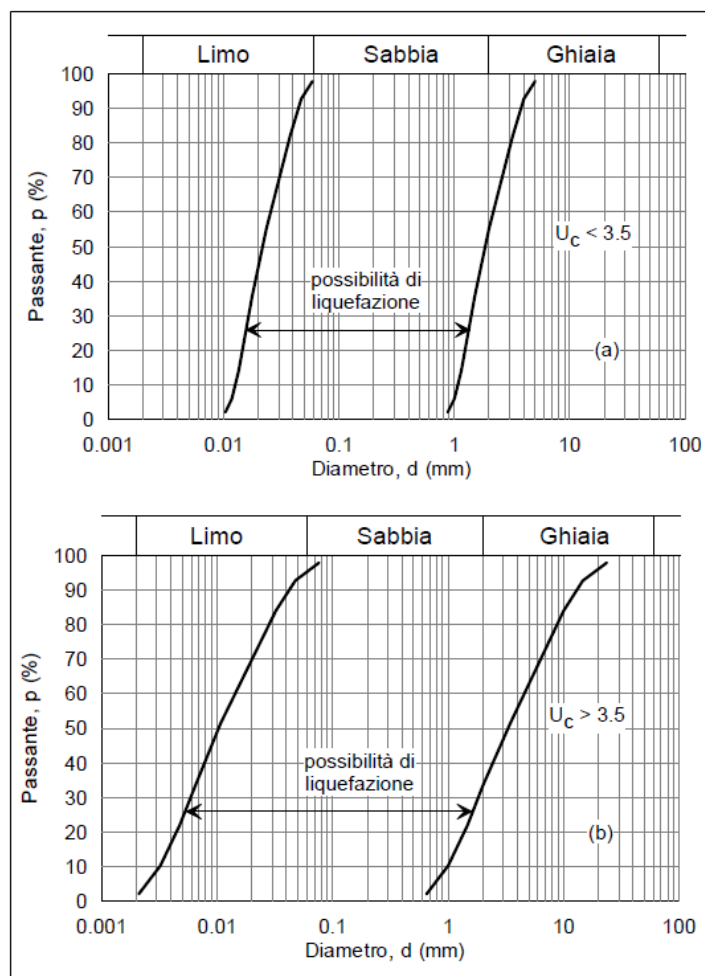


## I.2 Esclusione della verifica a liquefazione

Nel D.M. 14.01.2008 al §7.11.3.4.2 vengono elencati cinque criteri di riferimento per l'esclusione della verifica alla liquefazione. Essi sono:

1. eventi sismici attesi di magnitudo M inferiore a 5;
2. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
3. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;
4. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata  $(N_1)_{60} > 30$  oppure  $q_{c1N} > 180$  dove  $(N_1)_{60}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e  $q_{c1N}$  è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
5. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella figura seguente nel caso, rispettivamente, di terreni con coefficiente di uniformità  $U_c < 3,5$  e  $U_c > 3,5$ .

## 6. Figura I.3: Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione



### I.3 Verifiche

Al fine di valutare la sicurezza nei confronti della liquefazione è stata adottata la seguente metodologia.

Per prima cosa sono stati individuati tutti i depositi in cui è possibile omettere la verifica (§1.2), successivamente, si è proceduti al calcolo dei rimanenti depositi, mediante la procedura semplificata descritta al §1.1.1.

Per le suddette verifiche, si rimanda alle relazioni geotecniche dei singoli lotti.

## J CONCLUSIONI

In questa relazione sono stati descritti i criteri generali per la determinazione delle caratteristiche geotecniche dei terreni relativi al progetto definitivo dell' "Ammodernamento a n. 4 corsie della SS. 514" di CHIARAMONTE" e della "SS 194 "RAGUSANA" dallo svincolo con la SS115 allo svincolo con la SS 114. Dopo la descrizione delle indagini eseguite in sito ed in laboratorio e delle metodologie utilizzate per l'analisi dei relativi risultati si sono descritti i criteri per la caratterizzazione dei terreni che saranno interessati dalle opere di progetto secondo le fasi che di seguito si espongono.

La trattazione per ogni singola formazione, per la quale si rimanda alle relazioni geotecniche di lotto, procede così come individuata nello studio geologico, suddivisa, quando presenti entrambi le due componenti, per terreni lapidei e per terreni sciolti.

I terreni da caratterizzare sono stati individuati in base alle stratigrafie dei sondaggi. Per i terreni lapidei sono stati definiti i parametri di resistenza, di deformabilità e le caratteristiche di permeabilità quando possibile. Per i terreni sciolti sono state definite le caratteristiche fisiche, i parametri di resistenza sia in termini di tensioni efficaci e totali (per i terreni coerenti), i moduli di deformabilità e le caratteristiche di permeabilità.

Tutte le caratteristiche dei terreni sono state poi riepilogate nelle specifiche tabelle riassuntive alla fine del capitolo della singola formazione.

All'interno della presente relazione sono stati altresì descritti i criteri e le indicazioni progettuali relative alle pendenze degli scavi provvisionali e i criteri per la determinazione del potenziale di liquefazione.