

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

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

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	7	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 Dott. Ing. Alessandra Sciotti Ordine degli Ingegneri di Roma n° 19846	

File: IA5F01D07RHGN000007A

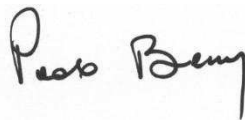
n. Elab.:

GALLERIA MIGLIONICO

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

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

Nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella
Galleria Miglionico
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



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.

- Bandini A., Berry P., Cormio C., Colaioni M., Lisardi A. (2017) **Safe excavation of large section tunnels with Earth Pressure Balance Tunnel Boring Machine in gassy rock masses: The Sparvo tunnel case study**. Tunnelling and Underground Space Technology 67: 85–97.

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. Criteri di attribuzione degli indici di classifica in fase di Progetto Definitivo.....	3
3. Documentazione consultata.....	5
4. L'opera e gli interventi previsti nel Progetto Definitivo	7
5. Inquadramento geologico – strutturale.....	13
5.1. Litologie interessate dai lavori di scavo della Finestra.....	16
5.1.1. Caratteristiche geomeccaniche delle Argille Subappennine.....	19
5.1.2. Misure piezometriche.....	20
5.1.3. Misure di permeabilità.....	20
5.2. Geo-strutture lungo il tracciato	22
6. Studi, ricerche ed indagini sulla possibilità o meno che durante i lavori di scavo della Finestra si determinino afflussi di metano nel cantiere sotterraneo	25
6.1. Il metano nelle aree limitrofe alla Finestra.....	25
6.1.1. Manifestazioni di metano in superficie	25
6.1.2. Concessioni di ricerca e coltivazione di giacimenti di idrocarburi	27
6.2. Misure e controlli di concentrazione di metano lungo il tracciato dell'opera.....	36
6.2.1. Rilievi di metano a piano campagna	36
6.2.2. Rilievi di metano all'interno della Galleria.....	40
7. Classificazione della Finestra e prescrizioni per la realizzazione dei lavori di scavo in condizioni di massima sicurezza	43

Nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella
Galleria Miglionico
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



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:

- cause e livelli delle emissioni di metano nelle formazioni del sottosuolo in cui si colloca il tracciato dell'opera;
- potenziali pericoli derivanti da afflussi e miscelazione del metano con l'atmosfera del cantiere sotterraneo.

L'attività di consulenza, considerati i risultati degli studi, ricerche e valutazioni del Prof. Paolo Berry (2006), le vigenti normative, buone pratiche e Linee Guida, approfondisce aspetti di interesse specialistico rispetto al rischio di potenziali detonazioni/deflagrazioni di miscele aria – metano, per:

- la realizzazione della Finestra Miglionico, finestra di accesso alla Galleria (di seguito indicata anche come “Finestra”) e del camerone di manovra;
- il completamento degli interventi di ripristino ed ammodernamento della Galleria.

Nello specifico, l'incarico di consulenza chiede di sviluppare ed approfondire i seguenti temi:

- ricerca della documentazione storica sulla presenza di metano nell'area di studio;
- zonizzazione della possibilità di “emissioni di metano” in relazione ai dati storici, alle geo-strutture, ai dati recenti ed alle geometrie delle opere in sottterraneo;
- definizione delle classi di rischio in base ai dati storici, alla geo-strutture, ai dati recenti ed alle geometrie delle opere in sottterraneo secondo normativa vigente e riferimenti tecnici in merito al problema dello scavo di gallerie in presenza di gas;
- definizione delle principali Linee Guida per la redazione delle procedure di sicurezza connesse al rischio metano riconosciuto;
- definizione del piano di monitoraggio per gli apporti di gas 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 da adottare per la gestione del pericolo di emissioni di metano nella Galleria durante l'esercizio ferroviario.

In questo documento (relativo alla prima delle tre fasi in elenco) si espongono le valutazioni cui si è pervenuti e le conseguenti soluzioni ingegneristiche che si debbono adottare per scavare la Finestra, garantendo massimi livelli di sicurezza.

Le soluzioni progettate, considerato che le indagini hanno determinato che il tracciato sarà presumibilmente soggetto alla pericolosa presenza di miscele aria – metano, fanno riferimento alla Nota Interregionale Emilia Romagna – Toscana “Grisù 3ª edizione” (NIR 28).

La previsione delle modalità con cui si possono generare afflussi di metano nel cantiere sotterraneo, durante la realizzazione della Galleria, deve essere classificata, secondo quanto prevede la NIR 28. La classifica deve essere attribuita all'intero tracciato o a tratti di esso omogenei in relazione all'assenza (classe 0) oppure al potenziale afflusso ed accumulo di metano nei suddetti tratti (classi 1a, 1b, 1c e 2).

La classificazione, stabilita dal Tecnico Specialista (si veda la NIR 28), si basa sulla previsione delle condizioni di flusso del metano in relazione alla geometria dello scavo ed alle modalità costruttive dell'opera. Pertanto, la scelta degli indici di classifica (da 0 a 2) da adottare dipende non solo dalle caratteristiche geostrutturali delle formazioni geologiche attraversate dal tracciato (una tale classifica avrebbe poco senso sotto il profilo ingegneristico) ma anche dalle valutazioni che lo Specialista esprime considerando un mix di parametri, elementi di giudizio, fattori tecnici, tra cui (ma non solo):

- potenziali sorgenti di diffusione del metano nel cantiere (trappole strutturali, contenuto diffuso di metano nei pori della roccia o del terreno, ecc.);
- capacità volumetrica del potenziale serbatoio;
- meccanismi e caratteristiche fisiche del flusso (previsioni riguardanti pressione e portata, qualora il serbatoio sia intercettato);
- dimensione del cantiere e sue caratteristiche tecniche (sezione della galleria, ingombri, distanza del rivestimento definitivo, ecc.);
- metodo di scavo (piena sezione, sezione parzializzata);
- tecnica di scavo (meccanizzata o tradizionale);
- tipologia e ubicazione delle potenziali sorgenti di innesco.

Il potenziale pericolo associato a presumibili afflussi di metano in galleria lungo il tracciato della Finestra e la classifica definita dal Tecnico Specialista, idonea a garantire condizioni di massima sicurezza nel cantiere sotterraneo, sono frutto delle attività tecnico – scientifiche, sintetizzate nell'elenco del precedente capoverso, svolta da SERENGEO.

In particolare, lo Specialista ha considerato gli elementi di conoscenza desunti dall'analisi dei documenti storici e della letteratura tecnico-scientifica su:

- geologia strutturale ed eventi sismici nell'area di intervento;
- emissioni spontanee di metano in superficie nel territorio prossimo alla zona di interesse;
- titoli minerari per la ricerca ed estrazione di idrocarburi liquidi e gassosi in terraferma rilasciati dal Ministero per lo Sviluppo Economico (MiSE) e stratigrafie dei pozzi esplorativi e di quelli produttivi prossimi all'area di intervento;
- studi ed indagini per la ricerca del metano lungo od in prossimità del tracciato dell'opera.

Il capitolo 2 richiama le 5 classi definite dalla NIR 28 e sottolinea l'approccio scientifico ed ingegneristico che porta lo Specialista a stabilire l'indice/gli indici di classifica nel Progetto Definitivo.

I capitoli successivi riguardano:

- i documenti consultati ed analizzati per redigere questo documento (capitolo 3);
- una breve descrizione dell'opera e degli interventi previsti nel Progetto Definitivo (capitolo 4);
- l'inquadramento geo-strutturale, sismico, geomeccanico ed idrogeologico dell'area interessata

- dal tracciato dell'opera (capitolo 5);
- i risultati degli studi ed indagini per la ricerca del metano nelle aree limitrofe all'opera e lungo il tracciato della Galleria e della Finestra (capitolo 6);
- la classificazione tecnica della Finestra ai fini della previsione degli afflussi di metano durante lo scavo, attribuita sulla base delle informazioni reperite ed analizzate (capitolo 7).

2. Criteri di attribuzione degli indici di classifica in fase di Progetto Definitivo

Il capitolo richiama l'approccio scientifico e dell'ingegneria dello scavo di gallerie da adottare per classificare, secondo la NIR 28, il tracciato della Finestra, garantendo l'assenza assoluta di rischi associati ad emissioni di metano.

L'afflusso e le sue caratteristiche fisiche sono condizionati da numerosi fattori riconducibili alle soluzioni realizzative dell'opera (metodo e tecnica di scavo), alle modifiche dello stato di sollecitazione originario (detensionamento) dell'ammasso roccioso/terrigeno indotto dall'avanzamento del fronte di scavo, alle caratteristiche geo-strutturali dell'ammasso.

La galleria viene suddivisa in tratti, ciascuno di essi omogeneo in relazione ad una delle seguenti previsioni sulle condizioni di afflusso del metano nel cantiere sotterraneo:

- flussi di gas non previsti (classe 0);
- possibilità remota di flussi di gas (classe 1a);
- possibili flussi di gas di portata modesta (classe 1b);
- possibili flussi di gas discontinui e non frequenti (classe 1c);
- possibili flussi di gas significativi, continui o discontinui (classe 2).

Il Tecnico Specialista attribuisce la Classe in base agli elementi di conoscenza desunti dall'analisi dei documenti storici e della letteratura tecnico-scientifica su:

- geologia strutturale dell'area ed eventi sismici nell'area di intervento;
- emissioni spontanee di metano in superficie nel territorio prossimo alla zona di interesse;
- manifestazioni di metano rilevate durante la realizzazione di altre opere sotterranee;
- titoli minerari per la ricerca ed estrazione di idrocarburi liquidi e gassosi in terraferma rilasciati dal Ministero per lo Sviluppo Economico e stratigrafie dei pozzi esplorativi e di quelli produttivi prossimi all'area di intervento;
- studi ed indagini per la ricerca del metano (sondaggi, pozzi, cunicoli, indagini geofisiche, ecc.) lungo od in prossimità del tracciato dell'opera.

La NIR 28 definisce le 5 classi come segue:

- Classe 0: è attribuita dal Tecnico Specialista al tracciato della galleria (oppure ad alcuni suoi tratti), se tutti gli elementi di valutazione, oggettivi e documentati, portano il Tecnico Specialista ad escludere che la fase realizzativa dell'opera possa determinare, nel cantiere sotterraneo, afflussi di grisù contenuto nelle formazioni attraversate dall'opera oppure da formazioni-serbatoio di gas distanti dal fronte in avanzamento ma connesse idraulicamente alla galleria.
- Classe 1a: è attribuita dal Tecnico Specialista al tracciato della galleria (oppure ad alcuni suoi tratti) solo dopo avere realizzato che tutti gli elementi di valutazione, oggettivi e documentati, portano a prevedere, anche in assenza di indizi, come remoti, ma non da escludere, afflussi di grisù nel cantiere sotterraneo.
- Classe 1b: è attribuita dal Tecnico Specialista al tracciato (oppure ad alcuni suoi tratti) solo dopo

avere realizzato che tutti gli elementi di valutazione, oggettivi e documentati, lo portano a prevedere afflussi di grisù, nel cantiere sotterraneo, ma con portate prevedibilmente modeste o con modalità che lui ritiene non portino a condizioni di pericolo per incendio o esplosione dell'atmosfera aria-metano.

- Classe 1c: è attribuita al tracciato della galleria (oppure ad alcuni suoi tratti) dal Tecnico Specialista stabilito che, sulla base degli elementi di valutazione acquisiti, durante la realizzazione della galleria si possono riscontrare afflussi di metano discontinui, non molto frequenti e con portate variabili, non escluse quelle a carattere massivo.
- Classe 2: è attribuita al tracciato della galleria (oppure ad alcuni suoi tratti) dal Tecnico Specialista stabilito che, sulla base degli elementi di conoscenza acquisiti, durante la realizzazione della galleria l'avanzamento del fronte può determinare flussi significativi di grisù, da geo-strutture tecnicamente riconducibili a potenziali "trappole" naturali di metano (anticlinali, fasce di intensa fratturazione in corrispondenza delle zone di accavallamento tettonico, ecc.). Attraversando le trappole o, comunque, a causa del collegamento idraulico con esse, indotto dallo scavo, sono da attendersi flussi di grisù in galleria continui oppure discontinui ma con frequenza tale da non poter considerare il fenomeno come evento eccezionale.

Gli indici di classifica 1a ed 1b sono attribuibili quando non sono presenti, nell'area limitrofa all'intero tracciato, geo-strutture favorevoli all'accumulo e/o trasporto del metano e, conseguentemente, il Tecnico Specialista è portato a ritenere limitata ma da non escludere con certezza la possibilità che gli scavi determinino afflussi di grisù nel sottterraneo.

La Classe 1c è tipicamente, ma non esclusivamente, attribuibile a tracciati/tratti di gallerie che investono ammassi terrigeni/debolmente rocciosi, in buona sostanza impermeabili/poco permeabili, che avvolgono potenziali serbatoi naturali di grisù contenuti in volumi di roccia molto permeabili per fratture (Figura 1). In particolare, l'attribuzione della Classe 1c è, in gran parte, frutto di condizioni che non permettono di stabilire, a priori, la distribuzione spaziale, le dimensioni, le forme geometriche e le caratteristiche idrauliche (contenuto di metano, pressione, ecc.) dei potenziali serbatoi naturali avvolti dal terreno impermeabile, e conseguentemente i plausibili afflussi di grisù in galleria devono essere considerati prevalentemente casuali e le modalità di flusso perlopiù imprevedibili.

Le emissioni, dopo un transitorio iniziale, possono esaurirsi in tempi compatibili con il programma di avanzamento dello scavo, oppure possono rimanere costanti con portate per lo più trascurabili oppure, ma più raramente, con portate significative.

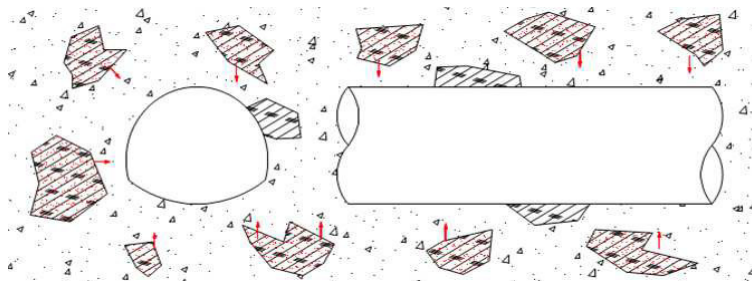


Figura 1. Classe 1c: modalità di emissione da serbatoi di idrocarburi isolati e di dimensioni limitate

La Classe 2 si deve attribuire se si considera plausibile ritenere che il tracciato/tratto incontrerà potenziali trappole naturali di metano per le quali non si possa scartare l'ipotesi che contengano serbatoi naturali e vie di comunicazione idraulica «galleria – serbatoio metanifero» (Figura 2, faglie

profonde, strutture geologiche, grandi serbatoi di idrocarburi o serbatoi isolati e di dimensioni limitate).

Le emissioni sono concentrate in tratti individuabili, non si esauriscono in tempi compatibili con il cronoprogramma della realizzazione dell'opera e la portata, dopo un transitorio iniziale, rimane costante nel tempo.

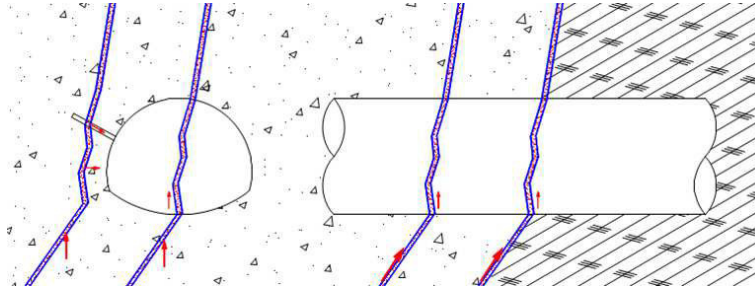


Figura 2. Classe 2: modalità di emissione da faglie profonde o strutture geologiche che mettono in comunicazione idraulica la galleria con il serbatoio di metano

L'indice di classifica attribuito in sede di Progetto Definitivo dal Tecnico Specialista deve essere, dallo stesso, verificato nella fase di progettazione esecutiva (e, successivamente, in corso d'opera), tenendo conto delle informazioni ottenute da nuovi elementi di conoscenza.

3. Documentazione consultata

Per la redazione di questo documento 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 Matefer del 1985:
 - [1.1] Relazione geologica, geotecnica ed idrogeologica sugli studi per la scelta del tracciato e per il progetto definitivo, dicembre 1984 (a cura del Prof. Ing. Vincenzo Cotecchia);
 - [1.2] Stratigrafie dei sondaggi "A", dicembre 1984;
 - [1.3] Note in merito alla possibilità di rinvenimento di gas durante l'esecuzione della galleria sviluppantesi fra l'imbocco lato scalo di Ferrandina e lo sbocco nel bacino del Rio Conche, Annesso A del 14 febbraio 1985 (a cura del Prof. Ing. Vincenzo Cotecchia);
- [2] Elaborati del Progetto Esecutivo U.O. Gallerie. Adeguamento strutturale e alle linee guida sulla sicurezza della Galleria Miglionico. Completamento delle opere civili e delle tecnologie della nuova Linea Ferrandina – Matera La Martella. Galleria Miglionico, del 2006:
 - [2.1] Studio per la presenza del gas. Analisi delle emissioni di gas e classificazione della galleria Miglionico, aprile 2006 (elaborato: IAB1_00_E_07_RG_GN0005_001_B);
 - [2.2] Relazione geologica – idrogeologica, febbraio 2006 (elaborato: IAB100E69RGGE0000005A);
 - [2.3] Indagini geognostiche: area pozzo di ventilazione. Sondaggio PCIAB1G01, gennaio 2006 (elaborato: IAB100E69RBGE0000001A);
- [3] Elaborati del Progetto Definitivo:
 - [3.1] Elaborati generali. Relazione tecnica delle opere in sotterraneo (IA5F01D07RHGN0000001A);
 - [3.2] Galleria Miglionico. Tratte a singolo binario – Sezioni tipo di intradosso (codice elaborato: IA5F01D07WBGN0100001A);

- [3.3] Galleria Miglionico. Tratte a doppio binario – Sezioni tipo di intradosso (codice elaborato: IA5F01D07WBGNO100002A);
 - [3.4] Galleria Miglionico. Profilo geotecnico (codice elaborato: IA5F01D07F5GN0100001A);
 - [3.5] Finestra Miglionico. Planimetria e profilo longitudinale (codice elaborato: IA5F01D07L7GN0200001A);
 - [3.6] Finestra Miglionico. Sezione corrente – Sezione tipo di intradosso (codice elaborato: IA5F01D07WBGNO200001A);
 - [3.7] Finestra Miglionico. Sezione tipo B2 – Carpenteria, scavo e consolidamenti (codice elaborato: IA5F01D07BBGN0200001A);
 - [3.8] Finestra Miglionico. Sezione tipo C2 – Carpenteria, scavo e consolidamenti (codice elaborato: IA5F01D07BBGN0200002A);
 - [3.9] Finestra Miglionico. Sezione tipo C2p – Carpenteria, scavo e consolidamenti (codice elaborato: IA5F01D07BBGN0200003A);
 - [3.10] Finestra Miglionico. Sezione tipo C2p* - Carpenteria, scavo e consolidamenti (codice elaborato: IA5F01D07BBGN0200004A);
 - [3.11] Finestra Miglionico. Camerone di manovra – Carpenteria, scavo e consolidamenti (codice elaborato: IA5F01D07BBGN0200005A);
 - [3.12] Finestra Miglionico. Profilo geotecnico (codice elaborato: IA5F01D07F5GN0200001A);
- [4] Altri elaborati:
- [4.1] Progeo Srl, Planimetria indagini sismiche e sezioni sismiche topografiche 1 e 2 (velocità onde di compressione e di taglio), del 2019;
 - [4.2] Sondedile Srl, Stratigrafia sondaggio S_Gall_PZ135;
 - [4.3] 03 - Letture piezometriche Ferrandina Matera, aprile 2019;
 - [4.4] Sondedile Srl, Risultati prove Lefranc 1 e 2 a carico variabile sondaggio S_Gall_PZ135;
 - [4.5] Sondedile Srl, Rilievo gas_modalità esecutive;
 - [4.6] Sondedile Srl, Rilievo Gas S_Gall_PZ_135;
 - [4.7] Berry P., Analisi di rischio e procedure di sicurezza contro emissioni di metano durante gli interventi nella galleria Matera - Ferrandina, giugno 1999;
 - [4.8] Verballi constatazione gas nei sondaggi, 1985-87;
 - [4.9] Cotecchia V., Relazione conclusiva sulle indagini espletate sui rinvenimenti di gas durante l'esecuzione della Galleria Miglionico, marzo 1987.

Per lo studio sono stati considerati gli elementi presenti nel documento in elenco, i titoli minerari per la ricerca e l'estrazione di idrocarburi liquidi e gassosi in terraferma rilasciati dal Ministero per lo Sviluppo Economico (Ufficio Nazionale Minerario per gli Idrocarburi e le Georisorse, UNMIG), le stratigrafie dei pozzi esplorativi e produttivi più vicini all'area di interesse per l'attività di consulenza, le più aggiornate conoscenze scientifiche sulla geologia strutturale dell'area, sugli eventi sismici e sulle manifestazioni gassose in superficie registrate in prossimità dell'area di interesse.

4. L'opera e gli interventi previsti nel Progetto Definitivo

La Galleria ferroviaria Miglionico (Figura 3) 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, in corrispondenza degli imbocchi, mentre il tratto costruito in naturale è lungo 6270,94 m (Tabella 1).

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

Il profilo altimetrico (Figura 4), a schiena d'asino, sale debolmente, procedendo dai due imbocchi verso il centro della Galleria. In particolare:

- l'imbocco Ferrandina è posto circa a quota 98 m s.l.m., in corrispondenza del tratto in artificiale;
- 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.

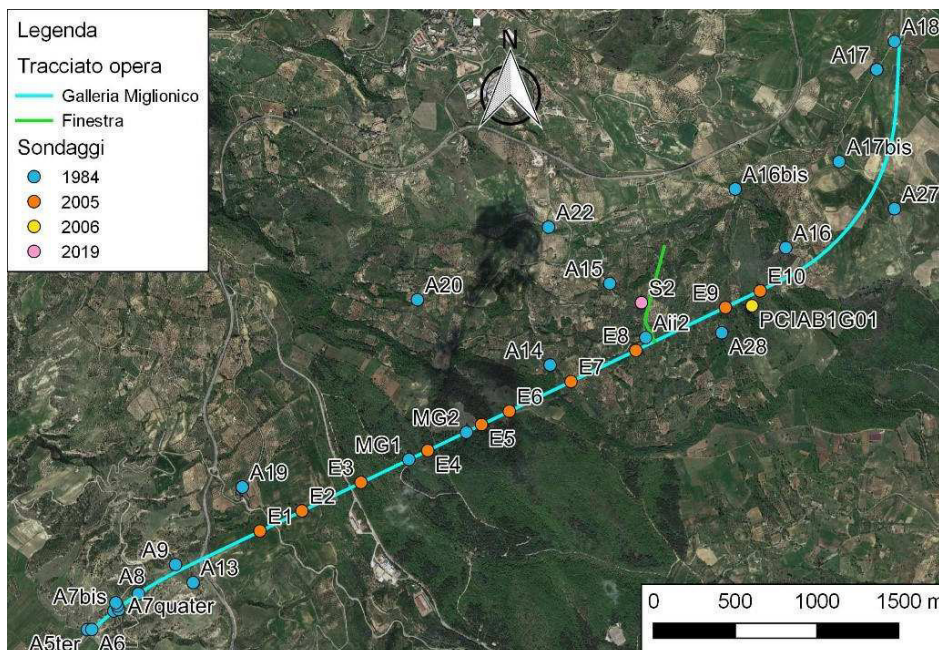


Figura 3. Ubicazione del tracciato della Galleria e della Finestra prevista dal Progetto Definitivo. Nella mappa sono rappresentati anche i sondaggi effettuati lungo ed in prossimità del tracciato dell'opera nel corso delle diverse campagne di indagini (1984, 2005, 2006 e 2019)

Tabella 1. Caratteristiche generali della Galleria Miglionico

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

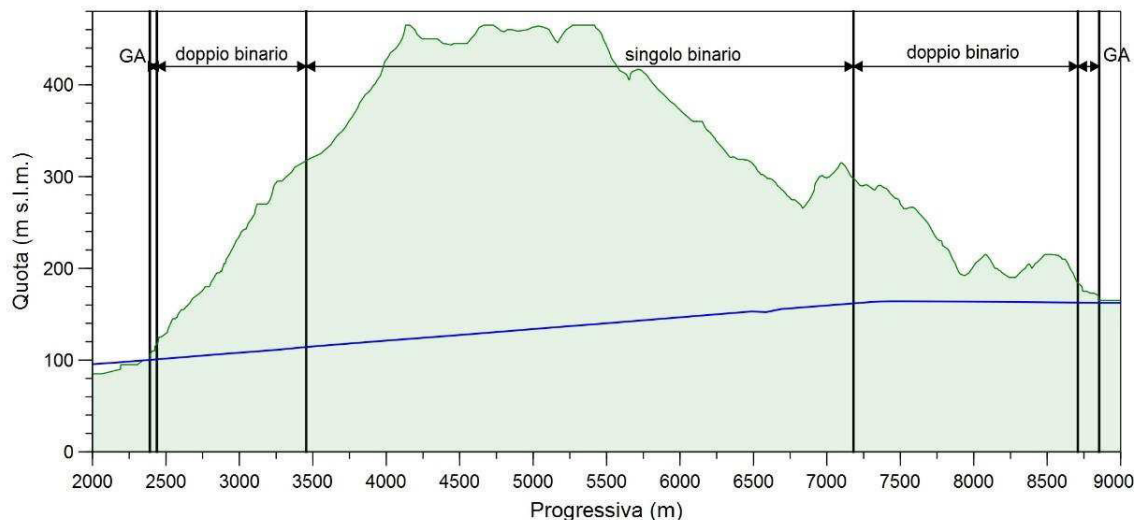


Figura 4. Profilo altimetrico della Galleria (da [3.4])

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 tratti a singolo e doppio binario (Tabella 2), i cui raggi equivalenti delle sezioni di intradosso sono rispettivamente pari a 3,50 m e 4,80 m. I tratti in naturale a doppio binario 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 4). 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.

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 5) e doppio binario (Figura 6) 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.

Tabella 2. Sezioni attuali della Galleria (da [3.1])

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

Tabella 3. Sezioni di progetto della Galleria (da [3.1])

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

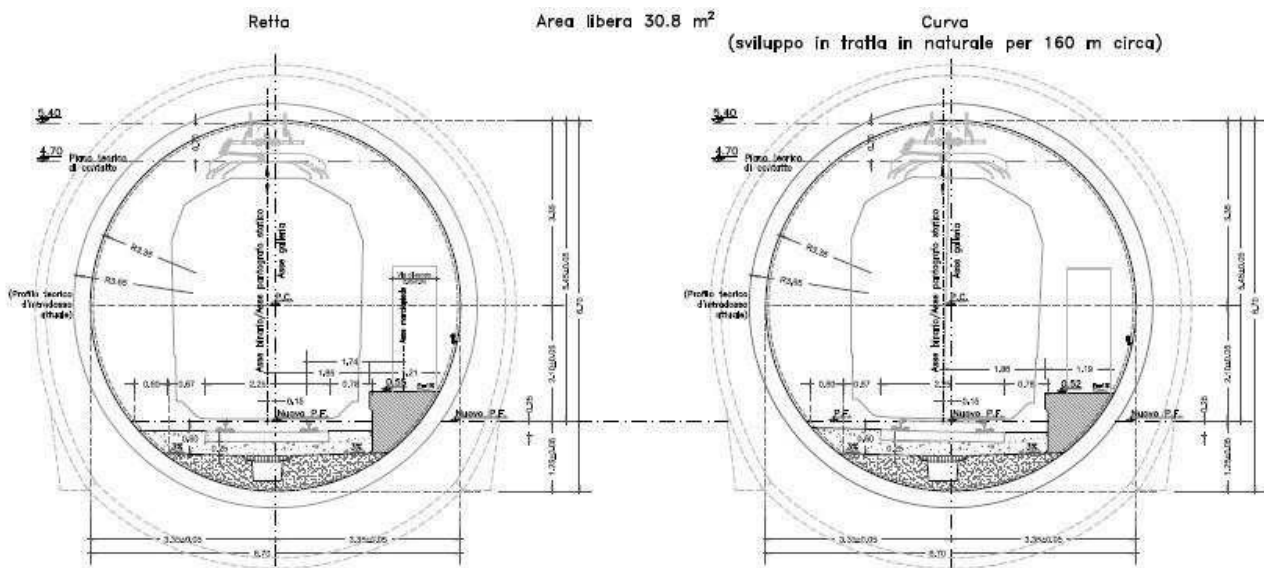


Figura 5. Sezioni di intradosso di progetto a singolo binario (tratto rettilineo e curva) della Galleria (da [3.2])

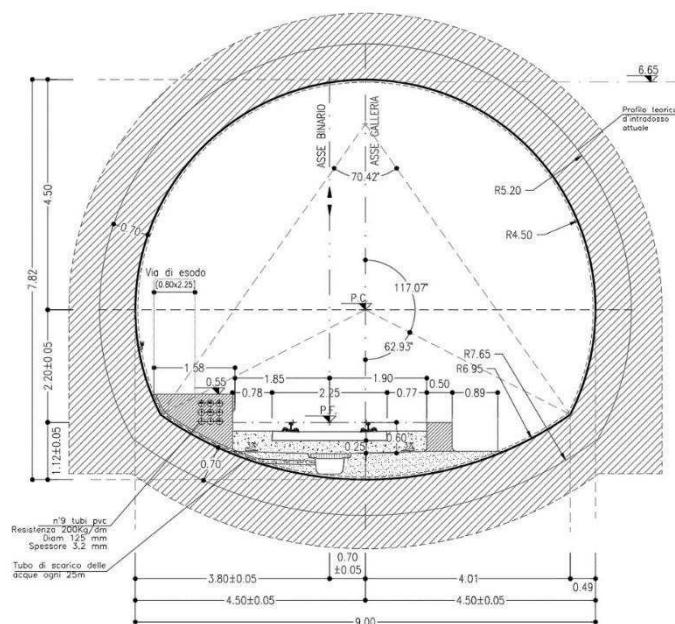


Figura 6. Sezione di intradosso di progetto a doppio binario della Galleria (da [3.3])

Il Progetto Definitivo prevede la realizzazione di (Figura 7):

- finestra Miglionico (Finestra, Tabella 4):
 - 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 4. Caratteristiche generali della Finestra

Finestra Miglionico	
Lunghezza totale (m)	608,67
Lunghezza tratto in artificiale (m)	35,45
Lunghezza tratto in naturale (m)	573,22
Raggio equivalente intradosso Finestra (m)	4,14
Pk ferroviaria intersezione Galleria - Finestra	6+245,30
Distanza imbocco Ferrandina – asse Finestra (m)	3900,00
Distanza imbocco Matera – asse Finestra (m)	2659,09
Copertura massima (m)	180
Quota piano ferro innesto Finestra (6+245,3) (m s.l.m.)	150,1
Quota apice Galleria innesto Finestra (pk 6+245,3) (m s.l.m.)	157,55
Quota imbocco artificiale Finestra (m s.l.m.)	220
Quota imbocco naturale Finestra (m s.l.m.)	218

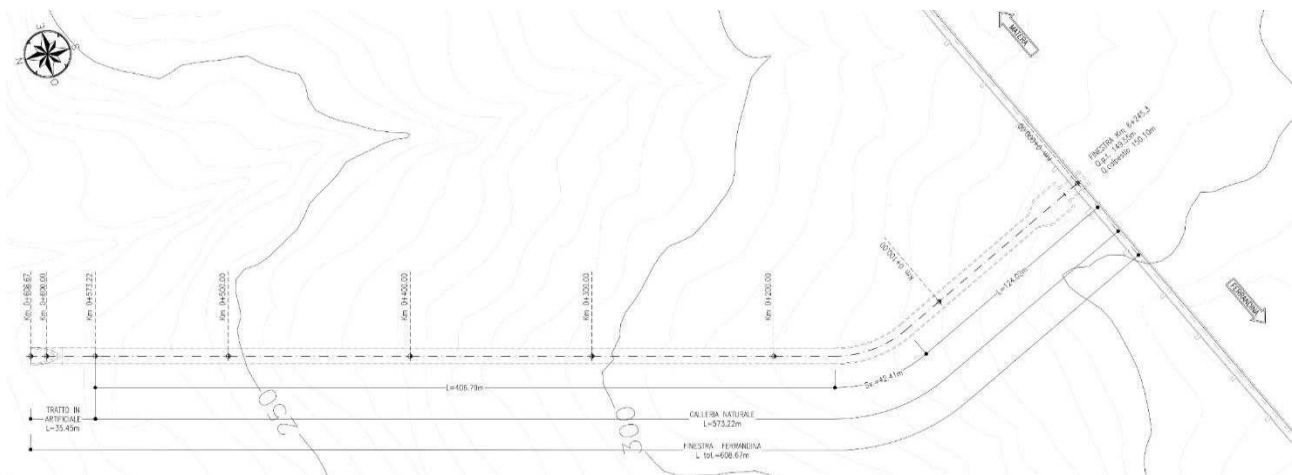


Figura 7. Planimetria della Finestra con indicazione dell'ubicazione del camerone di manovra (da [3.5])

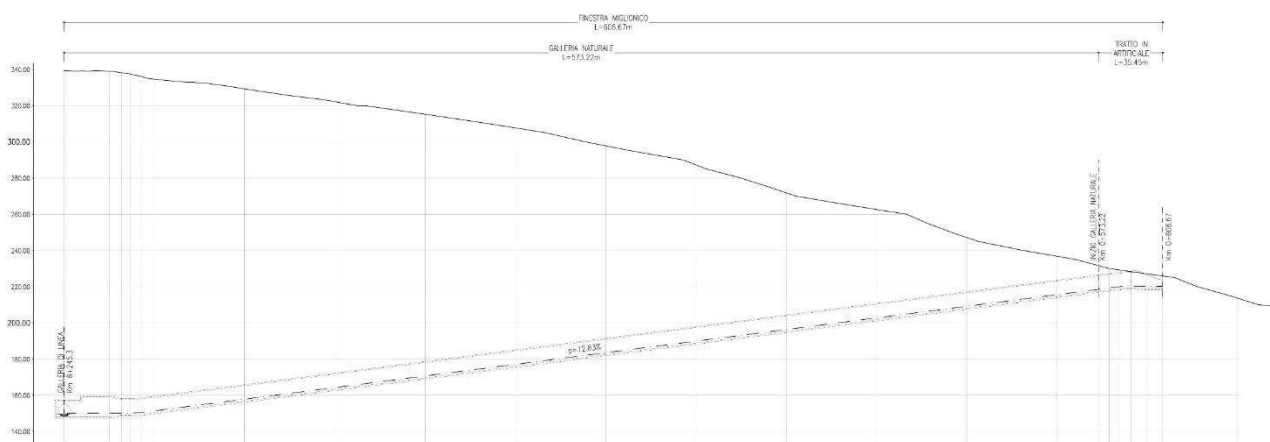


Figura 8. Profilo altimetrico della Finestra (da [3.5])

Il profilo altimetrico della Finestra (Figura 8), dedotto dall'elaborato cartografico [3.5], mette in evidenza un andamento monotono con pendenza media del 12,8% ed immersione in direzione della Galleria. La copertura varia da pochi metri (all'imbocco) ad un massimo di circa 180 m (innesto con la Galleria).

La Finestra (Figura 9) sarà realizzata con tecnica tradizionale e metodo a piena sezione, con un'area di scavo pari a $74 \div 83 \text{ m}^2$ (corrispondente ad un raggio equivalente di $4,8 \div 5,1 \text{ m}$), in funzione della sezione tipo adottata (elaborati [3.8], [3.9] e [3.10]). L'avanzamento sarà eseguito con martello demolitore o con escavatore a benna rovescia con sfondi di 1 m e campi di avanzamento di 10 m.

Saranno adottate sezioni tipo per terreni con fronte di scavo instabile (C2, C2p e C2p*), che prevedono:

- interventi di pre-contenimento/pre-sostegno sia al fronte che al contorno del cavo ed al piede centina con elementi in VTR cementati con miscele cementizie (al fronte) e miscele espansive (al contorno ed al piede centina);
- eventuali drenaggi in avanzamento.

Il rivestimento di prima fase prevede i seguenti interventi:

- centine metalliche, posate in opera con passo di 1 m;
- spritz-beton fibrorinforzato, proiettato tra il contorno dello scavo ed il profilo interno della centina e sul fronte per uno spessore compreso tra 25 cm (sezione tipo C2) e 30 cm (sezione tipo C2p).

L'impermeabilizzazione sarà di tipo "full-round" ed il rivestimento definitivo in calcestruzzo armato sia in calotta/piedritti che in arco rovescio.

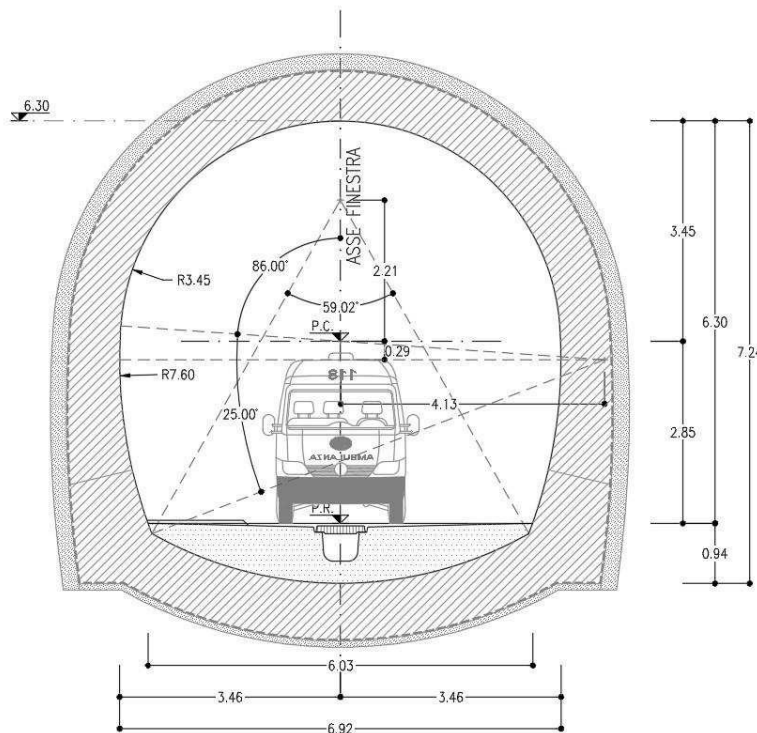


Figura 9. Sezione di intradosso di progetto della Finestra in configurazione definitiva (da [3.6])

In sintesi, per la realizzazione della Finestra si prevedono le seguenti fasi costruttive:

- fase 1. pre-consolidamento del fronte;
- fase 2. pre-consolidamento delle pareti al contorno dello scavo ed al piede centina;
- fase 3. esecuzione di drenaggi in avanzamento (eventuale);
- fase 4. scavo a piena sezione;
- fase 6. posa in opera del rivestimento provvisorio;
- fase 7. getto di murette ed arco rovescio, ad una distanza massima dal fronte di scavo variabile tra 0,5 (C2p) ed 1 (C2) diametro equivalente D;
- fase 8. posa in opera dell'impermeabilizzazione "full-round";
- fase 9. getto del rivestimento definitivo armato in calotta ad una distanza massima dal fronte di scavo di $2\div 3 D$.

Se durante lo scavo l'ammasso dovesse presentare caratteristiche geomeccaniche migliori rispetto a quelle attese in fase di Progetto Definitivo, si adotterà una sezione tipo (B2, elaborato [3.7]) che non prevede l'esecuzione degli interventi di pre-consolidamento al contorno del cavo ed al piede centina.

Per la realizzazione del camerone di manovra sono previste le stesse fasi costruttive della Finestra ma con metodo di scavo parzializzato (elaborato [3.11]).

5. Inquadramento geologico – strutturale

La Finestra è collocata all'interno dell'Avanfossa (o Fossa) Bradanica (Lazzari, 2008), depressione tettonica allungata con l'asse orientato in direzione NW-SE e compresa tra l'Appennino Meridionale, ad Ovest e Sud-Ovest, e l'Avampaese Apulo, ad Est (Figura 10).

Si tratta di un bacino di sedimentazione, largo in media $20\div 30$ km, che si estende con continuità dal Nord della Puglia fino alla provincia di Taranto ed include buona parte del territorio lucano per una lunghezza complessiva che supera il centinaio di km.

All'interno della Fossa sono presenti depositi del Pliocene-Pleistocene, di ambiente marino, per lo più litorale e circolitorale profondo, ovvero argille (in prevalenza), sabbie e conglomerati marini a cui si intercalano, sotto forma di olistostromi, unità appenniniche alloctone che affiorano nella porzione occidentale della Fossa, a ridosso della catena appenninica (Figura 10). La deposizione ha avuto inizio nel Pliocene inferiore in concomitanza con l'abbassamento della Fossa (per effetto del carico della catena appenninica), che ne ha determinato l'invasione da parte del mare, e l'inarcamento delle Murge che hanno assunto la struttura di un'ampia piega anticlinale.

I depositi plio-pleistocenici della Fossa, in profondità, poggiano su un basamento costituito da calcari mesozoici-cretacei della Piattaforma Apula (Figura 11), caratterizzati da alti e bassi strutturali (struttura a Horst e Graben). Procedendo dal substrato calcareo verso l'alto, all'interno della Fossa si osservano:

- alla base: terreni prevalentemente argillo-marnosi (fase pre-torbiditica), generalmente di età pliocenica inferiore;
- nella parte intermedia del bacino: alternanze di livelli prevalentemente sabbiosi ed intervalli prevalentemente argillosi (fase torbiditica, di massima subsidenza dell'Avanfossa), di età compresa tra il Pliocene medio ed il Pleistocene inferiore;
- nella parte sommitale: depositi grossolani di mare basso e/o continentale, prevalentemente sabbioso-conglomeratici relativi alla fasi finali di riempimento dell'Avanfossa (fase post-torbiditica), di età pleistocenica, che includono le sabbie di Monte Marano affioranti in prossimità

del tracciato dell'opera (Figura 12).

La Fossa presenta un assetto monoclinale generale verso NE, in conseguenza anche del processo di "tilting" (basculamento) che ha subito durante la fase di emersione; ne deriva una forte asimmetria in sezione trasversale, con spessori che, verso NE, tendono progressivamente a ridursi dalle migliaia di metri (oltre 3000 a ridosso della catena appenninica) a valori pressoché nulli in prossimità dell'Avampaese Apulo (Figura 11). Pertanto, all'interno del bacino la sedimentazione si è necessariamente differenziata da luogo a luogo per ambienti, facies e spessori.

Nella porzione lucana della Fossa, dove si colloca la Finestra, la sedimentazione è stata essenzialmente torbida, dando origine a corpi torbiditici generalmente a scarso sviluppo areale; le torbide provenivano prevalentemente dal bordo occidentale del bacino dove affioravano i terreni alloctoni, soggetti a movimenti tettonici. Si osserva, infatti, un graduale passaggio verso Est da facies sabbiose a facies pelitiche. Nella parte centrale della Fossa prevalgono i sedimenti siltoso-argillosi di piattaforma e/o di rampa di provenienza appenninica, che costituiscono l'unità più diffusa nel settore bradanico, ovvero le Argille Subappennine del Pleistocene (Calabriano), attraversate dalla Galleria. Si tratta (Di Piero, 1981; Cotecchia et al., 1996) di argille limoso-marnose, sovraconsolidate e fessurate, consistenti, a composizione mineralogica prevalentemente illitica, che assumono localmente una consistenza quasi lapidea. Sono spesso intercalate, anche alle massime profondità, da livelli centimetrici di sabbie e talora presentano inclusioni nerastre di sostanze carboniose generalmente attribuibili a depositi algali. Spiccano rari e caratteristici livelli di cineriti e tufi e successioni lentiformi costituite da alternanze di limi e conglomerati.

In conseguenza della storia tettonica e tensionale cui sono state sottoposte, tali argille sono caratterizzate da una fitta rete di discontinuità, sia di tipo stratigrafico (livelli sabbiosi interposti), sia discontinuità strutturali, ovvero sistemi di fessure e fratture sia sin-genetiche, legate al sollevamento tettonico, sia sovrainposte da successive deformazioni tettonico-gravitative di larga scala. Le diverse discontinuità strutturali nell'ammasso argilloso, congiuntamente alla presenza di livelli ed interstrati sabbiosi, garantiscono all'interno di essi, lungo le discontinuità, lo sviluppo di circolazione di acque d'infiltrazione sotterranee. Studi idrogeologici hanno mostrato che tali acque sono da considerare fossili, con ridotta capacità di alimentazione. Proprio a causa della circolazione d'acqua nella rete di fratture all'interno delle Argille Subappennine sono frequenti inghiottitoi, cavità e fenomeni di erosione interna (Guerricchio & Molitorio, 1979; Doglioni et al., 2014).

Lo spessore della formazione delle Argille Subappennine supera il migliaio di metri nella zona assiale della Fossa e si riduce avvicinandosi al bordo appenninico ed a quello delle Murge.

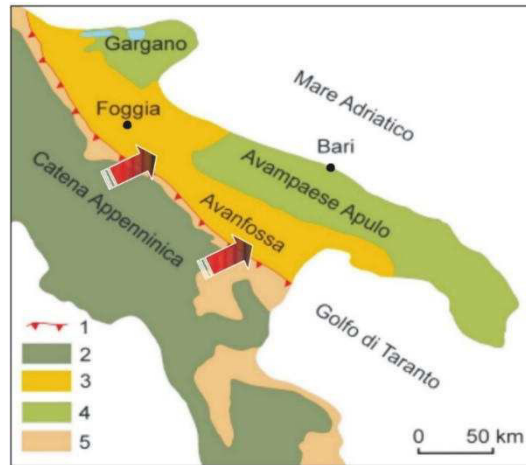


Figura 10. Rappresentazione semplificata dei domini strutturali in Italia meridionale: 1) Fronte dell'alloctono affiorante; 2) Catena Appenninica; 3) Fossa Bradanica (Avanfossa); 4) Avampaese calcareo Apulo; 5) Fronte esterno della catena e bacini di "piggy back" (da Lazzari, 2008)

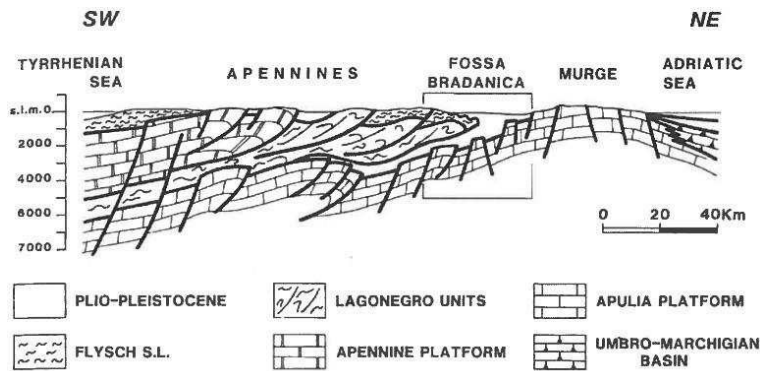


Figura 11. Sezione schematica del sottosuolo nell'area interessata dalla Finestra (da Sella et al., 1988)

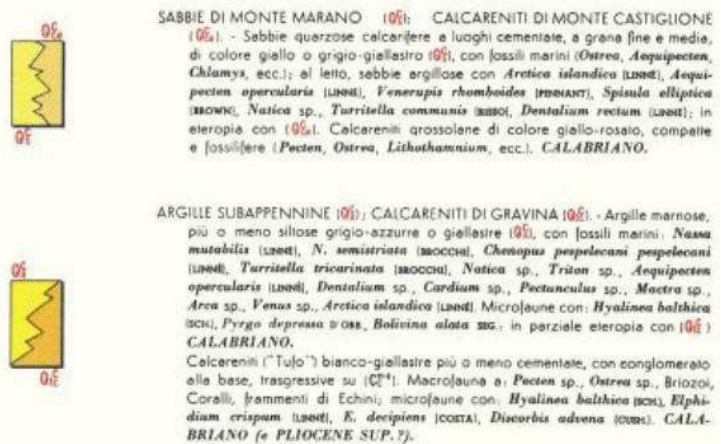
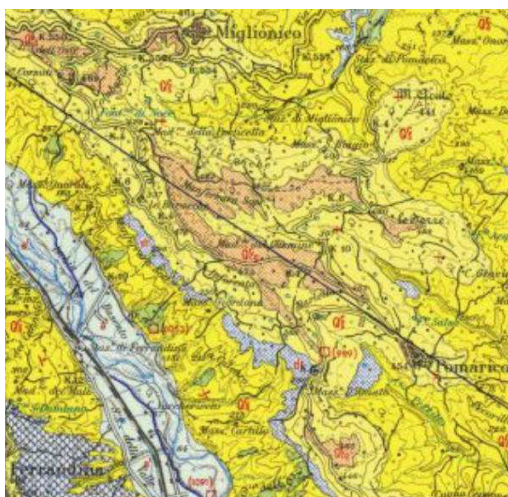


Figura 12. Estratto della carta geologica d'Italia (scala 1:100.000), Foglio 201 "Matera" (ISPRA 2012), in cui ricadono la Galleria e la Finestra. Nell'area di interesse affiorano le Argille Subappennine e, localmente, le Sabbie di Monte Marano

5.1. Litologie interessate dai lavori di scavo della Finestra

Lo scavo della Galleria ha interessato totalmente la formazione delle Argille Subappennine (Figura 13), caratterizzate localmente dalla presenza di lenti di materiali incoerenti di tipo sabbioso-conglomeratico. In corrispondenza del culmine del pendio sovrastante la Galleria affiorano anche le formazioni delle Sabbie di Monte Marano e del Conglomerato di Irsina (Figura 13).

In base alla ricostruzione geologica del Progetto Definitivo (Figura 14), anche la Finestra ricade, per l'intera lunghezza del tracciato, all'interno delle Argille Subappennine (ASP).

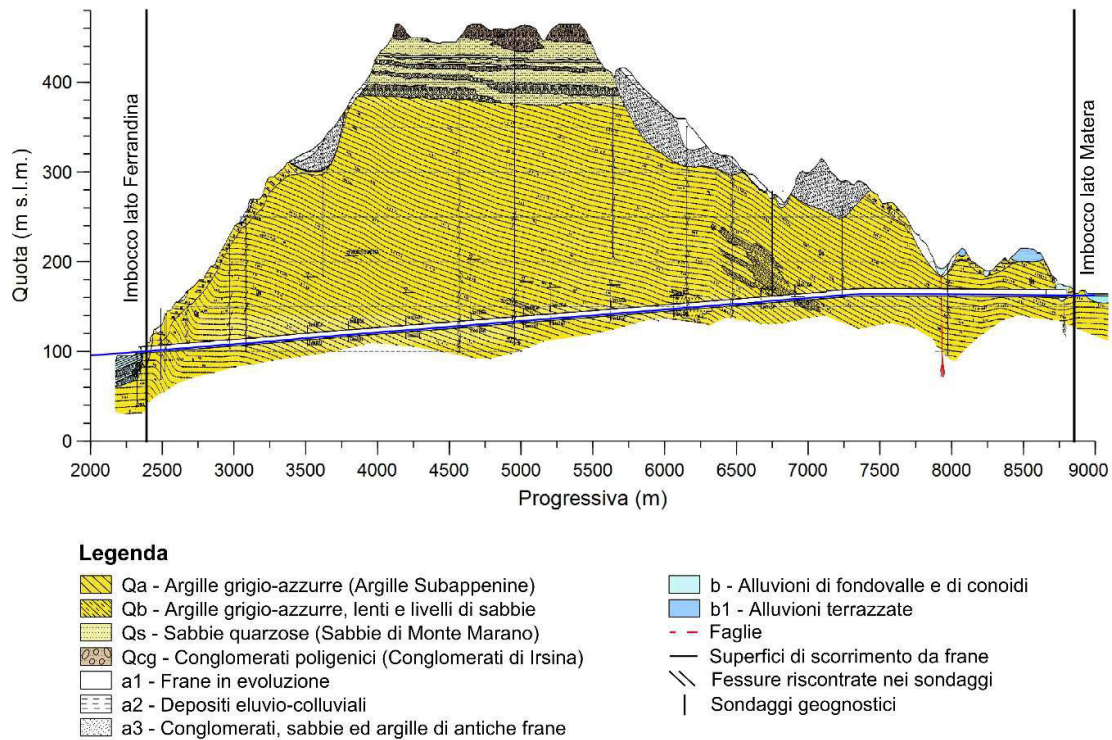


Figura 13. Profilo geologico-strutturale della Galleria (da [3.4])

Tra il 1984 ed il 2019 sono stati realizzati i seguenti sondaggi (Figura 3 e Tabella 5), per lo più a carotaggio continuo:

- 25 sondaggi (campagne 1984 e 2006) lungo il tracciato della Galleria;
- 1 sondaggio (S_Gall_PZ135) lungo il tracciato della Finestra, grossomodo in corrispondenza della mezzeria (utilizzato insieme al sondaggio A_{II}2 della campagna 1984 per la ricostruzione del profilo geologico della Finestra di Figura 14);
- 20 sondaggi verticali (2005) all'interno della Galleria rivestita, dislocati su 10 sezioni (circa tra pk 3+568 e pk 6+962), nel tratto a singolo binario, finalizzati ad investigare l'ammasso al contorno del cavo. Per ogni sezione è stato eseguito un sondaggio in calotta (verso l'alto) ed uno in arco rovescio (verso il basso), aventi lunghezza, rispettivamente di 5 e 6 m,

con prelievo di campioni da sottoporre a prove di laboratorio per meglio caratterizzare, sotto il profilo geomeccanico, le Argille Subappennine.

In alcuni sondaggi sono stati installati piezometri (a tubo aperto, Casagrande); nei 10 sondaggi in arco rovescio, all'interno della Galleria, sono stati messi in opera piezometri elettrici.

Gran parte dei sondaggi a piano campagna raggiunge profondità pari o leggermente superiori alle quote della Galleria e della Finestra (Figura 13 e Figura 14).

I paragrafi seguenti riassumono i risultati delle indagini geognostiche analizzati dal Tecnico Specialista con l'obiettivo di desumere alcuni degli elementi di conoscenza su cui basare la classificazione della Finestra contro il rischio derivante da afflussi di metano.

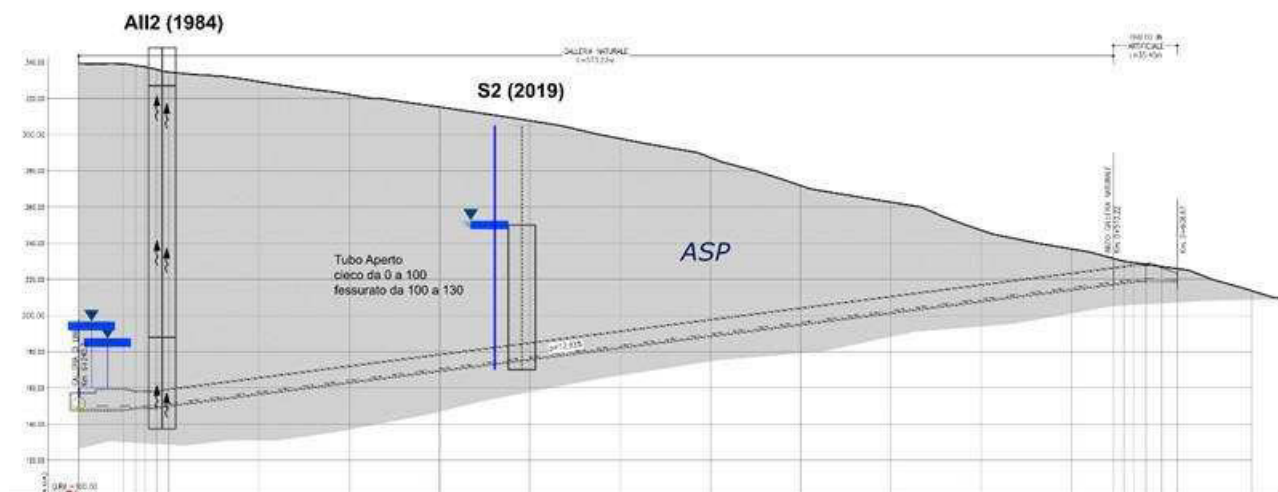


Figura 14. Profilo geologico-strutturale della Finestra (da [3.12]). Il sondaggio S_Gall_PZ135 realizzato nel 2019 è indicato in figura come S2.

Tabella 5. Sondaggi realizzati lungo il tracciato della Galleria (a piano campagna, p.c., o all'interno della Galleria, in calotta, cal., o in arco rovescio, a.r.) e della Finestra, ordinati a partire dall'imbocco Ferrandina della Galleria (dati desunti da [1.1], [1.2], [2.2], [2.3] e [4.2]). Per ogni sondaggio è indicata la strumentazione installata: piezometro (t.a.: tubo aperto; C.: Casagrande; e.: elettrico); inclinometro.

ID	Opera	Campagna	L (m)	Tipo di perforazione	Strumentazione	Misure di permeabilità	Misure metano
A5ter	Galleria (p.c.)	1984	62,5	n.d.	inclinometro	NO	SI
A6	Galleria (p.c.)	1984	40,0	CAR	piezometro t.a.	NO	SI
A7	Galleria (p.c.)	1984	50,0	CAR	inclinometro	NO	SI
A7bis	Galleria (p.c.)	1984	136,2	n.d.	inclinometro	NO	SI
A7ter	Galleria (p.c.)	1984	151,0	n.d.	inclinometro	NO	SI
A7quater	Galleria (p.c.)	1984	112,8	n.d.	inclinometro	NO	SI
A8	Galleria (p.c.)	1984	50,0	CAR	inclinometro	NO	SI
A9	Galleria (p.c.)	1984	120,5	CAR	inclinometro	NO	SI
A13	Galleria (p.c.)	1984	150,0	CAR	piezometro t.a.	NO	SI
E1 CAL	Galleria (cal.)	2005	5,0	CAR	\	NO	NO
E1 AR	Galleria (a.r.)	2005	6,0	CAR	piezometro e.	NO	NO
A19	Galleria (p.c.)	1984	150,5	CAR	piezometro C.	NO	SI
E2 CAL	Galleria (cal.)	2005	5,0	CAR	\	NO	NO

ID	Opera	Campagna	L (m)	Tipo di perforazione	Strumentazione	Misure di permeabilità	Misure metano
E2 AR	Galleria (a.r.)	2005	6,0	CAR	piezometro e.	NO	NO
E3 CAL	Galleria (cal.)	2005	5,0	CAR	\	NO	NO
E3 AR	Galleria (a.r.)	2005	6,0	CAR	piezometro e.	NO	NO
MG1	Galleria (p.c.)	1984	350,0	n.d.	piezometro	NO	SI
E4 CAL	Galleria (cal.)	2005	5,0	CAR	\	NO	NO
E4 AR	Galleria (a.r.)	2005	6,0	CAR	piezometro e.	NO	NO
A20	Galleria (p.c.)	1984	171,0	CAR	piezometro t.a.	NO	NO
MG2	Galleria (p.c.)	1984	350,5	n.d.	piezometro	NO	SI
E5 CAL	Galleria (cal.)	2005	5,0	CAR	\	NO	NO
E5 AR	Galleria (a.r.)	2005	6,0	CAR	piezometro e.	NO	NO
E6 CAL	Galleria (cal.)	2005	5,0	CAR	\	NO	NO
E6 AR	Galleria (a.r.)	2005	6,0	CAR	piezometro e.	NO	NO
A14	Galleria (p.c.)	2005	180,0	CAR	piezometro C.	NO	SI
E7 CAL	Galleria (a.r.)	2005	5,0	CAR	\	NO	NO
E7 AR	Galleria (a.r.)	2005	6,0	CAR	piezometro e.	NO	NO
A22	Galleria (p.c.)	1984	120,0	CAR	piezometro C.	NO	NO
A15	Galleria (p.c.)	1984	120,5	CAR	inclinometro	NO	NO
E8 CAL	Galleria (cal.)	2005	5,0	CAR	\	NO	NO
E8 AR	Galleria (a.r.)	2005	6,0	CAR	piezometro e.	NO	NO
All2	Galleria e Finestra (p.c.)	1984	212,5	CAR	piezometro C.	NO	SI
S_Gall_P Z135	Finestra (p.c.)	2019	135,0	DIST/CAR	piezometro t.a.	SI	SI
MG3	Galleria (p.c.)	1984		n.d.	piezometro	NO	SI
A28	Galleria (p.c.)	1984	179,0	CAR	inclinometro	NO	SI
E9 CAL	Galleria (cal.)	2005	5,0	CAR	\	NO	NO
E9 AR	Galleria (a.r.)	2005	6,0	CAR	piezometro e.	NO	NO
PCIAB1G 01	Galleria (p.c.)	2006	110,0	CAR	piezometro C.	SI	SI
E10 CAL	Galleria (cal.)	2005	5,0	CAR	\	NO	NO
E10 AR	Galleria (a.r.)	2005	6,0	CAR	piezometro e.	NO	NO
A16bis	Galleria (p.c.)	1984	80,0	CAR	piezometro C.	NO	NO
A16	Galleria (p.c.)	1984	101,0	CAR	inclinometro	NO	NO
A27	Galleria (p.c.)	1984	101,0	CAR	piezometro t.a.	NO	SI
A17bis	Galleria (p.c.)	1984	70,0	CAR	piezometro C.	NO	SI
A17	Galleria (p.c.)	1984	80,5	CAR	inclinometro	NO	SI
A18	Galleria (p.c.)	1984	41,0	CAR	piezometro C.	NO	SI

5.1.1. Caratteristiche geomeccaniche delle Argille Subappennine

I sondaggi hanno attraversato argille limose grigio-azzurre, con frequenti alternanze, centimetriche e decimetriche, di sabbie fini, livelli limoso-sabbiosi e, talvolta, conglomeratici.

Nel sondaggio S_Gall_PZ135 (Figura 15 e Figura 16), realizzato nel 2019 lungo il tracciato della Finestra (Figura 14), da 82,6 m s.p.c. fino a fondo foro (e, quindi, anche alla quota della Finestra), si osservano livelli sabbiosi fini millimetrici e, a luoghi, centimetrici in marna argillosa.

In linea generale, dai sondaggi si desume che le argille:

- sono sovraconsolidate, con un aspetto quasi litoide e caratterizzate da un elevato grado di fratturazione, probabilmente di natura tettonica, come si può desumere dalla letteratura tecnico-scientifica (cfr. capitolo 5), fino ad arrivare ad una vera e propria cataclasizzazione;
- sono caratterizzate da variabilità di granulometria, stato fisico, resistenza e deformabilità lungo la verticale per la presenza di fasce di disturbo nelle argille, in parte dovute a movimenti di tipo gravitativo ed in parte di natura tettonica;
- includono al loro interno intercalazioni episodiche di sabbie o di livelli più sabbiosi;
- dai rilievi effettuati sul fronte di scavo durante la costruzione della Galleria, presentano una giacitura variabile dalla completa orizzontalità fino a $15^\circ \div 20^\circ$.



Figura 15. Foto del sondaggio S_Gall_PZ135, lungo il tracciato della Finestra, da 95 m s.p.c. a 105 m s.p.c. (da [4.2])



Figura 16. Foto del sondaggio S_Gall_PZ135, lungo il tracciato della Finestra, da 105 m s.p.c. a fondo foro (135 m s.p.c.) (da [4.2])

5.1.2. Misure piezometriche

I dati noti a SERENGEO (cfr. elaborati [1.1] e [4.3]) indicano che Finestra e Galleria sono sotto falda e le indagini piezometriche, lungo il tracciato della Galleria, mostrano che è presente solo un sistema acquifero, costituito da livelli sabbiosi, limoso-sabbiosi e, talvolta, conglomeratici, generalmente di limitata potenza, all'interno delle Argille Subappennine, messi in comunicazione tra loro dal sistema di fessure e superfici di rottura delle argille. Tutti i livelli dotati di una certa permeabilità sono risultati saturi con acqua in pressione. La Galleria è stata anche interessata, in corso di realizzazione e negli anni successivi al completamento dell'opera, da ingressioni d'acqua di falda, circolante negli strati sabbiosi, anche in pressione, con presenza di metano disciolto.

5.1.3. Misure di permeabilità

In due soli sondaggi si sono eseguite prove di permeabilità Lefranc, a carico variabile, con immissione d'acqua in foro:

- PCIAB1G01 (Tabella 6) nel tracciato della Galleria (Figura 17);
- S_Gall_PZ135 (Tabella 7) nel tracciato della Finestra (Figura 18).

I risultati delle indagini, condotte su porzioni limitate di ciascun sondaggio (su quattro tratti di PCIAB1G01 e due tratti di S_Gall_PZ135), sono solo indicativi della distribuzione locale (per punti) delle caratteristiche di permeabilità nell'ammasso soggetto alla realizzazione dell'opera. È da sottolineare che la permeabilità è una grandezza vettoriale, frequentemente caratterizzata da elevata anisotropia. Tra l'altro, nel sondaggio PCIAB1G01 (tracciato della Galleria) i tratti sui cui sono state eseguite le misure avevano una lunghezza generalmente inferiore ad 1,5 m.

Va considerato, inoltre, che nei terreni a grana fine, come quelli del caso in esame (Argille Supappennine), le prove Lefranc a carico variabile possono determinare una significativa riduzione dei valori di permeabilità delle pareti del sondaggio (per “skin effect”) che porta a sottostimare i valori misurati.

Di conseguenza, così come sono state progettate e condotte, le indagini non possono individuare, se non casualmente, la presenza o meno di litologie a bassa permeabilità in grado di “intrappolare” potenziali serbatoi di metano.

Le misure lungo il tracciato della Galleria (Tabella 6) hanno toccato profondità che al massimo hanno raggiunto 25 m sopra la Galleria (Figura 17), interessando esclusivamente limi argillosi o argille limose, con valori di permeabilità dell'ordine di 10^{-7} m/s, ovvero bassi.

Le indagini lungo il tracciato della Finestra (Tabella 7) non hanno intercettato livelli sabbiosi ed, infatti, i valori di permeabilità sono tipici di ammassi praticamente impermeabili (dell'ordine di 10^{-9} m/s), anche a quote prossime a quelle della Finestra (Figura 18). Va ribadito che i valori sono stati ottenuti con l'unico sondaggio realizzato lungo gli oltre 600 m del tracciato complessivo della Finestra. Le prove Lefranc, come già messo in evidenza, hanno interessato due tratti per una lunghezza complessiva di 21,6 m, pari a circa il 16% dell'intera lunghezza del sondaggio.

Tabella 6. Risultati prove di permeabilità nei sondaggi lungo il tracciato della Galleria. La litologia nei tratti di foro indagati è stata desunta dai rapporti di prova (elaborato [2.3])

Sondaggio	Profondità sotto boccaforo (m)	Permeabilità (m/s)	Campagna	Litologia
PCIAB1G01	22,6 ÷ 24,0	$1,57 \cdot 10^{-7}$	2005	Limo argilloso sabbioso fine ed argilla limo-sabbiosa, con interstratificazioni millimetriche sabbiose fini
	30,0 ÷ 31,6	$5,73 \cdot 10^{-7}$		
	36,0 ÷ 37,2	$4,38 \cdot 10^{-7}$		
	94,55 ÷ 96,0	$1,23 \cdot 10^{-7}$		Argilla limosa con interstratificazioni millimetriche di sabbia fine-media

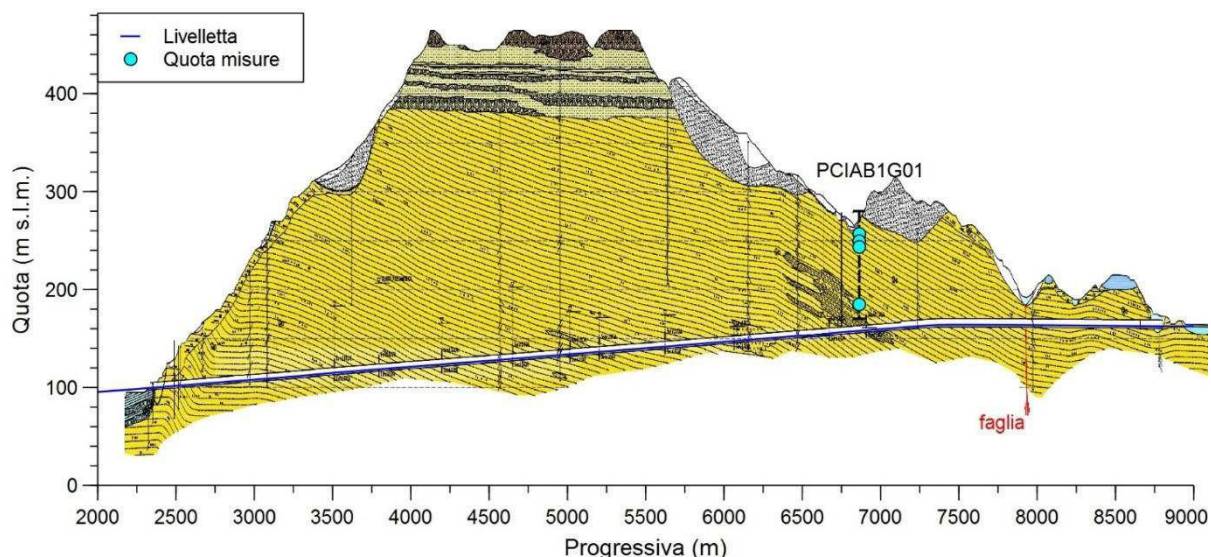


Figura 17. Misure di permeabilità in foro: ubicazione dei punti di campionamento (pallini ciano) rispetto alla quota della Galleria (linea continua blu)

Tabella 7. Finestra: risultati prove di permeabilità (elaborato [4.4])

Sondaggio	Prova	Profondità sotto boccaforo (m)	Permeabilità (m/s)	Campagna	Litologia
S_Gall_PZ135	Lefranc	77,0 ÷ 85,6	$7,50 \cdot 10^{-9}$	2019	Argilla limosa, da debolmente marnosa a marnosa con livelli sabbiosi fini millimetrici
	Lefranc	102,0 ÷ 115,0	$5,12 \cdot 10^{-9}$		Argilla marnosa con livelli sabbiosi fini millimetrici a luoghi centimetrici

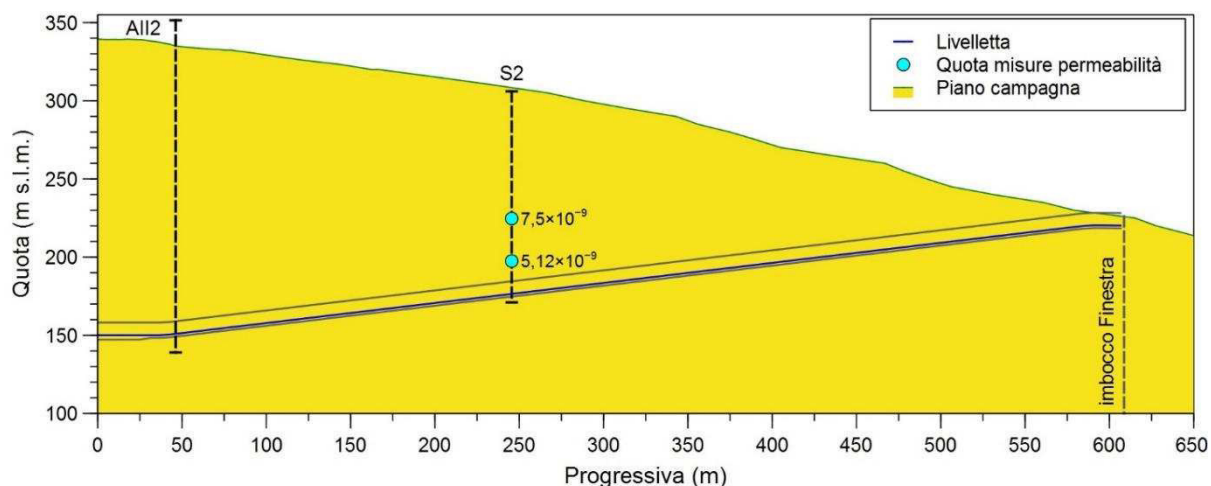


Figura 18. Misure di permeabilità in foro (sondaggio S_Gall_PZ135, in figura S2): ubicazione dei punti di campionamento (pallini ciano) rispetto alla quota della Finestra (linea continua blu) e valori misurati in m/s

5.2. Geo-strutture lungo il tracciato

Per valutare lo spessore della copertura sovrastante il substrato più compatto in corrispondenza dell'imbocco della Finestra sono stati eseguiti due profili sismici, a rifrazione, in onde P ed onde S (Figura 19), tra loro perpendicolari: linea 1, parallela all'asse del tracciato, e linea 2, ad essa ortogonale. L'indagine, come era prevedibile, non ha fornito indicazioni sulla presenza di dislocazioni tettoniche lungo il tracciato, in quanto è limitata verticalmente (qualche decina di metri la profondità dell'indagine) (Figura 20 e Figura 21).

Pertanto, informazioni sulle geo-strutture potenzialmente presenti lungo il tracciato della Finestra, determinanti per classificare il tracciato secondo la NIR 28, si possono desumere solo da:

- analisi della letteratura tecnico-scientifica sulla geologia strutturale dell'area e sugli eventi sismici registrati in prossimità dell'area di intervento ed, in particolare, dei numerosi profili sismici a riflessione, sondaggi e log effettuati nell'area per la ricerca di trappole di idrocarburi;
- indagini geognostiche lungo il tracciato della Galleria (1984 – 2006) e della Finestra (2019);
- analisi dei rilievi al fronte di scavo durante la costruzione della Galleria.

La letteratura documenta (Sella et al., 1988; Lazzari, 2008) la presenza, nei terreni che si sono depositati all'interno della Fossa, tra i quali le Argille Subappennine, e nel substrato calcareo del Cretaceo, di faglie dirette, generalmente sub-verticali, imputabili alla tettonica distensiva del Pliocene e Pleistocene, a prevalente direzione appenninica (NW-SE). Tra queste si può menzionare la faglia

identificata lungo il tracciato della Galleria in corrispondenza del “Fosso Tre Valloni” (Figura 13), intercettata durante lo scavo della Galleria alla pk 8+014. Queste faglie sono intersecate da altri sistemi orientati secondo le direzioni NE-SW, N-S, ENE-WSW, E-W, WNW-ESE.

I sondaggi geognostici lungo il tracciato della Finestra e della Galleria ed i rilievi al fronte durante lo scavo della Galleria evidenziano, all'interno delle argille, la presenza di famiglie di fessure e discontinuità con superfici spesso lucide e con strie da movimento, di chiara origine neotettonica.

Pertanto, è indubbia l'esistenza nell'ammasso di una fitta rete di discontinuità e/o fratture di origine prevalentemente tettonica, anche in considerazione della sismicità dell'area (Figura 22), che possono determinare un collegamento idraulico con potenziali accumuli profondi di metano localizzati nel substrato calcareo e con serbatoi di metano isolati all'interno di corpi lentiformi permeabili (lenti sabbiose e limoso-sabbiose) all'interno delle Argille Subappennine.

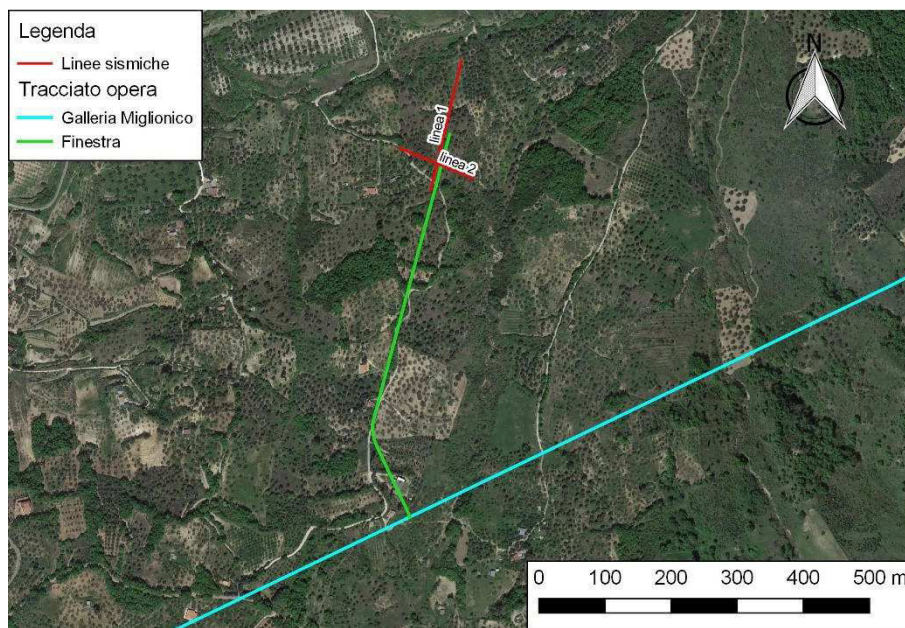


Figura 19. Tracce dei profili sismici in corrispondenza dell'imbocco della Finestra

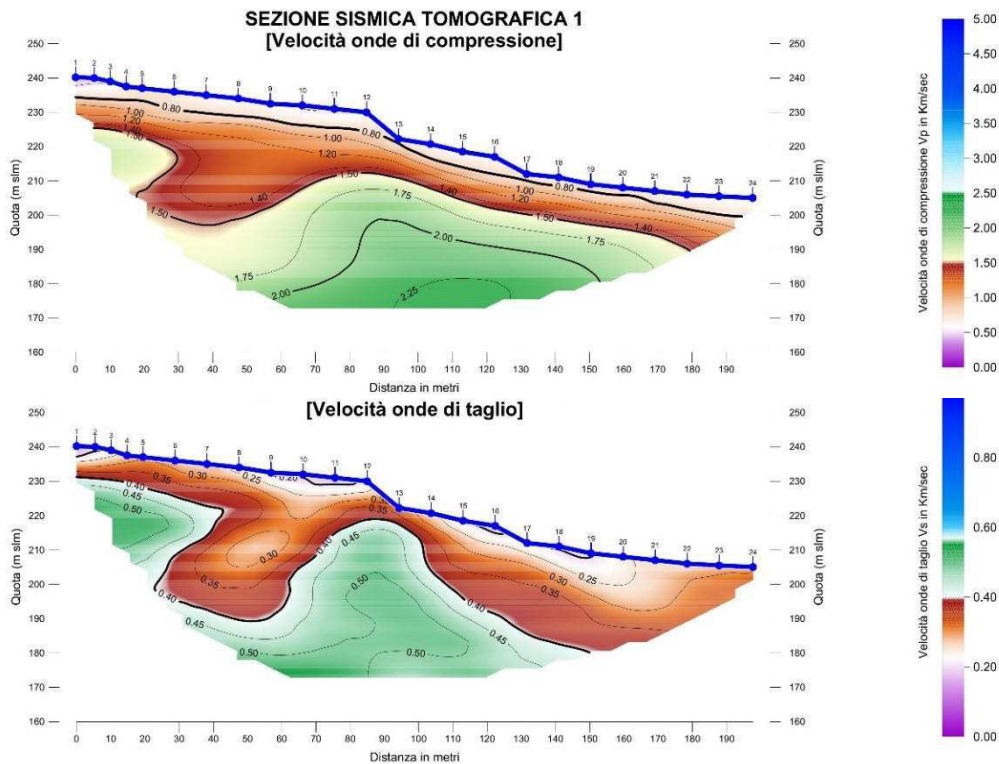


Figura 20. Sezioni sismiche 1 (onde P e onde S) in corrispondenza dell'imbocco della Finestra (da [4.1])

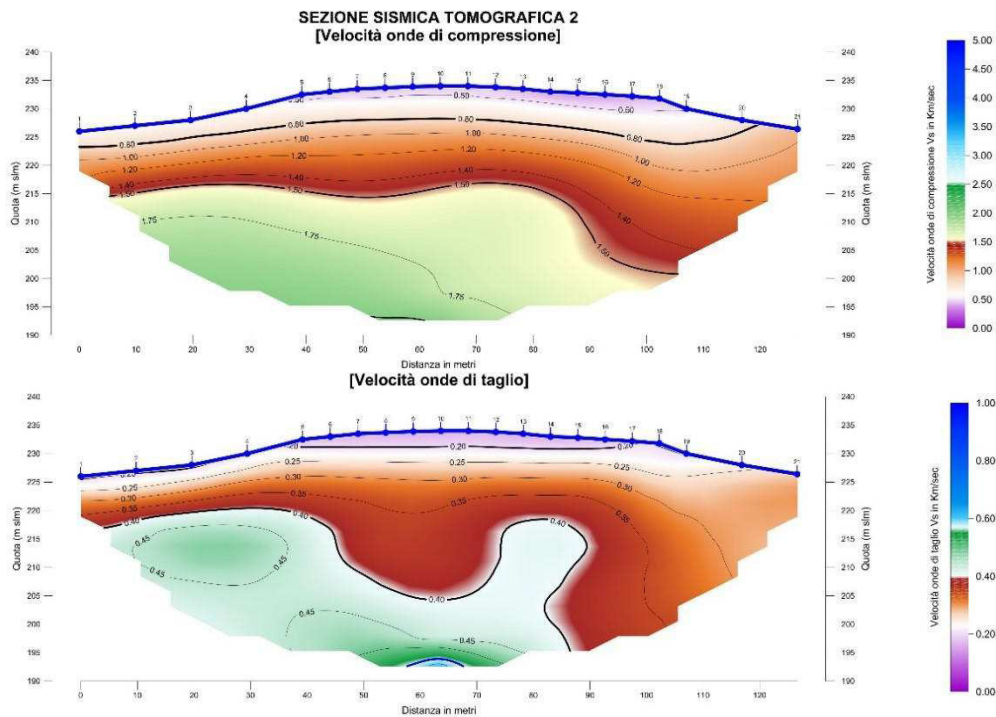


Figura 21. Sezioni sismiche 2 (onde P e onde S) in corrispondenza dell'imbocco della Finestra (da [4.1])

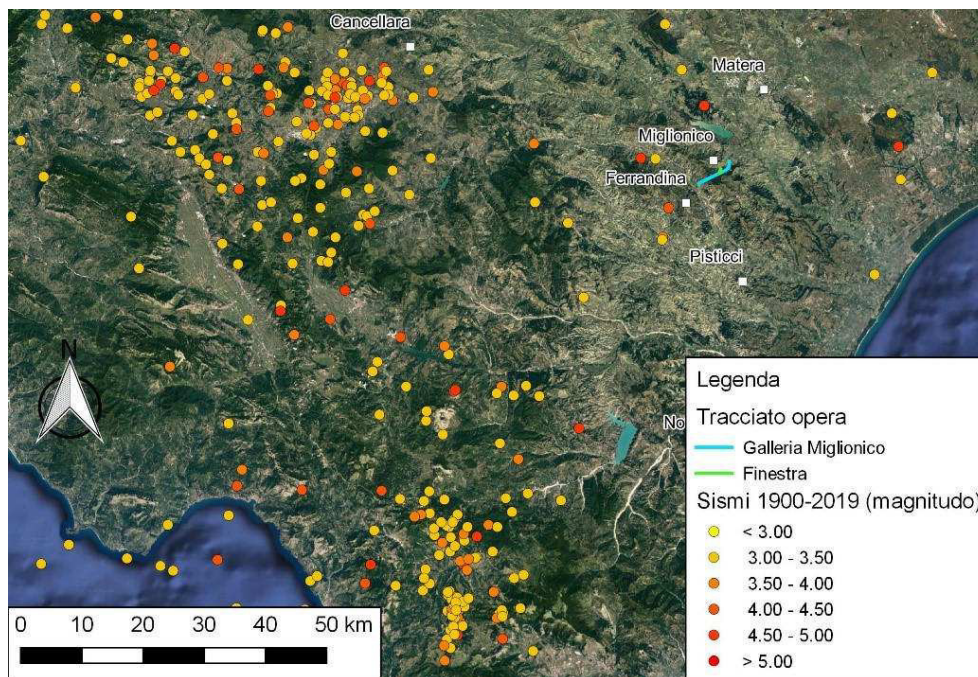


Figura 22. Distribuzione dei sismi nella zona prossima all'area in esame (dati desunti da INGV; Rovida et al., 2016)

6. Studi, ricerche ed indagini sulla possibilità o meno che durante i lavori di scavo della Finestra si determinino afflussi di metano nel cantiere sotterraneo

L'ipotesi che i lavori per la realizzazione della Finestra possano favorire irruzione di metano nel cantiere sotterraneo deve essere considerata come tema imprescindibile della progettazione definitiva, curato dal Tecnico Specialista (NIR 28) che deve sviluppare valutando il livello di attendibilità sulla base di documentati e dettagliati studi, ricerche ed indagini specialistiche, informazioni bibliografiche, storiche (storicità delle manifestazioni spontanee d'idrocarburi, ecc.), industriali (produzioni di idrocarburi nell'area in esame), studi teorici ed indagini sperimentali di superficie e profonde (sondaggi, pozzi, ecc.).

Per il Progetto Definitivo della Finestra, sono stati considerati i documenti ufficiali per la concessione di titoli minerari, a cura del Ministero per lo Sviluppo Economico (MiSE), per la ricerca e l'estrazione di idrocarburi in terraferma, le stratigrafie dei pozzi esplorativi e produttivi di idrocarburi (liquidi e gassosi) e le informazioni su manifestazioni gassose in superficie, in prossimità dell'area di intervento, nonché le informazioni raccolte prima dell'avvio della costruzione della Galleria (1984), durante i lavori di scavo della Galleria (1993 – 1996) e successivamente alla costruzione, nel corso dei sopralluoghi e durante le attività di monitoraggio in Galleria propedeutiche agli interventi di messa in sicurezza (1999 – 2000 e 2004 – 2005).

6.1. Il metano nelle aree limitrofe alla Finestra

6.1.1. Manifestazioni di metano in superficie

In Lucania sono numerose le manifestazioni in superficie di idrocarburi liquidi e gassosi documentate nel tempo, tra le quali si possono menzionare quelle famose della Val d'Agri (ad esempio, sorgente Tramutola).

Limitando l'attenzione alla Fossa Bradanica, il metano è stato riscontrato in alcune sorgenti d'acque sulfuree (Tito, Calvello, pozzo Acqua Bianca, Figura 23), in provincia di Potenza, a circa 50 km in linea d'aria dalla Galleria (progetto "INGV-DPCV5: catalogo delle emissioni gassose italiane").

Nella Relazione Geologica del Progetto Esecutivo del 1985 (elaborato [1.3]), il Prof. Cotecchia documenta un gorgogliamento di gas in un pozzo per ricerche d'acqua, profondo 50 m, a circa 40 km in linea d'aria dalla Galleria (stazione di Nova Siri). Nel pozzo sono state misurate concentrazioni di metano pari al 93%. In prossimità del torrente Alessio, circa 2 km ad est di Nova Siri, in una vasca di raccolta d'acqua sorgiva, sono state registrate concentrazioni di metano pari all'85,5%.

Nell'inventario nazionale "Acque Dolci Sotterranee" dei pozzi d'acqua (Agip, 1994), l'ENI segnala la presenza di metano a partire da 300 m s.p.c. in un pozzo (Pisticci 028 dir), profondo 500 m, nel Comune di Ferrandina, a circa 15 km in linea d'aria dalla Galleria (Figura 23).

La letteratura (Lazzari & Losasso, 2010; Canora et al., 2012) cita l'esistenza di un vulcanello di fango che emette gas (tra cui metano) nel Comune di Cancellara (PZ), località Bufete.

I vulcanelli di fango sono tipici di terreni argillosi caratterizzati dalla presenza di una rete sotterranea di fratture profonde, generalmente di natura tettonica, che veicolano fluidi, che possono arricchirsi nel loro percorso di sali e di gas (Canora et al. 2012). Canora et al. (2012) documentano altri tre vulcanelli (Figura 23) nelle Argille Subappennine, in prossimità del confine apulo-lucano, uno dei quali (V1) si trova nel territorio del Comune di Gravina (Puglia), un secondo (V2) è nella località Timmari (Matera), a circa 5 km dal primo, ed un terzo (V3) è nel comune di Ferrandina, manifestatosi all'interno di una galleria ferroviaria sulla vecchia linea Ferrandina – Matera risalente agli anni trenta del XX secolo ma ormai da tempo dismessa. Nel vulcanello V3, distante solo poche centinaia di metri dalla Galleria (Figura 24), il fango fuoriesce con abbondante acqua. Non si ha notizia del fenomeno nei tempi in cui la galleria era ancora in esercizio.

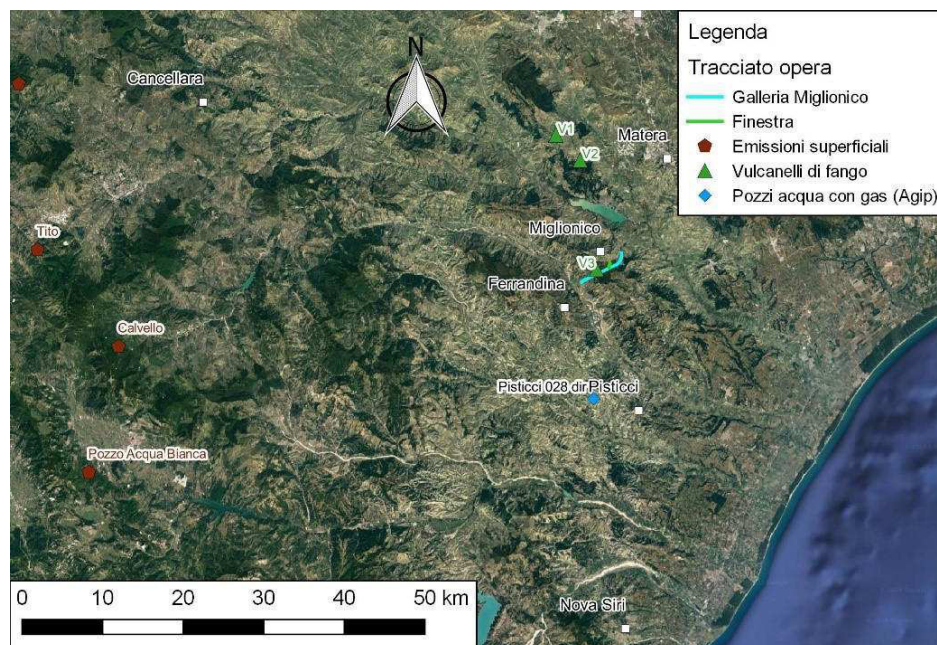


Figura 23. Manifestazioni gassose superficiali in prossimità dell'area di interesse (fonte: progetto "INGV-DPCV5: catalogo delle emissioni gassose italiane"). In figura è rappresentata anche l'ubicazione dei tre vulcanelli di fango citati in letteratura (Canora et al., 2012) e del pozzo "Pisticci 028 dir" (Agip, 1994)

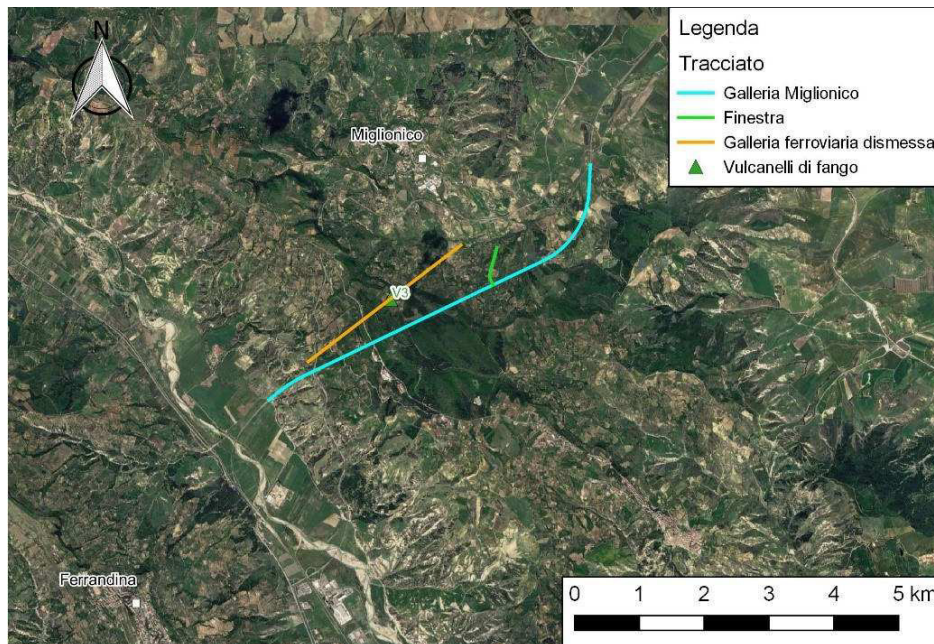


Figura 24. Ubicazione della galleria lungo la tratta ferroviaria dismessa Ferrandina – Matera (a poche centinaia di metri in linea d'aria dalla Galleria Miglionico), all'interno della quale si è osservato il vulcanello di fango V3

6.1.2. Concessioni di ricerca e coltivazione di giacimenti di idrocarburi

Il tracciato della Finestra ricade in un'area caratterizzata dalla presenza di giacimenti di petrolio e metano naturale, alcuni produttivi (Figura 25). Tra l'altro, la regione Basilicata produce da sola la quasi totalità del gas italiano estratto in terraferma; nel 2017 (ultimo dato di produzione annua pubblicato dal MiSE) nel territorio lucano sono stati prodotti 1,32 miliardi di Sm³ di gas a fronte di una produzione nazionale complessiva in terraferma di 1,90 miliardi di Sm³ (DGS-UNMIG, 2018).

I dati del MiSE indicano che attualmente (aggiornamento al 31 marzo 2019) nelle province di Matera e Potenza sono presenti 51 pozzi produttivi (4 dei quali eroganti gas, Figura 26) nelle seguenti 13 concessioni di coltivazione, disposte approssimativamente lungo una direttrice NW-SE (asse della Fossa) (Figura 25):

- Masseria Viorano (Pengas Italiana) di ~ 42 km²;
- Calciano (ENI), di ~ 65 km²;
- Masseria Monaco (Edison E&P – ENI), di ~ 36 km²;
- Garaguso (Edison E&P – Gas Plus) di ~ 70 km²;
- Tempa Rossa (ENI – Edison E&P), di ~ 69 km²;
- Fonte San Damiano (Apennine Energy), di ~ 24 km²;
- Monte Morrone (Gas Plus Italiana) di ~ 30 km², situata tra Pomarico, Pisticci scalo e Pisticci;
- Serra Pizzuta (ENI), di ~ 63 km²;
- San Teodoro (Canoel Italia), di ~ 59 km²;
- Il Salice (Gas Plus Italiana), di ~ 47 km²;
- Scanzano (Rockhopper Italia), di ~ 71 km²;
- Recoleta (Gas Plus Italiana) di ~ 45 km², ricadente nei territori compresi tra Montalbano Jonico e Scanzano Jonico;
- Policoro (Gas Plus Italiana) di 164 km².

Inoltre, si estrae gas anche nelle due concessioni di coltivazione ad olio di:

- Gorgoglione (Total E&P Italia – Shell E&P Italia – Mitsui E&P Italia B) di ~ 291 km²;
- Val d'Agri (ENI – Shell Italia E&P) di ~ 660 km².

Le 13 concessioni ed i 4 pozzi che erogano gas naturale (Figura 26) nei campi Accettura (Accettura 004), Gioia (Gioia 001), Pisticci-San Cataldo (Pisticci 039) e Varisana (Varisana 002) si collocano nella Fossa (Figura 27) e sono caratterizzati da un sottosuolo analogo a quello della Finestra. Il pozzo erogante gas più prossimo al tracciato (Varisana 002, Figura 26), perforato nelle Argille Subappennine, si trova ad una distanza, in linea d'aria, di soli 12 km dalla Galleria Miglionico.

Le esplorazioni della Fossa, in prevalenza a cura dell'AGIP, hanno avuto inizio negli anni precedenti la seconda guerra mondiale, con la perforazione dei pozzi Genzano 1, 2 e 3 (in provincia di Matera), e si sono intensificate verso la fine degli anni '50, in concomitanza con la promulgazione della Legge n. 6 del 11 gennaio 1957 ("Ricerca e coltivazione degli idrocarburi liquidi e gassosi"). Al 1959 risale la scoperta dei campi produttivi a gas di Pomarico e di Grottole-Ferrandina (corrispondente grossomodo all'attuale concessione di stoccaggio gas di "Cugno Le Macine", area verde in Figura 25), a pochi km dalla Finestra. Il primo rinvenimento di un giacimento ad olio e gas insieme è del 1960 (pozzo Pisticci 001). Il gas, in questo caso, è risultato localizzato nelle intercalazioni permeabili sabbiose della serie argillosa pliocenico-pleistocenica ed alla sommità del substrato calcareo dove, al di sotto del gas, sono presenti le mineralizzazioni ad olio.

Le esplorazioni di quegli anni hanno consentito di definire veri e propri giacimenti idonei per una coltivazione. Molti pozzi non hanno individuato grandi giacimenti, ma hanno dato ugualmente gas. A titolo di esempio, a fine 1988 dei 74 campi scoperti nella Fossa ben 46, per le esigue dimensioni, erano interessati da un solo pozzo (Sella et al., 1988).

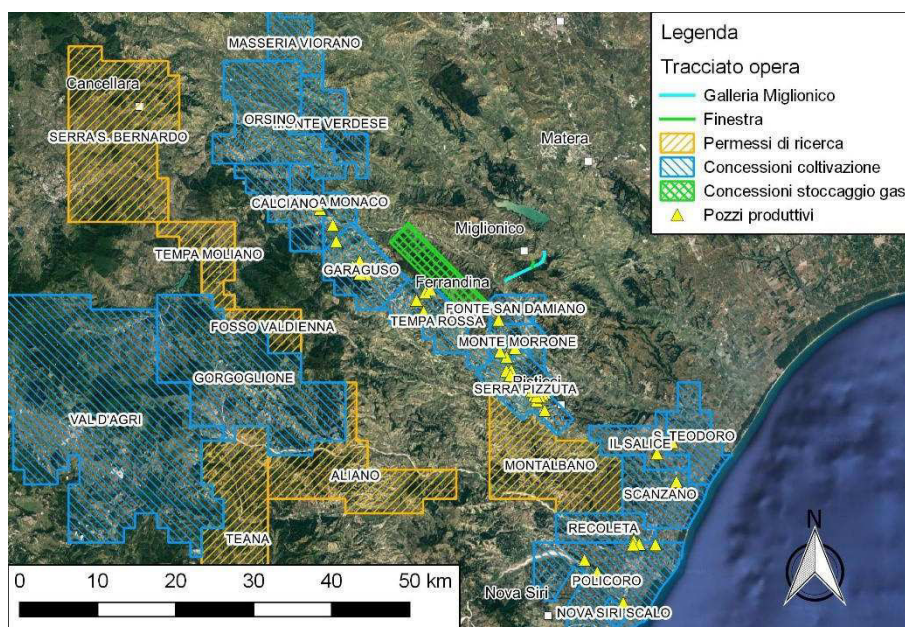


Figura 25. Tracciato della Galleria e della Finestra sovrapposto ai titoli minerari (permessi di ricerca, concessioni per la coltivazione e lo stoccaggio di idrocarburi liquidi e gassosi) vigenti al 31 marzo 2019. Con triangoli gialli sono indicati anche i pozzi produttivi, ovvero perforati con esito positivo, al 28 febbraio 2019 (dati UNMIG)

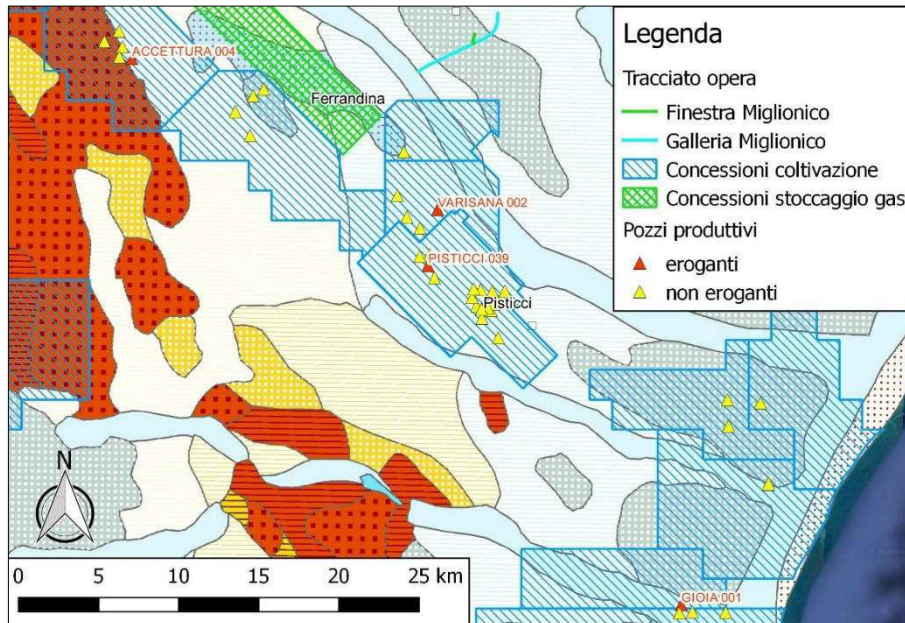


Figura 26. Particolare di Figura 25: dettaglio sui pozzi produttivi (eroganti e non eroganti gas) in prossimità della Finestra. I quattro pozzi che attualmente erogano gas naturale sono stati perforati nei depositi argillosi della Fossa Bradanica

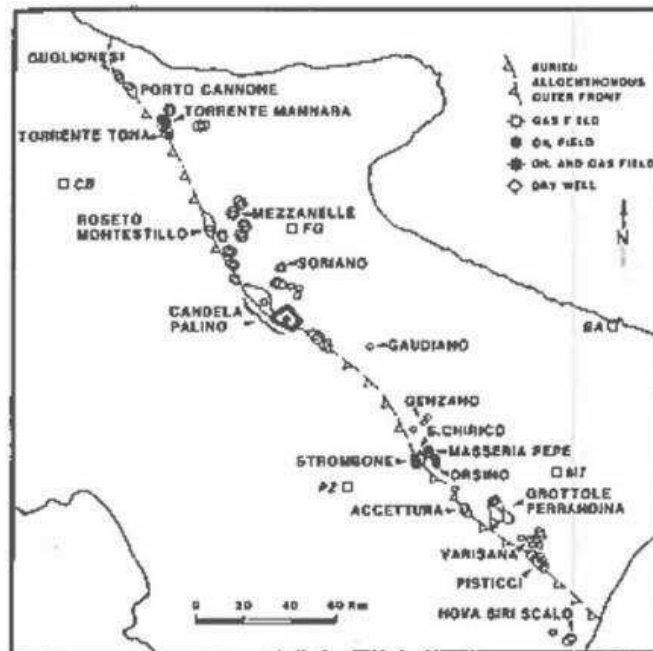


Figura 27. Campi a gas e ad olio della Fossa Bradanica (da Sella et al., 1988)

Nelle aree immediatamente circostanti il tracciato della Finestra nel corso degli anni sono stati perforati complessivamente 271 pozzi (Figura 28), che hanno raggiunto profondità variabili tra 200 m e 4200 m. Alcuni hanno erogato gas per un certo periodo mentre in altri, pur essendo sterili dal punto di vista industriale, si è rilevata presenza di metano in tracce ed, in taluni casi, si sono avute

emissioni non trascurabili (Figura 29). Molte mineralizzazioni a gas della zona sono ubicate a profondità ridotte e di conseguenza le pressioni di erogazione sono risultate molto basse tali da non giustificare lo sfruttamento.

La stratigrafia dei pozzi indica che le mineralizzazioni sono localizzate alla sommità del substrato carbonatico del Cretaceo e/o all'interno della successione plio-pleistocenica, materiale terrigeno di riempimento della Fossa (Figura 30 e Figura 31). In alcuni pozzi si sono rilevate tracce di gas anche in corrispondenza del complesso alloctono (Figura 31).

Nei pozzi che hanno erogato gas (Figura 30) si è avuta produzione a partire da una quota di circa 123 m sotto il livello del mare (pozzo Ferrandina 009, a 2,5 km in linea d'aria dalla Galleria) con uno spessore del livello produttivo che talora, specialmente nel caso di metano contenuto nel substrato calcareo del Cretaceo, ha superato anche i 60 m. In certi casi (come, ad esempio, nel pozzo Rotondella 003) è stato estratto in grande quantità anche gas dai livelli sabbiosi delle argille calabriane (Pleistocene).

In generale, in tutti i pozzi in cui si è rilevata presenza di metano (Figura 31) le manifestazioni si sono avute già a partire da una quota di 100 m s.l.m. Si può notare (Figura 32) che a pochi km di distanza in linea d'aria dalla Finestra si è riscontrato gas anche a quote superiori al livello del mare, prevalentemente all'interno di lenti sabbiose nelle Argille Subappennine. Ad esempio, nel pozzo Cretagna 001, a 7 km di distanza dall'imbocco Ferrandina della Galleria, si sono misurati, con "gas detector", valori non nulli di concentrazione di metano già a 176 m s.l.m. Inoltre, nel pozzo Grottole 005, grossomodo alla stessa distanza dal tracciato ma in direzione NW, si è rilevato metano nei depositi plio-pleistocenici già a partire da una profondità di 100 m s.p.c., ovvero ad una quota di 11,3 m s.l.m. Si ricorda che la quota in calotta della Finestra, dal progetto, è compresa tra 158 m s.l.m. (innesto con la Galleria) e 220 m s.l.m. (imbocco) (Tabella 4). Pertanto, nei pozzi limitrofi si è rilevata presenza di gas anche alle quote della Finestra.

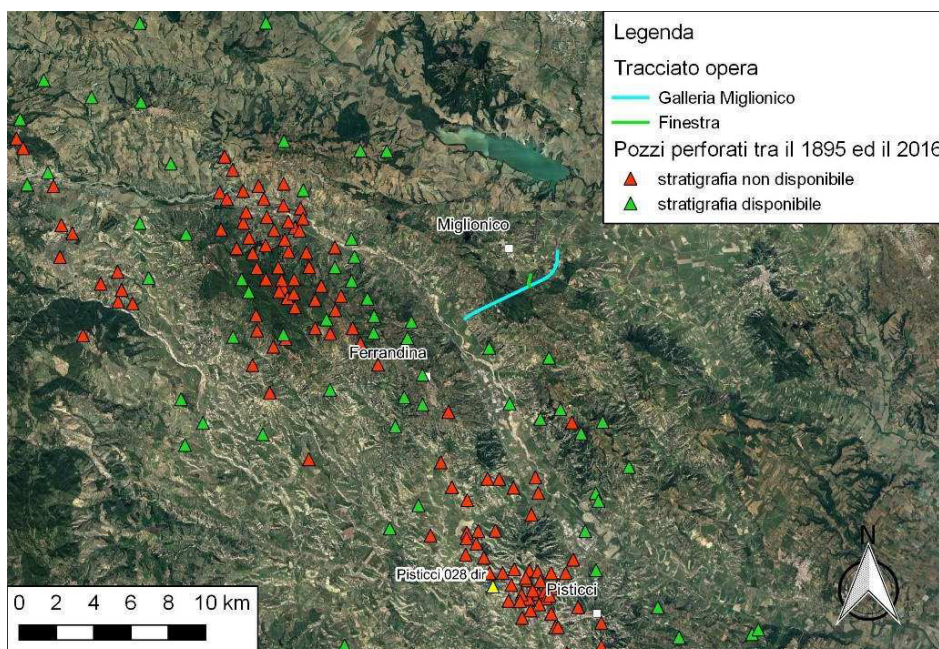


Figura 28. Tracciato della Galleria e della Finestra sovrapposto ai pozzi perforati tra il 1895 ed il 2016 (progetto VIDEPI, UNMIG). I pozzi sono contrassegnati con triangoli di colore verde (stratigrafia disponibile) e rosso (stratigrafia non disponibile)

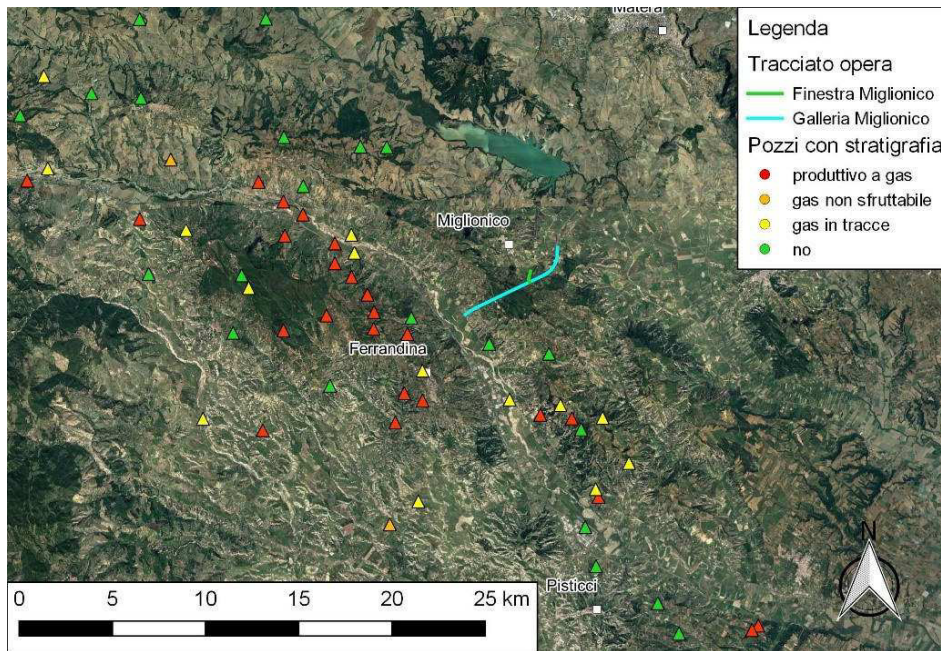


Figura 29. Pozzi perforati tra il 1895 ed il 2016 (progetto VIDEPI, UNMIG) dei quali è disponibile la stratigrafia, contrassegnati con cerchi di colori diversi in funzione dell'esito: pozzo produttivo a gas (triangoli rossi), presenza di gas non sfruttabile (triangoli arancioni) o di gas in tracce (triangoli gialli) ed assenza di gas (triangoli verdi)

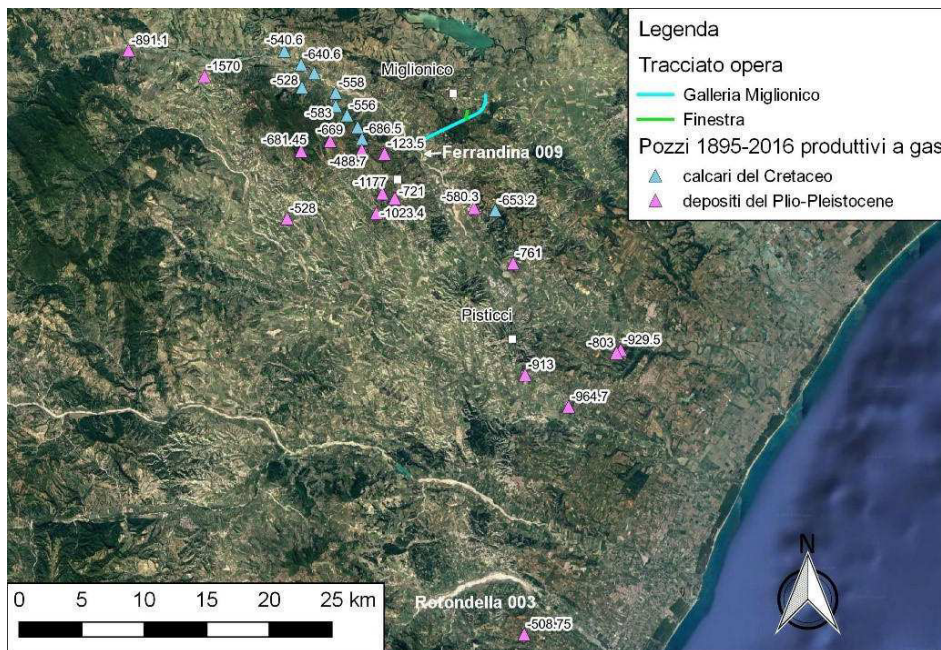


Figura 30. Pozzi perforati tra il 1895 ed il 2016 (progetto VIDEPI, UNMIG) che hanno erogato gas, distinti in funzione della roccia serbatoio: calcari fratturati del Cretaceo (triangoli azzurri) e depositi del Plio-Pleistocene (triangoli magenta). A fianco di ciascun pozzo è indicata la quota, in m s.l.m., del tetto del livello produttivo

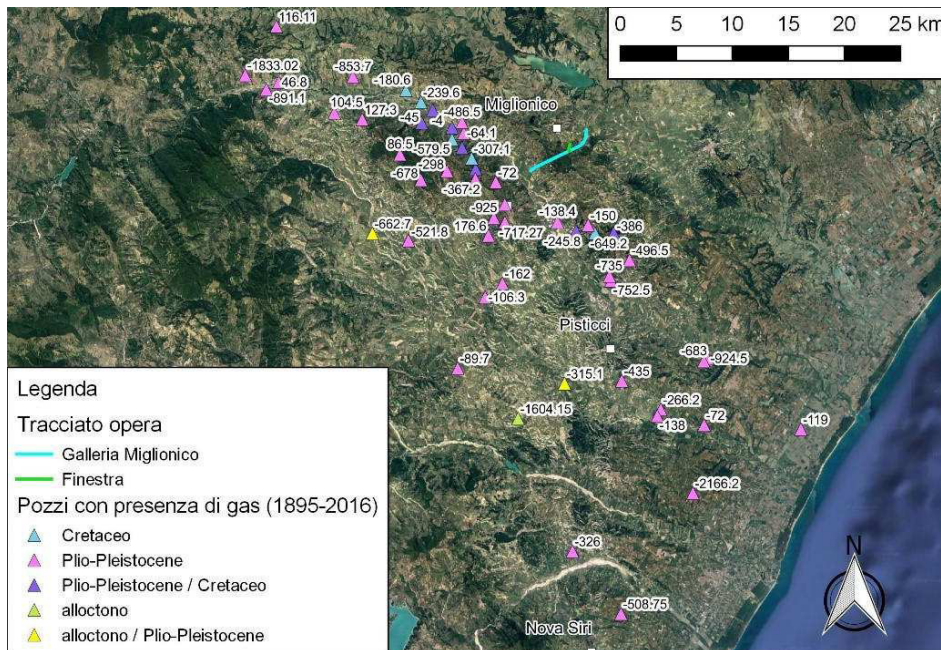


Figura 31. Pozzi perforati tra il 1895 ed il 2016 (progetto VIDEPI, UNMIG) in cui è stata rilevata presenza di gas (pozzi produttivi a gas o con presenza di gas non sfruttabile od in tracce) suddivisi in base alla formazione in cui è stato rilevato metano. A fianco di ogni pozzo è indicata la quota in m.s.l.m. in cui si sono registrate, durante la perforazione dei pozzi, le prime emissioni di metano

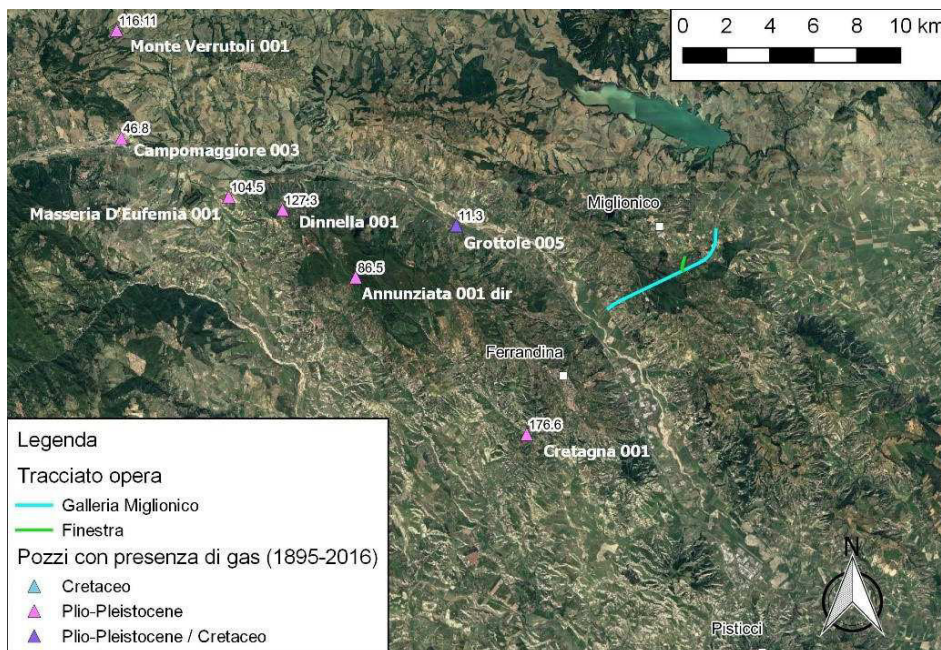


Figura 32. Ingrandimento di Figura 31 con dettaglio dei pozzi in cui si è rilevato metano anche a quote superiori al livello del mare. I pozzi si trovano a pochi km, in linea d'aria, dalla Galleria

Dal punto di vista giacimentologico, le trappole della Fossa Bradanica sono di varie tipologie. In alcuni casi (ad esempio, a Pisticci) diversi tipi di trappola sono presenti nello stesso campo. Ad

esempio, il pozzo Pisticci 002 ha rilevato la presenza di “gas cap” nei calcari sovrastante l'intervallo mineralizzato ad olio e la mineralizzazione a gas di alcuni livelli sabbiosi del Pliocene-Pleistocene.

Nel substrato carbonatico le trappole sono tutte strutturali (alti strutturali, Horst o strutture a gradini, Figura 33). L'olio ed il gas, in questo caso, sono accumulati in serbatoi fratturati che producono da poche fratture principali con permeabilità media molto bassa. Sono presenti solamente due campi economicamente importanti: Pisticci (ad olio) e Grottole-Ferrandina (a gas).

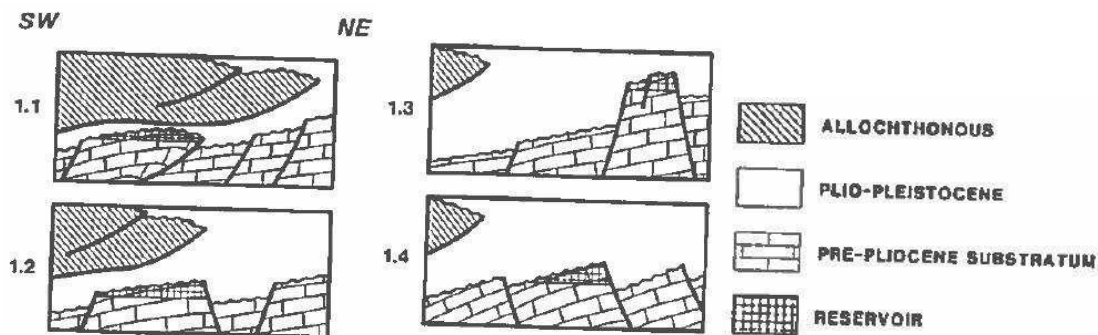


Figura 33. Modelli di trappole strutturali nel substrato carbonatico del Cretaceo: 1.1) piega con faglia inversa sotto l'Alloctono; 1.2) Horst del substrato sotto il fronte dell'Alloctono; 1.3) Horst del substrato nell'area orientale della Fossa Bradanica; 1.4) struttura a gradini nell'area centrale della Fossa (da Sella et al., 1988)

Le trappole dei sedimenti pliocenico – pleistocenici che contengono idrocarburi possono essere dei seguenti tipi:

- strutturale “anticlinale”;
- stratigrafico (lenti);
- misto (strati sabbiosi in monoclinale chiusi verso l'alto da barriere impermeabili).

Nella serie pliocenica le trappole sono sia strutturali che miste (Figura 34). Nell'ambito di questa serie si sono avuti i risultati economicamente più interessanti ed i campi con accumuli maggiori sono caratterizzati da trappole di tipo strutturale.

I giacimenti di gas della serie pleistocenica sono tutti localizzati a profondità molto scarse, 500 ÷ 600 m s.l.m., raramente più profondi. Caratteristica del metano accumulato in questi serbatoi è, pertanto, la scarsa pressione in erogazione. Prevalgono, in questo caso, le trappole stratigrafiche o miste, costituite prevalentemente dai livelli sabbiosi delle sequenze torbidity (Figura 35).

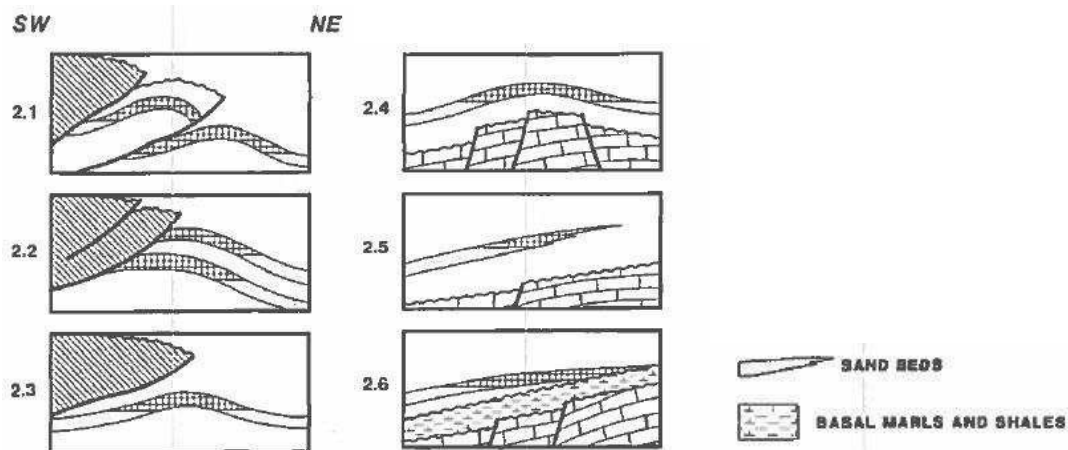


Figura 34. Modelli di trappole nei depositi del Pliocene: 2.1) pieghe in scaglie tettoniche plioceniche antistanti l'Alloctono e livelli sabbiosi troncati dalla superficie di sovrascorrimento (trappola strutturale); 2.2) livelli di sabbia troncati dal fronte dell'Alloctono (trappola strutturale); 2.3) blande pieghe legate alla messa in posto dell'Alloctono (trappola strutturale); 2.4) "draping" su alti del substrato carbonatico (trappola strutturale); 2.5) argillificazione di livelli sabbiosi (trappola stratigrafica); 2.6) livelli sabbiosi basali del Pliocene medio chiusi contro la serie argilloso-marnosa di base sovrastante il substrato calcareo (trappola stratigrafica presente nel bordo orientale della Fossa) (da Sella et al., 1988)

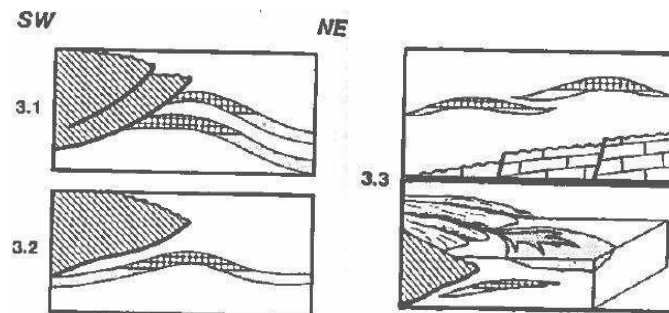


Figura 35. Modelli di trappole nei depositi del Pleistocene: 3.1) livelli di sabbia troncati dal fronte dell'Alloctono (trappola strutturale); 3.2) "draping" su alti del substrato pre-pliocenico (trappola strutturale); 3.3) lobi torbidity (trappola stratigrafica) (da Sella et al., 1988)

Nel campo produttivo di Grottole-Ferrandina (area verde in Figura 25), a pochi km di distanza dal tracciato, le trappole di tipo strutturale sono costituite da (Figura 36 e Figura 37):

- gli Horst del substrato carbonatico (1 in Figura 36);
- le lenti sabbiose nei depositi plio-pleistocenici (2 in Figura 36).

Il campo di Grottole-Ferrandina ha i principali serbatoi proprio nella serie plio-pleistocenica e più precisamente nella Formazione delle Argille Subappennine. Tale formazione ha contemporaneamente contribuito alla genesi degli idrocarburi gassosi ed alla copertura dei serbatoi, costituiti dai potenti corpi sabbiosi torbidity a limitato sviluppo areale presenti nella zona; inoltre la storia tettonica che questa serie ha subito ha consentito la formazione di ottime trappole minerarie. I livelli sabbiosi sono generalmente caratterizzati da granulometrie variabili con una generale tendenza all'argillificazione verso Est, tenuto conto che le zone di apporto dei sedimenti erano ubicate ad occidente (Catena Appenninica, cfr. capitolo 5).

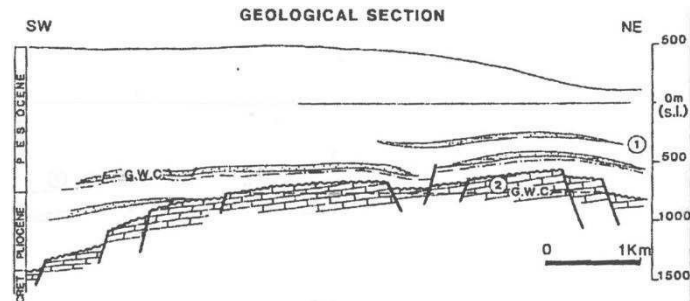
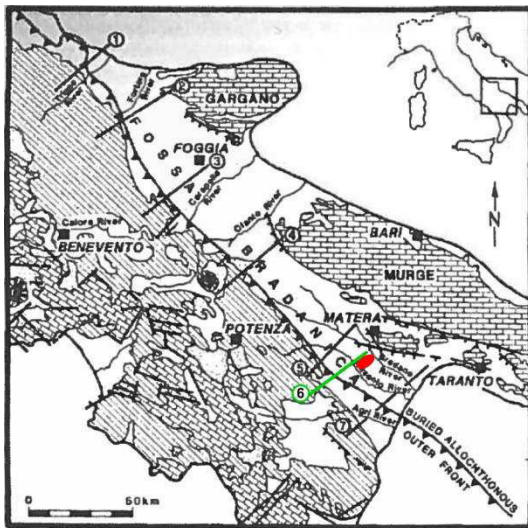


Figura 36. Sezione geo-strutturale della Fossa Bradanica (a destra) in corrispondenza del campo Grottole-Ferrandina, a pochi km di distanza dal tracciato della Finestra. La traccia della sezione è riportata, con linea verde, nella carta geologica schematica di sinistra, dove è contrassegnata anche l'ubicazione della Galleria (ellisse rossa) (da Sella et al., 1988)

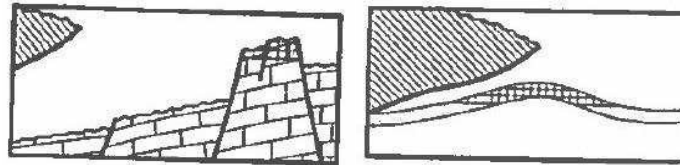


Figura 37. Dettaglio sulle trappole strutturali nel substrato carbonatico (a sinistra) e nei livelli sabbiosi del Plio-Pleistocene (a destra) nel campo di Grottole-Ferrandina (da Sella et al., 1988)

Considerate:

- le caratteristiche dei giacimenti presenti nell'area di interesse;
- le evidenze desunte dai sondaggi effettuati lungo il tracciato della Finestra e della Galleria, ovvero la presenza nelle argille interessate dal tracciato di:
 - livelletti permeabili, prevalentemente sabbiosi;
 - numerose fessure e superfici di taglio di natura tettonica,

conseguentemente, è possibile che durante i lavori di scavo della Finestra si verificino afflussi di metano verso il cantiere sotterraneo per:

- attraversamento di strati permeabili (lenti sabbiose) all'interno dell'impermeabile (Argille Subappennine);
- risalita dal profondo (substrato carbonatico fratturato) attraverso le faglie e le discontinuità strutturali.

6.2. Misure e controlli di concentrazione di metano lungo il tracciato dell'opera

Nei paragrafi seguenti si riassumono i risultati delle indagini effettuate per la ricerca del metano nel corso degli anni:

- a piano campagna, a boccaforo di sondaggi geognostici eseguiti lungo il tracciato della Galleria (1984 e 2005) e della Finestra (2019);
- all'interno della Galleria:
 - a boccaforo dei fori di consolidamento al fronte durante i lavori di scavo (1993 – 1996);
 - durante le attività di monitoraggio (1999 – 2000 e 2004 – 2005), propedeutiche agli interventi di ripristino della Galleria.

6.2.1. Rilievi di metano a piano campagna

Tra giugno 1985 e marzo 1987 è stata misurata la concentrazione di metano, con esplosimetro manuale, a boccaforo dei sondaggi geognostici del 1984 eseguiti lungo il tracciato della Galleria (cfr. paragrafo 5.1). Una volta completata la perforazione, ciascun foro è stato sigillato a testa pozzo per poter verificare periodicamente l'eventuale accumulo di metano (cfr. elaborato [4.9]).

Va detto che:

- questi sondaggi, realizzati esclusivamente per finalità geognostiche, non sono stati eseguiti con accorgimenti tecnici e procedure di realizzazione tipicamente idonee per la ricerca di metano;
- l'eventualità che il ridotto volume perforato da ciascuno dei sondaggi, a carotaggio od a distruzione di nucleo, possa intercettare indizi della presenza di metano deve essere considerata, quanto meno, del tutto casuale rispetto a quanto potrebbe emergere durante l'avanzamento del fronte di scavo della Galleria;
- il monitoraggio di ciascuno dei fori è limitato a poche giornate e generalmente è stata effettuata un'unica acquisizione al giorno. Pertanto, non si possono fare considerazioni sulla durata delle emissioni. Solo in alcuni sondaggi (ottava colonna in Tabella 8) le misure sono state eseguite più volte nell'arco della stessa giornata. In due fori (MG1 e MG2) i rilievi sono stati ripetuti anche a distanza di tempo (1999);
- in molti casi, prima di effettuare le misure, i fori non risultavano perfettamente sigillati (cfr. elaborati [4.8]). Nella "Relazione conclusiva sulle indagini espletate sui rinvenimenti di gas durante l'esecuzione della Galleria Miglionico" del Prof. Cotecchia (elaborato [4.9]) si legge: *"molto spesso si è verificato che ignoti vandali hanno asportato o danneggiato gli equipaggiamenti di protezione, non consentendo in tal modo l'accumularsi del gas"*.

Conseguentemente, i valori misurati permettono di esprimere solamente valutazioni qualitative in merito alla presenza di metano, in quanto le modalità di indagine adottate non consentono di caratterizzare quantitativamente i flussi di metano.

I rilievi indicano la presenza di metano in tutti i fori (Tabella 8), anche alla quota della Galleria (Figura 38), se si esclude il foro A19 in cui, però, è stata effettuata una sola misura.

In molti casi le concentrazioni sono state elevate (Figura 39), con i valori massimi nel primo tratto di Galleria, in prossimità dell'imbocco Ferrandina (sondaggi A7, A7bis, A7ter), ed in quello terminale, in corrispondenza della faglia del "Fosso Tre Valloni" (cfr. paragrafo 5.2) che intercetta la Galleria circa alla pk 8+014 (Figura 38).

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% in volume. 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 9). 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 9).

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. "L'analisi storica indica che si tratta di un sondaggio che, a partire da settembre 1985, ha emesso con continuità metano con concentrazioni elevate" (cfr. elaborato [4.7]).

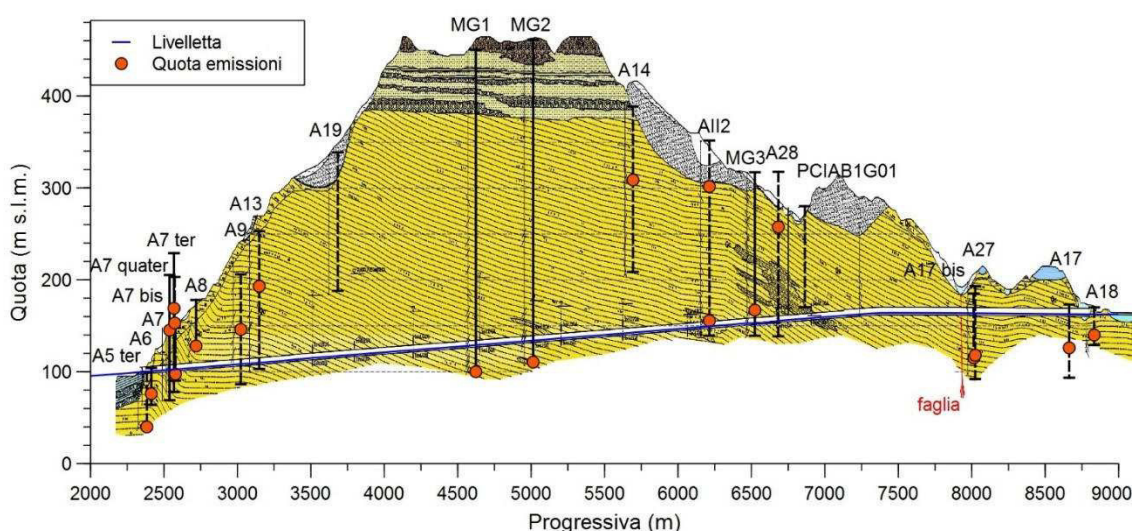


Figura 38. Emissioni di metano rilevate lungo il tracciato della Galleria

Tabella 8. Risultati delle misure di concentrazione di metano a boccaforo dei sondaggi geognostici lungo il tracciato della Galleria (1985 – 1987 e 2006) e della Finestra (2019) (dati desunti da [1.3], [2.3] e [4.6])

ID	Opera	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*	Gall.	100,0	62,5	SI	≤ 0,08	40,0	NO
A6*	Gall.	104,0	40,0	SI	≤ 2,0	76,0	SI
A7*	Gall.	147,5	50,0	SI	0,1 ÷ 57	97,5	SI
A7bis*	Gall.	205,2	136,2	SI	≤ 1,0	145,2	SI
A7ter*	Gall.	229,0	151,0	SI	0,05 ÷ 17	169,0	SI
A7quater*	Gall.	203,0	112,8	SI	≤ 8,0	153,0	NO
A8*	Gall.	178,0	50,0	SI	≤ 2,0	128,0	NO
A9*	Gall.	206,0	120,5	SI	≤ 0,1	146,0	NO
A13*	Gall.	253,0	150,0	SI	≤ 1,0	193,0	NO

ID	Opera	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
A19*	Gall.	338,5	150,5	NO	\	\	NO
MG1*	Gall.	450,0	350,0	SI	≤ 0,05	100,0	NO
MG2*	Gall.	461,0	350,5	SI	≤ 0,05	110,5	NO
A14*	Gall.	388,6	180,0	SI	≤ 1,0	308,6	NO
AII2*	Gall. / Fin.	351,5	212,5	SI	≤ 0,05	155,5 / 301,5	NO
MG3*	Gall.	317,0	177,8	SI	≤ 0,05	167,0	NO
A28*	Gall.	317,5	179,0	SI	≤ 0,05	257,5	NO
A27*	Gall.	193,0	101,0	SI	10 ÷ 80	118,0	NO
A17bis*	Gall.	185,0	70,0	SI	2 ÷ 36	115,0	NO
A17*	Gall.	173,0	80,5	SI	5 ÷ 30	126,0	NO
A18*	Gall.	170,0	41,0	SI	≤ 56	140,0	NO
PCIAB1G01**	Gall.	280,1	110,0	NO	\	\	NO
S_Gall_PZ135**	Fin.	306,0	135,0	SI	≤ 1,7	175 / 201,8	SI

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

**Misure effettuate durante la perforazione dei sondaggi (campagne 2006 e 2019)

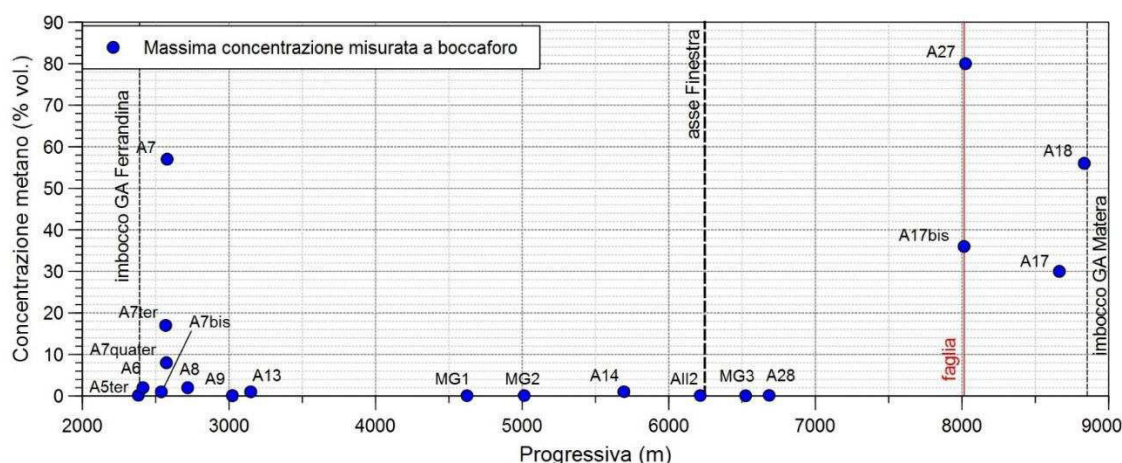


Figura 39. Valori massimi di concentrazione di metano (% in volume) misurati nei rilievi a boccaforo del 1985 – 1987 in funzione della progressiva del sondaggio

Tabella 9. 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 [4.8]).

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'

Rilievi in continuo di metano, a boccaforo, con strumentazione portatile sono stati effettuati anche durante la perforazione dei sondaggi PCIAB1G01 (2006) e S_Gall_PZ135 (2019) lungo il tracciato, rispettivamente, della Galleria e della Finestra. Nel secondo caso (Figura 40), alla fine di ogni giornata il boccaforo è stato sigillato con nastro adesivo allo scopo di rilevare, il mattino seguente, l'eventuale accumulo di metano (cfr. elaborato [4.5]).

Va considerato che, se non si fa ricorso a soluzioni specifiche, la perforazione può limitare o consentire solo parzialmente l'emissione del metano dall'ammasso intorno al foro. Le frazioni fini del cutting di perforazione possono ridurre la permeabilità delle pareti del foro per la formazione di uno strato pellicolare che ne ostruisce le discontinuità ed i pori ("skin effect", cfr. paragrafo 5.1.3). Inoltre, la presenza di acqua in foro può limitare od impedire la fuoriuscita e venuta a giorno del metano, nel caso di gas a bassa pressione. Come già messo in evidenza (cfr. capitolo 6.1.2), caratteristica dei serbatoi di metano naturali all'interno delle Argille Subappennine è spesso la scarsa pressione di erogazione.

Nel PCIAB1G01 si sono registrati valori di concentrazione di metano sempre nulli, mentre nel sondaggio S_Gall_PZ135 (Figura 40) le misure ripetute ad inizio giornata con foro tenuto sigillato tutta la notte prima della misura hanno fornito, a partire da una profondità di 104,2 m s.p.c., valori non nulli fino ad un massimo pari a 1,7% a 113 m s.p.c., ad indicare la presenza di metano liberatosi dall'ammasso all'intorno del sondaggio ed accumulatosi nel corso della notte nel foro.

In generale, non si può escludere la presenza di metano alla quota della Finestra, dato che si sono avute emissioni anche a tale quota (Figura 41).

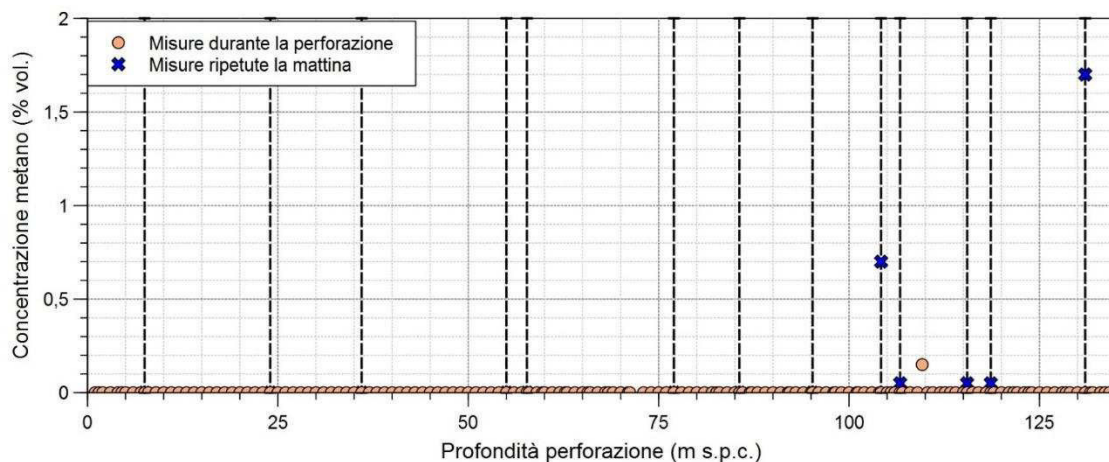


Figura 40. Rilievi di metano durante la perforazione del sondaggio S_Gall_PZ135: con linee tratteggiate verticali sono indicate le profondità in corrispondenza delle quali è stata ripetuta, a distanza di ore (dalla sera alla mattina), la misura dopo aver tenuto sigillato il foro per l'intera notte

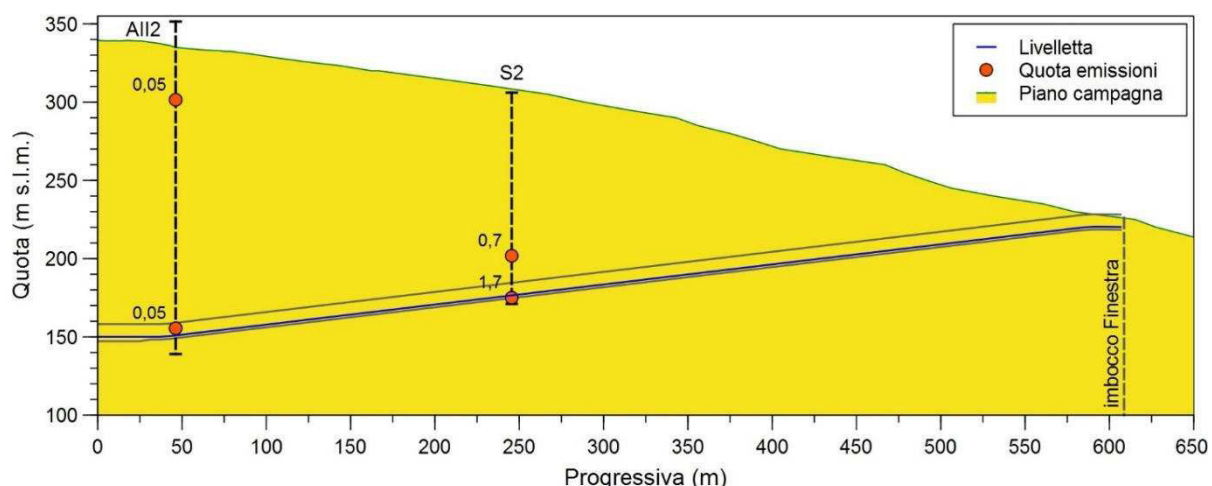


Figura 41. Emissioni di metano rilevate lungo il tracciato della Finestra (Il sondaggio S_Gall_PZ135 è indicato in figura come S2). I valori di concentrazione misurati sono espressi in % in volume

6.2.2. Rilievi di metano all'interno della Galleria

All'interno della Galleria sono stati effettuati nel corso degli anni rilievi di concentrazione di metano:

- durante i lavori di scavo, tra il 1993 ed il 1996;
- nel corso di diversi sopralluoghi (1999 – 2000 e 2004 – 2005), finalizzati all'esecuzione di indagini propedeutiche agli interventi di ripristino della Galleria.

Durante i lavori di scavo, considerando solo le misure leggibili, sono state monitorate complessivamente 271 sezioni della Galleria, tra la pk 3+275 e la pk 7+138 circa (Tabella 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 39) nei rilievi a boccaforo dei sondaggi del 1984.

In ciascuna sezione sono state eseguite un numero di misure di tenore generalmente inferiore alle 42 (Figura 42), una per ogni foro di consolidamento, inizialmente previste.

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%, anche in corrispondenza dell'innesto con la Finestra) (Figura 43).

In ciascun foro è stata eseguita un'unica misura e, pertanto, non si possono fare considerazioni sulla durata delle emissioni. Infine, i rilievi non sono stati accompagnati da stime sulle modalità di afflusso.

Tabella 10. Numero ed ubicazione delle sezioni monitorate durante lo scavo della Galleria (1993 – 1996)

Anno	Lato Ferrandina			Lato Matera		
	N° sezioni	Pk inizio (m)	Pk fine (m)	N° sezioni	Pk inizio (m)	Pk fine (m)
1993	11	3+275,11	3+351,70	9	7+013,00	7+137,70
1994	32	3+360,70	3+632,00	44	6+557,00	7+004,00
1995	31	3+649,00	4+132,00	44	5+890,50	6+538,00
1996	47	4+416,00	4+935,00	53	5+188,50	5+835,50

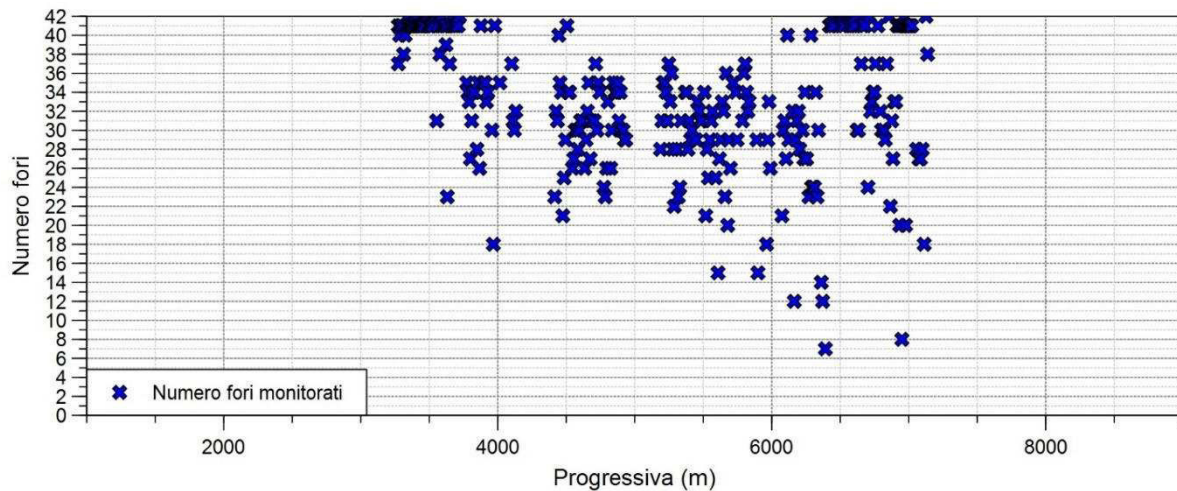


Figura 42. Rilievi di metano nei fori di consolidamento durante i lavori di scavo della Galleria (1993 – 1996): numero di fori monitorati

Nel 1999 – 2000 e nel 2004 – 2005 la Galleria 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).

Considerato lo stato generale e le difficoltà operative (il piano di calpestio era coperto da uno spesso e continuo strato di fango), i rilievi del 1999 – 2000 (non sistematici e discontinui) sono stati concentrati su un tratto lungo 400 m, compreso all'incirca tra le verticali dei sondaggi MG2 e MG3, che all'epoca si intendeva impermeabilizzare e risanare in via sperimentale (campo prove). Sono stati controllati più di 10 punti (accessibili in condizioni di sicurezza), uniformemente distribuiti lungo i 400 m circa di Galleria esaminati. Le misure sono state effettuate ad altezza d'uomo, in prossimità di alcune fratture nel rivestimento definitivo della Galleria, da cui fuoriusciva acqua.

Da tutti i punti controllati in Galleria l'acqua fuoriusciva accompagnata da metano che, nell'atmosfera prossima al punto di emissione, faceva registrare quantità superiori alla soglia di allarme dello strumento (0,5%). In molti casi il tenore ha superato, in atmosfera, il LIE (cfr. elaborato [4.7]).

I rilievi del 2004 – 2005 hanno interessato il tratto di Galleria compreso tra la pk 3+212 e la pk 7+363.

In molti casi si sono registrati valori non nulli di concentrazione (Figura 43 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.

Dal 31 gennaio al 4 febbraio 2005 sono state effettuati monitoraggi delle concentrazioni di metano anche in condizioni di ventilazione naturale attenuata tramite sbarramenti (non del tutto impermeabili all'aria), per valutare la rapidità con cui aumenta il tenore di metano in atmosfera quando è carente la ventilazione, eventualità prevista durante l'esercizio della Galleria, mantenendo il sistema di ventilazione naturale, nel caso di sosta del treno in Galleria (che rappresenta una resistenza concentrata al flusso dell'aria, di notevole valore).

Le misure in condizioni di ventilazione naturale impedita, seppure di limitata durata a causa di sovrapposizioni con i programmi di scavo dell'arco rovescio e di carenza di risorse in cantiere, hanno fornito, ciò nonostante, elementi di conoscenza di tipo qualitativo dell'influenza della ventilazione

sulla composizione dell'aria. In particolare, come era da attendersi, con ventilazione naturale ridotta o labile le concentrazioni di metano in aria tendono ad aumentare con sensibile rapidità (cfr. elaborato [2.1]).

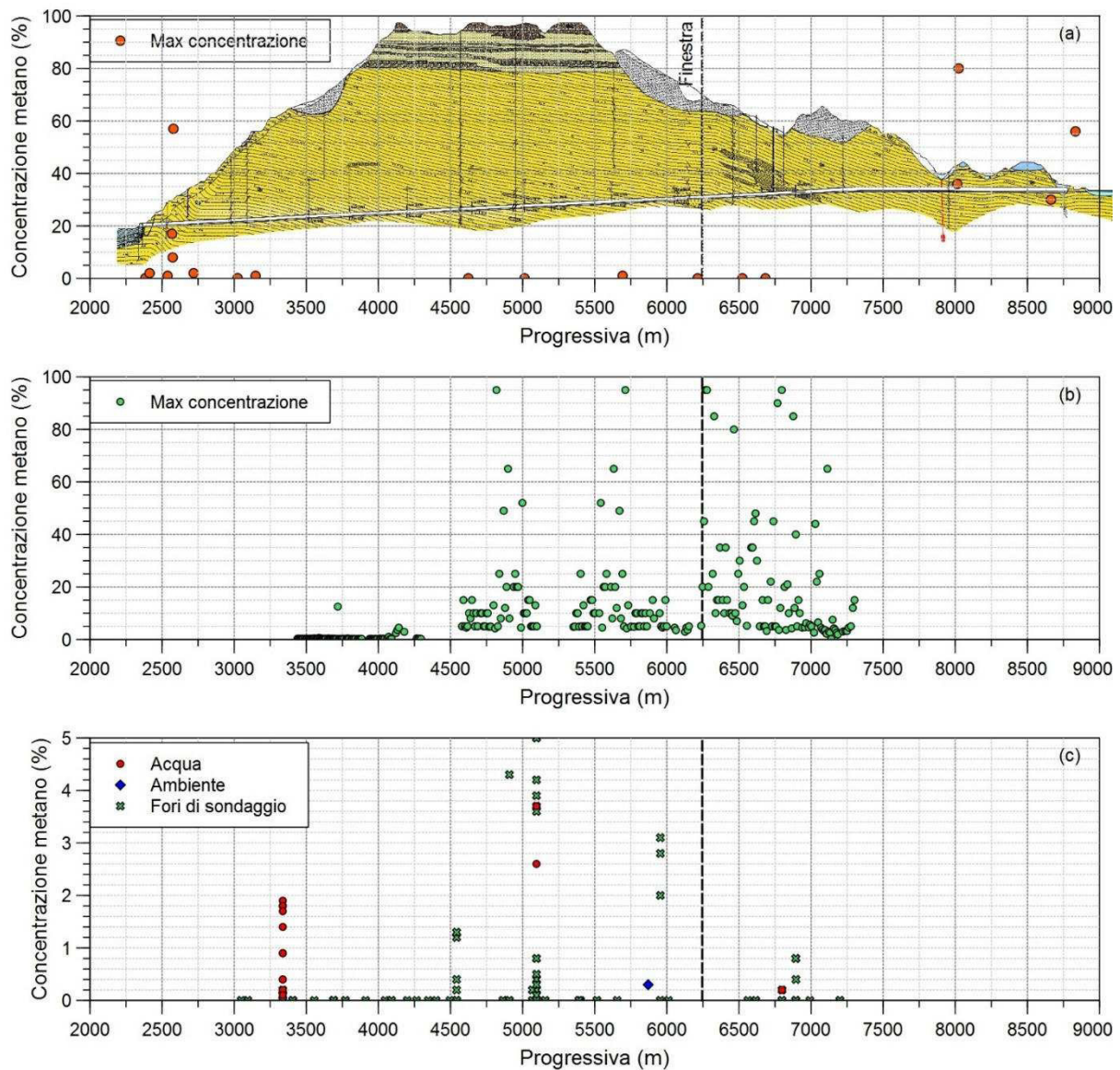


Figura 43. Confronto tra le concentrazioni volumetriche di metano misurate a boccaforo dei sondaggi geognostici lungo il tracciato della Galleria (a) e dei fori di consolidamento (b) durante i lavori di scavo (1993 – 1996), ed in Galleria nel corso dei sopralluoghi (1999 – 2000 e 2004 – 2005), finalizzati all'esecuzione di indagini propedeutiche agli interventi di ripristino (c). Nei grafici (a) e (b) sono rappresentati i valori massimi. Con linea tratteggiata è indicata l'ubicazione dell'asse della Finestra.

7. Classificazione della Finestra e prescrizioni per la realizzazione dei lavori di scavo in condizioni di massima sicurezza

L'analisi dei documenti storici e della letteratura tecnico-scientifica porta ad affermare che:

- il tracciato della Finestra si colloca nella Fossa Bradanica, orientata in direzione NW-SE, costituita da depositi argillosi del Plio-Pleistocene che, in profondità, poggiano su un substrato calcareo del Mesozoico-Cretaceo, caratterizzato da Horst e Graben;
- nelle Argille Subappennine e nel basamento calcareo sono presenti faglie dirette, generalmente sub-verticali, a prevalente direzione appenninica (NW-SE), intersecate da altri sistemi con orientamento NE-SW, N-S, ENE-WSW, E-W, WNW-ESE;
- a pochi km dalla Finestra sono presenti, in superficie, numerose manifestazioni spontanee di metano (vulcanelli di fango, pozzi d'acqua, ecc.);
- la Finestra si colloca in un territorio importante strategicamente per la presenza di numerosi giacimenti produttivi di idrocarburi, dai quali si estrae la quasi totalità del gas italiano in terraferma. In un'area di circa 1500 km², circostante la Finestra, sono stati perforati complessivamente 271 pozzi estrattivi profondi tra i 200 m ed i 4200 m. Quattro pozzi, che hanno attraversato formazioni analoghe a quelle della Finestra, tuttora erogano gas;
- nei pozzi con presenza di gas, il metano è stato trovato anche a partire da 100 m s.p.c., specialmente in quelli più prossimi al tracciato dell'opera;
- l'emissione di metano registrata nei pozzi a basse profondità è generalmente attribuibile a lenti di sabbia, di volume variabile, nelle Argille; le emissioni nei pozzi più profondi sono dovute all'intercettazione di porzioni fratturate negli Horst del substrato calcareo;
- i sondaggi nel tracciato della Galleria e della Finestra hanno attraversato argille limose, generalmente sovraconsolidate, d'aspetto frequentemente pressoché litoide, caratterizzate da:
 - frequenti alternanze di livelli permeabili, prevalentemente sabbiosi;
 - una fitta rete di discontinuità e/o fratture di origine prevalentemente tettonica;
- emissioni a concentrazioni di metano considerevoli, compatibili con le caratteristiche dell'area sopra descritta, sono state rilevate:
 - a boccaforo dei sondaggi realizzati lungo il tracciato della Galleria e della Finestra;
 - nei fori di consolidamento al fronte durante lo scavo della Galleria;
 - durante le attività di monitoraggio effettuate nei periodi 1999 – 2000 e 2004 – 2005, propedeutiche agli interventi di ripristino della Galleria.

Considerate:

- le caratteristiche giacimentologiche e delle manifestazioni di metano a giorno presenti nell'area di interesse;
- le informazioni fornite dai sondaggi e dai rilievi di metano lungo il tracciato della Finestra e della Galleria,

non è improbabile che l'avanzamento del fronte di scavo della Finestra attivi ingressi di metano nel cantiere sotterraneo:

- attraverso trappole (lenti permeabili) presenti nelle Argille Subappennine;
- per risalita dal profondo (substrato carbonatico) attraverso faglie e discontinuità strutturali.

Il Tecnico Specialista, coerentemente con tutto quanto esposto in questo documento ed in particolare nei seguenti punti:

- i sondaggi lungo i tracciati della Galleria e della Finestra, condotti con finalità geognostiche, non sono idonei, per mancanza di accorgimenti tecnici e procedure esecutive, a determinare presenza o meno di metano nel sottosuolo ed a comprendere la fenomenologia dell'emissione da trappole;
- allo stato attuale non sono disponibili informazioni sulla presenza o meno di geo-strutture lungo il tracciato della Finestra (faglie, pieghe, ecc.),

ritiene logico attribuire la **Classe 2** allo scavo della Finestra.

Allo stato attuale dei risultati degli studi e delle ricerche condotte, il Tecnico Specialista reputa inopportuno attribuire alla Finestra la **Classe 1c**, valida nell'ipotesi che l'avanzamento del fronte attivi afflussi di metano in galleria **discontinui, poco frequenti e, quindi, tali da ricondurre la penetrazione del gas ad un fenomeno eccezionale**, emesso da trappole isolate (ad esempio, volumi di sabbie di geometria, dimensione, posizione spaziale molto variabili) inglobate nelle Argille, in collegamento idraulico con l'opera. Tali livelli di sabbia, per essere considerati elemento qualificante per l'attribuzione della classe 1c, dovrebbero:

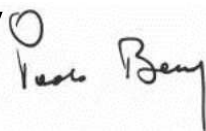
- avere forma e dimensioni molto varie, distribuzione spaziale casuale ed imprevedibile;
- far affluire gas in galleria con portate molto varie non escluse quelle a carattere massivo.

Conseguentemente, in questa fase progettuale il Tecnico Specialista attribuisce inderogabilmente la Classe 2 per garantire massimi livelli di sicurezza, continuità nell'avanzamento dell'opera ed il rispetto del programma dei lavori e dei costi di realizzazione, nel caso intervengano **afflussi significativi di grisù in corrispondenza di strutture geologiche, tecnicamente note come potenziali trappole di metano** (anticlinali, fasce di intensa fratturazione in corrispondenza delle zone di accavallamento tettonico, ecc.). L'intercettazione di una discontinuità strutturale portatrice di metano, con la Finestra in Classe 1c, determinerebbe l'immediata sospensione dell'avanzamento e l'attivazione degli approfondimenti sulle cause del fenomeno emissivo, della sua portata e durata.

Infine, il Tecnico Specialista indica la necessità di eseguire, nelle successive fasi di progettazione, indagini geognostiche (sismica a riflessione) per identificare le geo-strutture presenti lungo il tracciato della Finestra e, in linea con quanto previsto dalla NIR 28, verificare il modello emissivo confermando o modificando l'indice di classifica.

Bologna, Luglio 2019

Prof. Ing. Paolo Berry



Ph.D. Ing. Annalisa Bandini



Ph.D. Ing. Carlo Cormio



Riferimenti bibliografici

Agip (1994) Acque dolci sotterranee. Inventario dei dati raccolti dall'Agip durante la ricerca di idrocarburi in Italia (dal 1971 al 1990).

Canora F., Spilotro G., Fidelibus M.D. (2012) I vulcanelli di fango sul bordo orientale della Fossa Bradanica (Confine Basilicata - Puglia). *Geologia dell'Ambiente* 2/2012: 2–10.

Cotecchia V., Fidelibus M. D., Guerricchio A., Tulipano L. (1996) Valutazioni del rischio d'acqua nella realizzazione della galleria ferroviaria attraversante il rilievo argilloso di Miglionico. *Geol. Appl. Idrogeol.* XXXI, Bari.

Di Pierro M. (1981) Caratteri composizionali delle Argille Pleistoceniche della zona di Miglionico (MT). *Rendiconti Società Italiana di Mineralogia e Petrologia* 37: 229–240.

Doglioni A., Galeandro A., Guerricchio A., Simeone V. (2014) Fenomeni pseudo-carsici in argille Plio-Pleistoceniche della Fossa Bradanica. "Tecniche per la difesa dall'inquinamento" - 34° Corso di aggiornamento, Guardia Piemontese (CS), Italia.

DGS-UNMIG (2018) Rapporto annuale 2018. Attività dell'anno 2017. <https://unmig.mise.gov.it/images/stat/ra2018.pdf>.

ISPRA (2012) http://193.206.192.231/carta_geologica_italia/tavoletta.php?foglio=201.

Guerricchio A., Melidoro G. (1979) Contributo alla conoscenza dell'origine dei calanchi nelle argille grigio azzurre calabriane della Lucania. Università degli Studi di Bari, *Annali della Facoltà di Ingegneria* IV: 100–116.

Lazzari M. (2008) Il comportamento tettonico e sedimentario del bacino di avanfossa Bradanica durante il Pleistocene inferiore. *Mem. Descr. Carta Geol. D'It.* LXXVII: 61–76.

Lazzari M., Losasso A. (2010) I vulcanelli di fango in Basilicata. *Geologia e Turismo* 3: 20–21.

Rovida A., Locati M., Camassi R., Lolli B., Gasperini P. (eds) (2016) CPTI15, the 2015 version of the Parametric Catalogue of Italian Earthquakes. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. doi:<http://doi.org/10.6092/INGV.IT-CPTI15> (Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani 2015 / fornisce dati parametrici omogenei, sia macrosismici, sia strumentali, relativi ai terremoti con intensità massima ≥ 5 o magnitudo ≥ 4.0 d'interesse per l'Italia nella finestra temporale 1000-2014).

Sella M., Turci C., Riva A. (1988) Sintesi geopetrolifera della Fossa Bradanica (avanfossa della catena appenninica meridionale). *Memorie della Società Geologica Italiana* 41: 87–107.