

STUDIO CALVI S.r.l.
Ingegneria e architettura
Via Boezio, 10 – 27100 Pavia (Italy)
Tel. +39.0382.538817 – Fax +39.0382.538702
e-mail: info@studiocalvi.eu
Website: www.studiocalvi.eu



GEODATA S.p.A.
Corso Bolzano 14 - 10121 Turin - Italy
Tel: +39 011.58.10.611 Fax: +39 011.59.74.40
Website: geodata@geodata.it



Contratto n. 0895

PROGETTO DI FATTIBILITA' TECNICA ED ECONOMICA PER IL

“COMPLETAMENTO DEI LAVORI CONCERNENTI LA FRANA DI BEMA

SUL TORRENTE BITTO, REALIZZAZIONE ED ADEGUAMENTO DEL

COLLEGAMENTO VIARIO COL FONDOVALLE”

*Relazione Generale e Tecnica di
Progetto*

0895-IT-Bema-PTFE-GEN-02-R2

TABELLA DELLE REVISIONI

| REV. | DATA | PREPARATO DA | CONTROLLATO DA | APPROVATO DA | NOTE |
|--------|------------|--|--|--|------|
| REV. 0 | 15/04/2020 | Stefano Pesa, SP Federica Danise, FD Enrico Elia, EE | Giovanni Quaglio, GQ Simone Villa, SV | Giovanni Quaglio, GQ Simone Villa, SV | |
| REV. 1 | 06/05/2020 | Stefano Pesa, SP Federica Danise, FD Enrico Elia, EE | Giovanni Quaglio, GQ Simone Villa, SV | Giovanni Quaglio, GQ Simone Villa, SV | |
| REV. 2 | 12/05/2020 | Andrea Dossena, AD | Matteo Moratti, MM | Gian Michele Calvi, GMC | |
| | | | | | |
| | | | | | |

DESCRIZIONE DELLA REVISIONE:

REV. 0: Prima emissione

REV. 1: Validazione e richieste Stazione Appaltante

REV. 2: Correzione refusi pagg. 16 e 40.

PER APPROVAZIONE DEL CLIENTE: _____

Copia controllata []

Distribuito a: _____

Nome file: 0895_IT_Bema_PFTE_GEN_02_R2_Relazione_Generale_Tecnica

Il documento contiene informazioni di proprietà di studio Calvi s.r.l. che sono soggette a copyright. La riproduzione totale o parziale del documento senza autorizzazione è pertanto vietata.

INDICE

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | PREMESSA..... | 7 |
| 2 | INQUADRAMENTO GENERALE..... | 8 |
| 2.1 | AREA DI INTERVENTO | 8 |
| 2.2 | PROPOSTA PROGETTUALE | 9 |
| 2.3 | DOCUMENTI DI RIFERIMENTO | 10 |
| 3 | CONTESTO IDRO-GEOMORFOLOGICO..... | 11 |
| 3.1 | LA FRANA DI BEMA..... | 12 |
| 3.2 | I DISSESTI IDROGEOLOGICI DEL BACINO - LA STRADA PROVINCIALE | 12 |
| 3.3 | GLI INTERVENTI REALIZZATI | 13 |
| 3.4 | IL PROGETTO IDRAULICO..... | 14 |
| 4 | DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO | 15 |
| 4.1 | IL TRACCIATO..... | 15 |
| 4.2 | PIATTAFORMA STRADALE..... | 16 |
| 4.3 | INTERVENTI A CIELO APERTO..... | 19 |
| 4.3.1 | <i>Descrizione dell'intervento</i> | <i>19</i> |
| 4.3.2 | <i>Componenti strutturali della terra rinforzata</i> | <i>20</i> |
| 4.3.3 | <i>Fasi esecutive per la realizzazione della terra rinforzata</i> | <i>21</i> |
| 4.3.4 | <i>Principio delle terre rinforzate</i> | <i>22</i> |
| 4.4 | OPERE IN SOTTERRANEO | 23 |
| 4.4.1 | <i>Descrizione dell'intervento</i> | <i>23</i> |
| 4.4.2 | <i>Metodo per la definizione dei supporti in galleria</i> | <i>24</i> |
| 4.4.3 | <i>Supporto di scavo di prima fase: Suddivisione della galleria in zone omogenee</i> | <i>24</i> |
| 4.4.4 | <i>Supporto di scavo di prima fase: Analisi dei comportamenti di scavo attesi</i> | <i>25</i> |
| 4.4.5 | <i>Supporto di scavo di prima fase: Definizione dei supporti di prima fase</i> | <i>26</i> |
| 4.4.6 | <i>Verifica preliminare dei supporti di prima fase</i> | <i>28</i> |
| 4.4.7 | <i>Supporto definitivo.....</i> | <i>30</i> |
| 4.5 | OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO | 35 |
| 4.6 | ALTRE OPERE DI DIFESA E CONSOLIDAMENTO | 37 |
| 4.7 | AMBITO PAESAGGISTICO / AMBIENTALE | 39 |
| 4.8 | INTERFERENZE | 39 |
| 4.9 | DISPONIBILITÀ AREE – PIANO PARTICELLARE DI ESPROPRIO | 40 |

| | | |
|-------------|---|-----------|
| 4.10 | ASPETTI COSTRUTTIVI E DI CANTIERIZZAZIONE | 40 |
| 4.11 | IMPIANTI TECNOLOGICI..... | 40 |
| 4.11.1 | <i>Alimentazione elettrica</i> | <i>41</i> |
| 4.11.2 | <i>Impianto di illuminazione</i> | <i>41</i> |
| 4.11.3 | <i>Impianto idrico antincendio</i> | <i>42</i> |
| 4.11.4 | <i>Stazioni di emergenza.....</i> | <i>43</i> |
| 4.11.5 | <i>Impianto di ventilazione.....</i> | <i>43</i> |
| 4.11.6 | <i>Rilevazione incendio</i> | <i>44</i> |
| 4.11.7 | <i>Semafori, PMV, Segnaletica di emergenza</i> | <i>44</i> |
| 5 | CARATTERISTICHE ECONOMICHE DELL'OPERA | 45 |
| 6 | CRONOPROGRAMMA DI MASSIMA DELLE FASI DI INTERVENTO | 46 |
| 7 | CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI..... | 47 |

1 PREMESSA

Il Comune di Bema, mediante la procedura di affidamento diretto CIG Z952B95DAC, ha incaricato le società Studio Calvi S.r.l. e Geodata Engineering S.p.A. della redazione dello Studio di Fattibilità Tecnica ed Economica per il *"Completamento dei lavori concernenti la frana di Bema sul Torrente Bitto, realizzazione ed adeguamento del collegamento viario col fondovalle"*. Tale progetto riprende una complessa procedura analiticamente descritta nelle motivazioni della deliberazione adottata dalla Giunta Comunale in data 9/11/2019, n.36 e ha lo scopo di fornire indicazione relativamente alle integrazioni finanziarie necessarie al Comune di Bema per la realizzazione dell'opera.

Di seguito si riporta la Relazione Generale e Tecnica di progetto.

2 INQUADRAMENTO GENERALE

2.1 AREA DI INTERVENTO

Il Comune di Bema (800 m.s.l.m.) si trova in Provincia di Sondrio a 9 km da Morbegno, tra la valle del Bitto di Albaredo e quella di Gerola, in versante orobico, all'interno del Parco Regionale delle Orobie Valtellesi. Si sviluppa su un ampio terrazzo ai piedi del Monte Berro (1870 m), in posizione dominante verso Morbegno. L'abitato è circondato da prati coltivati a foraggio.



Figura 1: Inquadramento territoriale del Comune di Bema



Figura 2: Vista del Comune di Bema

Nel passato l'economia nel territorio di Bema era di tipo rurale, legata principalmente all'agricoltura ed alla pastorizia. Nel corso degli anni il Comune ha subito un fenomeno di emigrazione che ha comportato una riduzione della popolazione da circa 440 abitanti, agli inizi del Novecento, a meno di 150 abitanti. Essendo

pressoché inesistenti le attività secondarie ed artigianali la maggior parte dei residenti si reca quotidianamente a valle per esigenze lavorative.

Il progetto in questione è prevalentemente riferito alle opere viarie di collegamento del Comune con il fondovalle. Visto il contesto montano che caratterizza Bema risulta infatti necessaria la disponibilità di una rete di trasporti adeguata a garantire la sopravvivenza ed il rilancio di un nucleo storico che rischia di essere compromesso per via delle difficoltà che l'attuale infrastruttura viaria comporta.

2.2 PROPOSTA PROGETTUALE

La richiesta del Comune di Bema relativamente la redazione del presente Studio di Fattibilità nasce a valle di una serie di vicissitudini che si sono succedute negli anni passati.

Il progetto in questione ha inizio grazie all'accordo stipulato l'11 Agosto 2005 tra la Regione Lombardia, l'Amministrazione Provinciale di Sondrio ed i Comuni di Bema e Morbegno. Tale accordo prevedeva la progettazione preliminare in capo al Comune di Bema per tutto l'intervento, sia di difesa del suolo che viabilistico, con riqualifica della SP 8 dir. A fino al ponte sul T. Bitto ed il proseguimento con la realizzazione ex novo del tratto fino a congiungersi con la Strada Comunale "Vigna-Bema".

I livelli progettuali si susseguono negli anni fino al livello di Progettazione Esecutiva nell'Aprile del 2007.

Grazie alla Convenzione dell'11.12.2012 no. 7 e relativo atto di rettifica del 26.02.2013 n 7 stipulati tra il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti ed il Comune di Bema, con riferimento all'appalto dei lavori "frana sul torrente Bitto, consolidamento dei versanti e realizzazione delle infrastrutture viarie per il collegamento dell'abitato di Bema con il fondovalle LOTTO A", viene messa a disposizione la somma di 5.546.183,46 per la realizzazione dell'opera.

In data 4 Giugno 2015, su mandato del Provveditorato alle OO.PP. della Lombardia e dell'Emilia-Romagna, il Prof. Geol. Lamberto Griffini redige una "consulenza geologica sulle possibili problematiche connesse alla realizzazione delle opere in progetto" dal quale si evidenziano, a fronte di precise valutazioni tecniche presenti nel PE, serie perplessità sulla reale fattibilità dell'opera così come progettata, non ritenendo si realizzino le condizioni di sicurezza del cantiere e dell'area, tali per cui l'intero impianto progettuale risulterebbe non approvabile.

A valle della suddetta consulenza il giorno 28 Luglio 2015 il Ministero delle Infrastrutture e dei Trasporti comunica al Comune di Bema il Recesso dalla Convenzione dell'11.12.2012 n. 7 e relativo atto di rettifica del 26.02.2013 n. 7.

Ne Dicembre 2017 l'ATI affidataria dei lavori di costruzione (Accisa S.p.A., Rete Costruzioni s.r.l., Valena S.r.l.) del progetto in questione redige quindi una "verifica di fattibilità progettuale in base alle indicazioni del commissario ad acta relativamente alla realizzazione delle infrastrutture viarie per il collegamento dell'abitato di Bema con il fondovalle – LOTTO A". In tale documento viene proposta una variante al progetto originario che prevede l'allungamento del tratto in galleria naturale per superare la zona instabile della frana sul T. Bitto e la realizzazione di rilevati in terra rinforzata per la parte di tracciato fuori terra. La proposta dell'ATI mostra come sarebbe possibile contenere i costi dell'opera, nonostante l'allungamento della galleria naturale, rientrando nella somma a disposizione del Comune di Bema per la realizzazione dell'opera.

In data 10-01-2018 il Prof. Geol. Lamberto Griffini, su incarico del Comune di Bema, nella persona del Commissario ad acta Dott. Umberto Sorrentino, redige una "consulenza geologica e geomeccanica per la valutazione della fattibilità del progetto" nella quale si conferma la fattibilità della proposta dell'ATI.

Il presente studio di fattibilità è stato quindi sviluppato partendo dalla soluzione in variante proposta dall'ATI e sviluppando le considerazioni progettuali ritenute necessarie per il completamento dell'opera in relazione ai sopravvenuti riferimenti tecnici normativi.

2.3 DOCUMENTI DI RIFERIMENTO

La presente relazione va letta congiuntamente agli elaborati elencati in Tabella 1.

Tabella 1: Elaborati di riferimento

| No Documento | Codice Documento |
|--|-----------------------------|
| Elenco Elaborati | 0895-IT-Bema-PFTE-GEN-01-R2 |
| Corografia con proposta di tracciato | 0895-IT-Bema-PFTE-GEN-03-R0 |
| Piano Particellare preliminare | 0895-IT-Bema-PFTE-GEN-04-R1 |
| Inquadramento Urbanistico | 0895-IT-Bema-PFTE-GEN-05-R0 |
| Relazione Geologica e Geotecnica | 0895-IT-Bema-PFTE-STU-01-R0 |
| Relazione Sismica e sulle Strutture | 0895-IT-Bema-PFTE-STU-02-R0 |
| Prime indicazioni e prescrizioni per la stesura dei Piani di Sicurezza | 0895-IT-Bema-PFTE-STU-03-R1 |
| Planimetria del tracciato su ortofoto | 0895-IT-Bema-PFTE-TRA-01-R0 |
| Profilo Longitudinale del tracciato | 0895-IT-Bema-PFTE-TRA-02-R0 |
| Sezione Tipo in galleria | 0895-IT-Bema-PFTE-TRA-03-R0 |
| Sezioni Tipo in rilevato | 0895-IT-Bema-PFTE-TRA-04-R0 |
| Carta Geologica/Geomorfologica | 0895-IT-Bema-PFTE-GEO-01-R0 |
| Carta dei dissesti su base dati geografica: GEOIFFI | 0895-IT-Bema-PFTE-GEO-02-R0 |
| Profilo e sezioni geologiche | 0895-IT-Bema-PFTE-GEO-03-R0 |
| Galleria Naturale - Carpenteria delle sezioni tipo | 0895-IT-Bema-PFTE-TUN-01-R0 |
| Galleria Naturale - Sezioni Tipo di Scavo e Consolidamento - 1 di 2 | 0895-IT-Bema-PFTE-TUN-02-R0 |
| Galleria Naturale - Sezioni Tipo di Scavo e Consolidamento - 2 di 2 | 0895-IT-Bema-PFTE-TUN-03-R0 |
| Opere d'arte minori - attraversamenti idraulici | 0895-IT-Bema-PFTE-MIN-01-R0 |
| Calcolo Sommario di Spesa | 0895-IT-Bema-PFTE-STI-01-R1 |
| Elenco Prezzi Unitari | 0895-IT-Bema-PFTE-STI-02-R1 |
| Quadro Economico | 0895-IT-Bema-PFTE-STI-03-R2 |

3 CONTESTO IDRO-GEOMORFOLOGICO

La morfologia del versante in esame costituisce uno dei rari esempi di valle alterale a doppia conformazione di bacino presenti sul territorio dell'arco alpino italiano. Rispettivamente la Valle del Bitto di Gerola (Val Gerola) e quella del Bitto di Albaredo, dopo aver determinato due diversi e ben distinti bacini idrografici, volgendo verso la Valtellina in direzione Nord, formano un' unica confluenza in prossimità del massiccio promontorio roccioso di Bema, proseguendo per circa un chilometro in valle profondamente incisa e stressa sino al raggiungimento del fondovalle (Valtellina), con la formazione del conoide di deiezione sul quale ora sorge il popoloso abitato di Morbegno con circa 12.000 abitanti.

La particolare posizione del promontorio roccioso sul quale sorge il paese di Bema, posta fra i due diversi rami del torrente Bitto, unitamente alla conformazione geologica presente ed alla elevata ripidità dei versanti, ha generato le condizioni ottimali per una ciclogenese di frane e paleo frane attive e particolarmente pericolose interessanti sia la sponda del promontorio di Bema rivolta verso la Valle del Bitto di Gerola in sponda destra del torrente, sia quella rivolta verso la Valle del Bitto di Albaredo ove tuttora esiste la ex SP n° 5, ora la Strada Provinciale n° dir A.

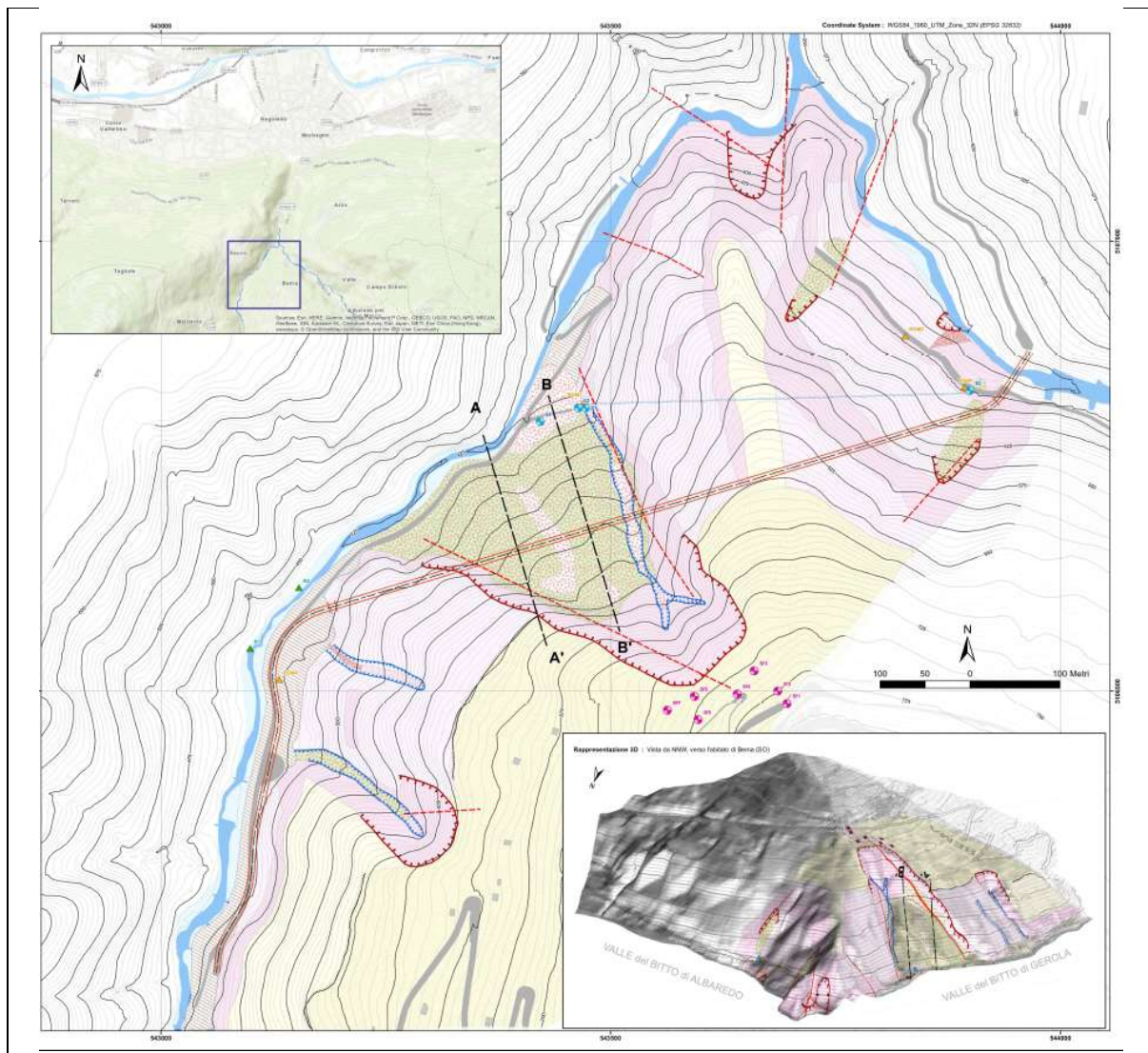


Figura 3: Ubicazione della frana di Bema - -Carta Geologica/Geomorfologica

3.1 LA FRANA DI BEMA

Nell'area oggetto del presente intervento di difesa del suolo è presente la storica frana di Bema la quale registra una larghezza al piede di circa 300 m ed una lunghezza di circa 600 m, compresa fra i 380 m.s.l.m., e i 740 m.s.l.m. (nicchia di distacco della frana).

Diversi eventi relativi alla Frana di Bema si sono succeduti nel corso degli anni.

L'alluvione del 1987 ha mobilitato circa 50.000 mc di materiale che ha causato lo sbarramento del Bitto di Gerola creando una situazione di estrema gravità che ha reso necessaria l'evacuazione di numerose famiglie di Bema e della sottostante città di Morbegno, sita a circa 1.500 m a valle della confluenza dei due rami del Bitto.

I rilievi geologici ed idrogeologici eseguiti hanno sottolineato la necessità di intervenire con adeguate opere di stabilizzazione del piede del versante della frana di Bema consentendo l'arresto del dissesto idrogeologico e limitando i crolli, consentendo, allo stesso tempo, anche mediante ulteriori opere idrauliche sul torrente Bitto di Gerola, il deflusso in sicurezza delle acque, nonché il regolare accesso alle opere preesistenti ad a quelle realizzate per l'emergenza.

In seguito ai fenomeni alluvionali del 1987 sono stati effettuati interventi di prima emergenza direttamente nell'alveo del torrente Bitto di Gerola. Sono state inoltre realizzati il by-pass in sponda sinistra del torrente Bitto, opere di convogliamento delle acque, nonché opere di regimazione idraulica e soglie, al fine di consentire, in caso di collassi della soprastante frana di Bema, il regolare deflusso delle acque evitando l'occlusione del torrente ed il pericoloso formarsi di laghi artificiali. Tali opere, complete della realizzazione di una pista di accesso lungo la sponda destra del torrente Bitto di Gerola, hanno determinato un primo e sostanziale intervento per la sicurezza del sottostante abitato di Morbegno senza però portare, per esiguità di fondi, al completamento degli interventi di difesa del suolo omettendo, in particolare, la realizzazione di congrui interventi di consolidamento atti a stabilizzare il versante nonché a garantire il regolare accesso al medesimo by-pass in caso del verificarsi di crolli significativi.

3.2 I DISSESTI IDROGEOLOGICI DEL BACINO - LA STRADA PROVINCIALE

Il verificarsi di frequenti e consistenti smottamenti e crolli lungo i versanti dei due rami del torrente Bitto che continuano a coinvolgere anche l'unica via di accesso all'abitato di Bema hanno evidenziato più volte la necessità di intervenire adeguatamente per consentire la stabilizzazione delle aree dissestate e la relativa messa in sicurezza.

Il problema dell'instabilità dei versanti lungo i quali si snoda la strada provinciale n° 8 dir. A Bivio per Albaredo-Bema è ormai noto da tempo alle istituzioni e all'opinione pubblica per il continuo crollo di massi, frane e valanghe che rende pericolosissimo il transito.

Proprio in riferimento alla stretta carreggiata, unica via di comunicazione tra il fondovalle ed il centro abitato di Bema, la Commissione Grandi Rischi della Protezione Civile, già nel 1993 dichiarava che *"in relazione alle situazioni di pericolo imminente accertate, vengano assunte dalle Autorità competenti con la dovuta urgenza le opportune iniziative a salvaguardia della pubblica incolumità"* ed ancora *"la situazione di instabilità è così diffusa e generalizzata che, ad opinione di tutti gli intervenuti, si rende necessario l'abbandono del tratto di strada in oggetto e l'individuazione di un percorso alternativo"*.

A seguito degli interventi alluvionali verificatisi nel 2000 e nel 2002 la situazione è costantemente peggiorata tanto che, nel corso del mese di Novembre 2002, in corrispondenza di una paleofrana, la strada provinciale (ex n° 5) Morbegno-Bema, in località Madonnina, è sprofondata per circa un metro, delimitando un movimento franoso in atto con fronte di circa 150 metri sopra il torrente Bitto, ramo di Albaredo.

L'Amministrazione provinciale, Ente proprietario dell'arteria, consapevole del pericolo e della situazione di dissesto generalizzato, già nel 1993, con puntuali ordinanze, imponeva la chiusura della strada nelle ore

notturne, dovendo poi procedere, nel '97, a disporre la chiusura al transito per ben 19 ore al giorno. Infine, a seguito dell'ultimo movimento franoso del 2002, con ordinanza n° 162/002, la Provincia ha disposto la chiusura totale della strada in oggetto, lasciando il paese di Bema completamente isolato per oltre due mesi, stante la mancanza di vie carrabili alternative.

Solo il 31/01/2003 la strada veniva riaperta in tre fasce orario per un totale di 5 ore al giorno e l'Amministrazione Provinciale si riservava però di estendere la chiusura all'intera giornata in concomitanza del disgelo o nell'eventualità di piogge intense. L'instabilità idrogeologica del versante, in associazione con violenti rovesci, determina infatti frequenti ed imponenti smottamenti. La pesante limitazione al traffico veicolare, sicuramente unica sul territorio nazionale, permane ancora ad oggi nel tratto Ponte-Bema, con gravi conseguenze per la popolazione.

3.3 GLI INTERVENTI REALIZZATI

Nel corso degli ultimi vent'anni nel bacino del torrente Bitto sono state realizzate diverse opere di regimazione, di consolidamento dei versanti e di viabilità. Successivamente all'alluvione dell'anno 1987 e grazie ai finanziamenti della L. 470, sono stati realizzati un canale di gronda sopra la frana di Bema in sponda destra del torrente Bitto di Gerola, ed in prossimità dell'alveo, una galleria di by-pass, lunga circa 1300 m, in sponda sinistra del medesimo torrente, in corrispondenza della sopracitata zona franosa. Il by-pass ha determinato la possibilità di un sicuro deflusso delle acque per circa 400 mc/s anche in caso di collasso di vaste dimensioni ed occlusione dell'alveo. Ulteriori successivi interventi hanno riguardato la realizzazione di arginature e soglie. Le opere iniziali hanno pertanto consentito di dare una prima risposta al problema della sicurezza, ma l'esiguità delle risorse a disposizione non hanno permesso di completare tutte le opere previste.

Grazie al finanziamento della 1^a fase del Piano di Difesa del Suolo di cui alla Legge 102/90, sono stati ripresi alcuni interventi di completamento ed in particolare sono state realizzate le seguenti opere:

- Traversa di sbarramento del torrente Bitto di Gerola in adiacenza all'imbocco, atta al funzionamento idraulico del by-pass;
- Completamento dei manufatti di sblocco della galleria di by-pass (a valle della pendice di frana);
- Regimazione T. Bitto a monte della galleria di by-pass, con ricostruzione di briglia;
- Consolidamento delle briglie a monte e a valle del by-pass;
- Completamento del manufatto di imbocco del by-pass;
- Pista di accesso dall'abitato di Bema alla briglia selettiva ed all'imbocco del by-pass per permettere la manutenzione ordinaria e straordinaria.

L'Amministrazione comunale di Bema, conscia della necessità di garantire un adeguato accesso di mezzi idonei al by-pass per consentire la normale manutenzione oltre che per garantire la possibilità di intervenire prontamente per scongiurare l'eventuale occlusione dell'imbocco del tunnel idraulico, ha provveduto a realizzare, in un primo momento, una pista di cantiere che da centro abitato di Bema scendeva per circa 3,4 km lungo il versante in sponda destra del torrente Bitto fino all'imbocco del by-pass. Questa pista di accesso al torrente è stata negli ultimi anni opportunamente sistemata e adeguata alle caratteristiche costruttive delle strade comunali di montagna ed è stata denominata Strada comunale "Vigna-Bema", consentendo di essere sfruttata anche quale collegamento viario all'abitato di Bema a minor rischio in alternativa al tratto di strada provinciale particolarmente pericoloso.

Sono state eseguiti interventi per la stabilizzazione del versante franoso, la regimazione idraulica con soglie ed argini lungo l'asta del torrente Bitto. Le opere di difesa del suolo realizzate lungo il versante instabile della frana di Bema, con particolare riferimento ai muri di contenimento (scogliere), hanno inoltre consentito la stabilizzazione ed il consolidamento del medesimo limitando ulteriori distacchi di roccia e detriti, ma soprattutto l'aggravarsi della pericolosa ciclogenesi di dissesto dell'area tuttora in atto.

3.4 IL PROGETTO IDRAULICO

L'inquadramento idraulico dell'area è riportato in modo assai dettagliato nel Progetto redatto dal professor Franzetti nel luglio del 2002 per il completamento delle opere idrauliche relative alla frana di Bema al quale si rimanda per i dati di dettaglio.

In estrema sintesi lo studio svolto dal professo Franzetti dipinge vari scenari di piena con e senza la presenza della frana ad ostruire il corso d'acqua.

Con ipotesi di piena duecentennale, senza frana, la quota dell'invaso a monte della frana in corrispondenza dello sbocco della galleria in direzione Bema raggiunge quota di 431.48 m slm.

Tale quota è ampiamente inferiore alla quota della strada lasciando un franco minimo di circa 3 m garantendo la percorribilità della strada. Si nota comunque che l'attuale tracciato di progetto aumenta la quota della strada attuale.

Nell'ipotesi invece di nuova frana e di piena cinquecentennale il prof. Franzetti calcola una quota massima d'invaso di 443.00 m slm che non è quindi compatibile con l'utilizzo della strada.

Si sottolinea come tale scelte fossero già state approvate nel precedente progetto esecutivo in relazione alla valutazione costi-benefici dell'opera. La soluzione proposta è migliorativa rispetto a quella precedentemente approvata.

4 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

4.1 IL TRACCIATO

L'intervento insiste su un tratto SP 8 dir di competenza Comunale in prossimità del ponte sul fiume Bitto che segna il passaggio al tratto di competenza Provinciale che è già oggetto di precedenti lavori di ampliamento e messa in sicurezza della sede viaria. Il nuovo intervento comprendente la Galleria e la modifica della strada di versante si configura come un braccio comunale autonomo. Compete quindi al Comune di Bema le deroghe di cui all'articolo 10 del Regolamento Regionale 24 aprile 2006 , N. 7 (BURL n. 17, 1° suppl. ord. del 27 Aprile 2006).

Il progetto prevede il rifacimento della strada esistente SP 8 dir. A dall'uscita Nord della galleria artificiale esistente al ponte che attraversa il torrente Bitto di Albaredo come si mostra in Figura 4.

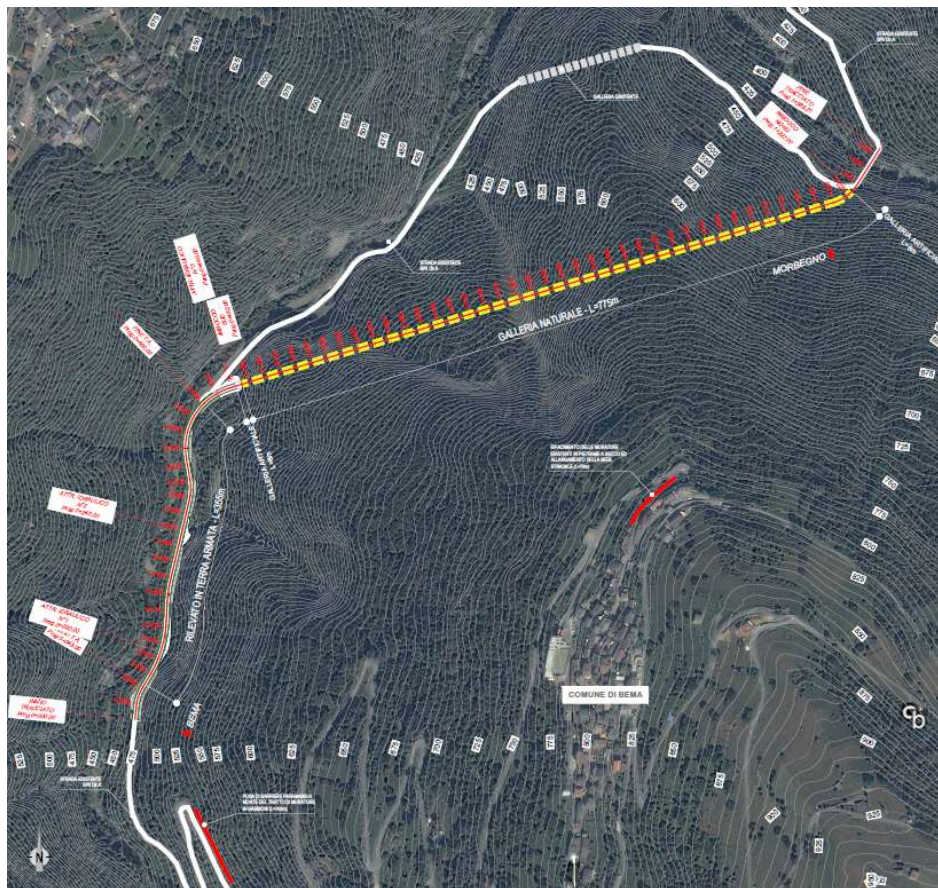


Figura 4: Planimetria del progetto

Il progetto presenta un primo tratto di circa 400m in rilevato da realizzarsi con la tecnologia della terra armata ed un secondo tratto in sotterraneo lungo circa 780m per superare la frana di Bema e collegarsi al ponte esistente.

Le opere in rilevato consentiranno un recupero graduale di quota tra l'imbocco Sud della galleria naturale e l'uscita Nord della galleria artificiale esistente. La strada attuale infatti risulta avere una pendenza pari a circa il 13% che sarà ridotto al 7,75%, 2,4% e 0,6% rispettivamente nelle zone iniziali, centrali ed in galleria come si evince dalla Figura 5.

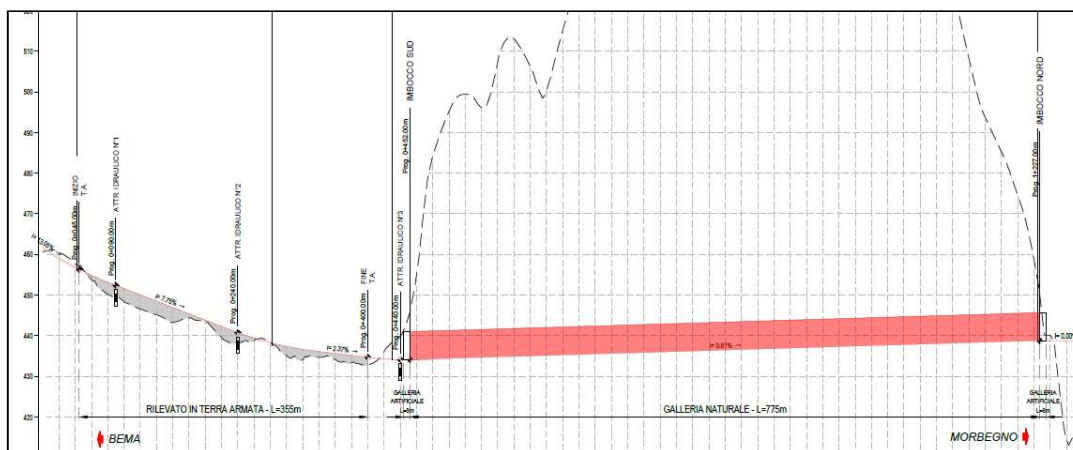


Figura 5: Stralcio del profilo longitudinale di progetto

Lungo il tratto in terra rinforzata è prevista la realizzazione di no. 3 attraversamenti idraulici per garantire il deflusso delle acque lungo le pendici e le linee di impluvio che verrebbero altrimenti occluse dalle opere in rilevato.

È incluso inoltre nel progetto la realizzazione di interventi di stabilizzazione delle scarpate lato monte lungo il percorso stradale, la stabilizzazione del piede della frana di Bema ed il rifacimento di 54m circa di muratura nella zona di Crocetta, all'ingresso dell'abitato di Bema.

Nei capitoli successivi si dettagliano le soluzioni adottate e le ragioni che ne hanno portato alla scelta.

4.2 PIATTAFORMA STRADALE

La strada oggetto di studio ricade nella categoria F1 (strada locale di ambito extraurbano) prevista dal DM 6792 del 2001. Tale decreto prevede per le strade cat. F1 una carreggiata composta da due corsie (una per senso di marcia) di larghezza minima 3,5m e due banchine di larghezza minima 1m, per una larghezza totale di 9m.

Per la definizione della carreggiata stradale va però tenuto in conto il contesto "montano" che caratterizza il comune di Sondrio ed il Comune di Bema. Lo stesso DM 6792/2001 prevede infatti al CAP. 1 che tali norme "...si riferiscono alla costruzione di tutti i tipi di strade previste dal Codice, con esclusione di quelle di montagna collocate su terreni morfologicamente difficili, per le quali non è generalmente possibile il rispetto dei criteri di progettazione di seguito previsti".

Altro elemento fondamentale da prendere in considerazione per la geometrizzazione della carreggiata è il traffico. Nel caso del progetto in esame la domanda di trasporto risulta molto limitata considerando i fruitori dell'arteria: meno di 150 residenti, circa 500 residenti che frequentano Bema nel fine settimana ed altri circa 2000 durante eventi puntuali.

Le componenti di traffico ammesse sono quelle previste dal Codice della Strada: pedoni, animali e veicoli, tra i quali si evidenziano ciclomotori, autovetture, autobus, autocarri etc. Le funzioni di traffico ammesse per la circolazione sono: movimento, sosta di emergenza, sosta ed accesso privato.

Le velocità di progetto che possono assumersi per la strada in questione sono: 25km/h (limite inferiore) e 60 km/h (limite superiore).

Va sottolineato inoltre, richiamando il buonsenso, che la strada attuale che serve il paese di Bema presenta in più tratti una larghezza media di 5,5 m. Ciò a dimostrazione del fatto che una strada di particolare larghezza, come quella che si otterrebbe applicando alla regola le norme del DM 6792/2001 non troverebbe alcuna

giustificazione sotto il profilo tecnico ed economico.

Tale logica è già stata fruttuosamente applicata dalla Provincia di Sondrio nella pianificazione e gestione dei "Lavori concernenti la frana sul Torrente bitto-consolidamento dei versanti-realizzazione delle infrastrutture viarie per il collegamento dell'abitato di Bema con il fondo valle- lotto b- stralcio b1 + b2" di cui si riporta uno stralcio nella Figura 6: Sezione progetto esecutivo "Lavori concernenti la frana sul torrente bitto-consolidamento dei versanti-realizzazione delle infrastrutture viarie per il collegamento dell'abitato di Bema con il fondo valle- lotto b- stralcio b1 + b2") che mostra la larghezza minima di 5 m nel tratto di strada che si collega all'area di intervento.

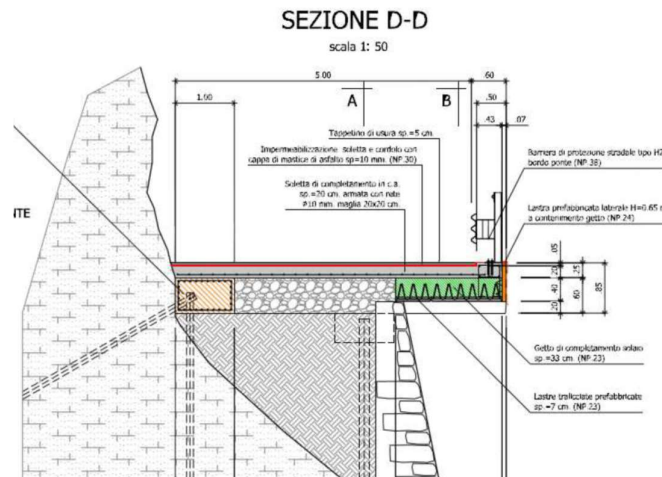


Figura 6: Sezione progetto esecutivo "Lavori concernenti la frana sul torrente bitto-consolidamento dei versanti-realizzazione delle infrastrutture viarie per il collegamento dell'abitato di Bema con il fondo valle- lotto b- stralcio b1 + b2")



Figura 7: Vista della Strada Provinciale di Bema (Fonte: Google Street View)

Per tutte le suddette motivazioni si è optato per una carreggiata composta da due corsie di 2,75m e due banchine da 0,25m per una larghezza totale di 6m.



Figura 8: Conformazione della carreggiata proposta

Tale geometria si traduce per la porzione di strada all'aperto e per la porzione in galleria nella sezione funzionale mostrata nella seguente Figura 9.

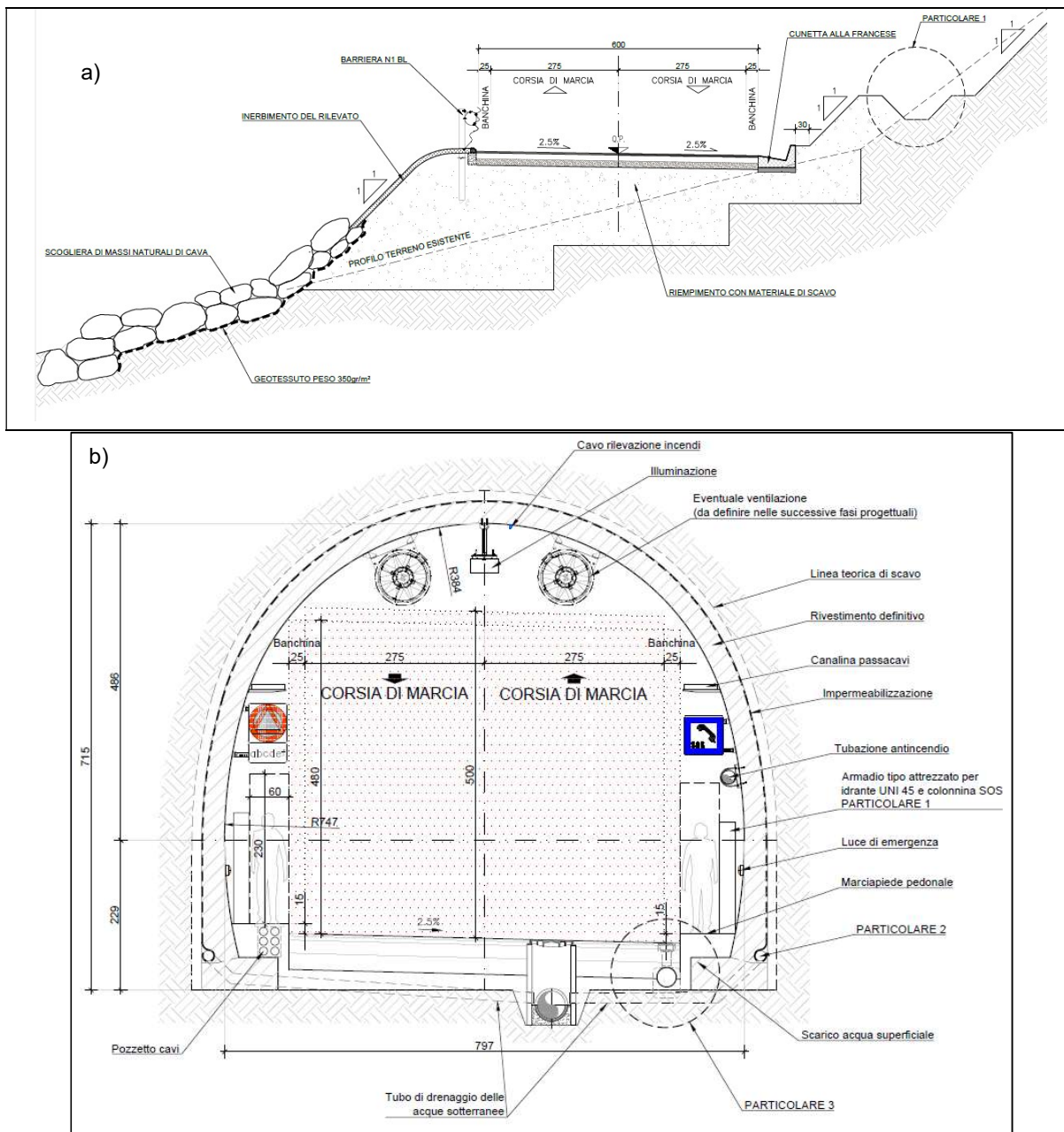


Figura 9: a) Sezione funzionale in rilevato; b) sezione funzionale in galleria.

Per la sezione a cielo aperto in rilevato la sezione è corredata da una cunetta alla francese, un fosso di guarda (lato monte) e una barriera di sicurezza tipo N1 Bordo Laterale lato fiume come previsto per le strade locali (F) in condizioni di Traffico Giornaliero Medio $TGM \leq 1000$ dal Decreto Ministeriale 2367 del 2004 e s.m.i.

Per la definizione della sezione funzionale del tratto in galleria è stata presa in considerazione la **direttiva 2004/54/CE, inglobata nel Decreto Legislativo 264 del 2006** relativa alla sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea. Nonostante la strada oggetto di studio non rientri nella rete stradale transeuropea è

stato comunque ritenuto opportuno rispettare il suddetto decreto considerando il contesto del progetto e la lunghezza della galleria (circa 790m).

Sulla base di ciò è stato quindi previsto:

- camminamenti sopraelevati esterni alla carreggiata per entrambe le direzioni;
- impianto di illuminazione;
- stazioni di emergenza costituite da armadio fornito di telefono ed estintori ogni 150m ;
- erogazione idrica (inclusa nello stesso armadio delle stazioni di emergenza);
- segnaletica per gli impianti di sicurezza;
- eventuale ventilazione (la cui necessità è da confermare con apposita analisi di rischio nelle successive fasi progettuali);
- alimentazione elettrica di emergenza e circuiti elettrici protetti in appositi cavedi;
- drenaggio delle acque di piattaforma con sistema frangifiamma doppio sifone per prevenire la penetrazione di fiamme, fumi ed ossigeno all'interno del collettore.;
- un rivestimento definitivo che garantisca la resistenza al fuoco.

Non sono state previste piazzole di sosta in galleria e uscite di emergenza/vie di fuga data la lunghezza del tunnel inferiore a 1000m. È stata comunque contenuta la pendenza dello stesso allo 0,61%.

Il profilo interno della galleria è stato inoltre geometrizzato considerando gli ingombri verticali pari a 5m in corsia e 4,8m in banchina come previsto dal DM 6792/2001 per le gallerie.

4.3 INTERVENTI A CIELO APERTO

4.3.1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Lungo i primi 400 m il progetto prevede la modifica altimetrica del tracciato mediante la realizzazione di rilevati in terra rinforzata, per i primi 355m, e di circa 45m di rilevato (come mostrato in Figura 9.a) di altezza massima 6m.

La scelta della terra rinforzata è stata motivata dai seguenti due aspetti:

- 1) vincolo spaziale idrogeologico generato dal letto del T. Bitto di Gerola. La realizzazione di un rilevato "classico" avrebbe infatti generato delle scarpate inevitabilmente troppo large ed incompatibili con lo spazio a disposizione. L'utilizzo della terra rinforzata permette invece di realizzare rilevati con superfici verticali che eliminano l'impatto planimetrico delle scarpate. Va sottolineato che lo stesso risultato poteva essere ottenuto optando per una soluzione "sopraelevata" (es. viadotto/ponte) ma che avrebbe comportato un costo indubbiamente superiore dell'opera.
- 2) Possibilità di riutilizzo del materiale proveniente dallo scavo della galleria naturale e delle sezioni in trincea e a mezzacosta.

In basso si mostra la sezione tipologica per il tratto in terra rinforzata.

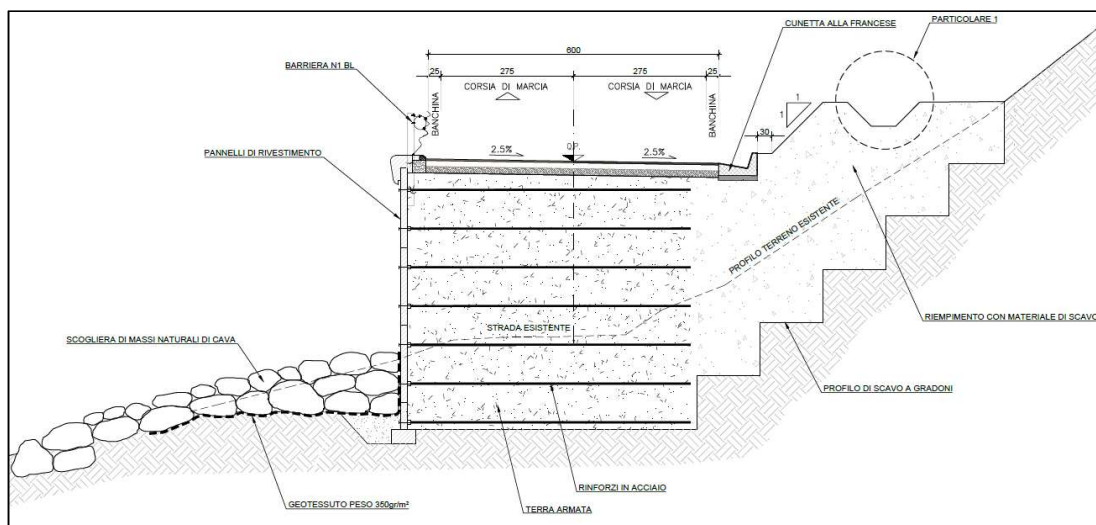


Figura 10: sezione tipica per il tratto in terra rinforzata

Nella zona di approccio alla galleria naturale invece, dove il tracciato si avvicina alle quote stradali esistenti, la terra rinforzata lascia il posto ad un rilevato basso con le caratteristiche indicate in Figura 9.a.

Lungo il piede del rilevato in terra rinforzata è prevista la realizzazione di una scogliera con massi di cava con volume non inferiore a m^3 0,50 e peso superiore a 1250 kg per far fronte ai fenomeni di erosione indotti dal torrente Bitto nei periodi di piena¹. Alla base della scogliera si prevede l'installazione di un geotessuto con peso non inferiore a 350 g/m².

4.3.2 COMPONENTI STRUTTURALI DELLA TERRA RINFORZATA

La struttura della terra rinforzata è composta da:

- pannelli prefabbricati in calcestruzzo, con superficie a vista liscia, spigoli vivi, armati con ferri ad aderenza migliorata. Questi vengono controllati in stabilimento ed assemblati mediante incastri perno/manicotto ottenendo così una superficie verticale come si vede in Figura 11.
- Elementi di rinforzo nastriformi in acciaio caratterizzati da modanature superficiali per massimizzare l'aderenza (Figura 12). Tali elementi sono rivestiti tramite processo di zincatura a caldo per assicurare le caratteristiche di durabilità richieste.

¹ Nelle successive fasi di progettazione sarà necessario effettuare uno studio idraulico per definire i livelli di massima piena del torrente Bitto di Gerola.



Figura 11: Esempio di rilevato in terra rinforzata in contesti montani



Figura 12: Messa in opera di rinforzi per terra rinforzata

4.3.3 FASI ESECUTIVE PER LA REALIZZAZIONE DELLA TERRA RINFORZATA

L a realizzazione delle opere in terra rinforzata verrà realizzato in base alle seguenti fasi costruttive:

- 0) Chiusura al traffico della strada esistente SP 8 dir. A e cantierizzazione (con eventuale rilocalizzazione di sottoservizi);
- 1) Scarificazione dei manti stradali esistenti, disfacimento della sovrastruttura stradale e demolizione della massicciata stradale esistente;
- 2) Scavo di sbancamento (lato monte) con eventuale messa in sicurezza e riprofilatura delle scarpate con rete e paramassi o bullonatura sistemica;
- 3) Scavo di preparazione del piano di posa attraverso la realizzazione di gradoni inclinati verso l'interno del rilevato;
- 4) Realizzazione della fondazione della terra rinforzata;
- 5) Realizzazione del rilevato in terra rinforzata per strati successivi seguendo le sottofasi:
 - a. Posa dei pannelli prefabbricati
 - b. Posa degli elementi di rinforzo,

- c. Riempimento e costipamento del materiale di riporto.
- 6) Completamento della sede stradale: installazione cordolo di coronamento sui pannelli prefabbricati, installazione dell'arredo stradale e realizzazione della sovrastruttura stradale e relativo manto.

4.3.4 PRINCIPIO DELLE TERRE RINFORZATE

Il sistema della terra rinforzata si basa sul principio di migliorare le caratteristiche meccaniche del terreno conferendogli resistenza a trazione. I terreni sono caratterizzati da una resistenza a compressione significativa, che dipende dalle loro caratteristiche intrinseche e dalla loro storia tensionale, ma non possiedono resistenza a trazione. Il sistema composito realizzato con elementi resistenti a trazione e terreno è un sistema dotato di caratteristiche meccaniche superiori di quelle del solo terreno.

I rinforzi rivestono la funzione chiave dell'opera poiché assolvono la funzione di assorbire gli sforzi di taglio che i terreni, presenti nell'intorno, non sono in grado di sostenere. Il terreno impiegato per realizzare le opere in terra rinforzata si definisce rilevato strutturale e rappresenta, insieme ai rinforzi, la parte più importante dell'intera opera.

4.3.4.1 Interazione tra terreno e rinforzo

Adottando il criterio tradizionale di Mohr-Coulomb per rappresentare il comportamento del sistema ibrido e ammettendo che il contributo reso disponibile dal rinforzo sia pari alla massima resistenza a trazione che il materiale è in grado di attivare, il suo stato limite ultimo corrisponderà, ovviamente, al valore di rottura.

Il materiale composito (terreno-rinforzo) è rappresentabile, sul piano di Mohr, come se fosse un terreno dotato di coesione efficace c'_r (Schlosser e Long, 1972).

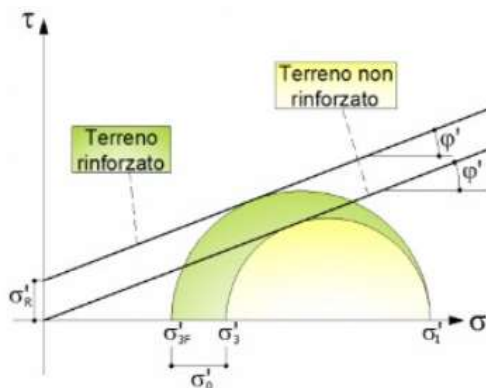


Figura 13: Rappresentazione della coesione apparente associata alle terre rinforzate sul piano di Mohr.

4.3.4.2 Criteri di dimensionamento

IL dimensionamento delle opere in terra rinforzata segue i dettami imposti dall'attuale normativa vigente NTC2018 e può essere così riassunto:

- Verifica allo Stato Limite Ultimo (SLU) di tipo geotecnico (GEO) e del corpo rigido (EQU):
 - o stabilità del complesso opera-terreno;
 - o scorrimento sul piano di posa;
 - o collasso per carico limite dell'insieme fondazione-terreno;
 - o ribaltamento (EQU).
- Verifica allo Stato Limite Ultimo (SLU) di tipo Strutturale (STR) che prevede il raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali, accertando che la condizione $E_d \leq R_d$ sia sempre soddisfatta.
 - o L'azione di progetto E_d nel caso specifico è rappresentata dalla spinta del terreno, dai carichi accidentali stradali e dall'incremento di spinta dovuta all'azione sismica.

- La resistenza di progetto R_D è considerata come la minore tra:
 - La resistenza a sfilamento del rinforzo, calcolata con la relazione:

$$T_{pullout} = 2 * L_r * \sigma'_v * f_b * \tan \phi'$$

Dove:

L_r è la lunghezza efficace del rinforzo;

f_b è il coefficiente di pullout

σ'_v è la tensione efficace in direzione ortogonale al piano del rinforzo

- La resistenza a rottura del rinforzo, calcolata con la relazione:

$$T_{allow} = \frac{T_{nom}}{\prod FS_i}$$

Dove:

T_{nom} è la tensione nominale dei rinforzi;

FS_i sono i fattori correttivi che tengono conto di eventuali danneggiamenti in fase di posa, dell'aggressività di natura chimica dell'ambiente e dei fenomeni di creep.

Nella presente fase di studio di fattibilità, è stato considerato cautelativamente un rinforzo in acciaio zincato di sezione 50mmx4mm, S355 di lunghezza 7m.

4.4 OPERE IN SOTTERRANEO

4.4.1 DESCRIZIONE DELL'INTERVENTO

Il progetto prevede la realizzazione di una galleria naturale per superare, sul versante destro del Torrente Bitto di Gerola, la frana di Bema. La galleria si innesta sulla strada SP 8 dir. A Nord in corrispondenza del ponte sul T. Bitto di Albaredo e si sviluppa per 773 fino all'innesto con il tracciato alla progressiva 0+452.

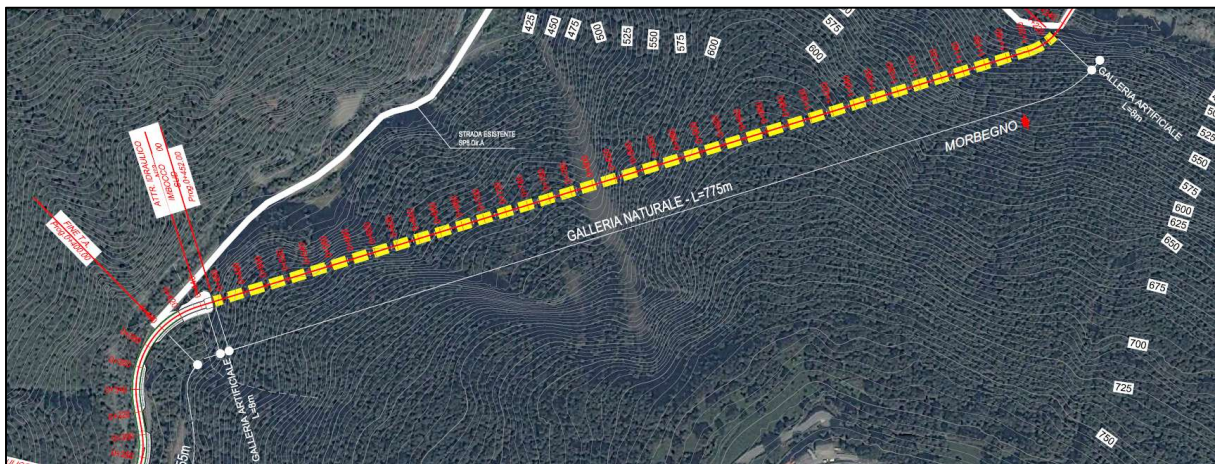


Figura 14: Planimetria della galleria naturale

In corrispondenza di entrambi gli imbocchi verrà realizzato uno scavo di sbancamento per alloggiare una galleria artificiale di lunghezza pari ad 8m.

La sezione funzionale della galleria naturale è stata studiata in modo da garantire la sicurezza per gli utilizzatori e la durabilità come previsto dalla normativa vigente. La descrizione delle soluzioni adottate è fornita al §4.2.

4.4.2 METODO PER LA DEFINIZIONE DEI SUPPORTI IN GALLERIA

Per la definizione dei supporti in galleria è stato utilizzato in seguente approccio metodologico:

- a) Supporto di prima fase:
 - a. Suddivisione della galleria in zone omogenee
 - b. Analisi dei comportamenti di scavo attesi
 - c. Determinazione delle misure di mitigazione e definizione dei supporti di prima fase
 - d. Verifica preliminare dei supporti di prima fase
- b) Supporto definitivo:
 - a. Definizione dei carichi di lungo termine
 - b. Verifica preliminare del supporto definitivo secondo la normativa vigente NTC2018

4.4.3 SUPPORTO DI SCAVO DI PRIMA FASE: SUDDIVISIONE DELLA GALLERIA IN ZONE OMOGENEE

Lungo il profilo della galleria naturale è stato possibile identificare cinque zone omogenee per le quali sono stati identificati gli intervalli di confidenza dei principali parametri geotecnici (GSI e UCS) necessari per la definizione dei supporti di scavo [rif. 0895-IT-Bema-PFTE-STU-01-R0].

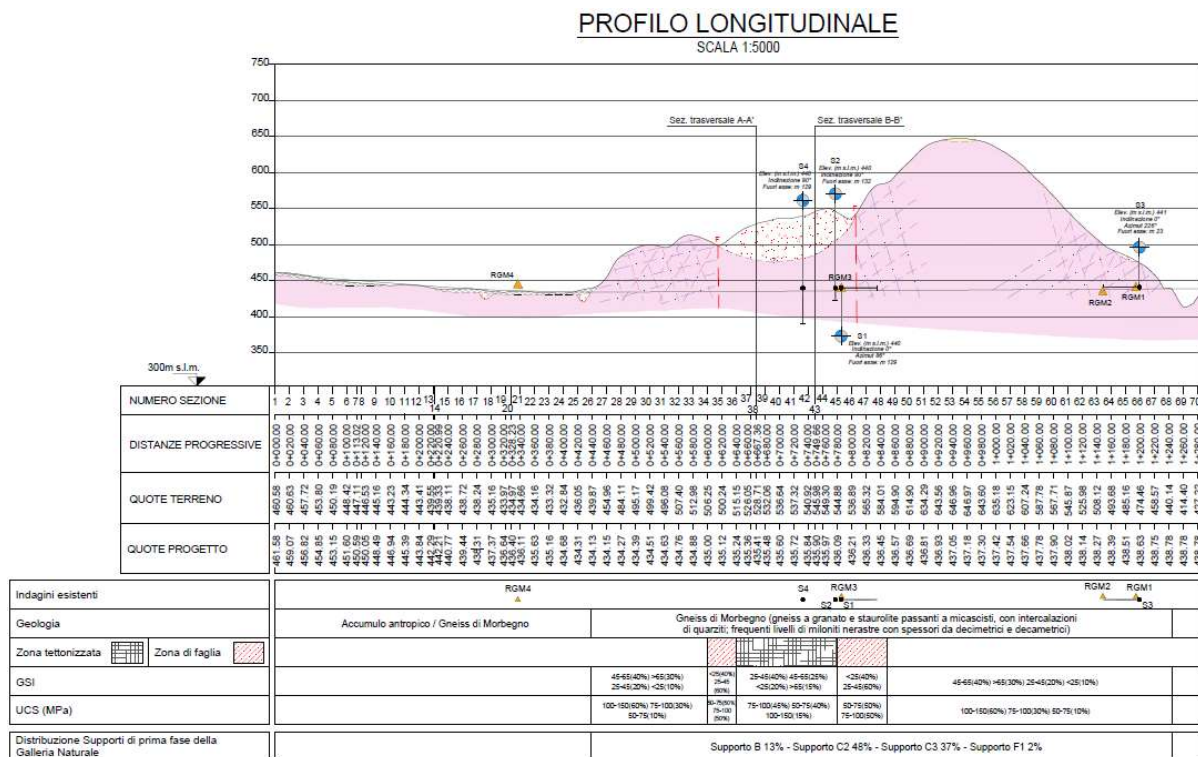


Figura 15: Profilo geomeccanico con identificazione delle zone omogenee

Tutte e cinque le zone omogenee ricadono nella formazione dello Gneiss di Morbegno e posso essere identificate tra le progressive:

- Zona 1: da pk. 0+452 (imbocco Sudovest) a circa pk 0+600 (faglia Sud delimitante il corpo di frana principale)
- Zona 2: Faglia Sud con spessore di circa 40m (assunta tra le pk. 0+600 e pk. 0+640)
- Zona 3: da pk. 0+640 circa a pk. 0+780 circa (zona interessata dal sottoattraversamento del corpo di frana)
- Zona 4: Faglia Nord con spessore di circa 70m (assunta tra le pk. 0+780 e pk. 0+850)

- Zona 5: da pk. 0+850 (attraversamento del massiccio roccioso caratterizzato dalle massime coperture) a pk 1+227 (imbocco Nord).

4.4.4 SUPPORTO DI SCAVO DI PRIMA FASE: ANALISI DEI COMPORTAMENTI DI SCAVO ATTESI

L'analisi dei comportamenti di scavo è stata realizzata prendendo in considerazione per ogni zona le analisi geostrukturali preliminari e le tensioni agenti alla quota della galleria (dipendenti dai carichi litostatici).

Nella Tabella 2 sono riassunti i diversi comportamenti di scavo atteso al variare dei parametri geostrukturali e della risposta deformativa del cavo.

Tabella 2: Schema generale dei comportamenti di scavo in funzione della variabilità geostrukturali (RMR) e della risposta deformativa della galleria

| ↓ Analysis → | | Geostructural → | | Rock mass | | | | |
|--|-------------------|------------------|------------------------|---|----------|-----|----|---------------------------------------|
| | | | | <u>Continuous</u> ↔ Discontinuous ↔ Equivalent C. | | | | |
| Tensional ↓ | | | | RMR | | | | |
| Deformational response ↓ | δ_0 (%) | $R_{pl,max}/R_0$ | Behavioural category ↓ | I | II | III | IV | V |
| Elastic ($\sigma_p < \sigma_{cm}$) | negligible | - | a | STABLE | | | | |
| | | | b | ↓ | INSTABLE | | | CAVING |
| Elastic - Plastic ($\sigma_p \geq \sigma_{cm}$) | <0.5 | 1-2 | c | SPALLING/ ROCKBURST | WEDGES | | | |
| | 0.5-1.0 | 2-4 | d | | | | | |
| | >1.0 | >4 | e | | | | | SQUEEZING |
| | | | (f) | | | | | → Immediate collapse of tunnel face ↑ |

4.4.4.1 Procedura di analisi

La definizione della risposta deformativa allo scavo della galleria è stata ottenuta integrando l'approccio probabilistico "Characteristic Curves Method (CCM)" (Carranza T., 2003-2004 solution), prendendo in considerazione:

- la deformazione radiale in corrispondenza del fronte di scavo ($\delta_0 = u_0/R_0$)
- il rapporto tra il plastico raggio plastico che si può generare nell'ammasso roccioso $R_{pl,max}/R_0$
- la tensione agente al livello della galleria

La procedura di calcolo può essere nel seguente modo:

- definizione delle distribuzioni probabilistiche di ogni parametro geomeccanico in funzione degli intervalli di variazione identificati;
- applicazione del metodo Monte Carlo con campionamento LHS (1000 iterazioni) per generare ogni possibile combinazione dei parametri geomeccanici;
- Applicazione del metodo della curva caratteristica (CCM) ad ogni combinazione di parametri per definire in maniera probabilistica le diverse categorie di comportamento.

La figura seguente riassume in maniera schematica la procedura di analisi sopra descritta.

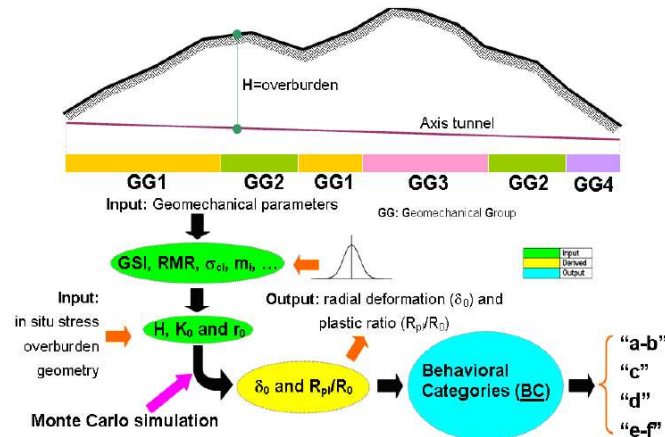


Figura 16: Approccio per la definizione dei comportamenti di scavo (Russo et al, 2006)

4.4.5 SUPPORTO DI SCAVO DI PRIMA FASE: DEFINIZIONE DEI SUPPORTI DI PRIMA FASE

Sulla base dei risultati dell'analisi di cui al precedente §4.4.4.1 è stato possibile individuare i supporti di prima fase opportuni considerando sia la specificità dei comportamenti allo scavo ottenuti che le esperienze accumulate da progetti in contesti simili.

Il seguente grafico indica l'associazione dei diversi supporti scelti per la galleria oggetto di studio con i comportamenti allo scavo previsti.

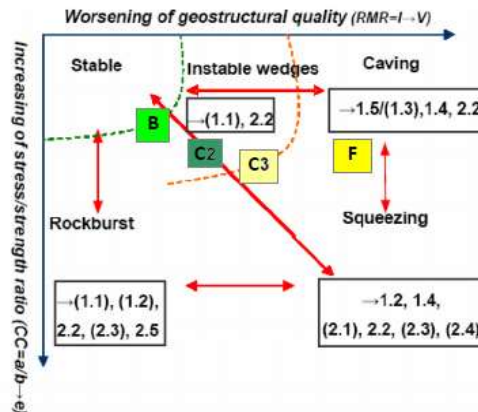


Figura 17: Misure di mitigazione in funzione dei comportamenti di scavo attesi (Russo & Grasso 2006-2007)

La stessa associazione può essere meglio riassunta nella Tabella 3.

Tabella 3: Criterio di applicazione dei supporti di prima fase

| Comportamenti allo scavo | Classificazione geomeccanica | | Descrizione del comportamento | Tipo di supporto di prima fase |
|--------------------------|------------------------------|--------------------|---|--------------------------------|
| | BC (*) | RMR | | |
| Instabilità di cunei | "b" | II - I (RMR>60) | Instabilità di cunei; ammasso di buona qualità con risposta elastica allo scavo | B |
| Caduta di blocchi | "a/b" / "c" | IV (RMR=40-60) | Tendenza pronunciata alla caduta di blocchi; ammasso di qualità discreta con possibile generazione di una fascia plastica contenuta | C2 |
| Instabilità gravitativa | "c" | IV (RMR=20-40) | Instabilità gravitativa; capacità di auto-sostegno ridotta in ammasso di condizioni scadenti, generalmente associato alla formazione di fasce plastiche moderate | C3 |
| | "e" / "f" | V (RMR<20) | Instabilità gravitativa importante, con immediato collasso del fronte/contorno di scavo; qualità dell'ammasso molto scadente, formazione di grande fascia plastica. | F1 |

(*) Categorie di comportamento

Le misure di mitigazione che sono state prese in considerazione per le diverse classi di supporto sono riassunte in Tabella 4.

Tabella 4: Misure di mitigazione per i supporti di prima fase

| # | Azioni | Esempi di misure di mitigazione |
|--|--|--|
| (1) Durante l'avanzamento dello scavo | | |
| (1.1) | Pre-supporto di cunei instabili | Bulloni inclinati, ombrello di infilaggi, ... |
| (1.2) | Rinforzo dell'ammasso roccioso | Bulloni completamente iniettati, ... |
| (1.3) | Interventi di stabilizzazione per terreni scadenti | Iniezioni sub-orizzontali di jet-grouting, ... |
| (1.4) | Supporto del fronte | Cls proiettato, barre di rinforzo, elementi in vetroresina, ... |
| (1.5) | Rinforzo in avanzamento per terreni scadenti | Ombrello di infilaggi |
| (2) Durante lo scavo | | |
| (2.1) | Convergenza | Sovra-scavo |
| (2.2) | Necessità di supporto di contrasto | Sistema di supporto composto da cls proiettato, centina, rete, i, ecc... |
| (2.3) | Rinforzo dell'ammasso roccioso | Bulloni completamente iniettati, ... |
| (2.4) | Deformazione controllata per il rilascio di grandi convergenze | Centine scorrevoli, cls proiettato provvisto di giunti, ... |
| (2.5) | Protezione contro la caduta massi | Bulloni, rete elettrosaldata, cls proiettato, ... |

Considerando la distribuzione probabilistica dei comportamenti allo scavo ottenuti dalle analisi preliminari e le misure di mitigazione sopra descritte è stata ottenuta la distribuzione dei supporti di prima fase lungo la galleria naturale riassunta di seguito:

- Supporto tipo B: 13%
- Supporto tipo C2: 48%
- Supporto tipo C3: 37%
- Supporto tipo F1: 2%

Si sottolinea che ai fini della valorizzazione economica dell'opera in oggetto, dato il livello preliminare dello studio effettuato, su richiesta della Stazione Appaltante che richiede di adottare uno scenario meno severo ma comunque possibile dal punto di vista geotecnico, è stata considerata la seguente distribuzione di supporti per la galleria naturale:

- Supporto B: 33%
- Supporto C1: 33%
- Supporto C3: 33%
- Supporto F1: 1%

Tale assunzione dovrà essere confermata nelle successive fasi progettuali mediante indagini geognostiche lungo il tracciato di progetto.

4.4.6 VERIFICA PRELIMINARE DEI SUPPORTI DI PRIMA FASE

Nelle tabelle seguenti sono riportate le caratteristiche definite per ciascuna delle quattro classi di supporto adottate.

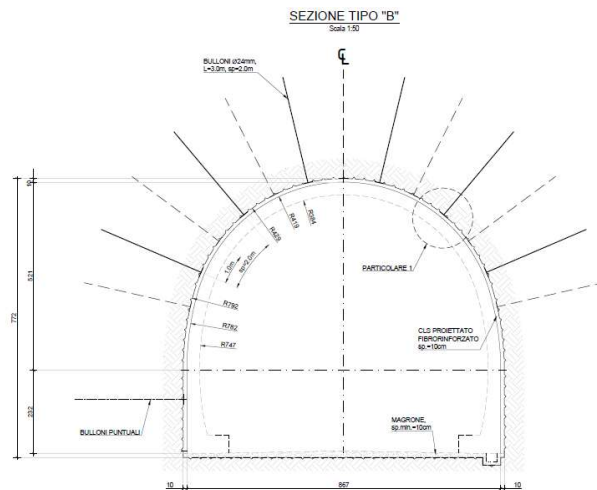


Figura 18: Sezione di supporto di prima fase tipo B

Tabella 5: Caratteristiche del supporto di prima fase tipo B

| Caratteristiche del supporto di prima fase tipo B |
|---|
| Lunghezza di avanzamento considerata: 2m |
| Rinforzo sul perimetro di scavo (calotta + piedritti): 10cm cls proiettato fibrorinforzato (35kg/m ³) |
| Bullonatura sul perimetro di scavo sistematica (calotta): bulloni ϕ 24mm, L=3m, Acciaio B450C, iniettati, maglia 2mx2m |
| Dreni in avanzamento eventuali: 2 dreni, L=6m |
| Sondaggio in avanzamento (sovrapposizione min. 10m) |

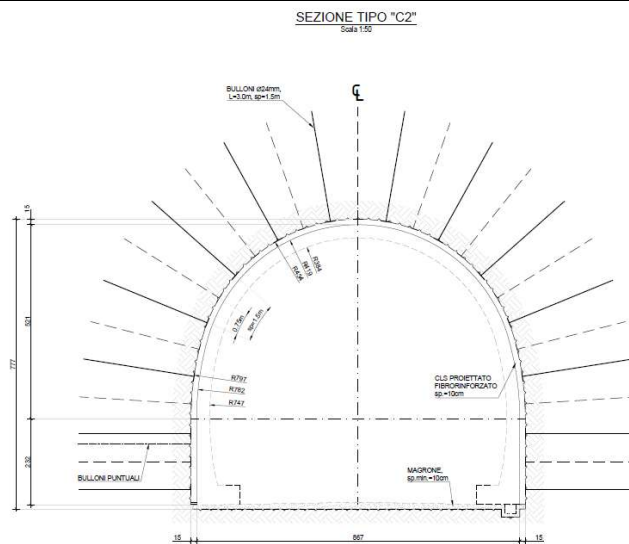


Figura 19: Sezione di supporto di prima fase tipo C2

Tabella 6: Caratteristiche del supporto di prima fase tipo C2

| Caratteristiche del supporto di prima fase tipo C2 |
|--|
| Lunghezza di avanzamento considerata: 1,5m |
| Rinforzo sul perimetro di scavo (calotta + piedritti): 15cm cls proiettato fibrorinforzato (35kg/m³) |
| Bullonatura sul perimetro di scavo sistematica (calotta+ piedritti): bulloni $\Phi 24$ mm, L=3m, Acciaio B450C, iniettati, maglia 1,5mx1,5m. |
| Dreni in avanzamento eventuali: 2 dreni, L=6m |
| Sondaggio in avanzamento (sovrapposizione min. 10m) |

RELAZIONE GENERALE E TECNICA DI PROGETTO

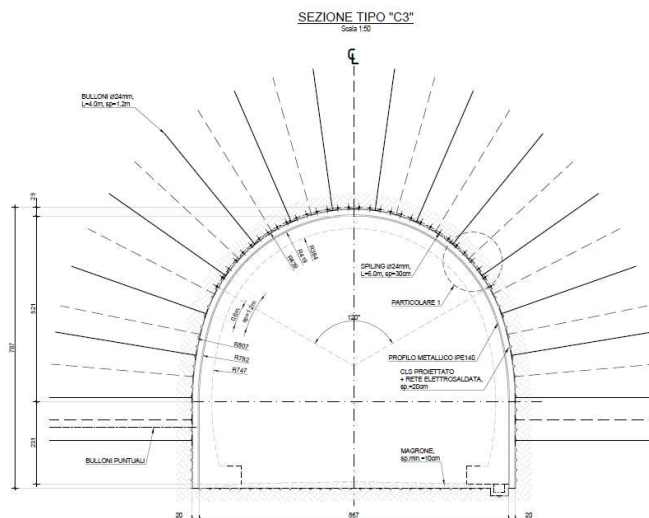


Figura 20: Sezione di supporto di prima fase tipo C3

Tabella 7: Caratteristiche del supporto di prima fase tipo C3

| Caratteristiche del supporto di prima fase tipo C3 |
|--|
| Lunghezza di avanzamento considerata: 1,2m |
| Rinforzo sul perimetro di scavo (calotta + piedritti): 20cm cls proiettato + rete elettrosaldata Q221 + centina IPE140 (S275) |
| Pre-sostengo: spiling $\Phi 24$ mm, L=6m, Acciaio B450C, sp.=30cm |
| Bullonatura sul perimetro di scavo sistematica (calotta+ piedritti): bulloni $\Phi 24$ mm, L=4m, Acciaio B450C, iniettati, maglia 1,2mx1,2m. |
| Dreni in avanzamento eventuali: 2 dreni, L=6m |
| Sondaggio in avanzamento (sovrapposizione min. 10m) |

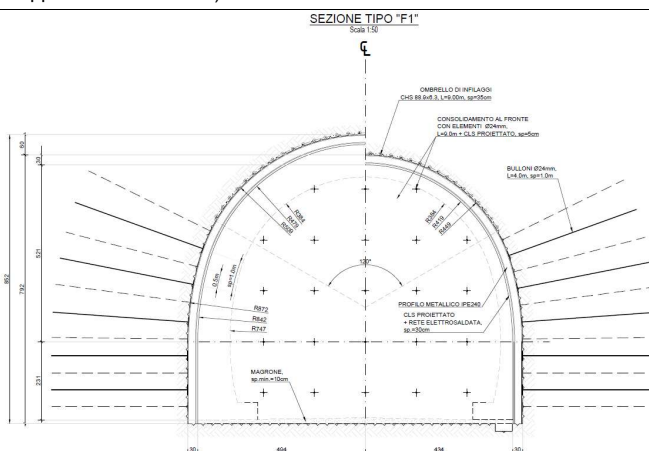


Figura 21: Sezione di supporto di prima fase tipo F1

Tabella 8: Caratteristiche del supporto di prima fase tipo F1

| Caratteristiche del supporto di prima fase tipo F1 |
|--|
| Lunghezza di avanzamento considerata: 1m |
| Rinforzo sul perimetro di scavo (calotta + piedritti): 30cm cls proiettato + doppia rete elettrosaldata Q221 + centina IPE240 (S275) |
| Pre-sostengo: ombrello di micropali CHS 88,9x6,3, L=9m, Acciaio S355, sp.=35cm |
| Bullonatura sul perimetro di scavo sistematica (piedritti): bulloni $\Phi 24\text{mm}$, L=4m, Acciaio B450C, iniettati, maglia 1,4mx1,4m. |
| Dreni in avanzamento eventuali: 2 dreni, L=6m |
| Sondaggio in avanzamento (sovrapposizione min. 10m) |
| Sostegno del fronte: 5cm di cls proiettato + no. 23 elementi di rinforzo $\Phi 24\text{mm}$, L=9m, Acciaio B450C, iniettati |

Il dimensionamento dei vari elementi strutturali per i supporti di prima fase è stato eseguito in via preliminare nel presente studio di fattibilità utilizzando i seguenti approcci:

- Comportamento deformativo elastico (o con fascia plastica limitata al contorno di scavo) per supporto tipo B e C2: approccio empirico con grafico di Grimstad & Burton (1993)

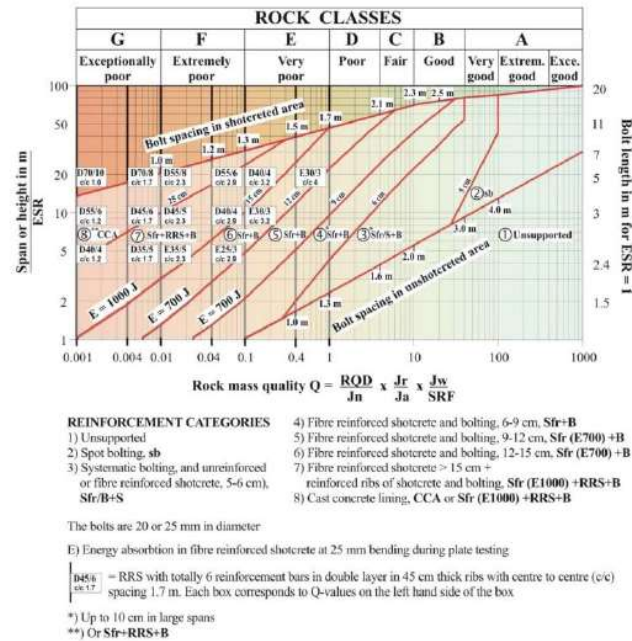


Figura 22: Metodo empirico di Grimstad & Burton per la definizione dei supporti in galleria (1986 e s.m.i.)

- Comportamento deformativo plastico per supporti C3 e F1: approccio con curva caratteristica per stimare l'affidabilità della struttura di supporto.

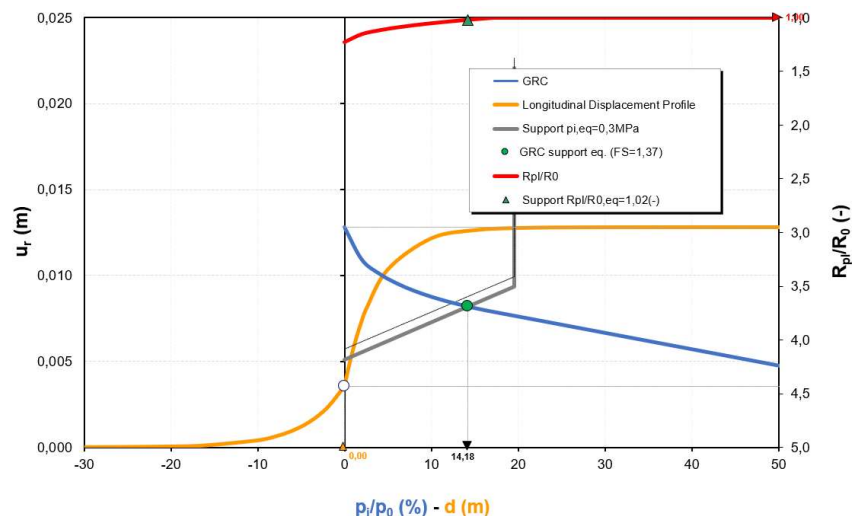
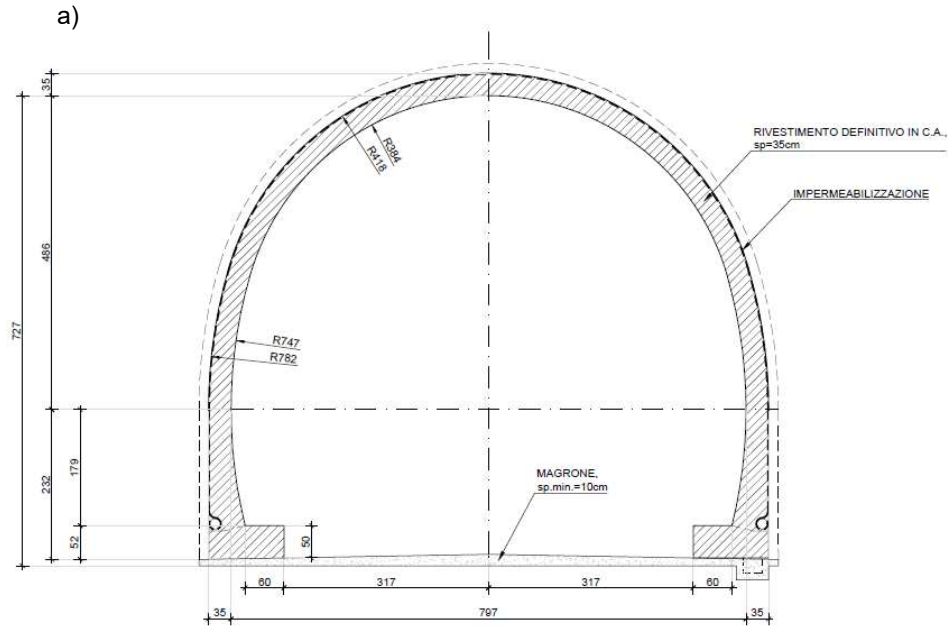


Figura 23: Metodo della curva caratteristica per la determinazione dell'affidabilità del supporto di scavo

4.4.7 SUPPORTO DEFINITIVO

Per garantire la durabilità della struttura della galleria è stata prevista la realizzazione di un rivestimento definitivo in calcestruzzo gettato in opera (C25/30) di 35cm di spessore come mostrato nelle carpenterie di Figura 24.

CARPENTERIA
SEZIONE TIPO "B-C2-C3"
Scala 1:50



CARPENTERIA
SEZIONE TIPO "F1"
Scala 1:50

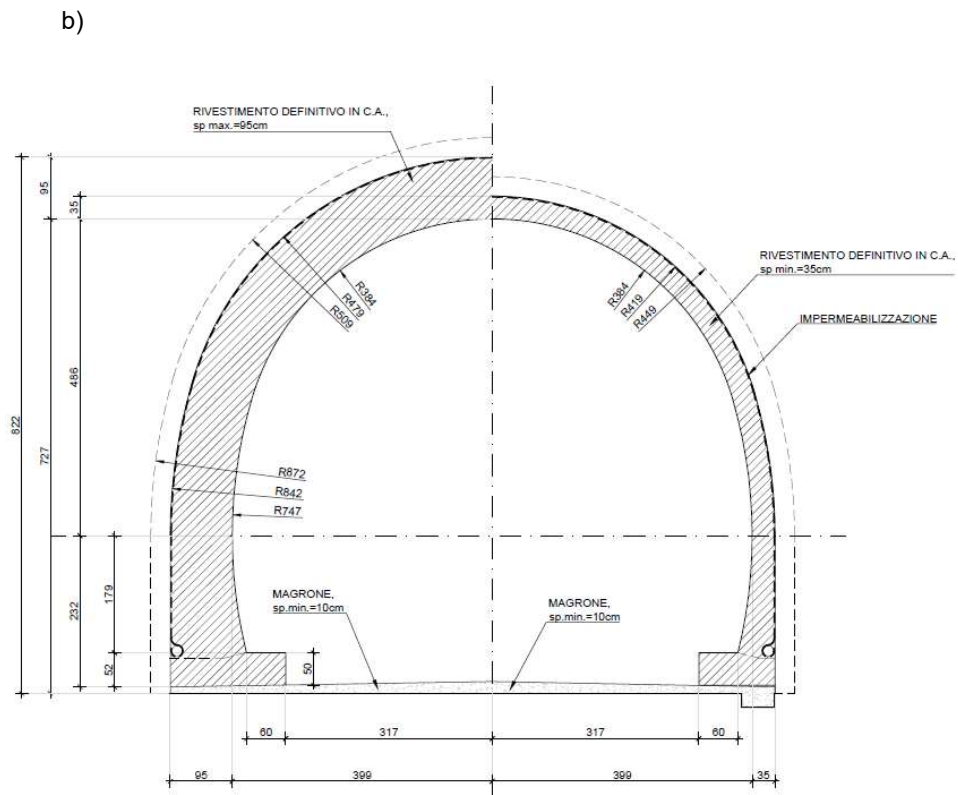


Figura 24: Carpenteria del rivestimento definitivo: a) carpenteria per geometria di supporti di prima fase B,

C2 e C3; b) carpenteria per geometria di supporti di prima fase F1.

Tra il rivestimento di prima fase ed il rivestimento definitivo è presente uno strato di geo tessuto e una membrana PVC, opportunamente avvolte intorno ad un tubo in PVC forato, collocato all'estradosso del rivestimento definitivo, sul giunto di separazione tra calotta e piedritti. Il giunto è inoltre corredato da un waterstop. Questa configurazione è ideale per:

- Raccogliere all'esterno della galleria le acque d'ammasso garantendo un ambiente asciutto in presenza di impianti elettrici;
- convogliarle separatamente dalle acque di piattaforma;
- Evitare la formazione nel lungo termine di sovrappressioni all'esterno del rivestimento definitivo;
- Aumentare la durabilità del rivestimento definitivo.

Nella Figura 25: a) Dettaglio del tubo di drenaggio per la raccolta delle acque dell'ammasso roccioso; b) esempio di impermeabilizzazione con membrana in PCV per una galleria naturale. in basso si mostra il dettaglio del tubo di drenaggio ed un esempio di impermeabilizzazione in galleria realizzata con membrana in PVC.

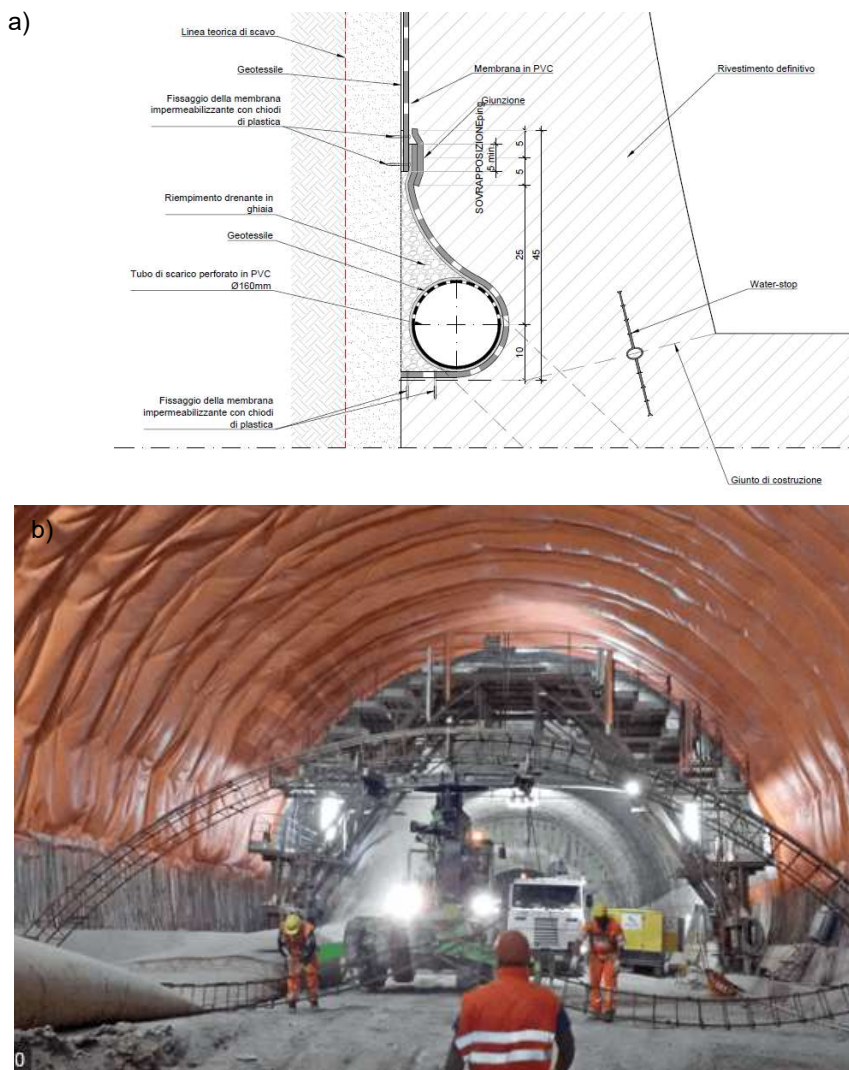


Figura 25: a) Dettaglio del tubo di drenaggio per la raccolta delle acque dell'ammasso roccioso; b) esempio di impermeabilizzazione con membrana in PCV per una galleria naturale.

4.4.7.1 Definizione dei carichi

La verifica preliminare del rivestimento definitivo è stata effettuata considerando due differenti situazioni di carico:

- tunnel profondo (copertura maggiore di 3 diametri); per il quale il carico in condizioni statiche generato dal volume di roccia è stato calcolato con la formulazione di Unal (1983) come si mostra in Figura 26.

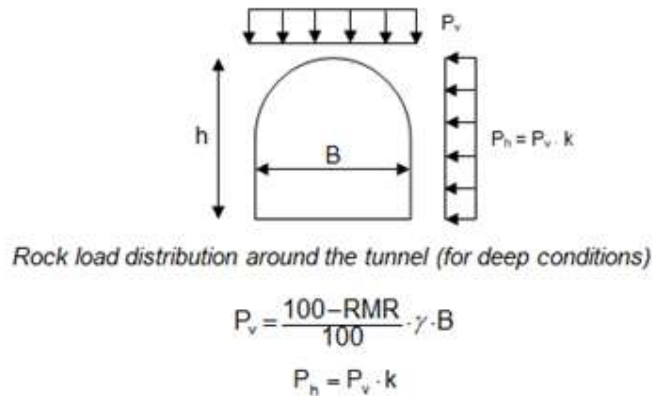


Figura 26: Formulazione del carico verticale ed orizzontale agente sul rivestimento di galleria a(Unal, 1983)

- Tunnel in condizioni superficiali (in prossimità degli imbocchi dove la copertura è minore 3 diametri); dove il carico di roccia agente è stato determinato con la formulazione di Terzaghi che si riporta in Figura 27.

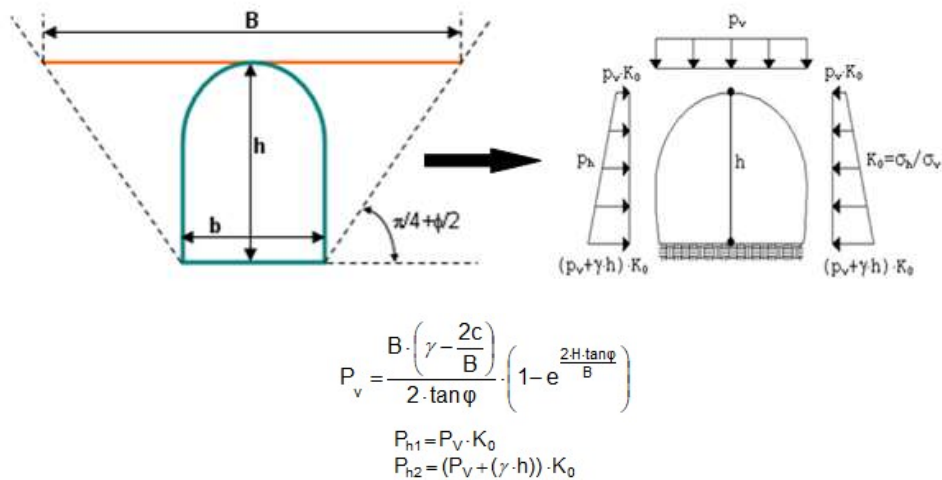


Figura 27: calcolo del carico agente sul rivestimento di galleria con il metodo di Terzaghi

Per entrambe le condizioni è stato preso in considerazione l'effetto sismico applicando, attraverso il metodo pseudostatico, un carico orizzontale uniformemente distribuito calcolato attraverso la formulazione di Wood (1973):

$$\Delta p_d = \frac{a_{z,max}}{g} \cdot S \cdot \gamma \cdot H$$

$$a_{z,max} = C \cdot a_{max,z}$$

Dove:

$a_{z,max}$ rappresenta l'accelerazione di picco alla profondità del tunnel

C rappresenta il rapporto tra l'accelerazione di picco massima e l'accelerazione di piccola alla profondità del tunnel (Power et al. 1996)

g rappresenta l'accelerazione di gravità

γ rappresenta il peso per unità di volume della roccia

H rappresenta l'altezza della galleria

S è un parametro dipendente dal tipo suolo/roccia

4.4.7.2 Approccio di calcolo: analisi strutturale

La verifica preliminare del rivestimento definitivo è stata condotta, in accordo alle NTC2018, in condizioni di Stato Limite Ultimo (SLU) e Stato Limite di Esercizio (SLE) considerando i carichi statici e pseudostatico di cui al §4.4.7.1 ed il modello strutturale mostrato in Figura 28 e Figura 29.

Nel suddetto modello il rivestimento definitivo è stato assimilato ad un elemento lineare, suddiviso in 39 elementi "beam" ognuno dei quali presenta i valori di rigidità assiale e flessionale della sezione del rivestimento definitivo (altezza:35cm, base: 1m). In ognuno dei 40 nodi del modello l'interazione roccia-terreno viene simulata applicando delle molle normali e tangenziali al rivestimento la cui rigidità assiale è stimata con la formulazione di Galerkin:

$$K_n = \frac{E_d}{R_{eq} \cdot (1 + \nu)}$$

Dove:

E_d è il modulo elastico dell'ammasso roccioso

R_{eq} è il raggio equivalente della galleria

ν è il coefficiente di Poisson della roccia

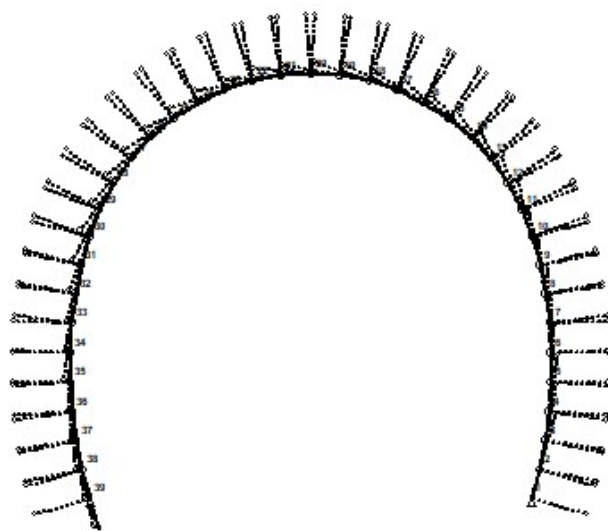


Figura 28: Schematizzazione strutturale del rivestimento definitivo della galleria

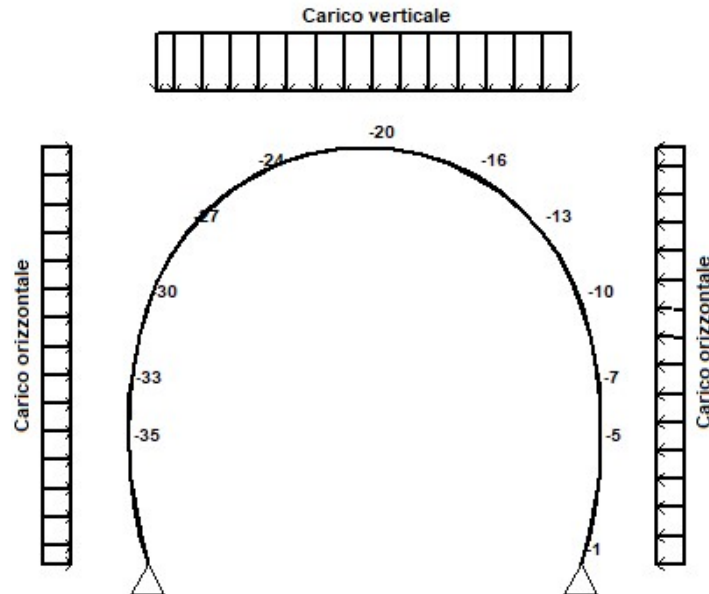


Figura 29: Schema dei carichi sul rivestimento definitivo della galleria

Su ogni singolo elemento “beam” sono state quindi condotte le verifiche imposte dalla normativa vigente:

- SLU (Statico e sismico):
 - o Verifica a pressoflessione
 - o Verifica a taglio
- SLE (statico):
 - o Verifica a fessurazione
 - o Verifica sulle tensioni di esercizio per il calcestruzzo
 - o Verifica sulle tensioni di esercizio per l'acciaio di armatura
- Verifica di resistenza al fuoco

Per ognuna delle suddette verifiche si sono adottati i coefficienti riduttivi ed amplificativi indicati dalle NTC 2018.

4.5 OPERE DI ATTRAVERSAMENTO IDRAULICO

Il tracciato stradale oggetto di intervento di adeguamento nel tratto di fondovalle è sotteso ad un versante fittamente vegetato e particolarmente acclive (pendenza media 1:2, con punte di 1:1 sui primi 100 m circa di dislivello sovrastanti alla strada), caratterizzato da ruscellamento superficiale diffuso.

Stante le caratteristiche geomorfologiche del bacino, i tempi di corrivazione sono ridotti e, in caso di eventi piovosi di breve durata e forte intensità, le velocità di ruscellamento risultano elevate con forte capacità erosiva.

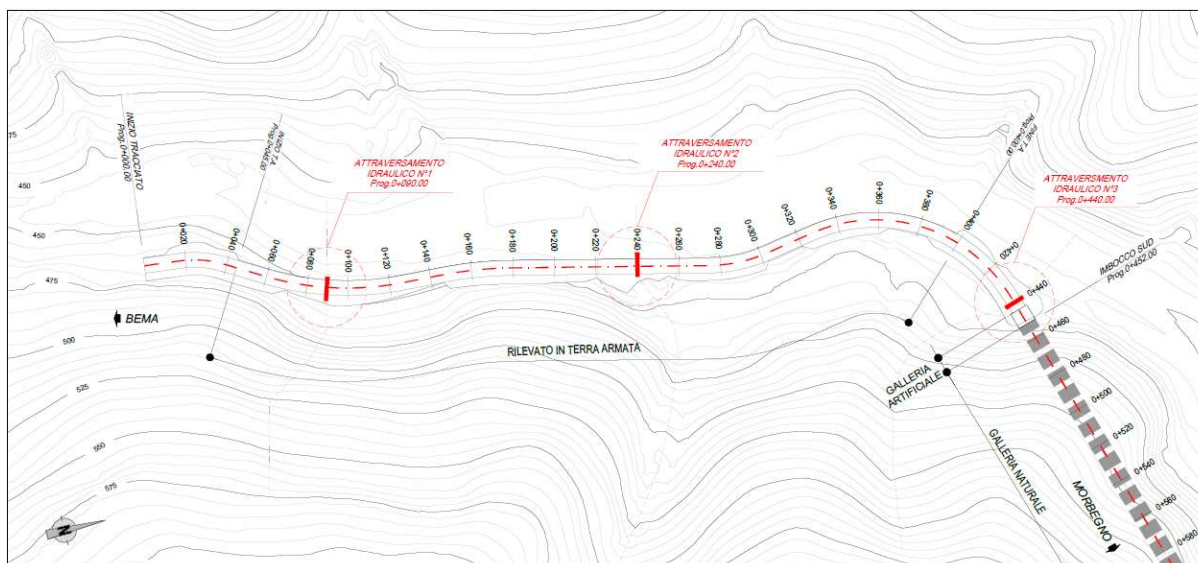


Figura 30: Localizzazione attraversamenti idraulici

Analizzando la cartografia di cui alla Figura 30, si possono individuare tre compluvi localizzati rispettivamente alle progressive 0+090.00, 0+240.00 e 0+440.00; per garantire continuità idraulica è stata prevista la realizzazione di tre tombini idraulici con dimensioni 2,00 m x 2,00 m tali da garantire in sicurezza il deflusso delle portate, anche considerando il trasporto solido mobilitato.

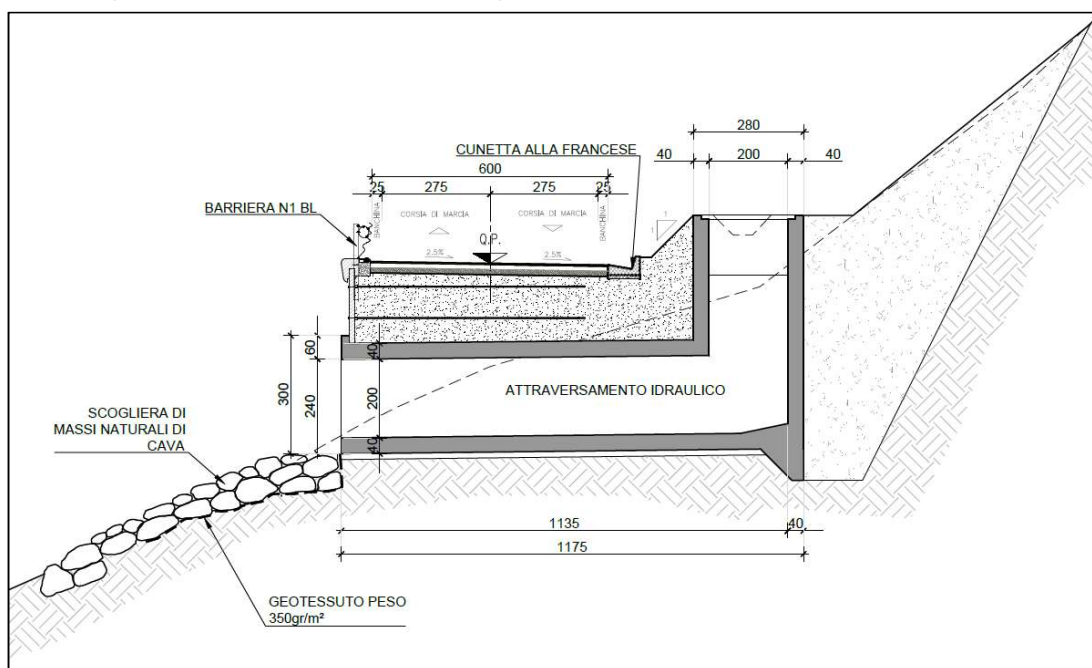


Figura 31: Attraversamento idraulico pk 0+240.00

Il tombino posto alla progressiva 0+440.00, in prossimità dell'imbocco della galleria, in considerazione del tracciato altimetrico della strada, consente altresì lo smaltimento delle acque drenate dalla galleria stessa.

In Figura 32 sono riportate le scale di deflusso dei tombini di attraversamento in funzione della variazione della pendenza. Figura 32: Scale di deflusso tombino 2,00 m x 2,00 m

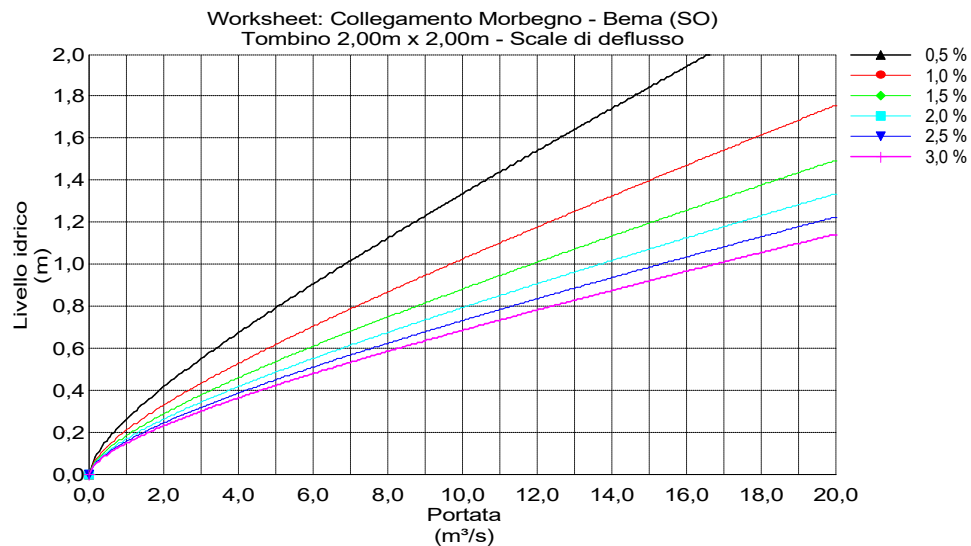


Figura 32: Scale di deflusso tombino 2,00 m x 2,00 m

Come si può evincere, la capacità di deflusso è elevata anche considerando un livello di riempimento del 70%; la scelta attuata deriva da una duplice considerazione:

- consentire lo smaltimento delle portate solide connesse a fenomeni erosivi di versante e limitare i rischi di ostruzione;
- garantire lo scarico delle portate anche in condizioni di parziale rigurgito connesso al livello idrico del torrente Bitto di Gerola.

4.6 ALTRE OPERE DI DIFESA E CONSOLIDAMENTO

Il progetto, oltre al nuovo tracciato stradale, prevede la realizzazione delle seguenti opere minori:

- Posa di barriere paramassi a monte del tratto di murature in gabbioni nel tratto per una lunghezza di 100 m di strada immediatamente dopo il secondo tornante a salire dal torrente Bitto (Figura 33 in basso).



Figura 33: Zona dove è prevista l'installazione delle barriere paramassi, a monte del secondo tornante della SP 8 dir. A.

- Rifacimento delle murature esistenti in pietrame a secco, fortemente lesionate, con delle nuove murature in calcestruzzo armato con paramento in pietrame e malta nella zona Crocetta, all'ingresso dell'abitato di Bema per una lunghezza di circa 54m e relativo allargamento della sede stradale di circa 1.4m.



Figura 34: Zona affetta dal rifacimento della muratura lesiona nella frazione Crocetta.

- Stabilizzazione del piede della frana di Bema mediante il rinterro con materiale di apposita pezzatura derivante dagli scavi della galleria e delle scarpate. Per tali opere si prevede l'utilizzo di circa 40.000 mc da distribuire nelle aree indicate nel piano particellare di esproprio.

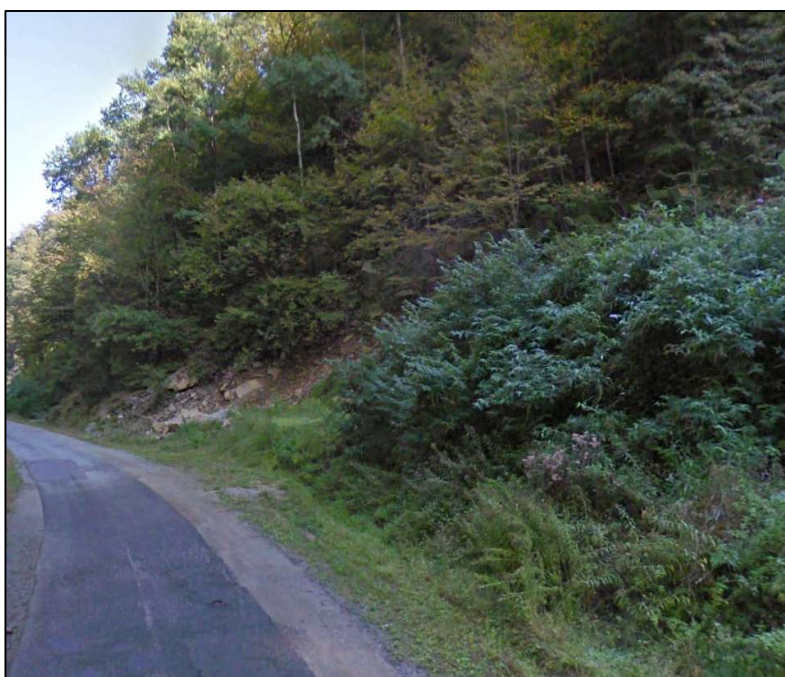


Figura 35: Piede della frana di Bema

- Opere di consolidamento delle pareti rocciose che insisteranno sulla carreggiata stradale mediante regolarizzazione delle scarpate, disgaggio delle pareti che verranno ricoperte, ove necessario, da rete d'acciaio debitamente rinforzati con funi ed ancorate alla roccia.



Figura 36: esempio di barriere paramassi installate sulla SP 8 dir. A

4.7 AMBITO PAESAGGISTICO / AMBIENTALE

Il progetto prevede l'inserimento di opere lungo l'argine del torrente Bitto di Gerola. Esso non risulta localizzato in area protetta come definito ai sensi della Legge n. 294/1991, ma sussiste il vincolo idrogeologico e paesaggistico per i motivi di cui alle lettere c) fascia di 150m dai corsi d'acqua tutelati e g) aree boscate dell'art. 142 del D.Lgs. n. 42/2004.

Per rispettare il più possibile le condizioni ambientali e naturali presenti nell'area il progetto prevede l'impiego di manufatti a basso impatto ambientale. La gran parte del progetto sarà realizzato in sotterraneo e le movimentazioni del terreno saranno accompagnate da una risistemazione a verde delle aree con l'inerbimento delle scarpate.

Se si valutano gli effetti sulle componenti ambientali e sulla salute dei cittadini si riscontra che gli impatti provocati dal cantiere su fauna, vegetazione e aria (inquinamento atmosferico e rumore) e sulla popolazione (polvere inquinante), sono di tipo temporaneo e legati alla sola fase di cantiere. Tali effetti non sono infatti destinati a provocare, nel lungo periodo, conseguenze significative per l'ambiente. Durante i lavori verranno comunque utilizzati dei mezzi silenziosi, con bassa produzione di inquinanti, e sarà mantenuta una costante umidità in cantiere, in modo che si eviti il disperdersi delle polveri.

In conclusione tale progetto di consolidamento dei versanti e di realizzazione delle infrastrutture viarie di collegamento dell'abitato di Bema con il fondovalle, che mira nel suo complesso alla protezione della salute dei cittadini, si valuta accettabile dal punto di vista della complessità ambientale.

4.8 INTERFERENZE

Nella zona oggetto dell'intervento non sussistono reti sotterranee di energia elettrica, gas, telefono o altro. Si segnala l'attraversamento della valle di una teleferica tra Bema e Sacco ad una altezza di circa 350 metri dal torrente Bitto proprio sopra l'area dove sono previsti gli interventi; inoltre, leggermente più a monte, la

valle è attraversata dalla linea elettrica ad alta tensione dell'Enel ma, anche in questo caso, la linea corre a circa 200 metri sopra il Bitto. Si segnala inoltre che non risulta nessuna presenza di immobili di interesse storico nei luoghi interessati dal progetto.

4.9 DISPONIBILITÀ AREE – PIANO PARTICELLARE DI ESPROPRIO

Per la realizzazione del nuovo tratto di strada all'aperto è prevista la cessione definitiva di una fascia di circa 10 m di larghezza. In corrispondenza dei portali di imbocco della galleria tale fascia è stata ampliata per tenere conto della necessità di realizzare le opportune opere di difesa.

Per il tratto di galleria è stato ipotizzato l'asservimento delle aree interessate considerando una fascia di 9 m pari alla larghezza totale del manufatto.

In corrispondenza del tratto di strada esistente (direzione Bema), per la realizzazione di barriere paramassi, è prevista la cessione definitiva di una fascia di circa 4 m di larghezza per 100 m di lunghezza.

E' prevista la stabilizzazione del piede della frana di Bema mediante il rinterro con materiale di apposita pezzatura derivante dagli scavi della galleria e delle scarpate. Per tali opere si prevede l'utilizzo di circa 40.000 mc da distribuire nelle aree indicate nel piano particellare di esproprio.

Per maggiori dettagli si rimanda alla relazione 0895_IT_Bema_PFTE_GEN_04_R0.

4.10 ASPETTI COSTRUTTIVI E DI CANTIERIZZAZIONE

Dato il contesto montano in cui l'opera andrà a collocarsi, e la scarsità di aree disponibili, è importante sottolineare che la cantierizzazione giocherà un ruolo fondamentale per la costruzione dell'opera. Nelle aree indicate nel piano di esproprio sono indicate le aree per l'accumulo del materiale che sarà utilizzato per stabilizzare ulteriormente il fronte di frana.

Il cantiere dovrà con molta probabilità essere realizzato in fasi lungo la SP 8 dir. A per gestire le diverse lavorazioni presenti nel progetto. Le aree dovranno essere opportunamente recintate, segnalate con la possibilità di una chiusura invalicabile di tutti gli accessi di cantiere, una volta terminato l'orario di lavoro. Tale cantiere è da considerarsi in presenza di traffico, dovrà quindi essere opportunamente definito un piano di segnalamento "provvisorio" degli accessi e delle protezioni per evitare impedimenti al traffico in esercizio durante le fasi lavorative.

4.11 IMPIANTI TECNOLOGICI

In questa sezione della relazione vengono definite le misure impiantistiche previste nella galleria oggetto del presente studio di fattibilità.

Nello sviluppo del progetto di fattibilità degli impianti tecnologici della galleria, sono state principalmente rispettate la Direttiva Europea 54/2004/CE ed il seguente D.Lgs. n. 264 del 5 ottobre 2006 "Attuazione della Direttiva 2004/54/CE in materia di sicurezza per le gallerie della rete stradale transeuropea", la Linea Guida della Direzione Centrale Progettazione ANAS 2009 "Linee guida per la progettazione della sicurezza nelle Gallerie Stradali secondo la normativa vigente" e il D.M. 14 settembre 2005 "Norme di illuminazione delle gallerie stradali".

Nelle successive fasi progettuali, la progettazione degli impianti dovrà essere adeguatamente sviluppata e dettagliata, verificando e confermando le proposte fatte nel presente progetto di fattibilità.

Le scelte impiantistiche adottate sono riassunte nella seguente tabella.

Tabella 9. Sintesi degli impianti tecnologici proposti

| Impianto | Descrizione |
|--|---------------------------------|
| Alimentazione elettrica | |
| Impianto di illuminazione (ordinaria, di emergenza e di sicurezza) | Tipologia a LED |
| Impianto idrico antincendio | Idranti ogni 150m |
| Stazioni di emergenza | Ogni 150m |
| Impianto di ventilazione | Longitudinale |
| Impianto rilevazione incendio | Con cavo sensore a fibra ottica |
| Semafori, PMV, Segnaletica di emergenza | |

4.11.1 ALIMENTAZIONE ELETTRICA

Per l'alimentazione degli impianti della galleria è prevista la realizzazione di una cabina MT/BT dedicata, con relativa connessione alla rete di distribuzione pubblica in media tensione.

La cabina sarà realizzata presso uno dei due imbocchi, nella posizione più favorevole per la resa in media tensione. Le modalità di connessione dovranno essere approfondite, con l'ente erogatore, nelle successive fasi progettuali al fine di individuare la soluzione più idonea.

La cabina sarà dotata di UPS per l'alimentazione in continuità assoluta dei sistemi critici, in caso emergenza (illuminazione di sicurezza, SOS, supervisione, rivelazione incendio, sistemi informativi).

Il sistema di distribuzione in BT (400/230 V_{ac}), sarà di tipo TN-S con il conduttore di neutro collegato direttamente a terra tramite il centro stella del Trasformatore e le masse connesse allo stesso impianto di terra del neutro.

La distribuzione in galleria sarà realizzata mediante cavidotto con idonee tubazioni e pozzetti, ovvero mediante canalina in acciaio installata in copertura.

La cabina sarà dotata di una postazione SCADA per la raccolta e la visualizzazione dei segnali di allarme provenienti dai sistemi di campo (Ventilazione, Illuminazione, SOS, Rivelazione incendi, etc.) e dalle apparecchiature elettriche di cabina.

4.11.2 IMPIANTO DI ILLUMINAZIONE

La galleria sarà provvista di illuminazione diurna e notturna progettate secondo il D.M. 14 settembre 2005 "Norme di illuminazione delle gallerie stradali".

Sono previste le seguenti tipologie di illuminazione:

- Illuminazione ordinaria.
- Illuminazione di sicurezza costituita dall'illuminazione della galleria in condizioni di interruzione di erogazione dell'energia elettrica.
- Illuminazione di evacuazione costituita dall'illuminazione delle vie di fuga.

4.11.2.1 Illuminazione ordinaria

L'illuminazione ordinaria sarà realizzata con corpi illuminanti a LED e sarà composta da alimentazione permanente e di rinforzo secondo quanto previsto dalla normativa **UNI 11095** - "Luce e illuminazione – Illuminazione delle gallerie stradali".

4.11.2.2 Illuminazione di emergenza

L'illuminazione di emergenza dovrà garantire un livello minimo di luminanza di 1 cd/mq sull'intera galleria, in condizioni di interruzione di erogazione dell'energia elettrica per un tempo minimo di 30 minuti, mediante un

sistema di continuità UPS. La finalità di questo sistema di illuminazione è quella di consentire agli utenti di abbandonare la galleria con i loro veicoli in caso di mancanza dell'alimentazione principale.

4.11.2.3 Illuminazione di sicurezza

L'illuminazione di evacuazione ha la finalità di guidare gli utenti che abbandonano la galleria a piedi, in caso di emergenza. Sarà realizzata con corpi illuminati a LED installati su una parete della galleria ad un'altezza non superiore a 1.5m.

4.11.3 IMPIANTO IDRICO ANTINCENDIO

L'impianto idrico antincendio sarà costituito da una rete fissa di idranti chiusa ad anello in prossimità degli imbocchi, mantenuta permanentemente in pressione.

L'impianto idrico antincendio sarà dotato dei seguenti componenti:

- Idranti UNI 45 con relativo corredo di tubazione flessibile da 20m e lancia erogatrice, ubicati in uno scomparto dell'armadio della stazione di emergenza posizionate su entrambi i lati della galleria, a quinconce, con una interdistanza di 150m per ogni lato.
- Idranti UNI 70 con relativo corredo di tubazione flessibile da 20m e lancia erogatrice, posizionati ai due imbocchi della galleria.
- Attacchi di mandata per autopompa (due attacchi con diametro DN70) agli imbocchi della galleria.

La rete fissa di idranti sarà costituita da un tubo in acciaio zincato DN100 in configurazione chiusa ad anello, che dovrà essere protetto dal gelo ove necessario. Nelle successive fasi progettuali dovrà essere calcolata la lunghezza di tubazione da proteggere in funzione delle condizioni climatiche.

La rete sarà sezionata con apposite valvole a sfera in quattro punti dell'anello in modo da sezionarlo adeguatamente e nel punto di collegamento tra il gruppo di pompaggio e la rete fissa in modo da poter isolare completamente l'impianto per manutenzione/guasti.

Le tubazioni in centrale ed in esterno saranno in acciaio nero verniciato, complete di guaina coibente e cavetto scaldante.

La rete ed i suoi componenti avranno caratteristiche PN16.

La rete di idranti sarà alimentata da una stazione di pompaggio situata al portale Sud e dotata di:

- Gruppo di pompaggio
- Serbatoio di riserva.

L'impianto è dimensionato in modo da garantire il simultaneo funzionamento di 4 idranti DN45 con una portata di 120l/min cadauno e pressione residua non inferiore a 0.2MPa e 1 idrante DN70 con portata di 300l/min e pressione residua non inferiore a 0.4 MPa, ubicati nella posizione idraulicamente più sfavorevole.

Dai calcoli preliminari effettuati, si riportano i seguenti risultati:

- Il serbatoio di riserva avrà la capacità di 94m³, tale da assicurare una continuità dell'erogazione idrica per due ore.
- Il gruppo di pompaggio sarà caratterizzato da:
 - n. 1 elettropompa, portata 47m³/h – prevalenza 633kPa;
 - n. 1 motopompa con motore diesel, portata 47m³/h – prevalenza 633kPa;
 - n.1 elettropompa pilota.

Il vano tecnico che alloggerà il gruppo di pompaggio antincendio sarà posto in adiacenza al serbatoio di riserva e sarà realizzato secondo la norma EN 12845. Il vano tecnico dovrà essere allestito con tutti i sistemi accessori, quali sistema di illuminazione, prese di corrente, riscaldatori elettrici atti al mantenimento della temperatura all'interno della cabina pompe, aerazione o estrazione di aria e scarico fumi e sfiato serbatoio di gasolio collegati all'esterno, estintori e protezione sprinkler (ove necessaria).

Il riempimento del serbatoio di riserva dovrà essere garantito mediante autobotte o mediante attacco

all'acquedotto se esso garantirà l'affidabilità richiesta.

Nelle successive fasi progettuali, tali risultati dovranno essere verificati e confermati.

4.11.4 STAZIONI DI EMERGENZA

Le stazioni di emergenza hanno lo scopo di mettere a disposizione diversi strumenti di sicurezza ma non di proteggere gli utenti dagli effetti di un evento di incendio.

Le stazioni di emergenza proposte nella galleria in oggetto saranno costituite da armadietti di emergenza posizionati su entrambi i lati della carreggiata ogni 150 m secondo una distribuzione del tipo a quinconce e ai portali. Gli armadietti saranno segnalati con segnale luminoso e segnale di postazione idrante.

La rottura di un vetro o l'apertura di uno sportello per il prelievo degli estintori attiverà un allarme locale ottico ed acustico temporizzato. Tale sistema di allarme sarà collegato all'alimentazione elettrica di sicurezza.

L'armadio della stazione di emergenza avrà dimensioni 1.300x1.700x240 mm e conterrà:

- Un pulsante di allarme;
- una postazione idrante;
- due estintori a polvere ed a schiumogeno;
- un telefono S.O.S.

4.11.5 IMPIANTO DI VENTILAZIONE

Nel presente studio di fattibilità, in via cautelativa, si prevede di dotare la galleria in oggetto di un sistema di ventilazione atto prioritariamente a gestire eventuali situazioni di emergenza incendio così da garantire un'evacuazione in sicurezza per gli utenti, oltre che garantire una ventilazione sanitaria in caso di normale operazione della galleria.

Questa scelta è bastata sull'indicazione presente nelle linee guida Anas, dove per gallerie di lunghezza minore di 1000m e con sezione della galleria minori di 45m² (come la galleria in oggetto) si richiede la verifica della necessità dell'impianto di ventilazione.

L'impianto proposto è dimensionato per garantire la gestione e il controllo dei fumi in caso di eventi incidentali possibili individuati come rilevanti.

La tipologia di impianto selezionata è di tipo longitudinale, realizzato per mezzo di ventilatori assiali a getto (jet fan) disposti a coppie lungo la calotta della galleria.

Considerata la sezione della galleria, di seguito si riportano le caratteristiche principali dei jet fan considerati nel dimensionamento dell'impianto:

- Tipologia: ventilatore assiale a getto 100% reversibile
- Spinta nominale: 730N
- Diametro interno: 710mm
- Diametro esterno massimo: 900mm
- Potenza nominale: 27kW

Dai calcoli preliminari effettuati in accordo con le linee guida PIARC, condotti assumendo un carico di incendio pari a 30MW, risulta necessario installare 3 coppie di jet fan (totale 6 jet fan) lungo la galleria. Due coppie saranno installate a circa 150m da ogni portale e una coppia al centro della galleria.

La valorizzazione economica di tale impianto, stimata sulla base del nuovo prezziario ANAS 2019, risulta essere pari a 72.042,4 €. Si evidenzia che tale somma non è stata presa in considerazione nella stima dell'opera su istruzione delle Stazione Appaltante che ritiene opportuno rimandare alla successiva fase progettuale la definizione di tale impianto. Durante il prossimo step progettuale la necessità e la tipologia di impianto di ventilazione dovranno quindi essere rivalutate considerando le statistiche degli eventi incidentali possibili causa di eventi di incendio e di sversamento di sostanze tossiche, nocive ed infiammabili, nonché i volumi e tipologia di traffico previsti nella galleria e le caratteristiche geometriche della sezione trasversale e

di tracciato.

4.11.6 RILEVAZIONE INCENDIO

Nelle gallerie stradali dotate di impianto di ventilazione meccanica deve essere previsto uno specifico impianto di rilevazione incendio del tipo a rilevazione lineare di temperatura con sensore in fibra ottica, collocato sulla volta della galleria.

4.11.7 SEMAFORI, PMV, SEGNALETICA DI EMERGENZA

Agli imbocchi della galleria saranno installati semafori o segnali variabili del tipo freccia/croce, che consentano la chiusura della galleria in situazioni di emergenza o la modifica del senso di marcia di una corsia. Inoltre, a distanza di 150 metri prima degli imbocchi, saranno essere previsti pannelli a messaggio variabile costituiti da una indicazione alfanumerica.

Inoltre, a ciascun ingresso della galleria sarà essere collocato il segnale definito in allegato III della Direttiva 2004/54/CE.

Le stazioni di emergenza devono esporre segnali informativi, che devono essere i segnali F previsti dalla convenzione di Vienna e indicano agli utenti della strada l'equipaggiamento disponibile, quale telefono di emergenza, estintore e idrante.

5 CARATTERISTICHE ECONOMICHE DELL'OPERA

La stima preliminare del progetto è stata effettuata prendendo in considerazione il prezziario regionale delle opere pubbliche edizione 2020 della Regione Lombardia. Per le voci relative ai lavori in sotterraneo, laddove non presente nel prezziario regionale, si è fatto riferimento al prezziario ANAS del 2019 [riferimento elaborato 0895-IT-Bema-PFTE-STI-02-R0].

Sulla base di tali voci è stato redatto il quadro economico [rif. 0895-IT-Bema-PFTE-STI-03-R0] dal quale risulta un importo complessivo dei lavori pari a 7,513,050.51 € comprensivo dell'adeguamento prezzi territoriale. A tale somma vanno aggiunte poi le ulteriori spese tecniche, per rilievi, per espropri, per cantierizzazione, per imprevisti come si mostra nel quadro economico.

6 CRONOPROGRAMMA DI MASSIMA DELLE FASI DI INTERVENTO

La stima delle successive possibili fasi di intervento è rappresentata in Figura 37

| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 | 17 | 18 | 19 | 20 | 21 | 22 | 23 |
|--|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| PROCEDURA ASSEGNAZIONE SERVIZI TECNICI | | | | 4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROGETTAZIONE, VALIDAZIONE, AUTORIZZAZIONE | | | | | | | | | | 6 | | | | | | | | | | | | | |
| PROCEDURA ASSEGNAZIONE LAVORI | | | | | | | | | | | | | | | 5 | | | | | | | | |
| ESECUZIONE LAVORI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| COLLAUDO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 24 | 25 | 26 | 27 | 28 | 29 | 30 | 31 | 32 | 33 | 34 | 35 | 36 | 37 | 38 | 39 | 40 | 41 | 42 | | | | |
| PROCEDURA ASSEGNAZIONE SERVIZI TECNICI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROGETTAZIONE, VALIDAZIONE, AUTORIZZAZIONE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| PROCEDURA ASSEGNAZIONE LAVORI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| ESECUZIONE LAVORI | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 26 | | | | |
| COLLAUDO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | 1 | | | |

Figura 37: Cronoprogramma preliminare delle fasi (in mesi)

7 CONCLUSIONI E RACCOMANDAZIONI

A valle di tutte le vicissitudini che si sono susseguite per la definizione, la progettazione e l'assegnazione dei lavori per il progetto di collegamento del paese di Bema con il fondovalle, il Comune ha dato incarico alle società Studio Calvi srl e Geodata Engineering Spa della redazione del progetto di fattibilità tecnico ed economica della nuova variante proposta dall'ATI (Accisa S.p.A., Rete Costruzioni s.r.l., Valena S.r.l.) affidataria dei lavori di costruzione del precedente appalto.

La presente relazione ha illustrato lo studio preliminare di fattibilità delle opere necessario alla realizzazione del progetto, evidenziando gli aspetti tecnici e le motivazioni che hanno portato alla definizione di determinate scelte.

Nel contesto delicato del territorio di Bema la soluzione proposta si pone l'obiettivo principale di:

- fornire una soluzione trasportistica funzionale e durevole per il collegamento del paese con il fondovalle;
- fornire una soluzione resiliente nei confronti delle problematiche idrogeologiche legate al corpo idrico del torrente Bitto e delle problematiche geotecniche generate dalla Frana di Bema;
- limitare i costi dell'opera in relazione al contesto ambientale e socio-economico in cui il progetto si inserisce.

È stata analizzata riorganizzata la piattaforma stradale, all'aperto ed in galleria, prendendo in considerazione le peculiarità del traffico presente sulla SP 8 dir A per contenerne l'ingombro senza però ridurne la sicurezza in fase di esercizio.

Gli studi eseguiti sono stati realizzati partendo dai dati preliminari disponibili e sono caratterizzati da assunzioni che necessitano di conferma nelle successive fasi progettuali. Si raccomanda in particolare di attivare attività propedeutiche integrative come rilievi topografici, l'esecuzione di sondaggi geognostici, di prove geofisiche (es. sismica a rifrazione in corrispondenza del corpo di frana), di prove di laboratorio su campioni di roccia e di una campagna di rilevamento geologico-strutturale di dettaglio per la determinazione dello spessore del corpo della frana di Bema e, conseguentemente la definizione finale del tracciato.