

## S.S.163 – "AMALFITANA"

Realizzazione di una variante in galleria in località "Torre Mezzacapo" tra gli abitati di Minori e Maiori

### PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICO ECONOMICA

COD. NA-286

**PROGETTAZIONE:** ANAS - DIREZIONE PROGETTAZIONE E REALIZZAZIONE LAVORI

**PROGETTISTA:**

Ing. ALESSANDRO MICHELI  
Ordine Ing. di Roma n. 19645

**GEOLOGO:**

Geol. SERENA MAJETTA  
Ordine Geol. del Lazio n. 928

**VISTO: IL RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO**

Ing. L. Cedrone  
Ordine Ing. di Roma n. A31751

## GALLERIA NATURALE

Relazione tecnica galleria, opere geotecniche, sismica

CODICE PROGETTO		NOME FILE			REVISIONE	SCALA:
PROGETTO	LIV. PROG. ANNO	T00GN01OSTRE01_A				
DPNA0286	P 18	CODICE ELAB. T00GN01OSTRE01			A	--
C						
B						
A	EMISSIONE		NOV. 2018			
REV.	DESCRIZIONE	DATA	REDATTO	VERIFICATO	APPROVATO	

## SOMMARIO

1. INTRODUZIONE .....	2
2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO .....	3
2.1 NORMATIVA .....	3
2.2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI.....	3
3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....	4
4. CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA .....	8
4.1 PERICOLOSITÀ SISMICA.....	8
4.2 AZIONE SISMICA .....	9
4.3 RISPOSTA SISMICA LOCALE E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO .....	10
4.4 VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE .....	10
5. GALLERIA NATURALE .....	11
5.1 CARATTERISTICHE DELLA GALLERIA NATURALE .....	11
5.2 CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO.....	14
5.3 METODI DI SCAVO E SEZIONI TIPO .....	16
6. OPERE DI IMBOCCO.....	21
7. MONITORAGGIO GEOTECNICO/GEOMORFOLOGICO .....	25
8. DESCRIZIONE DELL'ALTERNATIVA 2 E CONFRONTO TRA LE DUE SOLUZIONI .....	26
9. OPERE DI SOSTEGNO: MURI DI SOSTEGNO E PARATIE.....	28

## 1. INTRODUZIONE

Il presente Progetto di Fattibilità Tecnico Economica concerne la realizzazione di una variante in galleria alla SS 163 in corrispondenza della "Torre Mezzacapo", sottostante l'omonimo castello, e la riqualificazione urbanistica del tratto della SS 163 esistente, che verrà destinato alla realizzazione di un percorso pedonale tra i Comuni di Maiori e Minori.

Il presente documento ha per oggetto la definizione delle condizioni geotecniche-geomeccaniche che si incontrano lungo il tracciato in oggetto soffermandosi in particolare sulla tratta interessata dalla galleria naturale nonché la definizione dell'inquadramento sismico (pericolosità ed effetti di sito, risposta sismica locale).

Si effettuerà successivamente una scelta di massima delle sezioni di scavo e consolidamento da adottare nella tratta in galleria.

## 2. DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

### 2.1 NORMATIVA

- Ministero delle Infrastrutture - D.M. 14/01/2008: "Nuove norme tecniche per le costruzioni";
- Circ.Min. n°617 del 02/02/2009: "Istruzioni per l'applicazione delle Norme tecniche per le costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008";

### 2.2 RIFERIMENTI BIBLIOGRAFICI

- Bieniawski Z.T.,(1975) "The point load test in engineering practice" Geological Engineering, Sett. 1975
- Broch E., Franklin J.A. (1972) "The point load strength test" International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, 9, 1972
- Hoek E., Brown E.T. (1997) "Practical estimate of rock mass strength" International Journal of Rock Mechanics and Mining Science and Geomechanical Abstracts, 34 (8)
- Hoek E., Carranza-Torres C., Corkum B. (2002) "Hoek-Brown failure criterion – 2002 edition" allegato al manuale del codice "Rocdata"
- Hoek E., Wood D., Shah H. (1992) "A modified Hoek-Brown criterion for jointed rock masses" Proceedings on Rock Characterization, Symposium of International Society for Rock Mechanics: Eurock 1992, Hudson, London, British Geotechnical Society
- LUNARDI P. "Progetto e costruzione di gallerie". Hoepli (2006).
- CALLARI C., MARCHETTI P. (2003), Analisi di gallerie con il metodo convergenza-confinamento, Manuale di Ingegneria Civile e Ambientale, voll. 1, quarta edizione, Zanichelli/Esac.

### 3. INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area d'interesse progettuale, ubicata tra gli abitati di Maiori e Minori, è caratterizzata dalla presenza diffusa di depositi carbonatici e dolomitici riferibili all'unità tettonica "Monti Lattari-Picentini" (Triassico sup. - Cretacico sup.), alternati a limitati lembi di depositi alluvionali quaternari.

Il promontorio di Torre Mezzacapo, in particolare, è costituito interamente da dolomie e calcari con selce immergenti verso SSO, che mostrano un assetto stratigrafico strutturale variabile spostandosi da est verso ovest. L'ammasso roccioso nella porzione est del promontorio si mostra massivo o mal stratificato, intercalato da spessi strati calcareo marnosi giallastri, e interessato da diverse discontinuità tettoniche di dimensione variabile, che conferiscono alla successione calcareo-dolomitica una struttura caotica e disarticolata. Lungo la parete est del promontorio sono presenti due faglie di dimensioni notevoli. Una, a basso angolo, intraformazionale, disloca le dolomie e calcari con selce, in corrispondenza di una delle intercalazioni marnose che interessano la successione, terminando alla base dell'ingresso della grotta di San Francesco; la seconda, più ad alto angolo, mette a contatto le dolomie e calcari con selce con le più antiche dolomie di base. L'azione meccanica delle due discontinuità tettoniche genera un pattern di fratture pervasivo e variamente orientato che inficia le caratteristiche geomeccaniche di questa porzione di ammasso. Questo si presenta, infatti, alterato ed intensamente fratturato, assumendo a tratti caratteristiche tipiche di una breccia di faglia poco matura. Procedendo verso ovest attraverso il promontorio, la struttura caotica tende a lasciare il posto ad una stratificazione più evidente e ad un pattern deformativo meno pervasivo. La successione dolomitico-carbonatica si mostra organizzata in strati sottili (da centimetrici a decimetrici) immergenti verso SSO, che via via si ispessiscono verso l'alto stratigrafico, fino a raggiungere spessori dell'ordine di diversi decimetri, nella parte alta della parete ovest del promontorio (lato Minori). I depositi più recenti, prevalentemente alluvionali, costituiti da ghiaie a clasti calcarei e matrice limo-sabbiosa di natura piroclastica, sono localizzati in corrispondenza dei due centri abitati e mostrano spessori limitati, intorno ai 10-15 metri.

Le alte pareti verticali che delimitano il promontorio ad est e ovest e le diverse discontinuità tettoniche, inducono una generale propensione delle aree interessate dal progetto alla pericolosità da frana. Come indicato nelle carte del PSAI tutta l'area risulta essere caratterizzata da livelli di pericolosità che variano da moderato (P2) ad molto elevato (P4). Di conseguenza diversi manufatti sia pubblici che privati (tra i quali la stessa SS 163) presenti nell'area risultano essere caratterizzati come aree a rischio frana con valori di rischio da moderato (R2) a molto elevato (R4). Nonostante il PSAI non dia indicazioni in merito alla tipologia e grado di attività dei potenziali dissesti, la morfologia dell'area e le caratteristiche litologiche degli affioramenti inducono ad ipotizzare possibili frane di crollo e ribaltamento che innescandosi nelle aree altimetricamente più elevate potrebbero interessare con blocchi di

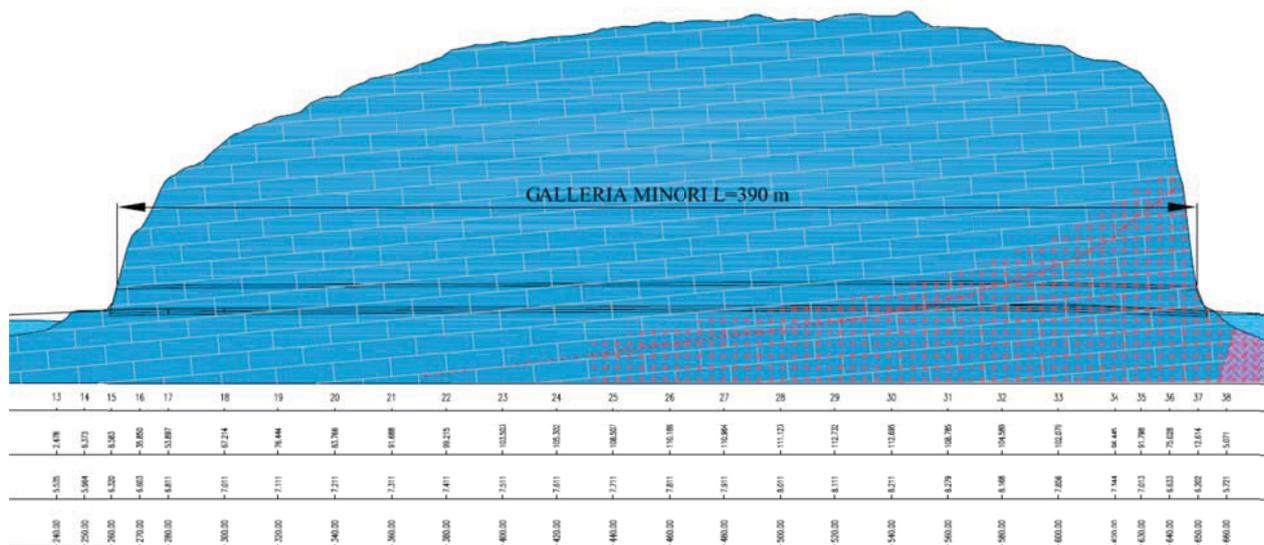
diverse dimensioni, la base dei versanti del promontorio in corrispondenza degli imbocchi della galleria. Allontanandosi dalle pareti del promontorio e spostandosi verso l'abitato di Minori, che sorge alla confluenza di due impluvi, la valle del Regina Minor e il vallone Petrillo, si configura inoltre una situazione di pericolosità e rischio da colata, così come indicato negli elaborati del PSAI già esposti nel paragrafo 5. In entrambe le proposte progettuali gli imbocchi della galleria, sui due lati del promontorio ricadono in area a pericolosità da frana molto elevata (P4), e una volta realizzati, a meno di prevedere adeguati sistemi di mitigazione, configurerebbero una situazione di potenziale rischio. Allo stesso modo le opere in progetto all'ingresso in galleria dal lato Minori (rilevati, muri, ecc.), ricadono in aree a pericolosità da colata da elevata a molto elevata.

Dal punto di vista idrogeologico le successioni di natura dolomitico-carbonatica danno origine ad un "complesso calcareo-dolomitico", caratterizzato da permeabilità da media a elevata, dovuta quasi esclusivamente a processi di fratturazione e carsismo. I terreni di natura alluvionale ed eluvio-colluviale, fanno parte di un "complesso idrogeologico alluvionale costiero" che mostra caratteristiche di permeabilità molto variabili, in funzione delle caratteristiche granulometriche dei depositi e del loro grado di addensamento. Si va da valori di permeabilità medio-bassa in corrispondenza delle successioni argillo-sabbiose, fino a valori di permeabilità medio-alta nei depositi sabbioso-ghiaiosi. Le strutture idrogeologiche, costituite da successioni che includono complessi calcarei, dolomitici e calcareo, risultano significativamente produttive per l'elevata potenzialità idrica, quindi possono essere sede di acquiferi di notevole importanza. Il carattere prevalentemente carbonatico e dolomitico delle rocce affioranti favorisce l'istaurarsi di fenomeni carsici, come testimoniato dalla diverse grotte di dimensioni variabili presenti nell'area studiata. Tra queste la più estesa è la grotta di San Francesco che a partire dalla parete est del promontorio di Torre Mezzacapo si sviluppa per circa 90 metri in direzione NO, terminando con un'ampia sala sede di uno specchio d'acqua. Nonostante allo stato attuale non si è in possesso di dati diretti che lo confermino, l'accumulo d'acqua all'interno dell'ammasso carbonatico potrebbe essere causato dalla presenza di un livello impermeabile in corrispondenza, o di uno degli interstrati marnosi che caratterizzano la successione o di un lineamento tettonico. Gli strati marnosi di cui sopra, infatti, a tratti possono agire come livelli impermeabili e trattenere modesta quantità d'acqua, configurando piccole falde sospese all'interno della successione dolomitico-carbonatica. Allo stesso modo, il lineamenti strutturali che dissecano l'ammasso roccioso, possono influenzare la circolazione idrica sotterranea, fungendo alternativamente da condotti preferenziali o da strutture di sbarramento, a seconda della loro maturità strutturale. In questo senso, particolare attenzione va rivolta alla superficie di faglia a basso angolo, visibile sul versante est del promontorio, che attraversa la successione e termina proprio in corrispondenza dell'ingresso della grotta di San Francesco. La presenza di acqua dolce all'interno della grotta di San Francesco potrebbe essere dovuta proprio alla presenza della faglia, e dal network di fratture al suo intorno (damage zone), che potrebbero aver aumentato localmente la permeabilità da fratturazione, veicolando la circolazione idrica all'interno dell'ammasso carbonatico-dolomitico.

L'area di progetto si trova a notevole distanza dalle principali direttrici strutturali sismogenetiche individuate dal DISS 3.2.1. La sismicità storica del Comune di Minori, dedotta dal catalogo CPTI15, registra pochi eventi che hanno prodotto effetti al sito di riferimento, tutti localizzati a notevole distanza e con valori di intensità macrosismica media ( $I = 6-7$ ). In virtù di ciò la pericolosità sismica dell'area progettuale risulta essere bassa. I comuni di Maiori e Minori secondo la classificazione sismica nazionale (OPCM n. 3274 del 20 marzo 2003), rientrano in "Zona 3", caratterizzata da valori di accelerazione di picco orizzontale del suolo ( $a_g$ ), con probabilità di superamento del 10% in 50 anni pari a 0,05-0,15.

Per quanto riguarda la galleria naturale, lo scavo ricade all'interno della formazione costituita da calcari e dolomie con selce.

Nei primi metri di galleria, partendo dall'imbocco lato Maiori, l'ammasso dovrebbe presentarsi particolarmente fratturato conseguentemente alla presenza delle due discontinuità descritte in precedenza; le proprietà meccaniche dell'ammasso in questa zona subiranno un decadimento rispetto alle caratteristiche dell'ammasso integro. Nel seguito è riportato il profilo geologico della galleria ipotizzata.



Profilo geologico galleria naturale

## LEGENDA



**Sistema di Amalfi.** Depositi alluvionali costituiti da ghiaie e ciastri calcarei, con matrice limo-sabbiosa di natura piroclastica.

*PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE*



**Calcarei e dolomie con selce.** Dolomie saccharoidi brune, straterelate, con interstrati marnosi giallastri, calcari ben stratificati, in strati di 20-25 cm, avana scuri, con livelli bituminosi e noduli di selce.

*GIURASSICO INFERIORE*



**Dolomia superiore.** Dolomie macrocristalline chiare, massive o nal stratificate.

*NORICO - HETTANGIANO*



**Ammasso roccioso molto fratturato.**

— Limite stratigrafico

— Faglia diretta

— Faglia diretta incerta

## 4.CALCOLO DELL'AZIONE SISMICA

### 4.1 PERICOLOSITÀ SISMICA

Si intende con tale definizione lo scuotimento sismico atteso in un dato sito, con una data probabilità di superamento ed in un determinato periodo di tempo, nell'ipotesi di affioramento di una formazione geologica rigida e pianeggiante. L'analisi del livello di pericolosità, pertanto, va distinta in due momenti:

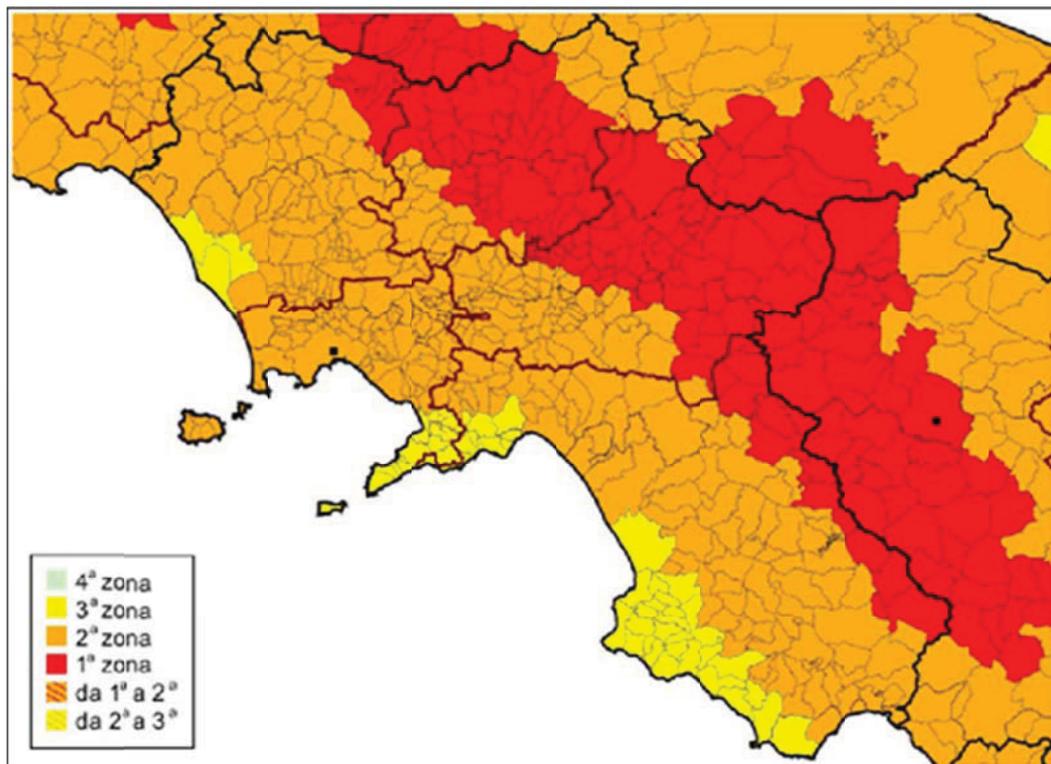
- la definizione della pericolosità sismica di base, in condizioni di sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale (categoria di sottosuolo tipo A), in assenza di discontinuità stratigrafiche e/o morfologiche;
- l'analisi della pericolosità locale, ossia della modificazione locale dello scuotimento sismico di base prodotta dalle condizioni topografiche, stratigrafiche e geotecniche del sito.

La rappresentazione di sintesi delle caratteristiche sismologiche e sismogenetiche del territorio è contenuta nella "Mappa di Pericolosità Sismica del territorio nazionale" dell'Italia, elaborata secondo l'Ordinanza P.C.M. del 28 aprile 2006, n. 3519.

Questa mappa riporta la pericolosità sismica di base in termini del valore massimo (o picco) di accelerazione del suolo, considerato rigido (categoria A, Tabella 3.2.III delle NTC - cfr. [1]) e orizzontale, attesa in seguito a un evento sismico con tempo di ritorno di 475 anni (cioè con probabilità di superamento del 10% nel periodo di riferimento). Tale parametro si indica in genere con  $a_g$  o PGA (Peak Ground Acceleration) ed è usualmente espresso come frazione dell'accelerazione di gravità  $g$ . Tale espressione della sismicità è stata utilizzata per la classificazione sismica dei Comuni, introdotta dall'O.P.C.M. 3274/2003, con la quale il territorio nazionale fu suddiviso in 4 zone sismiche, con grado di rischio decrescente dalla zona 1 alla zona 4. Con l'entrata in vigore delle NTC di cui al D.M. 14 gennaio 2008 (cfr. [1]) tale classificazione, ai fini della determinazione dell'azione sismica di progetto, è stata sostituita da una puntuale definizione dei valori assunti dal parametro  $a_g$  in corrispondenza dei punti di un reticolo di riferimento, i cui nodi, sufficientemente vicini tra loro (distanza  $D < 10$  km), sono riferiti in coordinate geografiche.

## 4.2 AZIONE SISMICA

I Comuni di Maiori e Minori ricadono nella zona sismica 3 (sismicità bassa) (Fig. 7.4) secondo la zonazione espressa dalla normativa regionale vigente per la Campania (Delibera Giunta Regionale n. 5547 del 7 no-vembre 2002), che costituisce il recepimento dell'Ordinanza C.P.M. del 20 marzo 2003, n. 3274.



Stralcio della Mappa di classificazione sismica nazionale, aggiornata al 2015, relativo alla regione Campania

Le opere in esame, inquadrare ai sensi della normativa italiana vigente (cfr. [1]) nel reticolo di coordinate geografiche di riferimento per il calcolo della pericolosità sismica, possono essere rappresentate dal seguente punto di coordinate geografiche

- latitudine 40,6494
- longitudine 14,6272

corrispondenti a quelle del Comune di Minori.

I parametri temporali di riferimento per il calcolo dell'azione sismica sono:

- vita nominale  $VN \geq 50$  anni,
- classe d'uso: IV (coefficiente  $CU = 2$ ),

da cui discende un periodo di riferimento per la valutazione dell'azione sismica VR pari a 100 anni e, in riferimento allo stato limite di salvaguardia della vita SLV, un tempo di ritorno pari a 949 anni.

I valori convenzionali dell'accelerazione orizzontale massima del terreno di calcolo  $a_g$ , del fattore di amplificazione dello spettro  $F_0$  ed del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro  $TC^*$  sono, rispettivamente, pari a:

$$a_g = 0,118g;$$
$$F_0 = 2,605;$$
$$TC^* = 0,451 \text{ s.}$$

#### 4.3 RISPOSTA SISMICA LOCALE E CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

In base alle condizioni litostratigrafie riconosciute e descritte nella Relazione Geologica, la categoria di sottosuolo è di tipo A. In base alla morfologia dei luoghi, la categoria topografica viene assunta di tipo T1

#### 4.4 VALUTAZIONE DELLA SUSCETTIBILITÀ ALLA LIQUEFAZIONE

In base alle condizioni litostratigrafiche individuate, mancano del tutto orizzonti di terreni suscettibili di liquefazione.

## 5.GALLERIA NATURALE

L'asse stradale interessato dall'intervento è la SS 163 "Amalfitana" nel tratto ricadente nei Comuni di Minori e Maiori. Il progetto prevede la realizzazione di una galleria di collegamento tra gli abitati di Minori e Maiori all'interno del promontorio di Torre Mezzacapo.

L'opera risulta costituita essenzialmente da una tratta in galleria naturale (L=390m circa) e da due tratte di imbocco di lunghezza pari a circa L=8.75m lato Minori e L=10m lato Maiori.

Nel prospetto seguente se ne sintetizzano le principali caratteristiche di ubicazione e di estensione:

Galleria	Imbocco artificiale lato Minori	Imbocco naturale lato Minori	Imbocco naturale lato Maiori	Imbocco artificiale lato Maiori	Lung. artificiale lato Minori	Lung. galleria naturale	Lung. artificiale lato Maiori	Lung. totale
	Progr.	Progr.	Progr.	Progr.	m	m	m	m
	0+251.25	0+260	0+650	0+660	8.75	390	10	408.75

### 5.1 CARATTERISTICHE DELLA GALLERIA NATURALE

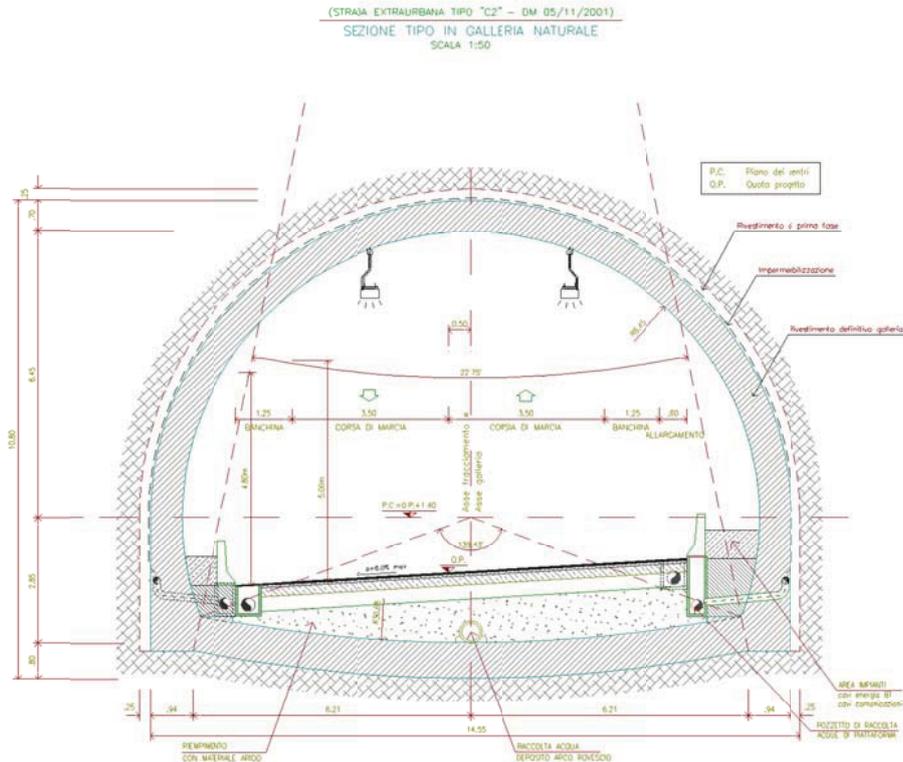
La sezione trasversale della tratta in galleria è stata definita in accordo a quanto previsto dal D.M. 05/11/2001 "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade".

La sagoma interna minima prescritta dal suddetto D.M. è stata inoltre integrata predisponendo camminamenti di servizio a tergo dei profili laterali di sicurezza tipo new-jersey, che potranno essere utilizzati in caso di emergenza.

Il raggio all'intradosso è pari a 6.45 m.

I profili interni tipo della galleria sono stati definiti tenendo conto dei seguenti parametri geometrici:

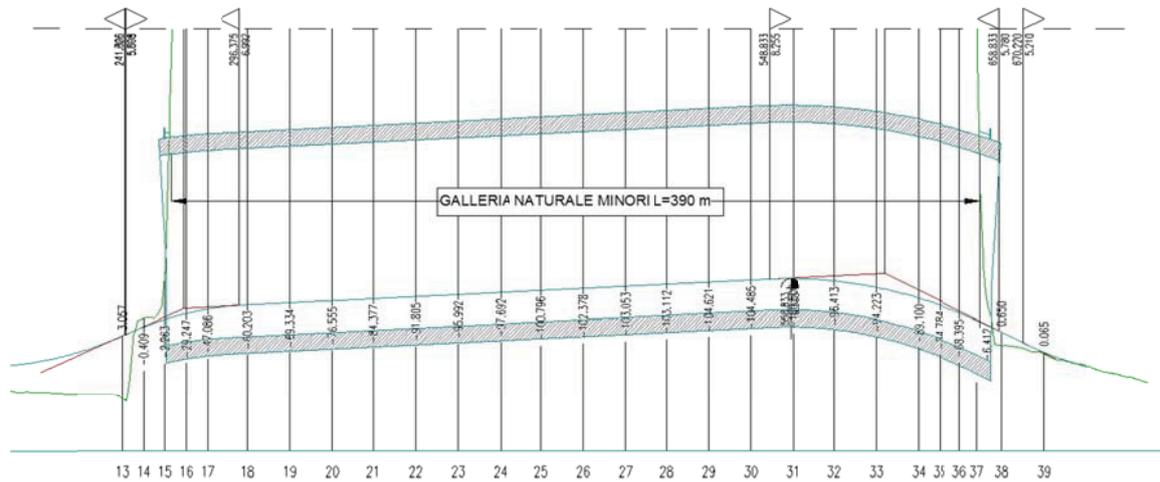
- categoria stradale tipo "C2" con due corsie di marcia di 3.50 m di larghezza ciascuna, e due banchine di 1.25 m su ciascun lato della carreggiata;
- profili ridirettivi tipo new-jersey a delimitazione delle banchine su entrambi i lati della carreggiata, con formazione di un vano all'estradosso per la posa dei cavidotti destinati agli impianti;
- altezza della sagoma libera al di sopra delle corsie di marcia: 5.00 m;
- altezza della sagoma libera al di sopra delle banchine: 4.80 m;
- pendenza trasversale massima lungo il tracciato in galleria: 6.0%.



Sezione tipo di intradosso in galleria

Lungo in tracciato in galleria sono presenti alcune tratte in allargamento di entità massima pari a 60cm al fine di consentire l'iscrizione delle categorie di veicoli di maggiore ingombro.

Altimetricamente, la galleria presenta pendenza longitudinale pari allo 0.5%, costante su tutto lo sviluppo ad eccezione dei tratti in corrispondenza degli imbocchi ove sono presenti raccordi verticali parabolici.



*Profilo altimetrico galleria*

Il rivestimento interno è concepito in modo da avere la base d'appoggio delle murette alla stessa quota su entrambi i lati della galleria e poter lasciare la casseratura del rivestimento sulla verticale, sull'intera lunghezza delle gallerie, indipendentemente dalla pendenza trasversale della carreggiata. In questo modo non vi è la necessità di adattare l'inclinazione del carro della casseratura a quella dell'asse della carreggiata.

L'impermeabilizzazione della galleria sarà assicurata da un telo in PVC posato su di un sottofondo di materiale drenante, a sua volta fissato alla superficie del calcestruzzo proiettato di prima fase. In questo modo si assicura il drenaggio dell'acqua e si evita il formarsi di pressione idrostatica sul rivestimento interno.

La fondazione stradale sarà eseguita con misto granulare stabilizzato. Su di essa sarà posata la pavimentazione stradale.

A confinamento laterale del sottofondo e della pavimentazione stradale sono previsti due bauletti in calcestruzzo gettato in opera, uno ad ogni lato della galleria, sui quali saranno posati i profili ridirettivi in calcestruzzo (new-jersey). Il vano creato tra questi e l'intradosso del rivestimento della galleria, potrà essere utilizzato per la posa di cavi d'alimentazione elettrica o altro.

## 5.2 CLASSI DI COMPORTAMENTO DEL FRONTE DI SCAVO

La valutazione dell'evoluzione dello stato tensionale nel terreno a seguito della realizzazione di una galleria viene condotta attraverso l'analisi dei fenomeni deformativi del mezzo attraversato, che forniscono informazioni sul comportamento della cavità nei riguardi della stabilità a breve e a lungo termine.

Il comportamento del cavo e del fronte è infatti funzione, oltre che delle caratteristiche geometriche della cavità stessa, delle coperture, dei carichi litostatici cui è soggetta, anche delle caratteristiche di resistenza e di deformabilità del nucleo d'avanzamento, inteso come il prisma di terreno individuato a monte del fronte dallo stesso profilo di scavo per una profondità di circa un diametro. Se il nucleo non è costituito da materiale sufficientemente rigido e resistente da mantenere in campo elastico il proprio comportamento tensio-deformativo, si sviluppano fenomeni deformativi e plasticizzazioni rilevanti in avanzamento sul fronte, cui conseguono il detensionamento e il decadimento delle caratteristiche meccaniche del terreno al contorno del cavo. Se, viceversa, il comportamento del nucleo d'avanzamento si mantiene in campo elastico, esso svolge un'azione di precontenimento del cavo, che si mantiene a sua volta in condizioni elastiche nei pressi del fronte, conservando le caratteristiche di massima resistenza del materiale attraversato.

Il comportamento del fronte di scavo, al quale è legato quello della cavità, può essere sostanzialmente ricondotto alle seguenti tre categorie di comportamento, in accordo alla classificazione proposta dal metodo ADECO-RS:

### Categoria A: Galleria a fronte stabile.

Se il fronte di scavo è stabile, lo stato tensionale al contorno della cavità in prossimità del fronte si mantiene in campo prevalentemente elastico, e i fenomeni deformativi osservabili sono di piccola entità e tendono ad esaurirsi rapidamente. In questo caso anche il comportamento del cavo sarà stabile, mantenendosi prevalentemente in campo elastico, e quindi non si rendono necessari interventi preventivi di consolidamento, se non localizzati e in misura molto ridotta. Il rivestimento definitivo costituirà allora il margine di sicurezza per la stabilità a lungo termine.

### Categoria B: Galleria a fronte stabile a breve termine.

Questa condizione si verifica quando lo stato tensionale indotto dall'apertura della cavità supera la resistenza geomeccanica del materiale al fronte, che si allontana progressivamente da un comportamento di tipo elastico, per passare ad un comportamento di tipo elasto-plastico. I fenomeni deformativi connessi con la redistribuzione delle tensioni risultano più accentuati che nel caso precedente, e producono nell'ammasso al fronte una riduzione delle caratteristiche di resistenza con decadimento verso i parametri plastici residui. La decompressione indotta dallo scavo può essere opportunamente controllata e regimata con adeguati interventi di preconsolidamento del fronte e/o di preconsolidamento al contorno del

cavo. In tal modo si fornisce l'opportuno contenimento all'ammasso, che manterrà un comportamento stabile. Nel caso non si prevedano opportuni interventi, lo stato tensio-deformativo potrà evolvere verso situazioni di instabilità del cavo in via di realizzazione. Ancora il rivestimento definitivo costituirà il margine di sicurezza a lungo termine.

#### Categoria C: Galleria a fronte instabile.

L'instabilità progressiva del fronte di scavo è attribuibile ad una accentuazione dei fenomeni deformativi in campo plastico, che risultano immediati e più rilevanti, manifestandosi prima ancora che avvenga lo scavo, oltre il fronte stesso. Tali deformazioni producono un incremento dell'estensione della zona dell'ammasso decompressa in corrispondenza del fronte, dove si sviluppa un progressivo e rapido decadimento delle caratteristiche geomeccaniche del materiale. L'espansione della fascia di materiale decompresso al contorno del cavo deve essere contenuta prima dell'arrivo del fronte di scavo, e richiede pertanto interventi di preconsolidamento sistematici in avanzamento, che consentano di creare artificialmente l'effetto arco capace di far evolvere la situazione verso configurazioni di equilibrio stabile.

In questa fase progettuale, in assenza di dati derivati da indagini conoscitive sull'ammasso roccioso in corrispondenza del tracciato della galleria le categorie di comportamento del fronte sono state ipotizzate sulla base dei rilievi di superficie effettuati e in base all'esperienza nella realizzazione di opere simili in contesti geologici/geotecnici affini a quello in oggetto.

Si ipotizza, pertanto, un comportamento di fronte stabile (A) nel tratto di galleria che attraversa l'ammasso roccioso intatto.

Per quanto riguarda il tratto in corrispondenza dell'imbocco lato Maiori all'interno dell'ammasso fratturato si ipotizza un comportamento del fronte di tipo stabile a breve termine / instabile (B/C).

Tali comportamenti ipotizzati dovranno essere verificati nelle fasi progettuali successive avendo a disposizione i dati ottenuti dalle campagne indagini effettuate sull'ammasso.

Per i casi di comportamento del fronte di tipo B o C si rende necessaria l'adozione di interventi di precontenimento del fronte di scavo (categoria B) o del fronte e del contorno del cavo (categoria C), allo scopo di controllare il detensionamento dell'ammasso e la risposta deformativa dello stesso, in modo che l'effetto arco non si allontani dal profilo di scavo e che il cavo venga condotto verso condizioni di stabilità. Tale azione può essere operata in particolare controllando la tensione minore  $\sigma_3$  in corrispondenza del fronte, mediante interventi di consolidamento in avanzamento con elementi strutturali in vetroresina. Si realizza in tal modo un irrigidimento del nucleo d'avanzamento, prevenendo i fenomeni di estrusione e contenendo i conseguenti fenomeni deformativi entro valori ammissibili, permettendo di mantenere l'ammasso il più possibile in campo elastico.

### 5.3 METODI DI SCAVO E SEZIONI TIPO

Lo scavo delle gallerie avverrà a piena sezione mediante l'utilizzo di fresa puntuale; lo studio attuale prevede l'adozione di tre sezioni tipo di scavo e consolidamento.

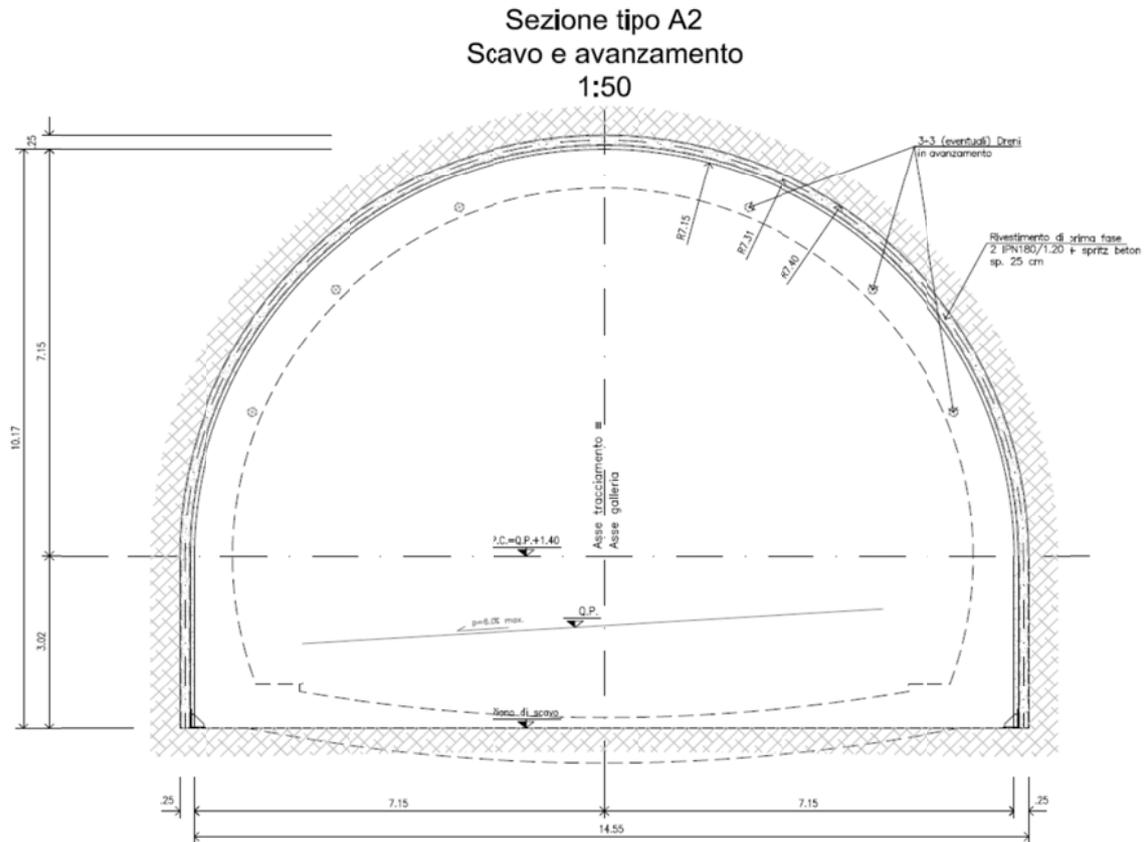
L'avanzamento dello scavo della galleria è previsto partendo dall'imbocco lato Maiori fino all'imbocco lato Minori.

Gli interventi di sostegno e i rivestimenti provvisori e definitivi previsti per ciascuna sezione tipo sono descritti sinteticamente qui di seguito. Per ogni dettaglio sulle geometrie dei sostegni provvisori, dei rivestimenti definitivi e sulle fasi esecutive si rimanda ai disegni di progetto. Ovviamente la definizione delle metodologie di scavo, di rivestimento e gli interventi di consolidamento e di monitoraggio dovranno essere adeguatamente approfonditi nelle successive fasi progettuali sulla base di adeguata campagna di indagini geognostiche.

#### Sezione tipo A2

La sezione tipo A2 prevede i seguenti interventi:

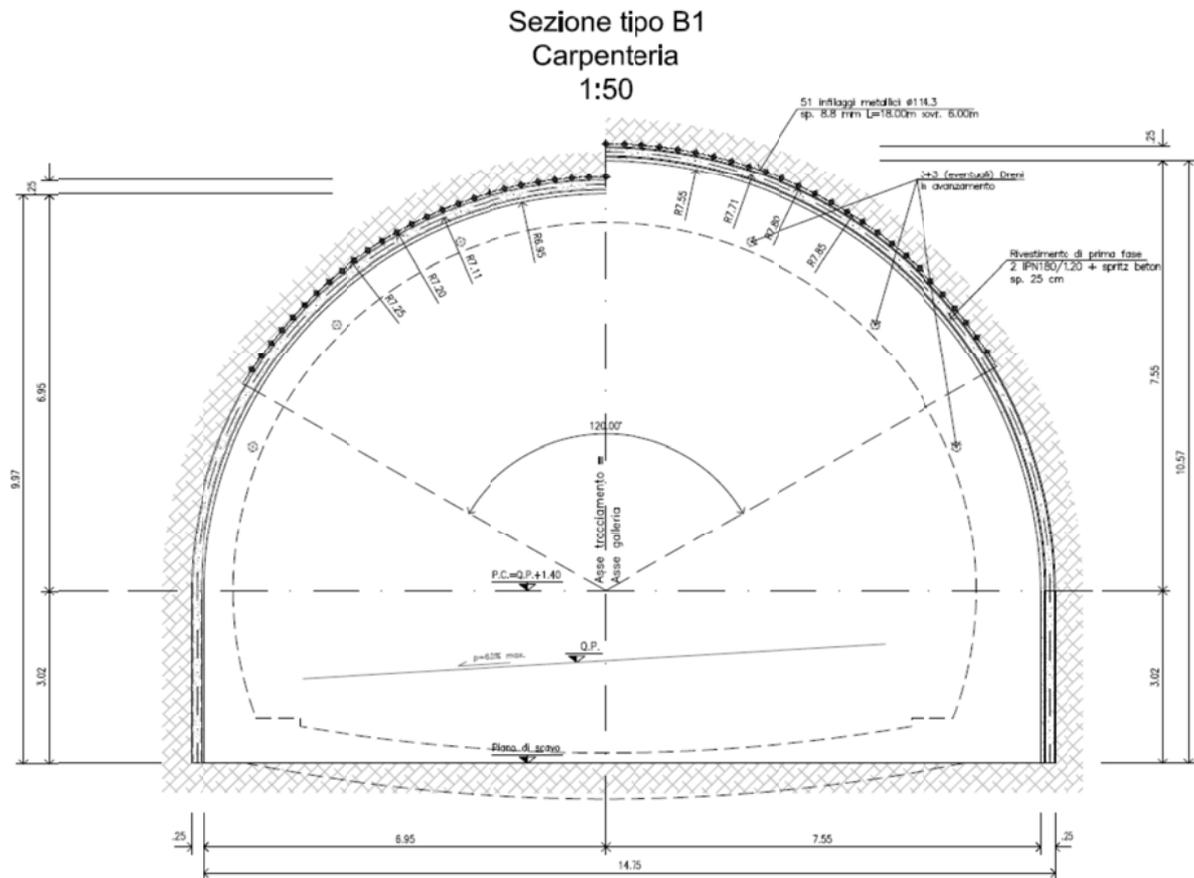
- Eventuali 3+3 dreni in avanzamento rivestiti con calza in tessuto non tessuto.
- Prerivestimento costituito da uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di 25 cm e da centine metalliche accoppiate ZIPN180 messe in opera con passo pari a 1.20 m. Le centine sono unite longitudinalmente da catene di collegamento.
- Impermeabilizzazione posta in opera a contatto con il prerivestimento, costituita da uno strato di tessuto non tessuto e manto in PVC.
- Arco rovescio in calcestruzzo armato di spessore pari a 80 cm e murette gettati ad una distanza dal fronte non vincolata.
- Calotta e piedritti in calcestruzzo armato di spessore pari a 70cm gettati ad una distanza dal fronte non vincolata.



### Sezione tipo B1

La sezione tipo B1 prevede i seguenti interventi:

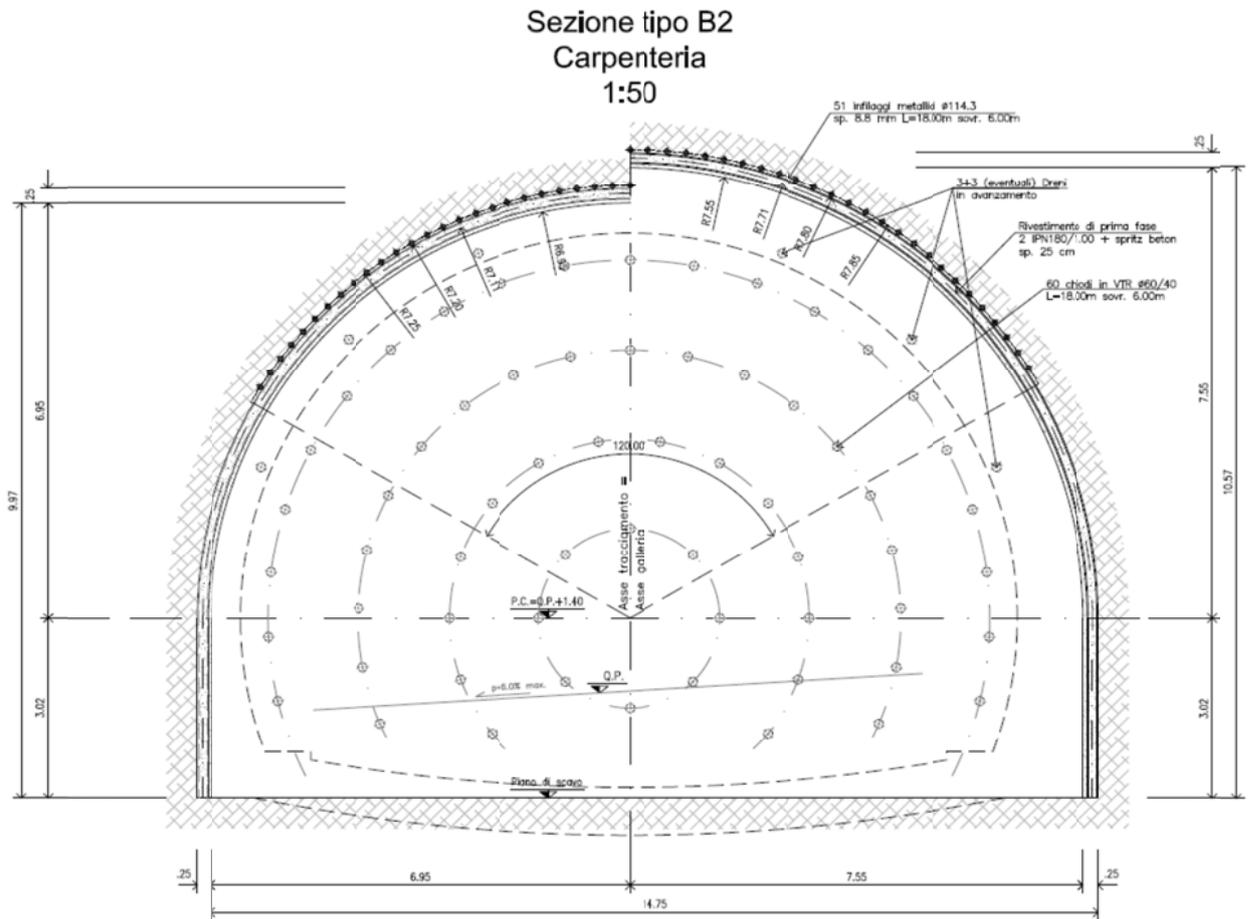
- Eventuali 3+3 dreni in avanzamento rivestiti con calza in tessuto non tessuto.
- Interventi al contorno mediante n.51 tubi metallici cementati con malta cementizia  $\Phi 114.3$  sp. 8.8mm L = 18m sovrap. = 6m
- Prerivestimento costituito da uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di 25 cm e da centine metalliche accoppiate 2IPN180 messe in opera con passo pari a 1.20 m. Le centine sono unite longitudinalmente da catene di collegamento.
- Impermeabilizzazione posta in opera a contatto con il prerivestimento, costituita da uno strato di tessuto non tessuto e manto in PVC.
- Arco rovescio in calcestruzzo armato di spessore pari a 80 cm e murette gettati ad una distanza dal fronte non vincolata.
- Calotta e piedritti in calcestruzzo armato di spessore variabile tra 50 e 110 cm gettati ad una distanza dal fronte non vincolata.



### Sezione tipo B2

La sezione tipo B2 prevede i seguenti interventi:

- Eventuali 3+3 dreni in avanzamento rivestiti con calza in tessuto non tessuto.
- Interventi al contorno mediante n.51 tubi metallici cementati con malta cementizia  $\Phi 114.3$ . sp. 8.8mm L = 18m sovrap. = 6m
- Interventi al fronte mediante n.60 chiodi in VTR
- Prerivestimento costituito da uno strato di spritz-beton fibrorinforzato di 25 cm e da centine metalliche accoppiate 2IPN180 messe in opera con passo pari a 1.20 m. Le centine sono unite longitudinalmente da catene di collegamento.
- Impermeabilizzazione posta in opera a contatto con il prerivestimento, costituita da uno strato di tessuto non tessuto e manto in PVC.
- Arco rovescio in calcestruzzo armato di spessore pari a 80 cm e murette gettati ad una distanza dal fronte non vincolata.
- Calotta e piedritti in calcestruzzo armato di spessore variabile tra 50 e 110 cm gettati ad una distanza dal fronte non vincolata.



Come riportato in precedenza, in assenza di dati geomeccanici di base e di conseguenti analisi sul comportamento del fronte della galleria, è stato scelto di suddividere la galleria in due tratte a comportamento omogeneo, individuando per ciascuna tratta le sezioni tipo ritenute più idonee.

Nella tratta che attraversa l'ammasso roccioso intatto si prevede l'utilizzo di sezioni di scavo e consolidamento di tipo A2 e B1 (rispettivamente 70% e 30%); per la tratta omogenea all'interno dell'ammasso fratturato si prevede l'adozione di sezioni tipo B1 e B2 (rispettivamente 60% e 40%).

Per il dettaglio della distribuzione delle sezioni tipo lungo la galleria si rimanda ai Profili geotecnico - geomeccanici.



## 6. OPERE DI IMBOCCO

L'imbocco della galleria, dal lato Minori, è situato oltre l'ultimo fabbricato del centro abitato; l'asse dello stesso è stato posizionato il più possibile perpendicolare alle curve di livello del terreno allo scopo di "attaccare" la parete rocciosa minimizzando il più possibile gli scavi ed i tagli del versante.

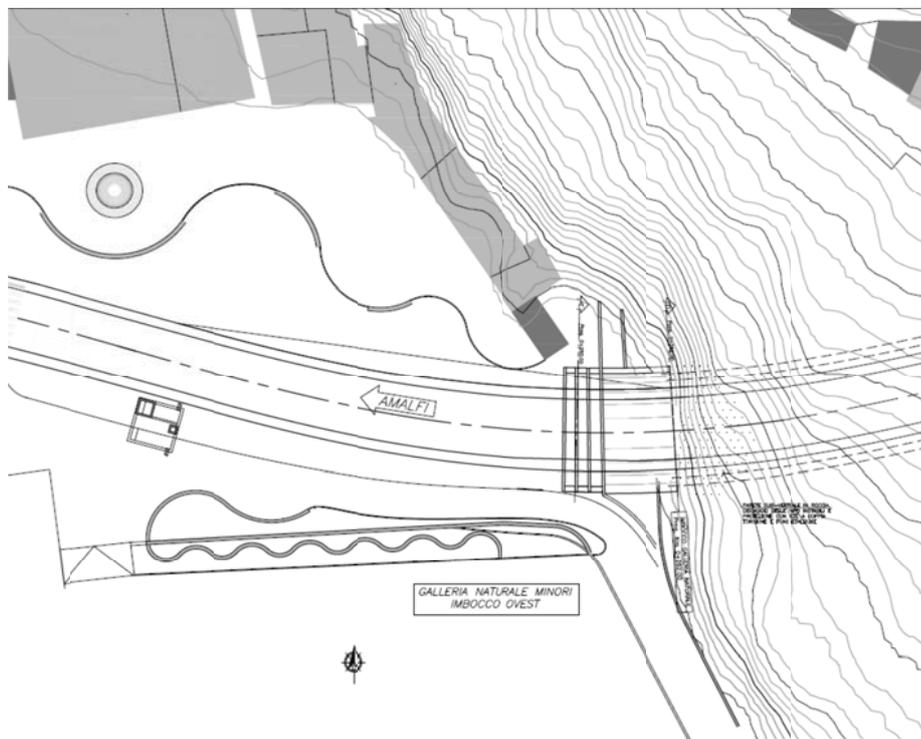
Dal lato Maiori, l'imbocco è situato in prossimità del convento "San Francesco"; la posizione e la geometria dell'imbocco è stata studiata, analogamente al lato Minori, in modo da limitare scavi e tagli della parete rocciosa.

Le gallerie artificiali all'imbocco presentano una sezione scatolare. La struttura sarà realizzata in ogni caso in c.a. con l'aggiunta di 4 elementi a portale che costituiscono il tunnel acustico disposti frontalmente all'imbocco della galleria.

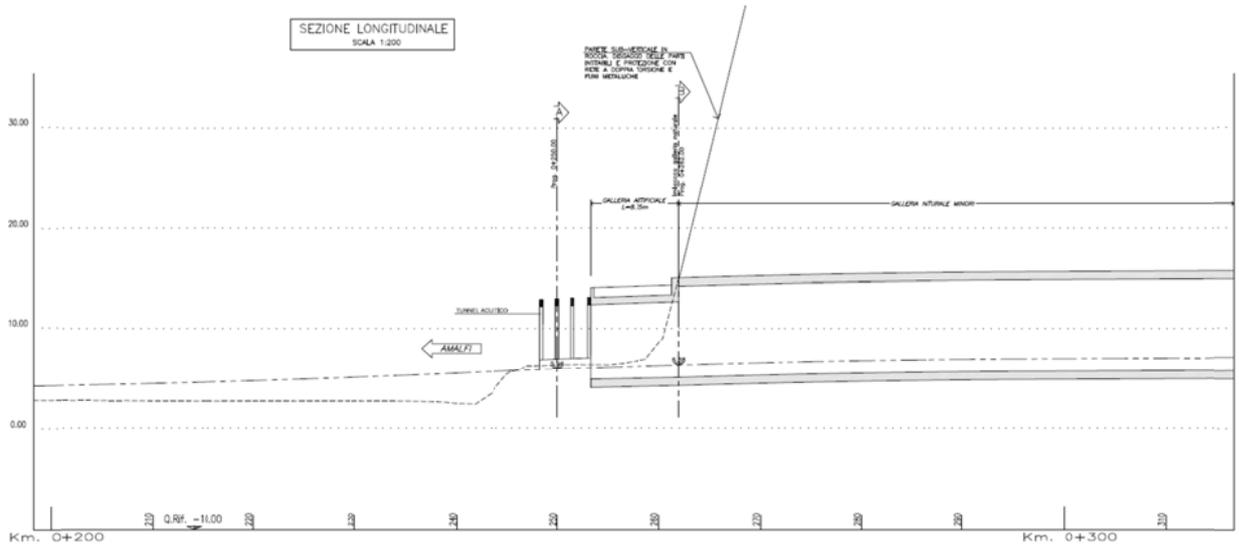
La stabilizzazione degli scavi degli imbocchi verrà realizzata mediante chiodature; a scavi conclusi verranno quindi realizzate le gallerie policentriche artificiali di imbocco.

Nella fase conclusiva verrà realizzata la sistemazione superficiale definitiva con mitigazione paesaggistica ed ambientale.

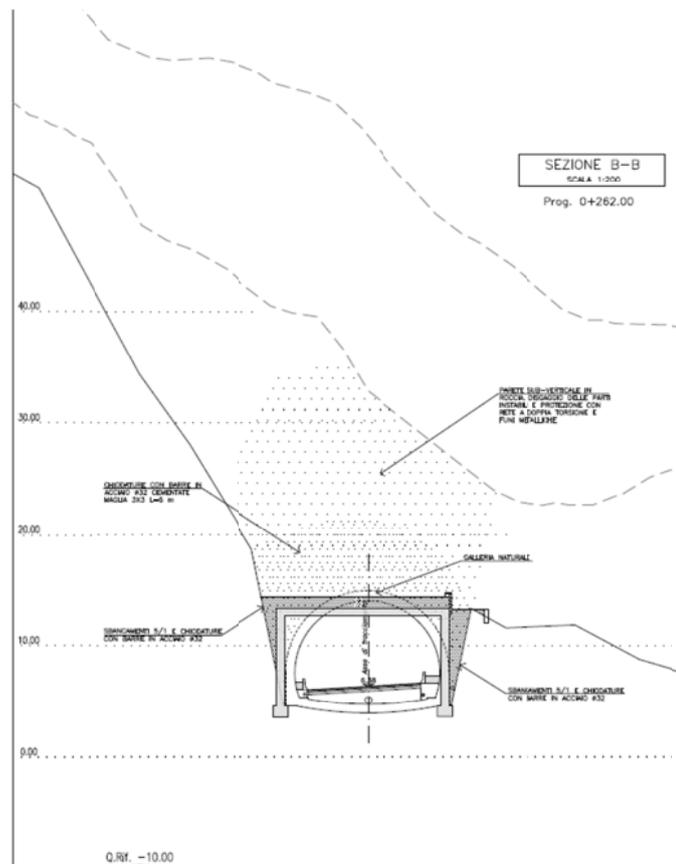
È prevista l'installazione di sistemi di rafforzamento e stabilizzazione corticale attraverso pannelli in fune e rete metallica a doppia torsione sulle pareti in prossimità degli imbocchi.



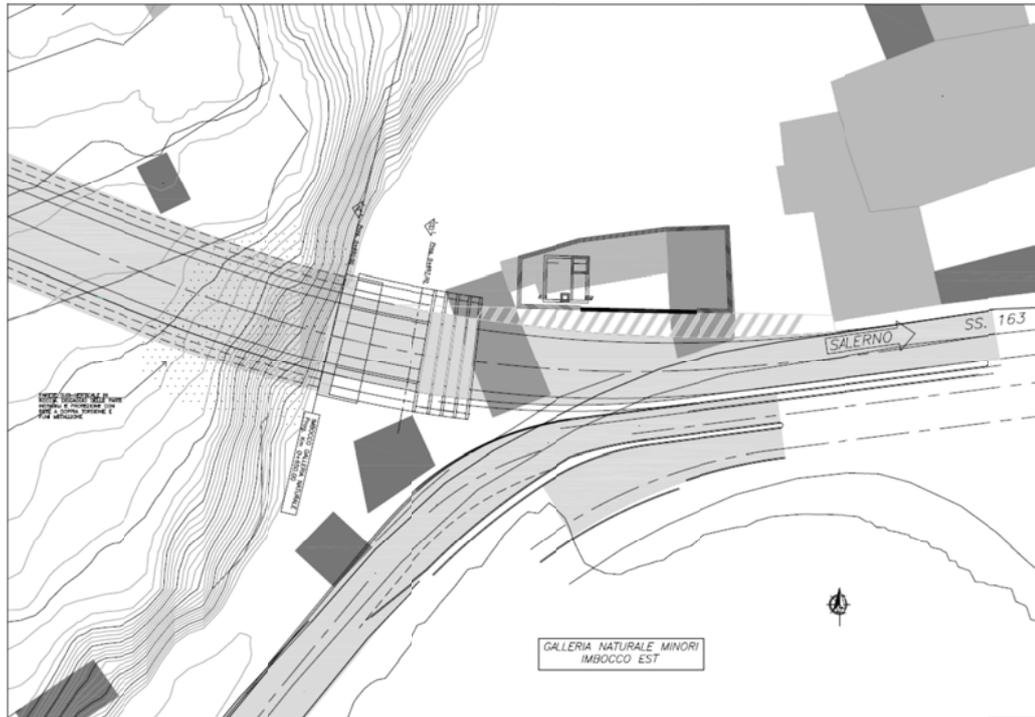
Imbocco lato Minori - Planimetria



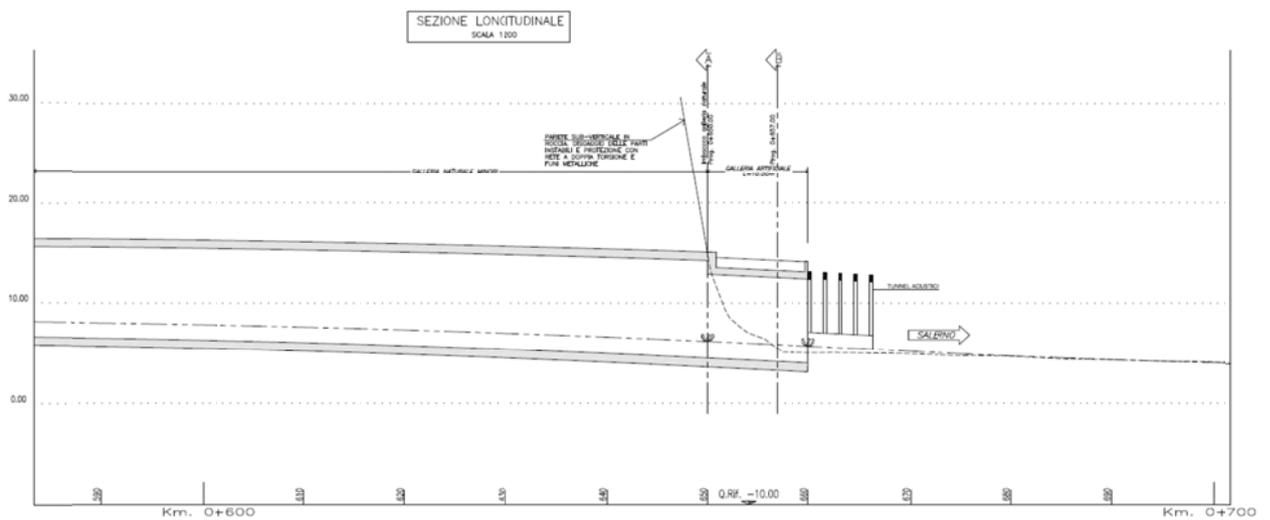
Imbocco lato Minori – Sezione longitudinale



Imbocco lato Minori – Sezione trasversale



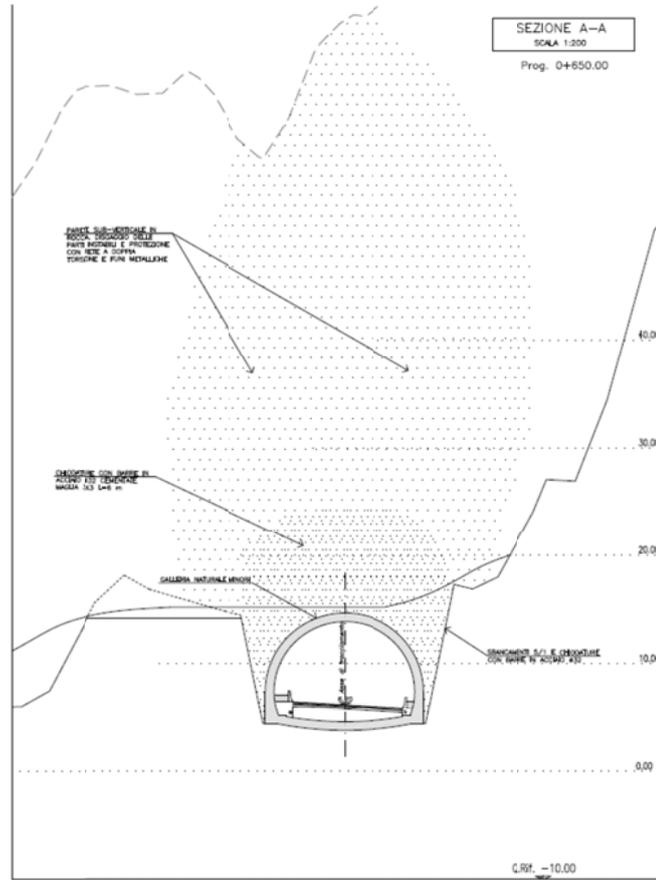
Imbocco lato Maiori - Planimetria



Imbocco lato Maiori - Sezione longitudinale

**PROGETTO DI FATTIBILITA'**

**RELAZIONE TECNICA GALLERIA, OPERE GEOTECNICHE, SISMICA**



*Imbocco lato Maiori - Sezione trasversale*

## 7. MONITORAGGIO GEOTECNICO/GEOMORFOLOGICO

Al fine di controllare, durante l'avanzamento dello scavo in galleria, la possibile presenza di cavità carsiche nell'ammasso calcareo si prevede l'esecuzione di carotaggi geognostici (distruzione di nucleo e carotaggio continuo), disposti al contorno della sezione di scavo. Nell'eventuali di riscontro di cavità è prevista la video-ispezione in foro per la definizione della morfologia e dimensione della cavità stessa.

Si prevede inoltre, un monitoraggio delle scarpate in roccia prospicienti la zona degli imbocchi sia con strumenti classici tipo: celle di carico toroidali e barrette estensimetriche e sia con tecnologie innovative costituite da una rete di sensori accelerometrici che permette nel tempo di riconoscere il comportamento del versante durante la sua vita naturale (vibrazioni indotte dal traffico, da scuotimenti sismici anche di bassa intensità, condizioni meteorologiche, variazioni climatiche, ecc...) e quindi la sua normale risposta alle sollecitazioni, permettendo nel tempo di identificare e segnalare eventuali anomalie, prevenendo lo sviluppo di criticità e riducendo i costi di intervento nelle pareti di roccia.

## 8. DESCRIZIONE DELL'ALTERNATIVA 2 E CONFRONTO TRA LE DUE SOLUZIONI

L'alternativa 2 ricalca un progetto preliminare redatto dal Comune di Minori e si colloca sostanzialmente a valle rispetto alla soluzione 1; in particolare è previsto l'attraversamento in galleria del promontorio di Torre Mezzacapo nella sua porzione più a ridosso del mare.

In questa configurazione, la galleria presenta coperture inferiori rispetto all'alternativa 1 e condizioni di parietalità in prossimità degli imbocchi.

Dal lato Minori, l'imbocco della galleria insiste sul fianco roccioso del promontorio; per la realizzazione dell'opera sono necessari scavi e tagli del versante per una lunghezza pari a circa 40 m ed altezze variabili tra 5 e 25m. Le pareti saranno sostenute mediante ancoraggi passivi. La galleria artificiale presenta una lunghezza pari a 20m circa.

La prima parte di galleria a foro cieco si sviluppa presentando coperture ridotte e condizioni di parietalità; in queste condizioni, al fine di garantire adeguati margini di sicurezza, le sezioni di scavo presenteranno sostanziali interventi di consolidamento e presostegno del fronte e del cavo. Il tratto in naturale della galleria è pari a circa 295m.

L'imbocco lato Maiori è situato in adiacenza all'ingresso della grotta San Francesco e, anche in questo caso, geometricamente disposto sul fianco della parete rocciosa; al fine di realizzare la struttura in artificiale sono necessari ingenti tagli del versante fino ad un'altezza pari a 50m e di estensione pari a 15m. La galleria artificiale presenta una lunghezza pari a 10m circa.

In corrispondenza del tratto di galleria in prossimità dell'imbocco lato Maiori sono presenti alcuni edifici sulla parte sommitale del promontorio.

In questo caso è necessario prevedere degli interventi di presidio per tali strutture allo scopo di evitare eventuali danneggiamenti determinati dalle lavorazioni di scavo della galleria; inoltre, le sezioni tipo di scavo e consolidamento della galleria, in tale tratta, dovranno prevedere sostanziali interventi di consolidamento al fine di minimizzare le deformazioni del fronte e del cavo e di conseguenza ridurre il più possibile i cedimenti indotti in superficie.

In conclusione, confrontando tecnicamente le due alternative per gli aspetti concernenti la galleria naturale si può affermare quanto segue:

- All'interno dell'alternativa 1 la galleria si sviluppa a monte rispetto alla soluzione 2 presentando coperture più alte; ciò comporta dei margini di sicurezza più elevati durante la realizzazione dell'opera ed una minimizzazione degli interventi di consolidamento da adottare in fase di scavo.

- All'interno dell'alternativa 1 gli imbocchi della galleria sono stati posizionati il più possibile perpendicolari alle curve di livello in modo da minimizzare gli scavi e gli interventi sul versante.
- La galleria presente all'interno dell'alternativa 2 prevede la realizzazione a foro cieco in condizioni di parietalità con esigue coperture in calotta per alcune tratte; in queste condizioni lo scavo viene condotto con margini di sicurezza ridotti e comporta una serie di problematiche la cui soluzione non può che prevedere numerosi interventi di consolidamento. La presenza di edifici in superficie ad una ridotta distanza dallo scavo porta all'introduzione di opere di presidio di tali fabbricati. Tutto ciò porta ad un inevitabile aumento del costo dell'opera rispetto alla soluzione 1.
- All'interno della soluzione 2, nelle zone di imbocco, viste le condizioni di parietalità della galleria, sono necessari lunghi tratti con scavi e tagli del versante per altezze non trascurabili.

## 9. OPERE DI SOSTEGNO: MURI DI SOSTEGNO E PARATIE

Sono previste due tipologie di opere di sostegno:

- Muri di sostegno presenti sia sul lato Minori (L=50 m, Hvar=0.5 m ÷ 3 m) che sul lato Maiori (L=30 m, Hvar=0.5 m ÷ 1,6 m). Per tale tipologia di opera è prevista una fondazione di tipo diretto.
- Paratia di pali  $\varnothing$  800 mm su lato Maiori (L=40 m, H=10 m).

In testa a tali opere verrà realizzato un parapetto avente funzione di barriera di sicurezza. Per entrambe le opere di sostegno è previsto un rivestimento con materiale tale da mantenere una continuità con le esistenti opere di sostegno.

Per maggiori dettagli si rimanda allo specifico elaborato (T00GE00GETST01A).

Per la realizzazione della vasca di sicurezza idraulica, che sarà completamente interrata, è inoltre prevista una paratia provvisoria di micropali ( $\varnothing$  240 mm, H=7 m). Maggiori dettagli sono indicati nell'elaborato T00OI00IDRCP01.

