

S.S.131 "Carlo Felice"
 Completamento itinerario Sassari – Olbia.
 Potenziamento e messa in sicurezza S.S.131
 dal km 192+500 al km 209+500.
 2° Lotto dal km 202+000 al km 209+500

PROGETTO DEFINITIVO

COD. CA357

PROGETTAZIONE: ATI VIA - SERING - VDP - BRENG

RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI SPECIALISTICHE:

Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma A27296)

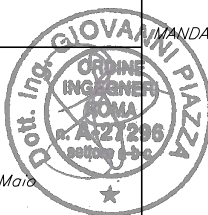
GRUPPO DI PROGETTAZIONE

MANDATARIA:

MANDANTI:

PROGETTISTA:

Responsabile Tracciato stradale: *Dott. Ing. Massimo Capasso (Ord. Ing. Prov. Roma 26031)*
 Responsabile Strutture: *Dott. Ing. Giovanni Piazza (Ord. Ing. Prov. Roma 27296)*
 Responsabile Idraulica, Geotecnica e Impianti: *Dott. Ing. Sergio Di Maio (Ord. Ing. Prov. Palermo 2872)*
 Responsabile Ambiente: *Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)*



GEOLOGO:

Dott. Geol. Enrico Curcuruto (Ord. Geo. Regione Sicilia 966)

COORDINATORE SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Dott. Ing. Matteo Di Girolamo (Ord. Ing. Prov. Roma 15138)

RESPONSABILE SIA:

Dott. Ing. Francesco Ventura (Ord. Ing. Prov. Roma 14660)



VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO:

Dott. Ing. Edoardo Quattrone


GALLERIA NATURALE PALA SOLIANA_GN01
RELAZIONE GEOTECNICA GALLERIA PALA SOLIANA

CODICE PROGETTO		NOME FILE		REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	CA357_P00GN01GETRE01_A			
DPCA0357	D 20	CODICE ELAB.	P00GN01GETRE01	A	-
D		-	-	-	-
C		-	-	-	-
B		-	-	-	-
A	EMISSIONE	APRILE 2021	V. TURANO	V. CANZONERI	G.PIAZZA
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

INDICE

1	PREMESSA.....	3
2	RIFERIMENTI NORMATIVI	5
3	CENNO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO	6
4	INDAGINI GEOTECNICHE	7
4.1	Campagna d'indagini 1999	8
4.2	Campagna d'indagini 2020:	10
5	CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI	18
5.1	Terreni sciolti	22
5.1.1	Argilla marnosa - AM.....	22
5.2	Rocce lapidee	27
5.2.1	Marne e marne argillose - M.....	27
5.2.2	Marne calcarenitiche - MC.....	32
5.2.3	Calcareniti - CL.....	37
5.3	Falda	44
5.4	Caratterizzazione fisico – meccanica dei terreni	44
5.5	Caratterizzazione sismica dei terreni	47
6	RAPPORTI OPERE TERRENI – GALLERIA PALA SOLIANA.....	48

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

ELENCO DELLE FIGURE

Figura 1.1: Area d'intervento CA357	3
Figura 5.1: Terreni AM – Andamento del passante in peso con la profondità	22
Figura 5.2: Terreni AM – Andamento del contenuto naturale d'acqua e dei limiti di Atterberg con la profondità	23
Figura 5.3: Terreni AM – Carta di attività	24
Figura 5.4: Terreni AM – Carta di plasticità	24
Figura 5.5: Terreni AM – Valori dell'angolo di resistenza al taglio e della coesione da prove di laboratorio	25
Figura 5.6: Terreni AM – Valori della coesione non drenata da prove di laboratorio	26
Figura 5.7: Roccia M – distribuzione σ_{ci} da prove di compressione monoassiale	27
Figura 5.8: Roccia M – valore medio di RQD nello strato	28
Figura 5.9: Roccia M – RMR	29
Figura 5.10: Roccia M – caratteristiche di resistenza e deformabilità	30
Figura 5.11: Roccia M – modulo elastico secante E_{s50}	31
Figura 5.12: Roccia M – modulo elastico tangente E_{t50}	31
Figura 5.13: Roccia M – coefficiente di Poisson ν_{50}	31
Figura 5.14: Roccia MC – distribuzione σ_{ci} da prove di compressione monoassiale	32
Figura 5.15: Roccia MC – valore medio di RQD nello strato	33
Figura 5.16: Roccia MC – RMR	34
Figura 5.17: Roccia MC – caratteristiche di resistenza e deformabilità	35
Figura 5.18: Roccia MC – modulo elastico secante E_{s50}	36
Figura 5.19: Roccia MC – modulo elastico tangente E_{t50}	36
Figura 5.20: Roccia MC – coefficiente di Poisson ν_{50}	36
Figura 5.21: Roccia CL – distribuzione σ_{ci} da prove di compressione monoassiale	38
Figura 5.22: Roccia CL – valore medio di RQD nello strato	39
Figura 5.23: Roccia CL – RMR	40
Figura 5.24: Roccia CL – caratteristiche di resistenza e deformabilità	41
Figura 5.25: Roccia CL – modulo elastico secante E_{s50}	42
Figura 5.26: Roccia CL – modulo elastico tangente E_{t50}	42
Figura 5.27: Roccia CL – coefficiente di Poisson ν_{50}	42
Figura 5.28: Coesione dell'ammasso roccioso	46
Figura 5.29: Angolo di attrito dell'ammasso roccioso	46
Figura 6.1: GN01 – schema fisico di riferimento	49

ELENCO DELLE TABELLE

Tabella 4.1: Sondaggi eseguiti nella campagna di indagini del 1999	9
Tabella 4.2: Livello di falda riportato nella campagna d'indagini 1999	9
Tabella 4.3: Risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT	10
Tabella 4.4: Risultati delle prove di permeabilità Lugeon	10
Tabella 4.5: Sondaggi eseguiti nella campagna d'indagini 2020	11
Tabella 4.6: Risultati delle Prove Penetrometriche Dinamiche SPT	12
Tabella 4.7: Campioni litoidi, indisturbati e rimaneggiati prelevati	15
Tabella 4.8: Posizione delle prove Lugeon e pressiometriche	16
Tabella 4.9: Basi sismiche	16
Tabella 5.1: Classificazione geotecnica dei terreni	18
Tabella 5.2: Coefficiente A funzione dell'epoca geologica del deposito	20
Tabella 5.3: Coefficiente B funzione della composizione granulometrica del deposito	20
Tabella 5.6: Caratteristiche di progetto dei terreni sciolti	45
Tabella 5.7: Caratteristiche di progetto delle rocce lapidee	45
Tabella 5.8: Categorie di sottosuolo e velocità di taglio equivalenti	47

ALLEGATO A: Colonne stratigrafiche dei sondaggi

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

1 PREMESSA

Nella seguente relazione sono presentati i risultati degli studi svolti e delle verifiche eseguite nell'ambito della caratterizzazione geotecnica per la galleria Pala Soliana in ambito del progetto definitivo dell'intervento riguardante i lavori di potenziamento e messa in sicurezza della S.S.131 "Carlo Felice" del lotto 2 dal km 202 al km 209+500.

L'intervento è inserito con codice CA357 nel Contratto di Programma 2016 - 2020 sottoscritto tra Ministero delle Infrastrutture ed Anas, approvato con Delibera CIPE n.65 del 7 agosto 2017, pubblicata sulla gazzetta Ufficiale n.292 del 15 dicembre 2017.

L'intervento in oggetto costituisce una parte dei lavori di adeguamento e messa in sicurezza della SS131 nel tratto dal nuovo svincolo con la SS729 "Sassari-Olbia", nel comune di Codrongianus (km 192+500 ca) fino all'abitato di Sassari (km 209+500 ca). Inserendosi al termine dell'ultimo lotto della Sassari-Olbia l'ammodernamento di questo tratto della SS131 costituisce, di fatto, il completamento del nuovo itinerario della SS729 verso Sassari.


Il presente 2° lotto riguarda gli interventi di adeguamento da eseguire nel tratto dal km 202 ca. fino al km 209+500, essendo il tratto dal km 192+500 al km 198+500 ca. oggetto di adeguamento con l'intervento di Piano CA349 (1° lotto) e quello dal km 199+500 al km 202 ca. già con sezione adeguata ed accessi regolati.



Figura 1.1: Area d'intervento CA357

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

L'asse stradale attraversa unità geotecniche omogenee che sono state analizzate sulla base di ricostruzioni geologiche dei terreni e dell'analisi delle indagini eseguite nel corso delle campagne svolte durante le differenti fasi progettuali.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

2 RIFERIMENTI NORMATIVI

- Aggiornamento delle «Norme tecniche per le costruzioni» (G.U. Serie Generale n.42 del 20-02-2018 - Suppl. Ordinario n. 8).
- Circolare Ministero dei LL.PP. 02/02/09 n. 617 - Istruzione per l'applicazione delle "Nuove Norme tecniche per le costruzioni".
- D.M. 14/01/2008 - "Nuove Norme tecniche per le costruzioni".
- Ordinanza del Presidente del Consiglio dei Ministri n° 3274/2003. Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica."; modificata dall'O.P.C.M. 3431 del 03/05/2005.
- Eurocodice 7.2 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita da prove di laboratorio (2002). UNI.
- Eurocodice 7.3 (2002): Progettazione geotecnica – Parte II: Progettazione assistita con prove in sito (2002). UNI.
- Eurocodice 8 (1998). Progettazione delle strutture per la resistenza sismica.
- Eurocodice 7.1 (1997): Progettazione geotecnica – Parte I: Regole Generali. UNI.
- Circolare ministeriale LL.PP. 24/09/88 n. 30483 - "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. 11/03/88 - Istruzioni per l'applicazione delle "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".


SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

3 CENNO GEOMORFOLOGICO E GEOLOGICO

Dal punto di vista geologico, nella successione stratigrafica dell'area interessata dal tracciato si possono riconoscere, dal basso verso l'alto, le seguenti unità litologiche:

- **SUCCESSIONE SEDIMENTARIA OLIGO-MIOCENICA DEL LOGUDORO-SASSARESE**
 - o **Formazione di Mores.** Arenarie e conglomerati da grigi a beige, ad elementi di quarzo, metamorfiti, vulcaniti e calcari mesozoici con locali intercalazioni carbonatiche.
 - o **Formazione di Borutta.** Marne, marne arenacee, calcareniti e siltiti in alternanza ritmiche.
 - o **Formazione di Florinas.** Arenarie quarzoso-feldspatiche biancastre, più o meno cementate, con siltiti scure alla base, di ambiente deltaico. Nella parte alta intercalazioni di arenarie e microconglomerati di ambiente marino.

Per maggiori dettagli si rimanda alla Relazione Geologica (vedi elaborato T00GE00GEORE01A).

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

4 INDAGINI GEOTECNICHE

Per lo sviluppo della progettazione delle opere sono state eseguite indagini di carattere geotecnico finalizzate:

- al riconoscimento ed alla caratterizzazione geotecnica dei terreni di fondazione, allo scopo di fornire i parametri fisico-meccanici per l'esecuzione dei calcoli strutturali e geotecnici delle opere d'arte;
- alla ricostruzione dei rapporti opere-terreni finalizzata alla progettazione della galleria.

Le caratteristiche geotecniche dei terreni e delle rocce interessati dalla galleria sono state investigate con diverse campagne di indagini geognostiche, geofisiche e geotecniche svolte nel corso del 1999 e nel corso del 2020.

Le campagne di indagini sono state condotte su incarico ANAS dalla ditta Geolavori S.R.L., dalla ditta TEA S.R.L. e dalla società Tecno In S.p.A., nel rispetto delle disposizioni, delle specifiche tecniche e del capitolato d'appalto ANAS, nonché delle raccomandazioni AGI 1977/1994 e hanno previsto:

Campagna 1999 ad opera della Geolavori:


- n° 18 sondaggi;
- n° 9 prove penetrometriche dinamiche S.T.P.;
- n° 5 pozzetti geognostici;
- n° 6 prove pressiometriche;
- n° 20 prove di permeabilità di cui n° 16 Léfranc e n° 4 Lugeon;
- n° 8 basi sismiche;
- Analisi e prove geotecniche di laboratorio;
- Prove di resistenza meccanica (point load test).

Campagna 1999 ad opera della TEA:

- n° 34 sondaggi;
- n° 58 prove penetrometriche dinamiche S.T.P.;
- n° 2 prove di permeabilità Lugeon;
- n° 17 basi sismiche;
- Analisi e prove geotecniche di laboratorio.
- Prove di resistenza meccanica (point load test).

Campagna 2020 ad opera della Tecno In:

- n° 26 sondaggi geognostici verticali a carotaggio continuo (di cui n° 10 condizionati a piezometro e n° 8 condizionati con tubo per prove Down-Hole);
- n° 2 sondaggi geognostici orizzontali a carotaggio continuo;

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

- n° 49 prove penetrometriche dinamiche S.T.P.;
- n° 6 prove di permeabilità Lugeon;
- n° 8 prove pressiometriche;
- n° 10 piezometri;
- n° 8 prove Down-Hole;
- n° 15 pozzetti esplorativi fino ad una profondità massima di 2,0m;
- n° 25 prelievi di campioni rimaneggiati da pozzetti esplorativi;
- n° 14 prospezioni sismiche a rifrazione;
- n° 109 campioni di terreno (di cui n° 21 indisturbati, n° 88 rimaneggiati) e n° 87 campioni di roccia lapidea, da sottoporre a prove di laboratorio geotecnico.

Per le prove di laboratorio si è fatto riferimento alla normativa ASTM.

I risultati delle indagini in sito e delle prove di laboratorio sono illustrati negli elaborati redatti dalle società incaricate delle indagini, allegati al progetto. La posizione dei punti d'indagine è riportata nelle apposite tavole di progetto.

La caratterizzazione dei terreni della galleria è stata effettuata considerando tutti i risultati delle prove di laboratorio ed in sito svolte su campioni appartenenti alle stesse unità geotecniche rilevate nei terreni della stessa.

Nel seguito si descrivono le principali attività svolte durante ciascuna campagna.

4.1 Campagna d'indagini 1999

Nel corso del 1999 è stata eseguita, sotto commissione dell'ANAS, una campagna di indagini geognostiche articolata in due lotti:

- Primo lotto da km 203+000 a km 205+000, con indagini ad opera della ditta Geolavori S.R.L.;
- Secondo lotto da km 205+000 a km 209+000, con indagini ad opera della ditta TEA S.R.L..

Di questi sondaggi vengono considerati unicamente quelli ricadenti in prossimità del tratto di interesse:

- Sondaggi S1, S2, S3, S4, S7, S8, S9, S10, S11, S14, S15, S17 ad opera della Geolavori;
- Sondaggi Ss2, Ss25, Ss27, Ss28, Ss29, Ss30, Ss31, Ss32, Ss33, Ss34 ad opera della TEA.

Nella tabella seguente si riporta l'elenco dei sondaggi, con l'indicazione della profondità d'indagine raggiunta e le relative prove eseguite.

Sondaggio	Profondità [m]	SPT	Permeabilità
S1	20	4	-
S2	15	2	-
S3	20	1	-
S4	15	2	-
S7	50	-	2
S8	48	-	1

Sondaggio	Profondità [m]	SPT	Permeabilità
S9	48	-	2
S10	58	-	-
S11	60	-	2
S14	80	-	2
S15	62	-	2
S17	40	-	2
Ss2	20	-	-
Ss25	25	-	-
Ss27	25	2	-
Ss28	30	2	-
Ss29	30	2	-
Ss30	30	2	-
Ss31	25	-	-
Ss32	42	-	-
Ss33	20	-	-
Ss34	20	-	-

Tabella 4.1: Sondaggi eseguiti nella campagna di indagini del 1999

Durante le perforazioni sono stati prelevati cinque campioni nel sondaggio Ss2. Vengono inoltre indicati i livelli di falda, che si posizionano alle seguenti profondità:

Sondaggio	Profondità falda [m]
S4	15,0
S7	22,8
S8	20,5
S9	35,0
S10	23,5
S11	18,5
S14	16,0
S15	13,5

Tabella 4.2: Livello di falda riportato nella campagna d'indagini 1999

Nel seguito si riporta i valori N_{SPT} ricavati dalle prove penetrometriche dinamiche.

Sondaggio	da [m]	N_{SPT}
S1	1,8	12
S1	6,0	7
S1	8,7	8
S1	13,0	5
S2	3,5	13
S2	4,5	16
S3	13,5	6

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

Sondaggio	da [m]	N _{SPT}
S4	5,0	12
S4	7,0	12
Ss27	2,5	28
Ss27	7,0	R
Ss28	4,0	14
Ss28	6,3	4
Ss29	4,3	3
Ss29	6,0	2
Ss30	2,0	18
Ss30	7,5	50

Tabella 4.3: Risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT

Sono infine riportati i valori di permeabilità ottenuti dalle 13 prove di permeabilità Lugeon nell'ambito dei sondaggi di interesse:

Sondaggio	Profondità [m]	k [m/s]
S7	40	2,35E-06
S7	45	1,51E-06
S8	40	6,17E-07
S9	42	1,81E-06
S9	47	4,02E-06
S11	55	1,54E-06
S11	60	1,46E-06
S14	72	2,22E-06
S14	77	1,60E-06
S15	55	1,60E-06
S15	60	1,54E-06
S17	32	2,35E-06
S17	37	1,98E-06

Tabella 4.4: Risultati delle prove di permeabilità Lugeon

4.2 Campagna d'indagini 2020:

Nel corso della presente fase di progettazione la campagna di indagini geognostiche ha compreso 28 sondaggi tra orizzontali e verticali, svolti tra febbraio e dicembre 2020. Durante l'esecuzione dei carotaggi si è proceduto con il condizionamento dei fori per prove SPT, prove down-hole e installazione di piezometri. Sono stati prelevati 219 campioni tra rimaneggiati, indisturbati e litoidi.

Nelle tabelle che seguono si riportano l'elenco dei sondaggi e le strumentazioni installate.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

Sondaggio	Data	Profondità [m]	Strumentazione
S01D-DH	19/02/2020	35	Down-Hole
S02D-PZ	22/02/20-24/02/20	30	Piezometro a tubo aperto
S03D-DH	05/02/20-04/03/20	35	Down-Hole
S04D-PZ	06/03/20-08/03/20	30	Piezometro a tubo aperto
S05D-PZ	09/03/20-10/03/20	30	Piezometro a tubo aperto
S06D	11/03/2020	20	
S07D-DH	03/07/20-06/07/20	35	Down-Hole
S08hD	22/11/20-09/12/20	150	Sondaggio orizzontale
S12D-PZ	28/10/20-03/11/20	70	Piezometro a tubo aperto
S13D-PZ	17/02/20-18/02/20	30	Piezometro a tubo aperto
S14D-DH	13/02/20-15/02/20	35	Down-Hole
S15D-PZ	25/02/20-26/02/20	25	Piezometro a tubo aperto
S16D-DH	12/02/20-13/02/20	35	Down-Hole
S17D	10/12/20-12/12/20	85	
S18D	13/12/20-15/12/20	75	
S19D-PZ	30/07/20-04/08/20	60	Piezometro a tubo aperto
S20D	10/07/20-14/07/20	45	
S21D-PZ	07/07/20-08/07/20	35	Piezometro a tubo aperto
S22D	09/07/20-10/07/20	30	
S23D-PZ	27/07/20-28/07/20	25	Piezometro a tubo aperto
S24D-PZ	14/07/20-21/07/20	35	Piezometro a tubo aperto
S25D-DH	22/07/20-24/07/20	35	Down-Hole
S26D-DH	05/02/20-06/02/20	30	Down-Hole
S27D-PZ	01/02/20-04/02/20	28	Piezometro a tubo aperto
S28D	28/07/20-29/07/20	25	
S29D	24/07/20-26/07/20	25	
S30D	12/02/20-13/02/20	25	
S31hD	03/11/20-21/11/20	130	Sondaggio orizzontale

Tabella 4.5: Sondaggi eseguiti nella campagna d'indagini 2020

Di seguito si riporta una tabella riepilogativa delle prove SPT eseguite.

Sondaggio	da [m]	SPT	Sondaggio	da [m]	SPT
S01D-DH	3,00	7-13-13	S16D-DH	3,00	R
	9,30	18-24-26		7,00	21-28-32
	12,00	23-29-35		10,00	15-19-20
	14,50	14-20-21		14,00	17-22-24
S02D-PZ	3,00	4-6-12		17,00	13-17-21
	5,50	10-17-19		20,00	20-21-26
S03D-DH	2,60	4-6-7		23,30	15-18-20
	8,25	13-12-9		27,00	18-19-21

Sondaggio	da [m]	SPT	Sondaggio	da [m]	SPT
S04D-PZ	2,60	9-10-14		30,50	22-21-23
S05-PZ	2,70	8-10-13	S21D-PZ	2,00	23-32-39
	6,00	7-8-10		5,00	36-R
S06D	4,50	29-37-R	S22D	2,50	19-26-33
	15,00	14-17-23		5,00	28-21-38
	18,00	20-24-26		8,50	15-19-28
S07D-DH	1,50	5-8-9	S26D-DH	1,50	49-35-7
	3,50	7-10-12		3,00	4-8-9
	5,50	6-9-11	S27D-PZ	1,50	2-2-2
	13,50	17-21-23		5,00	R
	15,50	10-22-23	S30D	3,00	26-18-23
17,50	18-20-24	6,00		19-25-28	
S14D-DH	2,60	5-8-8		20,50	7-11-14
S15D-PZ	3,70	R			
	6,00	19-23-29			
	9,00	25-31-R			
	12,00	22-31-R			
	16,00	29-26-R			
	19,00	19-29-27			
	22,30	22-23-25			

Tabella 4.6: Risultati delle Prove Penetrometriche Dinamiche SPT

Di seguito si riporta l'elenco dei campioni prelevati, distinguendoli in:

- CR: campioni rimaneggiati;
- CI: campioni indisturbati;
- CL: campioni di roccia lapidea.


Sondaggio	Identificativo	Profondità [m]		Sondaggio	Identificativo	Profondità [m]	
		da	a			da	a
S01D-DH	CI01	5,75	6,25	S18D	CR01	7,50	8,00
	CR01	10,00	10,50		CL01	9,50	9,80
	CR02	18,05	18,55		CR02	15,50	20,00
	CL01	25,30	25,80		CL02	20,00	20,40
	CL02	28,30	28,80		CR03	24,00	24,50
	CL03	31,00	31,50		CL03	29,00	29,40
S02D-PZ	CR01	7,25	7,75		CR04	33,00	33,40
	CR02	14,00	14,50		CR05	42,00	42,50
	CI01	18,05	18,55		CR06	55,50	56,00
	CR03	25,00	25,50		CR07	62,00	62,40
	CI02	26,40	26,90		CL04	67,50	68,00

Sondaggio	Identificativo	Profondità [m]		Sondaggio	Identificativo	Profondità [m]		
		da	a			da	a	
S03D-DH	CI01	5,00	5,50	S19D-PZ	CR08	72,50	73,00	
	CR01	7,00	7,50		CR01	9,50	10,00	
	CR02	11,00	11,50		CR02	18,95	19,45	
	CI02	18,00	18,50		CR03	26,90	27,40	
	CL01	27,25	27,75		CR04	34,55	35,05	
	CR03	30,35	30,85		CR05	39,00	39,50	
	CR04	34,50	35,00		CL01	43,00	43,50	
S04D-PZ	CR01	0,55	1,05		CR06	49,00	49,50	
	CR02	3,50	4,00		CR07	52,05	52,55	
	CI01	7,50	8,00		CL02	58,00	58,50	
	CR03	11,15	11,65		S20D	CL01	5,60	6,10
	CL01	15,40	15,90			CL02	17,35	17,85
	CL02	19,50	20,00			CL03	21,55	22,05
	CR04	21,10	21,60			CL04	23,90	24,40
	CL03	24,90	25,40	CL05		28,90	29,40	
S05D-PZ	CR01	0,10	0,60	CL06		33,45	33,95	
	CR02	2,25	2,75	CL07		37,95	38,45	
	CR03	7,00	7,50	CL08		41,95	42,45	
	CI01	9,00	9,50	S21D-PZ	CR01	4,50	5,00	
	CR04	12,05	12,55		CR02	10,00	10,50	
	CI02	15,20	15,70		CR03	14,00	14,50	
	CR05	17,90	18,40		CR04	18,35	18,85	
	CI03	22,50	23,00		CL01	21,00	21,50	
	CR06	27,40	27,90		CL02	24,50	25,00	
S06D	CR01	6,60	7,10		CL03	29,95	30,45	
	CL01	9,25	9,75		S22D	CR01	4,00	4,50
	CR02	10,10	10,60	CR02		9,00	9,50	
	CI01	12,00	12,50	CR03		14,50	15,00	
	CR03	17,00	17,50	CR04		17,00	17,50	
S07D-DH	CR01	5,00	5,50	CL01		22,40	22,90	
	CI01	7,75	8,25	CL02	27,95	28,45		
	CL01	9,85	10,35	S23D-PZ	CR01	0,10	0,60	
	CR02	14,55	15,05		CR02	2,50	3,00	
	CI02	22,00	22,50		CL01	4,45	4,95	
	CR03	30,00	30,50		CR03	8,90	9,40	
	CL02	34,50	35,00		CR04	12,90	13,40	
S08hD	CL01	0,20	0,50		CL02	15,00	15,50	
	CL02	2,40	2,60		CR05	15,60	16,10	
	CR01	5,60	6,00	CR06	22,55	23,05		
	CR02	9,60	10,00	S24D-PZ	CR01	3,90	4,40	

CA357

Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana

Sondaggio	Identificativo	Profondità [m]		Sondaggio	Identificativo	Profondità [m]		
		da	a			da	a	
S12D-PZ	CL03	12,00	12,30	S25D-DH	CL01	7,35	7,85	
	CL04	17,40	18,00		CR02	13,60	14,10	
	CL05	29,20	29,70		CR03	16,90	17,40	
	CL06	38,40	39,00		CR04	21,50	22,00	
	CL07	48,00	48,50		CR05	23,85	24,35	
	CL08	53,00	53,30		CR06	28,55	29,05	
	CL09	61,30	61,70		CR07	32,95	33,45	
	CL10	73,40	74,00	S26D-DH	CR01	0,60	1,10	
	CL11	82,00	82,40		CR02	2,60	3,10	
	CL12	91,60	92,00		CL01	4,90	5,40	
	CL13	102,50	103,00		CR03	13,50	14,00	
	CL14	109,30	109,60	CL02	18,00	18,50		
	CL15	119,50	120,00	CL03	23,00	23,50		
	CL16	132,00	132,60	CL04	29,00	29,50		
	CL17	148,30	149,00	S27D-PZ	CR01	3,90	4,40	
	S12D-PZ	CL01	12,20		12,50	CI01	5,00	5,50
		CL02	29,60		29,80	CR02	7,95	8,45
CL03		35,70	36,00		CI02	10,00	10,50	
CL04		43,40	43,70		CR03	12,55	13,05	
CL05		48,40	48,60		CL01	15,15	15,65	
CL06		54,30	54,50		CL02	19,50	20,00	
CR01		58,50	58,80		CL03	23,45	23,95	
CL07		61,50	61,80	S28D	CI01	3,00	3,50	
CL08	68,40	69,00	CI02		6,30	6,80		
S13D-PZ	CR01	3,00	3,50		CI03	9,50	10,00	
	CL01	9,40	9,90		CI04	15,00	15,50	
	CL02	12,07	12,57	CL01	24,95	25,45		
	CL03	16,90	17,40	CR01	0,10	0,60		
	CI01	25,20	25,70	CR02	2,60	3,10		
	CR02	25,95	26,45	CR03	5,95	6,45		
	CR03	29,30	29,80	CR04	10,60	11,10		
S14D-DH	CR01	3,00	3,50	CL01	12,85	13,35		
	CL01	5,85	6,35	CR05	15,00	15,50		
	CI01	10,45	10,95	CL02	18,35	18,85		
	CI02	17,05	17,55	CL03	23,15	23,65		
	CR02	21,15	21,65	S29D	CR01	0,60	1,10	
	CR03	26,25	26,75		CR02	2,50	3,00	
	CL02	30,00	30,50		CR03	3,60	4,10	
S15D-PZ	CR01	1,00	1,50		CL01	5,95	6,45	
	CL01	3,60	4,10		CL02	12,00	12,50	


SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

Sondaggio	Identificativo	Profondità [m]		Sondaggio	Identificativo	Profondità [m]			
		da	a			da	a		
	CR02	14,00	14,50		CR04	18,30	18,80		
	CR03	20,50	21,00		CL03	22,00	22,50		
	S16D-DH	CR01	0,50		1,00	S30D	CR01	0,10	0,60
		CR02	6,50		7,00		CR02	1,55	2,05
CR03		10,40	10,90	CR03	5,40		5,90		
CR04		21,25	21,75	CL01	9,90		10,40		
S17D	CL01	5,20	5,40	CR04	22,30	22,80			
	CR02	14,50	15,00	S31hD	CR01	2,50	2,70		
	CR03	24,60	25,00		CL01	7,30	7,60		
	CR04	32,50	33,00		CL02	12,50	13,00		
	CR05	41,60	42,00		CL03	22,50	23,00		
	CL02	52,50	53,00		CL04	34,00	34,50		
	CL03	59,00	59,40		CL05	44,20	44,60		
	CL04	65,30	65,60		CL06	51,00	51,40		
	CL05	73,00	73,40		CL07	64,00	64,50		
	CL06	77,00	77,40		CL08	79,30	79,70		
	CL07	82,00	82,40		CL09	89,00	89,50		
					CL10	99,50	100,00		
					CL11	108,50	109,00		
			CL12		121,00	121,40			
			CL13	128,00	128,40				

Tabella 4.7: Campioni litoidi, indisturbati e rimaneggiati prelevati

Sono state eseguite, durante la campagna, 6 prove di permeabilità Lugeon e 8 prove pressiometriche:

Sondaggio	Profondità [m]		Identificativo prova Lugeon	Identificativo prova pressiometrica
	da	a		
S12D-PZ	50,0	52,8	LUG1	-
	65,0	67,6	LUG2	-
S17D	55,0	58,0	LUG1	-
	60,0	61,0	-	MPM1
	65,0	68,0	LUG2	-
	70,0	71,0	-	MPM2
S18D	45,0	48,0	LUG1	-
	50,0	51,0	-	MPM1
	55,0	58,0	LUG2	-
	60,0	61,0	-	MPM2
S19D-PZ	41,0	42,0	-	MPM1

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

Sondaggio	Profondità [m]		Identificativo prova Lugeon	Identificativo prova pressiométrica
	da	a		
	54,0	55,0	-	MPM2
S20D	24,8	25,8	-	MPM1
	35,0	36,0	-	MPM2

Tabella 4.8: Posizione delle prove Lugeon e pressiométriche

Infine si sono svolte le seguenti tomografie sismiche a rifrazione (BSxxD) e le geoelettriche (BHxx):

Indagine di riferimento	Lunghezza base sismica
BS01D	175
BS02D	115
BS05D	175
BS06D	360
BS07D	240
BS07Dbis	240
BS07Dtris	480
BS08D	115
BS09D	175
BS10D	200
BS11D	410
BS12D	350
BS13D	46
BS14D	46
BS15D	46
BS16D	175
BS17D	175
BS18D	69
BH06	442
BH07bis	242
BH07tris	450

Tabella 4.9: Basi sismiche

In laboratorio si è proceduto all'esecuzione di cicli completi di prove d'identificazione consistenti in determinazioni del contenuto d'acqua naturale, del peso di volume naturale, secco e dei granuli, della massa volumica reale, della porosità, dell'indice dei vuoti, del grado di saturazione, dei limiti di Atterberg, del limite di ritiro, della composizione granulometrica per stacciatura e sedimentazione.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

Sono state anche eseguite prove meccaniche (prove di compressione edometrica, prove di taglio diretto consolidate drenate CD, prove di compressione triassiale consolidate isotropiche non drenate CIU, prove di compressione monoassiale ad espansione laterale libera ELL, prove di compressione triassiale consolidate isotropiche drenate CID).

Su campioni di roccia lapidea sono state eseguite prove di compressione monoassiale con misura delle deformazioni assiali e prove di compressione triassiale.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

5 CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI

Ai fini della caratterizzazione geotecnica dei terreni e delle rocce interessati dalla galleria si è fatto riferimento ai risultati delle due campagne di indagini, richiamate nel paragrafo precedente, a conoscenze acquisite dallo studio delle carte geologiche e a dati di letteratura.

Per la definizione dei contatti stratigrafici si è fatto riferimento unicamente ai sondaggi svolti in corrispondenza della galleria Pala Soliana e ad eventuali sondaggi proiettati lungo l'asse.

I terreni e le rocce che ricadono nel volume di terreno significativo ai fini geotecnici sono stati raggruppati in 2 classi, per ciascuna delle quali possono distinguersi i termini principali indicati nella tabella che segue.

Terreni sciolti	
AM	Argilla marnosa con granulometria estremamente fine e struttura lamellare, da molto a mediamente consistente, colore dal grigio all'azzurro.
Rocce lapidee	
M	Marna e marna argillosa compatta a struttura lamellare, di colore dal beige al marrone al grigio, a tratti fratturate.
MC	Marna calcarea di colore grigio brunastro poco fratturata.
CL	Calcarenite di colore biancastro a tratti grigiastro-rosata, porosa a tratti vacuolare, con numerose discontinuità sub-orizzontali e talora variamente inclinate o sub-verticali, presenti numerosi livelli sabbiosi. A tratti debolmente cementata e prelevata come ghiaia.


Tabella 5.1: Classificazione geotecnica dei terreni

Con riferimento alla classificazione geotecnica sopra riportata, in Appendice A si allegano le colonne stratigrafiche di sintesi di tutti i sondaggi svolti nell'ambito della progettazione. Per ciascun sondaggio sono indicati i terreni riconosciuti dall'esame delle stratigrafie, la posizione dei campioni indisturbati e dei piezometri, i valori N_{30} ricavati dalle prove SPT, la profondità della falda ove presente.

Si rimanda alla relazione geotecnica T00GE00GETRE01A per la caratterizzazione di tutte le unità interessate dal tracciato.

Oltre alle unità esposte si riconosce la presenza di uno strato superficiale di arenarie Ar tra il km 1+800 e il km 2+900. Tale unità non è stata esaminata nei seguenti capitoli non interessa le aree influenzate dal tracciato, come è possibile osservare nell'elaborato P00GN01GETFG01A.

Dal punto di vista geotecnico è possibile osservare come la galleria, compresa tra il km 1+860 e il km 2+920, attraversi una stratigrafia omogenea. Questa si sviluppa principalmente all'interno di uno strato di calcareniti CL e marne M, a tratti calcaree MC. In superficie, oltre alle unità esposte, si riconosce la presenza di uno strato di arenarie Ar tra il km 1+800 e il km 2+900. Tale unità non è stata esaminata nei seguenti capitoli non interessa le aree influenzate dal tracciato, come è possibile osservare nell'elaborato P00GN01GETFG01A.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

Il tracciato si mantiene, con leggere variazioni nella posizione dei contatti stratigrafici, omogeneo sia in asse sinistro che in asse destro.

Nelle pagine che seguono si illustrano, per ciascuno dei terreni indicati nella classificazione geotecnica e di interesse per la galleria, le principali caratteristiche fisiche e meccaniche determinate con le indagini in sito e di laboratorio. In particolare si è fatto riferimento alle campagne di indagine recenti eseguite sui terreni di fondazione, i cui risultati sono riportati negli specifici elaborati allegati al progetto, corredati di tabelle di sintesi, ai quali si rimanda per i dettagli sui valori sperimentali analizzati nella presente relazione.

I parametri di resistenza dei terreni a grana fina in termini di sforzi effettivi sono stati determinati sulla base dei risultati delle prove di laboratorio (prove di taglio diretto CD, prove di compressione triassiale CIU e CID).

La resistenza a taglio non drenata dei terreni a grana fina Cu è stata valutata facendo riferimento sia ai risultati delle prove di laboratorio (prove di compressione monoassiale ad espansione laterale libera ELL), sia all'interpretazione dei risultati delle misure con il penetrometro tascabile sulle carote estratte nel corso dei sondaggi e delle prove penetrometriche dinamiche SPT.

Per le prove SPT si è fatto riferimento a Stroud (1974), che correla Cu a N₆₀, con N₆₀ numero di colpi corretto per tenere conto dei fenomeni dissipativi durante il passaggio da energia cinetica del maglio a onda di energia di compressione delle aste (Schmertmann 1978).

Per la determinazione del modulo edometrico si fa riferimento ai risultati delle prove di compressione edometrica e più in generale anche alle formule di Stroud & Butler per l'interpretazione delle prove SPT.

I terreni a granulometria prevalentemente sabbioso-ghiaiosa sono stati caratterizzati da parametri di resistenza in termini di sforzi effettivi, determinati sulla base dei risultati di prove di laboratorio (taglio diretto CD, triassiali CIU e CID) e di correlazioni con i risultati delle prove penetrometriche dinamiche SPT utilizzando le seguenti correlazioni:

- Shioi & Fukuni (1982): $\varphi' = 0,3 \times N_{60} + 27^\circ$;
- Peck, Hanson and Thornburn (1956): $\varphi' = 0,28 \times N_{SPT} + 27,2^\circ$.

Per la determinazione della densità relativa Dr dei terreni sabbioso-ghiaiosi si è fatto riferimento alle correlazioni che legano il numero di colpi N_{SPT} a Dr:

- Gibbs & Holtz (1957):

$$N_{SPT} = \left(17 + 24 \cdot \frac{\sigma_{v0}}{P_a} \right) \cdot D_R^2$$

- Schultze & Mezembach (1961):

$$\ln(Dr\%) = 0,478 \times \ln(N_{SPT}) - 0,262 \times \ln(\sigma'_{v0}) + 2,84.$$

I valori del modulo di taglio G₀ e del modulo di elasticità E₀ iniziali sono stati ricavati a partire dai valori della velocità delle onde di taglio Vs ottenuti indirettamente a partire dai valori di N_{SPT}.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

La velocità di propagazione delle onde di taglio V_s può essere ricavata direttamente dai risultati delle prove Down-Hole oppure valutata indirettamente, dai risultati delle prove SPT, per mezzo dell'equazione di Ohta & Goto (1978):

$$V_s = 67,3 \times N_{60}^{0.17} \times z^{0.199} \times A \times B$$

dove:

- ✓ z è la profondità di calcolo (m dal p.c.) della velocità di propagazione delle onde di taglio;
- ✓ A è il fattore che tiene conto dell'età geologica del deposito (v. tabella sotto);
- ✓ B è il fattore che tiene conto della granulometria del deposito (v. tabella sotto).

	Depositi recenti	Depositi antichi
A	1,0	1,3

Tabella 5.2: Coefficiente A funzione dell'epoca geologica del deposito

	Ghiaia	Sabbia ghiaiosa	Sabbia grossa	Sabbia media	Sabbia fina
B	3500	3287	20336	329	62

Tabella 5.3: Coefficiente B funzione della composizione granulometrica del deposito

Il modulo di taglio a piccolissime deformazioni G_0 si ricava dalla seguente espressione:

$$G_0 = V_s^2 \gamma / g$$

dove:

- ✓ γ è il peso dell'unità di volume del terreno (kN/m^3);
- ✓ g è l'accelerazione di gravità pari a 9.81 m/sec^2 .

Pertanto, risulta:

$$E_0 = 2 G_0 (1+\nu)$$

con ν modulo di Poisson.

Per la stima del modulo elastico operativo E'_{op} dei terreni a granulometria prevalentemente sciolta a partire dai risultati delle prove SPT, si è fatto ricorso a relazioni empiriche:

- $E'_{op} = 2,0 \times N_{60}$ (Schmertmann - per sabbia a grana grossa)
- $E'_{op} = (191 + 7,71 \times N_{60}) / 10$ (D'Appolonia – per sabbia e ghiaia normalmente consolidata)
- $E'_{op} = 1,2 \times (6 + N_{60} / 60 \times 55)$ (European Conference on SPT, 1974 – per sabbia ghiaiosa e ghiaia).

Per caratterizzare l'ammasso roccioso si ricorre alla classificazione di Bieniawsky e ai criteri di rottura di Hoek-Brown e Mohr-Coulomb.

La classificazione di Bieniawsky prevede la determinazione dell'indice RMR (Rock Mass Rating) attraverso lo studio delle caratteristiche della roccia intatta e dei sistemi di discontinuità dell'ammasso, determinabili tramite prove in laboratorio e misure in sito.

$$RMR = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 + A_6$$

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

con:

- A_1 parametro dipendente dalla resistenza a compressione monoassiale della roccia intatta σ_{ci} ;
- A_2 parametro dipendente dall'indice RQD (Rock Quality Designation), determinabile dall'osservazione delle cassette dei carotaggi;
- A_3 parametro dipendente dalla spaziatura delle discontinuità;
- A_4 parametro dipendente dalle caratteristiche delle discontinuità (persistenza, apertura, rugosità, alterazione, riempimento);
- A_5 parametro dipendente dalle condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m;
- A_6 parametro di correzione per l'orientamento delle discontinuità rispetto al fronte di scavo, differenziato per gallerie e fondazioni.

Il criterio di Hoek-Brown permette di determinare le caratteristiche dell'ammasso roccioso sulla base dei seguenti parametri:

- σ_{ci} ;
- GSI, Geological Strength Index, calcolato dall'RMR nelle condizioni di assenza di venute d'acqua, orientazione molto favorevole delle discontinuità e riducendo tale valore di 5;
- m_i , parametro costante dipendente dal materiale dell'ammasso;
- D , grado di disturbo dell'ammasso causato dallo scavo;
- γ_{rm} , densità dell'ammasso roccioso;
- h , profondità rispetto al piano campagna della galleria.

Durante i successivi calcoli si utilizzeranno i parametri di resistenza alla Mohr-Coulomb, determinati in funzione dei parametri di Hoek-Brown attraverso le seguenti relazioni:

$$\varphi' = \sin^{-1} \left(\frac{6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{2(1+a)(2+a) + 6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}} \right)$$

$$c' = \frac{\sigma_{ci}((1+2a)s + (1-a)m_b\sigma'_{3n})(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1}}{(1+a)(2+a) \sqrt{1 + \frac{(6am_b(s + m_b\sigma'_{3n})^{a-1})}{((1+a)(2+a))}}}$$

con:

- a, s costanti per l'ammasso roccioso calcolati sulla base del GSI e del grado di disturbo D ;
- m_b , valore ridotto dell' m_i per l'ammasso;
- $\sigma'_{3n} = \sigma'_{3max} / \sigma_{ci}$.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana	

5.1 Terreni sciolti

5.1.1 Argilla marnosa - AM

Argille marnose AM sono state rinvenute con spessori da meno di un metro fino alla ventina di metri, spesso fittamente alternate a strati di marne o marne argillose M. È possibile osservarle principalmente tra le progressive 2+760 e 2+940.

La composizione granulometrica risulta essere da sabbia con limo a limo con sabbia, spesso ghiaiosa o argillosa. Tale risultato è molto comune per l'unità geotecnica in esame ed è dovuto al mancato discioglimento delle componenti argillose, lamellari ed estremamente fini, durante l'esecuzione delle prove. Si osserva, di seguito, la distribuzione delle percentuali del passante in peso con la profondità:

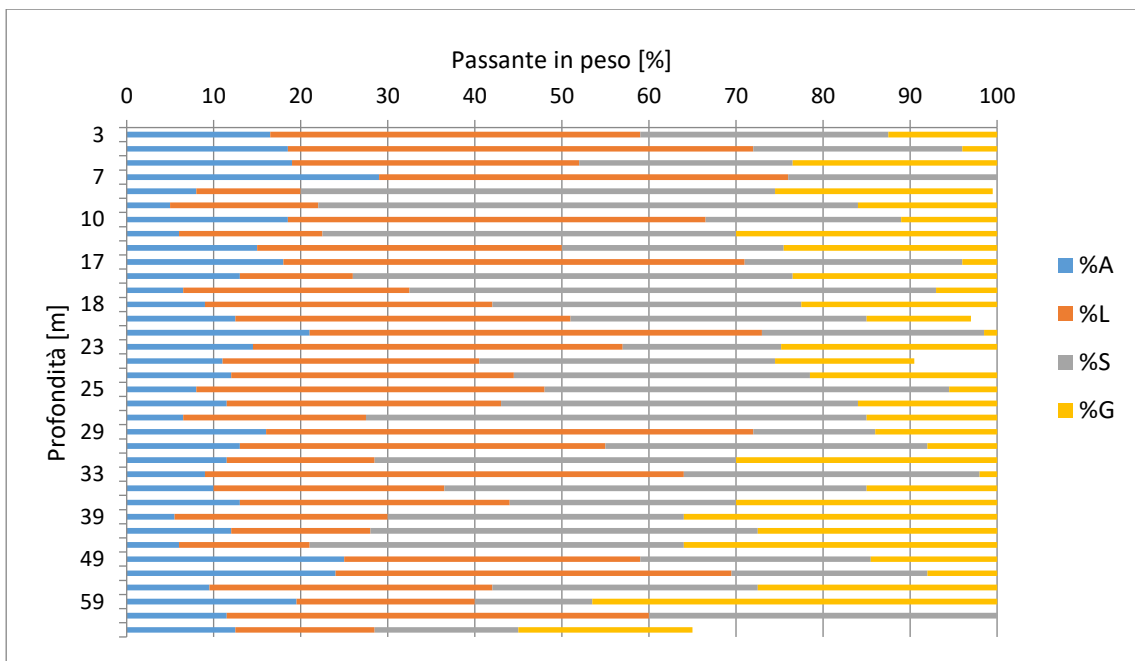


Figura 5.1: Terreni AM – Andamento del passante in peso con la profondità

Nel grafico successivo è illustrato l'andamento del contenuto naturale d'acqua w_n e dei limiti di Atterberg W_l e W_p in funzione della profondità.

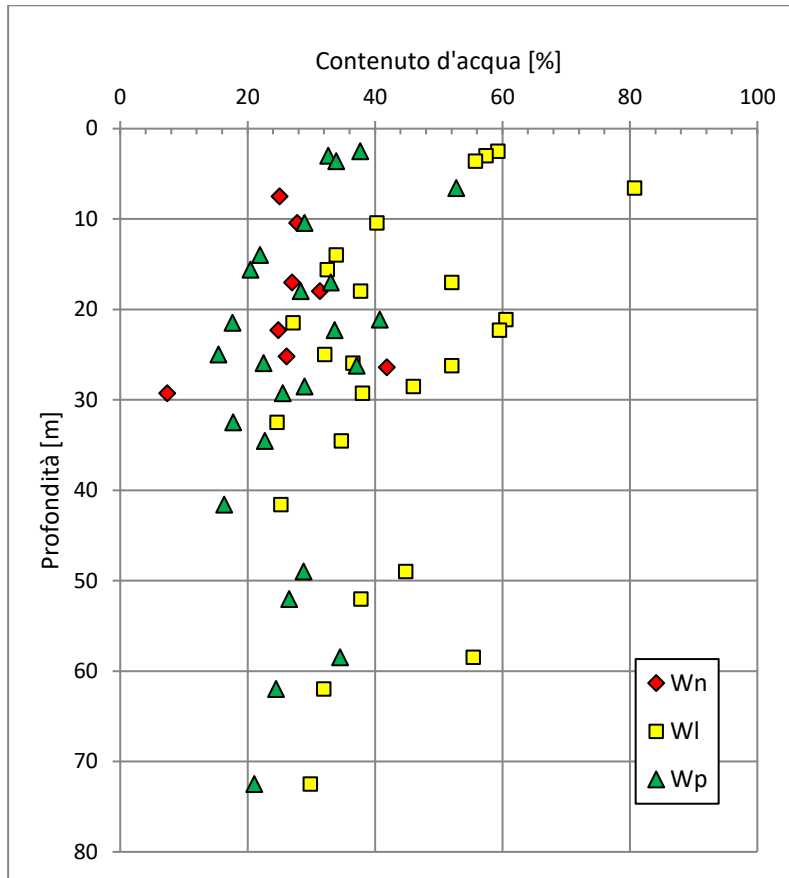


Figura 5.2: Terreni AM – Andamento del contenuto naturale d'acqua e dei limiti di Atterberg con la profondità

Il contenuto naturale d'acqua W_N varia tra 20% e 30% con rari picchi maggiori o minori. I limiti plasticità W_P e liquidità W_L rientrano nei seguenti campi di valori:

$$W_P = 18 \div 40\%; \quad W_L = 25 \div 60\%$$

Risulta sempre $W_P < W_L$.

Nei grafici che seguono si riportano la "Carta di plasticità" e la "Carta di attività".

Si tratta di argille organiche con compressibilità da media ad alta, normalmente attive. L'indice di plasticità I_P è compreso tra il 10% ed il 25%.

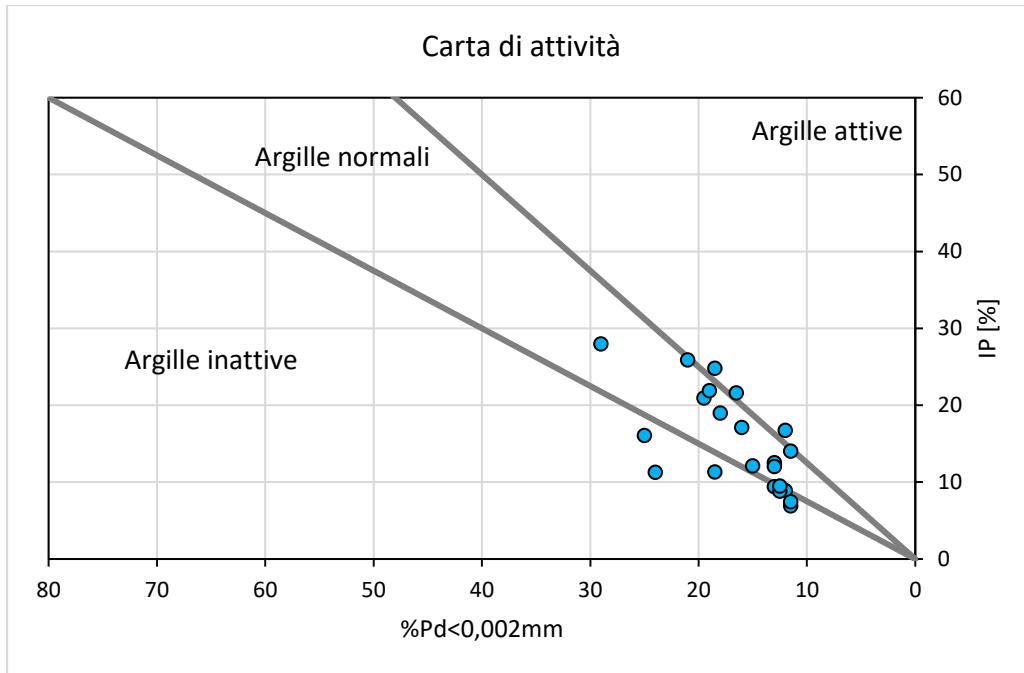
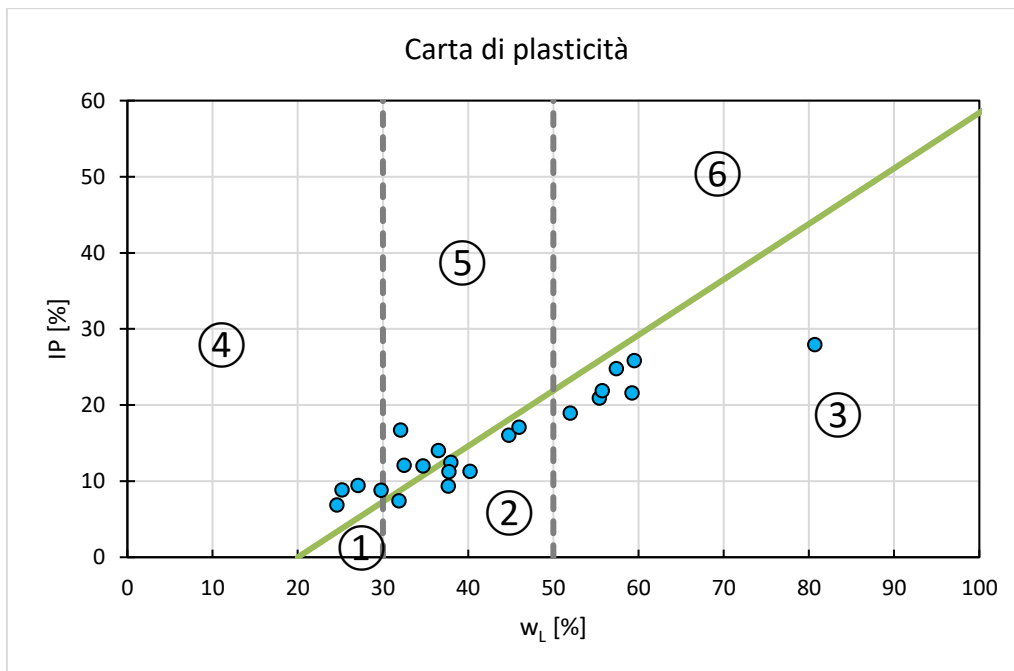


Figura 5.3: Terreni AM – Carta di attività



- ① limi inorganici di bassa compressibilità;
- ② limi inorganici di media compressibilità e limi organici;
- ③ limi inorganici di alta compressibilità e argille organiche;
- ④ argille inorganiche di bassa plasticità;
- ⑤ argille inorganiche di media plasticità;
- ⑥ argille inorganiche di alta plasticità.

Figura 5.4: Terreni AM – Carta di plasticità

Il peso dell'unità di volume naturale γ varia nell'intervallo 16 e 21 kN/m³.

Dall'analisi delle prove di laboratorio (taglio diretto, triassiale CID, triassiale CIU) effettuate su campioni indisturbati si ottengono i seguenti risultati:

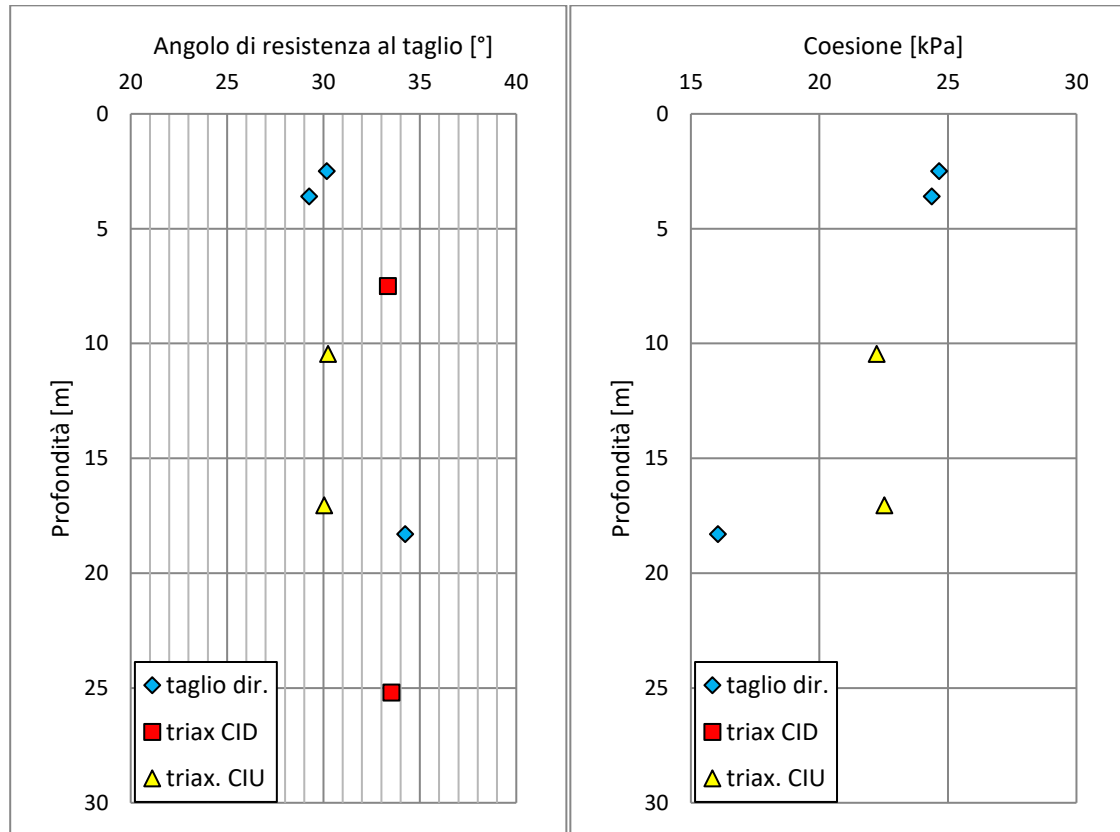


Figura 5.5: Terreni AM – Valori dell'angolo di resistenza al taglio e della coesione da prove di laboratorio

Risulta in particolare:

$$\varphi = 29 \div 34 \text{ }^\circ;$$

$$c' = 20 \div 25 \text{ kPa.}$$

Tramite alcune prove ad espansione laterale libera ELL si è calcolato il valore della coesione non drenata, che risulta essere compresa tra 80 e 400 kPa.

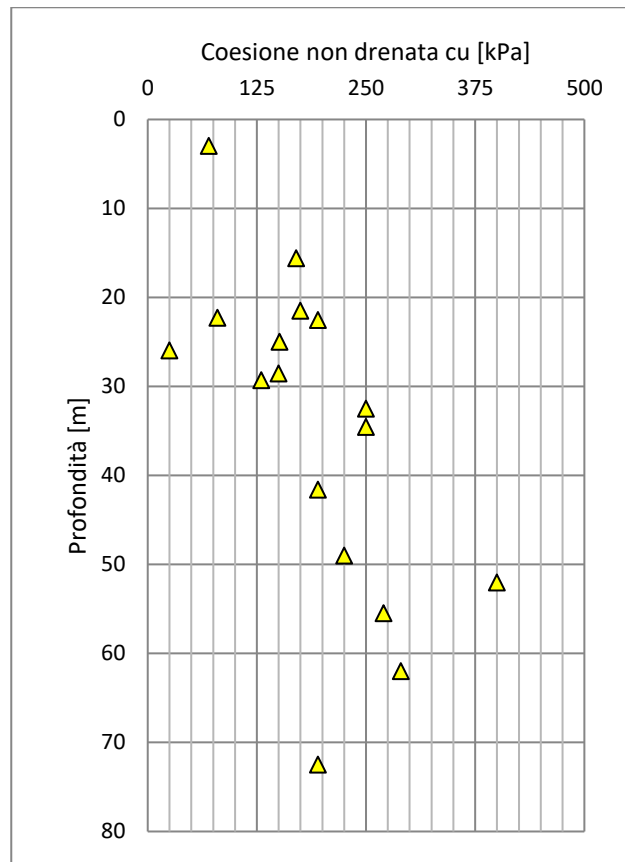


Figura 5.6: Terreni AM – Valori della coesione non drenata da prove di laboratorio

Una prova di compressione edometrica effettuata sul campione S04D-PZ_CI01 fornisce i seguenti risultati:

$$\begin{aligned}
 m_v &= 0.255 \text{ MPa}^{-1}; & E_{ed} &= 4,4 \text{ MPa}; & k &= 6,3E-07; & c_v &= 2,8E-02; \\
 e_0 &= 0,693; & c_c &= 0,199; & c_s &= 0,0216.
 \end{aligned}$$

Dalle prove Down-Hole si ottengono i seguenti valori della velocità delle onde di taglio V_s e del modulo di taglio G_0 .

$$V_s = 500 \div 700 \text{ m/s}, \quad G_0 = 460 \div 900 \text{ MPa}$$

5.2 Rocce lapidee

5.2.1 Marne e marne argillose - M

Le marne e le marne argillose M sono state rinvenute con spessori da meno di un metro fino alla ventina di metri, spesso fittamente alternate a strati di argille marnose AM. È possibile individuare il deposito maggiore in corrispondenza della galleria.

I termini M presentano una struttura compatta lamellare, di colore dal beige al marrone al grigio e sono a tratti fratturate.

La densità γ è generalmente compresa tra 18 e 22,6 kN/m³.

La caratterizzazione meccanica dell'ammasso roccioso si è basata su prove di compressione monoassiale non confinata e dell'osservazione delle cassette catalogatrici provenienti dai carotaggi.

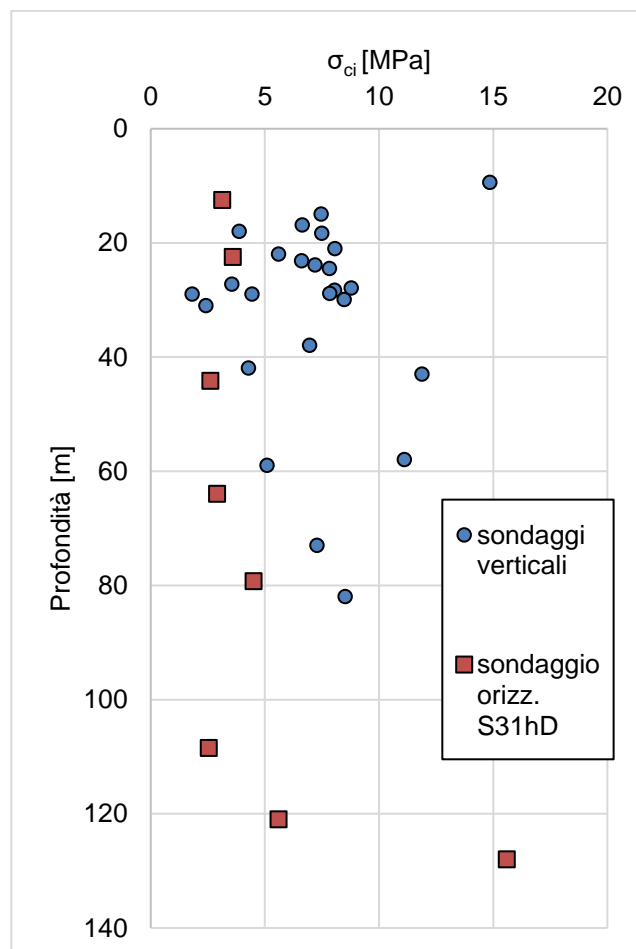


Figura 5.7: Roccia M – distribuzione σ_{ci} da prove di compressione monoassiale

La resistenza a compressione monoassiale è sempre compresa tra 1,8 e 15,6 MPa, in particolare nel sondaggio orizzontale S31hD risulta mediamente più bassa vicino la superficie.

Le caratteristiche di resistenza e deformabilità (coesione c , angolo di resistenza al taglio ϕ , modulo di Young dell'ammasso roccioso E_m) sono state determinate sulla base della teoria di Hoek-Brown per ogni provino testato, interpretando le prove eseguite su roccia intatta sulla base del valore di RQD medio nello strato (vedi figura 5.26), del valore di RMR (e conseguentemente del valore di GSI) e di un valore costante di m_i pari a 7, dipendente dalla natura geologica della formazione.

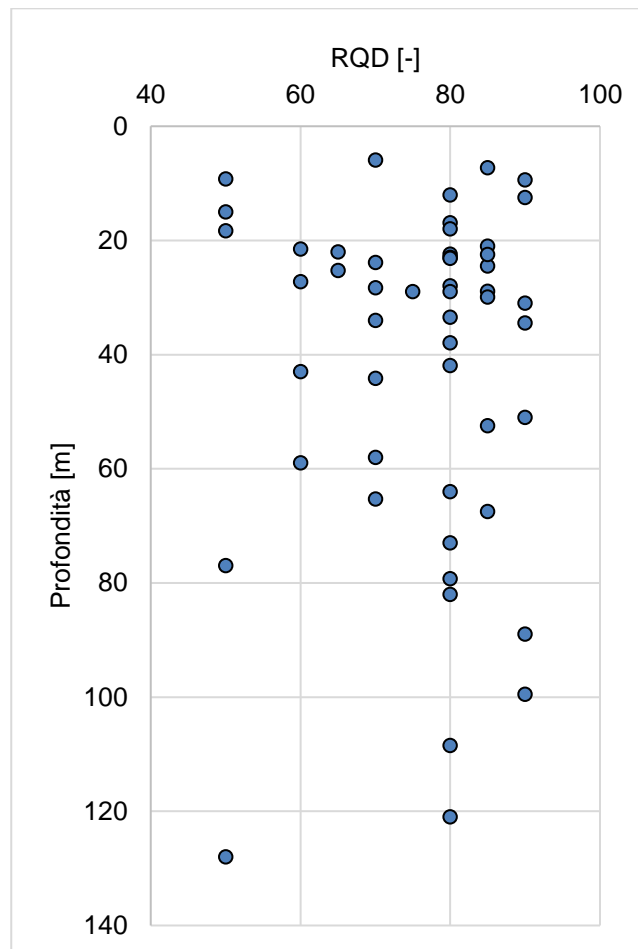


Figura 5.8: Roccia M – valore medio di RQD nello strato

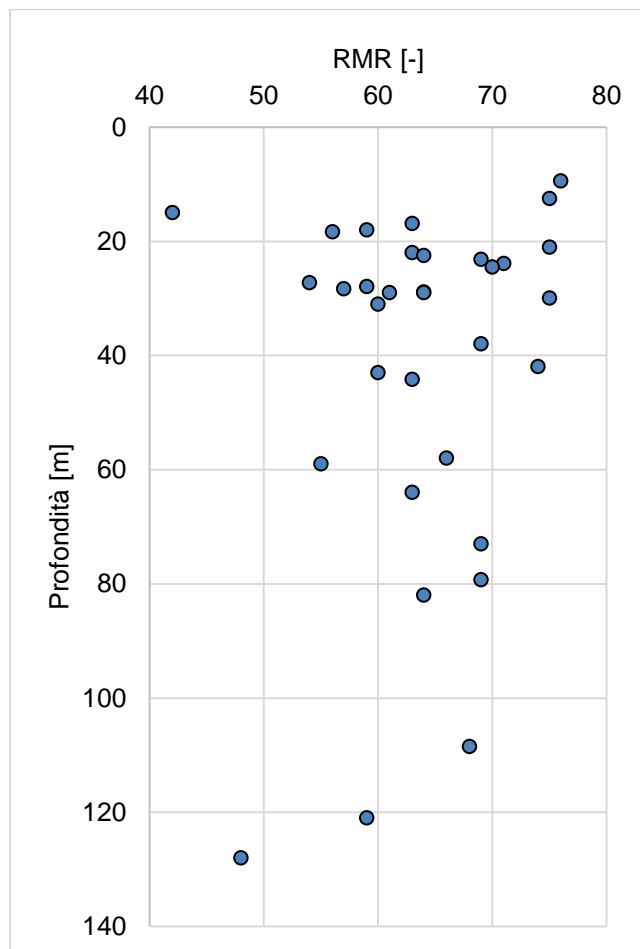


Figura 5.9: Roccia M – RMR

Ottenendo le seguenti distribuzioni delle caratteristiche di resistenza:

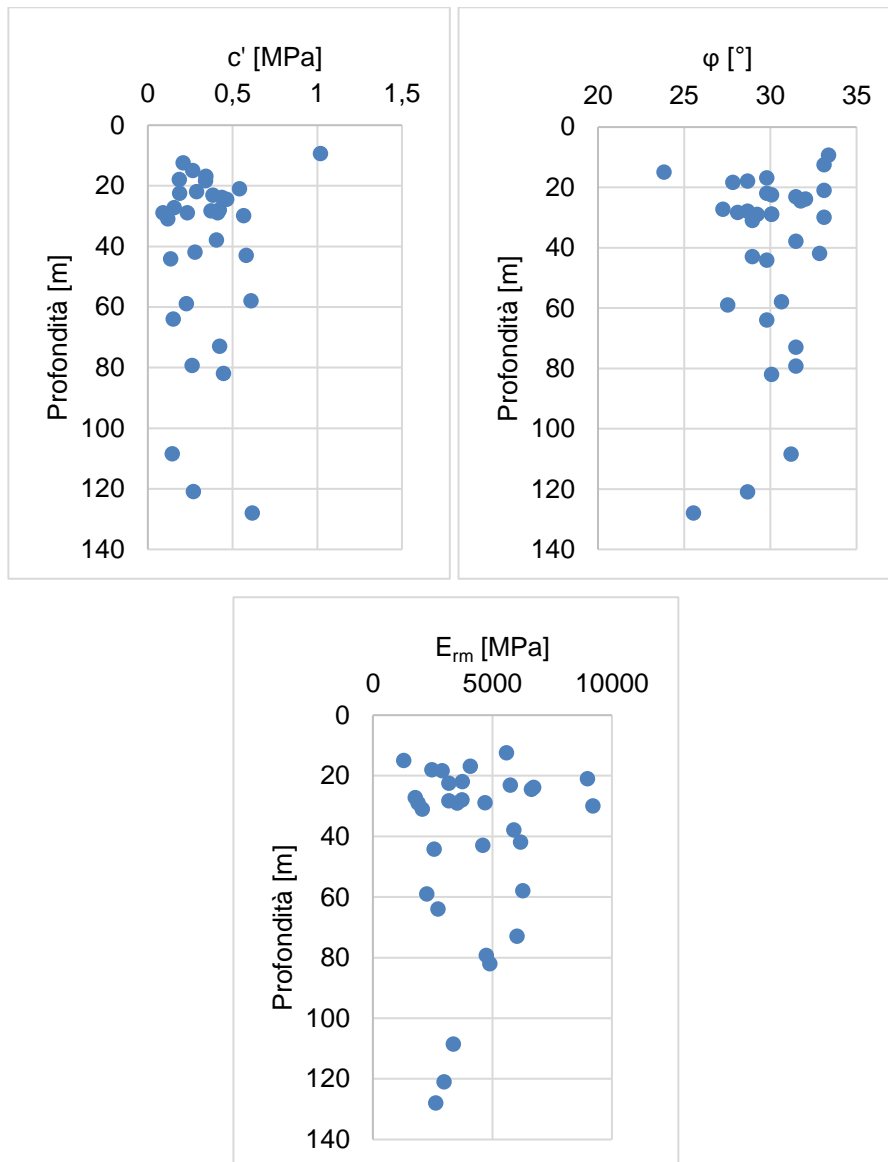


Figura 5.10: Roccia M – caratteristiche di resistenza e deformabilità

E i seguenti valori medi:

$$c = 0,33 \text{ MPa}; \quad \phi = 30^\circ; \quad E_{rm} = 4,270 \text{ GPa}.$$

Durante le prove di compressione monoassiale sono stati calcolati i valori di modulo di Young secante E_{s50} , modulo di Young tangente E_{t50} e coefficiente di Poisson ν_{50} , calcolati al 50% della tensione a rottura:

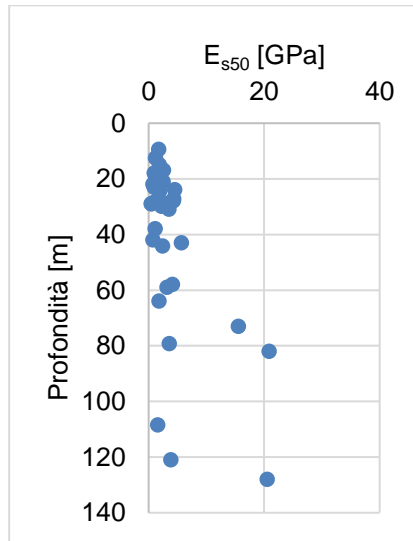


Figura 5.11: Roccia M – modulo elastico secante E_{s50}

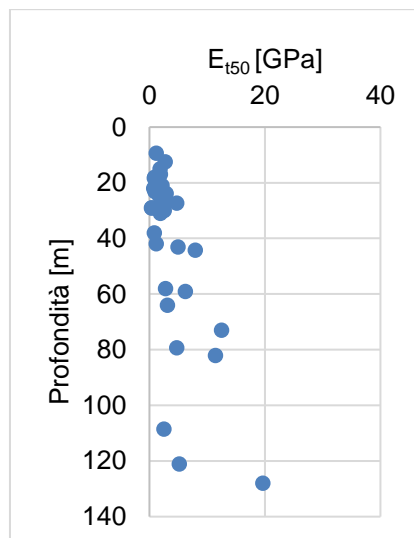


Figura 5.12: Roccia M – modulo elastico tangente E_{t50}

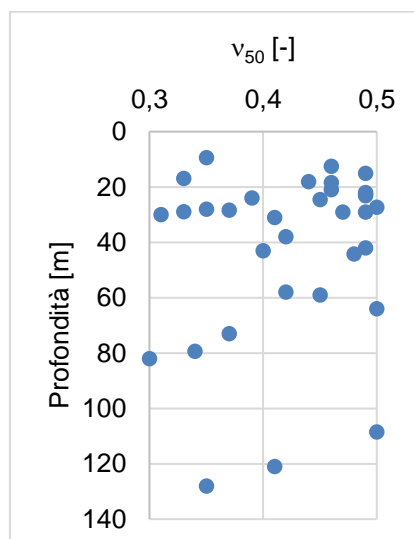


Figura 5.13: Roccia M – coefficiente di Poisson ν_{50}

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

Dalle prove Down-Hole si ottengono i seguenti valori della velocità delle onde di taglio V_s e del modulo di taglio G_0 .

$$V_s = 500 \div 1050 \text{ m/s}, \quad G_0 = 500 \div 2240 \text{ MPa}$$

5.2.2 Marne calcarenitiche - MC

Le marne calcarenitiche MC sono state rinvenute in corrispondenza della progressiva 2+600. I depositi si presentano come lenti di dimensioni variabili interne a strati di marne M o argille marnose AM.

I termini MC presentano una struttura poco fratturata con discontinuità sub-orizzontali, a grana estremamente fine e con un colore grigio brunastro, tendente a tratti al biancastro.

La densità γ è generalmente compresa tra 19 e 26 kN/m³.

La caratterizzazione meccanica dell'ammasso roccioso si è basata su prove di compressione monoassiale non confinata e dell'osservazione delle cassette catalogatrici provenienti dai carotaggi.

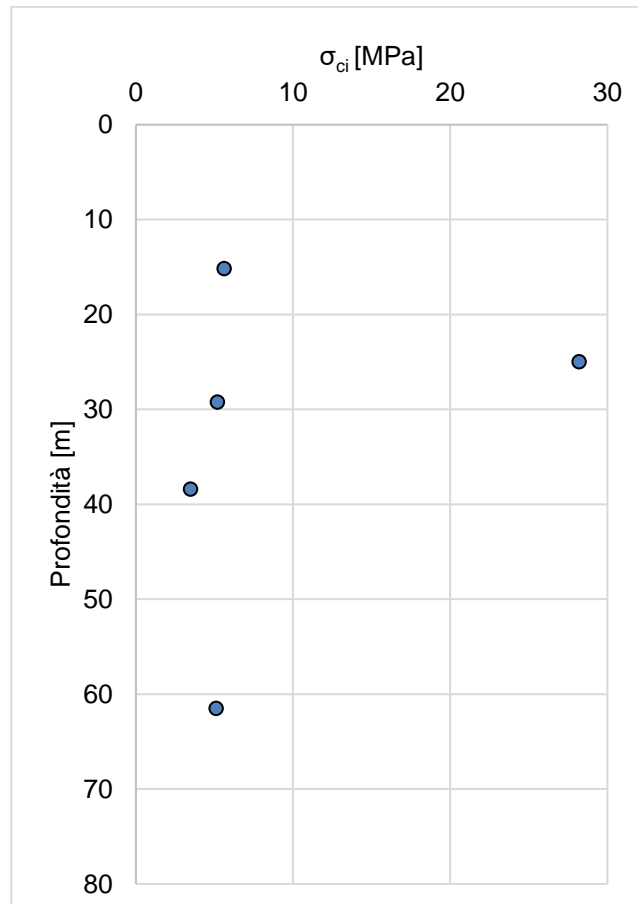


Figura 5.14: Roccia MC – distribuzione σ_{ci} da prove di compressione monoassiale

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

La resistenza a compressione monoassiale risulta omogenea con la profondità ad esclusione del campione estratto in corrispondenza del sondaggio S27D-PZ, dove, osservando la cassetta catalogatrice, la qualità dell'ammasso roccioso giustifica tale valore.

Le caratteristiche di resistenza e deformabilità (coesione c , angolo di resistenza al taglio ϕ , modulo di Young dell'ammasso roccioso E_m) sono state determinate sulla base della teoria di Hoek-Brown per ogni provino testato, interpretando le prove eseguite su roccia intatta sulla base del valore di RQD medio nello strato (vedi figura 5.35), del valore di RMR (e conseguentemente del valore di GSI) e di un valore costante di m_i pari a 8, dipendente dalla natura geologica della formazione.

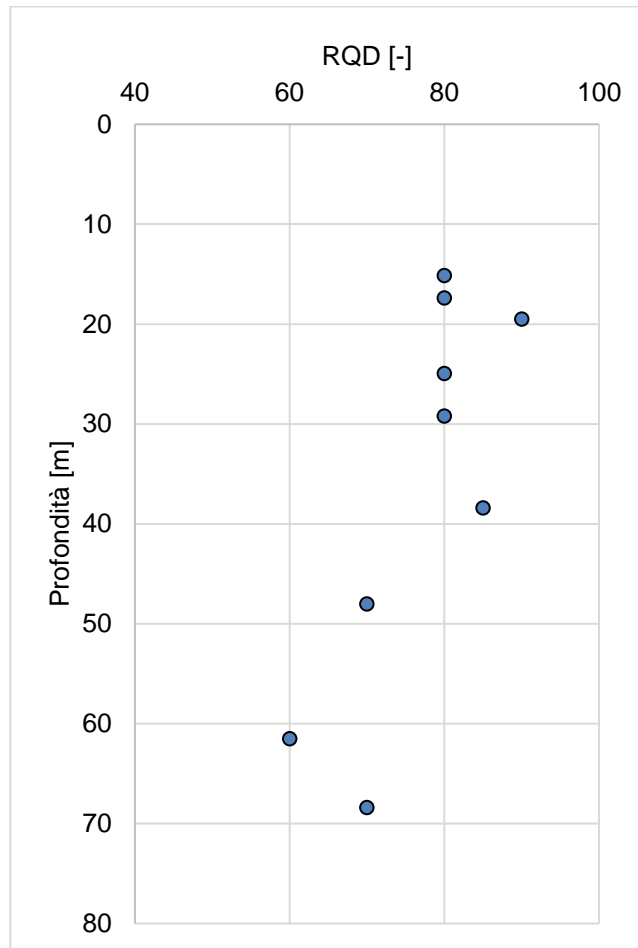


Figura 5.15: Roccia MC – valore medio di RQD nello strato

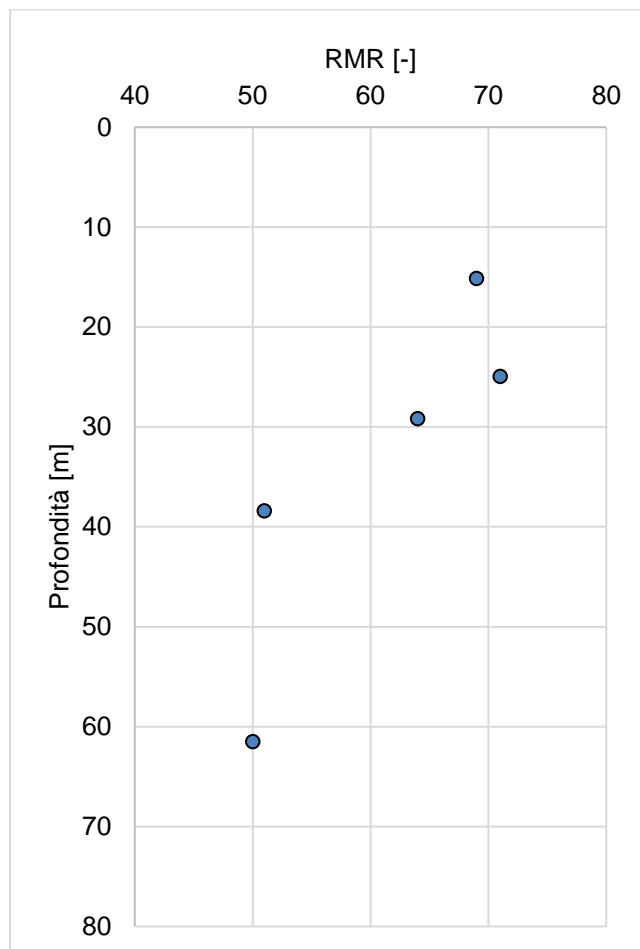


Figura 5.16: Roccia MC – RMR

Ottenendo le seguenti distribuzioni delle caratteristiche di resistenza:

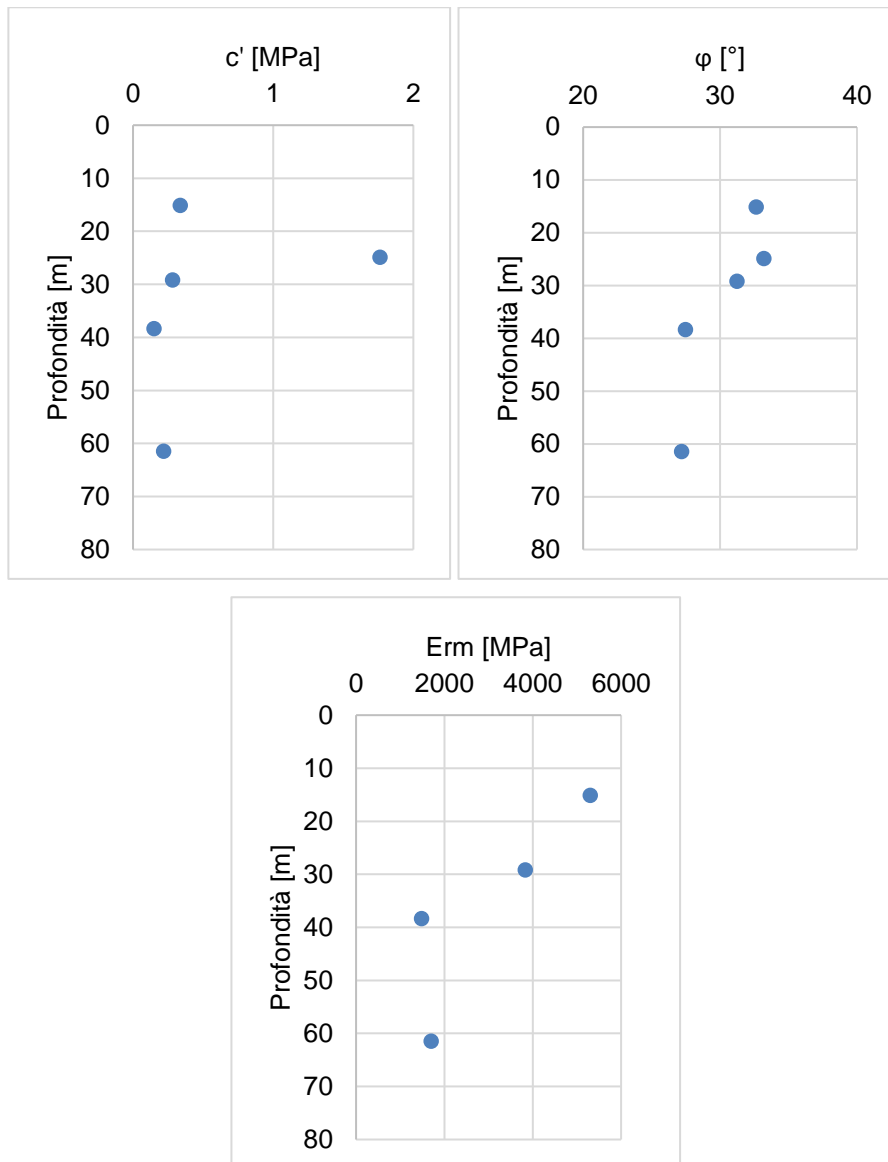


Figura 5.17: Roccia MC – caratteristiche di resistenza e deformabilità

E i seguenti valori medi:

$$c = 0,25 \text{ MPa}; \quad \phi = 31^\circ; \quad E_{rm} = 3,075 \text{ GPa}.$$

Durante le prove di compressione monoassiale sono stati calcolati i valori di modulo di Young secante E_{s50} , modulo di Young tangente E_{t50} e coefficiente di Poisson ν_{50} , calcolati al 50% della tensione a rottura:

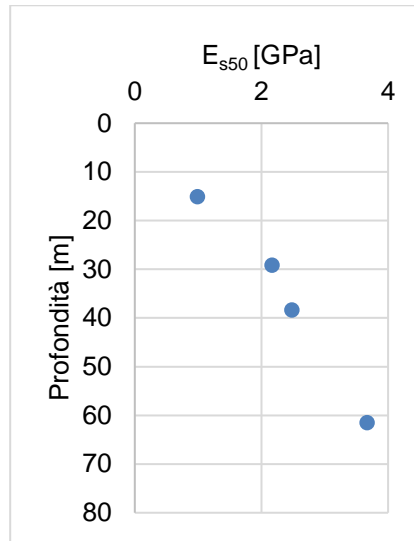


Figura 5.18: Roccia MC – modulo elastico secante E_{s50}

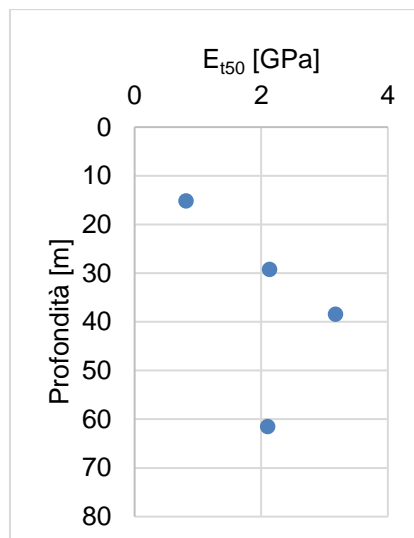


Figura 5.19: Roccia MC – modulo elastico tangente E_{t50}

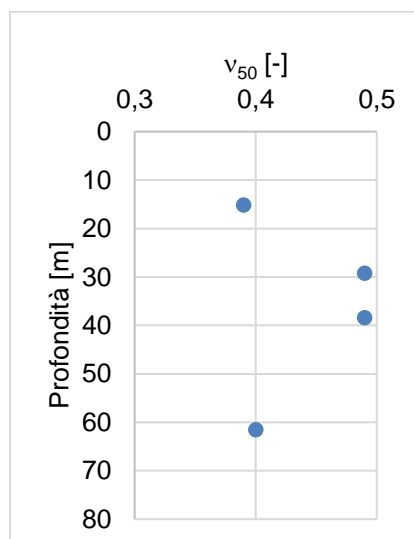



Figura 5.20: Roccia MC – coefficiente di Poisson ν_{50}

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas <small>GRUPPO FS ITALIANE</small>
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

Dalle prove Down-Hole si ottengono i seguenti valori della velocità delle onde di taglio V_s e del modulo di taglio G_0 .

$$V_s = 600 \div 900 \text{ m/s}, \quad G_0 = 810 \div 1820 \text{ MPa}$$

5.2.3 Calcareniti - CL

Le calcareniti CL sono state rinvenute lungo l'asse della galleria. Si riconosce uno strato mediamente uniforme che raggiunge le profondità della settantina di metri, interessando il tratto della galleria in particolare nella porzione finale della stessa.

I termini CL presentano una struttura porosa, a tratti vacuolare, con numerose discontinuità da sub-orizzontali a sub-verticali, presenta numerosi livelli sabbiosi di spessore limitato ed è a tratti meno cementata, venendo prelevata come ghiaia. Il colore varia dal biancastro al grigiastro rosato.

La densità γ è generalmente compresa tra 17 e 23 kN/m³.

La caratterizzazione meccanica dell'ammasso roccioso si è basata su prove di compressione monoassiale non confinata e dell'osservazione delle cassette catalogatrici provenienti dai carotaggi.

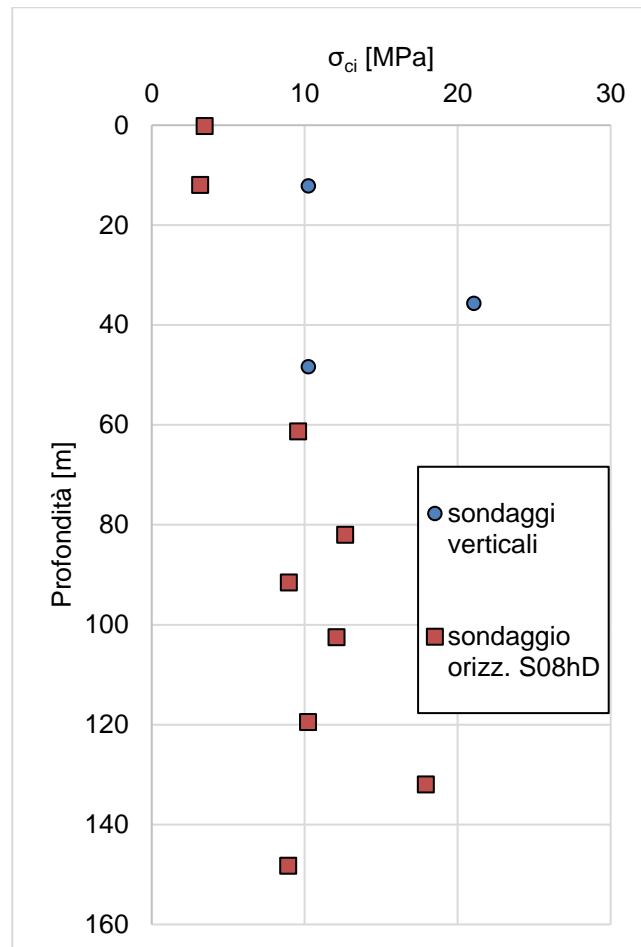


Figura 5.21: Roccia CL – distribuzione σ_{ci} da prove di compressione monoassiale

La resistenza a compressione monoassiale tende ad uniformarsi con la profondità, mantenendosi compresa tra 8,9 e 21 MPa.

Le caratteristiche di resistenza e deformabilità (coesione c , angolo di resistenza al taglio φ , modulo di Young dell'ammasso roccioso E_m) sono state determinate sulla base della teoria di Hoek-Brown per ogni provino testato, interpretando le prove eseguite su roccia intatta sulla base del valore di RQD medio nello strato (vedi figura 5.50), del valore di RMR (e conseguentemente del valore di GSI) e di un valore costante di m_i pari a 10, dipendente dalla natura geologica della formazione.

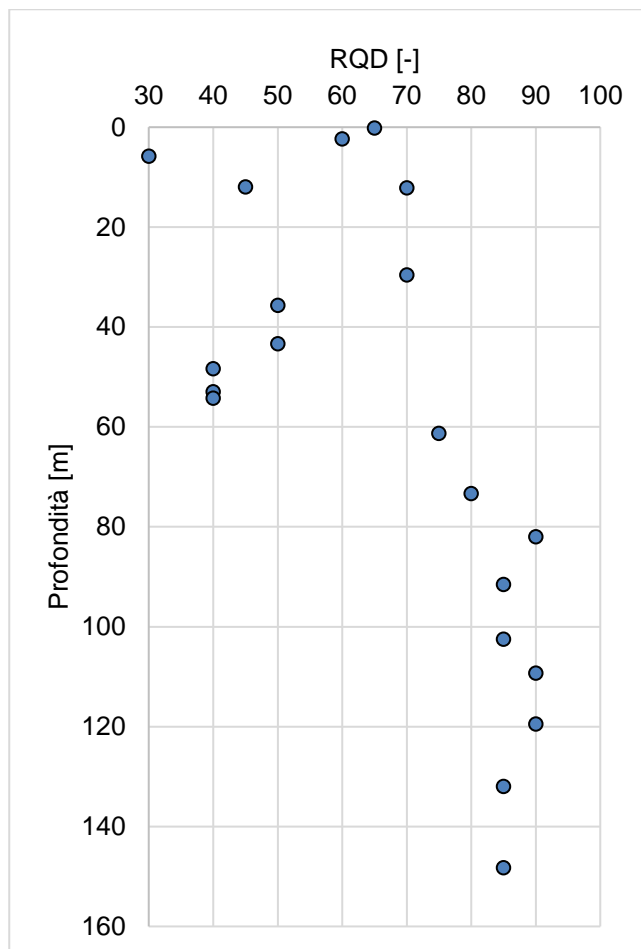


Figura 5.22: Roccia CL – valore medio di RQD nello strato

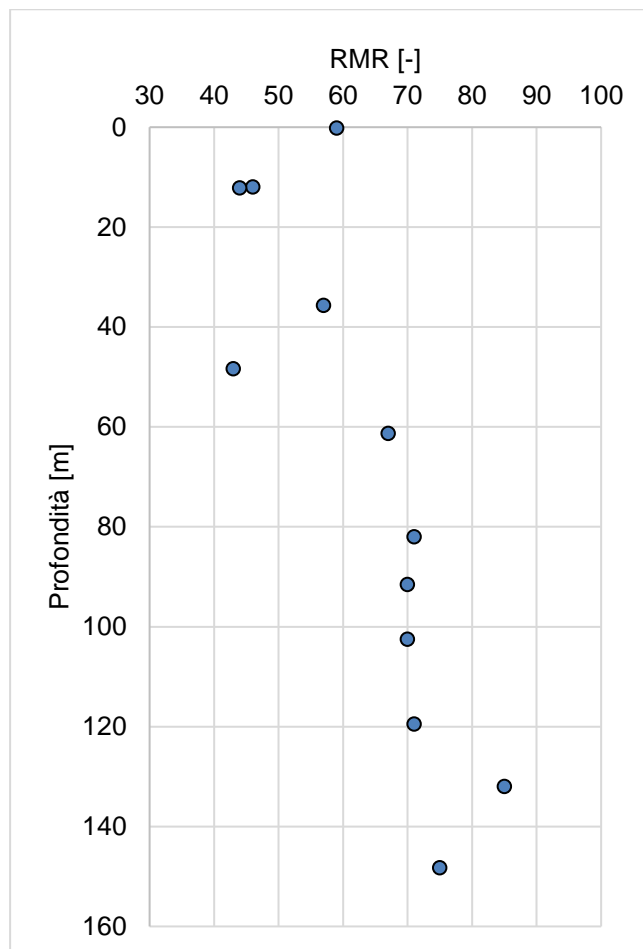


Figura 5.23: Roccia CL – RMR

Ottenendo le seguenti distribuzioni delle caratteristiche di resistenza:

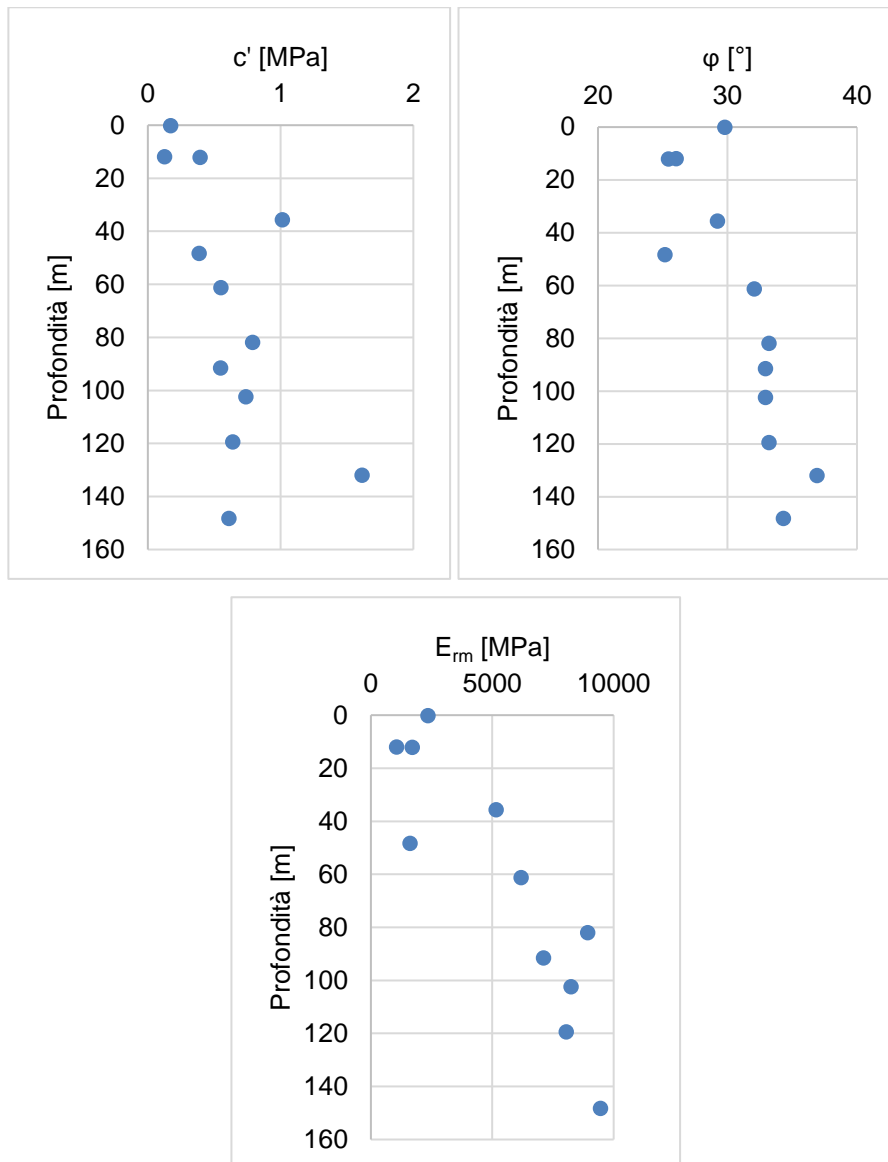


Figura 5.24: Roccia CL – caratteristiche di resistenza e deformabilità

E i seguenti valori medi:

$$c = 0,54 \text{ MPa};$$

$$\phi = 30,9^\circ;$$

$$E_{rm} = 5,434 \text{ GPa}.$$

Durante le prove di compressione monoassiale sono stati calcolati i valori di modulo di Young secante E_{s50} , modulo di Young tangente E_{t50} e coefficiente di Poisson ν_{50} , calcolati al 50% della tensione a rottura:

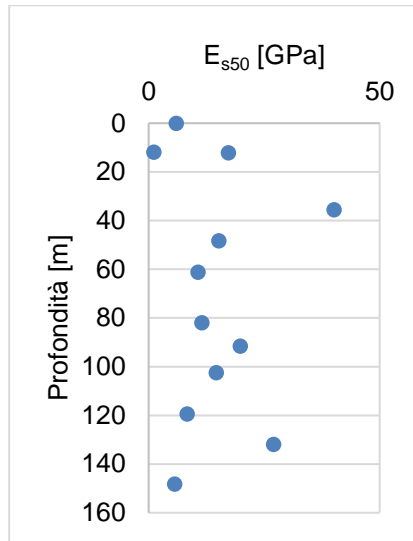


Figura 5.25: Roccia CL – modulo elastico secante E_{s50}

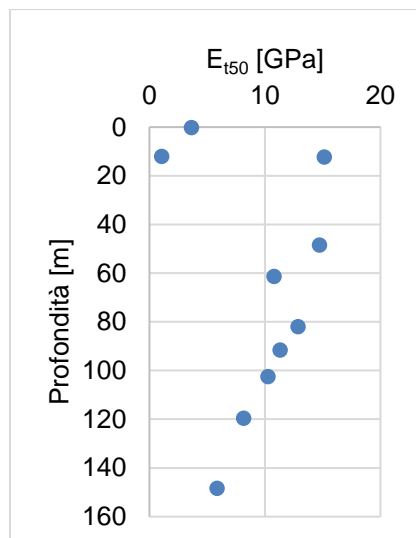


Figura 5.26: Roccia CL – modulo elastico tangente E_{t50}

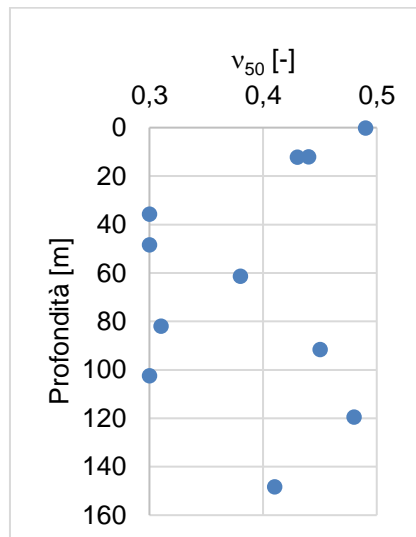


Figura 5.27: Roccia CL – coefficiente di Poisson ν_{50}

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

Dalle prove Down-Hole si ottengono i seguenti valori della velocità delle onde di taglio V_s e del modulo di taglio G_0 .

$$V_s = 400 \div 550 \text{ m/s}, \quad G_0 = 350 \div 650 \text{ MPa}$$

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

5.3 Falda

L'andamento del pelo libero della falda determinato è stato a profondità fortemente variabile ed è interno allo strato di calcareniti CL. Il livello di falda è stato dedotto sulla base dell'osservazione di campagne di indagini pregresse e poco affidabili a causa della distanza temporale e spaziale dell'osservazione. La galleria GN01 risulta comunque sotto il piano di falda che si sviluppa tra queste progressive.

La falda è stata considerata in via cautelativa presente durante la progettazione, ad una quota pari a 5 m sopra la calotta della galleria.

5.4 Caratterizzazione fisico – meccanica dei terreni

Di seguito sono riportati in sintesi i parametri geotecnici che è possibile attribuire ai terreni che costituiscono il volume significativo ai fini della progettazione.

Tali valori sono stati ricavati sia sulla base delle specifiche prove di laboratorio condotte sui campioni prelevati nel corso dell'ultima campagna di indagini, sia sulla base dei risultati ottenuti dalle prove svolte in sito, sia dai dati acquisiti in occasione di altri lavori su terreni simili a quelli in esame. Si è inoltre fatto riferimento a dati reperibili nella letteratura geotecnica regionale.

I parametri geotecnici valgono per i terreni di tutto il tracciato e con particolare riferimento all'ammasso roccioso della galleria, in considerazione dell'omogeneità di comportamento dei vari termini desunta dai risultati delle indagini in sito e di laboratorio.

Nella tabella che segue si riportano i valori minimi e medi dei parametri fisico-meccanici dei terreni individuati, da utilizzare per il dimensionamento geotecnico e strutturale delle fondazioni delle opere d'arte.

In particolare, si riportano i valori delle seguenti grandezze:

- peso dell'unità di volume naturale γ_n ;
- coesione non drenata c_u ;
- coesione effettiva c' ;
- angolo d'attrito effettivo φ' ;
- resistenza a rottura della roccia intatta σ_{ci} ;
- rock mass rating RMR;
- modulo di Young operativo E'_{op} ;
- modulo edometrico E_{ed} ;
- modulo di Young dell'ammasso roccioso E_{rm} ;
- velocità delle onde di taglio V_s ;
- modulo di taglio G_0 ;

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

➤ numero di colpi N_{SPT} ;

	γ_n [kN/m ³]		ϕ [°]		c_u [kPa] (d < 6 m)		c_u [kPa] (d > 6 m)		c [kPa]	
	min	med	min	med	min	med	min	med	min	med
AM	16,1	18,9	29,3°	31,1°	80°	256°	80°	256°	13,8°	20,0°

	N_{SPT} [-]		V_s [m/s]		G_0 [MPa]		E_{ed} [MPa]		E'_{op} [MPa]	
	min	med	min	med	min	med	min	med	min	med
AM	-	-	500	550	460	560	4°	5°	-	-

Tabella 5.4: Caratteristiche di progetto dei terreni sciolti

	γ_n [kN/m ³]		σ_{ci} [MPa]		RMR [-]		E_{rm} [GPa]		V_s [m/s]		G_0 [MPa]	
	min	med	min	med	min	med	min	med	min	med	min	med
M	18,0	19,9	1,8°	6,6°	42'	64'	1,29'	4,27'	500	750	500	1140
MC	19,0	21,4	3,5°	9,5°	50'	63'	1,48'	3,08'	600	750	810	1260
CL	17,5	21,3	8,9°	12,2°	37'	42'	1,06'	5,43'	400	475	350	480

Tabella 5.5: Caratteristiche di progetto delle rocce lapidee

- ° Valori dedotti da prove di laboratorio.
- ' Valori dedotti da prove di laboratorio e osservazione delle cassette.

A causa dell'intrinseca variabilità dei valori, durante la progettazione della galleria, come esposto esaustivamente nell'elaborato P00GN01OSTRE01A, ci si è riferiti a valori caratteristici pessimistici adottando due leggi di distribuzione (di Student e gaussiana) e considerando il frattile al 5%.

Durante la progettazione degli interventi si identifica la galleria come interamente inclusa in uno strato omogeneo di marne. Tale assunzione viene effettuata al fine di considerare lo strato con caratteristiche peggiori.

Infine, le caratteristiche geotecniche scelte nella progettazione vengono calcolate considerando il valore minimo e medio di GSI associato all'ammasso roccioso e fatte variare in funzione del ricoprimento della galleria, come riportato nella relazione P00GN01OSTRE01A e qua richiamate:

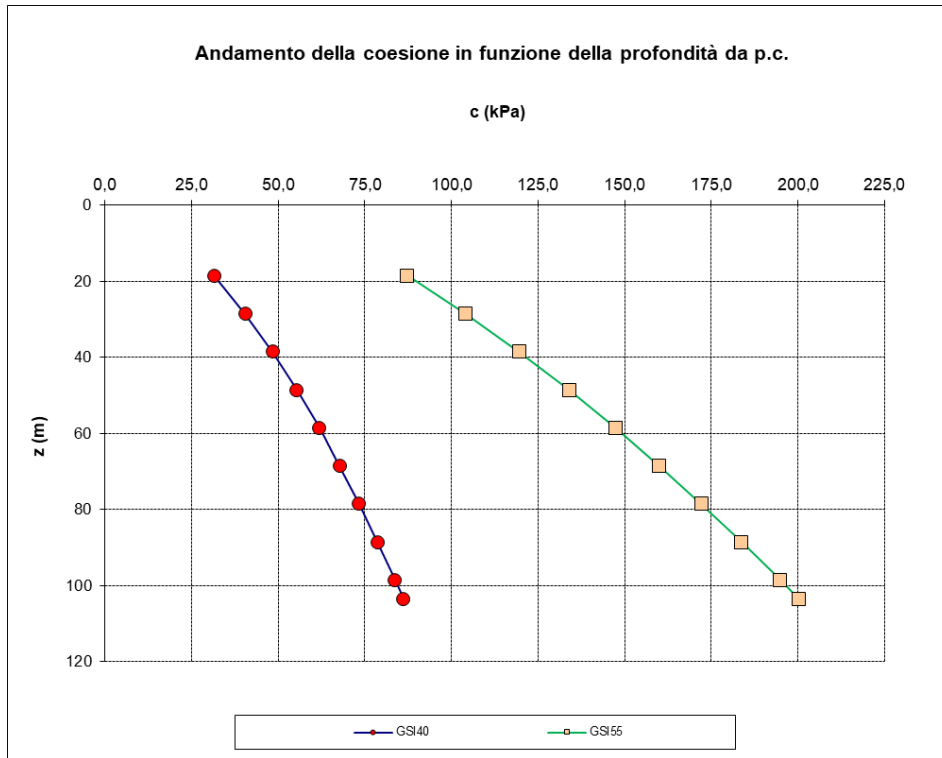


Figura 5.28: Coesione dell'ammasso roccioso

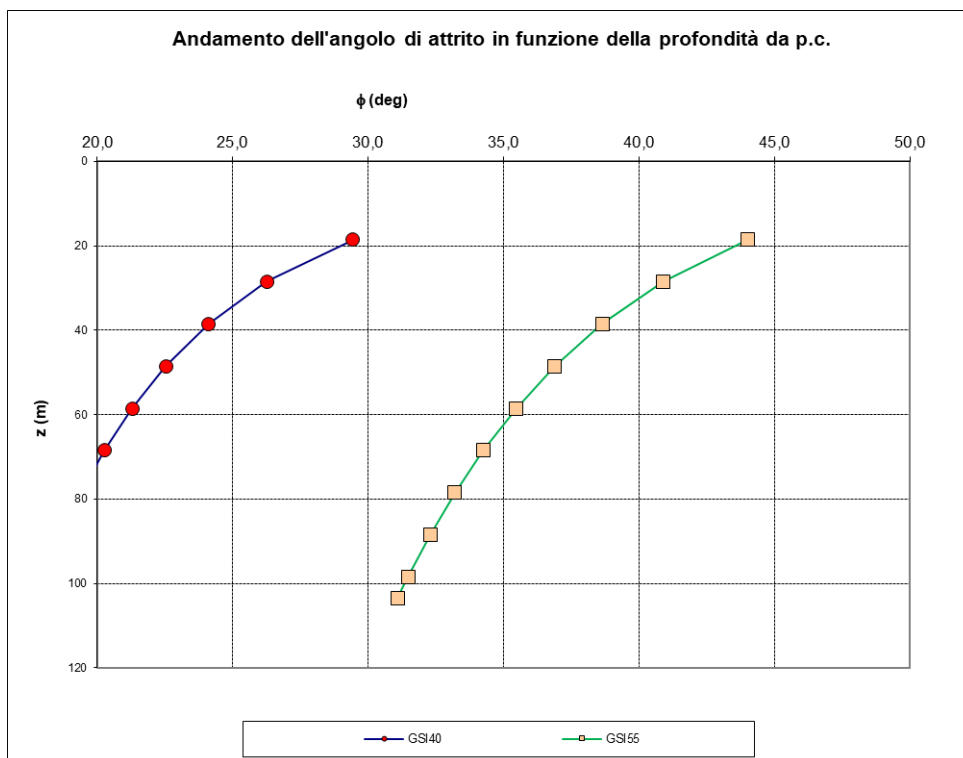


Figura 5.29: Angolo di attrito dell'ammasso roccioso

Si rimanda agli elaborati specialistici della galleria per ulteriori dettagli.

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 anas GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	


5.5 Caratterizzazione sismica dei terreni

La caratterizzazione sismica dei terreni è stata sviluppata in forma estesa nella Relazione Sismica T00GE00GEORE03A, alla quale si rimanda per i dettagli.

Nella tabella che segue si riportano per l'asse della galleria, la categoria di suolo e il valore della velocità equivalente delle onde di taglio $V_{s,eq}$ osservato nei tratti del tracciato studiati tramite indagini sismiche.

Indagine di riferimento	Categoria di sottosuolo	$V_{s,eq}$ [m/s]
Tomografia BS05D	C (0-6m)	275
	B (>6m)	510
Tomografia BS06D	B (0-7m)	600
	A (>7m)	1020
Tomografia BS07D	B (0-15m)	610
	A (>15m)	950
Tomografia BS07D-bis	C (0-5m)	320
	B (5-27m)	580
	A (>27m)	890
Tomografia BS07D-tris	B (0-19m)	610
	A (>19m)	980

Tabella 5.6: Categorie di sottosuolo e velocità di taglio equivalenti

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

6 RAPPORTI OPERE TERRENI – GALLERIA PALA SOLIANA

Le conoscenze sui terreni di fondazione acquisite con i rilievi e le indagini hanno consentito di ricostruire con sufficiente dettaglio i rapporti tra le opere in progetto e i terreni di fondazione.

Con riferimento alla classificazione geotecnica riportata nel capitolo precedente, nella tavola P00GN01GETFG01A si illustrano i terreni di fondazione presenti lungo il profilo longitudinale in asse della galleria.

Nelle stesse tavole sono riportate la posizione e la colonnina schematica dei sondaggi e dei pozzetti. Nelle singole colonnine sono indicati il simbolo dell'unità geotecnica, la quota del boccaforo se nota, la profondità della falda se presente, il valore N_{30} ricavato dalle prove SPT, la posizione dei campioni.

Gli schemi riportati sono da ritenersi puramente indicativi in termini di dimensioni geometriche delle opere, posizione della falda in caso di falda a quota variabile. Per ulteriori dettagli si rimanda agli elaborati specifici (relazione di calcolo, profili longitudinali, sezioni trasversali) della galleria.

La galleria 01 si estende tra i viadotti 02 e 03 e procede:

- In asse sinistro con scavo a cielo aperto tra le progressive 1+871 e 1+888 (imbocco) e tra le progressive 2+893 e 2+906 (sbocco) fino al raggiungimento del ricoprimento minimo di 15 m.
- In asse destro con scavo a cielo aperto tra le progressive 1+862 e 1+882 (imbocco) e tra le progressive 2+902 e 2+917 (sbocco) fino al raggiungimento del ricoprimento minimo di 15 m.

Lo scavo procede con un'inclinazione costante pari all'1,27%. I terreni sono stati caratterizzati tramite numerosi sondaggi proiettati lungo l'asse della galleria, in particolare si riportano i sondaggi S12D-PZ e i sondaggi S7, S8, S9, S10, S11, S14, S15 ed S17.

La stratigrafia individuata è omogenea. Si sono riconosciute arenarie Ar e marne M in superficie fino ad una profondità massima di 30 m. Tali unità non sono state considerate durante la progettazione in quanto non risultano influenti nel calcolo. Al di sotto delle marne si presenta uno strato omogeneo di calcareniti CL per spessori fino a 60 m e in profondità marne M con lenti di argille marnose e marne calcaree.

Durante la progettazione, a causa della carenza di informazioni causata dall'assenza di sondaggi svolti lungo l'asse, si assume la galleria interamente nelle marne M, cioè lo strato riconosciuto come avente le peggiori caratteristiche meccaniche.

La falda è stata individuata in numerosi sondaggi ma alla luce della condizione di proiezione e della data di esecuzione dei sondaggi tale misura non è ritenuta completamente affidabile. Si riconosce, tuttavia, come questa si ponga mediamente al contatto tra lo strato di marne e le calcareniti e durante il calcolo la si pone ad almeno 5 metri al di sopra del tetto della galleria.

I rapporti che intercorrono tra la galleria e i terreni di fondazione sono illustrati nello stralcio del profilo geotecnico riportato nella figura che segue.

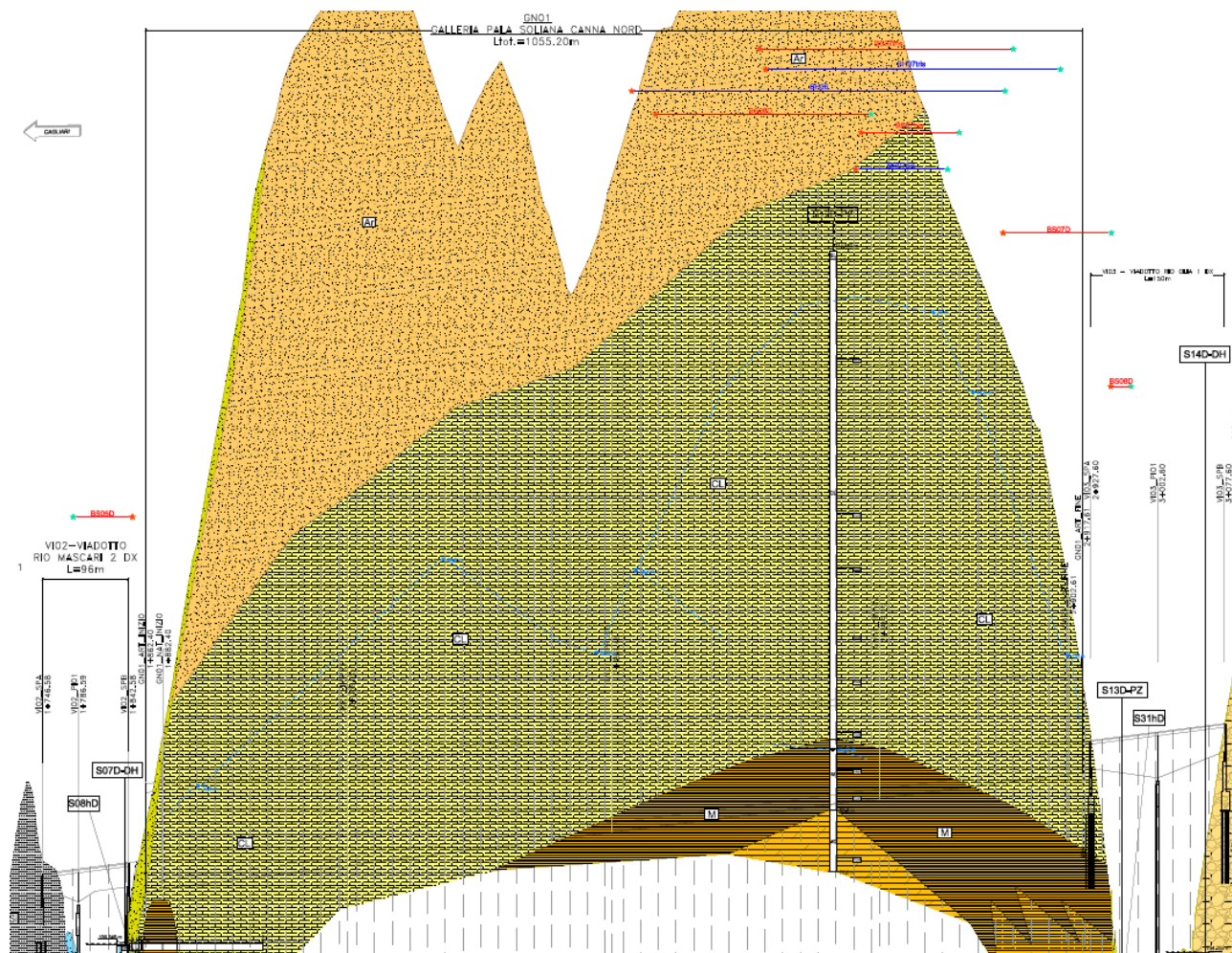
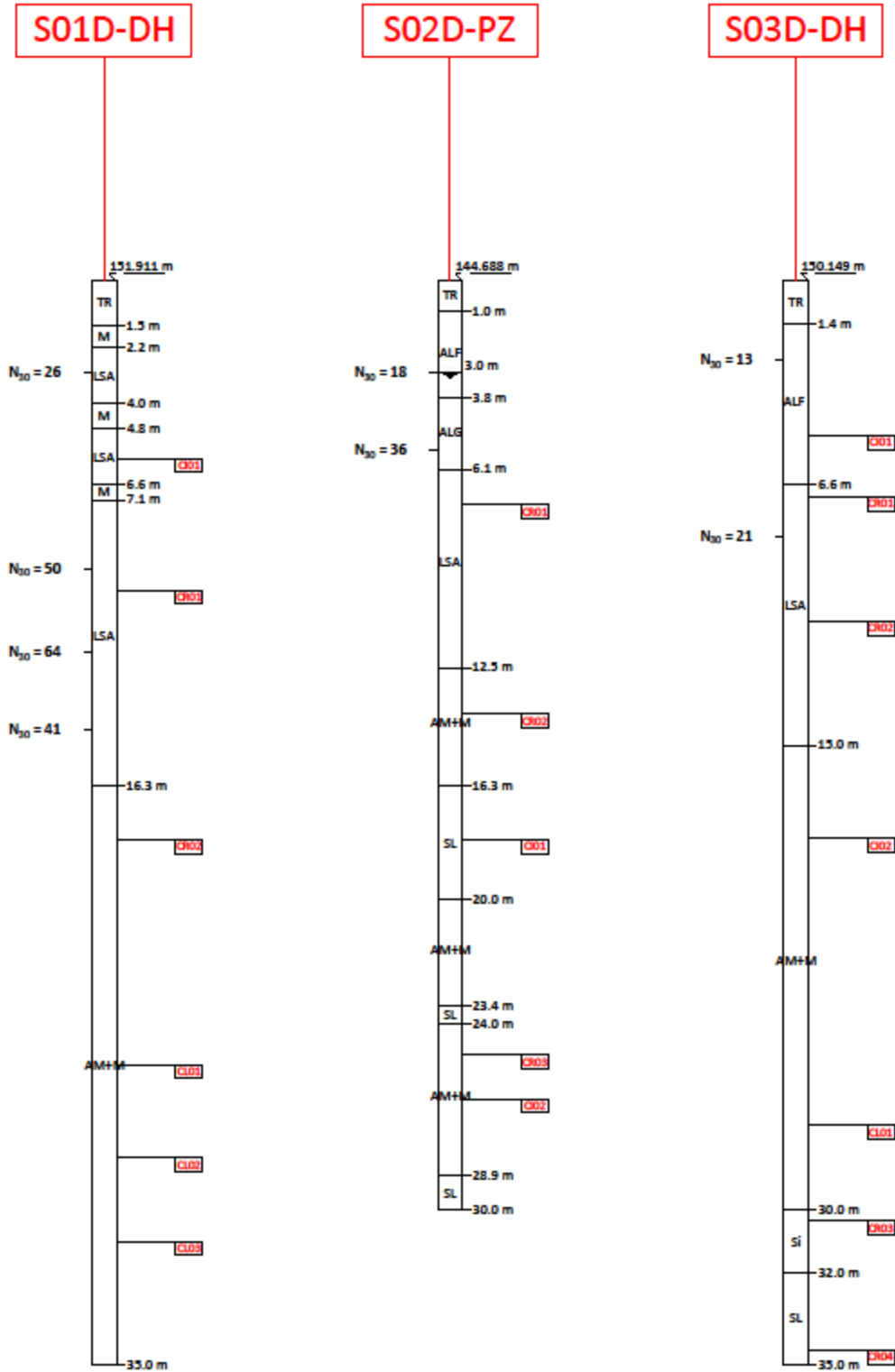


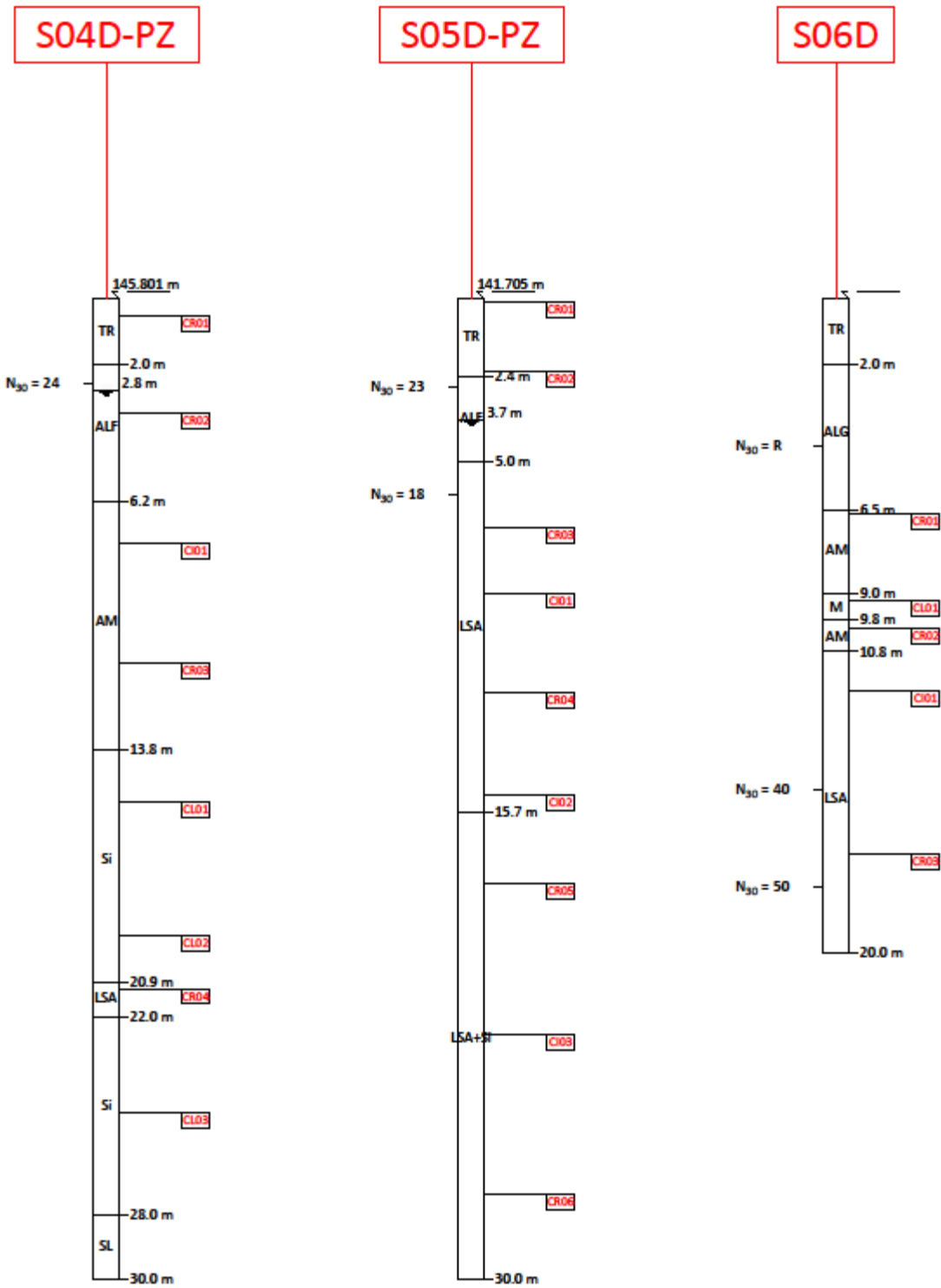
Figura 6.1: GN01 – schema fisico di riferimento

SS 131 "Carlo Felice" Completamento itinerario Sassari - Olbia. Potenziamento e messa in sicurezza SS131 dal km 192+500 al km 209+500 2° lotto dal km 202+000 al km 209+500		 GRUPPO FS ITALIANE
CA357	<i>Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana</i>	

Allegato A

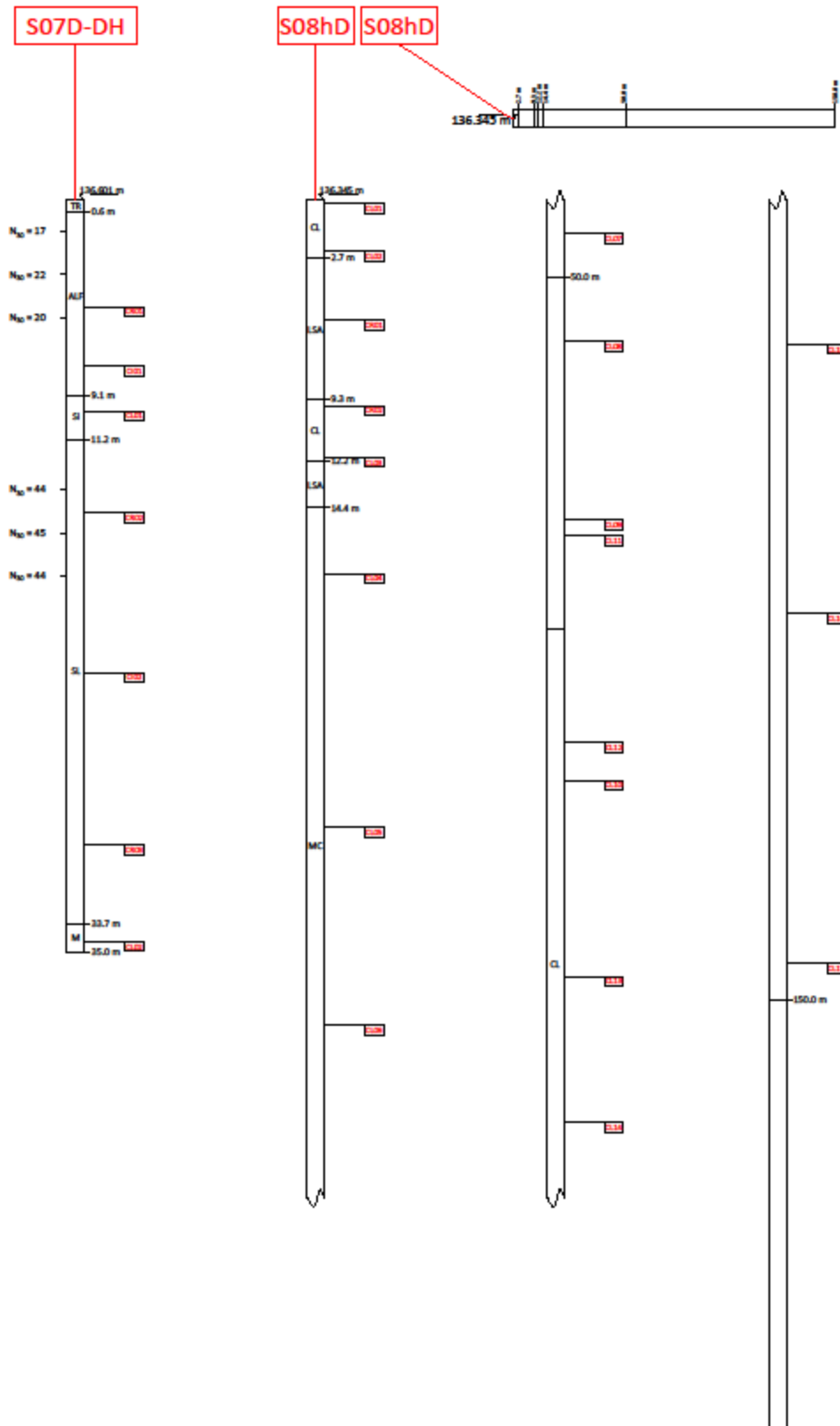
Colonne stratigrafiche dei sondaggi





CA357

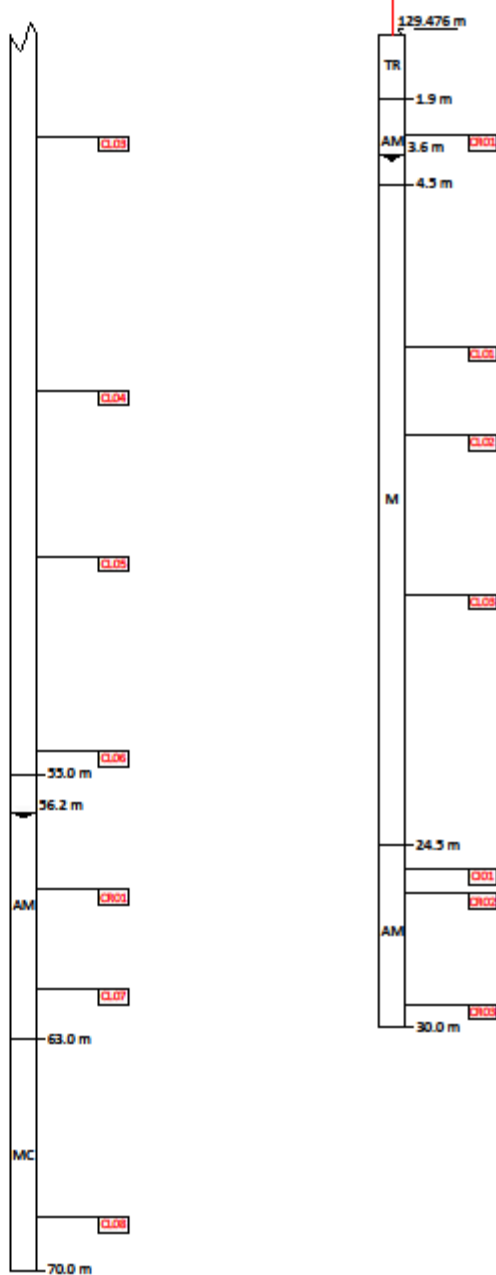
Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana

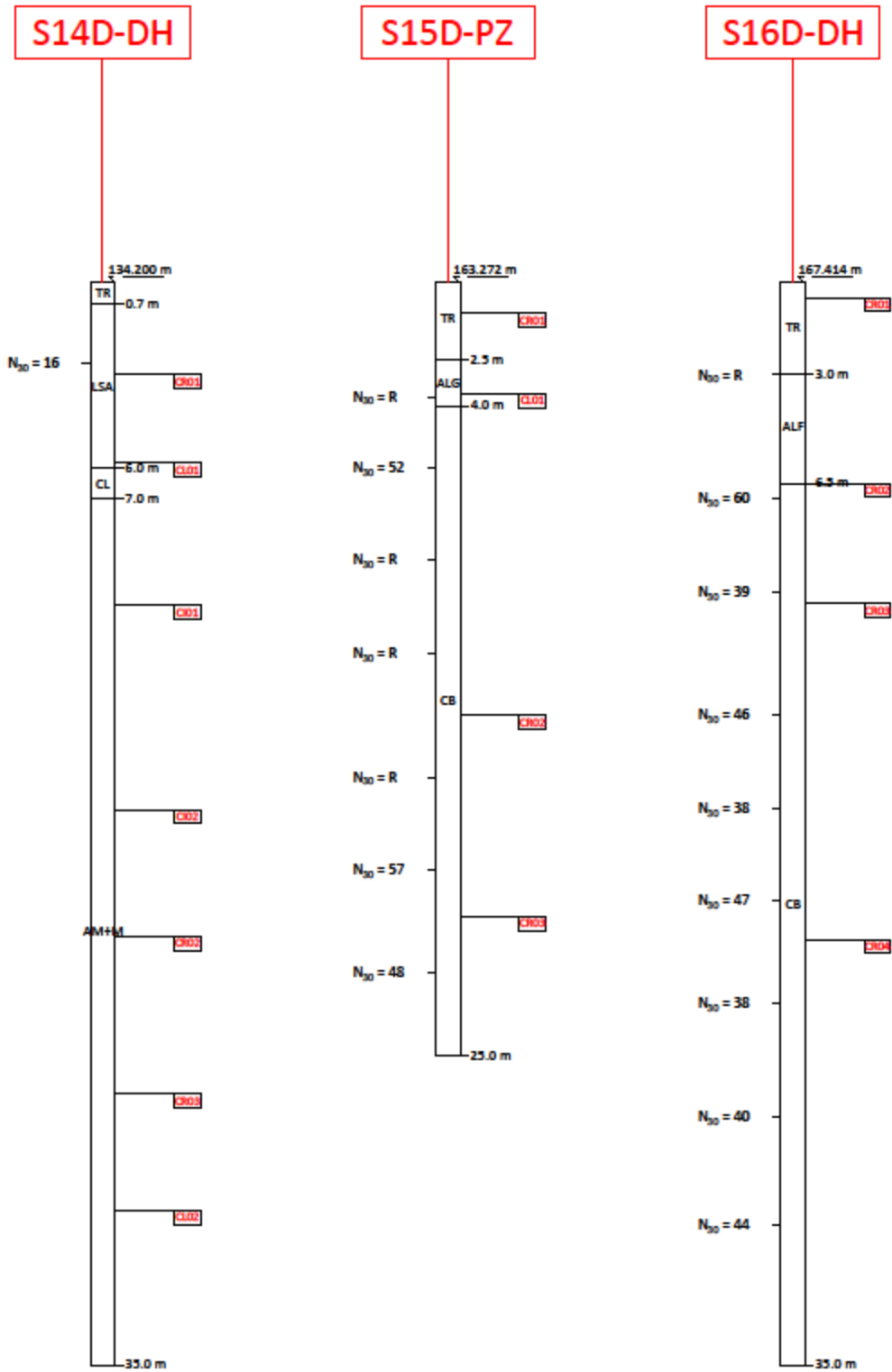


S12D-PZ



S13D-PZ





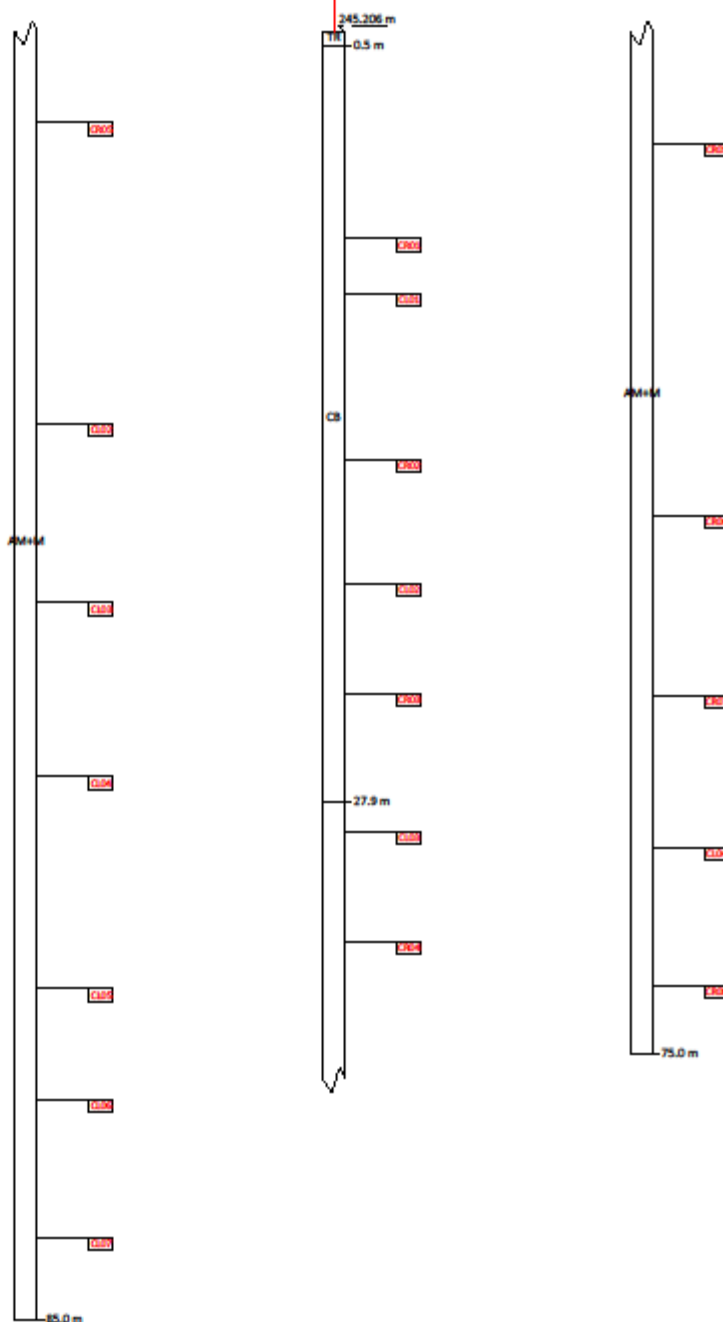
CA357

Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana

S17D



S18D



CA357

Relazione Geotecnica galleria Pala Soliana

