

COMMITTENTE



PROGETTAZIONE:



**DIREZIONE TECNICA**

**U.O. GALLERIE**

**PROGETTO DEFINITIVO**

**Nuova linea Ferrandina - Matera La Martella per il collegamento di Matera con la rete ferroviaria nazionale**

**NUOVA LINEA FERRANDINA – MATERA LA MARTELLA**

Misure e procedure di sicurezza da adottare durante la realizzazione degli interventi di ripristino della Galleria

SCALA:



COMMESSA LOTTO FASE ENTE TIPO DOC. OPERA/DISCIPLINA Progr. REV.

I A 5 F 0 1 D 0 7 R H G N 0 0 0 0 0 0 8 A

Rev.	Descrizione	Redatto	Data	Verificato	Data	Approvato	Data	Autorizzato Data
A	EMISSIONE DEFINITIVA	P. Berry	luglio 2019	M. Ricci	luglio 2019	F. Gernone	luglio 2019	A. Sciotti luglio 2019

ITALFERR S.P.A.  
U.O. GALLERIE  
Cod. Dir. Alessandra Sciotti  
Ordine degli Ingegneri di Roma  
n° 13948

File: IA5F01D07RHGN000008A

n. Elab.:

## GALLERIA MIGLIONICO

### MISURE E PROCEDURE DI SICUREZZA DA ADOTTARE DURANTE LA REALIZZAZIONE DEGLI INTERVENTI DI RIPRISTINO DELLA GALLERIA

Prof. Ing. Paolo Berry

già Ordinario della Cattedra di “Arte Mineraria” ed “Ingegneria e Sicurezza degli Scavi”  
della Scuola di Ingegneria e Architettura, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna



Ph.D. Ing. Annalisa Bandini



Ph.D. Ing. Carlo Cormio



**Bologna, Luglio 2019**

Pagina intenzionalmente bianca

## Competenze di SERENGEO nell'Ingegneria e Sicurezza degli Scavi

SERENGEO Srl, spin-off accreditato dell'Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, è costituito da Professori universitari e Dottori di Ricerca che trasferiscono lo stato delle conoscenze tecniche e scientifiche più avanzate al settore dell'Ingegneria degli scavi.

SERENGEO svolge attività di consulenza, progettazione, ricerca scientifica avanzata, determinazione di valori delle caratteristiche fisico – meccaniche di materiali ed ammassi rocciosi con prove di laboratorio ed in situ.

SERENGEO detiene il know how tecnico – scientifico più avanzato che ha sviluppato in ambito universitario, collaborando con Istituti di Ricerca italiani ed esteri, pubblici e privati nello sviluppo ed applicazione di soluzioni innovative nei settori dell'ingegneria mineraria, ambientale e della sicurezza, della meccanica delle rocce e della geotermia.

Sono numerose (oltre 300) le pubblicazioni scientifiche redatte dai soci di SERENGEO sui diversi temi di Geo-Ingegneria di cui sono competenti.

Tra le pubblicazioni su riviste e gli atti di conferenze nazionali ed internazionali, sono da citare i seguenti contributi rilevanti sul tema dell'ingegneria e la sicurezza degli scavi in sottterraneo:

- Berry P., Dantini E.M., Martelli F., Sciotti M. (1999) **Emissioni di metano durante lo scavo di gallerie**. Atti del Convegno Nazionale su: Attualità e problematiche degli scavi di gallerie in Italia, Verona, pp. 5 ÷ 28 e 132 ÷ 135, marzo 1999.
- Berry P., Dantini E.M., Martelli F., Sciotti M. (2000) **Emissioni di metano durante lo scavo di gallerie**. Quarry and Construction, anno XXXVIII, n° 1, pp. 37 ÷ 64, gen. 2000
- Berry P. — **Alta velocità in sicurezza. Il ruolo dell'Università di Bologna**. Quarry and Construction, anno XXXVIII, n° 9, pp. 60 ÷ 64, set. 2000.
- Berry P., Calzolari F., Martelli F., Obici C., Paggi P., Pavone V. (2001) **Studio e ricerca interregionale di soluzioni tecniche atte a rendere sicure macchine operatrici ed impianti utilizzati nella costruzione delle gallerie grisutose della Linea Ferroviaria "Alta Velocità" nel tratto appenninico Firenze**. Monografia stampata in proprio dalla ASL Bologna Sud, Regione Emilia Romagna, Bologna.
- Berry P. (2001) **Rapporto tra scienza, tecnica e normativa di sicurezza**. Atti del Convegno Internazionale "La sicurezza nella realizzazione di grandi opere in sottterraneo", pp. 66-70 Bologna, 20-21 Settembre 2001.
- Bandini A., Berry P., Calzolari F., Colaiori M., Cormio C., Lisardi A. (2014) **Nascita ed evoluzione delle NIR**. Atti Workshop Nazionale "NIR 2013 – Note Interregionali di Ingegneria della Sicurezza nello scavo di gallerie". Bologna 4-5 Luglio 2014, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, AMS Acta, p. 7-16, ISBN: 9788898010202.
- Bandini A., Berry P., Colaiori M., Cormio C., Lisardi A. (2014) **Il franco di sicurezza nello scavo di gallerie grisutose**. Atti Workshop Nazionale "NIR 2013 – Note Interregionali di Ingegneria della Sicurezza nello scavo di gallerie". Bologna 4-5 Luglio 2014, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, AMS Acta, p. 63-77, ISBN: 9788898010202.
- Bandini A., Berry P., Cormio C. (2014) **Soluzioni ingegneristiche introdotte dalla NIR 41**. Atti Workshop Nazionale "NIR 2013 – Note Interregionali di Ingegneria della Sicurezza nello scavo di gallerie". Bologna 4-5 Luglio 2014, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, AMS Acta, p. 113-124, ISBN: 9788898010202.
- Selleri A., Berry P., Messina L., Bandini A., Cormio C. (2014) S-574. **Progettazione, costruzione e primi riscontri di una fresa idonea ad operare in ambienti grisutosi**. Atti Workshop Nazionale "NIR 2013 – Note Interregionali di Ingegneria della Sicurezza nello scavo di gallerie".

Bologna 4-5 Luglio 2014, Alma Mater Studiorum Università di Bologna, AMS Acta, p. 183-192, ISBN: 9788898010202.

Il Prof. Ing. Paolo Berry, già Ordinario della Cattedra di “Arte Mineraria” ed “Ingegneria e Sicurezza degli Scavi” della Scuola di Ingegneria e Architettura, Alma Mater Studiorum – Università di Bologna, è co-autore delle Note Interregionali per la sicurezza nello scavo di gallerie (Standard di sicurezza per la realizzazione delle Grandi Opere Infrastrutturali) emanate dalle Regioni Emilia Romagna e Toscana a partire dal 1998, oggi riviste in forma di Linee Guida Nazionali approvate dal gruppo di lavoro Grandi Opere del Coordinamento Tecnico Interregionale PSAL delle Regioni e delle Province Autonome.

Con riferimento al tema della sicurezza nello scavo di gallerie civili e minerarie in formazioni gristose, sono da richiamare alcune tra le più importanti attività svolte dai soci di SERENGEO:

- classifica tecnica (in fase di progetto), in relazione al rischio gas metano, delle gallerie:
  - del progetto Treno Alta Velocità, tratta Bologna – Firenze;
  - delle gallerie del progetto Variante Autostradale di Valico, tratta Bologna – Firenze;
  - delle gallerie del progetto Terza Corsia Autostradale, Autostrada A1 tratta Barberino – Incisa e Autostrada A14 tratta Senigallia – Ancona Nord;
  - delle gallerie del progetto DG41 – 3° Megalotto della S.S. 106 Jonica, tratta S.S. 534 – Roseto Capo Spulico;
  - delle gallerie dell’Asse viario Marche-Umbria e Quadrilatero di penetrazione interna Maxilotto n. 2 – Pedemontana delle Marche, tratto "Fabriano – Muccia/Sfercia";
  - della galleria ferroviaria Miglionico, tratta Ferrandina – Matera (Progetto Esecutivo 2006);
- progettazione degli interventi per lo scavo in condizioni di sicurezza:
  - della galleria ferroviaria Miglionico, tratta Ferrandina – Matera (Progetto Esecutivo 2006);
  - della galleria acquedottistica Pavoncelli Bis (realizzata con tecnica di scavo meccanizzato – EPB-TBM), tratto Caposele – Conza della Campania, progetto di integrazione del canale principale dell’Acquedotto Pugliese (in fase di gara);
  - delle gallerie (realizzate con tecnica di scavo meccanizzato – TBM) del progetto Tunnel di Base del Brennero, Lotto Mules 2-3 (in fase di gara).

## Indice dei contenuti

1. Premessa .....	1
2. Documentazione consultata .....	4
3. Inquadramento dell'opera ed interventi previsti nel Progetto Definitivo.....	5
4. Studi, ricerche ed indagini sulla presenza di metano nell'ammasso a tergo del rivestimento attuale della Galleria .....	10
5. Stato attuale della Galleria .....	15
6. Soluzioni progettuali per il ripristino e la messa in esercizio della Galleria .....	19
6.1. Fasi esecutive, organizzazione del cantiere e pianificazione dei lavori .....	21
6.1.1. Galleria naturale a doppio binario .....	21
6.1.2. Galleria naturale a singolo binario.....	25
6.1.3. Organizzazione del cantiere e pianificazione dei lavori .....	29
7. Prescrizioni di sicurezza.....	29
7.1. Premessa .....	29
7.2. Impianti, macchine mezzi d'opera e attrezzature .....	31
7.3. Ventilazione .....	31
7.4. Monitoraggio delle concentrazioni di metano .....	32
7.4.1. Organizzazione del servizio di monitoraggio del metano.....	32
7.4.2. Controllo delle concentrazioni di metano e sistema di allarme per presenza di miscele grisucose .....	33
7.4.3. Procedure di sicurezza al raggiungimento delle soglie di concentrazione di metano nell'atmosfera del sotterraneo .....	33
7.5. Formazione, informazione ed addestramento del personale .....	34
7.6. Sistema di bonifica.....	34
7.7. Procedure di sicurezza durante l'esecuzione delle lavorazioni.....	34
7.7.1. Idrodemolizione e demolizione con fresa puntuale dell'arco rovescio e della calotta .....	35
7.7.2. Spritz beton .....	36
7.7.3. Perforazione (consolidamenti, bullonatura) .....	36
7.7.4. Impermeabilizzazione .....	37
7.7.5. Armatura e getto murette ed arco rovescio .....	38
7.7.6. Armatura e getto calotta.....	39
7.7.7. Lavorazioni con produzione di elevate temperature, fiamme e/o scintille .....	39



Pagina intenzionalmente bianca

## 1. Premessa

Italferr S.p.A. ha affidato a SERENGEO S.r.l. l'incarico, tecnico – scientifico, di supportare la progettazione definitiva della Galleria Miglionico (di seguito indicata anche come “Galleria”) della nuova linea ferroviaria Ferrandina – Matera, indicando le soluzioni di Ingegneria degli Scavi idonee a garantire condizioni di massima sicurezza in relazione a:

- causa e livello della presenza di metano nelle formazioni del sottosuolo limitrofo al tracciato dell'opera;
- pericoli associati a miscele aria – metano generate da afflussi di gas nell'atmosfera del cantiere sotterraneo.

L'attività di consulenza, basandosi sui risultati degli studi, ricerche e valutazioni del Prof. Paolo Berry (1999 – 2006), sulle vigenti normative, buone pratiche e Linee Guida, definisce gli aspetti ingegneristici di interesse specifico rispetto ai pericoli di incendi causati da detonazioni/deflagrazioni di miscele aria – metano, nel corso:

- della realizzazione della finestra Miglionico e del camerone di manovra;
- dei lavori di completamento degli interventi di ripristino ed ammodernamento della Galleria.

In breve, l'incarico chiede di approfondire i seguenti temi:

- ricerca della documentazione storica sulla presenza di metano nell'area di studio;
- zonizzazione dei tratti con possibili “afflussi di metano”, in base ai dati storici, alle geo-strutture, ai dati recenti ed alle geometrie delle opere in sotterraneo;
- definizione delle classi di pericolo, associato a miscele aria – metano nei cantieri, in base ai dati storici, alla geo-strutture, ai dati recenti ed alle geometrie delle opere in sotterraneo secondo la normativa vigente ed i riferimenti tecnici per lo scavo di gallerie “grisutose”;
- Linee Guida da adottare per la redazione delle procedure di sicurezza connesse al rischio metano riconosciuto;
- piano di monitoraggio da adottare per la determinazione delle caratteristiche fisiche della miscela aria – metano nel cantiere sotterraneo durante l'esercizio dell'opera.

L'attività di consulenza si articola nelle seguenti tre fasi, i cui risultati sono descritti e commentati in tre distinti documenti:

1. valutazione del livello di pericolo associato a potenziali emissioni di metano e classifica tecnica da adottare nei lavori di scavo della Finestra;
2. definizione delle misure e procedure di sicurezza che si debbono adottare durante la realizzazione degli interventi di ripristino della Galleria;
3. definizione delle misure di sicurezza per la gestione del pericolo di emissioni di metano nella Galleria durante l'esercizio ferroviario.

Questo documento (relativo alla seconda delle tre fasi di consulenza) definisce le specifiche tecniche e le procedure ingegneristiche che l'Appaltatore dovrà adottare per eseguire, in condizioni di massima sicurezza contro inneschi di miscele aria – metano, gli interventi di ripristino della Galleria (consolidamenti, risanamenti ed impermeabilizzazione “full round” del rivestimento definitivo).

Le soluzioni progettuali, esposte nei capitoli seguenti, traggono origine dalla indiscutibile presenza di metano nel sottosuolo dell'area. Presenza prevista e sottolineata dal progetto costruttivo (1984 – 1985), resa evidente dalla costruzione della Galleria (1986 – 1990, tratti a doppio binario; 1993 – 1998, tratto a singolo binario), dalla rapida, importante fessurazione del rivestimento definitivo, in calcestruzzo armato, e dalle conseguenti attività di ricerca, indagini e valutazioni per risanare e portare a termine la costruzione della Galleria (1999 – 2006).

Nei 22 anni sopra richiamati, previsioni e conferme in Galleria (prima, durante e dopo lo scavo) dimostrano che la Galleria è immersa in terreni inequivocabilmente “grisutosi”.

Infatti, durante le fasi progettuali e realizzative dell'opera sono stati registrati continui afflussi di gas nei sondaggi esplorativi e geognostici e nel cantiere sotterraneo. Le emissioni a scavo terminato sono state in parte inibite dalla parziale impermeabilità del rivestimento definitivo. Il deterioramento (fessurazioni) e i ridotti spessori del rivestimento, misurati localmente durante i rilievi eseguiti dal 1999 al 2005, hanno favorito flussi di gas nella Galleria.

Nel documento saranno descritti in dettaglio i risultati di studi, ricerche, indagini e misure sugli afflussi di metano nella Galleria; qui di seguito, a puro titolo di esempio delle emissioni registrate, si anticipano alcuni dei risultati delle indagini.

Nel documento progettuale “*Possibilità di rinvenimento di gas durante i lavori*” (paragrafo 7.3 della Relazione Geologica e Geotecnica, Allegato B alla Consulenza Strutturale PRAS, novembre 1985), il Prof. Ing. V. Cotecchia:

- sottolinea il “*sicuro rinvenimento di gas, sia pure in forma discontinua*” (pag. 99);
- ricorda che la Galleria ricade in un'area sovrastante alcuni importanti giacimenti di idrocarburi (pag. 101);
- ribadisce che “*...l'evidenza di manifestazioni di gas tossici ed esplosivi deve essere tenuta convenientemente in conto...*” (pag. 100); “*prevalentemente gas metano*” (pag. 101);
- afferma che “*ad evitare improvvise deflagrazioni...pregiudizievoli alla sicurezza dei lavori, il lavoro in galleria deve essere organizzato tenendo preventivamente in conto tali situazioni...*” (pag. 101);
- richiama l'attenzione sul fatto che ci sono “*...elementi sufficienti ad ipotizzare fin da ora come molto probabili i rinvenimenti gassosi; questi anche se non degni della qualifica di giacimenti, potrebbero comunque rivelarsi talora consistenti, per le implicazioni che potrebbero avere sul buon andamento dei lavori, in assenza di adeguate forme di controllo e prevenzione*” (pag. 103).

Le pagine 101 – 103 richiamano i dati oggettivi e specifici su cui poggiano le sue previsioni:

- il monitoraggio delle perforazioni ha fornito indicazioni esaurienti;
- la determinazione della presenza di gas è stata eseguita nei fori di sondaggio ricadenti lungo l'asse della Galleria o in prossimità di essa;
- da giugno a novembre 1985 sono stati eseguiti 6 cicli di rilievi su 16 sondaggi;
- tra i sondaggi che interessano direttamente il tracciato della Galleria i fori A7 ed A27 hanno indicato abbondante presenza di gas ed in quest'ultimo sono stati riscontrati i più alti valori di concentrazione di metano;
- nella stessa zona dell'A27, ma fuori tracciato, il sondaggio A18 ha mostrato elevate manifestazioni di gas.

La relazione “*Indagini idrogeologiche (rilievi piezometrici, termico – salinometrici, gas)*” allegata al progetto strutturale (Allegato B10, novembre 1985) riporta i risultati dei rilievi eseguiti a “bocca foro” (12 giugno 1985 – 9 ottobre 1985) dei sondaggi:

- A6 (misura di ottobre): l'emissione del gas aveva tenori in volume del 2%; in precedenza le concentrazioni erano state prevalentemente superiori al fondo scala;
- A8 (misura di luglio): l'emissione aveva tenori in volume del 2%; nelle altre campagne di misura erano state segnalate concentrazioni prevalentemente superiori al fondo scala;
- A7: tenori di gas in volume tra 2% e 57%;
- A18: tenori di gas tra 200 ppm e 56%;
- A27: tenori di gas tra 5 % e 80%;
- A9, A13, A14, AII 2, A28, MG1, MG2, MG3: hanno emesso (all'epoca) gas con concentrazioni che prevalentemente non superavano il fondo scala.

Pertanto, l'attuale Progetto Definitivo non può che definire soluzioni realizzative in grado di impedire qualsiasi rischio associato alla penetrazione del metano nella Galleria durante i lavori per il suo completamento e durante l'esercizio della linea ferroviaria.

Le ricerche bibliografiche ed il complesso dei rilievi ed indagini passati e recenti nella Galleria portano ad indicare che è elevata la probabilità di flussi di metano indotti dalle lavorazioni che ridurranno l'impermeabilità del rivestimento (diminuzione dello spessore e/o demolizione del rivestimento in opera; perforazioni che raggiungeranno l'estradosso del rivestimento) oppure che interferiranno con la formazione attraversata dalla Galleria.

Concreti pericoli di innesco della miscela aria – metano sono associabili anche alle lavorazioni che, pur non interferendo sull'impermeabilità del cavo, interesseranno tratti di Galleria che si sono rivelati sede di emissioni riconosciute strumentalmente (fessure, riprese di getto, gorgoglii).

È quindi un imperativo categorico considerare l'emissione di metano come parametro progettuale del cronoprogramma (o pianificazione) delle fasi degli interventi.

Le misure e procedure operative, esposte in questo documento, devono essere adottate per garantire, ai lavoratori, livelli di massima sicurezza durante gli interventi di ripristino della Galleria. Misure e procedure fanno riferimento alla Nota Interregionale Emilia Romagna – Toscana N° 28, “Grisù 3<sup>a</sup> edizione” (NIR 28), redatta per gallerie con grande sezione di scavo ( $\geq 70 \text{ m}^2$ ), realizzate con metodo a piena sezione e con tecnologia di scavo tradizionale.

La Galleria non rientra in questa tipologia ma, nel capitolo 1 “Premessa”, la Nota riafferma la validità delle Linee Guida di sicurezza, in essa contenute, anche “*nel caso di opere ad esso connesse ma di minore sezione (by pass, finestre, nicchie, ....) e per scavi aventi sezioni medio – piccole o di opere realizzate con metodo a sezione parzializzata*”, purché si definiscano specifiche soluzioni di ingegneria degli scavi e di organizzazione del cantiere, procedure e sistemi di controllo che tengano conto delle peculiarità del cantiere.

I capitoli del documento “fase 2” dell'incarico trattano i seguenti temi:

- documenti consultati ed analizzati per redigere questo documento (capitolo 2);
- breve descrizione dell'opera e degli interventi previsti nel Progetto Definitivo (capitolo 3);
- risultati di studi, ricerche ed indagini sulla presenza di metano nell'ammasso a tergo del rivestimento della Galleria (capitolo 4);
- stato attuale della Galleria (capitolo 5);
- descrizione delle soluzioni progettuali per il ripristino e la messa in esercizio della Galleria, fasi esecutive previste nei vari tratti di Galleria, organizzazione del cantiere e pianificazione dei lavori

(capitolo 6);

- prescrizioni di sicurezza per la realizzazione degli interventi di ripristino in condizioni di massima sicurezza contro il rischio di detonazione e/o deflagrazione di miscele aria – metano (capitolo 7).

## 2. Documentazione consultata

Per la redazione dei risultati della fase 2 dell'incarico di consulenza sono stati consultati i seguenti elaborati, forniti da Italferr, ai quali si farà riferimento citando, di volta in volta, il numero d'ordine attribuito nell'elenco che segue:

- [1] Elaborati del Progetto del 1984 – 1985:
- [1.1] Relazione Geologica e Geotecnica, allegato B – Consulenza strutturale PRAS, novembre 1985 (a cura del Prof. Ing. Vincenzo Cotecchia);
  - [1.2] Indagini idrogeologiche (rilievi piezometrici, termico-salinometrici, gas), Allegato B10 – Consulenza strutturale PRAS, novembre 1985 (a cura del Prof. Ing. Vincenzo Cotecchia);
- [2] Elaborati del Progetto Definitivo:
- [2.1] Galleria Miglionico. Profilo geotecnico (codice elaborato: IA5F01D07F5GN0100001A);
  - [2.2] Galleria Miglionico. Tratte a singolo binario – Sezioni tipo di intradosso (codice elaborato: IA5F01D07WBG0100001A);
  - [2.3] Galleria Miglionico. Tratte a doppio binario – Sezioni tipo di intradosso (codice elaborato: IA5F01D07WBG0100002A);
  - [2.4] Finestra Miglionico. Innesto con galleria di linea – Sezioni tipo di intradosso (codice elaborato: IA5F01D07WAG0200001A);
  - [2.5] Finestra Miglionico. Planimetria e profilo longitudinale (codice elaborato: IA5F01D07L7GN0200001A);
  - [2.6] Indagini 2005. Profilo riassuntivo campagna indagine 2005 (codice elaborato: IA5F01D07FZGN0000004A);
  - [2.7] Elaborati generali. Relazione tecnica delle opere in sotterraneo (IA5F01D07RHGN0000001A);
  - [2.8] Galleria Miglionico. Sezione tipo 1 – Scavo, consolidamenti e carpenteria (codice elaborato: IA5F01D07BBGN0100001A);
  - [2.9] Galleria Miglionico. Sezione tipo 2, 2bis – Scavo, consolidamenti e carpenteria (codice elaborato: IA5F01D07BBGN0100002A);
  - [2.10] Galleria Miglionico. Sezione tipo 3, 3bis – Scavo, consolidamenti e carpenteria (codice elaborato: IA5F01D07BBGN0100003A);
  - [2.11] Galleria Miglionico. Sezione tipo 4 – Scavo, consolidamenti e carpenteria (codice elaborato: IA5F01D07BBGN0100004A);
  - [2.12] Galleria Miglionico. Sezione tipo 5 – Scavo, consolidamenti e carpenteria (codice elaborato: IA5F01D07BBGN0100005A);
  - [2.13] Galleria Miglionico. Sezione tipo 6 – Scavo, consolidamenti e carpenteria (codice elaborato: IA5F01D07BBGN0100006A);
  - [2.14] Galleria Miglionico. Nicchia tipo QdT in nicchia esistente tipo A – Carpenteria, scavo e consolidamenti (codice elaborato: IA5F01D07BBGN0100008A);
  - [2.15] Studio per la presenza di gas. Risultati dell'attività svolta dal Tecnico Specialista per la ricerca e caratterizzazione di trappole e flussi di metano e per la determinazione della classe da attribuire alla Finestra Miglionico (codice elaborato: IA5F01D07RHGN0000F07A);
- [3] Altri elaborati:

[3.1] Verbalì constatazione gas nei sondaggi, 1985-87.

### 3. Inquadramento dell'opera ed interventi previsti nel Progetto Definitivo

La Galleria ferroviaria Miglionico (Figura 1) è l'opera di maggiore importanza del nuovo tracciato, di circa 20 km, Ferrandina – Matera che si collegherà con la linea a semplice binario Battipaglia – Potenza – Metaponto.

La Galleria, che attraversa la zona di valico e di spartiacque dei bacini dei fiumi Bradano e Basento, si estende da pk 2+390,45 (imbocco lato Ferrandina) a pk 8+853,89 (imbocco lato Matera), per una lunghezza complessiva di 6463,44 m. Di questi, 192,50 m sono realizzati in artificiale, ripartiti tra i due imbocchi, mentre il tratto costruito in naturale è lungo 6270,94 m (Tabella 1).

Planimetricamente, il tracciato, in gran parte rettilineo (secondo una direttrice WSW – ENE), presenta una curvatura nel tratto prossimo all'imbocco Matera, a partire, all'incirca, dalla pk 7+005.

Il profilo altimetrico (Figura 2), a schiena d'asino, sale debolmente, procedendo da ciascuno dei due imbocchi verso il centro della Galleria. In particolare:

- l'imbocco Ferrandina è posto a quota 98 m s.l.m. circa;
- proseguendo verso Matera la quota della Galleria aumenta con pendenza del 13‰ per circa 5010 m;
- segue un breve tratto in orizzontale che si estende per 400 m (culmine dei tratti in salita, tra le pk 7+400 e 7+800);
- quindi la Galleria discende verso Matera per circa 1050 m con una pendenza del 1,3‰, raggiungendo una quota, in corrispondenza dell'imbocco, pari a circa 162 m s.l.m.

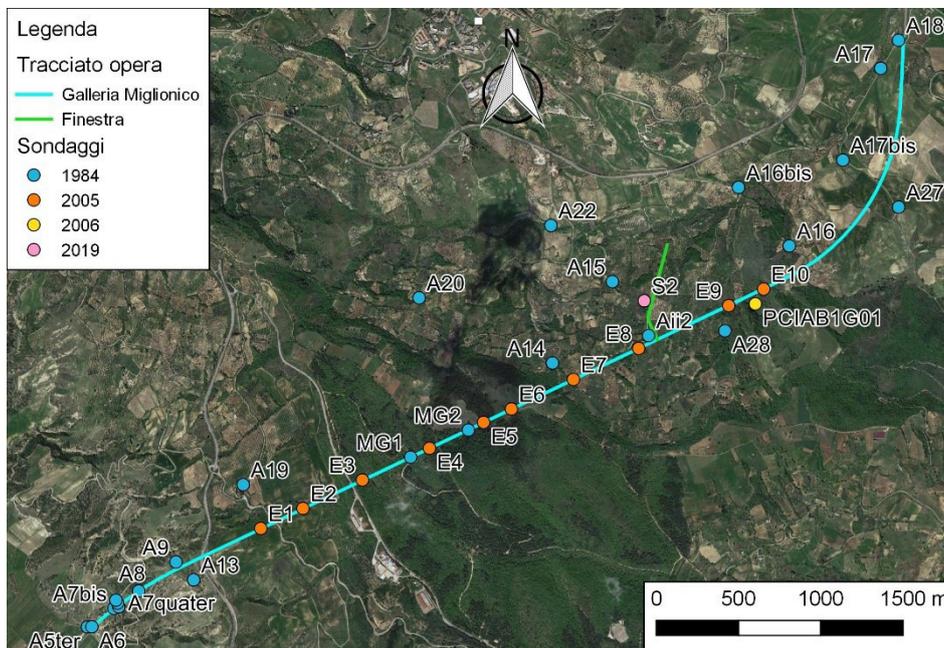


Figura 1. Ubicazione del tracciato della Galleria. Nella mappa sono rappresentati anche i sondaggi effettuati lungo ed in prossimità del tracciato dell'opera nel corso delle diverse campagne di indagini (1984, 2005, 2006 e 2019)

Tabella 1. Caratteristiche generali della Galleria

Galleria Miglionico	
Lunghezza (m)	6463,44
Lunghezza tratti galleria artificiale (m)	192,50
Lunghezza galleria naturale (m)	6270,94
Pk imbocco galleria artificiale lato Ferrandina	2+390,45
Pk imbocco galleria naturale lato Ferrandina	2+437,95
Pk imbocco galleria naturale lato Matera	8+708,89
Pk imbocco galleria artificiale lato Matera	8+853,89
Quota livelletta imbocco lato Ferrandina (m s.l.m.)	98
Quota livelletta imbocco lato Matera (m s.l.m.)	162
Copertura massima (m)	335
Quota topografica massima copertura (m s.l.m.)	465

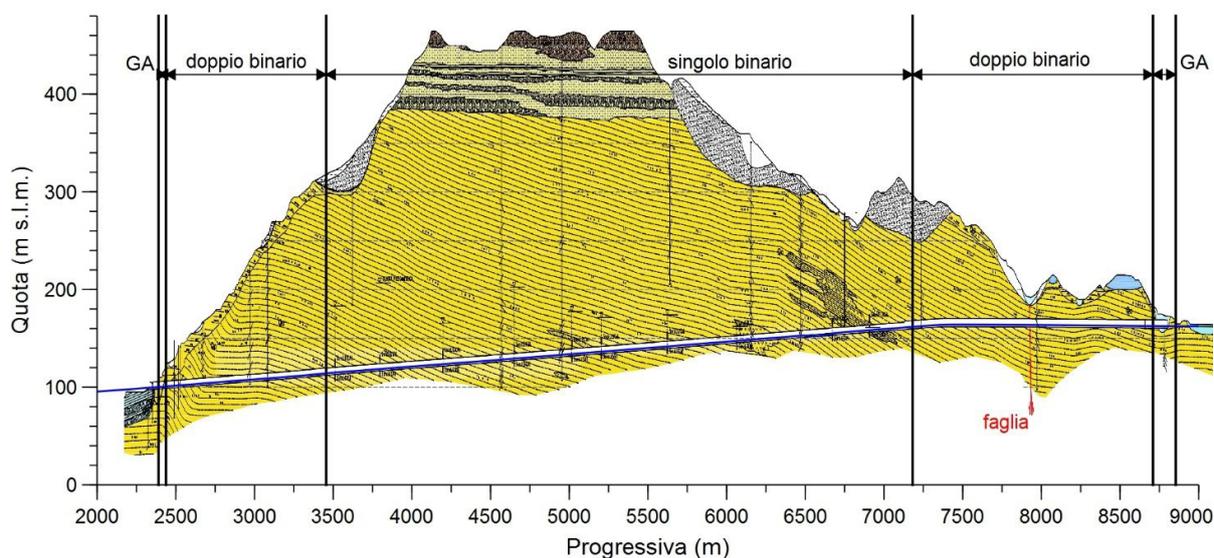


Figura 2. Profilo altimetrico della Galleria (GA: imbocchi in artificiale) (da [2.1])

Inizialmente, la Galleria, progettata per accogliere in sede un doppio binario, prevedeva una sagoma di intradosso monocentrica con raggio del rivestimento definitivo di circa 5,20 m ed altezza del piano dei centri di 2,52 m sul Piano Ferro. La soluzione era dettata dal livello di traffico previsto con la realizzazione di un nuovo collegamento, tra la dorsale adriatica ed il Mezzogiorno, la cui prima tratta era rappresentata dalla Ferrandina – Matera.

Attualmente la Galleria è articolata in un tratto a singolo e due tratti a doppio binario (Tabella 2), i cui raggi equivalenti delle sezioni di intradosso sono rispettivamente pari a 3,50 m e 4,80 m. I due tratti a doppio binario in naturale si estendono complessivamente per 2544,46 m, mentre il tratto centrale a singolo binario è lungo 3726,48 m.

A partire dall'imbocco Ferrandina, la copertura aumenta gradualmente fino a raggiungere valori poco superiori a 300 m (copertura massima pari a 335 m), in corrispondenza del culmine del rilievo sotto-

attraversato, nel tratto di Galleria a singolo binario (Figura 2). Procedendo verso l'imbocco Matera la copertura decresce meno regolarmente, con tratti a bassa copertura come ad esempio quello in corrispondenza del fosso "Tre Valloni" (circa 20 m). Nei due tratti a doppio binario, le massime coperture si collocano in corrispondenza del passaggio alla sezione a singolo binario e sono pari a 190 m (lato Ferrandina) e 130 m (lato Matera).

L'opera presenta, ad interasse di 30 m, nicchie in aggetto verso l'interno della Galleria per il ricovero del personale ferroviario di servizio, e nicchioni tecnologici sia in aggetto che rientranti, ad interasse di circa 240 m.

Tabella 2. Sezioni attuali della Galleria

Pk* inizio	Pk* fine	Lunghezza (m)	Sezione Galleria	Raggio equivalente intradosso (m)
2+390,45	2+437,95	47,50	scatolare a doppio binario	4,88
2+437,95	3+455,11	1017,16	policentrica a doppio binario	4,80
3+455,11	7+181,59	3726,48	circolare a singolo binario	3,50
7+181,59	8+708,89	1527,30	policentrica a doppio binario	4,80
8+708,89	8+853,89	145,00	scatolare a doppio binario	4,88

\* Progressiva linea ferroviaria

La Tabella 3 riporta la lunghezza dei tratti a singolo e doppio binario stabilita dal Progetto Definitivo. Le sezioni progettuali di intradosso dei tratti a singolo (Figura 3) e doppio binario (Figura 4) hanno, rispettivamente, raggio equivalente di 3,35 m e 4,50 m. Diversamente dai tratti a doppio binario, in quelli a singolo binario (dove il raggio equivalente si riduce dagli attuali 3,50 m a 3,35 m di progetto) sarà parzialmente rimosso il rivestimento definitivo per mettere in opera l'impermeabilizzazione "full round" ed il sovrastante rivestimento.

Rispetto alla situazione attuale, il Progetto Definitivo prevede (Figura 5):

- l'estensione dei tratti in artificiale, a sezione scatolare, in corrispondenza degli imbocchi e del tratto centrale con sezione circolare a singolo binario;
- la riduzione di lunghezza dei tratti con sezione policentrica a doppio binario;

e la realizzazione di nicchie tecnologiche lungo l'intero tracciato della Galleria (Tabella 4 e Figura 6).

Inoltre, il Progetto Definitivo prevede la realizzazione di (Figura 7, cfr. elaborato [2.15]):

- finestra Miglionico (Finestra):
  - lunga circa 609 m, di cui 573,5 m circa in naturale e 35,5 m in artificiale all'imbocco;
  - che interseca la Galleria alla pk 6+245,30;
- un camerone, per la manovra dei mezzi di soccorso, in prossimità dell'innesto della Finestra con la Galleria.

Tabella 3. Sezioni di progetto della Galleria

Pk* inizio	Pk* fine	Lunghezza (m)	Sezione Galleria	Raggio equivalente intradosso (m)
2+345,30	2+438,45	93,15	circolare a singolo binario	3,35
2+438,45	3+353,30	914,85	policentrica a doppio binario	4,50
3+353,30	7+334,47	3981,17	circolare a singolo binario	3,35
7+334,47	8+709,39	1374,92	policentrica a doppio binario	4,50
8+709,39	8+904,39	195,00	circolare a singolo binario	3,35

\* Progressiva linea ferroviaria

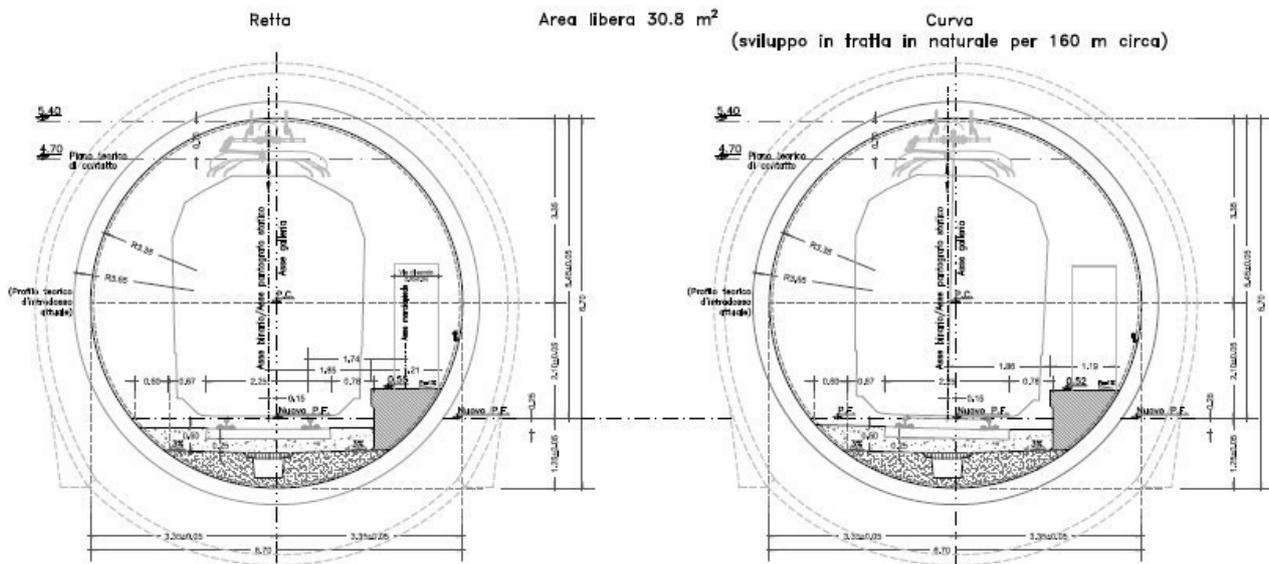


Figura 3. Sezioni di intradosso di progetto a singolo binario (tratto rettilineo e curva) della Galleria (da [2.2])

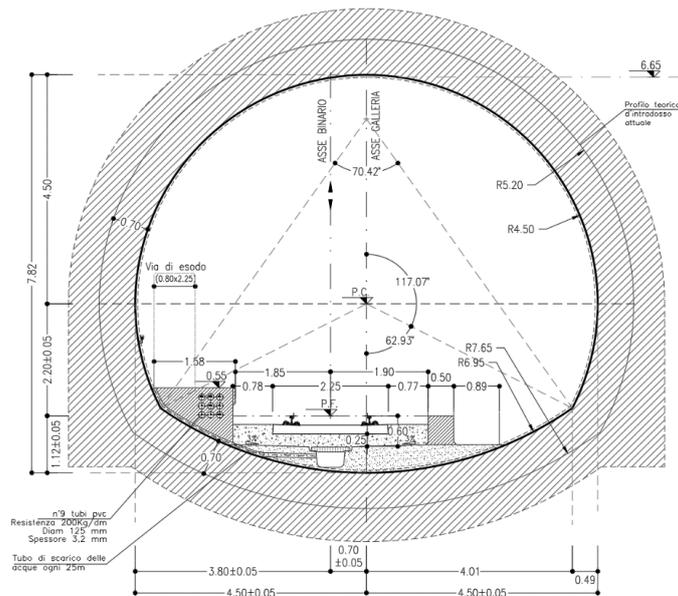


Figura 4. Sezione di intradosso di progetto a doppio binario della Galleria (da [2.3])

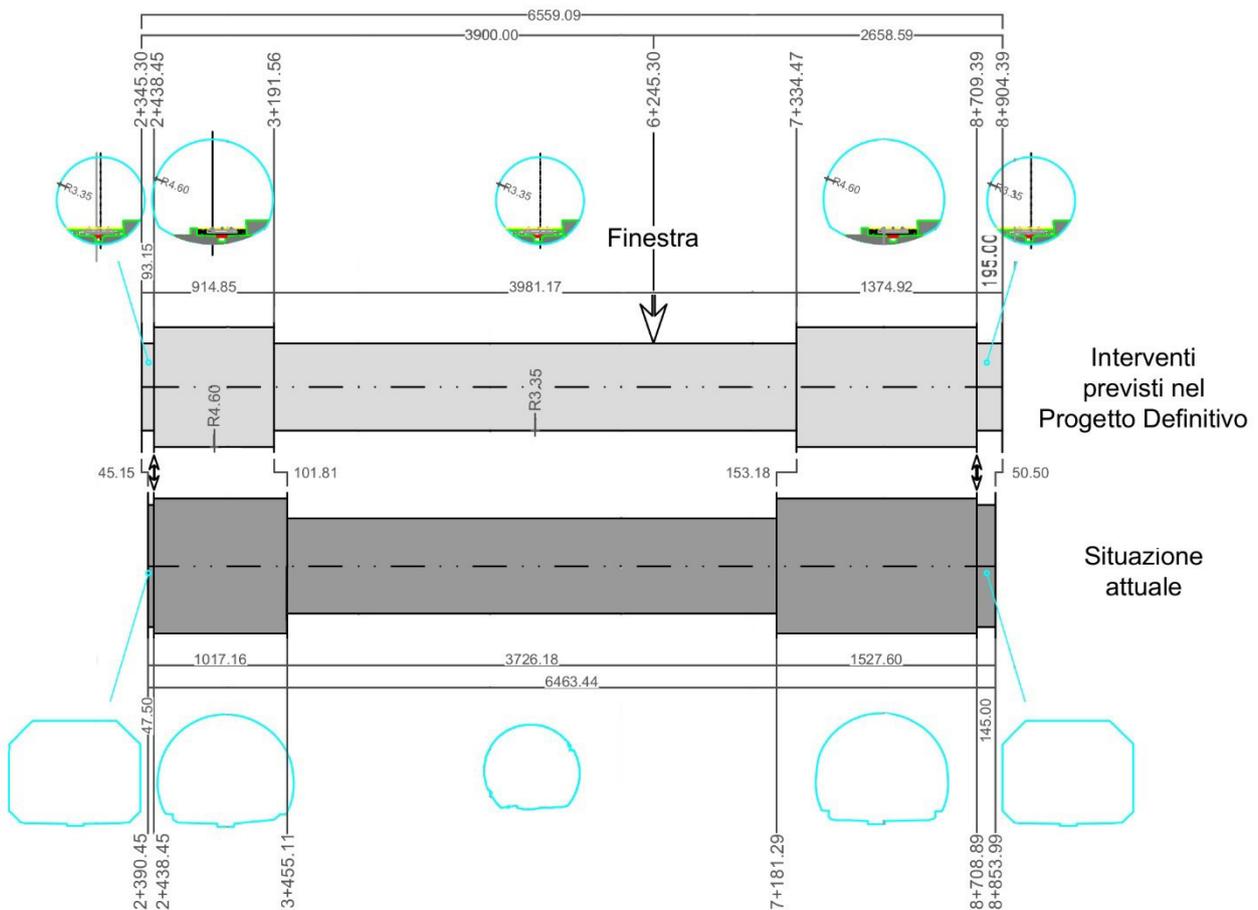


Figura 5. Confronto tra situazione attuale e Progetto Definitivo in termini estensione dei tratti in artificiale ed in naturale (sezioni a singolo e doppio binario)

Tabella 4. Sezioni tipologiche delle nicchie. Le nicchie di Progetto Definitivo saranno realizzate all'interno di quelle esistenti.

Nicchie esistenti				Nicchie di Progetto Definitivo			
Tipologia	Larghezza (m)	Profondità (m)	Altezza (m)	Tipologia	Larghezza (m)	Profondità (m)	Altezza (m)
A	1,80	1,50	1,95	QdT	2,20	2,50	2,05
B	2,80	2,47	2,20	GSM-P	2,80	2,50	2,05
C	2,80	12,23	5,70	BTS	3,00	5,30	2,35
D	2,80	3,46	2,20	TE	3,00	4,10	2,70

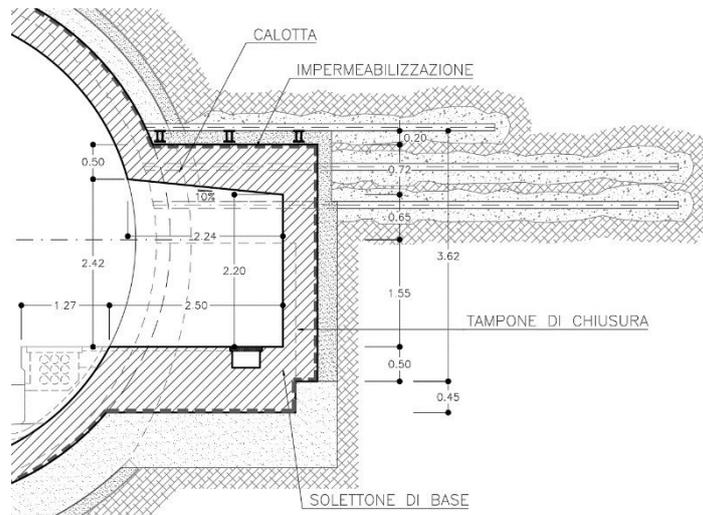


Figura 6. Nicchia QdT realizzata all'interno di una nicchia esistente di tipo A (da [2.14])

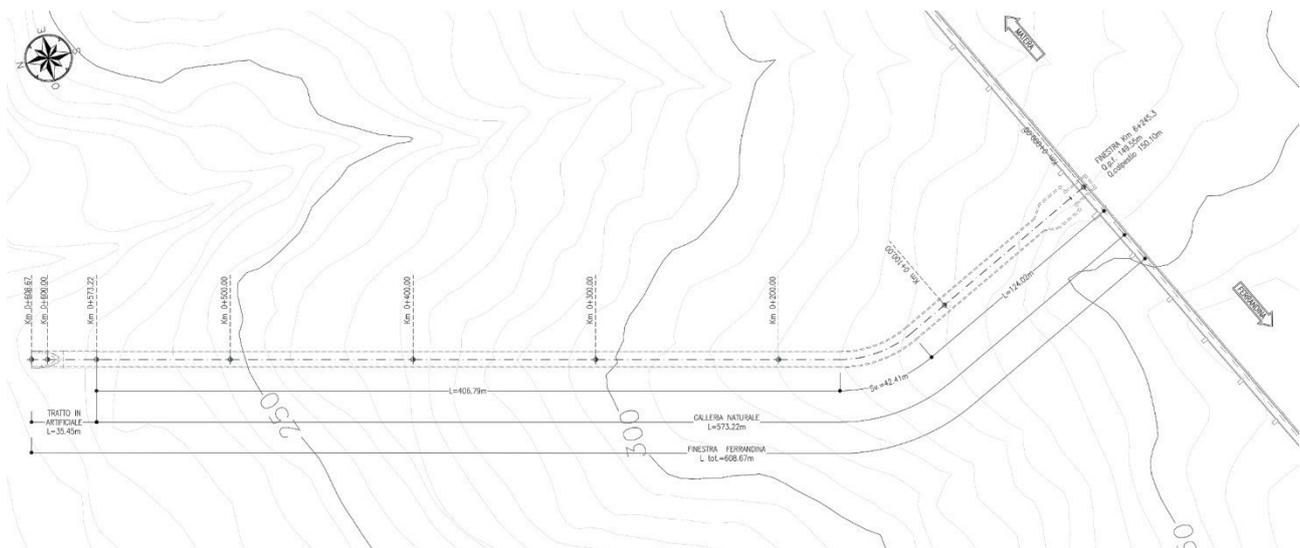


Figura 7. Planimetria della Finestra con indicazione dell'ubicazione del camerone di manovra (da [2.5])

#### 4. Studi, ricerche ed indagini sulla presenza di metano nell'ammasso a tergo del rivestimento attuale della Galleria

La previsione che nel corso delle attività (consolidamenti, risanamenti ed impermeabilizzazione “full round” del rivestimento definitivo) di ripristino definitivo della Galleria, possano confermarsi, in tratti dell'opera, gli afflussi di metano già in atto da molti anni si basa sui risultati delle ricerche ed indagini rappresentati dettagliatamente nel primo documento redatto da SERENGEO, relativo alla fase 1 dell'incarico (cfr. elaborato [2.15]), e sui dati dei rilievi storici durante il progetto e la costruzione dell'opera (sinteticamente ricordati nel capitolo 1), acquisiti:

- prima dell'avvio della costruzione della Galleria;
- durante i lavori di scavo;
- successivamente alla costruzione, nel corso dei sopralluoghi e durante le attività di monitoraggio

in Galleria propedeutiche agli interventi di messa in sicurezza.

Di seguito si sintetizzano i principali elementi che dimostrano la presenza di gas nell'ammasso a tergo del rivestimento della Galleria nell'intero tracciato. Per maggiori dettagli si rimanda all'elaborato [2.15].

La Galleria è posta in un territorio che sovrasta numerosi importanti giacimenti di idrocarburi, dai quali si estrae la quasi totalità del gas italiano da terraferma.

A pagina 2 della Premessa di questo documento si è anticipato che nella Relazione Geologica e Geotecnica (cfr. elaborato [1.1], paragrafo 7.3 *“Possibilità di rinvenimento di gas durante i lavori”*) allegata alla Consulenza strutturale PRAS del primo progetto del 1985, il Prof. Ing. V. Cotecchia sottolinea il *“sicuro rinvenimento di gas, sia pure in forma discontinua”* e *“l'evidenza di manifestazioni di gas tossici ed esplosivi...prevalentemente gas metano”*. Inoltre, sottolinea che *“ad evitare improvvise deflagrazioni...pregiudizievoli alla sicurezza dei lavori, il lavoro in galleria deve essere organizzato tenendo preventivamente in conto tali situazioni...”* e che ci sono *“...elementi sufficienti ad ipotizzare fin da ora come molto probabili i rinvenimenti gassosi; questi anche se non degni della qualifica di giacimenti, potrebbero comunque rivelarsi talora consistenti, per le implicazioni che potrebbero avere sul buon andamento dei lavori, in assenza di adeguate forme di controllo e prevenzione”*.

Le previsioni progettuali (1984 – 1985) sono state confermate dai monitoraggi effettuati negli anni (1985 – 2005) lungo il tracciato della Galleria, che hanno fornito concentrazioni di metano considerevoli e compatibili con le caratteristiche dell'area in cui ricade la Galleria:

- a boccaforo dei sondaggi ante operam (sondaggi perforati nel 1984, cfr. Figura 1), lungo il tracciato della Galleria;
- nei fori di consolidamento al fronte durante i lavori di scavo;
- durante le attività di monitoraggio effettuate nei periodi 1999 – 2000 e 2004 – 2005, propedeutiche agli interventi di ripristino.

I rilievi ante-operam (1985 – 1987) indicano la presenza di metano in tutti i fori (Tabella 5), anche alla quota della Galleria (Figura 8), se si esclude il foro A19 in cui, però, è stata effettuata una sola misura.

In molti casi le concentrazioni sono state elevate (Figura 9), con i valori massimi registrati nei tratti di Galleria con sezione a doppio binario, ovvero nella prima porzione di Galleria, in prossimità dell'imbocco Ferrandina (sondaggi A7, A7bis, A7ter), ed in quella terminale, in corrispondenza della faglia del “Fosso Tre Valloni” che intercetta la Galleria circa alla pk 8+014 (Figura 8).

Il massimo valore di concentrazione (80% in volume) è stato misurato a boccaforo del sondaggio A27 in prossimità della faglia. Nella stessa zona dell'A27 (ma fuori dal tracciato) il sondaggio A18 ha dato uguali elevate manifestazioni, con concentrazioni volumetriche misurate comprese tra 200 ppm e 56%. Stesse considerazioni si possono fare per i sondaggi A17 e A17bis, dove si sono raggiunti, rispettivamente, il 30% ed il 36% di concentrazione volumetrica di metano in aria.

In prossimità dell'imbocco Ferrandina, il sondaggio A7 ha emesso gas con tenori in volume compresi tra 2% e 57%. In tale foro, come anche nel vicino A7ter, si sono registrati valori superiori al limite inferiore di esplosività (LIE, pari al 5%) anche a foro aperto (7% in A7 e 8% in A7ter, Tabella 6). Nel foro A7, una volta sigillato il boccaforo, dopo circa 5,5 ore di tempo dall'8% si è raggiunta una concentrazione volumetrica pari al 20% di metano in aria, che si è mantenuta costante per circa 3'.

Anche nel foro A7ter il valore registrato dopo aver sigillato il foro (8%) è rimasto costante per circa 5' (Tabella 6).

Tabella 5. Risultati delle misure di concentrazione di metano a boccaforo dei sondaggi geognostici lungo il tracciato della Galleria (1985 – 1987 e 2006) (cfr. elaborato [2.15])

ID	Quota boccaforo (m s.l.m.)	L (m)	Presenza di metano a boccaforo	Valori misurati (% vol.)	Quota emissioni (m s.l.m.)	Misure ripetute nella singola giornata
A5ter*	100,0	62,5	SI	≤ 0,08	40,0	NO
A6*	104,0	40,0	SI	≤ 2,0	76,0	SI
A7*	147,5	50,0	SI	0,1 ÷ 57	97,5	SI
A7bis*	205,2	136,2	SI	≤ 1,0	145,2	SI
A7ter*	229,0	151,0	SI	0,05 ÷ 17	169,0	SI
A7quater*	203,0	112,8	SI	≤ 8,0	153,0	NO
A8*	178,0	50,0	SI	≤ 2,0	128,0	NO
A9*	206,0	120,5	SI	≤ 0,1	146,0	NO
A13*	253,0	150,0	SI	≤ 1,0	193,0	NO
A19*	338,5	150,5	NO	\	\	NO
MG1*	450,0	350,0	SI	≤ 0,05	100,0	NO
MG2*	461,0	350,5	SI	≤ 0,05	110,5	NO
A14*	388,6	180,0	SI	≤ 1,0	308,6	NO
All2*	351,5	212,5	SI	≤ 0,05	155,5 / 301,5	NO
MG3*	317,0	177,8	SI	≤ 0,05	167,0	NO
A28*	317,5	179,0	SI	≤ 0,05	257,5	NO
A27*	193,0	101,0	SI	10 ÷ 80	118,0	NO
A17bis*	185,0	70,0	SI	2 ÷ 36	115,0	NO
A17*	173,0	80,5	SI	5 ÷ 30	126,0	NO
A18*	170,0	41,0	SI	≤ 56	140,0	NO
PCIAB1G01**	280,1	110,0	NO	\	\	NO

\* Misure (1985 – 1987) successive alla perforazione dei sondaggi (campagna 1984)

\*\*Misure effettuate durante la perforazione dei sondaggi (campagna 2006)

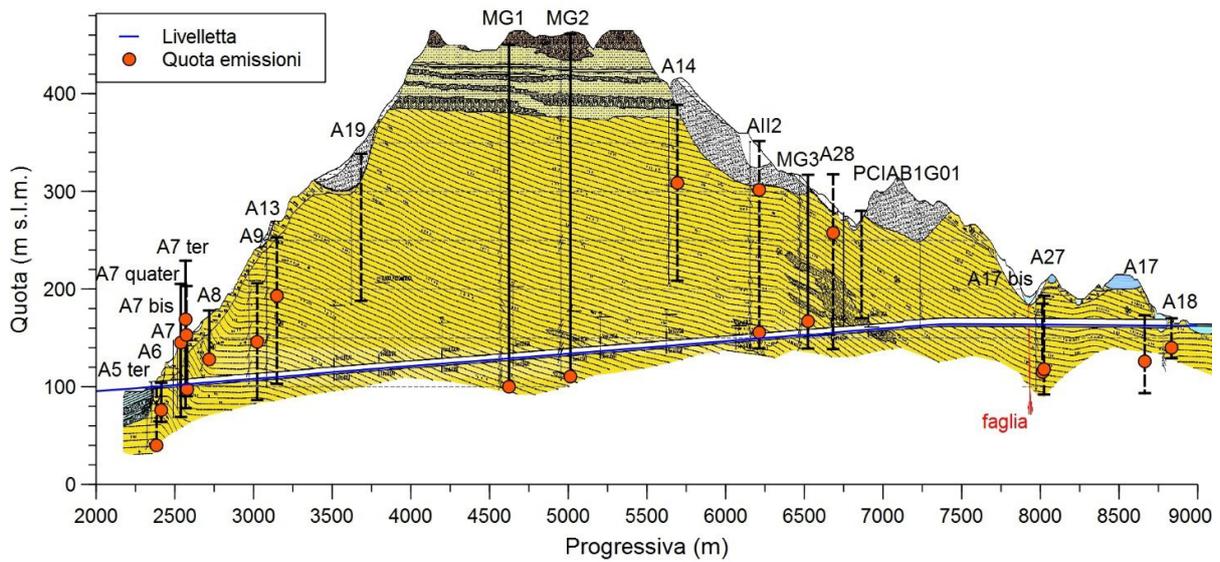


Figura 8. Emissioni di metano rilevate lungo il tracciato della Galleria

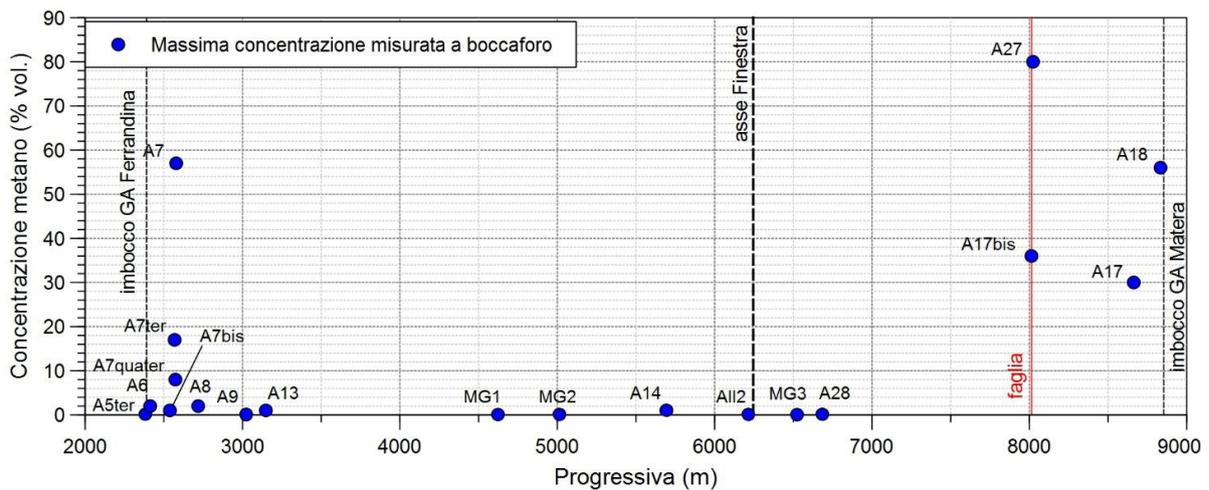


Figura 9. Valori massimi di concentrazione di metano (% in volume) misurati nei rilievi a boccaforo del 1985 – 1987 in funzione della progressiva del sondaggio

Tabella 6. Rilievi del 24 settembre 1985 ripetuti nell'arco della giornata (alle 10:30 ed alle 16:00). I fori, inizialmente aperti, sono stati sigillati dopo la misura delle 10:30 (dati desunti da [3.1])

ID sondaggio	Concentrazione metano (% vol.)		Note
	10:30	16:00	
A7	8→5	20	Il valore misurato alle 16:00 (20%) si è mantenuto costante per circa 3'
A7ter	8	17→8	Alle 16:00 la concentrazione, inizialmente pari a 17%, si è ridotta al 8% e si è mantenuta su questo valore per circa 5'

Nelle misure del 1999 nei sondaggi MG1 e MG2 è stata rilevata presenza di gas, con tenori molto elevati e portate notevoli e continue in MG2 (cfr. elaborato [2.15]).

Durante i lavori di scavo della Galleria, in tutti i fori si è riscontrato metano con concentrazioni, per pk superiori a 4+500, sempre superiori al LIE (5%) ed, in molti casi, notevolmente elevate (valori massimi pari a 95%) (Figura 10). Il monitoraggio ha riguardato il tratto centrale della Galleria, in corrispondenza del quale si erano registrati i valori più bassi di concentrazione di metano ( $\leq 1\%$  in volume, cfr. Figura 9) nei rilievi a boccaforo dei sondaggi del 1984.

Nel 1999 – 2000 e nel 2004 – 2005 la Galleria rivestita è stata sottoposta a controlli strumentali della concentrazione volumetrica di metano, con esplosimetro portatile, con intervallo di misura pari a 0÷5,0% (0÷100% LIE).

Nei rilievi in Galleria del 1999 – 2000 (non sistematici e discontinui), che hanno interessato un tratto lungo 400 m di Galleria, compreso all'incirca tra le verticali dei sondaggi MG2 e MG3, da tutti i punti controllati in corrispondenza di fratture del rivestimento definitivo da cui fuoriusciva acqua, si è riscontrato metano, disciolto in acqua, con concentrazioni anche superiori alla soglia di allarme dello strumento (0,5% in volume), in prossimità del punto di emissione. In molti casi il tenore ha superato, in atmosfera, il LIE (cfr. elaborato [2.15]).

I rilievi del 2004 – 2005 hanno interessato il tratto di Galleria rivestita compreso tra la pk 3+212 e la pk 7+363. In molti casi si sono registrati valori non nulli di concentrazione (Figura 10 c) prevalentemente a boccaforo od in prossimità dei fori durante l'esecuzione dei carotaggi, e si è rilevato anche metano disciolto in acqua, con alcune acquisizioni che hanno raggiunto il fondo scala dell'esplosimetro (5%). Per le caratteristiche della strumentazione adottata non è stato possibile rilevare valori superiori al LIE.

In sintesi, le ricerche bibliografiche ed il complesso dei rilievi e delle indagini passati e recenti eseguiti all'interno della Galleria:

- dimostrano che la Galleria è immersa in terreni inequivocabilmente "grisutosi";
- indicano che è elevata la probabilità di flussi di metano indotti dalle lavorazioni che ridurranno l'impermeabilità del rivestimento (diminuzione dello spessore e/o demolizione del rivestimento in opera; perforazioni che raggiungano l'estradosso del rivestimento) oppure che interferiranno con la formazione attraversata dalla Galleria.

Concreti rischi di innesco dell'atmosfera costituita da miscela aria – metano sono associabili anche alle lavorazioni che, pur non interferendo sull'impermeabilità del cavo, interesseranno tratti di galleria che si sono rivelati sede di emissioni riconosciute strumentalmente (fessure, riprese di getto, gorgoglii).

Con l'attuale Progetto Definitivo si intende annullare i rischi associati alla penetrazione del metano nella Galleria sia durante i lavori per il suo completamento, sia durante l'esercizio ferroviario.

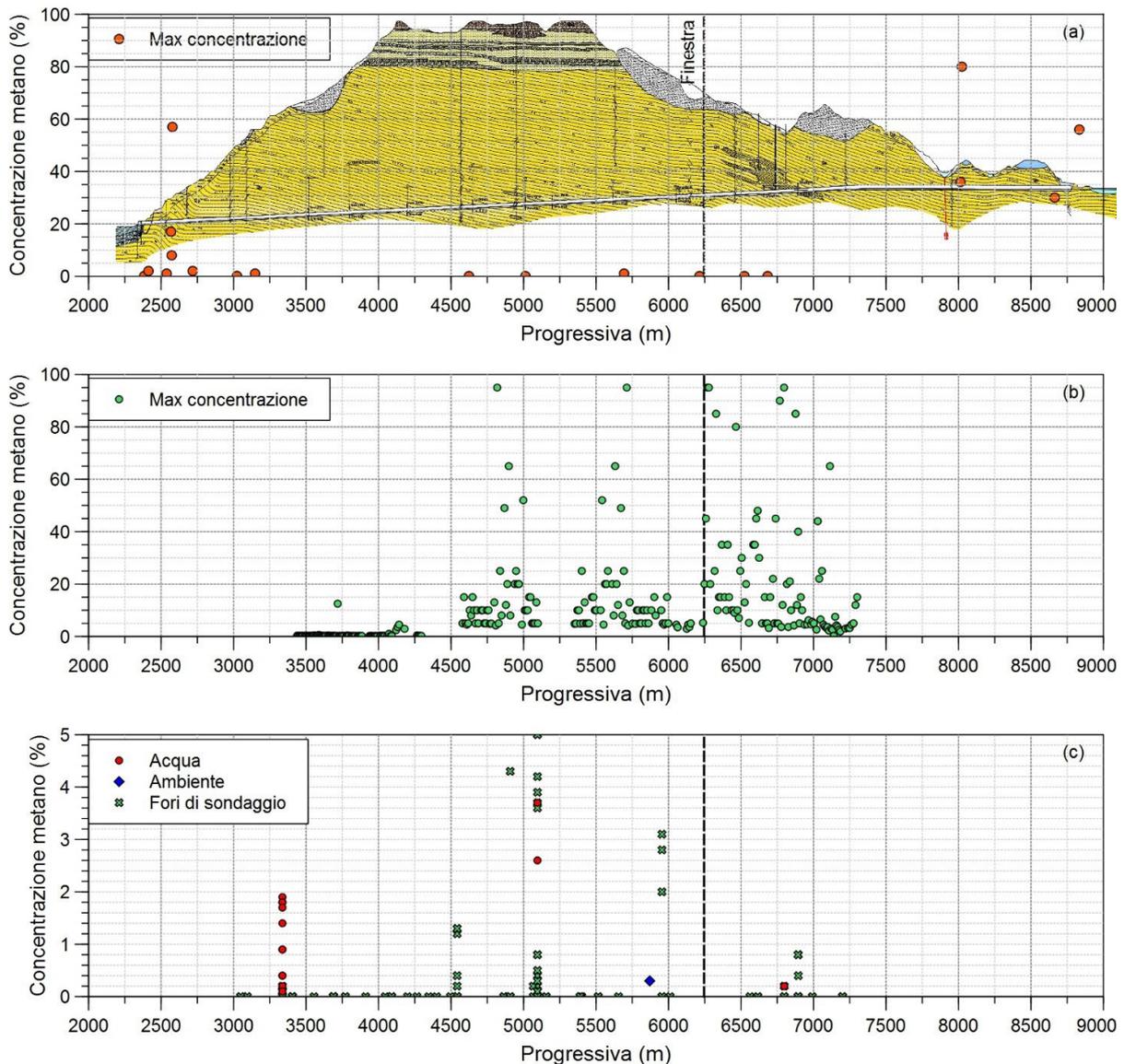


Figura 10. Confronto tra le concentrazioni volumetriche di metano misurate a boccaforo dei sondaggi geognostici lungo il tracciato della Galleria (a) e dei fori di consolidamento (b) durante i lavori di scavo (1993 – 1996), ed in Galleria nel corso dei sopralluoghi (1999 – 2000 e 2004 – 2005), finalizzati all'esecuzione di indagini propedeutiche agli interventi di ripristino (c). Nei grafici (a) e (b) sono rappresentati i valori massimi.

## 5. Stato attuale della Galleria

I risultati dell'estesa campagna d'indagini (rilevi visivi e topografici, esecuzione di sondaggi e di prove con martinetti piatti, prospezione geofisica con georadar) condotta (2004 – 2005) in Galleria (cfr. elaborato [2.7]) ed i più recenti sopralluoghi effettuati a marzo (Italferr) e giugno 2018 (Italferr – SERENGEO) dimostrano che:

- il calcestruzzo del rivestimento definitivo è ammalorato in molti punti e vaste aree delle pareti sono caratterizzate da segregazione di inerti, macchie di umidità, trasudi da riprese di getto, fessure e cavità (Figura 11), da cui generalmente fluisce acqua (cfr. Allegato 1). In diverse zone

- i ferri dell'armatura sono a vista e corrosi (Figura 12);
- il rivestimento dei due tratti a doppio binario è interessato da giunti (generati dalla successione dei getti) e da numerose fratture trasversali e longitudinali, in calotta e sui paramenti destro e sinistro (Figura 13), che sottolineano il locale cedimento dell'intervento strutturale causato dalla pressione dei terreni circostanti;
  - nel tratto a singolo binario fratture o cedimenti hanno estensione inferiore rispetto a quelle riscontrabili nei due tratti a doppio binario, ma in più punti si osservano diverse lesioni in calotta oltre alle numerose fessure corrispondenti alle interruzioni e riprese dei getti di calcestruzzo (Figura 14 e Figura 15). In altri termini, col passare del tempo, la relativa impermeabilità del rivestimento definitivo a flussi di metano si è progressivamente ridotta tanto che il gas penetra da numerosi punti;
  - sul piano di calpestio spesso si riscontra la presenza di materiale argilloso (Figura 15), franato o rifluito dalle fratture del rivestimento definitivo ammalorato, e acqua che contiene spesso metano disciolto. Localmente l'acqua presenta gorgogliamenti;
  - l'indice di fessurazione (ovvero i metri di fessura per metro di Galleria, cfr. elaborato [2.6]) è più elevato:
    - nel tratto a singolo binario in prossimità del cambio di sezione a doppio binario, imbocco Matera, caratterizzato da fessure longitudinali in calotta con importanti aperture;
    - nel tratto a doppio binario imbocco Ferrandina in prossimità del cambio di sezione a singolo binario, che presenta in calotta un'estesa zona di rottura in cui sono visibili le armature fortemente deformate;
  - gli spessori del rivestimento variano longitudinalmente e trasversalmente rispetto all'asse dell'opera entro intervalli molto ampi (cfr. elaborato [2.6]); l'arco rovescio ha, in media, spessori leggermente maggiori rispetto alle altre zone, mentre i piedritti hanno spessori generalmente superiori alle reni. In calotta (laddove si sono manifestati fenomeni di instabilità significativi), lo spessore del rivestimento oscilla tra 16 cm e 196 cm, con un valore medio di 75 cm;
  - si riscontrano spessori limitati di calcestruzzo, generalmente inferiori a 50 cm e localmente dell'ordine dei 20÷25 cm, nelle due porzioni a singolo binario che si estendono dalla sezione di transizione singolo-doppio binario per 300 m in direzione Ferrandina e 400 m in direzione Matera;
  - la rete metallica di armatura in calotta presenta un copriferro che oscilla tra circa 4÷5 cm e 14÷15 cm (tratto centrale della Galleria), con una media di circa 11,7 cm;
  - in numerosi nicchioni e nicchie il rivestimento definitivo è assente od incompleto (Figura 16) e spesso il rivestimento di prima fase è in pessimo stato di conservazione con spritz beton e centine deformate a livelli inaccettabili (Figura 16 e Figura 17), per effetto degli elevati carichi agenti (da imputare al carattere spingente dell'ammasso).



Figura 11. Esempi di cavità riscontrate nel rivestimento della Galleria: a destra fuoriuscita di fango rifluito dalla cavità



Figura 12. Ferri dell'armatura a vista

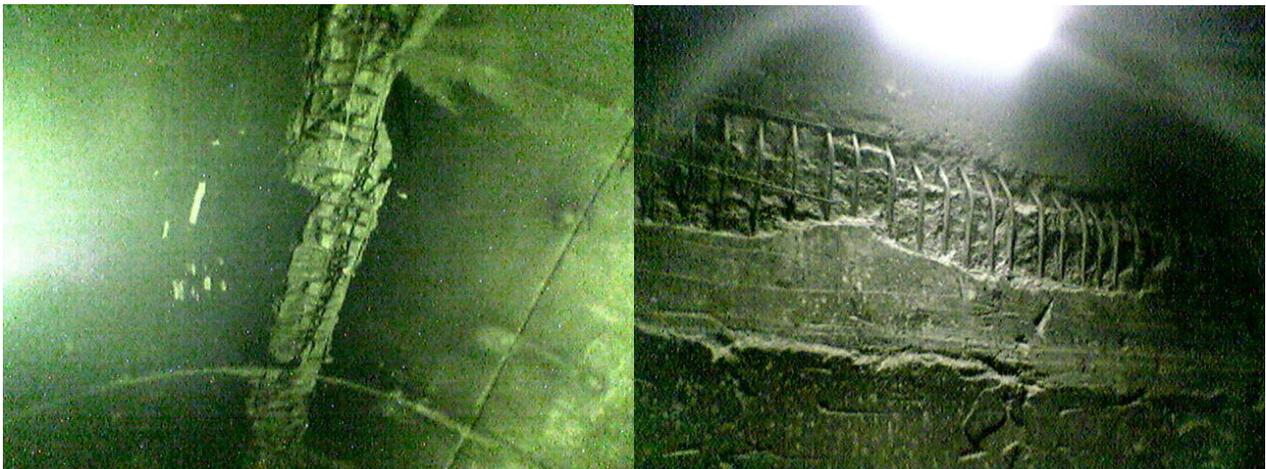


Figura 13. Lesioni in calotta e sui piedritti, con armatura a vista

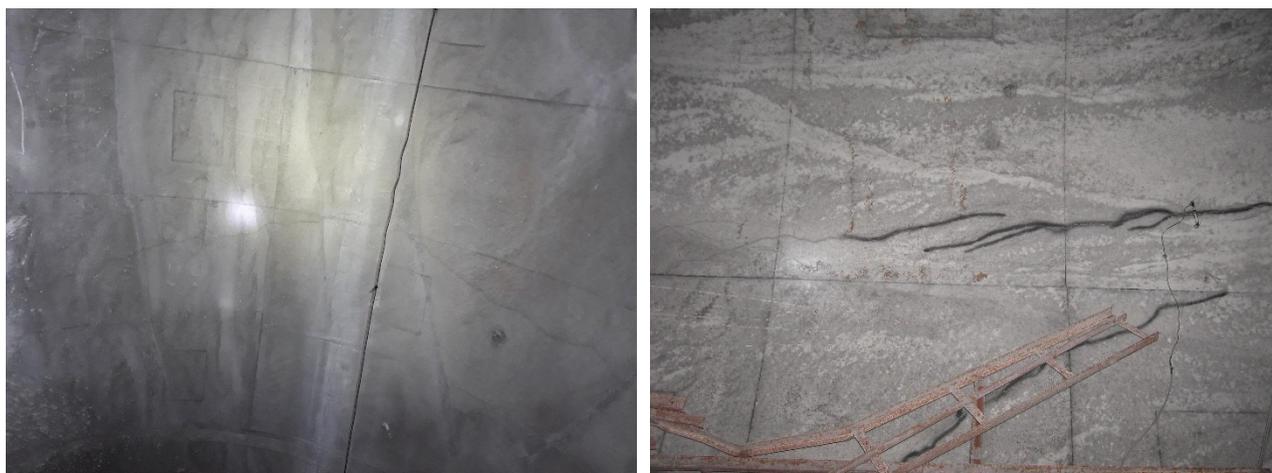


Figura 14. Lesioni in calotta e sui piedritti



Figura 15. Fessure nelle discontinuità dei getti (a sinistra) e materiale sul piano di calpestio della Galleria (a destra)



Figura 16. Immagini di nicchioni con rivestimento definitivo assente (a sinistra) ed incompleto (a destra)



Figura 17. Immagini di nicchioni con rivestimento provvisorio in pessimo stato di conservazione. Nella figura di destra sono visibili le centine danneggiate.

## 6. Soluzioni progettuali per il ripristino e la messa in esercizio della Galleria

Gli interventi stabiliti dal Progetto Definitivo devono risolvere i ben noti problemi strutturali (cfr. capitolo 5) ed annullare permanentemente potenziali miscele aria – metano (cfr. capitolo 4) nell'atmosfera della Galleria in esercizio. Miscele che potrebbero infiammarsi o esplodere se innescate da scintille, inevitabilmente prodotte dal contatto pantografo-linea elettrica durante il transito del treno.

In sintesi, gli interventi consisteranno in:

- ristrutturazione ottenuta demolendo, parzialmente o integralmente (se gli spessori sono ridotti), l'attuale rivestimento definitivo, in pessimo stato di conservazione (cfr. capitolo 5), e mettendo in opera un nuovo rivestimento in calcestruzzo armato;
- impermeabilizzazione "full round" per impedire afflussi di metano in Galleria durante l'esercizio ferroviario.

In funzione della sezione (tratto a singolo o a doppio binario), dello spessore e delle condizioni dell'attuale rivestimento, il Progetto Definitivo fissa 6 "sezioni tipo di intervento" (Tabella 7):

- sezioni 1, 4 e 5 nei due tratti a doppio binario;
- nel tratto a singolo binario, sezioni 2 (per demolizioni parziali del rivestimento esistente), 3 (per demolizioni totali del rivestimento esistente) e 6 (per i tratti privi del rivestimento esistente di calotta).

ed una sezione tipo "Innesto" in corrispondenza del collegamento tra Galleria e Finestra.

Le sezioni sono estese a tutta la Galleria fatta eccezione per i tratti realizzati in artificiale, a sezione scatolare, che saranno allungati, modificandone la sezione di intradosso, per predisporre le zone nell'intorno degli imbocchi agli interventi di risanamento paesaggistico.

Tabella 7. Interventi di ripristino della Galleria: “sezioni tipo” nei tratti di galleria naturale (GN) a doppio (DB) e singolo binario (SB)

Pk* inizio	Pk* fine	Lunghezza (m)	Sezione Tipo	Tratto
2438,45	3350	911,55	1	GN-DB
3350	3400	50	4	GN-DB
3400	3455,11	55,11	5	GN-DB
3455,11	3460,11	5	6	GN-SB
3460,11	3471,82	11,71	3	GN-SB
3471,82	3487,05	15,23	3bis	GN-SB
3487,05	3505,99	18,94	3	GN-SB
3505,99	3516,35	10,36	3bis	GN-SB
3516,35	3546,17	29,82	3	GN-SB
3546,17	3600	53,83	3bis	GN-SB
3600	3800,5	200,5	3bis (2bis)	GN-SB
3800,5	3807,5	7	6	GN-SB
3807,5	3821	13,5	3bis (2bis)	GN-SB
3821	3822,8	1,8	6	GN-SB
3822,8	3914,97	92,17	3bis (2bis)	GN-SB
3914,97	6240,3	2325,33	2 (3)	GN-SB
6240,3	6250,3	10	Innesto	GN-SB
6250,3	6433,47	183,17	2 - 3	GN-SB
6433,47	6522,27	88,8	3bis (2bis)	GN-SB
6522,27	6531,45	9,18	3 (2)	GN-SB
6531,45	6807,07	275,62	2bis - 3bis	GN-SB
6807,07	6817,57	10,5	2 - 3	GN-SB
6817,57	7111,87	294,3	3bis (2bis)	GN-SB
7111,87	7138,87	27	3 (2)	GN-SB
7138,87	7181,27	42,4	3bis (2bis)	GN-SB
7181,27	7224,98	43,71	5	GN-DB
7224,98	7274,98	50	4	GN-DB
7274,98	8709,37	1434,39	1	GN-DB

\* Progressiva linea ferroviaria

## **6.1. Fasi esecutive, organizzazione del cantiere e pianificazione dei lavori**

I paragrafi seguenti sintetizzano gli interventi e le fasi esecutive stabilite dal Progetto Definitivo nei singoli tratti di galleria naturale (imbocchi a doppio binario e tratto centrale a singolo binario).

### **6.1.1. Galleria naturale a doppio binario**

Nei due tratti a sezione policentrica si adotta la sezione tipo 1 (Figura 18).

Le singole fasi esecutive sono:

- fase 1. demolizione con fresa meccanica ad attacco puntuale (nel seguito indicata come FP), non vincolata da campi di avanzamento, di una porzione del rivestimento dell'arco rovescio, per preparare la superficie d'intradosso;
- fase 2. messa in opera dell'impermeabilizzazione "full round";
- fase 3. getto dell'arco rovescio, a distanza non vincolata da campi di avanzamento;
- fase 4. getto del rivestimento definitivo in calotta, per ottenere la sagoma di intradosso prevista, a distanza non vincolata da campi.

Nei due tratti di passaggio da doppio a singolo binario sono previsti interventi differenziati, corrispondenti alle sezioni tipo 4 e 5.

Le fasi esecutive della sezione tipo 4 (Figura 19) sono del tutto analoghe a quelle della sezione tipo 1 (Figura 18), con sagoma di intradosso inferiore (sezione a singolo binario anziché a doppio binario).

Le attività della sezione tipo 5 (Figura 20) sono:

- fase 1. demolizione con FP, non vincolata da campi di avanzamento, di una porzione del rivestimento dell'arco rovescio, per preparare la superficie d'intradosso;
- fase 2. idrodemolizione, non vincolata da campi di avanzamento, di una porzione di rivestimento del paramento laterale;
- fase 3. messa in opera dell'impermeabilizzazione "full round";
- fase 4. getto dell'arco rovescio;
- fase 5. getto del rivestimento definitivo in calotta.

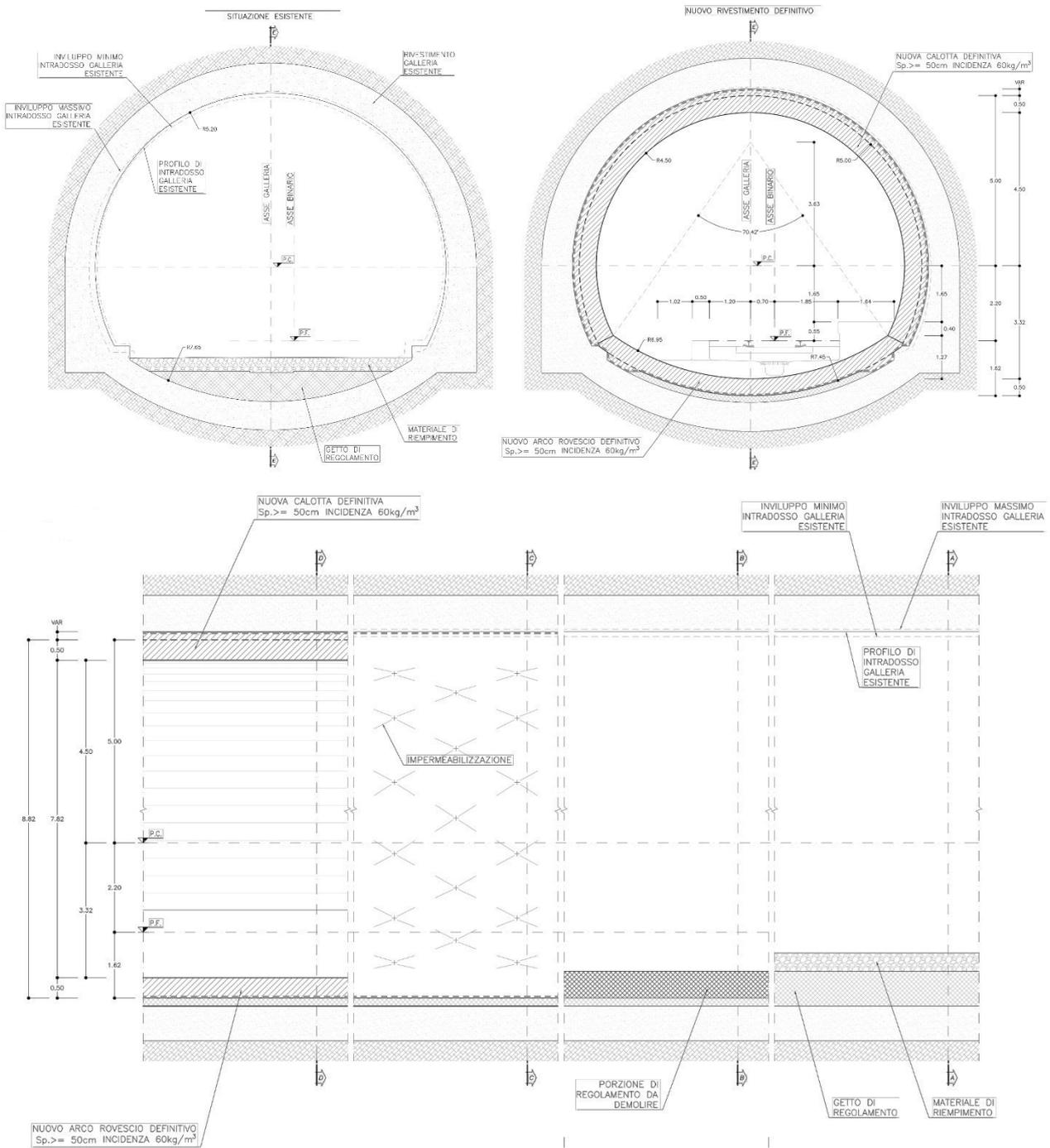


Figura 18. Sezione 1: sezione trasversale attuale (in alto a sinistra) e di progetto (in alto a destra) e profilo longitudinale (in basso) della Galleria con indicazione degli interventi previsti (da [2.8])

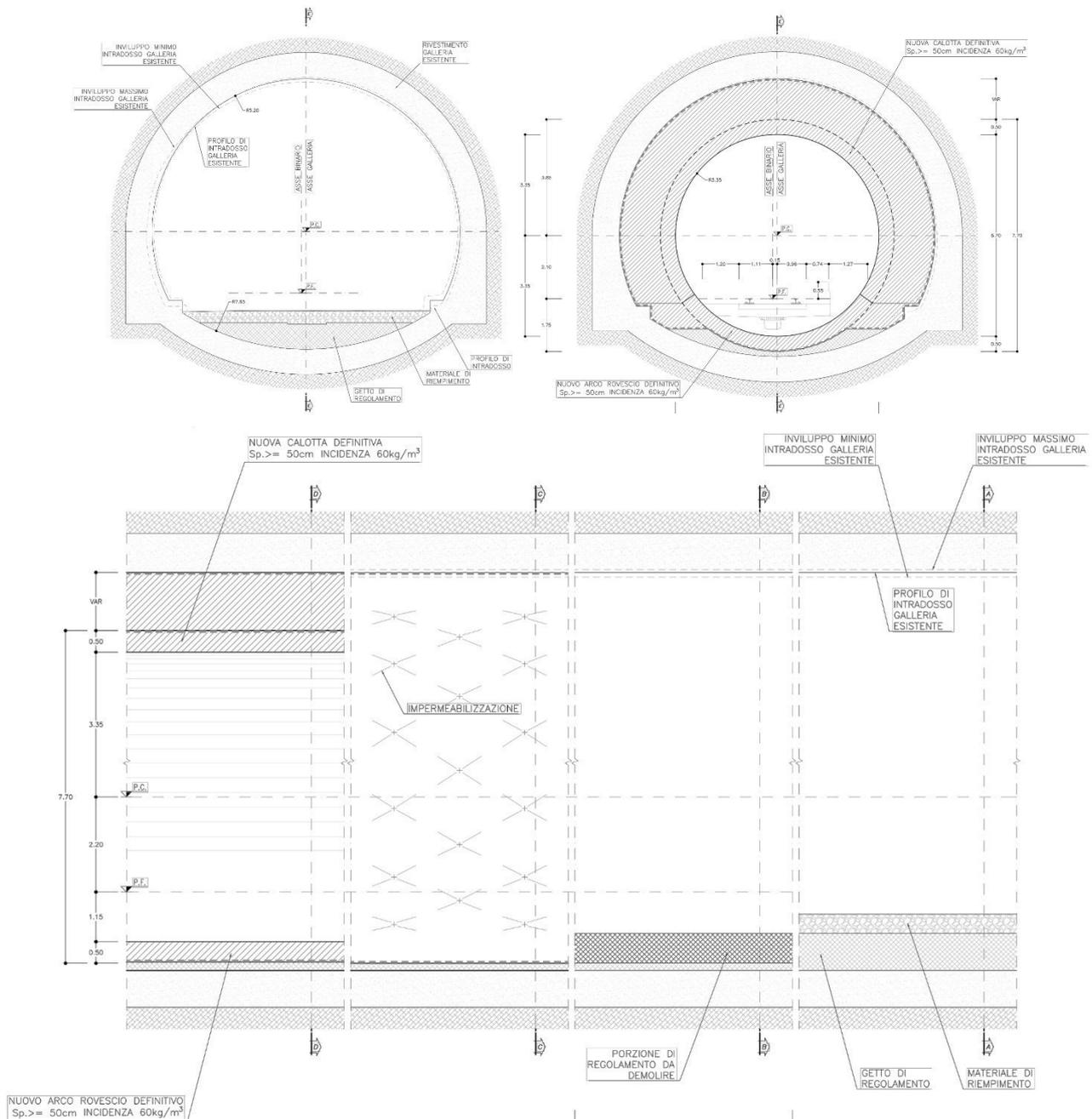


Figura 19. Sezione 4: sezione trasversale attuale (in alto a sinistra) e di progetto (in alto a destra) e profilo longitudinale (in basso) della Galleria con indicazione degli interventi previsti (da [2.11])

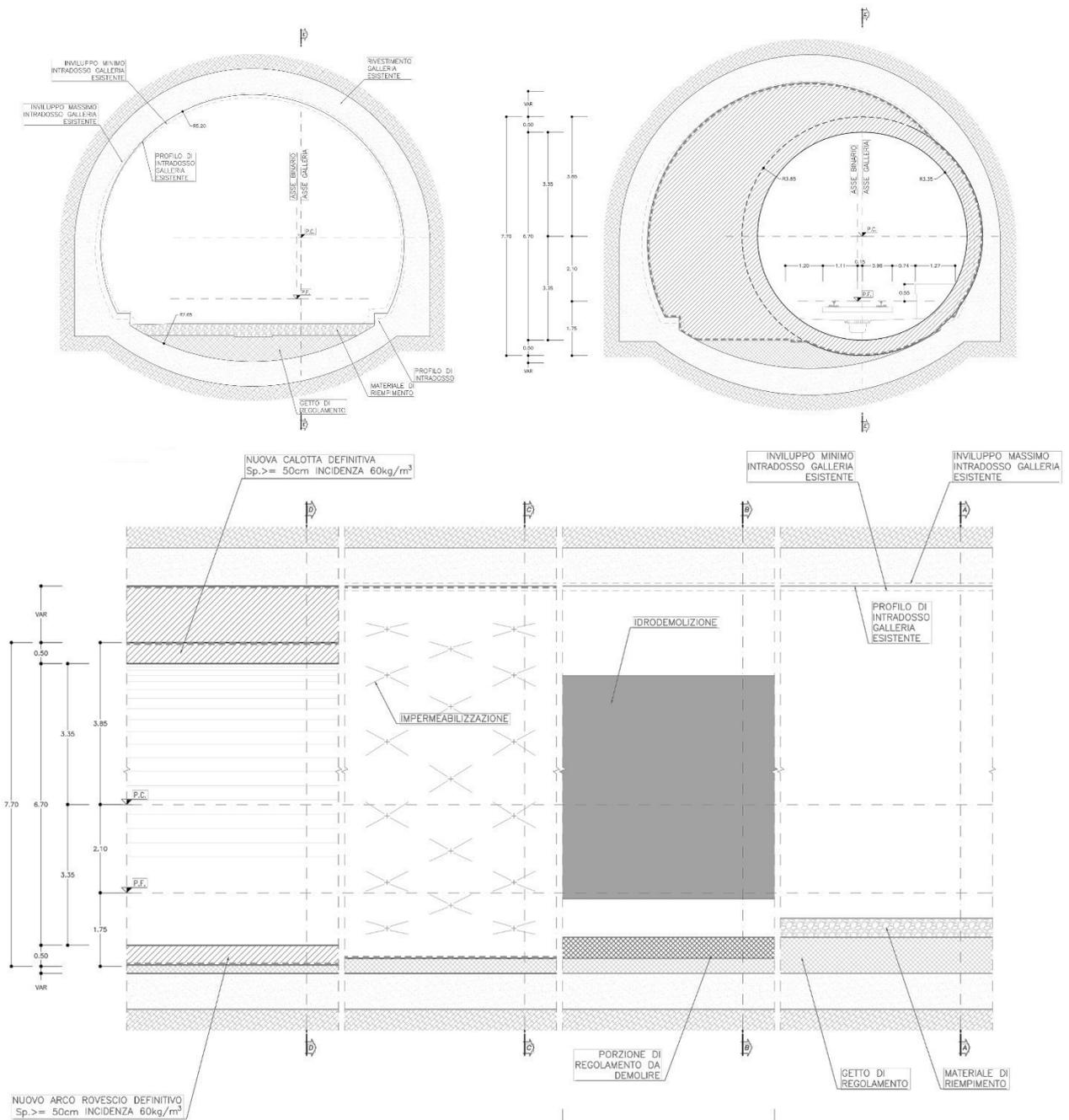


Figura 20. Sezione 5: sezione trasversale attuale (in alto a sinistra) e di progetto (in alto a destra) e profilo longitudinale (in basso) della Galleria con indicazione degli interventi previsti (da [2.12])

### 6.1.2. Galleria naturale a singolo binario

Il Progetto Definitivo prevede l'applicazione nella galleria naturale a singolo binario delle sezioni tipo 2 (Figura 21), 3 (Figura 22) e 6 (Figura 23) in funzione dello spessore del rivestimento su cui intervenire (Tabella 7). I "tratti critici" (dove si applicherà la sezione tipo 3), caratterizzati da spessori limitati di calcestruzzo, generalmente inferiori a 50 cm e localmente dell'ordine dei 20÷25 cm (cfr. capitolo 5), si localizzano nelle due porzioni che si estendono dalla sezione di passaggio a doppio binario per 300 m in direzione Ferrandina e 400 m in direzione Matera (Tabella 7).

La sezione tipo 6 si applicherà nei tratti in cui non è presente il rivestimento definitivo.

Le sezioni tipo 2 e 3 prevedono una prima fase di demolizione di una porzione del rivestimento della calotta e dell'arco rovescio mediante idrodemolizione, allo scopo di rimuovere la rete elettrosaldata posta all'intradosso di queste zone.

Seguirà una seconda fase di demolizione con FP del rivestimento (calotta, arco rovescio e piedritti, quest'ultimi caratterizzati dalla rete elettrosaldata posta all'estradosso):

- parziale, nei tratti con rivestimento spesso più di 50 cm (sezione tipo 2 e 2bis, Figura 21);
- totale fino alle centine, in presenza di spessori ridotti (sezioni tipo 3 e 3bis, Figura 22).

Pertanto, le attività previste per la realizzazione della sezione tipo 2 sono:

- fase 1. rimozione del materiale di riempimento nel piano di calpestio e rimozione del magrone nell'arco rovescio;
- fase 2. idrodemolizione (non vincolata da campi di avanzamento) di una porzione di rivestimento in calotta ed in arco rovescio per la rimozione della rete elettrosaldata<sup>1</sup> posta all'intradosso;
- fase 3. demolizione con FP di una porzione di rivestimento in calotta ed in arco rovescio (per campi di avanzamento di 9 m nei "tratti critici");
- fase 4. messa in opera dell'impermeabilizzazione "full round";
- fase 5. getto dell'arco rovescio (ad una distanza massima dal fronte di 3 diametri);
- fase 6. getto del rivestimento definitivo in calotta (ad una distanza massima dal fronte di 5 diametri).

---

<sup>1</sup> Nei tratti in cui non è stata rilevata l'armatura (sezione tipo "2bis") si eseguiranno le stesse fasi esecutive della sezione tipo 2, ad eccezione della fase di idrodemolizione dell'armatura

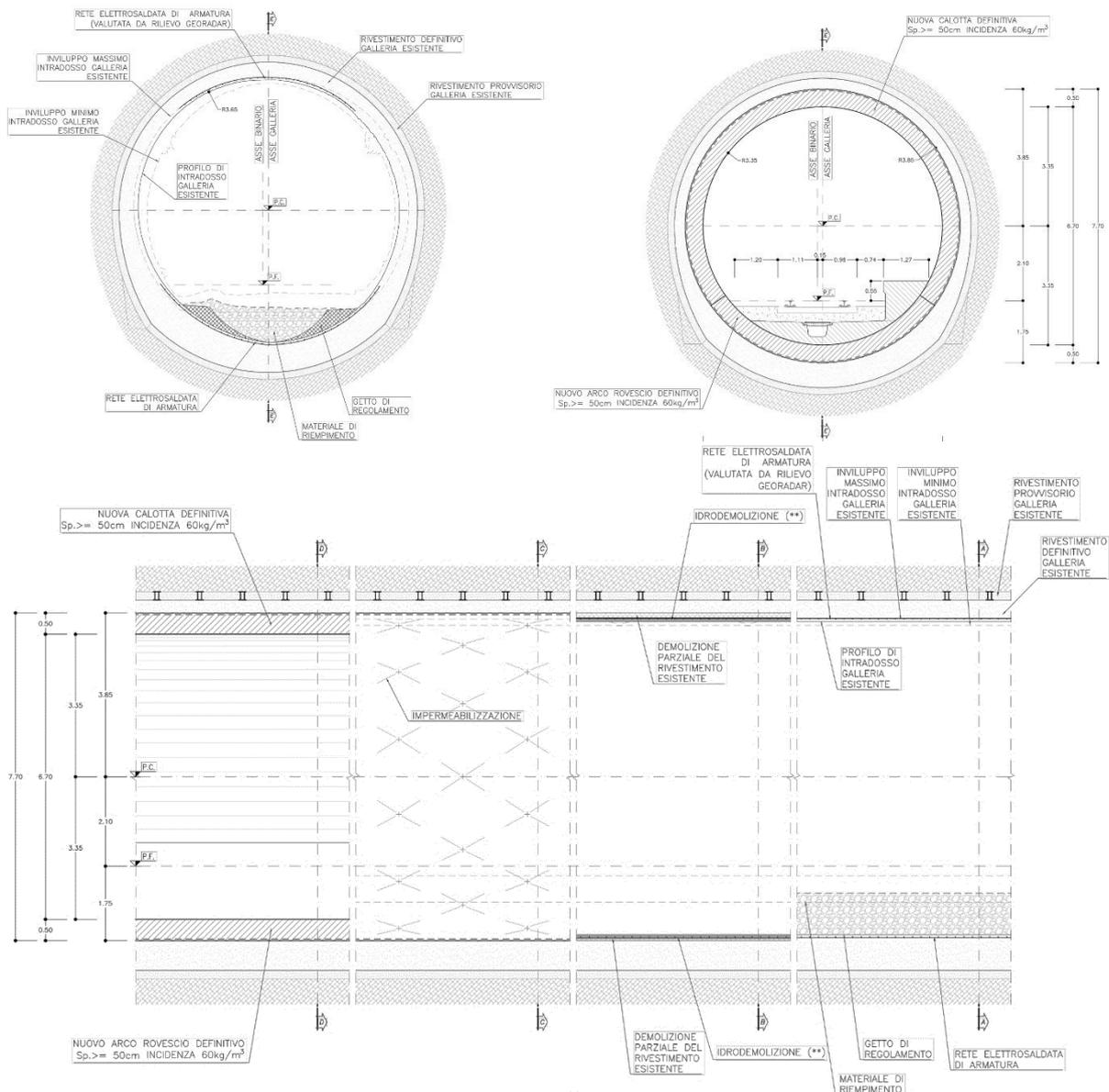


Figura 21. Sezione 2: sezione trasversale attuale (in alto a sinistra) e di progetto (in alto a destra) e profilo longitudinale (in basso) della Galleria con indicazione degli interventi previsti (da [2.9])

Le attività previste per la realizzazione della sezione tipo 3 sono:

- fase 1. rimozione del materiale di riempimento nel piano di calpestio e rimozione del magrone nell'arco rovescio;
- fase 2. idrodemolizione (non vincolata da campi di avanzamento) di una porzione di rivestimento in calotta ed in arco rovescio per la rimozione della rete elettrosaldata<sup>2</sup> posta all'intradosso;

<sup>2</sup> Nei tratti in cui non è stata rilevata l'armatura (sezione tipo "3bis") si eseguiranno le stesse fasi esecutive della sezione tipo 3, ad eccezione della fase di idrodemolizione dell'armatura

- fase 3. demolizione con FP di una porzione di rivestimento in calotta ed in arco rovescio (per campi di avanzamento di 9 m nei “tratti critici”). Al termine di ogni singolo sfondo (pari ad 1 m) è prevista la posa di uno strato di spritz-beton fibrorinforzato;
- fase 4. messa in opera dell'impermeabilizzazione “full round”;
- fase 5. getto dell'arco rovescio (ad una distanza massima dal fronte di 1,5 diametri);
- fase 6. getto del rivestimento definitivo in calotta (ad una distanza massima dal fronte di 3 diametri).

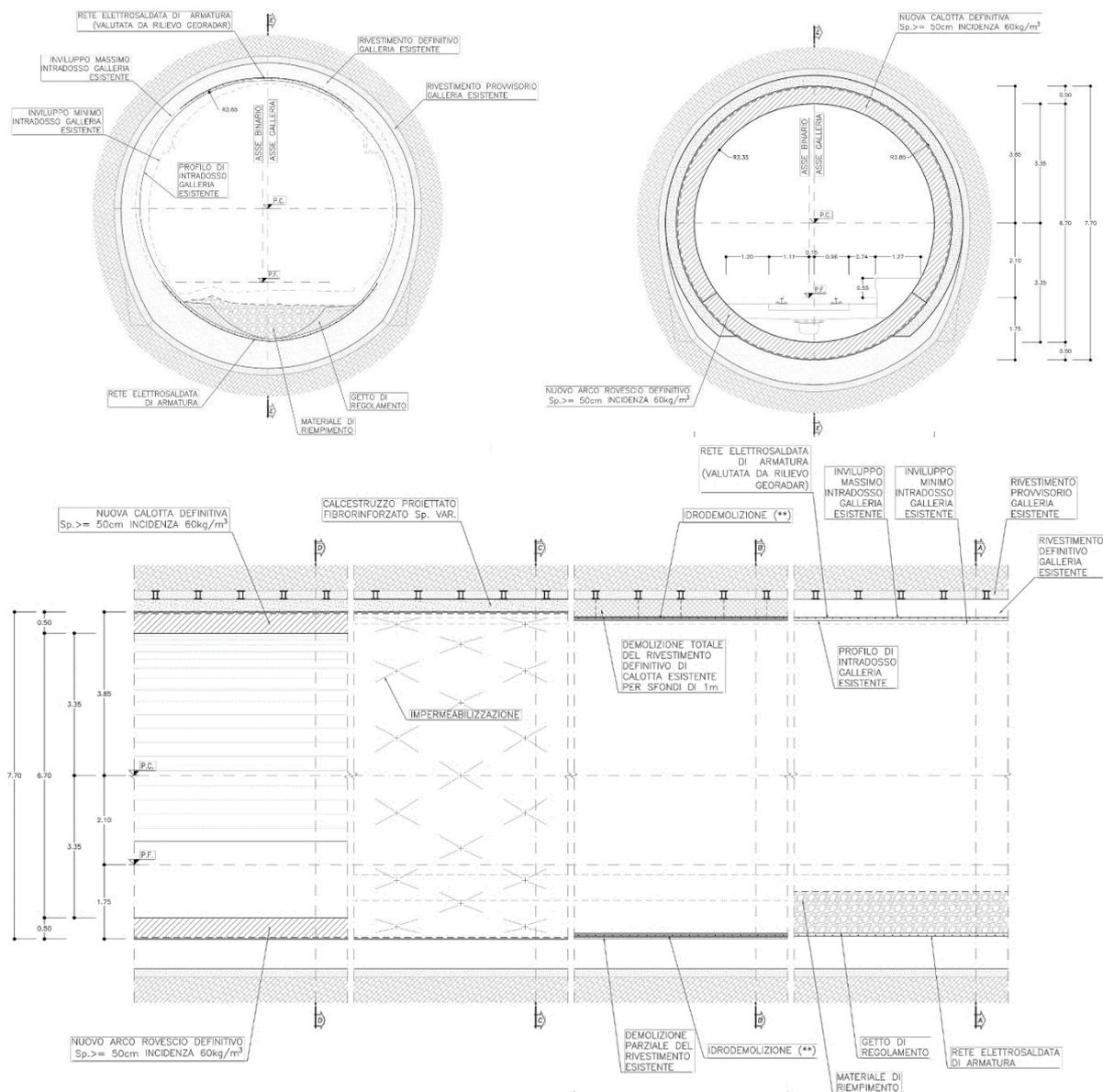


Figura 22. Sezione 3: sezione trasversale attuale (in alto a sinistra) e di progetto (in alto a destra) e profilo longitudinale (in basso) della Galleria con indicazione degli interventi previsti (da [2.10])

Le attività previste per la realizzazione della sezione tipo 6 sono (Figura 23):

- fase 1. posa di uno strato di spritz-beton fibrorinforzato al contorno;
- fase 2. rimozione del materiale di riempimento nel piano di calpestio e demolizione del magrone nell'arco rovescio;
- fase 3. idrodemolizione (non vincolata da campi di avanzamento) di una porzione di rivestimento in arco rovescio per la rimozione della rete elettrosaldata posta all'intradosso;
- fase 4. demolizione con FP di una porzione di rivestimento in arco rovescio, non vincolata da campi di avanzamento;
- fase 5. messa in opera dell'impermeabilizzazione "full round";
- fase 6. getto dell'arco rovescio;
- fase 7. getto del rivestimento definitivo in calotta.

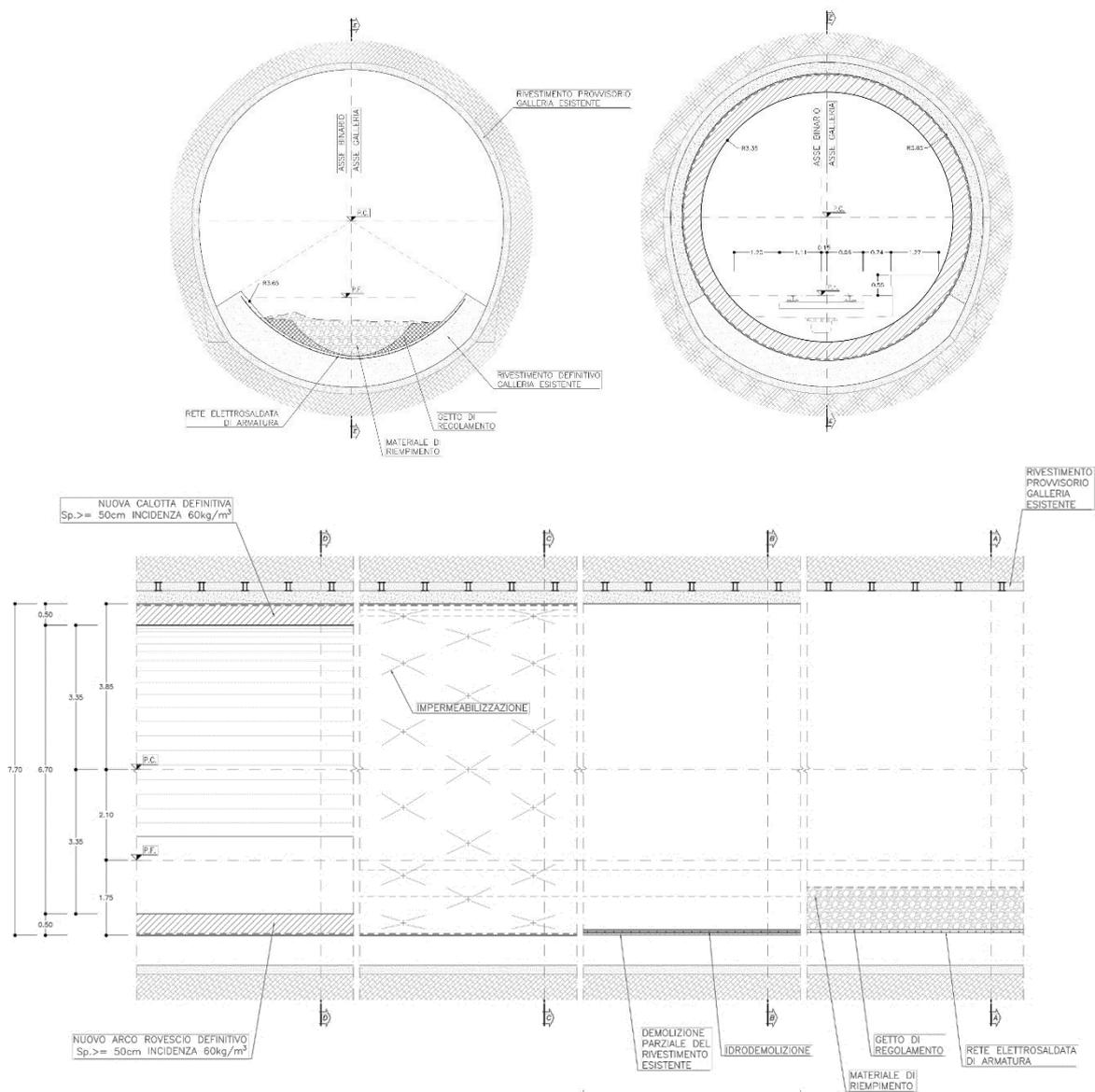


Figura 23. Sezione 6: sezione trasversale attuale (in alto a sinistra) e di progetto (in alto a destra) e profilo longitudinale (in basso) della Galleria con indicazione degli interventi previsti (da [2.13])

### 6.1.3. Organizzazione del cantiere e pianificazione dei lavori

La sovrapposizione delle lavorazioni nel cantiere sotterraneo è di rilevante importanza per la corretta progettazione della sicurezza contro i pericoli associati alla presenza di miscele grisutose.

Il programma lavori del Progetto Definitivo prevede:

- avvio contemporaneo delle lavorazioni su entrambi i lati (Ferrandina e Matera), dove operano due cantieri indipendenti;
- presenza, all'interno di ogni singolo cantiere (lato Ferrandina e lato Matera), di più aree di lavoro (sotto-cantieri) poste in serie, a distanza l'una dall'altra, con la conseguente sovrapposizione di lavorazioni tra i diversi sotto-cantieri (ciascuno interessato da una specifica lavorazione diversa dalle altre svolte contemporaneamente).

## 7. Prescrizioni di sicurezza

### 7.1. Premessa

Questo capitolo definisce le specifiche tecniche e le procedure ingegneristiche che l'Appaltatore dovrà adottare per eseguire gli interventi di ristrutturazione (capitolo 6) della Galleria, garantendo condizioni di massima sicurezza contro inneschi di miscele aria – metano.

È indispensabile definire misure e procedure di sicurezza contro i pericoli derivanti da miscele aria – metano, in quanto:

- la Galleria è immersa in terreni inequivocabilmente “grisutosi” (cfr. capitolo 4);
- il rivestimento attuale è deteriorato in molti punti e ha ridotti spessori, con tratti che si sono rivelati strumentalmente sede di afflussi di metano da fessure, riprese di getto, ecc. (cfr. capitolo 5);
- il Progetto Definitivo prevede interventi (cfr. capitolo 6) che:
  - interessano l'ammasso circostante il cavo, mettendolo in comunicazione idraulica con il cantiere sotterraneo (demolizione totale del rivestimento definitivo attuale, perforazioni);
  - riducono la permeabilità del rivestimento esistente, che si presenta già deteriorato in molti punti (demolizione parziale e riduzione dello spessore del rivestimento esistente);
  - demolizione con FP, perforazioni, posa spritz-beton, impermeabilizzazione, armatura e getto di murette, arco rovescio e calotta possono indurre, allo stato attuale delle conoscenze, inneschi con scintille (da urti metallo – metallo, metallo – calcestruzzo, ecc.) o alte temperature, detonazione e/o deflagrazione dell'atmosfera del cavo se e quando l'aria si miscela con metano affluito dalle formazioni grisutose limitrofe;
- il programma degli interventi che prevede sovrapposizioni di lavorazioni tra cantieri posti ad una certa distanza ma in continuità (cfr. paragrafo 6.1.3) presenta l'ulteriore rischio associato al diffondersi di miscela aria – metano verso cantieri distanti dalla zona di afflusso che vengono investiti dall'aria di riflusso.

Le misure e procedure, esposte nel capitolo, fanno riferimento alla Nota Interregionale Emilia Romagna – Toscana N° 28, “Grisù 3ª edizione” (NIR 28), redatta per gallerie con grande sezione di scavo ( $\geq 70 \text{ m}^2$ ), realizzate con metodo a piena sezione e con tecnologia di scavo tradizionale.

La Galleria non rientra in questa tipologia ma la Nota, nella “Premessa” (cap. 1), riafferma la validità delle Linee Guida, in essa contenute, anche “*nel caso di opere ad esso connesse ma di minore*”

*sezione (by pass, finestre, nicchie, ....) e per scavi aventi sezioni medio – piccole o di opere realizzate con metodo a sezione parzializzata”, purché si definiscano, in fase di Progetto Definitivo, **specifiche soluzioni** di ingegneria della sicurezza nello scavo di gallerie e di organizzazione del cantiere, procedure e sistemi di controllo **che tengano conto delle peculiarità del cantiere.***

In linea con quanto appena sottolineato, i paragrafi seguenti definiscono le specifiche soluzioni che correttamente applicano le Linee Guida della NIR 28, per garantire il massimo livello di sicurezza contro il pericolo di innescare miscele aria – metano con le attività del cantiere.

In particolare, il Progetto Definitivo deve imporre le seguenti soluzioni multi-barriera che sono in grado di prevenire la contemporanea presenza, in qualsiasi punto del sotterraneo, di atmosfere esplosive e sorgenti di innesco:

- allestimento di mezzi, impianti e apparecchiature per il sotterraneo in configurazione antideflagrante (certificazione ATEX);
- adozione di un sistema di ventilazione, efficiente ed efficace, che minimizzi il tenore di metano in atmosfera, garantisca velocità dell'aria in grado di creare il moto turbolento idoneo ad impedire la formazione di layer grisutosi in calotta e di evacuare la miscela aria – metano all'imbocco della Galleria;
- installazione di un sistema di monitoraggio continuo ed automatico, integrato da monitoraggio manuale eseguito da personale specializzato durante l'esecuzione degli interventi in Galleria, per rilevare afflussi di metano;
- adozione di procedure di arresto delle lavorazioni, sezionamento automatico degli impianti ad alimentazione elettrica ed abbandono della galleria in relazione alle soglie di concentrazione di metano indicate dalla NIR 28;
- adozione di specifiche procedure di sicurezza durante l'esecuzione delle singole lavorazioni che possono dare luogo ad inneschi di eventuali miscele aria – metano presenti nell'atmosfera del cantiere sotterraneo.

Di seguito si descrivono le soluzioni che l'Appaltatore dovrà adottare per eseguire gli interventi garantendo condizioni di massima sicurezza contro inneschi di miscele aria – metano. Nel Progetto Esecutivo le soluzioni qui di seguito descritte devono essere implementate considerando il programma lavori e l'organizzazione del cantiere previsti dall'Appaltatore.

Per una corretta applicazione delle soluzioni multi-barriera imposte per garantire massimi livelli di sicurezza, si consiglia di operare la ristrutturazione in due cantieri, di circa 3 km ciascuno, indipendenti tra loro (lato Ferrandina e lato Matera).

Ciascun cantiere inizierà l'attività di ristrutturazione-impermeabilizzazione a partire dall'imbocco, per un tratto di lunghezza non molto ampia. Completate tutte le attività nel primo tratto in progetto, gli interventi saranno trasferiti, senza soluzione di continuità, al tratto seguente quello appena completato e così via fino a raggiungere progressivamente il centro della Galleria. Questa soluzione operativa impedisce sovrapposizioni e/o interferenze tra il programma dei lavori e le attività di carattere costruttivo-progettuale, che riguardano, ad esempio, il sistema di ventilazione premente (diversamente la tubazione intralcerebbe o renderebbe impossibili gli interventi previsti), l'installazione dell'impianto di illuminazione e dei sensori per il monitoraggio delle concentrazioni di metano.

In altri termini, per garantire la sicurezza dell'attività di ristrutturazione-impermeabilizzazione le installazioni delle soluzioni multi-barriera devono essere ricondotte a quelle adottate nello scavo delle gallerie grisucose a fondo cieco (ventilazione, illuminazione, monitoraggio, mezzo di evacuazione, ecc.).

## 7.2. Impianti, macchine mezzi d'opera e attrezzature

Tutti gli impianti, le macchine, i mezzi d'opera, i dispositivi elettrici ed elettronici e le attrezzature presenti nel cantiere sotterraneo saranno certificati ATEX (gruppo I, categoria M2).

La FP sarà dotata di ugelli per nebulizzare il possibile sviluppo di scintille generate da urti ed attriti metallo-roccia, che possono innescare atmosfere grisucose, e per limitare la diffusione delle polveri nell'atmosfera. A tale scopo, inoltre, sarà installato sulla FP un depolverizzatore.

In ciascun cantiere (lato Ferrandina e lato Matera) deve essere presente un veicolo ATEX (gruppo I, categoria M2), utilizzabile unicamente nelle situazioni di crisi per l'immediata evacuazione del personale. Considerando la necessità di impedire le sovrapposizioni e/o interferenze richiamate nell'ultimo capoverso del paragrafo precedente, il mezzo deve essere collocato in corrispondenza del fronte del tratto (unico) in lavorazione (si veda capoverso appena richiamato).

Tutti gli impianti, le macchine, i mezzi d'opera, gli apparecchi e le attrezzature certificati ATEX saranno sottoposti ad interventi di ispezione e di manutenzione (ordinaria e straordinaria) sulla base di specifici protocolli, per garantirne la conformità durante il funzionamento.

L'impiantistica elettrica sarà sezionata automaticamente, dal sistema di monitoraggio automatico, al raggiungimento di un valore di concentrazione di metano pari al 5% in volume.

Gli impianti elettrici protetti contro le esplosioni mediante sovrappressione interna saranno messi fuori tensione a seguito della mancanza di pressurizzazione e della simultanea presenza di metano in aria con concentrazione volumetrica superiore a 1%, ed, in ogni caso, al raggiungimento o superamento della concentrazione di metano pari al 5% in volume.

## 7.3. Ventilazione

La ventilazione è uno tra gli interventi di sicurezza fondamentali che, nell'ambito di un articolato e ben progettato sistema di impianti, macchine ed attrezzature e di procedure e controlli, aiuta a contrastare il rischio di detonazione e/o deflagrazione delle miscele aria – metano.

Il sistema di ventilazione è progettato per:

- garantire il continuo ed efficace lavaggio del cantiere sotterraneo, adeguando la portata di aria alle condizioni operative ed alla sezione della galleria;
- assicurare che la velocità dell'aria, in tutto il cantiere sotterraneo, sia almeno pari a 0,5 m/s. Una velocità inferiore può determinare la stratificazione (layering) della miscela grisucosa con pericolosi accumuli localizzati in calotta e/o laddove la ventilazione è parzialmente, o totalmente, impedita (come, ad esempio, nelle nicchie, nei casseri, ecc.);
- erogare una portata suppletiva (~20%) per diluire, in tempi brevi, eventuali flussi di metano;
- garantire la movimentazione dell'aria in qualsiasi volume del sotterraneo, eliminando zone d'ombra rispetto al flusso d'aria e di ristagno.

In ognuno dei due cantieri (lato Ferrandina e lato Matera) la ventilazione sarà assicurata da un sistema di tipo soffiante, analogo a quello adottato per il lavaggio del fronte durante lo scavo di gallerie a fondo cieco.

La realizzazione di un fronte artificiale (è inesistente quello naturale) è indispensabile per diluire efficacemente l'atmosfera da miscele grisucose. La soluzione "artificiale" si otterrà posizionando all'interno della galleria una barriera gonfiabile (tipo Ventstop, Trevits et al., 2009), impermeabile al flusso d'aria (Figura 24). La barriera deve essere fissata, prima di dare inizio alle attività del 1° tratto,

a valle di questo, alcuni metri dopo l'inizio del 2° tratto. Prima di avviare le attività di quest'ultimo tratto si fisserà la barriera a cavallo tra il 2° e 3° tratto. Lo spostamento del "fronte" proseguirà fino a raggiungere, tratto dopo tratto, la progressiva posta al centro del tracciato.

La sezione terminale del tubo flessibile di ventilazione deve trovarsi inizialmente ad una distanza dallo sbarramento (equiparabile al fronte nel caso di scavo di gallerie a fondo cieco) tale da impedire condizioni di temperatura non tollerabili dai lavoratori prossimi al "fronte artificiale" e da consentire la diluizione delle miscele grisutose e l'abbattimento delle polveri. La distanza tra la barriera e la sezione di uscita dell'aria dal tubo di ventilazione (tipicamente 50 m) dipende dal diametro della galleria. Attraverso la tubazione flessibile l'aria fresca verrà veicolata verso lo sbarramento (fondo cieco) e, quindi, l'area esausta di ritorno verrà spinta verso l'imbocco della galleria.

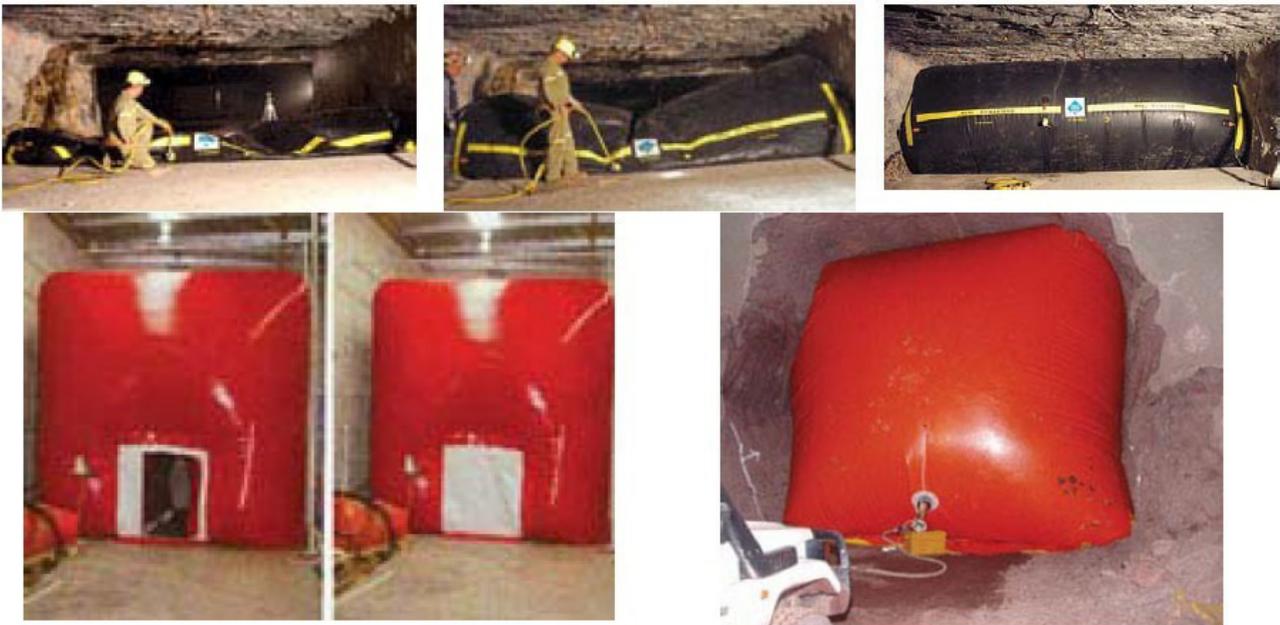


Figura 24. Esempi di barriere impermeabili al flusso d'aria

#### 7.4. Monitoraggio delle concentrazioni di metano

Il monitoraggio delle concentrazioni di metano nell'atmosfera deve rilevare tempestivamente la presenza di miscela grisutosa, perché si attivino immediatamente le misure atte a prevenire il rischio di detonazione o deflagrazione.

##### 7.4.1. Organizzazione del servizio di monitoraggio del metano

Il complesso delle attività di monitoraggio prevede il Responsabile del Monitoraggio ed Addetti al monitoraggio. I due tecnici devono possedere le seguenti caratteristiche:

- il Responsabile è un ingegnere iscritto all'Albo professionale che non appartiene all'organizzazione aziendale ed ha esperienza documentata in misure dello stato fisico dell'aria nei cantieri in sotterraneo e nella loro elaborazione, in controlli ed in condizionamento della composizione dell'atmosfera in galleria, nella progettazione, realizzazione e controllo di circuiti di ventilazione. Ha il compito di coordinare le rilevazioni di grisù, di sovrintendere ai sistemi di monitoraggio ed all'analisi ed elaborazione dei valori misurati, di collaborare con la direzione di cantiere nelle "situazioni di crisi";

- l'Addetto è una figura tecnica, funzionalmente dipendente dal Responsabile del Monitoraggio, formata ed addestrata da quest'ultimo sulla esecuzione corretta di misure dello stato fisico dell'aria nei cantieri in sotterraneo, sui controlli e sul condizionamento della composizione dell'atmosfera in galleria, in grado di esprimere una prima valutazione sui valori misurati in relazione al rischio di esplosione.

#### **7.4.2. Controllo delle concentrazioni di metano e sistema di allarme per presenza di miscele grisutose**

Il sistema di monitoraggio deve essere incardinato sui seguenti punti:

- presenza in galleria, durante i turni di lavoro, di Addetti al monitoraggio manuale;
- monitoraggio manuale sistematico a ridosso dei cantieri durante le lavorazioni e nelle zone dove si ritiene che sia favorito l'accumulo di metano e dove si sono riscontrati afflussi di metano (cfr. capitoli 4 e 5);
- sistema di monitoraggio automatico e continuo delle concentrazioni di metano.

Il monitoraggio manuale dovrà essere effettuato prima di cominciare le lavorazioni:

- nell'atmosfera del tratto di galleria in cui dovranno essere eseguite le lavorazioni;
- in prossimità delle zone in cui dovranno essere effettuate le lavorazioni;
- in prossimità dei mezzi e delle apparecchiature necessari per la lavorazione.

Durante le lavorazioni l'Addetto al Monitoraggio dovrà porsi nell'immediato intorno del punto in cui si effettua la lavorazione o, comunque, in una posizione tale da intercettare la corrente d'aria in riflusso.

Il sistema di monitoraggio automatico deve prevedere almeno tre sensori da posizionare alle spalle della sezione terminale del tubo di ventilazione (e quindi soggetti alla corrente di riflusso), due sui paramenti destro e sinistro ed il terzo in calotta.

Il sistema di monitoraggio metano sarà collegato ad un sistema di allarme (acustico e luminoso) che segnala, nel sotterraneo ed all'imbocco, la presenza di metano in concentrazioni superiori alle soglie di attenzione, preallarme ed allarme (abbandono) della galleria.

Dato che le lavorazioni verranno eseguite con macchine ed attrezzature idonei ad operare in atmosfera potenzialmente esplosiva (Gruppo I, categoria M2, cfr. paragrafo 7.2), tale sistema sarà articolato sui seguenti livelli di concentrazione in volume di metano:

- 0,3% (soglia di attenzione);
- 0,7% (soglia di preallarme);
- 1,0% (soglia di allarme / abbandono della Galleria).

#### **7.4.3. Procedure di sicurezza al raggiungimento delle soglie di concentrazione di metano nell'atmosfera del sotterraneo**

Qualora il monitoraggio automatico o manuale rilevi concentrazioni di metano superiori alle soglie definite nel paragrafo 7.4.2, dovranno essere attivate specifiche procedure di sicurezza.

Per concentrazioni di metano pari o superiori alla soglia di attenzione (0,3%) le lavorazioni devono essere sospese e la portata di ventilazione deve essere incrementata.

Se il monitoraggio automatico o manuale rileva, durante le lavorazioni, concentrazioni di metano superiori alla soglia di preallarme (0,7%), l'Addetto al Monitoraggio deve avvisare il Preposto ed il Responsabile del Monitoraggio e:

- sospendere le lavorazioni nel cantiere e nelle zone di riflusso dell'aria di ventilazione;
- tempestivamente arrestare i motori diesel ed aprire i circuiti elettrici nel cantiere e nelle zone di riflusso dell'aria di ventilazione;
- effettuare l'azione di bonifica con getti d'aria compressa;
- se possibile incrementare la portata dell'aria di ventilazione;
- seguire la diluizione con un continuo monitoraggio manuale;
- effettuare un nuovo monitoraggio dopo la bonifica. Se dopo gli interventi di bonifica l'Addetto al Monitoraggio rileva metano, deve procrastinare la sospensione delle lavorazioni ed, avvertiti il Preposto in cantiere ed il Responsabile al Monitoraggio, deve attendere istruzioni.

Se il monitoraggio automatico o manuale rileva, durante le lavorazioni, concentrazioni di metano superiori alla soglia di allarme, l'Addetto al Monitoraggio deve avvisare il Preposto ed il Responsabile del Monitoraggio e:

- incrementare la portata dell'aria di ventilazione;
- porre in allarme tutto il sotterraneo (segnali semaforici ed acustici, ripetuti dal sistema di allarme);
- evacuare il sotterraneo procedendo, se possibile, nella direzione inversa a quella della corrente dell'aria di ventilazione (che dovrebbe contenere gas).

## 7.5. Formazione, informazione ed addestramento del personale

Il personale che entra in galleria deve essere formato, informato, ed addestrato in merito a:

- rischi derivanti da presenza di miscele aria – metano in galleria;
- comportamenti da tenere in presenza di grisù nell'atmosfera della galleria;
- norme e procedure di sicurezza da rispettare per fare fronte al rischio associato alle miscele aria – metano;
- utilizzo e manutenzione degli apparecchi, dei sistemi di protezione e dei componenti in relazione al rischio metano.

## 7.6. Sistema di bonifica

In prossimità dei punti di lavoro deve essere disponibile una condotta di aria compressa pronta all'uso, da impiegarsi in caso di necessità di bonifica dell'atmosfera inquinata da miscela esplosiva o soggetta ad emissioni di gas.

## 7.7. Procedure di sicurezza durante l'esecuzione delle lavorazioni

Per garantire il massimo livello di sicurezza per i lavoratori contro i pericoli associati ad emissioni di metano, è necessario adottare, oltre alle misure descritte nei paragrafi precedenti, specifiche procedure di verifica e controllo, definite dal Responsabile del Monitoraggio e messe in atto dagli Addetti al Monitoraggio, finalizzate ad individuare e neutralizzare atmosfere grisutose che possono dar luogo ad atmosfere esplosive durante l'esecuzione delle lavorazioni descritte nel paragrafo 6.1.

Per ogni fase operativa devono essere individuate:

- le possibili sorgenti di afflusso di metano;
- le zone di potenziale accumulo e stratificazione (layering);
- le possibili sorgenti di innesco di miscele grisucose.

Conseguentemente, l'Addetto al Monitoraggio deve effettuare controlli delle concentrazioni di metano prima, durante ed al termine delle operazioni previste e, in relazione ai valori misurati, attuare specifiche azioni finalizzate a neutralizzare la miscela potenzialmente esplosiva e garantire l'incolumità dei lavoratori presenti nel cantiere sotterraneo.

Di seguito vengono descritte le procedure di sicurezza previste durante l'esecuzione di ciascuna operazione.

### **7.7.1. Idrodemolizione e demolizione con fresa puntuale dell'arco rovescio e della calotta**

I pericoli specifici sono:

- possibile innesco di un accumulo localizzato in prossimità del punto di lavoro, specialmente in calotta o all'interno di nicchie e nicchioni;
- se la demolizione interessa tutto il rivestimento, mettendo in comunicazione l'estradosso con l'ambiente della galleria, il pericolo è associato ad invasioni di gas in pressione e le potenziali sorgenti di innesco possono essere costituite dagli attriti o dagli urti tra utensili e rivestimento in ferro – calcestruzzo e da superfici ad alta temperatura (motori, lampade) o scintille elettriche (interruttori, relè, ecc.).

Per quanto riguarda il primo punto, il principale intervento di sicurezza è costituito da:

- un adeguato sistema di miscelazione localizzata dell'aria;
- un monitoraggio manuale preventivo dei tenori intorno all'area di lavoro mirato ad individuare gli accumuli localizzati.

Per la seconda tipologia di rischi occorre predisporre un sistema di monitoraggio continuo ed automatico tramite centralina dotata di allarmi ottico-acustici. I sensori di rilevamento gas devono essere posti in prossimità della zona di demolizione e nella zona di riflusso dell'aria.

Per la demolizione del primo concio, quando si attiva per la prima volta una via di comunicazione idraulica fra la galleria e l'estradosso del rivestimento, deve essere adottata la seguente procedura:

- realizzare un adeguato sistema di miscelazione localizzata dell'aria (diffusore, getto di aria compressa, ecc.);
- eseguire un monitoraggio manuale preventivo dei tenori intorno all'area di lavoro mirato ad individuare gli accumuli localizzati;
- prevedere un monitoraggio continuo con una centralina locale dotata di allarmi ottico-acustici. I sensori di rilevamento devono essere posti in prossimità della zona di demolizione e nella zona di riflusso dell'aria;
- predisporre un sistema di allarme che, attivato dalla zona di lavorazione, allerti tutto il personale presente in galleria.

### 7.7.2. Spritz beton

Le scintille prodotte dal calcestruzzo proiettato sono sorgenti di innesco frizionale. Il pericolo specifico più rilevante, seppure mitigato dal flusso d'aria utilizzato durante questa lavorazione, è quello legato alla possibile esplosione di un eventuale accumulo localizzato di metano in calotta.

In tale area è spesso impossibile o comunque pericoloso effettuare il monitoraggio manuale, pertanto occorre applicare costantemente le seguenti procedure di bonifica:

- mantenere un regime di ventilazione tale da assicurare un adeguato lavaggio della calotta nei punti in cui, a seguito della demolizione, si mette a vista l'ammasso;
- lavare la calotta con aria compressa, prima di effettuare la posa dello spritz, con la stessa lancia dell'impianto di getto a pressione. Si comincia con un getto orizzontale e successivamente, brandeggiando la lancia, si indirizza il getto in calotta.

### 7.7.3. Perforazione (consolidamenti, bullonatura)

I pericoli specifici sono:

- invasioni di gas in pressione attraverso la comunicazione idraulica estradosso – ambiente della galleria;
- innesco di un accumulo localizzato in prossimità del punto di lavoro, specialmente in calotta o all'interno di nicchie. Esistono diverse potenziali sorgenti di innesco:
  - superfici ad alta temperatura;
  - urti tra utensili e rivestimento;
  - attriti;
  - scintille elettriche, generati dagli utensili di perforazione.

Inneschi frizionali si sono osservati durante l'inserimento di attrezzature in foro. Di conseguenza, tale operazione deve essere eseguita dopo controlli di tenore in gas all'interno del foro e con il personale mantenuto a distanza dalla postazione.

L'Addetto al Monitoraggio deve eseguire con continuità controlli in prossimità del boccaforo secondo quanto previsto dal Responsabile al Monitoraggio e riportare i risultati delle misure sul modulo predisposto ad hoc.

Quando si registrano portate considerevoli di metano, ma non tali da provocare miscele di metano con concentrazioni in ambiente superiori alla soglia di attenzione, è consigliabile lasciare che il foro dreni il gas senza provvedere alla sua armatura per il tempo necessario a ridurre entro ampi margini di sicurezza l'emissione. Se questa produce incrementi percentuali di metano in ambiente, rilevati con esposimetro manuale, anche ad una certa distanza dalla postazione di lavoro, occorre sospendere le lavorazioni ed aumentare la portata di ventilazione.

Deve essere adottata una procedura composta, quanto meno, dai seguenti punti:

- l'attrezzatura per la perforazione e le apparecchiature asservite a questa devono essere in assetto antideflagrante;
- l'aria di spurgo e raffreddamento della perforazione deve essere in funzione prima che l'utensile tocchi il fronte del foro e deve essere disattivata solo dopo la completa estrazione delle aste di perforazione;
- deve essere disponibile un adeguato sistema di miscelazione localizzata dell'aria (diffusore,

- getto di aria compressa, ecc.);
- deve essere eseguito un monitoraggio manuale preventivo dei tenori intorno all'area di lavoro mirato ad individuare gli accumuli localizzati;
- deve essere previsto un monitoraggio continuo con una centralina locale dotata di allarmi ottico-acustici. I sensori di rilevamento gas devono essere posti in prossimità della zona di perforazione e nella zona di riflusso dell'aria;
- si deve realizzare un sistema di allarme che, attivato dalla zona di lavorazione, allerti tutto il personale presente in Galleria;
- l'inserimento dei bulloni e/o chiodi nei fori con posizionatore deve essere effettuato dopo aver monitorato l'intorno del foro e con il personale a debita distanza;
- il sistema di perforazione deve essere dotato di un sistema di chiusura ermetica del boccaforo ovvero deve essere disponibile un sistema di chiusura ermetica del foro.

#### 7.7.4. Impermeabilizzazione

I volumi d'aria compresi fra il vecchio rivestimento ed i teli dell'impermeabilizzazione sono una zona ad alto rischio di accumulo (Figura 25). Emissioni a bassa portata possono saturare questi volumi di metano e/o creare miscele esplosive a contatto con l'ambiente della galleria lungo i bordi dei teli d'impermeabilizzazione.

Il controllo manuale dei tenori deve essere effettuato:

- prima di cominciare le lavorazioni:
  - nella porzione di calotta interessata dalla posa dei teli;
  - tra i teli già in opera;
- durante la lavorazione:
  - in prossimità del punto di lavoro, sia durante la saldatura dei teli che durante lo sparo dei chiodi;
  - tra i teli ed il rivestimento della galleria.

Prima di intervenire sull'impermeabilizzazione già in opera deve essere eseguito un monitoraggio in prossimità del punto di lavoro.

È consigliabile disporre sensori dedicati al monitoraggio locale e collegati al sistema di sgancio delle attrezzature di saldatura dei teli, che dovranno essere posti in maniera tale da assicurare il monitoraggio localizzato in calotta e l'intercettazione della corrente di aria in riflusso.

Se il monitoraggio manuale rileva metano occorrerà:

- se possibile, aumentare la portata dell'aria di ventilazione;
- drogare l'atmosfera potenzialmente esplosiva presente tra i teli ed il rivestimento provvisorio con getti di aria compressa;
- indirizzare getti di aria compressa nei punti in cui si utilizzano sorgenti ad alta temperatura;
- effettuare contestualmente all'azione di bonifica un continuo monitoraggio manuale nell'immediato intorno dei punti di lavoro.

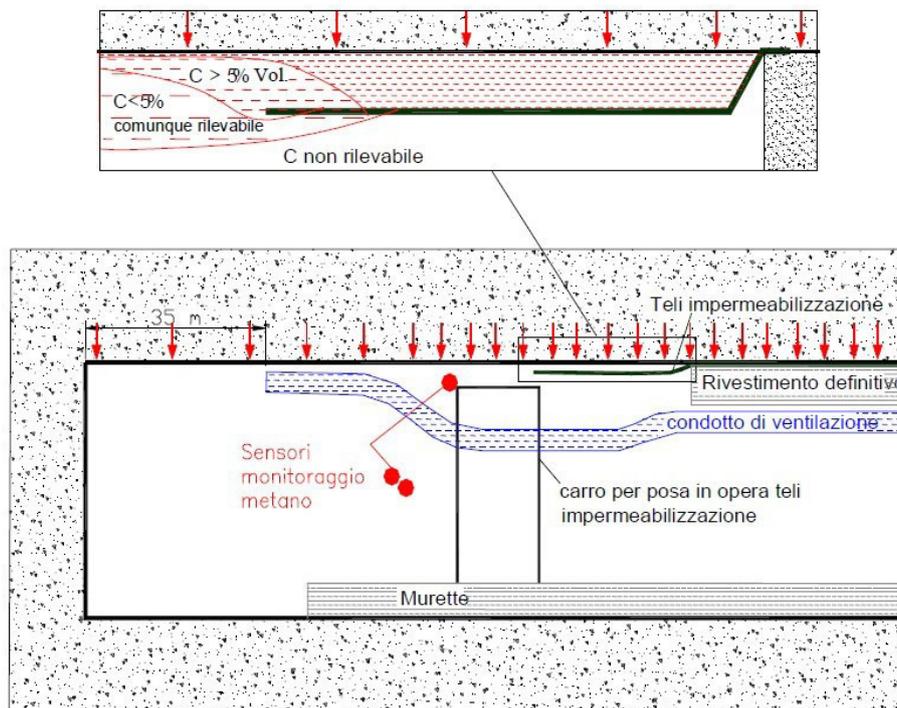


Figura 25. Accumuli di gas tra rivestimento provvisorio (gunita e/o vecchio cls) e teli di impermeabilizzazione movimentati dalla messa in opera del rivestimento definitivo

### 7.7.5. Armatura e getto murette ed arco rovescio

Si devono considerare i pericoli connessi all'innesco di possibili venute di metano.

In funzione della tipica geometria di lavoro, che vede aree di lavoro poste in basso e di solito in zone confinate, sono fortemente accentuati i pericoli legati all'innesco di emissioni puntuali, anche di modesta entità. I rischi sono peraltro mitigati dalla presenza del calcestruzzo già in opera e dell'impermeabilizzazione.

La movimentazione delle gabbie delle armature, quando previste, e dei casseri può provocare urti accidentali e quindi sorgenti di innesco frizionale.

Pertanto, solo un attento monitoraggio manuale nella zona interessata può individuare emissioni anche di modeste portate.

Il monitoraggio manuale deve essere eseguito:

- prima di cominciare le lavorazioni:
  - nella zona in cui dovranno essere posate o armate le gabbie;
  - nella zona in cui dovranno essere posti i casseri.

Se il monitoraggio rileva metano occorre:

- se possibile aumentare il regime di ventilazione;
- drogare l'atmosfera potenzialmente esplosiva con l'ausilio di getti di aria compressa;
- effettuare contestualmente all'azione di bonifica un continuo monitoraggio manuale nell'immediato intorno dei punti di lavoro.

### 7.7.6. Armatura e getto calotta

I pericoli sono associati ad accumuli localizzati all'interno della struttura della cassaforma, nel volume compreso tra l'estradosso della cassaforma e la calotta, e nella zona della posa in opera della chiusura del getto.

Durante il getto, il telo impermeabile, schiacciato contro lo spritz al quale aderisce, riduce i volumi a disposizione del metano e, conseguentemente, immette gas all'esterno nell'atmosfera della galleria. La parte terminale dei teli deve, quindi, essere sempre considerata come un'area di probabile immissione di metano in galleria (Figura 25). Nella fase finale del getto questa azione di pistonaggio accentua la portata di miscela immessa in galleria.

Il monitoraggio manuale deve essere effettuato:

- nella zona in cui dovrà essere eseguita l'armatura, prima di iniziare le lavorazioni;
- durante la messa in opera dell'armatura:
  - in prossimità dei punti di lavoro;
  - tra l'estremità libera dei teli dell'impermeabilizzazione ed il rivestimento provvisorio;
- dopo il posizionamento della cassaforma:
  - nella zona in cui dovrà essere messa in opera la chiusura del getto (smorza);
  - all'interno della cassaforma;
- durante il getto del calcestruzzo e la posa in opera della smorza:
  - sulla passerella sommitale della cassaforma lato smorza nella zona di chiusura della smorza;
  - all'interno della cassaforma;
  - nell'intorno dei luoghi di lavoro;
- durante il disarmo della cassaforma:
  - sulla passerella sommitale della cassaforma lato smorza;
  - nell'intorno dei luoghi di lavoro fonti di possibili inneschi frizionali;
  - all'interno della cassaforma.

Se il monitoraggio rileva metano occorre:

- se possibile aumentare il regime di ventilazione;
- drogare l'atmosfera potenzialmente esplosiva con getti di aria compressa;
- effettuare contestualmente all'azione di bonifica un continuo monitoraggio manuale nell'immediato intorno dei punti di lavoro.

### 7.7.7. Lavorazioni con produzione di elevate temperature, fiamme e/o scintille

In linea di principio, sulla base di una corretta valutazione del rischio, le lavorazioni con produzione di temperature pericolose, fiamme e scintille devono essere svolte all'esterno della galleria o, se possibile, devono essere sostituite con altre che non comportano tale rischio. Se, a seguito di un'attenta analisi delle singole lavorazioni, permanesse la necessità di ricorrere ad alcune lavorazioni pericolose, queste potranno essere svolte solo se si applicano idonee procedure che, quanto meno, devono prevedere:

- specifica autorizzazione scritta all'esecuzione dei lavori da parte del Responsabile del Monitoraggio;

- assenza di lavorazioni che possano produrre nuovi afflussi di metano (perforazioni, ecc.) o che possano movimentare accumuli localizzati all'interno dello scavo (lancio dello spritz beton);
- analisi dello stato dell'aria in un significativo intorno della sorgente di innesco, prima e durante la lavorazione che potrebbe innescare l'esplosione (è imposta la presenza, sul luogo di lavoro, dell'Addetto al Monitoraggio che valuta preventivamente le condizioni ambientali e che, durante l'esecuzione dei lavori, segue costantemente, con strumentazione portatile, l'evoluzione delle concentrazioni di metano nell'atmosfera attorno all'area di lavoro, al fine di interrompere la lavorazione nel caso venga riscontrata presenza di grisù);
- immissione sull'area di lavoro di aria, in quantità giudicata sufficiente dal Responsabile del Monitoraggio per mantenere i livelli di concentrazione al di sotto della sensibilità strumentale;
- prima della lavorazione pericolosa, deve essere verificata la piena funzionalità della ventilazione, del sistema di allarme e la disponibilità di estintori sul luogo dei lavori.

Nei tratti in cui sarà rimosso totalmente il rivestimento esistente, per la saldatura dei teli di impermeabilizzazione si utilizzerà una saldatrice certificata ATEX e si adotteranno procedure specifiche di monitoraggio delle concentrazioni di metano.

Bologna, Luglio 2019

Prof. Ing. Paolo Berry



Ph.D. Ing. Annalisa Bandini



Ph.D. Ing. Carlo Cormio



## Riferimenti bibliografici

Trevits M.A., McCartney C., Roelofs H.J. (2009) *Testing and Evaluation of an Inflatable Temporary Ventilation Control Device*. Proceedings SME Annual Meeting and Exhibit, 22-25 February 2009, Denver (Colorado). Littleton, CO: Society for Mining, Metallurgy, and Exploration, Inc.:1-9.

## Allegati

Allegato 1 – Sopralluoghi 2004 – 2005: stato di fatto della Galleria

## **ALLEGATO 1**

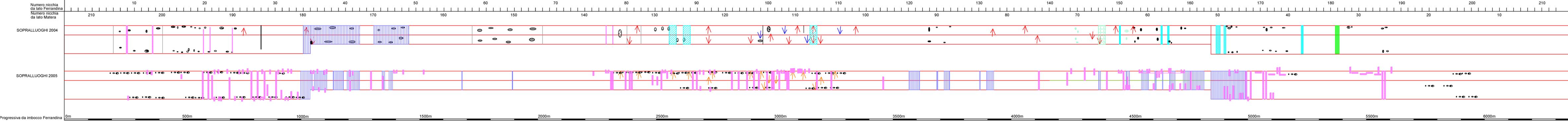
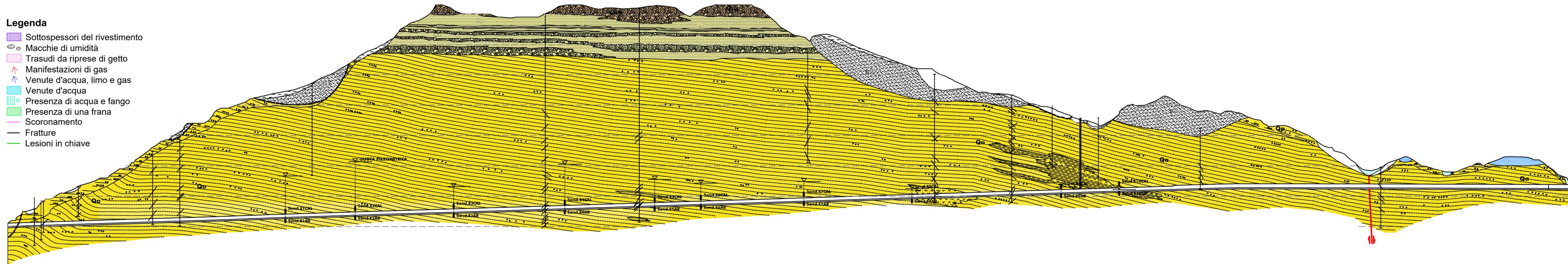
### **Sopralluoghi 2004 – 2005: stato di fatto della Galleria**



Pagina intenzionalmente bianca

**Legenda**

-  Sottospessori del rivestimento
-  Macchie di umidità
-  Trasudi da riprese di getto
-  Manifestazioni di gas
-  Venute d'acqua, limo e gas
-  Venute d'acqua
-  Presenza di acqua e fango
-  Presenza di una frana
-  Scoronamento
-  Fratture
-  Lesioni in chiave



Progressiva da imbocco Ferrandina 0m 500m 1000m 1500m 2000m 2500m 3000m 3500m 4000m 4500m 5000m 5500m 6000m

## **ALLEGATO 1**

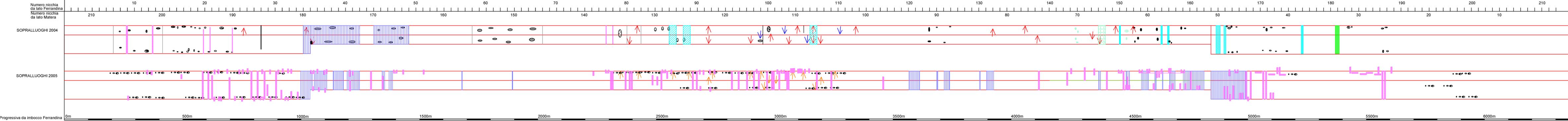
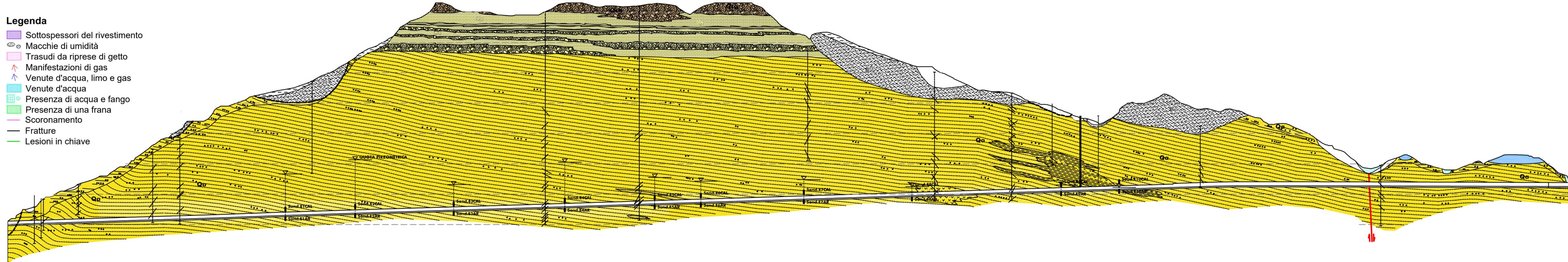
### **Sopralluoghi 2004 – 2005: stato di fatto della Galleria**



Pagina intenzionalmente bianca

**Legenda**

-  Sottospessori del rivestimento
-  Macchie di umidità
-  Trasudi da riprese di getto
-  Manifestazioni di gas
-  Venute d'acqua, limo e gas
-  Venute d'acqua
-  Presenza di acqua e fango
-  Presenza di una frana
-  Scoronamento
-  Fratture
-  Lesioni in chiave



Progressiva da imbocco Ferrandina 0m 500m 1000m 1500m 2000m 2500m 3000m 3500m 4000m 4500m 5000m 5500m 6000m