

**NOUVELLE LIGNE LYON TURIN – NUOVA LINEA TORINO LIONE
PARTIE COMMUNE FRANCO-ITALIENNE – PARTE COMUNE ITALO-FRANCESE
CUP C11J05000030001**

**Chantier Opérationnel 04 – Cantiere Operativo 04
CIG Ze11ed230d**

**Travaux de réalisation des niches de retournement et d'aménagement intérieur de la galerie de La Maddalena, transport et mise en dépôt des matériaux excavés
Lavori di realizzazione delle nicchie di interscambio e di sistemazione interna della galleria La Maddalena, trasporto e messa a deposito del materiale di scavo**

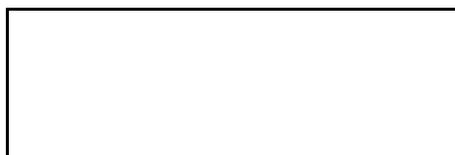
**Projet Exécutif – Progetto Esecutivo
Génie civil – Opere civili
Rapport géomécanique - Relazione geomeccanica**

| Indice | Date/ Data | Modifications / Modifiche | Etabli par / Concepito da | Vérfié par / Controllato da | Autorisé par / Autorizzato da |
|--------|------------|---|---------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| 0 | 24.04.2020 | Première diffusion/Prima emissione | A. ZIMBALDI | M. GATTI | G. CASSANI |
| A | 07.05.2020 | Révision suite aux commentaires / Revisione a seguito commenti | A. ZIMBALDI | M. GATTI | G. CASSANI |
| B | 08.05.2020 | Élaboré approuvé/Elaborato approvato | A. ZIMBALDI | M. GATTI | G. CASSANI |
| C | 28.05.2020 | Elaboré approuvé avec transposition Commentaires TELT/ Elaborato approvato con recepimento commenti TELT | A. ZIMBALDI | M. GATTI | G. CASSANI |
| | | | | | |

| | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|----------------------|---|---|---|---|------------------|---|---|-------------------|-----------------|---|---|---|---|--|
| 0 | 4 | A | 1 | 7 | 3 | 5 | 7 | 0 | 0 | 0 | 0 | - | - | 0 | Z | |
| Cantiere Operativo Chantier Opérationnel | | Contratto Contrat | | | | | Opera Ouvrage | | | Tratta Tronçon | Parte Partie | | | | | |

| | | | | | | | | | |
|---------------|------------------------------------|------------------|--|---|---|--------|---|---|---|
| E | R | E | G | E | 0 | 7 | 0 | 2 | C |
| Fase Phase | Tipo documento Type de document | Oggetto Objet | Numero documento Numéro de document | | | Indice | | | |

Il geologo / Le géologue
Rocksoil S.p.A.

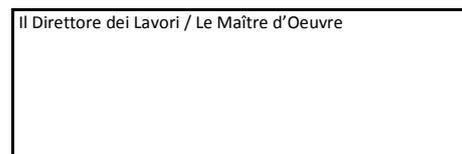
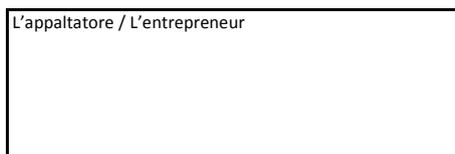



Scala / Echelle

A P
Stato / Statut

Indirizzo / Adresse GED

Il progettista / Le designer

INDICE

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | INTRODUZIONE..... | 4 |
| 1.1 | Documenti di riferimento | 5 |
| 1.2 | Normativa di riferimento..... | 5 |
| 1.3 | Documentazione pregressa | 5 |
| 2 | CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE ROCCE..... | 9 |
| 2.1 | Descrizione mineralogica e caratteristiche fisiche | 9 |
| 2.2 | Resistenza e deformabilità delle rocce costituenti l'ammasso | 9 |
| 2.3 | Classificazioni dell'ammasso..... | 9 |
| 2.4 | Modellazione dell'ammasso | 12 |
| 2.5 | Parametri dell'ammasso | 12 |
| 2.5.1 | Moduli elastici a medie deformazioni | 13 |
| 2.6 | Permeabilità..... | 14 |
| 2.7 | Stato iniziale..... | 14 |
| 3 | CRITERI DI SCELTA DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI | 15 |
| 4 | QUADRO GEOLOGICO, GEOMECCANICO E IDROGEOLOGICO | 16 |
| 4.1 | Sintesi della geologia incontrata durante lo scavo del cunicolo | 16 |
| 4.2 | Caratterizzazione geomeccanica | 18 |
| 4.2.1 | RMR | 18 |
| 4.2.2 | GSI..... | 20 |
| 4.2.3 | σ_c | 22 |
| 4.2.4 | E_i | 25 |
| 4.2.5 | Sintesi..... | 26 |
| 4.3 | Quadro riassuntivo della circolazione idrogeologica incontrata nel Cunicolo esplorativo | 28 |
| 5 | INDIVIDUAZIONE DELLE SITUAZIONI DI POTENZIALE RISCHIO..... | 31 |
| 6 | CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO..... | 33 |
| 6.1 | Caratteristiche fisiche | 33 |
| 6.2 | Caratteristiche meccaniche di resistenza | 34 |
| 6.3 | Caratteristiche meccaniche di deformabilità | 38 |
| 6.4 | Caratteristiche di permeabilità | 39 |
| 7 | CARATTERIZZAZIONE DEL DISCONTINUO..... | 40 |
| 7.1 | Resistenza al taglio lungo le discontinuità naturali | 40 |
| 8 | CARATTERIZZAZIONE DEL DISCONTINUO..... | 48 |
| 8.1 | Categoria di sottosuolo..... | 48 |
| 8.2 | Categoria topografica | 48 |
| 8.3 | Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento | 49 |
| 8.4 | Accelerazione sismica suolo rigido | 49 |
| 8.5 | Accelerazione sismica di progetto | 49 |
| 9 | ALLEGATI..... | 50 |

RIASSUNTO

Ce rapport comprend la caractérisation géotechnique-géomécanique de la masse rocheuse où seront creusées les niches des tunnels de la Maddalena 1.

Les niches sont réalisées en agrandissement de la section existante, en démolissant les supports de la galerie géognostique de Maddalena et en élargissant la section de fouille.

La presente relazione include la caratterizzazione geotecnica-geomeccanica dell'ammasso roccioso in cui verranno scavate le nicchie delle gallerie Maddalena 1.

Le nicchie sono realizzate in allargo della sezione esistente, mediante la demolizione dei sostegni della galleria geognostica della Maddalena e l'allargo della sezione di scavo.

1 INTRODUZIONE

La presente Relazione Geomeccanica riporta la valutazione delle qualità dell'ammasso e le relative caratteristiche di resistenza e deformabilità in corrispondenza delle nicchie di interscambio da eseguirsi all'interno del cunicolo esplorativo La Maddalena, per tutto il tratto scavato con TBM (sia il primo tratto, che verrà successivamente utilizzato per l'accesso dei veicoli bimodali e di soccorso al Tunnel di Base, che per il secondo tratto destinato allo stoccaggio irreversibile delle rocce verdi provenienti dallo scavo del Tunnel di Base. Il tratto iniziale del cunicolo, scavato in tradizionale, è già stato rivestito).

Nello specifico lungo il primo tratto del cunicolo sono previste 7 nicchie di incrocio dei veicoli (di cui 2 equipaggiate di cabina elettrica e 2 di cabina telecomunicazioni) a cui se ne aggiunge un'ottava all'innesto con la galleria di connessione 1 (anch'essa da equipaggiarsi con cabina telecomunicazioni). Il secondo tratto prevede invece la realizzazione di 14 nicchie per la logistica di stoccaggio.

1.1 Documenti di riferimento

Alla presente relazione sono direttamente collegati i seguenti documenti:

| N° | CODICE | | | | | | | | TITOLO | |
|---------------------------------------|--------|---------|--------|---|---|---|----|----|--------|--------------------------------------|
| GEOLOGIA, GEOTECNICA E CALCOLO | | | | | | | | | | |
| 47 | 04A | 1735700 | OO - - | 0 | Z | E | RE | GE | 0701 | Relazione geologica ed idrogeologica |
| 49 | 04A | 1735700 | OO - - | 0 | Z | E | RE | GC | 0703 | Relazione di calcolo nicchie |
| 50 | 04A | 1735700 | OO - - | 0 | Z | E | RE | GC | 0704 | Relazione tecnica nicchie |
| 51 | 04A | 1735700 | OO - - | 0 | Z | E | PF | GE | 0705 | Profilo geomeccanico di dettaglio |

1.2 Normativa di riferimento

Nel progetto è stato fatto riferimento alle seguenti Normative ed Istruzioni:

- D.M. 14/01/2008: "Norme Tecniche per le Costruzioni" (pubblicato sulla G.U. n.29 – Suppl. Ordinario n.30 – del 4 febbraio 2008).
- Circolare 02/02/2009: "Istruzione C.S.LL.PP. per l'applicazione delle Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 Gennaio 2008".

1.3 Documentazione progressa

La redazione della presente relazione di calcolo si basa su quanto già prodotto nelle precedenti fasi progettuali, in particolare:

Rif. [1] PRV_C3B_7200_26-48-01_10-01 "Relazione ritorno di esperienza scavo Cunicolo esplorativo della Maddalena".

Rif. [2] MAD_EXE_0004_00-00-00_30-02_Carta Geologica_A

Rif. [3] MAD_EXE_0125_07-00-00_10-02_Relazione geologica cunicolo fino a pk 0+242_B_

Rif. [4] MAD_EXE_0126_07-00-40_40-04_Profilo longitudinale geologico, di indagini e di monitoraggio fino a pk 0+242_C

Rif. [5] MAD_EXE_0128_07-00-00_40-05_Profilo longitudinale geotecnico geomeccanico di progetto fino a pk 0+242_A

Rif. [6] MAD_EXE_0145_08-01-00_10-03_Relazione geologica cunicolo da pk 0+242 fino a pk 5+765_A

Rif. [7] MAD_EXE_0146_08-01-00_40-01_Profilo longitudinale geologico_A

- Rif. [8] MAD_EXE_0148_08-01-00_40-02_Profilo longit geomec di progetto da pk 0+242 fino a pk 5+765_A
- Rif. [9] MAD_EXE_0175_08-02-00_10-03_Relazione geologica cunicolo da pk 5+765 fino a pk 7+541_A
- Rif. [10] MAD_EXE_0176_08-02-00_40-01 - Profilo longitudinale geologico tratta_opzionale_A
- Rif. [11] MAD_EXE_0240_07-00-00_10-06 "Sezioni tipo T3-T4-T4a - Relazione di calcolo".
- Rif. [12] PRV_C3B_7202_26-48-01_30-01_Geologia_Maddalena_B (A0)
- Rif. [13] PRV_C3B_7206_26-48-01_40-01_Prof.Geomecc.Maddalena1_B (overA0)
- Rif. [14] MAD_EXE_VEN_0403_07-00-00_70-01_Profilo longitudinale geologico, di indagini e di monitoraggio - AS BUILT_A
- Rif. [15] MAD_EXE_VEN_0404_07-00-00_70-02_Profilo longitudinale geotecnico, geomeccanico di progetto - AS BUILT_A
- Rif. [16] MAD_EXE_VEN_0516_08-01-00_70-01_Prof long geol di indagini e monitoraggio da pk 0+198 fino a pk 0+700-AS BUILT_D
- Rif. [17] MAD_EXE_VEN_0517_08-01-00_70-02_Profilo longitud geomecc di progetto da pk 0+198 fino a pk 0+700_AS BUILT_E
- Rif. [18] MAD_EXE_VEN_0518_08-01-00_70-03_Profilo longitud geomecc di progetto da pk 0+700 a pk 1+200-AS BUILT_F
- Rif. [19] MAD_EXE_VEN_0519_08-01-00_70-04_Prof long geol di indagini e monitoraggio da pk 0+700 fino a pk 1+200 - AS BUILT_D
- Rif. [20] MAD_EXE_VEN_0531_08-01-00_70-05_Profilo longitud geomecc di progetto da pk 1+200 fino a pk 1+700 - AS BUILT_B
- Rif. [21] MAD_EXE_VEN_0532_08-01-00_70-06_Prof long geol di indagini e monitoraggio da pk 1+200 fino a pk 1+700 - AS BUILT_B
- Rif. [22] MAD_EXE_VEN_0533_08-01-00_70-07_Profilo longitud geomecc di progetto da pk 1+700 fino a pk 2+200 - AS BUILT_D

- Rif. [23] MAD_EXE_VEN_0534_08-01-00_70-08_Prof long geol di indagini e monitoraggio da pk 1+700 fino a pk 2+200 - AS BUILT_B
- Rif. [24] MAD_EXE_VEN_0535_08-01-00_70-09_Prof longitud geomecc di proget da pk 2+200 fino a pk 2+700-AS BUILT_A
- Rif. [25] MAD_EXE_VEN_0536_08-01-00_70-10_Prof long geol di indagini e monitoraggio da pk 2+200 fino a pk 2+700 - AS BUILT_A
- Rif. [26] MAD_EXE_VEN_0543_08-01-00_70-11_Profilo longitud geomecc di progetto da pk 2+700 fino a pk 3+200 - AS BUILT_C
- Rif. [27] MAD_EXE_VEN_0544_08-01-00_70-12_Prof long geol di indagini e monitoraggio da pk 2+700 fino a pk 3+200 - AS BUILT_A
- Rif. [28] MAD_EXE_VEN_0545_08-01-00_70_13_Profilo longitud geomecc di progetto da pk 3+200 a pk 3+700-AS BUILT_D
- Rif. [29] MAD_EXE_VEN_0546_08-01-00_70_14_Profilo long geol, indagini e monitoraggio da pk 3+200-3+700-AS BUILT_B
- Rif. [30] MAD_EXE_VEN_0562_08-01-00_70_25_Profilo longitud geomecc di progetto da pk 3+700 a pk 4+200-AS BUILT_D
- Rif. [31] MAD_EXE_VEN_0563_08-01-00_70-26_Profilo longitud geol di indagini e di monitoraggio da pk 3+700 a pk 4+200-AS BUILT_A
- Rif. [32] MAD_EXE_VEN_0564_08-01-00_70_27_Profilo longitud geomecc di progetto da pk 4+200 a pk 4+700-AS BUILT_D
- Rif. [33] MAD_EXE_VEN_0565_08-01-00_70-28_Profilo longitud geolo di indagini e di monitoraggio da pk 4+200 a pk 4+700-AS BUILT_A
- Rif. [34] MAD_EXE_VEN_0566-08-01-00_70_29_Prof long geomecc di progetto pk 4+700-pk 5+200-AS BUILT_A
- Rif. [35] MAD_EXE_VEN_0567_08-01-00_70-30_Prof long geol indagini e monitoraggio pk 4+700-pk 5+200-AS BUILT_A
- Rif. [36] MAD_EXE_VEN_0568-08-01-00_70_31_Profilo longitud geomecc di progetto da pk 5+200 a pk 5+764,77-AS BUILT_E

- Rif. [37] MAD_EXE_VEN_0569_08-01-00_70-32_Pro long geol indagini e monitoraggio
pk 5+200-5+764.77-AS BUILT_A
- Rif. [38] MAD_EXE_VEN_0570-08-02-00_70_01_Profilo longitud geomecc di progetto
da pk 5+764,77 a pk 6+400_AS BUILT_A
- Rif. [39] MAD_EXE_VEN_0571-08-02-00_70_02_Profilo longitud geolog, ind e
monitoraggio da pk 5+765 a pk6+400_AS BUILT_A
- Rif. [40] MAD_EXE_VEN_0572-08-02-00_70_03_Profilo longitud geomecc di progetto
da pk 6+400 a pk7+020_AS BUILT_A
- Rif. [41] MAD_EXE_VEN_0573-08-02-00_70_04_Prof long geo ind e monitoraggio da
pk 6+400 7+020_AS BUILT_A
- Rif. [42] MAD_MS5_GIA_0001_A_AP_NOT: Verifica Esiti Ambientali del Cunicolo
Esplorativo de La Maddalena – Relazione
- Rif. [43] MAD_MS5_GIA_0002_A_AP_PLA: Verifica Esiti Ambientali del Cunicolo
Esplorativo de La Maddalena - Profilo geomeccanico

2 CRITERI DI CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELLE ROCCE

2.1 Descrizione mineralogica e caratteristiche fisiche

Attraverso l'analisi delle prove di laboratorio su provini, laddove disponibili, potrà essere effettuata una descrizione mineralogica nonché potranno essere determinati i valori dei pesi di volume e del grado di saturazione.

2.2 Resistenza e deformabilità delle rocce costituenti l'ammasso

I valori di resistenza potranno essere determinati dalle prove di compressione non confinata effettuate in laboratorio. Per la deformabilità della matrice si ha che:

$$E_{50} = \frac{\sigma_c}{(\varepsilon_a) \frac{\sigma_c}{2}}$$

Essendo ε_a la deformazione corrispondente a $\sigma_c/2$. Tale valore risente dell'eventuale disturbo del campione e dalle caratteristiche del medesimo (campione irregolare, disturbato, con discontinuità,...).

2.3 Classificazioni dell'ammasso

Si adotta il sistema tradizionale di classificazione di Bieniawski (1989).

Per ogni litotipo, in base a quanto scaturito dai rilievi geostrutturali, viene stimato il parametro RMR'_{89} come somma dei seguenti 8 indici (I1→I8):

1. Resistenza alla compressione semplice della roccia intatta (I1)

| Resistenza alla compressione semplice σ_c (MPa) | I1 |
|--|----|
| > 250 | 15 |
| 100÷250 | 12 |
| 50÷100 | 7 |
| 25÷50 | 4 |
| 5÷25 | 2 |
| 1÷5 | 1 |
| < 1 | 0 |

2. Qualità della roccia RQD (I2)

| RQD (%) | I2 |
|---------|----|
| 90÷100 | 20 |
| 75÷90 | 17 |
| 50÷75 | 13 |

| | |
|-------|---|
| 25÷50 | 8 |
| < 25 | 3 |

3. Spaziatura delle discontinuità (I3)

| | |
|---------------|-----------|
| S | I3 |
| > 2 m | 20 |
| 0.6 m÷2 m | 15 |
| 200 mm÷600 mm | 10 |
| 60 mm÷200 mm | 8 |
| < 60 mm | 4 |

4. Lunghezza delle discontinuità (I4)

| | |
|-----------|-----------|
| L | I4 |
| < 1 m | 6 |
| 1 m÷3 m | 4 |
| 3 m÷10 m | 2 |
| 10 m÷20 m | 1 |
| > 20 m | 0 |

5. Apertura delle discontinuità (I5)

| | |
|-------------|-----------|
| H | I5 |
| 0 mm | 6 |
| > 0.1 mm | 5 |
| 0.1 mm÷1 mm | 4 |
| 1 mm÷5 mm | 1 |
| > 5 mm | 0 |

6. Condizioni delle superfici di discontinuità in termini di scabrezza (I6)

| | |
|--------------------|-----------|
| Descrizione | I6 |
| Molto rugose | 6 |
| Rugose | 5 |
| Poco rugose | 3 |
| Ondulate | 1 |
| Lisce | 0 |

7. Caratteristiche del riempimento delle discontinuità (I7)

| | |
|-------------------------------|-----------|
| Descrizione – spessore | I7 |
| Assente | 6 |
| Compatto – < 5 mm | 4 |
| Compatto – > 5 mm | 2 |
| Tenero – < 5 mm | 2 |
| Tenero – > 5 mm | 0 |

8. Condizioni delle superfici di discontinuità in termini di alterazione (I8)

| Descrizione | I8 |
|----------------|----|
| Non alterate | 6 |
| Poco alterate | 4 |
| Alterate | 2 |
| Molto alterate | 2 |
| Decomposte | 0 |

Per il calcolo di RMR_{89} si assegna anche un punteggio per:

- le condizioni idrauliche riferite ad un fronte di 10 m di lunghezza

| Venute d'acqua | Nessuna | < 10 l/min | 10-25 l/min | 25-125 l/min | > 125 l/min |
|----------------|----------|------------|-------------|---------------|--------------|
| Condizione | Asciutta | Umida | Bagnata | Deboli venute | Forti venute |
| Coefficiente | 15 | 10 | 7 | 4 | 0 |

- l'orientamento più o meno favorevole delle discontinuità rispetto alla galleria

| Molto favorevole | Favorevole | Medioce | Sfavorevole | Molto sfavorevole |
|------------------|------------|---------|-------------|-------------------|
| 0 | -2 | -5 | -10 | -12 |

In presenza di ammassi rocciosi eterogenei, alternanze di strati competenti e di strati con caratteristiche geotecniche più scadenti, il valore di GSI valutato sulla base di RMR_{89} verrà messo a confronto anche con quello stimabile sulla base della carta proposta da Hoek et al. (1998):

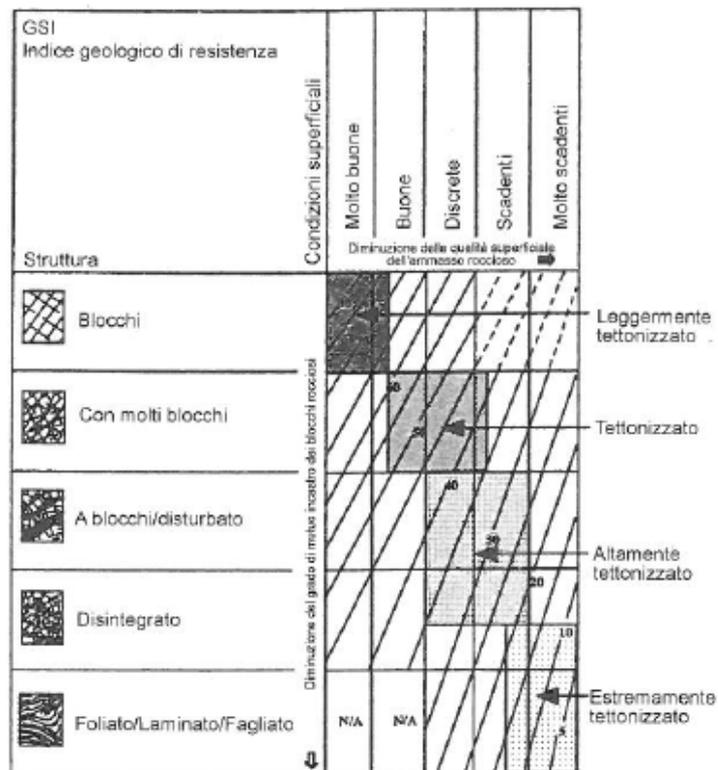


Figura 1 – Carta del GSI, Hoek et al. (1998)

2.4 Modellazione dell'ammasso

In considerazione delle dimensioni delle opere da realizzare, la caratterizzazione geotecnica dell'ammasso roccioso verrà fatta facendo tendenzialmente riferimento allo schema concettuale di mezzo continuo (omogeneo o stratificato) facendo riferimento ai sistemi di classificazione precedentemente descritti.

2.5 Parametri dell'ammasso

Nel caso si debba utilizzare il modello continuo l'involuppo delle resistenze dell'ammasso roccioso in condizioni "undisturbed" o "disturbed" verrà valutato sulla base di quanto riportato in Brown & Hoek (1988), Hoek & Brown (1988), Hoek, Kaiser & Bawden (1995), Hoek et al (2002).

L'ammasso roccioso verrà descritto per ogni litotipo dal seguente criterio di rottura:

$$\sigma_1' = \sigma_3' + \sigma_c \cdot \left(m_b \cdot \frac{\sigma_3'}{\sigma_c} + s \right)^\alpha$$

essendo:

$$m_b = m_i \cdot e^{\frac{GSI - 100}{28 - 14 \cdot D}}$$

$$s = e^{\frac{GSI - 100}{9 - 3 \cdot D}}$$

D = 0 per "undisturbed rock masses"

D = 1 per "disturbed rock masses"

$$\alpha = \frac{1}{2} + \frac{1}{6} \cdot \left(e^{\frac{-GSI}{15}} - e^{\frac{-20}{3}} \right)$$

GSI = Geological Strength Index

m_i = coefficiente relativo alla roccia intatta

σ_1' = tensione principale efficace maggiore

σ_3' = tensione principale efficace minore

σ_c = resistenza alla compressione semplice della roccia intatta.

Per il coefficiente m_i , come fatto in PE, si farà riferimento a quanto riportato nella seguente tabella:

| Rocce | m_i (-) |
|----------------|-----------|
| Metamorfiti | 33 |
| Conglomerato | 22 |
| Arenaria | 19 |
| Calcare | 10 |
| Argilliti | 4 |

Figura 2 – Coefficiente m_i relativo alla roccia intatta (Hoek, Kaiser e Bawden, 1995)

I criteri di rottura espressi in termini di tensioni efficaci principali σ_1' e σ_3' possono essere trasformati in termini di tensioni di taglio τ e di tensioni efficaci normali alla superficie di rottura σ_n' . A tale proposito valgono le seguenti equazioni:

$$\frac{\delta\sigma_1'}{\delta\sigma_3'} = 1 + a \cdot m_b \cdot \left(\frac{m_b \cdot \sigma_3'}{\sigma_c} + s \right)^{a-1}, \quad \sigma_n' = \frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2} - \frac{\sigma_1' - \sigma_3'}{2} \cdot \frac{\frac{\delta\sigma_1'}{\delta\sigma_3'} - 1}{\frac{\delta\sigma_1'}{\delta\sigma_3'} + 1}, \quad \tau = (\sigma_1' - \sigma_3') \cdot \frac{\sqrt{\frac{\delta\sigma_1'}{\delta\sigma_3'}}}{\frac{\delta\sigma_1'}{\delta\sigma_3'} + 1}$$

In corrispondenza di valori di σ_n' negativi (trazione) le resistenze al taglio saranno assunte pari a 0 kPa ("tension cut off"). E' quindi possibile determinare anche un involucro alla Mohr Coulomb attraverso una linearizzazione da cui ricavare i valori di c' e ϕ in corrispondenza dello stato tensionale di riferimento.

2.5.1 Moduli elastici a medie deformazioni

I moduli di Young "operativi" E_m dell'ammasso roccioso possono essere stimati sulla base della seguente espressione (Bieniawski, 1978; Serafim & Pereira, 1983; Hoek et al., 2002):

$$E_m \text{ (GPa)} = \left(1 - \frac{D}{2} \right) \sqrt{\frac{\sigma_{ci}}{100}} \cdot 10^{((GSI-10)/40)} \quad \text{per } 10 < GSI < 50 \text{ e per } \sigma_c < 100 \text{ MPa.}$$

essendo D il coefficiente di disturbo, variabile tra 0 e 1.

Una formulazione alternativa, di Hoek e Diederichs (2006), lega il modulo elastico dell'ammasso a quello della roccia intatta E_i , secondo la formula:

$$E_{rm} = E_i \left(0.02 + \frac{1 - D/2}{1 + e^{((60+15D-GSI)/11)}} \right)$$

2.6 Permeabilità

I coefficienti di permeabilità dell'ammasso roccioso sono stati determinati con prove di permeabilità Lugeon, laddove disponibili.

2.7 Stato iniziale

Lo stato tensionale in sito è stabilito in base a considerazioni di carattere geologico e può essere determinato in base a prove all'interno dei sondaggi (fatturazione idraulica)

In mancanza di tali elementi, a partire dalla formulazione di Heim, lo stato tensionale tende alle condizioni di tipo idrostatico in profondità, a causa di fenomeni viscosi ed a causa della ridotta capacità di assorbire elevate tensioni deviatoriche.

In prima approssimazione per elevate profondità è plausibile definire verticali ed orizzontali le tensioni principali e pari alla profondità moltiplicata per i pesi di volume.

Le misure dello stato tensionale in sito eseguite in fase di scavo e analizzate nel par. 4.2.9 di Rif. [1] restituiscono risultati sporadici e non attendibili.

Dato che le nicchie verranno scavate con coperture tra 200e 2000m, si continua a considerare come in PRV un rapporto tra tensione orizzontale e tensione verticale k_0 pari a 1.3, per tener conto dell'orientazione dei piani di discontinuità.

3 CRITERI DI SCELTA DEI VALORI CARATTERISTICI DEI PARAMETRI GEOTECNICI

Come definito dalla Normativa per valore caratteristico si intende un parametro geotecnico che corrisponde ad una stima ragionata e cautelativa del valore del parametro per ogni stato limite considerato.

Per gli ammassi rocciosi e per i terreni a struttura complessa, nella valutazione della resistenza caratteristica occorre tener conto della natura e delle caratteristiche geometriche e di resistenza delle discontinuità.

La scelta dei valori caratteristici dei parametri geotecnici avviene generalmente in due fasi.

La prima fase comporta l'identificazione dei *parametri geotecnici appropriati* ai fini progettuali cioè quei parametri da riferirsi alla tipologia specifica di opera ed al suo comportamento tenso-deformativo.

La seconda fase del processo decisionale riguarda la valutazione dei valori caratteristici degli stessi parametri.

Nelle valutazioni che il progettista deve svolgere per pervenire ad una scelta corretta dei valori caratteristici, appare giustificato il riferimento a valori prossimi ai valori medi quando nello stato limite considerato è coinvolto un elevato volume di terreno, perché a larga scala si compensano le eterogeneità o quando la struttura a contatto con il terreno è dotata di rigidità sufficiente a trasferire le azioni dalle zone meno resistenti a quelle più resistenti.

Al contrario, valori caratteristici prossimi ai valori minimi dei parametri geotecnici appaiono più giustificati nel caso in cui siano coinvolti modesti volumi di terreno, con concentrazione delle deformazioni fino alla formazione di superfici di rottura nelle porzioni di terreno meno resistenti del volume significativo, o nel caso in cui la struttura ha una ridotta rigidità.

Una valutazione dei valori caratteristici può essere ottenuta operando le opportune valutazioni statistiche.

La variabilità intrinseca dei terreni è dovuta prevalentemente ai processi geologici e geomorfologici naturali agenti sui volumi di terreno in situ. Gli errori di misura sono dovuti alle limitazioni tecnologiche della strumentazione, ad imperfezioni nelle procedure di prova, a possibili errori dell'operatore e ad una componente di errore aleatorio. I risultati di prova possono inoltre essere affetti da incertezze di tipo statistico e da errori di campionamento, dovuti a numerosità limitata delle misure.

Pertanto, statistiche riguardanti le proprietà geotecniche dei terreni derivanti da analisi di variabilità totale, sono applicabili benché limitatamente al sito specifico, al gruppo geotecnico analizzato, alla strumentazione e tipologia di prova impiegata.

4 QUADRO GEOLOGICO, GEOMECCANICO E IDROGEOLOGICO

Nel seguito si riporta una sintesi del quadro geologico, geomeccanico e idrogeologico di riferimento, definita sulla base delle informazioni rilevate nel corso dello scavo del cunicolo esplorativo de La Maddalena e raccolte nei documenti di as-built e nella “*Relazione ritorno di esperienza scavo Cunicolo esplorativo della Maddalena*” a cui si rimanda per ulteriori dettagli, reinterpretate ed organizzate in funzione dell’ubicazione delle previste nicchie in esame.

4.1 Sintesi della geologia incontrata durante lo scavo del cunicolo

Lo scavo del cunicolo della Maddalena ha coinvolto nella sua parte iniziale materiali sciolti di origine glaciale e fluvioglaciale e litotipi di diversa natura, principalmente calcarei, per interessare successivamente i litotipi del Complesso di Ambin e, nella parte centrale, dalle rocce corrispondenti al Complesso di Clarea.

Nel dettaglio nel tratto scavato in tradizionale, fino alla progressiva Km 0+198, si sono intercettati depositi sciolti.

Il tratto successivo, scavato con metodo meccanizzato, ha interessato, come da previsioni di Progetto Esecutivo la struttura a duomo costituita nella parte più esterna dai litotipi del Complesso di Ambin e nella parte centrale dalle rocce corrispondenti al Complesso di Clarea.

Nel dettaglio tra le progressive Km 0+198 e 1+148 (nicchie da NS1 a NS5) sono stati attraversati gli gneiss aplitici, di colore da grigio scuro a grigio chiaro, fino a verde chiaro per presenza di clorite. Queste rocce di origine metamorfica presentano grana medio fine, struttura eteroblastica e tessitura da isotropa a debolmente foliata, per effetto dell’alternanza di livelli sialici di quarzo e subordinatamente feldspati e livelli lepidoblastici di mica bianca. Le principali famiglie di giunti e faglie risultano orientate circa sub-parallele ai piani di scistosità. Lungo il settore compreso tra le pk 0+950 e 1+050 (nessuna nicchia) è presente un tratto, di circa 100 m, caratterizzato da alternanze tra gneiss albitici minuti e micascisti quarzosi. Nel settore compreso tra pk 1+050 e 1+148 (nicchia NS5) la fratturazione risulta essere più marcata.

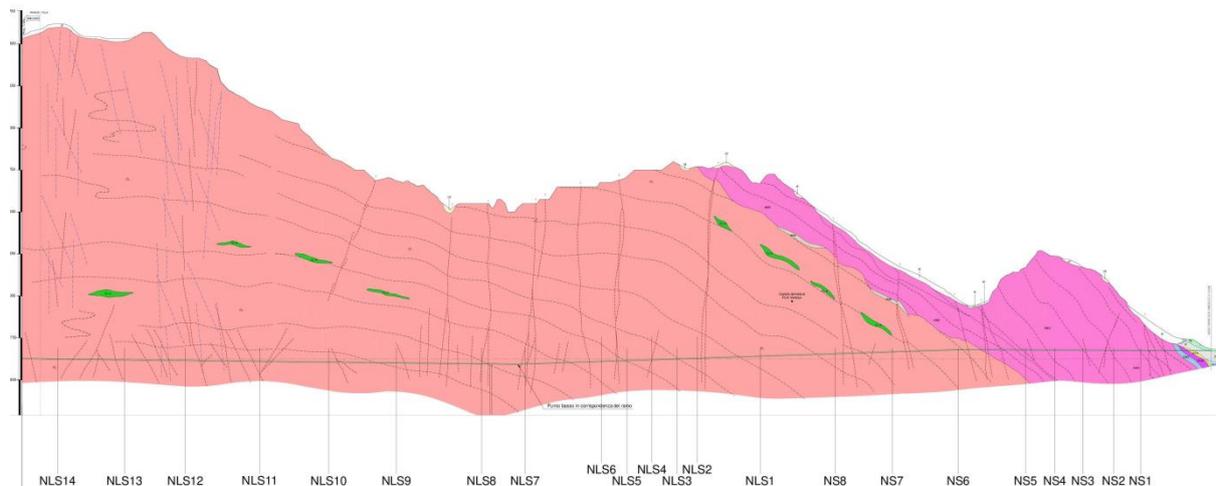


Figura 3 – Profilo geologico

Nei successivi 202 m (tra progressive Km 1+148 e 1+350 – nessuna nicchia) sono stati incontrati i litotipi rappresentati dagli gneiss albitici minuti (granofels ad albite, quarzo e

fengite) passanti a micascisti quarzosi. In generale la roccia è di colore scuro, a grana medio fine, tessitura in genere foliata dovuta all'alternanza di livelli di scisti nerastri intensamente laminati con gneiss minuti, micascisti e vene di quarzo. Il contatto con i precedenti gneiss aplitici è risultato essere di tipo tettonico duttile.

A partire dalla pk 1+350 (dalla nicchia NS6 in poi) il Cunicolo esplorativo ha intercettato micascisti grigio scuri, i micascisti quarzosi e gli gneiss minuti (a glaucofane più o meno albitizzati) del Complesso di Clarea.

Il passaggio tra il Complesso di Ambin e quello di Clarea è caratterizzato da una zona con intensa fratturazione (nessuna nicchia interessata).

Si segnala inoltre che, durante lo scavo del Cunicolo, non sono state incontrate o attraversate le lenti di metabasiti segnalate in letteratura e in taluni casi rinvenute in affioramento in superficie entro i litotipi del Complesso di Clarea.

Focalizzando l'attenzione sulle sole nicchie, nella seguente Tabella 1 si riporta una sintesi delle principali caratteristiche geologiche individuate nei tratti di cunicolo in cui verranno realizzati gli scavi di allargo.

| Nicchia | Pk inizio | Pk fine | Formazione | Copertura | Faglie e zone tettonizzate | Criticità geologiche |
|---------|-----------|---------|------------|-----------|---|-------------------------------|
| NS 1 | 385 | 415 | AMBIN | 195 - 215 | Locali | Non rilevate |
| NS 2 | 544 | 596 | AMBIN | 335-400 | Locali | Non rilevate |
| NS 3 | 725 | 755 | AMBIN | 475-495 | Non rilevate | Non rilevate |
| NS 4 | 892.5 | 927.5 | AMBIN | 550-560 | Zone con fratturazione spaziata ma persistente (parte finale - 12m) | Non rilevate |
| NS 5 | 1065 | 1095 | AMBIN | 485-520 | Zone con fratturazione spaziata ma persistente (18m) | Non rilevate |
| NS 6 | 1462.5 | 1497.5 | CLAREA | 275-295 | Zone con fratturazione spaziata ma persistente (12m) | Non rilevate |
| NS 7 | 1854 | 1906 | CLAREA | 515-550 | Faglie locali | Non rilevate |
| NS 8 | 2180 | 2245 | CLAREA | 761 - 810 | Zone con fratturazione spaziata ma persistente (parte iniziale - 26m) | Non rilevate |
| NLS 1 | 2632 | 2667 | CLAREA | 1025-1060 | Non rilevata | Non rilevate |
| NLS 2 | 3005 | 3040 | CLAREA | 1130-1135 | Non rilevata | Temperature > 30° (ultimi 5m) |
| NLS 3 | 3123 | 3158 | CLAREA | 1145-1165 | Fratturazione spaziata ma persistente | Temperature > 30° |
| NLS 4 | 3272 | 3307 | CLAREA | 1120-1130 | Fratturazione spaziata ma persistente. Faglie e zone tettonizzate ultimi 21 m | Temperature > 30° |
| NLS 5 | 3421 | 3456 | CLAREA | 1085-1120 | Fratturazione spaziata ma persistente 22m | Temperature > 30° |
| NLS 6 | 3570 | 3605 | CLAREA | 1060 | Zone con fratturazione spaziata ma persistente (ultimi 9m) | Temperature > 30° |

| Nicchia | Pk inizio | Pk fine | Formazione | Copertura | Faglie e zone tettonizzate | Criticità geologiche |
|---------|-----------|---------|------------|-----------|--|----------------------|
| NLS 7 | 4022.5 | 4057.5 | CLAREA | 950 | Faglie e zone tettonizzate 7m | Temperature > 30° |
| NLS 8 | 4279.5 | 4314.5 | CLAREA | 950 | Fratturazione spaziata ma persistente. Faglie e zone tettonizzate 22 m | Temperature > 30° |
| NLS 9 | 4782.5 | 4817.5 | CLAREA | 1075-1085 | Non rilevate | Temperature > 30° |
| NLS 10 | 5182.5 | 5217.5 | CLAREA | 1210-1235 | Zone con fratturazione spaziata ma persistente (primi 16.5 m) | Temperature > 30° |
| NLS 11 | 5582.5 | 5617.5 | CLAREA | 1470-1505 | Zone con fratturazione spaziata ma persistente (primi 6.5 m). Faglie e zone tettonizzate 20.5m | Temperature > 30° |
| NLS 12 | 6022.5 | 6057.5 | CLAREA | 1795-1800 | Zone con fratturazione spaziata ma persistente (Ultimi 17.5m) | Temperature > 30° |
| NLS 13 | 6382.5 | 6417.5 | CLAREA | 1905-1910 | Non rilevate | Temperature > 30° |
| NLS 14 | 6760 | 6795 | CLAREA | 1985-1995 | Faglie e zone tettonizzate 2m | Temperature > 30° |

Tabella 1 – Sintesi geologia nicchie

4.2 Caratterizzazione geomeccanica

Nelle figure seguenti si riportano i grafici con la distribuzione per ciascuna nicchia dei principali parametri che definiscono o la qualità geomeccanica dell'ammasso roccioso. I dati sono stati presi dai numerosi rilievi geomeccanici delle superfici di scavo eseguiti durante lo scavo del cunicolo esplorativo

4.2.1 RMR

Nel grafico di Figura 4 è presentato il dettaglio della distribuzione delle classi di RMR di Bieniawsky (1989) per tutte le nicchie in Progetto. I valori di RMR più elevati sono associati agli gneiss aplitici (AMC), che in generale presentano struttura massiva ed elevata resistenza. In corrispondenza dei micascisti di Clarea (CLR) si registra una diminuzione dell'indice di qualità della roccia, verosimilmente legata al maggiore carattere scistoso e micaceo delle rocce, ad un generale maggior grado di fratturazione dell'ammasso con sistemi di discontinuità sovente impostati lungo la stessa foliazione. Il valore RMR rimane tuttavia sufficientemente elevato (> 50), rientrando nella classificazione di "roccia buona".

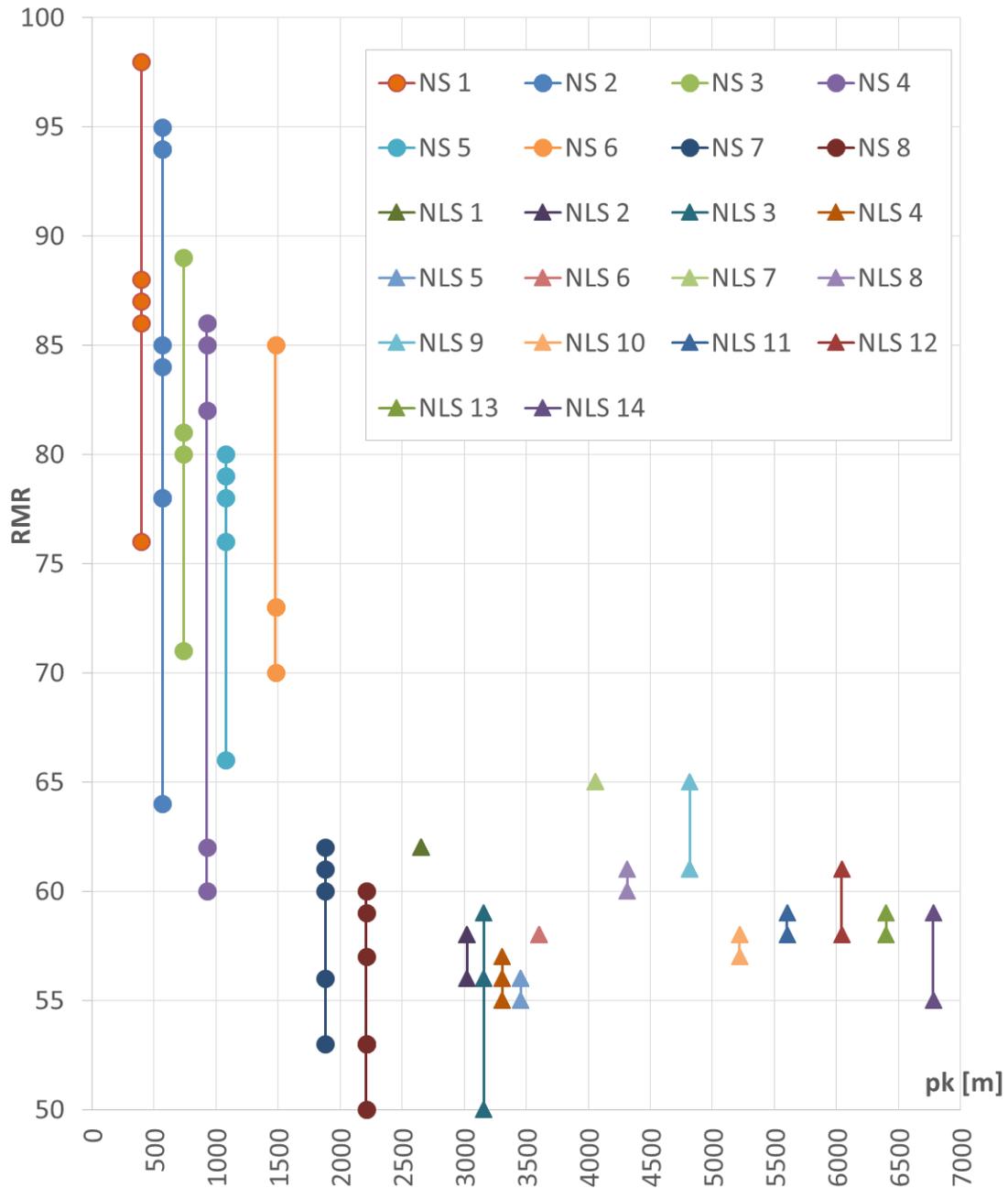


Figura 4 – Valori di RMR di Bieniawsky (1989) valutati per ciascuna nicchia

Utilizzando come base la Figura 7 della relazione di PRV Rif. [1], si mettono a confronto la media dei valori di RMR in corrispondenza delle nicchie, così come sulle tavole di As-built, con la distribuzione di valori registrati lungo lo scavo del cunicolo: si sottolinea come le posizioni delle nicchie siano state ottimizzate al fine di scavarle nelle zone localmente con caratteristiche migliori, rispettando comunque le interdistanze normative tra le nicchie.

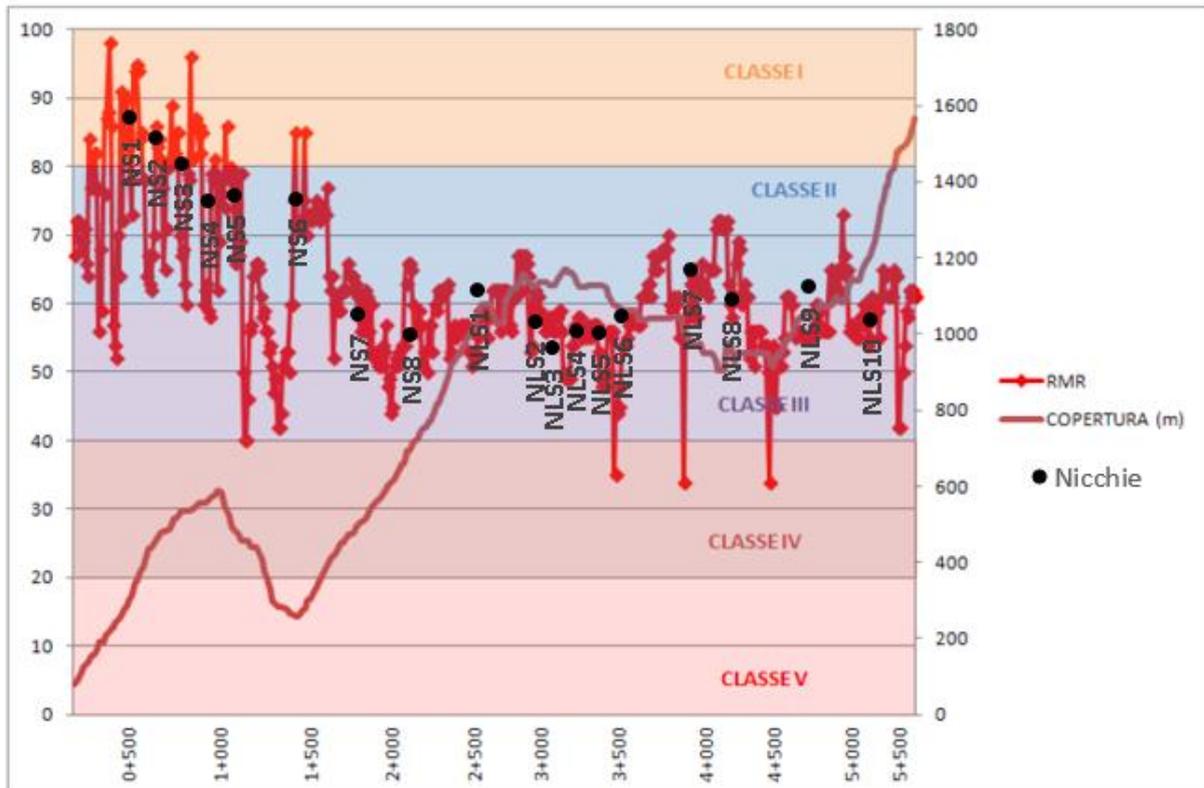


Figura 5 – Distribuzione dei valori di RMR di Bieniawsky (1989) e delle classi di qualità valutati lungo il Cunicolo della Maddalena e per ciascuna nicchia di progetto

4.2.2 GSI

Nei rilievi geologici dei paramenti eseguiti in avanzamento, oltre alle diverse caratteristiche strutturali che hanno permesso di calcolare il valore dell'indice RMR di Bieniawsky, sono anche stati stimati i valori di GSI (Geological Strength Index) lungo i diversi settori di ammasso roccioso.

La distribuzione dei diversi valori di GSI, stimati per ciascuna nicchia, è riportata nella seguente Figura 6. Anche per il valore di GSI, la cui distribuzione lungo il tracciato del cunicolo risulta essere coerente con quello del RMR, si registrano i valori più elevati nella prima tratta dove lo scavo ha interessato gli gneiss aplitici (AMC), mentre valori inferiori sono stati rilevati in corrispondenza dei micascisti di Clarea (CLR).

Come fatto per l'RMR, utilizzando come base la Figura 10 della relazione di PRV Rif. [1], si mettono a confronto la media dei valori di GSI in corrispondenza delle nicchie, così come mostrato sulle tavole di As-built, con la distribuzione di valori registrati lungo lo scavo del cunicolo: si sottolinea come le posizioni delle nicchie siano state ottimizzate al fine di scavarle nelle zone localmente con caratteristiche migliori, rispettando comunque le interdistanze normative tra le nicchie.

Nello stesso grafico sono riportati anche i valori assunti a progetto, così come poi riportato in forma tabellare in Tabella 6.

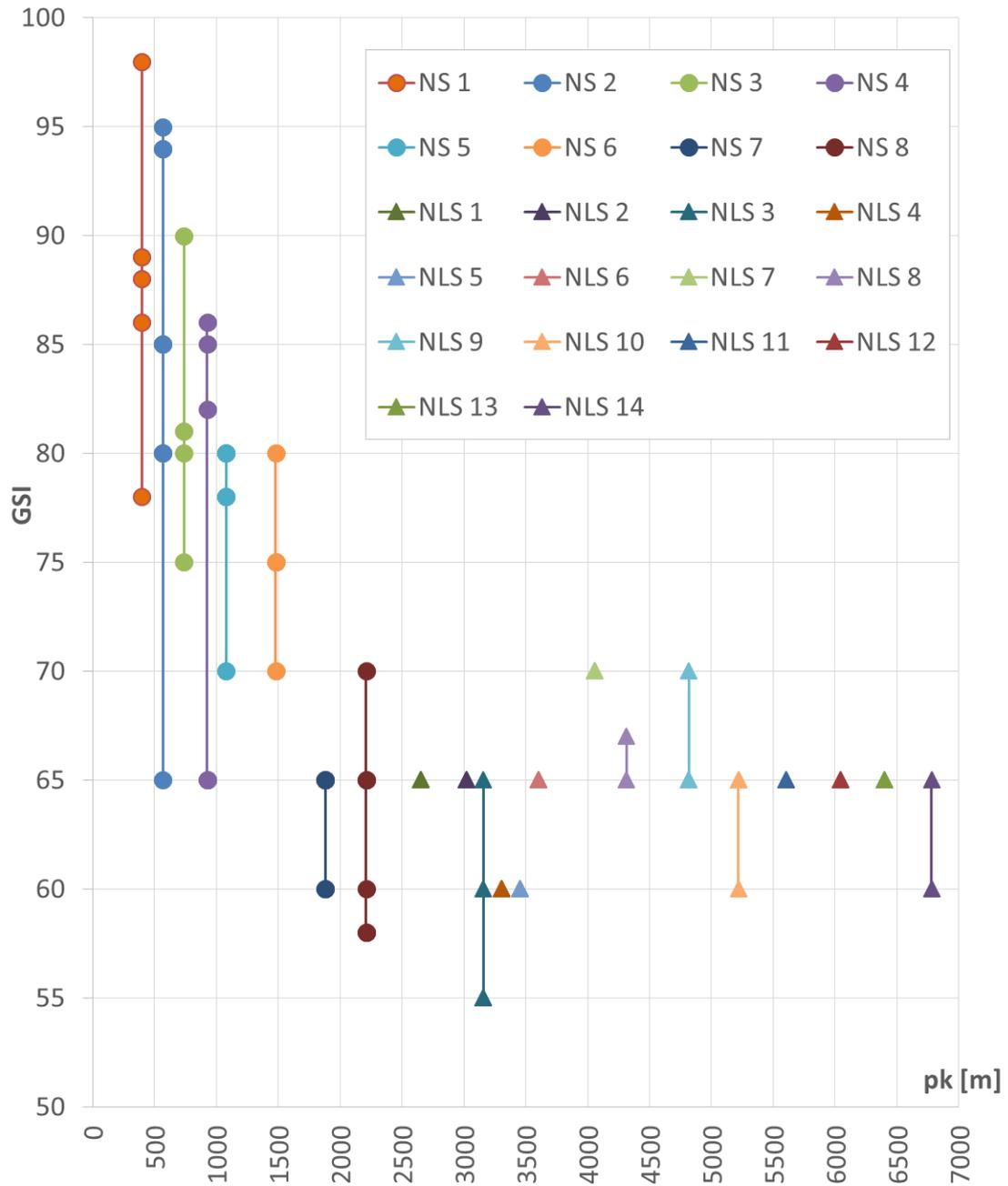


Figura 6 – Valori di GSI rilevati per ciascuna nicchia

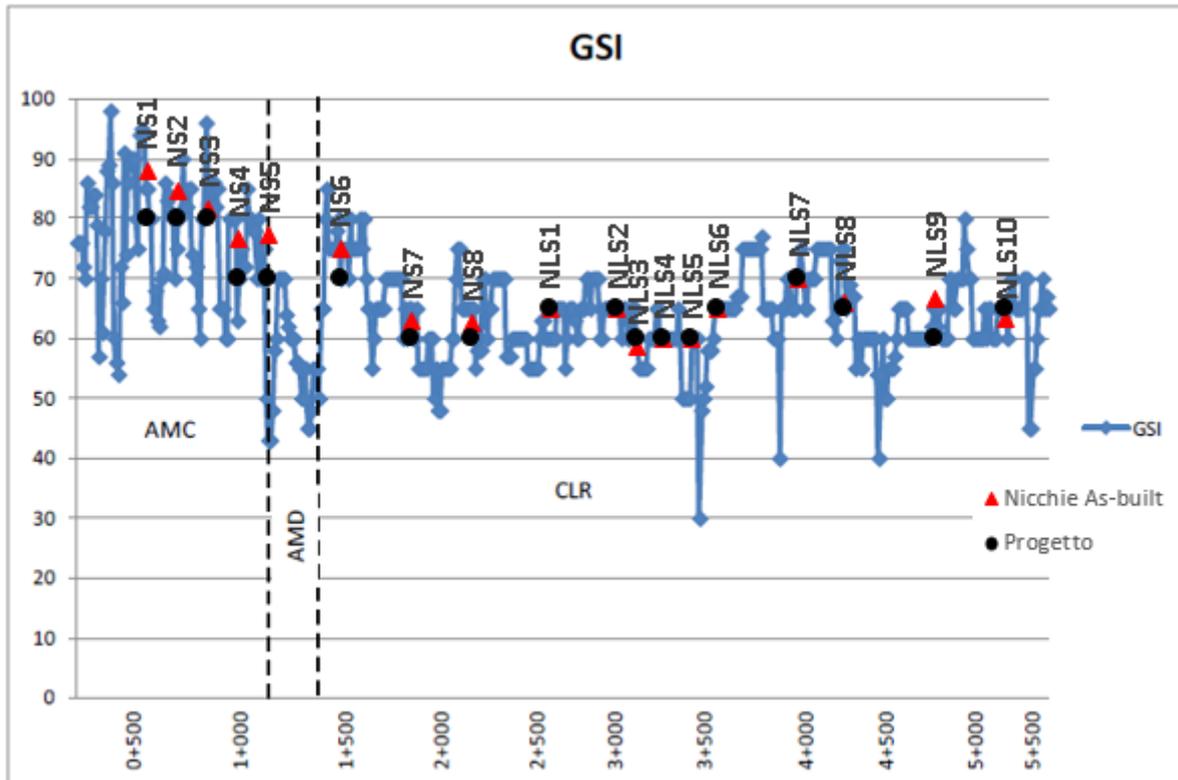


Figura 7 – Distribuzione dei valori di GSI valutati lungo il Cunicolo della Maddalena e per ciascuna nicchia di progetto

4.2.3 σ_c

In avanzamento allo scavo sono stati eseguiti una serie di prove di PLT (Point Load Test) su diversi provini di roccia, eseguite sia in direzione parallela che ortogonale alla scistosità principale. Dai diversi valori di PLT sono stati successivamente ricavati i valori di σ_c medio, parallelo e ortogonale alla scistosità.

Per i litotipi AMC, e in parte gli AMD, non sono definiti valori di σ_c orientato (parallelo e ortogonale) a causa della foliazione mal definita e della sostanziale anisotropia dei litotipi. La distribuzione dei valori di σ_c è riportata nei grafici delle figure seguenti.

Appare evidente, come è naturale aspettarsi, che i valori di resistenza alla compressione ortogonali alla foliazione (Figura 10) sono più elevati rispetto a quelli misurati in direzione parallela (Figura 9).

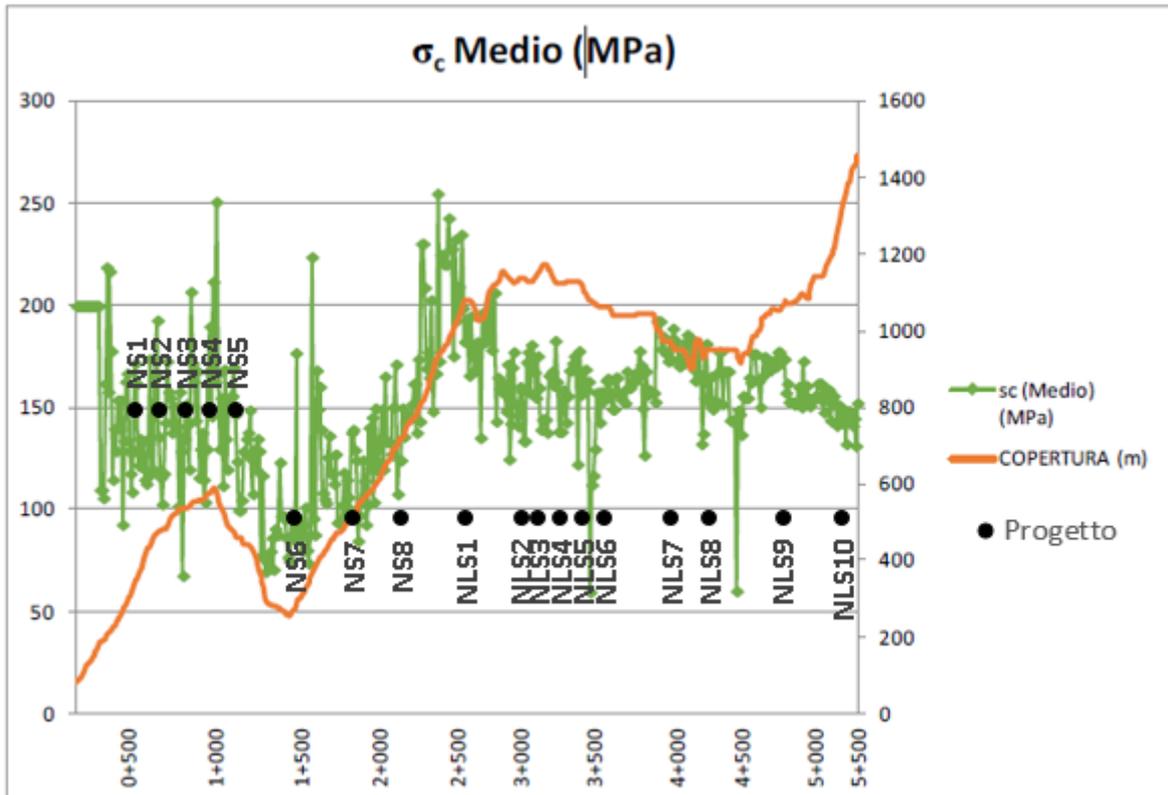


Figura 8 – Distribuzione dei valori di σ_c medio ricavato dalle prove di PLT (Point Load Test) eseguiti lungo il cunicolo

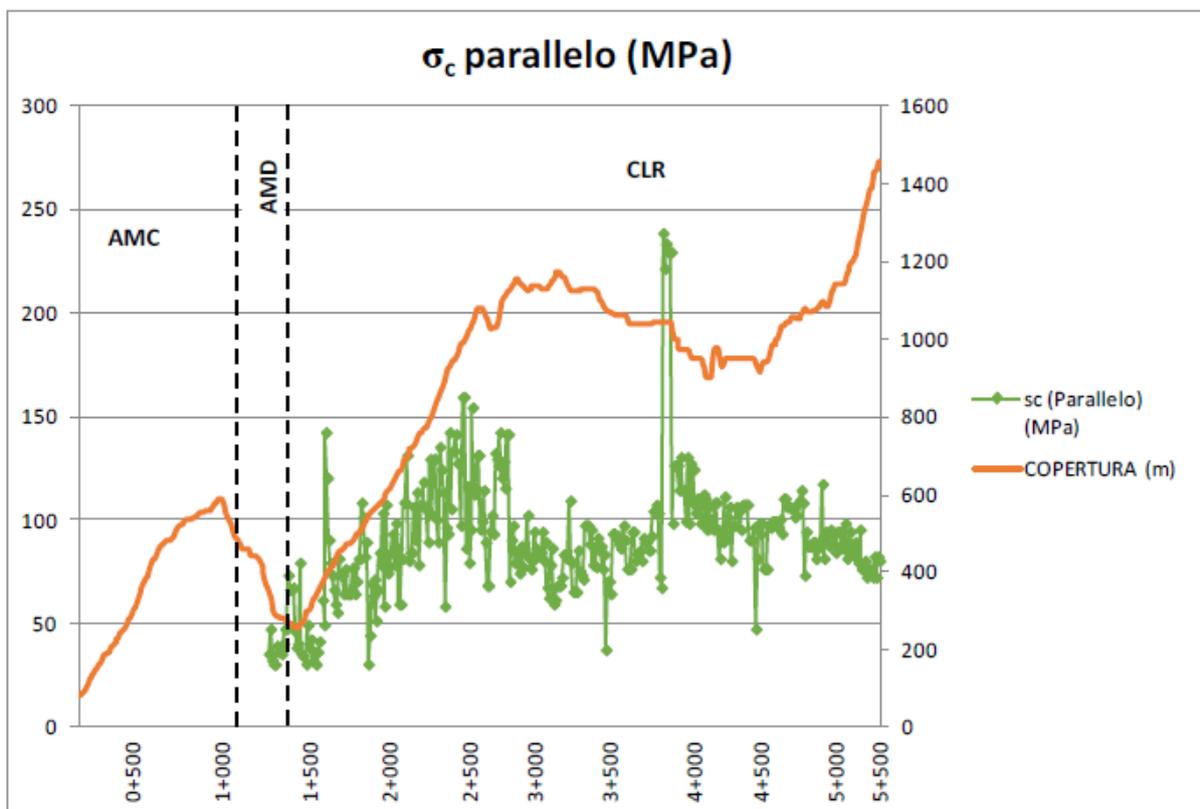


Figura 9 – Distribuzione dei valori di σ_c parallelo alla scistosità principale ricavato dalle prove di PLT (Point Load Test) eseguiti lungo il cunicolo

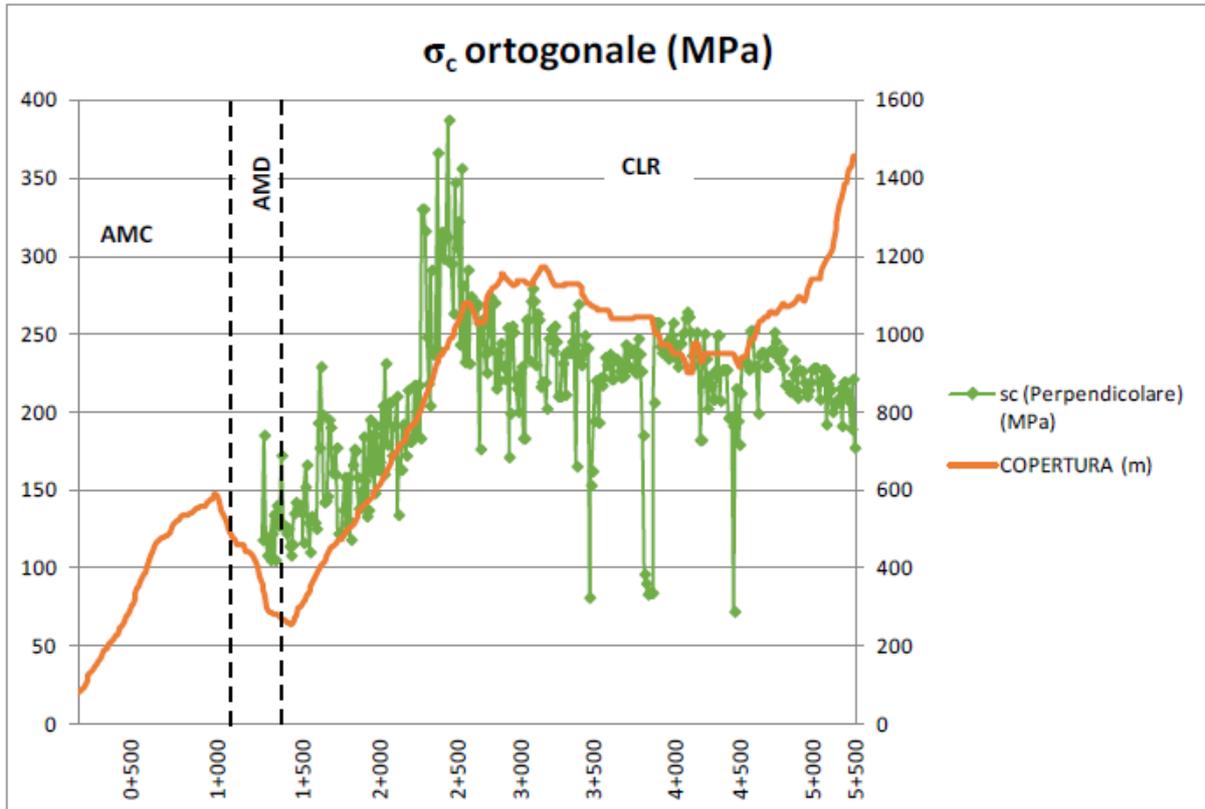


Figura 10 – Distribuzione dei valori di σ_c ortogonale alla scistosità principale ricavato dalle prove di PLT (Point Load Test) eseguiti lungo il cunicolo

In aggiunta alle prove di point load test in situ, sono state eseguite anche prove di compressione uniaassiale in laboratorio.

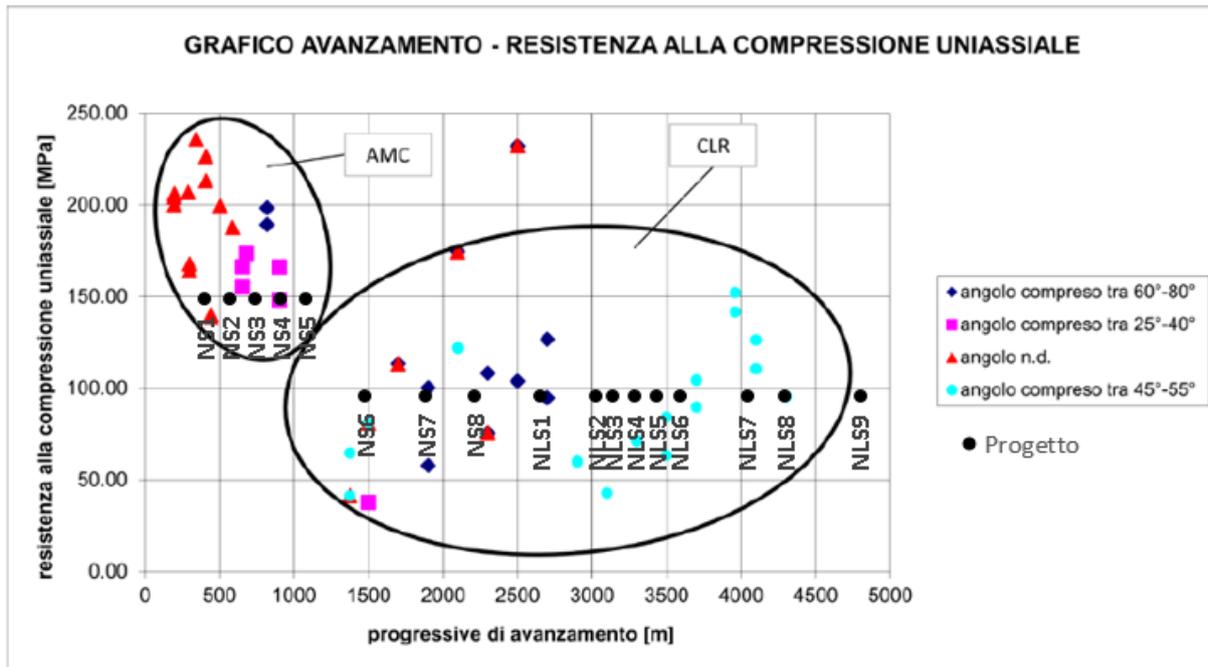


Figura 11 – Distribuzione lungo il Cunicolo delle misure di resistenza a compressione uniaassiale eseguite in laboratorio sui campioni prelevati.

Si riporta un grafico d'insieme di tutti i valori di resistenza a compressione registrati:

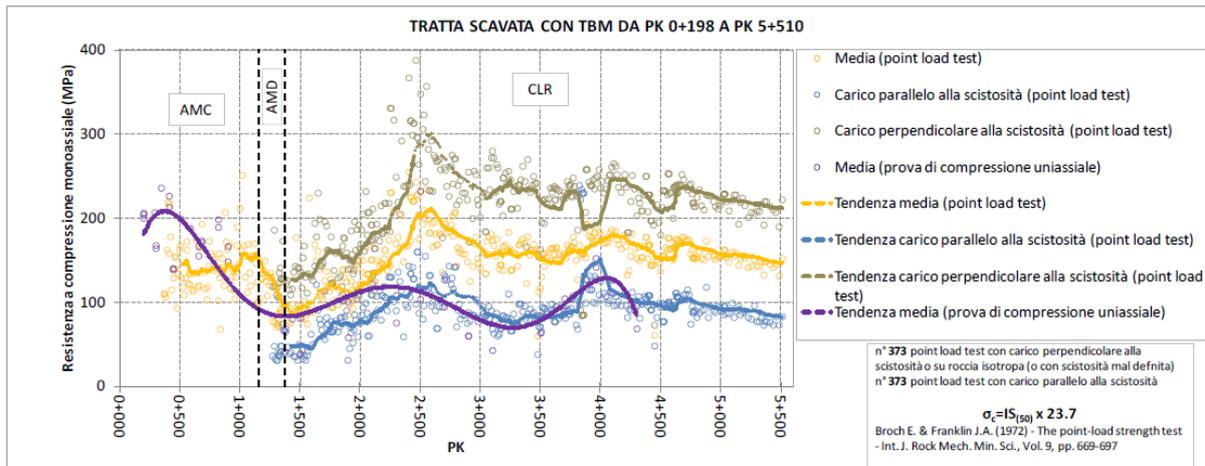


Figura 12 – Valori di σ_c lungo il cunicolo geognostico

| Prova | MIN | MED | MAX |
|--------------------------|-------|-------|-----|
| Point load test | 65.2 | 149.5 | 267 |
| Compressione monoassiale | 138.8 | 183.8 | 236 |

Tabella 2 – Resistenza a compressione σ_c [MPa] per Complesso Ambin

| Prova | MIN | MED | MAX |
|--------------------------|------|-------|-------|
| Point load test | 80.1 | 159.8 | 368.7 |
| Compressione monoassiale | 37.7 | 95.9 | 232.2 |

Tabella 3 – Resistenza a compressione σ_c [MPa] per Complesso Clarea

Supportati dai risultati delle altre prove eseguite in situ (dilatometriche, prove su piastra nelle nicchie...), si è quindi assunta come σ_c della roccia intatta un valore di 149.5MPa per l'unità Ambin e di 95.9MPa per l'unità Clarea. Questi 2 valori sono stati riportati nelle Figura 8 e Figura 11 in corrispondenza di ogni nicchia

4.2.4 E_i

Anche per la determinazione del modulo elastico della roccia intatta E_i , si è fatto riferimento ai risultati delle prove di compressione uniassiale, confermati dai valori ottenuti da altre tipologie di prove eseguite nelle nicchie.

| Complesso | MIN | MED | MAX |
|-----------|------|------|------|
| Ambin | 33.5 | 37.5 | 50.7 |
| Clarea | 7.3 | 46.8 | 76 |

Tabella 4 – Modulo elastico E_i [GPa]

Si è assunta quindi come E_i della roccia intatta un valore di 37.5GPa per l'unità Ambin e di 46.8GPa per l'unità Clarea.

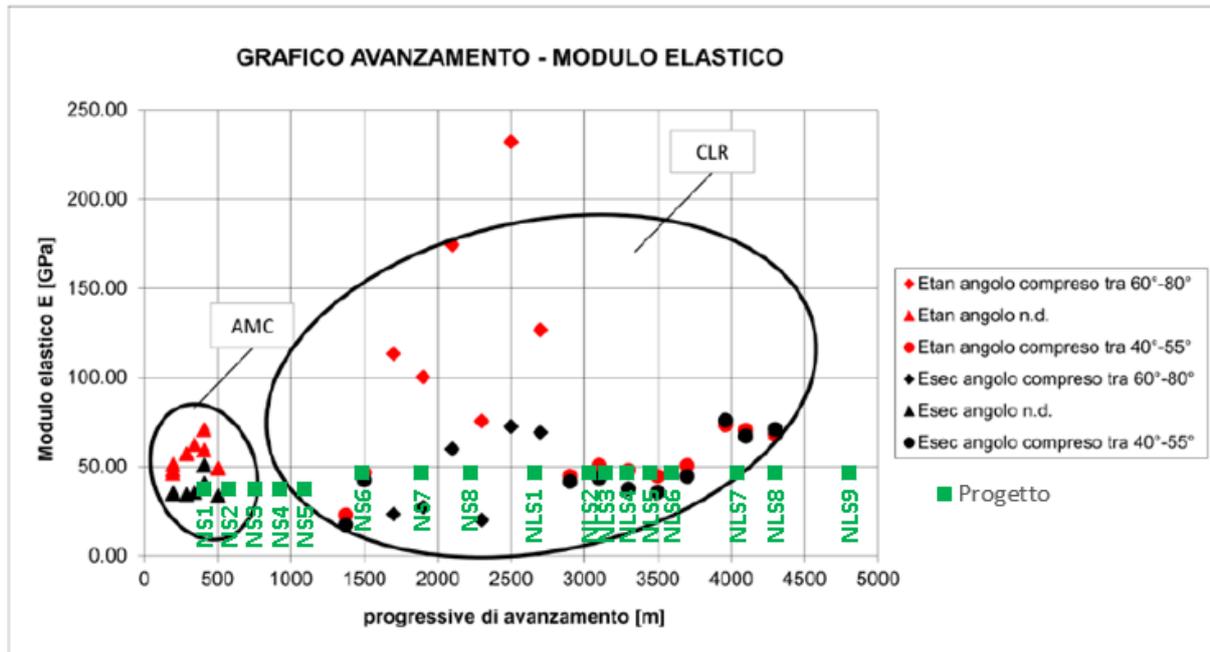


Figura 13 – Valori di E_i lungo il cunicolo geognostico e valori di progetto

4.2.5 Sintesi

Nella tabella seguente si riporta una sintesi delle considerazioni espresse.

| Geologia | Litotipo | Classe geomeccanica | RMR | GSI | σ_c [MPa] |
|---------------------|---|-----------------------------|-----------------------|--|---|
| Complesso di Ambin | AMC - Gneiss Aplitici | da I a III (II prevalente) | $52 \leq RMR \leq 98$ | $54 \leq GSI \leq 98$ valore medio 76,5 | $68 \leq \sigma_{c \text{ medio}} \leq 251$ |
| | AMD - Gneiss albitici passanti a micascisti quarzosi | da II a IV (III prevalente) | $40 \leq RMR \leq 66$ | $43 \leq GSI \leq 70$ valore medio 53,5 | $70 \leq \sigma_{c \text{ medio}} \leq 149$ |
| Complesso di Clarea | CLR - Micascisti e gneiss minuti più o meno albitizzati | da I a IV (III prevalente) | $34 \leq RMR \leq 85$ | $30 \leq GSI \leq 85$ valore medio 64 | $60 \leq \sigma_{c \text{ medio}} \leq 255$ |

Tabella 5 – Sintesi geomeccanica

Nella seguente tabella si riportano le principali caratteristiche geomeccaniche individuate nei tratti di cunicolo in cui verranno realizzati gli scavi di allargo:

| Nicchia | Pk inizio | Pk fine | Formazione | Copertura | RMR | GSI | GSI prog. | Fenomeni di instabilità |
|---------|-----------|---------|------------|-----------|-----|-----|-----------|---------------------------------|
| NS 1 | 385 | 415 | AMBIN | 195 - 215 | 76 | 78 | 80 | Non rilevati |
| | | | | | 87 | 88 | | |
| | | | | | 88 | 89 | | |
| | | | | | 98 | 98 | | |
| | | | | | 86 | 86 | | |
| NS 2 | 544 | 596 | AMBIN | 335-400 | 94 | 94 | 80 | Distacco di cunei tra 576 e 582 |
| | | | | | 95 | 95 | | |
| | | | | | 94 | 94 | | |
| | | | | | 94 | 94 | | |

| Nicchia | Pk inizio | Pk fine | Formazione | Copertura | RMR | GSI | GSI prog. | Fenomeni di instabilità |
|--------------|-----------|---------|------------|-----------|----------------------------------|----------------------------------|-----------|---|
| | | | | | 84 85 78 78 64 | 85 85 80 80 65 | | |
| NS 3 | 722.5 | 757.5 | AMBIN | 475-495 | 71 80 81 89 82 | 75 80 81 90 82 | 80 | Non rilevati |
| NS 4 | 892.5 | 927.5 | AMBIN | 550-560 | 86 82 85 60 62 | 86 82 85 65 65 | 70 | Distacco di cunei tra 904 e 909 |
| NS 5 | 1065 | 1095 | AMBIN | 485-520 | 80 78 76 66 79 | 80 78 78 70 80 | 70 | Distacco di cunei tra 1086 e 1093 |
| NS 6 | 1462.5 | 1497.5 | CLAREA | 275-295 | 85 70 73 73 | 80 70 75 75 | 70 | Distacco di cunei tra 1466 e 1478 |
| NS 7 | 1854 | 1906 | CLAREA | 515-550 | 62 61 56 53 60 | 65 65 60 60 65 | 60 | Distacco di cunei per tutto lo sviluppo |
| NS 8 | 2180 | 2245 | CLAREA | 761 - 810 | 53 50 57 53 60 59 | 58 58 70 60 65 65 | 60 | Distacco di cunei tra 2180 e 2184 |
| NLS 1 | 2632 | 2667 | CLAREA | 1025-1060 | 62 62 62 62 | 65 65 65 65 | 65 | Non rilevati |
| NLS 2 | 3005 | 3040 | CLAREA | 1130-1135 | 58 58 56 | 65 65 65 | 65 | Distacco di cunei tra 3027 e 3040 |
| NLS 3 | 3123 | 3158 | CLAREA | 1145-1165 | 59 56 50 49 | 65 60 55 55 | 60 | Distacco di cunei per tutto lo sviluppo |
| NLS 4 | 3272 | 3307 | CLAREA | 1120-1130 | 57 56 55 | 60 60 60 | 60 | Non rilevati |

| Nicchia | Pk inizio | Pk fine | Formazione | Copertura | RMR | GSI | GSI prog. | Fenomeni di instabilità |
|---------|-----------|---------|------------|-----------|----------------------|----------------------|-----------|--|
| NLS 5 | 3421 | 3456 | CLAREA | 1085-1120 | 56 56 55 56 | 60 60 60 60 | 60 | Distacco di cunei tra 3421 e 3430 Distacco di cunei tra 3440 e 3456 |
| NLS 6 | 3570 | 3605 | CLAREA | 1060 | 58 58 58 | 65 65 65 | 65 | Distacco di cunei per tutto lo sviluppo |
| NLS 7 | 4022.5 | 4057.5 | CLAREA | 950 | 65 65 65 | 70 70 70 | 70 | Non rilevati |
| NLS 8 | 4279.5 | 4314.5 | CLAREA | 950 | 60 61 | 65 67 | 65 | Non rilevati |
| NLS 9 | 4782.5 | 4817.5 | CLAREA | 1075-1085 | 65 61 61 | 70 65 65 | 65 | Distacco di cunei per tutto lo sviluppo |
| NLS 10 | 5182.5 | 5217.5 | CLAREA | 1210-1235 | 57 58 58 | 65 65 60 | 60 | Distacco di cunei per tutto lo sviluppo |
| NLS 11 | 5582.5 | 5617.5 | CLAREA | 1470-1505 | 59 58 | 65 65 | 65 | Distacco di cunei per tutto lo sviluppo |
| NLS 12 | 6022.5 | 6057.5 | CLAREA | 1795-1800 | 61 58 | 65 65 | 65 | Distacco di cunei per tutto lo sviluppo |
| NLS 13 | 6382.5 | 6417.5 | CLAREA | 1905-1910 | 59 58 | 65 65 | 65 | Distacco di cunei per tutto lo sviluppo |
| NLS 14 | 6760 | 6795 | CLAREA | 1985-1995 | 59 55 | 65 60 | 0 | Distacco di cunei per tutto lo sviluppo |

Tabella 6 – Sintesi caratteristiche geomeccaniche nelle nicchie

4.3 Quadro riassuntivo della circolazione idrogeologica incontrata nel Cunicolo esplorativo

Lo scavo del Cunicolo esplorativo ha permesso di raccogliere una buona mole di dati che, uniti all'assetto geologico strutturale conosciuto dalle fasi progettuali precedenti, hanno permesso di verificare più in dettaglio il quadro della circolazione idrica presente nel massiccio roccioso del Complesso di Ambin e del Complesso di Clarea interessato dallo scavo delle nicchie in Progetto.

In definitiva le manifestazioni idriche registrate in galleria non sono state di elevata intensità e non è stata incontrata nessuna struttura idrogeologica di particolare rilevanza. Tale dato è confortante in quanto l'asse del tracciato ha sotto attraversato il torrente Clarea (coperture inferiori a 300m) senza registrare particolari criticità di carattere idrogeologico.

Lungo lo sviluppo del Cunicolo esplorativo le portate transitorie sono state, per la maggior parte dei casi, di qualche litro al secondo e solo tra le pk 2+600-2+750 sono state registrate portate maggiori (circa 10-15 l/s). Queste portate in fase di scavo si sono ridotte nell'arco di qualche settimana a pochi litri al secondo, con tassi di decrescita variabili da 50% a 90%.

Le portate stabilizzate (puntuali), tutt'ora in fase di monitoraggio, variano da meno di un litro al secondo ad un massimo di circa 5 l/s.

Come indicato in Figura 14, si possono evidenziare lungo lo sviluppo del Cunicolo esplorativo tre scenari differenti con le caratteristiche indicate di seguito:

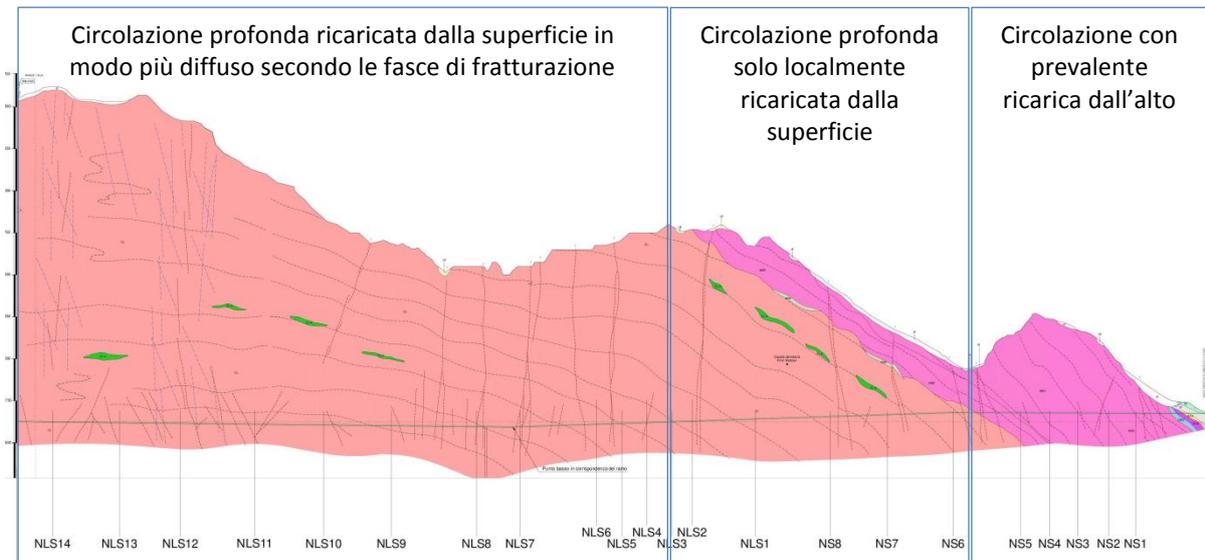


Figura 14 – Suddivisione della tratta per settori di circolazione idrica sotterranea

- **settore a bassa copertura:** circolazione con prevalente ricarica superficiale dove probabilmente le portate sono ancora influenzate, con tempi relativamente rapidi, dalle precipitazioni meteoriche;
- **settore di versante a copertura crescente:** circolazione profonda di acque lente cariche dove solo localmente le acque più fresche e giovani provenienti dall'infiltrazione superficiale si miscelano con quelle profonde. E' possibile che nei settori a minor copertura (fino alla pk 1500) la ricarica stagionale possa influenzare le portate in galleria;
- **settore di elevata copertura:** la circolazione profonda è poco sviluppata ma influenzata dalla infiltrazione di apporti superficiali lungo i fasci di fratturazione ad elevata persistenza orientati NE-SW. Le portate, una volta stabilizzate non risentono, se non in maniera marginale, degli eventi stagionali (scioglimento delle nevi, precipitazioni intense).

Nella seguente Tabella 7 sono sintetizzate le venute puntuali (in regime stabilizzato) misurate nel corso degli scavi in corrispondenza della posizione delle future nicchie.

| Nicchia | Pk inizio | Pk fine | Formazione | Copertura | Venute d'acqua [l/s] |
|---------|-----------|---------|------------|-----------|--|
| NS 1 | 385 | 415 | AMBIN | 195 - 215 | 0.1 |
| NS 2 | 544 | 596 | AMBIN | 335-400 | 0.5 |
| NS 3 | 722.5 | 757.5 | AMBIN | 475-495 | Non rilevate |
| NS 4 | 892.5 | 927.5 | AMBIN | 550-560 | 0.2 – 0.3 |
| NS 5 | 1065 | 1095 | AMBIN | 485-520 | 0.1 |
| NS 6 | 1462.5 | 1497.5 | CLAREA | 275-295 | Non rilevate |
| NS 7 | 1854 | 1906 | CLAREA | 515-550 | 0.1 - 0.2 venuta in foro cross-hole venuta in foro sparo TSP |

| Nicchia | Pk inizio | Pk fine | Formazione | Copertura | Venute d'acqua [l/s] |
|---------------|-----------|---------|------------|-----------|----------------------|
| NS 8 | 2180 | 2245 | CLAREA | 761 - 810 | 0.1 - 1 |
| NLS 1 | 2632 | 2667 | CLAREA | 1025-1060 | 0.1 |
| NLS 2 | 3005 | 3040 | CLAREA | 1130-1135 | Non rilevata |
| NLS 3 | 3123 | 3158 | CLAREA | 1145-1165 | Non rilevata |
| NLS 4 | 3272 | 3307 | CLAREA | 1120-1130 | 0.1 |
| NLS 5 | 3421 | 3456 | CLAREA | 1085-1120 | 0.1 |
| NLS 6 | 3570 | 3605 | CLAREA | 1060 | 0.1 |
| NLS 7 | 4022.5 | 4057.5 | CLAREA | 950 | Non rilevate |
| NLS 8 | 4279.5 | 4314.5 | CLAREA | 950 | 0.05 – 0.2 |
| NLS 9 | 4782.5 | 4817.5 | CLAREA | 1075-1085 | > 0.1 |
| NLS 10 | 5182.5 | 5217.5 | CLAREA | 1210-1235 | Non rilevate |
| NLS 11 | 5582.5 | 5617.5 | CLAREA | 1470-1505 | 0.4 |
| NLS 12 | 6022.5 | 6057.5 | CLAREA | 1795-1800 | 0.1 |
| NLS 13 | 6382.5 | 6417.5 | CLAREA | 1905-1910 | Non rilevate |
| NLS 14 | 6760 | 6795 | CLAREA | 1985-1995 | 0.1 |

Tabella 7 – Sintesi venute puntuali (in regime stabilizzato) misurate in corrispondenza della posizione delle nicchie

5 INDIVIDUAZIONE DELLE SITUAZIONI DI POTENZIALE RISCHIO

Dato che le nicchie costituiscono sezioni di allargo di un cunicolo già scavato e le caratteristiche geomeccaniche e le manifestazioni idrogeologiche sono di conseguenza in gran parte conosciute, i fattori di rischio risultano essere relativamente contenuti e rappresentano più un'indicazione di attenzione e studio che dei potenziali fattori di criticità.

In ogni caso i maggiori fattori individuati risultano essere:

- **Elevate coperture:** Ricoprimenti superiori ai 1000 m sono attesi già a partire dalla nicchia NLS1, ovvero dall'innesto della galleria di connessione 1. Elevate coperture possono favorire l'occorrenza di fenomeni di rilascio tensionale, come quelli osservati nell'intorno della pk 4+200. Coperture rilevanti, superiori a 1900 m, in combinazione con condizioni geomeccaniche mediocri (valori di GSI nell'intorno di 60) possono facilitare fenomeni di plasticizzazione che aumentano le convergenze al fronte.
- **Fratturazione spaziata dell'ammasso roccioso:** Numerose zone con fratturazione spaziata ma persistente sono state intercettate nel corso degli scavi, come riportato sui profili geomeccanici di as built. L'intensa fratturazione, oltre ad aumentare i fenomeni di splaccaggio di cunei rocciosi, favorisce la circolazione di acqua, aumenta la porosità secondaria dell'ammasso e provoca l'usura di utensili di scavo.
- **Condizioni geomeccaniche mediocri:** Condizioni geomeccaniche mediocri ($50 \leq GSI \leq 60$), sono state rilevate e riportate nel profilo geomeccanico AS BUILT ad alte coperture nel Complesso di Clarea.
- **Anisotropia:** La scistosità dell'ammasso roccioso causa un comportamento meccanico diverso nelle direzioni e favorisce la rottura lungo piani preferenziali. Pertanto, la scistosità, unitamente alla presenza di ricorrenti famiglie di discontinuità e a elevati stati tensionali legati alle alte coperture, sono la principale causa di fenomeni gravitativi di rilascio e sono una condizione diffusa in quasi tutte le nicchie.
- **Venute di acqua:** Il rischio di venute d'acqua durante lo scavo è minimo perché tali venute sono principalmente legate allo svuotamento della rete di fratture comunicanti. Solo tra le pk 2+600-2+750 sono state registrate portate maggiori (circa 10-15 l/s), che comunque si sono ridotte nell'arco di qualche settimana. Pertanto, si suppone che nel momento dello scavo delle nicchie il contributo delle venute d'acqua sarà drasticamente diminuito (se non addirittura esaurito) e potrà essere stabilizzato puntualmente.
- **Temperature elevate:** Dalla progressiva 3+030 circa sono attese temperature maggiori di 30°. Tuttavia, il ritorno di esperienza del cunicolo esplorativo ha permesso di escludere le elevate temperature come fattore di rischio per lo scavo delle nicchie, in quanto sono sempre risultate in linea con quelle attese alle alte coperture.

La combinazione dei fattori di rischio individuati può portare all'insorgere di fenomeni quali:

- **Fenomeni di rottura fragile:** Condizioni di decompressione violenta con conseguente rottura fragile sono prospettate in corrispondenza di rocce dure e poco fratturate in condizioni di elevate coperture nel basamento dell'Ambin. Il rischio è elevato in quanto sono stati già osservati fenomeni simili di rottura fragile durante lo scavo del

cunicolo geognostico in condizioni di elevate coperture, condizioni geomeccaniche caratterizzate da valori GSI compresi tra $62 \div 75$, e a livello strutturale, una presenza di scistosità sub-orizzontale dell'ammasso e discontinuità inclinate spesso con riempimenti carbonatici. In genere questi fenomeni si accompagnano a improvvisi boati cui fa seguito una immediata forte deformazione del sostegno applicato (spostamenti radiali pluridecimetrici del sostegno superficiale tra i bulloni).

La frammentazione della roccia e le caratteristiche dell'evento principale, avvenuto durante lo scavo del cunicolo alla pk 4+200, hanno permesso di evidenziare un meccanismo di danno classificabile secondo CRRP (1996) in "Bulking without ejection": l'energia accumulata si è consumata nel processo di fratturazione, con conseguente importante aumento di volume per dilatanza.

Da analisi 3D svolte dalla Direzione ai Lavori le principali caratteristiche risultanti sono riassunte nel seguito:

- Inizio fessurazione ("damage") circa al fronte di scavo (calotta e arco rovescio);
 - Condizioni potenziali per rockburst entro circa un diametro di scavo;
 - Profondità di danno max 1-(1.5) m.
- **Fenomeni di rilascio gravitativo:** I fenomeni di rilascio gravitativo rappresentano il rischio più diffuso per lo scavo delle nicchie. Infatti, come riportato dai profili geomeccanici AS BUILT, splaccaggi di cunei rocciosi si sono verificati lungo tutta la tratta, con maggiore frequenza e con una certa entità a partire da circa pk 3+500. Tali fenomeni di instabilità hanno comportato la necessità della messa in opera di sostegni per mezzo di centinature sia leggere (sezioni tipo F3C_1 e FMV) che pesanti (F4 e F5) al posto delle previste bullonature.
 - **Forti plasticizzazioni al contorno del cavo:** In presenza di coperture elevate e indici GSI bassi è possibile osservare fenomeni di plasticizzazione del cavo a causa dello scavo che possono indurre convergenze rilevanti.

6 CARATTERIZZAZIONE GEOMECCANICA DELL'AMMASSO

Nel seguito si riporta il calcolo delle principali caratteristiche dell'ammasso, dimostrando che i valori assunti a Progetto per i parametri caratteristici dell'ammasso permettono di ottenere i valori delle grandezze calcolate e riportate sui profili geomeccanici di As-built.

Prima del confronto, si riportano in forma tabellare i valori delle grandezze riportate sui profili geomeccanici di As-built in corrispondenza delle nicchie:

| Nicchia | Pk inizio | Pk fine | σ_c [MPa] ammasso | m_b Hoek e Brown | E_m (2002) | E_m (2006) |
|---------|-----------|---------|---|---------------------------------------|---|--------------------------------|
| NS 1 | 385 | 415 | 17.5 - 195 | 4.1 - 11.2 | 30.5 - 158.5 | 33.9 - 70.1 |
| NS 2 | 544 | 596 | 17.5 - 195 | 4.1 - 11.2 | 30.5 - 158.5 | 33.9 - 70.1 |
| NS 3 | 722.5 | 757.5 | 23.5 - 208.9 | 4.4 - 10.4 | 35.4 - 141.2 | |
| NS 4 | 892.5 | 927.5 | 23.5 - 208.9 | 4.4 - 10.4 | 35.4 - 141.2 | |
| | | | 4.09 - 30.1 | 1.17 - 2 | 8.26 - 23.7 | |
| NS 5 | 1065 | 1095 | 23.5 - 208.9 4.09 - 30.1 23.5 - 208.9 | 4.4 - 10.4 3.1 - 3.5 4.4 - 10.4 | 35.4 - 141.2 31.6 - 39.8 35.4 - 141.2 | |
| NS 6 | 1462.5 | 1497.5 | 5.82 - 97.29 | 4.11 - 7.02 | 17.61 - 74.99 | 16.78 - 43.1 |
| NS 7 | 1854 | 1906 | 2.49 - 43.62 | 1.40 - 2.39 | 7.42 - 31.62 | 18.15 - 32.57 |
| NS 8 | 2180 | 2245 | 2.49 - 43.62 4.75 - 55.09 | 1.40 - 2.39 1.40 - 2.01 | 7.42 - 31.62 10.24 - 23.71 | 18.15 - 32.57 28.42 - 43.97 |
| NLS 1 | 2632 | 2667 | 5.55 - 62.24 | 1.80 - 3.08 | 11.08 - 31.62 | 8.52 - 55.13 |
| NLS 2 | 3005 | 3040 | 4.58 - 39.75 | 1.68 - 2.58 | 11.63 - 23.71 | 23.2 - 32.05 |
| NLS 3 | 3123 | 3158 | 4.58 - 39.75 4.99-17.7 | 1.68 - 2.58 1.40 - 1.4 | 11.63 - 23.71 10.5 - 13.33 | 23.2 - 32.05 |
| NLS 4 | 3272 | 3307 | 6.30 - 37.20 | 1.56 - 2.58 | 12.9 - 23.7 | 22.8 - 30.3 |
| NLS 5 | 3421 | 3456 | 6.30 - 37.20 | 1.56 - 2.58 | 12.9 - 23.7 | 22.8 - 30.3 |
| NLS 6 | 3570 | 3605 | 6.30 - 37.20 | 1.56 - 2.58 | 12.9 - 23.7 | 22.8 - 30.3 |
| NLS 7 | 4022.5 | 4057.5 | 11.50 - 71.85 | 2.58 - 4.84 | 21.3 - 47.3 | 32 - 62 |
| NLS 8 | 4279.5 | 4314.5 | 10.00-63.00 | 2.60 - 4.5 | 20 - 42 | 43 - 56 |
| NLS 9 | 4782.5 | 4817.5 | 12.0 - 58.00 | 2.60 - 4.5 | 21 - 42 | |
| NLS 10 | 5182.5 | 5217.5 | 8.00 - 34.00 | 1.70 - 2.6 | 15 - 24 | 33 - 58 |
| NLS 11 | 5582.5 | 5617.5 | 8.00 - 31.00 | 1.70 - 2.6 | 15 - 24 | |
| NLS 12 | 6022.5 | 6057.5 | 6.00 - 31.00 | 1.70 - 2.6 | 13 - 24 | 22 - 38 |
| NLS 13 | 6382.5 | 6417.5 | 3.00 - 31.00 6.00 - 31.00 | 1.40 - 2.6 1.70 - 2.6 | 8 - 24 13 - 24 | 16 - 40 22 - 38 |
| NLS 14 | 6760 | 6795 | 3.00 - 31.00 | 1.40 - 2.6 | 8 - 24 | 16 - 40 |

Tabella 8 – Riassunto dei valori di alcune grandezze riportate sui profili geomeccanici di As-built in corrispondenza delle nicchie

6.1 Caratteristiche fisiche

Per la determinazione del peso di volume dell'ammasso roccioso, sono state eseguite delle prove di laboratorio per la determinazione della massa volumica apparente, utilizzando campioni di roccia estratti durante lo scavo del cunicolo.

Come risulta in Figura 44 della relazione di PRV Rif. [1], si evince che i litotipi AMC degli gneiss aplitici del Complesso di Ambin presentano valori inferiori rispetto ai micascisti e gneiss minuti del Complesso di Clarea.

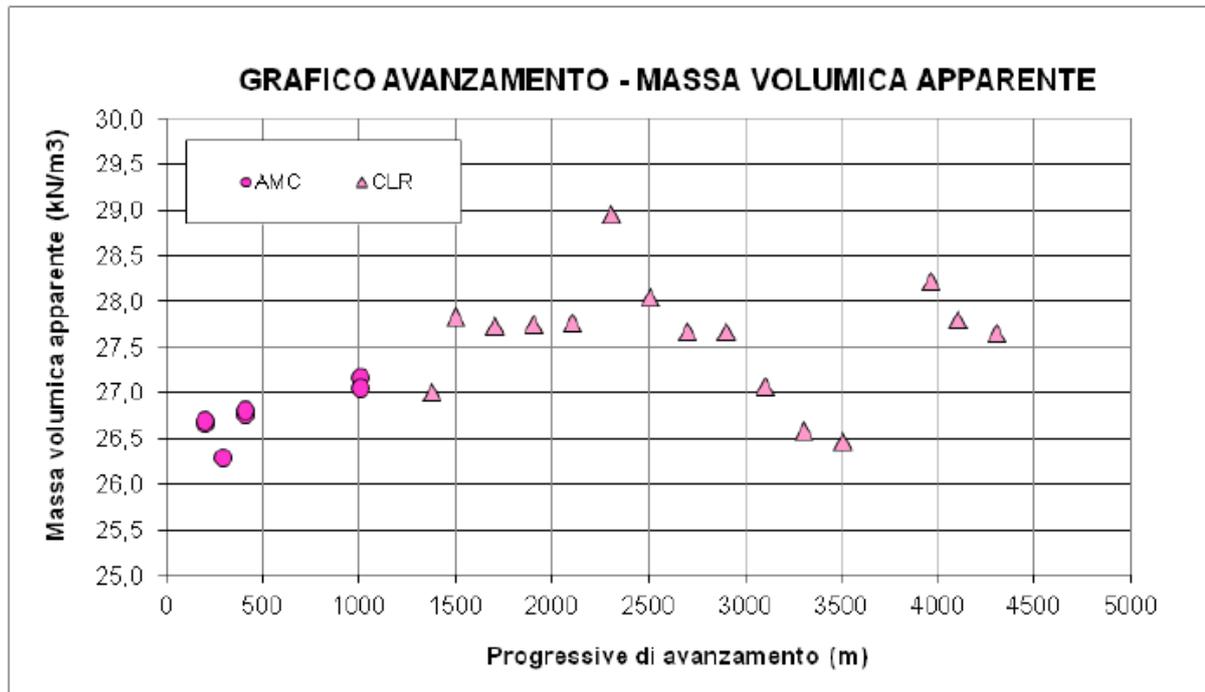


Figura 15 – Distribuzione lungo il Cunicolo dei risultati relativi alle misure della massa volumica apparente eseguite in laboratorio sui campioni prelevati

| Complesso | MIN | MED | MAX |
|-----------|------|------|------|
| Ambin | 26.3 | 26.8 | 27.2 |
| Clarea | 26.5 | 27.6 | 29.0 |

Tabella 9 – Massa volumica [kN/m³]

Sebbene sui profili longitudinali geomeccanici di As Built si riporti un peso di volume di 27kN/m³ costante lungo tutto il cunicolo, a livello progettuale si assume γ pari a 27kN/m³ per AMC e 27.7kN/m³ per CLS, valori di poco superiori al valor medio.

6.2 Caratteristiche meccaniche di resistenza

Si riportano i valori di resistenza a compressione σ_c dell'ammasso in corrispondenza delle nicchie, così come calcolato sui profili geomeccanici di As-built, assumendo i valori massimi e minimi in direzione perpendicolare e parallela alle discontinuità:

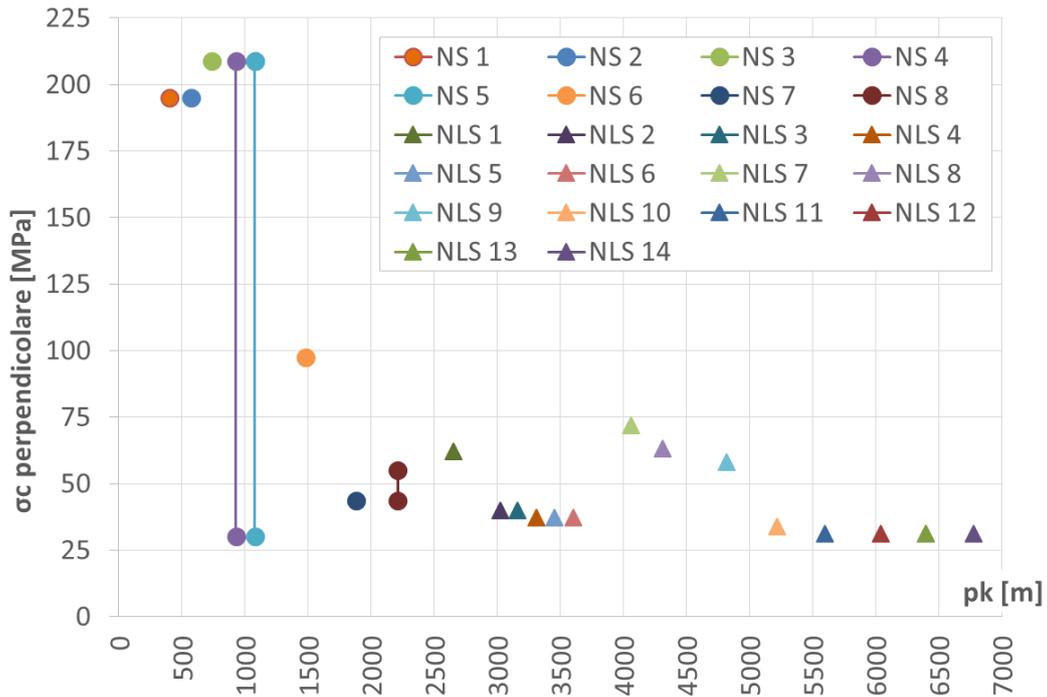


Figura 16 – Valori massimi di σ_c dell’ammasso in corrispondenza delle nicchie – As-built

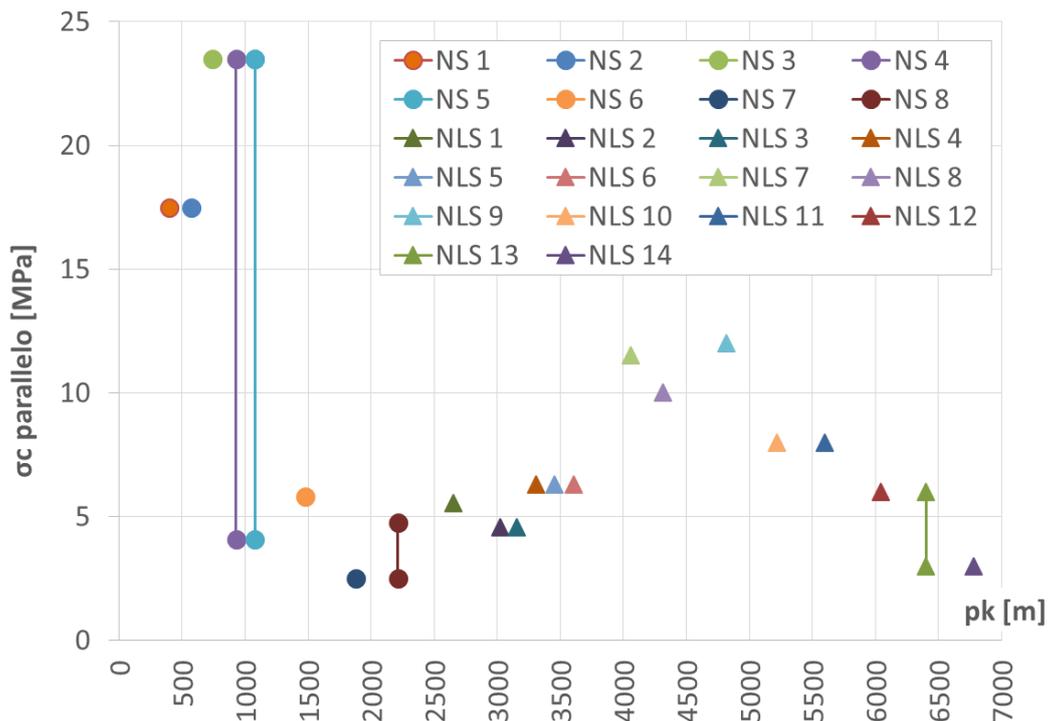


Figura 17 – Valori minimi di σ_c dell’ammasso in corrispondenza delle nicchie – As-built

Mediando i 2 valori di resistenza, si osserva che il valore medio di resistenza a compressione dell’ammasso in As-built risulta superiore al valore di Progetto, calcolato secondo la formulazione presentata nel par. 2.5, impostando $\sigma_3=0$: dato che i valori di As-built sono puntuali, i valori di Progetto sono correttamente più bassi, in modo cautelativo.

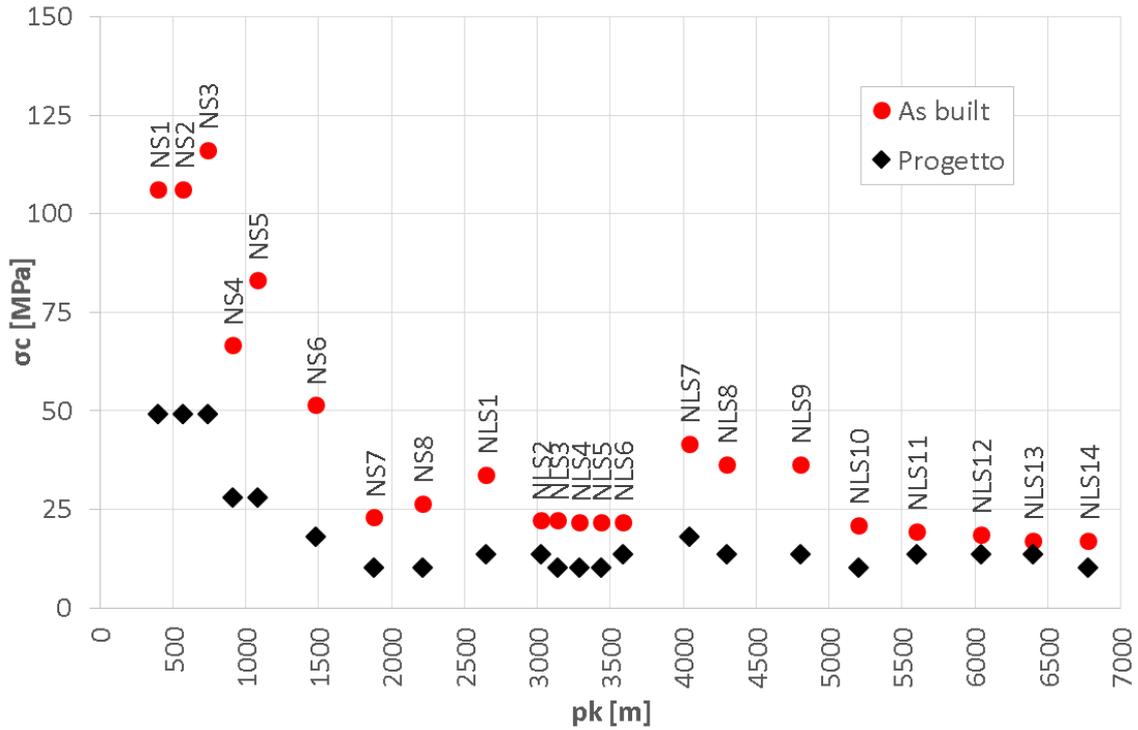


Figura 18 – Paragone tra i valori di resistenza a compressione dell’ammasso di as-built e di progetto

Sui profili geomeccanici di As-built sono stati riportati anche i valori del parametro mb nelle 2 direzioni principali, assunte in direzione perpendicolare e parallela alle discontinuità:

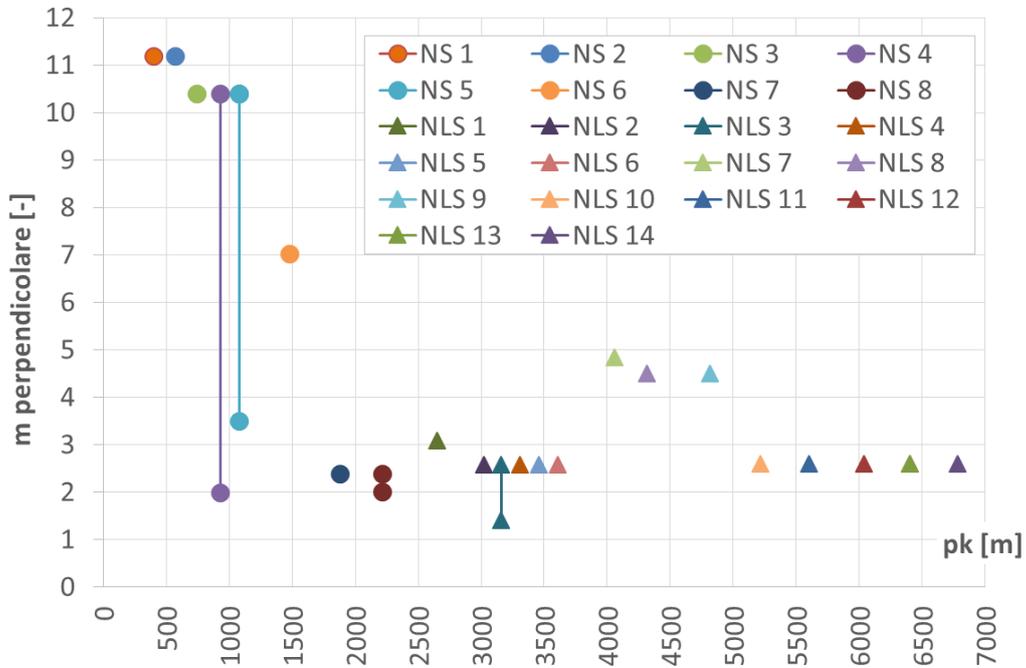


Figura 19 – Valori massimi di mb per l’ammasso in corrispondenza delle nicchie – As-built

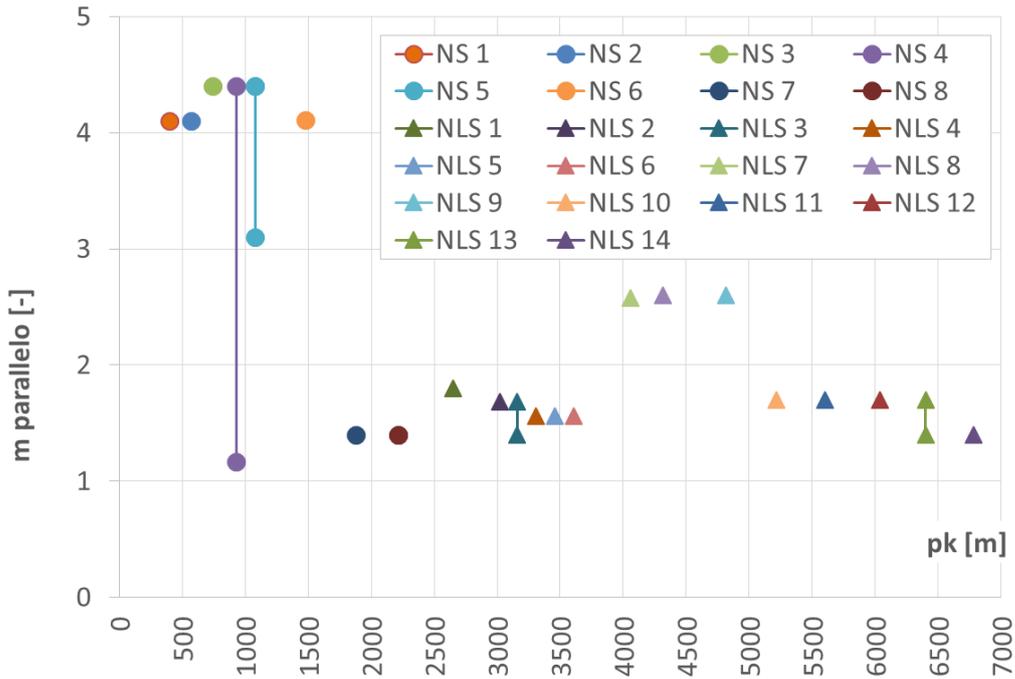


Figura 20 – Valori minimi di mb per l’ammasso in corrispondenza delle nicchie – As-built

Paragonando i valori di progetto e di as-built, si osserva una buona corrispondenza:

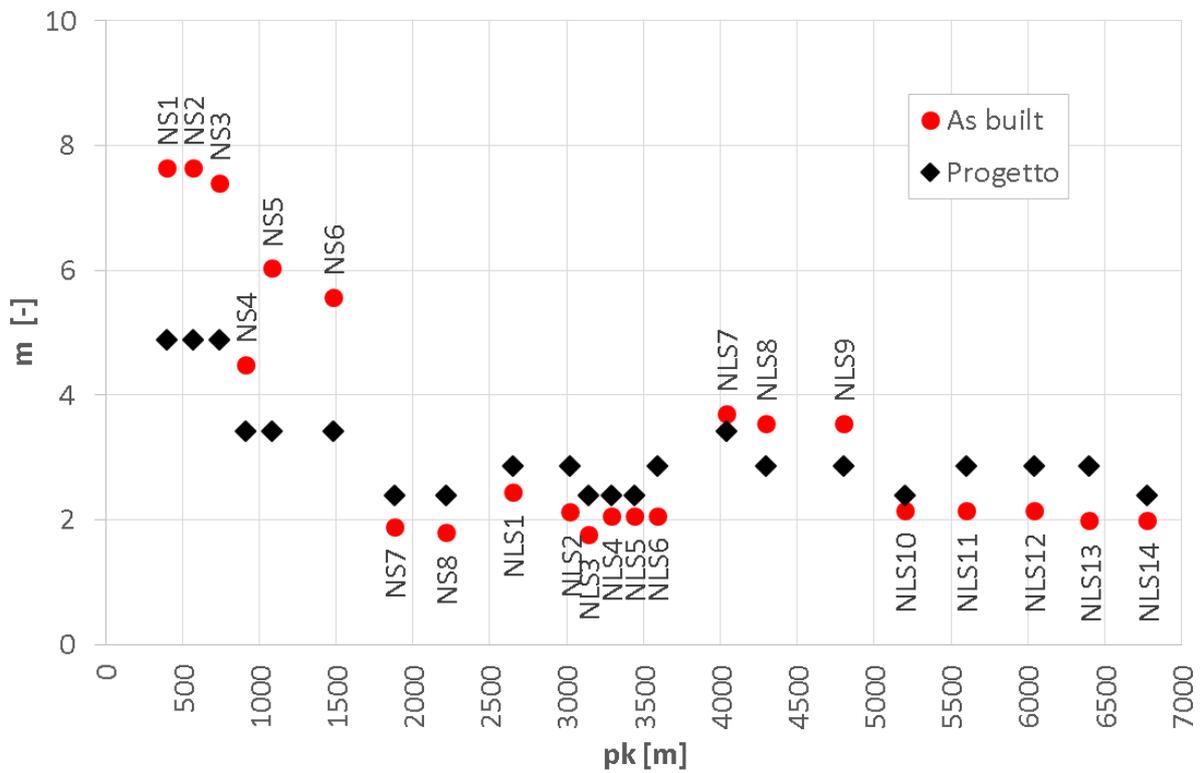


Figura 21 – Paragone tra i valori di mb per l’ammasso di as-built e di progetto

6.3 Caratteristiche meccaniche di deformabilità

Si riportano i valori di modulo elastico dell'ammasso in corrispondenza delle nicchie, così come calcolato sui profili geomeccanici di As-built, assumendo i valori massimi e minimi in direzione perpendicolare e parallela alle discontinuità:

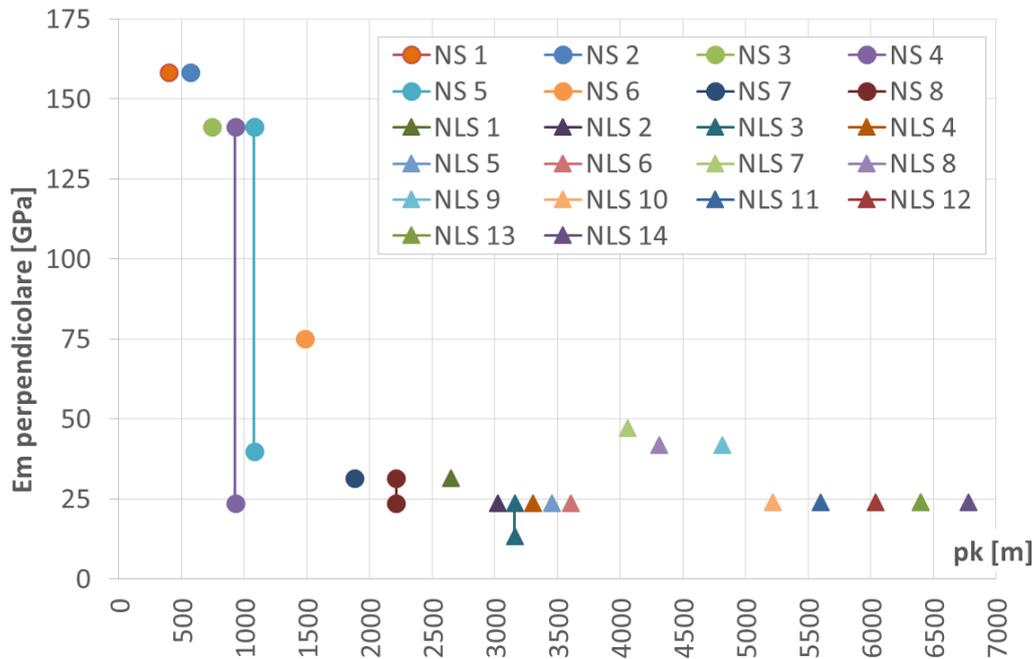


Figura 22 – Valori massimi del modulo elastico dell'ammasso in corrispondenza delle nicchie – As-built

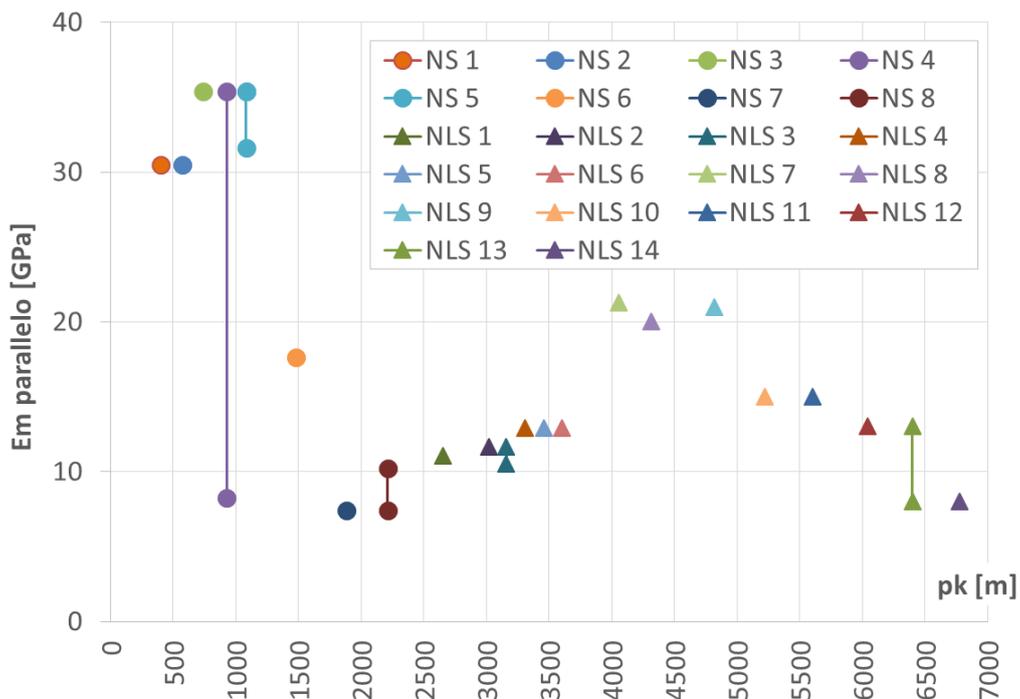


Figura 23 – Valori minimi del modulo elastico dell'ammasso in corrispondenza delle nicchie – As-built

Mediando i 2 valori di E_m , si osserva che il valor medio di E_m di As built risulta superiore o al più paragonabile al valore di Progetto, calcolato secondo la formulazione presentata nel par. 2.5.1: dato che i valori di As-built sono puntuali, i valori di Progetto sono correttamente più bassi, in modo cautelativo.

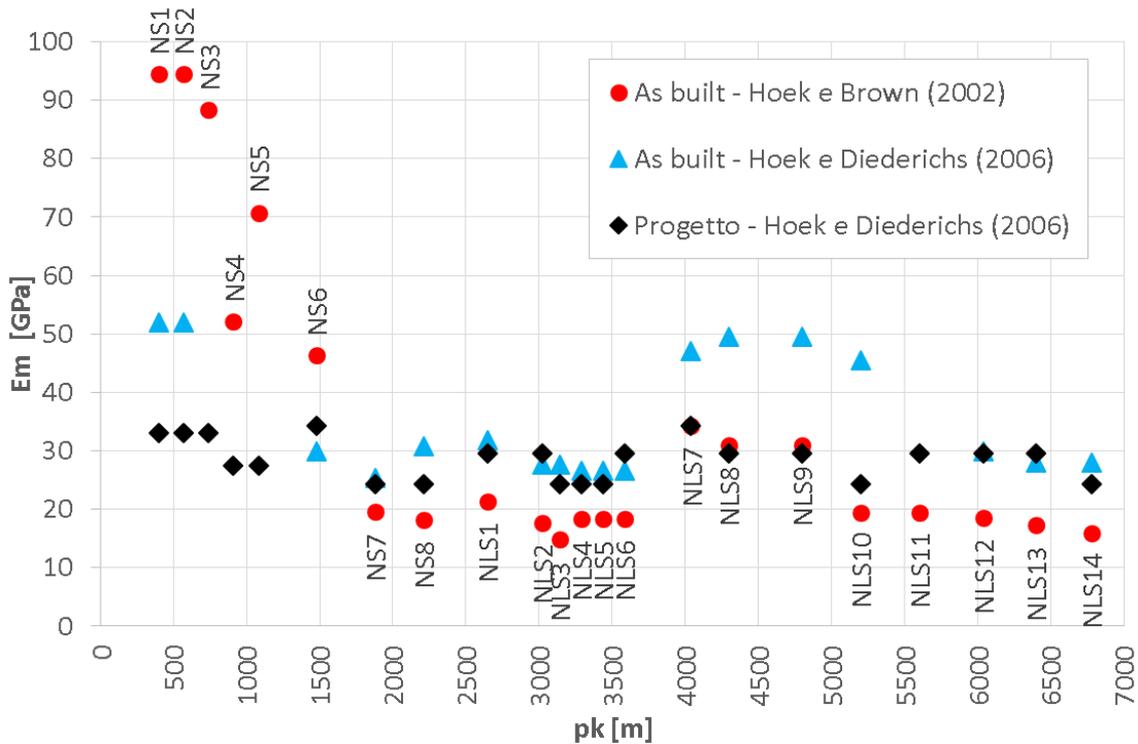


Figura 24 – Paragone tra i valori di modulo elastico dell'ammasso di as-built e di progetto

6.4 Caratteristiche di permeabilità

In accordo con Rif. [1], lungo il Cunicolo sono state eseguite n. 4 prove Lugeon, in corrispondenza di Pk 0+290, Pk 1+338, Pk 1+640 e Pk 2+375, con lo scopo di determinare il grado di permeabilità dell'ammasso: i valori di permeabilità lungo il Cunicolo sono compresi tra 10^{-7} m/s entro i litotipi del Complesso di Ambin e 10^{-10} m/s nel Complesso di Clarea.

Dati i bassi valori di permeabilità bassi ed il fatto che il cunicolo già scavato funziona da dreno, lo scavo per l'allargamento delle nicchie verrà eseguito in condizioni di assenza di battente idraulico al contorno.

7 CARATTERIZZAZIONE DEL DISCONTINUO

Nel seguito si valutano le proprietà di resistenza dell'ammasso roccioso lungo le discontinuità, impiegate per le analisi di stabilità del modello discontinuo per le verifiche delle chiodature previste (Relazione di calcolo 04A_OO--_OZ_E_RE_GC_0703_0).

7.1 Resistenza al taglio lungo le discontinuità naturali

I modelli di mezzo discontinuo normalmente utilizzati sono di tipo rigido o elasto-plastico.

Dal punto di vista della resistenza a i giunti viene attribuita una resistenza nulla a trazione e una resistenza a taglio funzione dello sforzo normale, usualmente definita con un criterio lineare o con un criterio non lineare; quest'ultimo rappresenta meglio il comportamento di giunti scabri privi di riempimento.

Il criterio non lineare suggerito è quello di Barton (1974), definito dalla relazione seguente:

$$\tau = \sigma_n \tan [JRC \cdot \log_{10} (JCS/\sigma_n) + \phi_r]$$

essendo:

JRC = Joint Roughness Coefficient (coefficiente di scabrezza)

JCS = Joint Wall Compressive Strength (coefficiente di resistenza delle pareti)

ϕ_r = angolo di attrito residuo

Il criterio di Barton può essere linearizzato in modo da avere parametri di resistenza in termini di c' e ϕ' mediante le seguenti equazioni:

$$\phi = \arctan \left(\frac{\partial \tau}{\partial \sigma_n} \right)$$

$$\frac{\partial \tau}{\partial \sigma_n} = \tan \left(JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \phi_b \right) - \frac{\pi \cdot JRC}{180 \cdot \ln 10} \cdot \left[\tan^2 \left(JRC \cdot \log_{10} \left(\frac{JCS}{\sigma_n} \right) + \phi_r \right) + 1 \right]$$

$$c = \tau - \sigma_n \cdot \tan \phi$$

JRC e JCS essi possono essere determinati da apposite prove di taglio da eseguire sulle discontinuità.

In mancanza di tali prove si può ricorrere ai dati dei rilievi geostrukturali e facendo ricorso alle correlazioni empiriche. Al proposito si riporta di seguito quanto proposto per **JRC** da Barton (1977); **JCS** è determinato mediante misure con martello di Schimdt.

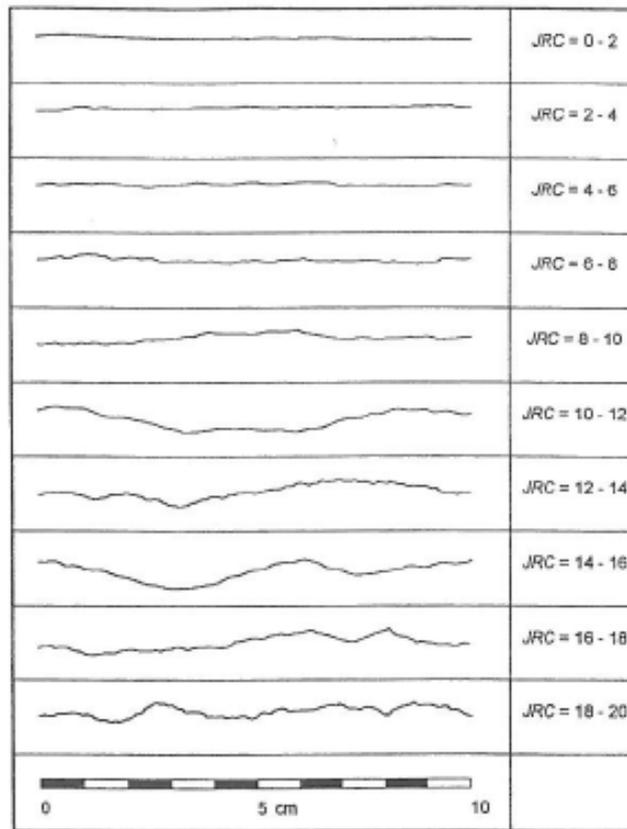


Figura 25: Profili tipici secondo Barton (1977)

Come parametri di input sono stati impiegati i numerosi rilievi geomeccanici delle superfici di scavo eseguiti praticamente in continuo lungo tutto il cunicolo esplorativo della Maddalena, utilizzando nello specifico quelli svolti in corrispondenza delle nicchie previste.

In dettaglio sono stati utilizzati i seguenti valori:

- $\Phi_b = 33^\circ$ (corrispondente al minimo angolo d'attrito di base - da letteratura);
- JRC = valori compresi tra 8 e 11 (dai rilievi geostrukturali);
- JCS = valori compresi tra 76 e 100 Mpa, corrispondenti a $2/3$ del valore di compressione determinato dalle prove di Point Load (dai rilievi geostrukturali).

Per la definizione dell'assetto strutturale e giacitura delle discontinuità, sono state analizzate e processate un totale di 210 giaciture, estratte da 58 rilievi geostrukturali.

Nella figura seguente si riporta la proiezione stereografica di tutte le giaciture analizzate, dove sono state differenziate graficamente in funzione della famiglia di appartenenza riportata nelle schede geostrukturali.

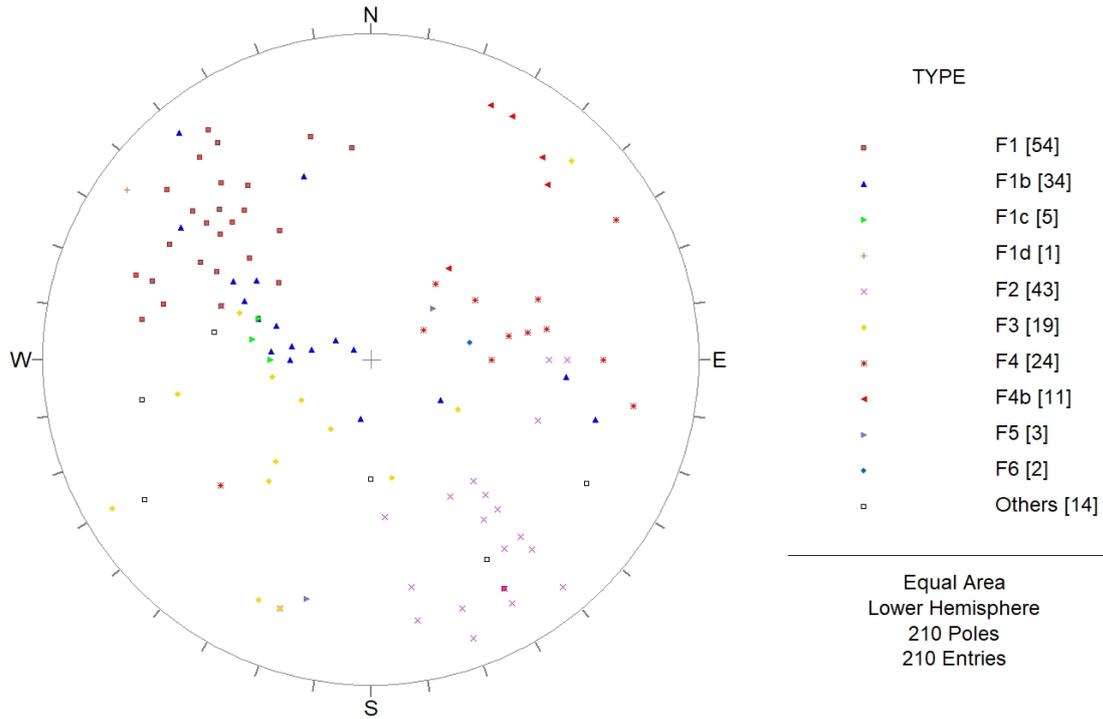


Figura 26 – Proiezione stereografica di tutti i dati geostrutturali analizzati

Nella seguente tabella si riportano tutti i dati ritenuti utili per le analisi in esame, raccolti dai rilievi geostrutturali analizzati, suddivisi per singola nicchia.

| Nicchia | Rilievo n° | Pk [m] | Copertura [m] | Direzione [°] | Inclinaz. [°] | RMR | GSI | σ_c [Mpa] | Venute [l/s] | disc | Spaziatura [cm] | Persistenza [m] | dip dir | dip | JRC | Alteraz. |
|---------|------------|--------|---------------|---------------|---------------|-----|-----|------------------|--------------|---------|-----------------|-----------------|---------|-----|------|----------|
| NS 1 | 42 | 392 | 193 | 306 | 179.71 | 76 | 78 | 162 | 1 | F1 | 10-15 | 3-10 | 330 | 70 | 12 | mod |
| | | | | | | | | | | F5 | | 3-10 | 230 | 20 | 12 | mod |
| | | | | | | | | | | FAGLIA | | | 100 | 40 | 8 | mod |
| | 43 | 399 | 206 | 306 | 179.71 | 87 | 88 | 219 | 0.1 | F1 | | 3-10 | 140 | 50 | 12 | n.a. |
| | | | | | | | | | | FAGLIA | | | | 100 | 40 | 12 |
| NS 2 | 44 | 408 | 211 | 306 | 179.71 | 88 | 89 | 158 | 0.3 | F1 | | 3-10 | 110 | 60 | 12 | n.a. |
| | | | | | | | | | | FAGLIA | | | 110 | 30 | 12 | n.a. |
| | 45 | 414 | 215 | 306 | 179.71 | 98 | 98 | 217 | 0 | F1 | > 200 | 1 | 105 | 55 | 12 | n.a. |
| | 60 | 545 | 335 | 310 | 179.71 | 94 | 94 | 129 | 0 | F7 | | 1 | 58 | 70 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F1 | > 200 | 1-3 | 120 | 45 | 12 | n.a. |
| | 61 | 555 | 349 | 310 | 179.71 | 95 | 95 | 172 | 0 | F1 | > 200 | 1-3 | 120 | 45 | 12 | n.a. |
| | 62 | 560 | 354 | 310 | 179.71 | 94 | 94 | 162 | 0 | F1 | > 200 | 3-10 | 165 | 60 | 12 | n.a. |
| | 63 | 569 | 366 | 310 | 179.71 | 84 | 85 | 122 | 0 | F2 | 100-200 | 1-3 | 330 | 75 | 12 | n.a. |
| | 64 | 576 | 376 | 313 | 179.71 | 85 | 85 | 135 | 0 | F1 | > 200 | 3-10 | 175 | 55 | 12 | n.a. |
| | 65 | 582 | 382 | 314 | 179.71 | 78 | 80 | 121 | 0.1 | F1 | 100-200 | 3-10 | 140 | 70 | 12 | mod |
| | | | | | | | | | | F2 | | 3-10 | 320 | 60 | 16 | deb |
| | | | | | | | | | | F3 | | 3-10 | 80 | 50 | 16 | deb |
| | | | | | | | | | | F4 | | 1-3 | 50 | 50 | 12 | mod |
| | 66 | 589 | 390 | 314 | 179.71 | 78 | 80 | 134 | 0.5 | F1 | > 200 | 3-10 | 140 | 70 | 12 | deb |
| | | | | | | | | | | F3 | 20-60 | 1-3 | 40 | 40 | 12 | n.a. |
| | | | | | | | | | FAGLIA | | 3-10 | 100 | 40 | 12 | deb | |
| 67 | 598 | 406 | 314 | 179.71 | 64 | 65 | 115 | 1 | F1 | 20-60 | 1-3 | 100 | 60 | 12 | deb | |
| | | | | | | | | | F2 | 20-60 | 1-3 | 330 | 40 | 12 | deb | |
| | | | | | | | | | Faglia 1 | | 3-10 | 100 | 40 | 12 | deb | |
| | | | | | | | | | Faglia 2 | | 3-10 | 330 | 60 | 12 | deb | |
| NS 3 | 79 | 730 | 482 | 318 | 179.71 | 71 | 75 | 118 | 0.2 | F2 | 150 | 3-10 | 110 | 40 | 8 | n.a. |
| | 80 | 736 | 483 | 318 | 179.71 | 80 | 80 | 143 | 0 | F1 | > 200 | 3-10 | 145 | 75 | 12 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F2 | > 200 | 3-10 | 110 | 40 | 8 | deb |
| | 81 | 743 | 487 | 318 | 179.71 | 81 | 81 | 173 | 0 | F2 | > 200 | 3-10 | 110 | 40 | 8 | deb |
| | 82 | 755 | 493 | 319 | 179.71 | 89 | 90 | 158 | 0.1 | F1 | > 200 | 3-10 | 140 | 70 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | F2 | > 200 | 3-10 | 330 | 70 | 12 | deb | |
| NS 4 | 98 | 893 | 553 | 320 | 179.71 | 86 | 86 | 163 | 0 | F3 | | 1-3 | 110 | 35 | 8 | deb |
| | | | | | | | | | | F1 | > 200 | 1-3 | 120 | 60 | 8 | deb |
| | | | | | | | | | | F2 | > 200 | 1-3 | 350 | 70 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F3 | > 200 | < 1 | 60 | 20 | 8 | deb |
| | | | | | | | | | | F4 | > 200 | 1-3 | 240 | 15 | 8 | n.a. |
| | 99 | 904 | 554 | 325 | 179.71 | 82 | 82 | 144 | 0 | F1 | 100-200 | 1-3 | 120 | 45 | 8 | deb |
| | | | | | | | | | | F2 | > 200 | < 1 | 20 | 70 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F3 | > 200 | 1-3 | 60 | 20 | 8 | deb |
| | | | | | | | | | | F4 | 100-200 | 1-3 | 240 | 75 | 8 | n.a. |
| | 100 | 909 | 555 | 325 | 179.71 | 85 | 85 | 168 | 0 | F1 | > 200 | < 1 | 120 | 45 | 8 | deb |
| | | | | | | | | | | F2 | 100-200 | < 1 | 20 | 70 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F3 | 100-200 | < 1 | 60 | 20 | 8 | deb |
| | 101 | 922 | 556 | 325 | 179.71 | 60 | 65 | 116 | 1 | F1 | > 200 | 1-3 | 120 | 45 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F2 | 100-200 | 3-10 | 340 | 80 | 12 | deb |
| | | | | | | | | | | FR1 | | 3-10 | 100 | 40 | 12 | deb |
| 102 | 932 | 557 | 325 | 179.71 | 62 | 65 | 130 | 0.5 | F2 | 100-200 | 3-10 | 340 | 70 | 8 | deb | |
| | | | | | | | | | FR1 | | 3-10 | 100 | 40 | 12 | deb | |
| NS 5 | 117 | 1066 | 521 | 330 | 179.71 | 80 | 80 | 169 | 0 | F1 | > 200 | 3-10 | 130 | 50 | 12 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F3 | 100-200 | 1-3 | 225 | 75 | 8 | pocco |
| | 118 | 1079 | 504 | 332 | 179.71 | 78 | 78 | 135 | 0 | F1 | 100-200 | 3-10 | 120 | 45 | 12 | pocco |
| | | | | | | | | | | F1b | > 200 | 3-10 | 140 | 80 | 8 | n.a. |
| | 119 | 1086 | 490 | 332 | 179.71 | 76 | 78 | 120 | 0.5 | F1 | 100-200 | 3-10 | 130 | 55 | 8 | pocco |
| | 120 | 1093 | 486 | 332 | 179.71 | 66 | 70 | 152 | 0.1 | F1 | > 200 | 3-10 | 130 | 30 | 8 | deb |
| | | | | | | | | | | F1b | 100-200 | 3-10 | 160 | 50 | 8 | deb |
| | | | | | | | | | | F2 | > 200 | 3-10 | 320 | 80 | 12 | deb |
| | | | | | | | | | | F3 | | 1-3 | 60 | 80 | 8 | n.a. |
| | 121 | 1102 | 483 | 332 | 179.71 | 79 | 80 | 156 | 0.1 | F1 | > 200 | 3-10 | 130 | 70 | 12 | pocco |
| | | | | | | | | | F2 | > 200 | 1-3 | 320 | 60 | 8 | n.a. | |
| NS 6 | 159 | 1466 | 278 | 333 | 179.71 | 85 | 80 | 177 | 0 | F1 | 100-200 | 3-10 | 120 | 50 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F1b | 100-200 | 3-10 | 115 | 35 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F5 | | < 1 | 15 | 65 | 8 | n.a. |
| | 160 | 1478 | 301 | 333 | 179.71 | 70 | 70 | 86 | 0 | F1 | > 200 | 3-10 | 135 | 55 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F1b | 50-100 | 3-10 | 125 | 35 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F3 | | < 1 | 300 | 25 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F4 | | 1-3 | 220 | 25 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F5 | | < 1 | 15 | 65 | 12 | n.a. |
| | 161 | 1490 | 301 | 333 | 179.71 | 73 | 75 | 95 | 0 | F1 | 100-200 | 3-10 | 135 | 55 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F1b | > 200 | 3-10 | 125 | 35 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F2 | | 3-10 | 340 | 80 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F6 | | 1-3 | 260 | 25 | 12 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F7 | | < 1 | 80 | 60 | 12 | n.a. |
| | 162 | 1502 | 302 | 333 | | 73 | 75 | 87 | 0 | F1 | > 200 | 3-10 | 135 | 55 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | F1b | 100-200 | 3-10 | 125 | 35 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | F3 | | < 1 | 30 | 20 | 12 | n.a. | |
| | | | | | | | | | F6 | | 3-10 | 260 | 25 | 12 | n.a. | |
| 192 | 1858 | 515 | 333 | 2.28 | 62 | 65 | 139 | 0 | F1 | 50-100 | 3-10 | 130 | 40 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | F1b | 50-100 | 3-10 | 275 | 50 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | F2 | 50-100 | 1-3 | 350 | 60 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | F4 | 50-100 | 3-10 | 240 | 30 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | F3 | | 1-3 | 80 | 25 | 8 | n.a. | |
| 193 | 1868 | 521 | 333 | 2.28 | 61 | 65 | 129 | 0 | F1 | 50-100 | 3-10 | 130 | 40 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | F1b | 50-100 | 3-10 | 275 | 50 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | F2 | 50-100 | 1-3 | 350 | 60 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | F4 | 50-100 | 3-10 | 240 | 30 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | F3 | | 1-3 | 80 | 25 | 8 | n.a. | |

| Nicchia | Rilievo n° | Pk [m] | Copertura [m] | Direzione [°] | Inclinaz. [°] | RMR | GSI | σ_c [Mpa] | Venute [l/s] | disc | Spaziatura [cm] | Persistenza [m] | dip dir | dip | JRC | Alteraz. | | |
|---------|------------|--------|---------------|---------------|---------------|-----|-----|------------------|--------------|--------|-----------------|-----------------|---------|------|-----|----------|------|------|
| NS 7 | 194 | 1884 | 531 | 333 | 2.28 | 56 | 60 | 124 | | F1 | 50-100 | 3-10 | 130 | 40 | 8 | n.a. | | |
| | | | | | | | | | | F1b | 20-50 | 3-10 | 275 | 50 | 8 | n.a. | | |
| | | | | | | | | | | F2 | 50-100 | 1-3 | 350 | 60 | 8 | n.a. | | |
| | | | | | | | | | | F4 | 100-200 | 3-10 | 240 | 30 | 8 | n.a. | | |
| | 195 | 1896 | 539 | 333 | 2.28 | 53 | 60 | 85 | | | F3 | | 1-3 | 80 | 25 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F1 | 50-100 | 3-10 | 145 | 40 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F1b | 20-50 | 3-10 | 285 | 60 | 8 | deb | |
| | | | | | | | | | | | F2 | 50-100 | 1-3 | 350 | 60 | 8 | n.a. | |
| | 196 | 1911 | 549 | 333 | 2.28 | 60 | 65 | 97 | | | F4 | | 3-10 | 240 | 30 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F1 | 50-100 | 3-10 | 145 | 40 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F1b | 20-50 | 3-10 | 285 | 60 | 8 | deb | |
| | | | | | | | | | | | F2 | 50-100 | 1-3 | 350 | 60 | 8 | n.a. | |
| NS 8 | 224 | 2184 | 757 | 333 | 2.28 | 53 | 58 | 145 | 0.2 | F4 | | 3-10 | 240 | 30 | 8 | n.a. | | |
| | | | | | | | | | | Faglia | | 3-10 | 130 | 60 | 8 | deb | | |
| | | | | | | | | | | F1 | 50-100 | 3-10 | 130 | 60 | 8 | n.a. | | |
| | | | | | | | | | | F1b | 20-50 | 3-10 | 110 | 30 | 8 | n.a. | | |
| | 225 | 2196 | 765 | 333 | 2.28 | 50 | 58 | 152 | 0.5 | | F2 | 100-200 | 1-3 | 320 | 65 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F4 | | 1-3 | 260 | 45 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F1 | 50-100 | 3-10 | 145 | 70 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F1b | 20-50 | 3-10 | 110 | 25 | 8 | n.a. | |
| | 226 | 2207 | 773 | 333 | 2.28 | 57 | 70 | 162 | 2 | | F2 | 100-200 | 1-3 | 320 | 60 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F4 | | 1-3 | 260 | 35 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F1 | 100-200 | 3-10 | 145 | 70 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F1b | 100-150 | 3-10 | 95 | 25 | 8 | n.a. | |
| 227 | 2223 | 783 | 333 | 2.28 | 53 | 60 | 138 | 2 | | F2 | 100-200 | 1-3 | 320 | 60 | 8 | n.a. | | |
| | | | | | | | | | | F1 | 100-200 | 3-10 | 145 | 70 | 8 | n.a. | | |
| | | | | | | | | | | F1b | 50-100 | 3-10 | 95 | 25 | 8 | n.a. | | |
| | | | | | | | | | | F2 | 100-200 | 1-3 | 320 | 60 | 8 | n.a. | | |
| 228 | 2236 | 792 | 333 | 2.28 | 60 | 65 | 174 | | | F4 | | 1-3 | 260 | 35 | 8 | n.a. | | |
| | | | | | | | | | | F1 | 100-200 | 3-10 | 145 | 70 | 8 | n.a. | | |
| | | | | | | | | | | F1b | 50-100 | 3-10 | 95 | 25 | 8 | n.a. | | |
| | | | | | | | | | | F2 | 100-200 | 1-3 | 320 | 60 | 8 | n.a. | | |
| 229 | 2246 | 803 | 333 | 2.28 | 59 | 65 | 143 | 0.2 | | F1 | 100-200 | 3-10 | 145 | 70 | 8 | n.a. | | |
| | | | | | | | | | | F1b | 50-100 | 3-10 | 95 | 25 | 8 | n.a. | | |
| | | | | | | | | | | F2 | >200 | 1-3 | 320 | 60 | 8 | n.a. | | |
| | | | | | | | | | | F4 | | 1-3 | 250 | 45 | 8 | n.a. | | |
| NLS 1 | 258 | 2633 | 1058 | 333 | 2.28 | 62 | 65 | 168 | | | F1 | 100-200 | 3-10 | 145 | 55 | 6 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F1b | 100-200 | 3-10 | 120 | 40 | 6 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F2 | 100-200 | 3-10 | 320 | 45 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F4 | 100-200 | 1-3 | 270 | 60 | 8 | n.a. | |
| | 259 | 2643 | 1046 | 333 | 2.28 | 62 | 65 | 168 | 0.1 | | | F1c | | 3-10 | 90 | 25 | 6 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F3 | | 1-3 | 43 | 35 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F1 | 100-200 | 3-10 | 145 | 55 | 6 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F1b | 100-200 | 3-10 | 120 | 40 | 6 | n.a. |
| | 260 | 2655 | 1031 | 333 | 2.28 | 62 | 65 | 182 | 0.1 | | | F2 | 100-200 | 3-10 | 320 | 45 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F4 | 100-200 | 1-3 | 270 | 60 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F1c | | 3-10 | 90 | 25 | 6 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F1 | 100-200 | 3-10 | 145 | 55 | 6 | n.a. |
| 261 | 2667 | 1023 | 333 | 2.28 | 62 | 65 | 180 | 0.1 | | | F1b | 100-200 | 3-10 | 120 | 40 | 6 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F2 | 100-200 | 3-10 | 320 | 45 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F4 | 100-200 | 1-3 | 260 | 35 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F1 | 100-200 | 3-10 | 145 | 55 | 6 | n.a. | |
| NLS 2 | 286 | 3017 | 1137 | 333 | 2.28 | 58 | 65 | 160 | 0.1 | | F1b | 100-200 | 3-10 | 120 | 40 | 6 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | Faglia 1 | | 3-10 | 300 | 65 | 6 | deb | |
| | | | | | | | | | | | Faglia 2 | | 3-10 | 140 | 70 | 6 | deb | |
| | | | | | | | | | | | F1 | 100-200 | 1-3 | 140 | 70 | 6 | n.a. | |
| | 287 | 3027 | 1137 | 333 | 2.28 | 58 | 65 | 158 | | | | F1b | 50-100 | 3-10 | 125 | 60 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F2 | 100-200 | 3-10 | 290 | 45 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F4 | | 1-3 | 270 | 30 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F4b | | 1-3 | 220 | 30 | 8 | n.a. |
| | 288 | 3042 | 1136 | 333 | 2.28 | 56 | 65 | 134 | | | | F1 | 100-200 | 3-10 | 140 | 60 | 6 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F1b | 50-100 | 3-10 | 120 | 10 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F2 | 100-200 | 3-10 | 320 | 40 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F4 | | 1-3 | 270 | 30 | 8 | n.a. |
| NLS 3 | 294 | 3110 | 1137 | 332 | 2.28 | 58 | 65 | 167 | | | F1 | 100-200 | 3-10 | 140 | 60 | 6 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F1b | 50-100 | 3-10 | 120 | 5 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F1c | 100-200 | 3-10 | 110 | 30 | 8 | n.a. | |
| | | | | | | | | | | | F2 | 100-200 | 1-3 | 320 | 50 | 8 | n.a. | |
| | 295 | 3122 | 1143 | 331 | 2.28 | 59 | 65 | 155 | 0.1 | | | F4 | | 3-10 | 260 | 40 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F4b | | 1-3 | 220 | 70 | 6 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F1 | 100-200 | 3-10 | 140 | 60 | 6 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F1b | 50-100 | 3-10 | 100 | 20 | 8 | n.a. |
| | 296 | 3133 | 1149 | 330 | 2.28 | 59 | 65 | 175 | | | | F2 | 100-200 | 1-3 | 320 | 50 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F4 | | 3-10 | 260 | 40 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F4b | | 1-3 | 220 | 70 | 8 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | F1 | 100-200 | 3-10 | 140 | 60 | 6 | n.a. |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

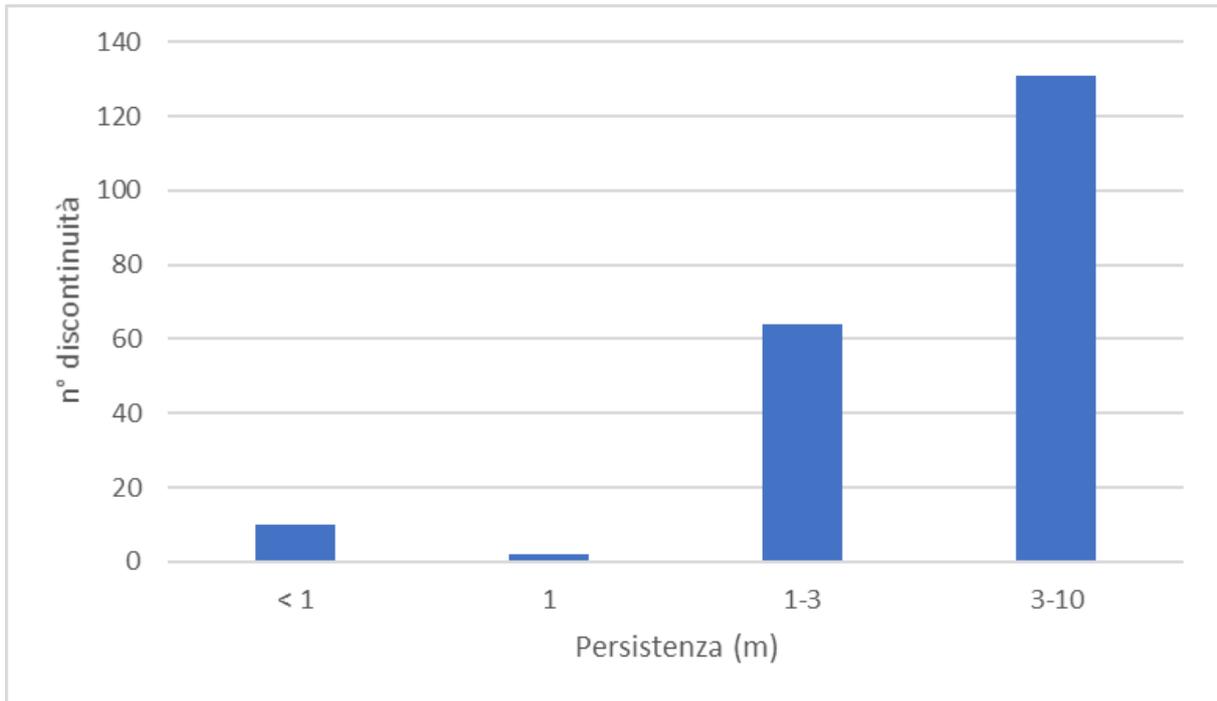


Figura 28 – Distribuzione della persistenza (in m) delle discontinuità

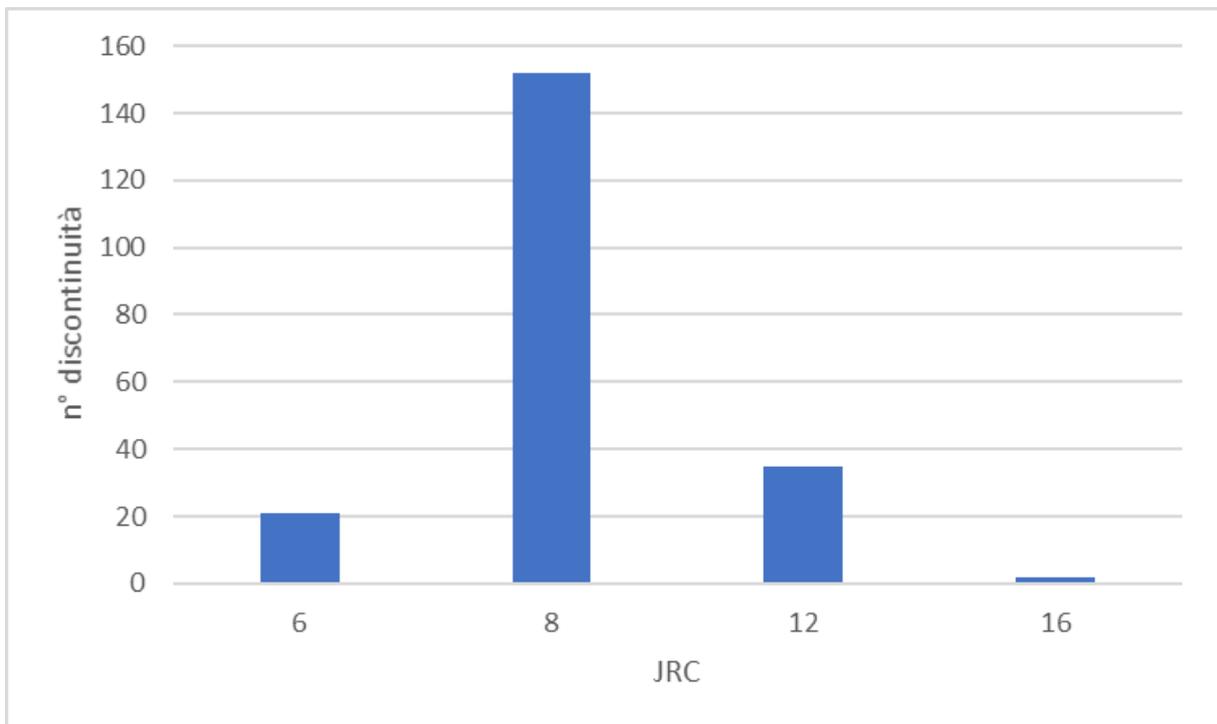


Figura 29 – Distribuzione della rugosità

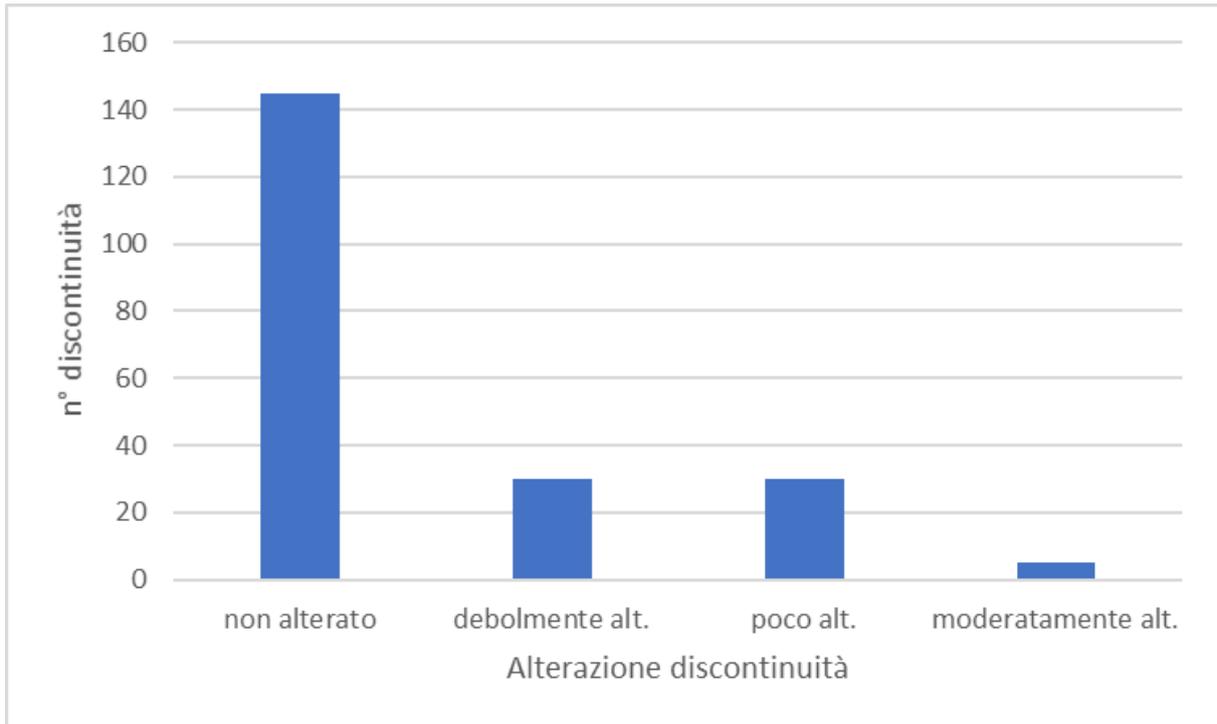


Figura 30 – Distribuzione del grado di alterazione

8 CARATTERIZZAZIONE DEL DISCONTINUO

Nel seguito si definisce l'accelerazione sismica attesa in corrispondenza delle nicchie. La galleria Maddalena interessa il settore compreso tra la zona della Maddalena di Chiomonte e la media e alta Val Clarea, per buona parte sul suo versante sinistro. Le coordinate rappresentative delle nicchie oggetto di questa relazione sono:

LATITUDINE 45° 8'21.66"N

LONGITUDINE 6°58'26.84"E

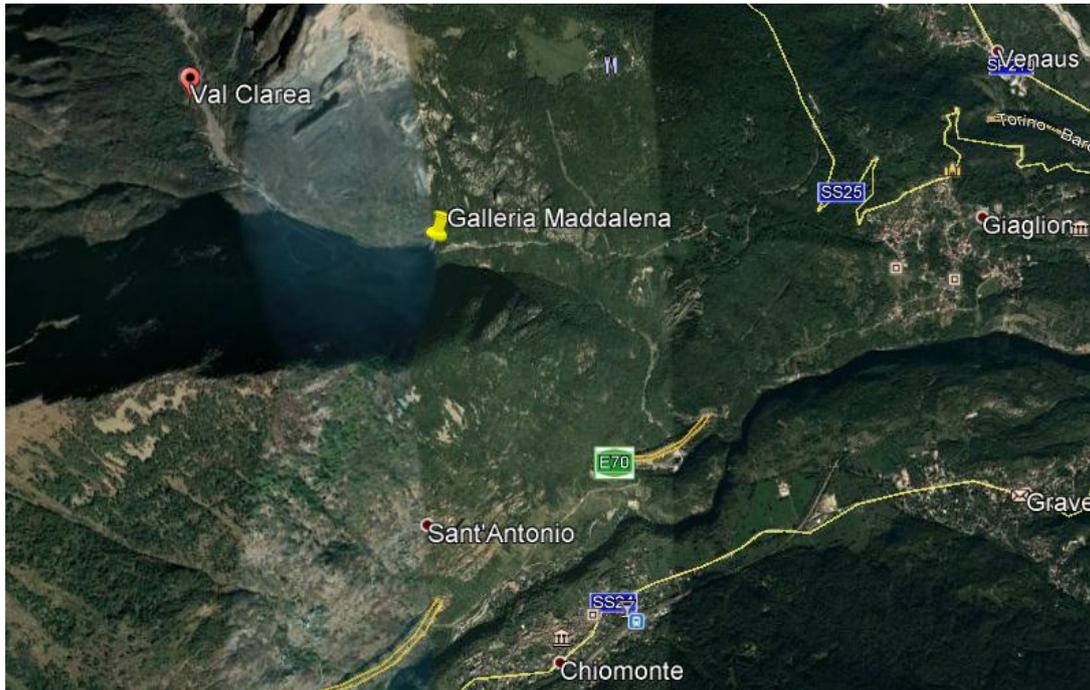


Figura 31 – Inquadramento dell'opera

8.1 Categoria di sottosuolo

Per quanto riguarda la caratterizzazione del sottosuolo, si tiene conto dei risultati delle tomografie sismiche a rifrazione a paramento eseguite nel cunicolo, che restituiscono valori di V_p di 2000-4000m/s. Dato che il rapporto tra le onde longitudinali e quelle trasversali è pari a $v_p = v_s \cdot \sqrt{(1-\nu)/(0.5-\nu)}$, con il coefficiente di poisson pari a 0.3 le V_s risultano tra i 1000 e i 2000m/s.

Per questo motivo, alla profondità delle nicchie, il sottosuolo rientra nella categoria A "Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m".

8.2 Categoria topografica

Per quanto concerne le caratteristiche della superficie topografica, data la significativa profondità delle nicchie (superiore almeno a 200m), la morfologia dell'area può essere ricondotta alla configurazione T1, dalla seguente descrizione: "Superficie pianeggiante, pendii e rilevati isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ ".

8.3 Vita nominale, classe d'uso e periodo di riferimento

La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve potere essere usata per lo scopo al quale è destinata. Le nicchie rientrano nel tipo di costruzione I "Opere provvisorie – Opere provvisionali - Strutture in fase costruttiva", con $V_N < 10$ anni.

Per quanto riguarda la classe d'uso, il cunicolo si inserisce nella classe II "Costruzioni il cui uso preveda normali affollamenti, senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'uso III o in Classe d'uso IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti."

In accordo col DM 2008 l'azione sismica viene valutata in relazione al periodo di riferimento V_R che è ricavato moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_u , ottenendo: $V_R = 10 \times 1.0 = 10$ anni.

Essendo V_R inferiore a 35 anni, si impone V_R uguale a 35 anni, in accordo alla Normativa.

8.4 Accelerazione sismica suolo rigido

Secondo il D.M. 14/01/2008 «Norme tecniche per le costruzioni» all'allegato B, al punto della maglia sismica per la longitudine e la latitudine in esame corrisponde il seguente valore di accelerazione orizzontale massima convenzionale (a_g) ed i corrispondenti $T_{r,0}$ e T_c^* :

| Stato limite | a_g [g] | T_r [anni] | F_0 [-] | T_c^* [s] |
|--------------|--------------|--------------|-----------|-------------|
| SLV | 0.116 | 332 | 2.451 | 0.260 |

Tabella 11 – Accelerazione sismica

dove a_g rappresenta l'accelerazione orizzontale massima al sito, T_r il tempo di ritorno, F_0 il valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale, T_c il periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale e lo Stato Limite di Vita (SLV).

8.5 Accelerazione sismica di progetto

L'accelerazione sismica di progetto è calcolata amplificando l'accelerazione sismica su suolo rigido per:

- coefficiente S_S di amplificazione stratigrafica, pari a 1, per sottosuolo tipo A;
- coefficiente S_T di amplificazione topografica, pari a 1, per superficie T1.

L'accelerazione sismica orizzontale di progetto risulta quindi pari a **0.116g** e quella verticale è pari alla metà.

In condizione statica, le sollecitazioni sul priverestimento, risultanti dall'analisi numerica con i parametri caratteristici della roccia, sono amplificate per 1.3 per eseguire le verifiche allo SLU. In campo sismico, le sollecitazioni dovrebbero tener conto di un incremento di carico pari a 0.116, inferiore allo 0.3 della combinazione SLU in campo statico.

Per questo motivo, come è prassi per le gallerie a grande profondità in contesti rocciosi, la combinazione sismica non risulta dimensionante e non verrà analizzata nella relazione di calcolo delle nicchie.

9 ALLEGATI

| ALLEGATO | TITOLO |
|-----------|---|
| 1 | Profilo Longitudinale Geotecnico - Geomeccanico - Tratta scavata in tradizionale - AS BUILT |
| 2 | Profilo Longitudinale Geotecnico - Geomeccanico - pk 0+198÷0+700 - AS BUILT |
| 3 | Profilo Longitudinale Geotecnico - Geomeccanico - pk 0+700÷1+200 - AS BUILT |
| 4 | Profilo Longitudinale Geotecnico - Geomeccanico - pk 1+200÷1+700 - AS BUILT |
| 5 | Profilo Longitudinale Geotecnico - Geomeccanico - pk 1+700÷2+200 - AS BUILT |
| 6 | Profilo Longitudinale Geotecnico - Geomeccanico - pk 2+200÷2+700 - AS BUILT |
| 7 | Profilo Longitudinale Geotecnico - Geomeccanico - pk 2+700÷3+200 - AS BUILT |
| 8 | Profilo Longitudinale Geotecnico - Geomeccanico - pk 3+200÷3+700 - AS BUILT |
| 9 | Profilo Longitudinale Geotecnico - Geomeccanico - pk 3+700÷4+200 - AS BUILT |
| 10 | Profilo Longitudinale Geotecnico - Geomeccanico - pk 4+200÷4+700 - AS BUILT |
| 11 | Profilo Longitudinale Geotecnico - Geomeccanico - pk 4+700÷5+200 - AS BUILT |
| 12 | Profilo Longitudinale Geotecnico - Geomeccanico - pk 5+200÷5+764.77 - AS BUILT |
| 13 | Profilo Longitudinale Geotecnico - Geomeccanico - pk 5+764.77÷6+400 - AS BUILT |
| 14 | Profilo Longitudinale Geotecnico - Geomeccanico - pk 6+400÷7+020 - AS BUILT |
| 15 | Profilo Longitudinale Geotecnico - Geomeccanico - AS BUILT |