

ITINERARIO INTERNAZIONALE E78 S.G.C. GROSSETO – FANO  
Tratto Selci Lama (E45) – S. Stefano di Gaifa  
Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2)  
e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (lotto 3)  
1° stralcio

**PROGETTO ESECUTIVO**

COD. AN58

PROGETTAZIONE:  
RAGGRUPPAMENTO  
TEMPORANEO PROGETTISTI

MANDATARIA:



MANDANTI:



**sinergo**

IL RESPONSABILE DELL'INTEGRAZIONE DELLE PRESTAZIONI  
SPECIALISTICHE:

Ing. Riccardo Formichi – Società Pro Iter Srl  
Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. 18045

IL GEOLOGO:

Dott. Geol. Massimo Mezzanica – Società Pro Iter Srl  
Albo Geol. Lombardia n. A762

IL COORDINATORE PER LA SICUREZZA IN FASE DI PROGETTAZIONE:

Ing. Massimo Mangini – Società Erre.Via Srl  
Ordine Ingegneri Provincia di Varese n. 1502

VISTO: IL RESP. DEL PROCEDIMENTO:

Dott. ing. Vincenzo Catone

PROTOCOLLO:

DATA:

OPERE D'ARTE MAGGIORI:

Ing. Enrico Maria Pizzarotti – Società Pro Iter Srl  
Ordine Ingegneri Provincia di Milano n. A29470



*Enrico Maria Pizzarotti*

**06 - OPERE D'ARTE MAGGIORI IN SOTTERRANEO**

Relazione di interpretazione delle indagini strutturali

| CODICE PROGETTO |             |          | NOME FILE           |         | REVISIONE  | SCALA      |
|-----------------|-------------|----------|---------------------|---------|------------|------------|
| PROGETTO        | LIV. PROG.  | N. PROG. | T00GN00OSTRE03A.pdf |         |            |            |
| L0702M          | E           | 2101     | T00GN00OSTRE03      |         | A          | -          |
| D               |             |          |                     |         |            |            |
| C               |             |          |                     |         |            |            |
| B               |             |          |                     |         |            |            |
| A               | EMISSIONE   |          | FEBBRAIO 2023       | PARISI  | MOJA       | PIZZAROTTI |
| REV.            | DESCRIZIONE |          | DATA                | REDATTO | VERIFICATO | APPROVATO  |

## INDICE

|       |   |    |
|-------|---|----|
| 1     | PREMESSA .....  | 1  |
| 2     | DOCUMENTAZIONE E NORMATIVA DI RIFERIMENTO .....                 | 2  |
| 2.1   | Leggi, decreti, circolari ministeriali .....                    | 2  |
| 2.2   | Documenti di progetto .....                                     | 2  |
| 2.2.1 | <i>As built e documentazione storica</i> .....                  | 2  |
| 2.2.2 | <i>Indagini Pregresse</i> .....                                 | 2  |
| 2.2.3 | <i>Indagini 2022</i> .....                                      | 2  |
| 2.2.4 | <i>Opere d'arte maggiori in sottterraneo</i> .....              | 2  |
| 3     | SPECIFICHE DI PROGETTO ORIGINARIO .....                         | 4  |
| 3.1   | Galleria Guinza .....   | 4  |
| 3.2   | Galleria Valpiana .....   | 13 |
| 3.3   | Galleria S. Veronica .....                                      | 15 |
| 3.4   | Galleria S. Antonio .....                                       | 16 |
| 4     | RISULTANZE DELLE INDAGINI STRUTTURALI .....                     | 19 |
| 4.1   | Indagini Georadar .....   | 19 |
| 4.2   | Prove di compressione su carotaggi e sclerometri .....          | 20 |
| 4.3   | Martinetti piatti .....   | 24 |
| 5     | CRITERI PER L'APPLICAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIPRISTINO ..... | 27 |
| 6     | INTERVENTI .....  | 31 |
|       | APPENDICE: ELENCO INTERVENTI TIPO A E TIPO B .....              | 32 |

## 1 PREMESSA

La presente relazione affronta le problematiche strutturali riscontrate in sito attraverso le indagini strutturali e gli interventi di ripristino previsti per le gallerie Guinza, Valpiana, S. Veronica, S. Antonio Nord e S. Antonio Sud facenti parte dell'itinerario Internazionale E78 S.G.C. Grosseto – Fano – Tratto Selci Lama (E45) – S. Stefano di Gaifa - Adeguamento a 2 corsie della Galleria della Guinza (lotto 2) e del tratto Guinza – Mercatello Ovest (lotto 3).

Si premette che tutte le gallerie presenti in progetto sono state collaudate come riportano i certificati di collaudo del 2006 per il 2° lotto da Parnacciano a Guinza - 2° stralcio e del 2007 per il 3°lotto Imbocco Galleria della Guinza – Abitato Mercatello sul Metauro.

Nonostante ciò, si è comunque deciso di procedere all'esecuzione di indagini strutturali sui rivestimenti per accertare la bontà del costruito dopo circa 15 anni dalla fine dei lavori. Tali indagini, unitamente a quelle già eseguite in fase di Progetto Definitivo dell'intervento di adeguamento redatto da Anas nel 2019, hanno rilevato alcune problematiche che, nei casi più critici, hanno richiesto la previsione di interventi di ripristino.

Nel Par. 3 sono brevemente riassunte le caratteristiche dei rivestimenti delle gallerie ricavate dall'analisi dei documenti del Progetto originario redatto da Geodata S.p.A. nel 1990 e nel 1996, dai documenti contabili relativi all'esecuzione parziale delle opere e dai documenti del Progetto Definitivo dell'intervento di adeguamento. Tali informazioni sono state confrontate con i risultati delle indagini strutturali effettuate nel 2022 che hanno indagato gli spessori dei rivestimenti, la resistenza del calcestruzzo in opera e le sollecitazioni agenti (Par. 4). Infine, nel Par. 5 è stato riportato il criterio per l'applicazione degli interventi di ripristino del rivestimento le cui tratte di applicazione sono definite all'interno del Par. 6.

## 2 DOCUMENTAZIONE E NORMATIVA DI RIFERIMENTO

### 2.1 Leggi, decreti, circolari ministeriali

- [1] Ministero dei LL.PP. - D.M. 17.01.2018: "Norme tecniche per le Costruzioni".
- [2] Ministero dei LL.PP. - Circ. 7 del 21.01.2019: Istruzioni per l'applicazione delle "Norme tecniche per le costruzioni" di cui al decreto ministeriale 17 gennaio 2018;
- [3] "Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera" del Settembre 2017

### 2.2 Documenti di progetto

#### 2.2.1 As built e documentazione storica

- [4] T00SG03GENRE01A - Galleria Guinza
- [5] T00SG03GENRE02A - Galleria Valpiana
- [6] T00SG03GENRE03A - Galleria S. Antonio
- [7] T00SG03GENRE04A - Galleria S. Veronica

#### 2.2.2 Indagini Progressive

- [8] T00SG04GENRE01A - Galleria Guinza - Relazione indagini su arco rovescio per individuazione sottoservizi
- [9] T00SG04GENRE02A - Galleria Guinza - Relazione indagini in galleria
- [10] T00SG04GENSL01A - Galleria Guinza - Sezioni interpretative longitudinali

#### 2.2.3 Indagini 2022

- [11] T00SG05GENRE01A - Relazione sulle indagini strutturali
- [12] T00SG05GENRE02A - Relazione sulla mappatura dei difetti strutturali
- [13] T00SG05GENRE03A - Relazione sulle indagini sugli aspetti idraulici
- [14] T00SG05GENSV01A - Laserscan - Sezioni trasversali stato attuale
- [15] T00SG05GENSL01A - Georadar - Sezioni interpretative longitudinali
- [16] T00SG05GENSL02A - Mappatura dei difetti strutturali - Rappresentazione schematica dell'ispezione

#### 2.2.4 Opere d'arte maggiori in sotterraneo

- [17] T00GN00OSTDC01A - Tabella materiali
- [18] T00GN01OSTRE01A - Relazione di calcolo - Intervento Tipo A - Sezione corrente
- [19] T00GN01OSTRE02A - Relazione di calcolo - Intervento Tipo A - Piazzole di sosta
- [20] T00GN01OSTRE04A - Relazione di calcolo - Intervento Tipo C
- [21] T00GN01OSTSL01A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 1
- [22] T00GN01OSTSL02A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 2
- [23] T00GN01OSTSL03A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 3
- [24] T00GN01OSTSL04A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 4
- [25] T00GN01OSTSL05A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 5
- [26] T00GN01OSTSL06A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 6
- [27] T00GN01OSTSL07A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 7
- [28] T00GN01OSTSL08A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 8
- [29] T00GN01OSTSL09A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 9
- [30] T00GN01OSTSL10A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 10
- [31] T00GN01OSTSL11A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 11
- [32] T00GN01OSTSL12A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 12
- [33] T00GN01OSTSL13A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 13
- [34] T00GN01OSTSL14A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 14
- [35] T00GN01OSTSL15A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 15
- [36] T00GN01OSTST03A - Sezione corrente - Intervento tipo A - Scavo
- [37] T00GN01OSTCP01A - Sezione corrente - Intervento tipo A - Carpenteria centine provvisorie
- [38] T00GN01OSTCP02A - Sezione corrente - Intervento tipo A - Carpenteria centine
- [39] T00GN01OSTCP03A - Sezione corrente - Intervento tipo A - Carpenteria
- [40] T00GN01OSTAR01A - Sezione corrente - Intervento tipo A - Armatura
- [41] T00GN01OSTSE01A - Sezione corrente - Intervento tipo A - Fasi esecutive

- [42] T00GN01OSTST03A - Sezione corrente - Intervento tipo B
- [43] T00GN01OSTCPA - Sezione corrente - Intervento tipo C - Carpenteria
- [44] T00GN01OSTARA - Sezione corrente - Intervento tipo C - Armatura
- [45] T00GN01OSTSEA - Sezione corrente - Intervento tipo C - Fasi esecutive
- [46] T00GN01OSTST04A - Piazzole di sosta - Intervento tipo A - Scavo
- [47] T00GN01OSTCPA - Piazzole di sosta - Intervento tipo A - Carpenteria centine provvisorie
- [48] T00GN01OSTCPA - Piazzole di sosta - Intervento tipo A - Carpenteria centine
- [49] T00GN01OSTCPA - Piazzole di sosta - Intervento tipo A - Carpenteria rivestimento definitivo
- [50] T00GN01OSTARA - Piazzole di sosta - Intervento tipo A - Armatura rivestimento definitivo
- [51] T00GN01OSTSEA - Piazzole di sosta - Intervento tipo A - Fasi esecutive
- [52] T00GN01OSTST05A - Monitoraggio in fase di scavo - Intervento tipo A
- [53] T00GN02OSTSL01A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria
- [54] T00GN03OSTSL01A - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria
- [55] T00GN04OSTSL01A - Galleria S.Antonio Nord - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 1
- [56] T00GN04OSTSL02A - Galleria S.Antonio Nord - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 2
- [57] T00GN04OSTSL03A - Galleria S.Antonio Nord - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 3
- [58] T00GN04OSTSL04A - Galleria S.Antonio Sud - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 1
- [59] T00GN04OSTSL05A - Galleria S.Antonio Sud - Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria - Tav. 2

### 3 SPECIFICHE DI PROGETTO ORIGINARIO

Nel presente paragrafo sono brevemente riassunte le informazioni che sono state reperite sulla base dall'analisi dei documenti del Progetto originario redatto da Geodata S.p.A. nel 1990 e nel 1996, dei documenti contabili relativi all'esecuzione parziale delle opere e dei documenti del Progetto Definitivo dell'intervento di adeguamento, inerentemente agli spessori e alle caratteristiche dei materiali dei rivestimenti definitivi delle gallerie in progetto.

#### 3.1 Galleria Guinza

Allo stato di fatto la Galleria della Guinza è una galleria naturale a canna singola di lunghezza pari a circa 5944 m, realizzata nell'Appennino umbro-marchigiano. Il tracciato ha origine nel comune di Mercatello sul Metauro (PU) a 580 m s.l.m. e termina sul lato umbro nel comune di San Giustino (PG) a circa 556 m s.l.m., con una pendenza dello 0.4%.

La galleria ha un andamento pressoché rettilineo per tutta la lunghezza. La sezione trasversale ha forma policentrica ad arco; l'area della sezione trasversale è pari a circa 57 mq, la larghezza tra i piedritti è pari a circa 10 m, l'altezza in asse dal piano viabile è pari a circa 6.8 m.

Lungo la galleria sono presenti 10 piazzole di sosta sfalsate sui due lati della carreggiata a interdistanza pari a circa 500 m e non sono presenti uscite di emergenza; tuttavia, sono presenti le predisposizioni per la realizzazione di n.17 uscite di emergenza a interdistanza 250 m circa, costituite da n.6 by-pass carrabili e n.11 by-pass pedonali, scavati per pochi metri.

Dal punto di vista esecutivo, la galleria è stata realizzata in allargamento del foro pilota tramite l'applicazione di 6 sezioni di scavo, che si differenziano in funzione degli interventi di consolidamento radiale dal cunicolo, delle caratteristiche dei rivestimenti provvisori e che corrispondono ad altrettante sezioni tipo.

Il Progetto Esecutivo effettuato da Geodata nel 1996 prevede per la sezione corrente 6 Sezioni Tipo, ognuna delle quali associata ad una determinata classe di comportamento. In particolare, la Relazione di calcolo "R1407.P2.02b – Relazione di calcolo" riporta le seguenti caratteristiche delle sezioni tipo della galleria corrente (in termini di interventi di prima fase e rivestimento definitivo) sintetizzate in Figura 1.

Tabella 4.6: Sezioni tipo della galleria corrente

| GALLERIA CORRENTE |  |         |       |                 |         |         |            |     |
|-------------------|--|---------|-------|-----------------|---------|---------|------------|-----|
| Sez.<br>tipo      | Sostegno di I fase   |         |       |                 |         |         | Rivest.def |     |
|                   | Spritz   | Bulloni |       |                 | Centine |         | Cal.       | A.R |
|                   | spess.   | F1      | lung. | maglia          | tipo    | passo   | spessori   |     |
|                   | [cm]   | [kN]    | [m]   | [mxm]           | [n°]    | [m]     | [cm]       |     |
| B                 | 10   | 100     | 4.5   | 2.0x2.0         | -       | -       | 50         | 60  |
| C1                | 15   | 100     | 4.5   | 1.0-2.0x1.0-1.5 | -       | -       | 50         | 60  |
| C2                | 20   | 100     | 4.5   | 1.0-2.0x1.0-1.5 | 2IPN160 | 1.0-1.5 | 50         | 60  |
| D                 | 20   | 200     | 6.0   | 0.8-1.2x1.5-2.0 | 2IPN180 | 0.8-1.2 | 50         | 60  |
| E                 | 25   | 200     | 6.0   | 1.0x1.5         | 2IPN180 | 1.0     | 70         | 80  |
|                   | -consolidamento preventivo da cunicolo pilota: elementi resistenti (T <sub>amm</sub> =300kN), L=6m, valvolati 1v/m, maglia 1.0x1.0m. |         |       |                 |         |         |            |     |
| F                 | 25   | -       | -     | -               | 2IPN180 | 1.0     | 50-120     | 80  |
|                   | -consolidamento preventivo da cunicolo pilota: elementi resistenti (T <sub>amm</sub> =300kN), L=6m, valvolati 1v/m, maglia 1.0x1.0m. |         |       |                 |         |         |            |     |
|                   | -presostegno (ombrello n.35 tubi, φ127mm, sp.10mm, L=12m/utigli8.5m)   |         |       |                 |         |         |            |     |
|                   | 2+2 micropali tiranti (tubi φ127mm, sp.10mm, L=8.00m, passo=1.00m)   |         |       |                 |         |         |            |     |
|                   | 1+1 micropali puntoni (tubi φ127mm, sp.10mm, L=6.00m, passo=1.00m)   |         |       |                 |         |         |            |     |

Figura 1 – PE GEODATA 1996 – Galleria Guinza - Sezioni Tipo galleria corrente

Le caratteristiche delle Piazzole di Sosta sono invece sintetizzate in Figura 2.

Tab.4.13- Sezioni tipo delle opere di completamento

| OPERE DI COMPLETAMENTO |                    |         |      |                 |         |       |              |      |
|------------------------|--------------------|---------|------|-----------------|---------|-------|--------------|------|
| Sez.<br>tipo           | Sostegno di I fase |         |      |                 |         |       | Rivest. def. |      |
|                        | Spritz             | Bulloni |      |                 | Centine |       | Cal.         | A.R. |
|                        | spess.             | F1      | L    | maglia          | tipo    | passo | spessori     |      |
|                        | [cm]               | [kN]    | [m]  | [mxm]           |         | [m]   | [cm]         |      |
| A                      | 20                 | 200     | 6.00 | 1.0-2.0x1.0-1.5 | 2IPN160 | 1.25  | 50           | 50   |
| B/C                    | 20                 | 200     | 6.00 | 1.0-2.0x1.0-1.5 | 2IPN180 | 1.25  | 50           | 60   |
| TVL                    | 15                 | -       | -    | -               | 2IPN140 | 1.00  | 50           | 50   |

dove:

A= sezione di By-Pass

B= Piazzola di sosta (fase transitoria, doppio senso di marcia)- Locale sicuro (fase definitiva, unico senso di marcia)

C= Piazzola di sosta (fase transitoria, doppio senso di marcia)- Piazzola di sosta (fase definitiva, unico senso di marcia)

TVL=Cabina elettrica di trasformazione

Figura 2 – PE GEODATA 1996 – Galleria Guinza - Sezioni Tipo By-Pass (A), Piazzole di Sosta (B/C) e Cabine elettriche (TVL)

Facendo riferimento agli elaborati "Metodologia costruttiva e carpenteria" (elaborati S1407.P2.01a, S1407.P2.01b, S1407.P2.01c, S1407.P2.01d, S1407.P2.01e, S1407.P2.01f, S1407.P2.02 e S1407.P2.03.c) è possibile ricavare ulteriori informazioni relative alla classe di resistenza del calcestruzzo e all'eventuale armatura. In conclusione, in termini di rivestimenti definitivi si evince quanto segue:

- le Sezioni correnti Tipo B, C1, C2 e D (Figura 4, Figura 6, Figura 8 e Figura 10) sono sezioni cilindriche aventi spessore in chiave calotta pari a 50 cm e spessore in arco rovescio pari a 60 cm, entrambi non armati;
- la Sezione corrente Tipo E (Figura 12) è una sezione cilindrica avente spessore in chiave calotta pari a 70 cm e spessore in arco rovescio pari a 80 cm, entrambi non armati;
- la Sezione corrente Tipo F (Figura 14) è una sezione troncoconica avente spessore in chiave calotta variabile tra i 50 e i 120 cm e spessore in arco rovescio pari a 80 cm, entrambi non armati;
- La Sezione Tipo delle Piazzole di sosta (Figura 16) è una sezione cilindrica avente spessore in chiave calotta pari a 50 cm e spessore in arco rovescio pari a 60 cm; le Piazzole di sosta sono armate in arco calotta con 100 kg/m<sup>3</sup>.

Ai fini del dimensionamento strutturale, il calcestruzzo considerato ha classe di resistenza Rck=30 MPa.

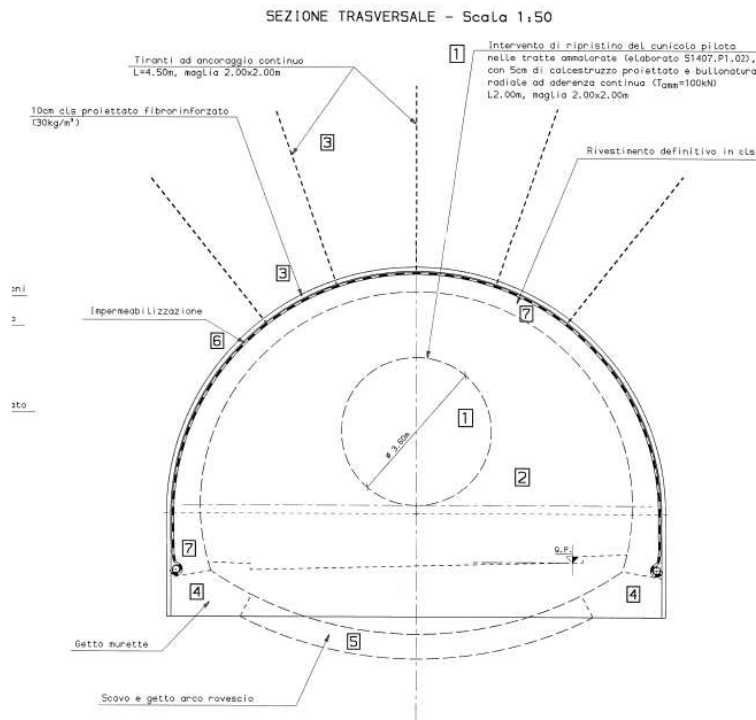


Figura 3 – PE GEODATA 1996 – Galleria Guinza - Sezioni Tipo B – Sezione di scavo



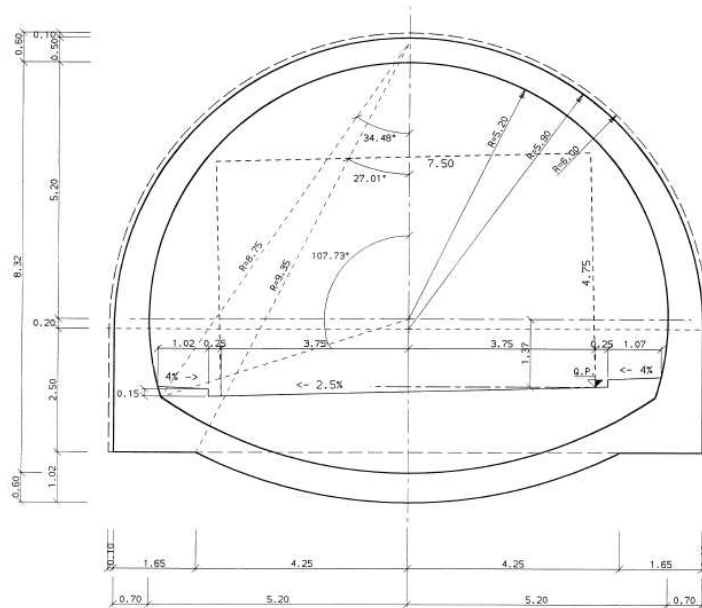


Figura 4 – PE GEODATA 1996 – Galleria Guinza - Sezioni Tipo B – Carpenteria

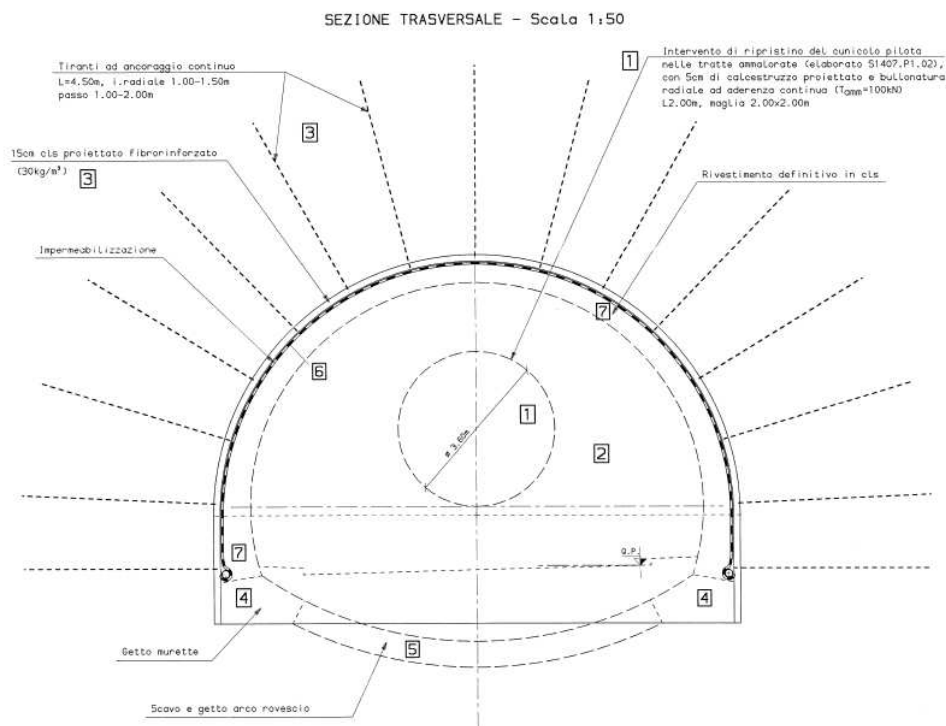


Figura 5 – PE GEODATA 1996 – Galleria Guinza - Sezioni Tipo C1 – Sezione di scavo

CARPENTERIA - Scala 1:50

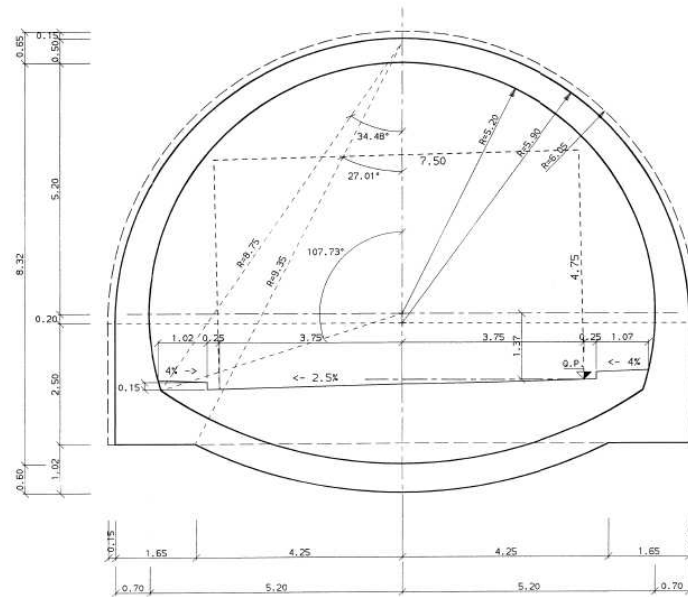


Figura 6 – PE GEODATA 1996 – Galleria Guinza - Sezioni Tipo C1 – Carpenteria  
SEZIONE TRASVERSALE - Scala 1:50

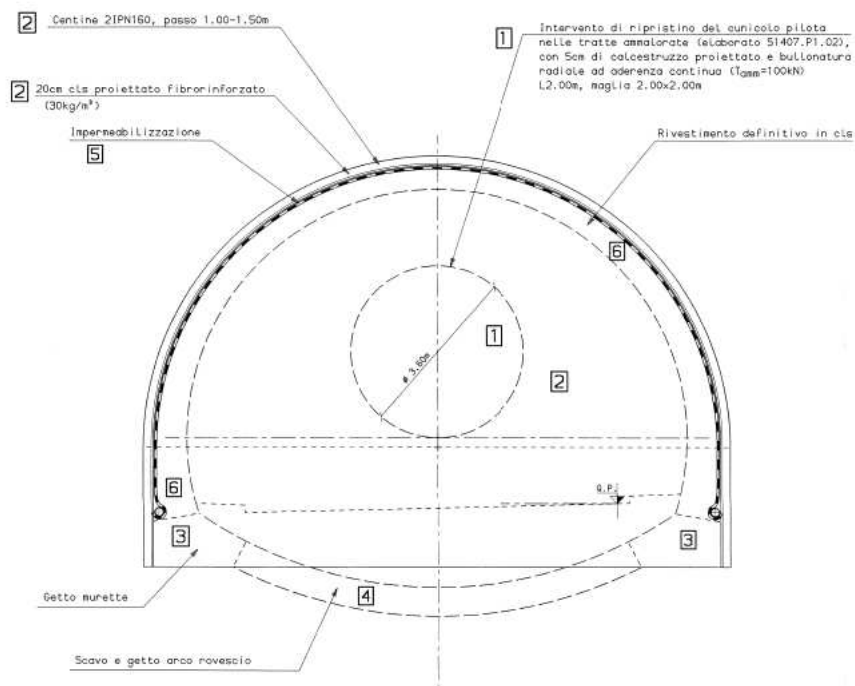


Figura 7 – PE GEODATA 1996 – Galleria Guinza - Sezioni Tipo C2 – Sezione di scavo

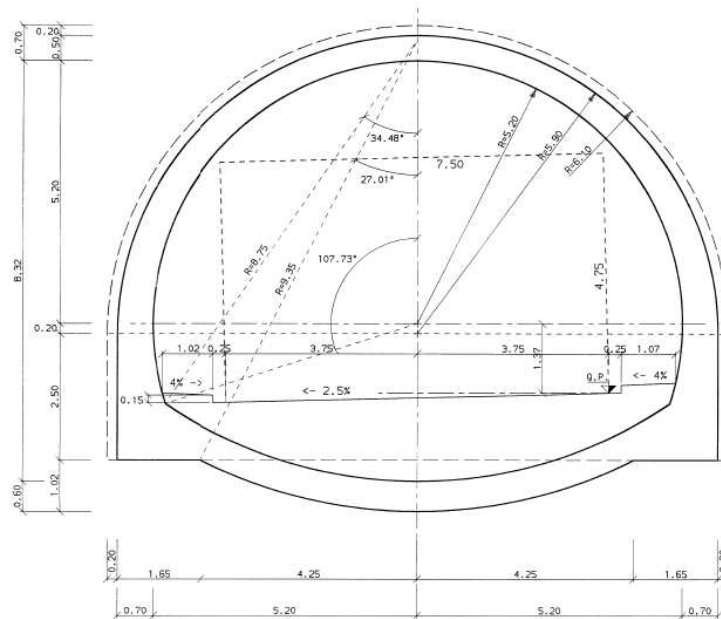


Figura 8 – PE GEODATA 1996 – Galleria Guinza - Sezioni Tipo C2 – Carpenteria

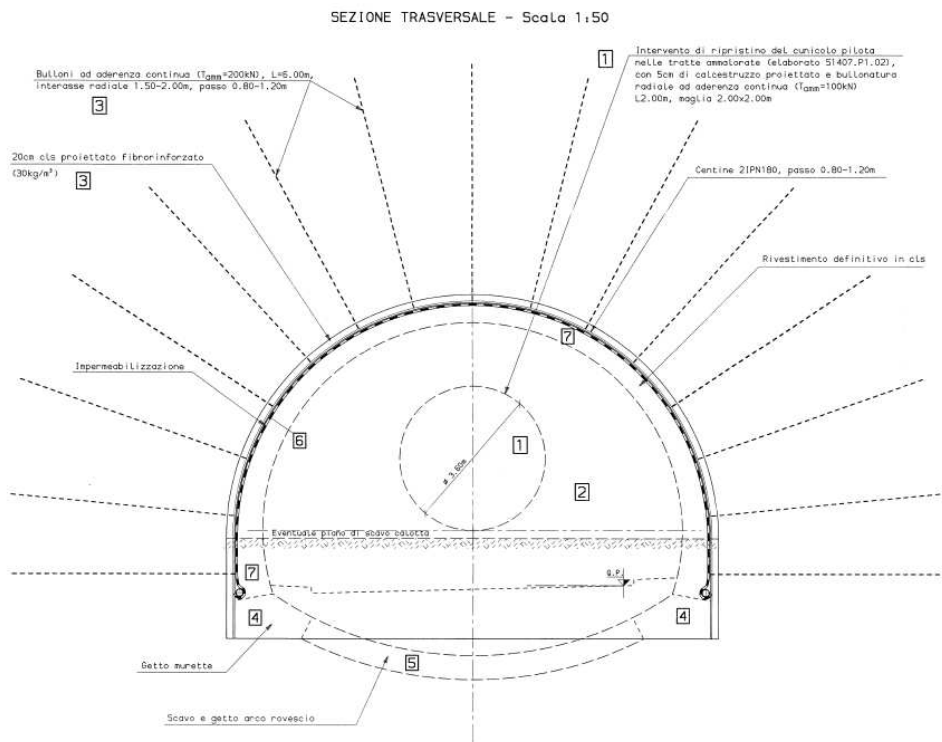


Figura 9 – PE GEODATA 1996 – Galleria Guinza - Sezioni Tipo D – Sezione di scavo

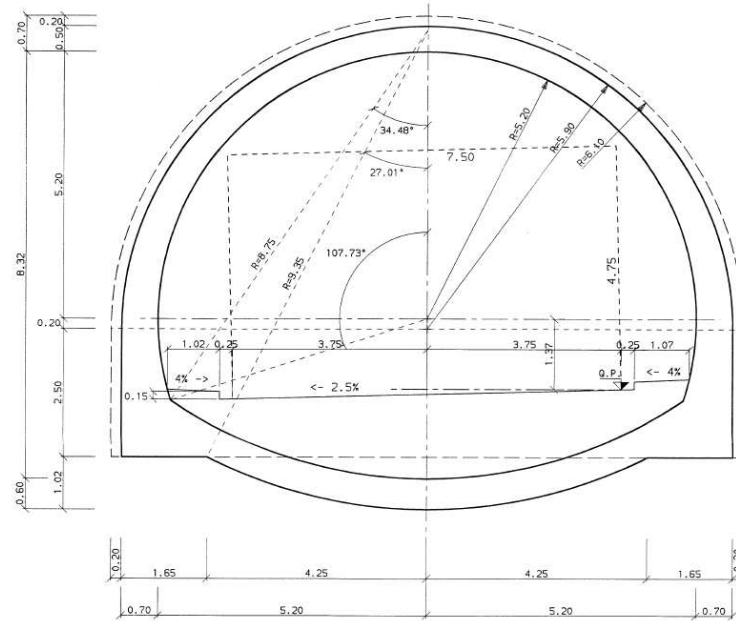


Figura 10 – PE GEODATA 1996 – Galleria Guinza - Sezioni Tipo D – Carpenteria

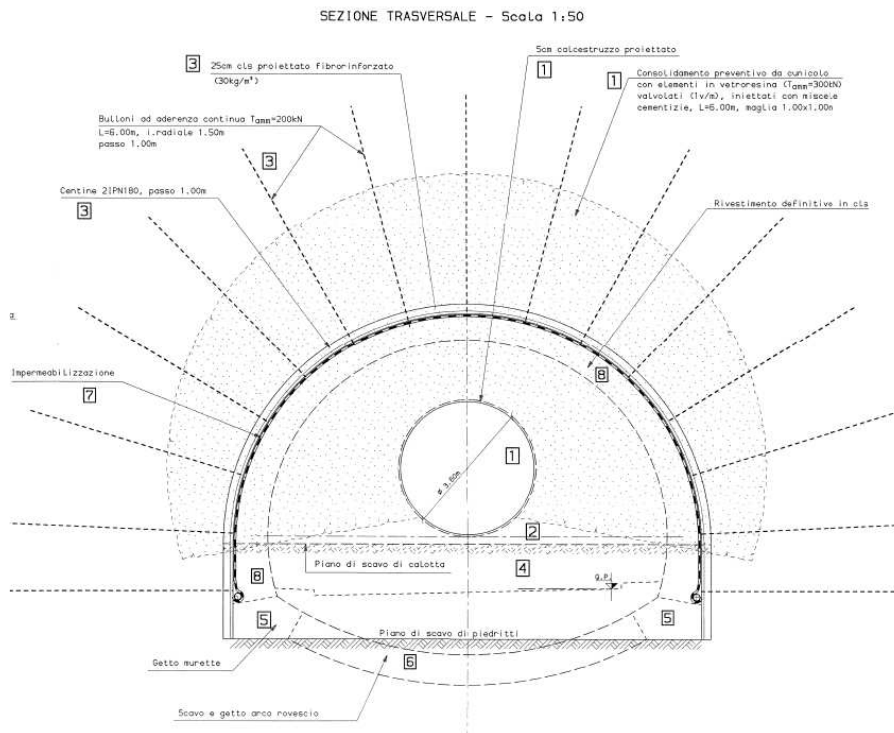


Figura 11 – PE GEODATA 1996 – Galleria Guinza - Sezioni Tipo E – Sezione di scavo

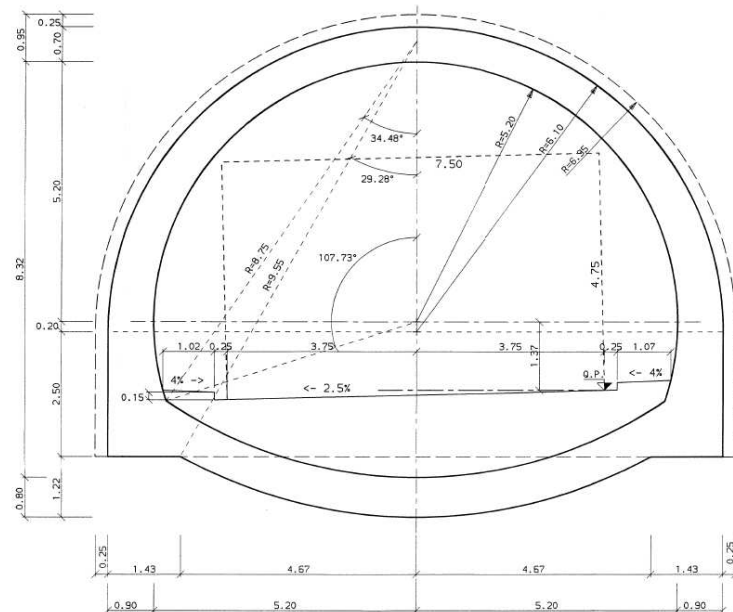


Figura 12 – PE GEODATA 1996 – Galleria Guinza - Sezioni Tipo E – Carpenteria

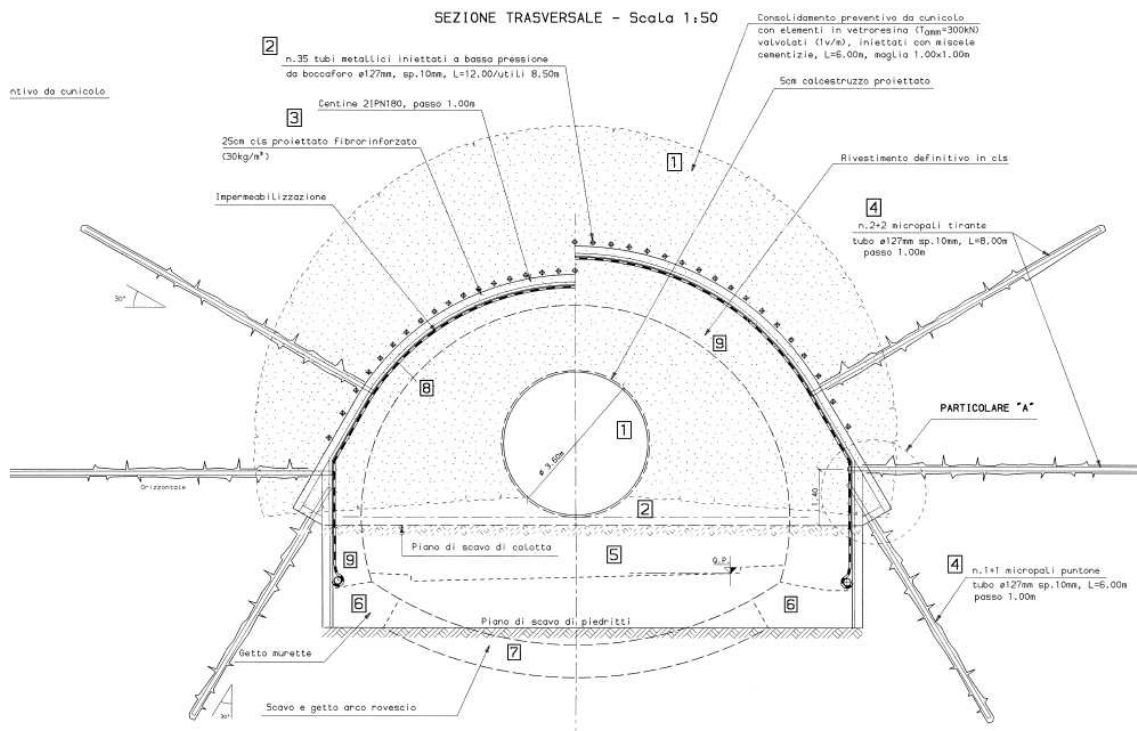


Figura 13 – PE GEODATA 1996 – Galleria Guinza - Sezioni Tipo F – Sezione di scavo

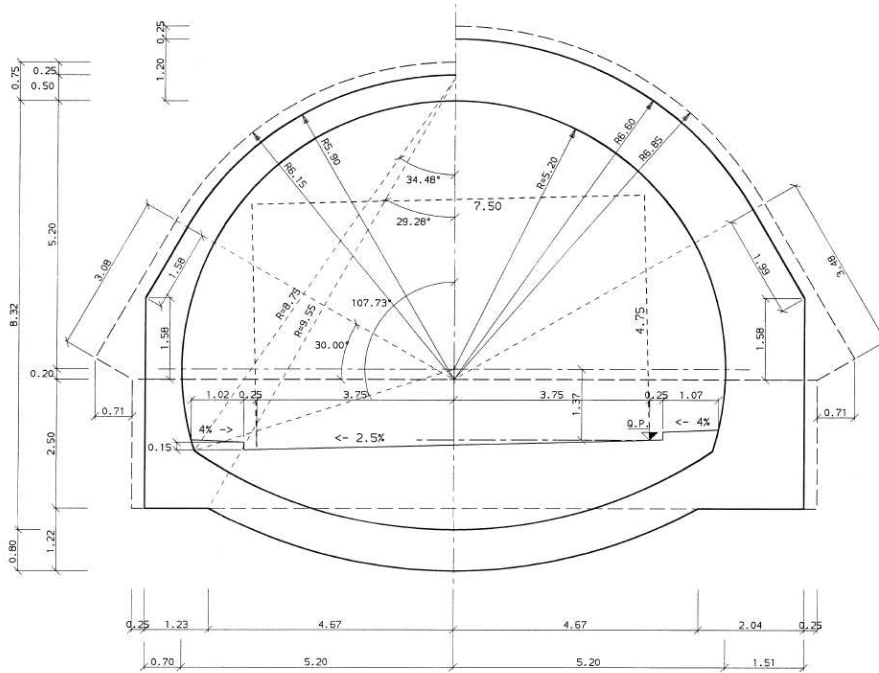


Figura 14 – PE GEODATA 1996 – Galleria Guinza - Sezioni Tipo F – Carpenteria  
 SEZIONE TRASVERSALE - Scala 1,50

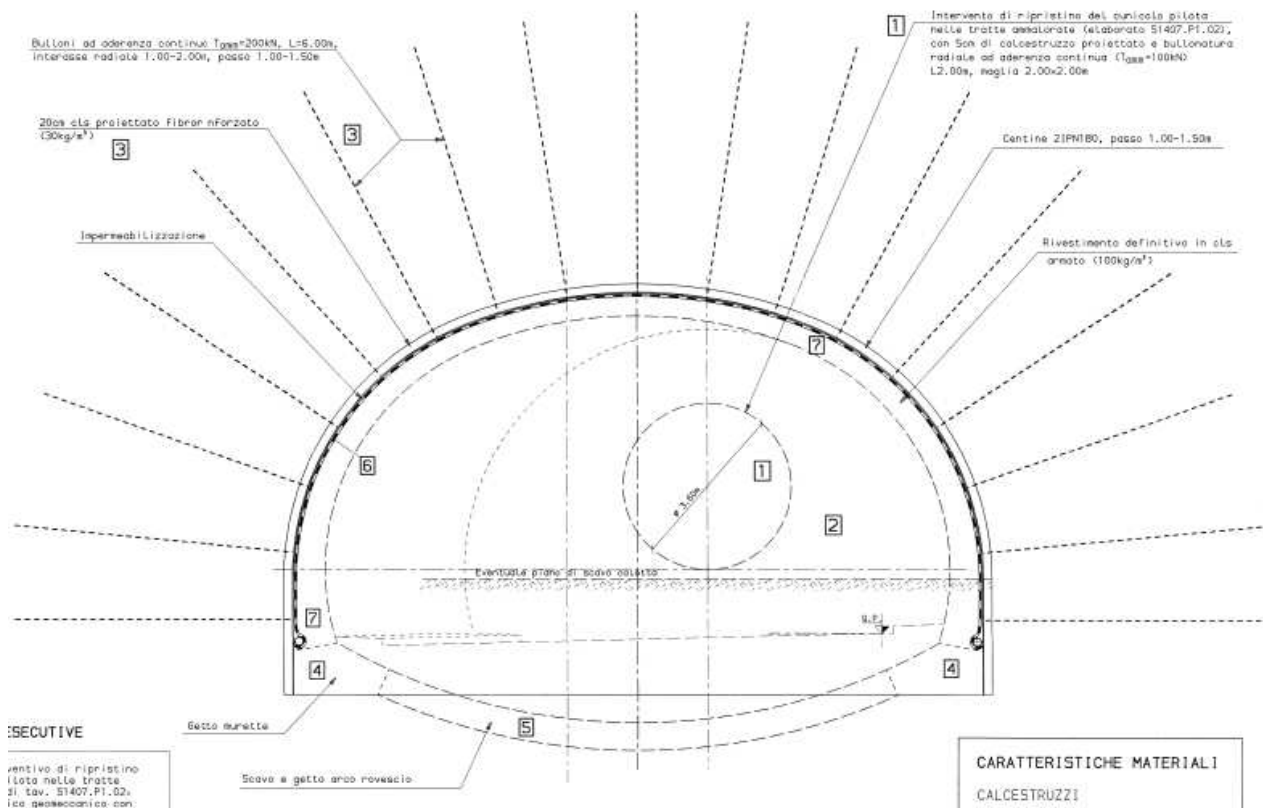
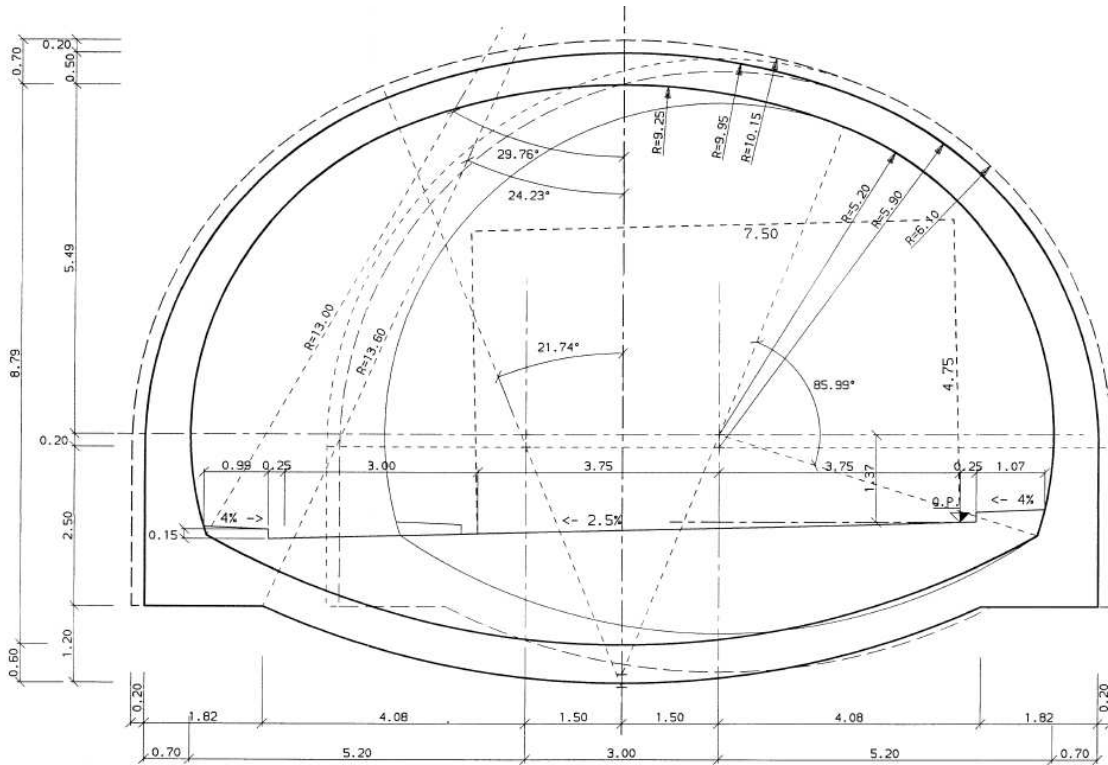


Figura 15 – PE GEODATA 1996 – Galleria Guinza – Piazzola di Sosta – Sezione di scavo



**Figura 16 – PE GEODATA 1996 – Galleria Guinza – Piazzola di Sosta - Carpenteria**

Dall'analisi del profilo geomeccanico di PE originario, l'impiego delle sezioni tipo lungo lo sviluppo della galleria era previsto secondo le seguenti percentuali.

|                        | % utilizzo |
|------------------------|------------|
| <b>Sezione tipo B</b>  | 3          |
| <b>Sezione tipo C1</b> | 41         |
| <b>Sezione tipo C2</b> | 11         |
| <b>Sezione tipo D</b>  | 33         |
| <b>Sezione tipo E</b>  | 1          |
| <b>Sezione tipo F</b>  | 10         |

Le sezioni impiegate con maggior frequenza risultano pertanto la sezione di scavo/tipo C1 e la sezione di scavo/tipo D, previste, sostanzialmente, in corrispondenza delle seguenti unità geomeccaniche di riferimento:

- La sezione tipo C1 in corrispondenza dell'unità G3.
- La sezione tipo D in corrispondenza dell'unità G4.

Pertanto, nella valutazione dei sottospessori identificati mediante le indagini georadar, si è fatto riferimento al rivestimento definitivo di queste sezioni tipo avente spessore in calotta pari a 50 cm.

### 3.2 Galleria Valpiana

Allo stato di fatto la Galleria Valpiana è una galleria naturale a canna singola di lunghezza pari a circa 237 m. La galleria ha un andamento pressoché rettilineo per tutta la lunghezza.

La sezione trasversale ha forma policentrica ad arco; la larghezza tra i piedritti è pari a circa 10 m, l'altezza in asse dal piano viabile è pari a circa 6.8 m.

Per quanto riguarda la galleria naturale Valpiana non sono stati reperiti i documenti del Progetto originario redatto da Geodata S.p.A. nel 1990 e nel 1996.

Dal documento contabile “Tav. 21-10.8 - Carpenteria e armatura Sezione Tipo Va Vb Vb\*” si evince che le sezioni correnti Tipo Va, Tipo Vb e Tipo Vb\* sono sezioni cilindriche aventi spessore in chiave calotta pari a 80 cm e spessore in arco rovescio pari a 90 cm, entrambi armati (Figura 17). Per la resistenza del calcestruzzo è richiesto un  $R_{ck} \geq 25$  MPa.

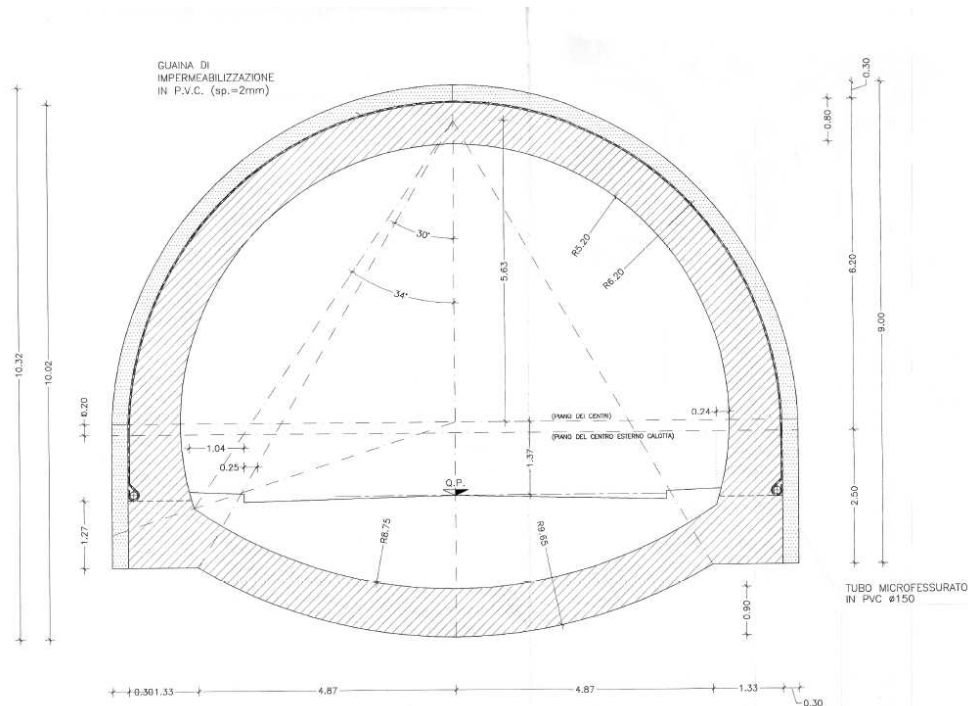
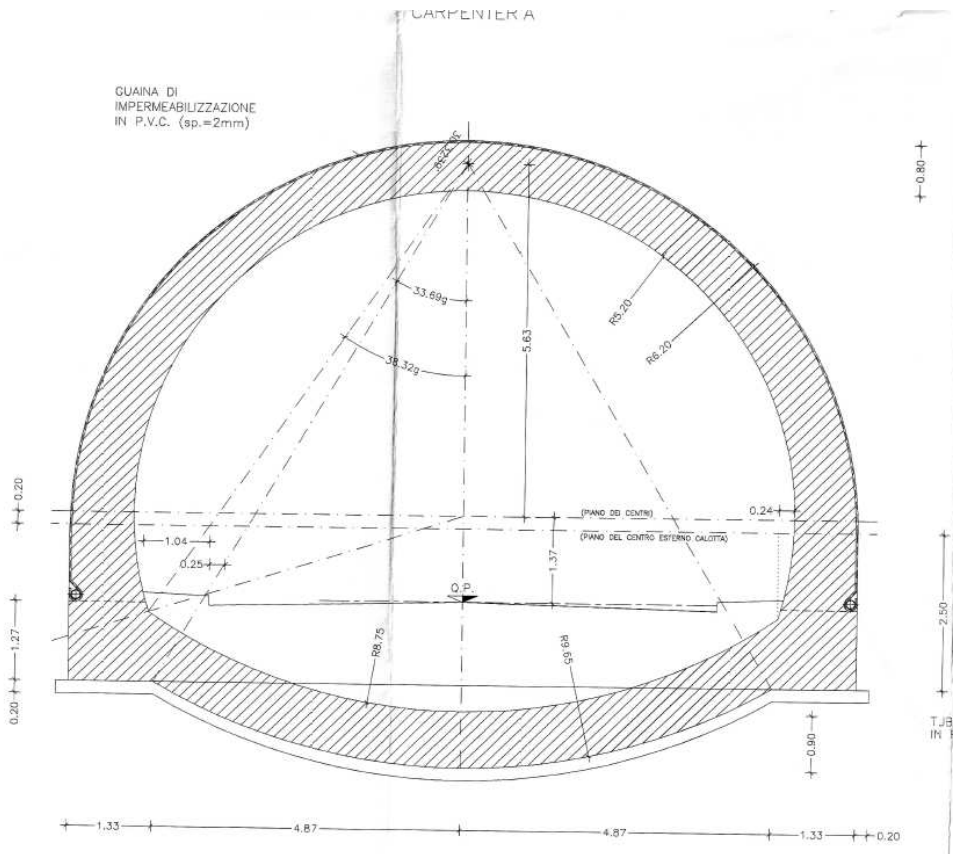


Figura 17 – Galleria Valpiana – Sezione Tipo Va, Tipo Vb e Tipo Vb\*

Dal documento contabile “Tav. 27-12.8 – Galleria artificiale Valpiana Ovest - Carpenteria e armatura” si evince che anche la sezione della galleria artificiale è una sezione cilindrica avente spessore in chiave calotta pari a 80 cm e spessore in arco rovescio pari a 90 cm, entrambi armati (Figura 18).





**Figura 18 – Galleria Valpiana – Sezione Tipo Galleria Artificiale**

In assenza di ulteriori informazioni relative alle altre sezioni tipo adottate (e agli spessori dei rivestimenti definitivi), nella valutazione dei sottospessori identificati mediante le indagini georadar, si è fatto riferimento alle stesse soglie adottate per la galleria naturale Guinza.

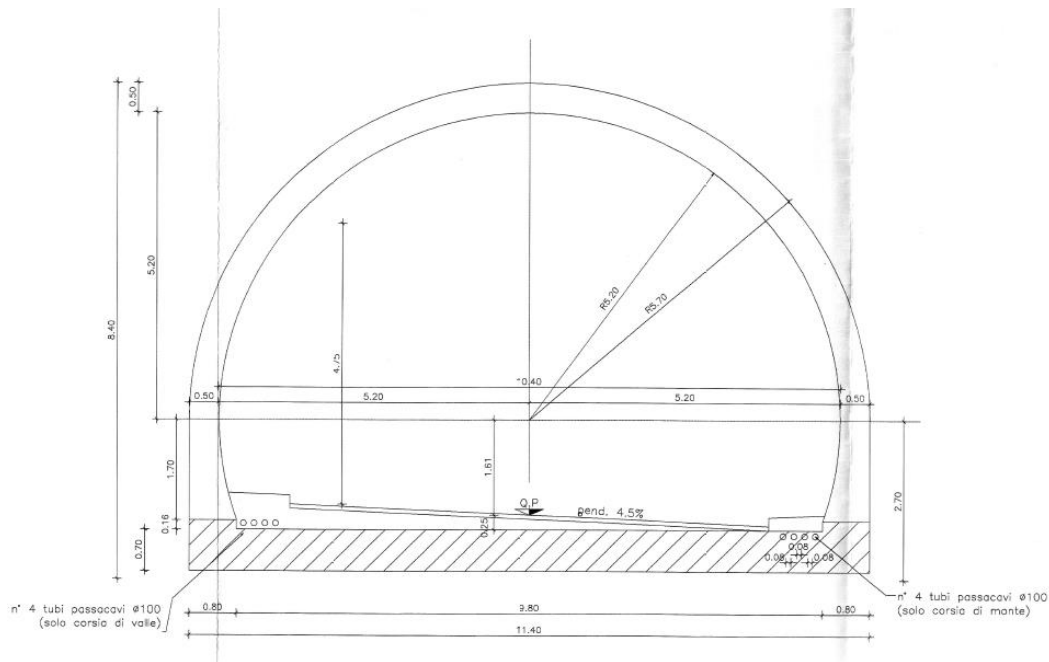
### 3.3 Galleria S. Veronica

Allo stato di fatto la Galleria S. Veronica è una galleria artificiale a canna singola di lunghezza pari a circa 61 m. La galleria S. Veronica si trova planimetricamente in corrispondenza di una curva del tracciato ma, a causa dell'elevato raggio di curvatura, non è caratterizzata da allargamenti della sezione della galleria.

La sezione trasversale ha forma monocentrica ad arco; la larghezza tra i piedritti è pari a circa 10 m, l'altezza in asse dal piano viabile è pari a circa 6.8 m.

Per quanto riguarda la galleria S. Veronica non sono stati reperiti i documenti del Progetto originario redatto da Geodata S.p.A. nel 1990 e nel 1996.

Dal documento contabile "Tav. 12-5.2 – Galleria artificiale Santa Veronica - Carpenteria" si evince invece che la galleria Santa Veronica è una galleria artificiale il cui rivestimento definitivo ha spessore in chiave calotta e sui piedritti pari a 50 cm; non ha un arco rovescio ma una platea avente spessore pari a 70 cm (Figura 19). Per la resistenza del calcestruzzo è richiesto un  $R_{ck} \geq 30$  MPa. Dal documento contabile "Tav. 20-5.3 – Galleria artificiale Santa Veronica Valle – Carpenteria armatura platea e sezione corrente" si evince che la sezione corrente è armata sia in calotta che in platea.



**Figura 19 – Galleria S. Veronica – Carpenteria**

Anche in questo caso, nella valutazione dei sottospessori identificati mediante le indagini georadar, si è fatto riferimento al rivestimento definitivo di queste sezioni tipo avente spessore in calotta pari a 50 cm.

### 3.4 Galleria S. Antonio

Allo stato di fatto la Galleria S. Antonio è una galleria naturale a doppia canna; la canna di transito, che verrà rimessa in esercizio, verrà identificata nel seguito come canna Sud e la canna d'emergenza verrà identificata nel seguito come canna Nord. La lunghezza della canna Sud è di circa 655 m.

Facendo riferimento al Progetto Esecutivo effettuato da Geodata nel 1996, la relazione "GN05.RC01 Galleria naturale S. Antonio - Relazione di calcolo" riporta le seguenti informazioni relative alla Galleria naturale S. Antonio, costituita da due canne parallele denominate nel seguito S. Antonio Sud e S. Antonio Nord.

Il Progetto prevede per la sezione corrente 3 Sezioni Tipo: la Sezione Tipo V A, la Sezione Tipo IV A e la Sezione Tipo IV C, ognuna delle quali associata a un determinato ammasso geomeccanicamente omogeneo.

In termini di rivestimenti definitivi si evince quanto segue:

- le Sezioni Tipo IV A e IV C (Figura 20 e Figura 21) sono sezioni cilindriche aventi spessore in chiave calotta pari a 50 cm, spessore in corrispondenza dei piedritti pari a 70 cm e spessore in chiave arco rovescio pari a 50 cm;
- la Sezione Tipo V A (Figura 22) è una sezione troncoconica avente spessore in chiave calotta variabile tra i 50 e i 120 cm, spessore in corrispondenza dei piedritti variabile tra i 70 e i 140 cm e spessore in chiave arco rovescio pari a 50 cm;

Ai fini del dimensionamento strutturale, il calcestruzzo considerato ha classe di resistenza  $R_{ck}=30$  MPa.

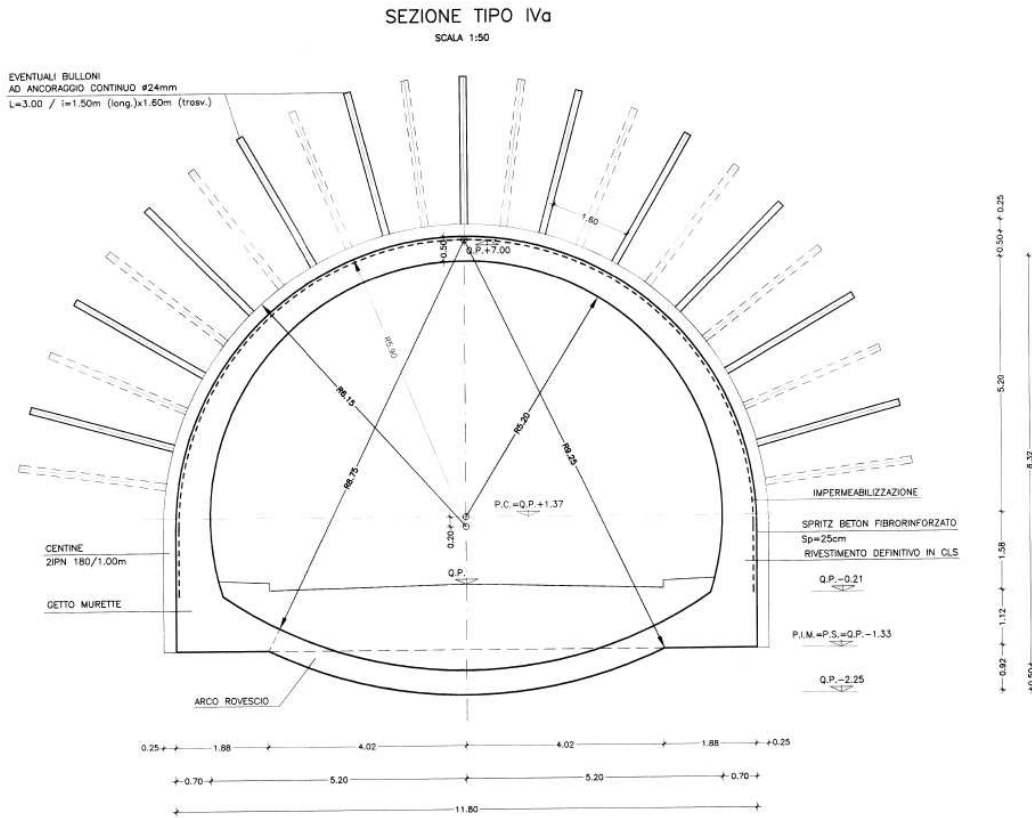


Figura 20 – PE GEODATA 1996 – Galleria S. Antonio – Sezione Tipo IVa

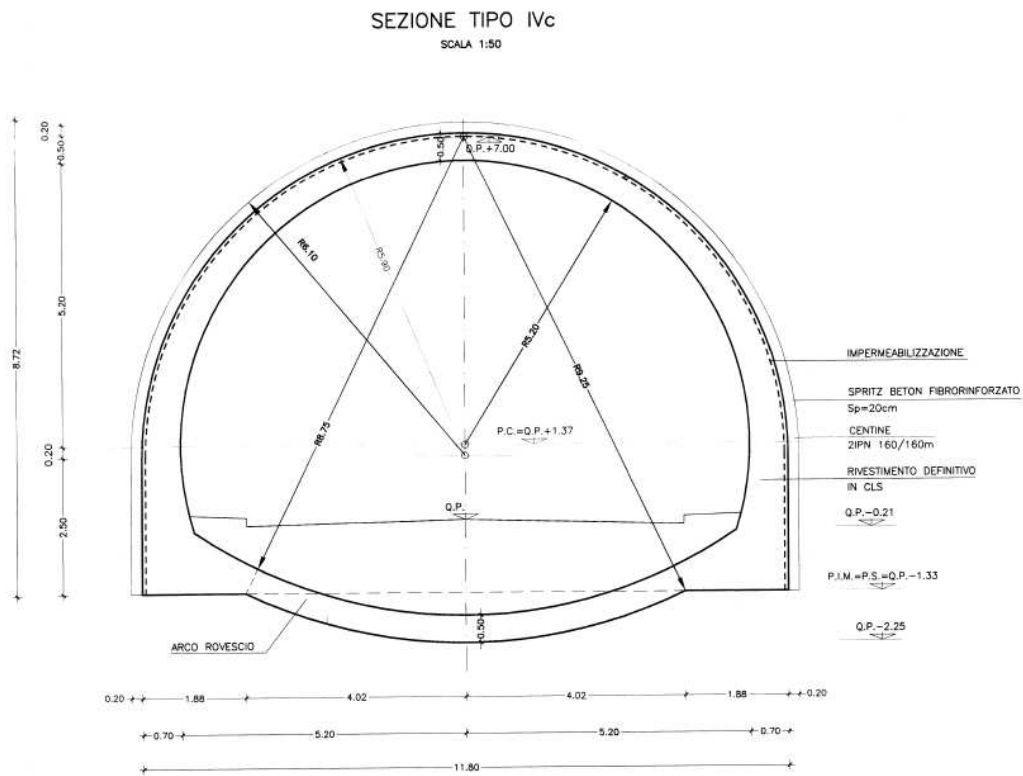
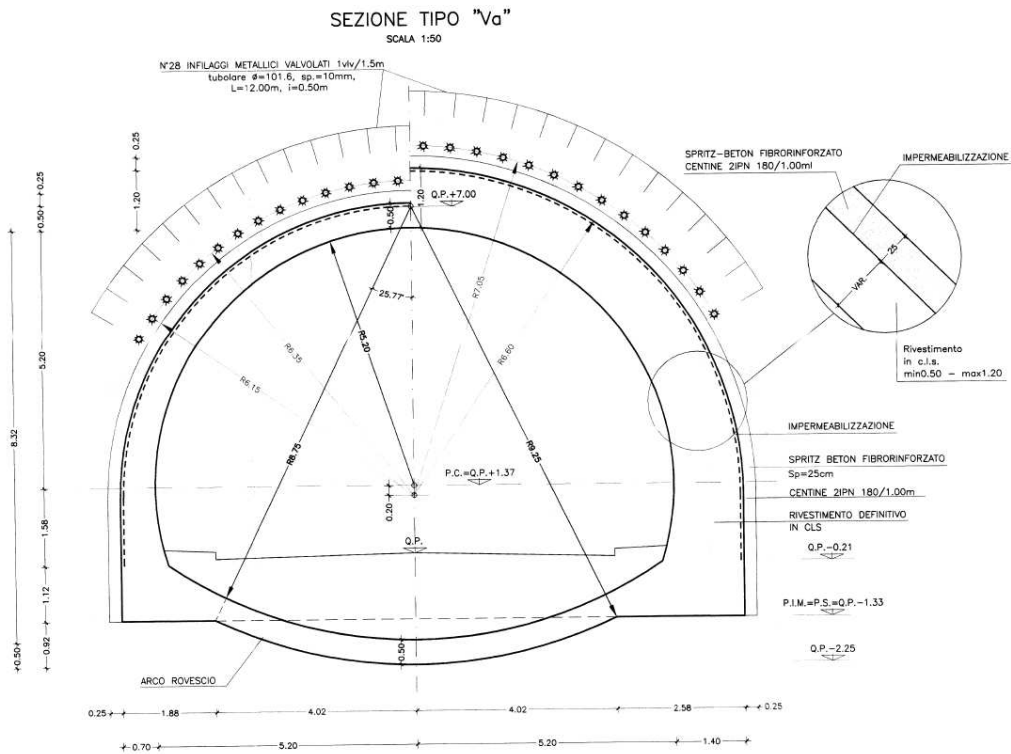


Figura 21 – PE GEODATA 1996 – Galleria S. Antonio – Sezione Tipo IVc



**Figura 22 – PE GEODATA 1996 – Galleria S. Antonio – Sezione Tipo Va**

Dall'analisi del profilo geomeccanico di PE originario, l'impiego delle sezioni tipo lungo lo sviluppo della galleria era previsto secondo le seguenti percentuali.

|                    | estensione | % utilizzo |
|--------------------|------------|------------|
| <b>Sezione IVa</b> | 260 m      | 42%        |
| <b>Sezione IVc</b> | 202 m      | 33%        |
| <b>Sezione Va</b>  | 157 m      | 25%        |

Le sezioni impiegate con maggior frequenza risultano pertanto le sezioni tipo Iva e IVc; pertanto, nella valutazione dei sottospessori identificati mediante le indagini georadar, si è fatto riferimento al rivestimento definitivo di queste sezioni tipo avente spessore in calotta pari a 50 cm.

## 4 RISULTANZE DELLE INDAGINI STRUTTURALI

### 4.1 Indagini Georadar

Al fine di avere informazioni sullo spessore del rivestimento definitivo delle gallerie sono state eseguite delle indagini georadar.

Già nel PD erano stati realizzati 3 stendimenti longitudinali all'asse della galleria Guinza [10] nei punti indicati con i tratti rossi e le lettere A, B e C nella Figura 23:

- Posizione A: paramento sinistro;
- Posizione B: chiave di calotta;
- Posizione C: paramento destro.

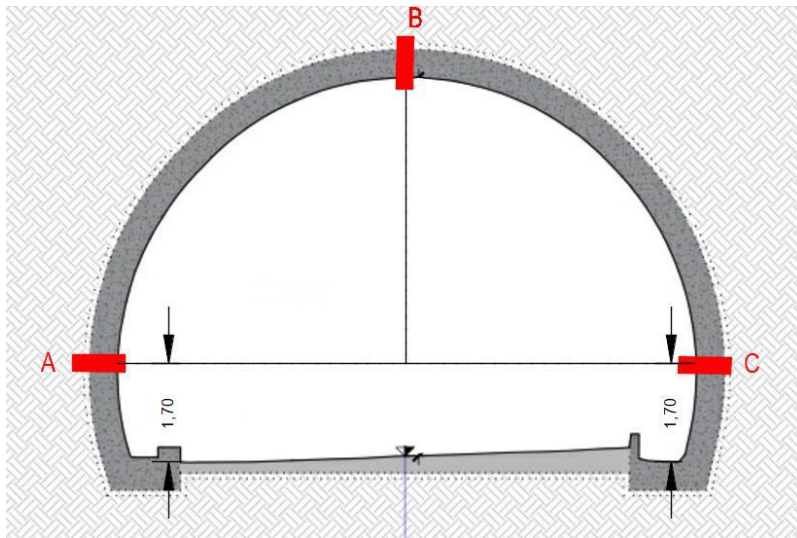


Figura 23: Posizionamento stendimenti georadar

Si sottolinea che tali profili, a valle di un controllo della progressivazione dei punti fissi su cui si appoggiavano gli stendimenti georadar, sono frutto di un riposizionamento rispetto a quanto graficamente rappresentato negli elaborati del Progetto definitivo del 2019.

Al fine di completare il quadro conoscitivo degli spessori dei rivestimenti della galleria Guinza, in fase di PE è stato prescritto il completamento dei rilievi georadar effettuati in PD nelle tratte rimaste scoperte per un'estensione superiore a circa 10 m per una lunghezza complessiva di 2231m, 1013m e 1757m rispettivamente per gli stendimenti A, B e C. I risultati di tali indagini integrative sono riportati negli elaborati grafici [15].

Per la galleria Guinza, i profili georadar completi ottenuti dalla combinazione dei profili di PD, con l'opportuna correzione delle progressive, e dei profili integrativi di PE sono riportati degli elaborati grafici [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34] e [35].

Riguardo invece le gallerie Valpiana, Santa Veronica e Sant'Antonio Nord e Sud, delle quali nel PD non esisteva alcun dato inerente gli effettivi spessori del rivestimento gettato in opera, è stato richiesto in fase di PE l'esecuzione di 3 stendimenti longitudinali lungo tutto lo sviluppo, disposti uno in calotta e 2 sul piano dei centri, nei punti indicati nella Figura 23. I risultati di tali indagini sono riportati rispettivamente negli elaborati grafici [53] per la galleria Valpiana, [54] per la galleria S. Veronica, [55], [56] e [57] per la galleria S. Antonio Nord e [58] e [59] per la galleria S. Antonio Sud.

Dall'analisi dei risultati del georadar, si osserva che:

- nella Galleria Guinza sono presenti:
  - tratti con spessori inferiori a quelli richiesti da progetto (<50cm in calotta e < 70cm sui piedritti) tra cui:

- tratti con spessori sui piedritti inferiori a 30 cm per una lunghezza complessiva di circa 400m;
- tratti con spessori in calotta inferiori a 30cm per una lunghezza complessiva di circa 280m;
- tratti in cui non è stato rilevato lo spessore del rivestimento a causa della presenza di acqua tra le progressive 2+610 e 2+970, tra 3+310 e 3+365 e tra 4+220 e 5+045.
- la Galleria Valpiana risulta scavata per buona parte con una sezione troncoconica non armata. Anche se gli spessori in corrispondenza della sezione minima del tratto tronco-conico sono inferiori ai 50 cm, gli spessori medi sembrano in sufficienti, a meno di un paio di sezioni con spessori, anche se puntuali, sotto i 30 cm.
- nella Galleria S. Veronica le indagini hanno evidenziato solo la presenza dell’armatura in intradosso e non lo spessore dei rivestimenti.
- nella Galleria S. Antonio Sud sono stati rilevati dei tratti armati seguiti da tratti troncononici in corrispondenza di entrambi gli imbocchi con spessori medi intorno agli 80-100cm e spessori minimi in generale superiori a 50cm. Il tratto centrale della galleria sembra essere cilindrico con uno spessore sui piedritti tendenzialmente superiore a 50cm ma ampie tratte con ridotti spessori in calotta (variabili tra i 30 e i 50cm) e per circa un centinaio di metri anche inferiori a 30cm.
- analogamente, la Galleria S. Antonio Nord presenta dei tratti agli imbocchi armati seguiti da tratti troncoconici con spessori tra gli 80-100cm. Il tratto centrale cilindrico presenta piedritti con spessori maggiori di 50cm e calotta con spessori variabili tra i 30 e i 50 cm e solo un tratto molto ridotto (di lunghezza minore di 5m) con spessore inferiore a 30cm.

## 4.2 Prove di compressione su carotaggi e sclerometri

La resistenza del calcestruzzo in sito è stata indagata attraverso delle prove di compressione monoassiale su provini cilindrici ottenuti attraverso carotaggi e attraverso delle prove sclerometriche.

Nell’ambito del PD erano già state eseguite 14 prove di compressione all’interno della Galleria i cui risultati sono riportati nella Relazione indagini in galleria di PD [9].

Al fine di avere una conoscenza più approfondita della proprietà del cls in sito, nell’ambito del PE, si è ritenuto opportuno richiedere ulteriori indagini dirette della resistenza del cls ma anche delle prove indirette (sclerometri). Infatti, come specificato dal Par C.8.5.4.2 della Circolare esplicativa delle NTC2018, *“Ai fini delle prove sui materiali e consentito sostituire alcune prove distruttive, non più del 50%, con almeno il triplo di prove non distruttive, singole o combinate, tarate su quelle distruttive”*.

La Tabella 1 riporta un riassunto delle prove dirette e indirette eseguite sul rivestimento di ciascuna galleria nell’ambito del PE.

| n. prove PE     | L <sub>galleria</sub> | Prove di compressione monoassiale su carote cilindriche | Prove sclerometriche |
|-----------------|-----------------------|---|----------------------|
| Guinza          | 5952                  | 136   | 680                  |
| Valpiana        | 237                   | 3   | 12                   |
| S, Veronica     | 44                    | 2   | 10                   |
| S. Antonio Sud  | 646                   | 11  | 82                   |
| S. Antonio Nord | 840                   | 13  | 94                   |

**Tabella 1: Numero indagini PE per la resistenza a compressione**

I risultati delle indagini sono stati riportati in dettaglio nella Relazione sulle indagini strutturali [11].

L’elaborazione dei dati per la definizione della resistenza del calcestruzzo è stata eseguita in accordo con le “Linee guida per la valutazione delle caratteristiche del calcestruzzo in opera” del Settembre 2017, redatta dal Consiglio Superiore per i lavori pubblici [3].

In particolare, si è fatto riferimento al Par. 3.3: “Prescrizioni specifiche per la stima della resistenza in situ mediante carotaggi da utilizzare nella valutazione di costruzioni esistenti”. Secondo tale linea guida per le costruzioni esistenti non si fa riferimento a valori caratteristici ma a valori di resistenza medi.

Per la definizione della resistenza media si è deciso di suddividere le gallerie in tratte di 200m e considerare tutti i risultati delle prove, sia dirette che indirette, ricadenti all'interno. Si sottolinea che per ciascuna tratta il numero delle prove sclerometriche è sempre maggiore di 3 volte il numero dei carotaggi (ad eccezione degli ultimi 200m della galleria S. Antonio Nord).

Per ciascuna tratta, la resistenza media del calcestruzzo  $f_{m(n),is,tot}$  è stata ottenuta come la media del valore medio cilindrico della resistenza a compressione sui carotaggi ( $f_{m(n),is,car}$ ) e la resistenza media fornita dalle prove sclerometriche ( $f_{m(n),is,scler}$ ):

$$f_{m(n),is,tot} = \text{media} ( f_{m(n),is,car} ; f_{m(n),is,scler} )$$

Si specifica che, il valore medio cilindrico della resistenza a compressione su n carotaggi prelevati in sito  $f_{m(n),is,car}$  si ottiene come segue:

$$f_{m(n),is,car} = \text{media} ( f_i \times F_{d(i)} )$$

dove:

- o  $f_i$  resistenza a compressione cilindrica di ciascun campione (i)
- o  $F_{d(i)}$  fattore di disturbo

Il Fattore di Disturbo è un fattore moltiplicativo della resistenza misurata sulla carota che tiene conto del fatto che la resistenza determinata su carota è inferiore alla resistenza del cls posto in sito a causa di diversi fattori quali la snellezza del campione, dal disturbo delle operazioni di prelievo o l'annullamento del confinamento degli aggregati.

|                                   |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------|------|------|------|------|------|------|
| $f_{carota}$ [N/mm <sup>2</sup> ] | 10   | 20   | 25   | 30   | 35   | 40   |
| Fd                                | 1.10 | 1.09 | 1.08 | 1.06 | 1.04 | 1.00 |

**Tabella 2: Tabella del fattore di disturbo in funzione della resistenza a compressione delle carote (h/d=1; d=100mm) – Da Par 3.2 di [3]**

Infine, ai valori di resistenza media calcolata sulla base delle prove in sito  $f_{m(n),is,tot}$  dovranno essere applicati dei "fattori di confidenza"  $F_{conf}$ :

$$F_{conf} \times f_{m(n),is,tot}$$

I fattori di confidenza riducono gli stessi valori calcolati in base al livello di conoscenza conseguito nelle indagini conoscitive come indicato nel Par. C8.5.4 "Livelli di conoscenza e fattori di confidenza" della Circolare applicativa della NTC2018. Per il caso in esame si ritiene che il livello di conoscenza che è stato ottenuto dalle prove in sito è pari a LC3 e dunque il fattore di conoscenza corrispondente è pari a 1 (si veda tabella C8.5.IV della Circolare). Il livello di conoscenza LC3 è giustificato dal fatto di avere alcune delle specifiche originali di progetto ed estese prove in sito in relazione alla lunghezza di ogni singola galleria (si veda Tabella 1).

Nella seguente Figura 24, Figura 25, Figura 26, Figura 27 e Figura 28 sono rappresentati in funzione delle progressive relative e per ciascuna galleria:

- le resistenze puntuali del calcestruzzo fornite dalle prove sclerometriche (punti azzurri);
- le resistenze puntuali del calcestruzzo fornite dalle prove di compressione su carotaggi (punti arancioni); solo per la Galleria Guinza gli asterischi blu rappresentano le resistenze ricavate dai carotaggi eseguiti in PD.
- la resistenza media  $f_{m(n),is,tot}$  su tratte di 200m calcolata sulla base delle prove in sito a cui è stato applicato un "fattore di confidenza"  $F_{conf} = 1$  (linea nera).

Per confronto, negli stessi grafici è rappresentata con una linea rossa la resistenza media  $f_{cm}$  del calcestruzzo prescritta nel progetto originale. Dagli As built di progetto si deduce che per rivestimento definitivo di tutte le gallerie è stato prescritto un calcestruzzo C25/30, ovvero con un  $f_{ck}=25\text{Mpa}$ . Di conseguenza, come indicato nel Par. 11.2.10.1 delle NTC2018, la resistenza media di progetto risulta pari a:

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 = 25 + 8 = 33 \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Dall'analisi delle figure si osserva che:

- Per la galleria Valpiana, S. Veronica e S. Antonio Sud, la resistenza media  $f_{m(n),is,tot}$  è sempre maggiore della resistenza media di progetto  $f_{cm}$ ;

- Per la Galleria Guinza, sostanzialmente tutta la tratta dalla progressiva relativa 2+600 fino alla fine della galleria la resistenza media  $f_{m(n),is,tot}$  è inferiore della resistenza media di progetto  $f_{cm}$ ;
- Per la Galleria S. Antonio Nord la resistenza media  $f_{m(n),is,tot}$  è sempre maggiore della resistenza media di progetto  $f_{cm}$  ad eccezione del tratto tra la progr. relativa 0+400 e 0+600 dove sostanzialmente le resistenze si equiparano.

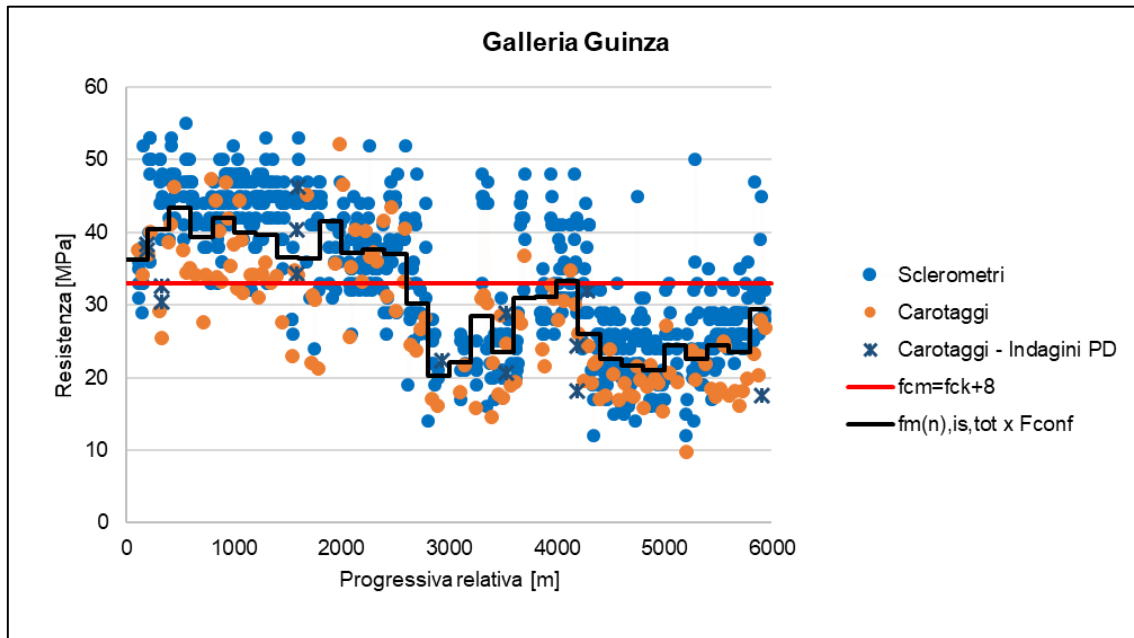


Figura 24: Resistenza del calcestruzzo da prove in sito – Galleria Guinza

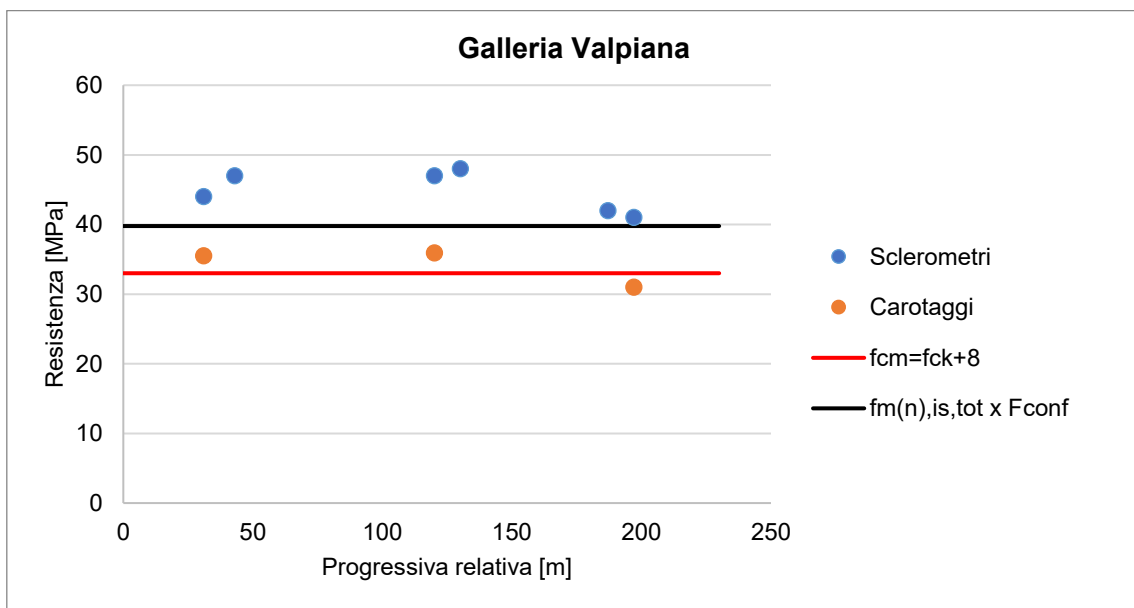


Figura 25: Resistenza del calcestruzzo da prove in sito – Galleria Valpiana



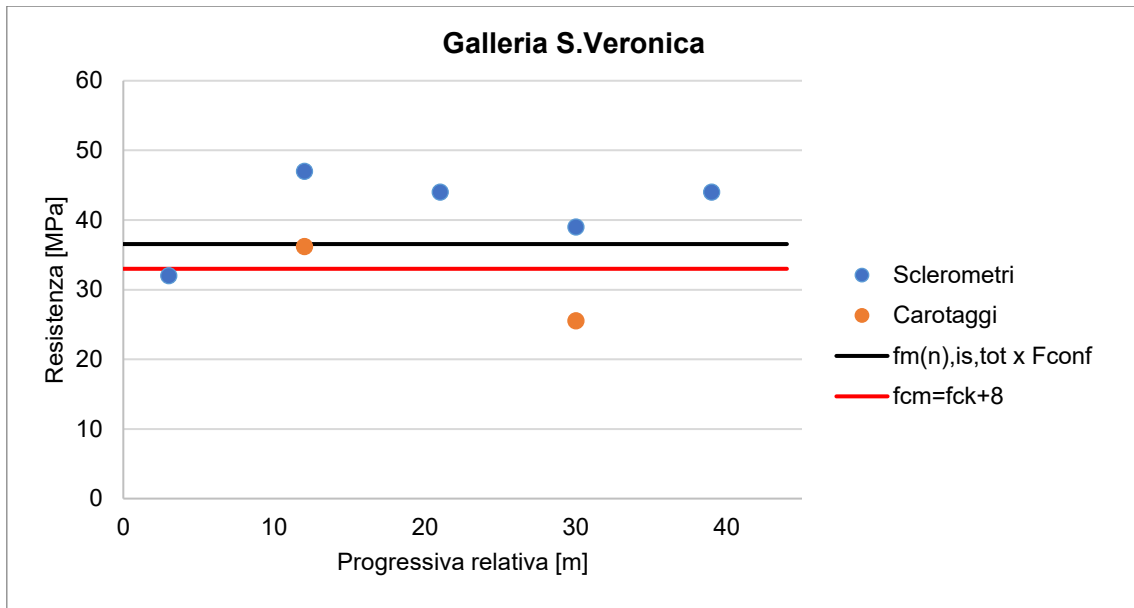


Figura 26: Resistenza del calcestruzzo da prove in sito – Galleria S. Veronica

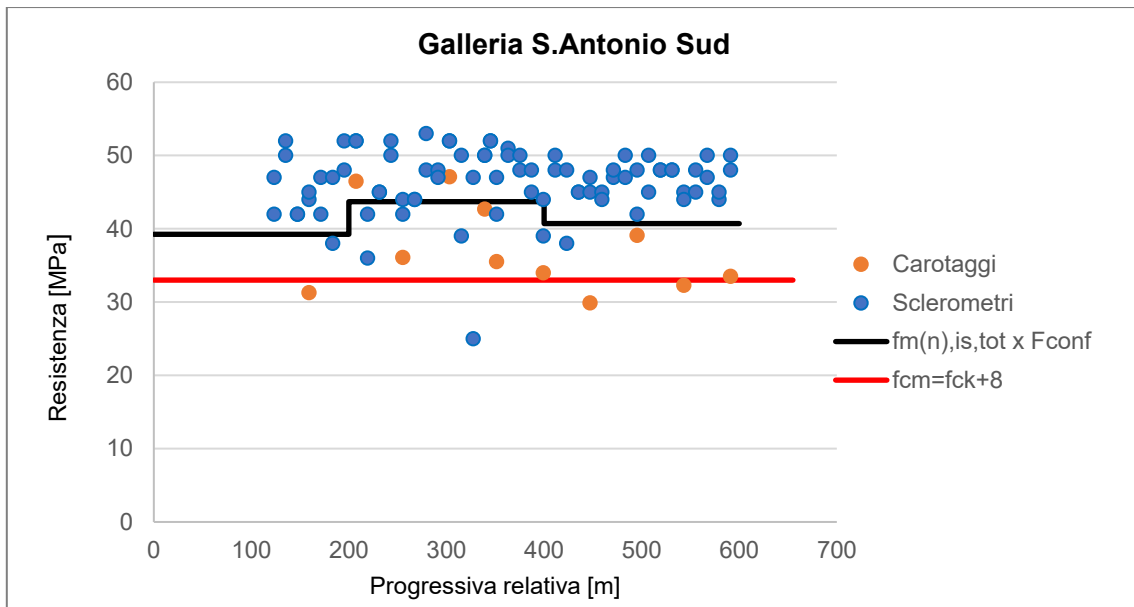


Figura 27: Resistenza del calcestruzzo da prove in sito – Galleria S. Antonio Sud

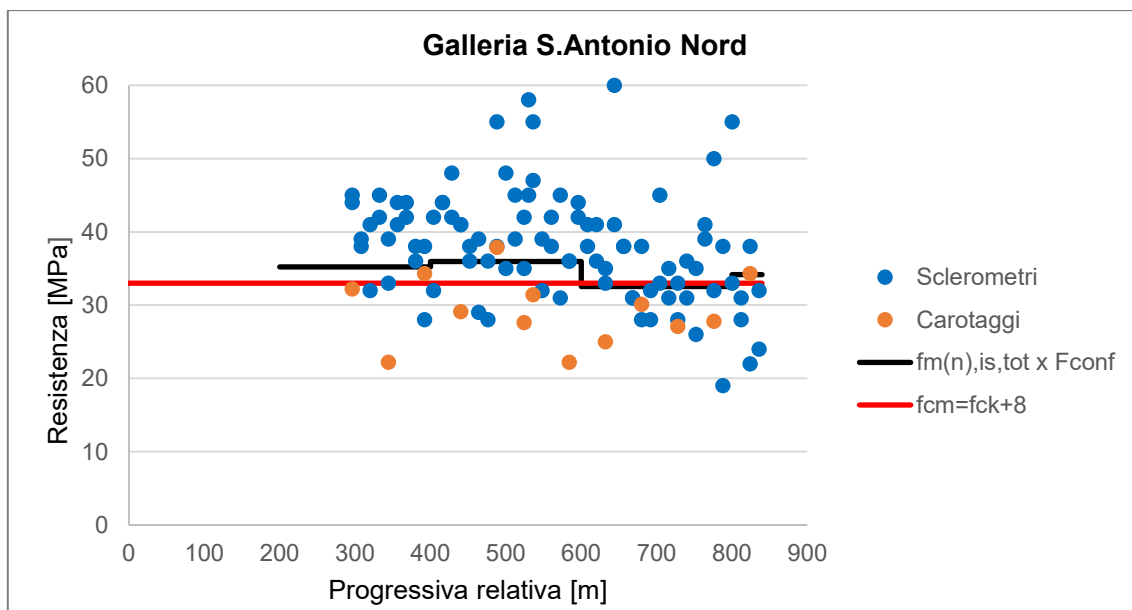


Figura 28: Resistenza del calcestruzzo da prove in sito – Galleria S. Antonio Nord

### 4.3 Martinetti piatti

Lo stato di sforzo all'interno del rivestimento definitivo è stato indagato attraverso delle prove con i martinetti piatti.

Nel PD sono state eseguite 15 prove su martinetti piatti nella Galleria Guinza che hanno fornito valori di sollecitazioni abbastanza limitati fino ad un massimo di 6.62Mpa circa alla progr rel 2+550; i risultati di tali indagini sono riportati al Par. 5.2 della Relazione [9] e rappresentati graficamente con delle croci verde scuro in Figura 29.

In fase di PE si è ritenuto necessario integrare il numero di prove sull'interno sviluppo della Galleria Guinza ma anche nella Galleria Valpiana e S. Antonio Sud e Nord. Si fa notare che nella Galleria S. Veronica non sono stati previsti martinetti piatti in quanto si tratta di una galleria artificiale interamente armata e per cui sarebbe stato necessario tagliare i ferri di armatura per poter eseguire la prova. La Tabella 3 riassume il numero di prove che sono state eseguite per ciascuna galleria.

| n. prove PE     | L <sub>galleria</sub> [m] | n. Martinetti piatti |
|-----------------|---------------------------|----------------------|
| Guinza          | 5952                      | 136                  |
| Valpiana        | 237                       | 3                    |
| S, Veronica     | 44                        | 0                    |
| S. Antonio Sud  | 646                       | 11                   |
| S. Antonio Nord | 840                       | 13                   |

Tabella 3: Numero indagini PE per la resistenza a compressione

I risultati delle indagini sono stati riportati in dettaglio nella Relazione sulle indagini strutturali [11].

Nelle seguenti Figura 29, Figura 30, Figura 31 e Figura 32 sono riportati i risultati delle prove dei martinetti piatti in funzione della progressiva relativa di ciascuna galleria. Per semplicità di confronto, negli stessi grafici è riportata la stessa resistenza media  $f_{m(n),is,tot} \times F_{conf}$  su tratte di 200m riportata nel paragrafo precedente. Per tutte le gallerie si osserva che le sollecitazioni agenti sul rivestimento sono di gran lunga inferiori alla resistenza del materiale.

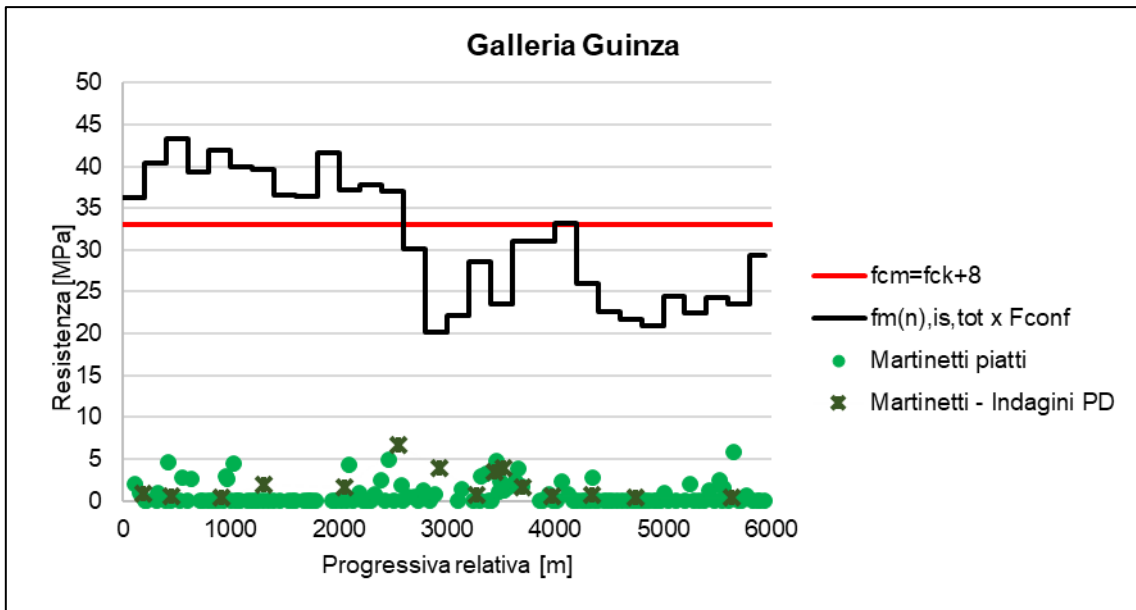


Figura 29: Stato tensionale – Galleria Guinza

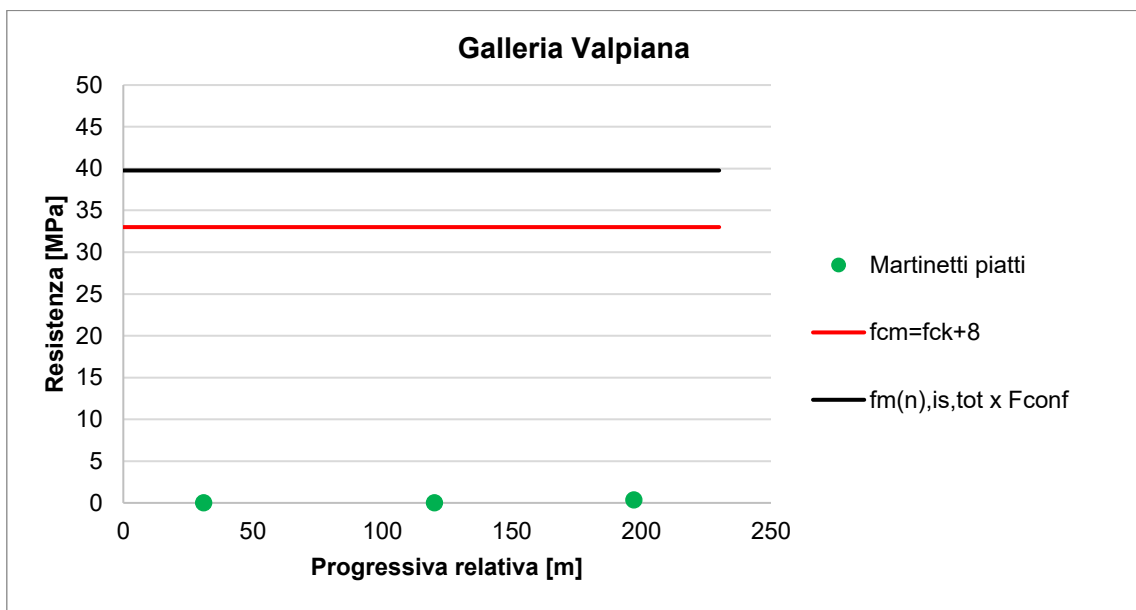


Figura 30: Stato tensionale – Galleria Valpiana

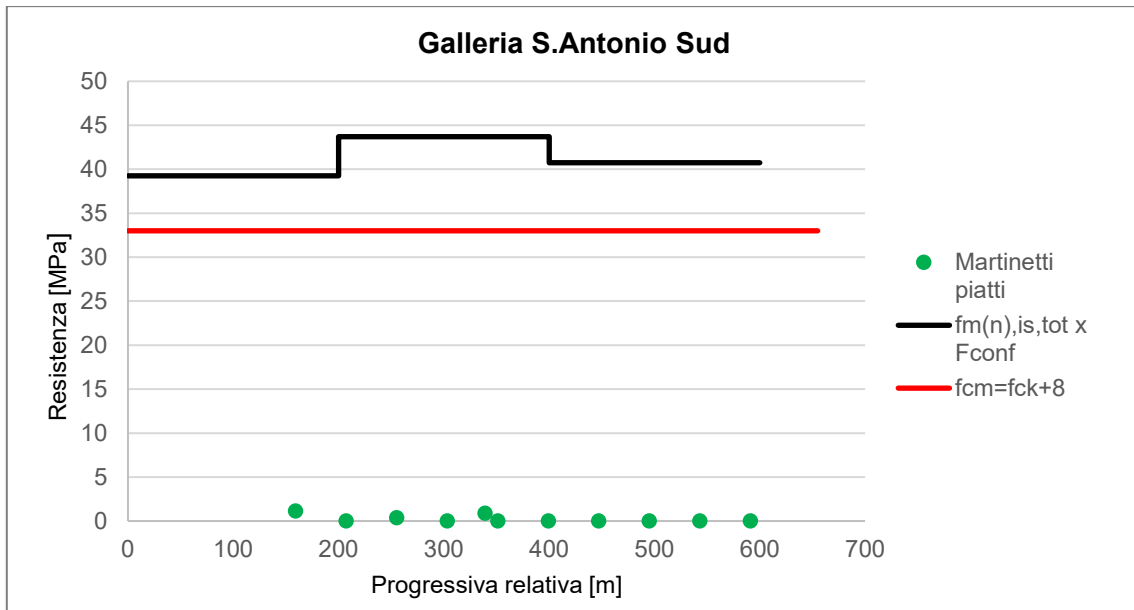


Figura 31: Stato tensionale – Galleria S. Antonio Sud

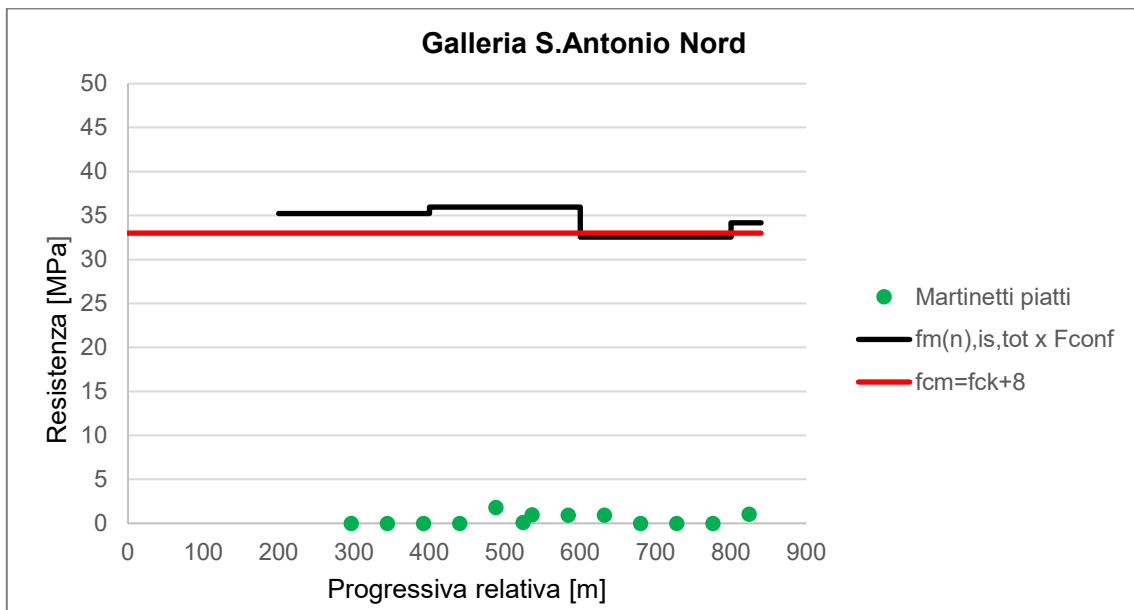


Figura 32: Stato tensionale – Galleria S. Antonio Nord

## 5 CRITERI PER L'APPLICAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIPRISTINO

Nei paragrafi precedenti sono state descritte le problematiche strutturali emerse dalle indagini strutturali, le quali possono essere riassunte nei seguenti punti.

- In tutte le gallerie indagate sono presenti delle tratte in cui lo spessore del rivestimento è inferiore a quanto era stato previsto nel Progetto originario (che prevede per tutte le gallerie uno spessore sia in calotta che nei piedritti di almeno 50 cm). Le condizioni maggiormente critiche si riscontrano:
  - nella Galleria Guinza in cui sono presenti dei tratti con spessori inferiori di 30 cm sulle murette;
  - nella Galleria Guinza e in entrambe le canne della Galleria S. Antonio dove sono presenti dei tratti con spessori inferiori di 30 cm in calotta.
- Ci sono delle tratte della galleria Guinza e delle gallerie S. Antonio Nord e S. Antonio Sud in cui la resistenza media misurata in sito è inferiore a quella di progetto ( $R_{ck} >= 30$  MPa,  $f_{cm} = 33$  MPa)

In sede di progetto sono stati previsti due interventi per il ripristino strutturale delle gallerie: l'intervento Tipo A e l'Intervento Tipo B; si trascura in questa sede l'intervento Tipo C che è dedicato all'appendimento dei ventilatori (si faccia riferimento a [20], [43], [44] e [45]).

Gli interventi di ripristino strutturale sono ampiamente descritti negli elaborati allegati al progetto ([18],[19], [36], [37], [38], [39], [40] e [41] per la realizzazione dell'intervento Tipo A sulla sezione corrente, [46], [47], [48], [49], [50], [51], [52] per l'a realizzazione dell'intervento Tipo A sulle Piazzole di sosta e [42] per l'intervento Tipo B) e constano di:

- Interventi Tipo A: demolizione e rifacimento completo della sezione della galleria;
- Intervento Tipo B: chiodature integrative in calotta.

I criteri di applicazione degli interventi sono stati definiti considerando quanto è prescritto nel Par. 8.3 "Valutazione delle sicurezza" delle NTC2018 dove è indicato che: *"Nella valutazione della sicurezza, da effettuarsi ogni qual volta si eseguano interventi strutturali di miglioramento o adeguamento di cui al § 8.4, il progettista dovrà esplicitare in un'apposita relazione, esprimendoli in termini di rapporto fra capacità e domanda, i livelli di sicurezza precedenti all'intervento e quelli raggiunti con esso."*

Ciò implica che è necessario prevedere degli interventi strutturali di miglioramento o adeguamento se "i livelli di sicurezza" sono troppo bassi ma allo stesso tempo è possibile evitare di eseguire tali interventi se, pur essendoci alcune problematiche o difetti strutturali, questi garantiscono comunque un adeguato rapporto tra "capacità e domanda".

Nello specifico, si è ritenuto ragionevole prevedere gli interventi tipo A o B in presenza dei sottospessori nel caso di rapporto capacità/domanda rilevato in sito inferiore al rapporto capacità/domanda limite ma di evitarli nel caso contrario.

Il rapporto "capacità e domanda" limite è stato definito tenendo conto che, nel passaggio tra condizioni in sito e progetto, è previsto un fattore di amplificazione dei carichi pari ad 1.3 e un fattore di riduzione delle resistenze pari a 1.5. Tuttavia, considerando che le sollecitazioni sono state misurate solo sui piedritti e non in calotta, si è assunto cautelativamente che il rapporto "capacità e domanda" limite è pari a 5. Nel seguito il rapporto "capacità e domanda" è stato definito anche come fattore di sicurezza  $F_s$ .

Ciò nonostante, indipendentemente rapporto capacità/domanda in sito, si ritenuto ragionevole e a favore di sicurezza prevedere comunque degli interventi quando gli spessori del rivestimento fossero inferiori alla soglia limite di 30 cm (cioè almeno 20 cm inferiori rispetto a quanto previsto da progetto).

La Tabella 4 definisce in sintesi i criteri generali di applicazione degli interventi di ripristino.

La prima discriminante è lo spessore rilevato sui piedritti come indicato nella prima riga della Tabella 4:

- nel caso in cui lo spessore sia inferiore a 30 cm per una lunghezza longitudinale superiore a 3 m, è necessario applicare l'intervento Tipo A indipendentemente dallo spessore riscontrato in calotta, dalle sollecitazioni agenti e dalle resistenze del materiale.
- nel caso in cui lo spessore sui piedritti sia compreso tra i 30 e i 50 cm
  - si dovrà ricorrere all'interventi tipo A nel caso in cui il rapporto tra resistenza e sollecitazione sia inferiore al valore limite ( $F_s < 5$ ) e indipendentemente dallo spessore in calotta;
  - se lo spessore in calotta è minore di 30 cm per una lunghezza longitudinale maggiore di 3 m si dovrà ricorrere all'intervento tipo B indipendentemente dalle sollecitazioni agenti;
  - se lo spessore in calotta è maggiore di 30 cm non si prevede nessun intervento.
- nel caso in cui lo spessore sui piedritti sia maggiore di 50 cm,

- se lo spessore in calotta è minore di 30 cm per una lunghezza longitudinale maggiore di 3 m si dovrà ricorrere all'intervento tipo B indipendentemente dalle sollecitazioni agenti;
- se lo spessore in calotta è maggiore di 30 cm non si prevede nessun intervento.

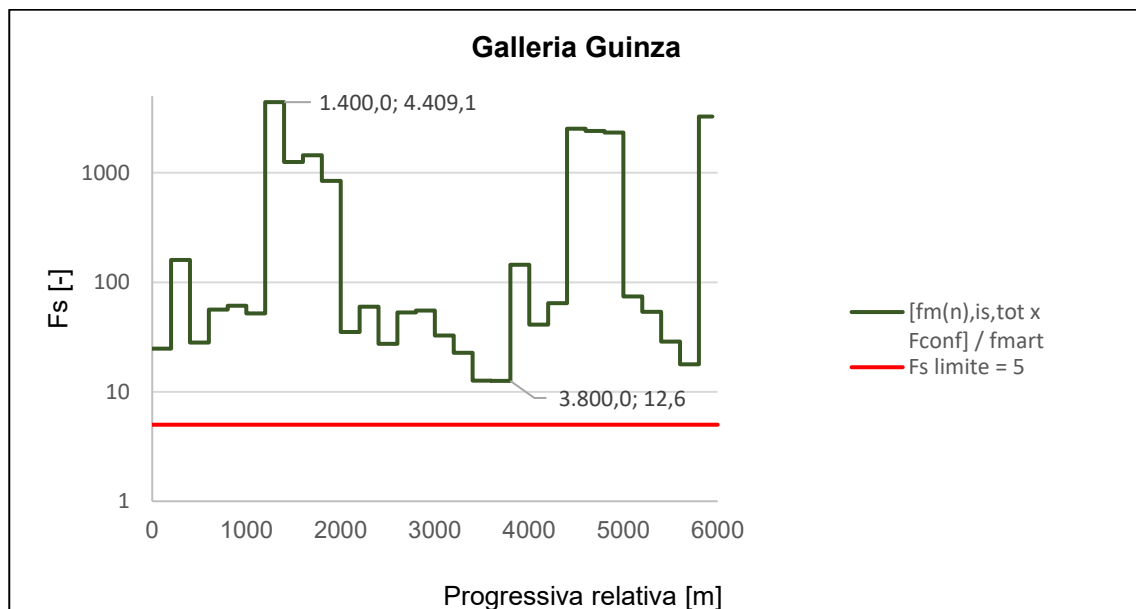
| Spessore piedritti                              | s<30 (L>=3m) | 30<s<50      |            |            |         |            |            | s>50         |         |
|---|--------------|--------------|------------|------------|---------|------------|------------|--------------|---------|
| Spessore calotta                                | Indiff.      | s<30 (L>=3m) |            |            | s>30    |            |            | s<30 (L>=3m) | s>30    |
| Soll/Res  | Indiff.      | Fs > 5       | Fs < 5     |            | Fs > 5  | Fs < 5     |            | Indiff.      | Indiff. |
| Resistenza<br>$f_{m(n),is,tot} \times F_{conf}$ | Indiff.      | Indiff.      | > $f_{cm}$ | < $f_{cm}$ | Indiff. | > $f_{cm}$ | < $f_{cm}$ | Indiff.      | Indiff. |
| INTERVENTO                                      | Tipo A       | Tipo B       | Tipo B     | Tipo A     | -       | -          | Tipo A     | Tipo B       | -       |

**Tabella 4: Criteri generali di applicazione degli interventi**

Nelle seguenti Figura 33, Figura 34, Figura 35 e Figura 36 si riporta il rapporto tra la stessa resistenza media  $f_{m(n),is,tot} \times F_{conf}$  su tratte di 200 m e la sollecitazione ottenuta dai martinetti piatti in funzione della progressiva relativa di ciascuna galleria confrontato con il valore di  $F_s$  limite= 5. Data l'elevata dispersione di tali valori, si è ritenuto opportuno rappresentare i  $F_s$  in scala logaritmica. La Tabella 5 riassume i fattori di sicurezza minimi per ciascuna galleria che risultano essere sempre maggiori del limite.

|                 | Fs min |
|-----------------|--------|
| Guinza          | 12.6   |
| Valpiana        | 317.4  |
| S. Veronica     | -      |
| S. Antonio Sud  | 34.5   |
| S. Antonio Nord | 32.9   |

**Tabella 5: Fattori di sicurezza minimi**



**Figura 33: Confronto resistenza media del calcestruzzo e stato tensionale – Galleria Guinza**

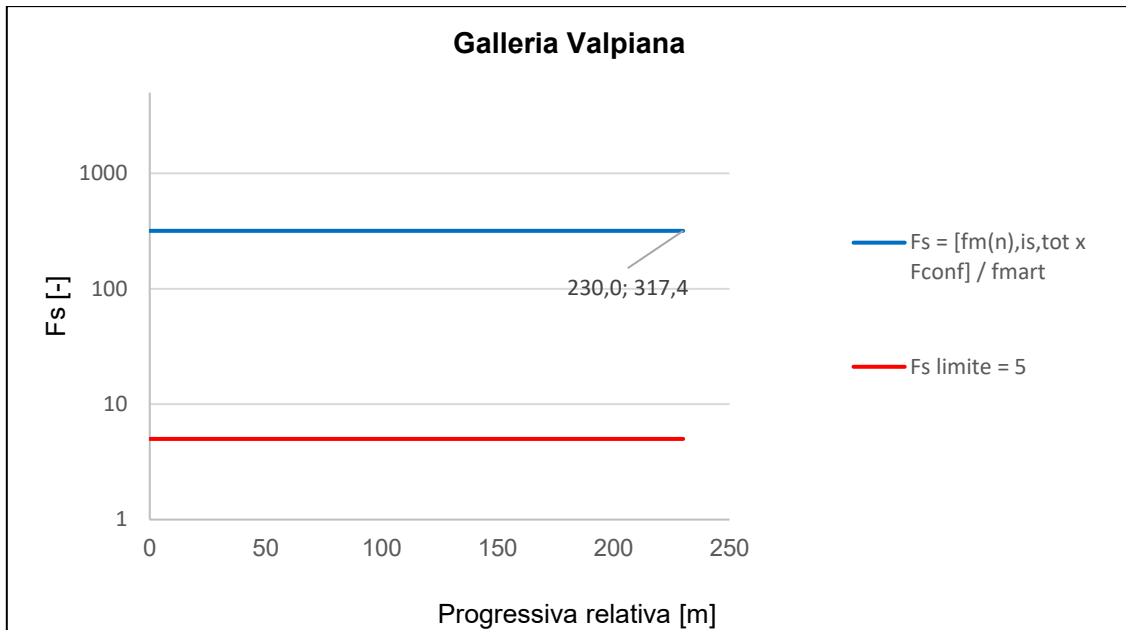


Figura 34: Resistenza media del calcestruzzo e stato tensionale – Galleria Valpiana

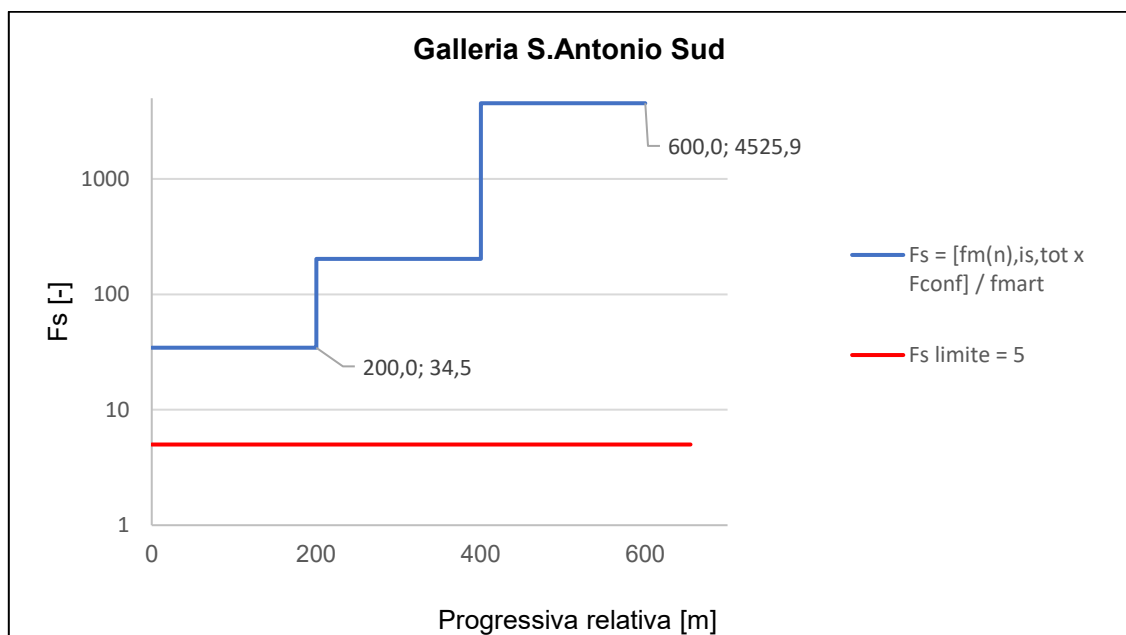
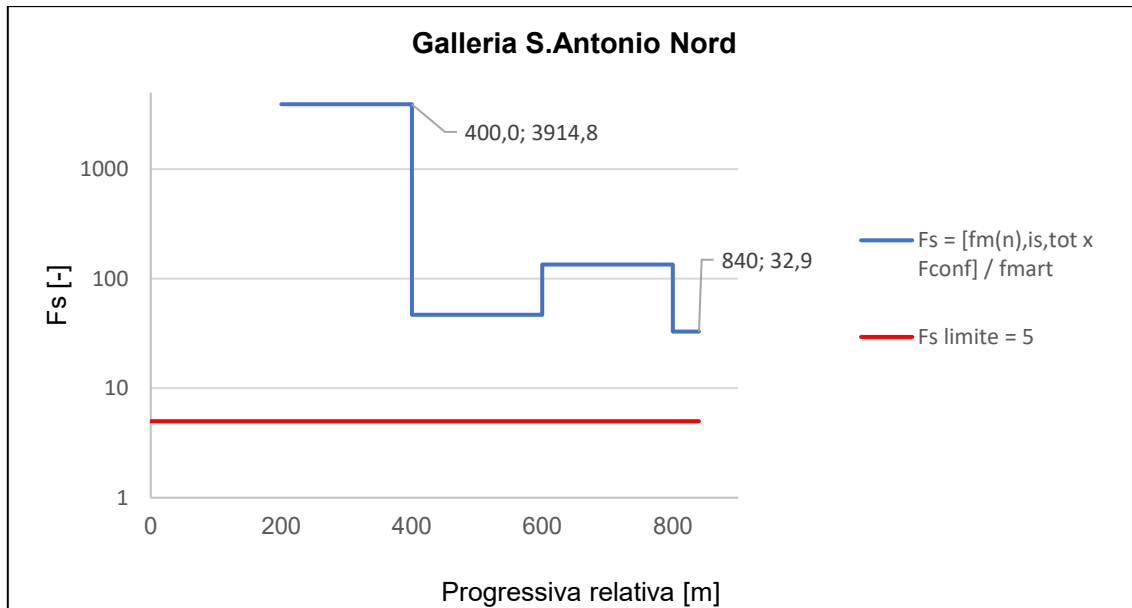


Figura 35: Resistenza media del calcestruzzo e stato tensionale – Galleria S. Antonio Sud



**Figura 36: Resistenza media del calcestruzzo e stato tensionale – Galleria S. Antonio Nord**

Come risulta evidente dalle figure precedenti, il rapporto tra resistenze e sollecitazioni misurate in sito è maggiore del fattore di sicurezza limite pari a 5, pertanto i criteri espressi in Tabella 4 si semplificano notevolmente.

In conclusione, si ottiene quanto segue:

- realizzazione dell'intervento Tipo A nel caso in cui lo spessore sui piedritti sia inferiore a 30 cm per una lunghezza longitudinale di 3 m, indipendentemente dallo spessore della calotta,
- realizzazione dell'intervento tipo B nel caso in cui lo spessore in calotta sia inferiore a 30 cm per una lunghezza longitudinale di 3 m (a patto che i piedritti abbiano uno spessore maggiore di 30 cm).



## 6 INTERVENTI

La distribuzione degli interventi Tipo A e Tipo B è stata effettuata seguendo il criterio definito nel precedente Par. 5, ovvero interpretando i dati relativi ai sottospessori identificati mediante le indagini georadar, la resistenza media del calcestruzzo misurata e le sollecitazioni agenti misurate in sito.

Infine, in alcune tratte della galleria Guinza, caratterizzate da carenza di dati sui sottospessori (dati ricavati dal georadar mancanti a causa del forte assorbimento dovuto alla presenza d'acqua) sono stati previsti degli interventi di Tipo A preventivi, nel seguito identificati come "Tipo A\_GN\_Prev".

Gli elaborati grafici che riportano le tratte di applicazione degli Interventi Tipo A e Tipo B sono le "Sezioni longitudinali" sono le "Sezioni interpretative longitudinali delle indagini in galleria", rispettivamente [21], [22], [23], [24], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33], [34] e [35] per la galleria Guinza, [53] per la galleria Valpiana, [54] per la galleria S. Veronica, [55], [56] e [57] per la galleria S. Antonio Nord e [58] e [59] per la galleria S. Antonio Sud.

Le tratte di applicazione sono altresì riportate in forma tabellare in Appendice all'interno della quale, per ciascun intervento, è stata riportata la progressiva relativa di inizio, la progressiva di fine e la lunghezza totale della tratta. Si specifica che gli interventi sono stati distinti in "\_GN" e "\_PL" a seconda che essi interessino la sezione corrente della galleria o la piazzola.

Infine, in Tabella 6 sono riassunte le lunghezze totali degli interventi per ciascuna galleria.

| Lunghezza totale interventi | Tipo A_GN    | Tipo A_GN_Prev | Tipo A_PL   | Tipo B_GN    | Tipo B_PL   | Tipo C     |
|-----------------------------|--------------|----------------|-------------|--------------|-------------|------------|
| <b>Guinza</b>               | <b>348 m</b> | <b>38 m</b>    | <b>76 m</b> | <b>240 m</b> | <b>46 m</b> | <b>7 m</b> |
| <b>Valpiana</b>             | -            | -              | -           | -            | -           | -          |
| <b>S. Veronica</b>          | -            | -              | -           | -            | -           | -          |
| <b>S. Antonio Sud</b>       | -            | -              | -           | <b>109 m</b> | -           | -          |
| <b>S. Antonio Nord</b>      | -            | -              | -           | <b>5 m</b>   | -           | -          |

**Tabella 6: Riepilogo lunghezze interventi per Galleria**

## APPENDICE: ELENCO INTERVENTI TIPO A E TIPO B

## GALLERIA GUINZA

Le progressive riportate nel seguito al fine di definire le tratte di applicazione degli interventi per la Galleria Guinza sono riferite a inizio galleria naturale (p.k. 0+225.12).

| Guinza         |                           |                         |             |
|----------------|---------------------------|-------------------------|-------------|
| Intervento     | p.k.<br>inizio intervento | p.k.<br>fine intervento | Ltot<br>[m] |
| TIPO A_GN      | 169.0                     | 175.0                   | 6.0         |
| TIPO A_GN      | 184.5                     | 194.5                   | 10.0        |
| TIPO A_GN      | 296.0                     | 308.0                   | 12.0        |
| TIPO A_GN      | 324.0                     | 330.0                   | 6.0         |
| TIPO A_GN      | 349.0                     | 371.0                   | 22.0        |
| TIPO A_GN      | 1033.0                    | 1043.0                  | 10.0        |
| TIPO A_GN      | 1102.0                    | 1112.0                  | 10.0        |
| TIPO A_GN      | 1176.0                    | 1182.0                  | 6.0         |
| TIPO A_GN      | 1200.5                    | 1212.5                  | 12.0        |
| TIPO A_GN      | 1262.0                    | 1284.0                  | 22.0        |
| TIPO A_GN      | 1300.0                    | 1310.0                  | 10.0        |
| TIPO A_GN      | 1352.0                    | 1370.0                  | 18.0        |
| TIPO A_GN      | 1374.0                    | 1384.0                  | 10.0        |
| TIPO A_GN      | 1632.0                    | 1640.0                  | 8.0         |
| TIPO A_GN      | 1658.5                    | 1664.5                  | 6.0         |
| TIPO A_GN      | 1753.5                    | 1761.5                  | 8.0         |
| TIPO A_GN      | 2033.5                    | 2049.5                  | 16.0        |
| TIPO A_GN      | 2173.5                    | 2181.5                  | 8.0         |
| TIPO A_GN      | 2224.0                    | 2236.0                  | 12.0        |
| TIPO A_GN      | 2439.5                    | 2445.5                  | 6.0         |
| TIPO A_GN      | 2538.0                    | 2544.0                  | 6.0         |
| TIPO A_GN      | 2813.0                    | 2819.0                  | 6.0         |
| TIPO A_GN      | 2870.5                    | 2880.5                  | 10.0        |
| TIPO A_GN      | 3156.0                    | 3166.0                  | 10.0        |
| TIPO A_GN      | 3205.5                    | 3215.5                  | 10.0        |
| TIPO A_GN_Prev | 3350.0                    | 3360.0                  | 10.0        |
| TIPO A_GN      | 3429.0                    | 3451.0                  | 22.0        |
| TIPO A_GN      | 3504.5                    | 3524.5                  | 20.0        |
| TIPO A_GN_Prev | 4236.0                    | 4246.0                  | 10.0        |
| TIPO A_GN_Prev | 4319.5                    | 4325.5                  | 6.0         |
| TIPO A_GN_Prev | 4338.5                    | 4344.5                  | 6.0         |
| TIPO A_GN_Prev | 4536.0                    | 4542.0                  | 6.0         |
| TIPO A_GN      | 4939.0                    | 4945.0                  | 6.0         |
| TIPO A_GN      | 5341.0                    | 5349.0                  | 8.0         |
| TIPO A_GN      | 5549.0                    | 5555.0                  | 6.0         |
| TIPO A_GN      | 5582.0                    | 5588.0                  | 6.0         |
| TIPO A_GN      | 5649.0                    | 5655.0                  | 6.0         |
| TIPO A_GN      | 5748.0                    | 5754.0                  | 6.0         |
| TIPO A_GN      | 5930.0                    | 5938.0                  | 8.0         |

| Guinza     |                           |                         |             |
|------------|---------------------------|-------------------------|-------------|
| Intervento | p.k.<br>inizio intervento | p.k.<br>fine intervento | Ltot<br>[m] |
| TIPO A_PL  | 446.0                     | 456.0                   | 10.0        |
| TIPO A_PL  | 902.0                     | 946.0                   | 44.0        |
| TIPO A_PL  | 1497.0                    | 1503.0                  | 6.0         |
| TIPO A_PL  | 2390.0                    | 2396.0                  | 6.0         |
| TIPO A_PL  | 3266.5                    | 3276.5                  | 10.0        |

| Guinza     |                           |                         |             |
|------------|---------------------------|-------------------------|-------------|
| Intervento | p.k.<br>inizio intervento | p.k.<br>fine intervento | Ltot<br>[m] |
| TIPO B_GN  | 764.0                     | 770.0                   | 6.0         |
| TIPO B_GN  | 776.0                     | 781.0                   | 5.0         |
| TIPO B_GN  | 874.0                     | 879.0                   | 5.0         |
| TIPO B_GN  | 885.0                     | 887.0                   | 2.0         |
| TIPO B_GN  | 950.0                     | 955.0                   | 5.0         |
| TIPO B_GN  | 1255.0                    | 1260.0                  | 5.0         |
| TIPO B_GN  | 1384.0                    | 1393.0                  | 9.0         |
| TIPO B_GN  | 2586.0                    | 2591.0                  | 5.0         |
| TIPO B_GN  | 2686.0                    | 2691.0                  | 5.0         |
| TIPO B_GN  | 3948.0                    | 3953.0                  | 5.0         |
| TIPO B_GN  | 4001.0                    | 4006.0                  | 5.0         |
| TIPO B_GN  | 4043.0                    | 4068.0                  | 25.0        |
| TIPO B_GN  | 4111.0                    | 4116.0                  | 5.0         |
| TIPO B_GN  | 5273.0                    | 5297.0                  | 24.0        |
| TIPO B_GN  | 5322.0                    | 5341.0                  | 19.0        |
| TIPO B_GN  | 5369.0                    | 5396.0                  | 27.0        |
| TIPO B_GN  | 5406.0                    | 5422.0                  | 16.0        |
| TIPO B_GN  | 5449.0                    | 5488.0                  | 39.0        |
| TIPO B_GN  | 5603.0                    | 5608.0                  | 5.0         |
| TIPO B_GN  | 5636.0                    | 5641.0                  | 5.0         |
| TIPO B_GN  | 5685.0                    | 5690.0                  | 5.0         |
| TIPO B_GN  | 5754.0                    | 5767.0                  | 13.0        |

| Guinza     |                           |                         |             |
|------------|---------------------------|-------------------------|-------------|
| Intervento | p.k.<br>inizio intervento | p.k.<br>fine intervento | Ltot<br>[m] |
| TIPO B_PL  | 887.0                     | 892.0                   | 5.0         |
| TIPO B_PL  | 3301.0                    | 3306.0                  | 5.0         |
| TIPO B_PL  | 3667.0                    | 3673.0                  | 6.0         |
| TIPO B_PL  | 4268.0                    | 4284.0                  | 16.0        |
| TIPO B_PL  | 4745.0                    | 4754.0                  | 9.0         |
| TIPO B_PL  | 4776.0                    | 4781.0                  | 5.0         |

### **GALLERIA S. ANTONIO NORD**

Le progressive riportate nel seguito al fine di definire le tratte di applicazione degli interventi per la Galleria S. Antonio Nord sono riferite a inizio galleria naturale (P.K. 7+242.40 riferita all'asse principale).

| <b>S. Antonio SUD</b> |                                   |                                 |                     |
|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| <b>Intervento</b>     | <b>p.k.<br/>inizio intervento</b> | <b>p.k.<br/>fine intervento</b> | <b>Ltot<br/>[m]</b> |
| <b>TIPO B_GN</b>      | <b>355.0</b>                      | <b>365.0</b>                    | <b>10.0</b>         |
| <b>TIPO B_GN</b>      | <b>448.0</b>                      | <b>501.0</b>                    | <b>53.0</b>         |
| <b>TIPO B_GN</b>      | <b>513.0</b>                      | <b>537.0</b>                    | <b>24.0</b>         |
| <b>TIPO B_GN</b>      | <b>570.0</b>                      | <b>592.0</b>                    | <b>22.0</b>         |

### **GALLERIA S. ANTONIO SUD**

Le progressive riportate nel seguito al fine di definire le tratte di applicazione degli interventi per la Galleria S. Antonio Sud sono riferite a inizio galleria naturale (p.k. 7+426.85).

| <b>S. Antonio SUD</b> |                                   |                                 |                     |
|-----------------------|-----------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| <b>Intervento</b>     | <b>p.k.<br/>inizio intervento</b> | <b>p.k.<br/>fine intervento</b> | <b>Ltot<br/>[m]</b> |
| <b>TIPO B_GN</b>      | <b>355.0</b>                      | <b>365.0</b>                    | <b>10.0</b>         |
| <b>TIPO B_GN</b>      | <b>448.0</b>                      | <b>501.0</b>                    | <b>53.0</b>         |
| <b>TIPO B_GN</b>      | <b>513.0</b>                      | <b>537.0</b>                    | <b>24.0</b>         |
| <b>TIPO B_GN</b>      | <b>570.0</b>                      | <b>592.0</b>                    | <b>22.0</b>         |